

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“ANÁLISIS PSICROMÉTRICO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES
TÉRMO AMBIENTALES EN LABORES MINERAS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR
GUILLERMO COLLANTES DIAZ**

**ASESOR
M.Sc. Ing. JOSÉ ANTONIO CORIMANYA MAURICIO**

LIMA-PERU

2022

DEDICATORIA

*A mi madre y a todos aquellos
que buscan contribuir a la
construcción de un mundo
mejor.*

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradecer a Dios y a mi familia por su apoyo incondicional, y a las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de todo este tiempo.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por darme las herramientas para desarrollarme y a las Unidades Mineras en las cuales he laborado, por permitirme desempeñarme y acrecentar mis conocimientos.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizó desde el punto de vista termodinámico, las condiciones termo ambientales en una labor minera, la psicrometría al utilizar parámetros directamente mensurables, indica de manera inmediata la transferencia de calor desde los estratos del macizo rocoso o cualquier otra fuente de calor existente, que se generan en un sistema de ventilación auxiliar.

Los incumplimientos en la producción generados por la paralización de labores que evidencian condiciones termo ambientales subestándar, requieren análisis que generen resultados para la mejora de las condiciones termo ambientales en los frentes de trabajo, un análisis psicrométrico permitió la cuantificación de la humedad del aire utilizando parámetros como la temperatura de bulbo húmedo.

El objetivo de enfocar un análisis psicrométrico para mejorar las condiciones termo ambientales en una labor minera, permitió con recopilación de data, simular escenarios de flujo de aire, que determino el alcance de desarrollo de una labor, manteniendo las condiciones termo ambientales dentro de lo que indica la normativa.

Finalmente, el resultado del análisis psicrométrico, como soporte para generar simulaciones a distintos caudales de aire, permiten realizar predicciones de temperatura a una distancia determinada y la posterior validación y corroboración de estas predicciones con los registros de campo, constituyen el argumento sólido para indicar que la hipótesis propuesta es verdadera, un adecuado análisis psicrométrico incide en mejorar las condiciones termo ambientales en labores mineras.

Palabras Claves: Psicrometría, Termo Ambiental, Temperatura, Ventilación minera, Flujo de aire, Estrés térmico.

ABSTRACT

In the current research, the thermo-environmental conditions in a mining work were analyzed from the thermodynamic point of view, the psychrometry, when using directly measurable parameters, immediately indicates the transfer of heat from the strata of the rock mass or any other source of heat existing heat, which is generated in an auxiliary ventilation system.

The non-compliances in the production generated by the stoppage of work that show substandard thermo-environmental conditions, require analyzes that generate results for the improvement of the thermo-environmental conditions in the work fronts, a psychrometric analysis allowed the quantification of the humidity of the air using parameters as the wet bulb temperature.

The objective of focusing a psychrometric analysis to improve the thermo-environmental conditions in a mining work, allowed, with data collection, to simulate air flow scenarios, which determined the scope of development of a work, maintaining the thermo-environmental conditions within what indicates the regulations.

Finally, the result of the psychrometric analysis, as a support to generate simulations at different air flows, allow temperature predictions to be made at a certain distance and the subsequent validation and corroboration of these predictions with field records, constitute the solid argument to indicate that the proposed hypothesis is true, an adequate psychrometric analysis has an impact on improving the thermo-environmental conditions in mining works.

Keywords: Psychrometry, Thermo-Environmental, Temperature, Mining ventilation, Air flow, Thermal stress.

PROLOGO

El trabajo de investigación consta de seis capítulos, dos secciones concluyentes del resultado de la investigación, finalizando con la bibliografía y anexos, los cuales se detallan a continuación:

En el capítulo I corresponde a la Introducción, contiene las generalidades donde abarca una descripción del objeto de la investigación, la problemática existente y como plantear el problema a solucionar en forma de pregunta, se define los objetivos del trabajo de investigación y se describe en resúmenes antecedentes referenciales relacionados al trabajo de investigación.

En el capítulo II corresponde al marco teórico y conceptual, este capítulo aporta los conceptos y estudios importantes relacionados y requeridos para el desarrollo del trabajo de investigación y se define términos indicando la interpretación que corresponde en la presente investigación.

En el capítulo III se plantea la hipótesis a validar y la operacionalización de las variables dependiente e independiente en las cuales se basa el presente trabajo de investigación.

En el capítulo IV corresponde a la metodología de la investigación, se determina el enfoque, tipo y diseño del trabajo, se describe la unidad de análisis en la cual se llevó a cabo el presente trabajo de investigación y se finaliza con la descripción de la matriz de consistencia, que permite mostrar la relación transversal y coherencia en los pasos de la investigación.

En el capítulo V corresponde al desarrollo de la investigación, iniciando con la recopilación y procesamiento de los datos, que permite obtener los comparativos y contrastar la hipótesis de la investigación.

En el capítulo VI corresponde al análisis y discusión de resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación y comprobar si la hipótesis propuesta es verdadera.

Se culmina el presente trabajo de investigación, con el aporte de conclusiones y recomendaciones, generadas durante el desarrollo y análisis del presente trabajo de investigación, que permite analizar la propuesta de futuras mejoras al presente trabajo.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

PRÓLOGO

INDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I	INTRODUCCION	11
1.1	GENERALIDADES	11
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	12
1.3	OBJETIVO	14
	1.3.1 Objetivo general	
1.4	ANTECEDENTES DE INVESTIGACION	15
CAPITULO II	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	19
2.1	MARCO TEÓRICO	19
	2.1.1 Psicometría	
	2.1.2 Composición del aire	
	2.1.3 Relaciones básicas y bases de la medición psicrométrica	
	2.1.4 Teoría del termómetro de bulbo húmedo	
	2.1.5 Relaciones Psicrométricas	
2.2	MARCO CONCEPTUAL	26
CAPITULO III	HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	28
3.1	HIPÓTESIS PRINCIPAL	28

CAPITULO IV	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	29
4.1	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION	29
4.1.1	Enfoque	
4.1.2	Alcance	
4.1.3	Diseño de investigación	
4.2	UNIDAD DE ANALISIS	30
4.3	MATRIZ DE CONSISTENCIA	32
CAPÍTULO V	DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	33
5.1	RECOLECCION DE DATOS	33
5.1.1	Muestreo del circuito de ventilación auxiliar RP (-) W_2450	
5.1.2	Procedimiento de medición de velocidad de aire en la labor.	
5.2	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	52
5.2.1	Selección de datos representativos	
CAPÍTULO VI	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	55
6.1	ANALISIS DE LA INFORMACION	55
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Intensidad de trabajo respecto al gasto metabólico en kcal/hora	13
Tabla 2.1 Composición del aire seco	20
Tabla 4.1 Matriz de consistencia	32
Tabla 5.1 Características de la labor de análisis	34
Tabla 5.2 Tabla de parámetros medibles en campo	41
Tabla 5.3 Tabla de registro de datos con fecha 02/02/2022	44
Tabla 5.4 Tabla de registro de datos con fecha 03/02/2022	45
Tabla 5.5 Tabla de registro de datos con fecha 09/02/2022	48
Tabla 5.6 Tabla de registro de datos con fecha 10/02/2022	49
Tabla 5.7 Tabla de dimensiones de sección	51
Tabla 5.8 Determinación de parámetros psicrométricos de los puntos e-1 inlet	53
Tabla 5.9 Determinación de parámetros psicrométricos de los puntos e-2 outlet	55
Tabla 6.1 Simulación de temperatura con caudal de 30,000 cfm	62
Tabla 6.2 Simulación de temperatura con caudal de 40,000 cfm	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Resumen de ecuaciones psicrométricas	25
Figura 4.1 Ubicación y accesos a la Unidad Minera Huanzalá	31
Figura 5.1 Esquema de la labor RP (-) W_2450	35
Figura 5.2 Esquema inicial del circuito de ventilación auxiliar RP (-) W_2450	37
Figura 5.3 Esquema final del circuito de ventilación auxiliar RP (-) W_2450	38
Figura 5.4 Ventilación con 02 mangas de 32" de diámetro en paralelo	39
Figura 5.5 Puntos de Monitoreo	40
Figura 5.6 Termo anemómetro digital kestrel 3500	42
Figura 5.7 Anemómetro multifunción Testo 435-4	42
Figura 5.8 Toma de registro en campo RP (-) W_2450	46
Figura 5.9 Sección de labor	50
Figura 6.1 Simulación de temperatura con caudal de 30,000 CFM	63
Figura 6.2 Simulación de temperatura con caudal de 40,000 CFM	66
Figura 6.3 Simulación de temperatura para diferentes caudales	68

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

La profundización de cuerpos mineralizados y las características térmicas de los macizos rocosos, genera condiciones termo ambientales adversas, fuera de los estándares que indica la normativa de seguridad vigente, en el desarrollo de las labores mineras para cumplir los objetivos trazados de producción, es esencial analizar las condiciones termo ambientales desde un nuevo enfoque.

El alcance del trabajo de investigación, propone un enfoque desde el punto de vista termodinámico, el análisis psicrométrico en el estudio de las condiciones termo ambientales en las labores mineras, proporciona información para formular una metodología que propone un análisis que permita, según las propiedades del aire, una propuesta para mitigar la temperatura y brindar condiciones termo ambientales dentro de los estándares de seguridad, para el trabajo de los operadores y maquinaria utilizada en la explotación de los recursos minerales.

Validar los resultados de un análisis psicrométrico en el comportamiento termodinámico del flujo de aire en interior mina, genera un impacto positivo con el fin

de tomar decisiones con la capacidad de mejorar las condiciones termo ambientales en las labores mineras.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

Las condiciones termo ambientales deficientes reportadas en labores mineras, genera constantemente un riesgo a exposición por gaseamiento, estrés térmico a los trabajadores e inadecuada proporción de oxígeno ocasionando un funcionamiento ineficiente de los equipos diésel en interior mina, generando condiciones sub estándar en los frentes de operación e incumplimiento a la normativa de seguridad vigente (*como indica el “Decreto Supremo N.º 024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y modificatorias D.S. 023-2017-EM” en su Anexo N°13 y N°15 referido a los límites máximos permisibles de exposición*).

Las condiciones operativas a temperatura mayor a 24°C generan mayores costos de producción, al demandar un mayor caudal de aire para realizar los trabajos en las labores, lo cual deriva en la utilización de motores de mayor potencia y por ende mayor consumo de energía, este aumento de caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo se encuentra especificado en el **ANEXO 38 DEL D.S.023-2017-EM REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERIA**

El estrés térmico genera la baja productividad en las labores mineras, debido a los tiempos cortos de trabajo que según la normativa deben efectuarse al realizar actividades en zonas donde la temperatura sea mayor a los 30°C, lo cual incide en menor avance en los frentes de desarrollo, incumplimiento de los programas mensuales de producción programados, afectando a la compañía minera y contratistas anexas a la operación, al aumentar el consumo metabólico producido por

el organismo por unidad de tiempo, los trabajadores requerirán mayor consumo de oxígeno incidiendo de acuerdo a la intensidad del trabajo a un menor número de horas efectivas de trabajo, reduciendo la eficiencia del trabajador, de acuerdo al gasto metabólico generado por la temperatura de trabajo se categoriza la intensidad de trabajo como muestra la tabla 1.1

Tabla 1.1 Intensidad de trabajo respecto al Gasto Metabólico en Kcal/hora

Gasto Metabólico (Kcal/hr)	Categoría de Intensidad del Trabajo
<100	Descanso
100-200	Ligero
200-300	Moderado
300-400	Pesado
>400	Muy Pesado

Fuente: Ministerio de Energía y Minas - GUIA N°2 RSSO D.S.023-2017 EM / Perú

La salud de los trabajadores se afecta por golpes de calor u otros derivados del estrés térmico influyendo directamente en la eficiencia del desarrollo de las actividades del personal y maquinaria involucrada en la operación, ocasionando en muchos casos absentismo por parte de los trabajadores. (***“Subsurface Ventilacion Engineering”***
Capitulo 17– Malcolm J. McPherson (2009))

Las condiciones termo ambientales ineficientes mayores a los 30°C generan demoras en la ejecución de los trabajos siendo uno de los factores que genera deficiencia de los avances en las voladuras programados en los frentes de trabajo.

(De acuerdo al ***“ESTUDIO PSICROMETRICO Y ANALISIS TECNICO DE APLICACIÓN DE***

AIRE ACONDICIONADO EN MINA COBRIZA”, presentado en el 10° Congreso Nacional de Minería por Naupari Escobar D. (2014)).

En la actualidad no se evidencia muchos estudios de análisis de la psicrometría, como soporte para la evaluación de actividades en ventilación minera, que presenten inadecuadas condiciones termo ambientales.

1.2.1 Formulación del problema principal

- ¿Cómo las inadecuadas condiciones termo ambientales afectan negativamente el desarrollo y continuidad de las labores mineras?

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar un análisis psicrométrico para mejorar las condiciones termo ambientales en labores mineras.

1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Martínez Luquez, J. D. (2020) presenta un trabajo de investigación en la Universidad Francisco de Paula Santander - Colombia, titulado ***“ESTUDIO SICROMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS EN RAMPA 1 DE MINA EL SILENCIO, DE GRANCOLOMBIAGOLD”***, presenta como objetivo desarrollar un estudio psicrométrico que calcula la entalpia, el sigma heat entre otras propiedades psicrométricas generadas en el frente de trabajo de desarrollo, de una rampa minera, y desarrolla un análisis del índice de estrés térmico y propone un diseño de optimización del sistema de ventilación auxiliar del frente de desarrollo de la rampa, el autor concluye, que el control del incremento en las propiedades psicrométricas presentes en la zona de estudio, permite determinar que las condiciones termo ambientales superarán los valores límites permisibles según la normativa, su estudio es validado en la mina subterránea El Silencio, Colombia.

Castro Duque, Y. (2014) en la Universidad de Pamplona - Colombia, titulado ***“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE IMPACTO TÉRMICO GENERADO EN UN AMBIENTE SUBTERRÁNEO”***, presenta como objetivo efectuar un análisis del índice de riesgo térmico en diferentes frentes de trabajo de una mina subterránea de carbón, propone un análisis considerando el impacto en la producción, los efectos fisiológicos que presentan por los trabajadores debido al aumento de la temperatura en el marco de la normativa colombiana, evaluando el riesgo por índice de estrés térmico, el autor

concluye en su análisis que al evaluar el estrés térmico y el índice de calor determina el riesgo de exposición de los trabajadores.

ANTECEDENTES NACIONALES

En el 10º Congreso Nacional de Minería, Naupari Escobar, D. I. (2014) presenta un estudio de investigación titulado ***“ESTUDIO PSICROMETRICO Y ANALISIS TECNICO DE APLICACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO EN MINA COBRIZA”***, el estudio evalúa la efectividad del sistema de ventilación de la profundización de la mina, desde el punto de vista termodinámico basado en la psicrometría, la investigación se enmarco dentro del análisis del comportamiento del flujo de aire húmedo, para la comprensión de sistemas de ventilación con alta temperatura que permita evaluar la efectividad del sistema de ventilación actual y considerar los efectos de las fuentes de calor para modificar en conveniencia de las personas y equipos afectados, las condiciones termo-ambientales al interior de la mina, concluyendo que un análisis desde un estudio termodinámico basado en la psicrometría, identifica un deficiente sistema de ventilación que exceda las condiciones termo ambientales requeridas por ley para la exposición al estrés térmico, este trabajo se relaciona con la investigación planteada, mostrando como debe estructurarse un análisis psicrométrico para la mejora de las condiciones termo ambientales en labores mineras que permita trabajar dentro de los límites permisibles de exposición requeridas por la normativa de seguridad vigente.

Larzo Tapia, M. (2015) presenta un trabajo de investigación en la Universidad Nacional del Centro del Perú, titulado ***“INFLUENCIA DEL ESTRÉS TERMICO EN LA***

PRODUCTIVIDAD DE LA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. UNIDAD RECUPERADA – MINA TERESITA” , con el objetivo de determinar la influencia del estrés térmico en la productividad de la mina, desarrolla un análisis del aumento del costo operativo y la baja eficiencia en la productividad, realizando mediciones de estrés térmico, el autor concluye que el trabajo en temperaturas elevadas que generan estrés térmico influye en la productividad y eficiencia en el desarrollo de las actividades programadas.

Morales Mendoza, M. L. (2021) presenta un trabajo de investigación en la Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa, titulado **“OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE VENTILACIÓN PARA SUMINISTRAR AIRE SEGÚN REQUERIMIENTO Y MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES TERMOAMBIENTALES EN LA ZONA MANUELITA CIA MINERA ARGENTUM S.A. UNIDAD MINERA MOROCOCHA”**, propone como objetivo asegurar las condiciones termo ambientales con el fin de brindar condiciones óptimas de trabajo, brindar calidad y cantidad de aire en toda la operación subterránea respetando las normativas legales nacionales, su propuesta analiza la amplitud de las chimeneas con la finalidad de incrementar el caudal de aire de ingreso a la mina y mejorar las condiciones termo ambientales de las labores auxiliares.

Vega Ricaldi, J. D. (2018) presenta un trabajo de investigación en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión – Cerro de Pasco, titulado **“EVALUACIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN, PARA QUE EL TRABAJADOR DESARROLLE SUS ACTIVIDADES EN CONDICIONES NORMALES, EN LA EMPRESA MINERA LOS**

QUENUALES - UNIDAD MINERA YAULIYACU”, presenta como objetivo determinar las características del aire que ingresa a mina en cantidad y calidad para que el trabajador desarrolle las actividades en condiciones termo ambientales adecuadas, este estudio contempla un análisis de caudales de aire que asegure el requerimiento mayor al 100% de cobertura que permita la correcta dilución de gases generados en los frentes de trabajo.

CAPITULO II

MARCOS TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Psicrometría

ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) (2021), define la Psicrometría, como una rama de la ciencia dedicada al estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y al efecto de la humedad atmosférica en los materiales y en el confort humano.

2.1.2 COMPOSICION DEL AIRE

McPherson Malcolm J. (2009) - "Subsurface Ventilation Engineering"

En el capítulo 14, refiere que el aire alrededor de la superficie de la Tierra, sin fuentes de contaminación presenta una composición notablemente constante, bajo un análisis exento de vapor de agua en la composición de aire, esta composición libre de humedad es dada tanto en volumen y masa según la Tabla 2.1

TABLA 2.1 Composición del aire seco

GAS	VOLUMEN EN PORCENTAJE	MASA EN PORCENTAJE	PESO MOLECULAR
Nitrogeno	78.03	75.46	28.015
Oxigeno	20.99	23.19	32.000
Dioxido de Carbono	0.038	0.05	44.003
Hidrógeno	0.01	0.0007	2.016
Gases Monoatomicos	0.94	1.3	39.943
Peso molecular equivalente de aire seco			28.966

Fuente: McPherson Malcolm J. (2009) - "Subsurface Ventilation Engineering"

Sin embargo, existe otro gas presente en la atmósfera libre, el "vapor de agua", diferente a los otros debido que su concentración, varía mucho de un lugar a otro y con el tiempo, debido a las presiones y temperaturas que existen dentro de la capa de aire alrededor de la superficie de la Tierra, y por su concentración variable dentro de la atmósfera de la Tierra, el agua en el aire es convertido en objeto de un estudio especial denominado psicrometría.

Se determina un interés particular en la psicrometría por dos razones:

- *En primer lugar, se comprende plenamente los procesos termodinámicos que se producen en circuitos de ventilación, las variaciones de humedad deben ser tomadas en cuenta, por ejemplo, el calor en estratos es emitido en una vía húmeda sin que exista un aumento correspondiente en la temperatura del aire, esto ocurre si todo el calor añadido se utilizara en excitar algunas de las moléculas de agua hasta que su cinética de energía supere las fuerzas de atracción de otras moléculas en el agua líquida y haría escapar a través de la superficie del líquido / aire y se convierten en el aire como gas.*

- *La segunda razón para el estudio de la psicrometría es el efecto de calor y humedad en el cuerpo humano. Sin embargo, se concentrará el estudio en el desarrollo de los medios de cuantificación de las relaciones psicrométricas que permiten las predicciones de temperatura y otras variables climáticas en el medio ambiente.*

2.1.3 RELACIONES BASICAS Y BASES DE LA MEDICION PSICROMETRICA

McPherson Malcolm J. (2009) - "Subsurface Ventilation Engineering"

Se resuelve antes de iniciar una propuesta de relaciones psicrométricas, la mejor forma de expresar la cantidad de vapor de agua contenida dentro de una corriente de aire determinado, es preferible llevar a cabo el análisis sobre una masa (kg) en lugar de volumen (M3), variaciones en la presión y temperatura causan que el volumen del aire cambie a medida que progresa a través de un sistema de ventilación, esta elección basada en la suposición que la masa del flujo de aire se mantiene constante a lo largo de una vía aérea.

Situación distinta cuando la adición de vapor de agua a una corriente de aire a través de procesos de evaporación, o su retiro por condensación, en consecuencia, el flujo de masa de la mezcla de aire / vapor ya no se mantiene constante.

Se considera que el aire se divide en una masa fija de "aire seco" y una masa asociada pero variable de vapor de agua, para la mayoría de los propósitos, se menciona al contenido de humedad en términos de gramos o kilogramos de vapor de agua por kilogramo de "aire seco", algunas veces, se utiliza la medida alternativa

de gramos o kilogramos por kilogramo de vapor de la mezcla real de aire y vapor, en el estudio se utiliza el término "aire" para significar la mezcla real de aire y vapor de agua, y "aire seco" para que la fracción que no incluye el vapor de agua.

Otros conceptos desarrollados serán:

- *Contenido de humedad (humedad específica) de aire*
- *La saturación de presión de vapor*
- *constante de los gases y el calor específico (capacidad térmica) de aire no saturado*
- *El volumen específico y la densidad del aire insaturado*
- *Humedad relativa y porcentaje de humedad*

2.1.4 TEORÍA DEL TERMÓMETRO DE BULBO HÚMEDO

Howard L. Hartman / Jan Mutmansky / Y.J. Wang (1981) "MINE VENTILATION AND AIR CONDITIONING" (Second Edition)

La temperatura de bulbo húmedo es el parámetro más importante en las condiciones climáticas calientes para dos objetivos diferentes, pero relacionadas entre sí.

- El primero reside en su importancia vital, en la evaluación de la capacidad de los el aire para eliminar el calor metabólico del personal.
- El segundo es la utilización de la temperatura de bulbo húmedo en la cuantificación de la humedad del aire.

Existe un número de métodos de medición de la humedad del aire y numerosos instrumentos disponibles.

Estos son divididos en cinco tipos:

- *Los métodos químicos*
- *Los métodos eléctricos*
- *Higrómetros de hilo*
- *Higrómetros de punto de rocío*
- *En seco y húmedo de bulbo (higrómetros psicrómetros)*

Estos últimos son el tipo más ampliamente utilizado de higrómetros en la ingeniería de ventilación de minas, determinan resultados fiables al emplearse por personal competente y son fáciles de utilizar, debido a su empleo generalizado, la teoría de termómetro de bulbo húmedo se debe desarrollar.

Un higrómetro de bulbo húmedo y seco es simplemente un par de termómetros equilibrados, una de las cuales utiliza su lámpara envuelta en una paño de muselina saturada de agua, el aire que pasa a través de las dos bombillas efectuará que el termómetro de bulbo seco registre la temperatura ordinaria del aire, sin embargo, el efecto de enfriamiento de evaporación se traducirá en el termómetro de bulbo húmedo registrando una temperatura más baja, ***conociendo las temperaturas de bulbo húmedo y seco, junto con la presión barométrica, permite calcular todos los demás parámetros psicrométricos.***

2.1.5 RELACIONES PSICROMÉTRICAS

McPherson Malcolm J. (2009) - "Subsurface Ventilation Engineering"

El marco teórico desarrollado en el estudio abarca demás conceptos psicrométricos como:

- Entalpía del aire húmedo

- El proceso de saturación adiabática
- Calor Sigma (S)

El Calor Sigma es la energía que se extraería de una unidad de masa de aire húmedo si se enfriara a una cierta temperatura de referencia bajo presión constante y, al mismo tiempo, se elimina cualquier condensación formada durante el proceso. Debido a que el calor sigma asume que se eliminará la condensación, cualquier energía que se extraiga enfriando el vapor de agua por debajo de su punto de condensación no cuenta para el calor sigma

Utilizando el concepto de calor sigma, adiciones térmicas o pérdidas de una corriente de aire es fácilmente cuantificada a partir de observaciones psicrométricas.

RESUMEN DE ECUACIONES PSICROMÉTRICAS

Si la presión barométrica (P), y las temperaturas de bulbo húmedo (t_w) y seco (t_d), son conocidos, el contenido de humedad y todos los parámetros psicrométricos son determinados.

Este es un punto conveniente de realizar una lista de referencia de las ecuaciones más importantes que ha derivado en las secciones anteriores, y definir el orden en que son necesarias para el cálculo de la mayoría de relaciones psicrométricas donde P , t_w y t_d son las variables medidas.

Todas las temperaturas se expresan en grados centígrados y las presiones en Pascales.

$$\begin{aligned}
 e_{sw} &= 610.6 \exp\left[\frac{17.27 t_w}{237.3 + t_w}\right] && \text{Pa} \\
 X_s &= 0.622 \frac{e_{sw}}{(P - e_{sw})} && \text{kg/kg aire seco} \\
 L_w &= (2502.5 - 2.386 t_w) 1000 && \text{J/kg} \\
 S &= L_w X_s + 1005 t_w && \text{J/kg aire seco} \\
 X &= \frac{S - 1005 t_d}{[L_w + 1884(t_d - t_w)]} && \text{kg/kg aire seco} \\
 \text{O} \\
 X &= \frac{L_w X_s - 1005(t_d - t_w)}{[L_w + 1884(t_d - t_w)]} && \text{kg/kg aire seco} \\
 e &= \frac{PX}{(0.622 + X)} && \text{Pa (cuando P este en Pascales)} \\
 \rho_m \text{ (aparente)} &= \frac{(P - e)}{[287.04(t_d + 273.15)]} && \text{kg aire seco/m}^3 \\
 \rho_m \text{ (actual)} &= \frac{(P - 0.378e)}{[287.04(t_d + 273.15)]} && \text{kg aire húmedo/m}^3 \\
 H &= S + (4187 t_w X) && \text{J/kg aire seco} \\
 (rh) &= \frac{e}{e_{sd}} \times 100 && \text{porcentaje}
 \end{aligned}$$

FIGURA 2.1 RESUMEN DE ECUACIONES PSICROMETRICAS
Fuente: McPherson Malcolm J. (2009) - "Subsurface Ventilation Engineering"

El comportamiento de la temperatura del bulbo húmedo, es un parámetro directamente mensurable, es una indicación inmediata de transferencia de calor desde los estratos, las máquinas o cualquier otra fuente, contrastando esto con la temperatura de bulbo seco, que varía durante la evaporación o condensación, esto determina la importancia fundamental de la temperatura de bulbo húmedo en los procesos psicrométricos.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Psicrometría:** Para fines del presente estudio se utilizará la definición de la ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), que define la Psicrometría como una rama de la ciencia dedicada al estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y al efecto de la humedad atmosférica en los materiales y en el confort humano, siendo lo más adecuado en función a los fines de la investigación, de mejorar las condiciones termo ambientales en labores mineras.
- **Termo-Ambientales:** Para fines del presente estudio se interpreta las condiciones termo ambientales, como las variables medibles de temperatura, humedad relativa del aire, presencia de gases (oxígeno, dióxido de carbono, gases nitrosos, gases sulfurosos), flujos y caudales de aire, que se presentan en las labores mineras y cuyos valores combinados, representan el confort de la zona de trabajo para que el personal ejecute sus actividades.
- **Metodología:** Para fines del presente trabajo de investigación, se interpreta como un procedimiento general para lograr de manera precisa el objetivo de la investigación, por lo cual presenta los métodos y técnicas para la realización de la investigación

- **Estrés-térmico:** Para fines del presente estudio, se interpreta el estrés térmico como la sensación de malestar que se experimenta cuando la permanencia en un ambiente determinado, genera esfuerzos desmesurados a los mecanismos de que dispone el organismo para mantener la temperatura interna, mientras se efectúa el intercambio de agua y demás sustancias del cuerpo.

- **Ajuste:** Se interpreta la definición para fines del presente estudio, como medidas que buscan terminar con un desequilibrio en los parámetros y resultados obtenidos.

- **Modelo:** Se interpreta la definición como la representación de un concepto o proceso, mediante un número de variables definidas para lograr una mejor comprensión.

CAPITULO III

HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.1 Hipótesis Principal

- Un adecuado análisis psicrométrico incidirá en mejorar las condiciones termo ambientales en labores mineras.
- **VARIABLE DEPENDIENTE:** CONDICIONES TERMO AMBIENTALES
- **VARIABLE INDEPENDIENTE:** ANALISIS PSICROMETRICO

CAPITULO IV

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION

4.1.1 ENFOQUE

El tipo de la presente investigación con respecto al enfoque es una investigación cuantitativa considerando que seis de las siete características epistemológicas son de naturaleza cuantitativa (Objetiva, Deductiva, Finalidad de comprobación, Orientada al resultado, Principio de verdad predeterminado, Perspectiva del investigador al margen de los datos) y una de característica epistemológica cualitativa (Causalidad de interacción de factores).

4.1.2 ALCANCE

El tipo de la presente investigación con respecto al alcance es Exploratorio, evaluara la incidencia de la psicometría efectuando mediciones en campo para reducir la temperatura en un frente de trabajo, culminando con un análisis psicrométrico que propone una mejora de las condiciones termo ambientales en labores mineras.

4.1.3 DISEÑO DE INVESTIGACION

El tipo de la presente investigación con respecto al diseño es Experimental, considerando que se efectuarán registros de mediciones de campo y pruebas a distintos caudales de flujo de aire, para obtener mejoras en las condiciones termo ambientales.

4.2 UNIDAD DE ANALISIS

Para el presente trabajo de investigación, se utilizará como unidad de análisis, la Unidad Minera Huanzalá (yacimiento de Zn – Pb - Cu – Ag) de la Compañía Minera Santa Luisa S.A., políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash - Perú. El centro de operaciones se encuentra a una distancia de 8 Km en línea recta y 12 Km por vía asfaltada al NW del pueblo más cercano, Huallanca, y a 440 km de distancia de la ciudad de Lima.

Geográficamente la mina está ubicada entre la prolongación de la cordillera Blanca y cordillera Huayhuash, al sur del cerro Huanzalá y al NE de un valle Glaciar por donde discurre el río Torres; a una altitud comprendida entre 3800 y 4000 msnm, sus coordenadas U.T.M. son: Este: 0280400.00; Norte: 8908650.00

La unidad minera Huanzalá opera desde 1968 y desarrolla actividades mineras, de exploración, explotación, tratamiento metalúrgico y comercialización; así como también labores de investigación, prospección, estudios y trabajos de geología;

labores de preparación y desarrollo minero y otros conexos a la industria minera y en general.



Figura 4.1 Ubicación y accesos a la Unidad Minera Huanzala
Fuente: Plan de Minado 2022 U. M. Huanzala

4.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: "ANALISIS PSICROMETRICO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES TERMO AMBIENTALES EN LABORES MINERAS"

TABLA 4.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿CÓMO LAS INADECUADAS CONDICIONES TERMO AMBIENTALES AFECTAN NEGATIVAMENTE EL DESARROLLO Y CONTINUIDAD DE LAS LABORES MINERAS?	DESARROLLAR UN ANALISIS PSICROMETRICO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES TERMO AMBIENTALES EN LABORES MINERAS.	UN ADECUADO ANALISIS PSICROMETRICO INCIDIRA EN MEJORAR LAS CONDICIONES TERMO AMBIENTALES EN LABORES MINERAS.	V.D.1: CONDICIONES TERMO AMBIENTALES	V.I.1: ANALISIS PSICROMETRICO	<ul style="list-style-type: none"> MEDICIONES TERMO AMBIENTALES (GASES Y TEMPERATURA) CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERIA. 	<ul style="list-style-type: none"> REPORTES DIARIOS DE MEDICIONES DE CONDICIONES TERMO AMBIENTALES EN EL FRENTE DE TRABAJO. REPORTES DIARIOS DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES Y CAUDALES DE AIRE.

CAPITULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

5.1 RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos para el desarrollo del trabajo de investigación, inicio con la identificación y descripción en campo del circuito de ventilación auxiliar de la labor de análisis RP (-) W_2450, labor cuyo desarrollo se paralizó debido que el frente de trabajo, presentaba condiciones termo ambientales cercanas a los 30°C, generando estrés térmico en las actividades de los trabajadores, una descripción específica de la labor se muestra en la TABLA 5.1, labor que se designó para el desarrollo del análisis psicrométrico de la investigación, con un muestreo que valide la hipótesis en la mejora de las condiciones termo ambientales de la labor minera.

TABLA 5.1 CARACTERISTICAS DE LA LABOR DE ANALISIS

LABOR:	Rampa (-) W_2450
NIVEL:	Nivel "W" (750 m aprox. de profundidad respecto a su proyección en superficie)
ETAPA DE ACTIVIDAD:	Rampa de profundización en desarrollo
CARACTERISTICAS GEOLOGICAS:	Terreno Piritoso
RMR (BIENIAWSKI-1989)	Roca Tipo III
TEMPERATURA:	12.0°C – 30.0°C
SISTEMA DE VENTILACION:	Impelente
DIMENSIONES DE LA LABOR:	4m x 4.5m / sección transversal / alto x ancho

Fuente: Elaboración propia

En la recolección de datos se utilizó un muestreo de periodo diario para la caracterización físico y química de las condiciones termo ambientales de la labor de análisis.

Para la recolección de datos, se consideró el registro de mediciones termo ambientales durante dos (02) días consecutivos, posterior a ello, tras las modificaciones efectuadas al sistema de ventilación auxiliar, se consideró el registro de mediciones termo ambientales dos (02) días consecutivos para verificar los resultados obtenidos, el esquema de la labor se muestra en la figura 5.1

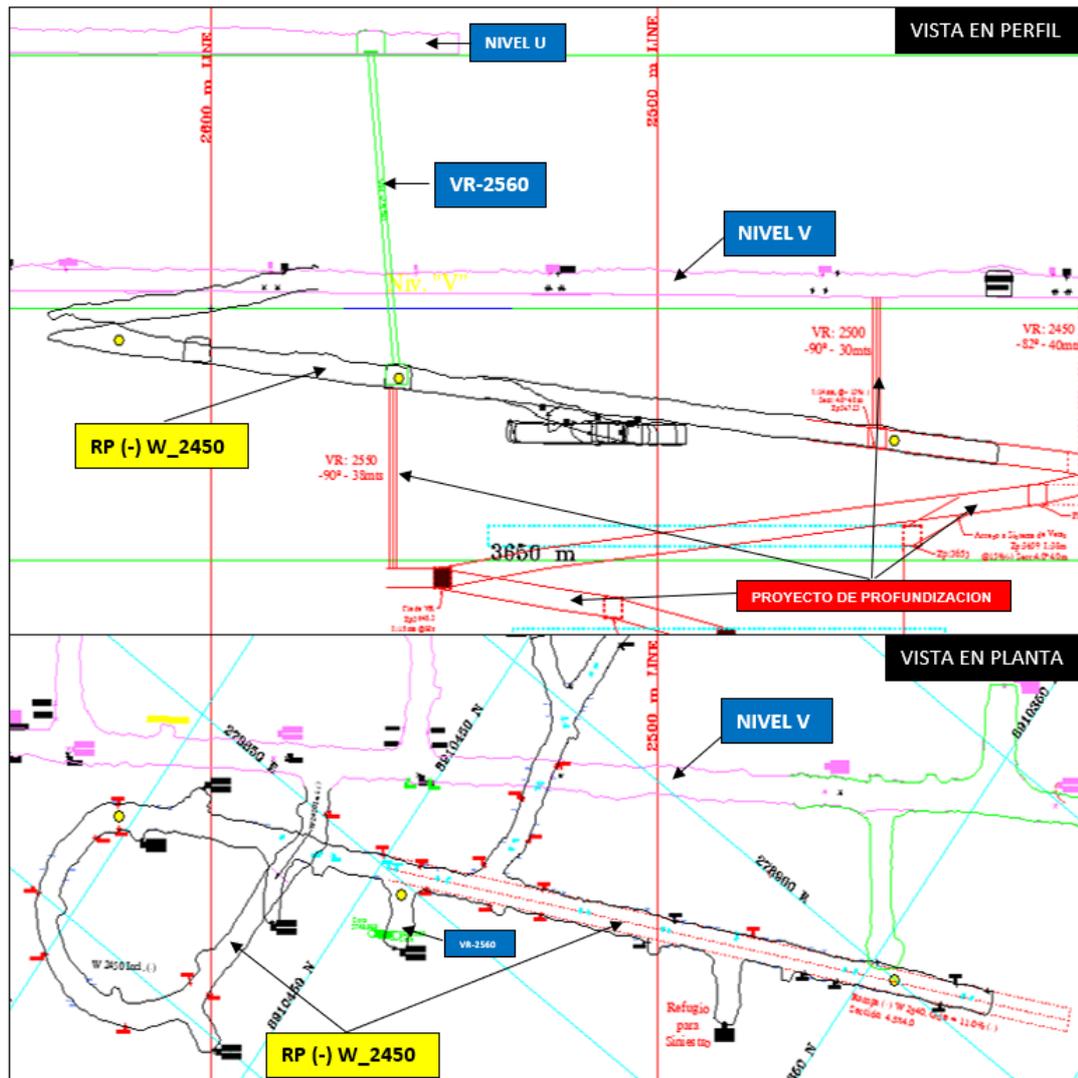


Figura 5.1 Esquema de la labor RP (-) W_2450
Fuente: Elaboración propia

El circuito de ventilación auxiliar en la labor RP (-) W_2450 ubicada a una profundidad referencial de 750 metros con respecto a la superficie, está estructurado por 02 circuitos de aire, uno de ingreso de aire fresco y otro de salida de aire viciado, independiente uno del otro (como se muestra en la figura 5.2)

El circuito de ingreso de aire fresco, proviene del nivel "V" el cual provee aire fresco en dirección de la RP (-) W_2450 hasta el pie de la VR-2560, donde es evacuado a niveles superiores, el circuito de extracción de aire viciado, se dirige desde el frente de trabajo hasta el pie de la VR-2560, donde es evacuado a niveles superiores fuera del circuito de ventilación auxiliar, ambos circuitos de ingreso y salida de aire, suceden en simultaneo como se muestra en la figura 5.2.

El sistema inicial de ventilación auxiliar (Figura 5.2), comprende un ventilador axial instalado de 30,000 CFM de capacidad nominal, que insufla aire fresco hasta el frente de trabajo una distancia de 170 metros aproximadamente, utilizando una manga de ventilación de rafia de polietileno D-300 de 32 pulgadas de diámetro.

El circuito de salida de aire viciado, es a través de la VR-2560 (Raise Borer de 1.5 metros de diámetro).

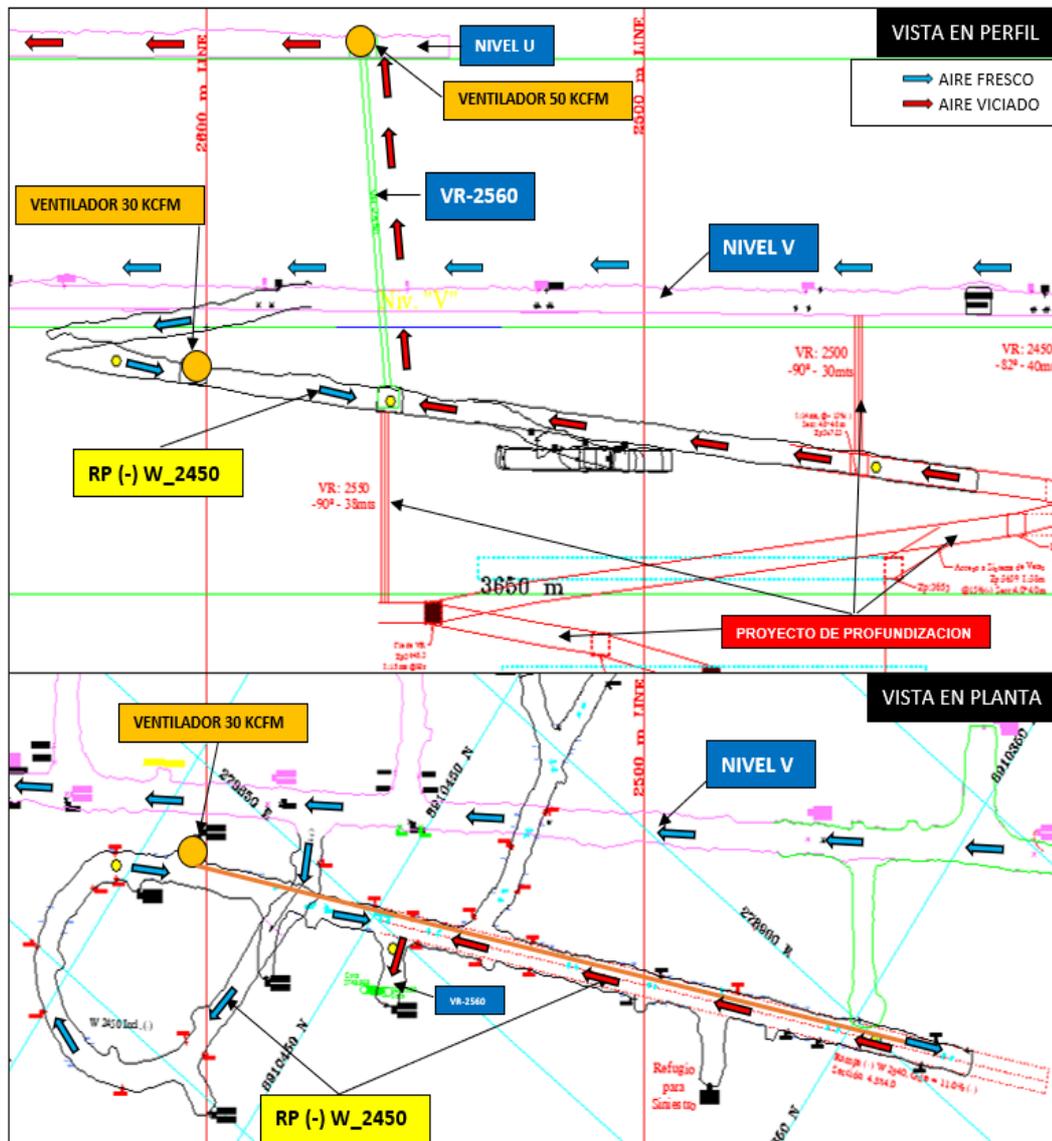


Figura 5.2 Esquema inicial del circuito de ventilación auxiliar de la RP (-) W_2450.
Fuente: Elaboración propia

El sistema final de ventilación auxiliar (Figura 5.3), comprende un ventilador axial instalado de 40,000 CFM de capacidad nominal, que insufla aire fresco hasta el frente de trabajo una distancia de 170 metros aproximadamente, utilizando una dos (02) mangas de ventilación en paralelo de rafia de polietileno D-300 de 32 pulgadas de diámetro.

El circuito de salida de aire viciado, es a través de la VR-2560 (Raise Borer de 1.5 metros de diámetro).

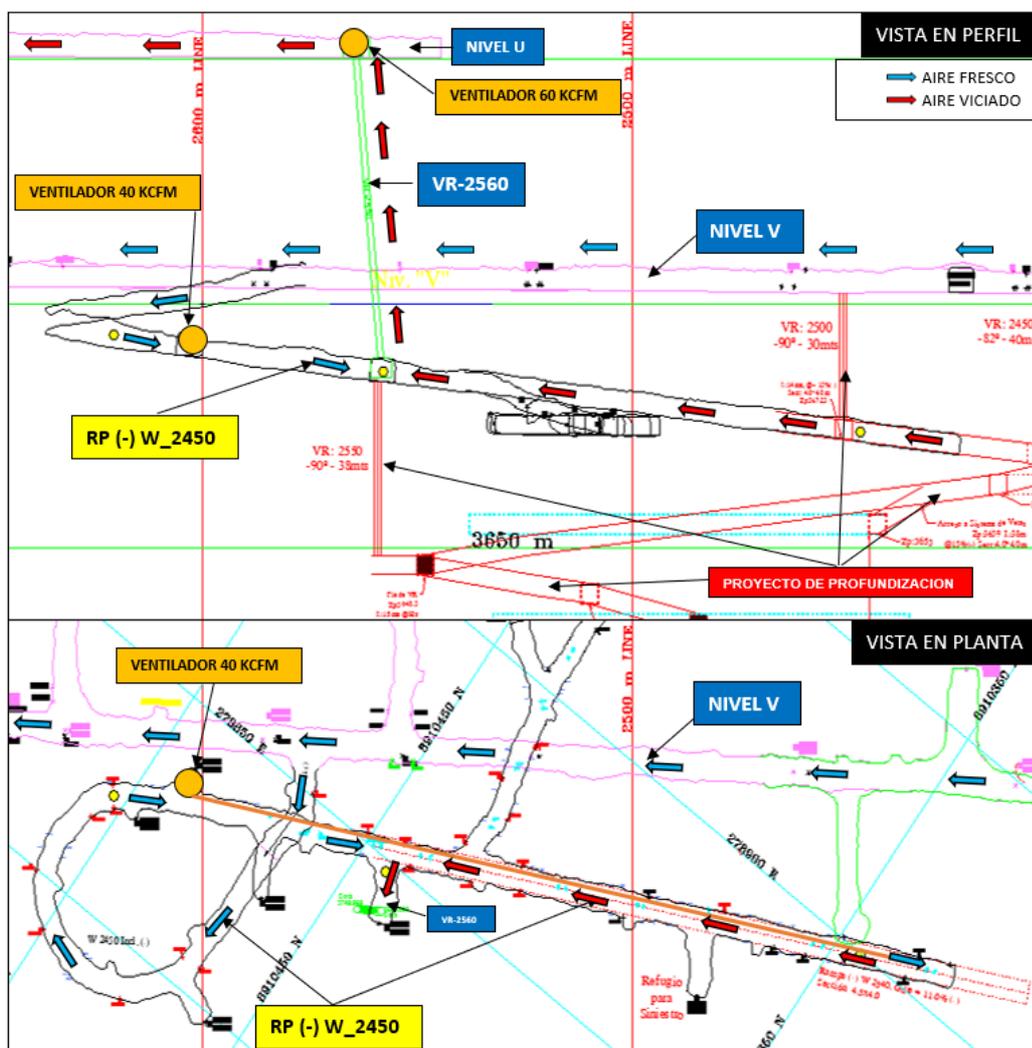


Figura 5.3 Esquema final del circuito de ventilación auxiliar de la RP (-) W_2450.
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.4 Sistema de Ventilación con 02 mangas de 32" de diámetro en paralelo RP (-)
W_2450
Fuente: Elaboración propia

5.1.1 MUESTREO DEL CIRCUITO DE VENTILACION AUXILIAR RP (-)

W_2450

El muestreo estará sustentado en información verificable, los registros fueron recabados de forma planificada en función a conocer las particularidades requeridas del sistema de ventilación, validar la información existente y evaluar las condiciones del sistema de ventilación al inicio del estudio, todo esto contando con los instrumentos adecuados y debidamente calibrados.

a) PUNTOS DE MONITOREO

CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL PUNTO DE MONITOREO:

El tamaño de la muestra será no Probabilística, lo que se refiere es que las muestras serán basándose en juicio o criterio del investigador, basado en criterios sin recurrir al azar.

Se decidió que el punto inicial de muestreo sea el suministro de aire fresco adyacente al ventilador, llamado para caso de estudio “E-1”, el punto de retorno aire viciado dentro del circuito de la RP (-) W_2450, se denominó para caso de estudio “E-2”, y el punto E-3 en el frente de trabajo, como se indica en la figura 5.5

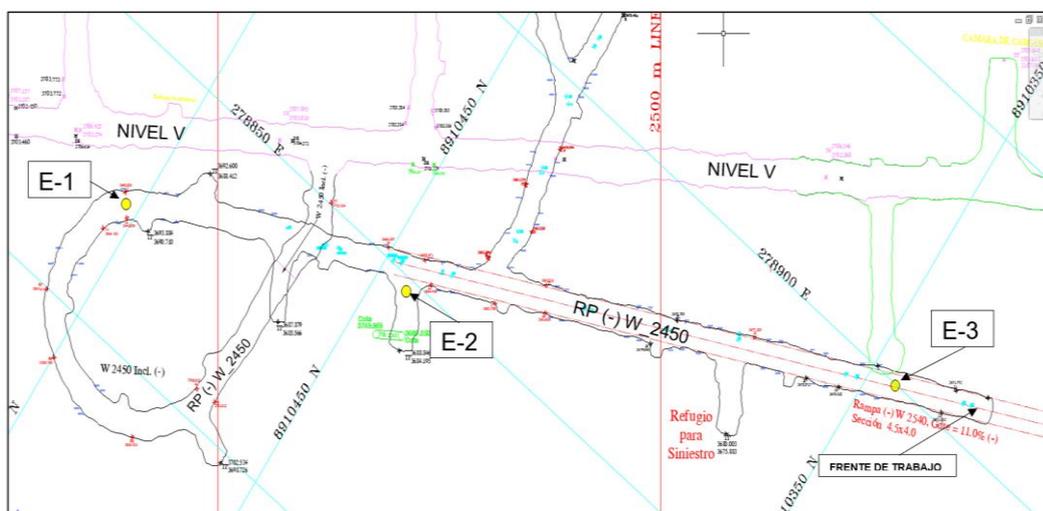


Figura 5.5 Puntos de Monitoreo
Fuente: Elaboración propia

b) PARAMETROS REGISTRADOS

Los parámetros a ser medidos y registrados en los puntos de monitoreo para la recopilación de datos se muestran en siguiente tabla 5.2:

Tabla 5.2 Tabla de parámetros medibles en campo

<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación y nivel del punto de monitoreo
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: Altura y Ancho de labor
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad promedio de aire
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de bulbo seco
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de bulbo húmedo
<ul style="list-style-type: none"> • Humedad relativa
<ul style="list-style-type: none"> • Presión barométrica.

Fuente: Elaboración propia

La ejecución del muestreo y registro inicial de condiciones termo ambientales del circuito de ventilación auxiliar de la labor RP (-) W_2450, se realizó para obtener un registro de las condiciones termo ambientales en una operación diaria que permita ratificar una representatividad de los datos en la labor de análisis.

En cada proceso de muestreo se registró los parámetros indicados en la Tabla 5.2, los registros de Presión Barométrica, Humedad Relativa, Temperatura de Bulbo seco y Temperatura de bulbo húmedo, son tomados utilizando un termo anemómetro digital Kestrel 3500 (Figura 5.6)



Figura 5.6 Termo anemómetro digital kestrel 3500
Fuente: Elaboración propia

Los datos de velocidad de aire son registrados utilizando un anemómetro multi función Testo 435-4 con sonda de hilo caliente (Figura 5.7).

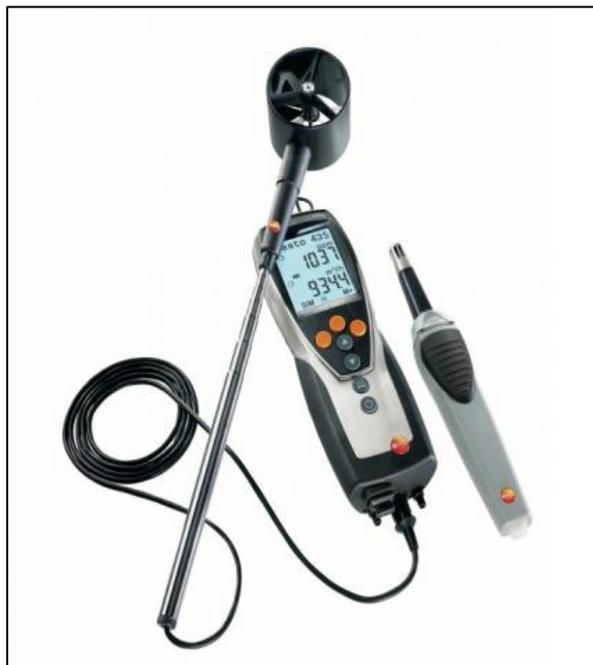


Figura 5.7: Anemómetro multifunción Testo 435-4
Fuente: Elaboración propia

Se realizó dos (02) procesos de muestreo, un primer proceso de muestreo se realizó con el ventilador de 30,000 CFM instalado y el segundo proceso de muestreo con el ventilador de 40,000 CFM instalado, ambos procesos de muestreo se describen a continuación:

a) Primer proceso de muestreo:

Fecha de muestreo: 02/02/2022 (DD/MM/AA)

Ventilador instalado: 30,000 CFM capacidad nominal

03 registro de datos

- Registro de datos punto de monitoreo E-1
- Registro de datos punto de monitoreo E-2
- Registro de datos punto de monitoreo E-3

Fecha de muestreo: 03/02/2022 (DD/MM/AA)

Ventilador instalado: 30,000 CFM capacidad nominal

03 registro de datos

- Registro de datos punto de monitoreo E-1
- Registro de datos punto de monitoreo E-2
- Registro de datos punto de monitoreo E-3

A continuación, se muestra la tabla 5.3 y tabla 5.4 con los datos del primer proceso de muestreo con fecha 02/02/2022 – 03/02/2022:

Tabla 5.3 Tabla de registro de datos con fecha 02/02/2022

E-1		E-2		E-3	
Velocidad Promedio		Velocidad Promedio		Velocidad Promedio	
Vp(fpm)		Vp(fpm)		Vp(fpm)	
190.0		214.0		152.0	
185.0		211.0		164.0	
182.0		220.0		160.0	
V _m (m/s)	0.94	V _m (m/s)	1.09	V _m (m/s)	0.81
Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco	
T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)	
12.8		25.1		28.6	
12.6		25.4		28.7	
13.1		24.7		28.7	
T _m (°C)	12.8	T _m	25.1	T _m	28.7
Humedad Relativa		Humedad Relativa		Humedad Relativa	
HR(%)		HR(%)		HR(%)	
62.1		47.0		46.4	
60.3		47.0		46.3	
61.0		47.0		46.3	
HR _m (%)	61.1	HR _m	47.0	HR _m	46.3
Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo	
T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)	
8.1		16.2		19.1	
8.3		16.3		19.0	
8.2		16.4		19.1	
T _m (°C)	8.2	T _m	16.3	T _m	19.1
Presion Barometrica		Presion Barometrica		Presion Barometrica	
P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)	
631.0		630.6		633.7	
630.9		630.7		633.8	
631.0		630.6		633.8	
P _m (kPa)	63.1	P _m (kPa)	63.06	P _m (kPa)	63.38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4 Tabla de registro de datos con fecha 03/02/2022

E-1		E-2		E-3	
Velocidad Promedio		Velocidad Promedio		Velocidad Promedio	
Vp(fpm)		Vp(fpm)		Vp(fpm)	
192.0		215.0		155.0	
190.0		210.0		160.0	
187.0		215.0		155.0	
V _m (m/s)	0.96	V _m (m/s)	1.08	V _m (m/s)	0.80
Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco	
T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)	
12.7		25.0		28.5	
12.7		25.3		28.5	
12.6		24.9		28.6	
T _m (°C)	12.7	T _m	25.1	T _m	28.5
Humedad Relativa		Humedad Relativa		Humedad Relativa	
HR(%)		HR(%)		HR(%)	
62.0		47.0		46.3	
60.5		46.5		46.3	
60.8		47.0		46.5	
HR _m (%)	61.1	HR _m	46.8	HR _m	46.4
Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo	
T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)	
8.0		16.3		19.0	
8.1		16.3		19.1	
8.4		16.4		19.3	
T _m (°C)	8.2	T _m	16.3	T _m	19.1
Presion Barometrica		Presion Barometrica		Presion Barometrica	
P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)	
631.0		630.0		633.0	
631.0		630.4		633.0	
631.0		630.6		633.8	
P _m (kPa)	63.1	P _m (kPa)	63.03	P _m (kPa)	63.33

Fuente: Elaboración propia



*Figura 5.8: Toma de registro en campo RP (-) W_2450
Fuente: Elaboración propia*

b) Segundo proceso de muestreo:

Fecha de muestreo: 09/02/2022 (DD/MM/AA)

Ventilador instalado: 40,000 CFM capacidad nominal

03 registro de datos

- Registro de datos punto de monitoreo E-1
- Registro de datos punto de monitoreo E-2
- Registro de datos punto de monitoreo E-3

Fecha de muestreo: 10/02/2022 (DD/MM/AA)

Ventilador instalado: 40,000 CFM capacidad nominal

03 registro de datos

- Registro de datos punto de monitoreo E-1
- Registro de datos punto de monitoreo E-2
- Registro de datos punto de monitoreo E-3

A continuación, se muestra la tabla 5.5 y tabla 5.6 con los datos del segundo proceso de muestreo con fecha 09/02/2022 – 10/02/2022:

Tabla 5.5 Tabla de registro de datos con fecha 09/02/2022

E-1		E-2		E-3	
Velocidad Promedio		Velocidad Promedio		Velocidad Promedio	
Vp(fpm)		Vp(fpm)		Vp(fpm)	
210.0		245.0		214.0	
215.0		250.0		220.0	
218.0		242.0		212.0	
V _m (m/s)	1.09	V _m (m/s)	1.25	V _m (m/s)	1.09
Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco	
T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)	
12.9		19.5		23.2	
12.7		19.6		23.5	
12.6		19.5		23.8	
T _m	12.7	T _m	19.5	T _m	23.5
Humedad Relativa		Humedad Relativa		Humedad Relativa	
HR(%)		HR(%)		HR(%)	
60.5		58.0		54.3	
61.0		58.0		54.7	
61.3		58.5		54.6	
HR _m	60.9	HR _m	58.2	HR _m	54.5
Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo	
T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)	
8.1		13.4		16.4	
8.1		13.6		16.4	
8.2		13.7		16.3	
T _m	8.1	T _m	13.6	T _m	16.4
Presion Barometrica		Presion Barometrica		Presion Barometrica	
P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)	
631.0		631.2		631.0	
631.0		630.9		631.0	
631.0		630.8		631.0	
P _m (kPa)	63.10	P _m (kPa)	63.10	P _m (kPa)	63.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6 Tabla de registro de datos con fecha 10/02/2022

E-1		E-2		E-3	
Velocidad Promedio		Velocidad Promedio		Velocidad Promedio	
Vp(fpm)		Vp(fpm)		Vp(fpm)	
212.0		246.0		210.0	
208.0		252.0		215.0	
205.0		248.0		215.0	
V _m (m/s)	1.06	V _m (m/s)	1.26	V _m (m/s)	1.08
Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco		Temperatura de bulbo seco	
T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)		T _{bs} (°C)	
12.6		19.5		23.3	
12.6		19.4		23.3	
12.6		19.4		23.4	
T _m	12.6	T _m	19.4	T _m	23.3
Humedad Relativa		Humedad Relativa		Humedad Relativa	
HR(%)		HR(%)		HR(%)	
61.0		58.5		54.5	
61.0		58.5		54.5	
61.3		58.5		54.3	
HR _m	61.1	HR _m	58.5	HR _m	54.4
Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo		Temperatura de bulbo humedo	
T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)		T _{bh} (°C)	
8.2		13.6		16.4	
8.2		13.8		16.2	
8.2		13.8		16.2	
T _m	8.2	T _m	13.7	T _m	16.3
Presion Barometrica		Presion Barometrica		Presion Barometrica	
P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)		P _{BAR} (hPa)	
630.0		631.0		630.6	
631.0		631.0		630.0	
630.0		630.8		631.0	
P _m (kPa)	63.03	P _m (kPa)	63.09	P _m (kPa)	63.1

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE VELOCIDAD DE AIRE EN LA LABOR.

La estación de medición de datos establecidas (E-1 / E-2 / E-3), es la sección que presento la mayor uniformidad en su construcción.

La lectura de velocidad de aire se realizó con el registro de 09 posiciones (agrupados en 03 posiciones – hastial derecho, hastial izquierdo y parte central de la sección), con cambios cada 10 segundos, la lectura final es la velocidad media.

La altura se consideró el promedio de tres (03) mediciones A1, A2 y A3 como muestra la Figura 5.9

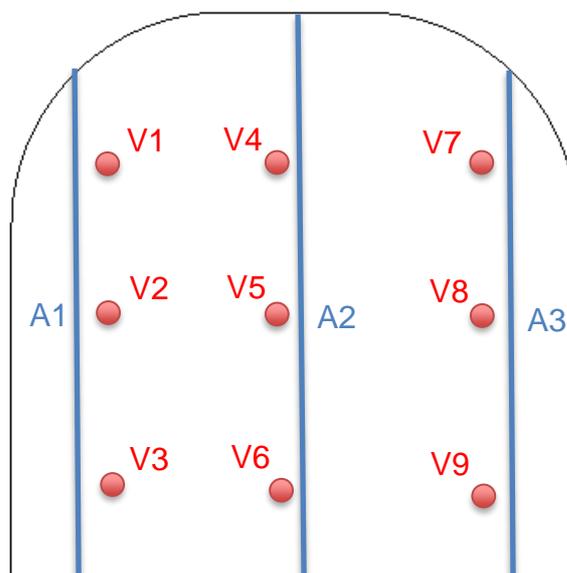


Figura 5.9: Sección de labor
Fuente: *Elaboración propia*

En el proceso de muestreo se realizó las mediciones de sección de la labor y velocidad promedio de flujo de aire que permitió el cálculo de caudal de aire en conjunto con las condiciones termo ambientales.

A continuación, se muestra en la Tabla 5.7 las dimensiones de sección en los puntos de monitoreo

Tabla 5.7 Tabla de dimensiones de sección

AREA SECCION E-1 (INLET):		AREA SECCION E-2 (OUTLET):		AREA: SECCION E-3 (FRENTE)	
ANCHO (mts)	5.1	ANCHO (mts)	5.1	ANCHO (mts)	5.0
ALTURA (mts)	5.6	ALTURA (mts)	4.9	ALTURA (mts)	4.2
F.C	9/10	F.C	9/10	F.C	9/10
A MANGA (m2)	0.0	A MANGA (m2)	0.0	A MANGA (m2)	0.52
AREA TOTAL(M2)		AREA TOTAL(M2)		AREA TOTAL(M2)	
25.704		22.491		18.381	

Fuente: Elaboración propia

Los registros diarios de medición, se recolectaron en base al **Anexo 01**, se recolecto mediciones de gases, temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, presión barométrica, humedad relativa.

Los registros diarios de medición de velocidad de aire, se recolectaron en base al **Anexo 02**, se recolecto mediciones de velocidad de aire y dimensiones de la sección transversal de excavación en los puntos de monitoreo.

5.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Al obtener la data recolectada del muestreo de condiciones termo ambientales, velocidad de flujos de aire y dimensiones de sección, se realizó el procesamiento de los datos utilizando el software Microsoft Excel 2019.

5.2.1 Selección de datos representativos

Terminado el primer proceso de muestreo por un periodo de 48 horas, se procedió a realizar la selección de cada una de los registros con especial cuidado de mantener la representatividad de los datos. Para ello se separó las muestras que se asemejan con mayor exactitud al promedio de los datos registrados en campo.

DATOS DE INGRESO (INLET) Y SALIDA (OUTLET) DEL SISTEMA

El procesamiento de información requirió previamente, una distinción entre los datos que ingresan al sistema de ventilación denominados “Datos de ingreso (INLET)” y datos de salida del sistema de ventilación denominados “Datos de salida (OUTLET)”, es importante precisar que esta distinción de datos, se requirió para determinar cuanta distancia recorre el aire dentro del sistema de ventilación auxiliar antes de salir de la zona de influencia y basados en el análisis psicrométrico, determinar la cantidad de calor que es transferido al sistema de ventilación auxiliar, lo cual permitió mediante simulaciones proyectar en función al caudal de aire y sus propiedades psicrométricas, el alcance máximo que recorrerá el aire, manteniendo condiciones termo ambientales dentro de los estándares.

Con los datos obtenidos en campo mostrados en la Tabla 5.3, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para obtener los parámetros psicrométricos, utilizando

las fórmulas descritas en la figura 2.1 (*Este resumen de ecuaciones, son programados en una hoja de cálculo, para proporcionar un medio rápido y exacto para determinar valores psicrométricos basados en los parámetros de presión barométrica, temperatura de bulbo húmedo y seco entre otros.*)

La tabla 5.8 muestra los resultados obtenidos de los datos de entrada E-1 (INLET), los cuales al ingresar en la hoja de cálculo de las fórmulas descritas de la figura 2.1, se obtuvo los siguientes resultados de sus parámetros psicrométricos:

Tabla 5.8 Determinación de parámetros psicrométricos de los puntos E-1 INLET

PARAMETROS	ABREV.	INLET / E-1	UNIDADES
<i>Presion Barometrica</i>	P	63.10	kPa
<i>Temperatura bulbo seco</i>	T_d	12.8	°C
<i>Temperatura bulbo humedo</i>	T_w	8.2	°C
<i>Velocidad Promedio</i>	V_p	0.94	m/s
<i>Presion de Vapor de Agua Saturado</i>	e_{sw}	1.0871	kPa
<i>Contenido de Humedad saturado</i>	X_s	0.010905	Kg/Kg de aire seco
<i>Calor Latente de Evaporacion</i>	L_w	2482934.8	J/Kg de Agua
<i>Sigma Heat</i>	S	35316.22	J/Kg de aire seco
<i>Contenido de Humedad a $T^*(x)$</i>	X	0.00900	Kg/Kg de aire seco
<i>Presion de Vapor de Agua a $T^*(x)$</i>	e	0.8997	kPa
<i>Densidad Aparente</i>	$\rho_{(app)}$	0.7577	Kg de aire seco/m ³
<i>Densidad Actual</i>	$\rho_{(act)}$	0.7645	Kg de aire humedo/m ³
<i>Humedad Relativa</i>	HR	61.1	%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5.9 muestra los resultados obtenidos de los datos de salida E-2 (OUTLET), los cuales al ingresar en la hoja de cálculo de las fórmulas descritas de la figura 2.1, se obtuvo los siguientes resultados de sus parámetros psicrométricos:

Tabla 5.9 Determinación de parámetros psicrométricos de los puntos E-2 OUTLET

PARAMETROS	ABREV.	OUTLET / E-2	UNIDADES
Presión Barométrica	P	63.06	kPa
Temperatura bulbo seco	T_d	25.1	°C
Temperatura bulbo húmedo	T_w	16.3	°C
Velocidad Promedio	V_p	1.09	m/s
Presión de Vapor de Agua Saturado	e_{sw}	1.8528	kPa
Contenido de Humedad saturado	X_s	0.018828	Kg/Kg de aire seco
Calor Latente de Evaporación	L_w	2463608.20	J/Kg de Agua
Sigma Heat	S	62765.50	J/Kg de aire seco
Contenido de Humedad a $T^{\circ}(x)$	X	0.01515	Kg/Kg de aire seco
Presión de Vapor de Agua a $T^{\circ}(x)$	e	1.4995	kPa
Densidad Aparente	$\rho_{(app)}$	0.7192	Kg de aire seco/m ³
Densidad Actual	$\rho_{(act)}$	0.7301	Kg de aire húmedo/m ³
Humedad Relativa	HR	47.0	%

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados generados en la Tabla 5.8 y Tabla 5.9, se observó las condiciones para proceder con el análisis y discusión de resultados.

CAPITULO VI

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 ANALISIS DE LA INFORMACION

Al recopilar y procesar los datos, se ejecutan cálculos preliminares, para el caso de la presente investigación, la obtención de las propiedades psicrométricas de los puntos de entrada y salida de aire.

Obtener las propiedades psicrométricas permite ejecutar un análisis que indique cuanto es el aumento de calor promedio por metro que recorre el aire dentro del sistema de ventilación de la labor, lo cual permite deducir si de acuerdo a las propiedades psicrométricas presentes se mejorará las condiciones termo ambientales, con un aumento de caudal de aire que permita tener un alcance en distancia con las condiciones termo ambientales dentro de lo que indica la normativa.

Se requirió determinar con los datos obtenidos cuanto calor añadido se transfiere al aire a medida que transcurre por el sistema auxiliar de ventilación, para este fin se requirió analizar dos parámetros, primero cuanto es el flujo masico de aire seco que

ingresa al sistema y segundo cuanto es la diferencia del parámetro “sigma Heat” que existe entre el punto de entrada y de salida de aire.

El flujo másico (M) está dado por la siguiente ecuación:

$$M = Q \times \rho(\text{aparente})(\text{Entrada de aire}) \dots \dots \dots \left(\frac{\text{kg aire seco}}{\text{s}}\right)$$

Donde:

M = Flujo másico en $\frac{\text{kg aire seco}}{\text{s}}$

Q = Caudal de aire en m^3/min

ρ = densidad aparente en $\frac{\text{kg aire seco}}{\text{m}^3}$

Para lo cual ejecutamos el cálculo preliminar de caudal de aire de entrada al sistema tabla 5.3 y tabla 5.7 (Punto de monitoreo E - 3), el cual está dado por:

$$Q = A \times V \dots \dots \dots \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$Q = 14.82 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Donde:

Q = Caudal de aire en m^3/min

A = Área de la sección en m^2

V = Velocidad promedio del aire en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Con estos datos se determina el flujo másico, de acuerdo a la ecuación, tenemos:

$$M = 14.82 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0.7384 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{m}^3}$$

$$M = 10.94 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{s}}$$

Con el cálculo del flujo masico de aire seco, se procedió a ejecutar el cálculo de diferencia de calor Sigma o Sigma Heat entre la entrada de aire (E-1) y salida de aire (E-2), los datos son tomados de la tabla 5.8 y tabla 5.9

Sigma Heat en el punto de salida de aire del sistema E-2

$$S2 = 62765.50 \text{ J/kg aire seco}$$

Sigma Heat en el punto de entrada de aire al sistema E-1

$$S1 = 35316.22 \text{ J/kg aire seco}$$

El calor sigma o sigma Heat, se considera como parámetro importante en el cálculo debido que es la energía que se extraería de una unidad de masa de aire húmedo si se enfriara a una cierta temperatura de referencia bajo y al mismo tiempo, se elimina cualquier condensación formada durante el proceso. Debido a que el calor sigma asume que se eliminará la condensación, cualquier energía que se extraiga enfriando el vapor de agua por debajo de su punto de condensación no cuenta para el calor sigma, es por eso que el concepto de sigma heat es más relevante que la entalpia para utilizarlo en la minería, para cálculos relacionados con la regulación de la temperatura del aire de la mina.

Se calculó el aumento de la temperatura a lo largo del recorrido, basado en la variación del Sigma Heat:

$$\Delta S = S2 - S1$$

$$\Delta S = 62765.50 \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}} - 35316.22 \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}}$$

$$\Delta S = 27,449.3 \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}}$$

Por lo tanto, el calor añadido estará dado por:

$$Q_o \text{ (añadido)} = M \times \Delta S \left(\frac{\text{kg aire seco}}{\text{s}} \times \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}} \right)$$

Donde:

Q_o = Calor transferido o añadido

M = Flujo Masico

ΔS = Variación de Sigma Heat

$$Q_{\text{(añadido)}} = 10.94 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{s}} \times 27,449.3 \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{\text{(añadido)}} = 300,310.3 \frac{\text{J}}{\text{s}} / Q_{\text{(añadido)}} = 300,310.3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{(añadido)}} = 330.3 \text{ KW (kilo watts)}$$

Considerando de acuerdo al diagrama de la labor y las distancias medidas y corroboradas en el levantamiento topográfico en la figura 5.2, el recorrido total del aire desde el punto de monitoreo “E – 1” (INLET) y “E – 2” (OUTLET) dentro del sistema de ventilación auxiliar.

- Recorrido del aire en el ingreso: E – 1 / E - 3 = 170 metros
- Recorrido del aire en la salida: E – 3 / E – 2 = 120 metros
- Recorrido total del aire: E – 1 / E – 2 = 290 metros

Se determina de los cálculos realizados, que el calor añadido al sistema en el recorrido de 290 metros será:

$$\text{Calor añadido por metro lineal} = Q_{\text{(añadido)}} / \text{Recorrido total}$$

$$\text{Calor añadido por metro lineal} = 330.3 \text{ KW} / 290 \text{ m}$$

$$\underline{\text{Calor añadido por metro lineal} = 1.036 \text{ KW/m}}$$

De acuerdo a los datos obtenidos, el calor añadido al sistema de ventilación será de 1.036 KW/m, por lo cual se puede proyectar que a 10 metros del punto de ingreso de aire fresco INLET “E – 1” el sistema habrá añadido 10,356 watts al aire en promedio.

El calor transferido, está dado por la siguiente formula:

$$Q = m C_e \Delta T$$

Donde:

Q = Calor transferido

m = masa

C_e = Calor especifico del aire seco

ΔT = Variación de temperatura

En el sistema de estudio, nos brinda de acuerdo a los cálculos ejecutados el calor transferido en el sistema por metro recorrido, lo cual nos permite determinar la temperatura proyectada en cada tramo del recorrido de aire.

$$Q = M C_e \Delta T$$

$$Q = M C_e (T_f - T_i)$$

$$T_f = \frac{Q}{M \times C_e} + T_i$$

Donde:

Q = Calor transferido

M = Flujo Masico de aire

C_e = Calor especifico del aire seco

T_f = Temperatura final

T_i = Temperatura inicial

El calor especifico del aire seco a una atmosfera (101.325 kPa) dentro del intervalo de temperatura comprendido entre -40°C y 60°C varía desde 0.997 kJ/kg.°K hasta

1.022 kJ/kg.°K, en el presente caso de estudio, utilizaremos el valor medio de 1.005 kJ/kg.°K.

Definiendo estas fórmulas podemos proyectar la temperatura en tramos de 10 metros, para generar la tendencia del sistema, considerando como temperatura inicial el punto de ingreso de aire $E - 1 = 12.8^{\circ} C = 285.95^{\circ} K$

Primera Simulación con caudal de 30,000 CFM

Se generó la siguiente tabla 6.1 con un flujo másico simulado de 30,000 CFM en función a la fórmula:

$$T_f = \frac{Q}{M \times C_e} + T_i$$

Donde:

Q = Calor transferido

M = Flujo Másico de aire

C_e = Calor específico del aire seco

T_f = Temperatura final

T_i = Temperatura inicial

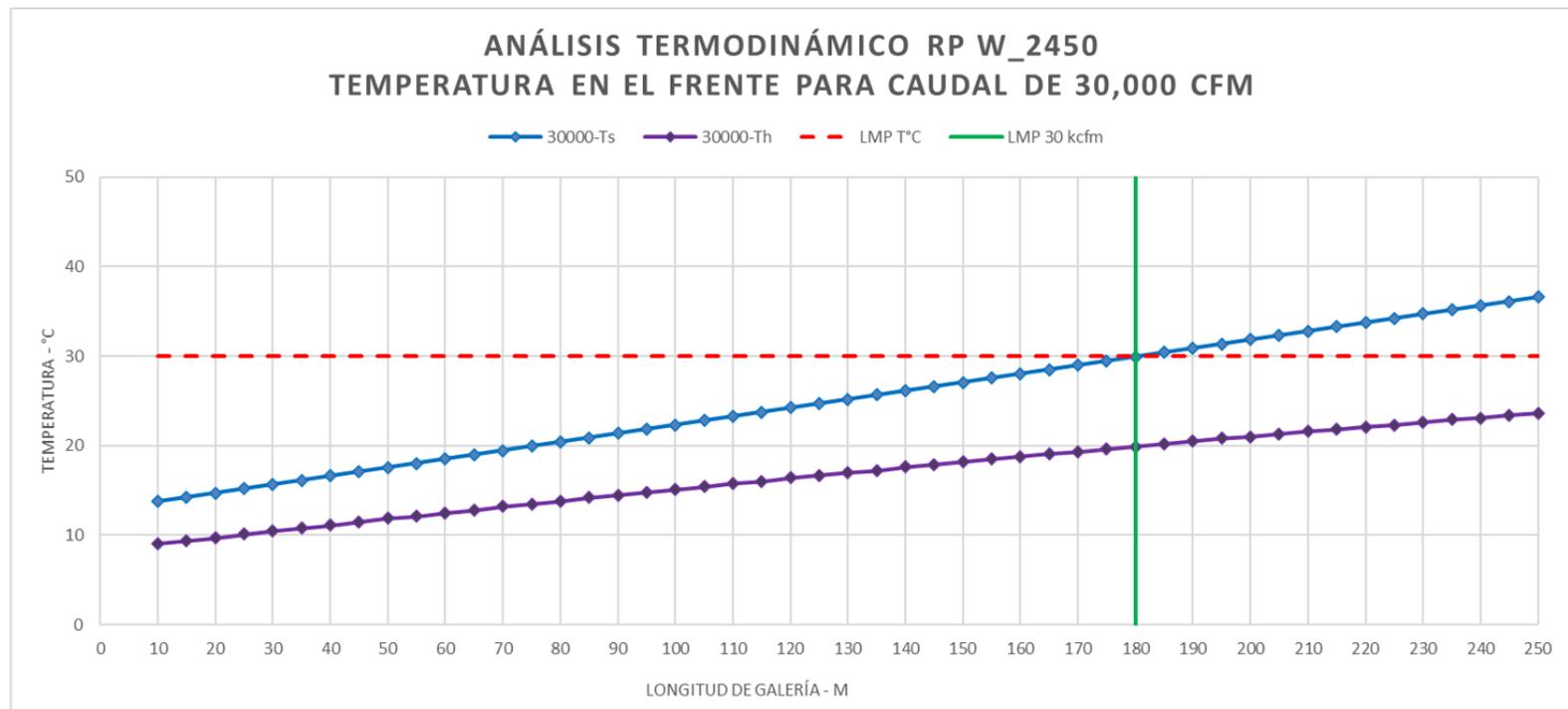
Y utilizando los cálculos realizados se obtiene:

Tabla 6.1 Simulación de temperatura con caudal de 30,000 CFM

Longitud	W Q	W/K M x Ce	Grados	
			K Tf	°C
10	10356	10880.0	286.90	13.75
15	15533	10880.0	287.38	14.23
20	20711	10880.0	287.85	14.70
25	25889	10880.0	288.33	15.18
30	31067	10880.0	288.81	15.66
35	36244	10880.0	289.28	16.13
40	41422	10880.0	289.76	16.61
45	46600	10880.0	290.23	17.08
50	51778	10880.0	290.71	17.56
55	56955	10880.0	291.18	18.03
60	62133	10880.0	291.66	18.51
65	67311	10880.0	292.14	18.99
70	72489	10880.0	292.61	19.46
75	77666	10880.0	293.09	19.94
80	82844	10880.0	293.56	20.41
85	88022	10880.0	294.04	20.89
90	93200	10880.0	294.52	21.37
95	98377	10880.0	294.99	21.84
100	103555	10880.0	295.47	22.32
105	108733	10880.0	295.94	22.79
110	113911	10880.0	296.42	23.27
115	119089	10880.0	296.90	23.75
120	124266	10880.0	297.37	24.22
125	129444	10880.0	297.85	24.70
130	134622	10880.0	298.32	25.17
135	139800	10880.0	298.80	25.65
140	144977	10880.0	299.28	26.13
145	150155	10880.0	299.75	26.60
150	155333	10880.0	300.23	27.08
155	160511	10880.0	300.70	27.55
160	165688	10880.0	301.18	28.03
165	170866	10880.0	301.65	28.50
170	176044	10880.0	302.13	28.98
175	181222	10880.0	302.61	29.46
180	186399	10880.0	303.08	29.93
185	191577	10880.0	303.56	30.41
190	196755	10880.0	304.03	30.88
195	201933	10880.0	304.51	31.36
200	207111	10880.0	304.99	31.84
205	212288	10880.0	305.46	32.31
210	217466	10880.0	305.94	32.79
215	222644	10880.0	306.41	33.26
220	227822	10880.0	306.89	33.74
225	232999	10880.0	307.37	34.22
230	238177	10880.0	307.84	34.69
235	243355	10880.0	308.32	35.17
240	248533	10880.0	308.79	35.64
245	253710	10880.0	309.27	36.12
250	258888	10880.0	309.74	36.59

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una gráfica (Figura 6.1) que refleja los datos obtenidos en la tabla 6.1, contrastando el caudal y la temperatura simulados.



Ts: Temperatura de bulbo seco
 Th: Temperatura de bulbo húmedo

Figura 6.1 Simulación de temperatura con caudal de 30,000 CFM
 Fuente: Elaboración propia

Los datos generados en la simulación en la tabla 6.1 y figura 6.1, son contrastados con los datos de campo, se aprecia como la simulación indica que a los 170.0 metros desde el punto de instalación del ventilador, se alcanzara la temperatura de 28.98°C y en la fila sombreada de color amarillo indica que a 180.0 metros se alcanzara una temperatura de 30°C.

Los datos de campo mostrados en la tabla 5.3, registran a los 170 metros una temperatura real de 28.7°C.

La simulación generada en la tabla 6.1, muestra un porcentaje de precisión del 99.04%, lo cual corrobora el alcance y validez de la simulación generada.

Segunda Simulación con caudal de 40,000 CFM

Con los resultados y el porcentaje de precisión obtenidos, se procedió a generar la simulación con un caudal de 40,000 CFM, para analizar los resultados generados.

Siguiendo el mismo procedimiento de la primera simulación, se generó la siguiente tabla 6.2 con un flujo másico simulado de 40,000 CFM:

Tabla 6.2 Simulación de temperatura con caudal de 40,000 CFM

Longitud	W Q	W/K M x Ce	Grados	
			K Tf	°C
10	10356	14506.6	286.66	13.51
15	15533	14506.6	287.02	13.87
20	20711	14506.6	287.38	14.23
25	25889	14506.6	287.73	14.58
30	31067	14506.6	288.09	14.94
35	36244	14506.6	288.45	15.30
40	41422	14506.6	288.81	15.66
45	46600	14506.6	289.16	16.01
50	51778	14506.6	289.52	16.37
55	56955	14506.6	289.88	16.73
60	62133	14506.6	290.23	17.08
65	67311	14506.6	290.59	17.44
70	72489	14506.6	290.95	17.80
75	77666	14506.6	291.30	18.15
80	82844	14506.6	291.66	18.51
85	88022	14506.6	292.02	18.87
90	93200	14506.6	292.37	19.22
95	98377	14506.6	292.73	19.58
100	103555	14506.6	293.09	19.94
105	108733	14506.6	293.45	20.30
110	113911	14506.6	293.80	20.65
115	119089	14506.6	294.16	21.01
120	124266	14506.6	294.52	21.37
125	129444	14506.6	294.87	21.72
130	134622	14506.6	295.23	22.08
135	139800	14506.6	295.59	22.44
140	144977	14506.6	295.94	22.79
145	150155	14506.6	296.30	23.15
150	155333	14506.6	296.66	23.51
155	160511	14506.6	297.01	23.86
160	165688	14506.6	297.37	24.22
165	170866	14506.6	297.73	24.58
170	176044	14506.6	298.09	24.94
175	181222	14506.6	298.44	25.29
180	186399	14506.6	298.80	25.65
185	191577	14506.6	299.16	26.01
190	196755	14506.6	299.51	26.36
195	201933	14506.6	299.87	26.72
200	207111	14506.6	300.23	27.08
205	212288	14506.6	300.58	27.43
210	217466	14506.6	300.94	27.79
215	222644	14506.6	301.30	28.15
220	227822	14506.6	301.65	28.50
225	232999	14506.6	302.01	28.86
230	238177	14506.6	302.37	29.22
235	243355	14506.6	302.73	29.58
240	248533	14506.6	303.08	29.93
245	253710	14506.6	303.44	30.29
250	258888	14506.6	303.80	30.65

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una gráfica (Figura 6.2) que refleja los datos obtenidos en la tabla 6.2, contrastando el caudal y la temperatura simulados

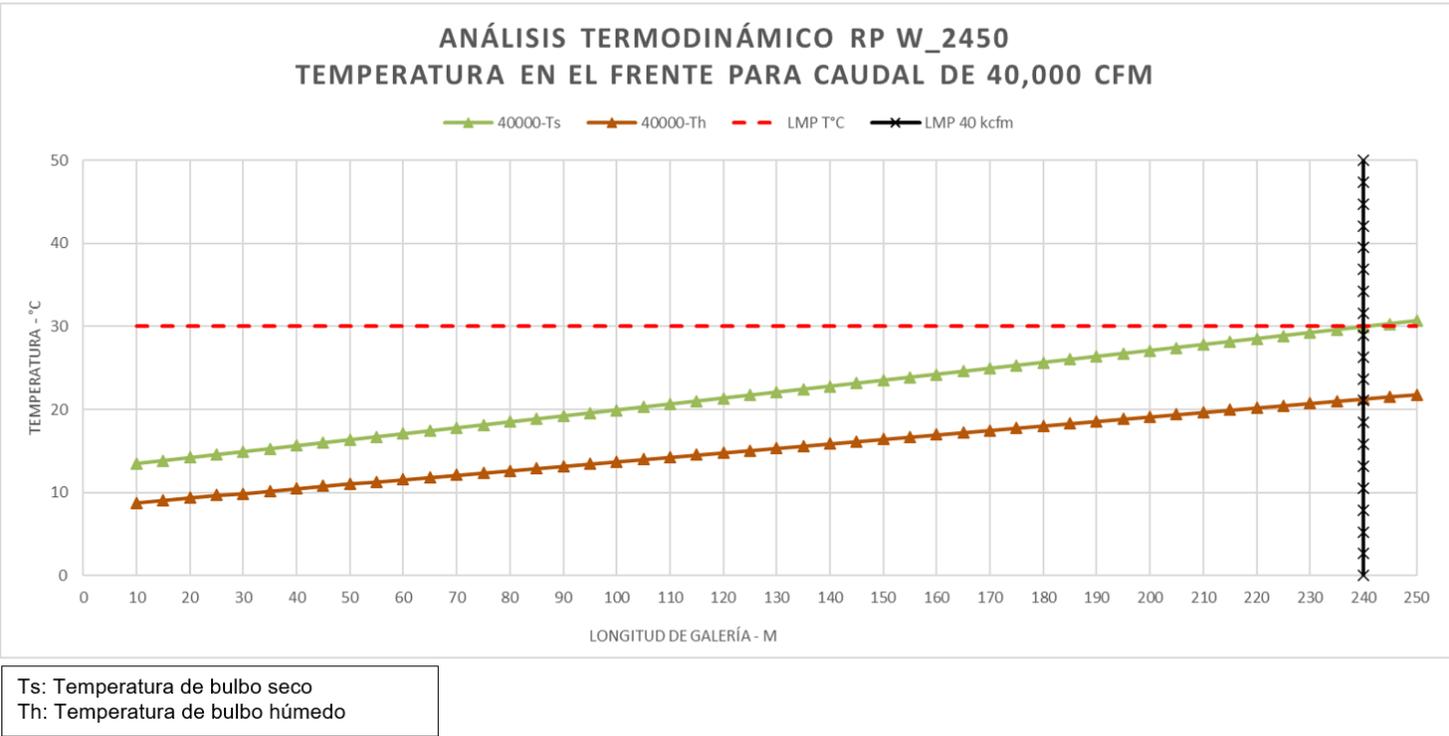


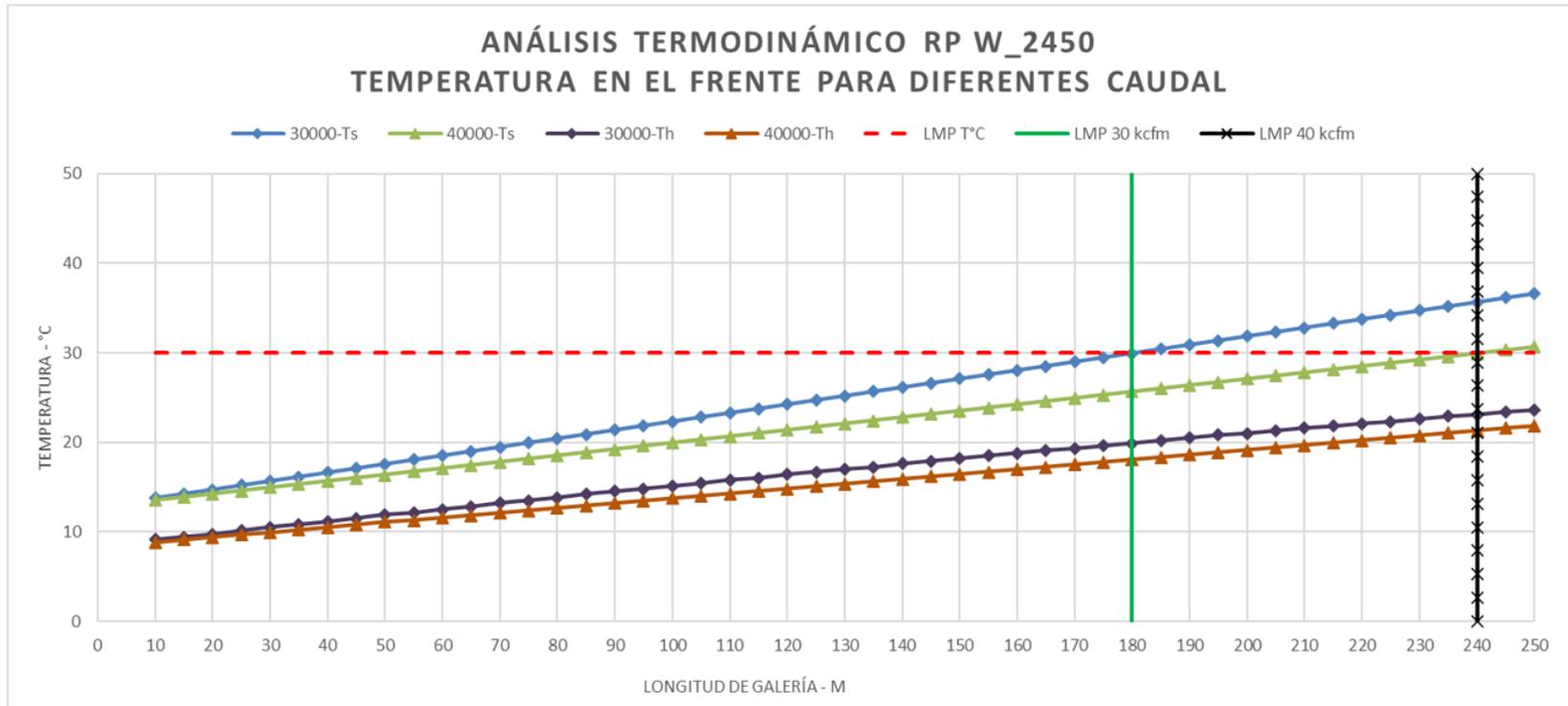
Figura 6.2 Simulación de temperatura con caudal de 40,000 CFM
 Fuente: Elaboración propia

Los datos generados en la simulación en la tabla 6.2 y figura 6.2, son contrastados con los datos de campo, se aprecia en la fila sombreada de color verde, como la simulación indica que a los 170.0 metros desde el punto de instalación del ventilador, se alcanzara la temperatura de 24.94°C y en la fila sombreada de color amarillo indica que a 240.0 metros se alcanzara una temperatura de 30°C.

Los datos de campo mostrados en la tabla 5.5, registran a los 170 metros una temperatura real de 23.5°C.

La simulación generada en la tabla 6.2, muestra un porcentaje de precisión del 95.60%, considerando que el caudal efectivo en campo alcanza los 41,200 CFM lo cual se evidencia en los datos de la tabla 5.5, lo cual corrobora el alcance y validez de la simulación generada.

La siguiente grafica (Figura 6.3), coloca en conjunto la figura 6.1 y figura 6.2, para contrastar la mejora de las condiciones termo ambientales para diferentes caudales simulados.



Ts: Temperatura de bulbo seco
Th: Temperatura de bulbo húmedo

Figura 6.3 Simulación de temperatura en el frente para diferentes caudales
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la figura 6.3, el desplazamiento de la recta de alcance del aire a temperatura menor a 30°C, desde los 180 metros hasta los 240 metros.

Con estos resultados obtenidos en las simulaciones efectuadas y corroborados en campo, la hipótesis propuesta es positiva, un análisis psicrométrico permite tomar decisiones para mejorar las condiciones termo ambientales de una labor minera.

CONCLUSIONES

- Se mejoró las condiciones termo ambientales de la labor RP (-) W 2450, suministrando un caudal de 40,000CFM, determinando de manera anticipada mediante el análisis psicrométrico, las condiciones termo ambientales que se generarían en campo.
- Desarrollar un análisis psicrométrico permitió determinar hasta que distancia logrará suministrar aire el ventilador, manteniendo las condiciones termo ambientales por debajo de los 30 ° C en función al caudal y propiedades psicrométricas del circuito de ventilación auxiliar existente.
- El sistema de ventilación auxiliar con un ventilador que insufla 40,000 CFM en el frente de labor, permitirá el desarrollo de las actividades 240 metros, medidos desde el punto de instalación del ventilador, antes de llegar exceder los 30°C.
- El resultado del análisis psicrométrico, como soporte para generar simulaciones a distintos caudales de aire, permite realizar predicciones de temperatura a una distancia determinada y la posterior validación y corroboración de estas predicciones contrastando los datos generados en la tabla 6.1 con los registros de campo de la tabla 5.3 y 5.4; y los datos generados de la tabla 6.2 contrastados con los registros de campo de la tabla 5.5 y 5.6, con un porcentaje de precisión entre los 95 y 99%, constituyen el argumento sólido para indicar que la hipótesis propuesta es verdadera, un adecuado análisis psicrométrico incide en mejorar las condiciones termo ambientales en labores mineras.

RECOMENDACIONES

- Se debe extender el análisis a caudales mayores de los 40,000 CFM, en función a disponer de ventiladores de mayor capacidad nominal y secciones de labor minera, que permita la instalación de mangas de mayor diámetro.
- Utilizar el análisis psicrométrico para la evaluación de proyectos de chimenea de ventilación en rampas de profundización, en el presente caso de análisis se establece que, en no más de 240 metros, medidos desde la instalación del ventilador al frente de trabajo, se deberá proyectar chimenea de ventilación que permita continuar el desarrollo de la RP (-) W_2450, sin exceder los 30°C.
- Utilizar el análisis psicrométrico, como criterio para una posible instalación de enfriadores de aire de ser necesarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bluhm, S. J., & Whillier, A. (1978). The design of spray chambers for bulk cooling of the air in mines. JOURNAL OF THE SOUTH AFRICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY.

Hartman, H. L., & Mutmansky, J., & Wang, Y.J. (1981) "MINE VENTILATION AND AIR CONDITIONING" (Second Edition)

Honeywell international. (2007). "ENGINEERING MANUAL OF AUTOMATIC CONTROLS. OBTENIDO DE PSYCHROMETRIC CHART FUNDAMENTALS"

Jiménez, P. (2011) "VENTILACION DE MINAS SUBTERRANEAS Y TUNELES"

McPherson, M. J. (2009), "SUBSURFACE VENTILATION AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING"

Naupari Escobar, D. (2014) 10º CONGRESO NACIONAL DE MINERÍA- "ESTUDIO PSICROMETRICO Y ANALISIS TECNICO DE APLICACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO EN MINA COBRIZA"

Novitzky, A. (1962) "VENTILATION OF MINE"

“REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERIA”

(2017) Perú D.S. 024-2016-EM y Modificatorias D.S. 023-2017-EM

Skochinsky, A. (1969) “MINE VENTILATION”

ANEXO 02: MONITOREO DE VELOCIDAD DE AIRE

FORMATO DE MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y LOS AGENTES FISICOS EN INTERIOR MINA	

MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
PRESIÓN	HORA	FECHA
631 Hpa	09:48 A.M.	2/02/2022
NOMBRE		
LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	ZONA
N° PERSONAS/EQUIPOS		PPF
OBSERVACIONES		NIVEL
		W
Ventilador de 30,000 CFM		

MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
PRESIÓN	HORA	FECHA
630.6 Hpa	10:12 A.M.	2/02/2022
NOMBRE		
LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	ZONA
N° PERSONAS/EQUIPOS		PPF
OBSERVACIONES		NIVEL
		W
Ventilador de 30,000 CFM		

MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
PRESIÓN	HORA	FECHA
633.8 Hpa	10:30 A.M.	2/02/2022
NOMBRE		
LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	ZONA
N° PERSONAS/EQUIPOS		PPF
OBSERVACIONES		NIVEL
		W
Ventilador de 30,000 CFM 01 manga de ventilacion de 32 pulgadas de diametro		

MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
PRESIÓN	HORA	FECHA
NOMBRE		
LABOR		
N° PERSONAS/EQUIPOS		
OBSERVACIONES		NIVEL

DPTO. VENTILACIÓN

Nombre: GUILLERMO COLLANTES DIAZ

FORMATO DE MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y LOS AGENTES FISICOS EN INTERIOR MINA	

	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
	PRESIÓN	HORA	FECHA
	631 Hpa	10:22 A.M.	3/02/2022
	NOMBRE	ZONA	NIVEL
LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	PPF	W
N° PERSONAS/EQUIPOS	-		
OBSERVACIONES	Ventilador de 30,000 CFM		

	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
	PRESIÓN	HORA	FECHA
	630.3 Hpa	10:40 A.M.	3/02/2022
	NOMBRE	ZONA	NIVEL
LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	PPF	W
N° PERSONAS/EQUIPOS	-		
OBSERVACIONES	Ventilador de 30,000 CFM		

	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
	PRESIÓN	HORA	FECHA
	633.3 Hpa	11:01 A.M.	3/02/2022
	NOMBRE	ZONA	NIVEL
LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	PPF	W
N° PERSONAS/EQUIPOS	-		
OBSERVACIONES	Ventilador de 30,000 CFM 01 manga de ventilacion de 32 pulgadas de diametro		

	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA		
	PRESIÓN	HORA	FECHA
	NOMBRE	ZONA	NIVEL
LABOR			
N° PERSONAS/EQUIPOS			
OBSERVACIONES			

DPTO. VENTILACIÓN

Nombre: GUILLERMO COLLANTES DIAZ

	FORMATO DE MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y LOS AGENTES FISICOS EN INTERIOR MINA	

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">631.0 Hpa</td> <td style="text-align: center;">09:18 A.M.</td> <td style="text-align: center;">9/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-1</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	631.0 Hpa	09:18 A.M.	9/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
631.0 Hpa	09:18 A.M.	9/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">631.0 Hpa</td> <td style="text-align: center;">09:38 A.M.</td> <td style="text-align: center;">9/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-2</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	631.0 Hpa	09:38 A.M.	9/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
631.0 Hpa	09:38 A.M.	9/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">631.0 Hpa</td> <td style="text-align: center;">09:56 A.M.</td> <td style="text-align: center;">9/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-3</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	631.0 Hpa	09:56 A.M.	9/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
631.0 Hpa	09:56 A.M.	9/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA					NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR				N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	-		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR																										
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	-																									

DPTO. VENTILACIÓN

Nombre: GUILLERMO COLLANTES DIAZ

	FORMATO DE MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y LOS AGENTES FISICOS EN INTERIOR MINA	

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">630.3 Hpa</td> <td style="text-align: center;">08:41 A.M.</td> <td style="text-align: center;">10/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-1</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	630.3 Hpa	08:41 A.M.	10/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
630.3 Hpa	08:41 A.M.	10/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-1	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">630.9 Hpa</td> <td style="text-align: center;">08:57 A.M.</td> <td style="text-align: center;">10/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-2</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	630.9 Hpa	08:57 A.M.	10/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
630.9 Hpa	08:57 A.M.	10/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-2	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">631.0 Hpa</td> <td style="text-align: center;">09:19 A.M.</td> <td style="text-align: center;">10/02/2022</td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td>RP (-) W_2450 / E-3</td> <td>PPF</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro</td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA	631.0 Hpa	09:19 A.M.	10/02/2022		NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	PPF	W	N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro		
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
631.0 Hpa	09:19 A.M.	10/02/2022																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR	RP (-) W_2450 / E-3	PPF	W																							
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES	Ventilador de 40,000 CFM 02 manga de ventilación de 32 pulgadas de diametro																									

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th colspan="3">MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">PRESIÓN</th> <th style="width: 33%;">HORA</th> <th style="width: 34%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <th>NOMBRE</th> <th>ZONA</th> <th>NIVEL</th> </tr> <tr> <td>LABOR</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° PERSONAS/EQUIPOS</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>OBSERVACIONES</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA			PRESIÓN	HORA	FECHA					NOMBRE	ZONA	NIVEL	LABOR				N° PERSONAS/EQUIPOS	-			OBSERVACIONES			
MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN INTERIOR MINA																										
PRESIÓN	HORA	FECHA																								
	NOMBRE	ZONA	NIVEL																							
LABOR																										
N° PERSONAS/EQUIPOS	-																									
OBSERVACIONES																										

DPTO. VENTILACIÓN

Nombre: GUILLERMO COLLANTES DIAZ