UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE TESIS

"ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS DE LA U.M. ALPAYANA"

PRESENTADO POR:

Bach. Paulo Patricio La Torre Palomino

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2023

Folio N° 035

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
Resolución de Facultad N° 223 - 2023 - FACIA - UNAM
Fecha: 27 de diciembre 2023

III. El Jurado ha dictaminado la (el) ....., TITULADO:
"ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS DE LA U.M. ALPAYANA"

Bachiller: Paulo Patricio LA TORRE PALOMINO

Asesor Principal: Dr. Christ Jesus BARRIGA PARIA

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:30 horas, del 28 de diciembre del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Dr. Arquímedes León VARGAS LUQUE
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Msc AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MGR. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Paulo Patricio La Torre Palomino
(Nombres y Apellidos)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS EN LA U.M. ALPAYANA

Tesis sustentada y aprobada el 28 de diciembre del 2023 estando el jurado dictaminador y asesor integrado por:

PRESIDENTE : …….
Dr. Arquímedes León VARGAS LUQUE

1ER MIEMBRO : …….
Mgr. Agapito FLORES JUSTO

2DO MIEMBRO : …….
Mgr. Juan Elias ROJAS CONDORI

ASESOR : …….
Dr. Christ Jesus BARRIGA PARIA

DEDICATORIA

A Dios por ser fuente de mi sabiduría, a mi quería familia, amigos y mentores, su inquebrantable apoyo ha sido mi mayor inspiración para ser luz en mi mano hacia el conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por su contribución a los sólidos conocimientos para mi vida profesional, asimismo, al Dr. Christ Barriga Paria, por la orientación y apoyo brindado en este trabajo de investigación.

Además, a mi familia por el apoyo incondicional, este logro es posible por su apoyo y orientación y gracias por ser parte fundamental de este viaje académico.

A los miembros del jurado calificador de la presente tesis, al presidente Dr. Arquimedes Leon Vargas Luque, al primer miembro Mgr. Agapito Flores Justo, segundo miembro, Mgr. Juan Elías Rojas Condori y un cordial agradecimiento al Mgr. Jorge Luis Tomas Florez Salas, quienes contribuyeron con recomendaciones y aportaciones para la calidad del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La presente tesis aborda un análisis detallado de los costos asociados a dos enfoques distintos para la implementación de un sistema de ventilación en la Unidad Minera Alpayana, ubicada en la zona de Cuerpos. El objetivo principal es identificar la opción más eficiente en términos económicos y que cumpla con los requisitos de caudal de aire establecidos por el reglamento del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

Se realiza una comparación entre la tradicional instalación de un ventilador de potencia de 600,000 cfm y la alternativa de construcción de una chimenea mediante el método de Raise Boring. Ambos métodos son evaluados en términos de inversión inicial, costos operativos a largo plazo y su capacidad de cumplir con los estándares de ventilación exigidos.

Los resultados indican que, si bien la instalación de un ventilador de 600,000 cfm presenta una inversión inicial menor, los costos operativos a lo largo del tiempo pueden ser significativos. Por otro lado, el Raise Boring, aunque con una inversión inicial más elevada, demuestra ser una opción rentable a largo plazo debido a sus menores costos operativos y mantenimiento.

Además, se destaca la importancia de cumplir con los estándares de ventilación establecidos por el reglamento del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM. En este contexto, se propone una solución híbrida: la construcción de una chimenea mediante Raise Boring combinada con un ventilador de menor potencia de 300,000 cfm, asegurando así el cumplimiento normativo y optimizando los costos operativos.

ABSTRACT

This thesis conducts a comprehensive analysis of the costs associated with two different approaches to implement a ventilation system in the Alpayana Mining Unit, located in the Cuerpos zone. The main objective is to identify the most cost-effective option that also complies with the airflow requirements set by the D.S. 024 – 2016 - EM modified by D.S. N° 023 - 2017 - EM regulations.

A comparison is made between the traditional installation of a 600 cfm power fan and the alternative construction of a chimney using the Raise Boring method. Both methods are evaluated in terms of initial investment, long-term operating costs, and their ability to meet ventilation standards.

Results indicate that while installing a 600 cfm fan presents a lower initial investment, long-term operating costs can be significant. On the other hand, Raise Boring, despite a higher initial investment, proves to be a more cost-effective option over time due to lower operating and maintenance costs.

Furthermore, the importance of complying with the ventilation standards set by D.S. 024 – 2016 - EM modified by D.S. N° 023 - 2017 - EM regulations is emphasized. In this context, a hybrid solution is proposed: constructing a chimney using raise boring combined with a lower-power 300 cfm fan, ensuring regulatory compliance and optimizing operating costs.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
1.1.1. Interrogante general 3
1.1.2. Interrogantes específicos 3
1.2. OBJETIVOS 3
1.2.1. Objetivo general 3
1.2.2. Objetivos específicos 3
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 4
1.4. HIPÓTESIS 8
1.4.1. Hipótesis general 8
1.4.2. Hipótesis específica 8
1.5. VARIABLES 9
1.5.1. Variable Independiente 9
1.5.2. Variable Dependiente 9
II. MARCO TEÓRICO 11
2.1. ANTECEDENTES 11
2.2. BASES TEÓRICAS 19
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 33
III. METODOLOGÍA 36
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 36
3.1.1. Tipo de investigación 36
3.1.2. Nivel de investigación 36
3.1.3. Diseño de investigación 36
3.2. ÁMBITO ESPACIAL 36
3.2.1. Ámbito espacial 36
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 37
3.3.1. Población 37
3.3.2. Muestra 38

3.4. INSTRUMENTOS 38
3.4.1. Técnica de recolección de datos 38
3.4.2. Instrumento de recolección de datos 38
3.4.3. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos 39
3.5. PROCEDIMIENTOS 39
3.5.1. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 39
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 40
3.6.1. Procesamiento de Datos 40
3.6.2. Presentación de Datos 40
3.6.3. Levantamiento y monitoreo de estaciones ventilación 40
3.6.4. Diseño de circuitos de ventilación y caracterización de ventiladores 40
3.6.5. Modelamiento, Simulación y Caracterización en Ventsim Design 5 42
3.6.6. Cálculo de caudal global requerido para el desarrollo de proyectos 42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43
4.1. RESULTADOS 43
4.1.1. Costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. 72
4.1.2.- Determinar los costos que ejercen en la aplicación del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana. 77
4.1.3.- Costos que se obtienen de la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. 83
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 85
4.2.1. Prueba de hipótesis 89
V. CONCLUSIONES 92
VI. RECOMENDACIONES 94
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95
VIII. ANEXOS 99

ANEXO 1 99
ANEXO 2 100
ANEXO 3 101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Cobertura o suministro de aire por zonas* 6

Tabla 2 *Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera* . 22

Tabla 3 *Factor de temperatura* 23

Tabla 4 *Composición del aire seco en % de volumen y peso* 25

Tabla 5 *Clasificación de los gases en minas subterráneas*..... 26

Tabla 6 *Efectos fisiológicos (CO)* 27

Tabla 7 *Efectos fisiológicos (H_2S)* 28

Tabla 8 *Efectos fisiológicos (NO_2)*..... 29

Tabla 9 *Efectos Fisiológicos (SO_2)* 30

Tabla 10 *Efectos fisiológicos (CO_2)*..... 32

Tabla 11 *Coordenadas UTM de la concesión minera* 37

Tabla 12 *Ingreso de aire fresco* 44

Tabla 13 *Ingreso de aire viciado* 47

Tabla 14 *Diferencia de caudales* 47

Tabla 15 *Caudal requerido por el número de trabajadores*..... 49

Tabla 16 *Factor de producción de acuerdo al consumo de madera* 50

Tabla 17 *Caudal de aire por consumo de madera*..... 51

Tabla 18 *Velocidad mínima por temperatura* 52

Tabla 19 *Caudal de aire por temperaturas altas*..... 52

Tabla 20 *Caudal de aire para equipos diésel – Jumbos y Dumpers*..... 55

Tabla 21 *Caudal de aire para Scooptrams y Telescópicos*..... 56

Tabla 22 *Caudal de aire para camionetas*..... 57

Tabla 23 *Caudal de aire para Canter, Volquete y Motoniveladora* 58

Tabla 24 *Resumen del caudal de aire*..... 59

Tabla 25 *Caudal requerido por fugas*..... 60

Tabla 26 *Caudal requerido total*..... 61

Tabla 27 *Cobertura de aire en general*..... 62

Tabla 28 *Cobertura de aire por zonas*..... 64

Tabla 29 *Cálculo de requerimiento de caudal por zonas*..... 64

Tabla 30 *Cobertura de aire por zonas en %*..... 65

Tabla 31 *Proyección de cobertura de aire general* 65

Tabla 32 *Proyección de cobertura zona Cuerpos*..... 66

Tabla 33 *Cálculo de caída de presión y consumo de energía* 69

Tabla 34 *Costo de inversión en Raise Boring 338 de 10'*..... 73

Tabla 35 *Costo de operación del Raise Boring 338* 74

Tabla 36 *Costo de inversión de infraestructura y equipos del Raise Boring 338*..... 75

Tabla 37 *Costo del sistema de ventilación con la construcción del RB 338 y un ventilador de 300,000 CFM*..... 76

Tabla 38 *Costo de inversión de infraestructura y equipos del ventilador 600,000 CFM* 78

Tabla 39 *Costo de operación del ventilador 600,000 CFM* 79

Tabla 40 *Costo del sistema de ventilación aumentado la capacidad de extracción a 600,000 CFM al RB 131* 81

Tabla 41 *Comparativa de costos dentro de 10 años* 83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Cobertura de aire por zonas* 6

Figura 2 *Ubicación geográfica de la unidad minera*..... 37

Figura 3 *Cobertura de aire general*..... 63

Figura 4 *Proyección de cobertura en zona de Cuerpos*..... 67

Figura 5 *Caudal vs Caída de presión* 70

Figura 6 *Caudal vs Costo anual* 71

Figura 7 *Costo del sistema de ventilación con la construcción del RB 338 y con un ventilador de capacidad de 300,000 CFM*..... 77

Figura 8 *Costo del sistema de ventilación aumentando la capacidad de extracción a 600,000 CFM al RB131* 82

Figura 9 *Comparativa de costos (US$)*..... 84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 *Cálculo de requerimiento de aire*…….. ……..20

Ecuación 2 *Caudal por el número de trabajadores*……20

Ecuación 3 *Caudal requerido por el consumo de madera*……..21

Ecuación 4 *Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo* ……..23

Ecuación 5 *Caudal requerido por equipo con motor petrolero*…….….23

Ecuación 6 *Caudal requerido por fugas*……..…24

Ecuación 7 *Sumatoria total de caudal requerido* ……..……24

Ecuación 8 *Diferencia porcentual* ……..……...…47

INTRODUCCIÓN

Esta tesis se centra en la importancia de la ventilación en ambientes subterráneos, específicamente en la Unidad Minera Alpayana. La ventilación es esencial para la seguridad y bienestar de los trabajadores en entornos mineros, donde la calidad del aire y la temperatura son preocupaciones constantes. La Unidad Minera Alpayana busca optimizar su sistema de ventilación en la zona Cuerpos, equilibrando los estándares de seguridad con costos operativos sostenibles.

El estudio propuesto, titulado "Estudio comparativo de los costos del Sistema de Ventilación en la Zona Cuerpos de la U.M. Alpayana", tiene como objetivo analizar dos sistemas de ventilación: uno utilizando el equipo de Raise Boring y otro con ventiladores. Se evaluarán los costos de implementación, operación. El propósito es proporcionar a la Unidad Minera Alpayana y a la industria minera en general información crítica para la toma de decisiones informadas al seleccionar el sistema de ventilación más eficiente y rentable. La estructura de esta tesis se organiza en varios capítulos de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, la hipótesis de la investigación y las variables.

En el Capítulo II, se profundiza en los antecedentes de la investigación, el marco teórico, los insumos, los recursos del proyecto, la planificación y los costos operacionales, así como las definiciones de los términos utilizados en este trabajo.

El Capítulo III se dedica a explicar la metodología aplicada en la investigación, abordando la población, la muestra y el análisis de datos.

En el Capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos, la verificación de la hipótesis y la discusión de dichos resultados en comparación con otros trabajos de investigación.

Finalmente, se incluyen recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos en el último apartado de este documento.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El trabajo realizado se llevó a cabo en cumplimiento del Plan de Minado, siguiendo las directrices establecidas en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM. Se inició con una evaluación general del sistema de ventilación basada en el diagnóstico del levantamiento de ventilación de la mina durante el primer semestre del año. Este proceso implicó la colaboración del Gerente de Seguridad y Salud Ocupacional, el equipo de Planeamiento, Ventilación y el personal técnico de la empresa.

Se emplearon los equipos e instrumentos disponibles en la unidad minera para recopilar datos relacionados con las mediciones del flujo de ventilación, el balance de aire, los requerimientos de aire para ventilación por persona, los equipos diésel, la temperatura, las condiciones de las maderas y las posibles fugas. El objetivo principal de este trabajo era mantener y mejorar los niveles de ventilación actuales y garantizar el suministro de aire necesario para la mina en los próximos meses, tanto en las labores de explotación como en las de preparación en los niveles superiores, intermedios y en la profundización de la mina.

La mina subterránea en cuestión está dividida en tres áreas principales: Cuerpos, Esperanza y la Oroya, con porcentajes de producción que ascienden al 79%, 8% y 13%, respectivamente. Sin embargo, a pesar de esta distribución, la cobertura de aire disponible alcanza únicamente el 53% de la cantidad requerida. En vista de esta situación, se ha llevado a cabo un estudio con el propósito de mejorar el sistema de ventilación en la zona de Cuerpos, dado que esta área representa la mayor producción y demanda una mayor cantidad de aire, tanto para el personal como para el mantenimiento de madera, equipos diésel como Jumbos, Scooptrams, Volquetes, y otros elementos. Para ello, en el Anexo 2 observamos la Matriz de Consistencia del trabajo de investigación.

1.1.1. Interrogante general

¿Qué costos implican en la comparación en los sistemas de ventilación en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana?

1.1.2. Interrogantes específicos

¿Qué costos determinan en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana?

¿Qué costos se establecen con la aplicación del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana?

¿Qué diferencias de costos se obtienen en la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar los costos de la comparación de los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

1.2.2. Objetivos específicos

Establecer los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Determinar los costos que ejercen en la aplicación del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Comparar los costos que se obtienen en la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La ventilación o corriente de aire es la actividad en la cual introducimos aire fresco a las labores mineras, para el óptimo funcionamiento de los equipos diésel como también los trabajadores, según los estudios y estadísticas de los últimos accidentes del Ministerio de Energía y Minas, los accidentes con mayor índice de frecuencia es la caída de rocas, dando tanta preocupación a este elemento, pero si nos ponemos a analizar, la ventilación es el proceso si se encuentra en déficit, nos provocaría masivas fatalidades, en cantidades, lo importante de realizar un buen diagnóstico de caudal de aire requerido como también analizar el método apropiado es un reto hoy en día, las condiciones del macizo rocoso, la ingeniería y el análisis nos proporcionaran la mejor elección, es por ello, en nuestra realidad operativa encontramos una carencia de aire fresco en el frente de mayor producción en la zona denominada Cuerpos, esta carencia tiene como producto el aumento de temperatura, gases tóxicos encontrados en el interior mina algunos de ellos, monóxido y el hollín ocasionado por la combustión incompleta en los diferentes equipos diésel que manejamos provocando un peligro para la salud de los trabajadores como la asfixia.

La temperatura en la zona de Cuerpos mientras el avance de su explotación se aumentó a los 37.4°C, provocando un ambiente de trabajo agotador por falta del aire fresco, agregando el costo de energía que abarca la ventilación es necesario realizar un nuevo estudio de mejora con la finalidad que el nuevo circuito de ventilación permite abastecer en cantidad y calidad de aire fresco realizando esta mejora tendríamos como producto la reducción de temperatura en la sección de frente de trabajo y así cumplir con los requerimientos descritos en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, para cumplir con todos los requerimientos es necesario calcular la cantidad de aire fresco, gracias al déficit actual que nos encontramos, así mismo encontramos otro variable de estudio siendo ella la rapidez del caudal del aire ingresante por la vía principal, por falta de volumen de succión del aire viciado produciendo congestión de gases tóxicos contaminantes además la

elevada temperatura en la zona de trabajo, realizando este nuevo análisis daríamos solución a la problemática definitiva de ventilación en la zona de Cuerpos.

Por lo tanto, para realizar un análisis comparativo para la mejor elección de un sistema de ventilación que abastezca el caudal del aire requerido y que esté en función de la optimización de costos en el área de ventilación. Esto, sin dejar del lado específicamente: El suministro de cobertura de aire en la zona de cuerpos cumpliendo las normativas del presente D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, y las políticas internas de la Empresa.

Mejorar el requerimiento de aire para la prevención de evitar los accidentes e incidentes de inhalación de polvo y gases tóxicos, un ambiente fresco para el laboreo adecuado de las actividades, visibilidad adecuada en los frentes de operación, etc. según las normativas correspondientes. Aumentar la rentabilidad de la empresa u otros que susciten similar situación para el éxito de esta. La investigación crea nuevos caminos, metodologías y aplicaciones que mejoran la productividad y costo.

En la Tabla 1, se puede notar que el suministro de aire en la zona de Cuerpos es deficiente; es decir, con una cobertura del 52% (déficit del 48%), representada por un gráfico circular del requerimiento total. Estos datos son fundamentales para garantizar la ventilación adecuada en las operaciones mineras y la seguridad de los trabajadores. Entonces, la solución otorgada para su suministro deberá reflejarse al 100% a más y en función a los costos asociados a este análisis de investigación.

La comprensión de la cobertura o suministro de aire por zonas es crucial para la ventilación eficiente, ya que permite conocer la distribución equitativa de aire fresco en diferentes áreas. Este enfoque garantiza una calidad del aire interior óptima al eliminar posibles concentraciones de contaminantes y mantener condiciones de confort.

Tabla 1

Cobertura o suministro de aire por zonas

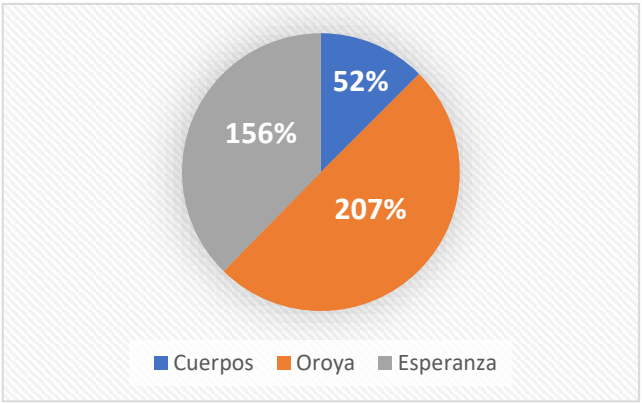
	Cuerpos		Oroya		Esperanza	
Cobertura de aire por zonas	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**
Ingreso de aire	12,405	438,082.6	3,211.325	113,407.9	2,147	75,821.31
Caudal requerido	23,911	844,417	1,419.06	50,114.1	1,375	48,558.13
Déficit/Superávit	11,506	406,334.4	-1,792.27	-63,293.8	-772	-27,263.2
Cobertura (%)	**52%**		**226%**		**156%**	

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 1, observamos la presentación de cobertura por zonas, reconociendo notoriamente el déficit en la zona de cuerpos con un 52% de aire, proporcionando un estudio analítico y sistemático para remediar la falta de caudal de aire.

Figura 1

Cobertura de aire por zonas



Nota: Elaboración propia.

Aportación del investigador

Nuestra formación como ingenieros es proporcionar soluciones con nuevos proyectos de investigación a retos reales presentados en nuestra vida profesional, este problema y tema de discusión encontrada en la empresa minera nos ayudará a realizar una investigación para la óptima explotación de mineral y cuidado de nuestros recursos.

Implicación práctica

En esta investigación se estudiará la variable independiente de comparativa de equipos para la correcta elección del sistema de ventilación, simulado con el programa Ventsim, la recolección de datos de caudales de aire, presiones, temperatura, uso de madera, equipos diésel y fugas nos permitirá realizar un análisis de costos y así la elección adecuada del sistema de ventilación.

Utilidad metodológica

En esta investigación además de realizar la evaluación del estado actual del sistema de ventilación de compañía minera se implementará un plan de largo plazo de alternativas para mejorar la elección del sistema de ventilación con el análisis de costos de producción de la compañía minera, dando frente a futuras investigaciones y evaluaciones económicas.

Utilidad económica

Se realizará un análisis de costos en la comparación de sistemas de ventilación como meta cumplir con las condiciones del caudal de aire necesarias para el trabajo en interior mina como también en los costos accesibles a la compañía minera, optimizado esta operación.

Interés del autor

Se identificó esta problemática por el avance diario de la explotación minera provocado por el aumento de las longitudes, para ello, el investigador reconoció

como una oportunidad de integrar un análisis de costos de sistema de ventilación para cumplir con los estándares y proporcionar mejor calidad de aire para los recursos del interior mina considerando el % de abastecimiento de aire y costos del sistema.

Propósito académico y utilidad social

La investigación aportará frente de estudios para egresados universitarios, bachilleres y profesionales, interesados en proporcionar soluciones en los temas de ventilación, para proporcionar y aprovechar la necesidad diaria tanto en el ámbito de la empresa como en el aspecto económico.

Relevancia social

El análisis y propuesta de sistemas de ventilación otorgará alternativas a empresas mineras vecinas y que cuenten con el mismo problema relacionado a la ventilación, proporcionando oportunidades de superación profesional como puestos de trabajados y sobre todo el cuidado de la salud de nuestros colabores.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

El análisis de los costos de comparación de los sistemas de ventilación influirá en la elección del sistema de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

1.4.2. Hipótesis específica

Los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana, son menores.

Los costos que implican en el empleo del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana, son mayores.

Existe una diferencia de costos significativo con la aplicación de los sistemas de ventilación por chimenea de Raise Boring y Ventilador para el aumento del requerimiento de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

1.5. VARIABLES

1.5.1. Variable Independiente

Comparativa de sistemas de ventilación: La comparación de cada sistema de ventilación se refleja en los rendimientos de cada sistema y/o equipo que abastece el caudal de aire requerido.

Indicadores

- Rendimiento de equipos.
- Capacidad de caudal aire.
- Dimensiones de caudal de aire.
- Tiempo de utilización.
- Eficiencia de Trabajo.

1.5.2. Variable Dependiente

Análisis de costos variables: Una vez analizado los rendimientos en la comparativa de cada sistema, se reflejará las diferencias de costos para inversión del proyecto a realizar y la toma de decisiones pertinente a la investigación.

Indicadores

- Costos de adquisición.
- Costos de operación.
- Costos de mantenimiento.

- Costos de insumos.
- Costos totales.

En el contexto la comparativa de sistemas de ventilación, la variable independiente es el tipo de sistema o equipo de ventilación que se utiliza. La atención se centra en evaluar el rendimiento de cada sistema en términos de su capacidad para suministrar el caudal de aire requerido.

Sin embargo, la variable dependiente en el análisis de costos variables es la diferencia de costos que surge al comparar los rendimientos de cada sistema de ventilación. Después de evaluar el rendimiento de cada sistema, se examinan los costos asociados con la implementación de cada uno en un proyecto específico. Esto implica considerar los costos de inversión y, a partir de la información, se toman decisiones fundamentadas en la investigación para determinar qué sistema es más viable desde una perspectiva económica.

En el Anexo 1 se presenta la operacionalización de variables, una fase crucial en la metodología de la investigación se detalla la forma de las variables conceptualmente definidas, en este contexto la variable independiente “Comparativa de Sistemas de Ventilación”, se ha operacionalizado de suministrar el caudal de los rendimientos de cada sistema y equipo encargado de suministrar el caudal de aire requerido. Los criterios específicos utilizados para medir el rendimiento incluyen la eficiencia en la calidad de aire interior, la eficiencia energética y las condiciones térmicas. Por otro lado la variable dependiente, “Análisis de Costos Variables”, se identifica y cuantifica las diferencias de costos asociadas con la implementación de cada sistema de ventilación. Este análisis de costos abarca tanto la inversión inicial del proyecto como otros factores económicos relevantes. La operacionalización de variables proporciona una base sólida para la recopilación de datos y análisis riguroso, contribuyendo así a la integridad y validez de los resultados obtenidos en la investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

INTERNACIONALES

Herrera (2019), en su libro “Introducción a la ventilación minera” menciona las concentraciones de gases en la mina son emitidos por las diferentes formaciones rocosas, como en muchas ocasiones la concentración de gases tóxicos producidas por la misma explotación y producción de equipos diésel, donde aumenta el requerimiento de los caudales de aire de ventilación que se requiere para poder extraer dichos gases contaminantes, estos caudales han obligado al desarrollo de secciones de galerías de grandes dimensiones y provocando una mayor cantidad de potencia y dimensión de ventiladores con un consumo de electricidad elevado, implicando una fuerte suma de dinero invertido en energía eléctrica, la ventilación puede suponer entre el 40 y 60% de los costos de energía eléctrica que consume una mina subterránea estos gastos solo representan una fracción del costo de ventilación, ya que es necesario entre los demás costos, el mantenimiento, mano de obra, distribución de la corriente de aire y el control para lo cual se realiza una evaluación entre el método adecuado y amigable económicamente sobre ventilación natural y artificial.

Bustamante (2018), en su artículo “Simulation software VENTSIM the influence of implementation of work abandoned sealings ventilation of an underground coal mine” nos indica el debido control de los sellamientos de labores no utilizados y abandonados, permiten que el aire realice recorridos por zonas que no necesitan ser ventiladas, provocando un impacto negativo reflejándose en el déficit de aire en los frentes de explotación actuales, provocando condiciones idóneas de trabajo, enfermedades y mala ventilación como también perdidas de económica de gran relevancia, con este estudio se demuestra la relevancia sobre las labores abandonadas, un buen sellamiento aumenta el caudal del aire recorrido a los frentes de trabajo aumentando el caudal de 0,2 m^3/seg a los frentes de trabajo y cuando la labor abandonada se sella correctamente utilizando sellamiento o una

buena puerta el caudal aumenta en 0,3 m^3/seg, produciendo excelentes resultados en costos en la ventilación subterránea.

Costa y Silva (2020) en su artículo “Strategies used to control the costs of underground ventilation in some Brazilian mines” nos indica que en una mina subterránea, la ventilación es responsable del 25% al 50% de su consumo de energía eléctrica, en países como Sudáfrica, Estados Unidos y Canadá, han buscado de reducir estos consumos de energía sin descuidar el aspecto de cantidad y calidad del aire requerido cumpliendo los estándares de seguridad, adoptando convertidores de frecuencia para la ventilación principal, por lo que la rotación del ventilador se ajusta de acuerdo con la demanda y la velocidad de los controladores, ya que el caudal es proporcional a la velocidad, la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad y la potencia es proporcional al cubo de la velocidad, por lo tanto una reducción del 20% en el caudal ahorrará alrededor del 50% de la energía requerida, aplicando y mejorando el proceso de ventilación de baja demanda en las mineras de Brasil, dando como resultado la diferencia entre costos entre ventiladores y chimeneas naturales.

Lotito (2022), en su tesis de grado denominado “Evaluación de un sistema de ventilación on-demand y de la incorporación de energía solar en el proceso de ventilación minera” menciona la ventilación minera consiste en circular el flujo de aire al interior de mina para proporcionar la adecuada condición de trabajo y las personas en su interior tengan una atmosfera limpia, proporcionando buen oxígeno, diluir gases contaminantes y asfixiantes además de climatizar las labores mineras y explotación, por otra parte, el consumo de energía es elevado, va desde un 30% a 70% es por ello que surge la ventilación on-demand o ventilación de baja demanda, donde se basa en solo requerir el flujo de aire que ingresa para satisfacer a la cantidad de personas y equipos presentes, requiriendo otros métodos de energías y de ventilación que sea factible para la empresa minera o en caso contrario decidir por una ventilación por chimenea.

Castillo (2017), en su trabajo “Evaluación del sistema de ventilación de la mina El Roble”, especifica en esta empresa el aire solo abarcaba un 16%,

incumpliendo en su totalidad con el reglamento vigente evidentemente por la maquinarias y equipos que utilizan para la explotación de la mina produciendo elevadas cantidades de gases contaminantes donde fue necesario elaborar un nuevo sistema de ventilación de acuerdo al reglamento y las necesidades de caudal que requiere la mina para su optima explotación, por el cual de incorporó un nuevo ventilador de 200,000 cfm que mejora notablemente el déficit del caudal de aire requerido aumentando en un 18,6%.

NACIONALES

Según Bedoya (2019), en su tesis denominado "Ejecución de chimenea con el método Raise Boring para la optimización del sistema de ventilación en la unidad minera San Rafael – Minsur-2018", optimiza el circuito de ventilación utilizando Raise Borer por la eficiencia y practicidad del método, siendo el más seguro, especifica la problemática del Nv. 4,200, las condiciones de temperatura para llevar el ciclo de minado adecuado afecta al personal del nivel mencionado, provocando una déficit de ventilación y alteración de temperatura adecuada para el trabajo, sin embargo, considerando el incremento a medida de avanzar con los trabajos de desarrollo y preparación, la concentración de los gases aumenta debido a las maquinarias usadas como Volquetes y Scooptrams, deteriorando más las condiciones laborales realizando una nueva propuesta del circuito de ventilación realizando una chimenea con el método de Raise Boring.

Cajahuanca (2019), en su estudio "Influencia del sistema Raise Boring en la ventilación de la Zona I-B Nv. 4,530 de la veta Alexia de la Unidad Minera Arcata – Cía. Minera Ares S.A.C.", realiza su estudio se tiene que la ventilación en las mineras subterráneas es primordial para realizar las actividades de explotación, para así intercambiar la presencia de gases tóxicos, produciendo un buen ambiente de trabajo, en la Unidad Minera Arcata, en la Zona I-B era aproximadamente solo el 101% es por ello se planteó ¿Cómo el sistema Raise Boring influye en la ventilación de la zona I-B Nv. 4530 de la Veta Alexia de la Unidad Minera Arcata? Determinando que la cobertura de aire es de 100.78% Sabiendo que gracias a las variaciones cotidianas la cobertura de aire no es suficiente, teniendo en cuenta la

relación del consumo de energía vs el caudal de aire de ventilación se sugiere dar visto bueno al RB 90 con un ventilador de 100.000 CFC donde el costo de ventilación se reduce a 6.18 $/TME.

Según Chuquitaype (2018), en su tesis de grado denominado “Gestión de seguridad en la construcción de la chimenea Raise Boring 01 y sostenimiento de la columna para servicio de ventilación empresa IESA S.A. U.O. Pallancata” se identificó la problemática de ventilación para seguir explotando se construyó la chimenea RB1 para poder llegar con el caudal de aire necesario para la operación (100,000 CFC), la chimenea se construyó con un diámetro de 3,10 m por 365 m de longitud, otorgando aire fresco al nivel, encontrando un tipo de roca Regular B (RMR: 45), Mala A (RMR:35) hasta roca Mala B (RMR: 25), siendo necesario sostenimiento con pernos de anclaje, malla electrosoldada y concreto lanzado con un espesor de 03 pulgadas, a pesar de las dificultades se programa la meta por la empresa de un índice de frecuencia <3, índice de severidad <=120 produciendo una mejora en seguridad y ventilación en la mina.

De otro lado, Ollachica (2019), en su estudio titulado “Optimización en la construcción de chimenea en la veta Ánimas mediante el método de perforación Raise Boring en la Minera Bateas S.A.C., Caylloma” indica que tiene programado construir chimenea de ventilación con 160 m de longitud y 2.10 m de diámetro con una inclinación de -90°, especificando que el movimiento de tierra debe ser mínima para evitar conflictos sociales, además de encontrarse con una cobertura de terreno cuaternario de 33.3 m, es por ello que surge la idea de construir la chimenea con Raise Boring proponiendo realizar perforaciones de pozo posteriormente inyectar lechada de cemento a presión para estabilizar el terreno los primeros 60 m de profundidad con un diámetro de 3.4 m, con este método de Raise Boring la chimenea de construyó en 107 días y con un costo de $ 887,554.80, interviniendo las empresas Tumi Contratistas SAC, Explodrilling SAC y Supermix.

Mamani (2019), en su tesis de grado denominado “Estudio y diseño del sistema de ventilación de las zonas Yurika y Pablo, Hochschild mining – Unidad Operativa Pallancata” nos indica los estudios de diagnóstico del sistema de

ventilación para minas subterráneas, enfocándose en el funcionamiento del sistema de ventilación con 4 alternativas para diferentes zonas de explotación de la mina, frentes de trabajo en zonas Pablo y Yurika, mediante Raise Climber (RC) y Raise Boring (RB), con ventiladores en paralelo y serie, describiendo el desempeño y la operatividad para cumplir con el aire óptimo requerido, para realizar una buena ventilación se estudia y analiza desde el punto de vista de la cantidad de caudal de flujo de aire que aportado y desde el punto de vista económico realizando un análisis de OPEX (Costos de Operación) y CAPEX (Costos de inversión).

Según Caxi (2017), en su proyecto de tesis titulado "Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena- aplicando el Software Ventsim", expresa lo siguiente, en la Veta de Santa Filomena tenía una déficit del caudal de aire, con el desarrollo de un crucero y una chimenea de ventilación, obteniendo la medición de un caudal total de 942.40 m^3/min de estas labores, el ingreso de la ventilación natural por el Pique Jimenez, base 4 y 5, el requerimiento de aire es 816.41 m^3/min, como producto de las mediciones tomadas se recaudó un total de 813.96 m^3/min, siento el aire viciado expulsado por el Pique Dragones cuyo caudal medido es de 355.2 m^3/min, el requerimiento de aire es de 244.26 m^3/min, producto de la investigación se simuló un sistema de ventilación por el programa de Ventsim con un ventilador de capacidad de 15,000 cfm con 25 Hp para el crucero ubicado en el nivel 2170, instalándose mangas paralelas se observó el correcto funcionamiento, además se concluyó el 115% necesaria para la cobertura de aire en la veta Santa, provocando un superávit de 126.49 m^3/min, a futuro la veta Santa Filomena se tendrá que construir chimeneas para su optima ventilación.

Por otro lado, Colonia (2022), en su proyecto de tesis titulado "Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación en la mina Hércules de la CIA. Minera Lincuna S.A. – 2021", expresando lo siguiente, en el año 2021 en la Cia. Minera Lincuna, tiene como total de caudal requerido 554,383 cfm con un ingreso de aire proporcional a 254,736 cfm otorgando una diferencia de 299,647 cfm, llegando a cumplir solo el 46% sugiriendo una compra de ventilador

con una capacidad de 100,000 cfm para cumplir con la explotación de la mina a futuros años.

LOCALES

Lozano (2019) en su proyecto de tesis titulado “Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.”, menciona la compañía minera tiene una producción de 5,000 TMD, donde tiene identificado 3 frente de explotación: Cuerpos, Esperanza y Oroya, con una producción diaria entre 79%, 8% y 13%, donde su requerimiento de caudal es de 1 015 113 cfm contando con solo un ingreso de 538,009 cfm y una salida aire viciado de 569,543 cfm representando un 53% del aire requerido, con una alternativa de aumentar el aire requerido en el lugar de Cuerpos, para cumplir con su déficit se planteó la construcción de un RB 02 desde superficie 10 hasta el NV. 10 con una longitud de 502,4 m y tendrá un diámetro de 3,6 m, con lo que se logrará la cobertura de 97%.

Vila (2013), en su tesis de grado “Mejoramiento del circuito de ventilación en la unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Boring.” Menciona el aumento del caudal de aire en la zona I-B NV. 4,530 de la veta Alexia, con un estudio referido a los equipos diésel y trabajadores, a través de la formula Atkinson se tiene el fin de mejorar el sistema de ventilación simulando las diferentes condiciones de operaciones mina con el programa Ventsim, esto permitió una notoria reducción de ventilación en US$ 0,28/TMS dando como producto un significativo ahorro para la empresa.

Tejeda y Mucha (2022), en su tesis de grado “Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha”, redacta lo siguiente realizar una evaluación del caudal del aire para optar por el sistema de ventilación optimo se realizó pruebas en el ingreso y salida de aire en la Unidad Minera Yauricocha resultando como población y muestra la mina, sus labores y dimensiones, en producto de esta investigación se obtuvo que la ventilación en la Unidad Minera Yauricocha tiene un circuito integral ingresando por las rampas de accesos, como también por las chimeneas de extracción y

ventilación del aire viciado optando por un método de sistema convencional y mecanizado que permite una alta resistencia y abastecimiento de aire puro.

Vargas (2018), en su tesis de grado titulado "Reformulación del sistema de ventilación (2017-2019) Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C.", menciona lo siguiente el objetivo es el mejoramiento del sistema de ventilación de corto y largo plazo proponiéndose 07 alternativas para la proyección de aire viciado en los siguientes años, la intención principal del proyecto a mediano plazo son los ejes de extracción de aire viciado en la zona sur, para ello se estima comprar un ventilador de 150 kcfm además de dos ventiladores en operación con una capacidad de 70 kcfm ubicadas en la zona Sur y Norte, estimándose una inversión de US$ 926,463 con una tasa de 12% calculando una vida de mina de 3 años en el CAPEX y en el OPEX se basa en el consumo de energía utilizada por los ventiladores de los circuitos primarios, secundarios y auxiliar, herramientas, servicios, mano de obra y materiales, entre otros, el producto de esta investigación da como resultado la alternativa numero dos proporciona una mejora de ventilación del 104% de la actualidad a una diferencia proyectada de 136%, 139% y 138% en el primer año, segundo año y tercer año, proponiendo la colocación de 12 tapones y 10 puertas estratégicamente distribuida en la mina y por ultimo un ventilador de 30 kcfm.

Valdez (2019), en su tesis de grado titulado "Diseño del sistema de ventilación de la mina subterránea Santa Este – Unidad Minera Iscaycruz – Empresa minera Los Quenuales", menciona lo siguiente esta compañía minera tiene como producción 3,000 TMD, a cielo abierto con una proyección de largo plazo a minería subterránea, es por ello el estudio del sistema de ventilación de mina, encontrándose el caudal de aire por chimeneas siendo apoyadas en su abastecimiento por ventiladores primarios y secundarios en lugares estratégicos en su selección y ubicación, motivo principal es proporcionar de aire fresco por la cantidad de equipos a diésel se necesitará 1,571 m^3/minuto dando un total de 55,482 cfm, para el personal se necesitará 138 m^3/minuto que es un total de 4,873 cfm, disipación de gases de disparo un total de 1,547 m^3/minuto con un total de 54,620 cfm, obteniendo un total de aire para la mina Santa Este es de 114,975 cfm, en producto de esta

investigación se adquirirá ventiladores de 120,000 cfm en el ingreso de la mina (bocamina) y el segundo de una potencia de 600,000 cfm ubicado en las chimeneas.

Raico (2019), en su tesis de grado titulado “Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3,750 – minera Yanacocha, 2018”, menciona lo investigado la compañía minera Yanacocha, ubicado en el departamento de Cajamarca, con las evaluaciones se diagnosticó, la deficiencia del caudal de aire llegando a un 90% de lo requerido, dificultando el trabajo óptimo de los trabajadores del interior mina y no solo ello, el avance de la explotación da como necesita la adquisición de equipos petroleros, como resultados de la investigación consiste en implementar 3 ventiladores auxiliar y 1 ventilador aspirante dando como resultado un sistema de ventilación de 129% proporcionando aire fresco a los agentes necesarios para la explotación minera, la variedad entre la simulación del programa Ventsim y las mediciones realizadas en diferentes puntos de la mina se tiene una variación entre 2.0% a 5.2%.

Liñán (2022), en su tesis de grado titulado “Flujo de aire para mejorar la ventilación en las labores mineras subterráneas en mina Huinac S.A.C. – año 2021”, menciona lo siguiente para elegir un sistema de ventilación se realizó el cálculo de caudal presentada en la mina, en la mayoría de toma de datos se toma los flujos de aire tanto en las entradas como en las salidas de las labores, utilizando el anemómetro, otorgando los siguientes datos, en el ingreso de la mina se tiene un caudal de aire al nivel de 4.1 en las especificación de inclinaciones I y II se calculó una medición de 233 m^3/min y en el nivel 4 en su ingreso y la chimenea Caira dio un total de 340 m^3/min, obteniendo estos datos se realizó el cálculo para el requerimiento de aire necesario para la unidad minera Huinac, para ello también se obtuvo datos del consumo de madera con un total de 90.04 m^3/min, para el número de trabajadores 246 m^3/min, el caudal de fugas 75.61 m^3/min, requerimiento por temperatura por el uso de los explosivos un total de 168 m^3/min dando como resultado un caudal total de 579.64 m^3/min exponiendo la deficiencia del caudal de aire en un total de 6.64 m^3/min, este déficit se mejoró con la compra de un ventilador.

Gonzales y Puente (2021), en su tesis de grado titulado “Evaluación integral del sistema de ventilación para proponer alternativa de diseño de ventilación – zona de profundización U.E.A. Retamas Marsa”, menciona en su investigación lo siguiente, después de las evaluaciones y obteniendo como resultados la temperatura del ambiente, la velocidad del caudal de aire, humedad relativa, presión barométrica y presencia de gases en el interior, realizando estas mediciones se tiene un aforo total de aire de ingreso de 611,678 cfm con una salida de 655,331 cfm, exponiendo la diferencia de caudales en 43,653 cfm representando un 6.66%, el área de planeamiento se proyecta a largo plazo con el crecimiento de la mina se llega a la conclusión, el aumento del personal planeado a largo plazo se incrementará en 332 colaboradores proporcionando una necesidad de 58,562 cfm, como también 2 equipos como volquetes FMX 8X4R representando unos 68,540 cfm, 3 camiones Hyundai y HD 78 con unos 20,174 cfm, 3 equipos grúas dando un total de 22,305 cfm, 9 camionetas marca Toyota Hillux con un total de 80,102 cfm.

2.2.BASES TEÓRICAS

Los estudios y reglamentos utilizados en nuestro país de Perú, nos basamos al D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, donde tiene datos específicos para el cumplimiento de ciertos requisitos de cumplimiento en las minas subterráneas respecto al caudal del aire a interior mina.

Cálculo de requerimiento de aire

Requerimiento de aire total (Q_{T0}): Cuando en la operación se utilice equipos con motor petrolero.

La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo con el literal del reglamento del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, considerando la siguiente Ecuación 1 para el cálculo del caudal total para la operación:

Cálculo de requerimiento de aire

$$QTo = QT1 + QFu \quad (1)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación.

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por:

a) El número de trabajadores (Q_{Tr}).

b) El consumo de madera (Q_{Ma}).

c) Temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}).

d) Equipos con motor petrolero (Q_{Eq}).

A estos efectos, previamente se debe determinar las siguientes ecuaciones:

a) Caudal por el número de trabajadores (QTr): El caudal de aire requerido es calculado por la cantidad de colaborades que encontramos trabajando en interior mina para su óptimo desenvolvimiento, utilizando la siguiente Ecuación 2.

Caudal por el número de trabajadores (QTr)

$$QTr = F\ x\ N\ \left(\frac{m^3}{min}\right) \quad (2)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para “n” trabajadores (m^3/min).

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo con escala establecida en el artículo 247 del reglamento.

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

b) Caudal requerido por el consumo de madera (QMa): Este cálculo se realiza por la descomposición de la madera, provocando su oxidación para el requerimiento adecuado del caudal de aire se utiliza la siguiente Ecuación 3.

Caudal requerido por el consumo de madera (QMa)

$$QMa = T\ x\ u(\frac{m^3}{min}) \qquad (3)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m^3/min).

u = Factor de producción mencionada en la Tabla 2, de acuerdo con escala establecida en el segundo párrafo del literal; d) del artículo 252 del reglamento.

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

En la Tabla 2, encontramos los datos del factor de producción por el consumo de madera, dato importante para el cálculo de la ecuación 3 considerando un de factor de producción 0.00 el consumo de madera será <20%, 0.60 de factor de producción el consumo de madera será de 20 a 40%, 1.00 de factor de producción se considerará 41 a 70% de consumo de madera y por último con un factor de producción de 1.25 se considera un consumo de madera de >70%.

Vemos que hay una relación entre el factor de producción y el nivel de consumo de madera. El factor de producción influye en la cantidad de madera

utilizada en un proceso, y se utiliza para clasificar el consumo de madera en diferentes categorías, desde muy bajo hasta alto, en función de los valores específicos del factor de producción.

Tabla 2

Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera

CONSUMO DE MADERA	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m^3/min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (QTe): Se encuentra diferentes temperaturas en las labores mineras por los factores expuestos, para el cálculo de caudal requerido por temperatura de las labores se utiliza la siguiente Ecuación 4.

Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (QTe)

$$QTe = Vm\ x\ A\ x\ N(\frac{m^3}{min}) \qquad (4)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m^3/min).

V_m = Velocidad mínima.

A = Área de la labor promedio.

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo con la escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

En la Tabla 3, observamos los datos del factor de temperatura, mientras la temperatura sea elevada la velocidad será mayor, lo que indica una relación positiva y constante entre ambas variables.

Tabla 3

Factor de temperatura

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

d) **Caudal requerido por equipo con motor petrolero (Q_E):** Para la correcta ventilación de los gases tóxicos emitidos por los equipos de motor petrolero se usa la siguiente Ecuación 5.

Caudal requerido por equipo con motor petrolero (QTe)

$$QEq = 3\ x\ HP\ x\ Dm\ x\ Fu(\frac{m^3}{min}) \qquad (5)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m^3/min).

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs).

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%).

F_u = Factor de utilización promedio de los equipos (%).

e) Caudal requerido por fugas (QFu): Las diferentes condiciones de las labores mineras y para el cálculo de caudal de aire requerido por fugas se utiliza la siguiente Ecuación 6.

Caudal requerido por fugas (QFu)

$$QFu = 15\%\ x\ QT1(\frac{m^3}{min}) \qquad (6)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

Donde: La sumatoria total de caudal requerido es calculada de la siguiente manera en la Ecuación 7.

Sumatoria total de caudal requerido

$$QT1 = QTr + QTe + QMa + QEq \qquad (7)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

QT1 = La sumatoria de caudal requerido por.

a) El número de trabajadores (Q_{Tr}).

b) El consumo de madera (Q_{Ma}).

c) Temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}).

d) Equipos con motor petrolero (Q_{Eq}).

En el artículo 247: En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minutos (3 m^3/min). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m^3/min.

De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m^3/min.

Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m^3/min.

Los estudios y reglamentos utilizados en nuestro país de Perú, nos basamos al D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, donde tiene datos específicos para el cumplimiento de ciertos requisitos de cumplimiento en las minas subterráneas respecto al caudal del aire a interior mina.

Gases de la minería

En la minería subterránea encontramos diferentes gases emitidos por agentes generados por la explotación de mineral, la composición de aire, gases de mina provocado por la voladura, gases por motores de equipo diésel, entre otros agentes, para ello es necesario conocer las composiciones de los gases encontrados y sus efectos fisiológicos para ello necesitamos conocer la composición y el porcentaje de volumen de aire seco que debemos encontrar en nuestro ambiente representada en la Tabla 4.

Tabla 4

Composición del aire seco en % de volumen y peso

Composición del aire	% en volumen	% en peso
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Anhídrido carbónico	0.03	0.046
Argón y otros gases	0.93	1.284

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

En la Tabla 5, encontramos la clasificación de los gases encontrados en minas subterráneas, como los gases irritantes asfixiantes, los gases sofocantes y por último los gases explosivos inflamables.

Tabla 5

Clasificación de los gases en minas subterráneas

IRRITANTES	SOFOCANTES	EXPLOSIVOS
Monóxido de carbono	Nitrógeno	Metano
Hidrógeno sulfurado	Anhídrido carbónico	Monóxido de carbono
Dióxido de nitrógeno (Humos	Metano	Hidrógeno sulfurado
Anhídrido sulfuroso	-	-

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

- **Monóxido de carbono**

Características:

- Fórmula: CO.
- Peso específico: 0.967.
- Límite explosivo: 12.5 a 74.2%.
- Límite permisible: 40 ppm – 44 mg/m^3.
- Gas incoloro e inodoro.

Como se genera:

Es un producto con una combustión incompleta de materias orgánicas o carbonáceas, se desprende del escape de motores de combustión interna y por el uso de explosivos.

En la Tabla 6, encontramos- los efectos fisiológicos del monóxido de carbono considerando sus partes por millón y las consecuencias al ser humano.

Tabla 6

Efectos fisiológicos (CO)

PPM	EFECTOS FISIOLÓGICOS (CO)
40	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición.
200	Jaqueca después de ½ horas de exposición (leve intoxicación).
400-	Desde ¾ a 1 hora, jaqueca, náuseas. Pérdida de conocimiento entre 1 ½ y 2 horas.
800-1,000	Pérdida de conocimiento después de 1 a 1 ½ horas de exposición. Muerte después de 2 horas.
1,500-2,000	Fuerte jaqueca, náuseas y pérdida del conocimiento entre ½ a 1 hora. Fatal después de 1 hora de exposición.

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

- **Hidrógeno sulfurado**

Características:

- Fórmula: H_2S.
- Peso específico: 1.19.
- Límite explosivo: 4.3 a 45%.
- Límite permisible: 8 ppm – 11.2 mg/m^3.
- Gas incoloro, inflamable, olor a huevos podridos.

Como se genera:

- Por descomposición de la pirita (FeS).
- Por descomposición de sustancias orgánicas.
- Por disparos en minerales que contienen azufre.

En la Tabla 7, observamos los efectos fisiológicos del ácido sulfhídrico considerando sus partes por millón y las consecuencias hacia el ser humano.

Tabla 7

Efectos fisiológicos (H_2S)

PPM	EFECTOS FISIOLÓGICOS (H_2S)
8	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición.
50-100	Intoxicación subaguda, leve conjuntivitis, irritación del conductor respiratorio.
200-300	Fuerte conjuntivitis e irritación del conducto respiratorio después de 1 hora.
700	Posible intoxicación aguda, perdida rápida del conocimiento, paro respiratorio.
1,000-2,000	Intoxicación aguda, pérdida del conocimiento, paro respiratorio y muerte.

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

- **Dióxido de nitrógeno (humos nitrosos)**

Características:

- Fórmula: NO_2 o N_2O_4.
- Peso específico: 1.54.
- Límite permisible: 2.4 ppm – 4.8 mg/m^3.
- Gas color pardo rojizo a temperatura sobre 23°C, picante y algo dulce.
- Ordinariamente no presenta riesgo de incendio, pero puede hacerse inflamable en presencia de oxígeno puro.

Como se genera:

- Se producen al detonar explosivos o dinamitas.
- Se desprende del escape de equipos que funcionan a gasolina y diésel.
- Se produce durante las operaciones de soldadura al arco y con gas.

En la Tabla 8, encontramos los efectos fisiológicos del dióxido de nitrógeno considerando sus partes por millón y las consecuencias hacia el ser humano, la gravedad de los efectos aumenta mientras aumente las partes por millón encontradas.

Tabla 8

Efectos fisiológicos (NO_2)

PPM	EFECTOS FISIOLÓGICOS (NO_2)
2,4	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición.
60	Irritación a la garganta.
100	Cantidad mínima que produce tos.
150	Peligroso, incluso para exposiciones cortas.
200-700	Fatal, aún en exposiciones cortas.

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

- **Anhidrido sulfuroso**

Características:

- Formula: SO_2.
- Peso específico: 2.2.
- Límite permisible: 1,6 ppm – 4 mg/m^3.
- Gas incoloro, picante, irritante, sabor acido y acentuado olor a azufre quemado.

Como se genera:

- Por la combustión del azufre (piritas).
- Por la combustión de carbón rico en azufre.
- Disparos en minerales con alto contenido de azufre de los que puede desprenderse también H_2S y CO.

En la Tabla 9, observamos los efectos fisiológicos del dióxido de azufre considerando sus partes por millón y las consecuencias hacia el ser humano, la gravedad de los efectos aumenta por las partes por millón.

Tabla 9

Efectos Fisiológicos (SO_2)

PPM	EFECTOS FISIOLÓGICOS (SO_2)
1.6	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición.
20	Irritación a los ojos.
50	Muy desagradable, pero puede soportarse durante algunos minutos.
400-500	Peligroso, incluso para exposición corta, respiración dificultosa.
1,000	Causa la muerte en pocos segundos.

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

- **Nitrógeno**

Características:

- Formula: N.
- Peso específico: 0.971.
- Gas incoloro, inodoro, físicamente inerte.
- Forma parte del aire (78,06%).

Como se genera:

- Se encuentra también en el aire en forma de amoniaco.
- Por los disparos (debido a la ausencia del oxígeno del aire).
- En los lugares en que la ventilación es deficiente y se produce una deficiencia de oxígeno.

Efectos fisiológicos (N):

- Fisiológicamente es un gas inerte a la presión atmosférica normal, pero puede producir efectos nocivos sobre el organismo al reducirse la presión parcial del oxígeno en los pulmones, esto produce asfixia y causa la muerte por falta de oxígeno.
- Una proporción de 84% en el aire denota la ausencia de oxígeno (16%) y se tornó peligroso para la vida.

- **Anhidrido carbónico**

Características:

- Fórmula: CO_2.
- Peso específico: 1,529.
- Límite permisible: 4,000 ppm 7,200 mg/m^3.
- Gas incoloro, inodoro, sabor ligeramente acido.
- Forma parte del aire en la proporción de 0.03 a 0.06%.

Como se genera:

- Se produce por la respiración de las personas y animales (fundamentalmente en lugares confinados).
- Producto de la combustión de sustancias carbonadas en presencia de exceso de aire o de oxígeno.
- Producto de disparos.
- Producto de escape de motores diésel que se usa en el interior de las minas.

En la Tabla 10, encontramos los efectos fisiológicos del dióxido de carbono considerando sus partes por millón y las consecuencias hacia el ser humano, la gravedad de los efectos aumenta mientras aumente las partes por millón encontradas.

Tabla 10

Efectos fisiológicos (CO_2)

PPM	EFECTOS FISIOLÓGICOS (CO_2)
4,000	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición.
5,000	Ventilación de pulmones aumenta en 300%, se producen jadeos.
6,000	Se considera peligroso.
10,000	Solo se puede resistir algunos minutos.
15,000	Fatal en la mayoría de los casos.

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

- **Metano**

Características:

- Fórmula: CH_4.
- Peso específico: 0,555.
- Límite explosividad: 5 al 15% en el aire.
- Gas incoloro, inodoro e insípido.

Como se genera:

- Se desprende a través de las fisuras en los mantos de carbón.
- Por la descomposición de la madera bajo agua.
- Por la descomposición de material orgánicas.
- En las alcantarillas de la ciudad.

Efectos fisiológicos (CH_4):

- Es un asfixiante simple y actúa desplazando el oxígeno del aire.
- Cuando el aire contiene 25% de metano produce asfixia por deficiencia de oxígeno.

2.3.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Ventilación Natural

Se refiere al uso de corrientes de aire naturales, como ventilación a través de aberturas en la mina o galerías, para proporcionar aire fresco y eliminar gases y partículas peligrosas del ambiente subterráneo en operaciones mineras. (Caxi, 2017).

Ventilación Mecánica

Es la implementación de sistemas mecánicos, como ventiladores y conductos, para controlar y gestionar la circulación del aire en las minas subterráneas. Esto se hace para garantizar la seguridad de los trabajadores y mejorar las condiciones de trabajo. (Caxi,2017).

Eficiencia Energética

Se refiere a la optimización de los procesos y equipos para reducir el consumo de energía en las operaciones de extracción y procesamiento de minerales, lo que puede tener un impacto significativo en los costos operativos. (Caxi, 2017).

Costos de Instalación

Son los gastos iniciales asociados con la adquisición, instalación y puesta en marcha de equipos y sistemas necesarios para las operaciones mineras, incluyendo infraestructura y maquinaria. (Lozano, 2019).

Costos de Mantenimiento

Se refieren a los gastos continuos necesarios para mantener y reparar equipos y maquinaria minera, lo que incluye inspecciones regulares, mantenimiento preventivo y corrección de problemas. (Lozano, 2019).

Consumo de Energía

Es la cantidad de energía eléctrica o combustible que se utiliza en las operaciones mineras, desde la extracción hasta el procesamiento y el transporte de minerales. (Lozano, 2019).

Calidad del Aire Interior

Se refiere a la condición del aire dentro de las minas subterráneas, que debe ser controlada y monitorizada para garantizar que sea seguro para los trabajadores en términos de concentración de gases y partículas. (Caxi, 2017).

Costos a Largo Plazo

Implica evaluar cómo los costos operativos y de mantenimiento de un sistema de ventilación o equipo minero se acumulan a lo largo de la vida útil de la mina. (Lozano, 2019).

Sostenibilidad Ambiental

Hace referencia a las prácticas y tecnologías adoptadas en la minería para reducir el impacto ambiental, como la gestión de residuos, la conservación del agua, la mitigación de la contaminación y la calidad de aire. (Caxi, 2017).

Normativas y Regulaciones en Minería

Son las leyes, reglas y estándares específicos que rigen las operaciones mineras, incluyendo la seguridad laboral, la protección del medio ambiente y la obtención de permisos. (Lozano, 2019).

Costos – Beneficio

Implica analizar si los beneficios derivados de la inversión en ventilación, equipos o tecnologías específicas superan los costos asociados, teniendo en cuenta factores financieros y operativos. (Lozano, 2019).

Optimización de Recursos

Es la gestión eficiente de los recursos disponibles en las operaciones mineras, incluyendo el uso adecuado de energía, agua y mano de obra para maximizar la productividad y reducir los costos. (Lozano, 2019).

Evaluación Económica

Implica el análisis detallado de los costos y beneficios financieros de las operaciones mineras, considerando ingresos por venta de minerales, costos operativos y de capital, y otros factores económicos que influyen en procedencia. (Caxi, 2017).

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación del proyecto reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada pues el objetivo es poder calcular el incremento de la capacidad de ventilación, otorgando la orientación a lograr nuevos conocimientos para dar solución a problemas prácticos reales encontrados en la ventilación de la mina subterránea.

3.1.2. Nivel de investigación

Este estudio es experimental propositiva, por la evaluación de la teoría, fenómenos o hechos anómalos, considerando la hipótesis y el estado actual encontrado, desarrollando una solución denominada propuesta.

3.1.3. Diseño de investigación

Cuando nos referimos al diseño de investigación con el fin de recolectar información para responder nuestras interrogantes y cumplir con las metas y objetivos de la investigación nos referimos al diseño comparativo para poder recolectar diferentes.

3.2.ÁMBITO ESPACIAL

3.2.1. Ámbito espacial

Se encuentra ubicada en la zona de sierra central del Perú a una distancia de 129 km de la ciudad de Lima, distrito de Chicla provincia de Huarochiri, en el departamento de Lima ubicada en el flanco Oeste de la cordillera Occidental de los Andes a una altura de 4400 msnm con una ubicación de la concesión minera demostrada en la Tabla 11.

Tabla 11

Coordenadas UTM de la concesión minera

	COORDENADAS UTM - WG84	
	NORTE	ESTE
INICIAL	8’711,392.86	365,227.21
INICIAL	8’711,538.44	365,054.61
FINAL	8’712,112.74	365,614.10
FINAL	8’712,002.71	365,743.95
Ha	206.7	

Nota: Vértice de inicio y final de la ubicación de la concesión Minera Alpayana.

Figura 2

Ubicación geográfica de la unidad minera



Nota: CIA. Minera Alpayana.

En la Figura 2, encontramos la ubicación geográfica de la compañía minera además del acceso identificado para poder llegar a la ubicación requerida.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Estará compuesta por la compañía minera y sus elementos que lo componen como las labores horizontales, verticales e inclinadas, en las diferentes zonas de sur y norte como también baja, intermedia y alta de cuerpos mineralizados en la Compañía Minera Casapalca, para la obtención de datos del caudal de aire en el ingreso, transcurso y salida de la ventilación.

3.3.2. Muestra

Está constituido por las labores del interior de la mina quienes nos proporcionará los datos estadísticos del caudal, presión y velocidad de aire, como también las dimensiones de las labores para la elección del óptimo sistema de ventilación.

3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1. Técnica de recolección de datos

Se realizará el acopio de datos de las estaciones de medición de caudal de aire en los puntos estratégicos, como las secciones, perímetro, forma, longitud de la labor, como también la velocidad del aire, clase y resistencia de la vía, medición de gases encontrados, temperatura seca y húmeda, presión barométrica, humedad relativa, altura sobre el nivel del mar y otras evaluaciones para el ingreso de datos en el software Ventsim para luego poder encontrar la adecuada alternativa del circuito de ventilación.

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

Programa

La principal herramienta utilizada es el software *Ventsim* para diseñar las simulaciones de ventilación y los caudales de aire necesarios.

Los materiales y equipos que se utilizaran en la investigación son:

Equipos

• Equipo de Raise Boring.

• Ventilador extractor.

Instrumentos

• Caudalímetro.

• Termómetro.

• Cronómetro.

• Flexómetro.

3.4.3. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos

El principal instrumento utilizado fue un anemómetro para poder medir la velocidad del caudal transcurrido en las labores mineras, previamente este anemómetro fue calibrado correctamente para tomar los datos de campo registrando la fecha, hora y las condiciones ambientales relevantes en un cuaderno de apuntes, como también la medición de la temperatura atmosférica y la humedad, se comprobó su validación utilizando dos anemómetros, cuando marcaban el mismo resultado del anemómetro nuevo significaba que estaba calibrado y los datos son verídicos, en ocasiones se realizaban varias mediciones en diferentes horas obteniendo como resultado iguales y en ocasiones por la mínima diferencia alcanzando un promedio final de los datos tomados.

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

El estudio comparativo de los costos de los sistemas de ventilación es adecuado con el diseño de investigación cuantitativa comparativa donde se obtiene diferentes datos y variables definidas con el fin de respaldar la hipótesis planteada, teniendo como población los elementos que influyen en la ventilación como el caudal de una mina subterránea y muestra la Zona de Cuerpos.

Los datos tomados en el campo serán mostrados en tablas de Excel, para realizar el análisis de costos de los métodos de ventilación y cumplir con el

requerimiento de aire, además se realizará un mapeo de todos los equipos que se encuentran en disposición de uso efectivo que influye en los resultados finales.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Procesamiento de Datos

Durante esta fase, se llevó a cabo una evaluación de los datos recolectados en el campo, con el propósito de otorgar un nivel de confiabilidad apropiado al estudio. En este proceso, se empleó herramientas de software como Microsoft Excel y Ventsim para respaldar y analizar la información recopilada.

3.6.2. Presentación de Datos

Se proporciona la siguiente información:

Tablas descriptivas que contienen datos obtenidos del monitoreo en el campo. Planos en formato CAD que representan los puntos de monitoreo de ventilación. Tablas descriptivas que resumen los balances de ventilación.

3.6.3. Levantamiento y monitoreo de estaciones ventilación

A través de un enfoque sistemático, se llevó a cabo una evaluación de las condiciones físicas y termo ambientales en la mina. Se realizó un mapeo detallado del circuito de ventilación, identificando tanto la dirección como la cantidad de aire en los lugares indicados por el operador. Además, este proceso abarcó tanto los puntos de entrada como de salida del aire en la mina, incluyendo túneles de acceso, chimeneas y equipos de ventilación.

3.6.4. Diseño de circuitos de ventilación y caracterización de ventiladores

El diseño de los circuitos de ventilación y la caracterización de los ventiladores desempeñaron un papel fundamental en el estudio comparativo de los costos de los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos de la U.M. Alpayana. La presente sección detalla los aspectos técnicos clave relacionados con la

implementación de los circuitos y la evaluación de los ventiladores utilizados en el aumento del caudal de aire en la mencionada zona.

Diseño de Circuitos de Ventilación

El diseño de los circuitos se basó en las necesidades específicas de ventilación de la zona de Cuerpos, considerando los siguientes elementos:

-Configuración y Disposición: Se estableció una configuración detallada que abarca la disposición estratégica de los sistemas de ventilación para garantizar una cobertura efectiva en la zona de Cuerpos.

-Componentes Clave: Los componentes esenciales, como tipos de ventiladores, conductos y controles, fueron seleccionados con atención a las especificaciones técnicas para optimizar el rendimiento del sistema.

-Consideraciones de Ingeniería: El diseño incorporó consideraciones de ingeniería para garantizar la eficiencia operativa y la seguridad, siguiendo las pautas del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

Caracterización de Ventiladores

La caracterización de los ventiladores se llevó a cabo mediante métodos detallados que abarcan:

-Rendimiento y Eficiencia: Se evaluaron parámetros clave, como el rendimiento y la eficiencia de los ventiladores, mediante pruebas específicas para cada modelo considerado.

-Comparación de Modelos: Se realizó una comparación exhaustiva de diferentes modelos de ventiladores para identificar diferencias significativas en términos de capacidades y eficacia en el aumento del flujo de aire.

3.6.5. Modelamiento, Simulación y Caracterización en Ventsim Design 5

Este software especializado significó un papel fundamental en el análisis detallado de los sistemas de ventilación implementados en la zona de Cuerpos de la U.M. Alpayana.

Modelamiento

El proceso de modelamiento se centró en la representación tridimensional precisa de la red de ventilación en la zona. Se incorporó los parámetros de diseño, configuración de circuitos, y detalles estructurales para crear un modelo virtual que refleje la topografía y distribución espacial de los componentes de ventilación.

Simulación

La herramienta de simulación de Ventsim Design 5 permitió la evaluación dinámica del comportamiento del sistema de ventilación en escenarios diversos. Se llevó a cabo simulaciones exhaustivas para entender cómo el flujo de aire responde a distintas condiciones operativas y escenarios hipotéticos, brindando información valiosa sobre la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema en tiempo real.

Caracterización

La caracterización detallada se realizó mediante la recopilación de datos generados durante las simulaciones. Esto incluye información sobre la distribución del flujo de aire, las velocidades en puntos clave y las variaciones en la presión atmosférica.

3.6.6. Cálculo de caudal global requerido para el desarrollo de proyectos

La determinación de la cantidad de aire requerida para lograr una ventilación efectiva en una mina se basó en diversos requisitos y criterios establecidos, como se detalla en el Anexo 38 del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados clave de la investigación en relación con los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. Más allá de los aspectos financieros y económicos abordados en los siguientes puntos, es fundamental comprender la calidad del aire y la efectividad de la ventilación en el entorno minero.

Se abordarán los hallazgos relacionados con la calidad del aire, la diferencia de caudales, el caudal requerido en función del número de trabajadores y la velocidad mínima necesaria para mantener condiciones de trabajo seguras y saludables. Estos aspectos son fundamentales para evaluar la eficacia de los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos y garantizar el bienestar de los trabajadores.

A continuación, se detallarán los resultados de estos aspectos, que servirán como contexto importante antes de explorar en profundidad los costos asociados con los sistemas de ventilación en los siguientes puntos de este capítulo.

Ingreso de aire fresco

La cantidad y la eficiencia del caudal de ingreso de aire fresco son aspectos esenciales para evaluar los costos asociados con esta estrategia específica de ventilación.

La perforación de chimeneas con el equipo de Raise Boring se asocia directamente con el suministro de aire fresco para aumentar la ventilación en la zona de Cuerpos.

La Tabla 12 proporciona datos detallados sobre diversas estaciones de ventilación en diferentes ubicaciones de la mina, específicamente en las zonas de Esperanza, Oroya, y Cuerpos.

Tabla 12

Ingreso de aire fresco

INGRESO DE AIRE FRESCO

Estación	Nivel	Labor	Zona	Fecha^a Hora	Temp. °C	Área m^2	Vel. m/min	Caudal m^3/min	Caudal cfm
EVPI - 01	435	BM 435	Esperanza	9:10	11.2	9.09	131	1,191	42,052
EVPI - 02	435	BM 435	Oroya	9:22	11.8	11.2	158	1,778	62,771
EVPI - 03	430	BM 430	Cuerpos	9:38	11.4	3.76	87	327	11,552
EVPI - 04	1	3M Alex 01	Cuerpos	9:50	11.6	19.4	218	4,236	149,581
EVPI - 11	1	3M Alex 02	Cuerpos	10:20	11.4	23.6	62	1,463	51,671
EVPI - 05	4	BM Potosí	Cuerpos	10:58	13.8	6.53	289	1,887	66,644
EVPI - 06	480	BM 480	Oroya	11:14	11.4	24.5	62	1,523	53,773
EVPI - 07	480	BM480	Esperanza	11:25	12.6	13.8	69	956	33,772
EVPI - 08	450	BM 450	Cuerpos	11:39	11.5	27.2	59	1,607	56,734
EVPI - 09	600	RB 651	Cuerpos	11:56	11.7	3.1	97	305	10,756
EVPI - 10	600	BM 600	Cuerpos	12:14	11.8	17.5	142	2,492	88,006
				Total de ingreso de aire fresco				**17,765**	**627,312**

Nota: Elaboración propia.

La estación EVPI - 04 (Cuerpos) es una de las más significativas en términos de ingreso de aire fresco en la zona de Cuerpos, ya que contribuye con el 23.84% de esta.

La estación EVPI - 09 (Cuerpos) contribuye con el 1.72% de total del ingreso de aire fresco, es la proporción más baja.

La norma establece que: Las velocidades de aire no deben ser menores de 25 m/min ni mayores de 250 m/min. Lo que podemos observar en la Tabla 11 es

que su velocidad más baja es de 59 m/min, lo cual cumple con la norma, pero su velocidad más alta es de 289 m/min, la cual supera la norma; esto indica que hay una velocidad de aire más alta de lo recomendado. Por lo que, debería ser necesario ajustar la velocidad para cumplir con los límites establecidos por la normativa y garantizar condiciones seguras y saludables.

Aquí podemos observar que cada estación tiene su importancia en el sistema de ventilación, y la distribución del aire fresco está dividida entre ellas para garantizar una ventilación adecuada en todas las áreas de interés.

Ingreso de aire viciado

Ingreso de aire en ventilación subterránea se define como el proceso mediante el cual el aire atmosférico exterior penetra en las galerías, túneles o espacios subterráneos de una mina o excavación, con el propósito de diluir y eliminar contaminantes, como gases peligrosos y partículas en suspensión, así como de proporcionar oxígeno suficiente para mantener niveles aceptables de calidad del aire.

Este flujo de aire se controla y dirige mediante el diseño y la operación de sistemas de ventilación subterránea, los cuales incluyen conductos, ventiladores y dispositivos de regulación para garantizar condiciones ambientales seguras y adecuadas para la salud y la productividad de los trabajadores, así como para el funcionamiento eficiente de los equipos y maquinaria subterránea.

El "ingreso de aire viciado" en las diferentes estaciones indica el porcentaje de aire que proviene de estas estaciones y que puede contener contaminantes o sustancias no deseadas, lo que es importante para evaluar la calidad del aire en esas áreas específicas.

La Tabla 13 contiene información sobre diversas estaciones, sus niveles, el tipo de labor, la zona correspondiente, la temperatura, el área, la velocidad, el caudal y el ingreso de aire. Es crucial comprender la importancia de monitorear y controlar el ingreso de aire viciado en diversos entornos, ya que este fenómeno puede tener

consecuencias significativas para la salud y la seguridad. El aire viciado, que contiene concentraciones elevadas de contaminantes o gases perjudiciales, puede resultar perjudicial para la salud humana al ser inhalado.

Además, en entornos industriales o comerciales, la presencia de aire viciado puede contribuir a la acumulación de sustancias tóxicas o inflamables, aumentando el riesgo de accidentes. Por lo tanto, garantizar un adecuado flujo de aire fresco no solo mejora la calidad del ambiente, sino que también minimiza riesgos potenciales para la salud y la seguridad en diversos contextos.

En la Tabla 13 presenta la distribución del caudal de aire viciado en diferentes estaciones dentro de la ventilación subterránea. Cada fila representa una estación específica, con información detallada sobre el nivel correspondiente, la labor asociada, la zona de la mina y el total del caudal de aire viciado entre otros.

Esta información es crucial para comprender cómo se distribuye y gestiona el flujo de aire en el entorno subterráneo, lo que ayuda a garantizar condiciones seguras y saludables para los trabajadores y el correcto funcionamiento de la operación minera.

Tabla 13

Ingreso de aire viciado

INGRESO DE AIRE VICIADO									
Estación	**Nivel**	**Labor**	**Zona**	**Fecha Hora**	**Temp °C**	**Área m^2**	**Vel. m/min**	**Caudal m^3/min**	**Caudal cfm**
EVPS - 01	Sup.	RB 600	Cuerpos	13:35	15.4	3.7	1,129	4,177	147,517
EVPS - 02	Sup.	RB 131	Cuerpos	13:56	15.3	3.7	1,124	4,159	146,864
				14:23.	15.4	3.7	1,120	4,144	146,341
EVPS - 03	200	GL 793 - HS	Cuerpos	14:55	13.4	3.23	201	649	22,927
EVPS - 04	10	GL 793 - HS	Cuerpos	15:04	137	8.43	140	1,180	41,678
EVPS - 05	4	HS	Cuerpos	15:44.	14.3	3.05	66	201	7,109
EVPS - 06	Sup.	RB Araña	Cuerpos	16:32	14.6	1.56	1,610	2,512	88,695
EVPS - 07	18	XC 168 SE	Cuerpos	16:49	14.4	7.82	304	2,377	83,951
				Total de ingreso de aire viciado				**19,399**	**68,5082**

Nota: Elaboración propia.

Diferencia de caudales

La Tabla 14 tiene como objetivo analizar y visualizar el balance de ingresos y salidas de aire en la mina. El balance adecuado de caudales de aire es esencial para mantener condiciones óptimas en el entorno minero, evitando acumulaciones de gases perjudiciales y asegurando un suministro constante de aire fresco para los trabajadores subterráneos.

Tabla 14

Diferencia de caudales

Estación	**Caudal**	
	m^3/min	**cfm**
Ingreso de aire fresco	17,765	627,312
Salida de aire viciado	19,399	685,082
Diferencia de aire	**1,634**	**57,770**

Nota: Elaboración propia**.**

Podemos observar que la diferencia entre el ingresos y salida de aire es de 298 m^3/min y verificamos si cumple con la normatividad. La fórmula para calcular la diferencia porcentual es:

Diferencia porcentual

$$\Delta\% = \frac{|\, Ia - Sa \,|}{Ia} \qquad (8)$$

Nota: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

$$\Delta\% = \frac{|\, 3300 - 3599 \,|}{3300}$$

$$\Delta\% = 9.06\ \%$$

Donde:

Δ% = Diferencia porcentual.

Ia= Ingreso de aire fresco.

Sa= Salida de aire viciado.

Como la diferencia porcentual resultante es menor o igual al 10%, entonces el balance está dentro del límite permitido.

La diferencia de caudales del 9% refleja una gestión eficaz del sistema de ventilación, contribuyendo a un ambiente de trabajo seguro y saludable para el personal de la mina.

Caudal Requerido por el número de trabajadores

Hallar el caudal requerido por el número de trabajadores es esencial en el diseño y gestión de sistemas de ventilación en entornos como minas o espacios subterráneos. Esta información la encontramos en la Tabla 15 y sirve para garantizar que haya un suministro adecuado de aire fresco en el lugar de trabajo.

Tabla 15

Caudal requerido por el número de trabajadores

CAUDAL REQUERIDO POR EL NUMERO DE TRABAJADORES				
Empresa	**Nº trabajadores por guardia**	**D.S. 023-2017 EM**	**Caudal**	
		m^3/min	**m^3/min**	**CFM**
Cia Minera Casapalca S.A.	15	6	90	3,178
Gestión Minera Integral SAC.	323	6	1,938	68,439
Isamin Ingenieros S.A.C	30	6	180	6,357
Los Tallanes Mining Group S.A.C.	35	6	210	7,416
Sual Ingenieros S.R.L.	9	6	54	1,907
Rock Drill Contratistas Civiles y Mineros S.A.C.	8	6	48	1,695
AVG Shaft Technologies S.A.	10	6	60	2,119
	Caudal total para trabajadores (QTr)		**2,580**	**91,111**

Nota: Elaboración propia**.**

En esta Tabla 14 observamos que cada empresa tiene un número específico de trabajadores por guardia, que varía desde 8 hasta 323 trabajadores. El caudal requerido por trabajador varía según la empresa, pero todas cumplen con la normativa D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, que establece un caudal de 6 m³/min por trabajador.

La empresa con el mayor número de trabajadores por guardia (323) tiene el caudal más alto, contribuyendo significativamente al caudal total. Según el artículo 247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, D. S. N° 023-2017-EM. Se tiene que:

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 m. s. n. m., la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³/min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala: Sobre los 4,000 m. s. n. m. aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min.

Dado que la Unidad Minera (U.M.) ALPAYANA se sitúa a una altitud superior a los 4,200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), se le asigna un requerimiento de ventilación de 6 m³/min. Al analizar la Tabla 15, podemos confirmar que la U.M. está cumpliendo con este estándar establecido.

Caudal de aire por consumo de madera

Determinar el caudal de aire necesario en relación con el consumo de madera puede ayudar a garantizar una ventilación adecuada para mantener la calidad del aire en niveles aceptables, evitando la acumulación de contaminantes o partículas perjudiciales para la salud.

La madera utilizada en diversas labores dentro de la mina, incluyendo el sostenimiento, emite gases como CO_2 y CH_4. Este aspecto debe ser considerado al calcular la cantidad de aire necesaria dentro de la mina. La proporción de emisiones se determina en la Tabla 16 en relación con la producción y consumo de madera, siguiendo la siguiente escala:

Tabla 16

Factor de producción de acuerdo al consumo de madera

FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE MADERA	
Consumo de madera (%)	**Factor de producción m^3/min**
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 17 veremos el caudal de aire por consumo de madera. Mantener un caudal de aire adecuado contribuye a minimizar emisiones nocivas, garantizando condiciones de trabajo seguras para el personal en el entorno subterráneo. Además, la gestión cuidadosa del consumo de madera mediante un flujo controlado de aire ayuda a maximizar la durabilidad y eficacia de estos elementos estructurales esenciales para la estabilidad en el subsuelo minero.

Tabla 17

Caudal de aire por consumo de madera

Producción	Consumo de madera	Consumo de madera	Factor de producción	Caudal	
TMH/Gd.	TM/Gd.	%	m^3/min	m^3/min	cfm
2,250	17.28	0.8%	0	0	0
		Caudal total para madera (Qma)		**0**	**0**

Nota: Elaboración propia.

Aquí podemos observar que la Producción es 2,250 TMH/Gd. (Toneladas métricas húmedas por hora de guardia). Y que tiene un consumo de madera: 17.28 TM/Gd., lo que representa un 0.8% de la producción total. Por lo tanto, le corresponde un factor de producción de 0.00 m^3/min. Esto indica que como el consumo de madera es tan bajo no se ha considerado la emisión de gases de la madera en el cálculo del caudal de aire necesario.

Caudal de aire por temperaturas altas

En la Tabla 18 el caudal de aire por temperaturas altas se refiere a la cantidad de aire necesario para ventilar un área específica de una mina u otro espacio subterráneo cuando las temperaturas ambientales son elevadas. En entornos donde las temperaturas son altas, es crucial garantizar una ventilación adecuada para mantener condiciones seguras y saludables para los trabajadores y prevenir problemas relacionados con el calor. La norma establece lo siguiente:

Tabla 18

Velocidad mínima por temperatura

VELOCIDAD MÍNIMA	
Temperatura seca (ºC)	**Velocidad mínima m^3/min**
< 24	0
24 a 29	30

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 19 presenta información sobre diferentes zonas, niveles de temperatura, velocidad mínima según la norma D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, área y el caudal de aire correspondiente en función de las temperaturas altas.

La velocidad del caudal de aire y la temperatura están intrínsecamente vinculadas en sistemas de ventilación. Una velocidad adecuada del aire asegura una distribución uniforme, facilita la transferencia eficiente de calor, y contribuye al control efectivo de la temperatura.

Tabla 19

Caudal de aire por temperaturas altas

Zona	**Nvl. con temp. ºC**	**Velocidad min m/min**	**Área m^2**	**Caudal m^3/min**	**cfm**
Cuerpos	0	0	16.7	0	0
Oroya	0	0	8.4	0	0
Esperanza	1	30	6.7	201	7,098
Caudal total por temperatura (QTe)				**201**	**7,098**

Nota: Elaboración propia.

Podemos notar que, en las áreas de Cuerpos y Oroya, donde la temperatura es inferior a 24°C, la velocidad mínima de flujo de aire es de 0 m³/min.

Por otro lado, de acuerdo con las normativas, se establece una velocidad mínima de 30 m³/min para temperaturas que oscilan entre 24°C y 29°C. Esto es evidente en la zona Esperanza, donde la temperatura varía en ese rango, indicando la necesidad de mantener un flujo mínimo de 30 m³/min. Además, se destaca un caudal suministrado de 201 m³/min, lo que sugiere una provisión significativa de aire a esta área específica.

Por lo tanto, la velocidad del caudal de aire es crucial en los sistemas de ventilación por varias razones. En primer lugar, determina la eficacia con la que el aire se distribuye en un espacio, afectando directamente la ventilación y la calidad de aire interior. Una velocidad adecuada del caudal de aire garantiza la renovación efectiva del aire viciado y la dispersión homogénea de contaminantes. Además, la velocidad influye en la capacidad del sistema para mantener condiciones térmicas confortables, facilita la transferencia de calor y contribuye al control eficiente de la temperatura. En resumen, la velocidad del caudal de aire es esencial para el rendimiento general de los sistemas de ventilación, impactando en la salud y comodidad de los ocupantes, así como en la eficiencia energética del sistema.

Caudal de aire para equipos diésel

El caudal de aire necesario está relacionado con la cantidad de combustible que se quema en el motor. Para asegurar una combustión eficiente y completa del combustible, es esencial suministrar la cantidad correcta de oxígeno (aire). Si hay un desequilibrio en la proporción aire-combustible, puede afectar el rendimiento del motor, la eficiencia de combustión y, en última instancia, la operación del equipo diésel.

El suministro de aire necesario para los equipos que utilizan motores a gasolina debe ser igual o superior a tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min). Esta cantidad se determina en base a la capacidad efectiva de potencia (Hp) de los motores, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad mecánica, el uso según

la evaluación realizada por la titular de la actividad minera, la altitud, la temperatura de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión.

Esto lo veremos en la Tabla 20, 21, 22 y 23. Además de los motivos mencionados, también desempeña un papel crucial en el enfriamiento del motor diésel, proporcionando el flujo necesario para disipar el calor generado durante la combustión y el funcionamiento del motor, un enfriamiento adecuado es esencial para prevenir el sobrecalentamiento y garantizar la durabilidad del motor.

Cuidar el medio ambiente de las emisiones de los motores diésel se realiza con suficiente aire de ayuda para lograr una combustión más limpia, reduciendo la emisión de contaminantes y cumpliendo con los estándares ambientales y regulaciones de emisiones así proporcionamos un óptimo rendimiento de los equipos diésel, evitando la pérdida de potencia y aumento del consumo de combustible.

La gestión eficiente del caudal de aire es esencial para la ventilación adecuada de equipos diésel, como Jumbos y Dumpers. Estos vehículos desempeñan un papel crucial en la excavación y transporte de minerales, pero también generan emisiones significativas, incluidos gases nocivos como el dióxido de nitrógeno. Mantener un caudal de aire adecuado es vital para diluir y evacuar estos gases, asegurando un ambiente de trabajo seguro y saludable para los operadores.

Además, la ventilación controlada contribuye a prevenir la acumulación de particular y contaminantes en el aire, mejorando la calidad ambiental dentro de las galerías subterráneas. La implementación cuidadosa de sistemas de ventilación adaptados a la operación de equipos diésel no solo salvaguarda la salud de los trabajadores, sino que también optimiza la eficiencia operativa y prolonga la vida útil de los equipos al reducir la exposición a condiciones ambientales adversas.

Tabla 20

Caudal de aire para equipos diésel - Jumbos y Dumpers

CAUDAL DE AIRE PARA EQUIPOS DIESEL

ITEM	Equipos	Pot. Nominal	Rend.	Pot. efectiva	Disp. mecánica	Factor de utilización	Caudal	
		HP	%	HP	Dm (%)	Fu (%)	m^3/min	cfm
1	J-02	74	0.9	67	85	9	15	530
2	J-03	75	0.9	68	85	9	16	565
3	J-04	74	0.9	67	85	9	15	530
4	J-06	100	0.9	90	85	9	21	742
5	J-07	77.8	0.9	70	85	9	16	565
6	J-09	77.8	0.9	70	85	9	16	565
7	J-11	80	0.9	72	85	9	17	600
8	J-12	80	0.9	72	85	9	17	600
9	J-13	80	0.9	72	85	9	17	600
10	J-14	80	0.9	72	85	9	17	600
11	J-15	99	0.9	89	85	9	21	742
12	J-16	99	0.9	89	85	9	21	742
13	J-17	99	0.9	89	85	9	21	742
14	J-18	74	0.9	67	85	9	15	530
15	J-19	74	0.9	67	85	9	15	530
16	J-20	60	0.9	54	85	9	13	459
17	D-02	200	0.9	180	85	64	292	10,312
18	D-03	200	0.9	180	85	64	292	10,312
19	D-04	200	0.9	180	85	64	292	10,312
20	D-05	200	0.9	180	85	64	292	10,312
21	D-06	300	0.9	270	85	64	438	15,468
22	D-07	200	0.9	180	85	64	292	10,312
23	D-08	300	0.9	270	85	64	438	15,468
24	D-09	300	0.9	270	85	64	438	15,468
25	D-10	300	0.9	270	85	64	438	15,468
26	D-11	300	0.9	270	85	64	438	15,468
27	D-12	300	0.9	270	85	64	438	15,468
28	D-13	300	0.9	270	85	64	438	15,468
29	D-14	300	0.9	270	85	64	438	15,468
30	D-15	300	0.9	270	85	64	438	15,468
31	D-16	300	0.9	270	85	64	438	15,468

JUMBOS

DUMPERS

Nota: Elaboración propia.

Tabla 21

Caudal de aire para Scooptrams y Telescópicos

CAUDAL DE AIRE PARA EQUIPOS DIESEL

ITEM	Equipos		Pot. Nomina	Rend.	Pot. efecti	Disp. mecánica	Factor de utilización	Caudal	
			HP	%	HP	Dm (%)	Fu (%)	m^3/min	cfm
1	SCOOPTRAMS	SC-40	137	0.9	123	85	73	229	8,087
2		SC-47	175	0.9	158	85	73	292	10,312
3		SC-54	270	0.9	243	85	73	451	15,927
4		SC-55	137	0.9	123	85	73	229	8,087
5		SC-61	270	0.9	243	85	73	451	15,927
6		SC-62	270	0.9	243	85	73	451	15,927
7		SC-63	270	0.9	243	85	73	451	15,927
8		SC-64	270	0.9	243	85	73	451	15,927
9		SC-65	175	0.9	158	85	73	292	10,312
10		SC-66	175	0.9	158	85	73	292	10,312
11		SC-67	175	0.9	158	85	73	292	10,312
12		SC-68	175	0.9	158	85	73	292	10,312
13		SC-71	175	0.9	158	85	73	292	10,312
14		SC-72	175	0.9	158	85	73	292	10,312
15		SC-73	165	0.9	149	85	73	275	9,712
16		SC-74	165	0.9	149	85	73	275	9,712
17		SC-75	270	0.9	243	85	73	451	15,927
18		SC-77	270	0.9	243	85	73	451	15,927
19		SC-78	175	0.9	158	85	73	292	10,312
20		SC-79	270	0.9	243	85	73	451	15,927
21		SC-80	270	0.9	243	85	73	451	15,927
22		SC-36	95	0.9	86	85	73	159	5,615
23		SC-81	95	0.9	86	85	73	159	5,615
24		SC-82	95	0.9	86	85	73	159	5,615
25		SC-83	95	0.9	86	85	73	159	5,615
26	TELESCO PICOS	MT-02	101	0.9	91	85	36	84	2,966
27		MT-03	101	0.9	91	85	36	84	2,966

Nota: Elaboración propia.

Tabla 22

Caudal de aire para camionetas

CAUDAL DE AIRE PARA EQUIPOS DIESEL

ITEM		Equipos	Pot. Nominal	Rend.	Pot. efectiva	Disp. mecánica	Factor de utilización	Caudal	
			HP	%	HP	Dm (%)	Fu (%)	m^3/min	cfm
1	CAMIONETAS	TOYOTA-13	120	0.9	108	85	27	75	2,649
2		TOYOTA-16	120	0.9	108	85	27	75	2,649
3		TOYOTA-17	120	0.9	108	85	27	75	2,649
4		TOYOTA-18	120	0.9	108	85	27	75	2,649
5		TOYOTA-19	120	0.9	108	85	27	75	2,649
6		TOYOTA-20	120	0.9	108	85	27	75	2,649
7		TOYOTA-21	120	0.9	108	85	27	75	2,649
8		TOYOTA-22	120	0.9	108	85	27	75	2,649
9		TOYOTA-23	120	0.9	108	85	27	75	2,649
10		TOYOTA-24	120	0.9	108	85	27	75	2,649
11		TOYOTA-25	120	0.9	108	85	27	75	2,649
12		TOYOTA-26	120	0.9	108	85	27	75	2,649
13		TOYOTA-TALLANES	120	0.9	108	85	27	75	2,649
14		TOYOTA-ROCKDRIL	120	0.9	108	85	27	75	2,649
15		TOYOTA-AVG	120	0.9	108	85	27	75	2,649
16		TOYOTA-SUAL	120	0.9	108	85	27	75	2,649

Nota: Elaboración propia.

Tabla 23

Caudal de aire para Canter, Volquete y Motoniveladora

CAUDAL DE AIRE PARA EQUIPOS DIESEL

ITEM	Equipos		Pot. Nominal	Rend.	Pot. Efect.	Disp. mecánica	Factor de utilización	Caudal	
			HP	%	HP	Dm (%)	Fu (%)	m^3/min	cfm
1	CANTER	CAM - 14	110	0.9	99	85	36	92	3,249
2		CAM - 15	110	0.9	99	85	36	92	3,249
3		CAM - 16	110	0.9	99	85	36	92	3,249
4		CAM - 17	110	0.9	99	85	36	92	3,249
5		CAM - 18	110	0.9	99	85	36	92	3,249
6		CAM - 19	110	0.9	99	85	36	92	3,249
7		CAM - 20	110	0.9	99	85	36	92	3,249
8		CAM - 21	110	0.9	99	85	36	92	3,249
9		CAM - 22	110	0.9	99	85	36	92	3,249
10		CAM - 23	110	0.9	99	85	36	92	3,249
11		CAM - 24	110	0.9	99	85	36	92	3,249
12	VOLQUETE	VOL 61	440	0.9	396	85	64	643	22,707
13		VOL 62	440	0.9	396	85	64	643	22,707
14		VOL 63	440	0.9	396	85	64	643	22,707
15		VOL 64	440	0.9	396	85	64	643	22,707
16		VOL 65	440	0.9	396	85	64	643	22,707
17		VOL 81	441	0.9	397	85	64	644	22,743
18	MOTO-NIVELADORA	MOTO-NIVELADORA	120	0.9	108	85	18	50	1,766
Caudal total por equipos de motor diésel (Qeq)								**20,441**	**721,867**

Nota: Elaboración propia.

Las Tablas 20, 21, 22 y 23 enumera varios equipos, especificando su potencia nominal en HP (caballos de fuerza) y se observa que los Jumbos tienen potencias nominales que varían desde 60 HP hasta 100 HP, los Dumpers tienen una potencia nominal de 200 HP y 300 HP así mismo, los Scooptrams varían en potencia nominal desde 95 HP hasta 270 HP. Todos los equipos tienen un rendimiento del 90%, y la potencia efectiva se calcula en función de este rendimiento.

Se puede ver que el Caudal total por todos los equipos diésel es de 20,441 m³/min.

Resumen por caudal de aire

En la Tabla 24 se muestra el total de caudales requeridos sin fugas.

Tabla 24

Resumen del caudal de aire

Origen del caudal	Caudal	
	m^3/min	**cfm**
Caudal por trabajadores (QTr)	2,580	91,111
Caudal por madera (Qma)	0	0
Caudal por temperatura (Qte)	201	7,098
Caudal por equipos (Qeq)	20,441	721,867
Caudal requerido sin fugas (QT1)	**23,222**	**820,076**

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 24 vemos la distribución del caudal de aire en el sistema de ventilación, indicando las diversas fuentes que contribuyen a la demanda total de aire en la instalación. El caudal requerido sin fugas en la ventilación de minas desempeña un papel crucial en la seguridad y salud de los trabajadores subterráneos al proporcionar un suministro constante de oxígeno y al diluir y eliminar contaminantes peligrosos.

Además de prevenir la acumulación de gases inflamables, la ventilación adecuada contribuye al control de la temperatura y humedad, optimizando así las condiciones operativas. Esta medida no solo mejora la eficiencia del sistema de ventilación, reduciendo costos energéticos, sino también asegura el cumplimiento de la normativa salvaguardando tanto la integridad de los trabajadores como la continuidad de las operaciones subterráneas.

Caudal requerido por fugas

En la Tabla 25 veremos el caudal requerido por fugas. Las fugas pueden ocurrir en ductos, conexiones, puertas, ventanas u otras aberturas en el sistema de ventilación. El caudal requerido por fugas se calcula para asegurar que, incluso si hay pérdidas de aire, aún se cumplan con los requisitos de ventilación necesarios para mantener la calidad del aire y prevenir la acumulación de contaminantes o gases peligrosos.

Tabla 25

Caudal requerido por fugas

Caudal de aire	**Reglamento**	**Caudal**	
QT1 (m^3/min)	**D.S. 023-2017 EM**	**m^3/min**	**cfm**
23,222	15%	3,483	123,013
Caudal total por fugas (Qfu)		**3,483**	**123,013**

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 25 indica que el caudal necesario por fugas, de acuerdo con las pautas normativas, debe ser el 15% del caudal total de aire sin fugas. Dado que el caudal total requerido sin fugas es de 23,222 m³/min, el caudal por fugas se calcula como el 15% de este valor, resultando en 3,483 m³/min. Este valor representa la estimación de pérdida de aire debido a fugas en el sistema, y es importante tenerlo en cuenta al diseñar y gestionar el sistema de ventilación para garantizar un suministro adecuado de aire.

Caudal requerido total

La siguiente Tabla 26 presenta el caudal requerido total (QT0) que es la cantidad total de aire que se debe suministrar, teniendo en cuenta tanto la demanda directa como las posibles pérdidas por fugas. Este valor es crucial para asegurar una adecuada ventilación en el entorno especificado.

Tabla 26

Caudal requerido total

Origen del caudal	Caudal	
	m^3/min	**cfm**
Caudal requerido sin fugas (QT1)	23,222	820,076
Caudal por fugas (Qfu)	3,483	123,013
Caudal requerido total (QT0)	**26,705**	**943,089**

Nota: Elaboración propia.

Podemos ver que el caudal requerido total resulta de la suma del caudal requerido sin fugas y el caudal por fugas, representando la cantidad total de aire necesaria para el sistema. Y vemos que su valor es de 26,705 m³/min o 943,089 cfm.

Cobertura de aire

Una buena cobertura de aire implica que el caudal de aire suministrado es suficiente para alcanzar y ventilar todas las áreas críticas, asegurando que no haya acumulación de contaminantes, partículas o gases perjudiciales. En la siguiente Tabla 27 se presenta el porcentaje de la demanda total de aire que está siendo cubierta por el sistema de ventilación actual.

En la minería subterránea, la cobertura adecuada del caudal de aire es esencial para garantizar una distribución uniforme en todas las áreas de trabajo. La ventilación efectiva no solo diluye gases tóxicos y partículas en suspensión, sino que también evita zonas con concentraciones desequilibradas de oxígeno.

Este enfoque asegura condiciones seguras y saludables para los trabajadores en todos los rincones del yacimiento, mitigando riesgos asociados con la exposición a contaminantes. Además, una cobertura exhaustiva del caudal de aire contribuye a mantener una temperatura constante y confortable.

Tabla 27

Cobertura de aire en general

Cobertura de aire	**Caudal**	
	m^3/min	**cfm**
Ingreso de aire fresco	17,765	627,312
Caudal requerido total	26,705	943,089
Déficit/Superávit	**8,940**	**315,777**
Cobertura (%)	**67%**	

Nota: Elaboración propia.

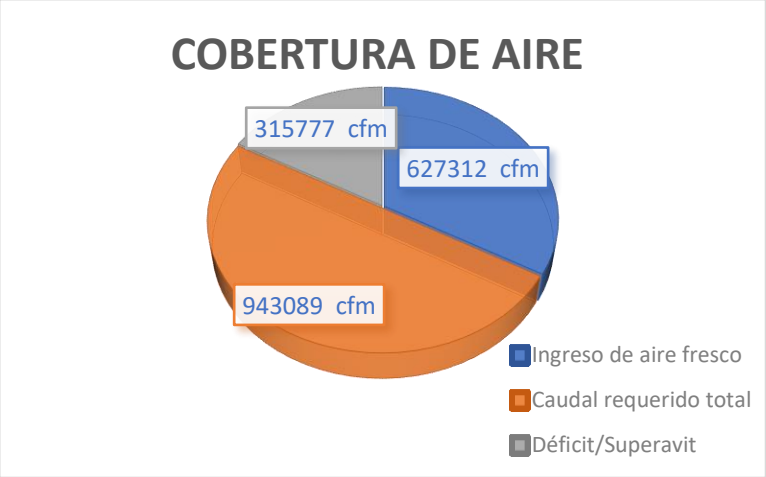
Se puede ver la totalidad de la cobertura total de aire, lo que significa que se está cubriendo el 67% de la demanda total de aire necesario. Un mayor porcentaje indicaría una mejor cobertura, en la Figura 3 podemos apreciar mejor como es la proporción de la cobertura de aire, este mayor porcentaje de caudal optimiza el así el rendimiento de los equipos y la productividad general en el entorno minero subterráneo.

Conocer la cobertura de aire en sistema de ventilación es esencial para garantizar la salud y bienestar de los ocupantes al proporcionar un suministro adecuado de oxígeno y mantener una calidad de aire interior óptima. Además, contribuye a la eficiencia energética al evitar la estratificación térmica y controlar la humedad, promoviendo así ambientes más sostenibles y cómodos.

En entornos específicos, la cobertura de aire adecuada es crucial para la seguridad, previniendo la acumulación de sustancias peligrosas, este conocimiento no solo asegura el cumplimiento de normativas y estándares, sino que también permite adaptarse a cambios en la ocupación o actividades, garantizando la flexibilidad y seguridad en diversos contextos.

Figura 3

Cobertura de aire general



Nota: Elaboración propia.

Aquí se muestra que el caudal requerido total es casi el doble del ingreso de aire fresco.

Cobertura de aire por zonas

Esta medida indica qué parte del caudal total de aire fresco está destinada a cada zona específica, asegurando que todas las áreas reciban la cantidad adecuada de ventilación para mantener condiciones seguras y saludables. En la Tabla 28 se muestra la cobertura de aire por zonas, siendo esto esencial para garantizar un ambiente de trabajo adecuadamente ventilado y para cumplir con las normativas y estándares de seguridad.

Comprender la "cobertura de aire por zonas" se vuelve esencial en sistemas de ventilación para garantizar un ambiente interior saludable. Conocer la distribución eficiente del aire permite optimizar la circulación, asegurando una ventilación adecuada en todas las áreas. La cobertura de aire por zonas en sistemas de ventilación constituye un pilar fundamental para diseñar entornos interiores que no solo cumplan con estándares normativos, sino que también promuevan la salud y la eficiencia en diversas aplicaciones.

Tabla 28

Cobertura de aire por zonas

COBERTURA DE AIRE POR ZONAS								
Balance de Ventilación por zonas	**Cuerpos**		**Oroya**		**Esperanza**		**Total**	
	m^3/min	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**
Ingreso de aire	12,405	438,083	3,211	113,408	2,147	75,821	17,763	627,312
Salida de aire	13,140	464,039	3,599	127,099	2,377	83,944	19,116	675,082
Balance	**735**	**25,957**	**388**	**13,691**	**230**	**8,122**	**1,353**	**47,770**

Nota: Elaboración propia.

Este enfoque permite una distribución equitativa de oxígeno, en la Tabla 29 encontramos el cálculo de requerimiento de caudal por zonas, para conocer la zona donde se encuentra mayor déficit de caudal de aire y analizar el sistema de ventilación amigable para cumplir con el requerimiento de caudal. La ventilación zonal se adapta a las diversas operaciones y procesos en la mina, mejorando la eficiencia y garantizando el cumplimiento de las regulaciones de seguridad. En situaciones de emergencia, esta estrategia facilita la gestión del aire y contribuye a una respuesta efectiva, reforzando la seguridad y resiliencia del entorno minero subterráneo.

Tabla 29

Cálculo de requerimiento de caudal por zonas

Requerimiento de aire por zonas	**Cuerpos**		**Oroya**		**Esperanza**		**Total**	
	m^3/min	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**	**m^3/min**	**cfm**
a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{tr})	990	34,962	911.95	32,206	678	23,944	2,579.95	91,111
b) Caudal requerido por el consumo de madera (QMa)	-	-	-	-	-	-	-	-
c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (QTe)	-	-	-	-	201	7,098.32	201.00	7,098
d) Caudal requerido por equipo con motor Petrolero (QEq)	19,802	699,308	322	11,364	317	11,195	20,441	721,867
e) Caudal requerido por fugas (QFu)	3,119	110,147	185	6,544	179	6321	3,483	123,013
Caudal total requerido para la operación	**23,911**	**844,417**	**1,419**	**50,114**	**1,375**	**48,558**	**26,705**	**943,089**

Nota: Elaboración propia.

Tabla 30

Cobertura de aire por zonas en %

Cobertura de aire por zonas	Cuerpos		Oroya		Esperanza		Total	
	m^3/min	cfm	m^3/min	cfm	m^3/min	cfm	m^3/min	cfm
Ingreso de aire	12,405	438,082.58	3,211.32	113,407.94	2,147	75,821.30	17,763.325	627,311.82
Caudal	23,911	844,416.97	1,419.06	50,114.104	1,375	48,558.12 -	26,705.06	943,089.19
Déficit/	11,506	406,334.39	-1,792.265	-63,293.84	-772	-27,263.18	8,941.735	315,777.37
Cobertura (%)	**52%**		**226%**		**156%**		**67%**	

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 30 proporciona información sobre la cobertura de aire por zonas en % en un entorno específico, donde las zonas se dividen en Cuerpos, Oroya y Esperanza, con totales para cada una y un total general. Comprender la cobertura de aire por zona es crucial para garantizar ambientes seguros y eficientes. Este conocimiento permite optimizar sistemas de ventilación y climatización, asegurando que cada área reciba la cantidad adecuada de aire fresco.

Tabla 31

Proyección de cobertura de aire general

PROYECCIÓN DE COBERTURA DE AIRE GENERAL			
Cobertura de aire	Actual	Ventilador a RB 338	Proyectado
Ingreso de aire (cfm)	627,312	300,000	927,312
Caudal Requerido (cfm)	943,089	943,089	943,089
Déficit (cfm)	315,777	-	15,777
Cobertura (%)	**66.5%**	**31.8%**	**98.3%**

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 31, encontramos la proyección de la cobertura de aire al integrar un ventilador adicional de 300,000 cfm al Raise Boring RB 338 es esencial para anticipar el impacto en la eficiencia del sistema de ventilación logrando un 98.3%

de cobertura. Este aumento significativo en la capacidad de inyectar caudal de aire tiene el potencial de mejorar de manera substancial la distribución y circulación del aire en áreas específicas de la operación minera.

Mejorar la distribución de aire no solo promueve la salud y comodidad de los ocupantes, sino que también contribuye a la eficiencia energética al evitar desperdicios y optimizar el rendimiento de los sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) y así acondicionar las labores mineras aptas para los trabajadores y equipos involucrados en la explotación de mineral.

En la Tabla 32, encontramos la proyección de cobertura en la zona de Cuerpos, agregándole un ventilador en la construcción de la chimenea de RB 338 con un ventilador de 300,000 cfm aumentando considerablemente el caudal de aire, llegando a un 87.4% de cobertura.

Tabla 32

Proyección de cobertura zona Cuerpos

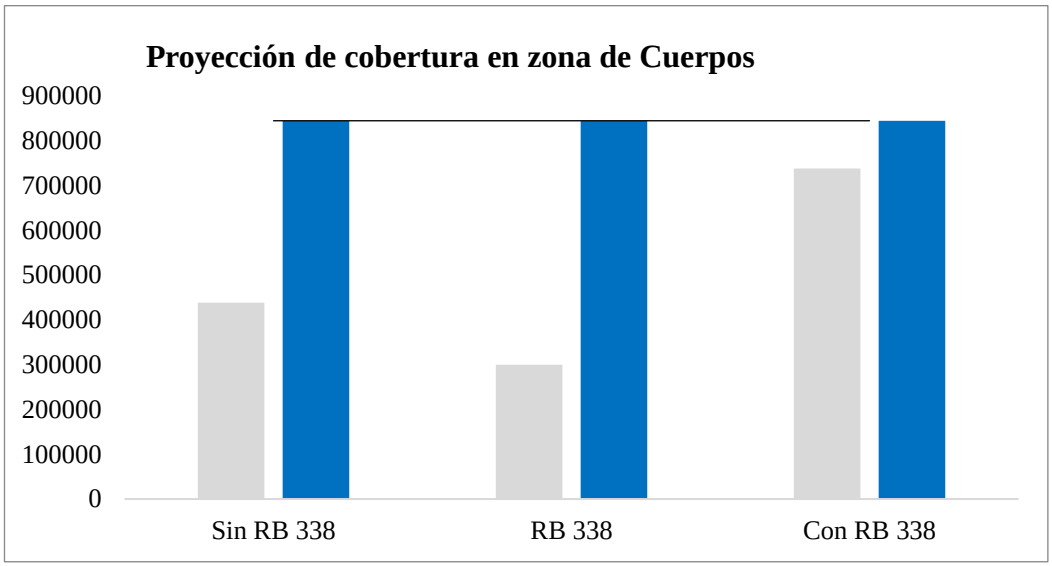
PROYECCIÓN DE COBERTURA ZONA CUERPOS			
Cobertura de aire	Actual	Ventilador a RB 338	Proyectado
Ingreso de aire (cfm)	438,083	300,000	738,083
Caudal Requerido (cfm)	844,417	844,417	844,417
Déficit (CFM) (cfm)	406,334	-	106,334
Cobertura (%)	**51.9%**	**35.5%**	**87.4%**

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 4, encontramos la proyección de cobertura en la zona de Cuerpos, en 3 escenarios diferentes, sin la construcción de un RB 338 con un ventilador de 300,000 cfm sólo considerando el ingreso de aire actual, notando en la gráfica de barras una diferencia con lo proyectado lo mismo pasa en la barra con sólo el aumento de caudal del ventilador de 300,000 cfm y en el último escenario la sumatoria del caudal del ingreso de aire con el ventilador de 300,000 cfm, nos encontramos cerca del cumplimiento del caudal requerido en la zona de Cuerpos.

Figura 4

Proyección de cobertura en zona de Cuerpos



Nota: Elaboración propia.

La zona de Oroya muestra una cobertura excedente del 226%, indicando un suministro de aire más que suficiente. La zona de Esperanza tiene una cobertura del 156%, también mostrando un excedente en el suministro de aire. A nivel total, la cobertura de aire es del 67%, lo que indica que en conjunto se está suministrando más aire del necesario, pero con un déficit en la zona de Cuerpos que debe abordarse.

Caída de presión y consumo de energía

La caída de presión y el consumo de energía son aspectos críticos en la ventilación de minas subterráneas. La caída de presión, relacionada con la resistencia al flujo de aire en el sistema, impacta directamente en la eficiencia de la ventilación y en la capacidad de suministrar aire fresco a todas las áreas de la mina.

Una caída de presión excesiva puede comprometer la salud de los trabajadores y la seguridad operativa. Además, el consumo de energía asociado con la ventilación representa un componente significativo de los costos operativos. Optimizar la caída de presión y reducir el consumo de energía no solo mejora la

eficiencia del sistema de ventilación, sino que también contribuye a la sostenibilidad operativa y económica de la mina subterránea.

En el contexto de la ventilación en una mina subterránea, la gestión eficiente de la caída de presión y el consumo de energía reviste importancia estratégica. La caída de presión impacta directamente en la distribución del aire, afectando la calidad del ambiente de trabajo y la seguridad de los trabajadores en la mina subterránea.

Además, un consumo de energía elevado no solo genera costos operativos considerables, sino que también contribuye a la huella ambiental de la operación minera. Optimizar estos aspectos no solo mejora la eficacia de la ventilación, sino que también promueve la sostenibilidad al reducir la demanda energética y minimizar los impactos medioambientales asociados con la actividad minera subterránea.

En la Tabla 33 encontramos el cálculo de caída de presión y consumo de energía, es importante conocer el consumo de energía y presiones de las diferentes actividades mineras, como las dimensiones de las labores, la velocidad del aire y la densidad encontrada para poder conocer el costo anual y realizar un análisis para la futura mejora.

Tabla 33

Cálculo de caída de presión y consumo de energía

		Datos de campo							Resistencia (KLP/5,2*A^3)	Caída estática (RQ^2)	Velocidad	Densidad	Caída de velocidad W*(V/1098)^2)	Caída de presión total (HL+HV)	Pot. perdida (HT*Q)	Consumo de energía por hora	Costo anual
Labor	**Zona**	**Ø**	**r**	**A**	**L**	**Per**	**K**	**Q**	**R**	**HL**	**V**	**w**	**HV**	**HT**	**HPa**	**ENERGIA**	**US$/Año**
		pie	**pie**	**pie^2**	**pie**	**pie**	**lb, min^2/p^4**	**pie^3/min**	**pulg, min^2/pie**	**Pulg, de agua**	**pie/min**	**lb/pie^3**	**pulg, H_2O**	**pulg, H_2O**	**HP**	**kwh**	**0,05 US$/KW**
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**3x10^5**	1.069E-10	9.62	**3,943**	**0.0471206**	0.61	10.23	576	505.7	218,462
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**4x10^5**	1.063E-10	17.01	**5,257**	**0.0471206**	1.08	18.09	1.266	1,111.5	480,168
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**5x10^5**	1.063E-10	26.58	**6,572**	**0.0471206**	1.69	28.26	2.384	2,092.3	903,874
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**6x10^5**	1.063E-10	38.27	**7,886**	**0.0471206**	2.43	40.70	4.036	3,541.8	1,530,058
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**7x10^5**	1.063E-10	52.09	**9,200**	**0.0471206**	3.31	55.40	6.328	5,553.9	2,399,285
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**8x10^5**	1.063E-10	68.03	**10,514**	**0.0471206**	4.32	72.35	9.368	8,222.2	3,551,990
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**9x10^5**	1.063E-10	86.10	**11,829**	**0.0471206**	5.47	91.57	13.263	11,640.6	5,028,739
RB 131	**Cuerpos**	**10**	**5**	76	3,937	31	2.0E-09	**1x10^6**	1.063E-10	106.30	**13,143**	**0.0471206**	6.75	113.05	18.12	15,902.7	6,869,966

Nota: Elaboración propia.

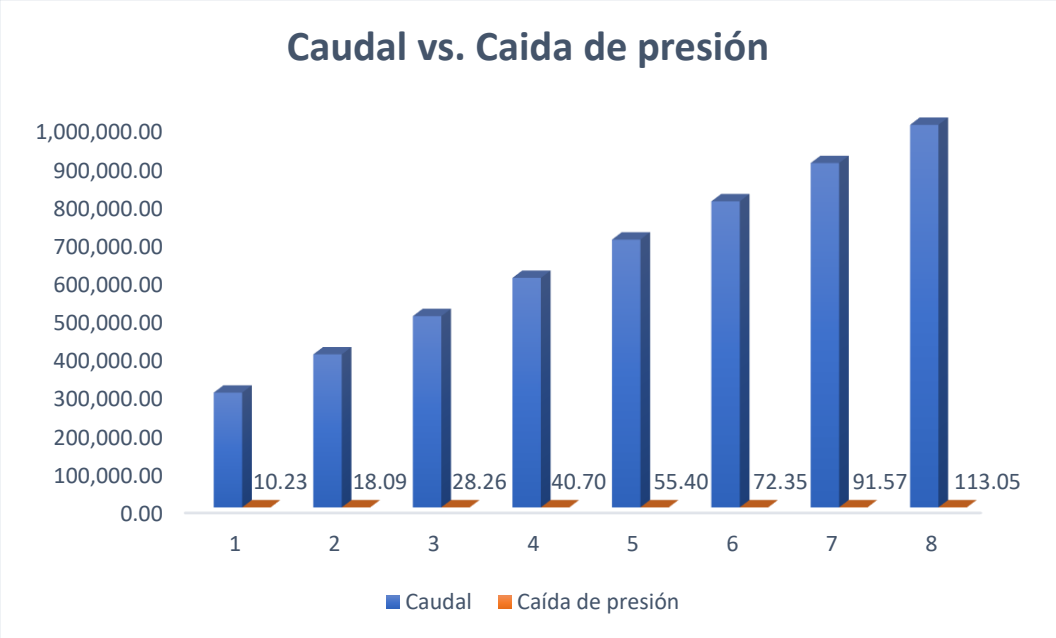
Podemos observar en esta Tabla 33 el Nivel, Labor, Zona, Ø (Diámetro) que describen la ubicación y las características del sistema de ventilación, incluyendo el diámetro de los conductos.

Cada nivel presenta un costo anual en la zona de cuerpos siendo el mínimo de 218,462 US $/Año y el máximo de 6,869,966 US $/Año.

En la Figura 5, se observa la relación entre el caudal y la caída de presión, destacando cómo cambios en el flujo afectan la presión. Un vistazo esencial para entender la dinámica fluida.

Figura 5

Caudal vs Caída de presión



Nota: Elaboración propia.

La evaluación precisa del caudal y la caída de presión es crucial en el diseño y funcionamiento eficiente de sistemas de ventilación. Comprender estas variables permite optimizar la eficiencia energética, garantizar el rendimiento adecuado de equipos y facilitar la toma de decisiones informadas para mantener la integridad y

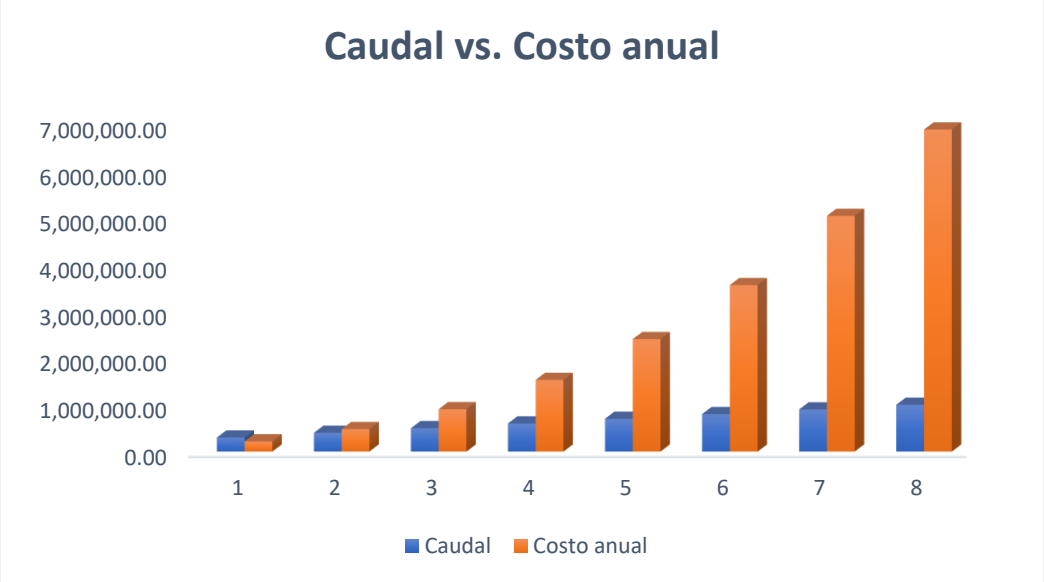
funcionalidad de sistemas hidráulicos y de ventilación, contribuyendo así a la eficacia y sostenibilidad operativa.

Además, en la Figura 6, la evaluación del caudal en relación con los costos anuales es esencial para una gestión eficiente de recursos. Al comprender cómo las variaciones en el flujo impactan los costos operativos, se pueden tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento del sistema y reducir gastos innecesarios.

Esta conexión estratégica entre caudal y costos anuales es fundamental para una planificación financiera efectiva y sostenible en operaciones a largo plazo, dentro de 10 años, esta planificación nos proporcionará la condición necesario para elegir a la mejor alternativa de sistema de ventilación, el costos anuales es un índice fundamental para la evaluación a largo plazo, si la alternativa es rentable para la empresa minera y si cumple con el caudal requerido.

Figura 6

Caudal vs Costo anual



Nota: Elaboración propia.

4.1.1. Costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Costos de inversión en el Raise Borer 338

Un Raise Borer es una máquina utilizada en minería y construcción para la perforación de pozos verticales, generalmente para la extracción de minerales o la construcción de túneles; estos costos son asociados con su adquisición, instalación y puesta en marcha.

Entender el costo de inversión asociado al Raise Boring para aumentar el caudal de aire en una mina subterránea se torna esencial por varias razones. La inversión en técnicas como Raise Boring puede tener un impacto directo en la capacidad del sistema de ventilación para proporcionar un caudal de aire adecuado.

Este conocimiento es crucial para evaluar la viabilidad económica y respaldar la implementación de tecnologías que mejoren la ventilación. Además, la gestión eficiente de los costos de inversión permite optimizar la infraestructura de ventilación, contribuyendo no solo a la salud y seguridad de los trabajadores, sino también a la eficiencia operativa general de la mina.

La Tabla 34 proporciona un desglose detallado de los costos asociados con la inversión en el Raise Borer 338 de 10′. Este análisis detallado no solo ofrece claridad sobre los gastos iniciales asociados con la adquisición de la maquinaria, sino que también desglosa los costos operativos a lo largo del tiempo.

Tabla 34

Costo de inversión en Raise Boring 338 de 10'

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario PU US$/.	Costo total US$/.
Costo de movilización e instalación			**US$/.**	**18,500.00**
Movilización / Desmovilización	unid	1	10,000.00	10,000
Instalación y Desinstalación	unid	1	8,500.00	8,500
Costo de perforación			**US$/.**	**1,118,700.00**
Perforación del piloto 12 1/4"	mts	565	380.00	214,700
Rimado de 10 pies de sección 3x3 m.	mts	565	1,600.00	904,000
Costo de preparaciones (Nivel 04)			**US$/.**	**18,933.35**
Xc 300 SW cámara de sección 3x3 m.	mts	22	650.00	14,300
Cam. 338 SW cámara de sección 5x5 m.		4	800.00	3,200
Sostenimiento con pernos de 6 pies de sección 3,5x3,5 m.	unid	54	15.00	810
Sostenimiento con malla sección de 3,5x3,5 m.	m^2	91	6.85	623
Costo de limpieza y acondicionamiento de concreto base (Superficie)			**US$/.**	**977.57**
limpieza de escombro y acondicionamiento sección 3,5x3,5 m.	unid	20	34.15	683.00
Loza de Concreto de sección 3,0x3,0 m.	m^2	9	32.73	294.57
SUB TOTAL COSTO RAISE BORET 338			**US$/.**	**1,157,110.92**
Coato de energía para Raise Boret 338			**US$/.**	**15,659.95**
Raise Boret 338	Kw-hr	313,199.00	0.05	15,659.95
COSTO TOTAL RAISE BORET 338			**US$/.**	**1,172,770.87**

Nota: Elaboración propia.

Aquí podemos apreciar que el costo total de movilización e instalación es la suma de estos dos, que es $18,500 el costo total de perforación es la suma de estos dos, que es $1,118,700 el costo total de preparación es de $18,933.35 el costo total de energía es de $15,659.95 calculado a una tarifa de $0.05 por Kw-hr. Y que por lo tanto La suma del costo total de Raise Borer 338 y el costo de energía es $1,172,770.87.

En resumen, se sugiere que la inversión en el Raise Borer 338 es sustancial y que incluye la movilización, instalación, perforación, preparaciones y costo de energía, por un total de $1,172,770.87.

Costos de operación del Raise Borer 338

Estos se refieren a los gastos asociados con el funcionamiento continuo de la máquina Raise Borer modelo 338 después de su instalación y puesta en marcha. Estos costos incluyen diversos elementos relacionados con la operación eficiente y sostenible de la máquina durante un período de tiempo determinado.

La Tabla 35 proporciona datos relacionados con el costo de operación del sistema de ventilación, específicamente para el Raise Borer 338 en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Tabla 35

Costo de operación del Raise Boring 338

Datos de campo					Caudal	Caída de presión total (HL+HV)	Potencia perdida (HT*Q)	Consumo de energía por hora	Costo anual
NIVEL	LABOR	ZONA	Ø M	Ø pie	Q pie^3/min	HT pulg. H_2O	HPa HP	ENERGIA kwh	US$/Año 0.05 US$/KWH
SUP	RB 338	Cuerpos	3	10	300,000	10.23	576	505.7	218,462

Nota: Elaboración propia.

Vemos que el costo anual se calcula multiplicando el consumo de energía por hora por la tarifa de electricidad, que es de $0.05 por kWh. Lo que resulta un costo anual es de $218,462.

Esto revela que la operación del sistema de ventilación, específicamente utilizando el Raise Borer 338 en la zona de Cuerpos, implica un consumo significativo de energía eléctrica. Esto sugiere que, además de los costos de inversión iniciales que analizamos anteriormente, hay costos continuos de

operación que deben considerarse al evaluar la eficiencia y la viabilidad a largo plazo de este sistema de ventilación.

Costos de inversión del Raise Borer 338

Estos son los gastos asociados con la utilización continua y eficiente de la máquina Raise Borer modelo 338 una vez que ha sido instalada y esté en funcionamiento. Estos costos son recurrentes y se incurren a lo largo del tiempo mientras la máquina realiza sus tareas específicas. La Tabla 36 proporciona información sobre el costo de inversión en infraestructura y equipos asociados con el sistema de ventilación del ventilador 300,000 cfm, en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Tabla 36

Costo de inversión de infraestructura y equipos del Raise Boring 338

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario PU US$/.	Costo total US$/.
Compra de ventilador 300,000 cfm	unid	1	200,000	200,000
Tablero eléctrico	unid	1	15,000	15,000
Construcción de plataforma	m^2	150	200	30,000
Construcción de caseta y base del ventilador	m^2	50	2,000	100,000
COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS			**US$/.**	**345,000**

Nota: Elaboración propia.

Notamos que el ventilador tiene un costo de adquisición de $200,000 el tablero eléctrico se valora en $15,000 la construcción de la plataforma asciende a $30,000 mientras que la edificación de la caseta y la base implica un gasto total de $100,000. La agregación de estos componentes resulta en un costo total de infraestructura y equipos de $345,000.

Durante los próximos 10 años, la Tabla 37 se detalla el costo del sistema de ventilación, destacando la inversión en la construcción del RB 338 y la implementación de un ventilador de 300,000 cfm. El análisis revela una estabilidad

en los costos operativos y evidencia la eficiencia sostenida de la combinación RB 338 y el ventilador a lo largo de la década. La presentación resalta la rentabilidad a largo plazo de esta inversión y ofrece una visión optimista para futuras consideraciones.

Tabla 37

Costo del sistema de ventilación con la construcción del RB 338 y un ventilador de 300,000 CFM

COSTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON LA CONSTRUCCIÓN DEL RB 338 Y CON UN VENTILADOR DE CAPACIDAD DE 300,000 CMF										
Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo Total (US$)	1,736,233	218,462	218,462	218,462	218,462	218,462	218,462	218,462	218,462	218,462
						Costo total en 10 años			**3,702,395**	

Nota: Elaboración propia.

Adicionalmente, la Figura 7 revela que el primer año de incorporación de la chimenea mediante la perforación de Raise Boring, junto con la adquisición del ventilador de 300,000 cfm, presenta un costo inicial más elevado.

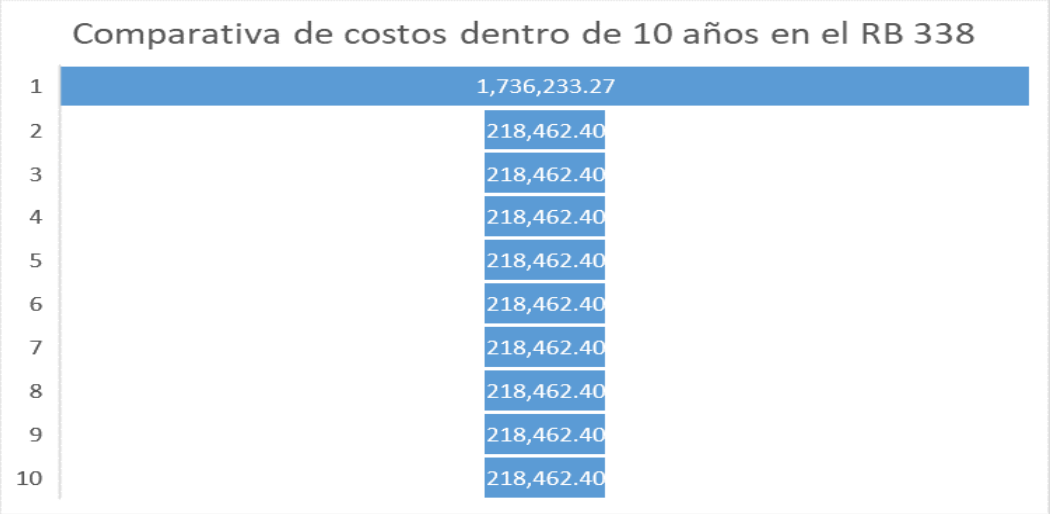
Este aumento inicial se atribuye a la inversión significativa requerida para la instalación y adquisición de equipos especializados. Sin embargo, es crucial destacar que este desembolso inicial se ve seguido por un período de estabilidad en los costos de energía desde el segundo año hasta el décimo año.

Esta constancia en los costos energéticos indica una eficiencia operativa sostenible a lo largo del tiempo, amortizando la inversión inicial y respaldando la viabilidad financiera a largo plazo de la mejora en la capacidad de extracción del sistema de ventilación.

La proyección detallada a lo largo de esta década ofrece una visión clara de la rentabilidad y la gestión financiera estratégica en el contexto de la minería subterránea.

Figura 7

Costo del sistema de ventilación con la construcción del RB 338 y con un ventilador de capacidad de 300,000 CMF



Nota: Elaboración propia.

Durante una década, el costo del sistema de ventilación, con la construcción del RB 338 y un ventilador de 300,000 cfm, ha demostrado su eficiencia sostenida. La inversión total de $3,702,395 se traduce en una estabilidad financiera, destacando la rentabilidad a lo largo del tiempo. Este análisis decenal subraya la efectividad continua de la infraestructura, ofreciendo una perspectiva positiva para futuras consideraciones y mejoras.

4.1.2.- Determinar los costos que ejercen en la aplicación del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Costos de inversión en el Ventilador 600,000 CFM

Se refiere a los gastos asociados con la adquisición, instalación y configuración de un ventilador con una capacidad de 600,000 cfm.

La Tabla 38 describe el costo de inversión en infraestructura y equipos para el sistema de ventilación, con énfasis en la adquisición de un ventilador de 600,000 cfm.

Tabla 38

Costo de inversión de infraestructura y equipos del ventilador 600,000 CFM

Inversión	Unidad	Cantidad	P.U. US$/.	US$/.
Compra de ventilador 600,000 cfm	unid	3	400,000	1200,000
Tablero eléctrico	unid	1	40,000	40,000
Construcción de plataforma	m^2	200	200	40,000
Construcción de caseta	m^2	50	2,000	100,000
Costo total de infraestructura y equipo			**US$/.**	**1,380,000**

Nota: Elaboración propia.

Se proyecta la adquisición de tres ventiladores, sumando un total de $1,200,000 en costo. Además, se anticipa la compra de un tablero eléctrico esencial para el funcionamiento del sistema, con un costo de $40,000. La construcción de una plataforma, abarcando 200 metros cuadrados, se estima en $40,000. Asimismo, se considera la edificación de una caseta con una superficie de 50 metros cuadrados, implicando un gasto total de $100,000.

La suma de todos estos componentes de inversión resulta en un costo total de infraestructura y equipos de $1,380,000.

Costos de operación del Ventilador 600,000 CFM

Son aquellos costos recurrentes asociados con el funcionamiento continuo del ventilador con una capacidad de 600,000 cfm. Estos costos de operación son necesarios para mantener el rendimiento eficiente y efectivo del ventilador a lo largo del tiempo.

La Tabla 39 proporciona información sobre el costo de operación del ventilador 600,000 cfm aumentado en el RB 131, considerando la caída de presión, potencia perdida, el consumo de energía por hora y por último el costo anual.

Tabla 39

Costo de operación del ventilador 600,000 CFM

Datos de campo					Caudal	Caída de presión total (HL+HV)	Potencia perdida (HT*Q)	Consumo de energía por hora	Costo anual
NIVEL	LABOR	ZONA	Ø	Ø	Q	HT	HPa	ENERGIA	US$/Año
			m	pie	pie^3/min	pulg. H_2O	HP	kwh	0.05 US$/KWH
SUP.	**RB 131**	**Cuerpos**	**3**	**10**	**600,000**	40.7	4.036	3,541.8	**1,530,058**

Nota: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que la potencia perdida indica la cantidad de energía que se consume adicionalmente para superar la resistencia al pasar el aire a través de conductos, filtros y otros componentes del sistema.

En la Tabla 39 proporcionada, observamos que la potencia perdida se determina al multiplicar la caída total de presión por el caudal de aire. En este escenario específico, la potencia perdida asciende a 4.036 caballos de fuerza (HP). La caída total de presión, que refleja la resistencia que enfrenta el sistema al desplazar el aire, alcanza las 40.7 pulgadas de agua. Además, el sistema consume 3,541.8 kilovatios-hora (kWh) de energía por hora, generando un costo anual de operación de $1,530,058. Este cálculo considera una tarifa eléctrica de $0.05 por kWh.

No debemos olvidar que la potencia perdida está directamente relacionada con el consumo de energía. A medida que la potencia perdida aumenta, también lo hace el consumo de energía. Esto implica que más energía eléctrica se requerirá para mantener el sistema en funcionamiento. Así mismo, cuanta más energía se consume, mayores son los costos operativos, ya que se paga por la electricidad utilizada. Por lo tanto, minimizar la potencia perdida es esencial para reducir los costos asociados con la operación del sistema. Aquí se proporciona información valiosa sobre la eficiencia y los costos asociados con la operación del sistema.

Costos del sistema de ventilación aumentando la capacidad de extracción a 600,000 CFM al RB 131

Son los gastos asociados con la implementación de mejoras en un sistema de ventilación específico para aumentar su capacidad de extracción a 600,000 cfm utilizando el Raise Borer (RB) 131. Los costos asociados con el sistema de ventilación, al aumentar la capacidad de extracción a 600,000 pies cúbicos por minuto (cfm) con el Raise Boring RB 131, constituyen una consideración crítica en la planificación y gestión minera.

Este incremento en la capacidad de extracción puede traducirse en beneficios significativos para la calidad del aire en entornos subterráneos, pero también implica evaluaciones detalladas de costos de inversión y operativos. La implementación de esta mejora precisa una cuidadosa evaluación de los equipos necesarios, la infraestructura requerida y los gastos asociados, siendo esencial para garantizar la eficiencia operativa y cumplir con los estándares de seguridad y salud ocupacional en la mina subterránea, para un óptimo trabajo de explotación.

Los costos del sistema de ventilación al aumentar la capacidad de extracción a 600,000 cfm con el Raise Boring RB 131 representan un aspecto crítico en la gestión minera integral. Más allá de la mejora potencial en la calidad del aire en entornos subterráneos, estos costos son fundamentales para la toma de decisiones estratégicas en la planificación minera.

La Tabla 40 proporciona un desglose detallado de los gastos asociados, abarcando desde la inversión inicial hasta los costos operativos a lo largo de un período de 10 años. La cuidadosa evaluación necesaria para la implementación de esta mejora incluye la consideración meticulosa de los equipos requeridos, la infraestructura necesaria y los costos operativos asociados.

Tabla 40

Costo del sistema de ventilación aumentado la capacidad de extracción a 600,000 CFM al RB 131

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo Total (US$)	2,910,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058	1,530,058
							Costo total en 10 años		**16,680,576**	

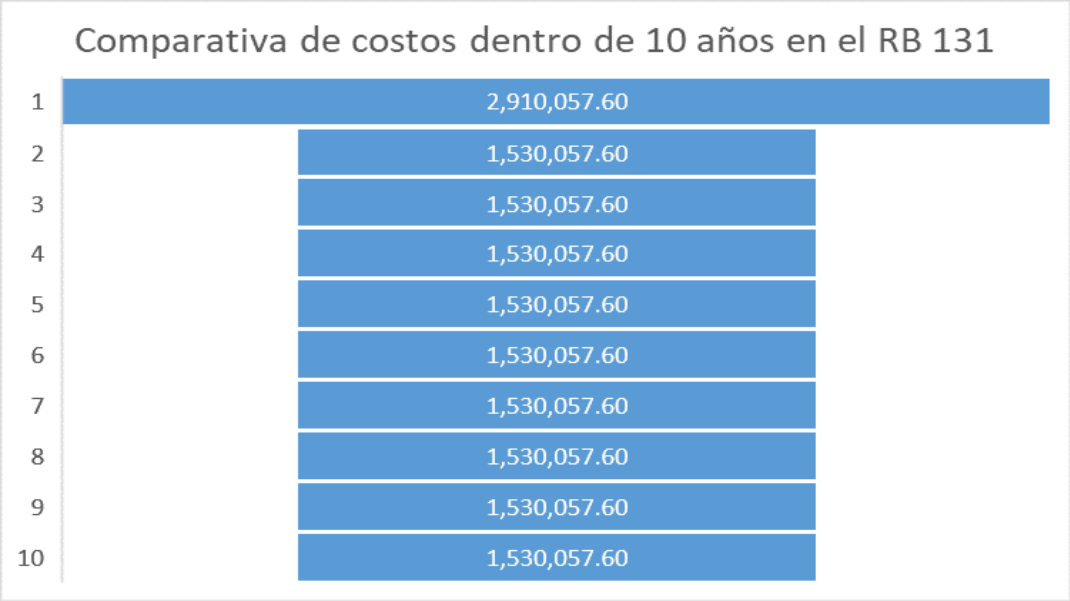
Nota: Elaboración propia.

Aquí se muestra los costos anuales en dólares estadounidenses asociados con la implementación y operación del sistema de ventilación mejorado. Cada año, el costo es de $1,530,058 indicando una cantidad constante durante los 10 años. La suma acumulativa de los costos anuales durante los 10 años es de $16,680,576. Evaluar el costo del sistema de ventilación al aumentar la capacidad de extracción a 600,000 pies cúbicos por minuto (cfm) con el Raise Boring RB 131 a lo largo de un período de 10 años es esencial para una planificación financiera sólida en operaciones mineras.

En la Figura 8, se observa el análisis de los costos anuales del sistema de ventilación mejorado para la extracción de 600,000 cfm con Raise Boring RB 131. Costo constante de $1,530,058/año durante 10 años, con una suma acumulativa de $16,680,576. Crucial para la planificación financiera en operaciones mineras.

Figura 8

Costos del sistema de ventilación aumentando la capacidad de extracción a 600,000 CFM al RB 131



Nota: Elaboración propia.

Esta proyección a una década permite comprender no solo los gastos iniciales de inversión, sino también los costos operativos continuos y posibles actualizaciones a lo largo del tiempo. La consideración a largo plazo es crucial para determinar la viabilidad económica de esta mejora, asegurando que los beneficios en términos de eficiencia de ventilación y seguridad ambiental compensen adecuadamente los desembolsos financieros a lo largo del período especificado y así aportar a la producción optima de la mina.

4.1.3.- Costos que se obtienen de la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

La Tabla 41 proporciona una comparación de costos en un período de 10 años entre dos escenarios diferentes relacionados con el sistema de ventilación, constituye un recurso fundamental para la toma de decisiones estratégicas. Este análisis exhaustivo no solo evalúa los gastos inmediatos, sino que también arroja luz sobre la sostenibilidad financiera a largo plazo.

Comparación de costos en 10 años

La Tabla 41 de comparación de costos se enfoca en dos escenarios distintos para el sistema de ventilación durante un período de 10 años. Uno de ellos considera el aumento de la capacidad a 600,000 cfm con el RB 131, mientras que el otro contempla la construcción del RB 338 junto con un ventilador de 300,000 cfm.

Tabla 41

Comparativa de costos dentro de 10 años

Comparativa de costos del sistema de ventilación en 10 años	Costo total (US$/)
Costo del sistema de ventilación aumentando de capacidad de extracción a 600,000 cfm al RB 131.	**16,680,576**
Costo del sistema de ventilación con la construcción del RB 338 y con un ventilador de capacidad de 300,000 cfm.	**3,702,395**
DIFERENCIA DE COSTOS	**12,978,181**

Nota: Elaboración propia.

Aquí observamos que, la primera opción es incrementar la capacidad de extracción del Raise Borer 131 a 600,000 cfm. Este escenario tiene un costo total estimado de $16,680,576 para el sistema de ventilación durante un período de 10 años.

La segunda opción es construir el Raise Borer 338 y utilizar un ventilador con una capacidad menor, específicamente de 300,000 cfm. El costo total

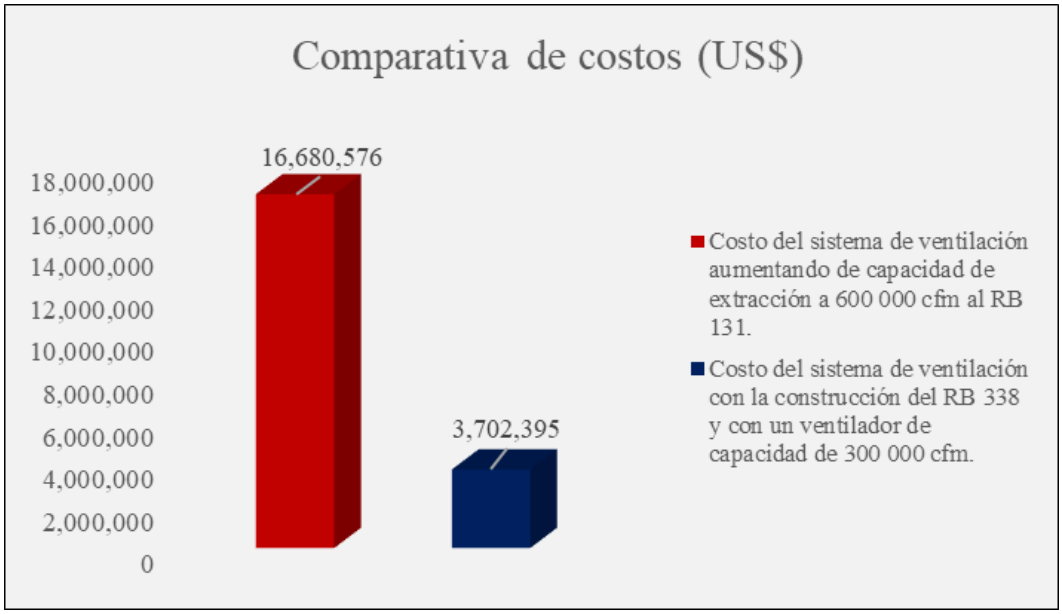
proyectado para este escenario durante los 10 años es de $3,702,395. La diferencia entre los costos de los dos escenarios es de $12,978,181.

La opción de construir el Raise Borer 338 y utilizar un ventilador de menor capacidad se muestra como una alternativa más económica y eficiente durante el período de 10 años en comparación con la alternativa de simplemente aumentar la capacidad del Raise Borer 131.

En la Figura 9, encontramos la comparativa de costos, este ahorro sustancial de $12,978,181 indica que, en términos de costos totales, la construcción del Raise Borer 338 y el uso de un ventilador con menor capacidad es la opción más rentable a lo largo del tiempo especificado.

Figura 9

Comparativa de costos (US$)



Nota: Elaboración propia.

En una perspectiva de inversión, la opción de aumentar la capacidad de extracción a 600,000 cfm en el RB 131 presenta un significativo desembolso de $16,680,576. En contraste, la construcción del RB 338 con un ventilador de 300,000 cfm implica un gasto notablemente menor, totalizando $3,702,395.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El proyecto de tesis de Lozano (2019) destaca la urgente necesidad de mejorar la capacidad de ventilación en la mina Casapalca S.A. el déficit de ventilación es evidente, la propuesta de construir un RB 02 en la zona de Cuerpos, con un diámetro de 3.6m y longitud de 502.4m busca abordar este problema y alcanzar una cobertura eficiente para mejorar las operaciones mineras y cumplir con los estándares de seguridad.

Al comparar los resultados con los antecedentes presentados, se pueden identificar varias áreas de relación y congruencia: Los hallazgos encontrados en esta investigación sobre la contribución de diferentes estaciones de ventilación, especialmente la estación EVPI-04 en Cuerpos, son consistentes con la importancia de la ubicación estratégica de estaciones de ventilación destacada por varios antecedentes, como Lozano (2019) y Vargas (2018).

Los resultados revelan que la estación EVPI-04 en la zona de Cuerpos es crítica, contribuyendo significativamente al suministro total de aire fresco (23.84%). Esta conclusión podría dar lugar a discusiones sobre cómo optimizar aún más la eficiencia en esta estación específica, considerando posibles mejoras en la distribución del aire para maximizar la seguridad y la salud de los trabajadores.

El hallazgo de variaciones en las velocidades del aire, especialmente en la estación EVPI-09, plantea cuestiones cruciales para la seguridad. La discusión podría centrarse en estrategias específicas para abordar estas variaciones, como ajustar las velocidades para cumplir con los límites establecidos y garantizar condiciones seguras en todas las estaciones de ventilación.

Destacar la contribución del 9% en términos de diferencia en la gestión eficaz hacia un ambiente seguro y saludable proporciona una base sólida para discutir la importancia de las prácticas de gestión en la seguridad laboral y la calidad del aire en ambientes mineros subterráneos.

Desde una perspectiva técnica, enfocarse en cómo la nueva chimenea por Raise Boring y el ventilador de 300,000 cfm permiten un diseño integrado del sistema de ventilación. La compatibilidad y sincronización entre los componentes resultan en una operación más eficiente y confiable, minimizando los problemas de desajuste y asegurando una respuesta coordinada a las demandas cambiantes de ventilación.

La observación de variaciones en las velocidades del aire, especialmente el incumplimiento de la norma en EVPI-09, refleja la importancia de ajustar la velocidad para cumplir con los límites establecidos. Esta preocupación por la velocidad del aire coincide con la discusión de Castillo (2017), donde se implementó un nuevo sistema de ventilación para cumplir con las necesidades específicas de caudal.

La elección de la nueva chimenea con un ventilador de menor capacidad puede discutirse desde la perspectiva de la seguridad y el cumplimiento normativo. Al cumplir con los estándares y regulaciones establecidos, se garantiza un ambiente seguro para los ocupantes, al tiempo que se reduce el riesgo de incidentes asociados con el sistema de ventilación.

La diferencia eficaz entre ingresos y salidas de aire, cumpliendo con el límite permitido del 10%, es coherente con la importancia de una gestión eficaz del aire viciado discutida por Gonzales y Puente (2021) y Colonia (2022). El cumplimiento de todas las empresas con el estándar de caudal por trabajador se alinea con los hallazgos generales de Mamani (2019) y demuestra la preocupación constante por garantizar un entorno seguro y saludable.

Un enfoque técnico puede destacar la capacidad de resiliencia del sistema seleccionado. Analizar cómo la nueva chimenea por Raise Boring con el ventilador de 300,000 cfm puede adaptarse eficientemente a variaciones en las condiciones operativas o a futuras expansiones, garantiza la durabilidad y eficacia a largo plazo del sistema de ventilación.

La contribución de diversos equipos al caudal total de aire es coherente con la discusión sobre el impacto de los equipos diésel en la ventilación, destacada por Castillo (2017) y Herrera (2019), comparando con el aumento al Raise Boring 131 con un ventilador de potencia de 600,000 cfm, nos proporciona elevados costos a largo plazo sin considerar la durabilidad y eficacia del equipo.

Los costos asociados con Raise Borer 338 y el ventilador 600,000 cfm, junto con la comparación de costos a lo largo de 10 años, están en línea con la discusión de varios antecedentes sobre estrategias de optimización de costos, como Lotito (2022) y Costa y Silva (2020).

El estudio comparativo podría abordar cómo la opción elegida impacta en la eficiencia energética del sistema en comparación con el aumento de capacidad del Raise Boring 131. Detalles sobre el consumo de energía, la eficiencia del ventilador y las estrategias de control subrayan la contribución de la alternativa seleccionada a la sostenibilidad y al ahorro de recursos.

La interpretación sobre el ahorro sustancial al construir Raise Borer 338 y usar un ventilador de menor capacidad refleja una consideración económica y operativa. Esta conclusión está en sintonía con la búsqueda de eficiencia y ahorro de costos mencionada por varios autores, incluidos Lotito y Costa y Silva.

Considerando los futuros aspectos, se puede profundizar en el análisis de la fiabilidad y mantenibilidad de ambas opciones. La nueva chimenea con el ventilador de menor capacidad puede destacarse por su diseño que facilita el mantenimiento, reduciendo el tiempo de inactividad y asegurando un funcionamiento continuo y confiable del sistema de ventilación.

Los resultados obtenidos no solo respaldan, sino también amplían los conceptos previamente discutidos en los antecedentes proporcionados, ofreciendo una visión específica y detallada sobre la ventilación en el contexto de la minería subterránea. La atención centrada en la eficiencia, seguridad y costos, respaldada por la aplicación de tecnologías específicas, refuerza la coherencia y pertinencia de la investigación en el panorama actual de este campo.

Estos resultados ofrecen una contribución valiosa al campo al proporcionar información práctica y detallada que puede informar la toma de decisiones operativas, mejorar la seguridad y salud, y guiar las estrategias financieras en el ámbito de la ventilación en la minería subterránea.

La comparación entre el aumento de capacidad del Raise Boring 131 con un ventilador de mayor capacidad (600,000 cfm) y la construcción de una nueva chimenea con la perforación de Raise Boring 338 junto con un ventilador de menor capacidad (300,000 cfm) destaca la eficiencia en términos de costo-beneficio. ofreciendo el caudal necesario a un costo significativamente inferior a lo largo de los 10 años, lo que hace que esta alternativa sea más rentable.

El estudio comparativo detallada de las resistencias y pérdidas de carga en el sistema revela que la nueva chimenea con un ventilador de menor capacidad presenta una ventaja técnica. Esta opción reduce las pérdidas de carga, disminuyendo las resistencias en el conducto de ventilación y, por ende, optimizando la eficiencia del sistema a lo largo del tiempo.

Utilizando herramientas de modelamiento de flujos de aire, se puede demostrar de manera técnica cómo la nueva chimenea por Raise Boring 338 junto con el ventilador de 300,000 cfm logra una distribución uniforme del aire en comparación con la opción de aumento de capacidad del Raise Boring 131. Esto respalda la elección de la alternativa que garantiza condiciones de ventilación homogéneas en la zona cuerpos.

La implementación de un análisis de ciclo de vida del sistema de ventilación respalda la opción seleccionada desde una perspectiva técnica. Al considerar los costos de construcción y operación a lo largo del tiempo, se demuestra técnicamente que la nueva chimenea por Raise Boring 338 con un ventilador de menor capacidad es más eficiente y sostenible desde el punto de vista técnico y financiero.

Un análisis detallado de las vibraciones y el ruido generado por cada opción respalda la elección técnica. La nueva chimenea por Raise Boring 338 con el ventilador de 300,000 cfm puede demostrar niveles de vibración y ruido aceptables,

cumpliendo con los estándares de confort y seguridad en comparación con el aumento de capacidad del Raise Boring 131 con un ventilador de 600,000 cfm.

4.2.1. Prueba de hipótesis

4.2.1.1. Prueba de hipótesis general

Describiendo la hipótesis general planteada en este estudio comparativo:

H_1: El análisis de los costos de comparación de los sistemas de ventilación influirá en la elección del sistema de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

H_0: La instalación del ventilador en comparación con Raise Boring es más económica. Sin embargo, este beneficio se ve contrarrestado por el alto consumo de energía del ventilador, subrayando la importancia de una evaluación completa del ciclo de vida.

Los métodos de prueba utilizados son el análisis de costos iniciales y operativos, donde se realizó la comparación detallada de los costos asociados con cada sistema. Obteniendo como resultados la instalación del ventilador es más económica comparado a la perforación Raise Boring, sin embargo es esencial considerar el consumo de energía del ventilador para una evaluación completa a lo largo de su ciclo de vida.

4.2.1.2. Prueba de hipótesis específica

De igual forma, se demostrará las hipótesis específicas identificadas en el informe de investigación.

A. Prueba de la primera hipótesis específica

H_1: Los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana, son menores.

H_0: Los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos son menores a comparación de los equipos de ventiladores.

Los métodos de pruebas utilizados fueron la simulación y desarrollo de los cálculos de perforación de una chimenea por Raise Boring, incluyendo un análisis económico de eficiencia a largo plazo. Obteniendo como resultado de costos incluyendo la movilización, instalación del equipo, perforación, elementos de sostenimiento acondicionamiento de la sección y consumo de energía, asciende a US$/. 1,736,223.

B. Prueba de la segunda hipótesis específica

H_1: Los costos que implican en el empleo del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana, son mayores.

H_0: Los costos de implementación del ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana, son mayores.

Los métodos de pruebas utilizados fueron la comparación de ventiladores y métodos para aumentar el caudal de aire, analizando los costos asociados, incluyendo la adquisición y consumo de energía. Obteniendo como resultado el análisis detallado de los costos para la implementación del sistema de ventilación que incluye el ventilador de (600,000 cfm), tablero eléctrico, construcción de plataforma y caseta, así como el consumo de energía, totaliza US$/. 2,910,058.

C. Prueba de la segunda hipótesis específica

H_1: Existe una diferencia de costos significativo con la aplicación de los sistemas de ventilación por chimenea de Raise Boring y Ventilador para el aumento del requerimiento de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

H_0: Existe una diferencia de US$/. 12,978,181 entre la construcción de una chimenea por Raise Boring y la adquisición de un ventilador para el aumento del requerimiento de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.

Los métodos de pruebas utilizados se definieron variables, como los costos de sistemas de ventilación por Raise Boring y ventiladores analizando la comparativa en hojas de cálculo de Excel para evaluar los costos iniciales y operativos dentro de 10 años. Obteniendo como resultado una diferencia notable entre estos dos sistemas de ventilación siendo más económico la perforación de la chimenea por Raise Boring logrando un ahorro de US$/. 12,978,181.

Estas hipótesis y pruebas ofrecen una visión integral de los costos asociados con distintos sistemas de ventilación, subrayando la importancia de evaluar tanto los costos iniciales como los operativos a lo largo del ciclo de vida para tomar decisiones informadas en el contexto minero.

Además, la análisis detallado de las hipótesis y pruebas resalta la complejidad inherente a la toma de decisiones en el ámbito minero, donde la elección del sistema de ventilación no solo se basa en los costos iniciales, sino también en los costos operativos y el consumo de energía a lo largo del tiempo.

Estos resultados no solo ofrecen una guía valiosa para la gestión financiera en el corto plazo, sino que también enfatizan la necesidad de adoptar una perspectiva a largo plazo al evaluar la viabilidad económica y la sostenibilidad de los sistemas de ventilación en entornos mineros.

En última instancia, la toma de decisiones informada se convierte en un componente esencial para optimizar la eficiencia operativa, la seguridad y la rentabilidad en el sector minero.

V. CONCLUSIONES

En este estudio exhaustivo sobre ventilación en minería subterránea, se ha explorado la complejidad de las operaciones mineras, considerando factores críticos como eficiencia, seguridad y costos. Los antecedentes analizados revelan que la ventilación no solo es esencial para mantener un entorno de trabajo seguro, sino que también representa una parte significativa de los costos operativos en las minas subterráneas.

Los resultados de la investigación refuerzan y amplían conceptos discutidos en antecedentes. La contribución específica y detallada de esta tesis radica en la evaluación de múltiples factores, desde la eficiencia en el suministro de aire hasta el impacto económico de diferentes estrategias de ventilación. La consideración de tecnologías específicas, como Raise Boring y ventiladores de diferentes capacidades, proporciona una visión integral que puede orientar las decisiones en el campo minero.

El análisis detallado de los resultados clave destaca la importancia de estaciones específicas de ventilación, la gestión eficaz de aire viciado, y la relación entre la capacidad de extracción y los costos a lo largo del tiempo. Además, se ha demostrado que las prácticas actuales cumplen con estándares clave, como el caudal por trabajador, y se han propuesto soluciones específicas, como la construcción de Raise Borer 338, que podrían ofrecer ahorros sustanciales a lo largo de 10 años.

No obstante, es vital reconocer las limitaciones de este estudio. La generalización de los resultados puede verse afectada por las variaciones geológicas y tecnológicas entre minas, y la evolución rápida de la tecnología minera podría requerir actualizaciones futuras. Además, consideraciones como el impacto ambiental y factores humanos podrían necesitar una exploración más profunda en investigaciones futuras.

Se encontró que en la estación EVPI-04 (Cuerpos) es crucial, contribuyendo con el 23.84% del ingreso total de aire fresco en la zona de Cuerpos. Y que en EVPI-09 (Cuerpos) tiene la proporción más baja, contribuyendo con el 1.72%. Se observa una variación en las velocidades del aire, incumpliendo la norma en la estación EVPI-09. Al ajustar la velocidad se cumple con los límites establecidos.

La gestión eficaz reflejada en una diferencia del 9% contribuye a un ambiente seguro y saludable. Se destaca un ahorro sustancial de $12,978,181 al construir Raise Borer 338 y usar ventilador de menor capacidad en lugar de aumentar la capacidad del Raise Borer 131.

Conforme se evidencia en el Anexo 03, las instalaciones y la perforación ejecutadas mediante el equipo de Raise Boring para la construcción de la chimenea Raise Boring 338, con un diámetro de 10 pies, establecen una conexión entre los niveles inferiores y superiores, facilitando la ventilación eficiente del interior de la mina. Este método de perforación se caracteriza por su seguridad inherente.

En resumen, esta investigación no solo proporciona una evaluación integral de la ventilación en el contexto minero subterráneo, sino que también presenta propuestas concretas para mejorar la eficiencia y reducir costos. Este conocimiento tiene el potencial de informar decisiones prácticas y estratégicas en la industria minera, apuntando hacia un futuro más seguro, eficiente y sostenible.

VI. RECOMENDACIONES

Basado en los hallazgos y resultados obtenidos en esta investigación sobre ventilación en minería subterránea, se formulan las siguientes recomendaciones que buscan mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la gestión de costos en este entorno específico.

Para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, se sugiere implementar un sistema de monitoreo continuo de la calidad del aire. Esto permitirá una respuesta inmediata ante cualquier desviación de los estándares establecidos, contribuyendo a un ambiente de trabajo más seguro y saludable.

Dada la rápida evolución en tecnologías mineras, se recomienda una investigación continua sobre tecnologías emergentes en ventilación. La adopción de sistemas más avanzados podría mejorar la eficiencia y reducir costos a largo plazo.

Dado que los equipos diésel contribuyen significativamente al caudal total, se sugiere una actualización periódica de estos equipos para garantizar eficiencia y reducción de emisiones, lo que podría tener un impacto positivo en la calidad del aire y los costos operativos.

Para abordar posibles impactos ambientales, se recomienda establecer un programa de monitoreo ambiental integral. Esto permitirá evaluar y mitigar cualquier impacto negativo en el entorno circundante, contribuyendo a prácticas mineras más sostenibles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedoya, C. W. (2019). *Ejecución de chimenea con el método Raise Boring para la optimización del sistema de ventilación en unidad minera San Rafael – Minsur - 2018. (tesis).* Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz. http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4061.

Bustamante-Rúa, M. O., Daza-Aragón, A. J., & Bustamante-Baena, P. (2018). Simulation software VENTSIM™ the influence of implementation of work abandoned sealings ventilation of an underground coal mine. Boletín de Ciencias de la Tierra, (43), 5-13. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68361.

Cajahuanca, S. J. (2019). *Influencia del sistema Raise Boring en la ventilación de la Zona I-B NV. 4530 de la Veta Alexia de la Unidad Minera Arcata – Cia Minera Ares S.A.C. (tesis).* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. http://hdl.handle.net/20.500.12894/5652.

Castillo, A. D. (2017). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble. (tesis).* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso. https://repositorio.uptc.edu.csdo/handle/001/1886.

Caxi. L. Y. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena- aplicando el Software Ventsim, (tesis).* Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3095.

Chuquitaype, Z. C. (2018). *Gestión de seguridad en la construcción de la chimenea Raise Boring 01 y sostenimiento de la columna de ventilación empresa IESA S.A. U.O. Pallancata. (tesis).* Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6357.

Colonia. C. E. (2022), *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación en la mina Hércules de la CIA. Minera Lincuna S.A. – 2021. (tesis).* Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz. http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5212.

Costa, L. D. V., & Silva, J. M. D. (2020). Strategies used to control the costs of underground ventilation in some Brazilian mines. REM-International Engineering Journal, 73, 555-560. https://doi.org/10.1590/0370-44672019730057.

Gonzales. E. J. & Puente. C. L. (2021). *Evaluación integral del sistema de ventilación para proponer alternativa de diseño de ventilación – zona de profundización U.E.A. Retamas Marsa. (tesis)*. Universidad Continental, Huancayo. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10241.

Herrera Herbert, J. (2019). Introducción a la ventilación minera. https://doi.org/10.20868/UPM.book.70227.

Liñán. R. L. (2022). *Flujo de aire para mejorar la ventilación en las labores mineras subterráneas en mina Huinac S.A.C. – año 2021. (tesis).* Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz. http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5122.

Lotito, T. N. (2022). *Evaluación de un sistema de ventilación On-Demand y de la incorporación de energía solar en el proceso de ventilación minera. (tesis).* Universidad de Chile, Santiago de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189106.

Lozano. S. P. (2019). *Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos Cia Minera Casapalca S.A. (tesis).* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. http://hdl.handle.net/20.500.12894/5891.

Mamani, C. R. (2019). *Estudio y diseño del sistema de ventilación de las zonas Yurika y Pablo, Hochschild Mining – Unidad Operativa Pallancata*. *(tesis).* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5111.

Ollachica, S. A. & Ollachica, H. H (2019). *Optimización en la construcción de chimenea en la veta Ánimas mediante el método de perforación Raise Boring en la Minera Bateas S.A.C.*, Caylloma. *(tesis).* Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa. https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/1932.

Raico. T. A. (2019). *Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 – minera Yanacocha, 2018. (tesis).* Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. http://hdl.handle.net/20.500.14074/3206.

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, S. (2017). D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM. https://minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=10221.

Tejeda. R. R. & Mucha. G. F. (2022). *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha. (tesis).* Universidad Continental, Huancayo. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11374.

Valdez. G. E. (2019). *Diseño del sistema de ventilación de la mina subterránea Santa Este – Unidad Minera Iscaycruz – Empresa minera Los Quenuales. (tesis).* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. http://hdl.handle.net/20.500.14076/19870.

Vargas. C. W. (2018). *Reformulación del sistema de ventilación (2017-2019) Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. (tesis).* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. http://hdl.handle.net/20.500.14076/17078.

Vila, G. A. (2013). *Mejora del circuito de ventilación en unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Boring #90. (tesis).* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. http://hdl.handle.net/20.500.14076/10592.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	HERRAMIENTAS	DISEÑO METODOLÓGICO
VARIABLES INDEPENDIENTE Comparativa de equipos.	Son las características de equipos considerando sus diferentes propiedades provocadas por los ensayos, datos necesarios y resultados de prueba del método de estudio.	Rendimiento de equipos. Capacidad de caudal. Dimensiones de caudal de aire. Tiempo de utilización. Eficiencia de trabajo.	Equipo de Raise Boring. Ventilador extractor.	Tipo de investigación. Aplicada.
VARIABLE DEPENDIENTE Análisis de costos variables.	Son los costos que pueden variar dependiendo de la cantidad de bienes o servicios de una empresa, mientras mayor sea el volumen de producción, mayor será el valor de los costos variables.	Costos de adquisición. Costos de operación. Costos de mantenimiento. Costos de insumos. Costos de totales.	Caudalimetro. Termómetro. Cronómetro. Flexómetro.	Nivel de investigación: Experimental propositiva. Diseño de Investigación: Comparativa, cuantitativa. Población: Minería subterránea. Muestra: Zona de Cuerpos.

ANEXO 2

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	EQ. E INST. DE MED.	DISEÑO METODOLÓGICO
1. Interrogante general ¿Qué costos implican en la comparación de los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana? **2. Interrogantes específicos** 1. ¿Qué costos determinan en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana? 2. ¿Qué diferencias de costos se obtienen en la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana? 3. ¿Qué diferencias de costos se obtienen en la comparación de los equipos de ventilación para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana?	**1. Objetivo general** Determinar los costos de la comparación de los sistemas de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. **2. Objetivos específicos** 1. Establecer los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. 2. Determinar los costos que ejercen en la aplicación del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana. 3. Comparar los costos que se obtienen en la comparación de los equipos para el incremento del flujo de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.	**1. Hipótesis general** El análisis de los costos de comparación de los sistemas de ventilación influirá en la elección del sistema de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana. **2.-Hipótesis específicas** 1. Los costos que intervienen en la perforación de chimenea con el equipo de Raise Boring para el aumento de ventilación en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana, son menores. 2. Los costos que implican en el empleo del Ventilador para el aumento del caudal de aire en la zona Cuerpos en la U.M. Alpayana, son mayores. 3. Existe una diferencia de costos significativo con la aplicación de los sistemas de ventilación por chimenea de Raise Boring y Ventilador para el aumento del requerimiento de aire en la zona de Cuerpos en la U.M. Alpayana.	**1.Variable independiente** • Comparativa de sistema de ventilación. **2. Variable dependiente** • Análisis de costos variables.	**1.Variable independiente** • Rendimiento de equipos. • Capacidad de caudal aire. • Dimensiones de caudal de aire. • Tiempo de utilización. • Eficiencia de Trabajo. **.2. Variable dependiente.** • Costos de adquisición. • Costos de operación. • Costos de mantenimiento. • Costos de insumos. • Costos totales.	**1.Equipos de medición** • Equipos de Raise Boring. • Ventilador extractor. **2. Instrumentos de medición** • Caudalimetro. • Termómetro. • Cronómetro. • Flexómetro.	**1.Tipo de investigación** • Aplicada. **2. Nivel de Investigación** • Experimental propositiva. **3. Diseño de Investigación** • Comparativa, cuantitativa. **4. Población** • Minera subterránea. **5. Muestra** • Zona de Cuerpos.

ANEXO 3

INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEA POR RAISE BORING.



Nota: Instalación de la plataforma Raise Boring para la perforación de una chimenea RB 338 de 10 pies de diámetro en el Nivel 3.



Nota: Perforación descendente de la chimenea de ventilación por Raise Boring 338 de 10 pies de diámetro en el Nivel 2.



Nota: Instalación de la perforadora Raise Boring en la superficie, para la perforación de la chimenea Raise Boring 330 de 10 pies de diámetro.



Nota: Perforación del nivel superior para la construcción de la chimenea Raise Boring 338 de 10 pies de diámetro.

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Paulo Patricio La Torre Palomino
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 71722888
Correo electrónico	: paulolatorre18@gmail.com
Teléfono/Celular	: 935299942

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación **( )**
c) Trabajo de suficiencia profesional **( )**
d) Trabajo académico **( )**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS EN LA U.M. ALPAYANA

b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) :
c) Fecha de publicación:

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : CHRIST JESUS BARRIGA PARIA
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 44331713
c) ORCID : 0000-0002-7130-9297

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71722888
NOMBRES Y APELLIDOS : PAULO PATRICIO LA TORRE PALOMINO

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71722888
NOMBRES Y APELLIDOS : PAULO PATRICIO LA TORRE PALOMINO
FECHA : 2024



ANEXO VIII

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Paulo Patricio La Torre Palomino,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería de Minas,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº. 71722888, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:
"ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS EN LA U.M. ALPAYANA."

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 07 de marzo de 2024



Huella digital

Nombres y Apellidos: Paulo Patricio La Torre Palomino
DNI: 71722888

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS PAULO LA TORRE

< 1%
Textos sospechosos



86% **Similitudes (ignorado)**
2% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
< 1% **Idiomas no reconocidos**

Nombre del documento: TESIS PAULO LA TORRE.pdf
ID del documento: b984f38a77e67ee123b4e2badf1a64629ae00fc9
Tamaño del documento original: 1,75 MB

Depositante: CHRIST JESUS BARRIGA PARIA
Fecha de depósito: 15/4/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 15/4/2024

Número de palabras: 25.811
Número de caracteres: 169.694

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**Tesis Paulo Patricio La Torre Palomino..pdf** | Tesis Paulo Patricio La Torre ... #5849f9 El documento proviene de mi grupo **27 fuentes similares**	85%		Palabras idénticas: 85% (22.351 palabras)
2	**repositorio.uncp.edu.pe** https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5652/T010_71474348_T.pdf **18 fuentes similares**	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (287 palabras)
3	**repositorio.unsch.edu.pe** http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/2791/1/TESIS M792_San.pdf **1 fuente similar**	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**repositorio.unsaac.edu.pe** https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4801/253T20190714_TC.pdf?seq...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
2	**repositorio.continental.edu.pe** | Repositorio Continental: Evaluación integral del s... https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10241?locale=es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
3	**repositorio.continental.edu.pe** | Repositorio Continental: Evaluación de las condic... https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11374	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
4	**scielo.org.co** http://scielo.org.co/pdf/bcdt/n43/0120-3630-bcdt-43-00005.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	**repositorio.uncp.edu.pe** http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/20.500.12894/7268/1/T010_45033779_T.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes ignoradas

Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**Tesis Paulo Patricio La Torre Palomino..pdf** | Tesis Paulo Patricio La Torre... #102e26 El documento proviene de mi grupo	86%		Palabras idénticas: 86% (22.628 palabras)
2	**Tesis Paulo Patricio La Torre Palomino..pdf** | Tesis Paulo Patricio La Torre... #381e21 El documento proviene de mi grupo	85%		Palabras idénticas: 85% (22.351 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 https://repositorio.uptc.edu.csdo/handle/001/1886
2 http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3095
3 https://doi.org/10.1590/0370-44672019730057
4 https://doi.org/10.20868/UPM.book.70227
5 http://hdl.handle.net/20.500.12894/5891

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA Nº 271-2024-UNAM/CO

Moquegua, 22 de abril de 2024

LA COMISIÓN ORGANIZADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de fecha 17 de abril de 2024; PROVEÍDO N° 9030-2024 de fecha 17 de abril de 2024 emitido por la Presidencia de la Comisión Organizadora; INFORME N° 273-2024-UNAM-CO-P/SG de fecha 17 de abril de 2024 emitido por la Secretaría General; CARTA Nº 028-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha 17 de abril de 2024 emitido por el Especialista de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas y demás documentos que escoltan el expediente administrativo, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, de conformidad con la Ley N° 28520 de fecha 23/05/2005, se creó la Universidad Nacional de Moquegua, cuyo artículo 1º dispone: "créase la Universidad Nacional de Moquegua como persona jurídica de derecho público interno, con sede en la ciudad de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua";

Que, el artículo 29° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, aprobada la ley de creación de una universidad pública, el Ministerio de Educación (MINEDU), constituye una Comisión Organizadora integrada por tres (3) académicos de reconocido prestigio, que cumplan los mismos requisitos para ser Rector (…). Esta Comisión tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley, le correspondan";

Que, mediante Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU de fecha 31/01/2024, se reconformó la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, integrada por los académicos: Dr. Jorge Lázaro Franco Medina, como Presidente; Dr. Edwin Molina Porcel, como Vicepresidente Académico y Dr. Avid Roman Gonzalez, como Vicepresidente de Investigación;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad.** En el caso de la Universidad Nacional de Moquegua, dada su condición y naturaleza, corresponde ejercer dicha atribución a la Comisión Organizadora quien hace las veces de Consejo Universitario, disposición relacionada con la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis** o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora Nº 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022 y N° 880-2023-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante la Carta N° 028-2024-GYT/UNAM-PCAS, el Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, la relación de dos (2) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptos para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Comisión Organizadora de fecha 17 de abril de 2024;

Que, se ha establecido como atribución de la Comision Organizadora de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 17 de abril de 2024, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la**

---

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:

a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

modalidad de la Sustentación de Tesis, a dos (2) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Moquegua;

Estando en uso de las facultades y atribuciones conferidas en el artículo 18° de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 30220, Ley Universitaria; el Documento Normativo denominado: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en proceso de Constitución", aprobado mediante la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias, y en la Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU, así como en el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y demás normas concordantes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS,** por la modalidad de la Sustentación de Tesis, a los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, que se consigna en el listado siguiente:

1. **JOSE LUIS RAMOS APAZA**

   TESIS : "PREDICCIÓN DE DESLIZAMIENTO MEDIANTE EL MONITOREO GEOTÉCNICO CON RADARES DE LA ZONA FASE 01 NORTE DE LA UNIDAD MINERA QUELLAVECO".

2. **PAULO PATRICIO LA TORRE PALOMINO**

   TESIS : "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA ZONA CUERPOS DE LA U.M. ALPAYANA".

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a todas las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.

DR. JORGE LAZARO FRANCO MEDINA
Presidente de la Comisión Organizadora
Universidad Nacional de Moquegua

ABOG. KEVIN YUVER CHIHUAN QUISPE
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe