REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Optimización de los sistemas de ventilación para aumentar la producción en una mina subterránea, Arequipa, 2024

Tesis presentada por el Bachiller:

Vilchez Sammillan, Milagros Maribel

ORCID: 0009-0002-3255-4895

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Arias Quispe, Cesar Fabian

ORCID: 0009-0001-7874-2691

Arequipa - Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Noviembre del 2025

Dictamen: 013461-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 013461, presentado por:

2015244292 - VILCHEZ SAMMILLAN MILAGROS MARIBEL

Titulado:

OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, AREQUIPA, 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR

40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR

40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR

Optimización de los sistemas de ventilación para aumentar la producción en una mina subterránea, Arequipa, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	2%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
8	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

A mis Padres, María y Fernando, pilares inquebrantables en cada etapa de mi vida. Gracias por su esfuerzo, por su amor incondicional y por enseñarme que los sueños se construyen con disciplina, paciencia y valentía. Este logro es tan suyo como mío

A mis abuelos, Julio y Donatila. Por todo el cariño, la fortaleza y la fe que siempre me han transmitido. Ustedes han sido faros de luz en mi camino.

A mi ahijada Alexa, cuya alegría y energía iluminan mis días y me recuerdan la importancia de seguir avanzando.

A mis Hermanos, mi familia, mis amigos y a cada maestro que, con sus enseñanzas, formo en mi una mejor persona y una profesional comprometida. Gracias por acompañarme, por creer en mi y por ser parte fundamental en este camino.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme con sabiduría, permitirme superar cada desafío y acompañarme en este proceso que hoy se convierte en un logro significativo en mi vida.

A mi familia, por su amor, paciencia y comprensión en los momentos más exigentes. Su apoyo constante ha sido un motor indispensable para culminar este trabajo, junto con la compañía fiel de Stark.

A mis amigos, colegas y todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, aportaron tiempo, conocimientos, motivación y palabras de ánimo durante esta etapa. Gracias por estar, por compartir, por escuchar y por contribuir con su experiencia a la realización de este proyecto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La presente investigación titulada "Optimización de los Sistemas de Ventilación para Aumentar la Producción en una Mina Subterránea, Arequipa 2024", tuvo como finalidad incrementar la eficiencia del sistema de ventilación, mejorar la productividad y fortalecer las condiciones de seguridad en la operación minera. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel comparativo, analizando dos periodos consecutivos: el segundo trimestre de 2023 (sin mejora) y el tercer trimestre de 2023 (con mejora).

Se aplicó el software Ventsim para modelar, simular y optimizar la distribución del caudal de aire, identificando fugas y puntos de pérdida que afectaban el desempeño del sistema de ventilación lo que permitió una redistribución eficiente del caudal y una reducción de pérdidas por fugas. Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados en el software SPSS 26.0, utilizando la prueba no paramétrica de Wilcoxon (prueba estadística) para muestras relacionadas, con un nivel de confianza del 95 %.

Los resultados demostraron un incremento del caudal de aire en 11,34 % (de 375 224 CFM a 417 788 CFM), una mejora del 12,02 % en los metros perforados diarios (de 1 509 a 1 691 m/día) y un aumento de la producción de 2 921,35 a 3 364,63 TPD, equivalente a un crecimiento del 15,20 %. Asimismo, los costos unitarios de producción se redujeron de 11,20 a 10,24 USD/t, reflejando una eficiencia económica del 8,51 %.

La prueba estadística obtuvo un valor $p = 0{,}000 < 0{,}05$, confirmando la existencia de una diferencia significativa entre ambos periodos. Se concluye que la optimización del sistema de ventilación mediante modelamiento y control automatizado mejora la eficiencia energética, reduce los costos operativos y aumenta la productividad minera, garantizando además un ambiente laboral más seguro.

Palabras claves:

ventilación, producción, minas subterráneas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The present research, entitled "Optimization of Ventilation Systems to Increase Production in an Underground Mine, Arequipa 2024," aimed to improve ventilation efficiency, increase productivity, and strengthen safety conditions in mining operations. The study followed a quantitative approach, with an applied and comparative scope, analyzing two consecutive periods: the second quarter of 2023 (without improvement) and the third quarter of 2023 (with improvement).

Ventsim software was used to model, simulate, and optimize airflow distribution, allowing the identification of leaks and loss zones that affected ventilation performance. This facilitated a more efficient redistribution of airflow and a reduction in leakage losses. Subsequently, the data were processed using SPSS 26.0, applying the Wilcoxon non-parametric test for related samples, with a 95% confidence level.

The results showed an 11.75% increase in airflow (from 375,224 CFM to 417,778 CFM), a 12.02% improvement in daily drilling meters (from 1,509 to 1,691 m/day), and a production increase from 2,923.35 to 3,364.63 TPD, equivalent to 15.20% growth. Likewise, unit production costs decreased from 11.20 to 10.24 USD/t, reflecting an 8.51% improvement in economic efficiency.

The statistical test yielded a p-value of $0.000 < 0.05$, confirming the existence of a significant difference between both periods. It is concluded that optimizing the ventilation system through modeling and automated control enhances energy efficiency, reduces operating costs, increases mining productivity, and additionally ensures a safer working environment.

Key words:

ventilation, production, underground mining.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.1. Planteamiento del Problema 3

1.2. Preguntas de Investigación 4

1.2.1. General 4

1.2.2. Específicas 4

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo General 4

1.3.2. Específicos 4

1.4. Línea de Investigación 5

1.5. Palabras Clave 5

1.6. Solución Propuesta 5

1.6.1. Justificación e Importancia 5

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS 7

2.1. Estado del arte 7

2.2. Antecedentes de investigación 7

2.2.1. Antecedentes Locales 7

2.2.2. Antecedentes Nacionales 8

2.2.3. Antecedentes Internacionales 9

2.3. Bases Teóricas de la Investigación 11

2.3.1. Minería subterránea 11

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.2. Procesos 11
2.3.3. Fases de minado 11
2.3.4. Ventilación en minería subterránea 12
2.3.5. Principios de circulación del aire 12
2.3.6. Eficiencia energética en ventilación 12
2.3.7. Tecnología VOD (Ventilation on Demand) 12
2.3.8. Software Ventsim en la simulación de ventilación minera 12
2.3.9. Aplicación del modelamiento computacional 12
2.3.10. Control de gases contaminantes 13
2.3.11. Diseño y dimensionamiento de ventiladores 13
2.3.12. Costos energéticos y sostenibilidad 13
2.3.13. Seguridad ocupacional y confort térmico 13
2.3.14. Ventilación secundaria y control local 13
2.3.15. Impacto de la ventilación en la productividad minera 13
2.3.16. Integración de tecnologías avanzadas en ventilación 13
2.3.17. Evaluación de la eficiencia operativa minera 14
2.3.18. Sostenibilidad energética en la minería moderna 14
2.4. Hipótesis de Investigación 14
2.4.1. Hipótesis General 14
2.4.2. Hipótesis Especifica 14
2.5. Variables 14
2.5.1. Variable Independiente 14
2.5.2. Variable Dependiente 15
2.5.3. Operacionalización de Variables 16
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO 17
3.1. Descripción geológica de la unidad 17
3.1.1. Ubicación y accesos 17

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.2. Marco geológico 18
3.1.3. Tipo de yacimiento 18
3.1.4. Minerales 18
3.1.5. Descripción geológica general del yacimiento 19
3.1.6. Descripción de las estructuras mineralizadas 21
3.1.7. Alteración 22
3.1.8. Geología 23
3.1.9. Proceso Productivo 34
3.2. Alcances y Limitaciones 47
3.2.1. Alcances 47
3.2.2. Limitaciones 47
3.3. Tipo y Nivel de Investigación 47
3.3.1. Tipo de Investigación 47
3.3.2. Nivel de Investigación 47
3.4. Población y Muestra o universo 47
3.4.1. Población 47
3.4.2. Muestra 47
3.4.3. Criterio 48
3.5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 48
3.5.1. Método de la investigación 48
3.5.2. Técnicas de recolección de datos 48
3.5.3. Instrumentos de recolección de datos 48
3.6. Plan de análisis de los datos 49
3.6.1. Técnicas de análisis de datos 49
3.6.2. Procedimiento de la investigación 49
3.7. Evaluación integral de ventilación 50
3.7.1. Mediciones de parámetros de ventilación 61

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.7.2. Medición de caudal en interior mina 65
3.7.3. Mediciones de parámetros psicométricos y cálculo de densidad relativa. 65
3.7.4. Medición de parámetros en ventiladores 69
3.7.5. Porcentaje de fuga en mangas de ventilación 71
3.7.6. Diagnóstico del Sistema de Ventilación 73
3.8. Diagnóstico y mejoras del Sistema de Ventilación 115
3.8.1. Resultado de necesidad de ventilación: 118
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS 120
4.1. Presentación y análisis de los resultados 139
4.1.1. Estadística aplicada para la demostración de la optimización 139
DISCUSIONES 144
CONCLUSIONES 149
RECOMENDACIONES 151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 152

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Minerales ganga y minerales mena 20
Tabla 2. Abreviaturas 50
Tabla 3. Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Ranichico)..... 62
Tabla 4.Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Pallancata este) 63
Tabla 5. Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Pallancata oeste) 64
Tabla 6. Puntos de monitoreo interior mina (Ranichico) 65
Tabla 7. Parámetros psicométricos zona Ranichico..... 66
Tabla 8. Parámetros psicométricos zona Pallancata este 67
Tabla 9. Parámetros psicométricos zona Pallancata oeste 68
Tabla 10. Presión en ventiladores 70
Tabla 11. Porcentaje fugas en mangas ventilación 72
Tabla 12. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera 74
Tabla 13. Factor por temperatura 75
Tabla 14. Ingresos salidas aire zona Ranichico..... 76
Tabla 15. Ingresos salidas aire zona Pallancata este 77
Tabla 16. Ingresos salidas aire zona Pallancata oeste 78
Tabla 17. Ingresos salidas aire zona Rina 79
Tabla 18. Caudal requerido por el número de trabajadores zona Ranichico..... 80
Tabla 19. Caudal requerido por equipo con motor petrolero zona Ranichico 81
Tabla 20. Caudal requerido por fugas zona Ranichico 85
Tabla 21. Requerimiento aire total zona Ranichico 85
Tabla 22. Caudal requerido por el número de trabajadores zona Pallancata este 86
Tabla 23. Caudal requerido por equipo con motor petrolero zona Pallancata este 87
Tabla 24. Caudal requerido por fugas zona Pallancata este 88
Tabla 25. Requerimiento aire total zona Pallancata este..... 88
Tabla 26. Caudal requerido por el número de trabajadores zona Pallancata oeste 89
Tabla 27. Caudal requerido por equipo con motor petrolero Pallancata oeste 90
Tabla 28. Caudal requerido por fugas Pallancata oeste 91
Tabla 29. Requerimiento aire total zona Pallancata oeste..... 91
Tabla 30. Caudal requerido por el número de trabajadores zona Rina 92
Tabla 31. Caudal requerido por equipo con motor petrolero Rina..... 93

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 32. Caudal requerido por fugas Rina 94
Tabla 33. Requerimiento aire total zona Rina 94
Tabla 34. Cobertura aire zona Ranichico 95
Tabla 35. Cobertura aire zona Pallancata este 95
Tabla 36. Cobertura aire zona Pallancata oeste 95
Tabla 37. Cobertura aire zona Rina 95
Tabla 38. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador ve-150-02 96
Tabla 39. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-120-03 98
Tabla 40. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-110-01 100
Tabla 41. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-120-04 102
Tabla 42. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-30-19 104
Tabla 43. Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-50-16 106
Tabla 44. Cálculo Factor K 109
Tabla 45. Cuadro Calibración por Caudales. Zona Ranichico 111
Tabla 46. Grado Calibración puntos interior mina 112
Tabla 47. Cuadro Calibración Flujo Másico. Zona Ranichico 113
Tabla 48. Requerimiento de aire local “charo” 117
Tabla 49. Cobertura proyectada a corto plazo "Charo" 117
Tabla 50. Abreviaturas de indicadores 120
Tabla 51. Parámetros del segundo trimestre 120
Tabla 52. Parámetros del tercer trimestre 120
Tabla 53. Parámetros abril 2023 121
Tabla 54. Parámetros mayo 2023 122
Tabla 55. Parámetros junio 2023 123
Tabla 56. Parámetros julio 2023 124
Tabla 57. Parámetros agosto 2023 125
Tabla 58. Parámetros septiembre 2023 126
Tabla 59. Prueba de normalidad 141
Tabla 60. Prueba estadística T de Wilcoxon 142
Tabla 61. Validación del modelo experimental 144

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación y acceso a la mina Pallancata. 17
Figura 2. Pallancata en el contexto del arco volcánico. 21
Figura 3. Plano estructural de la Unidad Minera de Pallancata. 25
Figura 4. Modelo de Riedel Sinextral – Pallancata. 26
Figura 5. Geología regional del área de emplazamiento de la Unidad Minera Pallancata. . 27
Figura 6. Leyenda geológica de la hoja 30p de la carta geológica nacional. 28
Figura 7. Plano geológico del área de emplazamiento de la Unidad Minera Pallancata. 30
Figura 8. Vista de Google Earth del área de emplazamiento de la mina Pallancata. 33
Figura 9. CRC-Breasting. 36
Figura 10. CRC-Breasting. 37
Figura 11. Bench & Fill. 38
Figura 12. Diseño de malla e indicadores de voladura de roca dura. 39
Figura 13. Diseño de malla e indicadores de voladura de roca suave. 41
Figura 14. Estándar de limpieza con equipo 43
Figura 15. Estándar de limpieza con Scoop 0.75 YD3. 44
Figura 16. Tipos de relleno aplicados en la Unidad Minera de Pallancata. 46
Figura 17. Plano unifilar de ventilación zona Ranichico I 55
Figura 18. Plano unifilar de ventilación zona Ranichico II 56
Figura 19. Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Este I 57
Figura 20. Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Este II 58
Figura 21. Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Oeste I 59
Figura 22. Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Oeste II 60
Figura 23. Curva placa ventilador 150,000 cfm. Zona Ranichico 96
Figura 24. Curva de Trabajo. Ventilador VE-150-02 97
Figura 25. Curva placa ventilador 120,000 cfm. Zona Ranichico 98
Figura 26. Curva de Trabajo. Ventilador VE-120-03 99
Figura 27. Curva placa ventilador 110,000 cfm. Zona Pallancata Este 100
Figura 28. Curva de Trabajo. Ventilador VE-110-01 101
Figura 29. Curva placa ventilador 120,000 cfm. Zona Pallancata Oeste 102
Figura 30. Curva de Trabajo. Ventilador VE-120-04 103

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 31. Curva placa ventilador 30,000 cfm. Zona Ranichico 104
Figura 32. Curva de Trabajo. Ventilador VE-30-19 105
Figura 33. Curva placa ventilador 50,000 cfm. Zona Ranichico 106
Figura 34. Curva de Trabajo. Ventilador VE-50-16 107
Figura 35. Curva resistencia de mina 114
Figura 36. Porcentaje por sector de pérdidas de energía 114
Figura 37. Proyecto chimenea, corto plazo 116
Figura 38. Proyecto a corto plazo 117
Figura 39. Simulación Ventsim proyecto a corto plazo "Charo" 118
Figura 40. Metros perforados por día 127
Figura 41. Toneladas por día 127
Figura 42. Caudal de aire en pie cúbico por minuto 128
Figura 43. Costo de ventilación 128
Figura 44. Costo de producción 129
Figura 45. Metros perforados por día 129
Figura 46. Producción por día 130
Figura 47. Caudal de aire en pie cúbico por minuto 130
Figura 48. Costo de ventilación 131
Figura 49. Costo de producción 131
Figura 50. Metros perforados por día mes 1 132
Figura 51. Metros perforados por día mes 2 132
Figura 52. Metros perforados por día mes 3 133
Figura 53. Producción por día mes 1 133
Figura 54. Producción por día mes 2 134
Figura 55. Producción por día mes 3 134
Figura 56. Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 1 135
Figura 57. Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 2 135
Figura 58. Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 3 136
Figura 59. Costo de ventilación mes 1 136
Figura 60. Costo de ventilación mes 2 137
Figura 61. Costo de ventilación mes 3 137
Figura 62. Costo de producción mes 1 138
Figura 63. Costo de producción mes 2 138
Figura 64. Costo de producción mes 3 139

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 65. Prueba de normalidad 140

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La ventilación en minería subterránea constituye un componente fundamental para garantizar condiciones adecuadas de trabajo, controlar la temperatura, diluir gases contaminantes y asegurar la operatividad continua en el interior de la mina, condiciones que influyen directamente en el desempeño de los trabajadores y de los equipos mecanizados. De acuerdo con Hartman (1992), la ventilación representa entre el 25 % y el 40 % del consumo total de energía eléctrica en una operación subterránea, por lo que su optimización no solo es un aspecto técnico, sino también económico y ambiental.

En el contexto actual, las operaciones subterráneas requieren una gestión más precisa del flujo de aire, especialmente ante la expansión de frentes de trabajo, el uso intensivo de equipos diésel y la mayor profundidad de las labores mineras. La falta de una ventilación adecuada puede generar concentraciones elevadas de gases nocivos para la salud como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), entre otros. Reduciendo la visibilidad, incrementando el riesgo de accidentes y provocando pérdidas de eficiencia productiva. Por ello, la optimización de la ventilación se convierte en una estrategia clave para mejorar la seguridad, reducir costos energéticos y aumentar la productividad global.

En Unidad Minera Pallancata, durante el segundo trimestre de 2023, se evidenciaron deficiencias en la circulación del aire, con caudales por debajo de los requerimientos operativos y una acumulación de gases en determinadas zonas. Esta situación afectó la continuidad de las labores de perforación y voladura, limitando la producción promedio a 2 923,35 toneladas por día (TPD) y generando costos operativos de 11,20 USD/t. A fin de corregir estas limitaciones, se aplicó un proceso de optimización sustentado en modelamiento computacional mediante Ventsim. Esta herramienta permitió calibrar ventiladores, redistribuir el caudal, mejorar las rutas de aire y reducir pérdidas por fuga. Tras la intervención, se registró un incremento del caudal total a 417 788 CFM, mayor continuidad operativa, un aumento del 15,20 % en la producción y una reducción de costos.

Tras la optimización, se detectó un incremento del 11,34 % en el caudal de aire (417 788 CFM), un aumento del 12,02 % en los metros perforados diarios (1 691 m/día) y un crecimiento del 15,20 % en la producción total (3 364,63 TPD). Estos resultados demostraron que una adecuada gestión del sistema de ventilación incide directamente en la productividad y eficiencia de la mina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La presente investigación tuvo como propósito demostrar, mediante análisis técnico y estadístico, que la optimización del sistema de ventilación impacta directamente en la seguridad, productividad minera, la eficiencia energética y la reducción de costos , mediante la implementación de tecnologías avanzadas, modelamiento computacional y estrategias de gestión energética. Asimismo, busca aportar evidencia técnica y estadística sobre la influencia de la ventilación en los indicadores operativos y económicos, contribuyendo con información útil para futuras aplicaciones en otras operaciones subterráneas del país.

En síntesis, esta investigación pretende demostrar que la ventilación, lejos de ser un proceso auxiliar, constituye un factor determinante para la productividad, sostenibilidad y seguridad minera, siendo su optimización una herramienta esencial para alcanzar la eficiencia integral de las operaciones subterráneas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En las operaciones subterráneas de la Unidad Minera Pallancata, la ventilación constituye un elemento crítico para garantizar condiciones de trabajo seguras y sostener la continuidad operativa. Sin embargo, durante el segundo trimestre de 2023 se identificaron deficiencias en la circulación del aire, reflejadas en caudales insuficientes de 375 224 CFM frente al requerimiento operativo óptimo de más de 410 000 CFM, A ello se sumaron pérdidas superiores al 6 % en los ductos y sectores con acumulación de gases por encima de los límites permisibles estipulados por ley. Estas condiciones provocaron interrupciones en la perforación y voladura, afectando la productividad promedio, que se mantuvo en 2 921,35 TPD, con una eficiencia de ventilación del 82 %.

La ineficiencia de los sistemas de ventilación repercutió directamente en los costos operativos, los cuales alcanzaron 11,20 USD/t durante el segundo trimestre. La falta de control automático del flujo de aire y la antigüedad de los ventiladores principales generaron un sobrecosto energético promedio del 15 % respecto al estándar esperado. Además, la ventilación deficiente afectó la continuidad de las labores, disminuyendo los metros perforados diarios a 1 509 m/día, lo que limita la capacidad de extracción programada.

Durante el tercer trimestre de 2023, se implementó un proceso de optimización basado en modelamiento computacional mediante Ventsim, se registró un incremento del caudal total en 11,34 % (417 788 CFM), una mejora del 12,02 % en los metros perforados (1 691 m/día) y un aumento de producción a 3 364,63 TPD, evidenciando que una gestión eficiente del flujo de aire tiene impacto directo en la productividad. Asimismo, los costos unitarios de producción se redujeron a 10,24 USD/t, demostrando la viabilidad técnica y económica de optimizar la ventilación subterránea.

El problema central radica, por tanto, en que la mina presentaba un sistema de ventilación subóptimo, con baja eficiencia energética y deficiente cobertura de caudal, lo que afectaba simultáneamente la seguridad, la productividad y los costos operativos. Por ello, se hace necesario cuantificar los efectos de la optimización de la ventilación en la producción, evaluando su influencia en los indicadores técnicos y económicos de la operación minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.2. Preguntas de Investigación

1.2.1. General

- ¿De qué manera la optimización de los sistemas de ventilación influye en el incremento de la eficiencia operativa y la producción en una mina subterránea durante el año 2023?

1.2.2. Específicas

- ¿Cómo incide la optimización del caudal de aire en la mejora de los metros perforados y la continuidad de las operaciones subterráneas?
- ¿Qué impacto tiene la implementación del modelamiento con el software Ventsim en la reducción de pérdidas y en la eficiencia del circuito de ventilación?
- ¿En qué medida la optimización del sistema de ventilación contribuye a disminuir los costos unitarios de producción y mejorar la rentabilidad minera?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Optimizar los sistemas de ventilación en una mina subterránea para incrementar la producción y la eficiencia operativa, mediante el uso del modelamiento computacional, la redistribución del caudal de aire y la implementación de estrategias de gestión energética.

1.3.2. Específicos

- Analizar y comparar el comportamiento del caudal de aire antes y después de la optimización del sistema de ventilación, evaluando su efecto en los metros perforados y la continuidad de las labores mineras.
- Aplicar el software Ventsim para modelar y calibrar el sistema de ventilación, identificando pérdidas de presión, fugas de aire y oportunidades de mejora en la circulación del flujo.
- Evaluar el impacto de la optimización de la ventilación en los costos unitarios de producción, determinando su influencia en la eficiencia energética y en la rentabilidad de la operación minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.4. Línea de Investigación

Gestión y optimización de procesos mineros orientados a mejorar la eficiencia técnica, energética y operativa en minería subterránea.

1.5. Palabras Clave

Producción, ventilación, perforación.

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Justificación e Importancia

Optimizar la ventilación en minas subterráneas es crucial debido a su impacto en diversos aspectos clave de la operación minera. La optimización del flujo de aire permite mejorar la seguridad de los trabajadores, reducir la exposición a gases contaminantes, incrementar la continuidad de las labores y disminuir los costos energéticos asociados a la ventilación. A continuación, se expone la justificación e importancia desde las perspectivas técnica, operacional, económica y de seguridad.

Técnica: Desde un enfoque técnico, la incorporación de tecnologías avanzadas como sensores de calidad del aire y sistemas de control automatizados marca un progreso significativo en la gestión de la ventilación. Estas innovaciones permiten una monitorización constante y precisa del entorno subterráneo, fortalece la capacidad de anticipar fallas y adecuar la ventilación según las condiciones de flujo de aire y gases presentes. La capacidad de ajustar los sistemas de ventilación en tiempo real asegura que se mantengan condiciones óptimas, mejorando la eficiencia técnica de las operaciones y extendiendo la vida útil del equipo.

Operacional: En términos operacionales, una ventilación optimizada permite una mayor continuidad en las actividades mineras. Al reducir la necesidad de interrupciones frecuentes para garantizar condiciones seguras, se maximiza el tiempo productivo y se minimizan las paradas. Una ventilación adecuada garantiza un mayor aprovechamiento de los turnos, mejora la disponibilidad de equipos, contribuye a una planificación operativa más precisa y una mejor utilización de los recursos. Mantener un flujo de trabajo constante es esencial para alcanzar los objetivos de producción y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la operación minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Económica: Desde el punto de vista económico, mejorar la ventilación puede llevar a una reducción significativa de los costos operativos. Los sistemas de ventilación ineficientes consumen más energía y recursos, elevando los costos de operación. Al optimizar estos sistemas, esto se traduce en menores costos unitarios de producción y una mayor rentabilidad en mina. Además, La implementación de tecnologías de control también permite evitar gastos operativos derivados de retrasos, mantenimientos correctivos y paradas no programadas dando como resultado una mejor rentabilidad económica.

Seguridad: En términos de seguridad, la ventilación adecuada asegura condiciones ambientales saludables para los trabajadores, manteniendo las concentraciones de gases como CO, NO_2 y otros contaminantes por debajo de los límites permisibles. La acumulación de gases tóxicos y una mala circulación del aire representan riesgos significativos en minas subterráneas. Optimizar los sistemas de ventilación reduce la exposición a estos peligros, reduce riesgos asociados a la acumulación de gases explosivos, falta de oxígeno, estrés térmico y la incidencia de enfermedades respiratorias. Asegurar un entorno de trabajo seguro no solo es un deber ético y legal, sino protege la integridad del personal en términos de salud , bienestar y moral, lo que puede incrementar la productividad y reducir el absentismo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Antecedentes Locales

- Martínez (2019), En su tesis se enfocó en mejorar la seguridad y la eficiencia del flujo de aire del sistema de ventilación de la mina subterránea. Así poder asegurar un entorno de trabajo seguro y eficaz. La investigación utiliza una metodología que incluye un análisis exhaustivo del sistema de ventilación existente, la incorporación de tecnologías avanzadas y simulaciones para ajustar el diseño del sistema. El estudio abarca una muestra de distintas áreas de la mina para evaluar el impacto de las modificaciones. El resumen indica que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa. Las conclusiones resaltan que la aplicación de estas recomendaciones ha conducido a un entorno laboral más seguro y a una reducción en los costos operativos relacionados con la ventilación.

- Carpio Palomino (2022), en su tesis analizó la construcción de un modelo digital y la aplicación de mejoras en ventiladores, ductos y rutas de entrada y salida de aire, se centra en mejorar la eficiencia del sistema de ventilación de la UEA Morococha de la Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. El objetivo principal de este estudio es optimizar el flujo de aire para asegurar condiciones de trabajo seguras y eficientes mediante la utilización del software VENTSIM. La metodología adoptada incluye un análisis exhaustivo del sistema de ventilación existente, la creación de un modelo en VENTSIM y la aplicación de mejoras tecnológicas. La muestra del estudio comprende diversas secciones de la mina para evaluar el impacto de las modificaciones implementadas. Como resultado, el estudio logró aumentar el caudal de aire en pie cúbico por minuto de 100,1 Kcfm a 128 Kcfm, mejorando significativamente la ventilación y disminuyendo los niveles de gases tóxicos. Las conclusiones resaltan que la optimización ha

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

- Sánchez (2022), en su tesis realizó un estudio en la mina San Rafael orientado a optimizar el flujo de aire y disminuir contaminantes mediante mejoras tecnológicas, simulaciones y monitoreo en tiempo real. La metodología incluye un análisis detallado del sistema de ventilación actual, el diseño y aplicación de mejoras tecnológicas, y el uso de simulaciones para verificar los ajustes realizados. La muestra del estudio es de diversas secciones de la mina para evaluar el impacto de las modificaciones. El resumen indica que las mejoras propuestas han logrado una notable optimización de la ventilación, reduciendo los niveles de gases peligrosos y aumentando la eficiencia operativa. Las conclusiones destacan que la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la ventilación. El aporte de este antecedente radica en que, valida el uso de tecnologías avanzadas y simulaciones como herramientas eficaces para optimizar la ventilación subterránea, demostrando que una adecuada gestión del flujo de aire no solo mejora la seguridad y las condiciones ambientales, sino que también reduce los costos y eleva la eficiencia productiva, principios que sustentan la presente investigación.

- Sánchez (2019), Propuso un diseño optimizado de ventilación para una mina subterránea empleando simulación, sensores y ventiladores de alta eficiencia, se centra en aumentar la eficiencia y seguridad del sistema de ventilación en una mina subterránea mediante un diseño mejorado. La metodología empleada incluyó el uso de simulaciones computacionales y análisis de datos para detectar fallos y áreas que necesitaban mejora, integrando tecnologías avanzadas para el monitoreo en tiempo real y el ajuste del sistema de ventilación. El diseño propuesto incorporó ventiladores de alta eficiencia, ductos mejorados y un sistema de control automatizado con sensores. La muestra analizada se basó en datos de la mina subterránea, como mediciones del flujo de aire y la concentración de contaminantes. La investigación demostró que la implementación de sistemas automatizados y la mejora en ductos reducen costos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

energéticos y mejoran la seguridad. El aporte de este antecedente radica en que evidencia cómo el rediseño del sistema de ventilación, sustentado en simulaciones computacionales y control automatizado, permite alcanzar un equilibrio entre seguridad, eficiencia energética y reducción de costos, aportando una base metodológica sólida para el enfoque técnico aplicado en la presente investigación.

2.2.3. Antecedentes Internacionales

- Fernández (2021), Analizó minas subterráneas de Madrid y propuso un sistema optimizado basado en simulación, rediseño de ventiladores y control de contaminantes, se centra en mejorar la eficiencia y seguridad de los sistemas de ventilación. El objetivo principal es implementar técnicas avanzadas para optimizar el flujo de aire y reducir la concentración de gases tóxicos. La metodología incluye un análisis detallado de los sistemas de ventilación existentes, el diseño de soluciones tecnológicas innovadoras y la simulación de escenarios para validar las mejoras. La muestra de varias minas en Madrid en la que se basa el estudio para evaluar el impacto de las intervenciones propuestas. El resumen revela que las optimizaciones han llevado a una mejora significativa en la ventilación, disminuyendo los niveles de gases nocivos y aumentando la eficiencia operativa. Las conclusiones destacan que las estrategias implementadas han creado un entorno laboral más seguro y eficiente, además de reducir los costos asociados con la ventilación. El aporte de este antecedente radica en que demuestra la aplicabilidad de las técnicas de simulación y diseño innovador en contextos internacionales, reforzando la importancia del modelamiento predictivo para la toma de decisiones en ventilación minera. Asimismo, sustenta la validez de utilizar herramientas tecnológicas para reducir emisiones tóxicas, optimizar el flujo de aire y mejorar la productividad, aspectos que se aplican directamente en la presente investigación.

- Gómez (2020), en su tesis Desarrolló un estudio de caso en el sector minero de Madrid, aplicando herramientas de monitoreo en tiempo real y simulaciones para analizar la eficiencia de ventilación mediante un estudio de caso específico. La investigación utilizó modelado y simulaciones avanzadas para analizar el rendimiento de los sistemas existentes y proponer mejoras. El diseño optimizado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

incorporó ventiladores de alta eficiencia y tecnologías para el monitoreo en tiempo real. La muestra analizó datos operativos de una mina subterránea en Madrid, incluyendo mediciones de flujo y calidad del aire. La tesis se enfoca en la optimización práctica y tecnológica de los sistemas de ventilación, y las conclusiones indican que las mejoras propuestas lograron un aumento significativo en la eficiencia energética y la seguridad operativa. El aporte de este antecedente radica en que confirma la efectividad del uso de herramientas de modelamiento y monitoreo en tiempo real para la optimización de la ventilación subterránea, demostrando que la aplicación de tecnologías avanzadas puede incrementar la eficiencia energética y la seguridad operativa. Este enfoque respalda el fundamento técnico y metodológico adoptado en la presente investigación, basada también en el análisis computacional y la mejora continua de los sistemas de ventilación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3. Bases Teóricas de la Investigación

2.3.1. Minería subterránea

La minería subterránea consiste en extraer minerales ubicados por debajo de la superficie mediante el desarrollo de túneles, galerías y cámaras. Requiere un control riguroso de estabilidad, ventilación, infraestructura y seguridad, debido a las condiciones confinadas y la presencia de contaminantes derivados de explosiones y equipos diésel. (Jimeno Carlos L, 1995).

2.3.2. Procesos

Los procesos se llevan a cabo en minería subterránea son mediante una serie de etapas cuidadosamente coordinadas, que abarcan perforación, voladura, extracción y transporte del mineral. Primero, para identificar la ubicación exacta y el tamaño de los depósitos minerales se realiza una exploración. Posteriormente, se construyen accesos mediante túneles y galerías para alcanzar las áreas mineralizadas. Durante la extracción, se emplean técnicas de perforación y voladura para fragmentar el mineral, que luego es cargado y transportado hacia la superficie o áreas de procesamiento. La ventilación es esencial en este contexto, ya que garantiza una adecuada circulación del aire, manteniendo así condiciones óptimas de trabajo y optimizando el desempeño de las operaciones. Este enfoque busca mejorar la eficiencia operativa mientras se reducen los riesgos y se cumplen las normas de seguridad (Jimeno Carlos L, 1995).

2.3.3. Fases de minado

Las fases de la minería se estructuran en etapas fundamentales: exploración, desarrollo, explotación y cierre. En la exploración, se realizan investigaciones para localizar y evaluar depósitos minerales mediante estudios geológicos y prospección. La etapa de desarrollo se construye la infraestructura necesaria, accesos, chimeneas y ventilaciones principales su base es la planificación, para preparar el acceso al yacimiento. Durante la fase de explotación, se ejecutan actividades de extracción del mineral utilizando técnicas mineras diversas, como perforación, voladura y transporte. Por último, la fase de cierre se dedica a la rehabilitación del sitio, asegurando la remediación ambiental y el cierre seguro de las instalaciones, además de realizar un monitoreo continuo para cumplir con las normativas y reducir el impacto ambiental residual (Jimeno Carlos L, 1995).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.4. Ventilación en minería subterránea

Es el proceso de suministrar aire fresco a las labores mineras y se evacuan los contaminantes generados por los equipos y las voladuras, garantizando condiciones seguras de oxigenación, temperatura y calidad del aire para los trabajadores y equipos (Hartman, 1992).

2.3.5. Principios de circulación del aire

El movimiento del aire depende de la diferencia de presiones entre las entradas y salidas en una mina, generada por ventiladores principales o por la diferencia térmica natural, y su diseño debe considerar la resistencia al flujo causada por fricción, longitud de ductos y accesorios (McPherson, 1993).

2.3.6. Eficiencia energética en ventilación

La eficiencia energética evalúa la relación entre el caudal útil y la energía consumida, Un sistema eficiente reduce costos eléctricos, disminuye emisiones de CO_2 y mejora la sostenibilidad de la actividad minera (Wallace, 2018).

2.3.7. Tecnología VOD (Ventilation on Demand)

El sistema VOD regula automáticamente el flujo de aire en función de la demanda real de cada frente de trabajo, reduciendo el consumo energético mediante sensores y control remoto (Hardcastle & Kocsis, 2016).

2.3.8. Software Ventsim en la simulación de ventilación minera

El software Ventsim es una herramienta tridimensional que permite simular, analizar y optimizar sistemas de ventilación subterránea, facilitando la calibración de ventiladores, la detección de fugas y el cálculo de caudales en tiempo real (Chasm Consulting, 2020).

2.3.9. Aplicación del modelamiento computacional

El modelamiento computacional permite reproducir digitalmente el comportamiento del aire en los circuitos mineros, analizando variaciones de presión, caudal y temperatura, siendo herramientas como Ventsim y Vuma3D esenciales para validar los diseños de ventilación (Carpio Palomino, 2022).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.10. Control de gases contaminantes

Los gases generados por voladuras y equipos diésel, como CO, NO_2 y CH_4, deben mantenerse dentro de límites permisibles mediante un flujo de aire continuo y suficiente, evitando intoxicaciones y explosiones (Kissell, 2003).

2.3.11. Diseño y dimensionamiento de ventiladores

El diseño de ventiladores debe considerar la pérdida de carga total, la potencia requerida y la eficiencia del motor, el diseño adecuado asegura el funcionamiento estable del sistema (Wallace & Prosser, 2019).

2.3.12. Costos energéticos y sostenibilidad

El sistema de ventilación representa entre el 25 % y el 40 % del consumo energético total en minería subterránea, por lo que su optimización es fundamental para la sostenibilidad económica y ambiental (Sánchez, 2022).

2.3.13. Seguridad ocupacional y confort térmico

Una ventilación adecuada garantiza el confort térmico, la renovación del aire y el control de humedad, factores que influyen directamente en la seguridad y rendimiento del personal minero (Hall & McLean, 2015).

2.3.14. Ventilación secundaria y control local

La ventilación secundaria complementa el sistema principal en los frentes activos de explotación, mejorando la circulación del aire y reduciendo la exposición a gases contaminantes (Gillies & Wu, 2013).

2.3.15. Impacto de la ventilación en la productividad minera

Una ventilación eficiente incrementa la disponibilidad de equipos y personal, reduciendo tiempos muertos y aumentando la continuidad operativa, lo que se traduce en mayor productividad (Fernández, 2021).

2.3.16. Integración de tecnologías avanzadas en ventilación

El uso de sensores inteligentes, sistemas SCADA y análisis en tiempo real permite monitorear las condiciones del aire y ajustar automáticamente los parámetros de ventilación, asegurando un control eficiente (Mancini, 2018).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.17. Evaluación de la eficiencia operativa minera

La eficiencia operativa se mide a partir del equilibrio entre el rendimiento de producción, el consumo energético y los costos unitarios, siendo la ventilación un factor clave en la mejora del desempeño global (Hustrulid & Kuchta, 2006).

2.3.18. Sostenibilidad energética en la minería moderna

La gestión eficiente de la ventilación contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la huella de carbono y el impacto del consumo energético en las operaciones subterráneas (Souza, Silva, & Gómez, 2020).

2.4. Hipótesis de Investigación

2.4.1. Hipótesis General

- La optimización del sistema de ventilación mediante modelamiento computacional y estrategias de gestión energética mejora significativamente la eficiencia operativa y aumenta la producción en una mina subterránea durante el año 2023.

2.4.2. Hipótesis Especifica

- La optimización del caudal de aire mejora los metros perforados diarios y la continuidad de las operaciones, incrementando la eficiencia productiva de la mina.
- La implementación del modelamiento computacional con el software Ventsim reduce pérdidas de presión y fugas, mejorando la distribución del aire en una mina subterránea.
- La optimización del sistema de ventilación reduce los costos unitarios de producción, incrementando la eficiencia energética y el margen de beneficio global de la operación minera.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente

Conjunto de equipos, ductos, ventiladores y mecanismos de control que permiten el ingreso, distribución y evacuación del aire en los diferentes frentes de trabajo,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

garantizando condiciones adecuadas de temperatura, concentración de gases y flujo continuo de aire para las operaciones mineras (Hartman, 1992).

VI: Sistemas de Ventilación.

2.5.2. Variable Dependiente

Resultado cuantitativo de las actividades de extracción y perforación desarrolladas en una mina subterránea, expresado en toneladas producidas por día (TPD), asociado al desempeño de los sistemas operativos y a la eficiencia energética (Hustrulid & Kuchta, 2006).

VD: Producción minera y eficiencia operativa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

2.5.3. Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Indicador	Medición	Unidad
V.I. Optimización del sistema de ventilación	Proceso técnico orientado a mejorar la eficiencia del flujo de aire dentro de una mina subterránea, mediante el uso de modelamiento computacional (*Ventsim*), control automatizado, calibración de ventiladores y reducción de fugas, garantizando condiciones seguras y energéticamente eficientes (Hartman, 1992).	- Caudal total de aire (CFM)- Presión de ventilación (Pa)- Eficiencia del sistema de ventiladores (%)- Fugas en ductos (%)	Comparación de valores antes y después de la optimización durante el segundo y tercer trimestre de 2023.	• Porcentaje de eficiencia (%) o unidades de flujo de aire (m^3/s) o CFM.
VD: Producción y eficiencia operativa minera	Resultado del desempeño del proceso de extracción y perforación en función del uso óptimo de recursos técnicos, energéticos y humanos, expresado en productividad, costos y continuidad operativa (Hustrulid & Kuchta, 2006).	- Producción diaria (TPD)- Metros perforados por día (MPD)- Costo unitario de producción (USD/t)- Eficiencia energética (%)	Comparación de los indicadores operativos antes y después de la mejora del sistema de ventilación, mediante análisis estadístico con la prueba de Wilcoxon.	• TPD – Toneladas por día • MPD – Metros perforados por día • USD/t – Costo por tonelada • % - eficiencia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

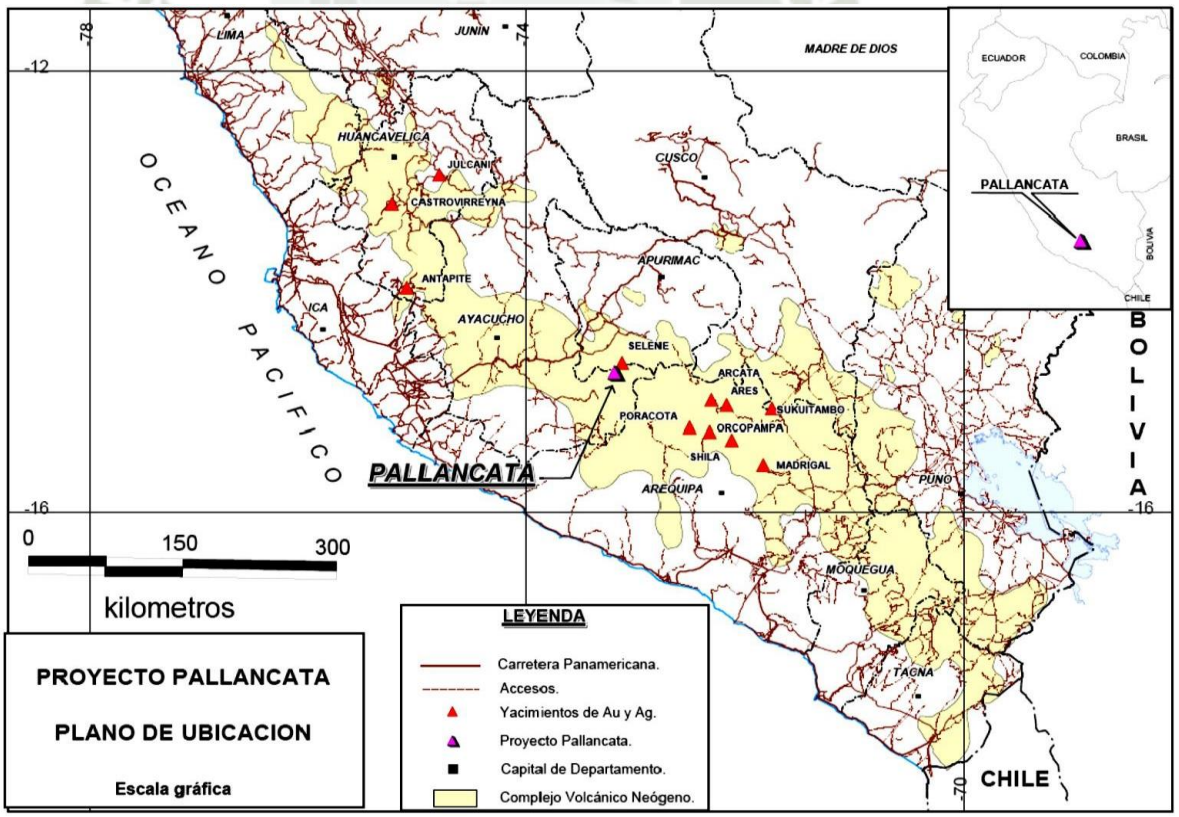
CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción geológica de la unidad

3.1.1. Ubicación y accesos

El yacimiento Pallancata está situado cerca de 520 kilómetros al sureste de Lima, en el distrito de Coronel Castañeda, que pertenece a la provincia de Parinacochas, dentro del departamento de Ayacucho; se encuentra a una altitud aproximada de 4200 metros sobre el nivel del mar. La operación más próxima, que está a 10 km al noreste, es la mina Selene-Explorador, del grupo Hochschild. Se llega al Proyecto por medio de 770 kilómetros de carretera asfaltada desde Lima hasta Nazca, Puquio e Izcahuaca, y luego se recorren 45 kilómetros más por una trocha carrozable hasta llegar a la propiedad. El recorrido dura cerca de 13 horas. (Hochschild Mining, 2023).

Figura 1.
Plano de ubicación y acceso a la mina Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2023).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.2. Marco geológico

El yacimiento Pallancata forma parte del arco magmático miocénico del sur del Perú, asociado al proceso de subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica, responsable de la generación de rocas volcánicas y volcanoclásticas ampliamente distribuidas en la región (INGEMMET, 2019). La mineralización presente en Pallancata se asocia a sistemas epitermales de baja a intermedia sulfuración, caracterizados por vetas con cuarzo, adularia y sulfuros metálicos, rasgos comunes en depósitos relacionados a fluidos hidrotermales someros (Sillitoe, 2010). Las estructuras mineralizadas están controladas por fallas y fracturas de orientación predominante NW–SE, coherentes con el patrón estructural andino y los esfuerzos compresivos regionales que afectaron el macizo rocoso durante el Neógeno (Zárate et al., 2018).

Los procesos de alteración hidrotermal muestran zonaciones bien definidas, con halos de silicificación intensa en torno a las vetas principales, seguidos por zonas intermedias de illita-esmectita, y un dominio externo de propilitización compuesta por clorita, calcita y pirita diseminada (Corbett & Leach, 1998). En conjunto, la geología de Pallancata refleja un ambiente volcánico-hidrotermal complejo, influenciado por estructuras regionales y procesos magmáticos que controlaron la ubicación, composición y continuidad de la mineralización (INGEMMET, 2019; Sillitoe, 2010).

3.1.3. Tipo de yacimiento

El yacimiento es hidrotermal de baja a intermedia sulfuración, con ganga de cuarzo granular mediano a fino, cuarzo oquedado, cuarzo bandeado crustiforme y, en ciertos casos, reticulado, además de arcillas rellenando localmente pequeñas fracturas (illita y esmectita).

3.1.4. Minerales

MENA: Sulfosales de Plata (pirargirita, proustita, pearceíta, polibasita), acantita, electrum, galena argentífera. (Hochschild Mining S.A., 2015)

Ganga: Metálica (pirita, galena, esfalerita, calcopirita); no metálica (cuarzo, calcita, fluorita, adularia, baritina). (Hochschild Mining S.A., 2015)

En Pallancata-veta se han identificado 8 etapas de estructuración, con crecimiento paragenético de minerales para ganga y mena (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.1.5. Descripción geológica general del yacimiento

El yacimiento Pallancata se clasifica como un depósito epitermal tipo cuarzo–adularia, con sulfuración baja a intermedia según sus características geológicas (Hochschild Mining S.A., 2015). Se ubica dentro de la franja volcánica del Cenozoico, compuesta por secuencias piroclásticas como tobas de lapilli, tobas de ceniza y volcanoclásticos retrabajados, incluyendo areniscas y aglomerados (Hochschild Mining S.A., 2015). Además, se observan flujos de lava andesítica con texturas porfirítica y afanítica. También afloran domos riodacíticos que corresponden a eventos intrusivos posteriores al desarrollo de algunos sistemas de vetas, aportando complejidad al marco geológico del depósito (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 1.

Minerales ganga y minerales mena

	Main hydrothermal minerals	Silicification (Stage 0)	Stockwork (Stage 1)	Vein fill Milky Qtz bladed (Stage 2)	Hydrothermal Bx low grade (Stage 3)	Hydrothermal Bx high grade (Stage 4)	"Bonanza" Boiling related (Stage 5)	Drusy Qtz veinlets (Stage 6)	Layered chalcedony filling druses (Stage 7)	Supergene alteration (Stage 8)
GANGUE MINERALS	Quartz + chalcedony									
	Calcite usually replaced									
	K- Feldspar (adularia)									
	White mica (sericite)									
ORE MINERALS	Marcasite									
	Pyrite									
	Sphalerite									
	Galena									
	Chalcopyrite									
	Pyrargyrite - Proustite									
	Miargyrite									
	Pearceite - Polybasite									
	Au - Ag allay (electrum)									
	Uytenbogaardtite									
	Acanthite									
	Stephanite									
	Jalpaite									
	Stromeyerite									
	Mckinstryite									
	Freibergite									
	Acanthite II									
	Covellite									

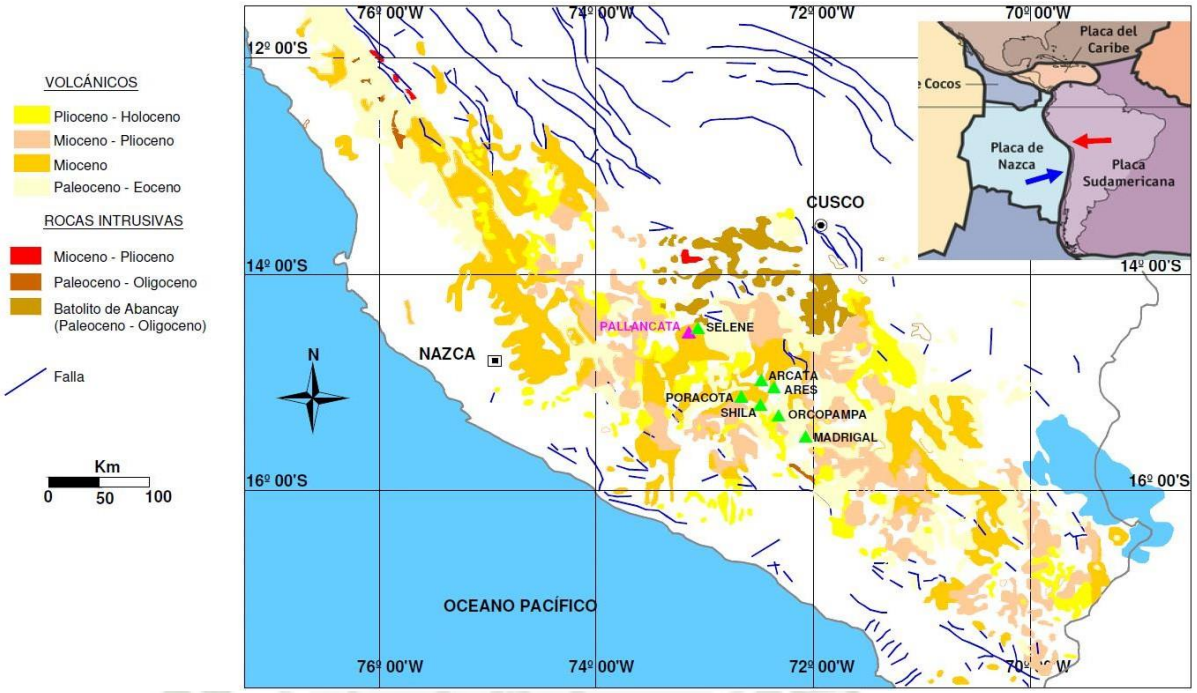
Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 2.

Pallancata en el contexto del arco volcánico.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Desde el punto de vista estructural, en Pallancata se reconocen tres sistemas de vetas actualmente mineralizados, los cuales corresponden a los rumbos NW, NE y E–W, siendo el sistema noroeste el de mayor importancia por su relación directa con la Veta Pallancata (Hochschild Mining S.A., 2015). Este conjunto presenta una cinemática sinextral-normal. Los patrones de alteración asociados a vetas y brechas suelen restringirse a distancias cortas desde las estructuras principales, salvo en los sistemas NW y E–W, donde se evidencia mayor continuidad. La alteración argílica tiene escaso desarrollo, mientras que la propilítica es más extensa y representativa dentro del depósito (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.6. Descripción de las estructuras mineralizadas

Sector Pallancata: En el sector Pallancata se reconocen vetas con espesores variables que van desde aproximadamente 0.80 m hasta 5.00 m. Estas estructuras están compuestas por cuarzo granular y bandeado, acompañados por sulfuros grises que resaltan dentro del relleno mineral (Hochschild Mining S.A., 2015). Las vetas presentan texturas crustiformes y patrones tipo “lattice”, y en algunos casos contienen pequeñas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cantidades de arcillas ocupando fracturas menores. Su emplazamiento se da dentro de secuencias piroclásticas y en volcanoclásticos retrabajados, donde también se observan lentes de lavas andesíticas con texturas porfiríticas y afaníticas (Hochschild Mining S.A., 2015).

Sector Ranichico: Se observan estructuras vetiformes ramaleadas y brechas que presentan una potencia que oscila entre 0.80 y 3 metros. Estas estructuras están compuestas predominantemente por cuarzo granular de textura media a fina, el cual exhibe venillas y una diseminación principalmente de minerales de color rojo. Se localiza en una secuencia piroclástica y volcanoclástica que ha sido sometida a un proceso de retrabajo.

Sector Yanacochita - Farallón: La veta Explorador Pablo muestra una potencia que puede alcanzar localmente hasta 25 m, con un promedio cercano a 8 m y una continuidad reconocida de aproximadamente 1 km (Hochschild Mining S.A., 2015). En niveles más profundos se observa una mineralización metálica compuesta principalmente por sulfosales de plata como proustita y pirargirita, conocidas como platas rojas. También están presentes minerales de la serie pearceíta–polibasita, clasificados como platas grises (Hochschild Mining S.A., 2015). De igual manera, se identifica esfalerita de tonos verde a amarillo claro, denominada blenda rubia, además de calcopirita y, en menor proporción, galena. La mineralización aparece tanto de forma diseminada como ocupando cavidades de cuarzo, e incluso formando bandas oscuras tipo ginguro asociadas a procesos de ebullición (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.7. Alteración

Las alteraciones hidrotermales en Pallancata aparecen como zonas bien definidas alrededor de las vetas. El primer halo, ubicado en el contacto inmediato con el cuarzo masivo, se caracteriza por una marcada silicificación donde el cuarzo fino reemplaza al encajante. Este dominio incluye sericita que altera los feldespatos, generando venillas finas, además de cantidades menores de clorita e illita y una notable presencia de pirita diseminada. Este halo puede alcanzar espesores cercanos a los 50 metros (Hochschild Mining S.A., 2015). También se observan delgadas venillas irregulares de sílice cristalina acompañadas ocasionalmente de halos de illita.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A mayor distancia de la estructura mineralizada se desarrolla un segundo halo, de espesor más amplio, compuesto principalmente por illita y esmectita, lo que confiere tonalidades verdosas a la roca. Es común la presencia de pirita diseminada; sin embargo, en unidades con abundante pómez, la pirita se concentra con mejor desarrollo cristalino (Hochschild Mining S.A., 2015).

Finalmente, se presenta un halo externo de alteración propilítica, donde los volcanoclásticos muestran un color verde característico debido a la presencia de clorita y calcita, acompañadas de pirita diseminada. La calcita aparece tanto en la matriz como en venillas que pueden alcanzar varios centímetros de espesor (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.8. Geología

3.1.8.1. Geología estructural

La configuración estructural del yacimiento Pallancata desempeña un rol determinante en el emplazamiento y la continuidad de la mineralización, debido a que las fracturas y zonas de debilidad generadas por esfuerzos tectónicos incrementan significativamente la permeabilidad del macizo rocoso. Estas discontinuidades permiten la migración de fluidos hidrotermales desde niveles profundos hacia áreas próximas a la superficie, favoreciendo los procesos de alteración y la precipitación de minerales de mena. En muchos depósitos epitermales, incluyendo Pallancata, esta relación está influenciada por la cercanía a centros volcánicos, donde la actividad magmática genera redes de fallas y fracturas capaces de canalizar calor, soluciones mineralizantes y vapor ascendente (Hochschild Mining S.A., 2015).

Dentro del distrito, el control estructural más importante corresponde a un sistema de rumbo noroeste, el cual se alinea con el rumbo andino regional y conforma el corredor estructural Pallancata–Paca. Este sistema está integrado por estructuras de alto ángulo de inclinación, con cinemática sinextral–inversa, que controlan el desarrollo de vetas como Pallancata y Rina–Charo, consideradas las de mayor relevancia económica y continuidad lateral dentro del depósito (Hochschild Mining S.A., 2015). Este conjunto de fallas no solo influenció la apertura de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

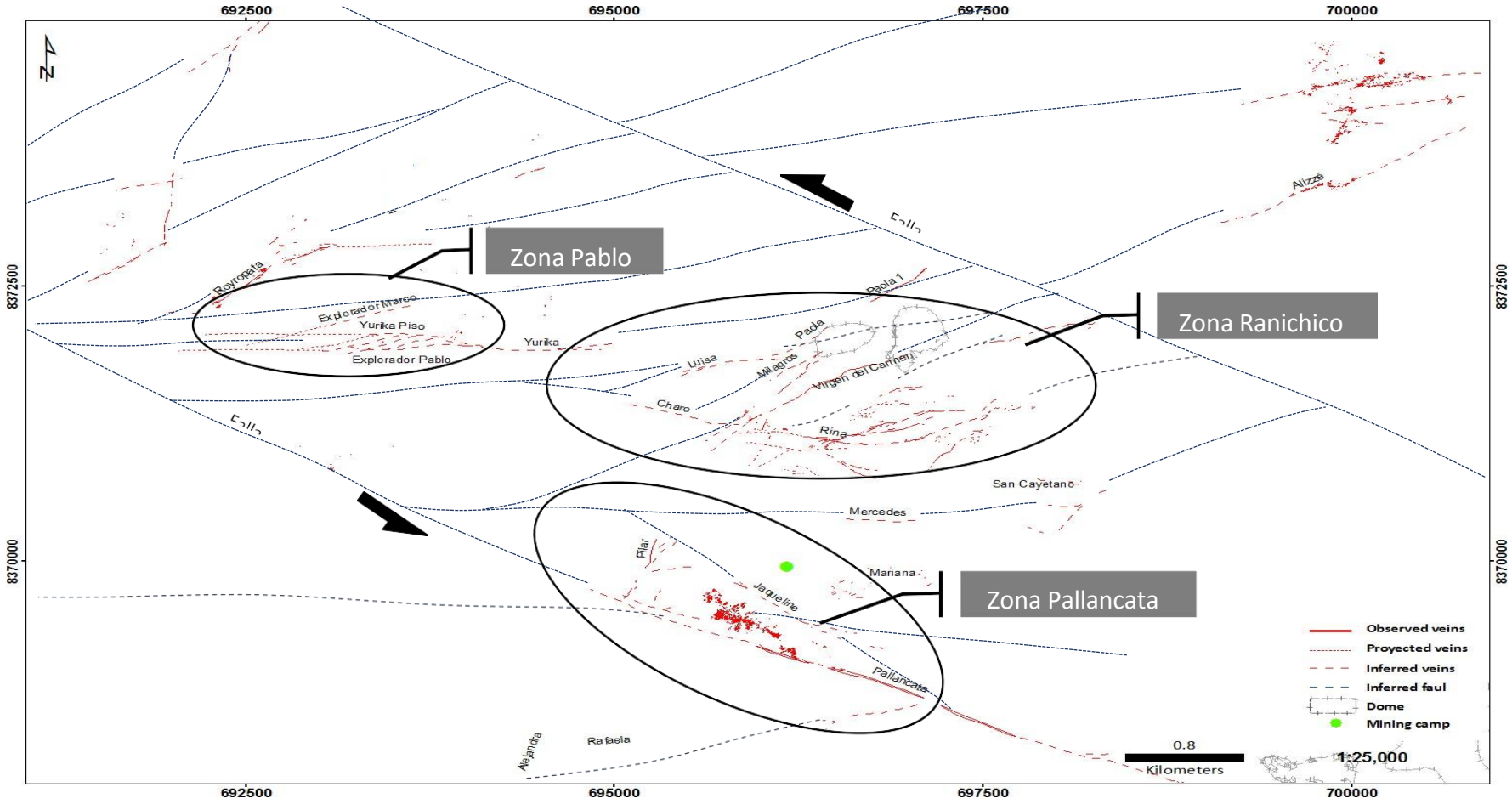
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

espacios para la circulación de fluidos, sino que también permitió un emplazamiento repetitivo mediante sucesivos pulsos mineralizantes.

De manera complementaria, se identifica un segundo sistema estructural con rumbo noreste, conocido como sistema antiandino, el cual agrupa vetas como Royropata, Yanacochita, Bolsa y Makarena. Estas estructuras presentan rellenos predominantemente compuestos por cuarzo y podrían estar vinculadas a sistemas equivalentes ubicados en la zona Selene, situada al norte del área de estudio. La interacción entre ambos sistemas estructurales generó una red de zonas tensionales y compresivas que favoreció la formación y preservación del mineral en diferentes etapas geológicas (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Figura 3.
Plano estructural de la Unidad Minera de Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

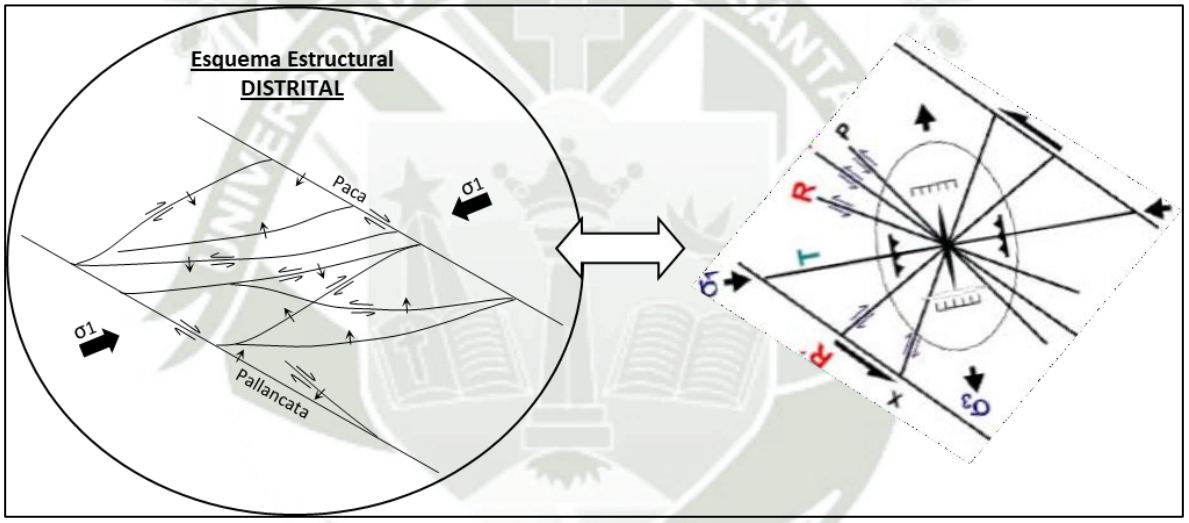
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.8.2. Modelo de Riedel

El yacimiento Pallancata puede explicarse mediante el modelo de Riedel sinextral, que describe el desarrollo de fracturas bajo un régimen transcurrente hacia la izquierda. En este contexto, se distinguen dos corredores estructurales principales orientados al noroeste, correspondientes a los sistemas Pallancata y Paca (Hochschild Mining S.A., 2015). La interacción de los esfuerzos σ1 y σ3 produce una deformación rotacional levógira, generando estructuras típicas como R, R', P y T, interpretadas según el elipsoide de deformación planteado por Cox.

Figura 4.
Modelo de Riedel Sinextral – Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

3.1.8.3. Geología regional

La Unidad Minera Pallancata se desarrolla dentro de una región altoandina que presenta un relieve caracterizado por colinas suavemente redondeadas y lomadas de amplia extensión, interrumpidas por afloramientos abruptos que conforman riscos con paredes subverticales. Estos rasgos geomorfológicos se combinan con un extenso valle plano que alberga diversas lagunas, así como depósitos morrénicos que evidencian la influencia de antiguos procesos glaciares en la modelación del paisaje. La altitud del área varía aproximadamente entre los 4 000 y 4 600 metros sobre el nivel del mar, generando condiciones ambientales frías y secas típicas de la sierra sur del Perú. Entre las lagunas más representativas se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

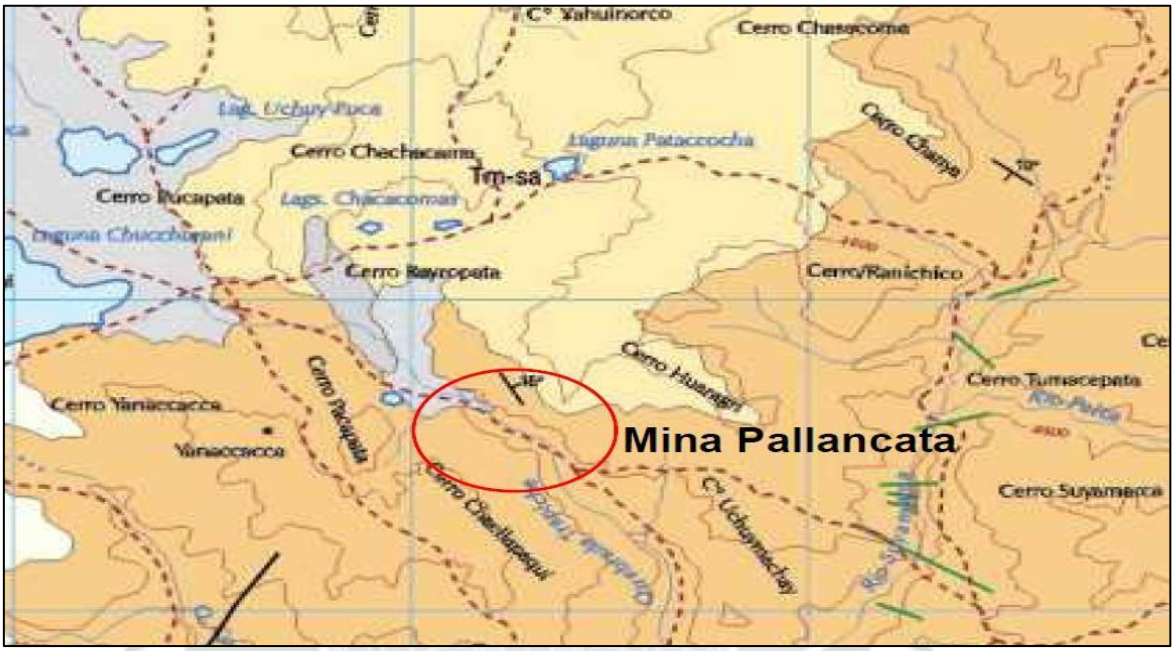
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

encuentran Chucchurani, Puca y Uchuy Puca; sin embargo, la que mantiene mayor relación con la zona donde se emplaza la veta Pablo es la laguna Pataccocha, ubicada dentro de la misma cuenca hidrográfica alimentada por el río Pallancata (Hochschild Mining S.A., 2015).

Figura 5.

Geología regional del área de emplazamiento de la Unidad Minera Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Desde un punto de vista morfológico–estructural, la región está dominada por macizos rocosos formados por secuencias volcánicas y volcanoclásticas que han sido afectadas por sucesivas etapas de actividad eruptiva. Posteriormente, estos cuerpos fueron sometidos a un intenso proceso de erosión glacial que moldeó el terreno, generando grandes artesas, valles glaciares en forma de "U", así como superficies suavemente onduladas producto del arrastre de materiales durante el retroceso de los glaciares. Estos elementos geomorfológicos, combinados con el vulcanismo previo, permiten interpretar que la zona experimentó ciclos alternados de actividad volcánica y glacial que condicionaron la disposición final de las unidades litoestratigráficas actuales (Hochschild Mining S.A., 2015).

En el área se reconocen principalmente dos unidades litoestratigráficas: la formación Aniso y la formación Saycata. La formación Aniso está constituida por secuencias de tobas, areniscas y conglomerados que contienen fragmentos subredondeados a subangulares de tobas y lavas andesíticas, indicando un ambiente de redepósito volcánico con aportes fragmentarios. Por otro lado, la formación Saycata corresponde a una secuencia de lavas de composición

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

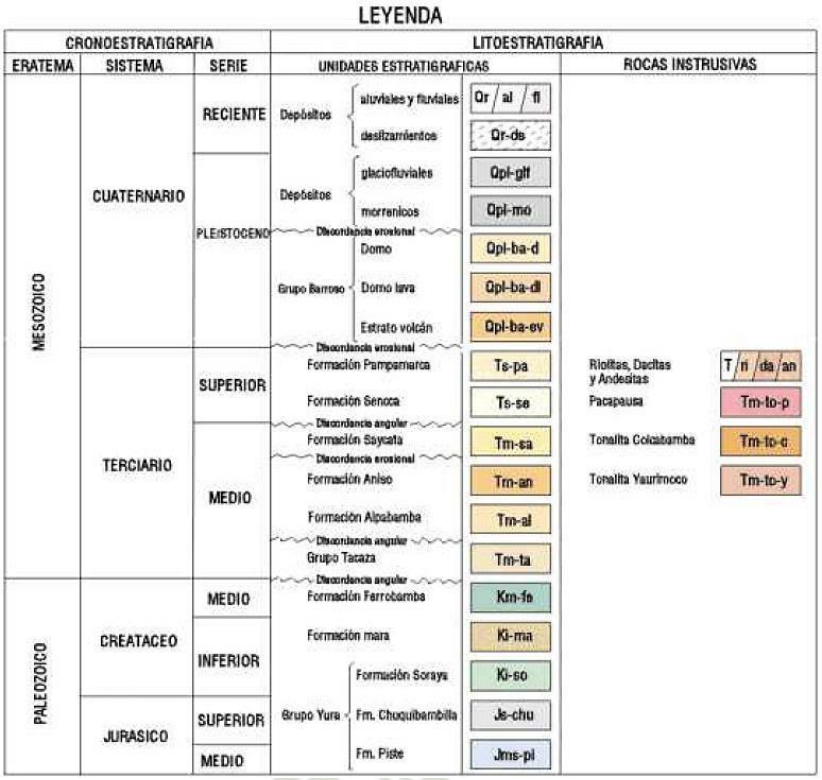
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

andesítica con variaciones cromáticas que van desde tonos claros hasta oscuros, presentando una textura fluidal distintiva producto del movimiento del magma durante su solidificación. Además, dentro de ambas formaciones se identifican cuerpos subvolcánicos de composición dacítica, con textura porfirítica y un elevado contenido de cuarzo, los cuales afloran de manera aislada. Estos cuerpos intrusivos cortan tanto a la formación Aniso como a la Saycata, y se interpreta que la veta Pablo se encuentra alojada dentro de una de estas litologías dacíticas (Hochschild Mining S.A., 2015).

Figura 6.

Leyenda geológica de la hoja 30p de la carta geológica nacional.



Nota. Tomado de INGEMMET - Hochschild Mining S.A. (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.8.4. Geología local

A. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas predominantes en el área de la mina Pallancata y alrededores se describe a continuación):

Formación Aniso: La formación Aniso se dispone concordantemente sobre la formación Alpabamba y, hacia su parte superior, muestra una relación discordante con las lavas pertenecientes a la formación Saycata. Está conformada por una secuencia de origen tobáceo que incluye areniscas conglomeráticas con fragmentos subredondeados a subangulares compuestos por tobas o lavas andesíticas. Un rasgo distintivo de esta unidad es la presencia de tobas redepositadas con tonalidades blanco-amarillentas (Hochschild Mining S.A., 2015)

Presenta estratos delgados de estratificación laminada, gradada y sesgada, lo cual refleja un ambiente sedimentario mixto, tanto lacustre como subaéreo. Estas variaciones en granulometría y espesor evidencian cambios en la energía del medio y en la dirección del aporte clástico. Con base en estas características, se interpreta que la unidad pertenece a un sistema sedimentario cerrado de tipo lagunar (Hochschild Mining S.A., 2015).

La formación Aniso se asocia al Mioceno medio a superior, determinada mediante correlación estratigráfica debido a la ausencia de fósiles y datos radiométricos. Su secuencia más representativa aflora cerca del poblado de Aniso, donde se observan claramente los límites basal y superior. En promedio, alcanza un espesor aproximado de 500 metros (Hochschild Mining S.A., 2015).

Formación Saycata: La formación Saycata corresponde a una unidad volcánica compuesta por lavas andesíticas de tonos gris oscuro a gris claro, con texturas fluidales y porfiríticas dominadas por fenocristales de feldespatos y minerales máficos. Estudios petrográficos la clasifican como secuencias que varían desde basaltos andesíticos hasta andesitas anfibólicas. La geomorfología del área evidencia coladas volcánicas asociadas a una marcada acción glaciar, que generó cubetas y valles glaciares, rasgos que la distinguen parcialmente de unidades cercanas como el Grupo Barroso (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

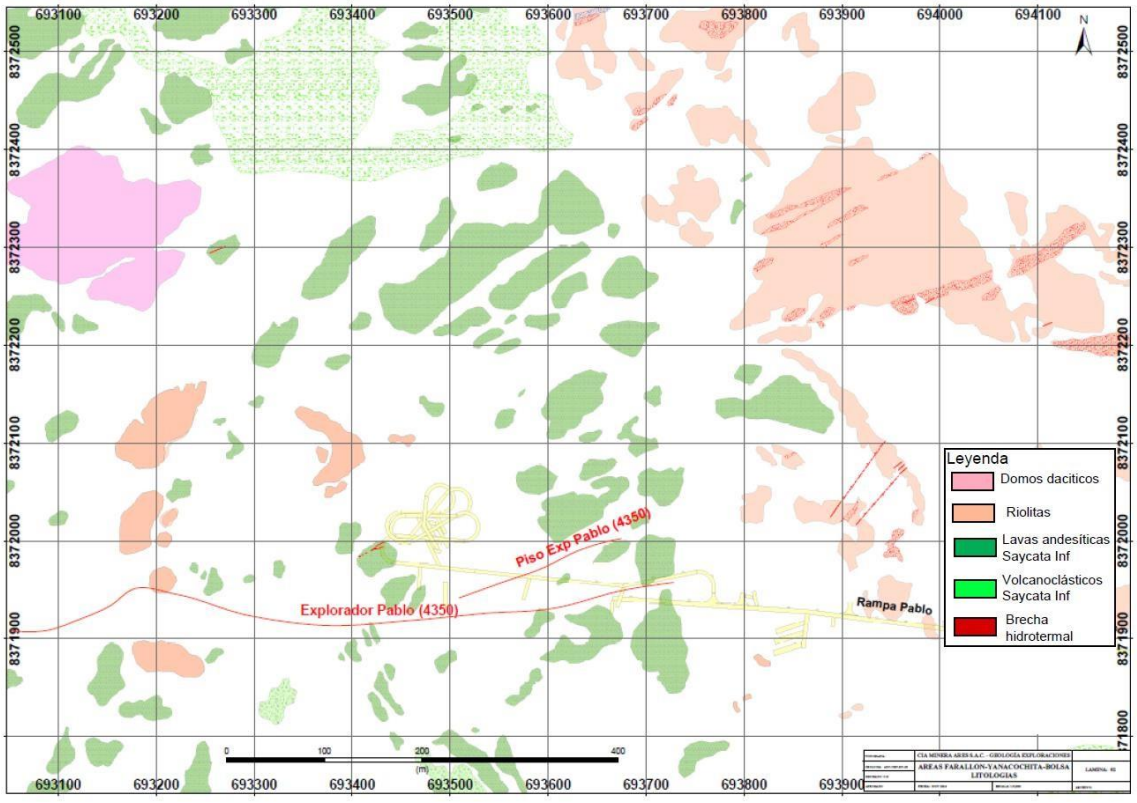
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los mejores afloramientos se encuentran en las proximidades del caserío de Saycata, a unos 27.5 km del área del proyecto. Esta unidad conforma las cumbres de cerros como Pucacunca y Chachacoma. Estratigráficamente, sobreyace en discordancia angular sobre la formación Aniso y está intruida por diques de composición dacítica a andesítica. Hacia el sector del proyecto, su parte superior está cubierta por depósitos cuaternarios, y presenta un espesor aproximado de 200 metros (Hochschild Mining S.A., 2015).

Unidad Sub-volcánica: La unidad subvolcánica está conformada por afloramientos hipabisales que, según sus características texturales y petrográficas, guardan relación directa con cuerpos volcánicos. Estos intrusivos cortan tanto la formación Aniso como la Saycata, y su composición predominantemente dacítica, de textura porfirítica y alto contenido de cuarzo, sugiere que podrían estar asociados al emplazamiento de la veta Pablo (Hochschild Mining S.A., 2015)

Figura 7.
Plano geológico del área de emplazamiento de la Unidad Minera Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Depósitos Cuaternarios

Depósitos Antrópicos: Los depósitos antrópicos corresponden a acumulaciones generadas por actividades humanas desarrolladas en zonas de operación minera. Están conformados principalmente por materiales removidos, fragmentos de roca y suelos mezclados durante labores de construcción, habilitación de accesos o disposición de desmonte. Presentan una composición heterogénea y granulometría variada, normalmente dispuesta de forma poco consolidada y con escaso desarrollo vegetal. Estos depósitos se distribuyen en áreas intervenidas y modifican localmente la topografía natural (Hochschild Mining S.A., 2015)

Depósitos fluvioglaciares recientes: Están formados principalmente por arcillas plásticas mezcladas con proporciones moderadas de arena y grava fina, además de una notable cantidad de materia orgánica. Estos materiales se encuentran ubicados dentro de los cauces de inundación máxima de los sistemas de drenaje presentes en el área (Hochschild Mining S.A., 2015).

Depósitos fluvioglaciares antiguos: Se desarrollan como terrazas más amplias aunque discontinuas, situadas inmediatamente por encima de los depósitos recientes. Se caracterizan por contener suelos orgánicos de hasta 0.5 m de espesor, altamente compresibles, que reposan sobre una base de grava fina subangulosa compuesta por arena y pequeños porcentajes de finos de baja densidad (Hochschild Mining S.A., 2015).

Depósitos coluviales: Se encuentran ubicados al pie de las escarpas formadas por afloramientos de riolita. Están constituidos por clastos angulosos de este litotipo, acompañados por gravas y cantos, con una proporción reducida de arena y una densidad relativamente baja. En el extremo sureste del área, estos materiales muestran un espesor delgado que permite observar pequeños afloramientos riolíticos. En la cabecera de la cuenca, los coluviales pueden evolucionar hacia acumulaciones de escombros de pie de ladera con espesores más desarrollados (Hochschild Mining S.A., 2015).

Depósitos morrénicos recientes: Se localizan alrededor de la laguna Pataccocha y se reconocen por su coloración beige blanquecina y su escasa cobertura vegetal. Presentan un relieve suave a moderadamente ondulado y están conformados por gravas y cantos rodados, principalmente de tobas, contenidos en una matriz arenosa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a arcillosa. La composición heterogénea y la presencia de clastos subredondeados indican que estos materiales corresponden a acumulaciones dejadas por el retroceso de glaciares cuaternarios en la zona (Hochschild Mining S.A., 2015)

Depósitos morrénicos antiguos: Corresponden a remanentes de morrenas laterales que han sido erosionadas con el tiempo, conservándose únicamente sus partes más estables. Están compuestos por gravas y bloques de origen volcanoclástico, de tamaños y formas muy heterogéneas, contenidos dentro de una matriz limo–arcillosa. A diferencia de los depósitos recientes, estos presentan una superficie más consolidada y sustentan una cobertura vegetal típica de zonas altoandinas, lo que evidencia su mayor antigüedad y estabilidad geomorfológica (Hochschild Mining S.A., 2015)

c. Condiciones estructurales y sismo-tectónicas

El sector donde se ubica la mina Pallancata ha sido influenciado por dos eventos tectónicos principales conocidos como las fases quechua 3 y quechua 4 (Hochschild Mining S.A., 2015).

La fase quechua 3 afectó a las formaciones Alpabamba y Aniso, junto con las unidades hipabisales vinculadas al Mioceno medio–superior. Su expresión más evidente es la discordancia angular entre la formación Aniso y la formación Saycata. Esta fase generó estructuras plegadas que incluyen anticlinales y sinclinales de gran extensión, cuyos flancos presentan inclinaciones entre 10° y 15°. Las orientaciones predominantes siguen un eje norte–sur y se relacionan con fallas de desgarre conjugadas originadas durante el proceso de plegamiento, indicando un régimen compresivo con acortamiento en dirección este–oeste (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 8.
Vista de Google Earth del área de emplazamiento de la mina Pallancata.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

En cuanto a la fase quechua 4, esta se caracteriza por estructuras con una clara tendencia andina y un comportamiento distensional. Este evento corresponde al Plioceno inferior, considerando que su mayor desarrollo coincide con el inicio de la superficie de erosión conocida como "Puna". Las deformaciones asociadas a esta fase reactivaron o modificaron estructuras previas, contribuyendo a la configuración tectónica final del área minera (Hochschild Mining S.A., 2015).

D. Condiciones geomorfológicas

El área de emplazamiento de la mina Pallancata se sitúa en la unidad geomorfológica identificada como "Colinas y lomadas". Esta área está predominantemente asociada a rocas tobáceas piroclásticas re-depositada y lavas, presentando un grado de erosión que varía de moderado a fuerte. Además, se observan diferencias de cotas de 600 metros entre las zonas de cumbres y mesetas (ver Figura 8:). El área donde se localiza la mina Pallancata pertenece a la unidad geomorfológica denominada "Colinas y lomadas", caracterizada por superficies suavemente onduladas y relieve moderado (Hochschild Mining S.A., 2015). Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

paisaje está dominado por afloramientos de rocas tobáceas piroclásticas retrabajadas y lavas, las cuales muestran distintos grados de erosión que van desde moderados hasta intensos. Asimismo, la zona presenta contrastes altitudinales de aproximadamente 600 metros entre las partes más elevadas y las mesetas del entorno, lo que evidencia la acción combinada de procesos volcánicos y erosivos que modelaron la topografía actual (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.9. Proceso Productivo

Comprende todas las actividades operativas que se ejecutan durante la fase de explotación en la Unidad Minera Pallancata. Esta etapa integra de manera secuencial las labores de perforación, voladura, extracción, limpieza, acarreo y sostenimiento, las cuales permiten el avance continuo de los frentes mineros y el aprovechamiento eficiente del mineral disponible (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.9.1. Perforación y voladura

La perforación se desarrolla utilizando equipos tanto convencionales como mecanizados. En los métodos tradicionales se emplean Jack Leg, mientras que para operaciones de mayor escala se utilizan equipos T1D y Raptor, diseñados para labores masivas. Estos equipos trabajan bajo un sistema roto-percutivo mediante el uso de barras y aceros especializados, permitiendo generar la fragmentación controlada del macizo rocoso, necesaria para exponer y extraer el mineral en condiciones adecuadas (Hochschild Mining S.A., 2015).

3.1.9.2. Perforación en tajeos de explotación

En Pallancata, la perforación en tajeos se realiza con equipos mecanizados y varía según el método de explotación. Tanto en Bench Fill como en SARC, la perforación se ejecuta de forma negativa desde un nivel superior hacia uno inferior, cubriendo todo el espesor de la veta. El diseño de perforación considera parámetros como tipo de roca, potencia y buzamiento, asegurando una malla eficiente y segura para la fragmentación del mineral (Hochschild Mining S.A., 2015).

a. Bench Fill

El método Bench Fill se aplica en vetas cuya potencia varía entre 2.0 y 12.0 metros, siempre que presenten buzamientos superiores a 60°. Para su

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

implementación, la clasificación del macizo rocoso debe cumplir los parámetros establecidos por el área de geomecánica. Las labores se realizan con equipos mecanizados como los T1D, Stop Master y Raptor, seleccionados por su capacidad operativa y adaptabilidad en espacios reducidos. Este método utiliza perforación vertical con diámetros entre 51 y 64 mm, barras acoplables de 1.5 m y destaca por ofrecer alta productividad y menores costos de minado en comparación con métodos convencionales (Hochschild Mining S.A., 2015).

b. Sub niveles ascendentes con relleno cementado (SARC)

El método SARC se utiliza en vetas cuya potencia se encuentra entre 4.0 y 20.0 metros, con buzamientos mayores a 60°. Para su aplicación es indispensable cumplir con los criterios geomecánicos establecidos por el área técnica. La perforación se ejecuta con equipos mecanizados como T1D, Stop Master y Raptor, empleando barrenos de 51 a 64 mm de diámetro y barras acoplables. Su principal ventaja es la posibilidad de trabajar en vetas anchas manteniendo una recuperación controlada del mineral y garantizando la estabilidad del tajo durante toda la operación (Hochschild Mining S.A., 2015).

c. Corte Y Relleno Convencional (CRC)

El método de Corte y Relleno Convencional (CRC) se emplea en vetas angostas cuyo espesor se encuentra entre 1.20 y 2.50 metros. La perforación se realiza utilizando Jack Leg y barras de acero de 7/8” con longitudes de 2.4 m, 3.0 m y 3.6 m. En este método, la preparación del tajeo se efectúa mediante pasos cortos, dando lugar al diseño denominado “Delta Fill”, que permite trabajar de manera secuencial desde la parte superior hacia niveles inferiores (Hochschild Mining S.A., 2015).

La operación avanza en franjas o tajadas horizontales según el espesor de la veta. Una vez retirada la mineralización de cada nivel, el espacio generado es rellenado con material adecuado para asegurar la estabilidad del tajo y permitir la continuidad segura del siguiente corte. Este método ofrece un control efectivo de la dilución y constituye una alternativa eficiente para vetas de espesores reducidos (Hochschild Mining S.A., 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

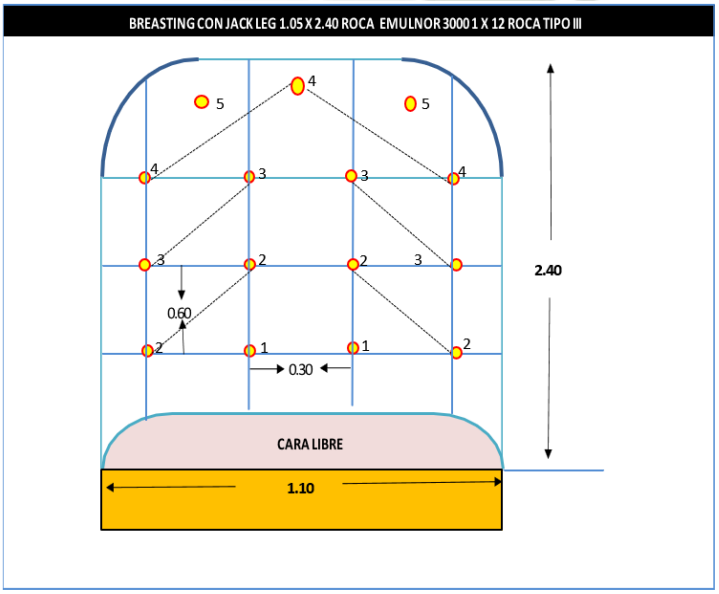
3.1.9.3. Voladura de rocas

La voladura de rocas es el proceso mediante el cual se fractura el macizo rocoso utilizando explosivos previamente distribuidos en los taladros perforados. Su ejecución requiere el uso de dinamita, emulsiones encartuchadas, agentes a granel y accesorios como fulminantes y cordón detonante, según las especificaciones de cada frente. La correcta selección del explosivo y el diseño del disparo permiten obtener una fragmentación adecuada, optimizar el avance y garantizar la seguridad operativa durante toda la secuencia de voladura (Hochschild Mining S.A., 2015).

Explosivos y accesorios de voladura

- Armada de mecha lenta
- Cordón detonante
- Detonador no electrónico
- Emulsión encartuchada
- Mecha rápida
- ANFO (Casos excepcionales).

Figura 9.
CRC-Breasting.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

BREASTING CON JACK LEG 1.20 X 2.40 ROCA TIPO III WINCHE		
PARAMETROS	**TIPO III**	**UNIDADES.**
Ancho de Minado	1.2	m.
Altura de minado	2.4	m.
Burden	0.6	m.
Espaciamiento	0.25	m.
Cantidad de taladros	15	Tal.
Long. Del taladro	2.4	m.
Eficiencia en el disparo	2.2	m.
Peso especifico del mineral	2.54	Ton/m3
Tonelaje roto	16.15	Tn.
Volumen	6.36	m3
Cart. x tal. (E- 3000 1 X 12")	0	Pzas.
Cart. X tal. (E-1000 1 X 12")	4	Pzas.
Total Cartuchos Explosivos 1000	60	Pzas.
Peso / Cartucho (E - 1000 1 x 12")	0.171	Kg.
Peso / Cartucho (E - 3000 1 x 12")	0.174	Kg.
Kg. Explosivo / Taladro	0.68	Kg./Tal
Kg. Explosivo Total	10.27	Kg.
Factor de Potencia	0.64	Kg./tn.
Factor de Carga	1.62	Kg./m3
Concentracion lineal de carga (E-3000 1"X12")	0.58	Kg./m
Factor de Avance	4.65	Kg./m.
Tonelada x taladro	1.08	Tn./tal.
Toneladas x m2	5.61	Tn/m2
Carmex 7 pies.	0.1238	Pza./Tn.
Pentacord	0.9287	m./Tn.
Mecha Rápida	0.0006	m./Tn.
Detonador no electrico	0.9287	Pza./Tn.
Barras	2.2288	m./Tn.
Brocas	2.2288	m./Tn.

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Figura 10.
CRC-Breasting.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

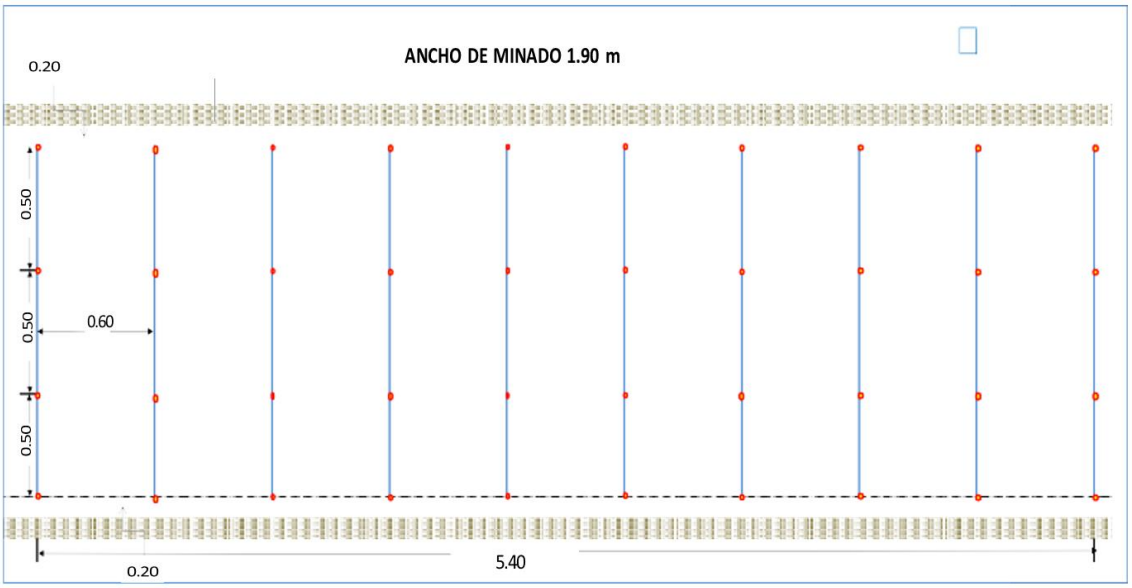
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TIPO III		
PARAMETROS - MALLA	**14**	**UNID**
Ancho de Minado	0.8	m.
Long. Tajo	50	m.
Burden	0.4	m.
Espaciamiento	0.5	m.
Cantidad de taladros	187	Tal.
Log. Del taladro	2.4	m.
Eficiencia en el disparo	2.21	m.
Peso específico del mineral	2.54	Ton/m3
Volumen	88.32	m3
Toneladas	224.33	Ton
Cart. x tal. (E- 3000 1 X 12")	1	Pzas.
Cart. X tal. (E-1000 1 X 12")	5	Pzas.
Tal. Cartuchos Explosivo 3000	187	Pzas.
Tal. Cartuchos Explosivo 1000	935	Pzas.
Kg. Explosivo (E- 1000 1 X 12")	32	Kg.
Kg. Explosivo (E- 3000 1 X 12")	162.3	Kg.
Peso / Cartucho (E - 1000 1 x 12")	0.171	Kg.
Peso / Cartucho (E - 3000 1 x 12")	0.174	Kg.
Kg. Explosivo / Taladro	1.03	Kg. /Tal
Factor de Potencia	0.87	Kg. /Tn.
Factor de Carga	1.84	Kg. /m3
Tonelada x taladro	0.83	Tn/tal
Factor de Avance	88.01	Kg. /m.
Concentración lineal de carga (E-3000 1"X12")	0.58	Kg. /m
Toneladas x m2	5.6	Tn/m2
Fanel o Carmex 7 pies.	0.0089	Pza./Tn.
Pentacord	0.0918	m./Tn.
Mecha Rápida	0	m./Tn.
Detonador no eléctrico	0.8336	Pza./Tn.
Barras	2.0006	mp. /Tn.
Brocas	2.0006	mp. /Tn.

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Figura 11.
Bench & Fill.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

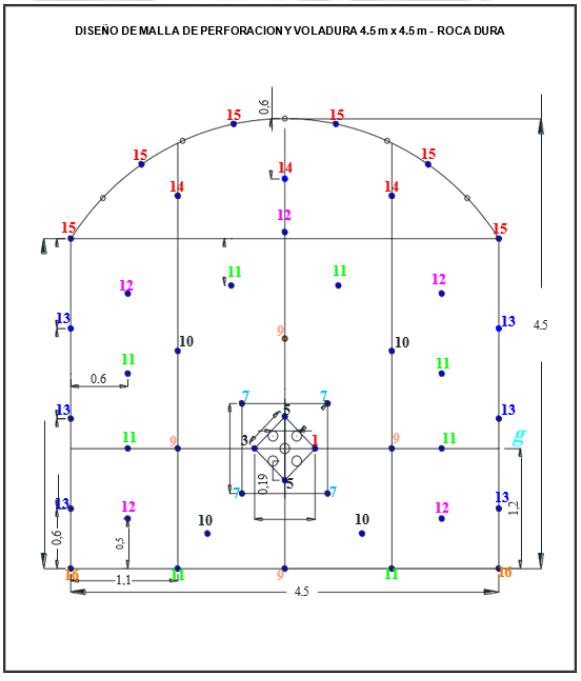
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TIPO III		
PARAMETROS - MALLA	**14**	**UNID**
Ancho de Minado	1.9	m.
Long. Tajo	5.4	m.
Burden	0.4	m.
Espaciamiento	0.4	m.
Cantidad de taladros	45	Tal.
Log. Del taladro	2.4	m.
Eficiencia en el disparo	2.21	m.
Peso especifico del mineral	2.54	Ton/m3
Tonelaje roto	57.5	Tn.
Volumen	22.65	m3
Cart. x tal. (E- 3000 1 X 12")	**1**	Pzas.
Cart. X tal. (E-1000 1 X 12")	**5**	Pzas.
Tal. Cartuchos Explosivo 3000	45	Pzas.
Tal. Cartuchos Explosivo 1000	225	Pzas.
Kg. Explosivo (E- 1000 1 X 12")	**38.5**	Kg.
Kg. Explosivo (E- 3000 1 X 12")	**7.8**	Kg.
Peso / Cartucho (E - 1000 1 x 12")	0.17	Kg.
Peso / Cartucho (E - 3000 1 x 12")	0.17	Kg.
Kg. Explosivo / Taladro	1.03	Kg./Tal
Factor de Potencia	**0.81**	Kg./Tn.
Factor de Carga	9.51	Kg./m3
Tonelada x taladro	1.28	Tn/tal
Concentracion lineal de carga (E-3000 1"X12")	0.58	Kg./m
Toneladas x m2	5.61	Tn/m2
Fanel o Carmex 7 pies.	0.78	Pza./Tn.
Pentacord o Mecha rápida	0.36	m./Tn.
Mecha de Seguridad	0	m./Tn.
Barras	1.88	mp./Tn.
Brocas	1.88	mp./Tn.

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Figura 12.
Diseño de malla e indicadores de voladura de roca dura.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PARAMETROS		
Descripción	**Unid.**	**Cant.**
Perforación		
Diámetro de broca	mm	**51**
Ancho	m	**4.5**
Altura	m	**4.5**
Longitud de barra	m	**3.7**
Longitud de taladro	m	**3**
N.º de taladros	und	**46**
N.º taladros de alivio	und	**10**
Avance efectivo	m	**2.9**
Metros perforados	m	**133**
Metros perforador rimado	m	**29**
Pies perforados	Unid.	**460**
Pies perforador rimado	Unid.	**100**
Eficiencia de perforación	%	**82%**
Eficiencia de voladura	%	**97%**
Toneladas por taladro	tn/tal	**2.68**
Toneladas por metro	tn/m	**0.76**
Voladura		
Densidad de roca		**2.1**
Volumen roto	m3	**58.7**
Tonelada rota	tn	**123**
Factor de avance	kg/m	**35.4**
Factor de potencia	kg/tn	**0.8**
Factor de carga	kg/m3	**1.7**
N.º cart. prom. por taladro	Unid.	**6**
Emulnor 5000 1_1/4 X 12 (Pzas)	Kg/ m	**11.3**
Emulnor 3000 1_1/4 X 24 (Pzas)	Kg/ m	**21.9**
Emulnor 1000 1_1/4 x 12(Pzas)	Kg/ m	**2.2**
Accesorios		
Carmex 7 pies	Pza/m	**0.69**
Pentacord	mp. /m	**10.34**
Mecha Rápida	mm/m	**0.0034**
Detonador No Eléctrico	Pza/m	**15.86**
Aceros		
Barras	m.p/m	**46**
Brocas	m.p/m	**46**
Rimadora	m.p/m	**10**
Chank	m.p/m	**46**

DISTRIBUCION DE SECUENCIA DE SALIDAS CON FANEL P.L. (4.00 m)

SERIE	1	3	5	7	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL
CANTIDAD	1	1	2	4	4	4	8	5	6	3	6	2	46

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

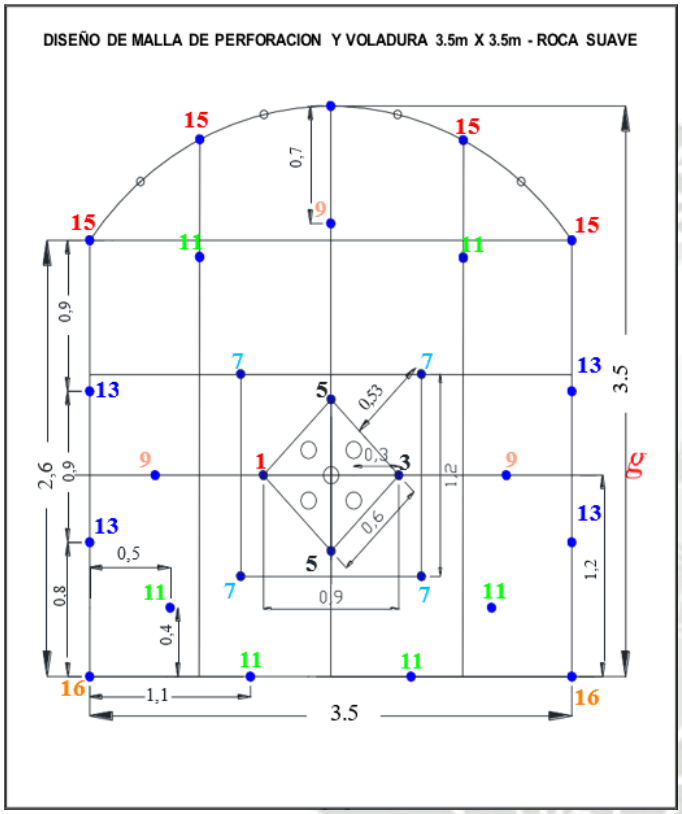
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 13.

Diseño de malla e indicadores de voladura de roca suave.



PARAMETROS		
Descripción	**Unid.**	**Cant.**
Perforación		
Diámetro de broca	mm	**51**
Ancho	m	**3.5**
Altura	m	**3.5**
Longitud de barra	m	**3.7**
Longitud de taladro	m	**3**
N.º de taladros	und	**28**
N.º taladros de alivio	und	**9**
Avance efectivo	m	**2.9**
Metros perforados	m	**81**
Metros perforados rimado	m	**26**
Pies perforados	Unid.	**280**
Pies perforados rimado	Unid.	**90**
Eficiencia de perforación	%	**82%**
Eficiencia de voladura	%	**97%**
Toneladas por taladro	tn/tal	**2.66**
Toneladas por metro	tn/m	**0.7**
Voladura		
Densidad de roca		**2.1**
Volumen roto	m3	**35.53**
Tonelada rota	tn	**75**
Factor de avance	kg/m	**19.9**
Factor de potencia	kg/tn	**0.8**
Factor de carga	kg/m3	**1.6**
N.º cart. prom. por taladro	Unid.	**7**
Emulnor 5000 1_1/4 X 12 (Pzas)	Kg/ m	**7.9**
Emulnor 3000 1_1/4 X 12 (Pzas)	Kg/ m	**5**
Emulnor 1000 1_1/4 x 12(Pzas)	Kg/ m	**7.1**
Accesorios		
Carmex 7 p es	Pza/m	**0.69**
Pentacord	mp./m	**6.9**
Mecha Rápida	mm/m	**0.003**
Detonador No Eléctrico	Pza/m	**9.655**
Aceros		
Barras	m.p/m	**28**
Brocas	m.p/m	**28**
Rimadora	m.p/m	**9**
Chank	m.p/m	**28**

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.9.4. Limpieza y acarreo

La etapa de limpieza consiste en retirar el material fragmentado después de la voladura, utilizando equipos apropiados para cada condición operativa. Según la geometría del tajo y la accesibilidad, se emplean scooptram de diferentes capacidades o herramientas manuales en zonas más restringidas. Esta labor garantiza que el frente quede completamente despejado para permitir la continuidad del proceso productivo (Hochschild Mining S.A., 2015).

El acarreo se realiza transportando el mineral desde los puntos de extracción hacia las tolvas o zonas de transferencia designadas. Para ello se utilizan scooptram, camiones y otros equipos móviles, seleccionados de acuerdo con la distancia de transporte y el volumen requerido. Una gestión adecuada del acarreo permite optimizar los tiempos de ciclo y mantener un flujo constante de mineral hacia planta o almacenamiento (Hochschild Mining S.A., 2015).

Scoop 6.0 yd3

Scoop 4.0 yd3

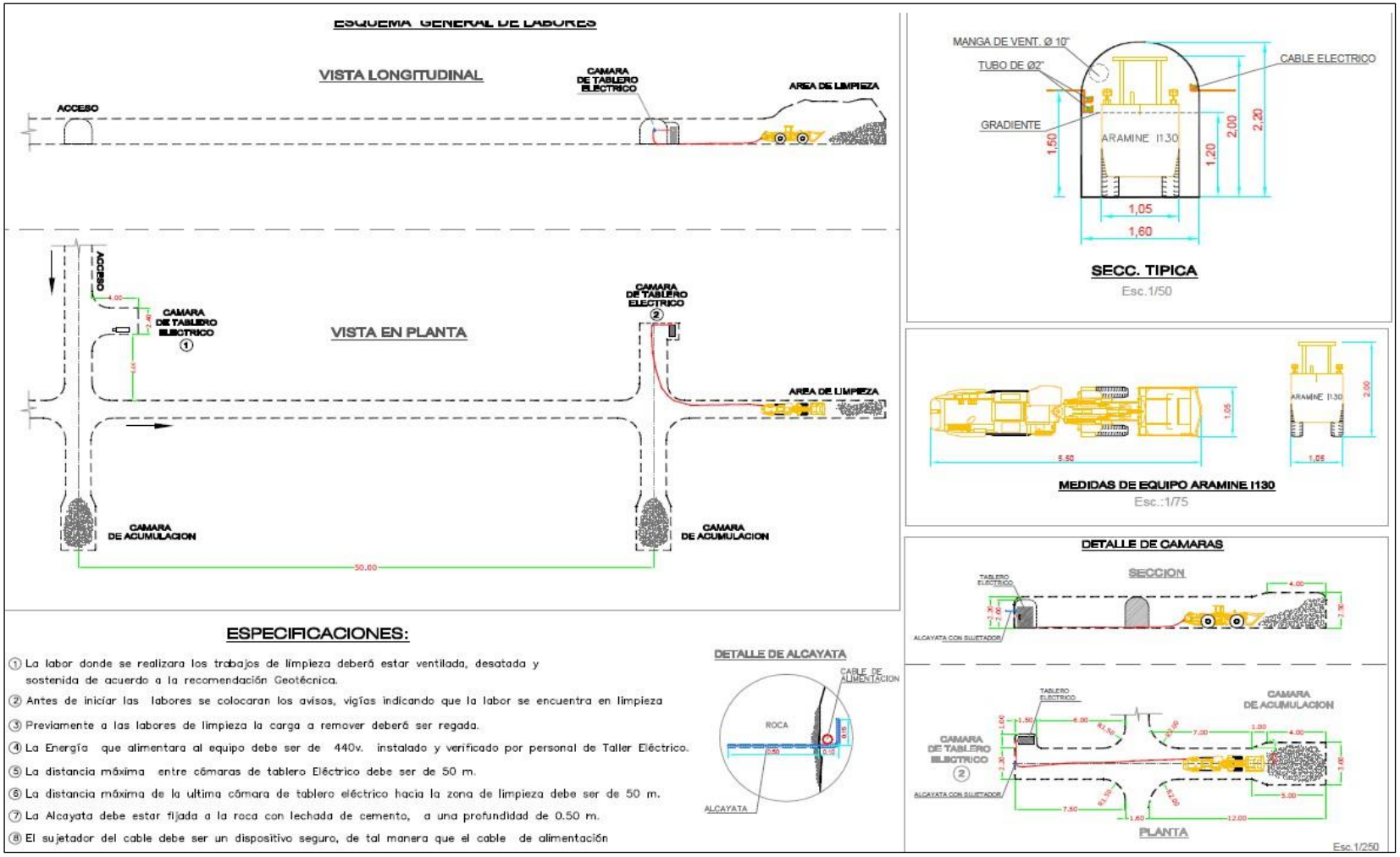
Scoop 2.0 yd3

Scoop 0.75 yd3

Actualmente se cuenta con una flota de 14 de scooptram.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

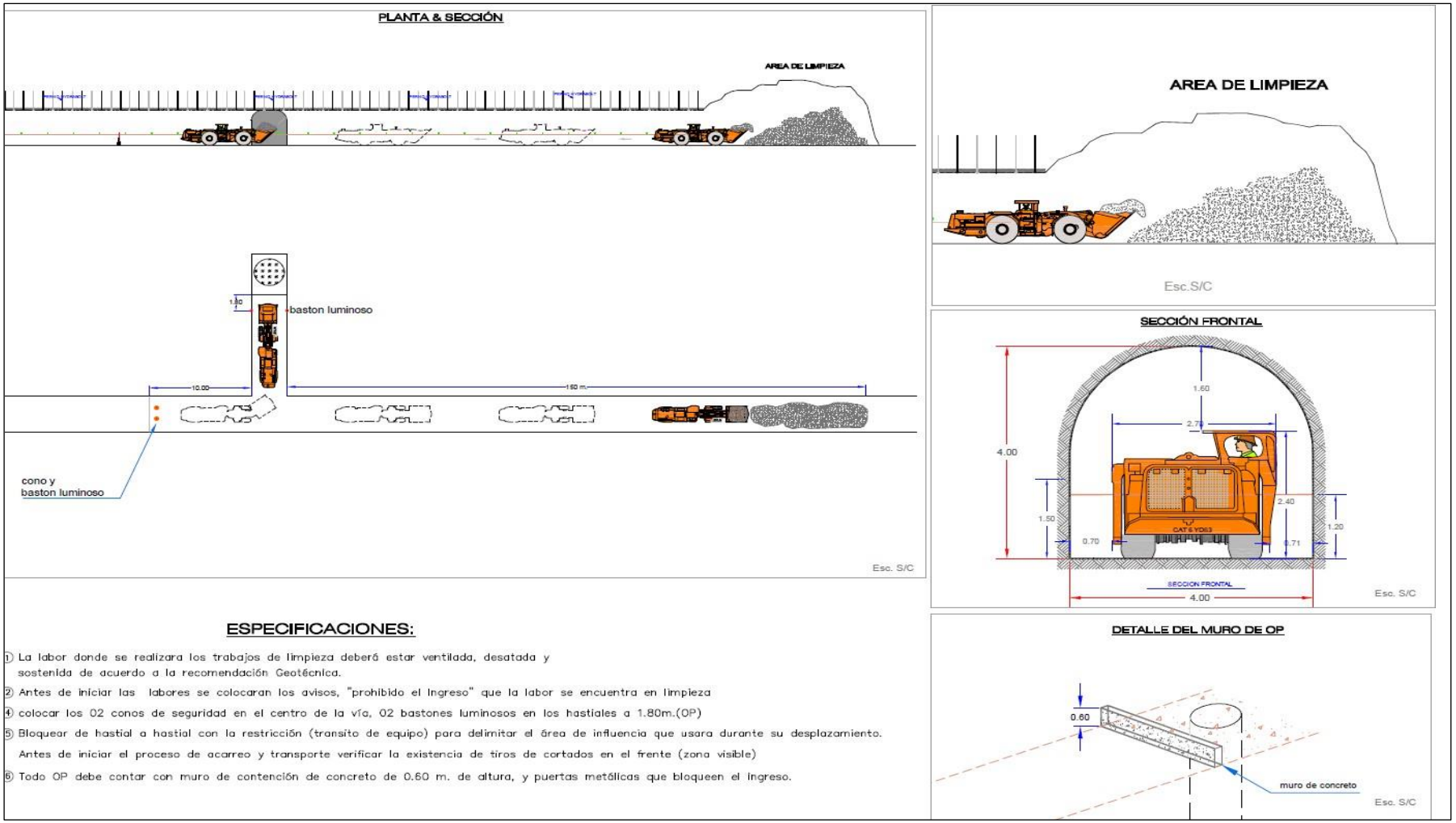
Figura 14.
Estándar de limpieza con equipo



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Figura 15.

Estándar de limpieza con Scoop 0.75 YD3.



Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.9.5. Sostenimiento

El sostenimiento tiene como finalidad garantizar la estabilidad del macizo rocoso luego de la voladura y durante el avance de las labores mineras. En Pallancata, la instalación del soporte depende de la clasificación geomecánica y del tipo de labor, pudiendo incluir pernos Split Set, malla electrosoldada y shotcrete de diferentes espesores. Estos elementos se aplican de manera secuencial para reforzar zonas fracturadas, controlar caídas de roca y proporcionar condiciones seguras para el personal y los equipos que operan en el área (Hochschild Mining S.A., 2015).

A. Sostenimiento activo

Comprende los elementos que generan un refuerzo directo sobre el macizo mediante la aplicación de tensiones que estabilizan las discontinuidades. En la Unidad Minera Pallancata, este tipo de soporte se aplica principalmente mediante pernos anclados en zonas donde el comportamiento geomecánico exige un confinamiento inmediato. Estos pernos actúan creando una unión rígida entre los bloques potencialmente inestables, mejorando la cohesión del terreno y reduciendo la probabilidad de deslizamientos o aperturas de juntas. Su selección y longitud dependen de la calidad de la roca y de las características estructurales del tajo, siendo definidos por el área de geomecánica para garantizar la integridad del avance operativo.

- Pernos Helicoidales de 7,10 pies
- Pernos Split Set 3,4,5,7,10 pies
- Pernos Hydrabolt 5,7,10 pies
- Pernos Swellex 7 pies
- Cintas Straps

B. Sostenimiento pasivo

Está diseñado para contener el macizo rocoso mediante la instalación de elementos que limitan la caída de fragmentos sin aplicar tensión activa. En Pallancata se emplean pernos Split Set, malla electrosoldada y shotcrete, los cuales se disponen después de la voladura para estabilizar las paredes y el techo de la labor. Los Split Set proporcionan fricción y confinamiento, mientras que la malla evita desprendimientos de bloques pequeños. El shotcrete, aplicado en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

capas proyectadas, consolida superficies irregulares y mejora la cohesión del entorno inmediato (Hochschild Mining S.A., 2015). Los tipos de sostenimiento pasivo son:

- Cuadros de Madera
- Cimbras Metálicas
- Wood Pack y Jack Pack
- Malla Electrosoldada

3.1.9.6. Relleno

El relleno estabiliza los tajos tras la extracción, utilizando material detrítico o desmonte, colocado manualmente o con equipos menores, reduciendo dilución y asegurando estabilidad para continuar el ciclo de minado (Hochschild Mining S.A., 2015).

- CORTE Y RELLENO: Se usa el relleno hidráulico y relleno detrítico.
- SARC: Método de explotación por sub niveles ascendentes con relleno cementado, para el cuál se aplican relleno cementado y relleno en pasta.

Figura 16.
Tipos de relleno aplicados en la Unidad Minera de Pallancata.

Propiedad	Relleno de Roca	Relleno Hidráulico	Relleno tipo Pasta
Estado	Seco	60-73% sólido	65-85% sólido
Sistema de transporte	chimenea, equipo	sondajes, cañerías a través de gravedad	sondajes, cañerías a través de gravedad
Cemento	si y no	si y no	si
razón agua cemento	baja	alta	baja a alta dependiendo de las especificaciones
Velocidad de depositación	100-400 tons/hr	100-200 tons/hr	50-200 tons/hr
Segregación	en la pila se produce reduciendo su resistencia y rigidez	Se produce segregación lo cual induce baja resistencia	no existe segregación
Rigidez	alta si se instala adecuadamente	baja	baja a alta dependiendo de la composición
Contacto con las paredes	difícil	no se puede	fácil para ajustar a paredes

Nota. Tomado de Hochschild Mining S.A. (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.2. Alcances y Limitaciones

3.2.1. Alcances

El área de estudio se desarrollará en la mina Pallancata, Arequipa.

3.2.2. Limitaciones

La presente investigación se elaborará en los días establecidos en el cronograma de ejecución de cada mes y tendrá una duración aproximada de tres meses.

3.3. Tipo y Nivel de Investigación

3.3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se usará para la presente investigación será una investigación aplicada, debido a qué el fin general de esta investigación será la adquisición de nuevos conocimientos del entorno real.

3.3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación que se usará para esta investigación será relacional, debido a que se relacionaran los datos de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

3.4. Población y Muestra o universo

3.4.1. Población

Para este proyecto de investigación se tendrá como población todas las secciones y turnos en la mina Pallancata en el segundo y tercer trimestre del 2023.

3.4.2. Muestra

Selección de 4 secciones representativas (una en cada nivel de profundidad) y dos turnos (día y noche) para cada sección que estén activas en explotación de 6 meses:

- Del 01-04-2023 al 30-06-2023. (Antes de iniciar la prueba)
- Del 01-07-2023 al 30-09-2023. (Después de iniciar la prueba)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.4.3. Criterio

Secciones con diferentes tipos de sistemas de ventilación y condiciones de producción.

3.5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Método de la investigación

El método de investigación que se usará en la presente investigación será el método cuantitativo debido a que se usarán los datos numéricos para que puedan ser comparados. Con este tipo de datos se podrán obtener análisis descriptivos inferenciales para comprobar la hipótesis.

3.5.2. Técnicas de recolección de datos

Para la variable independiente:

Fuentes para recolección de información: la información que se recolecta es de fuentes internas de la mina, se cuenta con los datos de producción del segundo trimestre del año 2023.

Para la variable dependiente:

Técnicas para recolección de información: se implementa la optimización de un sistema de ventilación, se usa como técnica la revisión documentaria de los registros de producción del tercer trimestre del año 2023.

3.5.3. Instrumentos de recolección de datos

- Flexómetro
- Hojas de calculo
- Libretas de campo
- Laptop
- Lapiceros, etc.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.6. Plan de análisis de los datos

3.6.1. Técnicas de análisis de datos

- La información es obtenida a través del manejo de datos los cuales se ven reflejados en tablas y gráficos que denoten el análisis estadístico descriptivo con su respectiva interpretación.

- Para poder encontrar la relación de los datos de producción antes y después de implementar la optimización de un sistema de ventilación, se ejecuta a través del software SPSS versión 26 el cual sirve como herramienta para el respectivo análisis, como prueba estadística se usa la prueba T de Wilcoxon para muestras relacionadas.

3.6.2. Procedimiento de la investigación

Se presenta el procedimiento de investigación sobre "Optimización de los Sistemas de Ventilación para Aumentar la Producción en una Mina Subterránea":

- Identificación del Problema y Objetivos: Define claramente el problema de estudio, establece los objetivos que se pretenden alcanzar y formula las hipótesis correspondientes.

- Revisión Bibliográfica: Investiga estudios anteriores sobre la ventilación en minas subterráneas para identificar vacíos en el conocimiento y los fundamentos teóricos relevantes.

- Diseño Metodológico: Selecciona el enfoque de investigación, define la población y la muestra, determina las variables de estudio y elige los métodos para la recopilación de datos.

- Recopilación de Información: Lleva a cabo mediciones en campo, y recolecta datos históricos que sean pertinentes.

- Análisis de la Información: Procesa y analiza tanto los datos cuantitativos, interpretando los resultados para verificar las hipótesis planteadas.

- Propuesta de Mejora: Desarrolla un plan para optimizar los sistemas de ventilación, evalúa su factibilidad y crea un plan de implementación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Validación y Pruebas: Realiza una prueba piloto de las mejoras propuestas, evalúa los resultados obtenidos y ajusta la propuesta según los hallazgos.
- Conclusiones y Sugerencias: Resume los resultados obtenidos, proporciona recomendaciones prácticas y sugiere posibles áreas para futuras investigaciones.
- Elaboración del Informe Final: Organiza, revisa y redacta el informe final de la investigación, preparándolo para su divulgación.
- Divulgación de Resultados: Publica los resultados en medios académicos y colabora con la industria para la implementación de las mejoras propuestas.

3.7. Evaluación integral de ventilación

La lista, a continuación, identifica las siglas de unidades de medida y términos de referencia que se detallan en la presente tesis.

Tabla 2.
Abreviaturas

Bm = Bocamina.
Bp = By pass.
HP ef = HP efectivos.
HP/kcfm= HP por kilo cfm.
" C.A. = Pulgadas de columna de agua.
m.s.n.m. = Metros sobre el nivel del mar
Nv = Nivel
RB = Raise Boring
VAV = Ventilador de álabes variables.
VPN = Valor presente neto.
LHD = Load, haul, dump. Carga, transporte,descarga, término genérico para Scooptram.
GA = Galería
CX = Crucero
RP = Rampa
CH = Chimenea
NV = Nivel
Alk = Alimak
Incl = Incliado
Pq = Pique

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Distancia	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
cm = centímetros	Pulg. = pulgada
m = metros	ft = Pie
km = kilómetros	yd = Yarda
Masa	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
g= gramo	oz = onza
kg = kilogramo	lb. = libra
Tonne = tonelada métrica	T = ton
Área	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
cm2 = centímetro cuadrado	in2 = pulgada cuadrada
in2 = pulgada cuadrada	ft2 = pie cuadrado
m2 = metro cuadrado	yd2 = yarda cuadrada
Tiempo	
s = Segundo	h = Hora
min = Minuto	d = Día
Velocidad	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
m/s = metros por segundo	fpm = pie por minuto
m/min = metros por minuto	mph = millas por hora
Volumen de aire	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
m3/s = metro cúbico por segundo	cfm = Pie cúbico por minuto
m3/min = metro cúbico por minuto	
Presión	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
t.p. = Presión total	t.p. = Presión Total
v.p. = Velocidad de Presión	p.v. = Presión de velocidad
EP = Presión Estática	SP = Presión Estática
Pa = Pascal	w.g. = Pulgada de Agua
kPa = Kilo Pascal	psi = Libras por Pulgada Cuadrada
Temperatura	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
°C = Grados Celsius	°F = Grados Fahrenheit
Altitud	
m.s.n.m. = metros sobre el nivel del mar	
Producción de la Mina y Mineral	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sistema Métrico	Sistema Imperial
tpd = Toneladas por día	TPD = Toneladas por día
g/t = Gramos por tonelada	g/t = gramos por tonelada
Mecánico/Eléctrico	
Sistema Métrico	Sistema Imperial
W = watt	hp = Horsepower (caballos de fuerza)
kW = kilowatt	bhp = Horsepower al freno
kWh = Kilowatt-hora	ihp = Horsepower indicada
A = Amperios	
V= Volts	
PF = Factor de Potencia	

Nota. Elaboración propia

La U.M. Pallancata cuenta con tres zonas de operación de las cuales la zona de Ranichico es la zona de mayor producción, la zona de Pallancata Este y Pallancata Este son zonas donde se viene recuperando algunos pilares de mineral.

La U.M. Pallancata cuenta con un sistema de ventilación mecánica extractiva en sus tres zonas. En la zona Ranichico, hay tres ventiladores principales: dos (02) de ellos con una capacidad de 150,000 cfm y uno (01) de 120,000 cfm, ubicados en las chimeneas Pablo, Yurika y Luisa, respectivamente, y funcionan como extractores principales. En esta zona, se introduce un flujo de aire limpio de 371,387 cfm y se extrae un total de 408,798 cfm, lo que representa una diferencia porcentual de 9% entre la entrada y la salida de aire.

En la zona de Pallancata Este se dispone de un (01) ventilador extractor con una capacidad de 110,000 cfm, el cual, según mediciones de campo, está extrayendo 111,873 cfm. Este ventilador está ubicado dentro de la mina, al pie de la chimenea RB4. Dado que en esta zona hay pocas operaciones en curso, se utiliza un número reducido de equipos Diésel, como Scooptrams, volquetes y camionetas, lo cual contribuye a mantener un ambiente bien ventilado.

La zona Pallancata Oeste cuenta con un (01) ventilador extractor principal de 120,000 cfm, ubicado en la cabeza de la chimenea RB12. Según las mediciones de campo, el flujo extraído en esta zona es de 127,497 cfm. En esta área se están recuperando pilares de mineral. Aunque Pallancata Oeste es la zona de mayor tamaño, las labores de explotación son mínimas. Está compuesta por chimeneas que conectan con la superficie y cuatro (04) bocaminas superficiales. La ventilación está diseñada de tal manera que el ventilador extractor principal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

no influye en las bocaminas Don Enrique y Rampa Espiral, donde en ambas se expulsa aire viciado en lugar de ingresar aire limpio. Con una baja presencia de equipos Diésel, el ambiente en la zona es bastante limpio, sin problemas importantes en el sistema de ventilación primario y auxiliar.

En la zona Ranichico, para calibrar el sistema de ventilación en el software Ventsim, se midieron los puntos de ingreso y salida, identificando diez (10) puntos de entrada y cinco (05) de salida, además de catorce (14) puntos internos, incluyendo By Pass y rampas de mina. La diferencia de volumen entre ingresos y salidas fue del 6%, un valor dentro de los rangos aceptables para estudios de ventilación, y la correlación entre los valores medidos y los simulados en Ventsim fue del 2%, alcanzando una precisión del 98%.

Para la simulación de las labores a largo plazo (LOM), se han planteado tres escenarios para calcular la necesidad de aire para el personal y los equipos, según parámetros estimados.

El requerimiento de aire fresco proyectado se calculó conforme al reglamento del D.S. 023-2017-EM, considerando el número máximo de trabajadores, la cantidad de equipos Diésel, las labores de alta temperatura y las pérdidas de aire.

Cada zona cuenta con su propio diseño de ventilación principal. En la zona Ranichico, el circuito de Rina estará integrado mediante la chimenea RB3 Rina, que introduce aire limpio a las labores en las vetas Charo y San Javier, aunque en la zona Rina este efecto no se observa, ya que la base de dicha chimenea está bloqueada.

A corto plazo, no se han identificado problemas de ventilación en las zonas de Pallancata Este y Oeste, ya que los circuitos actuales permiten una ventilación óptima en las labores operativas. Sin embargo, en la zona Ranichico existen oportunidades de mejora, ya que, después de las detonaciones y cuando se emplean equipos Diésel, se acumulan gases que en el circuito actual son expulsados por los accesos de entrada del personal, lo que provoca demoras en el ingreso de los trabajadores.

Una mejora consiste en instalar un ventilador extractor de 100 kcfm en la Rampa 6961 (San Javier) para extraer el aire viciado de las labores en Charo y San Javier. También se sugiere utilizar un segundo ventilador de 50 kcfm en el acceso al pie de la chimenea RB3 Rina para extraer el aire viciado de toda la zona Rina, una vez que se limpie el pie de dicha chimenea.

A mediano plazo, se proyecta construir una chimenea RB de 147 metros de altura y 10 pies de diámetro, desde el nivel 4370 hasta el nivel 4232, cuyo pie estaría a 50 metros de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

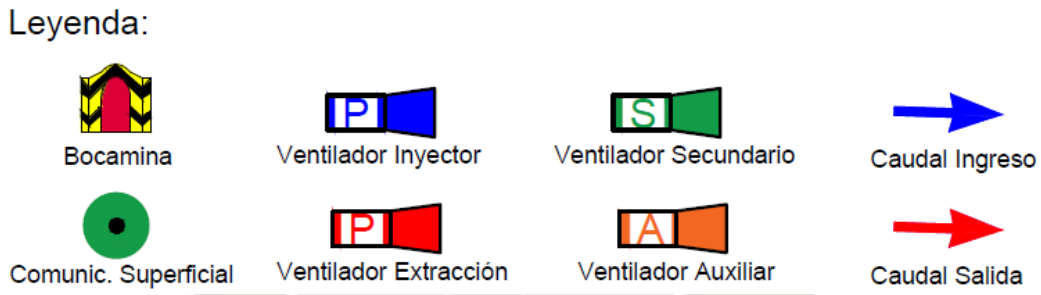
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cima del By Pass 4232. Esta infraestructura se integraría al circuito de extracción del RC4 Pablo, lo que permitiría la extracción del aire viciado generado en el desarrollo del mencionado By Pass.

Para el largo plazo, se planea construir chimeneas que lleguen a la superficie. Con el fin de optimizar la ventilación, se están simulando distintos escenarios según el plan de minado, eligiendo como alternativa la opción que proporcione una mayor cobertura de ventilación y que pueda ajustarse a las necesidades operativas en cada momento.

Se llevaron a cabo mediciones de velocidad, sección, temperaturas de bulbo seco y húmedo, humedad relativa, y presiones de ventiladores. También se verificó el estado de la infraestructura principal de ventilación para diagnosticar la situación actual del circuito y plantear mejoras.

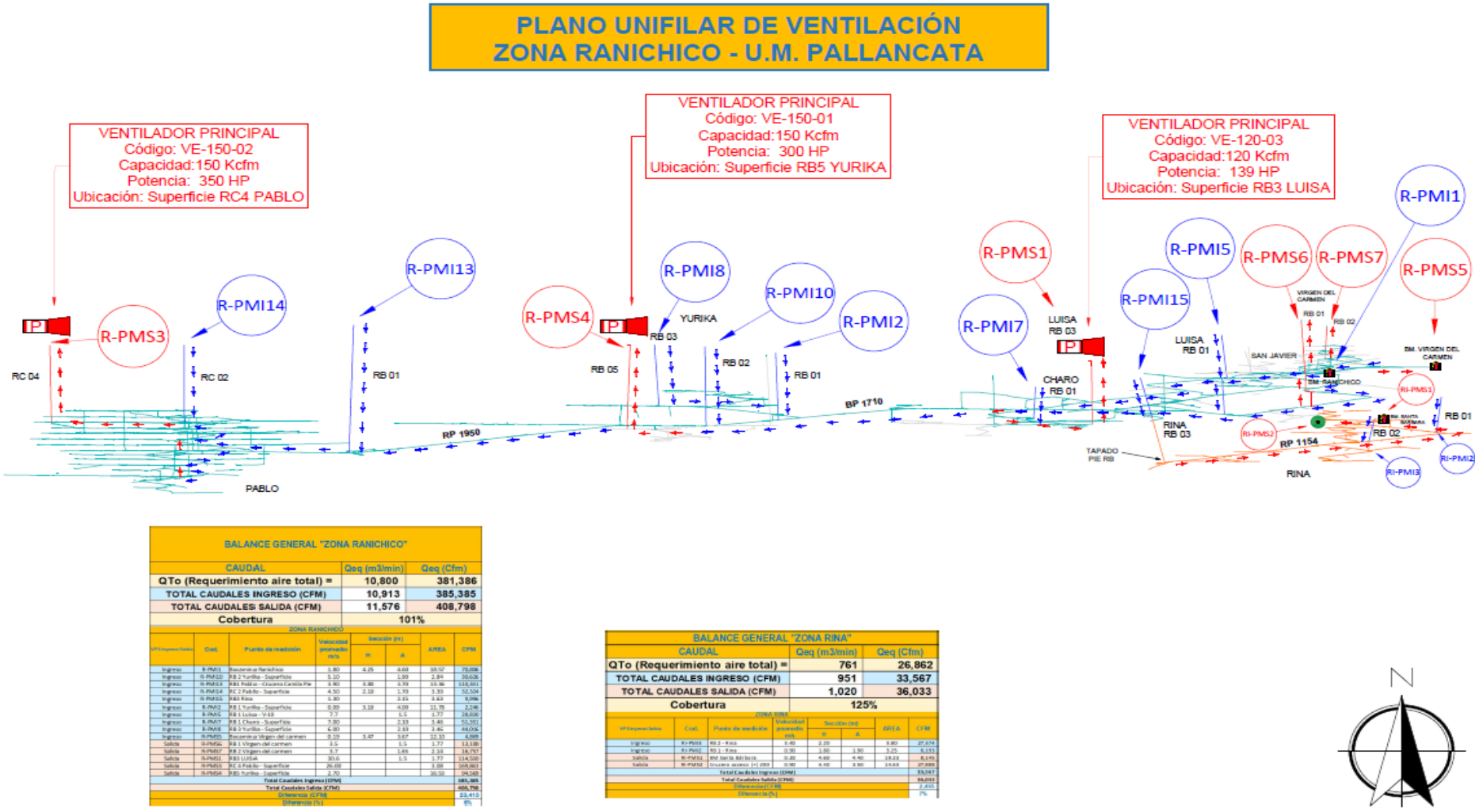
A continuación, se presentan los planos unifilares de las zonas:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Figura 17.

Plano unifilar de ventilación zona Ranichico I



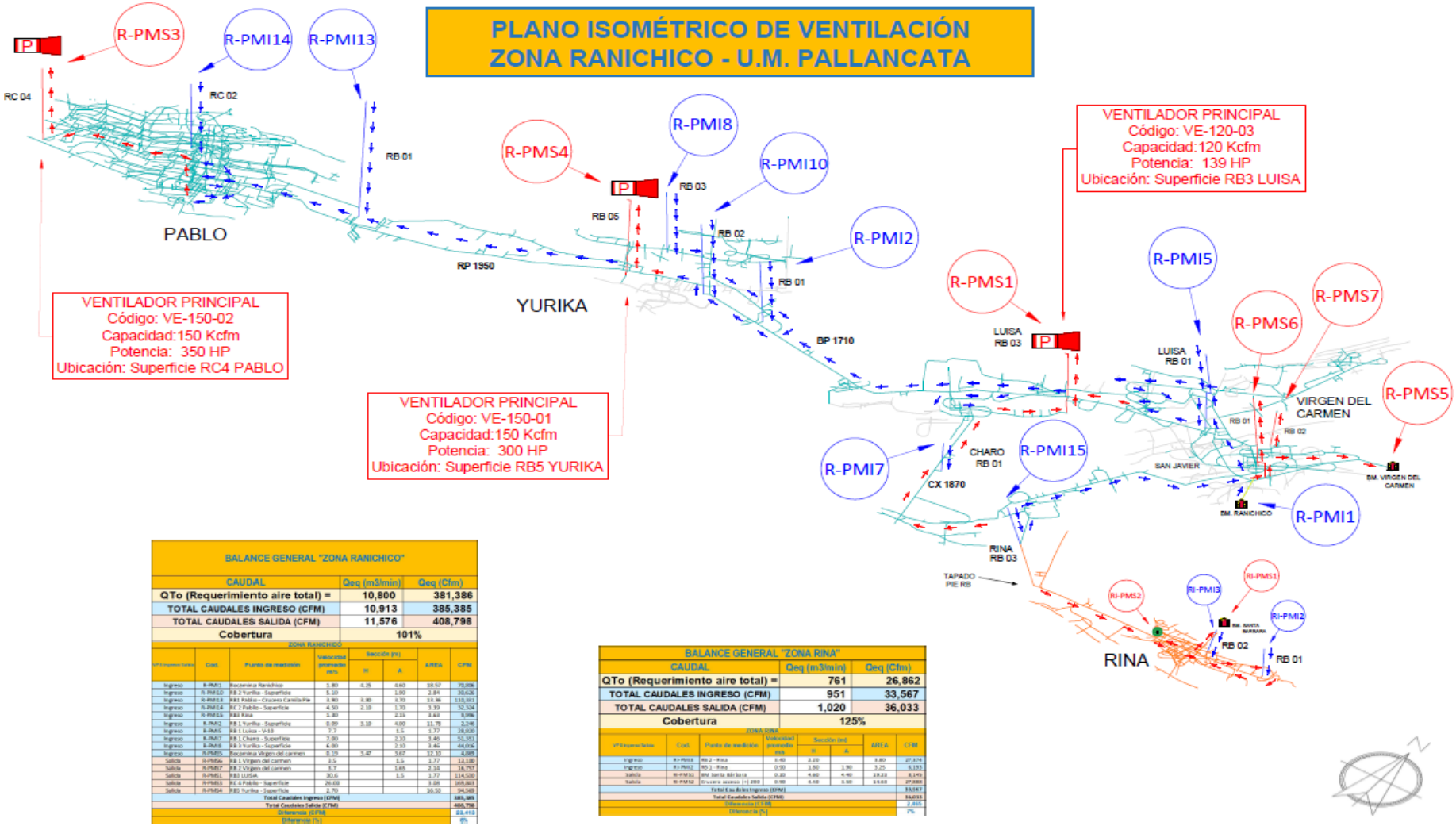
BALANCE GENERAL "ZONA RANICHICO"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	10,800	381,386
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	10,913	385,385
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	11,576	408,798
Cobertura	101%	

BALANCE GENERAL "ZONA RINA"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	761	26,862
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	951	33,567
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	1,020	36,033
Cobertura	125%	

Nota. Elaboración Propia

Figura 18.

Plano unifilar de ventilación zona Ranichico II



BALANCE GENERAL "ZONA RANICHICO"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	10,800	381,386
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	10,913	385,385
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	11,576	408,798
Cobertura	101%	

ZONA RANICHICO						
VT Ingreso/ Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m) H	Sección (m) A	AREA	CFM
Ingreso	R-PMI1	Recuesa Ranichico	1.80	4.25	4.60	18.97	70,006
Ingreso	R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	5.10		1.90	2.84	30,626
Ingreso	R-PMI13	RB1 Pablo - Crucero Carrito Pie	3.90	3.80	3.70	13.96	110,601
Ingreso	R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4.50	2.10	1.70	3.39	52,534
Ingreso	R-PMI15	RB0 Rina	1.80		2.15	3.63	8,996
Ingreso	R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	8.00	3.10	4.00	11.78	2,246
Ingreso	R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	3.7		1.5	3.77	28,630
Ingreso	R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	7.90		2.33	3.46	50,551
Ingreso	R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	6.80		2.83	3.46	44,016
Ingreso	R-PMS5	Recuesa Virgen del carmen	8.19	3.40	3.67	12.33	4,989
Salida	R-PMS6	RB 1 Virgen del carmen	3.5		1.5	3.77	13,180
Salida	R-PMS7	RB 2 Virgen del carmen	3.7		1.65	2.33	16,757
Salida	R-PMS1	RB3 LUISA	30.6		1.5	3.77	114,580
Salida	R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	26.68			3.88	169,663
Salida	R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	2.70			36.52	94,588
Total Caudales Ingreso (CFM)							385,385
Total Caudales Salida (CFM)							408,798
Diferencia (CFM)							23,413
Diferencia (%)							6%

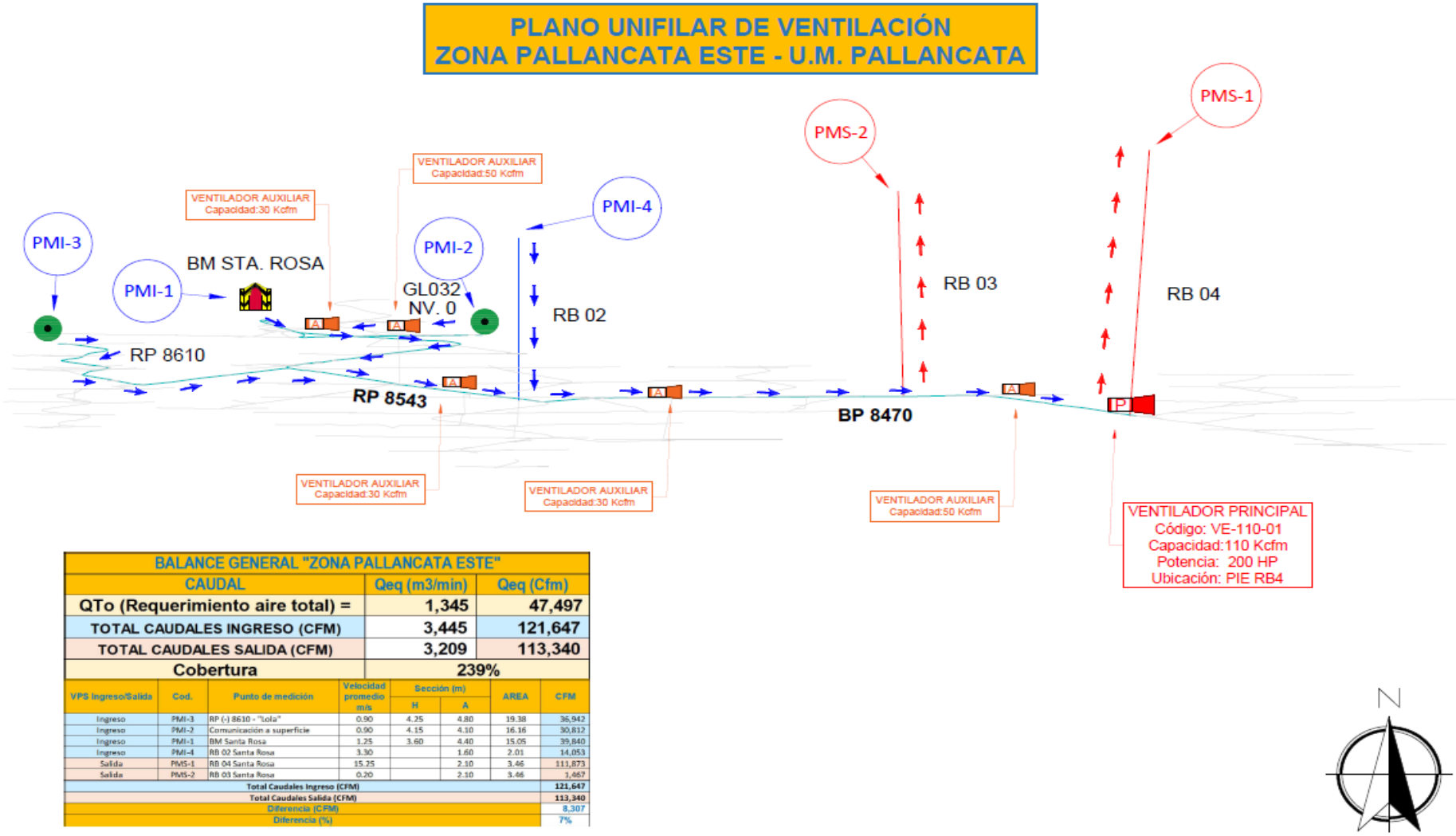
BALANCE GENERAL "ZONA RINA"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	761	26,862
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	951	33,567
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	1,020	36,033
Cobertura	125%	

ZONA RINA						
VT Ingreso/ Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m) H	Sección (m) A	AREA	CFM
Ingreso	RI-PMI1	RB 2 - Rina	6.40	2.20		6.80	27,174
Ingreso	RI-PMI2	RB 1 - Rina	0.90	1.60	1.90	3.25	6,193
Salida	RI-PMS1	BM Santa Bárbara	0.20	4.40	4.40	18.23	8,145
Salida	RI-PMS2	Crucero acceso (+) 200	0.90	4.40	3.90	14.63	27,888
Total Caudales Ingreso (CFM)							33,367
Total Caudales Salida (CFM)							36,033
Diferencia (CFM)							2,665
Diferencia (%)							7%

Nota. Elaboración Propia

Figura 19.

Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Este I



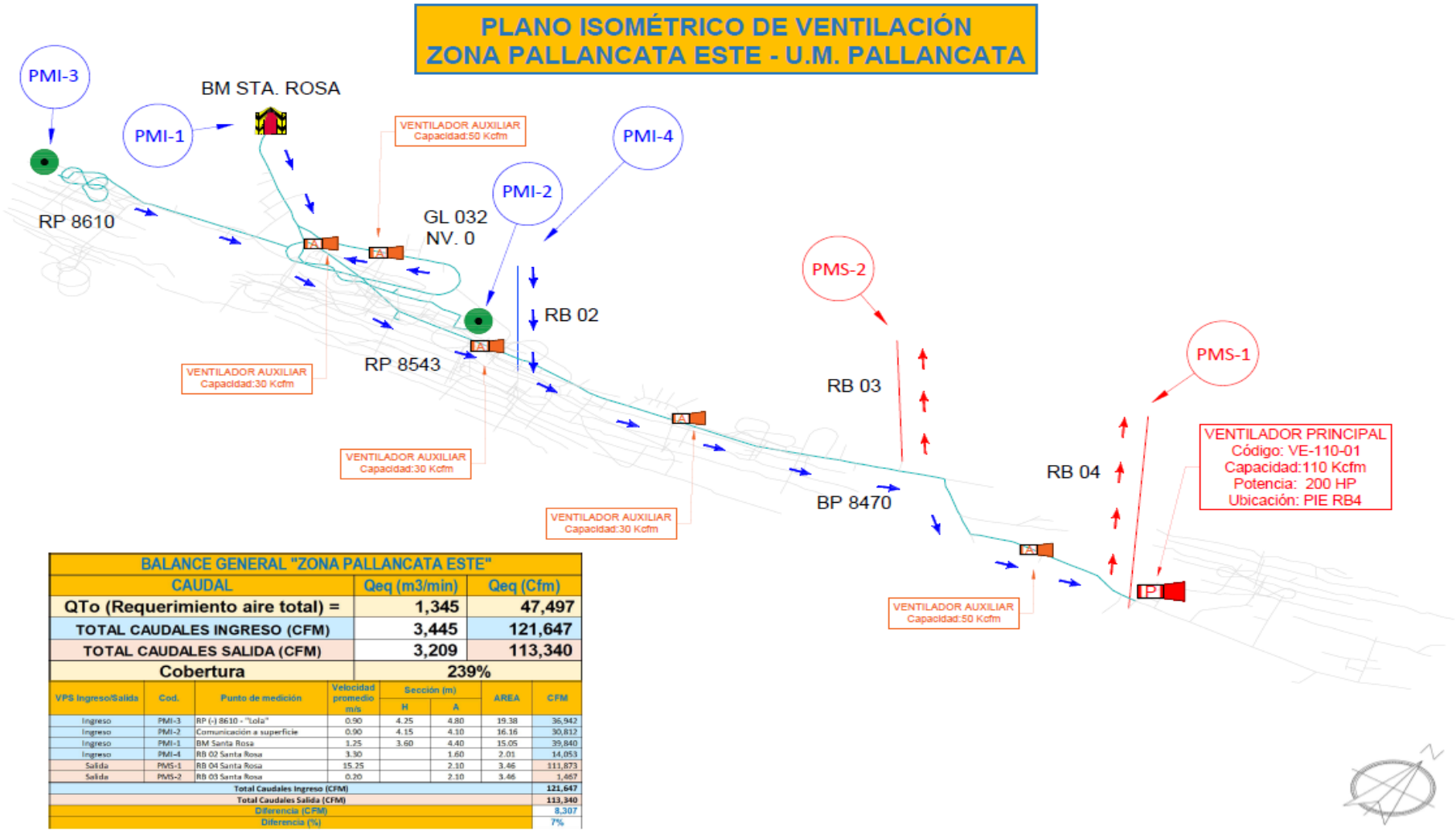
BALANCE GENERAL "ZONA PALLANCATA ESTE"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	1,345	47,497
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	3,445	121,647
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	3,209	113,340
Cobertura	239%	

VPS Ingreso/Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m)		AREA	CFM
				H	A		
Ingreso	PMI-3	RP (-) 8610 - "Lola"	0.90	4.25	4.80	19.38	36,942
Ingreso	PMI-2	Comunicación a superficie	0.90	4.15	4.10	16.16	30,812
Ingreso	PMI-1	BM Santa Rosa	1.25	3.60	4.40	15.05	39,840
Ingreso	PMI-4	RB 02 Santa Rosa	3.30		1.60	2.01	14,053
Salida	PMS-1	RB 04 Santa Rosa	15.25		2.10	3.46	111,873
Salida	PMS-2	RB 03 Santa Rosa	0.20		2.10	3.46	1,467
Total Caudales Ingreso (CFM)							121,647
Total Caudales Salida (CFM)							113,340
Diferencia (CFM)							8,307
Diferencia (%)							7%

Nota. Elaboración Propia

Figura 20.

Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Este II



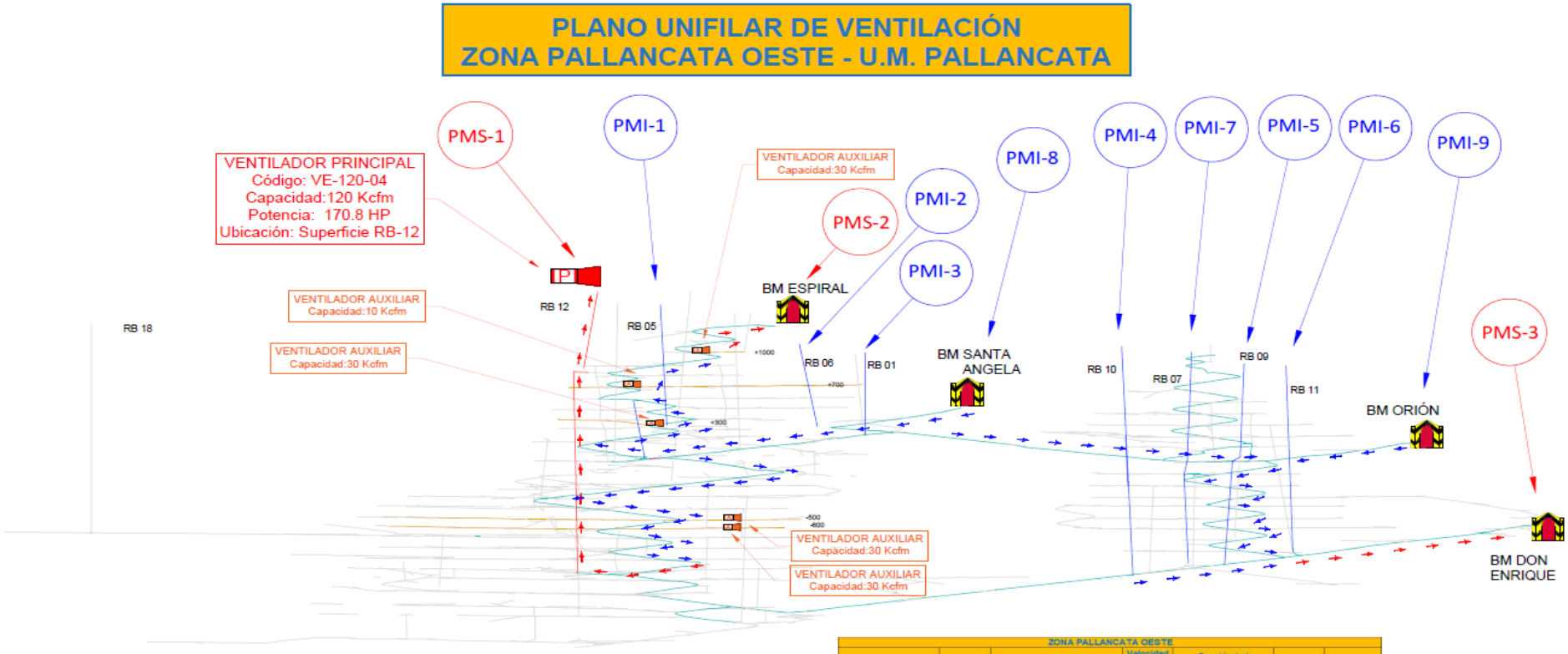
BALANCE GENERAL "ZONA PALLANCATA ESTE"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	1,345	47,497
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	3,445	121,647
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	3,209	113,340
Cobertura	239%	

VPS Ingreso/Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m) H	Sección (m) A	AREA	CFM
Ingreso	PMI-3	RP (-) 8610 - "Lola"	0.90	4.25	4.80	19.38	36,942
Ingreso	PMI-2	Comunicación a superficie	0.90	4.15	4.10	16.16	30,812
Ingreso	PMI-1	BM Santa Rosa	1.25	3.60	4.40	15.05	39,840
Ingreso	PMI-4	RB 02 Santa Rosa	3.30		1.60	2.01	14,053
Salida	PMS-1	RB 04 Santa Rosa	15.25		2.10	3.46	111,873
Salida	PMS-2	RB 03 Santa Rosa	0.20		2.10	3.46	1,467
Total Caudales Ingreso (CFM)							121,647
Total Caudales Salida (CFM)							113,340
Diferencia (CFM)							8,307
Diferencia (%)							7%

Nota. Elaboración Propia

Figura 21.

Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Oeste I



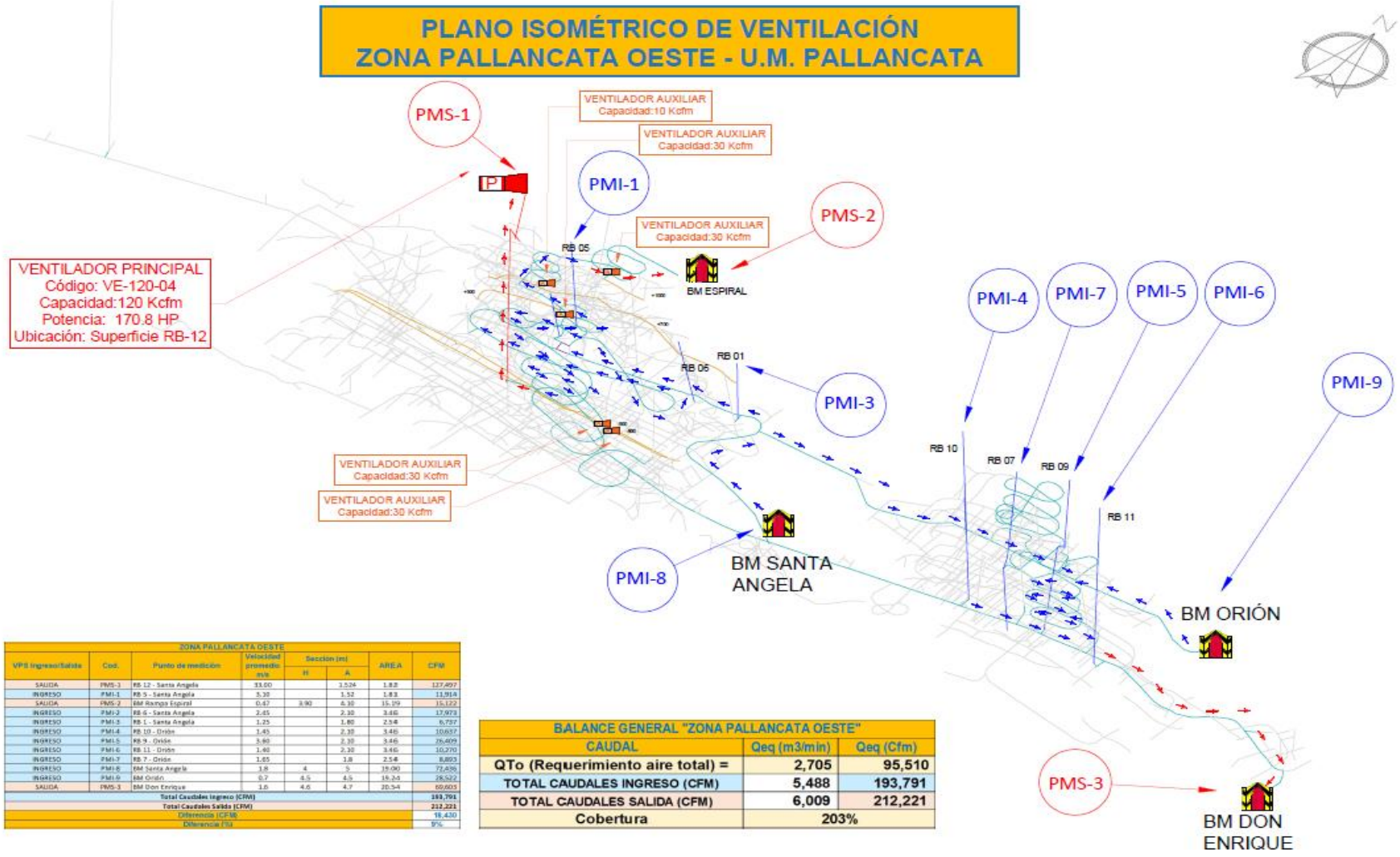
BALANCE GENERAL "ZONA PALLANCATA OESTE"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	2,705	95,510
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	5,488	193,791
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	6,009	212,221
Cobertura	203%	

ZONA PALLANCATA OESTE							
VPS Ingreso/Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m)		AREA	CFM
				H	A		
SALIDA	PMS-1	RB 12 - Santa Angela	33.00		1.524	1.82	127,497
INGRESO	PMI-1	RB 5 - Santa Angela	3.10		1.52	1.81	11,914
SALIDA	PMS-2	BM Rampa Espiral	0.47	3.90	4.10	15.19	15,122
INGRESO	PMI-2	RB 6 - Santa Angela	2.45		2.10	3.46	17,973
INGRESO	PMI-3	RB 1 - Santa Angela	1.25		1.80	2.54	6,737
INGRESO	PMI-4	RB 10 - Orión	1.45		2.10	3.46	10,637
INGRESO	PMI-5	RB 9 - Orión	3.60		2.10	3.46	26,409
INGRESO	PMI-6	RB 11 - Orión	1.40		2.10	3.46	10,270
INGRESO	PMI-7	RB 7 - Orión	1.65		1.8	2.54	8,893
INGRESO	PMI-8	BM Santa Angela	1.8	4	5	19.00	72,436
INGRESO	PMI-9	BM Orión	0.7	4.5	4.5	19.24	28,522
SALIDA	PMS-3	BM Don Enrique	1.6	4.6	4.7	20.54	69,603
Total Caudales Ingreso (CFM)							193,791
Total Caudales Salida (CFM)							212,221
Diferencia (CFM)							18,430
Diferencia (%)							9%

Nota. Elaboración Propia

Figura 22.

Plano unifilar de ventilación zona Pallancata Oeste II



ZONA PALLANCATA OESTE							
VPS Ingreso/Salida	Cod.	Punto de medición	Velocidad promedio m/s	Sección (m)		AREA	CFM
				H	A		
SALIDA	PMS-1	RB 12 - Santa Angela	33.00		1.524	1.83	127,497
INGRESO	PMI-1	RB 5 - Santa Angela	5.30		1.52	1.83	11,914
SALIDA	PMS-2	BM Rampa Espiral	0.67	3.90	6.10	15.19	15,122
INGRESO	PMI-2	RB 6 - Santa Angela	2.45		2.10	3.66	17,973
INGRESO	PMI-3	RB 1 - Santa Angela	1.25		1.80	2.54	5,737
INGRESO	PMI-4	RB 10 - Orión	1.45		2.10	3.46	10,637
INGRESO	PMI-5	RB 9 - Oviss	3.90		2.10	3.46	26,409
INGRESO	PMI-6	RB 11 - Orión	1.40		2.10	3.46	10,270
INGRESO	PMI-7	RB 7 - Orión	1.65		1.8	2.54	8,893
INGRESO	PMI-8	BM Santa Angela	3.8	4	5	19.00	72,436
INGRESO	PMI-9	BM Orión	0.7	4.5	4.5	18.24	28,922
SALIDA	PMS-3	BM Don Enrique	3.6	4.6	4.7	20.54	69,603
Total Caudales Ingreso (CFM)							193,791
Total Caudales Salida (CFM)							212,221
Diferencia (CFM)							18,430
Diferencia (%)							9%

BALANCE GENERAL "ZONA PALLANCATA OESTE"		
CAUDAL	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
QTo (Requerimiento aire total) =	2,705	95,510
TOTAL CAUDALES INGRESO (CFM)	5,488	193,791
TOTAL CAUDALES SALIDA (CFM)	6,009	212,221
Cobertura	203%	

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.1. Mediciones de parámetros de ventilación

En la zona Ranichico, se realizaron quince (15) mediciones de aire en el circuito principal, de las cuales diez (10) fueron en puntos de ingreso y cinco (05) en puntos de salida de aire, además de catorce (14) mediciones en los circuitos internos.

En Pallancata Oeste, se tomaron doce (12) mediciones en el circuito principal: nueve (09) en los puntos de ingreso y tres (03) en los puntos de salida.

En Pallancata Este, se hicieron seis (06) mediciones en total, con cuatro (04) en los ingresos y dos (02) en las salidas de aire.

Utilizando la siguiente fórmula para Caudal de Ingresos / salida:

$$Q = A * V * 2118$$

Q: Caudal
A: Area (m^2)
V: Velocidad (m/s)
Multiplicado el factor 2118 para convertir de m^3/s a CFM.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 3.

Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Ranichico)

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	CFM
INGRESOS							
1	R-PMI1	Bocamina Ranichico	1.80	4.25	4.60	18.57	70,806
2	R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	5.10		1.90	2.84	30,626
3	R-PMI13	RB 1 Pablo	3.90	3.80	3.70	13.36	110,331
4	R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4.50	2.10	1.70	3.39	32,324
5	R-PMI15	RB3 Rina	1.30		2.15	3.63	9,996
6	R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	0.09	3.10	4.00	11.78	2,246
7	R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	7.70		1.50	1.77	28,820
8	R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	7.00		2.10	3.46	51,351
9	R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	6.00		2.10	3.46	44,016
10	R-PMS5	Bocamina Virgen del Carmen	0.19	3.47	3.67	12.10	4,869
SALIDAS							
11	R-PMS6	RB 1 Virgen del Carmen	3.50		1.50	1.77	13,100
12	R-PMS7	RB 2 Virgen del Carmen	3.70		1.65	2.14	16,757
13	R-PMS1	RB 3 Luisa	30.60		1.50	1.77	114,530
14	R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	26.00	4.10	4.45	17.33	169,843
15	R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	2.70	4.00	4.50	17.10	94,569
						Ingresos	385,385
						Salidas	408,798
						Variación (Ingresos - Salidas)	**6%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 4.

Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Pallancata este)

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	PMI-3	RP (-) 8610 - "Lola"	0.90	4.25	4.80	19.38	36,942
2	PMI-2	Comunicación a superficie	0.90	4.15	4.10	16.16	30,812
3	PMI-1	BM Santa Rosa	1.25	3.60	4.40	15.05	39,840
4	PMI-4	RB 02 Santa Rosa	3.30		1.60	2.01	14,053
SALIDAS							
5	PMS-1	RB 04 Santa Rosa	15.25		2.10	3.46	111,873
6	PMS-2	RB 03 Santa Rosa	0.20		2.10	3.46	1,467

Ingresos	121,647
Salidas	113,340
Variación (Ingresos - Salidas)	**7%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 5.

Parámetros de ventilación en ingresos y salidas de aire (Pallancata oeste)

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	PMI-1	RB 5 - Santa Angela	3.10		1.52	1.81	11,914
2	PMI-2	RB 6 - Santa Angela	2.45		2.10	3.46	17,973
3	PMI-3	RB 1 - Santa Angela	1.25		1.80	2.54	6,737
4	PMI-4	RB 10 - Orión	1.45		2.10	3.46	10,637
5	PMI-5	RB 9 - Orión	3.60		2.10	3.46	26,409
6	PMI-6	RB 11 - Orión	1.40		2.10	3.46	10,270
7	PMI-7	RB 7 - Orión	1.65		1.80	2.54	8,893
8	PMI-8	BM Santa Angela	1.80	4.00	5.00	19.00	72,436
9	PMI-9	BM Orión	0.70	4.50	4.50	19.24	28,522
SALIDAS							
10	PMS-1	RB 12 - Santa Angela	33.00		1.52	1.82	127,497
11	PMS-2	BM Rampa Espiral	0.47	3.90	4.10	15.19	15,122
12	PMS-3	BM Don Enrique	1.60	4.60	4.70	20.54	69,603
						Ingresos	193,791
						Salidas	212,221
						Variación (Ingresos - Salidas)	**9%**

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.2. Medición de caudal en interior mina

Se realizaron mediciones de velocidad en los accesos a las labores de producción, rampas, Bypass, y en ciertas áreas con bifurcaciones en el circuito principal. Se identifico los circuitos de ventilación primarios y auxiliares en la Unidad Minera Pallancata.

Tabla 6.

Puntos de monitoreo interior mina (Ranichico)

Codificación	Pto. Monitoreo	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m2)	Caudal (cfm)
PMS-PM01	Rampa 6961 - San Javier	0.11	5	5.5	26.13	6,087
PMS-PM02	Acceso a Rampa Charo	1.1	4.5	4.2	17.96	41,832
PMS-PM03	Referencia Rampa 1880 Yurika	2.1	4.3	4.2	17.16	76,311
PMS-PM04	RETORNO DEL VE - 50 - 16	1.45	4.12	4.4	17.22	52,889
PMS-PM05	RETORNO DEL VE - 50 - 3	1.4	4.4	4.8	20.06	59,494
PMS-PM06	RETORNO DEL VE - 30 - 5	1.3	4.3	3.9	15.93	43,866
PMS-PM07	NV 4524 MIRIAM RETORNON VE-50-5	1.4	4.4	5	20.9	61,973
PMS-PM08	Rb 5 YURIKA - Superficie	3.1	4	4.5	17.1	112,275
PMS-PM09	Rb 5 YURIKA - Superficie	0.4	4.4	5	20.9	17,706
PMS-PM10	San Javier	0.12	3.34	2.5	7.93	2,016
PMS-PM11	Cámara de Carguío 7	0.9	2.15	3.85	7.86	14,990
PMS-PM12	Punto de monitoreo 0975 Ventilación tapón - Galería 1327 NE	0.17	3.3	3.75	11.76	4,233
PMS-PM13	Acceso al RB3 Luisa	1.2	4.5	5.3	22.66	57,586
PMS-PM14	Crucero Camila Pie RB1 ingreso	3.9	3.8	3.7	13.36	110,331

Nota. Elaboración Propia

3.7.3. Mediciones de parámetros psicométricos y cálculo de densidad relativa.

En campo, se midieron la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la humedad relativa en los puntos de entrada y salida del circuito principal. Cabe señalar que en la Unidad Minera Pallancata no se registran altas temperaturas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 7.

Parámetros psicométricos zona Ranichico

Codificación	Punto de medición	Altitud (msnm)	Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)	Depres. ts-th (°C)	Presión barométrica (kPa)	Humedad relativa %	Presión vapor sat. (kPa)	Presión vapor aire (kPa)	Densidad del aire (kg/m3)
INGRESOS										
R-PMI1	Bocamina Ranichico	4524	8.8	2.3	6.50	58.89	66%	0.721	0.474	0.725
R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	4600	11.3	6.6	4.70	58.64	82%	0.974	0.797	0.715
R-PMI13	RB1 Pablo - Crucero Camila Pie	4330	4.1	1.2	2.90	59.75	83%	0.666	0.554	0.748
R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4610	5.0	0.4	4.60	57.85	73%	0.629	0.457	0.722
R-PMI15	RB3 Rina	4515	7.8	2.4	5.40	58.84	72%	0.726	0.521	0.727
R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	4570	10.9	7.9	3.00	58.81	89%	1.065	0.951	0.717
R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	4600	5.5	2.8	2.70	57.98	86%	0.747	0.646	0.722
R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	4490	8.6	5.3	3.30	59.11	86%	0.890	0.765	0.727
R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	4610	9.0	6.3	2.70	58.31	89%	0.954	0.853	0.716
R-PMS5	Bocamina Virgen del Carmen	4540	11.4	7.4	4.00	59.07	85%	1.029	0.877	0.719
SALIDAS										
R-PMS6	RB 1 Virgen del Carmen	4680	2.0	0.1	1.90	57.01	89%	0.615	0.545	0.719
R-PMS7	RB 2 Virgen del Carmen	4660	5.7	0.9	4.80	57.58	73%	0.652	0.474	0.717
R-PMS1	RB3 Luisa	4560	8.0	3.2	4.80	58.55	76%	0.768	0.587	0.723
R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	4610	7.0	2.8	4.20	58.08	79%	0.747	0.590	0.720
R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	4610	6.2	2.3	3.90	57.99	80%	0.721	0.575	0.720

Nota. Elaboración Propia

Tabla 8.

Parámetros psicométricos zona Pallancata este

Codificación	Punto de medición	Altitud (msnm)	Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)	Depres. ts-th (°C)	Presión barométrica (kPa)	Humedad relativa %	Presión vapor sat. (kPa)	Presión vapor aire (kPa)	Densidad del aire (kg/m3)
INGRESOS										
PMI-3	RP (-) 8610 - "Lola"	4220	10.5	3.50	7.00	61.27	0.65	0.8	0.51	0.75
PMI-2	NV 0 - Comunicación a superficie	4220	9	2.00	7.00	61.10	0.61	0.7	0.43	0.75
PMI-1	Bocamina Santa Rosa	4236	8.6	2.00	6.60	60.94	0.63	0.7	0.45	0.75
PMI-4	RB 02 Santa Rosa	4360	14.6	7.60	7.00	60.70	0.74	1.0	0.77	0.73
SALIDAS										
PMS-1	RB 04 Santa Rosa	4420	9	2.60	6.40	59.66	0.67	0.7	0.49	0.73
PMS-2	RB 03 Santa Rosa	4380	9.7	3.20	6.50	60.02	0.67	0.8	0.52	0.74

Nota. Elaboración Propia

Tabla 9.

Parámetros psicométricos zona Pallancata oeste

Codificación	Punto de medición	Altitud (msnm)	Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)	Depres. ts-th (°C)	Presión barométrica (kPa)	Humedad relativa %	Presión vapor sat. (kPa)	Presión vapor aire (kPa)	Densidad del aire (kg/m3)
INGRESOS										
R-PMI1	RB 5 - Santa Angela	4475	13.0	8.0	5.00	59.71	0.8	1.07	0.88	0.72
R-PMI2	RB 6 - Santa Angela	4425	10.7	6.2	4.50	59.81	0.8	0.95	0.77	0.73
R-PMI3	RB 1 - Santa Angela	4415	9.3	4.2	5.10	59.73	0.8	0.82	0.63	0.73
R-PMI4	RB 10 - Orión	4423	12.4	7.6	4.80	60.01	0.8	1.04	0.86	0.73
R-PMI5	RB 09 - Orión	4402	20.2	12.5	7.70	61.00	0.8	1.45	1.15	0.72
R-PMI6	RB 11 - Orión	4400	10.4	6.6	3.80	59.96	0.8	0.97	0.83	0.73
R-PMI7	RB 07 - Orión	4416	12.3	7.4	4.90	60.05	0.8	1.03	0.84	0.73
R-PMI8	BM Santa Angela	4350	17.1	9.0	8.10	61.04	0.7	1.15	0.83	0.73
R-PMI9	BM Orión	4307	7.5	2.5	5.00	60.30	0.7	0.73	0.54	0.75
SALIDAS										
PMS-1	RB 12 - Santa Angela	4490	10.5	7.40	3.10	59.33	0.88	1.0	0.91	0.72
PMS-2	BM Rampa Espiral	4450	12.0	8.20	3.80	59.78	0.87	1.1	0.94	0.73
PMS-3	BM Don Enrique	4208	7.4	2.60	4.80	61.02	0.74	0.7	0.55	0.76

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.7.4. Medición de parámetros en ventiladores

La U.M. Pallancata consta de cuatro zonas operativas. Donde se integró el circuito de Rina al de Ranichico, ya que ambos comparten el mismo sistema de ventilación a través de la chimenea RB3 Rina. El circuito más relevante es el de Ranichico, que cuenta con tres ventiladores principales: uno de 150,000 cfm de la marca Airtec, otro de 150,000 cfm de la marca Tomocorp, y uno adicional de 120,000 cfm de Airtec, todos instalados en superficie.

El circuito de Pallancata Oeste tiene un ventilador de 120,000 cfm de la marca Airtec en superficie, mientras que Pallancata Este dispone de un ventilador de 110,000 cfm, también de la marca Airtec. Las mediciones de presión estática, dinámica y total en ventiladores auxiliares y secundarios se realizaron usando un tubo Pitot y un manómetro marca Testo. Para medir la presión total en los ventiladores principales, se empleó una manguera de goma de un cuarto de pulgada junto con el manómetro Testo, ya que los ventiladores principales operan como extractores y solo es necesario tomar la presión cerca del punto de succión del ventilador.

Los caudales en los ventiladores auxiliares se calcularon con base en la presión dinámica promedio; en los ventiladores principales, el caudal se determinó mediante mediciones de campo con el anemómetro Testo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 10.

Presión en ventiladores

UBICACIÓN (ZONA)	CODIGO	MARCA	IDENTIFICACIÓN	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
Pallancata Oeste	VE-120-04	AIRTEC	PRINCIPAL	8.9	120000	8.3	127,497
Ranichico	VE-150-02	AIRTEC	PRINCIPAL	10.4	150000	6.3	169,843
Ranichico	VE-150-01	TOMOCORP	PRINCIPAL	8.24	150000	6.8	94,569
Ranichico	VE-120-03	AIRTEC	PRINCIPAL	6.4	120000	6.2	114,530
Pallancata Este	VE-110-01	AIRTEC	PRINCIPAL	7.5	110000	6.3	111,873
Pallancata Este	VE-50-14	TOMOCORP	AUXILIAR	11	50000	7.67	62,142
Pallancata Este	VE-50-01	ZITRON	AUXILIAR	-	50000	5.78	50,055
Ranichico	VE-50-16	AIRTEC	AUXILIAR	11.3	50000	7.44	58,900
Ranichico	VE-50-03	AIRTEC	AUXILIAR	-	50000	5.62	43,445
Ranichico	VE-50-05	AIRTEC	SECUNDARIO	-	50000	5.25	49,020
Ranichico	VE-50-50	AIRTEC	AUXILIAR	-	50000	5.17	42,391
Pallancata Este	VE-30-11	AIRTEC	AUXILIAR	6.7	30000	4.2	26,687
Pallancata Este	VE-30-38	AIRTEC	AUXILIAR	-	30000	4.8	32,961
Pallancata Este	VE-30-31	AIRTEC	AUXILIAR	-	30000	4.4	26,261
Pallancata Oeste	VE-30-21	AIRTEC	AUXILIAR	11	30000	6.4	32,943
Ranichico	VE-30-19	AIRTEC	AUXILIAR	11.9	30000	3.4	37,656
Ranichico	VE-30-05	AIRTEC	AUXILIAR	10.2	30000	6.6	34,290
Ranichico	VE-30-15	ZITRON	AUXILIAR	-	30000	5.2	26,556
Ranichico	VE-30-03	AIRTEC	AUXILIAR	11	30000	5.8	27,969
Ranichico	VE-30-16	AIRTEC	AUXILIAR	11	30000	6.8	20,837
Ranichico	VE-30-33	AIRTEC	AUXILIAR	11	30000	6.9	31,080
Rina	VE-30-01	AIRTEC	AUXILIAR	-	30000	7.2	31,513
Pallancata Oeste	VE-10-16	AIRTEC	AUXILIAR	-	10000	5.2	12,195

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.7.5. Porcentaje de fuga en mangas de ventilación

Durante el levantamiento en campo en la U.M. Pallancata, se midieron los caudales de ventiladores auxiliares de 10,000 cfm, 30,000 cfm y 50,000 cfm, con el objetivo de evaluar el porcentaje de fugas en las mangas. La medición del caudal inicial se realizó con un tubo Pitot y un manómetro digital, ambos de la marca Testo. También se registraron las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. Con estos parámetros, se calcularon la velocidad y el caudal de los ventiladores mediante la siguiente fórmula:

$$V = 1098 * \sqrt{\frac{Pd}{W}}$$

Pd: Presión dinámica promedio (H2O")

W: Densidad (lb/pie3)

V: Velocidad (pie/min)

La velocidad de retorno se midió a una distancia de 60 metros de cada ventilador. A continuación, se presenta el cálculo del porcentaje de fugas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 11.

Porcentaje fugas en mangas ventilación

LABOR	ZONA	Código Ventilador	Sección (m^2)	Velocidad (m/s)	Caudal total (m3/s)	Caudal total (Cfm)	P.Dm Prom	Diam. (pulg)	Manga	Diam. Equi v (pulg)	Diam. (pie)	Densidad	Vel (pies/min)	Sección (pies2)	Caudal Inicial (Cfm)	Factor	% Fugas / 100 pies
NV 4418 pablo VE.1643 (acc hacia Rc2)	Ranichico	VE - 50 -16	17.22	1.45	24.97	52912	1.4	30	2	42.43	3.54	0.0521	5691.77	9.82	55,879	0.51	2.70%
NV 4232 pablo CH:4306 RP -1910	Ranichico	VE - 50 - 09	19.24	0.467	8.98	19036	0.8	30	1	30.00	2.50	0.0521	4248.45	4.91	20,855	0.51	4.43%
BA 1906 - NV 4402	Ranichico	VE - 30 - 19	19.23	0.37	7.11	15075	0.6	30	1	30.00	2.50	0.0523	3719.01	4.91	18,256	0.51	8.85%
NV 4370 pablo CH. Op.4310	Ranichico	VE - 50 -3	20.06	1.400	28.09	59519	0.8	30	3	51.96	4.33	0.0524	4290.24	14.73	63,179	0.51	2.94%
NV 4354 pablo Pulmón 5354 NE.	Ranichico	VE - 30 - 15	16.36	0.52	8.51	18025	0.7	30	1	30.00	2.50	0.0521	4081.78	4.91	20,036	0.51	5.10%
NV 4370 pablo ACC.CH.4312	Ranichico	VE - 30 - 5	14.59	1.200	17.50	37091	0.7	30	2	42.43	3.54	0.0523	3959.19	9.82	38,869	0.51	2.32%
Miriam NV. 4550 RP 1554 Paola INYECTOR	Ranichico	VE - 30 - 3	11.81	1.8	21.26	45045	1.2	30	2	42.43	3.54	0.0522	5153.66	9.82	50,596	0.51	5.57%
RINA RP.1154	Rina	VE - 30 - 18	9.00	0.900	8.10	17163	0.6	30	1	30.00	2.50	0.0521	3726.14	4.91	18,291	0.51	3.13%
RINA NV 4280	Rina	VE - 30 - 01	17.16	0.46	7.89	16723	0.6	30	1	30.00	2.50	0.0521	3726.14	4.91	18,291	0.51	4.35%
NV - 600 Ventana CH 151	Pallancata este	VE - 30 - 21	14.44	1.100	15.88	33657	0.7	30	2	42.43	3.54	0.0523	4016.99	9.82	39,437	0.51	7.44%
RP.4220 PULMON X Delia	Pallancata oeste	VE - 30 - 11	15.88	0.6	9.53	20194	0.3	30	2	42.43	3.54	0.0521	2405.21	9.82	23,613	0.51	7.35%
LOLA CX-8530 NV.4220 Pie RB 01	Pallancata este	VE - 30 - 38	14.06	1.100	15.47	32771	0.6	30	2	42.43	3.54	0.0530	3694.37	9.82	36,269	0.51	4.90%
Miriam NV. 4520 Rp 1554 Ventana	Ranichico	VE - 10 - 1	14.63	0.6	8.78	18600	0.7	30	1	30.00	2.50	0.0521	4138.08	4.91	20,313	0.51	4.28%
															% Fuga Promedio /100 pies		4.87%

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.6. Diagnóstico del Sistema de Ventilación

De acuerdo a la legislación vigente, Decreto Supremo No. 024-2016-EM y su Modificatoria DS N°023-2017-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional.

• Ventilación, Sub capítulo VIII, Articulo 246

• Personal, Sub capítulo VIII, Articulo 247

• Velocidad de aire y labores de transporte, Sub capítulo VIII, Articulo 248

• Caballos de Fuerza Diésel, Sub capítulo VIII, Articulo 254

• Explosivos – Subcapítulo VIII, Articulo 248

3.7.6.1. Cálculo de requerimiento de aire, según anexo 38

Requerimiento de Aire Total (Qt):

Cuando en la operación se utilice equipos con motor petrolero. La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del reglamento, considerando la formula siguiente:

$$Qt = Qt1 + Qfu$$

Donde:

Qt = Caudal total de la operación

$Qt1$ = La sumatoria de caudal requerido por:

a) El número de trabajadores (Qtr),

b) El consumo de madera (Qma),

c) Temperatura en labores de trabajo (Qte) y

d) Equipos con motor petrolero (Qhp)

Qfu = Caudal requerido por fugas

$$Qt1 = Qtr + Qma + Qte + Qhp$$

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a) Caudal Requerido de trabajadores (Qtr)

$$Qtr = F + N(m^3/min)$$

Donde:

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del DS 023-2017-EM, sobre los 4,000 msnm = (6m3/min) x persona.

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

b) Caudal requerido por el consumo de madera (Qma)

$$Qma = T + u(m^3/min)$$

Donde:

Qma = Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min).

u = Factor de producción de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

T= Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Tabla 12.

Factor de producción de acuerdo al consumo de madera

Consumo de Madera (%)	Factor de Producción (m3/min)
< 20	0
20 a 40	0.6
41 a 70	1
>70	1.25

Nota. Tomado de DS 024-2016-EM (Ministerio de Energia y Minas, 2016)

c) Caudal requerido temperatura en las labores de trabajo (Qte)

$$Qte = Vm * A * N(m^3/min)$$

Donde:

Qte = Caudal por temperatura (m3/min).

Vm = Velocidad mínima.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A = Área de labor promedio.

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

Tabla 13.

Factor por temperatura

Temperatura Seca (°C)	Velocidad Mínima (m/min)
<24	0
24 a 29	30

Nota. Tomado de DS 024-2016-EM (Ministerio de Energia y Minas, 2016)

d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero (Qhp)

$$Qhp = 3 * HP * Dm * Fu\ (m^3/min)$$

Donde:

Qhp = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min),

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs).

Dm = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%)

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

e) Caudal Requerido por fugas (Qfu)

$$Qfu = 15\% * Qt1\ (m^3/min)$$

Donde:

$$Qt1 = Qtr + Qte + Qma + Qhp$$

3.7.6.2. Balance de Aire

Ingresos y salidas de aire Zona Ranichico, Pallancata este, Pallancata Oeste, Rina

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 14.

Ingresos salidas aire zona Ranichico

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	R-PMI1	Bocamina Ranichico	1.80	4.25	4.60	18.57	70,806
2	R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	5.10		1.90	2.84	30,626
3	R-PMI13	RB 1 Pablo	3.90	3.80	3.70	13.36	110,331
4	R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4.50	2.10	1.70	3.39	32,324
5	R-PMI15	RB3 Rina	1.30		2.15	3.63	9,996
6	R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	0.09	3.10	4.00	11.78	2,246
7	R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	7.70		1.50	1.77	28,820
8	R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	7.00		2.10	3.46	51,351
9	R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	6.00		2.10	3.46	44,016
10	R-PMS5	Bocamina Virgen del Carmen	0.19	3.47	3.67	12.10	4,869
SALIDAS							
11	R-PMS6	RB 1 Virgen del Carmen	3.50		1.50	1.77	13,100
12	R-PMS7	RB 2 Virgen del Carmen	3.70		1.65	2.14	16,757
13	R-PMS1	RB 3 Luisa	30.60		1.50	1.77	114,530
14	R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	26.00	4.10	4.45	17.33	169,843
15	R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	2.70	4.00	4.50	17.10	94,569
						Ingresos	385,385
						Salidas	408,798
						Variación (Ingresos - Salidas)	**6%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 15.

Ingresos salidas aire zona Pallancata este

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	PMI-3	RP (-) 8610 - "Lola"	0.90	4.25	4.80	19.38	36,942
2	PMI-2	Comunicación a superficie	0.90	4.15	4.10	16.16	30,812
3	PMI-1	BM Santa Rosa	1.25	3.60	4.40	15.05	39,840
4	PMI-4	RB 02 Santa Rosa	3.30		1.60	2.01	14,053
SALIDAS							
5	PMS-1	RB 04 Santa Rosa	15.25		2.10	3.46	111,873
6	PMS-2	RB 03 Santa Rosa	0.20		2.10	3.46	1,467

Ingresos	121,647
Salidas	113,340
Variación (Ingresos - Salidas)	**7%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 16.

Ingresos salidas aire zona Pallancata oeste

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	PMI-1	RB 5 - Santa Angela	3.10		1.52	1.81	11,914
2	PMI-2	RB 6 - Santa Angela	2.45		2.10	3.46	17,973
3	PMI-3	RB 1 - Santa Angela	1.25		1.80	2.54	6,737
4	PMI-4	RB 10 - Orión	1.45		2.10	3.46	10,637
5	PMI-5	RB 9 - Orión	3.60		2.10	3.46	26,409
6	PMI-6	RB 11 - Orión	1.40		2.10	3.46	10,270
7	PMI-7	RB 7 - Orión	1.65		1.80	2.54	8,893
8	PMI-8	BM Santa Angela	1.80	4.00	5.00	19.00	72,436
9	PMI-9	BM Orión	0.70	4.50	4.50	19.24	28,522
SALIDAS							
10	PMS-1	RB 12 - Santa Angela	33.00		1.52	1.82	127,497
11	PMS-2	BM Rampa Espiral	0.47	3.90	4.10	15.19	15,122
12	PMS-3	BM Don Enrique	1.60	4.60	4.70	20.54	69,603
						Ingresos	193,791
						Salidas	212,221
						Variación (Ingresos - Salidas)	**9%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 17.

Ingresos salidas aire zona Rina

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Cfm
INGRESOS							
1	R-PMI3	RP 2 - Rina	3.40		2.20	3.80	27,374
2	R-PMI10	RP 1 - Rina	0.90	1.80	1.90	3.25	6,193
SALIDAS							
3	RI-PMS1	BM Santa Barbara	0.20	4.60	4.40	19.23	8,145
4	RI-PMS2	Crucero acceso (+) 200	0.90	4.40	3.50	14.63	27,888
						Ingresos	33,567
						Salidas	36,033
						Variación (Ingresos - Salidas)	**7%**

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.6.3. Requerimiento de aire

a. Zona Ranichico

Tabla 18.

Caudal requerido por el número de trabajadores zona Ranichico

Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

QTr= F x N (m³/min)

Donde:
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;
N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

Se considera 6m3/min a la altitud presente en mina

Personal	**Total Guardia A (N)**	**Q m³/min**	**Q cfm**	**Distribución%**
ZONA RANICHICO	200	1,200	42,378	91%
SUB TOTAL	200	1,200	42,378	91%
CONTINGENCIA (10%)	20	120	4,238	9%
TOTAL	220	1,320	46,615	100%

Q_{Tr}	**46,615**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 19.

Caudal requerido por equipo con motor petrolero zona Ranichico

Caudal requerido por equipo con motor petrolero (Qtq)

Qeq= 3 x HP x Dm x Fu (m min)

Donde:

Qeq - Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min);

HP - Capacidad efectiva de potencia (HPs);

Dm - Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

Fu - Factor de utilización promedio de los equipos (%).

Item	Equipo	Marca	Modelo	Código	Potencia Nominal (HP)	Potencia Efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica	Factor de utilización	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
1	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 300G	SC 407	165	107.25	0.82	0.36	95.65	3378
2	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 300G	SC 408	165	107.25	0.94	0.37	113.6	4012
3	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 300G	SC 410	165	107.25	0.94	0.37	113.6	4012
4	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 600H	HSC 086	279	181.35	0.94	0.36	183.21	6470
5	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 600H	HSC 087	279	181.35	0.86	0.36	167.46	5914
6	SCOOP	CATERPILLAR	R 1 600G	SC 614	279	181.16865	0.89	0.35	168.35	5945
7	SCOOP	SANDVIK	LH201 - 100D	MSC 104	45	29.25	0.85	0.29	21.57	762
8	JUMBO	SANDVIK	D311	DPJ 028	100	65	0.88	0.2	34.32	1212
9	JUMBO	SANDVIK	DD210	DPJ 029	74	48.1	0.88	0.2	25.4	897
10	JUMBO	SANDVIK	DD311	DPJ 033	97	63.05	0.86	0.2	32.46	1146
11	JUMBO	EPIROC	T1D	JT 110	78	50.7	0.92	0.15	21.03	743
12	JUMBO	EPIROC	RESEMIN	JT 112	78	50.7	0.9	0.16	21.88	773

13	JUMBO	EPIROC	T1D	JT 113	78	50.7	0.91	0.19	26.36	931
14	JUMBO	EPIROC	T1D	JT 114	78	50.7	0.86	0.18	23.41	827
15	EMPERNADOR	SANDVIK	DS3 11	DPJ 048	100	65	0.88	0.2	34.4	1215
16	EMPERNADOR	SANDVIK	DS3 11	DPJ 055	100	65	0.91	0.2	35.63	1258
17	EMPERNADOR	RESEMIN	BOLTER 88	JS 108	75	48.75	0.83	0.18	21.84	771
18	UTILITARIO	MANITOU	MT X1030ST	ICC 048	99.8	64.87	0.94	0.2	36.71	1296
19	SCALER	PALIS	853 58	DSK 005	100	65	0.93	0.16	29	1024
20	DESATADOR	PALIS	SCALER 853 58	VS 103	100	65	0.83	0.18	29.16	1030
21	MOTON VELADORA	CATERPILLAR	UG20K	MT02	125	81.25	0.95	0.3	69.42	2451
22	CAM 194	PUTZMEISTER	MIXXRET 5	19400%	142	92	0.93	0.3	77	2719
23	CAM 195	PUTZMEISTER	MIXXRET 5	19500%	142	92	0.93	0.3	77	2719
24	SHOT 22	PUTZMEISTER	SPM 4210	2200%	225	146	0.93	0.25	101.84	3596
25	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	AQ 09	500	495	0.97	0.3	434.1	15330
26	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	AQ 10	500	495	0.98	0.33	478.97	16914
27	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	AQ 12	500	495	0.96	0.36	511.37	18059
28	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	AQ 13	500	495	0.97	0.38	549.86	19418
29	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	AQ 14	500	495	0.97	0.36	520.92	18396
30	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	AQ 17	480	474	0.95	0.3	403.62	14254
31	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	Q58	480	474	0.98	0.31	433.47	15308
32	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	Q 59	480	474	0.95	0.1	130.43	4606

33	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	Q61	480	474	0.97	0.32	436.55	15416
34	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	Q 64	480	474	0.98	0.32	447.06	15788
35	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) ISHIFT	Q 65	480	474	0.98	0.33	464.85	16416
36	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX (4) EURO 5	Q 77	500	495	0.97	0.35	502.73	17754
37	MINI CARGADOR	CAT	246 D3	LYC 2	72.9	47.385	0.91	0.3	38.81	1370
38	CISTERNA	HYUNDAI	HD 78	PUMAURI 01	110.3	71.695	0.91	0.4	78.29	2765
39	CISTERNA	HYUNDAI	VOLVO FMX (6X4)	CAN 1	474	308.1	0.91	0.15	126.17	4456
40	CAMION	HYUNDAI	HD 78	CONMINA 2	110	71.5	0.91	0.2	39.04	1379
41	CAMION	HYUNDAI	HD 60	CONMINA 3	100	65	0.91	0.3	53.24	1880
42	MINIBUS	HYUNDAI	COUNTY	HVI 1	147	95.55	0.91	0.15	39.13	1382
43	MINIBUS	HYUNDAI	COUNTY	HVI 2	147	95.55	0.91	0.15	39.13	1382
44	MINIBUS	HYUNDAI	COUNTY	COV 1	147	95.55	0.91	0.15	39.13	1382
45	MINIBUS	HYUNDAI	COUNTY	COV 2	147	95.55	0.91	0.15	39.13	1382
46	MINIBUS	HYUNDAI	COUNTY	FYV 1	147	95.55	0.91	0.2	52.17	1842
47	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	GEOLOGÍA	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
48	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MANTTO/MINA	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
49	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	TOPOGRAFÍA	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
50	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	ORE CONTROL	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
51	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	GEOTECNIA	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
52	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 1	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
53	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 2	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
54	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 3	150	97.5	1	0.1	29.25	1033

55	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 4	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
56	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 4	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
57	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 5	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
58	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 5	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
59	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 6	150	97.5	1	0.1	29.25	1033
60	CAMION	HYUNDAI	COUNTY	IESA CAMION 2	103	66.95	0.9	0.3	54.23	1915
61	CAMION	HYUNDAI	COUNTY	SOLTRAK	117.6	76.44	1	0.3	68.8	2429
62	COUSTER	HYUNDAI	COUNTY	IESA 14	103	66.95	0.9	0.15	27.11	958
63	COUSTER	HYUNDAI	COUNTY	IESA 15	103	66.95	0.92	0.15	27.72	979
64	COUSTER	HYUNDAI	COUNTY	IESA 16	103	66.95	0.9	0.15	27.11	958
65	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MDH-01	150	97.5	0.9	0.05	13.16	465
66	CAMION	HYUNDAI	COUNTY	RESITERFURGON	103	66.95	0.9	0.3	54.23	1915

ZONA RANICHICO	**Qeq (m3/min)**	**Qeq (Cfm)**
	8,071	285,024

Q	285,024	cfm

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 20.

Caudal requerido por fugas zona Ranichico

Caudal requerido por fugas (QFu)			
QFu=15% x (QTr + QTe + QMa + QEq) (m³/min)			
Donde: QFu = Caudal por fugas; QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min); QTe = Caudal por temperatura (m³/min); QMa = Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min) QEq = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)			
	QEq (m3/min)	**QEq (Cfm)**	
QTr=	1,320	46,615	
QTe=	-	-	Temperaturas menores a 24°C
QMa=	-	-	Consumo de madera menor 10%
QEq=	8,071	285,024	
QFu=	1,409	49,746	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 21.

Requerimiento aire total zona Ranichico

Requerimiento aire total (QTo)		
QTo=QT1 + QFu		
Donde: QTo = Caudal total para la operación; QT1 = QTr + QTe + QMa + QEq (m³/min); QFu = 15% del QT1		
Requerimientos de aire	**QEq (m3/min)**	QEq (Cfm)
QTr=	1,320	46,615
QTe=	-	-
QMa=	-	-
QEq=	8,071	285,024
QT1 (Caudal requerido) =	9,391	331,640
QFu (Caudal requerido por fugas) =	1,409	49,746
QTo (Requerimiento aire total) =	10,800	381,386

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b. Zona Pallancata Este

Tabla 22.

Caudal requerido por el número de trabajadores zona Pallancata este

Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

QTr= F x N (m³/min)

Donde:
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;
N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

Se considera 6m3/min a la altitud presente en mina

Personal	Total Guardia A (N)	Q m³/min	Q cfm	Distribución%
ZONA PALLANCATA ESTE	23	138	4,873	91%
SUB TOTAL	23	138	4,873	91%
CONTINGENCIA (10%)	2	14	487	9%
TOTAL	25.3	152	5,361	100%

	Q_{Tr}	**5,361**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 23.

Caudal requerido por equipo con motor petrolero zona Pallancata este

Caudal requerido por el equipo conmotor petrolero (Qeq)

Qeq= 3 x HP x Dm x Fu (m3/min)

Donde:
QEq - Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)
HP - Capacidad efectiva de potencia (HPs);
Dm - Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);
Fu - Factor de utilización promedio de los equipos (%).

Item	Equipo	Marca	Modelo	Código	Potencia Nominal (HP)	Potencia Efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica	Factor de utilizción	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
1	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6X4	YMHNOS PANUER	368	224	0.95	0.6	384	13556
2	SCOOP	CATERPILLAR	R-1300G	HSC-068	269	164	0.95	0.35	164	5780
3	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	IESA-06	150	92	0.93	0.3	77	2705
4	SCOOP DIESEL	CATERPILLAR	R1600G	SC-610	269	164	0.92	0.3	136	4798
5	SCOOP DIESEL	CATERPILLAR	R1900H	SC-613	279	170	0.9	0.3	138	4868
6	JUMBO T. LARGO	RESEMIN	RAPTOR 44XP	JT-112	78	48	0.9	0.1	13	454
7	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 6	150	98	0.93	0.2	54	1921
8	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	MINA 12	150	98	0.9	0.2	53	1859

ZONA PALLANCATA ESTE	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
	1,018	35,941

Qeq	35,941	cfm

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 24.

Caudal requerido por fugas zona Pallancata este

Caudal requerido por fugas (QFu)

QFu=15% x (QTr + QTe + QMa + QEq) (m³/min)

Donde:
QFu = Caudal por fugas;
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
QTe = Caudal por temperatura (m³/min);
QMa = Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min)
QEq = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)

	QEq (m3/min)	**QEq (Cfm)**	
QTr=	92	3,263	
QTe=	-	-	Temperaturas menores a 24°C
QMa=	-	-	Consumo de madera menor 10%
QEq=	2,259	79,789	
QFu=	353	12,458	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 25.

Requerimiento aire total zona Pallancata este

Requerimiento aire total (QTo)

QTo=QT1 + QFu

Donde:
QTo = Caudal total para la operación;
QT1 = QTr + QTe + QMa + QEq (m³/min);
QFu = 15% del QT1

Requerimientos de aire	**QEq (m3/min)**	QEq (Cfm)
QTr=	152	5,361
QEq=	1,018	35,941
QT1 (Caudal requerido) =	1,170	41,302
QFu (Caudal requerido por fugas) =	175	6,195
QTo (Requerimiento aire total) =	1,345	47,497

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Zona Pallancata Oeste

Tabla 26.

Caudal requerido por el número de trabajadores zona Pallancata oeste

Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

QTr= F x N (m³/min)

Donde:
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;
N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

Se considera 6m3/min a la altitud presente en mina

Personal	Total Guardia A (N)	Q m³/min	Q cfm	Distribución%
ZONA PALLANCATA OESTE	14	84	2,966	91%
SUB TOTAL	14	84	2,966	91%
CONTINGENCIA (10%)	1	8	297	9%
TOTAL	15	92	3,263	100%

Q_{Tr}	**3,263**	**cfm**	

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 27.

Caudal requerido por equipo con motor petrolero Pallancata oeste

Caudal requerido por equipo con motor petrolero (Q_{eq})

Qeq= 3 x HP x Dm x Fu (m3/min)

Donde:
QEq - Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)
HP - Capacidad efectiva de potencia (HPs);
Dm - Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);
Fu - Factor de utilización promedio de los equipos (%).

Item	Equipo	Marca	Potencia Nominal (HP)	Potencia Efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica	Factor de utilizción	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
1	SCOOP	CATERPILLAR	279	181	93%	65%	329	11,614
2	JUMBO	SANDVIK	100	65	93%	30%	54	1,921
3	VOLQUETE	VOLVO	500	325	97%	60%	567	20,039
4	VOLQUETE	VOLVO	500	325	97%	60%	567	20,039
5	VOLQUETE	VOLVO	500	325	97%	60%	567	20,039
6	CAMIONETA	TOYOTA	150	98	99%	30%	87	3,668
7	CAMIONETA	TOYOTA	150	98	99%	30%	87	3,068

ZONA PALLANCATA OESTE	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
	2,259	79,789

Qeq	79,789	cfm

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 28.

Caudal requerido por fugas Pallancata oeste

Caudal requerido por fugas (QFu)			
QFu=15% x (QTr + QTe + QMa + QEq) (m³/min)			
Donde: QFu = Caudal por fugas; QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min); QTe = Caudal por temperatura (m³/min); QMa = Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min) QEq = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)			
	QEq (m3/min)	**QEq (Cfm)**	
QTr=	92	3,263	
QTe=	-	-	Temperaturas menores a 24°C
QMa=	-	-	Consumo de madera menor 10%
QEq=	2,259	79,789	
QFu=	353	12,458	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 29.

Requerimiento aire total zona Pallancata oeste

Requerimiento aire total (QTo)		
QTo=QT1 + QFu		
Donde: QTo = Caudal total para la operación; QT1 = QTr + QTe + QMa + QEq (m³/min); QFu = 15% del QT1		
Requerimientos de aire	**QEq (m3/min)**	QEq (Cfm)
QTr=	92	3,263
QEq=	2,259	79,789
QT1 (Caudal requerido) =	2,352	83,052
QFu (Caudal requerido por fugas) =	353	12,458
QTo (Requerimiento aire total) =	2,705	95,510

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d. Zona Rina

Tabla 30.

Caudal requerido por el número de trabajadores zona Rina

Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

QTr= F x N (m³/min)

Donde:
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;
N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

Se considera 6m3/min a la altitud presente en mina

Personal	Total Guardia A (N)	Q m³/min	Q cfm	Distribución%
ZONA PALLANCATA OESTE	12	72	2,543	91%
SUB TOTAL	12	72	2,543	91%
CONTINGENCIA (10%)	1	7	254	9%
TOTAL	13	79	2,797	100%

Q_{Tr}	**2,797**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 31.

Caudal requerido por equipo con motor petrolero Rina

Caudal requerido por el equipo conmotor petrolero (Q_{eq})

Qeq= 3 x HP x Dm x Fu (m3/min)

Donde:
QEq - Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)
HP - Capacidad efectiva de potencia (HPs);
Dm - Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);
Fu - Factor de utilización promedio de los equipos (%).

Item	Equipo	Marca	Modelo	Código	Potencia Nominal (HP)	Potencia Efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica	Factor de utilizción	Qeq (m3/min)	Qeq (Cfm)
1	SCOOP	CATERPILLAR	R1300G	HSC-059	165	100.65	0.96	0.5	145	5107.7
2	MIXKRET	PUTZMEISTER	MIXKRET5	CAM195	225.3	225.3	0.91	0.15	92	3258.1
3	VOLQUETE	VOLVO	VOLVO FMX(4)ISHIFT	Q57	480	292.8	0.98	0.3	257	9092
4	SHOT	PUTZMEISTER	SPM 4210	SHO022	74	48.1	0.98	0.15	20	703
5	JUMBO	SANDVIK	DD311	DJP-033	97	59.17	0.85	0.18	27	959.1
6	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	GEOLOGÍA	150	97.5	0.93	0.15	41	1441
							ZONA RANICHICO		**Qeq (m3/min)**	**Qeq (Cfm)**
									582	20,561
				Qeq	**20,561**	**cfm**				

Nota. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 32.

Caudal requerido por fugas Rina

Caudal requerido por fugas (QFu)
QFu=15% x (QTr + QTe + QMa + QEq) (m³/min)

Donde:
QFu = Caudal por fugas;
QTr = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);
QTe = Caudal por temperatura (m³/min);
QMa = Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min)
QEq = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)

	QEq (m3/min)	**QEq (Cfm)**	
QTr=	79	2,797	
QTe=	-	-	Temperaturas menores a 24°C
QMa=	-	-	Consumo de madera menor 10%
QEq=	582		
QFu=	99	3,504	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 33.

Requerimiento aire total zona Rina

Requerimiento aire total (QTo)
QTo=QT1 + QFu

Donde:
QTo = Caudal total para la operación;
QT1 = QTr + QTe + QMa + QEq (m³/min);
QFu = 15% del QT1

Requerimientos de aire	**QEq (m3/min)**	QEq (Cfm)
QTr=	79	2,797
QEq=	582	20,561
QT1 (Caudal requerido) =	661	23,358
QFu (Caudal requerido por fugas) =	99	3,504
QTo (Requerimiento aire total) =	760	26,862

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 34.

Cobertura aire zona Ranichico

Cobertura Zona Ranichico		
Caudal	**QEq (m3/min)**	**QEq (Cfm)**
QTo (Requerimiento aire total)	10,800	381,386
TOTAL, CAUDALES INGRESO	10,913	385,385
TOTAL, CAUDALES SALIDA	11,576	408,798
Cobertura	101%	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 35.

Cobertura aire zona Pallancata este

Cobertura Zona Pallancata Este		
Caudal	**QEq (m3/min)**	**QEq (Cfm)**
QTo (Requerimiento aire total)	1,345	47,497
TOTAL, CAUDALES INGRESO	3,445	121,647
TOTAL, CAUDALES SALIDA	3,209	113,340
Cobertura	239%	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 36.

Cobertura aire zona Pallancata oeste

Cobertura Zona Pallancata Oeste		
Caudal	**QEq (m3/min)**	**QEq (Cfm)**
QTo (Requerimiento aire total)	27,055	95,510
TOTAL, CAUDALES INGRESO	5,488	193,791
TOTAL, CAUDALES SALIDA	6,009	212,221
Cobertura	203%	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 37.

Cobertura aire zona Rina

Cobertura Zona Rina		
Caudal	**QEq (m3/min)**	**QEq (Cfm)**
QTo (Requerimiento aire total)	761	26,862
TOTAL, CAUDALES INGRESO	951	33,567
TOTAL, CAUDALES SALIDA	1,020	36,033
Cobertura	125%	

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

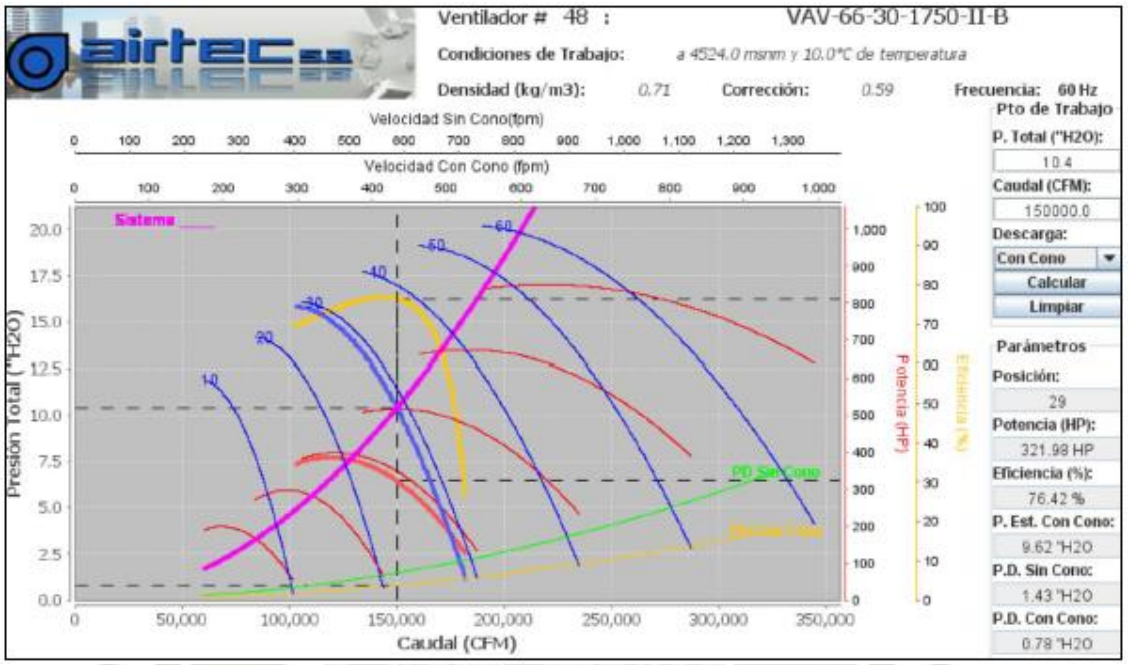
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.6.4. Curva de trabajo en ventiladores

a. Curva de trabajo ventilador VE-150-02

Figura 23.

Curva placa ventilador 150,000 cfm. Zona Ranichico



Nota. Tomado de AIRTEC S.A

Tabla 38.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador ve-150-02

PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-150-02				
	Datos de placa		Datos medidos	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.722 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.01	12.48	139,382	12.66	139,382
1.01	10.99	147,237	11.14	147,237
1.01	9.96	151,950	10.10	151,950
1.01	9.60	153,521	9.73	153,521
1.01	9.03	155,877	9.16	155,877
1.01	8.64	157,449	8.76	157,449
1.01	8.03	159,805	8.15	159,805
1.01	7.40	162,162	7.51	162,162
Punto medido en campo			6.30	169,843

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

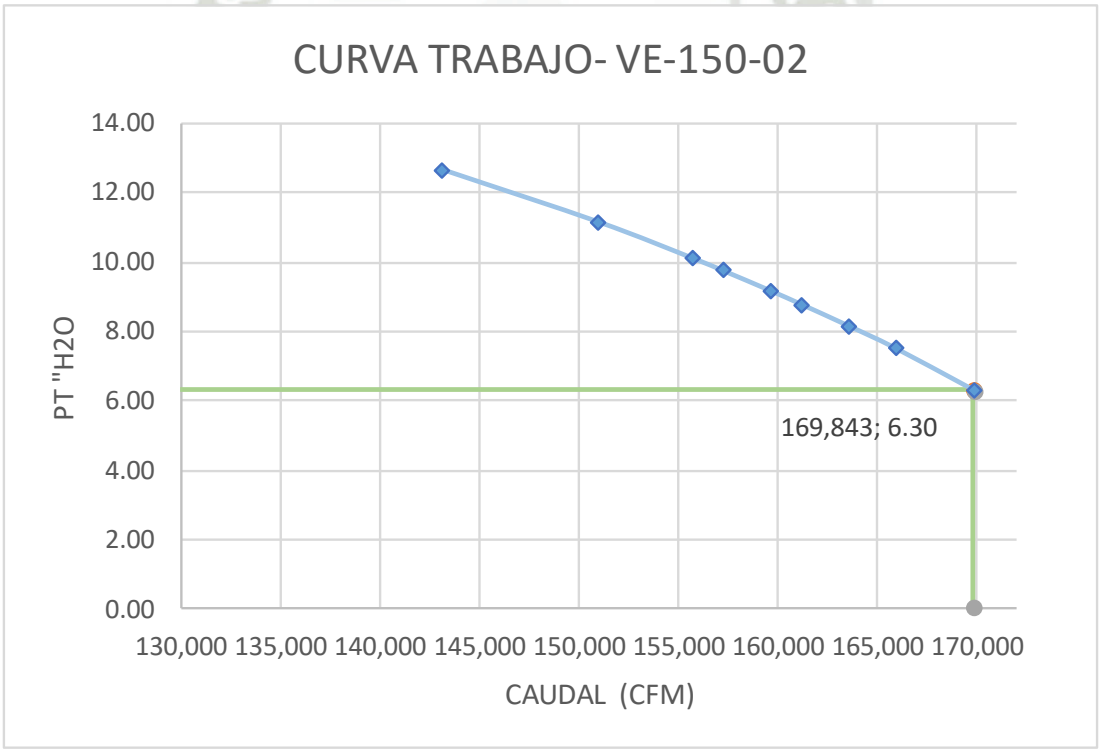
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
12.66	143,136
11.14	150,991
10.10	155,704
9.73	157,275
9.16	159,631
8.76	161,203
8.15	163,559
7.51	165,916
6.30	169,843

Nota. Elaboración Propia

Figura 24.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-150-02



Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

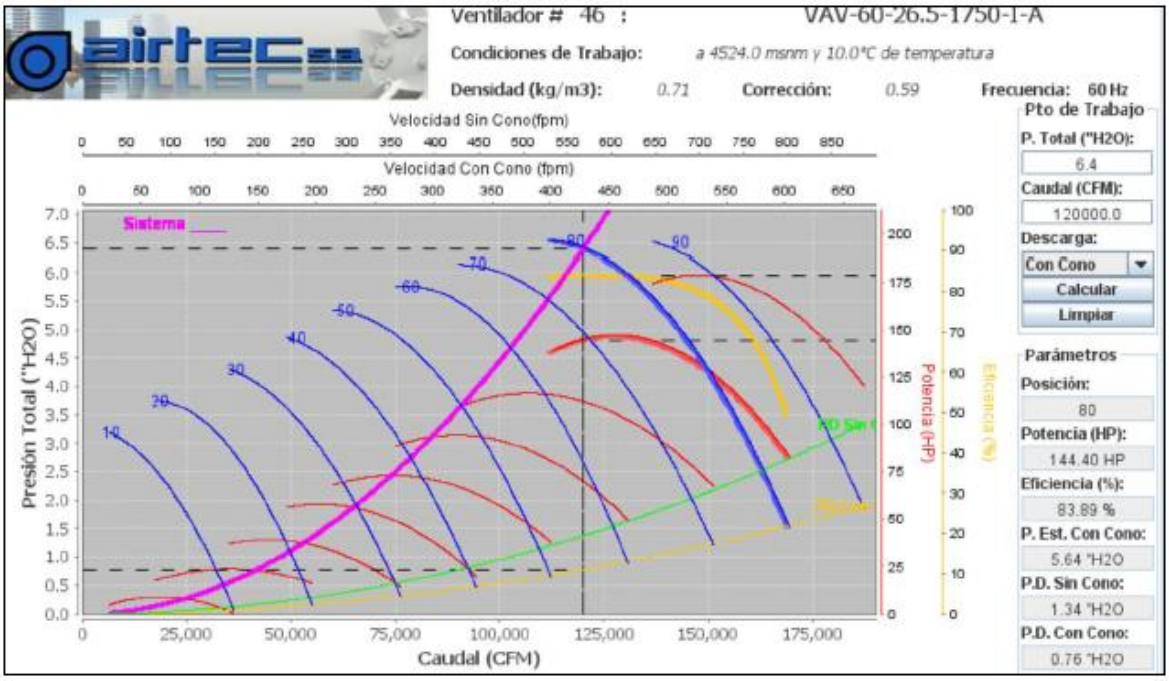
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b. Curva de trabajo ventilador VE-120-03

Figura 25.

Curva placa ventilador 120,000 cfm. Zona Ranichico



Nota. Tomado de AIRTEC S.A.

Tabla 39.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-120-03

PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-120-03				
	DATOS DE PLACA		DATOS MEDIDOS	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.722 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.02	6.54	111,773	6.65	111,773
Punto medido en campo			6.20	114,530
1.02	6.00	130,317	6.10	130,317
1.02	5.51	137,603	5.60	137,603
1.02	5.41	138,856	5.50	138,856
1.02	5.02	142,498	5.10	142,498
1.02	4.51	148,248	4.58	148,248
1.02	3.99	152,688	4.06	152,688
1.02	3.49	156,559	3.55	156,559

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

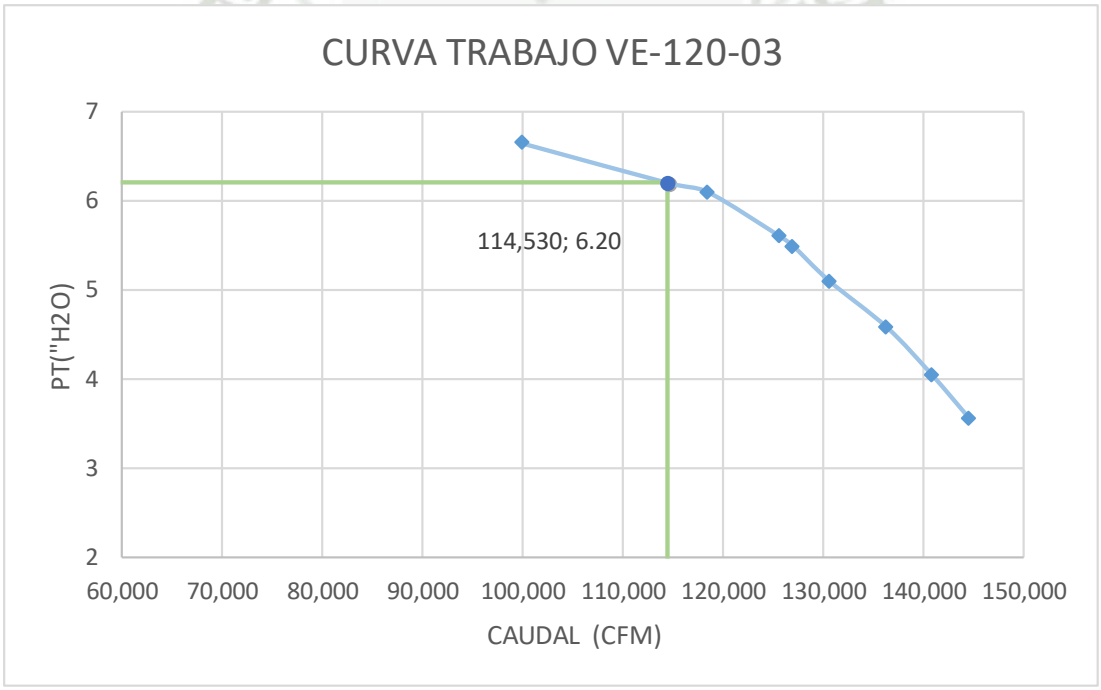
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
6.65	99,914
6.20	114,530
6.10	118,458
5.60	125,744
5.50	126,997
5.10	130,639
4.58	136,389
4.06	140,829
3.55	144,700

Nota. Elaboración Propia

Figura 26.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-120-03



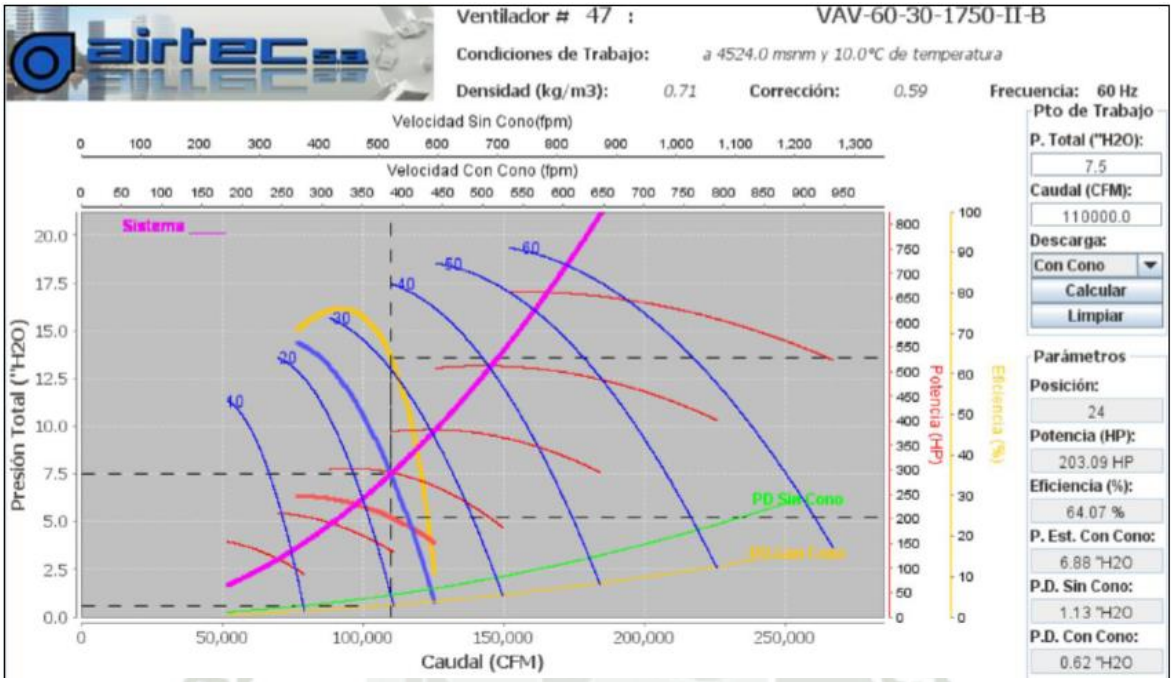
Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Curva de trabajo ventilador VE-110-01

Figura 27.
Curva placa ventilador 110,000 cfm. Zona Pallancata Este



Nota. Tomado de AIRTEC S.A.

Tabla 40.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-110-01

	PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-110 - 01			
	DATOS DE PLACA		DATOS MEDIDOS	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.72 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.01	12.55	91,472	12.73	91,472
1.01	11.52	96,358	11.68	96,358
1.01	9.99	102,220	10.13	102,220
1.01	9.12	105,151	9.25	105,151
1.01	7.80	108,571	7.91	108,571
1.01	7.50	110,000	7.61	110,000
1.01	6.90	111,503	7.00	111,503
	Punto medido en campo		6.30	111,873
1.01	6.03	113,945	6.11	113,945
1.01	5.64	114,922	5.72	114,922
1.01	5.04	116,388	5.11	116,388

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

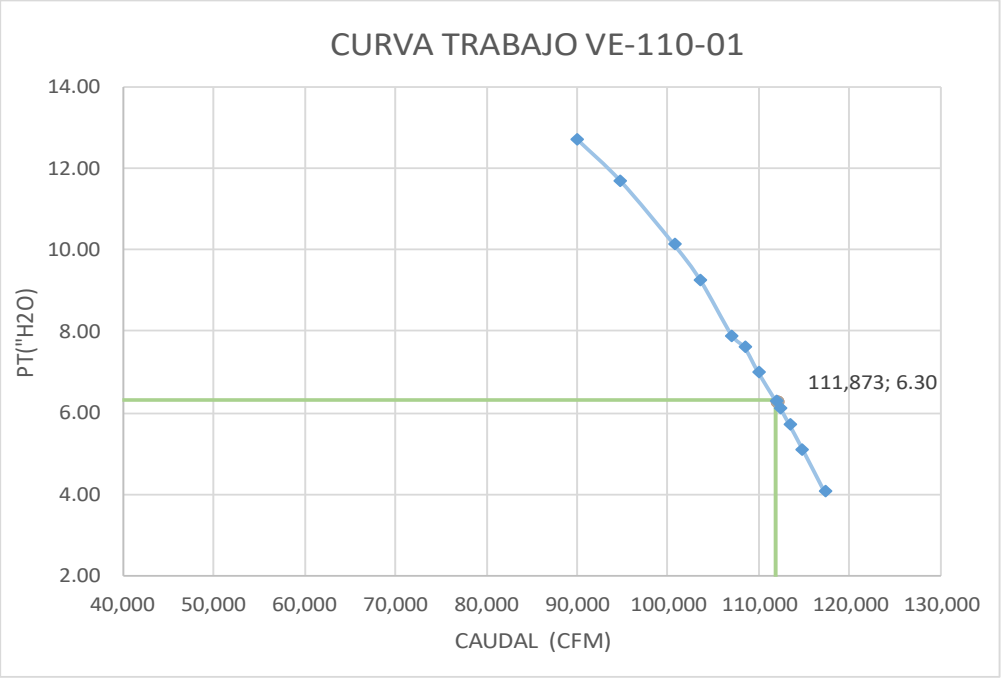
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.01	4.00	118,831	4.06	118,831

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
12.73	89,922
11.68	94,808
10.13	100,670
9.25	103,601
7.91	107,021
7.61	108,450
7.00	109,953
6.30	111,873
6.11	112,395
5.72	113,372
5.11	114,838
4.06	117,281

Nota. Elaboración Propia

Figura 28.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-110-01



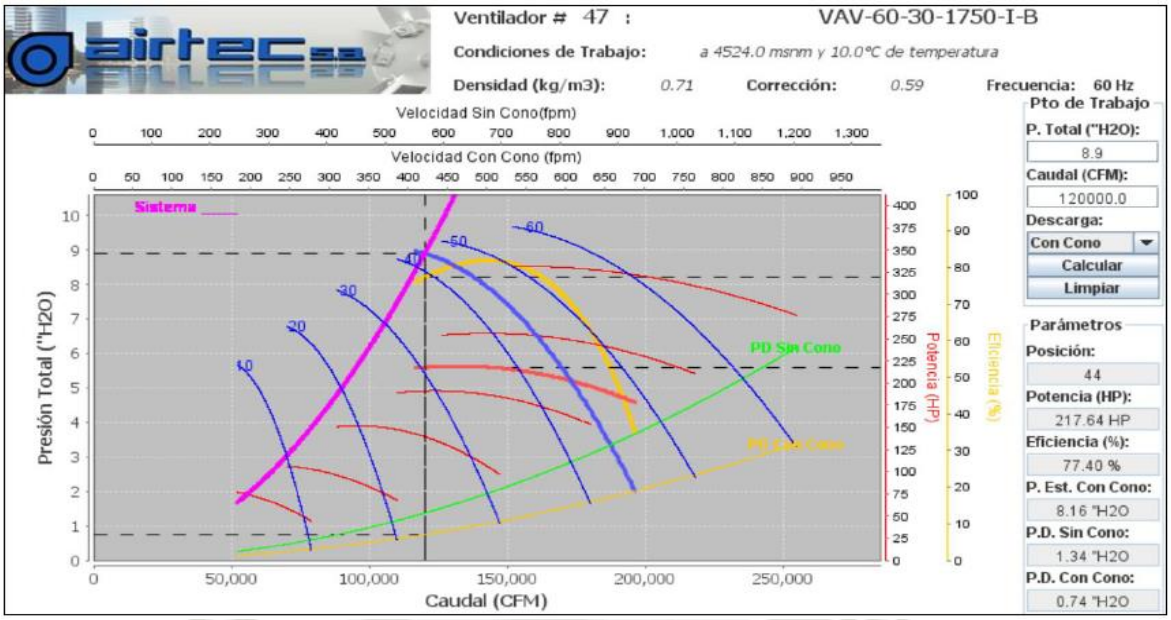
Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d. Curva de trabajo ventilador VE-120-04

Figura 29.
Curva placa ventilador 120,000 cfm. Zona Pallancata Oeste



Nota. Tomado de AIRTEC S.A.

Tabla 41.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-120-04

PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-120-04				
	Datos de placa		Datos medidos	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.722 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.02	8.90	117,699	9.05	117,699
Punto medido en campo			8.30	127,497
1.02	8.57	130,404	8.71	130,404
1.02	7.53	148,666	7.66	148,666
1.02	6.96	155,812	7.08	155,812
1.02	6.50	160,576	6.61	160,576
1.02	5.97	166,135	6.07	166,135
1.02	5.54	170,105	5.63	170,105
1.02	4.99	174,869	5.07	174,869

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

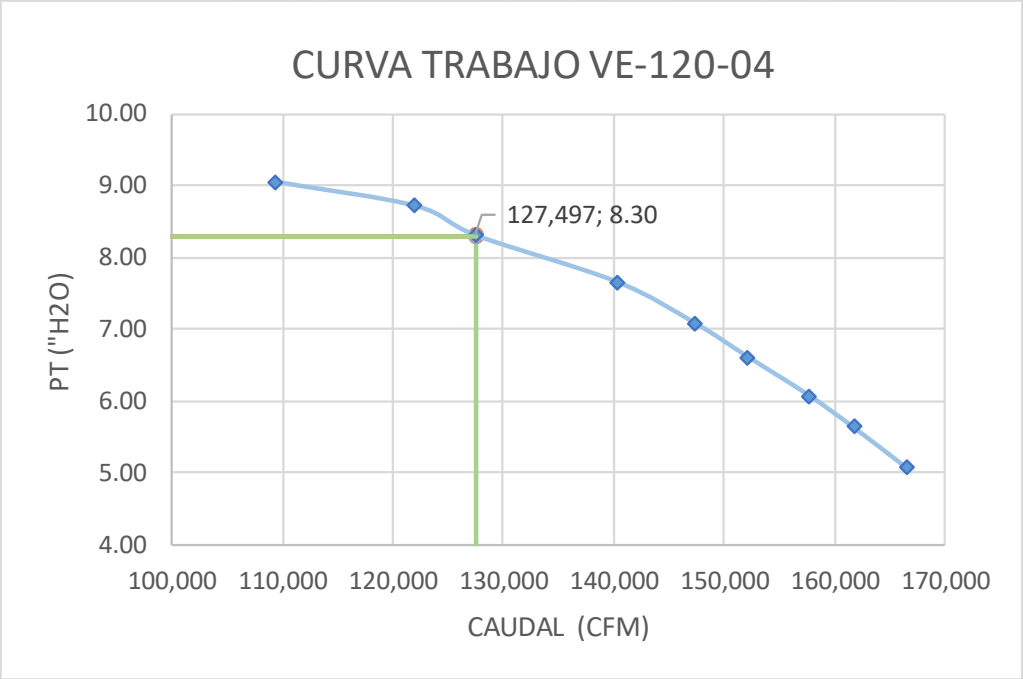
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
9.05	109,234
8.71	121,939
8.30	127,497
7.66	140,201
7.08	147,347
6.61	152,111
6.07	157,670
5.63	161,640
5.07	166,404

Nota. Elaboración Propia

Figura 30.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-120-04



Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

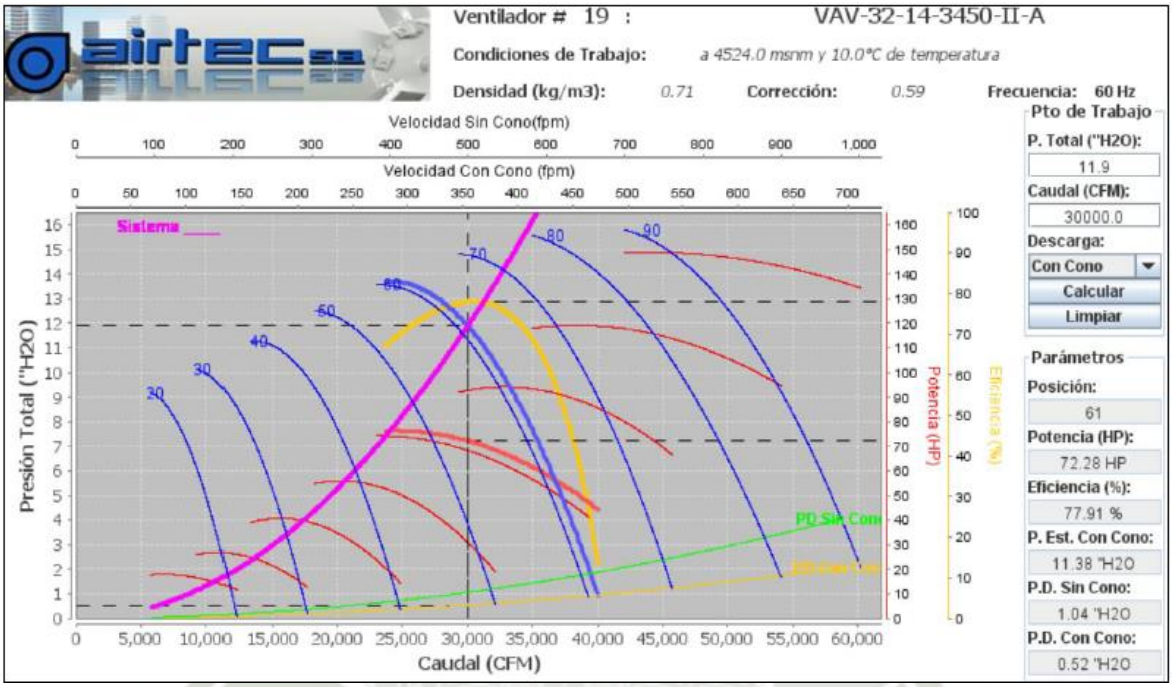
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e. Curva de trabajo ventilador VE-30-19

Figura 31.

Curva placa ventilador 30,000 cfm. Zona Ranichico



Nota. Tomado de AIRTEC S.A.

Tabla 42.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-30-19

PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-30 - 19				
	DATOS DE PLACA		DATOS MEDIDOS	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.72 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.01	13.56	23,781	13.75	23,781
1.01	12.92	27,951	13.10	27,951
1.01	11.55	30,555	11.71	30,555
1.01	10.22	32,345	10.36	32,345
1.01	9.51	33,159	9.64	33,159
1.01	8.07	34,623	8.18	34,623
1.01	6.98	35,600	7.08	35,600
1.01	6.41	36,088	6.47	36,088
1.01	6.01	36,414	6.10	36,414

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

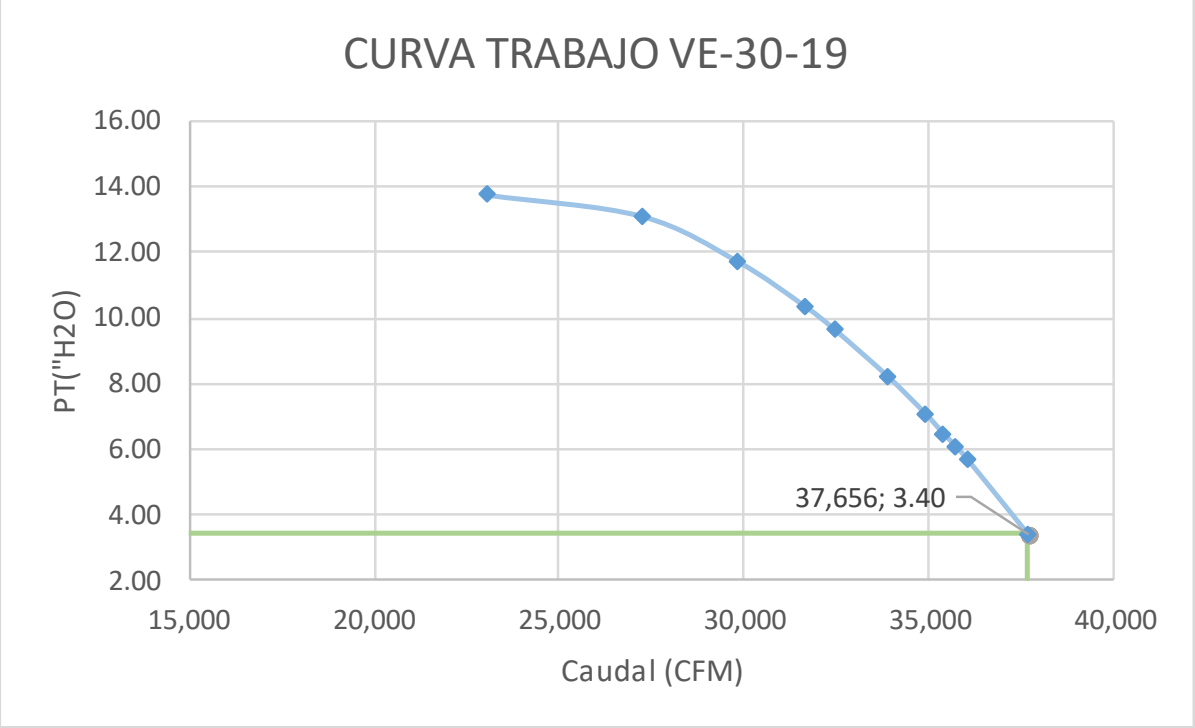
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.01	5.60	36,739	5.68	36,739
Punto medido en campo			3.40	37,656

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
13.75	23,071
13.10	27,241
11.71	29,845
10.36	31,635
9.64	32,449
8.18	33,913
7.08	34,890
6.47	35,378
6.10	35,704
5.68	36,029
3.40	37,656

Nota. Elaboración Propia

Figura 32.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-30-19



Nota. Elaboración Propia

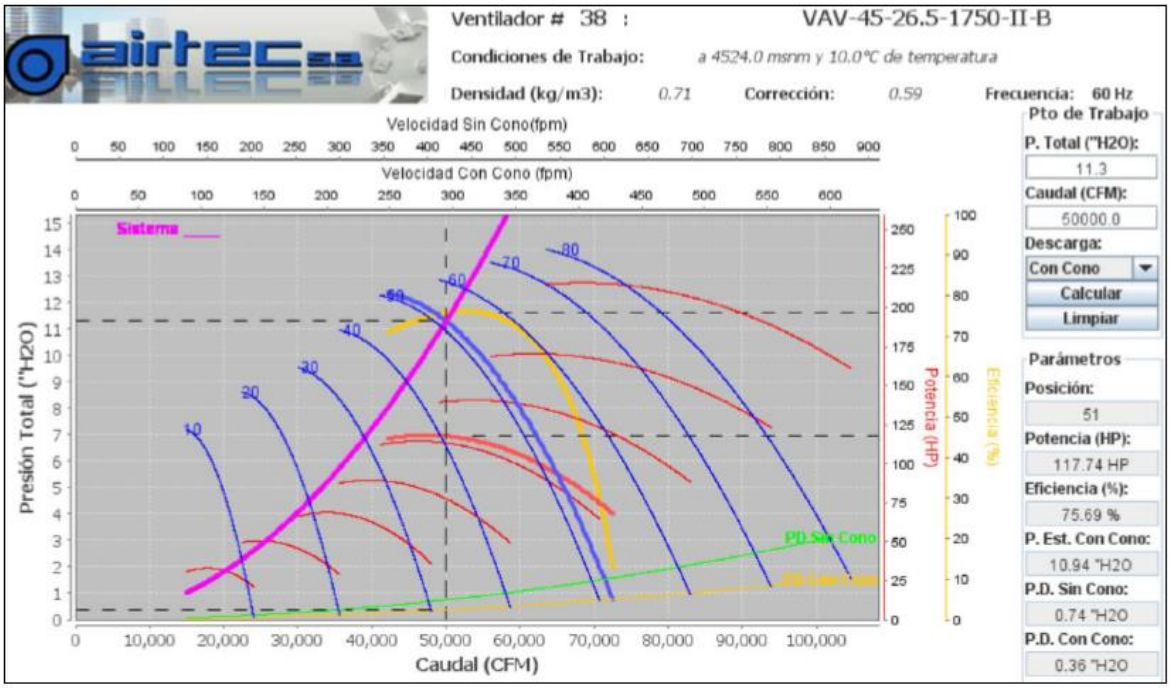
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f. Curva de trabajo ventilador VE-50-16

Figura 33.
Curva placa ventilador 50,000 cfm. Zona Ranichico



Nota. Tomado de AIRTEC S.A.

Tabla 43.

Cálculo de curva de trabajo. Ventilador VE-50-16

PUNTO OPERACION VENTILADOR VE-50 - 16				
	DATOS DE PLACA		DATOS MEDIDOS	
	D = 0.71 (kg/m3)		D = 0.73 (kg/m3)	
	H = 4524 msnm		H = 4489 msnm	
Factor Corrección	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)	P-TOTAL ("H2O)	CAUDAL (CFM)
1.03	12.25	41,475	12.60	41,475
1.03	11.99	46,110	12.33	46,110
1.03	10.90	51,563	11.21	51,563
1.03	10.52	53,077	10.82	53,077
1.03	9.50	56,107	9.77	56,107
1.03	8.49	58,833	8.73	58,833
1.03	7.97	60,045	8.19	60,045
Punto medido en campo			7.44	58,900
1.03	6.98	62,166	7.18	62,166
1.03	6.05	63,983	6.22	63,983

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

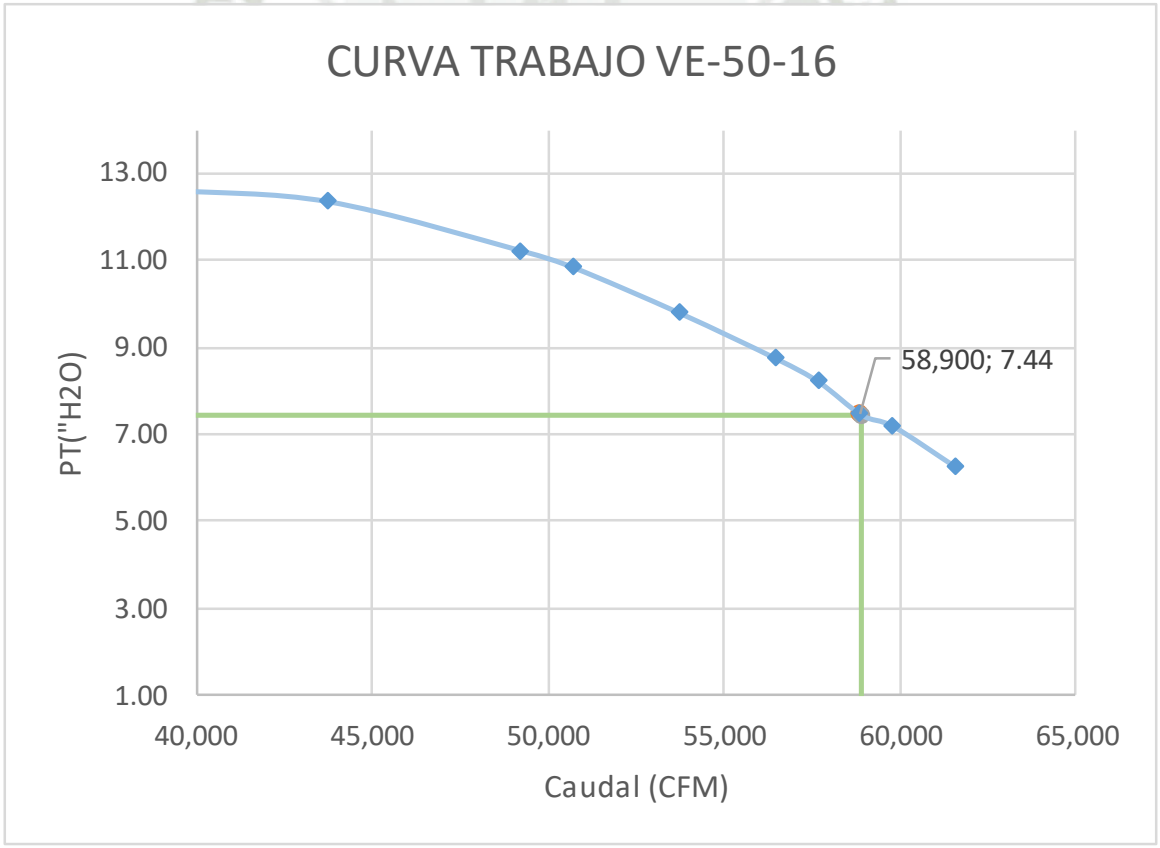
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

P-TOTAL REAL ("H2O)	CAUDAL REAL (CFM)
12.60	39,119
12.33	43,754
11.21	49,207
10.82	50,721
9.77	53,751
8.73	56,477
8.19	57,689
7.44	58,900
7.18	59,810
6.22	61,627

Nota. Elaboración Propia

Figura 34.
Curva de Trabajo. Ventilador VE-50-16



Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.6.5. Calibración del sistema de ventilación

Para implementar y calibrar el modelo de ventilación de U.M Pallancata, se ingresaron los siguientes parámetros de condiciones operativas a software Ventsim Designa (Input data).

• Altura de nivel de referencia en superficie: 4,524 msnm.

• Densidad del aire: 0.72 kg/m3.

• Temperatura de bulbo húmedo: 2.3 °C.

• Temperatura de bulbo seco: 8.8 °C.

• Presión Barométrica en la superficie: 588.9 hPa.

• Método: Presión total.

• Flujo de aire: Compresible.

• Costo de energía: 0.07 US$/KW-hora.

3.7.6.6. Determinación del factor de fricción "K"

Una de las formas de determinar este factor K, es por la diferencia de Caída de Presión cuyas medidas corresponden a dos puntos, distanciados a 50 m, donde el flujo de aire debe ser perceptible. No se puede realizar eficientemente en labores donde la velocidad de aire es muy lenta.

$$\Delta H = H2 - H1$$

El método más conocido para el cálculo del coeficiente K, es el de manguera de arrastre.

Para la evaluación de este factor en campo se hizo mediante la utilización de la fórmula de caída de presión de Atkinson y se utilizaron los siguientes equipos

• Tubos Pitot (2)

• Manguera de ¼ "(50 m)

• Testo 440 dpi

$$Hf = K \frac{CLQ^2}{A^3}$$

Donde:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Hf: Caída de presión total (Pa)

C: Perímetro del conducto (m)

L: Longitud del túnel (m)

V: Velocidad (ms⁄)

A: Área del ducto ($m2$), para las labores típicas de forma herradura se usan factores de corrección.

Q: Caudal de aire ($m3/s$)

K: Factor de fricción de Atkinson, corregida por la densidad de la mina ($Kg/m3$).

Para la determinación del perímetro (C) en una sección típica se usa la siguiente ecuación:

$$C = B + 1.5H + \frac{B}{2}\left[\sqrt{\frac{H^2}{B^2} + 1}\right] + \frac{B^2}{2H}\left[Ln\left(\frac{H}{B} + \sqrt{\frac{H^2}{B^2} + 1}\right)\right]$$

Donde:

C: Perímetro del conducto (m)

B: Ancho del conducto (m)

H: Altura del conducto (m)

a. Cálculo del factor “k”

Tabla 44.

Cálculo Factor K

Puntos	Zona	Pto monitoreo	HF (Hpa)	HF (Pa)	K(kg/m3)	B(m)	H(m)	C(m)	L(m)	Q (cfm)	Q (m3/s)	A (m2)
1	Yurika	VC-PM03	0.0145	1.45	0.0072989	4.3	4.20	15.51	50	76,311	36	17
2	Charo	VC-PM02	0.0056	0.56	0.01037810	4.5	4.20	15.89	50	41,832	20	18
3	Luisa	VC-PM13	0.0054	0.54	0.0094735	4.5	5.30	17.84	50	57,586	27	23
4	Pablo	VC-PM06	0.0075	0.75	0.0094623	4.3	3.90	14.98	50	43,866	21	16

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.7.6.7. Grado de calibración

Se compararon las velocidades del flujo de aire del modelo con las registradas en campo, utilizando diversos medios de regulación, tales como puertas, reguladores, obstrucciones, y cortinas. El software Ventsim Design cuenta con estas herramientas en sus opciones de edición.

Una vez creado el modelo detallado, se verificaron los valores de flujo (caudal) y la dirección del flujo, comparando los resultados del modelo con los datos de campo. A partir de esto, se calculó el porcentaje de variación empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Variacion}\ (\%) = \frac{\Sigma\text{Flujos Campo} - \Sigma\text{Flujos Simulado}}{\Sigma\text{Flujos Campo}} \times 100$$

En tablas a continuación se evalúa las estaciones principales y puntos intermedios de mina más relevantes, se observa la diferencia entre los caudales reales medidos en campo y los que se obtuvo mediante la simulación, presentándose la mayor variación en las chimeneas RB1 y RB2 de Virgen del Carmen, las cuales se encuentran inaccesibles por interior mina, ejecutándose la medición solo por superficie.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 45.
Cuadro Calibración por Caudales. Zona Ranichico

Ítem	Cod.	Ubicación	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto/ Diam. (m)	Área	Caudal medido in situ (cfm)	Caudal simulado (cfm)	Grado de calibración
INGRESOS									
1	R-PMI1	Bocamina Ranichico	1.80	4.25	4.60	18.57	70,806	69,127	2%
2	R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	5.10		1.90	2.84	30,626	31,430	3%
3	R-PMI13	RB 1 Pablo	3.90	3.80	3.70	13.36	110,331	118,306	7%
4	R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4.50	2.10	1.70	3.39	32,324	31,911	1%
5	R-PMI15	RB3 Rina	1.30		2.15	3.63	9,996	8,590	14%
6	R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	0.09	3.10	4.00	11.78	2,246	2,946	31%
7	R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	7.70		1.50	1.77	28,820	27,263	5%
8	R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	7.00		2.10	3.46	51,351	54,541	6%
9	R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	6.00		2.10	3.46	44,016	43,660	1%
10	R-PMS5	Bocamina Virgen del Carmen	0.19	3.47	3.67	12.10	4,869	4,587	6%
SALIDAS									
11	R-PMS6	RB 1 Virgen del Carmen	3.50		1.50	1.77	13,100	4,216	68%
12	R-PMS7	RB 2 Virgen del Carmen	3.70		1.65	2.14	16,757	4,674	72%
13	R-PMS1	RB 3 Luisa	30.60		1.50	1.77	114,530	115,501	1%
14	R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	26.00	4.10	4.45	17.33	169,843	172,229	1%
15	R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	2.70	4.00	4.50	17.10	94,569	98,920	5%

Ingresos	385,385	392,361
Salidas	408,798	395,540
Suma Total	794,183	787,901
Correlación Global	**1%**	

Nota. Elaboración Propia

Tabla 46.
Grado Calibración puntos interior mina

Codificación	Pto. Monitoreo	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m2)	Caudal medido in situ (cfm)	Caudal simulado (cfm)	Grado de calibración
PMS-PM01	Rampa 6961 - San Javier	0.11	5	5.5	26.13	6,087	6,756	11%
PMS-PM02	Acceso a Rampa Charo	1.1	4.5	4.2	17.96	41,832	40,041	4%
PMS-PM03	Referencia Rampa 1880 Yurika	2.1	4.3	4.2	17.16	76,311	79,525	4%
PMS-PM04	RETORNO DEL VE - 50 - 16	1.45	4.12	4.4	17.22	52,889	51,719	2%
PMS-PM05	RETORNO DEL VE - 50 - 3	1.4	4.4	4.8	20.06	59,494	55,354	7%
PMS-PM06	RETORNO DEL VE - 30 - 5	1.3	4.3	3.9	15.93	43,866	48,198	10%
PMS-PM07	NV 4524 MIRIAM RETORNON VE-50-5	1.4	4.4	5	20.9	61,973	66,067	7%
PMS-PM08	Rb 5 YURIKA - Superficie	3.1	4	4.5	17.1	112,275	118,730	6%
PMS-PM09	Rb 5 YURIKA - Superficie	0.4	4.4	5	20.9	17,706	22,912	29%
PMS-PM10	San Javier	0.12	3.34	2.5	7.93	2,016	4,425	119%
PMS-PM11	Cámara de Carguío 7	0.9	2.15	3.85	7.86	14,990	15,158	1%
PMS-PM12	Punto de monitoreo 0975 Ventilación tapón - Galería 1327 NE	0.17	3.3	3.75	11.76	4,233	4,152	2%
PMS-PM13	Acceso al RB3 Luisa	1.2	4.5	5.3	22.66	57,586	60,515	5%
PMS-PM14	Crucero Camila Pie RB1 ingreso	3.9	3.8	3.7	13.36	110,331	101,310	8%

Nota. Elaboración Propia

Tabla 47.

Cuadro Calibración Flujo Másico. Zona Ranichico

Codificación	Punto de medición	Altitud (msnm)	Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)	Depres. ts-th (°C)	Presión barométrica (kPa)	Humedad relativa %	Presión vapor sat. (kPa)	Presión vapor aire (kPa)	Densidad del aire (kg/m3)	Caudal Medido (cfm)	Caudal Medido (m3/s)	Caudal Másico (kg/s)	Caudal Másico Simulado (kg/s)	Grado de calibración
INGRESOS															
R-PMI1	Bocamina Ranichico	4524	8.8	2.3	6.50	58.89	66%	0.721	0.474	0.725	70,806	33	24.25	23.44	3%
R-PMI10	RB 2 Yurika - Superficie	4600	11.3	6.6	4.70	58.64	82%	0.974	0.797	0.715	30,626	14	10.33	10.55	2%
R-PMI13	RB1 Pablo - Crucero Camila Pie	4330	4.1	1.2	2.90	59.75	83%	0.666	0.554	0.748	110,331	52	38.97	39.44	1%
R-PMI14	RC 2 Pablo - Superficie	4610	5.0	0.4	4.60	57.85	73%	0.629	0.457	0.722	32,324	15	11.03	10.53	4%
R-PMI15	RB3 Rina	4515	7.8	2.4	5.40	58.84	72%	0.726	0.521	0.727	9,996	5	3.43	2.94	14%
R-PMI2	RB 1 Yurika - Superficie	4570	10.9	7.9	3.00	58.81	89%	1.065	0.951	0.717	2,246	1	0.76	0.99	30%
R-PMI5	RB 1 Luisa - V-10	4600	5.5	2.8	2.70	57.98	86%	0.747	0.646	0.722	28,820	14	9.82	9.12	7%
R-PMI7	RB 1 Charo - Superficie	4490	8.6	5.3	3.30	59.11	86%	0.890	0.765	0.727	51,351	24	17.63	18.57	5%
R-PMI8	RB 3 Yurika - Superficie	4610	9.0	6.3	2.70	58.31	89%	0.954	0.853	0.716	44,016	21	14.88	14.66	1%
R-PMS5	Bocamina Virgen del Carmen	4540	11.4	7.4	4.00	59.07	85%	1.029	0.877	0.719	4,869	2	1.65	1.55	6%
SALIDAS															
R-PMS6	RB 1 Virgen del Carmen	4680	2.0	0.1	1.90	57.01	89%	0.615	0.545	0.719	13,100	6	4.45	1.40	69%
R-PMS7	RB 2 Virgen del Carmen	4660	5.7	0.9	4.80	57.58	73%	0.652	0.474	0.717	16,757	8	5.67	1.56	73%
R-PMS1	RB3 LUISA	4560	8.0	3.2	4.80	58.55	76%	0.768	0.587	0.723	114,530	54	39.08	38.32	2%
R-PMS3	RC 4 Pablo - Superficie	4610	7.0	2.8	4.20	58.08	79%	0.747	0.590	0.720	169,843	80	57.70	57.85	0%
R-PMS4	RB5 Yurika - Superficie	4610	6.2	2.3	3.90	57.99	80%	0.721	0.575	0.720	94,569	45	32.17	32.99	3%
												Suma Total	271.84	263.91	
												Correlación Global	**2.9%**		

Nota. Elaboración Propia

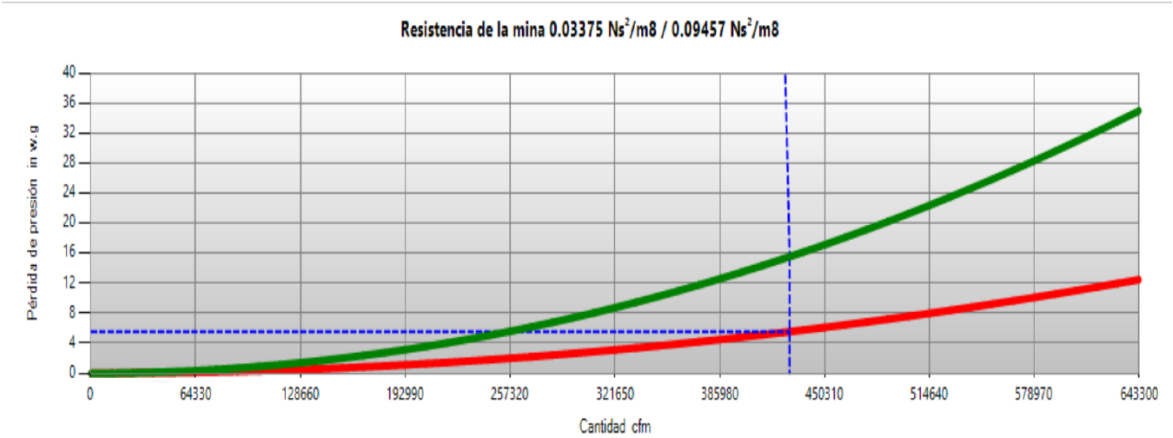
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.7.6.8. Resistencia de mina y pérdida de energía

A partir de la simulación se presenta la resistencia de mina y pérdidas de presión y energía por sección.

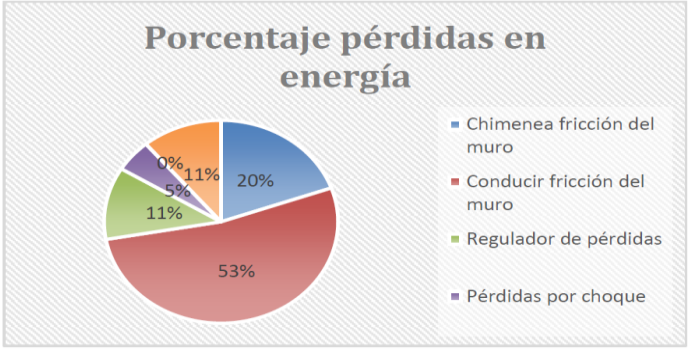
Figura 35.
Curva resistencia de mina



Nota. Elaboración Propia

Figura 36.
Porcentaje por sector de pérdidas de energía

	Pérdidas (hp)
Chimenea fricción del muro	231.7
Conducir fricción del muro	622.4
Regulador de pérdidas	136.4
Pérdidas por choque	61
Pérdidas por orificio	0
Pérdidas en la salida	131.3



Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.8. Diagnóstico y mejoras del Sistema de Ventilación

Corto plazo: Con base en el levantamiento en campo de los parámetros de ventilación de la U.M. PALLANCATA, se puede afirmar que estos cumplen con los requisitos establecidos en las normas vigentes, específicamente el Art. 246 del DS.024-2016 y su modificatoria DS.023-2017. No obstante, es importante señalar que algunos circuitos destinados a la extracción de aire viciado requieren mejoras, tanto en el caudal como, especialmente, en la dirección y el sentido del flujo. Este último aspecto resulta el más crítico. Se presenta la siguiente información que se realizó:

Veta Charo

El sentido del flujo de aire viciado es expulsado por el crucero inclinado CX 1870SE hasta la RP 1870, todo el recorrido mencionado es ingreso del personal; cuando se realiza disparos en labores pertenecientes a esta veta, todo el gas generado demora en salir ya que es muy lento y sobre todo va en sentido contrario al ingreso del personal, lo mencionado genera tiempos improductivos de hasta 40 minutos cuando ingresa personal del siguiente turno y se encuentra con presencia de gas por encima del LMP; para mejorar caudal e invertir sentido del flujo se está realizando en el corto plazo las siguientes acciones:

a) Se instala el ventilador de 100,000 cfm en la RP 6961 como extractor, aire viciado debe salir por la chimenea RB3 Rina tal como se muestra en imagen adjunta.

b) Se ejecuta una chimenea de 14 metros de longitud y sección de 1.5 m x 1.5 m, desde la RP (-)0981 a la GL 0920SW.

c) Se coloca el tapón hermético al este de la comunicación de la chimenea mencionada en ítem anterior.

Veta San Javier

Gases de disparo que se realizan en labores de veta son expulsados en sentido contrario al ingreso del personal que trabaja en esta zona, lo más crítico a mencionar es que gases generados por disparo y equipos Diesel salen hasta la RP 1711, rampa en mención es ingreso de aire limpio del circuito principal que proviene desde bocamina Ranichico e ingresa a labores de Pablo y Yurika, para mejorar caudal e invertir sentido del flujo se realiza lo siguiente:

a) Se integra al extractor de 100,000 cfm que se instaló en RP (-)6961 según descripción que se realizó en ítem (a) de veta Charo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Se coloca un tapón con regulador en RP (-)6961 antes de AC 1394; regulador mencionado debe tener un diámetro de 30" para paso de aire viciado que se genera en esta zona y sea evacuado hasta superficie a través de chimenea RB3 Rina.

Veta Rina

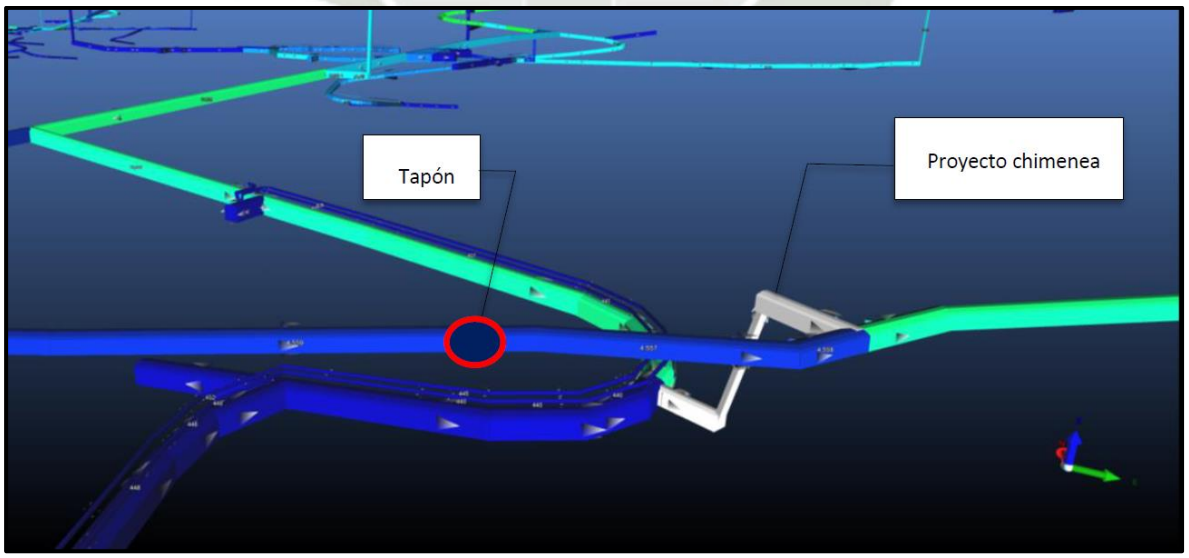
En zona Rina los gases de disparo son expulsados en sentido contrario al ingreso del personal, gases suben por la rampa principal de ingreso. Para invertir sentido del flujo de aire viciado se realiza lo siguiente:

a) Se limpia el acceso al pie del RB3 Rina, mencionado se encuentra lleno de lodo y carga de igual manera el pie de mencionada chimenea se encuentra tapado.

b) Instalamos un ventilador extractor de 50,000 cfm en acceso al pie del RB3 Rina, lo mencionado para evacuar hasta superficie aire viciado que se genera en disparos o con equipos Diesel.

Nota: Ventiladores propuestos deben trabajar en forma simultánea luego de disparos, lo mencionado para evitar recirculación de aire, en todo caso se debe colocar compuertas mariposa en ventiladores.

Figura 37.
Proyecto chimenea, corto plazo

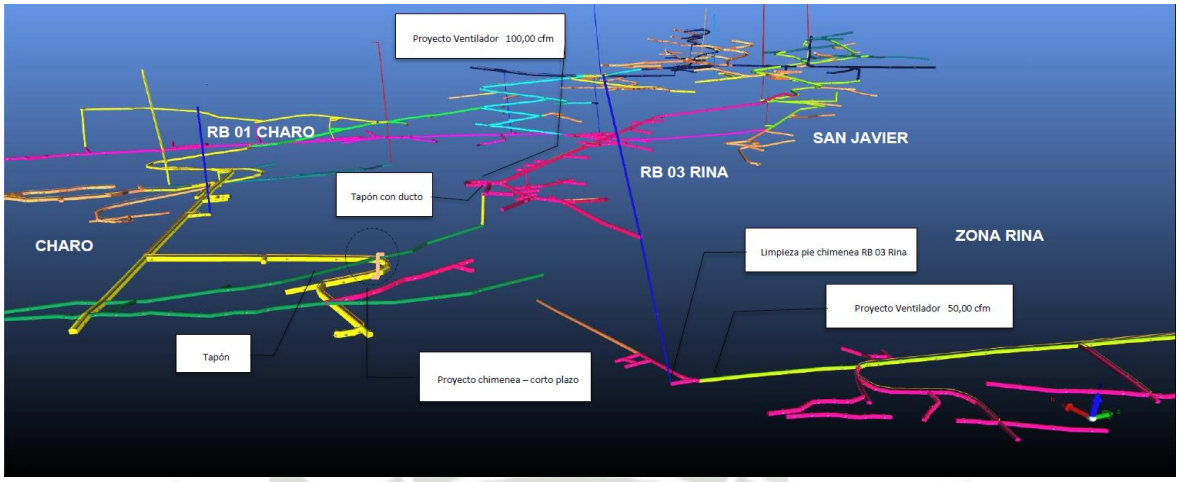


Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 38.
Proyecto a corto plazo



Nota. Elaboración Propia

De las propuestas a corto plazo se presenta la mejora en cobertura proyectada de la mina, tablas a continuación muestra los cálculos realizados referidos a veta Charo, San Javier y Rina.

Tabla 48.

Requerimiento de aire local "charo"

Requerimiento de aire local "Charo"							
Equipo / Personal	**Necesidad aire por HP / persona**	**Potencia Nominal**	**Potencia Efectiva**	**Cantidad**	**Simultaneidad**	**Necesidad de aire (m3/min)**	**Necesidad de aire (cfm)**
Scooptramp	3	279	195	1	0.9	527	18,614
Volquete	3	480	336	2	0.5	1,008	35,582
							54,196
Personal	6			8		48	1,694
							1,694
					Necesidad aire local "Charo"		**55,891**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 49.

Cobertura proyectada a corto plazo "Charo"

Cobertura de aire local "Charo"			
Condicion	**Ingreso de aire (cfm)**	**Necesidad de aire (cfm)**	**Cobertura**
Actual	40,581	55,891	73%
Proyectado corto plazo	62,817	55,891	112%

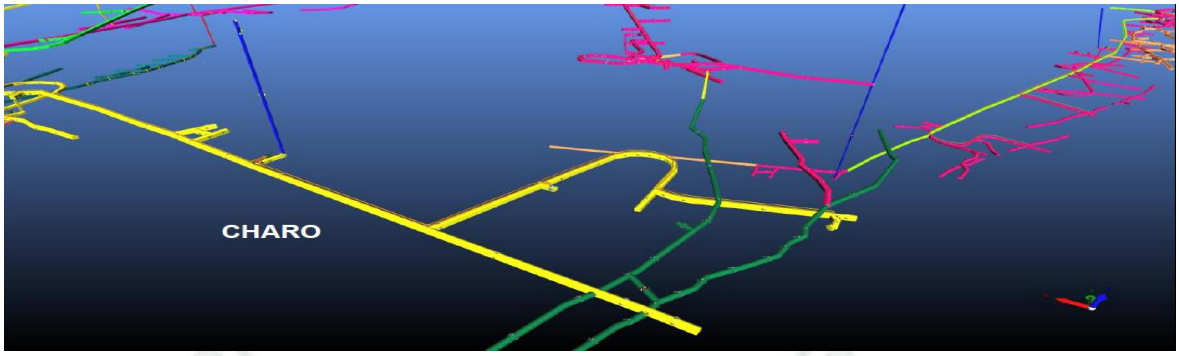
Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 39.
Simulación Ventsim proyecto a corto plazo "Charo"



Nota. Elaboración Propia

3.8.1. Resultado de necesidad de ventilación:

- Según levantamiento de campo realizado se tiene que caudal total de aire medido que ingresa a mina en la zona de Ranichico es de 385,385 cfm, siendo el requerido de 381,386 cfm, se tiene una cobertura de 101% por lo que se considera que se cumple con el requerimiento de aire total.

- En la zona de Ranichico se midió un caudal de ingreso de 385,385 cfm y de salida de 408,798 cfm, la variación entre ingreso y salida es de 6%, valor mencionado se encuentra dentro del rango permitido.

- Luego de calibrar el modelo de ventilación de la zona de Ranichico en el software Ventsim se realizó la correlación entre el total de ingreso y salida medido en campo y lo simulado en modelo, dándonos una variación de 1%, valor que se encuentra dentro de parámetros solicitados en estudio.

- En levantamiento de caudales realizado en la zona de Pallancata Este, se obtuvo un caudal de ingreso de aire a Mina de 121,647 cfm, siendo el requerido de 47,497 cfm, se tiene una cobertura de 239%, la alta cobertura que se tiene se debe al mínimo uso de equipos Diésel en dicha zona.

- Al realizar levantamiento de campo en la zona de Pallancata Oeste y medir el caudal de aire que ingresa a mina se obtuvo 193,791 cfm, siendo el requerido 95,510 cfm, con lo cual se obtiene una cobertura de 203%; la alta cobertura se debe al mínimo uso de equipos Diésel, ya que zona en mención solo viene realizando trabajos de recuperación de mineral en algunos puntos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- En levantamiento de caudales de la Zona Rina se midió ingreso de aire de 33,567 cfm siendo su requerimiento 26,862 cfm, donde se obtuvo una cobertura de 125%, zona en mención no utiliza su chimenea RB 03, ya que se encuentra bloqueada en el pie de chimenea. Aire viciado de zona es expulsado por bocamina principal de ingreso.

- En visita de campo, se evidenció que en las cuatro zonas de minado de la U.M. Pallancata se cuenta con puntos de monitoreo, para el control del circuito de ventilación; por tal motivo, se recomienda mantener puntos mencionados; para que puedan ser visibles a auditores y/o fiscalizadores u otra persona que requiera de dicha información.

- Se evidenció tapones de sistema de ventilación auxiliar en muchos puntos no se encuentran herméticos, se debe mejorar el hermetizado en dichos tapones sobre todo en donde se cuenta con ventiladores.

- Acceso al pie del RC4 de Pablo por BP 4370W se encuentra con desmonte acumulado, lo mencionado genera resistencia, se debe realizar limpieza de desmonte acumulado y mantenerlo limpio.

- Aire viciado de disparo en circuito de Charo por CX1870SE es expulsado por todo el acceso de ingreso del personal, lo cual genera retrasos en ingreso del personal por encontrarse zona sobre los LMP.

- Aire viciado del circuito de San Javier, retorna por la RP (-)6961 hasta RP1711, esta última es ingreso principal de aire limpio, por lo mencionado se contamina ingreso de aire limpio, es necesario invertir circuito de salida de aire viciado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Todos los resultados y datos mencionados serán en base a la zona Ranichico, donde se realizaron las mejoras en el circuito de ventilación.

Tabla 50.

Abreviaturas de indicadores

Siglas	Descripción	Unidades
MPD	Metros perforados por día	m/día
TPD	Toneladas por día extraídos	T/día
Q	Caudal de ventilación	pie3/minuto
$/KW-H	Costo de potencia por hora	USD/Kwatts-Hora
$/T	Costo por tonelada extraída	USD/T

Nota. Elaboración Propia

Se muestra las abreviaturas a utilizar en la tesis

Tabla 51.

Parámetros del segundo trimestre

Mes	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
Mes 1	1,509.87	2,922.42	375,256	0.035	11.22
Mes 2	1,508.29	2,931.53	376,397	0.034	11.20
Mes 3	1,512.50	2,916.09	374,018	0.035	11.19
Total	**1,510**	**2,923**	**375,224**	**0.035**	**11.20**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de los meses de abril, mayo y junio del 2023, zona Ranichico.

Tabla 52.

Parámetros del tercer trimestre

Mes	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
Mes 1	1,696.94	3,374.58	418,715	0.039	10.26
Mes 2	1,695.45	3,363.27	415,555	0.038	10.23
Mes 3	1,686.57	3,356.03	419,095	0.038	10.21
Total	**1,693**	**3,365**	**417,788**	**0.038**	**10.23**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de consumo de los meses de julio, agosto y septiembre del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 53.

Parámetros abril 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/04/2023	1,510	2,963	381,603	0.035	11.14
2/04/2023	1,543	2,925	382,891	0.034	11.03
3/04/2023	1,527	2,871	373,786	0.035	11.39
4/04/2023	1,536	2,888	372,965	0.035	11.14
5/04/2023	1,543	2,860	367,047	0.034	11.47
6/04/2023	1,484	2,917	379,480	0.035	11.10
7/04/2023	1,490	2,932	371,477	0.034	11.09
8/04/2023	1,506	2,985	369,472	0.034	11.05
9/04/2023	1,484	2,890	385,112	0.035	11.17
10/04/2023	1,484	2,920	376,739	0.034	11.26
11/04/2023	1,509	2,899	371,619	0.034	11.24
12/04/2023	1,534	2,906	370,463	0.035	11.45
13/04/2023	1,510	2,952	366,483	0.035	11.43
14/04/2023	1,478	2,979	384,940	0.035	11.38
15/04/2023	1,509	2,873	371,310	0.034	11.37
16/04/2023	1,514	2,997	382,494	0.034	11.15
17/04/2023	1,473	2,889	372,903	0.034	11.31
18/04/2023	1,501	2,889	385,067	0.035	11.05
19/04/2023	1,477	2,925	378,552	0.035	11.27
20/04/2023	1,491	2,994	375,169	0.035	11.41
21/04/2023	1,542	2,853	373,273	0.035	10.99
22/04/2023	1,504	2,982	372,393	0.034	11.22
23/04/2023	1,544	2,887	380,179	0.034	11.35
24/04/2023	1,531	2,901	369,430	0.035	11.12
25/04/2023	1,539	2,883	367,090	0.035	11.08
26/04/2023	1,505	2,938	380,209	0.034	11.03
27/04/2023	1,533	2,887	372,766	0.034	10.94
28/04/2023	1,494	2,901	371,426	0.034	11.29
29/04/2023	1,504	3,000	379,837	0.035	11.25
30/04/2023	1,497	2,988	371,516	0.035	11.45
Promedio	**1,510**	**2,922**	**375,256**	**0.03453333**	**11.22**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de abril del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 54.

Parámetros mayo 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/05/2023	1,472	2,943	375,810	0.034	10.94
2/05/2023	1,470	2,904	379,574	0.035	11.34
3/05/2023	1,489	2,962	382,162	0.034	11.33
4/05/2023	1,541	2,956	366,776	0.035	11.19
5/05/2023	1,543	2,945	384,900	0.035	11.09
6/05/2023	1,470	2,938	377,749	0.034	11.25
7/05/2023	1,518	2,937	374,075	0.034	11.15
8/05/2023	1,543	2,872	371,308	0.034	11.38
9/05/2023	1,470	2,918	381,766	0.035	11.42
10/05/2023	1,543	2,913	385,018	0.034	11.08
11/05/2023	1,519	2,935	371,527	0.034	11.35
12/05/2023	1,501	2,952	368,938	0.034	11.42
13/05/2023	1,527	2,971	379,553	0.035	10.94
14/05/2023	1,494	2,909	375,399	0.034	11.48
15/05/2023	1,481	2,996	383,749	0.034	11.13
16/05/2023	1,502	2,999	376,731	0.034	11.21
17/05/2023	1,529	2,903	384,359	0.035	11.12
18/05/2023	1,479	2,945	371,148	0.035	11.45
19/05/2023	1,532	2,950	370,219	0.035	10.95
20/05/2023	1,531	2,912	374,094	0.035	10.96
21/05/2023	1,490	2,930	380,050	0.034	11.25
22/05/2023	1,500	2,900	381,656	0.034	11.07
23/05/2023	1,528	2,923	382,879	0.034	11.15
24/05/2023	1,518	2,891	384,187	0.035	11.15
25/05/2023	1,527	2,973	371,220	0.034	11.32
26/05/2023	1,487	2,852	370,601	0.035	10.94
27/05/2023	1,538	2,862	368,787	0.034	11.49
28/05/2023	1,531	2,954	368,865	0.034	11.09
29/05/2023	1,484	2,911	370,880	0.034	11.27
30/05/2023	1,527	2,996	375,324	0.035	11.43
31/05/2023	1,473	2,926	379,000	0.035	10.94
Promedio	**1,508**	**2,932**	**376,397**	**0.034**	**11.20**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de mayo del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 55.

Parámetros junio 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/06/2023	1,531	2,863	372,809	0.034	11.02
2/06/2023	1,499	2,869	384,563	0.034	11.36
3/06/2023	1,506	2,938	366,894	0.035	11.05
4/06/2023	1,533	2,872	376,874	0.035	11.11
5/06/2023	1,537	2,911	376,961	0.034	10.98
6/06/2023	1,515	2,967	371,895	0.034	11.11
7/06/2023	1,538	2,894	370,138	0.035	11.29
8/06/2023	1,529	2,892	377,299	0.035	10.94
9/06/2023	1,543	2,925	366,518	0.035	11.14
10/06/2023	1,543	2,860	380,103	0.035	11.50
11/06/2023	1,516	2,922	371,275	0.034	11.15
12/06/2023	1,507	2,886	373,517	0.035	11.33
13/06/2023	1,527	2,924	377,951	0.034	11.05
14/06/2023	1,528	2,869	373,881	0.035	11.05
15/06/2023	1,496	2,877	384,884	0.035	11.23
16/06/2023	1,537	2,884	366,444	0.035	11.36
17/06/2023	1,510	2,972	366,605	0.034	11.29
18/06/2023	1,499	2,920	375,154	0.035	11.09
19/06/2023	1,477	2,910	383,720	0.034	11.26
20/06/2023	1,469	2,972	367,814	0.035	11.21
21/06/2023	1,483	2,915	367,681	0.034	11.32
22/06/2023	1,535	2,876	377,469	0.034	11.35
23/06/2023	1,539	2,872	377,564	0.034	11.44
24/06/2023	1,483	2,954	377,854	0.035	10.94
25/06/2023	1,543	2,946	367,401	0.035	11.30
26/06/2023	1,473	2,976	366,514	0.035	11.37
27/06/2023	1,526	2,950	371,161	0.035	11.27
28/06/2023	1,479	2,988	374,000	0.034	11.02
29/06/2023	1,494	2,973	378,710	0.034	11.11
30/06/2023	1,480	2,904	376,894	0.035	10.97
Promedio	**1,513**	**2,916**	**374,018**	**0.03456667**	**11.19**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de junio del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 56.

Parámetros julio 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/07/2023	1,705	3,340	415,295	0.039	10.16
2/07/2023	1,732	3,439	428,564	0.039	10.20
3/07/2023	1,701	3,384	423,901	0.038	10.41
4/07/2023	1,664	3,321	417,892	0.039	10.23
5/07/2023	1,667	3,298	411,840	0.039	10.42
6/07/2023	1,677	3,433	414,356	0.039	10.07
7/07/2023	1,714	3,325	411,322	0.038	10.16
8/07/2023	1,690	3,422	412,229	0.039	10.30
9/07/2023	1,699	3,402	412,965	0.039	10.22
10/07/2023	1,720	3,289	421,191	0.039	10.46
11/07/2023	1,684	3,284	421,792	0.038	10.31
12/07/2023	1,661	3,378	412,092	0.038	10.24
13/07/2023	1,720	3,377	427,504	0.038	10.25
14/07/2023	1,682	3,424	414,498	0.038	10.33
15/07/2023	1,723	3,436	408,654	0.039	10.32
16/07/2023	1,669	3,386	426,357	0.039	10.29
17/07/2023	1,703	3,333	425,411	0.039	10.14
18/07/2023	1,729	3,436	424,330	0.038	10.38
19/07/2023	1,720	3,433	420,179	0.039	10.49
20/07/2023	1,732	3,299	427,083	0.038	10.46
21/07/2023	1,685	3,370	416,487	0.038	10.14
22/07/2023	1,665	3,283	419,422	0.038	10.22
23/07/2023	1,656	3,408	418,550	0.039	10.16
24/07/2023	1,732	3,394	421,513	0.038	10.11
25/07/2023	1,681	3,413	418,356	0.038	10.25
26/07/2023	1,675	3,412	420,410	0.038	10.34
27/07/2023	1,698	3,380	408,545	0.039	10.38
28/07/2023	1,723	3,437	417,331	0.039	10.06
29/07/2023	1,728	3,378	417,205	0.038	10.20
30/07/2023	1,693	3,355	417,362	0.038	10.00
31/07/2023	1,677	3,343	427,522	0.039	10.43
Promedio	**1,697**	**3,375**	**418,715**	**0.039**	**10.26**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de julio del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 57.

Parámetros agosto 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/08/2023	1,689	3,410	413,515	0.039	10.12
2/08/2023	1,685	3,312	411,680	0.038	10.16
3/08/2023	1,721	3,418	411,578	0.038	10.41
4/08/2023	1,695	3,331	409,828	0.039	10.25
5/08/2023	1,676	3,364	415,396	0.038	10.19
6/08/2023	1,724	3,360	410,284	0.038	10.07
7/08/2023	1,679	3,305	411,936	0.039	10.23
8/08/2023	1,699	3,423	417,754	0.038	10.10
9/08/2023	1,663	3,389	422,452	0.038	10.17
10/08/2023	1,674	3,373	414,448	0.039	10.46
11/08/2023	1,725	3,304	410,118	0.038	10.07
12/08/2023	1,698	3,419	409,035	0.038	10.13
13/08/2023	1,709	3,344	413,732	0.039	10.13
14/08/2023	1,717	3,357	409,860	0.038	10.50
15/08/2023	1,720	3,298	410,057	0.038	10.10
16/08/2023	1,685	3,432	410,723	0.038	10.08
17/08/2023	1,676	3,352	423,497	0.039	10.10
18/08/2023	1,717	3,290	416,860	0.038	10.49
19/08/2023	1,677	3,311	416,084	0.038	10.22
20/08/2023	1,699	3,403	412,134	0.039	10.11
21/08/2023	1,675	3,363	413,471	0.038	10.38
22/08/2023	1,718	3,349	420,036	0.038	10.20
23/08/2023	1,654	3,430	426,938	0.039	10.03
24/08/2023	1,694	3,387	411,595	0.038	10.21
25/08/2023	1,655	3,421	428,301	0.038	10.24
26/08/2023	1,713	3,297	418,733	0.039	10.03
27/08/2023	1,719	3,290	427,509	0.039	10.40
28/08/2023	1,679	3,417	408,689	0.038	10.40
29/08/2023	1,715	3,282	417,984	0.038	10.30
30/08/2023	1,708	3,428	428,690	0.039	10.49
31/08/2023	1,701	3,401	409,286	0.038	10.24
Promedio	**1,695**	**3,363**	**415,555**	**0.038**	**10.23**

Nota. Elaboración Propia

Parámetros de agosto del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 58.

Parámetros septiembre 2023

Fecha	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
1/09/2023	1,679	3,431	424,569	0.038	10.50
2/09/2023	1,730	3,296	414,289	0.039	10.30
3/09/2023	1,674	3,438	420,955	0.039	10.16
4/09/2023	1,666	3,368	427,719	0.038	10.37
5/09/2023	1,696	3,294	410,420	0.039	10.23
6/09/2023	1,670	3,366	415,844	0.039	10.07
7/09/2023	1,732	3,404	428,245	0.038	10.25
8/09/2023	1,660	3,311	421,806	0.038	10.09
9/09/2023	1,686	3,410	416,458	0.038	10.25
10/09/2023	1,651	3,384	409,270	0.038	10.20
11/09/2023	1,653	3,318	417,847	0.039	10.10
12/09/2023	1,700	3,298	419,355	0.039	10.11
13/09/2023	1,722	3,316	426,881	0.039	10.30
14/09/2023	1,718	3,418	428,501	0.038	10.17
15/09/2023	1,678	3,359	421,932	0.038	10.11
16/09/2023	1,673	3,383	410,665	0.038	10.45
17/09/2023	1,665	3,420	424,794	0.039	10.00
18/09/2023	1,651	3,340	424,592	0.038	10.20
19/09/2023	1,710	3,343	411,131	0.038	10.39
20/09/2023	1,726	3,363	428,377	0.039	10.01
21/09/2023	1,710	3,290	416,043	0.038	10.27
22/09/2023	1,691	3,412	426,027	0.038	10.08
23/09/2023	1,659	3,337	427,844	0.038	10.01
24/09/2023	1,691	3,381	408,935	0.039	10.12
25/09/2023	1,657	3,298	409,502	0.038	10.48
26/09/2023	1,687	3,353	409,167	0.039	10.00
27/09/2023	1,709	3,379	428,809	0.038	10.07
28/09/2023	1,670	3,364	415,958	0.039	10.35
29/09/2023	1,670	3,293	411,685	0.039	10.28
30/09/2023	1,713	3,314	415,231	0.039	10.46
Promedio	**1,687**	**3,356**	**419,095**	**0.03846667**	**10.21**

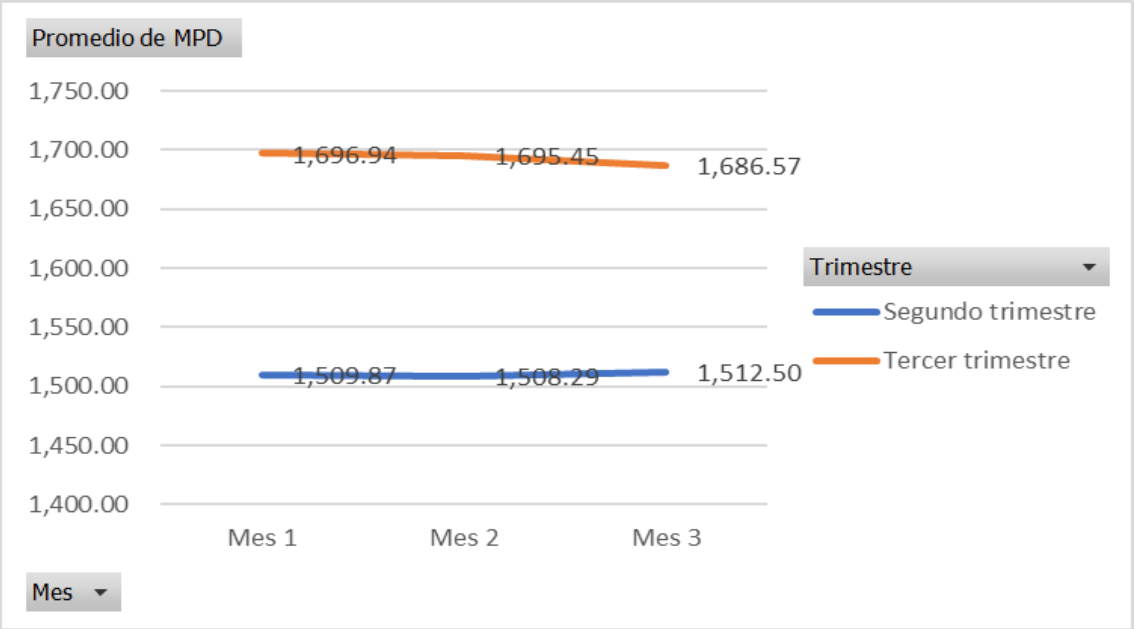
Nota. Elaboración Propia

Parámetros de septiembre del 2023, zona Ranichico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

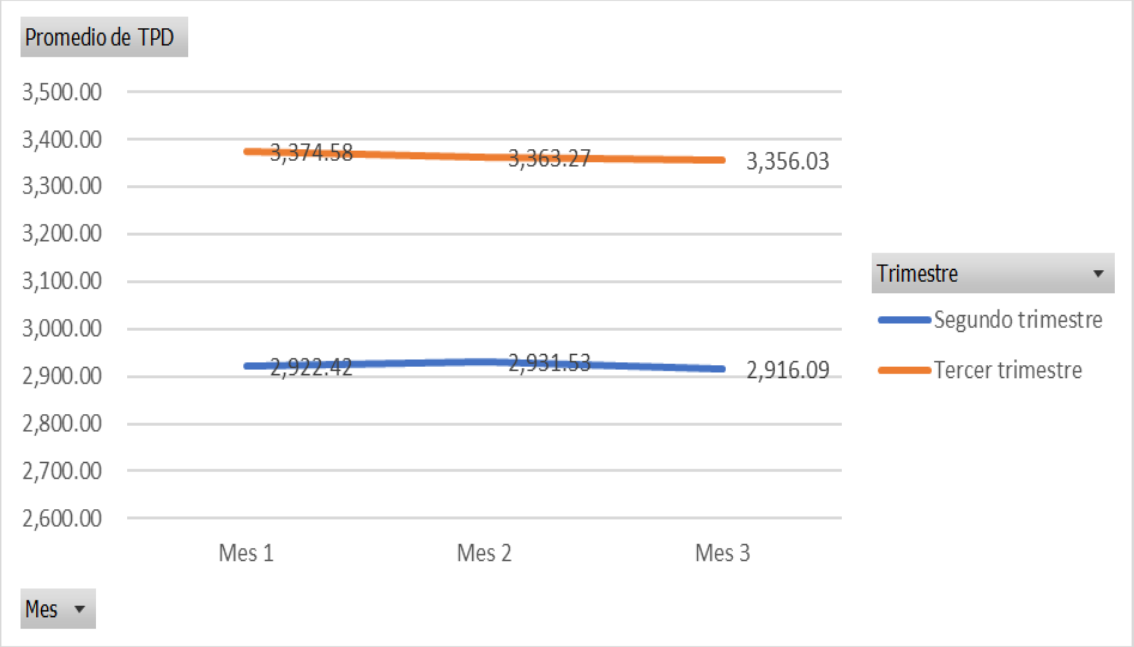
Figura 40.
Metros perforados por día



Nota. Elaboración Propia

Metros perforados por día de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 41.
Toneladas por día



Nota. Elaboración Propia

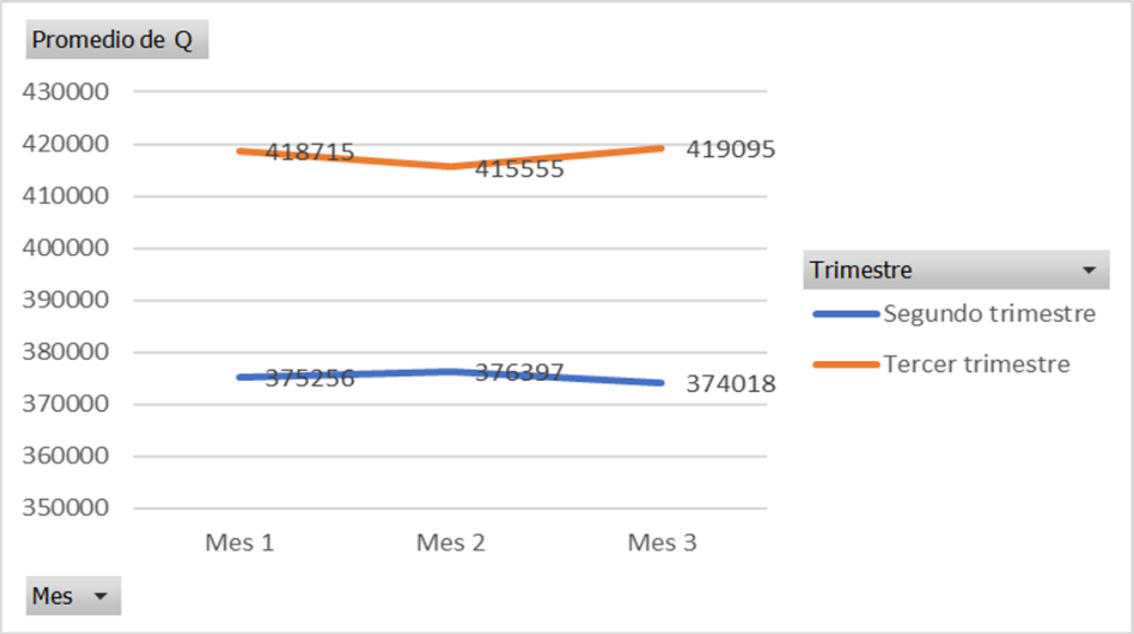
Toneladas por día de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

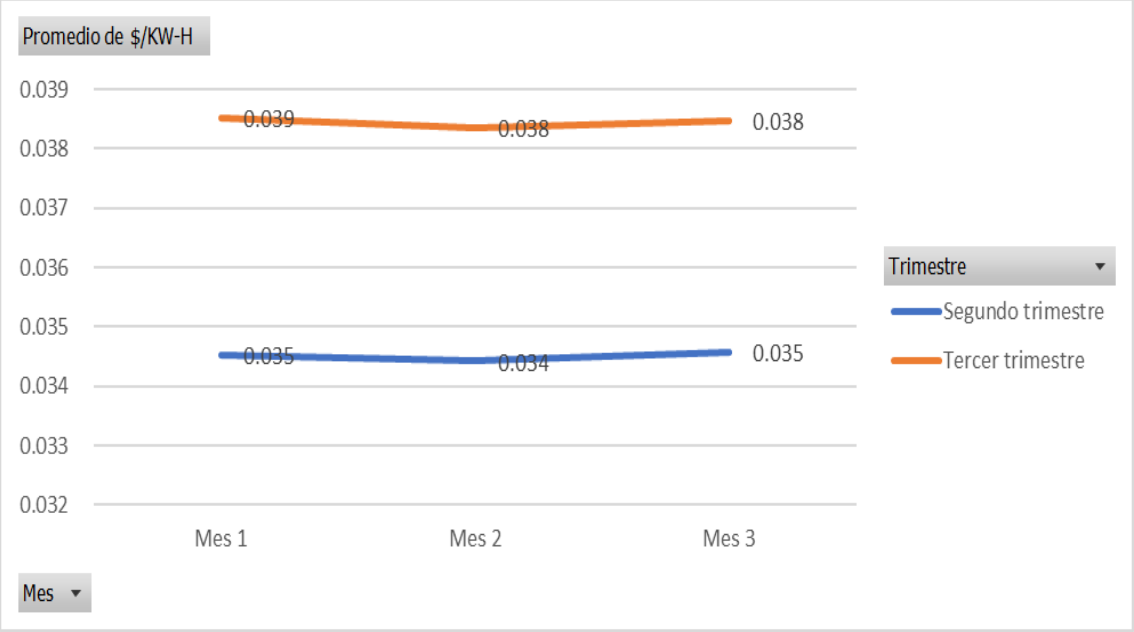
Figura 42.
Caudal de aire en pie cúbico por minuto



Nota. Elaboración Propia

Caudal de aire en pie cúbico por minuto de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 43.
Costo de ventilación



Nota. Elaboración Propia

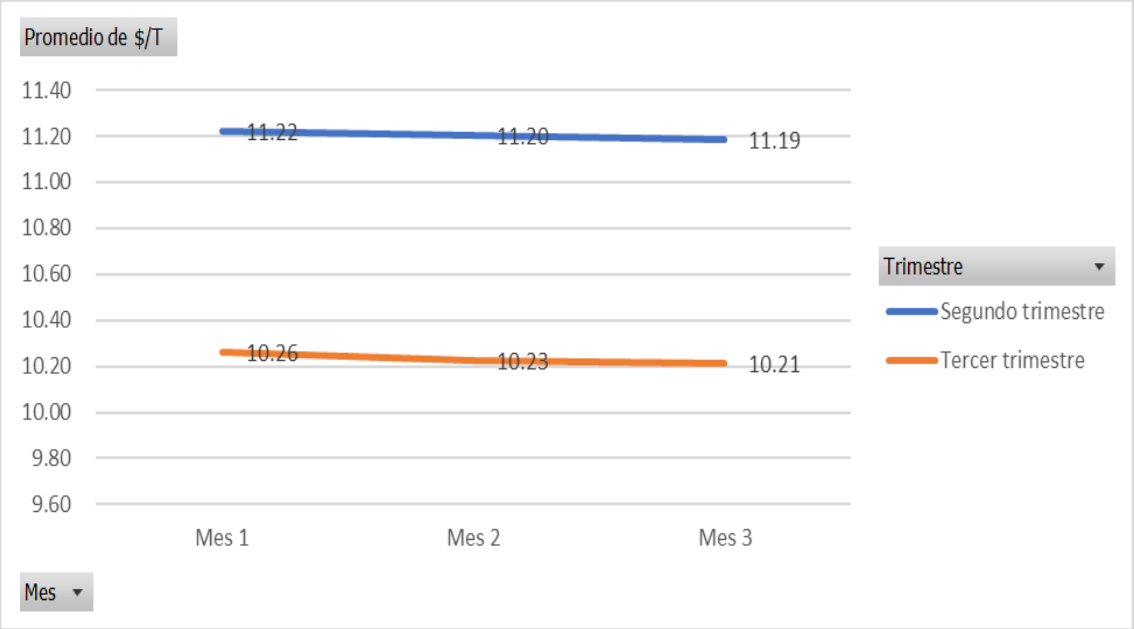
Costo de ventilación de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

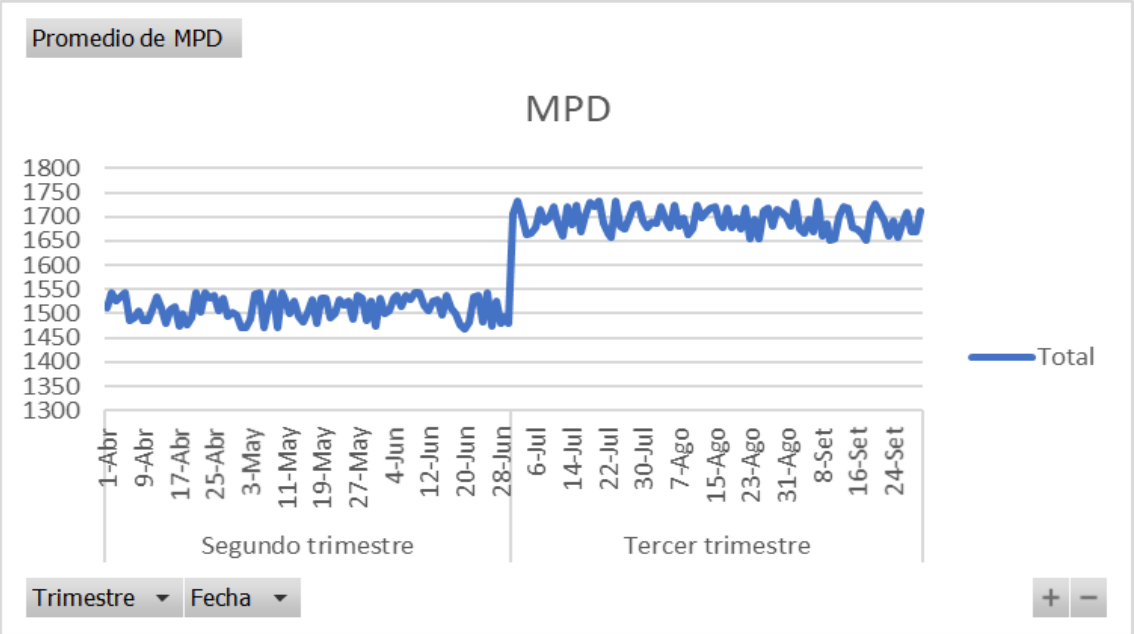
Figura 44.
Costo de producción



Nota. Elaboración Propia

Costo de producción de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 45.
Metros perforados por día



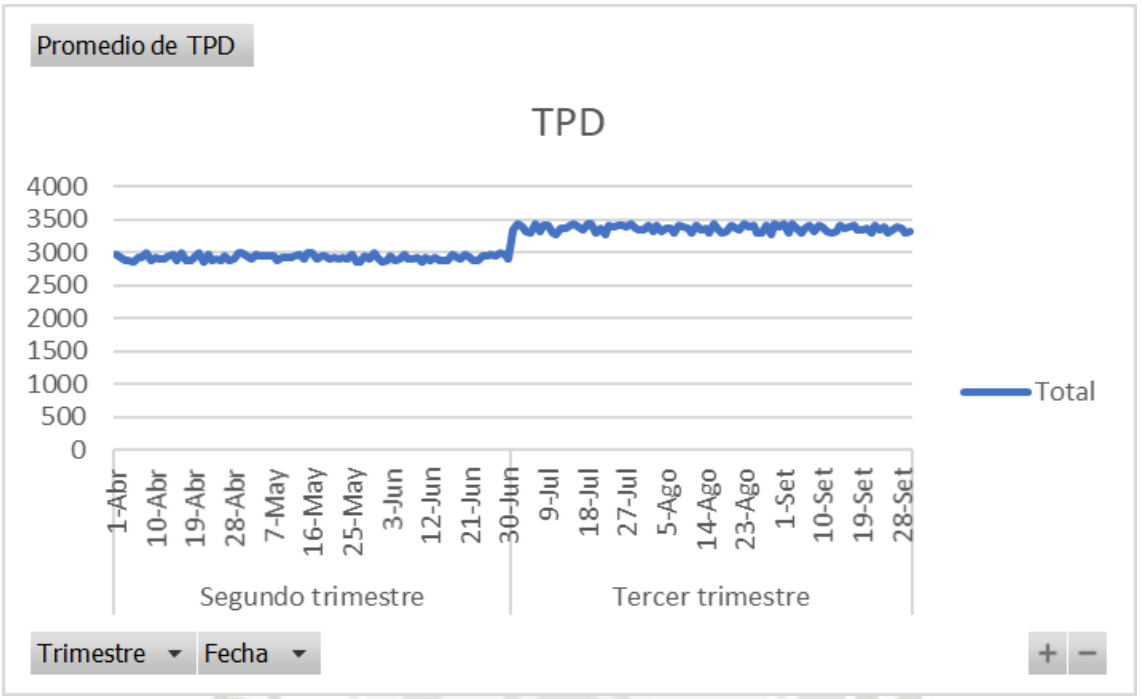
Nota. Elaboración Propia

Metros perforados por día del segundo y tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

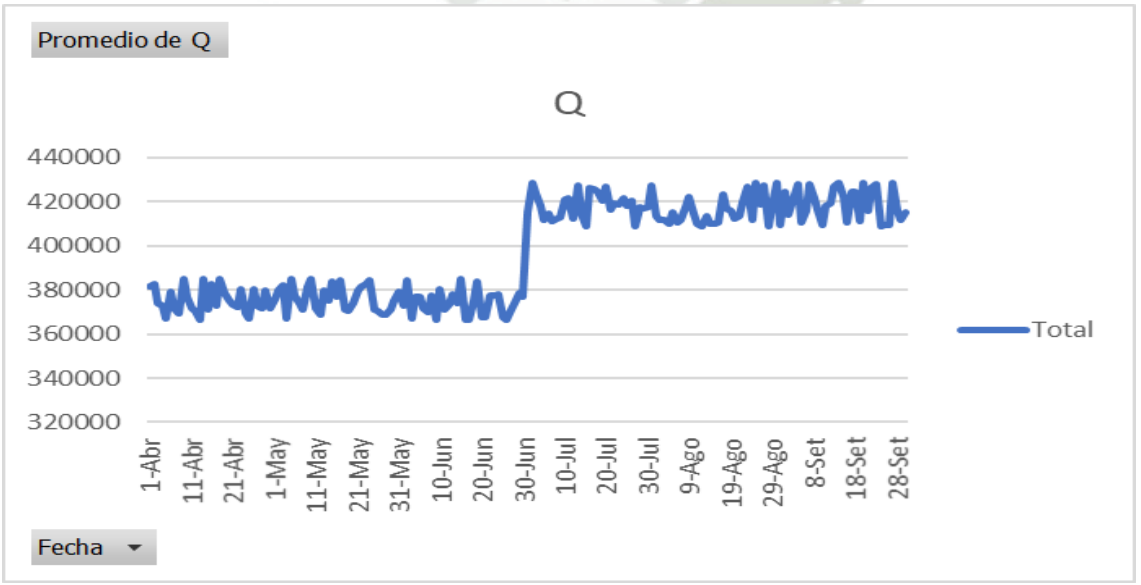
Figura 46.
Producción por día



Nota. Elaboración Propia

Producción por día del segundo y tercer trimestre del 2023.

Figura 47.
Caudal de aire en pie cúbico por minuto



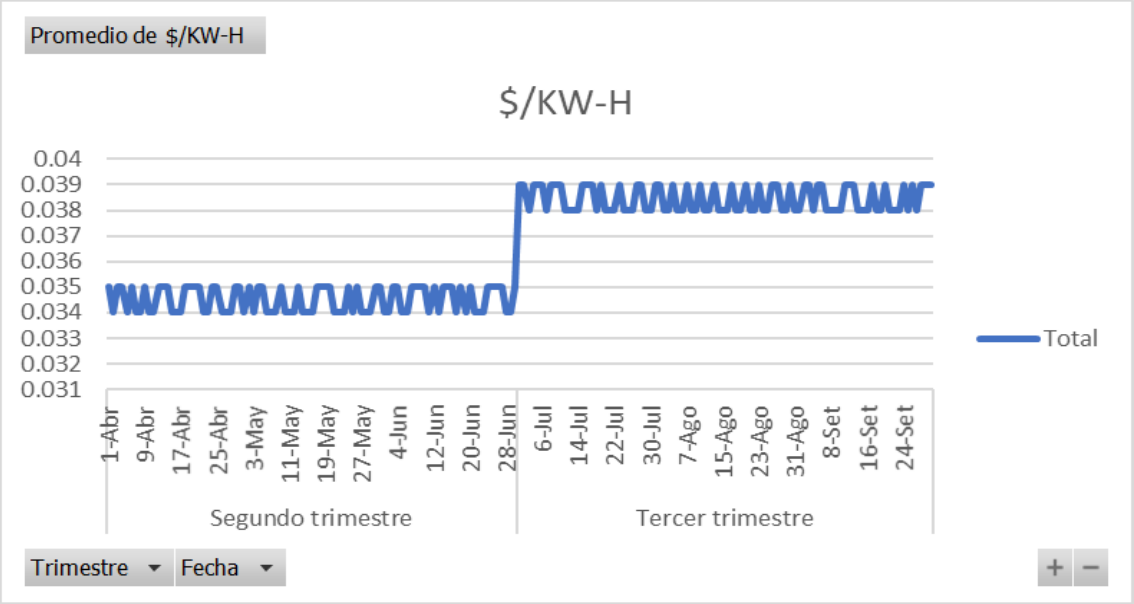
Nota. Elaboración Propia

Caudal de aire en pie cúbico por minuto del segundo y tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

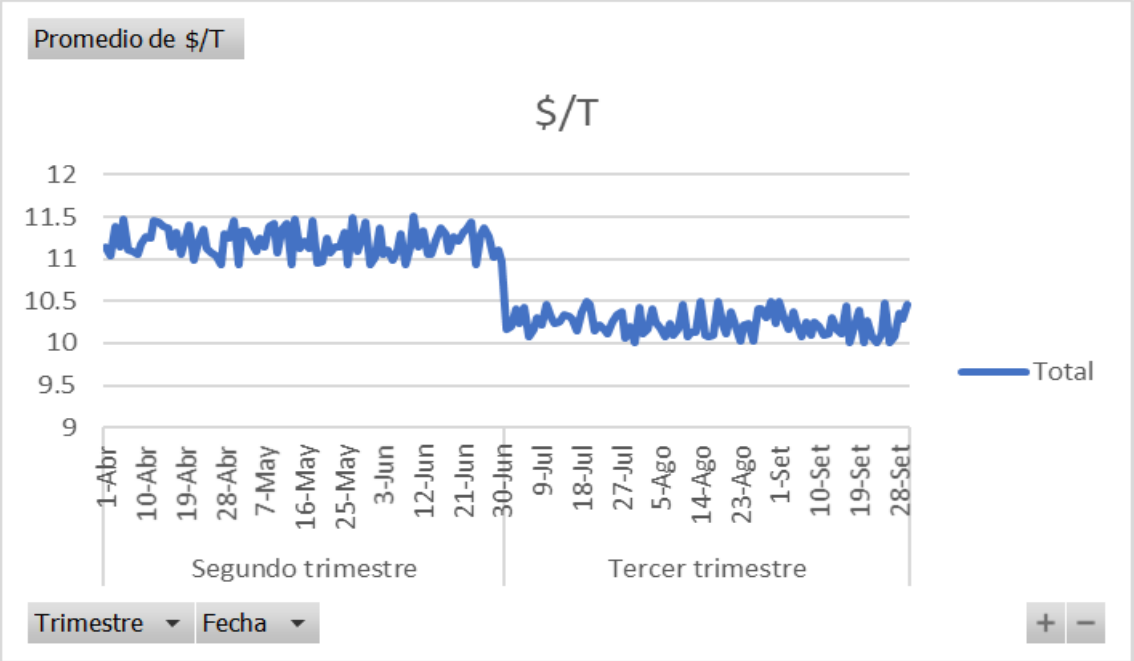
Figura 48.
Costo de ventilación



Nota. Elaboración Propia

Costo de ventilación del segundo y tercer trimestre del 2023.

Figura 49.
Costo de producción



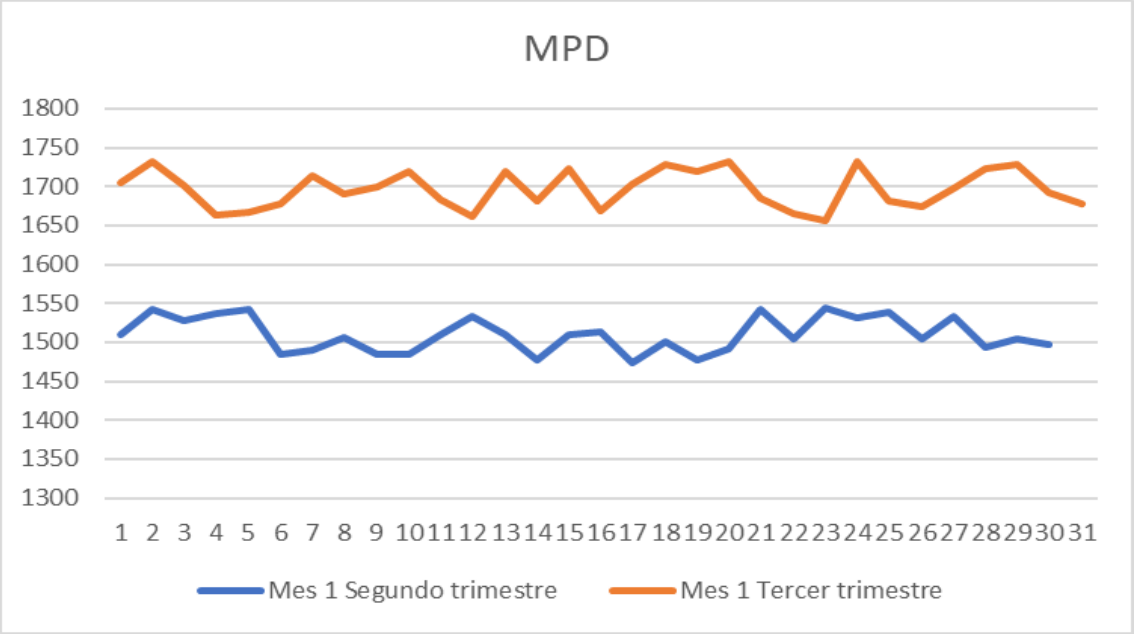
Nota. Elaboración Propia

Costo de producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

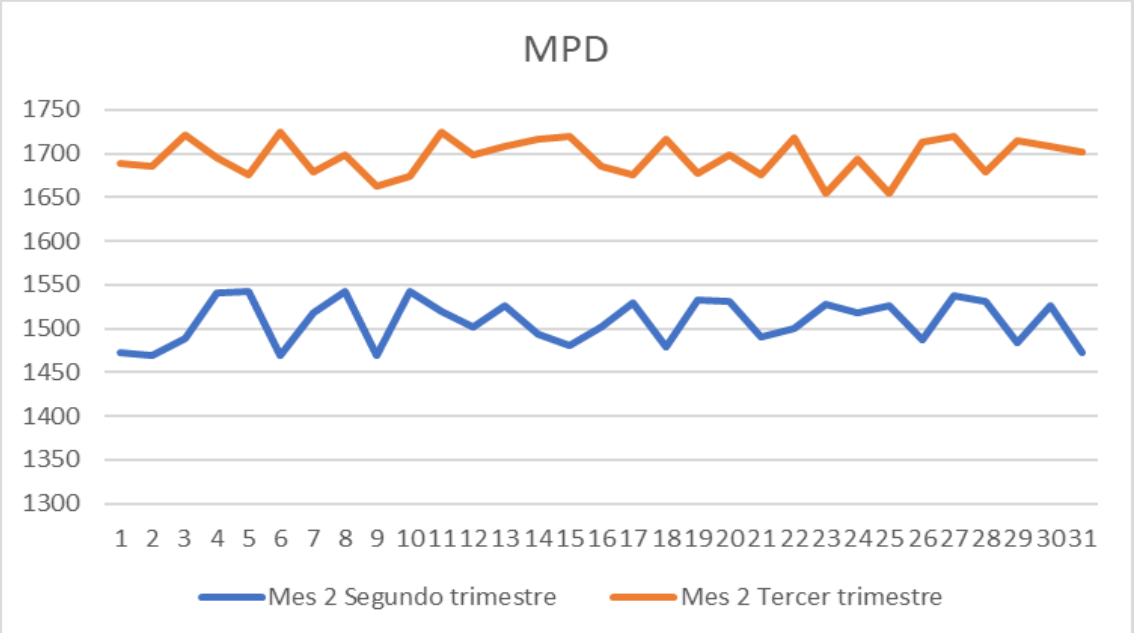
Figura 50.
Metros perforados por día mes 1



Nota. Elaboración Propia

Metros perforados por día del mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 51.
Metros perforados por día mes 2



Nota. Elaboración Propia

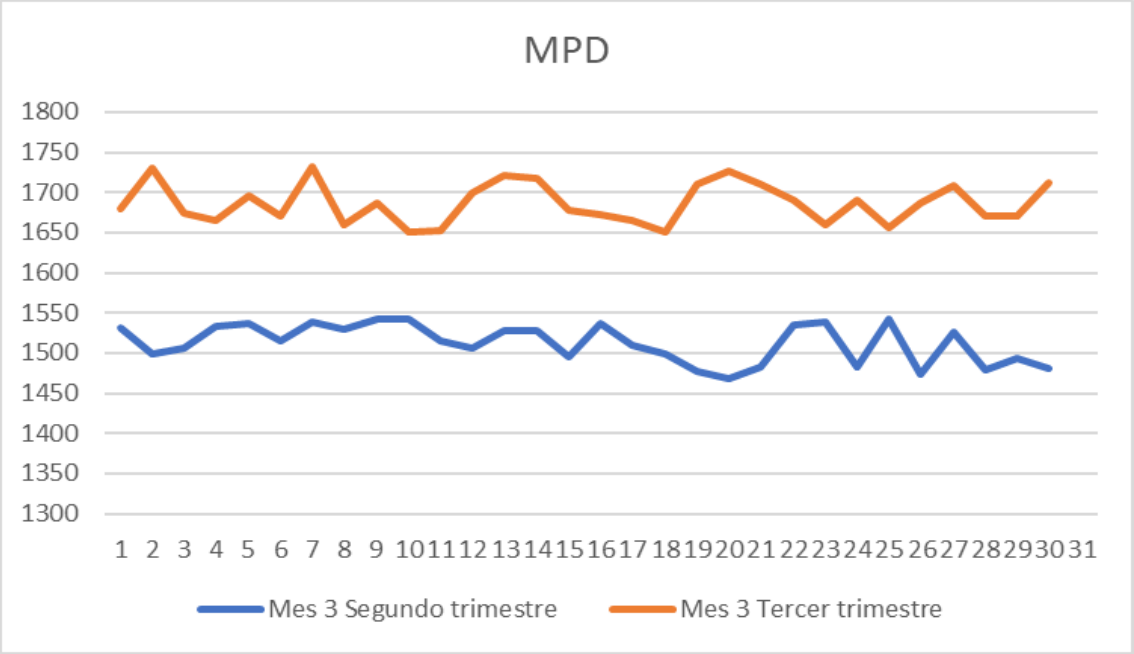
Producción por día del mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

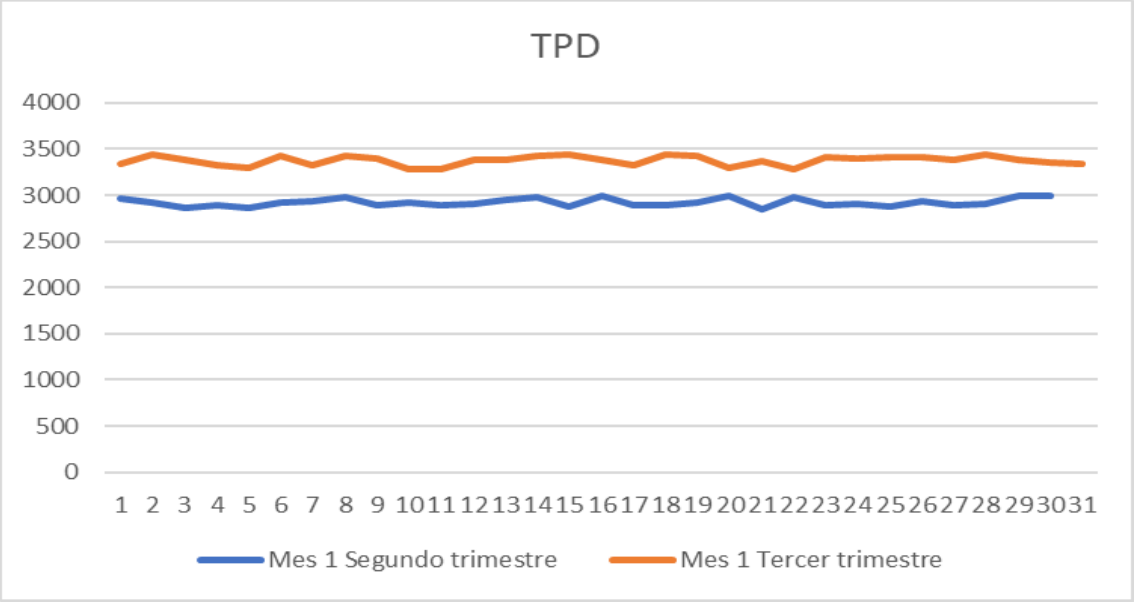
Figura 52.
Metros perforados por día mes 3



Nota. Elaboración Propia

Producción por día del mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 53.
Producción por día mes 1



Nota. Elaboración Propia

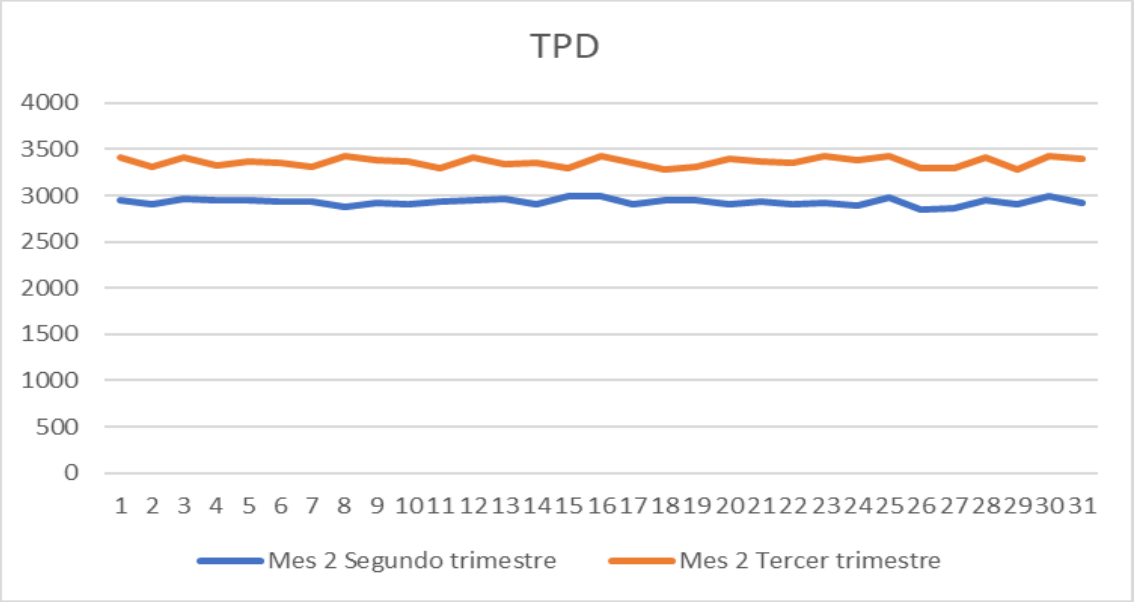
Producción por día del mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

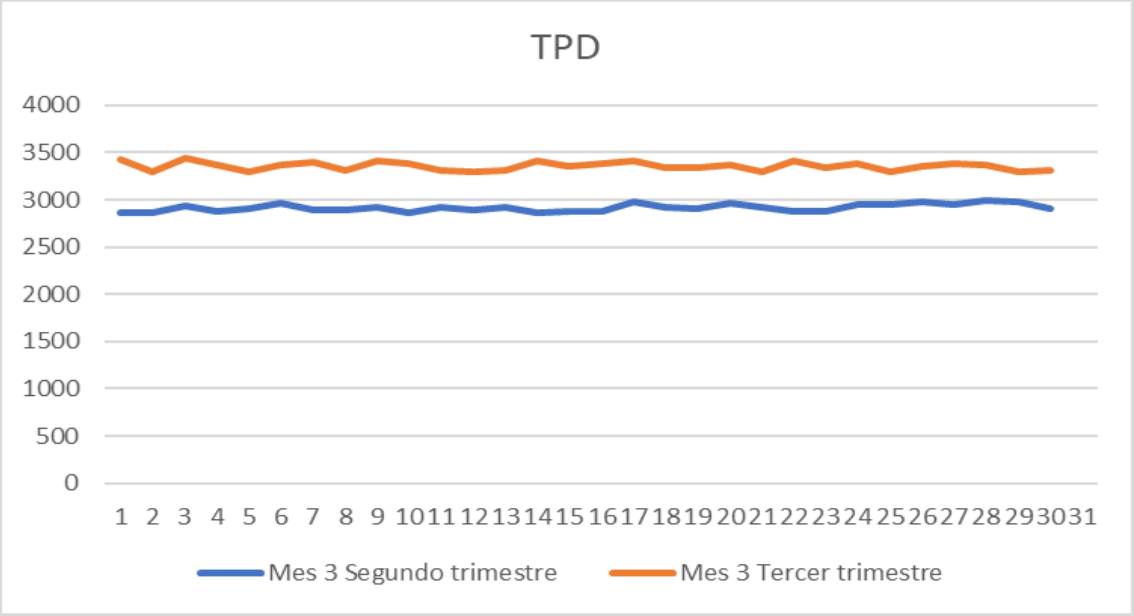
Figura 54.
Producción por día mes 2



Nota. Elaboración Propia

Producción por día del mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 55.
Producción por día mes 3



Nota. Elaboración Propia

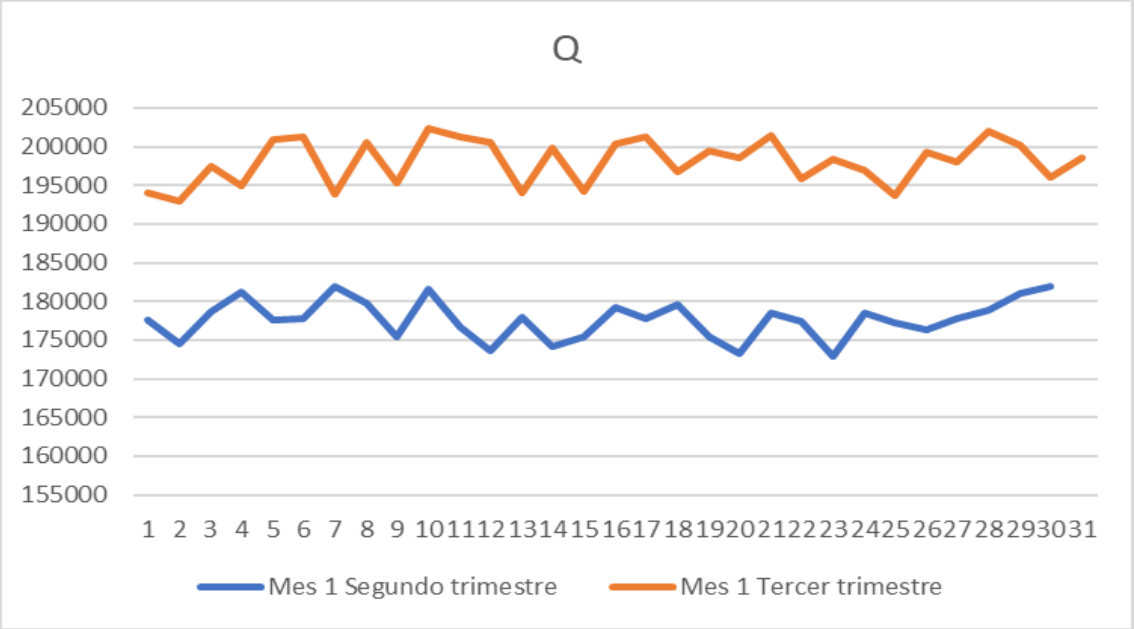
Producción día del mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

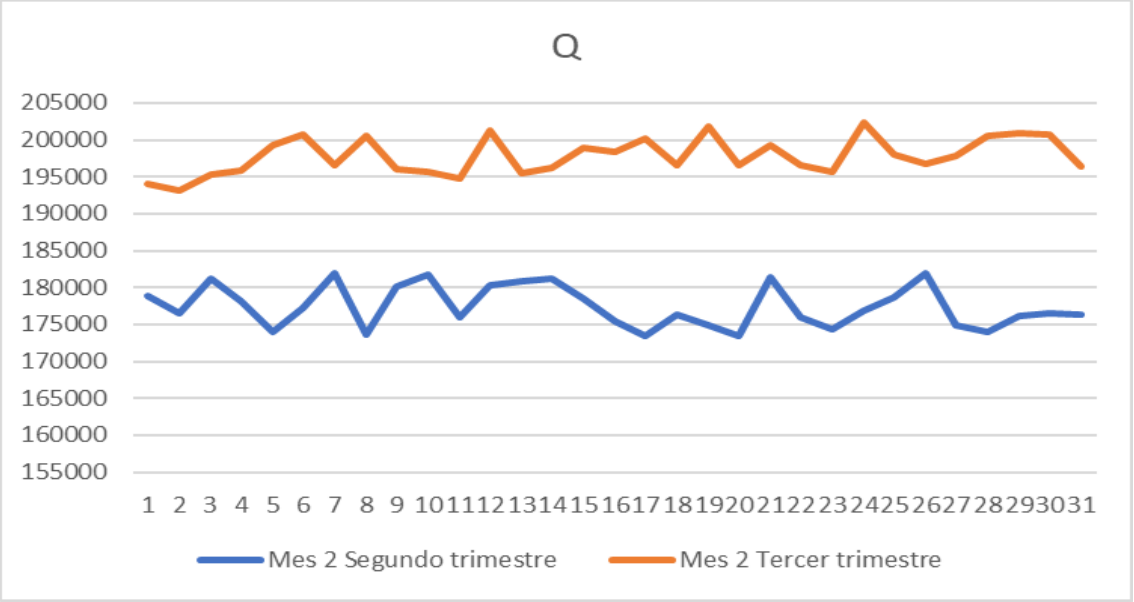
Figura 56.
Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 1



Nota. Elaboración Propia

Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 57.
Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 2



Nota. Elaboración Propia

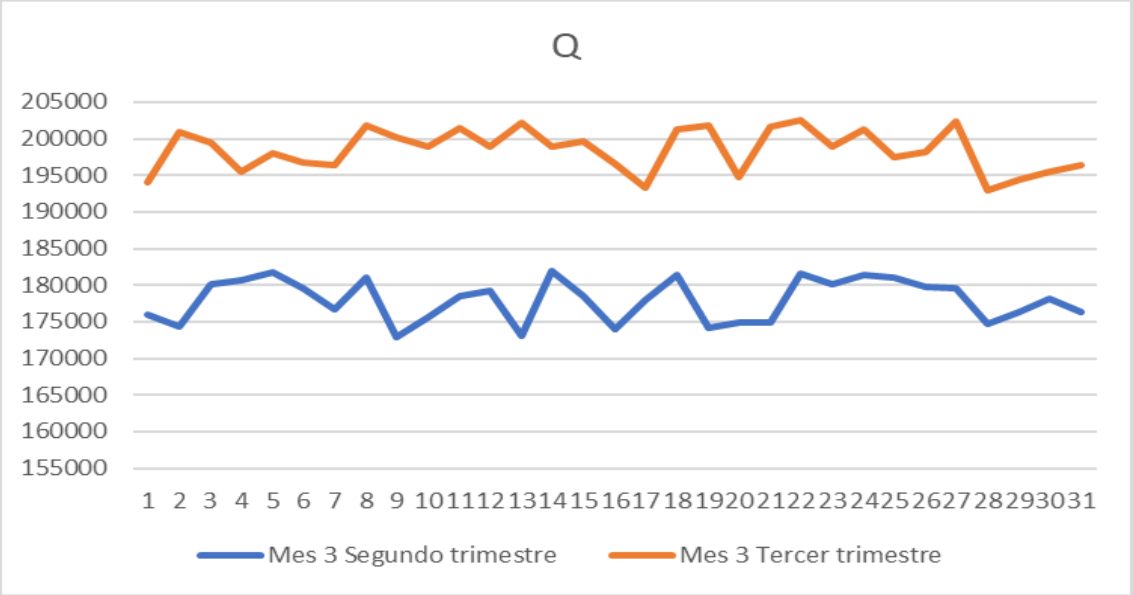
Caudal de aire en pie cúbico por minuto del mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

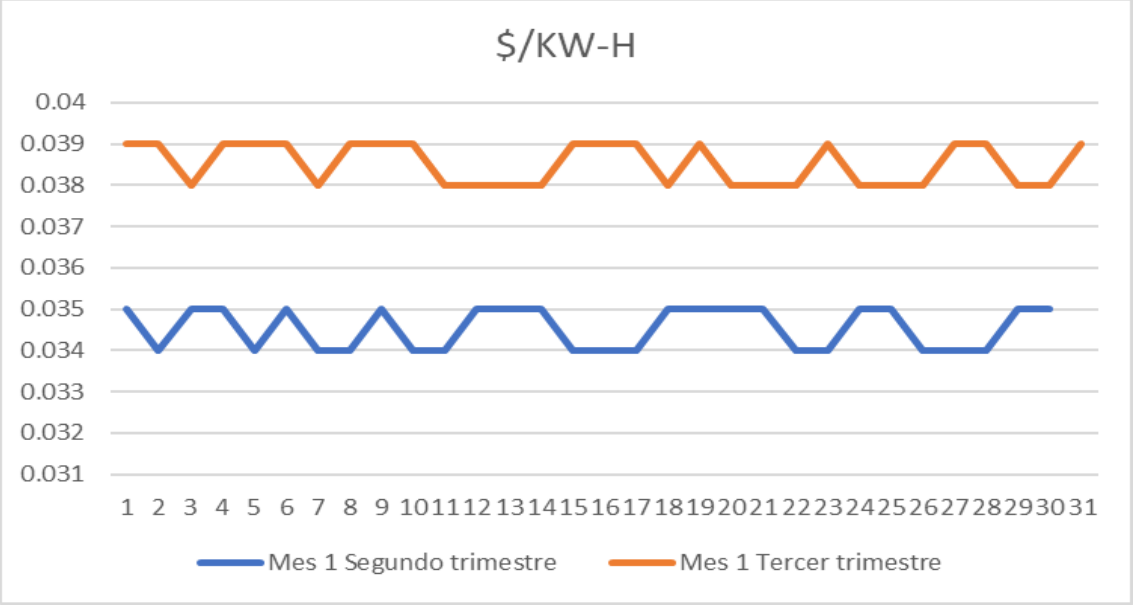
Figura 58.
Caudal de aire en pie cúbico por minuto mes 3



Nota. Elaboración Propia

Caudal de aire en pie cúbico por minuto del mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 59.
Costo de ventilación mes 1



Nota. Elaboración Propia

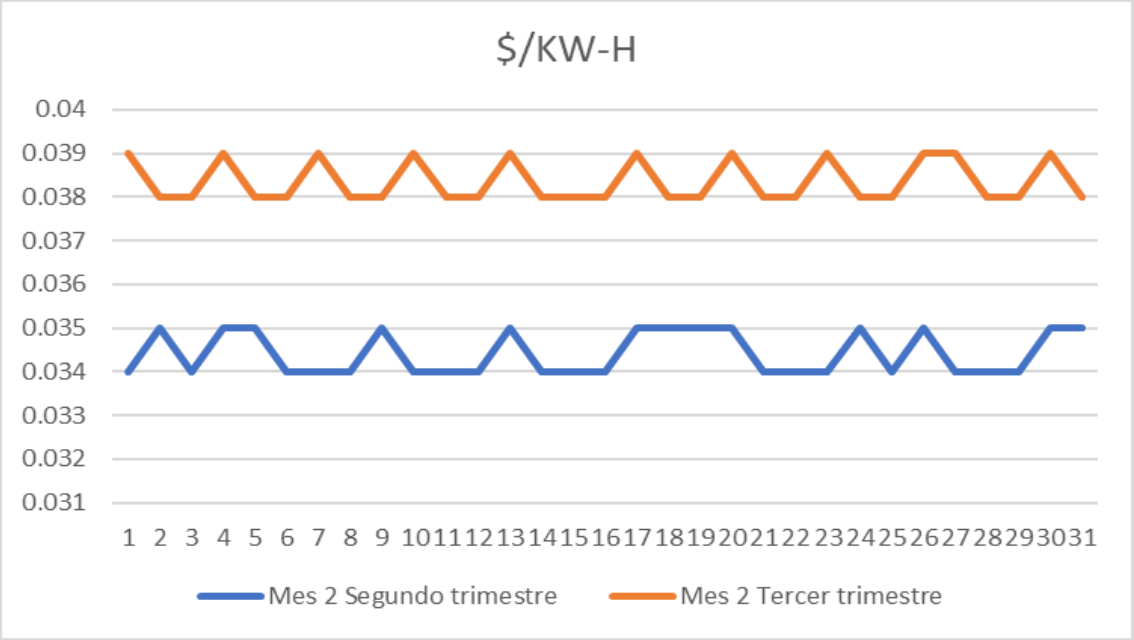
Costo de ventilación del mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

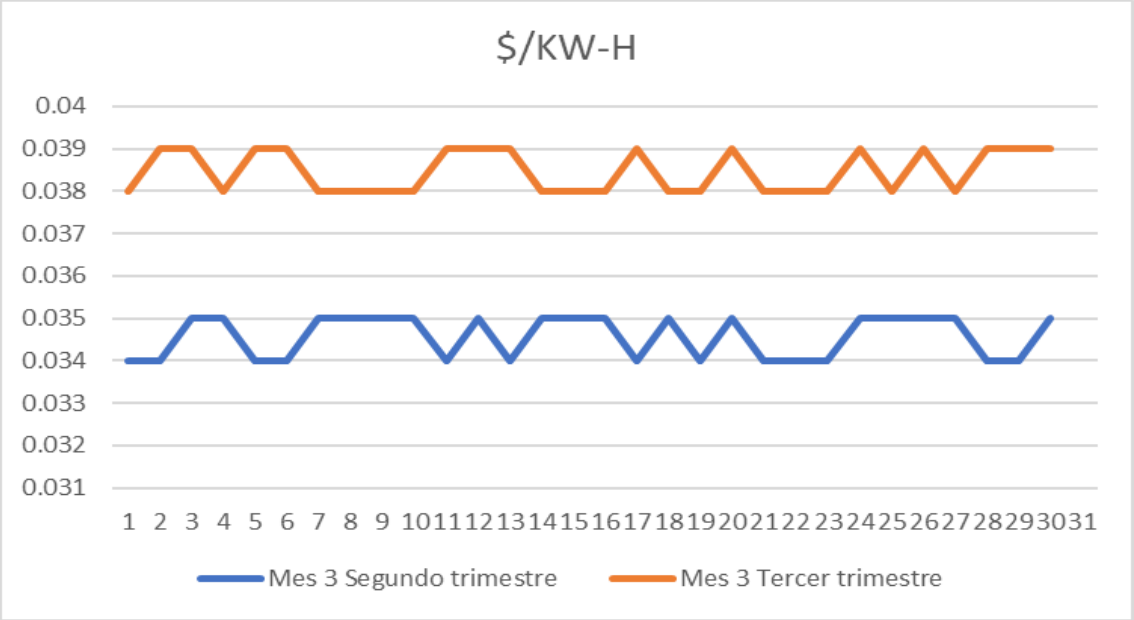
Figura 60.
Costo de ventilación mes 2



Nota. Elaboración Propia

Costo de ventilación del mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 61.
Costo de ventilación mes 3



Nota. Elaboración Propia

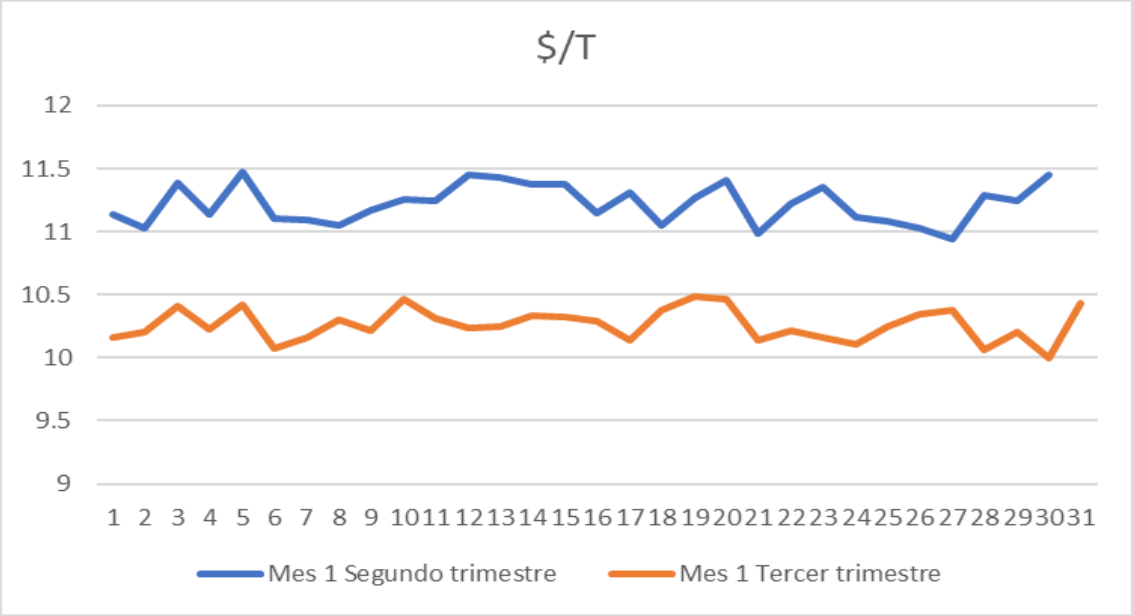
Costo de ventilación del mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

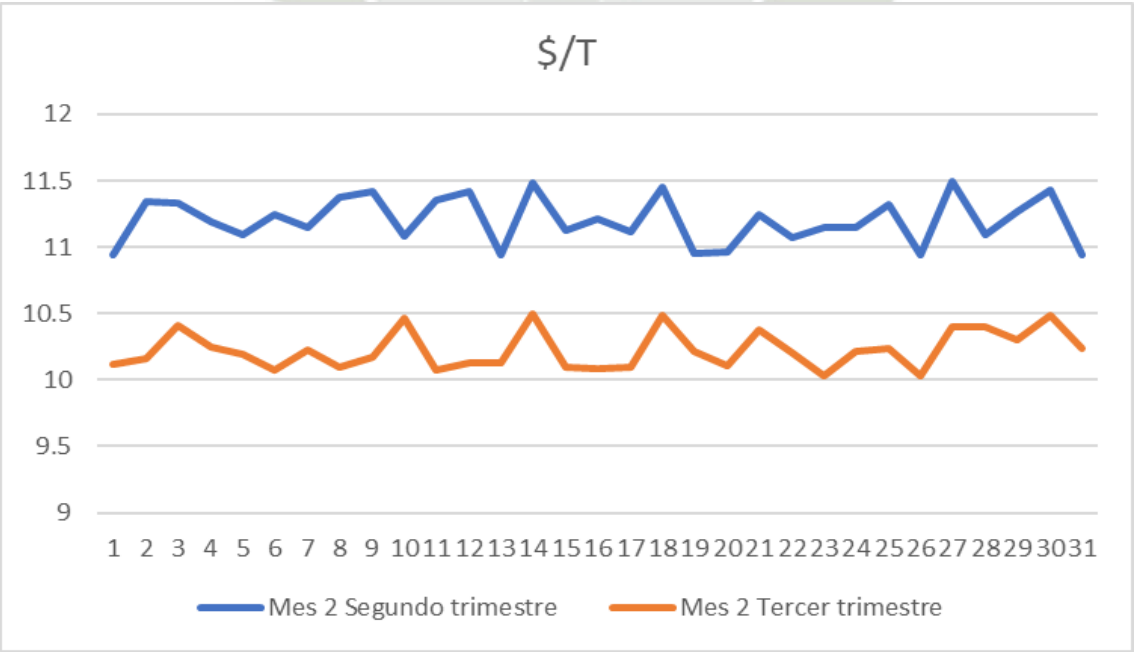
Figura 62.
Costo de producción mes 1



Nota. Elaboración Propia

Costo de producción del mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Figura 63.
Costo de producción mes 2



Nota. Elaboración Propia

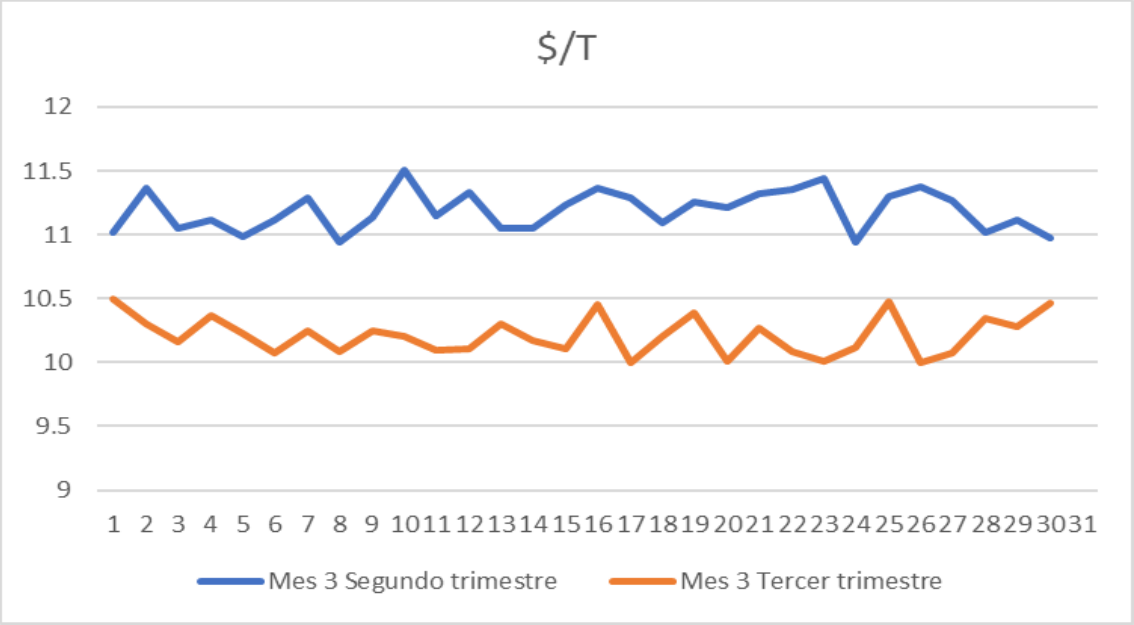
Costo de producción del mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 64.
Costo de producción mes 3



Nota. Elaboración Propia

Costo de producción del mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

3.9. Presentación y análisis de los resultados

3.9.1. Estadística aplicada para la demostración de la optimización

3.9.1.1. Análisis inferencial

Para el análisis inferencial de la producción correspondiente al segundo y tercer trimestre de 2023, se llevaron a cabo los supuestos de continuidad y normalidad. En este sentido, Kerlinger y Lee (2002) señalan que los supuestos de continuidad y normalidad son determinantes en la elección entre el uso de datos estadísticos paramétricos y no paramétricos. A continuación, se llevó a cabo la contrastación de las hipótesis formuladas.

3.9.1.2. Supuesto de Continuidad

Los datos recopilados para la variable producción correspondientes al segundo y tercer trimestre de 2023 son de naturaleza cuantitativa. La naturaleza de la medición de las variables no se vio alterada, por lo que se decidió utilizar la estadística no paramétrica, dado que no se cumple con el supuesto de continuidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.9.1.3. Supuesto de Normalidad

La prueba de normalidad se llevó a cabo mediante la aplicación del método de Kolmogorov-Smirnov, el cual es pertinente cuando el tamaño de las muestras es igual o superior a 30 unidades (Kerlinger, Lee, 2002). En el presente estudio, se utilizó una muestra que excede dicho umbral. La prueba de normalidad se llevó a cabo mediante la introducción de los datos correspondientes a cada variable en el software estadístico SPSS 26.0. Se determinó la diferencia entre los resultados de las variables con el fin de aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov, estableciendo un nivel de confiabilidad del 95%, bajo las siguientes condiciones:

Si:

-Sig. <0.05 Adopta una distribución no normal

-Sig. ≥ 0.05 Adopta una distribución normal

Donde:

-Sig. P-valor o nivel crítico del contraste

Los resultados de la prueba de normalidad fueron los siguientes:

Figura 65.
Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
G	,073	91	,200*	,981	91	,222

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Elaboración Propia

Resultado de normalidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 59.

Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**
Diferencia	,073	9	,000

Nota. Elaboración Propia

Resultados de la prueba de normalidad.

En la tabla se puede observar la prueba de normalidad para la diferencia de los datos de producción del 2do y 3er trimestre del año 2023, donde se obtuvo una significancia para los datos de producción del 2do y 3er trimestre del año 2023 de 0.000, siendo menor al error supuesto de 0.05; por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal, por lo que se utilizaron pruebas no paramétricas.

3.9.1.4. Prueba de hipótesis

Uso de la prueba de hipótesis para la presente investigación

La prueba de hipótesis es un procedimiento que establece las condiciones bajo las cuales se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población, basándose en la evidencia proporcionada por una muestra de datos. La prueba de hipótesis evalúa dos hipótesis contradictorias respecto a una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

3.9.1.5. Pasos para la prueba de hipótesis

- **Paso 1 redacción de hipótesis**

  H_0 = No existe diferencia significativa en las medias de resultados de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

  H1 = Existe una diferencia significativa en las medias de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

- **Paso 2 definición del nivel alfa**

  Nivel alfa del 5 %

  En notación decimal: 0.05

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Paso 3 elección de la prueba**

La prueba de Wilcoxon es un procedimiento no paramétrico destinado a muestras relacionadas. En este contexto, se aplican dos mediciones en diferentes momentos durante la producción de los segundos y terceros trimestres de 2023. Dado que se trata de un estudio longitudinal, las opciones de prueba se limitan a dos mediciones: una realizada antes y otra después, lo que constituye la variable de comparación. En este contexto, la prueba que se empleará es la prueba t de Wilcoxon para muestras relacionadas.

- **Paso 4 de la prueba de hipótesis calcular el p valor**

Tabla 60.

Prueba estadística T de Wilcoxon

	Segundo – Tercer Trimestre 2023
Z	-8,258[b]
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Nota. Elaboración Propia

Resultados de la prueba de T de Wilcoxon.

P Valor = 0.000	**<**	***a*** = 0.05

Si la probabilidad obtenida P Valor <= a, se rechaza H0 (se acepta H1)

Si la probabilidad obtenida P Valor > a, no se rechaza H0 (se acepta H0)

- **Paso 5 decisión estadística**

Existe diferencia significativa en las medias de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023; es decir, el sistema de asignación de cambio de turno realmente sí tuvo un efecto significativo sobre la producción, por lo cual se puede concluir que existe diferencia estadísticamente significativa entre la producción del segundo y tercer trimestre del 2023 antes y después de optimizar el sistema de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ventilación; por lo que se logró mejorar la producción con la optimización de la ventilación.

Se puede definir lo siguiente:

Análisis comparativo de la producción antes y después de la optimización de la ventilación. En los siguientes cuadros se hace una comparación del total de producción de las diferencias entre el segundo y tercer trimestre del 2023 de los días y 30 días al mes para poder comparar el primer, segundo y tercer mes de los segundo y tercer trimestre.

En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que la implementación de la optimización de la ventilación aumento el caudal en 11.34% en el tercer trimestre respecto del segundo trimestre, esta mejora el sistema de ventilación puede ser aprovechado por la operación para el aumento de su producción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

DISCUSIONES

PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

Tabla 61.

Validación del modelo experimental

	MPD	TPD	Q	$/KW-H	$/T
Mes 1	1,605	3,152	397,342	0.037	10.73
Segundo trimestre	1,510	2,922	375,256	0.035	11.22
Tercer trimestre	1,697	3,375	418,715	0.039	10.26
Mes 2	1,602	3,147	395,976	0.036	10.71
Segundo trimestre	1,508	2,932	376,397	0.034	11.20
Tercer trimestre	1,695	3,363	415,555	0.038	10.23
Mes 3	1,600	3,136	396,557	0.037	10.70
Segundo trimestre	1,513	2,916	374,018	0.035	11.19
Tercer trimestre	1,687	3,356	419,095	0.038	10.21
Total general	1,602	3,145	396,622	0.036	10.72
Variación Mes 1	12.39%	15.47%	11.58%	11.53%	-8.54%
Variación Mes 2	12.41%	14.73%	10.40%	11.43%	-8.72%
Variación Mes 3	11.51%	15.09%	12.05%	11.28%	-8.71%
Segundo Trimestre	1,509	2,921	375,224	0.035	11.20
Tercer Trimestre	1,691	3,365	417,788	0.038	10.24
Variación 2 vs 3 trimestre	**12.02%**	**15.20%**	**11.34%**	**11.42%**	**-8.51%**

Nota. Elaboración Propia

Resultados de las pruebas de validación del modelo experimental.

De las 4 hipótesis se desprende la discusión de resultados

PRIMERA:

Como objetivo principal se consideró optimizar los sistemas de ventilación para mejorar la seguridad de los trabajadores y aumentar la producción, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión eficientes, en base a ello del *Mining Engineering Handbook* (Hartman, 1992), quien señalo que la optimización de la ventilación afecta directamente a la producción.

De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización de la ventilación afecta directamente a la producción de 2,921 a 3,365 TPD, que son el 15.20% de aumento de la producción.

Lo obtenido de la presente investigación coincide con lo expuesto por el autor:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

-Martínez (2019), quien encontró que, que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa afectan directamente a la producción.

-Carpio (2022), quien encontró que, la optimización ha resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación, se vio reflejado un aumento de la producción.

-Sánchez (2022), quien encontró que, la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la ventilación, logro aumentar la producción.

-Sánchez (2019), quien encontró que, que la optimización ha logrado una mejor distribución del aire, reducción en los costos operativos y un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores, logro el incremento de la productividad.

Los antecedentes y sus coincidencias, con la presente investigación, evidencian que la optimización de la ventilación ayuda a optimizar la producción.

SEGUNDA:

Como objetivo principal se consideró optimizar los sistemas de ventilación para mejorar la seguridad de los trabajadores y aumentar la producción, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión eficientes, en base a ello del Mining Engineering Handbook, quien señalo que la optimización de la ventilación afecta directamente a los metros perforados.

De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización de la ventilación afecta directamente a los metros perforados de 1,509 a 1,691 TPD, que son el 12.02% de aumento de metros perforados.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por el autor:

-Martínez (2019), quien encontró que, que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa afectan directamente al aumento de metros perforados.

-Carpio (2022), quien encontró que, la optimización ha resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación, se vio reflejado un aumento de metros perforados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

-Sánchez (2022), quien encontró que, la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la ventilación, logro aumentar los metros perforados.

-Sánchez (2019), quien encontró que, que la optimización ha logrado una mejor distribución del aire, reducción en los costos operativos y un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores, logro el incremento de metros perforados.

Los antecedentes y sus coincidencias, con la presente investigación, evidencian que la optimización de la ventilación ayuda al aumento de metros perforados.

TERCERA:

Como objetivo principal se consideró optimizar los sistemas de ventilación para mejorar la seguridad de los trabajadores y aumentar la producción, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión eficientes, en base a ello del Mining Engineering Handbook, quien señalo que la optimización de la ventilación afecta directamente el caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización de la ventilación afecta directamente a los metros perforados de 375,224 a 417,788 CFM, que son el 11.34% de aumento de caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por el autor:

-Martínez (2019), quien encontró que, que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa afectan directamente al aumento del caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

-Carpio (2022), quien encontró que, la optimización ha resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación, se vio reflejado un aumento del caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

-Sánchez (2022), quien encontró que, la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ventilación, logro aumentar el caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

-Sánchez (2019), quien encontró que, que la optimización ha logrado una mejor distribución del aire, reducción en los costos operativos y un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores, logro el incremento del caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que la optimización de la ventilación ayuda al aumento del caudal de aire en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto en pie cúbico por minuto.

CUARTA:

Como objetivo principal se consideró optimizar los sistemas de ventilación para mejorar la seguridad de los trabajadores y aumentar la producción, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión eficientes, en base a ello del Mining Engineering Handbook, quien señalo que la optimización de la ventilación afecta directamente el costo de ventilación.

De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización de la ventilación afecta directamente a los costos energeticos de 0.035 a 0.038 $/KW-H, que son el 11.30% de aumento de costo de ventilación.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por el autor:

-Martínez (2019), quien encontró que, que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa afectan directamente al aumento del costo de ventilación.

-Carpio (2022), quien encontró que, la optimización ha resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación, se vio reflejado un aumento del costo de ventilación.

-Sánchez (2022), quien encontró que, la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la ventilación, logro aumentar el costo de ventilación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

-Sánchez (2019), quien encontró que, que la optimización ha logrado una mejor distribución del aire, reducción en los costos operativos y un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores, logro el incremento del costo de ventilación.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que la optimización de la ventilación ayuda al aumento del costo de ventilación.

QUINTO:

Como objetivo principal se consideró optimizar los sistemas de ventilación para mejorar la seguridad de los trabajadores y aumentar la producción, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión eficientes, en base a ello del Mining Engineering Handbook, quien señalo que la optimización de la ventilación afecta directamente el costo de producción.

De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización de la ventilación afecta directamente a los costos de produccion de 11.20 a 10.24 $/T, que son el 8.51% de disminución del costo de producción.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por el autor:

-Martínez (2019), quien encontró que, que la optimización recomendada mejora notablemente la ventilación, disminuyendo los niveles de gases tóxicos y aumentando la eficiencia operativa afectan directamente la disminución del costo de producción.

-Carpio (2022), quien encontró que, la optimización ha resultado en un ambiente de trabajo más seguro y en una reducción de los costos operativos relacionados con la ventilación, se vio reflejado una disminución del costo de producción.

-Sánchez (2022), quien encontró que, la aplicación de las estrategias recomendadas ha hecho el entorno laboral más seguro y eficiente, además de disminuir los costos relacionados con la ventilación, logro la disminución del costo de producción.

-Sánchez (2019), quien encontró que, que la optimización ha logrado una mejor distribución del aire, reducción en los costos operativos y un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores, logro la disminución del costo de producción.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que la optimización de la ventilación ayuda a la disminución del costo de producción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

Respecto al objetivo general: Se concluye que la optimización del sistema de ventilación mediante el uso del software Ventsim y la aplicación de estrategias de gestión energética permitió incrementar la producción y la eficiencia operativa de la mina subterránea. La implementación del nuevo diseño de ventilación generó un aumento del 11.3 % en el caudal de aire (de 375 224 a 417 788 CFM), un incremento del 12.02 % en los metros perforados por día (de 1 509 a 1 691 m/día) y un crecimiento del 15.2 % en la producción diaria (de 2 921 a 3 365 TPD). Estos resultados demuestran que una adecuada gestión del flujo de aire influye directamente en la productividad, reduciendo además los costos unitarios de producción de 11.20 a 10.24 USD/t, con una eficiencia económica del 8.51 %.

Respecto al primer objetivo específico 1: Analizar el comportamiento del caudal de aire antes y después de la optimización permitió confirmar que el rediseño del sistema de ventilación incrementó el flujo total de aire en 11.34 %, mejorando las condiciones ambientales y reduciendo las interrupciones en los ciclos de minado. Este resultado demuestra que una mayor cobertura de ventilación favorece la continuidad operativa, aumentando los metros perforados y, por ende, la capacidad productiva de la mina.

Respecto al segundo objetivo específico 2: La aplicación del software Ventsim permitió modelar, calibrar y validar el comportamiento del sistema de ventilación, identificando zonas con pérdidas de presión y fugas en ductos. Con esta herramienta se optimizó la configuración de ventiladores y el balance de aire en los niveles de trabajo, logrando un sistema más eficiente, seguro y controlado. La simulación permitió prever escenarios operativos, reducir riesgos por acumulación de gases y establecer una base técnica para una gestión automatizada de la ventilación minera.

Respecto al tercer objetivo específico 3: El análisis de los costos operativos antes y después de la optimización evidenció una reducción significativa del costo unitario de producción de 11.20 a 10.24 USD/t, debido al mejor aprovechamiento de la energía y la disminución de tiempos improductivos. Aunque el costo de potencia eléctrica aumentó ligeramente de 0.035 a 0.038 USD/KW-H, este incremento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fue compensado por la mayor eficiencia en la extracción y perforación, generando una rentabilidad operativa más alta y sostenible.

Conclusión final: En conjunto, los resultados demuestran que la optimización del sistema de ventilación no solo mejora la seguridad y las condiciones de trabajo, sino que también incrementa la productividad y reduce los costos operativos, consolidándose como una estrategia técnica y económicamente viable para fortalecer la eficiencia global de las operaciones mineras subterráneas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Mantener la calibración periódica de los ventiladores principales y secundarios, verificando las presiones, velocidades y caudales en cada circuito mediante monitoreos mensuales. Esto permitirá conservar la eficiencia alcanzada en la distribución del aire y evitar pérdidas de caudal por obstrucciones o fugas en ductos.

Implementar un sistema de control automatizado de ventilación (VOD – Ventilation on Demand), integrando sensores de flujo, temperatura y gases conectados al software Ventsim o a una plataforma SCADA. Esta tecnología permitirá ajustar el flujo de aire en función de la demanda real de los frentes activos, optimizando el consumo energético y reduciendo los costos eléctricos.

Realizar evaluaciones trimestrales de la eficiencia energética del sistema de ventilación, comparando el consumo de potencia (kW/h) con la producción efectiva (TPD). Estas auditorías ayudarán a identificar oportunidades de mejora en la gestión de energía y asegurar que el costo unitario por tonelada se mantenga dentro de los valores óptimos obtenidos.

Capacitar al personal técnico y de mantenimiento en el uso del software Ventsim y en las prácticas de monitoreo de ventilación subterránea. La formación continua fortalecerá las competencias operativas del equipo y garantizará una respuesta más rápida ante variaciones de flujo o fallas en el sistema.

Establecer un plan de mantenimiento predictivo de ductos y compuertas de ventilación, aplicando inspecciones visuales y mediciones con anemómetros portátiles. Esto reducirá las fugas de aire y prolongará la vida útil de los equipos, manteniendo estable el flujo de ventilación en los distintos niveles de la mina.

Replicar el modelo de optimización en otras zonas o niveles de la mina, priorizando aquellos con mayor demanda de ventilación o con condiciones térmicas adversas. De esta forma, se consolidará una red integral de ventilación eficiente, segura y energéticamente sostenible.

Continuar con la recopilación y análisis de datos operativos para evaluar la relación entre ventilación, productividad y costos a largo plazo, utilizando herramientas estadísticas que permitan validar la tendencia positiva observada y sustentar futuras inversiones en automatización y mejora tecnológica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carpio, D. (2022) *Optimización del Sistema de Ventilación en Minería Subterránea usando VENTSIM.* Universidad Nacional de Moquegua, Lima.

Fernandez, J.L. (2021). *Optimización de Sistemas de Ventilación en Minas Subterráneas: Aplicación en Minas de Madrid.* Madrid.

Gomez, L. (2020) *Optimización de Sistemas de Ventilación en Minas Subterráneas: Estudio de Caso en el Sector Minero de Madrid.* Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Hartman, H.L. (1992) *SME Mining Engineering Handbook.* Colorado : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). 9780873351003.

Hustrulid, W. & Kuchta, M. (2006) *Open Pit Mine Planning and Design.* Florida : CRC Press. 9780415407410.

Jimeno, C. L. (1995) *Drilling and Blasting of Rocks.* EEUU : A.A. Balkema. 9789054101994 .

Martinez, J.A. (2019). *Optimización del Sistema de Ventilación en la Mina Pallancata.* Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Sanchez, M.A. (2022) *Optimización de Sistemas de Ventilación en Minas Subterráneas: Un Caso de Estudio en la Mina San Rafael.* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Sanchez, J. (2019) *Diseño y Optimización del Sistema de Ventilación en la Mina Subterránea.* Universidad Nacional de San Agustin, Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis