

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**MODELAMIENTO Y DIAGNÓSTICO DEL CIRCUITO ACTUAL DE
VENTILACIÓN EN UNA MINA SUBTERRÁNEA Y PROPUESTA DE MEJORA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTORES:

Carlos Andrés Pozo Bulnes

Jose Angel Noe Ari Uturnonco

ASESOR:

Ing. Felix Santiago Guerra Rivas

Lima, Mayo, 2023

Informe de Similitud

Yo, Félix Santiago Guerra Rivas docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, Sección Minas, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulada

“Modelamiento y Diagnóstico del Circuito Actual de Ventilación en una Mina Subterránea y Propuesta de Mejora”


del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)

- Carlos Andrés Pozo Bulnes, y
- José Ángel Noé Ari Uturonco,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 11 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 16/08/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 24 de agosto de 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>GUERRA RIVAS Félix Santiago.</u>	
DNI: 07274016	Firma: 
ORCID: 0000 – 0002 – 8723 - 1092	

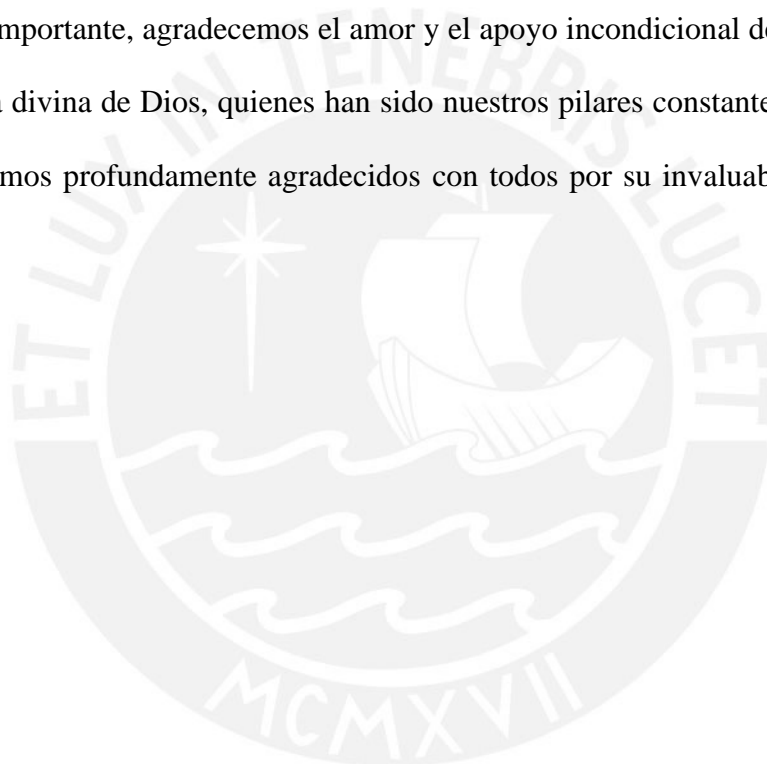
RESUMEN EJECUTIVO

El estudio realizado en la presente tesis, comprende el modelamiento, calibración, simulación y diagnóstico del sistema de ventilación orientado a identificar las deficiencias del mismo y generar un escenario viable de mejora, cumplir con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DS 024-2016-EM y su modificatoria el DS 023-2017-EM, en concordancia con: satisfacer las velocidades mínimas de aire en labores transitables, lo cual se pudo lograr mediante el análisis e implementación de una nueva configuración de los elementos del circuito de ventilación, lo que incluyó la compra de nuevos ventiladores, reubicación de ventiladores ya existentes y retiro de ventiladores prescindibles, así como la habilitación y clausura de ciertas labores tal como se detalla en el capítulo 7.

Dada la complejidad del circuito en cuanto a la intrincada red, y un sistema de ventilación combinado entre natural y mecánico y la falta de información con respecto a los ventiladores, la presente tesis contempla en primera instancia, el levantamiento de información relevante referente a la medición de las condiciones termo ambientales en campo para luego realizar el modelamiento y simulación digital en el software Ventsim Design 5 para la etapa actual de rehabilitación de manera que se pudo proporcionar un diagnóstico sólido del sistema de ventilación, para lograrlo se realizó un análisis del punto de operación de los ventiladores presentes con el objetivo de caracterizarlos y añadirlos al modelo digital; así mismo, se realizó un análisis de temperaturas efectivas y análisis del recorrido de gases contaminantes presentes en el interior de mina, con el fin de tener un diagnóstico más detallado del tiempo de evacuación de gases. En segunda instancia se implementa la propuesta técnica de mejora generando una reducción en los costos operativos y cambiando la configuración de los ventiladores con el fin de mantener la eficiencia promedio, pero mejorando a la vez el suministro de aire y realizando un análisis financiero para evaluar la rentabilidad de la propuesta técnica de mejora.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestro asesor, el Ing. Félix Guerra, y a Fernando Yupanqui por su invaluable orientación y guía durante todo el proceso de elaboración de la presente tesis. También extendemos nuestra gratitud al señor Alberto Gazzo, al Ing. Víctor Ricaldi y al señor Víctor Rojas, así como a los trabajadores e ingenieros de las áreas de planeamiento, mantenimiento y operaciones, cuya colaboración y conocimientos han sido fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Por último, pero no menos importante, agradecemos el amor y el apoyo incondicional de nuestros padres, así como la guía divina de Dios, quienes han sido nuestros pilares constantes en esta travesía académica. Estamos profundamente agradecidos con todos por su invaluable contribución a este logro.



Índice de contenido

1.	Introducción y aspectos generales	1
1.1	Justificación del estudio	1
1.2	Delimitación del alcance de la propuesta:	2
1.3	Antecedentes	2
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Hipótesis.....	5
1.5.1	Hipótesis principal.....	5
1.5.2	Hipótesis secundarias	5
1.6	Metodología	6
1.7	Plan de trabajo.....	7
1.7.1	Primera visita de campo	7
1.7.2	Segunda visita de campo	8
1.7.3	Trabajo de Gabinete.....	9
1.7.4	Equipos utilizados.....	9
2.	Marco teórico	11
2.1	Minería Subterránea	11
2.1.1	Cámaras y pilares.....	11
2.1.2	Corte y relleno ascendente.....	11
2.2	Tipos de labores en minería subterránea	12
2.2.1	Labores mineras de acceso:	12
2.2.1.1	Galería principal.....	12
2.2.1.2	Pique	12
2.2.1.3	Rampa	12
2.2.2	Labores de preparación.....	13
2.2.2.1	Chimenea	13
2.2.2.2	Ore pass.....	13
2.3	Tipos de ventilación	13
2.4	Ventilación mecánica	14
2.5	Balance de ingresos y salidas de aire.	15
2.6	Mediciones de gases.....	15

2.7	Emisión de gases de equipos petroleros	16
2.8	Requerimiento de aire de acuerdo con la normativa	17
2.8.1	Requerimiento de aire por personal	17
2.8.2	Requerimiento por la cantidad de equipos petroleros en funcionamiento.....	17
2.8.3	Requerimiento por consumo de explosivos.....	17
2.8.4	Requerimiento por temperatura	18
2.8.5	Requerimiento por consumos de madera.....	18
2.9	Software Ventsim.....	18
2.10	Aire en mina	19
2.10.1	Aire fresco	19
2.10.2	Aire viciado	19
2.11	Polvo en mina.....	19
2.12	Humedad relativa	20
2.13	Temperatura	20
2.14	Temperatura Efectiva	20
2.15	Presión.....	21
2.15.1	Presión Absoluta.....	21
2.15.2	Presión Diferencial	21
2.16	Gases de mina.....	21
2.17	Manga De Ventilación	22
2.18	Ventilador.....	23
2.19	Anemómetro.....	23
2.20	Puertas y trampillas	23
3.	Descripción de la mina	25
4.	Modelamiento digital del circuito de ventilación.....	26
4.1	Base del modelo digital	26
4.2	Caracterización de ventiladores	27
4.2.1	Análisis de operación de ventiladores	27
4.2.1.1	Análisis del Ventilador V02.....	30
4.2.1.2	Análisis del Ventilador V03.....	31
4.2.1.3	Análisis del Ventilador V04-V12	31
4.2.1.4	Análisis del Ventilador V05.....	32
4.2.1.5	Análisis del Ventilador V06.....	33
4.2.1.6	Análisis del Ventilador V08.....	34

4.2.1.7	Análisis del Ventilador V09.....	35
4.2.1.8	Análisis del Ventilador V10.....	36
4.2.1.9	Análisis del Ventilador V11.....	37
4.2.1.10	Análisis del Ventilador V13.....	38
5.	Atributos y calibración	40
5.1	Atributos.....	40
5.1.1	Resistencias de las labores (factores de fricción, resistencias y factores de choque) 40	
5.1.2	Parámetros ambientales	41
5.1.3	Propiedades térmicas según la caracterización litológica.....	42
5.2	Calibración	44
6.	Diagnóstico del circuito de ventilación.....	47
6.1	Levantamiento de ventilación por nivel.....	47
6.1.1	Levantamiento del nivel 800	48
6.1.2	Levantamiento del nivel 1000	49
6.1.3	Levantamiento del nivel 1200	50
6.1.4	Levantamiento del nivel 1400	51
6.1.5	Levantamiento del nivel 1600	52
6.1.6	Levantamiento del nivel 1800	53
6.1.7	Levantamiento del nivel 2100	53
6.2	Requerimiento de aire	53
6.2.1	Caudal requerido por el número de trabajadores.....	55
6.2.2	Caudal requerido por equipos motor diésel.....	56
6.2.3	Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo	56
6.2.4	Caudal requerido por el consumo de madera	56
6.2.5	Caudal requerido por fuga de gases.....	57
6.2.6	Caudal total requerido	57
6.3	Balance General y Cobertura de Aire	57
6.3.1	Balance y Cobertura	57
6.4	Velocidades críticas de acuerdo a Normativa	59
6.4.1	Análisis de velocidades en el nivel 800.....	60
6.4.2	Análisis de velocidades en el nivel 1000.....	61
6.4.3	Análisis de velocidades en el Nivel 1200.....	62
6.4.4	Análisis de velocidades en el Nivel 1400.....	63

6.4.5	Análisis de velocidades en el Nivel 1600.....	64
6.4.6	Análisis de velocidades en el Nivel 1800.....	65
6.4.7	Análisis de velocidades en el Nivel 2100.....	66
6.5	Análisis de temperaturas efectivas.....	66
6.5.1	Análisis de temperatura en el nivel 800.....	68
6.5.2	Análisis de temperatura en el nivel 1000.....	69
6.5.3	Análisis de temperatura en el nivel 1200.....	70
6.5.4	Análisis de temperatura en el nivel 1400.....	71
6.5.5	Análisis de temperatura en el nivel 1600.....	71
6.5.6	Análisis de temperatura en el nivel 1800.....	72
6.5.7	Análisis de temperatura en el nivel 2100.....	72
6.6	Análisis y simulación de gases contaminantes.....	72
6.6.1	Recorrido de los gases contaminantes.....	74
6.6.1.1	Gas contaminante SO ₂	74
6.6.1.1.1	Fuentes del contaminante.....	74
6.6.1.1.2	Recorridos del gas contaminante SO ₂	74
6.6.1.2	Gas contaminante CO ₂	76
6.6.1.2.1	Fuentes del contaminante.....	76
6.6.1.2.2	Recorridos del gas contaminante CO ₂	77
6.7	Consumo de energía de ventiladores.....	79
7.	Evaluación del diagnóstico del circuito de ventilación y propuesta de mejora.....	80
7.1	Evaluación y mejora de velocidades.....	80
7.1.1	Análisis del Nivel 800.....	81
7.1.2	Análisis del Nivel 1000.....	83
7.1.3	Análisis del Nivel 1200.....	83
7.1.4	Análisis del Nivel 1400.....	91
7.1.5	Análisis del Nivel 1600.....	94
7.1.6	Análisis de los Niveles 1800-2100.....	96
7.2	Evaluación y mejora para agentes contaminantes.....	99
7.2.1	Propuesta de mejora para el contaminante SO ₂	99
7.2.2	Propuesta de mejora para el contaminante CO ₂	100
7.3	Caracterización de ventiladores – Propuesta técnica.....	101
7.3.1	Análisis del Ventilador V1-V07-V08-V09.....	102
7.3.2	Análisis del Ventilador V02.....	103

7.3.3	Análisis del Ventilador V03	104
7.3.4	Análisis del Ventilador V04-V15	105
7.3.5	Análisis del Ventilador V05-V13	106
7.3.6	Análisis del Ventilador V11	107
7.3.7	Análisis del Ventilador V12	108
7.3.8	Análisis del Ventilador V14	109
7.3.9	Análisis del Ventilador V16	110
7.4	Balance General y Cobertura de Aire – Propuesta técnica de mejora	111
8.	Análisis económico (Situación actual – propuesta técnica)	113
8.1	Costos	113
8.1.1	Costo de consumo de energía	113
8.1.2	Comparativo CAPEX -OPEX	115
8.2	Flujo de caja y análisis financiero	117
8.2.1	Flujo de Caja.....	117
8.2.2	Análisis Financiero	118
8.2.2.1	Valor Actualizado de los Costos (VAC).....	118
8.2.2.2	Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).....	119
9.	Conclusiones	121
10.	Recomendaciones.....	123
11.	Bibliografía.....	125
12.	Anexos.....	128

Índice de tablas

Tabla 1 Inventario de Ventiladores.....	27
Tabla 2 Caracterización de Ventiladores – situación actual	28
Tabla 3 Análisis del ventilador V02	30
Tabla 4 Análisis del ventilador V03	31
Tabla 5 Análisis del ventilador V04-V12	31
Tabla 6 Análisis del ventilador V05	32
Tabla 7 Análisis del ventilador V06	33
Tabla 8 Análisis del ventilador V08	34
Tabla 9 Análisis del ventilador V09	35
Tabla 10 Análisis del ventilador V10	36
Tabla 11 Análisis del ventilador V11	37
Tabla 12 Análisis del ventilador V13	38
Tabla 13 Factores de fricción utilizados	40
Tabla 14 Resistencias utilizadas	41
Tabla 15 Condiciones termo higrométricas en Cerro de Pasco- SENAMHI.....	41
Tabla 16 Parámetros ambientales en superficie.....	42
Tabla 17 Parámetros geotérmicos en superficie	44
Tabla 18 Calibración de ingresos de aire (medido - simulado)	45
Tabla 19 Calibración de salidas de aire (medido - simulado).....	46
Tabla 20 Levantamiento de ventilación nivel 800.....	48
Tabla 21 Levantamiento de ventilación nivel 1000.....	49
Tabla 22 Levantamiento de ventilación nivel 1200.....	50
Tabla 23 Levantamiento de ventilación nivel 1400.....	51
Tabla 24 Levantamiento de ventilación nivel 1600.....	52
Tabla 25 Levantamiento de ventilación nivel 1800.....	53
Tabla 26 Levantamiento de ventilación nivel 2100.....	53
Tabla 27 Cantidad de personal interior mina.....	55
Tabla 28 Caudal requerido por el número de trabajadores	55
Tabla 29 Cantidad de equipos Diesel interior mina.....	56
Tabla 30 Caudal requerido por temperaturas en labores de trabajo.....	56
Tabla 31 Caudal requerido por el consumo de madera.....	56
Tabla 32 Caudal total requerido.....	57

Tabla 33 Balance de ingreso de aire y cobertura	58
Tabla 34 Balance de salida de aire.....	59
Tabla 35 Análisis de velocidades en el nivel 800	60
Tabla 36 Análisis de velocidades en el nivel 1000	61
Tabla 37 Análisis de velocidades en el nivel 1200	62
Tabla 38 Análisis de velocidades en el nivel 1400	63
Tabla 39 Análisis de velocidades en el nivel 1600	64
Tabla 40 Análisis de velocidades en el nivel 1800	65
Tabla 41 Análisis de velocidades en el nivel 2100	66
Tabla 42 Leyenda de rangos de temperatura efectiva.....	67
Tabla 43 Análisis de temperatura en el nivel 800.....	68
Tabla 44 Análisis de temperatura en el nivel 1000.....	69
Tabla 45 Análisis de temperatura en el nivel 1200.....	70
Tabla 46 Análisis de temperatura en el nivel 1400.....	71
Tabla 47 Análisis de temperatura en el nivel 1600.....	71
Tabla 48 Análisis de temperatura en el nivel 1800.....	72
Tabla 49 Análisis de temperatura en el nivel 2100.....	72
Tabla 50 Límites de exposición ocupacional para agentes químicos	73
Tabla 51 Ubicaciones de gases contaminantes y concentraciones	73
Tabla 52 Costo del consumo energético de ventiladores.....	79
Tabla 53 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 800 GA.8212	81
Tabla 54 Situación actual nivel 800 – alrededor de cámara de bombas	82
Tabla 55 Propuesta de mejora nivel 800 – alrededor de cámara de bobas	82
Tabla 56 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 1200 GA. 1238	84
Tabla 57 Cambio de ventilador 16 000 CFM - nivel 1200 GA. 12019-W	84
Tabla 58 Cambio de ventilador 20 000 CFM - nivel 1200 RP. 12054	84
Tabla 59 Escenarios de situación actual nivel 1200 – GA. 12019 BP. 12506.....	85
Tabla 60 Escenarios de propuesta de mejora nivel 1200 – GA. 12019 BP. 12506	86
Tabla 61 Situación actual nivel 1200 - GA.1263.....	87
Tabla 62 Propuesta de mejora nivel 1200 - GA.1263.....	88
Tabla 63 Retiro de ventilador 30 000 CFM - nivel 1200 GA. 1201	89
Tabla 64 Cambio de ventilador 16 000 CFM - nivel 1200 GA. 1201-S.....	89
Tabla 65 Situación actual nivel 1200 – CB. 1281, E#28	89
Tabla 66 Propuesta de mejora nivel 1200 – CB. 1281, E#28	90

Tabla 67 Cambio de ventilador 20 000 CFM - nivel 1200 GA.12185	91
Tabla 68 Retiro de ventilador 30 000 CFM - nivel 1400 GA.14904-SE.....	91
Tabla 69 Cambio de ventilador 7 000 CFM - nivel 1400 RB.1654.....	92
Tabla 70 Situación actual nivel 1400 – BP.1422-SW, GA.14904-SE.....	92
Tabla 71 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 1400 GA.14458-SE	93
Tabla 72 Situación actual nivel 1400 – E#10, E#09.....	93
Tabla 73 Propuesta de mejora actual nivel 1400 – E#10, E#09	94
Tabla 74 Situación actual nivel 1600 – E#08, GA. 1640-SW, RP.16235	95
Tabla 75 Propuesta de mejora nivel 1600 – E#08, GA. 1640-SW, RP.16235	96
Tabla 76 Cambio de ventilador 16000 CFM - nivel 1800 GA. 1812	97
Tabla 77 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 2100 PQ. Lourdes#2.....	97
Tabla 78 Situación actual nivel 2100 – E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB. 2125	98
Tabla 79 Propuesta de mejora nivel 2100 – E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB.2125	98
Tabla 80 Caracterización de ventiladores - propuesta de mejora	102
Tabla 81 Análisis de ventilador V01-V07-V08-V09 - propuesta de mejora.....	102
Tabla 82 Análisis de ventilador V02 - propuesta de mejora.....	103
Tabla 83 Análisis de ventilador V03 - propuesta de mejora.....	104
Tabla 84 Análisis de ventilador V04, V15 - propuesta de mejora.....	105
Tabla 85 Análisis de ventilador V05, V13 - propuesta de mejora.....	106
Tabla 86 Análisis de ventilador V11 - propuesta de mejora.....	107
Tabla 87 Análisis de ventilador V12 - propuesta de mejora.....	108
Tabla 88 Análisis de ventilador V14 - propuesta de mejora.....	109
Tabla 89 Análisis de ventilador V16 - propuesta de mejora.....	110
Tabla 90 Balance de ingreso de aire y cobertura – propuesta de mejora.....	112
Tabla 91 Balance de salida de aire – propuesta de mejora	112
Tabla 92 Cuadro comparativo de consumo de energía de ventiladores.....	114
Tabla 93 Reducción de costos de energía de ventiladores (situación actual - propuesta de mejora).....	115
Tabla 94 Determinación de CAPEX.....	115
Tabla 95 Determinación de OPEX	116
Tabla 96 Comparativo CAPEX -OPEX.....	116
Tabla 97 Flujo de Caja (situación actual - propuesta de mejora)	117
Tabla 98 Cálculo de VAC - propuesta de mejora.....	119
Tabla 99 Cálculo de VAC - situación actual	119

Tabla 100 Flujo de caja diferencial (situación actual - propuesta de mejora) 120



Índice de figuras

Figura 1. Anemómetro digital.....	9
Figura 2. Detector Multigas	10
Figura 3. Distanciómetro laser.....	10
Figura 4. Psicrómetro.....	10
Figura 1. Curva de ventilador V02	30
Figura 2. Curva de ventilador V03	31
Figura 3. Curva de ventilador V04-V12	32
Figura 4. Curva de ventilador V05	33
Figura 5. Curva de ventilador V06	34
Figura 6. Curva de ventilador V08	35
Figura 7. Curva de ventilador V09	36
Figura 8. Curva de ventilador V10	37
Figura 9. Curva de ventilador V11	38
Figura 10. Curva de ventilador V13	39
Figura 11. Factor de choque utilizado.....	40
Figura 12. Perfil longitudinal de la mina en base al modelo geológico.....	43
Figura 13. Gráfica de labores de ingreso y salidas de aire.....	58
Figura 14. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 800.....	60
Figura 15. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1000.....	61
Figura 16. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1200.....	62
Figura 17. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1400.....	63
Figura 18. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1600.....	64
Figura 19. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1800.....	65
Figura 20. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 2100.....	66
Figura 21. Ubicación de las fuentes de los contaminantes SO ₂	74
Figura 22. Recorrido del gas contaminante SO ₂ – GA. 12008-N.....	75
Figura 23. Recorrido del gas contaminante SO ₂ – GA. 10990.....	76
Figura 24. Ubicación de las fuentes del contaminante CO ₂	77
Figura 25. Recorrido del gas contaminante CO ₂ - Canal 2109	78
Figura 26. Recorrido del gas contaminante CO ₂ - GA. 8213	78
Figura 27. Análisis de velocidades nivel 800 – situación actual	82
Figura 28. Análisis de velocidades nivel 800 – propuesta de mejora.....	83

Figura 29. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación actual	86
Figura 30. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación GA. 1263	87
Figura 31. Análisis de velocidades nivel 1200 – propuesta de mejora GA. 1263	88
Figura 32. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación actual CB. 1281, E#28.....	90
Figura 33. Análisis de velocidades nivel 1200 – propuesta de mejora CB. 1281, E#28	90
Figura 34. Análisis de velocidades nivel 1400 – situación actual BP. 1422-SW, GA. 14904- SE.....	92
Figura 35. Análisis de velocidades nivel 1400 – situación actual E#10, E#09	93
Figura 36. Análisis de velocidades nivel 1400 – propuesta de mejora E#10, E#09	94
Figura 37. Análisis de velocidades nivel 1600 – situación actual E#08, GA. 1640-SW, RP. 16235.....	95
Figura 38. Análisis de velocidades nivel 1600 – propuesta de mejora E#08, GA. 1640-SW, RP. 16235.....	96
Figura 39. Análisis de velocidades nivel 2100 – propuesta de mejora E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB.	98
Figura 40. Análisis de velocidades nivel 2100 – situación actual E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB. 2125	99
Figura 41. Recorrido del contaminante CO ₂ – Canal 2021	100
Figura 42. Recorrido del contaminante CO ₂ – RP. 8213	101
Figura 43. Curva de ventilador V01-V07-V08-V09	103
Figura 44. Curva de ventilador V02	104
Figura 45. Curva de ventilador V03	105
Figura 46. Curva de ventilador V04-V15	106
Figura 47. Curva de ventilador V05-V13	107
Figura 48. Curva de ventilador V11	108
Figura 49. Curva de ventilador V12	109
Figura 50. Curva de ventilador V14	110
Figura 51. Curva de ventilador V16	111
Figura 52. Flujo de caja situación actual vs propuesta de mejora	118

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para el cálculo de la potencia real	28
--	----

Ecuación 2. Ecuación para la determinación de la potencia efectiva**¡Error! Marcador no definido.**

Ecuación 3. Ecuación para el cálculo de la temperatura efectiva67



1. Introducción y aspectos generales

1.1 Justificación del estudio

El presente proyecto de tesis se realizó bajo el marco de la norma del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. N° 023 – 2017 – EM y dentro de lo estipulado por la política de prevención, mejora continua y cumplimiento legal de la mina subterránea.

La mina subterránea no cuenta con un modelo digital del circuito de ventilación que permita el control operacional y evaluación de los flujos de aire que son proporcionados al interior de la mina.

La propuesta de mejora que en la que se trabajó, responde a una necesidad de optimizar el circuito de ventilación de la mina, así como de la implementación de nuevos elementos de ventilación que permitan contar con unas mejoras tanto a corto como a mediano y largo plazo. Estas mejoras se traducirán en la reducción de los costos operativos en los que incurre el sistema de ventilación de la mina subterránea, tales como el consumo energético, mantenimiento de los elementos del sistema de ventilación, el incremento de la productividad en las actividades unitarias de rehabilitación como también a futuro de las actividades de explotación y a su vez de elaborar un modelo digital que permita contar con una visualización completa y detallada del circuito de ventilación.

Lo mencionado previamente procura alcanzar una mejora significativa en las condiciones medioambientales y equipos involucrados en la actividad minera con la finalidad de incrementar su rendimiento y garantizar un trabajo seguro en todas las actividades dentro de la mina.

1.2 Delimitación del alcance de la propuesta:

El presente proyecto de tesis abarcó:

- i. La recolección de data en campo y medición de parámetros del sistema de ventilación de la mina.
- ii. Trabajo en gabinete incluyendo el modelamiento y la evaluación - diagnóstico del actual sistema de ventilación de la mina.
- iii. Validación en campo del modelo digital, calibración y diagnóstico del sistema de ventilación actual.
- iv. Modelamiento de escenarios de mejora, tomando en cuenta las variables presentes de la etapa de rehabilitación en un análisis de costo – beneficio.
- v. Propuesta técnica de mejora abarcando el cambio de ciertos elementos de ventilación (reguladores, puertas, ventiladores, limpieza y bloqueo de labores) los cuales influyen en los costos operativos, además se realizó un análisis financiero comparativo entre mantener los costos del sistema actual o implementar la configuración de costos del sistema propuesto.

1.3 Antecedentes

- En base a la información recolectada, se tuvo en cuenta como antecedentes a la tesis de *Kurnia et al. (2014)* en donde se pudo observar que se realizó un estudio que se basa en investigar varios factores que afectan tanto al rendimiento como a la efectividad de contar con un sistema de caudal variable con el fin de poder lograr una reducción de consumo eléctrico en un 25% en comparación con un circuito de ventilación de flujo constante.
- En base a la tesis de Portilla (2018) en donde se propone una optimización de una mina polimetálica en donde no se contaba con un modelo digital el cual ayudaría

con el control de manera operativa de los flujos de aire que circulan dentro de la red subterránea. Para ello es que se recurrió a utilizar el software de ventilación VentSim4. A su vez se propuso como optimización de elaborar ductos principales de ventilación con el fin de que se asegure la demanda de aire para la zona de profundización de la veta principal de la mina para un futuro a largo plazo. Estas propuestas se realizaron con el fin de poder obtener una reducción del costo operativo en más del 60%, el cual conlleva a una reducción de agentes químicos en el aire en un 30% y brindado un margen de ahorro de más de \$200 000 anuales.

- En base a la tesis de Ponciano (2016) en donde se propone modelar y simular diversas alternativas de mejoras en el sistema de ventilación por medio del software Vnet PC con el objetivo de poder garantizar la producción en un ambiente adecuado de la Minera Invicta en base a la cantidad y calidad de aire requerida por las normas de seguridad.
- En base a la tesis de Caxi (2017) en donde se propone el diseño de un circuito de ventilación como su simulación del circuito mediante el software VentSim 3.9. En esta tesis se priorizó para el diseño del circuito en el desarrollo de una chimenea de ventilación, así como en la selección de un ventilador de 15000 cfm para el crucero 2170. Según la tesis, se priorizó en la selección de este equipo y la implementación de dos mangas paralelas de ventilación en el crucero 2170 con el fin de demostrar que es más efectivo que con una sola manga de ventilación.
- En base a la tesis de Torres (2015) en donde se propone con la optimización del actual sistema de ventilación de la U.M Animón teniendo en cuenta los requerimientos básicos de aire fresco tomando como referencia a las normas de ventilación peruana. En esta tesis se elaboró el diagnóstico del sistema de ventilación para luego realizar la calibración y modelamiento del circuito de

ventilación en base al modelo de los avances realizados en el mes de mayo 2014 en base al software de ventilación VentSim Visual Avanzado.

- En base a la tesis de Maguiña (2018) en donde se propone un diseño de circuito de ventilación para la mina hércules de la Compañía Lincuna con el propósito de optimizar el sistema de ventilación en donde se tendrá en cuenta los requerimientos básicos de aire fresco para el óptimo desarrollo de las diversas actividades en la compañía minera teniendo en cuenta las normas actuales de ventilación peruana; como así también en facilitar en el costo de operaciones en la presente mina analizada. Es por eso que para poder lograrlo lo realizó mediante la simulación del sistema de ventilación de la mina mediante el software VentSim Visual Premium.
- En base a la tesis de Bendezú (2016) en donde se toma en consideración la ubicación de los ventiladores seleccionadas como así también la implementación de chimeneas ubicadas estratégicamente con el fin de poder realizar una simulación del circuito de ventilación con el fin de poder obtener un incremento de caudal de aire en las labores de profundización RP-400 y así también poder evitar la recirculación del aire viciado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Modelar, simular y diagnosticar el circuito actual de ventilación de la mina subterránea utilizando el software Ventsim Design 5 y proponer un escenario viable de mejora.

1.4.2 Objetivos específicos

- Modelar, calibrar y simular el circuito de ventilación actual de la mina subterránea con el propósito de generar un diagnóstico del sistema de ventilación.

- Efectuar un diagnóstico del sistema de ventilación actual en la mina a partir de la información recopilada y en base a la simulación del circuito de ventilación con el objetivo de identificar zonas en donde los parámetros de ventilación no cumplan con la normativa legal vigente.
- Analizar el recorrido de gases contaminantes y la temperatura efectiva.
- Evaluar la mejora operativa del sistema de ventilación propuesto con respecto a la situación actual en términos del costo del consumo de energía y análisis financiero.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis principal

- Se espera proponer un escenario de mejora viable para el sistema de ventilación tomando en cuenta los criterios de costo-beneficio, seguridad, operatividad, entre otros; y que permita corregir los puntos débiles del sistema de ventilación identificados en el diagnóstico.

1.5.2 Hipótesis secundarias

- Se espera que la información encontrada relacionada a sistemas de ventilación en minería nos proporcione una base de conocimientos especializados.
- Se espera que toda la información que se recolecte en campo, relevante al circuito de ventilación de la mina, sea la más adecuada para poder modelar, diagnosticar y proponer diversos escenarios viables del sistema de ventilación.
- Se espera que el modelamiento detallado del circuito de ventilación, nos proporcione información primordial para la elaboración del diagnóstico del circuito de ventilación.
- Se espera conseguir un modelo del sistema de ventilación con una exactitud en un rango mayor al 80%.

- Se espera identificar deficiencias y debilidades del sistema de ventilación actual de la mina, a través del diagnóstico a realizarse.

1.6 Metodología

Para lograr los objetivos planteados en el proyecto, se delinearon una serie de actividades que formaron parte de la metodología que se utilizó para el cumplimiento de los objetivos; estas actividades serán descritas a continuación.

- O.E 1

Paso 1: Determinación de condiciones ambientales en campo. (2 semanas)

Paso 2: Situación de ventiladores, chimeneas y elementos del sistema de ventilación. (1 semana)

Paso 3: Levantamiento del sistema de ventilación de la mina (Estaciones de control de ventilación, cobertura de aire, balance I/S). (2 semanas)

Paso 1: Validar la data del modelamiento de las labores (planos). (3 días)

Paso 2: Modelamiento de las labores preexistentes en la mina. (4 días)

Paso 3: Modelamiento del sistema actual de ventilación de la mina en base a la data inquirida. (1 semana)

Paso 4: Calibración y simulación del sistema actual de ventilación de la mina (2 semanas)

- O.E 2:

Paso 1: Indicar las deficiencias actuales en el sistema de ventilación y sus elementos (ventiladores, labores, sostenimiento, chimeneas, bocaminas, etc.) obtenidas durante el reconocimiento en campo. (1 semana)

Paso 2: Precisar las deficiencias obtenidas mediante el software. (4 días)

Paso 3: Realizar una comparación y análisis utilizando la data de campo y el modelo de software que brinde una mayor interpretabilidad en la realización del diagnóstico del sistema de ventilación actual. (1 semana)

Paso 4: Presentar el diagnóstico del sistema de ventilación de la mina. (4 días)

- O.E 3:

Paso 1: Identificar los gases contaminantes presentes con mayor concentración en el interior de mina (3 días).

Paso 2: Determinar el recorrido de los gases contaminantes a través de las labores utilizando el software de ventilación Ventsim Design 5. (2 días)

Paso 3: Realizar el análisis de las temperaturas efectivas de las diferentes labores transitables dentro del interior de mina. (2 días)

Paso 4: Analizar la cobertura de aire de la propuesta de mejora. (2 días)

- O.E 4:

Paso 1: Determinar el costo de consumo de energía, tanto para la situación actual como para la propuesta de mejora y los costos de capital como operativos incurridos en la propuesta de mejora. (1 semana)

Paso 2: Realizar el análisis comparativo de costos de consumo de energía y el análisis financiero entre la situación actual y la propuesta de mejora. (2 días)

1.7 Plan de trabajo

El plan de trabajo a seguir contempló de 2 visitas de campo en las cuales se llevarán a cabo las diversas actividades, trabajo de gabinete y una propuesta técnica de mejora operativa:

1.7.1 Primera visita de campo

Para la primera visita de campo se buscó obtener la data correspondiente al diseño de mina, tal como planos y topografía, la cual se encontró en diversos formatos

(AutoCAD, Datamine) con el objeto de tener un punto de partida para el modelamiento posterior en el software VentSim Design 5. Esta data fue brindada por los ingenieros del área de planeamiento.

En esta visita también se recopiló información relevante a los ventiladores, tanto para los principales como para los secundarios, entre la que podemos mencionar: marca, modelo, potencia, entre otros. Gran parte de la información técnica mencionada previamente, se obtuvo por la colaboración del área de Mantenimiento eléctrico.

De la misma manera se obtuvo información tomada en campo en las estaciones de control como en ciertos puntos elegidos en base a nuestro criterio con el fin de poder contar con una mayor cantidad de datos, la cual nos permitirá realizar el balance general, análisis de cobertura de aire y requerimientos con la finalidad de verificar si el circuito de ventilación actual cumple con los requerimientos establecidos en la normativa legal.

Finalmente, se procede con la primera parte del modelamiento correspondiente a la introducción de la data de labores, topografía, parámetros técnicos de los ventiladores y velocidades.

1.7.2 Segunda visita de campo

La segunda visita contempló la medición de los diversos parámetros ajenos al balance general y el análisis de cobertura, tales como velocidades, gases emitidos, humedad, entre otros, en diversos puntos del circuito principal y en las zonas en donde se proyectan los frentes y labores de producción.

Trabajo de gabinete

Así mismo, se continuó con el modelamiento del sistema de ventilación de la mina, abarcando ahora los parámetros adicionales obtenidos de esta segunda visita.

Cabe mencionar que luego del modelamiento se procedió a calibrar el mismo con el objetivo de demostrar que nuestro modelo cuenta con una exactitud no menor al 80% respecto a los datos obtenidos en campo.

1.7.3 Trabajo de Gabinete




Luego de la etapa de validación, calibración simulación, procedimos con la elaboración del diagnóstico en base al circuito de ventilación. Así mismo se procedió a realizar un análisis de costo-beneficio tomando en cuenta la situación actual y la propuesta mejora en términos de operatividad y su análisis financiero.

1.7.4 Equipos utilizados

A continuación, se muestra los equipos utilizados para nuestro trabajo de investigación:

 <p>Figura 1. Anemómetro digital</p>	Equipo: Anemómetro Digital
	Marca: Delta Ohm
	Modelo: HD2103.2
	Función: Se utilizó para la medición de las velocidades del aire en las labores mineras

	Equipo: Detector Multigas
	Marca: Dräger

 <p data-bbox="427 566 730 600">Figura 2. Detector Multigas</p>	<p data-bbox="927 197 1193 230">Modelo: X-am 5600</p> <p data-bbox="927 253 1390 454">Función: Se utilizó para obtener los valores de mediciones de gases tóxicos presentes en las labores mineras.</p>
 <p data-bbox="427 1066 759 1099">Figura 3. Distanciómetro laser</p>	<p data-bbox="927 741 1310 775">Equipo: Distanciómetro laser</p> <p data-bbox="927 797 1137 831">Marca: BOSCH</p> <p data-bbox="927 853 1161 887">Modelo: GLM 50</p> <p data-bbox="927 909 1390 999">Función: Se utilizó para obtener las dimensiones de las labores mineras.</p>
 <p data-bbox="427 1570 663 1603">Figura 4. Psicrómetro</p>	<p data-bbox="927 1234 1318 1267">Equipo: Psicrómetro giratorio</p> <p data-bbox="927 1290 1318 1323">Marca: CASELLA LONDON</p> <p data-bbox="927 1346 1058 1379">Modelo: -</p> <p data-bbox="927 1402 1390 1603">Función: Se utilizó para la medición de las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco en las labores mineras.</p>

2. Marco teórico

2.1 Minería Subterránea

La minería subterránea se utiliza para extraer mineral de debajo de la superficie de la tierra de forma segura, económica y con la menor cantidad de residuos posible. La entrada desde la superficie a una mina subterránea puede ser a través de un túnel horizontal o vertical, conocido como socavón o pique. Anglo American (2023).

2.1.1 Cámaras y pilares

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denomina al método de explotación en donde se procederá con la extracción del mineral y se deberá de contar con pilares o columnas con el propósito de poder sostener el techo. Estos pilares pueden llegarse a recuperan posteriormente ya sea de manera parcial o total luego que se implementen otros pilares con otro material para el sostenimiento del techo.

2.1.2 Corte y relleno ascendente

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará al método de explotación en donde se procederá con el minado en forma de tajadas de manera horizontal y este procedimiento comenzará desde la parte más profunda del tajo y se continuará hacia la parte superior. Todo el volumen que dejo el material extraído de una tajada horizontal se procederá a rellenarlo con un material estéril, el cual proporcionará como una plataforma para la siguiente tajada de mineral que será extraída.

2.2 Tipos de labores en minería subterránea

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará labor minera a todo aquel acceso excavado con el fin de poder explotar un yacimiento. A continuación, se agrupará en las diversas categorías:

2.2.1 Labores mineras de acceso:

2.2.1.1 Galería principal

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará como la labor de acceso hacia el depósito del mineral. Será el acceso principal del personal, herramientas, equipos mecánicos como también de los servicios que sean necesarios para poner en funcionamiento la mina: La energía eléctrica, aire comprimido y desagüe.

2.2.1.2 Pique

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará como los accesos a las labores desde la superficie en las minas subterráneas. Estos accesos generalmente serán de manera vertical o inclinados. Su principal uso será para trasladar personal, herramientas, equipos; como así también para la extracción de mineral. Al ser un acceso de grandes dimensiones, este también cumplirá la función de acceso de ventilación que comunicará entre varios niveles. A su vez permitirá la comunicación entre niveles que contarán con las conducciones necesarias para el funcionamiento de la mina: La energía eléctrica, aire comprimido y desagüe.

2.2.1.3 Rampa

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará como una labor de acceso por donde transitará principalmente

equipos y maquinaria pesada desde la superficie de la mina hasta el interior de la mina. Este tipo de acceso permite poder transportar la extracción del mineral por medios más rápidos a través de equipos de bajo perfil. De la misma manera también permitirá como acceso de personal como de herramientas e insumos.

2.2.2 Labores de preparación

2.2.2.1 Chimenea

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará como una excavación vertical elaborada desde un nivel inferior de la mina hacia un nivel superior con el objetivo de poder permitir el paso del aire como así también de transportar material entre los diferentes lugares de trabajo. A su vez se le puede denominar como una chimenea de preparación cuando se refiere a una comunicación entre dos galerías con el fin de poder transportar mineral o personal. De la misma manera se le puede denominar como chimenea de ventilación cuando se refiere a una comunicación entre una galería inferior hacia el exterior con el fin de poder obtener una ventilación para la mina.

2.2.2.2 Ore pass

En base a los apuntes de clase del curso Minería Subterránea del profesor Vásquez (2019) se le denominará a aquella chimenea que cumplirá la labor específica de servir como medio de transporte de mineral. Esta labor suele ser un poco inclinada y comunicará desde el fondo de una cámara o frente de explotación hasta una estación de almacenamiento.

2.3 Tipos de ventilación

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le clasificará a la ventilación en dos grandes categorías: ventilación natural

y ventilación mecánica. La ventilación natural es el flujo natural de aire fresco al interior de una labor sin necesidad de equipos mecánicos de ventilación. En cambio, se le denomina ventilación mecánica a aquella que requiere de equipos mecánicos para forzar el flujo del aire en determinadas zonas al interior de mina; asimismo, la ventilación mecánica puede utilizarse para ventilación auxiliar o secundaria, siendo aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de aire de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

2.4 Ventilación mecánica

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019), la ventilación mecánica se clasificará en tres categorías:

- **Ventilación impelente:** este primer tipo de ventilación ocurre cuando se requiere ingresar un flujo de aire hacia una labor subterránea a través de un ducto de impulsión flexible, el cual permitirá que el aire que se encuentra contaminado, así como los gases, polvo y humo que puedan estar presentes en la labor sean removidos como consecuencia de la presión ejercida por el aire fresco entrante
- **Ventilación aspirante:** este tipo de ventilación ocurre cuando se requiere extraer aire viciado, polvo o gases de una labor subterránea a través de un ducto rígido de aire el cual funciona como ducto aspirante. En este tipo de ventilación el aire ingresaría hasta llegar al frente ciego, en donde este entraría en contacto directo con los diferentes contaminantes existentes en esa labor. Para poder lograr que el aire ingrese por la tubería rígida se debe de contar con un ventilador acoplado a esta por el otro extremo con el fin de que la presión negativa generada por el ventilador lo aspire y expulse fuera de la labor.

- Ventilación mixta: este tipo de ventilación será una combinación de los dos tipos de ventilación mencionados previamente y en este caso se contará con dos ventiladores y conductos de aire que cumplirán la función de impeler aire fresco hacia la labor o frente ciego y aspirar el aire viciado, gases, polvo o humo presente en la labor para asegurar la remoción de contaminantes y continuidad de inyección de aire fresco.

2.5 Balance de ingresos y salidas de aire.

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2018, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 252, inciso c, se refiere de que se debe contar y generar un reporte de balance de ingreso y salida de aire de la mina. A su vez este indica que la diferencia entre los caudales de aire que existe entre el ingreso y salida de aire en la mina no deberá ser mayor al 10 %.

2.6 Mediciones de gases

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 259, se refiere que se denominará a toda labor como gaseada cuando se esta se encuentre con un agente contaminante y este se encuentre por encima de la concentración máxima permisible y se procederá a la evacuación de todo el personal presente en esa labor hasta poder controlar la concentración de los agentes contaminantes.

De la misma manera, en el artículo 246 incisos a,b,f y g, indican que antes de iniciar la jornada se deberá de proceder con el registro de las mediciones de gases contaminantes presentes en la labor, a su vez se deberá de corroborar de que se cuenta con la suficiente circulación de aire necesario para esa labor el cual va acorde con el número de personal como de equipos presentes en esa labor y que siempre se deberá

de contar con una presencia mínima del 19.5% de oxígeno en la labor. También se indica que se debe de contar de manera obligatorio con ventiladores auxiliares cuando se cumple la condición de que existan labores con solo una vía de acceso y estas sean mayores a 60 metros de profundidad. Si las distancias son menores a estas los ventiladores auxiliares solo serán necesarias si las condiciones ambientales lo exigen. Por último, si se induce que se está próximo a una cámara de gas, no se debería de efectuar taladros oblicuos o paralelos a menos de una distancia de 10 metros de avance.

2.7 Emisión de gases de equipos petroleros

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 254, incisos c, d y e, se menciona que se deberá registrar de manera semanal las concentraciones de monóxido de carbono que emiten a través del escape los equipos que están operativos dentro de la mina y estas concentraciones deberán ser menores a 500 ppm de CO. A su vez se menciona que se deberá de registrar de manera semanal las concentraciones de dióxido de carbono que emiten a través del tubo de escape los equipos que están operativas dentro de la mina y estas concentraciones deberán ser menores a 100 ppm de NO₂. Por último, las operaciones de los equipos petroleros se deben suspender, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea cuando las emisiones de gases por el escape de los equipos superen las concentraciones antes mencionadas o cuando las concentraciones de monóxido de carbono y/o gases de dióxido de nitrógeno en el ambiente de trabajo se encuentren por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos establecidos en el ANEXO 15 del Reglamento de Seguridad y Saludo Ocupacional en Minería.

2.8 Requerimiento de aire de acuerdo con la normativa

2.8.1 Requerimiento de aire por personal.

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM), artículo 247 se indica que toda labor de trabajo se ubique por encima de los 1500 m.s.n.m se requerirá una cantidad mínima de aire por persona el cual será de 3 m³/min. De encontrarse en un lugar de trabajo ubicado entre 1500 a 3000 m.s.n.m se requerirá una cantidad mínima de aire por persona el cual será de 4 m³/min. De encontrarse en un lugar de trabajo ubicado entre 3000 a 4000 m.s.n.m se requerirá una cantidad mínima de aire por persona el cual será de 5 m³/min. De encontrarse en un lugar de trabajo ubicado a mayor altura de los 4000 m.s.n.m se requerirá una cantidad mínima de aire por persona el cual será de 6 m³/min.

2.8.2 Requerimiento por la cantidad de equipos petroleros en funcionamiento

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 252 inciso e, se menciona que se deberá de contar con una cantidad de aire como mínima de 3 m³/min cuando existe la presencia de equipos petroleros en esa labor.

2.8.3 Requerimiento por consumo de explosivos.

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 252 inciso d, se menciona que la demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida para los trabajadores para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Asimismo, cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero, deberá considerarse el aire requerido para diluir los gases de la voladura de acuerdo al ANEXO 38.

2.8.4 Requerimiento por temperatura

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 252 inciso d, se menciona que, para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.

2.8.5 Requerimiento por consumos de madera

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ministerio de Energía y Minas, 2020, Decreto Supremo N° 024-2016-EM, artículo 252, inciso d, se indica que la madera empleada al interior de la mina para labores de sostenimiento, entre otras, genera emisiones de gases de CO₂ y CH₄, factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina. El factor se determina de manera proporcional a la producción, considerándose la siguiente escala:

- Si se cuenta con un consumo de madera entre 20% y 40 % del total de la producción, el factor de producción será de 0.60 m³/min.
- Si se cuenta con un consumo de madera entre 41% y 70 % del total de la producción, el factor de producción será de 1.0 m³/min.
- Si se cuenta con un consumo de madera mayor al 70% del total de la producción, el factor de producción será de 1.25 m³/min.

2.9 Software Ventsim

Este software será utilizado como una herramienta digital para poder realizar la simulación del flujo de aire en función a parámetros como: la velocidad del aire, la presión atmosférica, las temperaturas de bulbo húmedo y seco, etc. A su vez también permitirá poder realizar un modelamiento en 3D en donde también se podrá observar

de manera gráfica a los ventiladores principales, auxiliares como a su vez se visualizará los ventiladores en serie como en paralelo. Por último, este software también permitirá poder calcular los costos de las redes de ventilación.

2.10 Aire en mina

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se denominará como aire de mina a la mezcla que se genera por parte del polvo gases y vapores presentes en las labores subterráneas. A su vez, el aire de mina puede dividirse de acuerdo a su composición en aire fresco y aire viciado.

2.10.1 Aire fresco

Se le conoce como aire fresco al aire que ingresa desde el exterior de la mina subterránea antes de entrar en contacto con cualquier contaminante presente dentro de mina.

2.10.2 Aire viciado

Se le conoce como aire viciado al aire fresco luego de ingresar a mina y entrar en contacto con los contaminantes al interior de la misma (polvo, gases, humos, etc.), alterando su composición y conociéndose también como aire contaminado o aire de retorno.

2.11 Polvo en mina

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denominará como un aerosol, es decir, partículas sólidas suspendidas en un medio gaseoso y el cual puede llegar a ser considerado como un peligro para la salud en base a ciertas condiciones, tales como su concentración, composición y el tamaño de las partículas.

La presencia de polvo en las labores mineras es prácticamente inevitable, por este motivo se debe mantener la concentración de polvo lo más bajo posible; como así también se deberá de reducir el tiempo de exposición del personal al aire contaminado que cuenta con polvo en suspensión.

2.12 Humedad relativa

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Espinoza (2019) Es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión de vapor de agua en una mezcla dada y la presión de vapor de agua para esa mezcla en condiciones de saturación, a la misma temperatura.

2.13 Temperatura

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) si se tiene en cuenta que para poder conocer la humedad relativa presente se necesitará contar con un psicómetro, el cual es un aparato que cuenta con dos termómetros, los cuales se denominaran como termómetro de bulbo seco y termómetro de bulbo húmedo. El termómetro de bulbo seco permitirá conocer la temperatura presente que se origina mediante la mezcla entre el aire fresco y el vapor de agua. De similar manera, el termómetro de bulbo húmedo permitirá conocer la temperatura del equilibrio dinámico entre la transferencia de la masa y la transferencia del calor.

2.14 Temperatura Efectiva

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) permite medir el grado de bienestar que experimenta el cuerpo humano en ciertas condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad de aire circulante.

Varias combinaciones de temperatura, humedad relativa y velocidades pueden producir el mismo valor de temperatura efectiva.

2.15 Presión

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denominará presión de aire en las minas a la presión absoluta y a la presión diferencial.

2.15.1 Presión Absoluta

Se le denomina de esta manera generalmente cuando se utiliza los barómetros, los cuales brindarán los valores en unidades muy grandes, para lo cual se considerará en múltiplos de esta unidad de medición (Kpa).

2.15.2 Presión Diferencial

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denomina también como caída de presión, el cual indica la pérdida de presión que existe al momento de que el aire circule a través de un ducto

2.16 Gases de mina

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denominará como gases contaminantes a todos aquellos que son frecuentes que se producen dentro de la mina. Estos pueden derivar de diversos orígenes dentro de la mina, tales como por los motores Diesel, incendios, disparos y minerales que liberan gases.

A continuación, se mencionarán en una lista los gases más frecuentes en las minas:

- Nitrógeno (N₂)
- Oxígeno (O₂)

- Anhídrido carbónico (CO₂)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO)
- Anhídrido Sulfuroso (SO₂)
- Ácido Sulfhídrico (H₂S)
- Metano (CH₄)

2.17 Manga De Ventilación

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denomina al ducto que cumplirá la función de evacuar aire contaminado con polvo y gases que se originan dentro de las labores mineras. No obstante, también servirá para inyectar aire por este conducto dependiendo al tipo de ventilación que se requiera. Estas mangas se encuentran elaboradas de un polyester de alta resistencia el cual será resistente a la descomposición y poseerán tratamientos antiestáticos.

Existen diferentes tipos de mangas de ventilación, las cuales pueden ser de los siguientes tipos, entre otros: El primero será de ducto redondo, el cual será el ducto más común utilizado en la mina cuando se requiere de presiones positivas, es decir para un sistema de ventilación impelente. También existe un ducto redondo tipo FSA, el cual su única diferencia con el anterior será que esta no cuenta con un anillo de acero. El tercero será un ducto redondo con espirales, el cual se utilizará para presiones negativas y estos suelen ser más flexibles y de mayor durabilidad. Por último, se contará con un ducto twin oval. El cual se utilizará cuando se requiera contar con altos flujos de aire.

2.18 Ventilador

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denominará ventilador a una máquina que capaz de comprimir aire entregándole presión, el aire que pasa a través del ventilador no varía su volumen, pero si entrega energía en forma de presión, capaz de anular las pérdidas de presión de un circuito.

Los ventiladores que se utilizan en la industria minera se pueden dividir en dos categorías las cuales son: los ventiladores centrífugos y los ventiladores axiales. Los ventiladores centrífugos son aquellos en donde el aire ingresa a un impulsor que posee la turbo máquina y se procede con su descarga de manera radial hacia la carcasa que se encuentra en forma de voluta. En cambio, los ventiladores axiales son aquellos en donde el aire ingresa a lo largo del rotor y el aire luego ingresa hacia las aletas de la hélice para luego ser descargado en una dirección axial.

2.19 Anemómetro

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se le denomina al instrumento que se utiliza para poder medir la velocidad del aire. Es importante realizar de manera correcta la medición de las velocidades del aire, para lo cual se realizará mediante ondas y durante un breve periodo de tiempo en una sección específica y delimitada al interior de la mina.

2.20 Puertas y trampillas

En base a los apuntes de clase del curso Ventilación de Minas del profesor Guerra (2019) se les denomina a aquellos lugares en donde se han colocados estos accesorios con el fin de evitar el paso de personal hacia esas labores debido a diversos factores,

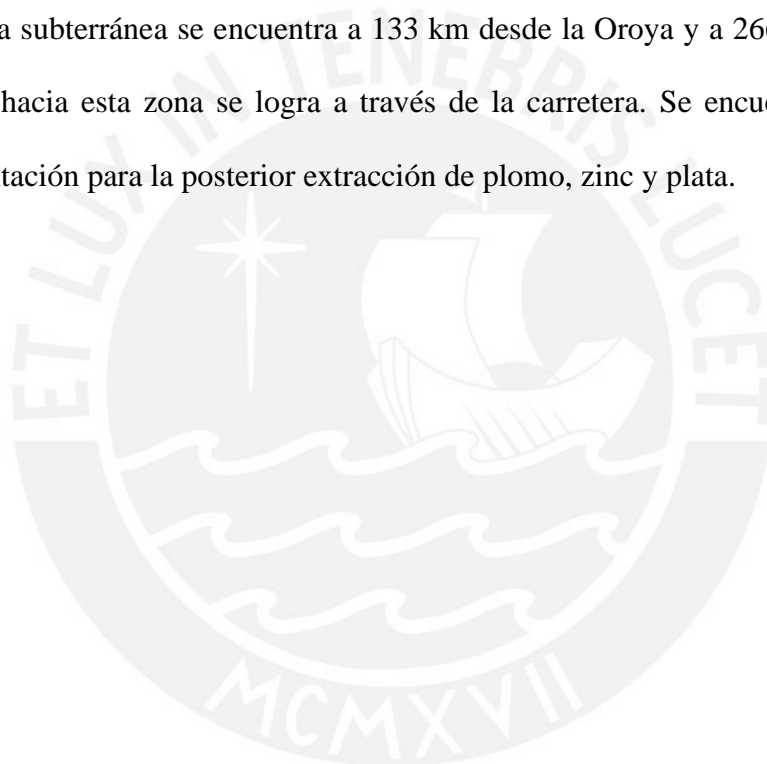
ya sea a que esas labores son muy antiguas o se quiere evitar el ingreso a una zona de alta exposición de gases.



3. Descripción de la mina

La mina subterránea elegida se encuentra ubicada en la sierra central del Perú, específicamente en el centro poblado Paragsha, Distrito de Simón Bolívar, Provincia de Pasco, Región Pasco. La mina subterránea cuenta con más de 100 años de antigüedad y está ubicada en la región Pasco a 4203 msnm. La mina se encuentra en la etapa de rehabilitación de labores para la reanudación de actividades, por lo cual todas las labores de explotación han sido clausuradas.

La mina subterránea se encuentra a 133 km desde la Oroya y a 266 km de Lima. El acceso hacia esta zona se logra a través de la carretera. Se encuentra en etapa de rehabilitación para la posterior extracción de plomo, zinc y plata.



4. Modelamiento digital del circuito de ventilación

4.1 Base del modelo digital

A continuación, se mostrará y se detallará los elementos añadidos en el software para la elaboración del modelo del circuito de ventilación. En primer lugar, se procedió a recolectar la información pertinente al diseño, la cual está conformada por los siguientes elementos:

- Diseño en formato Datamine de las labores de la mina subterránea
- Topografía de la superficie en formato Datamine
- Modelo geológico en formato Datamine

A partir de estos elementos se procedió a realizar el diagrama y teniendo en cuenta las dimensiones de las labores del levantamiento por niveles, las cuales fueron obtenidas mediante el uso de un distanciómetro digital de uso propio de la marca BOSCH - modelo GLM 50.

Cabe resaltar que para la medición de las velocidades de aire en el interior de mina fue necesario contar con un anemómetro digital (brindado por la Pontificia Universidad Católica del Perú) el cual registra las velocidades del flujo de aire. Luego se procedió a determinar los parámetros termo ambientales (temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco y concentración de gases) a través de un psicrómetro (brindado por la Pontificia Universidad Católica del Perú) y de un detector multigas de la marca DRÄGER – modelo 5600 (brindado por el área de seguridad de la mina). La utilización de estos parámetros termo higrométricos será abarcada en capítulos posteriores al determinar el caudal y la humedad relativa en las diferentes labores.

4.2 Caracterización de ventiladores

Fue necesario realizar un mapeo de todos los ventiladores existentes en la Unidad Minera, con el fin de poder contar con un registro completo y actualizado de los ventiladores y a su vez poder conocer las especificaciones técnicas y condiciones actuales de los ventiladores.

4.2.1 Análisis de operación de ventiladores

Esta sección abarcará el inventario de todos los ventiladores presentes en la mina tanto en interior mina como en mantenimiento y en stock.

A continuación, se mostrará una tabla resumen de los ventiladores identificados en la unidad minera, así como su ubicación capacidad (CFM) y su estado operativo:

Tabla 1 Inventario de Ventiladores

INVENTARIO DE VENTILADORES							
CÓDIGO MINA	MARCA	UBICACIÓN	NIVEL/UBIC.	LABOR	POTENCIA (HP)	CAPACIDAD (CFM)	ESTADO
VEN-0218-CE	JOY	MINA	800	GA. 8212 - PAMA	15	5000	OPERATIVO
VEN-9101-CE	HOWDEN	MINA	800	GA. 894 N	100	60000	STAND BY
VEN-1331-CE	JOY	MINA	800	SN. 8357	150	60000	OPERATIVO
VEN-2771-CE	JOY	MINA	800	RP. 8213 - CH. 8931	30	20000	OPERATIVO
VEN-9102-CE	HOWDEN	MINA	800	RP. 8350 - SN. 8357	100	60000	STAND BY
VEN-2075-CE	JOY	MINA	800	RP. 10213-CA. 10432	50	30000	STAND BY
VEN-0004-VI	AIRTEC	MINA	1200	GA. 12019, GA. 12008	50	30000	OPERATIVO
VEN-9050-CE	HOWDEN	MINA	1200	PQ L2	50	30000	OPERATIVO
VEN-1146-CE		MINA	1200	GA. 1238	15	5000	OPERATIVO
VEN-2033-CE	JOY	MINA	1200	PRE EXCELSIOR	60	30000	OPERATIVO
VEN-1313-CE	JOY	MINA	1200	CB. 1281, POST. PQ EX.	25	16000	OPERATIVO
VEN-0002-VI	AIRTEC	MINA	1400	PQ L2	50	30000	OPERATIVO
VEN-2010-CE	JOY	MINA	1400	GA. 14904/ BP. 14890	60	30000	OPERATIVO
VEN-0111-CE	AIRTEC	MINA	1600	PQ L2	50	30000	OPERATIVO
VEN-1316-CE	JOY	MINA	1600	GA. 1640, CB. 1640	30	16000	OPERATIVO
VEN-9055-CE	HOWDEN	MINA	1800	GA. 1812	40	20000	OPERATIVO
VEN-0196-CE	JOY	MINA	2100	PQ L2	15	5000	OPERATIVO
VEN-2107-CE	TIGRE	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	100000	DESCONOCIDO
-	AIRTEC	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	40000	DESCONOCIDO
VEN-2126-CE	AIRTEC	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	210000	DESCONOCIDO
VEN-2116-CE	JOY	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	60000	DESCONOCIDO
VEN-0103-CE	JOY	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	60000	DESCONOCIDO
-	AIRTEC	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	20000	DESCONOCIDO
VEN-2102-CE	JOY	SUPER. - LOGIST.	SUPERFICIE	-	-	60000	DESCONOCIDO
VEN-0003-VI	AIRTEC	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	50	30000	FUERA DE SERVICIO
VEN-2105-CE	JOY	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	-	16000	DESCONOCIDO
VEN-9054-CE	HOWDEN	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	-	20000	DESCONOCIDO
-	-	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	-	20000	DESCONOCIDO
-	-	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	-	-	DESCONOCIDO
-	-	SUPER. - MANTTO	SUPERFICIE	-	-	-	DESCONOCIDO

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se mostrará una tabla resumen de los ventiladores identificados en la mina subterránea, así como las características que fueron necesarias para poder determinar sus curvas.

Tabla 2 Caracterización de Ventiladores – situación actual

CÓDIGO	NIVEL	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	UBICACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL (CFM)	POTENCIA NOMINAL (HP)	POTENCIA NOMINAL (KW)	Intensidad de corriente teórica(A)	MEDICION CORRIENT E(A)	POTENCIA REAL (HP)	MODELO
V01	800	Ventilador JOY	GA. 8212, CB. 8212	5,000	15	11.19	22	18	15	-
V02	800	Ventilador JOY	SN. 8357, RP. 8350	60,000	150	111.9	221	180	156.30	VAV-48-26.5-1750-II-B
V03	800 - 1000	Ventilador JOY	RP. 8213, CB. 8213	20,000	30	22.38	44	35	30.39	VAV-27-1/4-14-3450-II-A
V04	1200	Ventilador HOWDEN	GA. 12185, PQ. L2	30,000	50	37.3	74	54	46.89	VAV-32-14-3450-I-A
V05	1200	Ventilador AIRTEC	GA. 12019, GA. 12008	30,000	50	37.3	74	58	50.36	VAV-27-1/4-14-3450-II-A
V06	1200	Ventilador JOY	GA. 1201, PQ. EXCELSIOR	30,000	60	44.76	89	70	60.78	VAV-42(1/4)-26.5-1750-II-B
V07	1200	Ventilador	GA. 1238	5,000	15	11.19	22	15	15	-
V08	1200	Ventilador JOY	GA. 1201-S, CB. 1281	16,000	25	18.65	37	28	24.31	VAV-25(1/4)-18-3450-II-A
V09	1400	Ventilador AIRTEC	BP. 14459-SE, PQ. L2	30,000	50	37.3	74	58	50.36	VAV-29(1/4)-14-3450-II-A
V10	1400	Ventilador JOY	GA. 14904, BP. 14890	30,000	60	44.76	89	70	60.78	VAV-32-14-3450-II-A
V11	1600	Ventilador JOY	GA. 1640, CB. 1640	16,000	30	22.38	44	35	30.39	VAV-29(1/4)-14-3450-II-A
V12	1600	Ventilador AIRTEC	GA. 1696-SW, PQ. L2	30,000	50	37.3	74	58	46.89	VAV-32-14-3450-I-A
V13	1800	Ventilador HOWDEN	GA. 1812, PQ. L2	20,000	40	29.84	59	45	39.08	VAV-27-1/4-14-3450-II-A
V14	2100	Ventilador JOY	PQ. L2	5,000	15	11.19	22	18	15	-

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de cada ventilador se contempló en determinar la presión del ventilador en pulgH₂O, para ello se propuso como punto de partida una eficiencia al 70% la cual junto con el caudal nominal (m³/s) y la potencia nominal del ventilador (KW) nos dio como resultado una presión (KPa) la cual fue convertida a pulgH₂O.

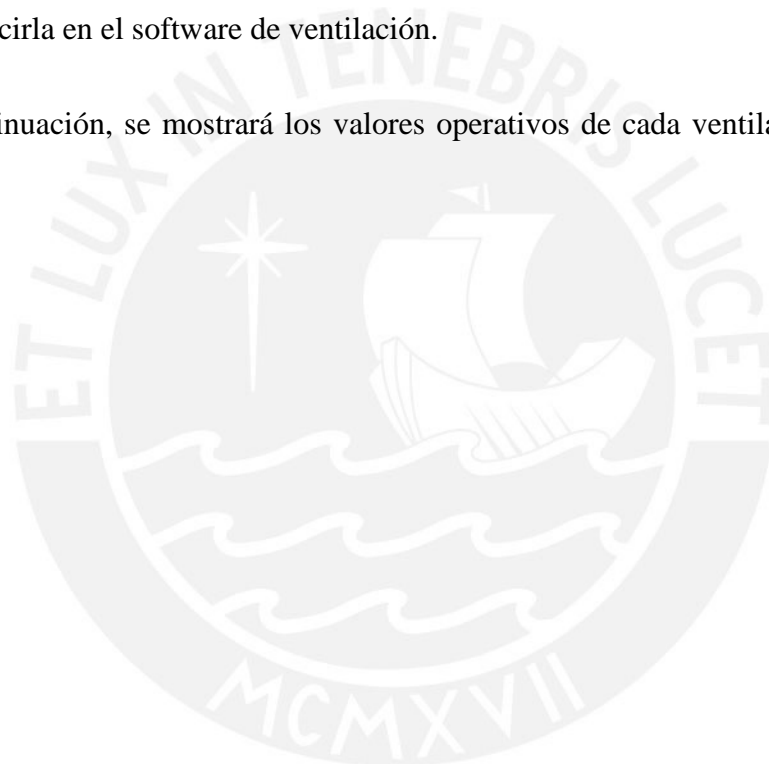
A si mismo se determinó el valor de la potencia real a partir de la medición de intensidad de corriente (A), el voltaje (V) y el factor de potencia a través de la siguiente fórmula:

$$Potencia Real (HP) = \frac{\sqrt{3} * 0.85 * Voltaje(440V) * Intensidad}{746}$$

Ecuación 1. Ecuación para el cálculo de la potencia real

A partir de la presión en pulgH₂O valor junto a la temperatura, altura de operación y caudal medido se procedió a buscar en el software del fabricante de ventiladores Airtec, que al variar las presiones en pulgH₂O nos diera valores de potencia (HP) muy similares a los valores de la potencia real (HP) calculada previamente. Una vez identificado el ventilador cuya potencia sea la más cercana a la potencia real se procedió a seleccionar la curva junto con los parámetros operacionales para introducirla en el software de ventilación.

A continuación, se mostrará los valores operativos de cada ventilador junto con su curva:



4.2.1.1 Análisis del Ventilador V02

Tabla 3 Análisis del ventilador V02

V02 (SN. C26:G328357, RP. 8350)				
CODIGO: VAV-48-26.5-1750-II-B				
CAUDAL 60,000 CFM =		28.32 m3/s		
POTENCIA 150 HP =		112 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
10.95	77.35%	156.3	70000	156.30

Fuente: Elaboración propia

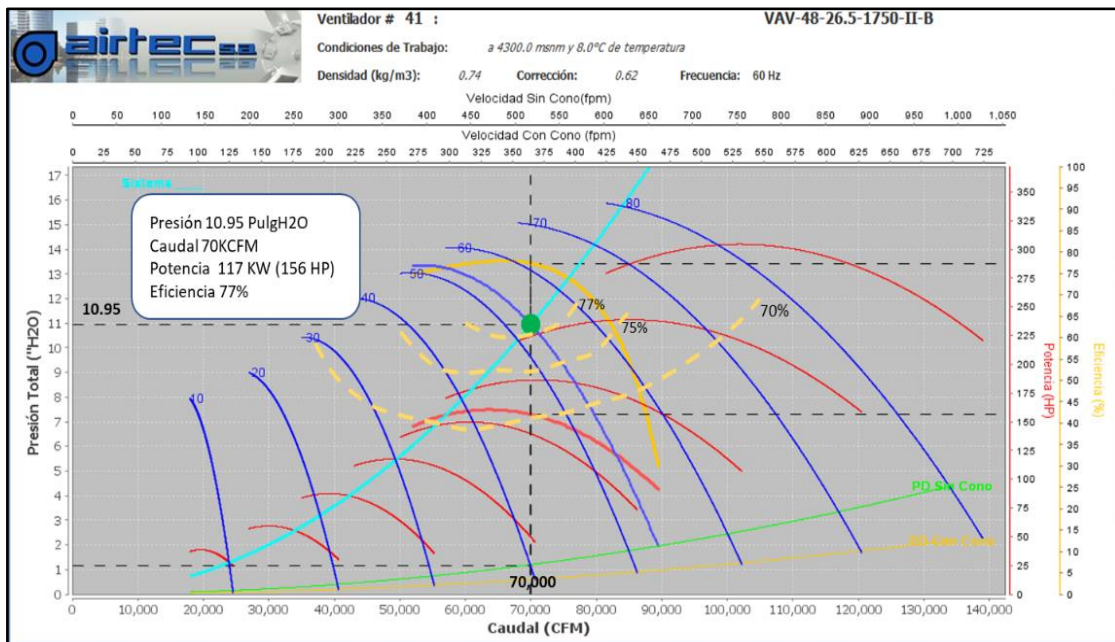


Figura 5. Curva de ventilador V02

4.2.1.2 Análisis del Ventilador V03

Tabla 4 Análisis del ventilador V03

V03 (RP. 8213, CB. 8213)				
CODIGO: VAV-27-1/4-14-3450-II-A				
CAUDAL 20,000 CFM =		9.44 m3/s		
POTENCIA 30 HP =		22 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
7.4	65.44%	30.32	17000	30.39

Fuente: Elaboración propia

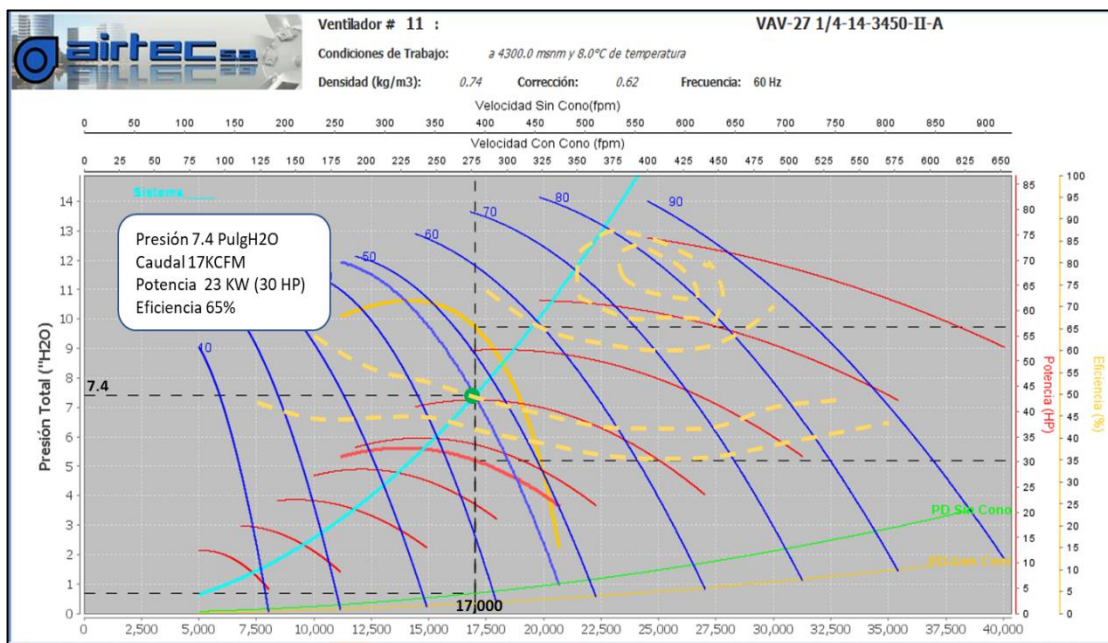


Figura 6. Curva de ventilador V03

4.2.1.3 Análisis del Ventilador V04-V12

Tabla 5 Análisis del ventilador V04-V12

V04 - V12 (GA. 12185, PQ. L2 - GA. 1696-SW, PQ. L2)				
CODIGO: VAV-32-14-3450-I-A				
CAUDAL 30,000 CFM =		14.16 m3/s		
POTENCIA 50 HP =		37 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
5.99	74.57%	46.88	37000	46.89

Fuente: Elaboración propia

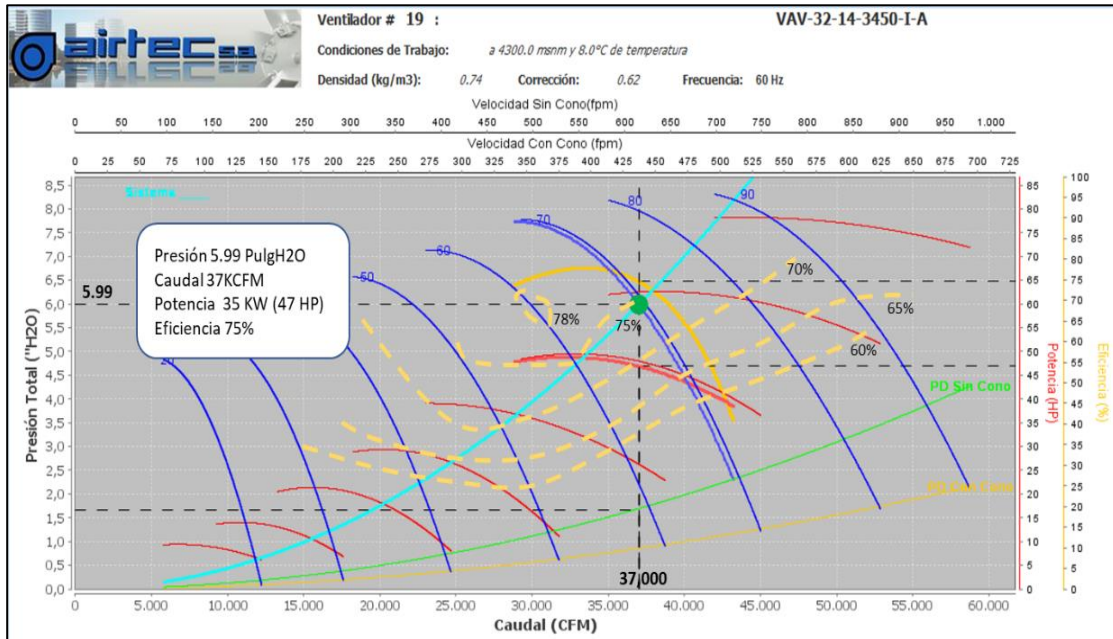


Figura 7. Curva de ventilador V04-V12

4.2.1.4 Análisis del Ventilador V05

Tabla 6 Análisis del ventilador V05

V05 (GA. 12019, GA. 12008)				
CODIGO: VAV-27-1/4-14-3450-II-A				
CAUDAL 30,000 CFM =		14.16 m3/s		
POTENCIA 50 HP =		37 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
11.24	77.49%	50.33	22000	50.36

Fuente: Elaboración propia

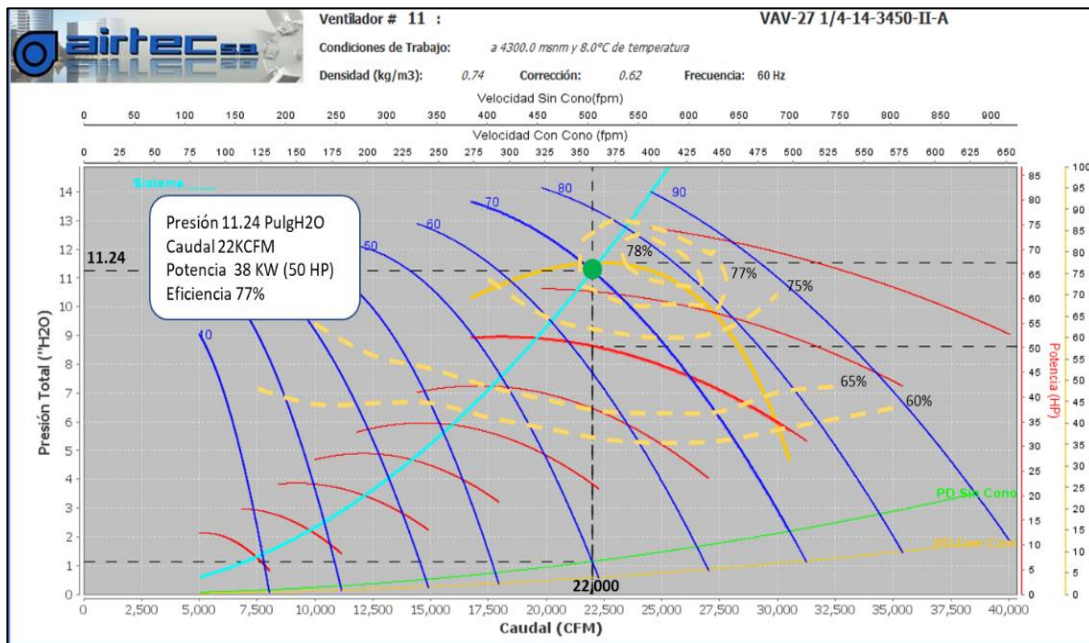


Figura 8. Curva de ventilador V05

4.2.1.5 Análisis del Ventilador V06

Tabla 7 Análisis del ventilador V06

V06 (GA. 1201, PQ. EXCELSIOR)				
CODIGO: VAV-42(1/4)-26.5-1750-II-B				
CAUDAL 30,000 CFM =		14.16 m3/s		
POTENCIA 60 HP =		45 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
10	67.48%	60.77	26000	60.78

Fuente: Elaboración propia

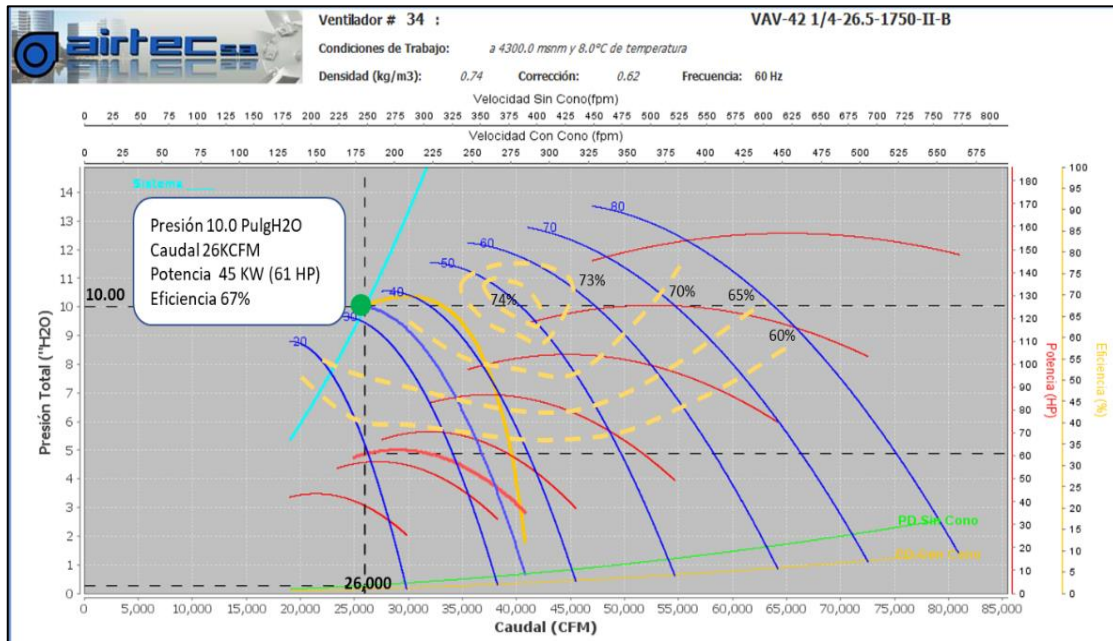


Figura 9. Curva de ventilador V06

4.2.1.6 Análisis del Ventilador V08

Tabla 8 Análisis del ventilador V08

V08 (GA. 1201-S, CB. 1281)				
CODIGO: VAV-25(1/4)-18-3450-II-A				
CAUDAL 16,000 CFM =		7.55 m3/s		
POTENCIA 25 HP =		19 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
7.43	62.69%	24.3	12000	24.31

Fuente: Elaboración propia

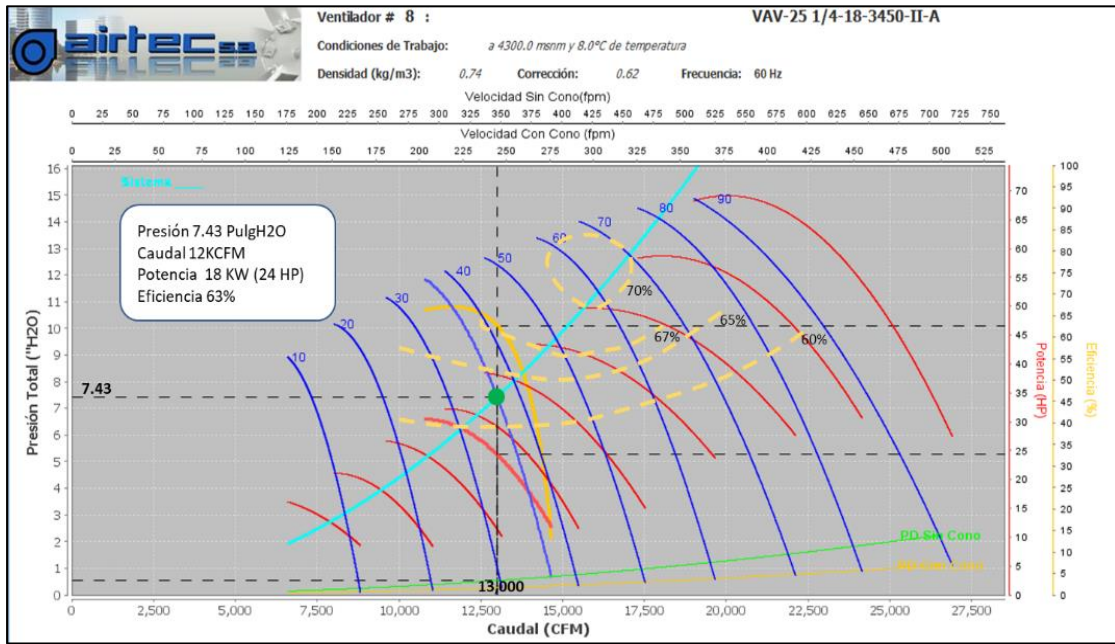


Figura 10. Curva de ventilador V08

4.2.1.7 Análisis del Ventilador V09

Tabla 9 Análisis del ventilador V09

V09 (BP. 14459-SE, PQ. L2)				
CODIGO: VAV-29(1/4)-14-3450-II-A				
CAUDAL 30,000 CFM =		14.16 m3/s		
POTENCIA 50 HP =		37 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
11.61	72.78%	50.32	20000	50.36

Fuente: Elaboración propia

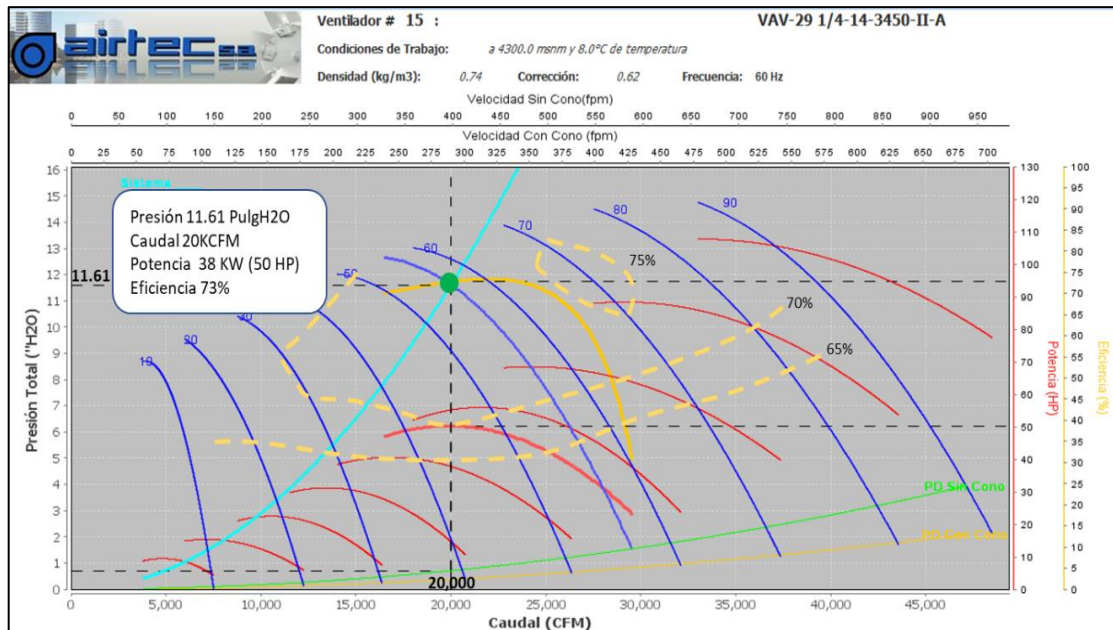


Figura 11. Curva de ventilador V09

4.2.1.8 Análisis del Ventilador V10

Tabla 10 Análisis del ventilador V10

V10 (GA. 14904, BP. 14890)				
CODIGO: VAV-32-14-3450-II-A				
CAUDAL 30,000 CFM =		14.16 m3/s		
POTENCIA 60 HP =		45 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
12.85	70.16%	60.66	21000	60.78

Fuente: Elaboración propia

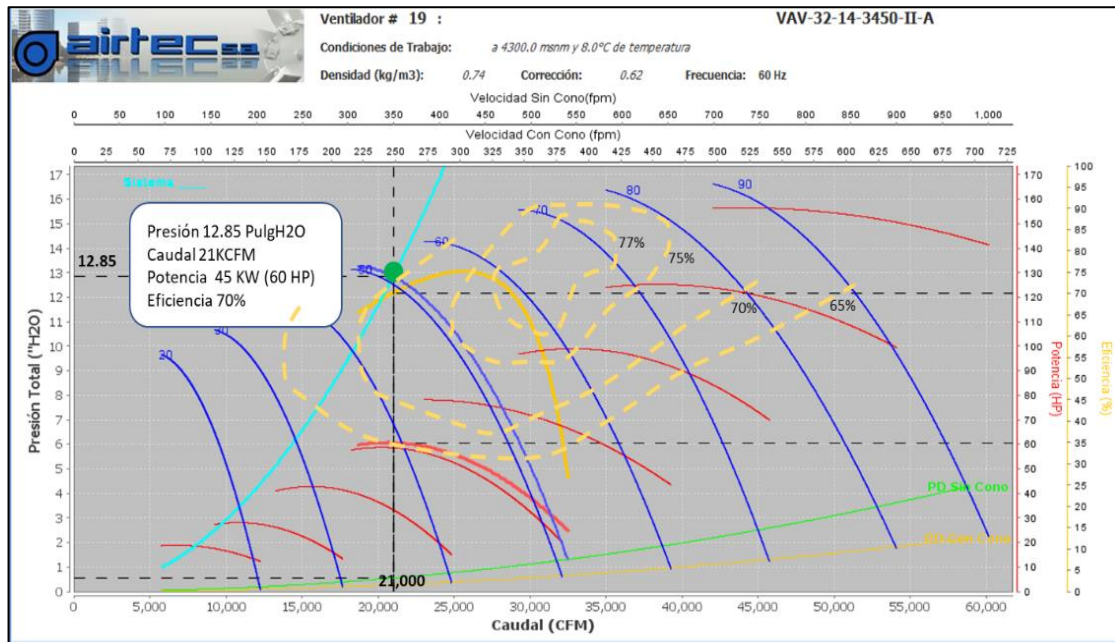


Figura 12. Curva de ventilador V10

4.2.1.9 Análisis del Ventilador V11

Tabla 11 Análisis del ventilador V11

V11 (GA. 1640, CB. 1640)				
CODIGO: VAV-29(1/4)-14-3450-II-A				
CAUDAL 16,000 CFM =		7.55 m3/s		
POTENCIA 30 HP =		22 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
11	68.68%	30.32	12000	30.39

Fuente: Elaboración propia

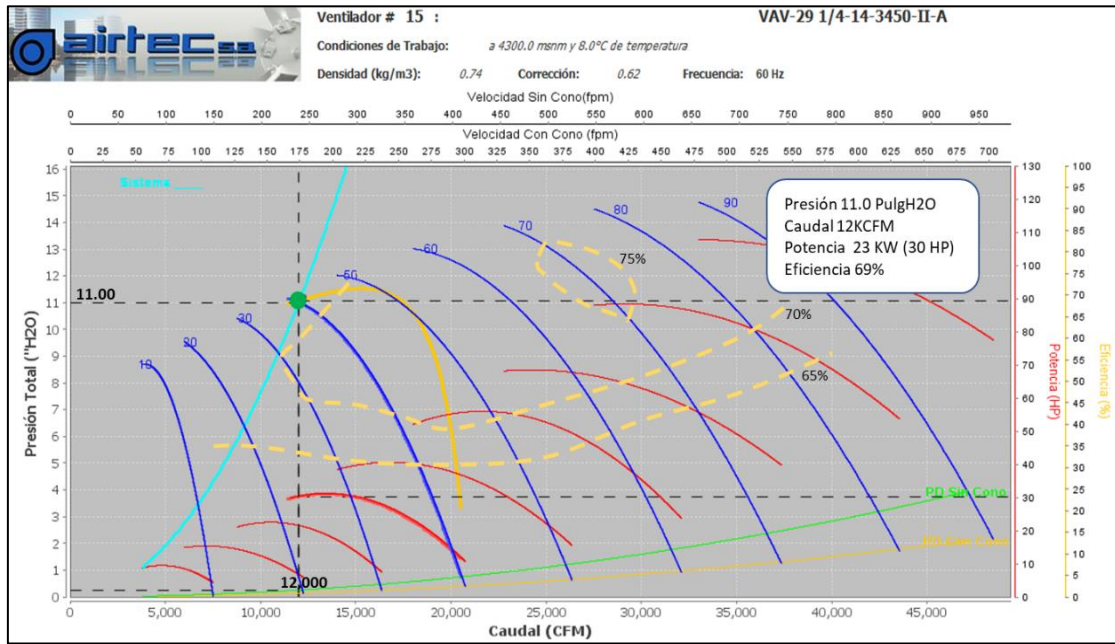


Figura 13. Curva de ventilador V11

4.2.1.10 Análisis del Ventilador V13

Tabla 12 Análisis del ventilador V13

V13 (GA. 1812, PQ. L2)				
CODIGO: VAV-27-1/4-14-3450-II-A				
CAUDAL 30,000 CFM =		9.44 m ³ /s		
POTENCIA 40 HP =		30 KW		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA			PARÁMETROS DE CAMPO	
PRESIÓN AIRTEC (pulg H ₂ O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)	CAUDAL MEDIDO (CFM)	POTENCIA OBJETIVO (HP)
12.04	72.94%	39.05	21000	39.08

Fuente: Elaboración propia

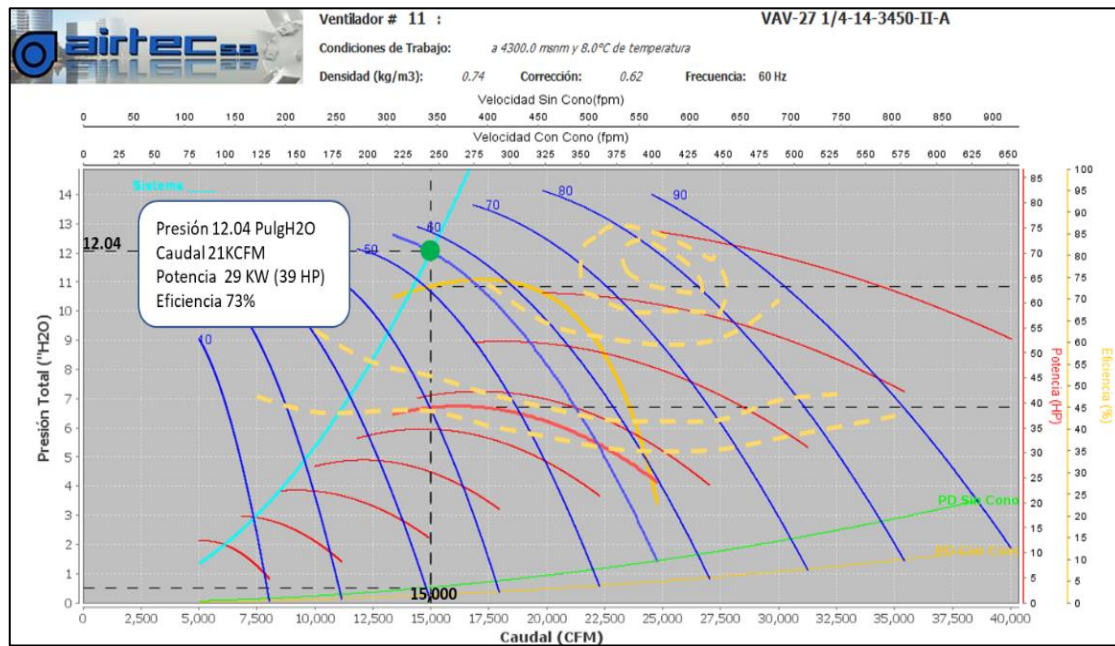


Figura 14. Curva de ventilador V13



5. Atributos y calibración

5.1 Atributos

5.1.1 Resistencias de las labores (factores de fricción, resistencias y factores de choque)

A continuación, se mostrará una tabla resumen de los valores asignados de las resistencias que tuvieron mayor impacto tanto en la calibración como en la simulación:

Tabla 13 Factores de fricción utilizados

FACTORES DE FRICCIÓN	f	f elegido
RB	0.005-0.007	0.007
ALIMAK	0.013-0.016	0.016
OP	0.013-0.016	0.013
RP	0.014 - 0.018	0.014
GL HOR	0.01-0.013	0.015
PQ (1 Y EXCELSIOR) estructura de metal y escaleras de metal	0.013-0.016	0.013
PQ 2 (rectangular de madera) estructura de metal, escaleras de madera	0.013-0.016	0.016
mangas	0.0023-0.0054	0.0023

Fuente: Elaboración propia

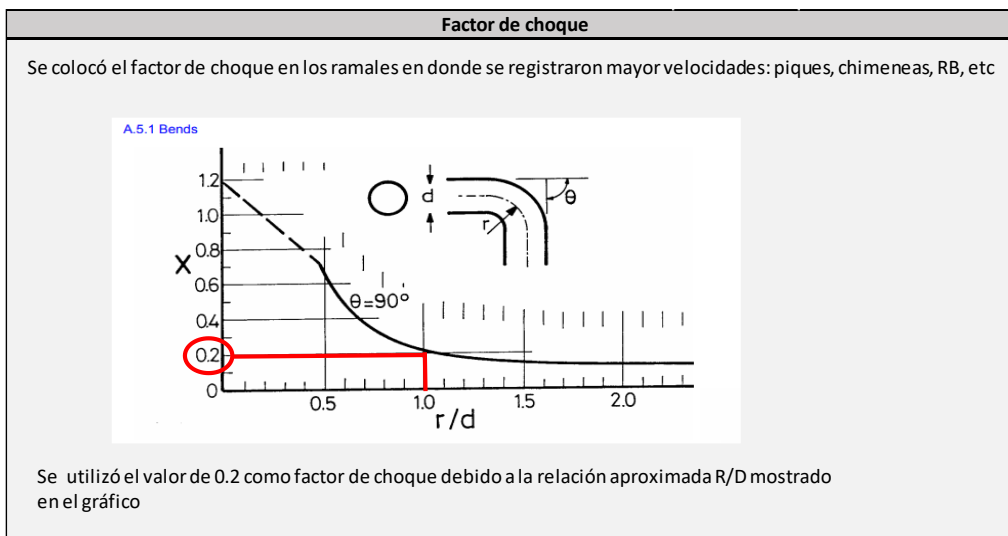


Figura 15. Factor de choque utilizado

Tabla 14 Resistencias utilizadas

Elemento	Resistencia (Ns ² /m ⁸)
Puerta en buen estado	20
Sello pobre	50
Buen sello	250

Fuente: Elaboración propia

Estos valores de resistencia fueron introducidos directamente en el software VentSim Design 5 según correspondió a las labores.

5.1.2 Parámetros ambientales

Para la obtención de las temperaturas de bulbo húmedo y seco, tanto de día como de noche y la presión barométrica en superficie se solicitó la información correspondiente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de los meses que se realizó la investigación. El resumen de la información brindada por el SENAMHI se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 15 Condiciones termo higrométricas en Cerro de Pasco- SENAMHI

UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL											
ESTACIÓN: CERRO DE PASCO/000593/DZ11						ALT: 4260 MSNM LAT: 10° 41' 37"		LONG: 76° 15' 1" DPTO: PASCO			
TM105	TEMPERATURA DEL BULBO SECO DIARIO A LAS 13 HORAS (°C)										
TM106	TEMPERATURA DEL BULBO SECO DIARIO A LAS 19 HORAS (°C)										
TM109	TEMPERATURA BULBO HUMEDO DIARIA A LAS 13 HORAS (°C)										
TM110	TEMPERATURA BULBO HUMEDO DIARIA A LAS 19 HORAS (°C)										
TM112	HUMEDAD RELATIVA (%)										
Mes	Prom. TM102	Prom. TM103	Prom. TM104	Prom. TM105	Prom. TM106	Prom. TM107	Prom. TM108	Prom. TM109	Prom. TM110	Prom. TM111	Prom. TM112
ene	10.27	1.64	3.55	8.68	4.36	6.86	2.99	6.37	2.97	4.11	84.64
feb	10.78	2.37	3.57	9.02	4.28	6.67	3.02	6.66	3.04	4.24	85.78
mar	11.08	2.35	3.71	9.08	4.81	6.49	3.01	6.68	3.57	4.50	85.32
abr	11.96	1.46	3.05	10.15	5.01	7.02	2.67	7.46	3.75	4.73	84.46
may	12.11	0.20	1.68	10.51	4.72	6.13	1.37	7.84	3.43	4.30	84.91
jun	12.23	-1.43	-0.11	10.73	-	5.31	-0.71	7.90	2.89	3.09	85.06
jul	11.40	-1.92	-0.92	10.27	3.59	4.50	-1.32	7.64	2.68	3.00	85.85
ago	11.69	-3.50	-1.59	10.45	3.39	4.20	-2.14	7.85	2.46	2.72	85.20
sep	11.21	-0.34	1.54	9.84	3.99	5.45	0.88	7.42	2.99	3.88	85.16
oct	11.41	0.37	2.95	9.98	4.35	6.42	2.24	7.50	3.06	4.37	84.87
nov	11.55	1.63	3.35	9.85	4.53	7.61	3.05	7.31	3.21	4.52	84.40
dic	11.16	2.28	3.40	9.51	4.87	7.82	3.26	6.92	3.26	4.48	85.05
Promedio anual	11.41	0.40	1.65	9.85	4.27	6.19	1.50	7.29	3.08	3.99	85.05

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará una tabla resumen de los parámetros solicitados por el software que fueron necesarios para la simulación y a su vez extraído de la información brindada por el SENAMHI:

Tabla 16 Parámetros ambientales en superficie

Parámetros en superficie	
Flujo compresible de la densidad del aire (output de la presión barométrica de la superficie)	0.68 kg/m ³
Elevación de referencia de la superficie sobre el nivel del mar	4260 msnm
Tasa de caída atmosférica superficial (constante)	Predeterminado
Surface Datum of MineGrid	Predeterminado
Presión barométrica de la superficie (output de la elevación de referencia sobre el nivel del mar)	59.6Kpa
Humedad relativa de la superficie en %	85.25
Temperatura de la roca en superficie (igual a TBH de superficie)	6.57
Temperatura de bulbo húmedo de superficie (día)	6.57
Temperatura de bulbo húmedo de superficie (noche)	3.19
Temperatura de bulbo seco de superficie (día)	8.93
Temperatura de bulbo seco de superficie (noche)	4.49

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Propiedades térmicas según la caracterización litológica

A partir del modelo geológico se determinaron 5 litologías predominantes en el interior de mina:

- Calizas
- Piritas
- Dacitas
- Pizarras
- Monzonitas

Las propiedades térmicas de estas litologías fueron fundamentales para recrear la configuración de la ventilación natural existente en la mina. Previo a los ingresos de

los parámetros térmicos se caracterizaron las labores en base a su geología, para lo cual nos valimos de su modelo geológico tal como se muestra en la Figura 14.

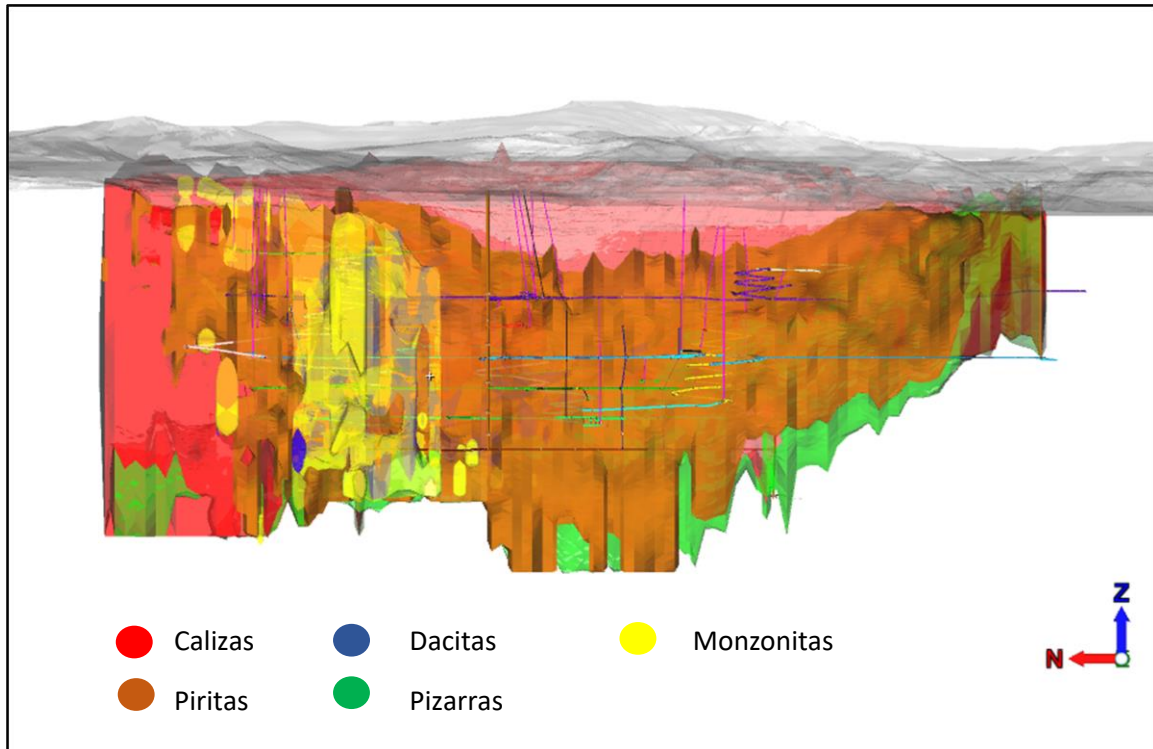


Figura 16. Perfil longitudinal de la mina en base al modelo geológico

A continuación, se mostrará los valores introducidos en el software correspondientes a las diferentes propiedades térmicas de las litologías:

Tabla 17 Parámetros geotérmicos en superficie

Parámetros geotérmicos	
Gradiente geotérmica	2.5 C/100 m
Densidad de la roca	kg/m ³
- Caliza y Rumiallana (CALIZAS)	2 418
- Pirita/cuarzo (PIRITAS)	3 500
- Dacita y volcanico Rumiallana (DACITAS)	2 770
- Excelsior (PIZARRAS)	2 800
- Monzonita (MONZONITAS)	2 630
Calor específico de la roca	J/kgC
- Caliza y Rumiallana (CALIZAS)	840
- Pirita/cuarzo (PIRITAS)	386
- Dacita y volcanico Rumiallana (DACITAS)	920
- Excelsior (PIZARRAS)	760
- Monzonita (MONZONITAS)	920
Conductividad térmica de la roca	W/mC
- Caliza y Rumiallana (CALIZAS)	1.3
- Pirita/cuarzo (PIRITAS)	4.5
- Dacita y volcanico Rumiallana (DACITAS)	1.06
- Excelsior (PIZARRAS)	1.52
- Monzonita (MONZONITAS)	2.75
Difusividad térmica de la roca (output de la densidad de la roca, el calor específico y la conductividad)	m ² /s 10 ⁻⁶
- Caliza y Rumiallana (CALIZAS)	0.640
- Pirita/cuarzo (PIRITAS)	3.331
- Dacita y volcanico Rumiallana (DACITAS)	0.416
- Excelsior (PIZARRAS)	0.714
- Monzonita (MONZONITAS)	1.137
Fracción de humedad de la roca	Predeterminado
Edad de las labores	50 años
Año actual	2023

Fuente: Elaboración propia

5.2 Calibración

Una vez que se obtuvieron todos los atributos para ingresar al software se procedió con la simulación de la cual pudimos realizar una comparativa en primera instancia entre los caudales de ingreso y salida de mina, así como la corroboración del sentido de los flujos de aire. En base a la primera simulación se fue ajustando los parámetros

en ciertas zonas de la mina tomando en consideración sus características litológicas y termo higrométricas, así como los elementos de ventilación involucrados (bloqueos, puertas, sellos, etc.). Posterior a la simulación sucesiva, se obtuvo con un porcentaje de error aceptable entre los valores de caudal de aire simulados y medidos.

A continuación, se mostrarán los resultados de las salidas e ingresos de la mina, tanto de los valores obtenidos en campo como los conseguidos mediante el software VentSim Design 5 y el margen de error entre ambos:

Tabla 18 Calibración de ingresos de aire (medido - simulado)

INGRESOS	BM 8440	BM 8066-8100	RB 16235	PQ EXCELSIOR	PQ LOURDES 1	BM 4070	BM 8080 CNB	RB 8066	CH_8931	RB 8030
MEDIDAS KCFM REAL	19.69	39.36	29.01	25.45	83.94	18.74	44.70	7.80	19.01	10.59
MEDIDAS KCFM VENTSIM	21.2	29.2	25.9	24.2	78.5	15.7	40.4	7.8	17.6	9.3
ERROR %	8%	26%	11%	5%	6%	16%	10%	-	7%	12%

TOTAL REAL (KCFM)	298.294	DIFERENCIA KFCM	9.55%
TOTAL VENTSIM (KCFM)	269.8		

Se observa que se obtuvo un margen de error entre ambos resultados menor al 10 %, por lo cual está dentro del margen considerado en un inicio.

Tabla 19 Calibración de salidas de aire (medido - simulado)

SALIDAS	RB 12852	RB 16919-1	RB 16919-2	RB 10120	RB 8212-NW SAN RÓMULO	RB 1046	RB 12830 FIRTH	BMCHASQUI	RB 1054	RB 10112	RB_SAN EXPEDITO	SN 8357 CNB	WZ 98
MEDIDAS KCFM REAL	13.8	15.8	14.7	15.8	10.4	20.8	16.0	30.5	5.6	13.8	22.4	88.0	5.3
MEDIDAS KCFM VENTSIM	12.6	15.7	15.3	14.2	8.6	18.9	14	29.1	5.2	12.6	20.4	89.1	5.3
ERROR %	9%	1%	4%	10%	17%	9%	13%	5%	7%	9%	9%	1%	-

TOTAL REAL (KCFM)	272.918
TOTAL VENTSIM (KCFM)	261

DIFERENCIA (KCFM)	4.37%
--------------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia



6. Diagnóstico del circuito de ventilación

6.1 Levantamiento de ventilación por nivel

Es de suma importancia realizar el monitoreo de ventilación en puntos importantes de mina, esto con el objetivo de poder saber cómo varía la ventilación en determinados momentos, para lo cual se requiere contar con un levantamiento base de los puntos considerados como de sus condiciones termo higrométricas. La presente sección muestra el levantamiento por nivel de los puntos que fueron considerados para fines de estudio.

Los valores correspondientes de velocidades de aire, humedad relativa, temperaturas de bulbo húmedo y seco serán utilizados en el análisis de velocidad (sección 6.5) y análisis de temperatura efectiva (sección 6.6).

A continuación, se muestra los levantamientos de ventilación de cada nivel con sus respectivas estaciones de control, puntos adicionales considerados y las condiciones ambientales medidas:

6.1.1 Levantamiento del nivel 800

Tabla 20 Levantamiento de ventilación nivel 800

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
1	0.34	0.37	0.37	21.60	1.3	3	3.66	0.35	1.28	2,707	15.5	20	63	-	Saliendo de CB 8212
2	0.14	0.11	0.13	7.60	4	3.5	13.13	0.12	1.61	3,419	15.5	18.5	73	-	Despues de las dos puertas
3	0.8	0.86	0.82	49.60	2.6	2.5	6.10	0.80	4.89	10,359	14	16	81	-	RB 8212-NW
4	0.38	0.31	0.32	20.20	3.36	2.7	8.51	0.33	2.78	5,888	14.5	16	85	-	
5	0.36	0.35	0.36	21.40	2.8	2.9	7.62	0.35	2.64	5,583	14.5	16.5	81	E-03	E-03
6	0.46	0.43	0.43	26.40	2.5	2.9	6.80	0.43	2.90	6,150	14.5	17	77	E-A-1	en la E-A-1
7	0.37	0.33	0.31	20.20	3	3	8.44	0.33	2.76	5,841	14	17	72	E-05-1	en la E-05-1
8	0.38	0.32	0.39	21.80	3	3	8.44	0.35	2.98	6,304	13	15.5	75	E-B-1	En la E-B-1
9	0.33	0.34	0.38	21.00	4.9	3.7	17.01	0.34	5.77	12,233	11	15	61	E-11-1	en la E-11-1
10	0.61	0.65	0.63	37.80	4.1	3.8	14.61	0.61	8.93	18,923	11	14.5	65	E-08-1	en la E-08-1
11	0.88	0.87	0.83	51.60	3.8	2	7.13	0.83	5.95	12,601	9	12	68	E-01-2	en la E-01-2 (cerca a pique lourdes 2)
13	0.31	0.34	0.32	19.40	4.4	3.8	15.68	0.31	4.92	10,422	12.5	14.5	79	E-12	en la E-12
14	0.38	0.33	0.33	20.80	4.2	3.6	14.18	0.34	4.77	10,105	12	14	79	E-14-1	en la E-14-1
A2	1.28	1.06	1.06	68.00	3.8	3.6	12.83	1.10	14.11	29,890	18	24	56	E-23	E-23
A3	1.05	1.14	1.08	65.40	4.2	4	15.76	1.06	16.66	35,303	18	25	50		entre cruce y RB
A4	0.89	0.83	0.82	50.80	4	4.2	15.76	0.82	12.94	27,422	20	23	76	E-09	Bajada RP Lourdes (E-09)
A5	0.54	0.57	0.55	33.20	4.8	4.6	20.71	0.54	11.12	23,554	11	16	54		GAL 8030
A6	0.53	0.55	0.56	32.80	4.8	4.6	20.71	0.53	10.98	23,270	8.5	12	62	E-16-1	E-16-1
A7	0.53	0.58	0.55	33.20	4.8	4.6	20.71	0.54	11.12	23,554	9.5	13	64		GAL 8030
A8	0.45	0.4	0.43	25.60	4.8	4.6	20.71	0.41	8.57	18,162	7	9	76		
A9	0.26	0.26	0.21	14.60	3	2.5	7.04	0.24	1.66	3,518	6.5	8.5	75		
A10	0.41	0.44	0.47	26.40	4.8	4.6	20.71	0.43	8.84	18,730	6.5	9	70	E-17-1	E-17-1
A11	0.38	0.3	0.31	19.80	4.5	3.7	15.62	0.32	5.00	10,593	6.5	9	70		
A12	0.38	0.33	0.35	21.20	4.8	4.6	20.71	0.34	7.10	15,041	7	9	76		
A13	0.67	0.61	0.68	39.20	4.8	4.6	20.71	0.63	13.13	27,811	6.5	10.5	54	E-19-1	E-19-1
A14	0.35	0.38	0.34	21.40	4.2	4	15.76	0.35	5.45	11,552	6.5	11	51		
A16	0.3	0.38	0.38	21.20	4.1	3.6	13.84	0.34	4.75	10,054	13	19	50	E-19-2	E-19-2
A17	0.36	0.33	0.38	21.40	4	3.7	13.88	0.35	4.80	10,177	13	14.5	84	E-18-2	E-18-2
A18	1.3	1.2	1.17	73.40	4.4	3.5	14.45	1.19	17.14	36,320	14	15.5	85		
A19	1.28	1.25	1.23	75.20	4	3.7	13.88	1.22	16.88	35,761	14	15.5	85	E-06-2	E-06-2
A20	1.53	1.52	1.48	90.60	4	4.4	16.51	1.46	24.18	51,235	15	15.5	95	E-07-1	E-07-1
A21	0.4	0.41	0.44	25.00	5.3	3.6	17.90	0.40	7.23	15,327	13.5	15	85	E-A-2	E-A-2
A22	0.23	0.21	0.18	12.40	4	3.4	12.76	0.20	2.56	5,419	12	13.5	84	E-B-2	E-B-2
A23	0.84	0.87	0.88	51.80	4.6	3.6	15.53	0.84	13.01	27,563	15	16.5	85	E-05-2	E-05-2
1"	0.53	0.51	0.58	32.40	4	3.5	13.13	0.52	6.88	14,575	19.5	26.5	52		Salida RB. 8219
2"	0.39	0.42	0.4	24.20	3.5	3.5	11.49	0.39	4.50	9,525	20	24.5	66	E-06-1	E-06-1
3"	0.54	0.57	0.52	32.60	3.5	3.7	12.15	0.53	6.40	13,565	20	25.5	60		
4"	0.39	0.37	0.35	22.20	4.4	3.7	15.27	0.36	5.48	11,613	20.5	26	61		
5"	0.12	0.17	0.18	9.40	2.6	2.1	5.12	0.15	0.78	1,649	20.5	24	73		
6"	0.41	0.45	0.43	25.80	4.4	3.2	13.21	0.42	5.51	11,672	20.5	23	80	E-07-2	E-07-2
8"	0.99	0.96	0.97	58.40	4.7	4	17.63	0.94	16.65	35,278	16.5	21	64	E-08-2	E-08-2
9"	0.34	0.33	0.35	20.40	5	3.6	16.88	0.33	5.57	11,799	20	25	63	E-26	E-26
B1	1.15	1.2	1.26	72.20	4.7	4.1	18.08	1.17	21.10	44,704	6	8	75	E-17-2	E-17-2
B2	1.48	1.48	1.49	89.00	3.8	3.8	13.54	1.44	19.49	41,294	7.5	10	71	E-16-2	E-16-2
B3	1.39	1.41	1.39	83.80	4.3	3.6	14.52	1.35	19.67	41,682	9	11	77		
B5	0.07	0.06	0.08	4.20	4.3	4	16.13	0.07	1.10	2,321	9.5	11.5	77		
B6	0.95	0.95	1.04	58.80	5.4	4.1	20.77	0.95	19.74	41,830	9.5	12	73	E-14-2	E-14-2
B7	0.95	0.96	0.98	57.80	4.6	4.7	20.28	0.93	18.95	40,153	10	12	78	E-11-2	E-11-2 verde
B8	0.32	0.33	0.35	20.00	5	4.2	19.70	0.32	6.37	13,495	10	12	78		marron
B9	1.49	1.45	1.48	88.40	4.6	4.1	17.69	1.43	25.28	53,570	9.5	15	48		rojo
B11	1.03	1.05	1.04	62.40	5	4.9	22.98	1.01	23.18	49,122	11.5	12.5	89		
C2	2.87	2.88	2.86	172.20	4.3	3.7	14.92	2.78	41.55	88,030	12.5	14	84	E-10	E-10
C5	0.39	0.33	0.31	20.60	4	4	15.01	0.33	5.00	10,591	6.5	7.5	87	E-18-1	E-18-1
C6	0.44	0.4	0.42	25.20	3.5	3	9.85	0.41	4.01	8,502	6.5	7	93		
D1	0.43	0.46	0.42	26.20	3.6	3.2	10.81	0.42	4.58	9,698	19.5	21	87		
D2	0.75	0.74	0.75	44.80	2.8	1.6	4.20	0.72	3.04	6,449	19	20.5	87		

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Levantamiento del nivel 1000

Tabla 21 Levantamiento de ventilación nivel 1000

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base(m)	Altura (m)	Area (m ²)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
B12	0.64	0.69	0.67	40	4.5	4	16.9	0.65	10.92	23,135	17.5	19	86		RP. 10990
B13	0.7	0.73	0.74	43.40	3.5	3.4	11.2	0.70	7.83	16,595	18	21	75	E-01-1	E-01-1 - RP. 10990
B14	0.67	0.64	0.66	39.40	3.6	3.8	12.8	0.64	8.17	17,319	18.5	23	65	E-02	E-02 - RP. 10990
B15	0.72	0.71	0.72	43.00	3.6	3.3	11.1	0.70	7.75	16,414	19.5	21.5	83		RP. 10035
B16	0.59	0.51	0.52	32.40	4	4	15	0.52	7.86	16,657	20	27	52	E-04	EN LA E-04 (SN. 10990-S)
B17	0.23	0.24	0.26	14.60	3.3	2.9	8.98	0.24	2.12	4,489	8	9.5	82		SN. 10215-SW
C3	0.32	0.33	0.35	20.00	3.6	2.7	9.12	0.32	2.95	6,246	8	9	88		RP. 10142
D4	0.54	0.53	0.55	32.40	4.5	4	16.9	0.52	8.84	18,739	9	13	59	E-01-2	E-01-2 (BM 4070)
H6"	0.98	1.01	0.92	58.20	3.6	2.8	9.46	0.94	8.90	18,850	22.5	29	57		RB. 1046 - RP. Lourdes
H7"	0.54	0.53	0.58	33.00	6.3	4	23.6	0.53	12.61	26,720	19.5	21.5	83		RP. Lourdes
H8"	0.7	0.72	0.77	43.80	5	4	18.8	0.71	13.28	28,147	20	22	83		RP. Lourdes
R1	0.68	0.7	0.69	41.40	3.9	3.9	14.3	0.67	9.55	20,233	25.4	28.3	82	E-05	En la E-05

Fuente: Elaboración propia



6.1.3 Levantamiento del nivel 1200

Tabla 22 Levantamiento de ventilación nivel 1200

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base (m)	Altura (m)	Area (m2)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion
1'	0.65	0.64	0.66	39.00	4.4	4.8	19.81	0.63	12.49	26465.99	18.5	20.5	83	-
2'	1.05	1	1.08	62.60	3.5	3.5	11.49	1.01	11.63	24,640	18.5	20.5	83	
3'	0.09	0.1	0.11	6.00	3.7	2.6	9.02	0.10	0.88	1,855	19	21	83	E-27
4'	0.14	0.13	0.12	7.80	2.2	2.2	4.54	0.13	0.57	1,213	21.5	23.5	84	
5'	3.48	3.44	3.49	208.20	2.35	2.35	5.18	3.37	17.44	36,944	15.5	21	56	E-25
6'	0.83	0.88	0.85	51.20	2.3	1.4	3.02	0.83	2.50	5,297	21	23.5	80	
7'	1.02	1.05	1.02	61.80	4	3.5	13.13	1.00	13.12	27,800	17	21	67	EN LA E-08
8'	0.66	0.67	0.71	40.80	4.5	3.4	14.35	0.66	9.47	20,058	17	20	74	E-06
10'	1.41	1.43	1.44	85.60	3.4	2.6	8.29	1.38	11.47	24,314	18	21.5	71	
11'	2.14	2.18	2.15	129.40	2.8	2.2	5.78	2.09	12.09	25,612	17	20.5	70	
12'	2.4	2.5	2.3	144.00	2.5	2.2	5.16	2.33	12.01	25,448	15.5	20	63	E-28
13'	1.6	1.8	1.5	98.00	2.6	2	4.88	1.58	7.73	16,374	15	19	65	-
1	0.3	0.37	0.34	20.20	3.7	3	10.41	0.33	3.40	7,205	9	11	77	E-01
2	0.77	0.72	0.75	44.80	4	3.8	14.26	0.72	10.33	21,880	17.5	20	78	E-02
3	0.43	0.41	0.45	25.80	3.4	2.6	8.29	0.42	3.46	7,328	23	29	60	E-10
4	0.32	0.35	0.34	20.20	4	3	11.26	0.33	3.68	7,789	22	27.5	62	E-09
5	0.33	0.33	0.34	20.00	4	3.1	11.63	0.32	3.76	7,969	20	24.5	66	E-03
7	0.4	0.43	0.41	24.80	4.1	3.9	15.00	0.40	6.01	12,742	18	22	68	E-04
8	1.05	1.06	1.02	62.60	4	3.8	14.26	1.01	14.43	30,574	17	21	67	-
1"	0.46	0.49	0.43	27.60	4.7	3.3	14.55	0.45	6.49	13,755	24	29.9	63	-
H1	0.42	0.44	0.46	26.40	3.8	2.7	9.62	0.43	4.11	8,703	11	13	79	E-22
H2	0.8	0.81	0.83	48.80	4.7	3.3	14.55	0.79	11.48	24,320	11.5	13.5	79	E-20
H3	0.9	0.88	0.88	53.20	3.6	3.4	11.48	0.86	9.87	20,923	11.5	13	84	E-19
H4	0.77	0.74	0.76	45.40	4.2	3.7	14.58	0.73	10.70	22,669	12	14	79	
H5	1.5	1.53	1.52	91.00	3.8	3	10.69	1.47	15.73	33,333	10	12	78	
H6	1.35	1.35	1.36	81.20	3.9	2.7	9.88	1.31	12.97	27,474	13	15	80	E-23
H2"	0.42	0.44	0.42	25.6	5	4.4	20.64	0.41	8.54	18,096	20	22	83	E-15
H3"	0.32	0.35	0.33	20	4.3	3.8	15.33	0.32	4.96	10,501	20.5	21.5	91	
H4"	0.5	0.48	0.51	29.8	5	3.8	17.82	0.48	8.59	18,193	17	19.5	78	E-14
H5"	0.62	0.64	0.67	38.6	4.7	4.4	19.40	0.62	12.10	25,649	20	24	69	E-17

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Levantamiento del nivel 1400

Tabla 23 Levantamiento de ventilación nivel 1400

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base(m)	Altura (m)	Area (m2)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
3	0.78	0.8	0.82	48.00	5.9	2.68	14.83	0.78	11.51	24,387	17	20	74	-	EN LA RB 12852
4	0.31	0.35	0.34	20.00	4.2	3.5	13.79	0.32	4.46	9,447	17	20	74	E-06	EN LA E-06
4.1	0.65	0.64	0.63	38.40	4.1	3.48	13.38	0.62	8.31	17,605	20	22	83	E-09	EN LA E-09
5	0.35	0.32	0.33	20.00	3.6	3.8	12.83	0.32	4.15	8,791	17	19	82	E-05	EN LA E-05
6	0.23	0.25	0.24	14.40	4.4	3.6	14.86	0.23	3.46	7,329	16	18	82	E-04	EN LA E-04
7	0.31	0.35	0.34	20.00	3.6	3.4	11.48	0.32	3.71	7,866	14	16	81	E-03	EN LA E-03
8	0.43	0.45	0.44	26.40	3.8	3.8	13.54	0.43	5.78	12,249	17	19	82	E-23	EN LA E-23
9	0.55	0.54	0.59	33.60	3.7	3.2	11.11	0.54	6.03	12,783	18	21	75	E-11	EN LA E-11
10	0.49	0.46	0.45	28.00	4.66	3.38	14.77	0.45	6.69	14,171	15	19	65	-	INICIO SUBIDA RP-1479
11	1.24	1.23	1.25	74.40	3.22	3.18	9.60	1.20	11.55	24,479	10	12	78	E-01	EN LA E-01
1"	0.42	0.45	0.44	26.20	5	3.8	17.82	0.42	7.55	15,995	16.5	22.5	54	E-22	EN LA E-22
2"	0.39	0.37	0.41	23.40	4	3.8	14.26	0.38	5.39	11,428	12	12.5	94	E-25	EN LA E-25
3"	0.48	0.44	0.42	26.80	4.3	3.5	14.12	0.43	6.12	12,960	11.5	12.5	89	E-17	EN LA E-17
4"	0.39	0.35	0.36	22.00	4.3	3.5	14.12	0.36	5.02	10,639	11	11.5	94		
7"	0.77	0.73	0.79	45.80	3.6	3	10.13	0.74	7.50	15,893	19.5	23.5	69	E-12	EN LA E-12
8"	0.51	0.52	0.52	31.00	5	3.4	15.95	0.50	7.99	16,933	19.5	23	72		
9"	0.51	0.54	0.57	32.40	3.7	3.2	11.11	0.52	5.82	12,326	19	21.5	79		
10"	0.8	0.83	0.87	50.00	4	3.5	13.13	0.81	10.62	22,492	10	12.5	73	E-02	EN LA E-02
11"	1.15	1.2	1.1	69.00	1.7	2	3.19	1.12	3.56	7,538	17.5	23	58	E-10	EN LA E-10
1'	0.34	0.33	0.33	20	3.7	3.2	11.11	0.32	3.59	7,609	10	13.5	64	E-08	EN LA E-08
2'	0.35	0.34	0.31	20	3.7	3.2	11.11	0.32	3.59	7,609	13	19.5	46	E-20	EN LA E-20
R1	0.36	0.33	0.32	20.2	3.7	3.2	11.11	0.33	3.63	7,685	12.5	14.5	79	E-07	EN LA E-07
F1	0.57	0.56	0.52	33	4.4	3.2	13.21	0.53	7.05	14,930	20.5	28	50		Cerca RB. 8219
F2	0.42	0.44	0.47	26.6	4.9	4.4	20.22	0.43	8.70	18,427	20.5	24	73		RP. 1422
G1	0.13	0.16	0.08	7.4	4.5	2.7	11.40	0.12	1.36	2,889	20.5	23.5	76		
G2	0.16	0.15	0.11	8.4	3.7	3.3	11.45	0.14	1.56	3,296	18.5	22.5	68		
G3	0.68	0.7	0.69	41.4	3.7	2.2	7.64	0.67	5.11	10,828	18	20.5	78		GA. 14904
H1"	0.48	0.47	0.46	28.2	4	3.8	14.26	0.46	6.50	13,773	17	19	82		

Fuente: Elaboración propia

6.1.5 Levantamiento del nivel 1600

Tabla 24 Levantamiento de ventilación nivel 1600

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base (m)	Altura (m)	Area (m2)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
1	0.08	0.06	0.05	3.80	4.5	4	16.88	0.06	1.04	2,198	9	11.5	72	E-08	EN LA E-08
2	0.45	0.43	0.4	25.60	4	3.8	14.26	0.41	5.90	12,503	16.5	20	70	E-09	EN LA E-09
3	0.64	0.66	0.65	39.00	4.6	3.2	13.81	0.63	8.71	18,446	17.5	21	71	-	
4	0.38	0.37	0.39	22.80	4	3.8	14.26	0.37	5.26	11,135	18	21	75	E-12	EN LA E-12
5	1.32	1.33	1.34	79.80	3.5	2.3	7.55	1.29	9.74	20,641	9	11	77	E-1	EN LA E-01
6	1.25	1.18	1.3	74.60	2.6	2.2	5.37	1.21	6.47	13,711	11	14.5	65	E-2	EN LA E-02
7	1	0.94	0.96	58.00	2.3	2	4.31	0.94	4.05	8,573	13	17	64		
8	0.42	0.43	0.44	25.80	3.5	2.5	8.21	0.42	3.42	7,254	14	17	72	E-04	EN LA E-04
9	0.5	0.53	0.54	31.40	4	4	15.01	0.51	7.62	16,143	15	17	81	E-07	EN LA E-07
1'	0.77	0.73	0.74	44.80	3.9	4.2	15.36	0.72	11.13	23,579	11	13.5	74	E-15	EN LA E-15
2'	0.75	0.67	0.7	42.40	4.5	4.2	17.73	0.69	12.15	25,749	8.5	11	72	-	
3'	0.86	0.83	0.82	50.20	4	3.9	14.63	0.81	11.88	25,163	7.5	11	61	E-19	EN LA E-19
4'	0.54	0.51	0.59	32.80	4.6	4	17.26	0.53	9.15	19,392	7	10.5	60	-	
5'	0.31	0.33	0.37	20.20	3.9	3.8	13.90	0.33	4.54	9,619	7.5	10.5	65	-	
6'	0.07	0.13	0.11	6.20	4	4.2	15.76	0.10	1.58	3,347	7.5	11	61	-	
7'	0.21	0.21	0.22	12.80	4.9	4.2	19.30	0.21	3.99	8,464	8	11.5	61	-	
8'	0.15	0.18	0.16	9.80	4.4	4.5	18.57	0.16	2.94	6,235	15.5	18	77	-	
9'	1.01	1.14	1.1	65.00	1.7	2.2	3.51	1.05	3.69	7,811	11.5	15.5	61	-	
1''	0.53	0.56	0.55	32.80	4.4	3.8	15.68	0.53	8.32	17,621	17.5	21.5	67	-	
1'''	0.95	0.93	0.98	57.20	3	1.8	5.07	0.92	4.68	9,925	18	21	75	-	

Fuente: Elaboración propia

6.1.6 Levantamiento del nivel 1800

Tabla 25 Levantamiento de ventilación nivel 1800

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base (m)	Altura (m)	Area (m2)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
1	0.49	0.5	0.51	30.00	3.6	3.3	11.14	0.49	5.40	11,452	10	12.5	73	E-02	EN LA E-02
2	2.17	2.16	2.14	129.40	1.5	1.9	2.67	2.09	5.59	11,850	13.5	15.5	80	E-03	EN LA E-03
3	0.67	0.69	0.69	41.00	1.5	1.9	2.67	0.66	1.77	3,755	14.5	17.5	72	-	ENTRE VENTILADOR Y PIQUE LOURDES #2
4	0.42	0.47	0.45	26.80	3.2	3.5	10.51	0.43	4.55	9,645	8.5	11	72	E-01	EN LA E-01
5	0.45	0.47	0.46	27.60	4.5	3.5	14.77	0.45	6.59	13,968	9.5	11	83	E-04	EN LA E-04
6	0.35	0.36	0.37	21.60	4.4	4.5	18.57	0.35	6.49	13,742	11	14.5	65	-	ANTES DEL ORE PASS #6
7	0.4	0.39	0.42	24.20	4.7	3.9	17.19	0.39	6.73	14,253	9.5	12	73	E-05	EN LA E-05
8	0.43	0.45	0.44	26.40	4.4	3.7	15.27	0.43	6.52	13,810	11.5	14	74	E-07	EN LA E-07
9	0.56	0.54	0.51	32.20	3.3	3.5	10.83	0.52	5.64	11,950	12.5	14.5	79	E-08	EN LA E-08

Fuente: Elaboración propia

6.1.7 Levantamiento del nivel 2100

Tabla 26 Levantamiento de ventilación nivel 2100

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Base (m)	Altura (m)	Area (m2)	Vel. Método cardinal (m/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Temp. BH (oC)	Temp. BS (oC)	HR	Estacion	Referencia
1	0.18	0.19	0.18	11.00	2.2	1.6	3.30	0.18	0.59	1,244	16	21	60	E-03	EN EL E-03
2	0.13	0.1	0.15	7.60	1.5	2	2.81	0.12	0.35	733	19	20.5	87	E-02	ALTURA AL E-02 EN EL PLANO
3	0.22	0.21	0.21	12.80	3.5	2	6.57	0.21	1.36	2,879	17	21	67	-	PARTE FINAL DEL PIQUE #2
4	0.14	0.1	0.12	7.20	1.5	1.9	2.67	0.12	0.31	659	18.5	23	65	-	ESCALERAS PQ 2 - CA BOMBAS

Fuente: Elaboración propia

6.2 Requerimiento de aire

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S 024-2016-EM y su modificatoria D.S 023-2017-EM, el requerimiento de aire debe de cubrir la demanda de aire de tanto trabajadores como de equipos petroleros, consumo de madera,

temperatura en labores de trabajo y por generación de gases. Bajo esta normativa y en base al anexo 38 del decreto supremo mencionado se procede a realizar el análisis de cada parámetro correspondiente.

A continuación, se procede a mostrar los resultados obtenidos del requerimiento de aire en las siguientes tablas de elaboración propia



6.2.1 Caudal requerido por el número de trabajadores

Tabla 27 Cantidad de personal interior mina

Cantidad de personal interior mina 2020		
Servicios auxiliares y sostenimiento		
Mina	Ventilación	2
	Drenaje	3
	Pique	3
	Supervisión	2
	Scoopero	1
	Chofer	2
	Timbrero	2
	Winchero	1
Contrata	Cimbrero	12
Mantenimiento		
Contrata	Bombero	4
	Mecánico	8
	Eléctrico	4
Planeamiento		
Mina	Geomecánico	1
	Geología	2
	Topografía	2
Seguridad		
Mina	Supervisión	2
Externo		
Contrata	DISAL	3

Nv. 800 (GA. 8080) - 4 personas
Nv. 1200 (GA. 12008) - 4 personas
Nv. 1400 (GA. 1422) - 4 personas

Cuadrilla por	Nv. 800 (CA. 8212)
cámara de bomba:	Nv. 1200 (CA. Excelsior)
- 1 bombero	Nv. 1600 (CA. 1640)
- 2 mecánicos	Nv. 2100 (CA. 21025)
- 1 eléctrico	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Caudal requerido por el número de trabajadores

Desde	0	1500	caudal mín. es	3	m3/min	Altitud Promedio 4 300 m.s.n.m
Desde	1500	3000	caudal mín. es	4	m3/min	
Desde	3000	4000	caudal mín. es	5	m3/min	
	mas de	4000	caudal mín. es	6	m3/min	

PARA EL CASO ES = 6 m3/min

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Caudal requerido por equipos motor diésel

Tabla 29 Cantidad de equipos Diesel interior mina

Utilización	Equipo	Marca	Modelo	HP/equipos	#Equipos	Potencia Nominal (HP)	Req/HP (m ³ /min)	Potencia Efectiva (Hpef)	DM (%)	FU (%)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (kCFM)
Limpieza	Scoop 3.5 yd3	SANVIK	EJC-14SD	156	1	156	3	140.4	85	50	179.0	6.3
Transporte de Personal	Camioneta	TOYOTA	HILUX	138	3	414	3	372.6	80	40	357.7	12.6
	Camioneta	Mitsubishi	Canter	156	1	156	3	140.4	80	40	134.8	4.8
SUBTOTAL											671.5	23.7

Fuente: Elaboración propia

$$Q_{Eq} = 3 \times H_{Peffectiva} \times D_m \times F_U$$

Q_{Eq}	671.5	m ³ /min
-----------------------	--------------	---------------------

6.2.3 Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo

Tabla 30 Caudal requerido por temperaturas en labores de trabajo

T° seca		Vm(m ³ /min)
menos de	24	0
24	29	30

Q_{Te}	0	m ³ /min
-----------------------	----------	---------------------

Fuente: Elaboración propia

6.2.4 Caudal requerido por el consumo de madera

Tabla 31 Caudal requerido por el consumo de madera

Consumo de Madera		F.P (m ³ /min)
<	20	0
20	40	0.6
41	70	1
>	70	1.25

Fuente: Elaboración propia

Dado que la mina no se encuentra en producción actualmente y la madera que se utiliza es solo para el mantenimiento de las labores

Q_{Ma}	0	m ³ /min
-----------------------	----------	---------------------

6.2.5 Caudal requerido por fuga de gases

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{t1}$$

$$Q_{t1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

Q_{Fu}	114.63	m ³ /min
-----------------------	---------------	---------------------

6.2.6 Caudal total requerido

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{fu}$$

Tabla 32 Caudal total requerido

Q_{To}	1144.81	m ³ /min
Q_{To}	40429.09	CFM

Fuente: Elaboración propia

El valor del caudal requerido (40429.09 CFM) será utilizado para la determinación de la cobertura de aire (sección 6.3).

6.3 Balance General y Cobertura de Aire

6.3.1 Balance y Cobertura

Se procedió a realizar un mapeo de todas las labores de ingresos y salidas de la mina en el que fueron medidos los parámetros necesarios para realizar el balance general. A continuación, se procede a mostrar el balance general de ingresos y salidas de aire, así como la cobertura en base al requerimiento.

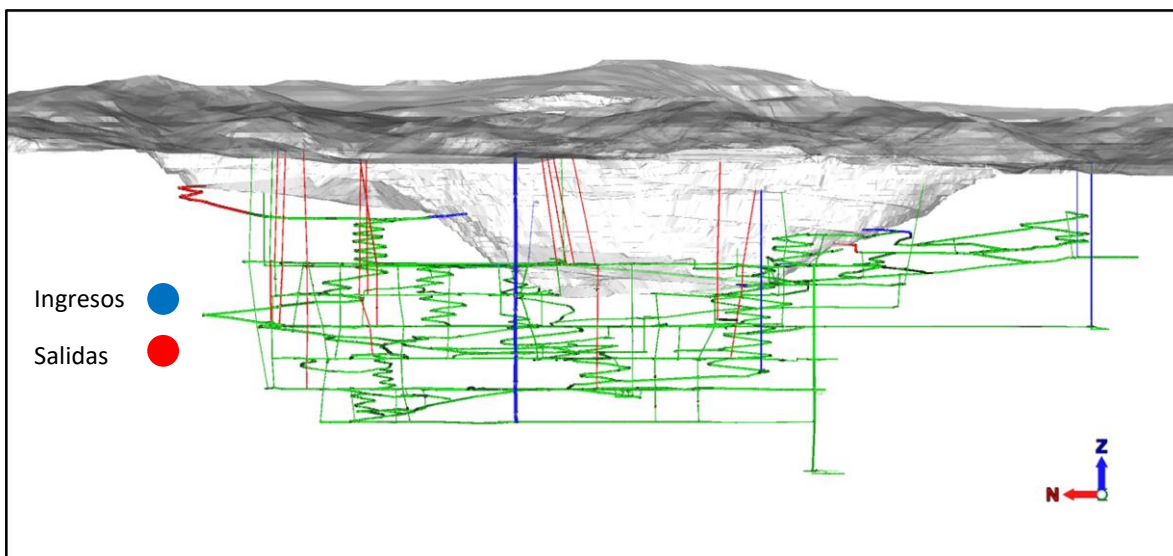


Figura 17. Gráfica de labores de ingreso y salidas de aire

Tabla 33 Balance de ingreso de aire y cobertura

INGRESO DE AIRE FRESCO			
UBICACIÓN Labor	CAUDAL		DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL
	m3/min	CFM	
BM 8440	549.43	19,403.00	7.2%
BM 8066 - 8100	1,049.33	37,057.00	13.7%
RB 16235	776.02	27,405.00	10.1%
PIQUE EXCELSIOR-McFARLAND	743.23	26,247.00	9.7%
PIQUE LOURDES N°1	2,058.05	72,680.00	26.8%
BM 4070	447.63	15,808.00	5.8%
BM 8080 CNB	1,199.07	42,345.00	15.6%
RB. 8066	302.02	10,666.00	3.9%
CH 8931	278.38	9,831.00	3.6%
RB 8030	271.36	9,583.00	3.5%
TOTAL INGRESO	7,674.5	271,025	100.0%
REQUERIMIENTO TOTAL	1,144.8	40,429	
COBERTURA DE LA MINA	670%		
SUPERAVIT	230,596	CFM	

Diferencia entre Ingresos y Salidas	1.743%
--	---------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Balance de salida de aire

SALIDA DE AIRE VICIADO			
UBICACIÓN	CAUDAL		DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL
Labor	m3/min	CFM	
RB 12852	336.63	11,888.00	4.5%
RB 16919-1	433.84	15,321.00	5.8%
RB 16919-2	424.92	15,006.00	5.6%
RB 10120	424.38	14,987.00	5.6%
RB 8212-NW	243.47	8,598.00	3.2%
RB 1046	572.33	20,212.00	7.6%
RB 12830 FIRTH	386.72	13,657.00	5.1%
BM CHASQUI	823.36	29,077.00	10.9%
RB 1654	143.40	5,064.00	1.9%
RB 10112	403.65	14,255.00	5.4%
PIQUE SAN EXPEDITO	559.45	19,757.00	7.4%
SN 8357 CNB	2,593.91	91,604.00	34.4%
WZ 98	194.68	6,875.00	2.6%
TOTAL SALIDA	7,540.7	266,301	100.0%

Fuente: Elaboración propia

6.4 Velocidades críticas de acuerdo a Normativa

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S 024-2016-EM y su modificatoria D.S 023-2017-EM “artículo 248.- En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto (20 m/min) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto (250 m/min) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación.” A partir de lo mencionado por el decreto supremo, se analizaron las velocidades críticas, es decir las velocidades que no se encontraban en el rango mencionado en la normativa en las labores transitables.

A continuación, se mostrará las tablas de resultados de análisis de velocidades de cada nivel:

6.4.1 Análisis de velocidades en el nivel 800

Tabla 35 Análisis de velocidades en el nivel 800
Nivel 800

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
	V1	V2	V3				
1	0.34	0.37	0.37	21.60	SI	CB. 8212 - SALIDA	SI
2	0.14	0.11	0.13	7.60	NO	GA. 8219 - (POSTERIOR PUERTA)	SI
5	0.36	0.35	0.36	21.40	SI	EN LA E-03	SI
6	0.46	0.43	0.43	26.40	SI	EN LA E-A-1	SI
7	0.37	0.33	0.31	20.20	SI	EN LA E-05-1	SI
8	0.38	0.32	0.39	21.80	SI	EN LA E-B-1	SI
9	0.33	0.34	0.38	21.00	SI	EN LA E-11-1	SI
10	0.61	0.65	0.63	37.80	SI	EN LA E-08-1	SI
11	0.88	0.87	0.83	51.60	SI	EN LA E-01-2 (CERCA A PIQUE LOURDES 2)	SI
14	0.38	0.33	0.33	20.80	SI	EN LA E-14-1	SI
A2	1.28	1.06	1.06	68.00	SI	EN LA E-23	SI
A3	1.05	1.14	1.08	65.40	SI	SALIDA RB. 8219 (IZQUIERDA)	SI
A4	0.89	0.83	0.82	50.80	SI	EN LA E-09	SI
A6	0.53	0.55	0.56	32.80	SI	EN LA E-16-1	SI
A10	0.41	0.44	0.47	26.40	SI	EN LA E-17-1	SI
A12	0.38	0.33	0.35	21.20	SI	SN. 8100-S	SI
A13	0.67	0.61	0.68	39.20	SI	EN LA E-19-1	SI
A16	0.3	0.38	0.38	21.20	SI	EN LA E-19-2	SI
A17	0.36	0.33	0.38	21.40	SI	EN LA E-18-2	SI
A19	1.28	1.25	1.23	75.20	SI	EN LA E-06-2	SI
A20	1.53	1.52	1.48	90.60	SI	EN LA E-07-1	SI
A21	0.4	0.41	0.44	25.00	SI	EN LA E-A-2	SI
A23	0.84	0.87	0.88	51.80	SI	EN LA E-05-2	SI
2"	0.39	0.42	0.4	24.20	SI	GA. 8857-S (EN LA E-06-1)	SI
3"	0.54	0.57	0.52	32.60	SI	GA. 8857-SW	SI
4"	0.39	0.37	0.35	22.20	SI	VE. 8831-NW (ANTES DE RB. 12830)	SI
6"	0.41	0.45	0.43	25.80	SI	EN LA E-07-2	SI
8"	0.99	0.96	0.97	58.40	SI	EN LA E-08-2	SI
9"	0.34	0.33	0.35	20.40	SI	ENTRE CRUCE DE GA. 8857-SW Y 894-N, ANTES DE RP. LOURDES (EN LA E-26)	SI
B1	1.15	1.2	1.26	72.20	SI	EN LA E-17-2	SI
B2	1.48	1.48	1.49	89.00	SI	EN LA E-16-2	SI
B3	1.39	1.41	1.39	83.80	SI	GA. 8899-SE	SI
B6	0.95	0.95	1.04	58.80	SI	EN LA E-14-2	SI
B7	0.95	0.96	0.98	57.80	SI	EN LA E-11-2	SI
B8	0.32	0.33	0.35	20.00	SI	RP. 8213 (BAJADA DE BP. 899-SE / IZQUIERDA)	SI
B11	1.03	1.05	1.04	62.40	SI	RP. 8213 (BAJADA DE BP. 899-SE / DERECHA)	SI
C5	0.39	0.33	0.31	20.60	SI	EN LA E-18-1	SI
D7	0.5	0.52	0.57	31.80	SI	EN LA E-29	SI
D9	0.59	0.58	0.54	34.20	SI	EN LA E-27	SI
H2	1.91	1.87	1.89	113.40	SI	BM. 8440 (EN LA E-04)	SI

Fuente: Elaboración propia

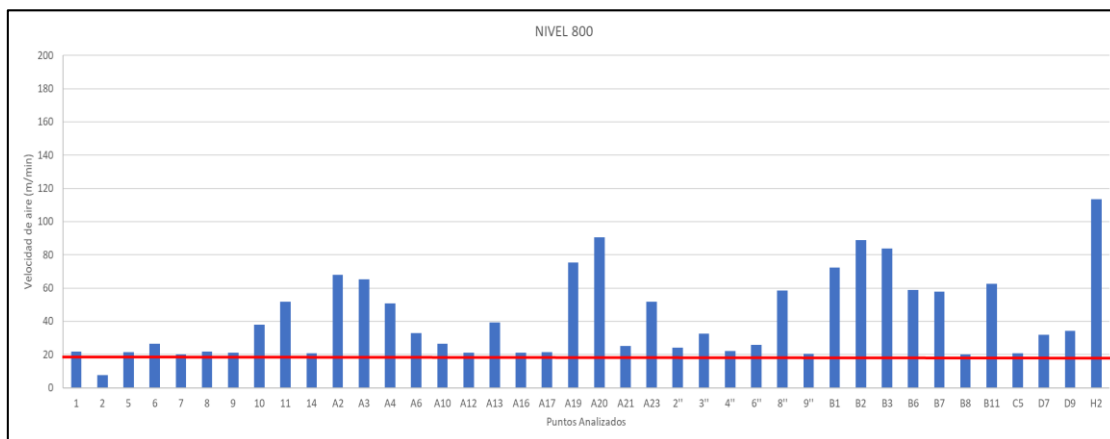


Figura 18. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 800

6.4.2 Análisis de velocidades en el nivel 1000

Tabla 36 Análisis de velocidades en el nivel 1000

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
B13	0.7	0.73	0.74	43.40	SI	EN LA E-01-1 (RP. 10990)	SI
B14	0.67	0.64	0.66	39.40	SI	EN LA E-02 (RP. 10990)	SI
B16	0.59	0.51	0.52	32.40	SI	EN LA E-04 (SN. 10990-S)	SI
B17	0.23	0.24	0.26	14.60	NO	SN. 10215-SW	SI
C3	0.32	0.33	0.35	20.00	SI	RP. 10142	SI
D4	0.54	0.53	0.55	32.40	SI	EN LA E-01-2 (BM 4070)	SI
H7"	0.54	0.53	0.58	33.00	SI	SUBIDA A RP. LOURDES	SI
R1	0.68	0.7	0.69	41.40	SI	EN LA E-05	SI

Fuente: Elaboración propia

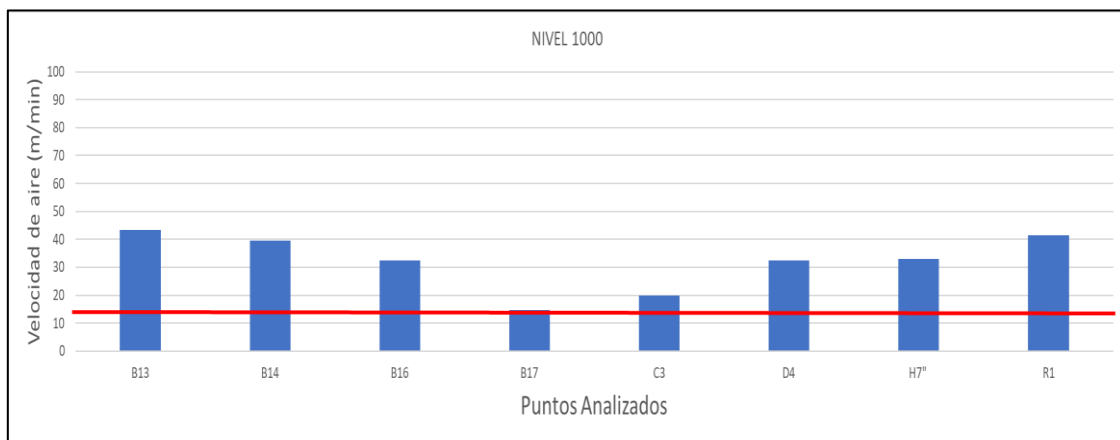


Figura 19. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1000



6.4.3 Análisis de velocidades en el Nivel 1200

Tabla 37 Análisis de velocidades en el nivel 1200

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
	V1	V2	V3				
1'	0.65	0.64	0.66	39.00	SI	RP. 14540	SI
2'	1.05	1	1.08	62.60	SI	GA. 1263-NE	SI
3'	0.09	0.1	0.11	6.00	NO	EN LA E-27	SI
5'	3.48	3.44	3.49	208.20	SI	EN LA E-25	SI
7'	1.02	1.05	1.02	61.80	SI	EN LA E-08	SI
8'	0.66	0.67	0.71	40.80	SI	EN LA E-06	SI
10'	1.41	1.43	1.44	85.60	SI	GA. 1283-NE (CERCA A GA. 1204)	SI
12'	2.4	2.5	2.3	144.00	SI	EN LA E-28	SI
13'	1.6	1.8	1.5	98.00	SI	PARALELO A SUB ESTACIÓN #3	SI
1	0.3	0.37	0.34	20.20	SI	EN LA E-01	SI
2	0.77	0.72	0.75	44.80	SI	EN LA E-02	SI
3	0.43	0.41	0.45	25.80	SI	EN LA E-10	SI
4	0.32	0.35	0.34	20.20	SI	EN LA E-09	SI
5	0.33	0.33	0.34	20.00	SI	EN LA E-03	SI
7	0.3	0.33	0.31	18.80	NO	EN LA E-04	SI
8	1.05	1.06	1.02	62.60	SI	SN. 12235-S (CERCA A E-06)	SI
H1	0.42	0.44	0.46	26.40	SI	EN LA E-22	SI
H2	0.8	0.81	0.83	48.80	SI	EN LA E-20	SI
H3	0.9	0.88	0.88	53.20	SI	EN LA E-19	SI
H4	0.77	0.74	0.76	45.40	SI	BP. 12243-SE	SI
H5	1.5	1.53	1.52	91.00	SI	ENTRE E-22 Y RP. 14108	SI
H6	1.35	1.35	1.36	81.20	SI	EN LA E-23	SI
H2''	0.42	0.44	0.42	25.60	SI	EN LA E-15	SI
H3''	0.32	0.35	0.33	20.00	SI	ENTRE E-15 Y CRUCE CON GA. 12100-NW	SI
H4''	0.5	0.48	0.51	29.80	SI	EN LA E-14	SI
H5''	0.62	0.64	0.67	38.60	SI	EN LA E-17	SI

Fuente: Elaboración propia

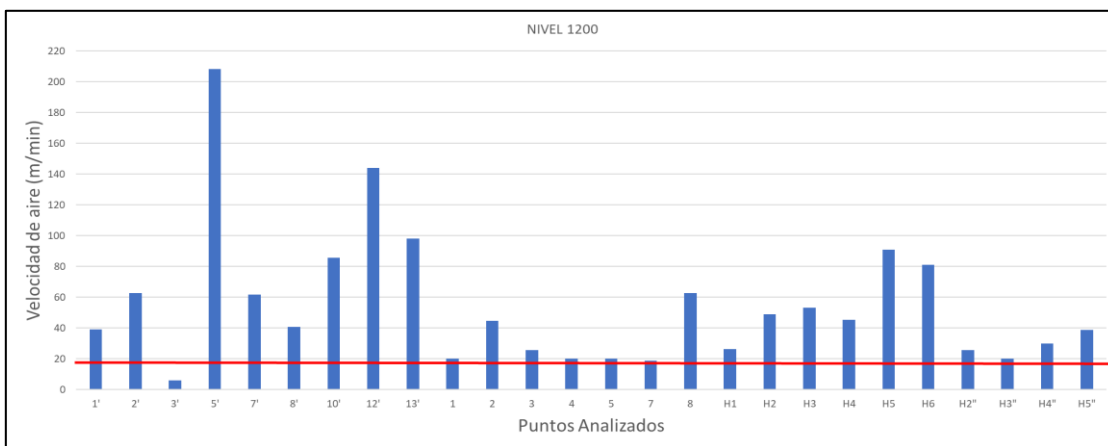


Figura 20. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1200

6.4.4 Análisis de velocidades en el Nivel 1400

Tabla 38 Análisis de velocidades en el nivel 1400

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Vpermissible	Descripción	Zona transitable
4	0.31	0.35	0.34	20.00	SI	EN LA E-06	SI
4.1	0.65	0.64	0.63	38.40	SI	EN LA E-09	SI
5	0.35	0.32	0.33	20.00	SI	EN LA E-05	SI
7	0.31	0.35	0.34	20.00	SI	EN LA E-03	SI
8	0.43	0.45	0.44	26.40	SI	EN LA E-23	SI
9	0.55	0.54	0.59	33.60	SI	EN LA E-11	SI
11	1.24	1.23	1.25	74.40	SI	EN LA E-01	SI
2"	0.39	0.37	0.41	23.40	SI	EN LA E-25	SI
3"	0.48	0.44	0.42	26.80	SI	EN LA E-17	SI
7"	0.77	0.73	0.79	45.80	SI	EN LA E-12	SI
10"	0.8	0.83	0.87	50.00	SI	EN LA E-02	SI
11"	1.15	1.2	1.1	69.00	SI	EN LA E-10	SI
1'	0.34	0.33	0.33	20.00	SI	EN LA E-08	SI
2'	0.35	0.34	0.31	20.00	SI	EN LA E-20	SI
R1	0.36	0.33	0.32	20.20	SI	EN LA E-07	SI
F2	0.42	0.44	0.47	26.60	SI	RP. 1422	SI
G2	0.16	0.15	0.11	8.40	NO	BP. 1422-SW	SI
G3	0.68	0.7	0.69	41.40	SI	GA. 14904	SI
H1"	0.48	0.47	0.46	28.20	SI	RP. LOURDES (RUMBO A RP. 14031)	SI

Fuente: Elaboración propia

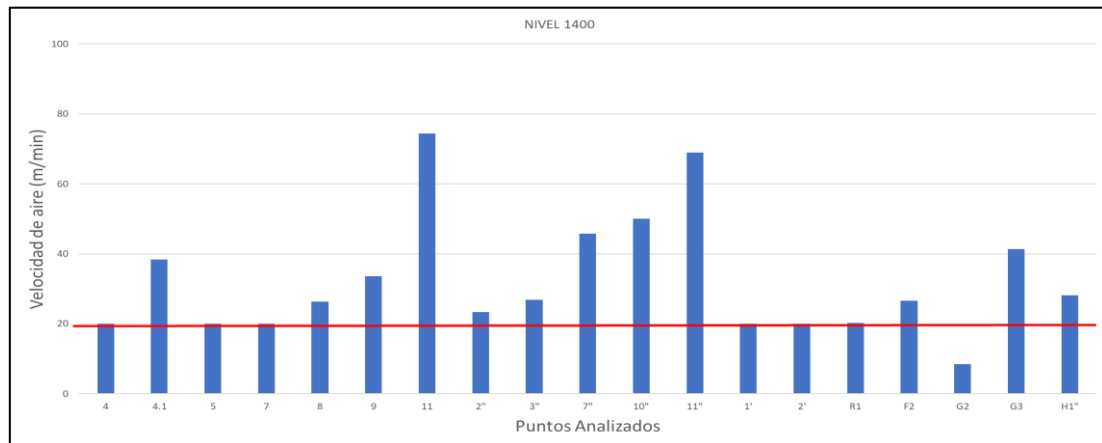


Figura 21. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1400

6.4.5 Análisis de velocidades en el Nivel 1600

Tabla 39 Análisis de velocidades en el nivel 1600

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3] (m/s)			Promedio (m/min)	Vpermissible	Descripción	Zona transitable
	V1	V2	V3				
1	0.08	0.06	0.05	3.80	NO	GA. 1663-NW (EN LA E-08)	SI
2	0.45	0.43	0.4	25.60	SI	EN LA E-09	SI
3	0.64	0.66	0.65	39.00	SI	ENTRE CH. 18220 Y OP #6	SI
4	0.38	0.37	0.39	22.80	SI	EN LA E-12	SI
5	1.32	1.33	1.34	79.80	SI	EN LA E-01	SI
6	1.25	1.18	1.3	74.60	SI	EN LA E-02	SI
7	1	0.94	0.96	58.00	SI	GA. 1640 -W (POSTERIOR A CRUCE GA. 1648-N)	SI
8	0.42	0.43	0.44	25.80	SI	EN LA E-04	SI
9	0.5	0.53	0.54	31.40	SI	EN LA E-07	SI
1'	0.77	0.73	0.74	44.80	SI	EN LA E-15	SI
3'	0.86	0.83	0.82	50.20	SI	EN LA E-19	SI
4'	0.54	0.51	0.59	32.80	SI	RB. 16235 (LABOR IZQUIERDA)	SI
5'	0.31	0.33	0.37	20.20	SI	RB. 16235 (LABOR DERECHA)	SI
6'	0.07	0.13	0.11	6.20	NO	SUBIDA RP. 16235	SI
7'	0.21	0.21	0.22	12.80	NO	ENTRE PTO 5' Y E-19	SI
9'	1.01	1.14	1.1	65.00	SI	GA. 1648-N	SI

Fuente: Elaboración propia

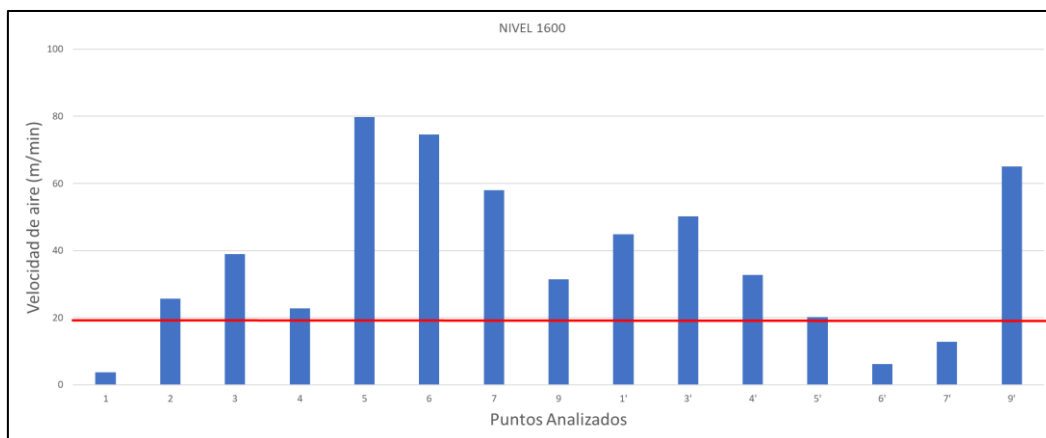


Figura 22. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1600

6.4.6 Análisis de velocidades en el Nivel 1800

Tabla 40 Análisis de velocidades en el nivel 1800

Nivel 1800

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3]			Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	0.49	0.5	0.51	30.00	SI	EN LA E-02	SI
2	2.17	2.16	2.14	129.40	SI	EN LA E-03	SI
3	0.67	0.69	0.69	41.00	SI	ENTRE VENTILADOR Y PQ. LOURDES #2	SI
4	0.42	0.47	0.45	26.80	SI	EN LA E-01	SI
5	0.45	0.47	0.46	27.60	SI	EN LA E-04	SI
7	0.4	0.39	0.42	24.20	SI	EN LA E-05	SI
8	0.43	0.45	0.44	26.40	SI	EN LA E-07	SI
9	0.56	0.54	0.51	32.20	SI	EN LA E-08	SI

Fuente: Elaboración propia

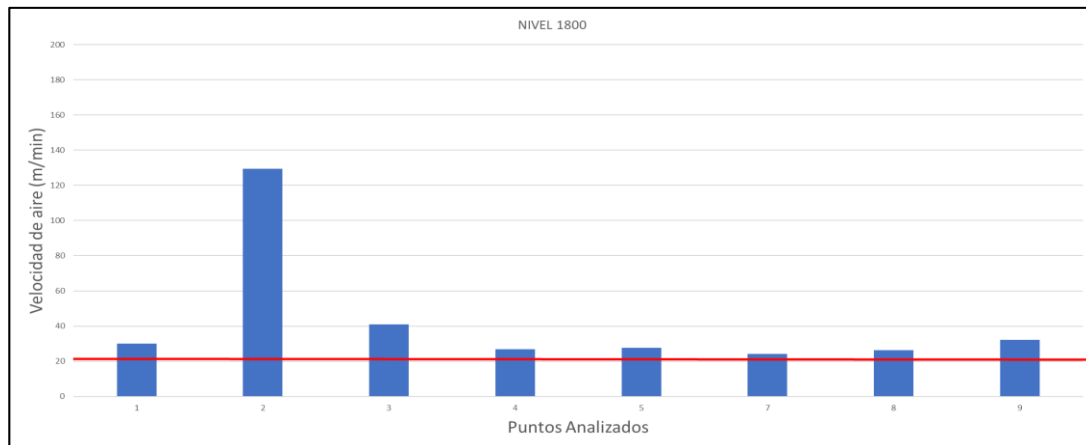


Figura 23. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 1800

6.4.7 Análisis de velocidades en el Nivel 2100

Tabla 41 Análisis de velocidades en el nivel 2100

Nivel 2100

Punto	Registro de velocidades [V1,V2,V3]			Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	0.18	0.19	0.18	11.00	NO	EN LA E-03	SI
2	0.13	0.1	0.15	7.60	NO	EN LA E-02	SI
3	0.22	0.21	0.21	12.80	NO	BASE PQ. LOURDES #2 (ALTURA DE CB. 2	SI
4	0.14	0.1	0.12	7.20	NO	ESCALERAS HACIA CB. 2125	SI

Fuente: Elaboración propia

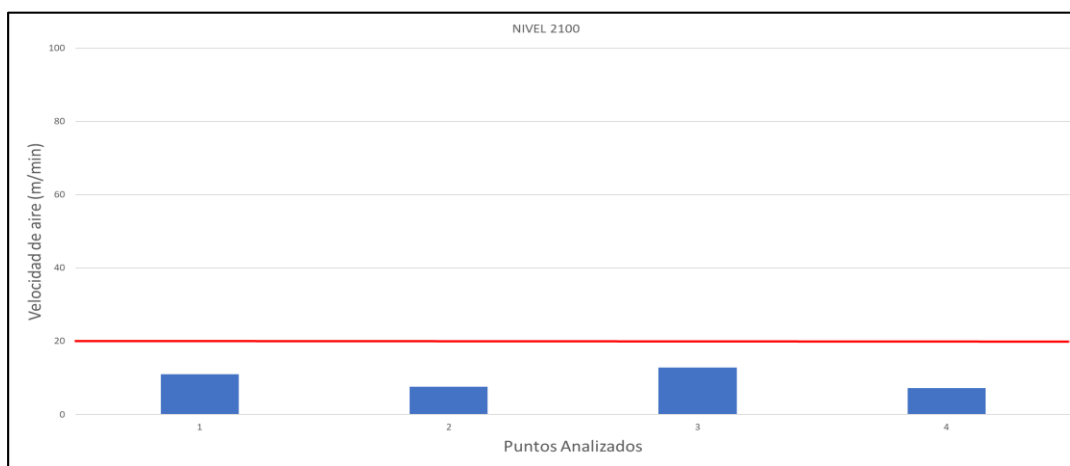


Figura 24. Gráfica del análisis de velocidades en el nivel 2100

De acuerdo al análisis realizado existen labores en donde las velocidades están por debajo del mínimo permisible. Los cambios realizados para la mejora en este parámetro serán abarcados en el capítulo 7.

6.5 Análisis de temperaturas efectivas

Dado que la normativa vinculante al sector no ofrece un criterio para realizar una evaluación de la temperatura, se tomó como criterio la evaluación a la temperatura efectiva, la cual permite medir el grado de bienestar que experimenta el cuerpo humano en ciertas condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad de aire circulante (Espinoza, 2019).

Existen dos formas para poder determinar la temperatura efectiva, mediante nomograma o mediante la siguiente fórmula:

$$ET = 20.86 + 0.0354T_{WB} - 0.133V + 0.07V^2 + (4.12 - X_1 + X_2) / 0.4129$$

Where

$$X_1 = [8.33 \{ 17X_3 - (X_3 - 1.35) (T_{WB} - 20) \}] / [(X_3 - 1.35) (T_A - T_{WB}) + 141.6]$$

$$X_2 = 4.25 [(T_A - T_{WB}) X_3 + 8.33 (T_{WB} - 20)] / [(X_3 - 1.35) (T_A - T_{WB}) + 141.6]$$

$$X_3 = 5.27 + 1.3V - 1.15e^{-2V}$$

Ecuación 2. Ecuación para el cálculo de la temperatura efectiva

En base al libro de AMC Consultants “BASIC MINE VENTILATION”, la Ley de Minería de Carbón de Queensland establece que ninguna persona deberá trabajar en zonas en donde la temperatura efectiva sea o supere los 29.4 °C, así mismo se precisa la necesidad de estrategias de acortamiento de turnos para acortar el periodo de exposición cuando la temperatura efectiva exceda los 27.2 °C.

A continuación, se muestra una leyenda de los límites de temperatura efectiva que serán utilizados para el análisis siguiente:

Tabla 42 Leyenda de rangos de temperatura efectiva

Leyenda	
T.ef < 27.2°C	Recomendable
27.2°C < T.ef < 29.4°C	Acortar el periodo de exposición
T.ef > 29.4°C	La persona no debe trabajar a esta temperatura

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración esta fórmula, se procedió primero a agrupar labores cercanas transitables que tuvieran similares parámetros termo higrométricos, determinando así el valor de la temperatura efectiva, tal como se muestra a continuación:

6.5.1 Análisis de temperatura en el nivel 800

Tabla 43 Análisis de temperatura en el nivel 800

Nivel 800					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
4,5,6,7,8	EF001	0.37	14.1	16.4	78.00
9,13,14,A16,A17	EF002	0.36	12.3	15.4	70.60
A11,C6,D7	EF003	0.43	6.5	8.2	79.33
C5	EF004	0.34	6.5	7.5	87.00
D9	EF005	0.57	6	7.0	87.00
A5,A6,A7	EF006	0.55	9.67	13.7	60.00
1	EF007	0.36	15.5	20.0	63.00
2	EF008	0.13	15.5	18.5	73.00
A2	EF010	1.13	18	24.0	56.00
A3	EF011	1.09	18	25.0	50.00
2"	EF013	0.40	20	24.5	66.00
3"	EF014	0.54	20	25.5	60.00
4"	EF015	0.37	20.5	26.0	61.00
5"	EF016	0.16	20.5	24.0	73.00
6"	EF017	0.43	20.5	23.0	80.00
8"	EF018	0.97	16.5	21.0	64.00
9"	EF019	0.34	20	25.0	63.00
A12	EF026	0.35	7	9.0	76.00
A13	EF027	0.65	6.5	10.5	54.00
10	EF029	0.63	11	14.5	65.00
B1,B2,B3	EF030	1.36	7.5	9.7	74.33
B6,B7	EF031	0.97	9.75	12.0	75.50
A18,A19	EF034	1.24	14	15.5	85.00
A20,B9	EF035	1.49	12.25	15.3	71.50
A21	EF036	0.42	13.5	15.0	85.00
A22	EF037	0.21	12	13.5	84.00
A23	EF038	0.86	15	16.5	85.00
A8,A10	EF039	0.43	6.75	9.0	73.00
A4	EF040	0.85	20	23.0	76.00
B8	EF041	0.33	10	12.0	78.00
B11	EF042	1.04	11.5	12.5	89.00
H2	EF043	1.89	6.5	8.0	81.00
11	EF044	0.86	9	12.0	68.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
5.77	-1.08	4.88	1.86	1.45	14.71
5.85	-1.38	4.75	1.75	1.23	13.71
6.78	-3.04	4.52	1.08	0.86	7.24
6.82	-3.17	4.48	1.04	0.90	6.84
7.23	-3.28	4.67	1.00	0.87	5.54
6.22	-1.84	4.75	1.56	0.94	11.62
5.22	-0.42	4.87	2.34	1.47	17.70
4.90	-0.68	4.41	2.13	1.55	17.85
5.75	0.54	6.38	2.98	1.67	18.79
5.51	0.66	6.26	3.17	1.58	19.67
4.59	0.62	5.14	3.07	2.03	21.89
4.68	0.77	5.42	3.26	1.96	22.03
4.34	0.84	5.07	3.36	2.05	23.06
4.15	0.56	4.57	2.98	2.18	22.86
4.81	0.49	5.26	2.81	2.25	21.05
6.12	-0.05	6.07	2.49	1.59	16.41
4.42	0.66	4.99	3.17	1.99	22.40
6.56	-2.86	4.46	1.15	0.87	8.25
6.03	-2.65	4.24	1.27	0.69	9.98
6.40	-1.58	5.04	1.65	1.07	11.84
8.00	-2.60	5.47	1.20	0.89	5.38
7.51	-2.06	5.50	1.40	1.06	7.96
7.84	-1.15	6.46	1.76	1.50	9.52
8.09	-1.21	6.60	1.73	1.24	8.70
6.12	-1.35	4.97	1.70	1.45	13.19
5.80	-1.74	4.51	1.55	1.30	12.98
6.88	-0.94	5.88	1.88	1.59	12.36
6.61	-2.87	4.49	1.15	0.84	8.09
5.50	0.50	6.05	2.81	2.13	19.35
6.25	-2.12	4.62	1.40	1.09	10.86
7.98	-1.89	5.94	1.45	1.29	7.28
8.86	-2.98	5.77	1.07	0.87	2.40
7.03	-2.12	5.14	1.40	0.95	8.95

Fuente: Elaboración propia

6.5.2 Análisis de temperatura en el nivel 1000

Tabla 44 Análisis de temperatura en el nivel 1000

Nivel 1000					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
B13,B14,B15,B16,R1	EF001	0.7	20.28	24.2	71.00
B12	EF002	0.67	17.5	19.0	86.00
B17	EF003	0.24	8	9.5	82.00
C3	EF004	0.33	8	9.0	88.00
D4	EF005	0.54	9	13.0	59.00
H7",H8"	EF007	0.64	19.75	21.8	83.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
5.09	0.66	5.78	3.01	2.14	20.77
6.00	-0.35	5.64	2.20	1.89	16.00
6.38	-2.71	4.42	1.19	0.97	9.07
6.68	-2.80	4.56	1.15	1.01	8.13
6.22	-2.00	4.66	1.50	0.88	11.20
5.41	0.26	5.67	2.60	2.16	19.02

Fuente: Elaboración propia



6.5.3 Análisis de temperatura en el nivel 1200

Tabla 45 Análisis de temperatura en el nivel 1200

Nivel 1200					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
H2,H3,H4	EFO01	0.82	11.67	13.1	80.66
H1	EFO02	0.44	11	13.0	79.00
H5	EFO03	1.52	10	12.0	78.00
H6	EFO04	1.35	13	15.0	80.00
1	EFO05	0.34	9	11.0	77.00
H2",H3",H4"	EFO06	0.42	19.17	21.0	84.00
H5"	EFO07	0.64	20	24.0	69.00
2	EFO08	0.75	17.5	20.0	78.00
3,4	EFO10	0.38	22.5	28.3	61.00
5	EFO11	0.33	20	24.5	66.00
7	EFO12	0.31	18	22.0	68.00
8,7'	EFO13	1.04	17	21.0	67.00
3'	EFO14	0.1	19	21.0	83.00
8'	EFO15	0.68	17	20.0	74.00
1'	EFO16	0.65	18.5	20.5	83.00
2',10'	EFO17	1.24	18.25	21.0	77.00
11',12'	EFO18	2.28	16.25	20.3	66.50
13'	EFO19	1.63	15	19.0	65.00
4'	EFO20	0.13	21.5	23.5	84.00
5'	EFO21	3.47	15.5	21.0	56.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
7.23	-1.77	5.50	1.51	1.22	9.40
6.39	-1.87	4.85	1.50	1.18	11.19
8.70	-1.98	6.36	1.40	1.09	5.29
8.08	-1.27	6.53	1.70	1.36	8.62
6.36	-2.37	4.57	1.31	1.01	9.99
5.13	0.07	5.20	2.49	2.09	19.23
5.04	0.61	5.65	2.98	2.06	20.75
5.96	-0.18	5.77	2.34	1.82	16.54
3.98	1.31	5.16	3.83	2.34	25.12
4.46	0.60	4.98	3.07	2.03	22.16
4.82	0.08	4.88	2.64	1.80	19.97
6.23	0.00	6.22	2.49	1.67	16.29
4.40	0.01	4.41	2.49	2.06	20.89
5.83	-0.22	5.61	2.34	1.73	16.71
5.68	-0.03	5.65	2.41	2.00	17.59
6.53	0.10	6.65	2.49	1.91	15.87
8.05	0.03	8.09	2.37	1.58	12.06
7.50	-0.35	7.03	2.20	1.43	12.32
4.06	0.62	4.53	2.89	2.43	23.24
8.97	0.36	9.67	2.49	1.39	10.91

Fuente: Elaboración propia

6.5.4 Análisis de temperatura en el nivel 1400

Tabla 46 Análisis de temperatura en el nivel 1400

Nivel 1400					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
11, 10''	EF001	1.04	10	12.3	75.50
4,5,6,7	EF002	0.31	16	18.3	79.75
1',2', R1	EF003	0.33	11.83	15.8	63.00
4.1	EF005	0.64	20	22.0	83.00
11''	EF006	1.15	17.5	23.0	58.00
9,7'',8'',9'',F2	EF007	0.56	19.3	22.6	73.60
H1''	EF008	0.47	17	19.0	82.00
2'',3'',4''	EF010	0.38	11.5	12.2	92.30
8,G3	EF011	0.57	17.5	19.8	80.00
G1,G2	EF012	0.13	19.5	23.0	72.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
7.64	-1.98	5.63	1.43	1.08	7.83
5.36	-0.64	4.84	2.10	1.67	16.84
5.69	-1.36	4.64	1.80	1.13	14.14
5.35	0.32	5.68	2.64	2.19	19.30
5.96	0.36	6.39	2.81	1.63	17.82
5.15	0.33	5.47	2.74	2.02	19.81
5.60	-0.41	5.22	2.20	1.80	16.83
6.46	-2.00	4.83	1.42	1.31	10.73
5.67	-0.24	5.44	2.30	1.84	17.08
4.25	0.32	4.48	2.81	2.02	22.01

Fuente: Elaboración propia

6.5.5 Análisis de temperatura en el nivel 1600

Tabla 47 Análisis de temperatura en el nivel 1600

Nivel 1600					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
6,7	EF001	1.13	12	15.8	64.50
8	EF002	0.23	14	17.0	72.00
1',2',3'	EF003	0.76	9	11.8	69.00
9'	EF004	1.08	11.50	15.5	61.00
9,2,1'',3	EF005	0.46	16.6	19.9	72.25
4	EF006	0.38	18	21.0	75.00
4', 5'	EF008	0.44	7.25	10.5	62.50
6', 7'	EF009	0.17	7.75	11.3	61.00
1	EF011	0.06	9	11.5	72.00
5	EF012	1.33	9	11.0	77.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
7.18	-1.19	5.91	1.79	1.15	10.92
5.36	-1.02	4.58	1.94	1.39	15.87
6.90	-2.16	5.03	1.39	0.96	9.14
7.01	-1.28	5.69	1.76	1.07	11.11
5.43	-0.31	5.15	2.32	1.68	17.47
5.08	-0.04	5.05	2.49	1.86	19.02
6.30	-2.57	4.43	1.27	0.79	9.56
5.93	-2.44	4.26	1.33	0.81	10.83
5.75	-2.32	4.20	1.36	0.98	11.60

6.5.6 Análisis de temperatura en el nivel 1800

Tabla 48 Análisis de temperatura en el nivel 1800

Nivel 1800					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
2,3	EF001	1.62	14	16.5	76.00
1	EF002	0.45	10	12.5	73.00
4,5,6,7,8	EF003	0.35	10	12.5	73.40
9	EF004	0.41	12.5	14.5	79.00

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
8.19	-0.89	7.01	1.88	1.43	9.32
6.38	-2.02	4.76	1.45	1.06	10.79
6.19	-2.04	4.62	1.45	1.06	11.23
6.13	-1.51	4.88	1.65	1.30	12.74

Fuente: Elaboración propia

6.5.7 Análisis de temperatura en el nivel 2100

Tabla 49 Análisis de temperatura en el nivel 2100

Nivel 2100					
Puntos	Zona	Vprom.	Temp. BH (°C)	Temp. BS (°C)	H.R (%)
1,2,3,4	EF001	0.16	17.6	21.4	69.75

Temperatura efectiva					
X1	X2	X3	P.v sat. (Kpa)	P.vap	T.ef (°C)
4.58	-0.08	4.52	2.54	1.77	20.16

Fuente: Elaboración propia

6.6 Análisis y simulación de gases contaminantes

Al momento de realizar el levantamiento de ventilación en todos los niveles de mina, se realizó también el monitoreo de gases contaminantes. Este monitoreo nos permitió identificar la existencia de dos gases contaminantes los cuales los cuales superaron las concentraciones de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al anexo N°.15 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S 024-2016-EM y su modificatoria D.S 023-2017-EM.

A continuación, se muestra la tabla de elaboración propia, indicando los límites de exposición correspondientes a los dos gases contaminantes presentes en mina:

Tabla 50 Límites de exposición ocupacional para agentes químicos

LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS		
Agentes Químicos	Media Moderada en el Tiempo (TWA)	Exposición de Corta Duración (STEL)
Anhídrido Sulfuroso (SO₂)	2 ppm	5 ppm
Dióxido de Carbono (CO₂)	5000 ppm	30000 ppm

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las ubicaciones en donde las concentraciones de los gases medidas, superaron los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa:

Tabla 51 Ubicaciones de gases contaminantes y concentraciones

Gases del modelo	Ubicaciones	Concentraciones registradas
SO₂	- GA. 12008	7.2 ppm
	- SN. 10990	8 ppm
CO₂	-Nv. 2100	0.81 % (8100 ppm)
	- GA. 8213	0.5% (5000 ppm)

Fuente: Elaboración propia

6.6.1 Recorrido de los gases contaminantes

6.6.1.1 Gas contaminante SO₂

6.6.1.1.1 Fuentes del contaminante

En la Figura 21, se muestra una gráfica de colores de ramales donde los colores celeste y azul, muestran las zonas donde se tiene una concentración de SO₂ menor a 2 ppm. Como se observa en gran parte de zonas de la mina se registra una cantidad mínima de este gas. Sin embargo, en las galerías GA 12008-N y GA 10990 se registraron valores que superaron el valor límite de la exposición media ponderada en el tiempo (TWA), promedio 8 horas, tal como se muestra a continuación:

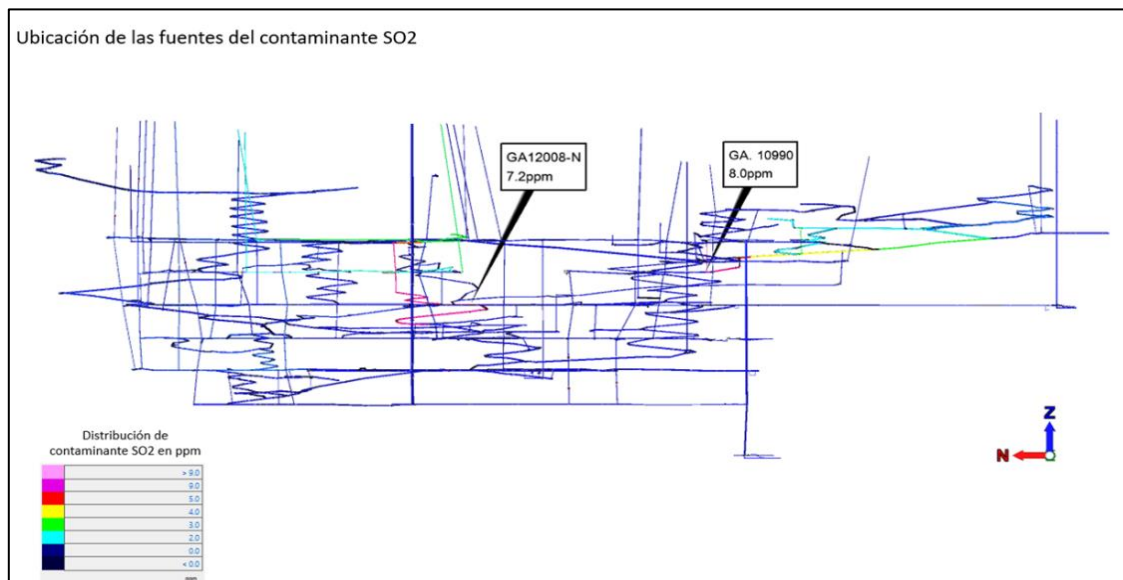


Figura 25. Ubicación de las fuentes de los contaminantes SO₂

6.6.1.1.2 Recorridos del gas contaminante SO₂

Dadas las concentraciones del contaminante detallada anteriormente, fue relevante realizar un seguimiento del recorrido de este contaminante a partir de la fuente hasta su salida a superficie; esto se realizó mediante una simulación del contaminante SO₂ incluyendo los flujos de aire al interior de mina lo cual nos permitió contar con un modelo de recorrido de este contaminante desde sus fuentes.

En la Figura 22 y Figura 23 se muestra el detalle de los recorridos del contaminante y las variaciones de concentración de el mismo, cabe resaltar que en color verde se muestran ramales con una concentración alrededor de 3 ppm, en color amarillo concentraciones alrededor de 4 ppm, en color rojo concentraciones alrededor de 5 ppm, en color fucsia concentraciones alrededor de 7 ppm y finalmente en color rosado concentraciones mayores a 7 ppm.

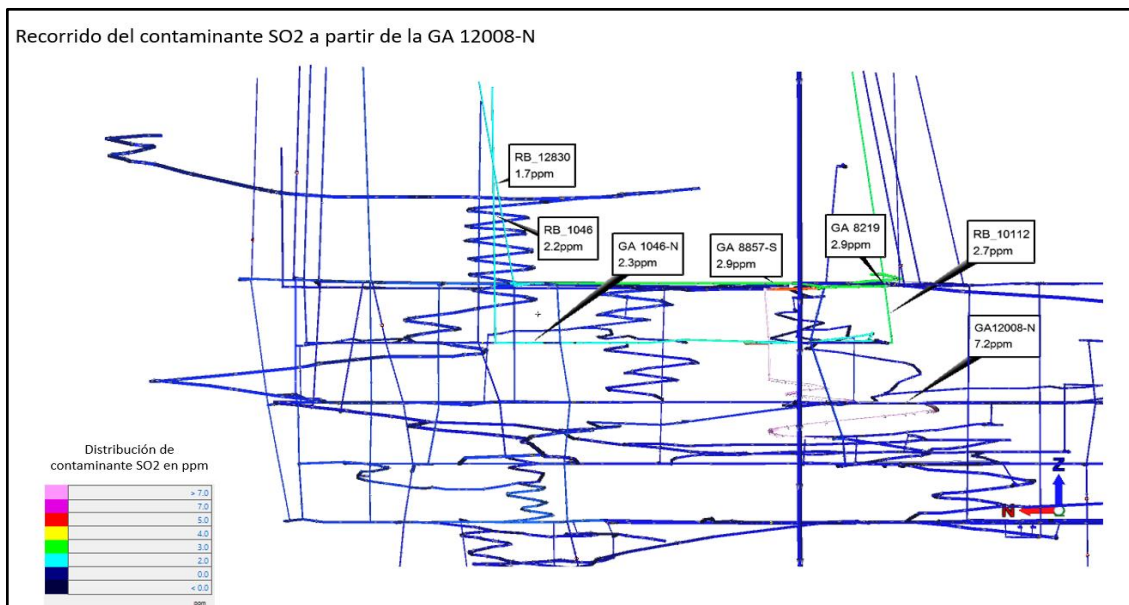


Figura 26. Recorrido del gas contaminante SO₂ – GA. 12008-N

En la Figura 23 se observa dos labores transitables en las que el contaminante tiene concentraciones superiores al valor límite de la exposición media ponderada en el tiempo (TWA), promedio 8 horas (GA 12008-N, GA 8857-S y GA 8219), por lo tanto, se tendrá que realizar las mejoras respectivas para disminuir la concentración del contaminante por debajo

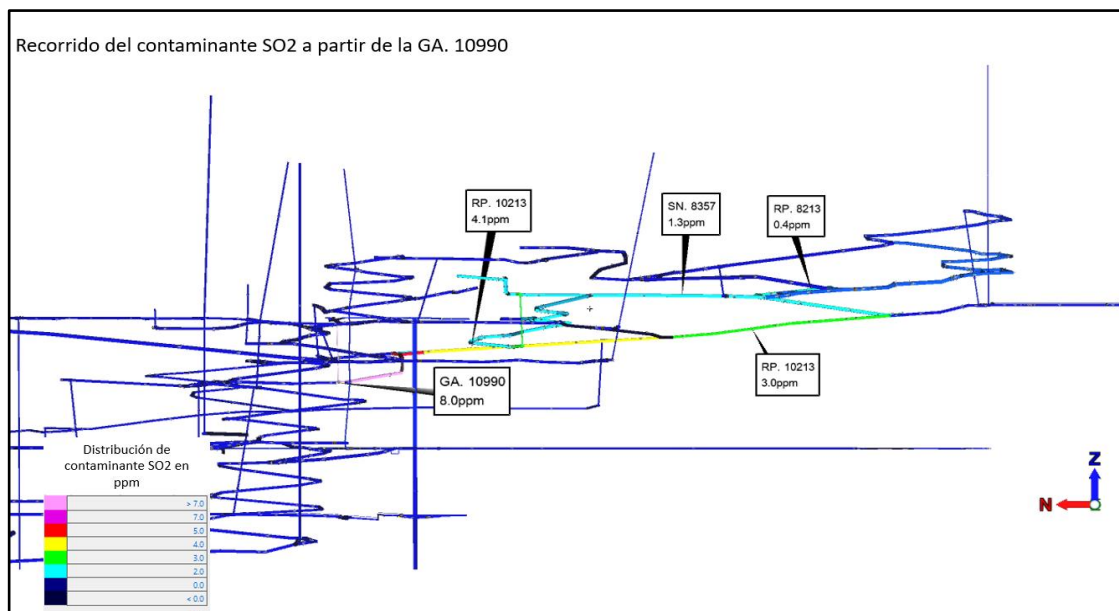


Figura 27. Recorrido del gas contaminante SO₂ – GA. 10990 del límite TWA.

En la Figura 23 se observa dos labores transitables en las que el contaminante tiene concentraciones superiores al valor de la exposición media ponderada en el tiempo (TWA), promedio 8 horas (GA 10990, RP 10213), por lo tanto, se tendrá que realizar las mejoras respectivas para disminuir la concentración del contaminante por debajo del límite TWA.

6.6.1.2 Gas contaminante CO₂

6.6.1.2.1 Fuentes del contaminante

En la Figura 24 se muestra una gráfica de colores de ramales donde el color fucsia, muestra las zonas donde se tiene una concentración de CO₂ alrededor de 0.5%. Cabe

mencionar que los valores obtenidos fueron dados en porcentaje debido al equipo detector multigas, por lo cual se convirtió el valor máximo permisible de 5000 ppm entregado por la norma (TWA) a porcentaje (0.5%). Como se observa en gran parte

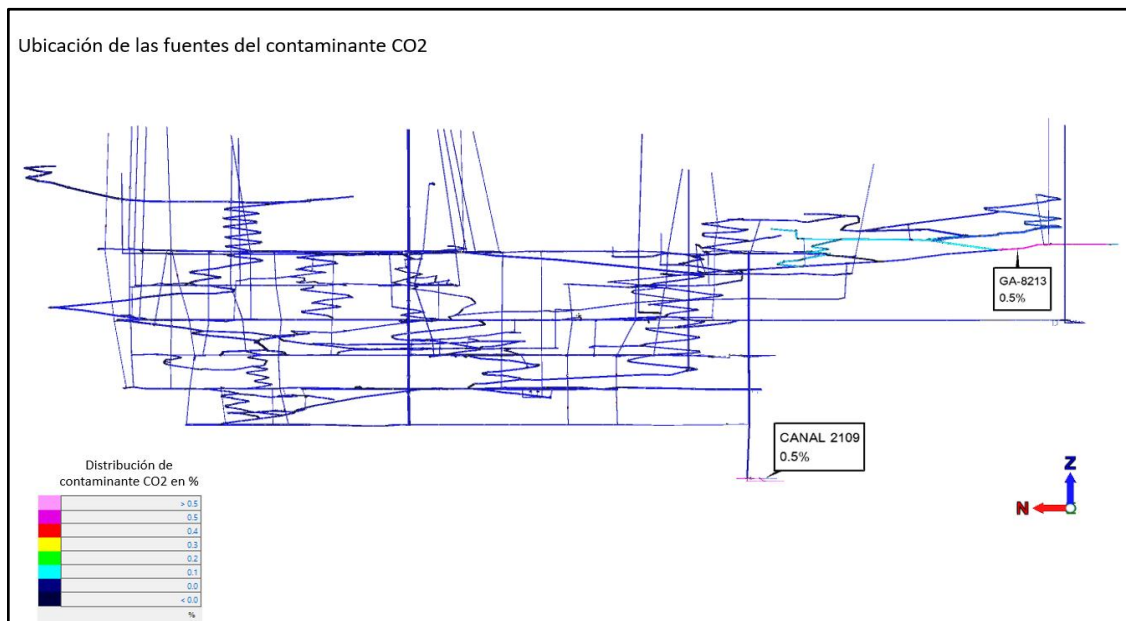


Figura 28. Ubicación de las fuentes del contaminante CO₂

de zonas de la mina se registra una cantidad mínima de este gas. Sin embargo, en las galerías GA 8213 y CANAL 2119 se registraron valores que alcanzaron el valor límite de la media ponderada en el tiempo (TWA) tal como se muestra a continuación:

6.6.1.2.2 Recorridos del gas contaminante CO₂

Dadas las concentraciones del contaminante detallada anteriormente, fue relevante realizar un seguimiento del recorrido de este contaminante a partir de la fuente hasta su salida a superficie; esto se realizó mediante una simulación del contaminante CO₂ incluyendo los flujos de aire al interior de mina lo cual nos permitió contar con un modelo de recorrido de este contaminante desde sus fuentes.

En las Figura 25 y Figura 26 se muestra el detalle de los recorridos del contaminante y las variaciones de concentración de el mismo, cabe resaltar que en color celeste se muestran ramales con una concentración alrededor de 0.1%, en color verde

concentraciones alrededor de 0.2%, en color amarillo concentraciones alrededor de 0.3%, en color rojo concentraciones alrededor de 0.4% y finalmente en color fucsia

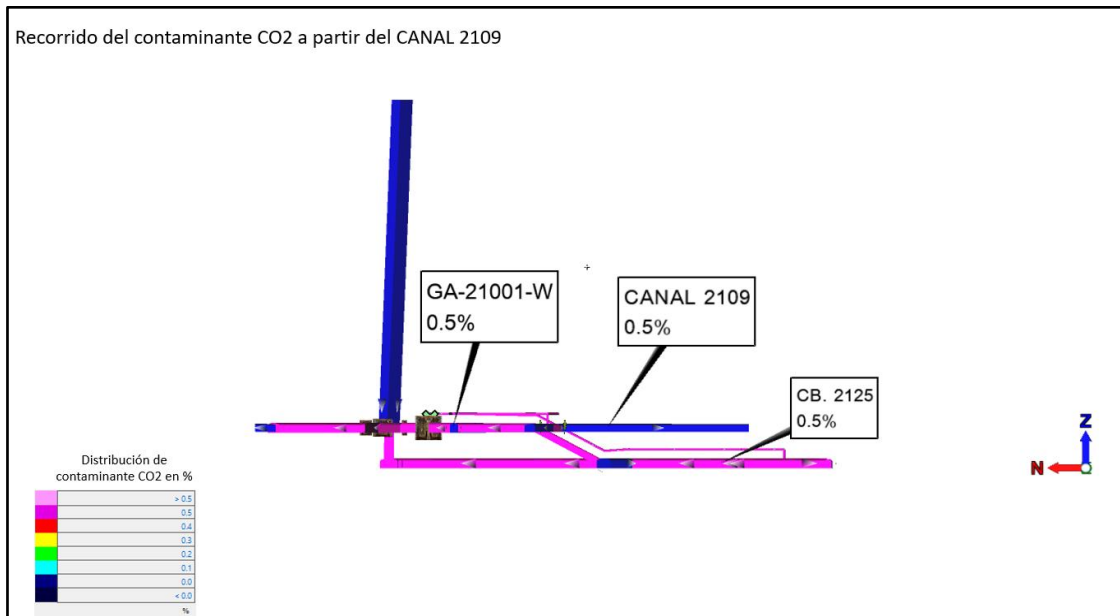


Figura 29. Recorrido del gas contaminante CO₂ - Canal 2109

concentraciones alrededor de 0.5%.

En la Figura 25 se observa tres labores transitables en las que el contaminante tiene concentraciones que alcanzaron el límite TWA (GA 21001-W, CANAL 2109 y CB

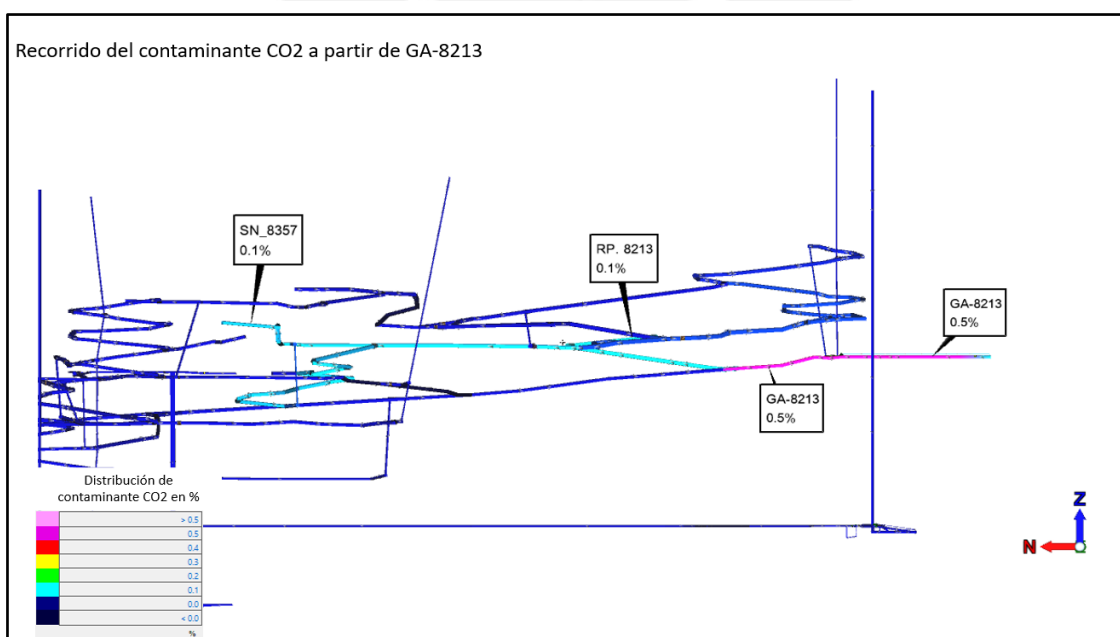


Figura 30. Recorrido del gas contaminante CO₂ - GA. 8213

2125), por lo tanto, se tendrá que realizar las mejoras respectivas para disminuir la concentración del contaminante por debajo del límite TWA.

En la Figura 26 se observa una labor transitable en las que el contaminante tiene concentraciones que alcanzaron el límite TWA (GA 8213), por lo tanto, se tendrá que realizar las mejoras respectivas para disminuir la concentración del contaminante por debajo del límite TWA.

En el caso del porcentaje de oxígeno, al realizar las mediciones en la visita de campo no se registró una concentración menor al 20.5%. Se midió, asimismo, concentraciones de los gases de NO₂, H₂S, CH₄ encontrándose valores de cero para estos gases en toda la mina. Es por ello que se concluye que se cumple en su totalidad con este requisito.

6.7 Consumo de energía de ventiladores

El análisis abarcado en este capítulo tomará en consideración todos los ventiladores funcionales en el interior de la mina. De los cuales se tomarán las potencias reales, las

Tabla 52 Costo del consumo energético de ventiladores

CUADRO RESUMEN DEL COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE VENTILADORES (2020)								
Código Nivel	Descripcion	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Costo de Energía en \$ (USD) / KW-h	Horas trabajadas por día	Costo por día \$ (USD)	Costo de energía por mes \$ (USD)	Costo de energía por año \$ (USD)
V01 / 800	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568
V02 / 800	VENT. DE 60000 CFM	209.52	156.30	0.060	24	301.71	9,051	110,124
V03 / 800 - 1000	VENT. DE 20000 CFM	40.74	30.39	0.060	24	58.67	1,760	21,413
V04 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	62.86	46.89	0.060	24	90.51	2,715	33,037
V05 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	67.51	50.36	0.060	12	48.61	1,458	17,742
V06 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	81.48	60.78	0.060	24	117.33	3,520	42,826
V07 / 1200	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568
V08 / 1200	VENT. DE 16000 CFM	32.59	24.31	0.060	24	46.93	1,408	17,130
V09 / 1400	VENT. DE 30000 CFM	67.51	50.36	0.060	24	97.22	2,917	35,484
V10 / 1400	VENT. DE 30000 CFM	81.48	60.78	0.060	24	117.33	3,520	42,826
V11 / 1600	VENT. DE 16000 CFM	40.74	30.39	0.060	24	58.67	1,760	21,413
V12 / 1600	VENT. DE 30000 CFM	62.86	46.89	0.060	24	90.51	2,715	33,037
V13 / 1800	VENT. DE 20000 CFM	52.38	39.08	0.060	24	75.43	2,263	27,531
V14 / 2100	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568

TOTAL	\$1,190	\$35,693	\$434,270
--------------	----------------	-----------------	------------------

Fuente: Elaboración propia

horas de operación por día y la tarifa del consumo de energía para realizar el cálculo del costo de consumo de energía, tanto de manera diaria como anual.

A continuación, se muestra la tabla de consumo de energía para el año 2020:

7. Evaluación del diagnóstico del circuito de ventilación y propuesta de mejora

La propuesta que se plantea en base al diagnóstico contribuirá a mejorar la distribución de velocidades de la cobertura actual, las temperaturas efectivas, la concentración de gases y costo del consumo energético, contemplando el cambio de ventiladores, limpieza / bloqueos de labores, instalación / retiro de puertas / mangas y adición de reguladores.

De acuerdo al análisis de cobertura de ventilación en toda la mina, se obtuvo un valor de la misma de 670% con respecto al requerimiento total en la mina; sin embargo, se identificaron zonas con velocidades bajas, esto implicaría que el flujo entrante de aire no se distribuye de manera adecuada. Es por este motivo que una de las recomendaciones para mejorar la distribución de la cobertura de aire dentro de la mina sería cambiar la ubicación de ciertos ventiladores y determinar si se puede prescindir de algunos, así como realizar cambio con respecto a los de elementos del circuito de ventilación (sellos, puertas, reguladores, etc.).

La propuesta técnica se realizará por cada nivel para que de esta manera se tenga un enfoque más detallado.

7.1 Evaluación y mejora de velocidades

A continuación, se detallará tanto la evaluación de la situación actual como la situación post diagnóstica incluyendo los cambios realizados por nivel planteados en la propuesta técnica de mejora.

7.1.1 Análisis del Nivel 800

En la situación actual del nivel 800 existe una zona en donde se registran velocidades bajas, la cual comprende la CB.8212 y el tramo desde la intersección de las galerías GA.8212 y GA.8219-SW hasta el RB.10112. Así como el tramo desde la salida de la CB.8212 hasta la RB.8212-NW.

La propuesta de mejora contempla cambiar el ventilador actual de 5 000 CFM por un ventilador de 10 000 CFM, tal como se muestra a continuación:

Tabla 53 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 800 GA.8212

Nivel 800	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
5 000 CFM	10 000 CFM -VAV-23 1/4-18-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se propone habilitar las RB.8212-1, RB.8892 que incluye su limpieza y/o desbloqueo y bloquear la RB.8212-NW. También se propone quitar las puertas de la GA.8219-SW y colocar una puerta que permanecerá siempre abierta cuya área debería de ser de 1.8 m² ubicada entre el cruce de las galerías GA.8219-SW y la GA.8857-NW y el RB.10112. De la misma forma se propone colocar una puerta en la entrada de la CB.8212 por la cual ingresará la manga del ventilador de 10 000 CFM y deberá mantenerse cerrada; cabe resaltar que la manga deberá terminar posterior a la puerta. Además, se colocó un sello que sustituiría a la reja ubicada en el SN.8066-SE cercano a la BM.8066-8100.

Finalmente se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 54 Situación actual nivel 800 – alrededor de cámara de bombas

Nivel 800 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
2	4.00	NO	GA. 8219 - (POSTERIOR PUERTA)	SI
CB.8212	3.50	NO	CÁMARA DE BOMBAS	SI
E#1-1	12.40	NO	EN LA E#01-1	SI

Fuente: Elaboración propia

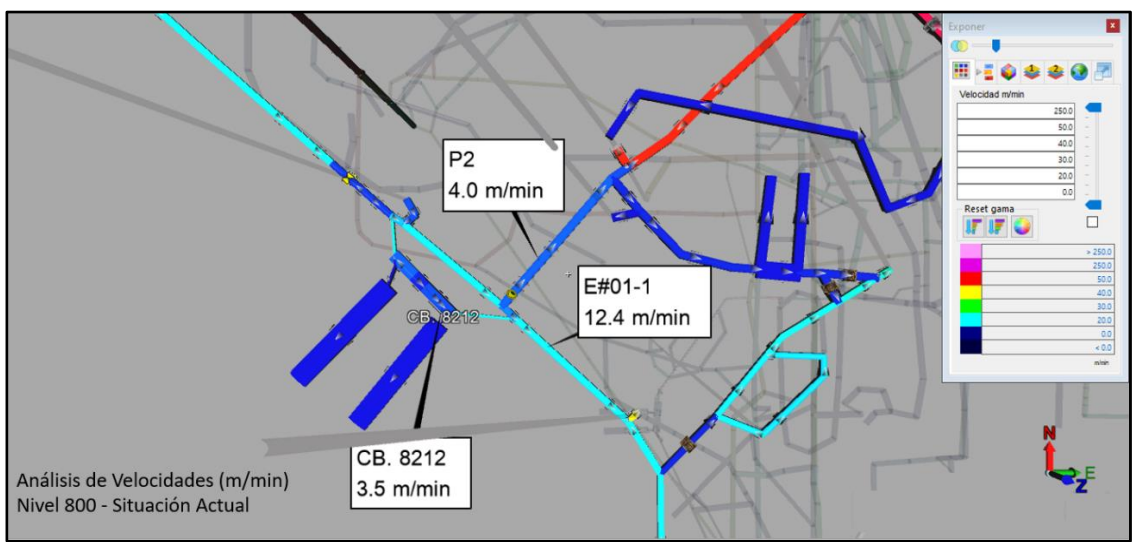


Figura 31. Análisis de velocidades nivel 800 – situación actual

Tabla 55 Propuesta de mejora nivel 800 – alrededor de cámara de bobas

Nivel 800 – Propuesta de mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
2	51.40	SI	GA. 8219 - (POSTERIOR PUERTA)	SI
CB.8212	20.10	SI	CÁMARA DE BOMBAS	SI
E#1-1	28.00	SI	En la E#01-1	SI

Fuente: Elaboración propia

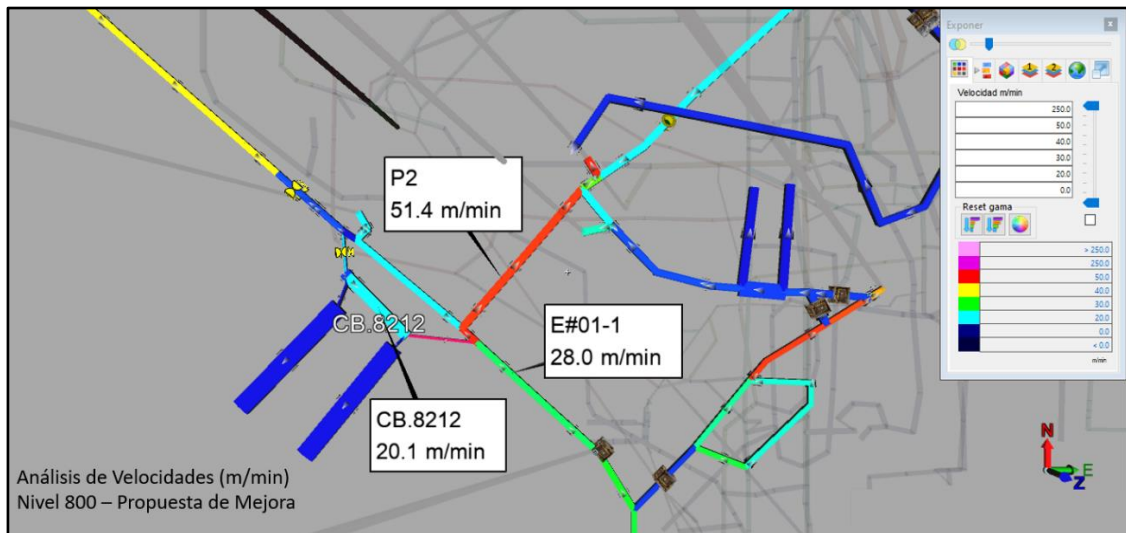


Figura 32. Análisis de velocidades nivel 800 – propuesta de mejora

7.1.2 Análisis del Nivel 1000

No se registraron velocidades críticas de acuerdo a la normativa ni zonas con potencial de mejora.

7.1.3 Análisis del Nivel 1200

En la situación actual del Nivel 1200 se observa que se cuenta con un ventilador de 5 000 CFM ubicado en la GA.1238 el cual siempre se encuentra encendido y cuenta con una puerta que permanece cerrada y solo permite el paso de una manga de ventilación, así mismo se cuenta con un ventilador auxiliar ubicado en la intersección de la GA.12019-W con la GA.12008-N el cual lleva aire al frente del derrumbe de la GA.12008 y el cual cuenta también con una puerta la cual permanece cerrada y permite el paso de su manga de ventilación. Bajo esta configuración, cuando el ventilador auxiliar se encuentra apagado se registra valores de velocidades bajos en toda la GA.12019 y en el tramo de la GA.12008 antes de la subida a la RP.12054. Cuando se enciende el ventilador auxiliar los valores de velocidades referidos anteriormente aumentan a niveles aceptables (mayor a 20 m/min); sin embargo, el

valor de la velocidad de aire en el BP. 12506 baja por debajo del límite aceptable, continuando por la GA.12008-N hasta antes del RP.12054.

La propuesta de mejora contempla el cambio del ventilador de 5 000 CFM por uno de 10 000 CFM, así mismo, el ventilador de 30 000 CFM en la GA.12019 se reemplazaría por un ventilador de 16 000 CFM y adicionalmente se colocará un ventilador de 10 000 CFM en el término de la RP.12054 y el inicio del RB.12054, el cual deberá estar encendido de manera permanente tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 56 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 1200 GA. 1238

Nivel 1200 – GA.1238	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
5 000 CFM	10 000 CFM - VAV-23 1/4-18-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57 Cambio de ventilador 16 000 CFM - nivel 1200 GA. 12019-W

Nivel 1200 – GA.12019-W	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
30 000 CFM	16 000 CFM - VAV-29 1/4-14-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58 Cambio de ventilador 20 000 CFM - nivel 1200 RP. 12054

Nivel 1200 – RP.12054	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
NO SE CUENTA CON VENTILADOR	20 000 CFM - VAV-27-1/4-14-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se propone para el escenario donde el personal trabaje en el frente del derrumbe en la GA.12008 abrir la puerta del ventilador de 10 000 CFM el cual permanecerá apagado y mantener cerrada la puerta del ventilador de 16 000 CFM el cual permanecerá encendido. En caso no haya personal en el frente del derrumbe antes

mencionado se mantendrá cerrada la puerta del ventilador de 10 000 CFM el cual permanecerá encendido y mantener abierta la puerta del ventilador de 16 000 CFM el cual permanecerá apagado. A su vez se propone en sellar la labor que conecta con el RB.1640 para evitar fugas de aire del nivel 1600 al nivel 1200.

A continuación, mostraremos una tabla comparativa entre la situación actual y propuesta de mejora considerando el escenario en el que exista personal trabajando en el frente del derrumbe y cuando no lo haya:

Tabla 59 Escenarios de situación actual nivel 1200 – GA. 12019 BP. 12506

Nivel 1200- Situación Actual				
Escenario 1 (Personal laborando en el área de derrumbe)				
- Ventilador 5 000 CFM ENCENDIDO				
- Ventilador 30 000 CFM ENCENDIDO				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
7 (BP.12506)	18.80	NO	EN LA E#04	SI
2 (GA.12019)	2.10	NO	EN LA E#02	SI
Escenario 2 (Personal NO laborando en el área de derrumbe)				
- Ventilador 5 000 CFM ENCENDIDO				
- Ventilador 30 000 CFM APAGADO				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
7 (BP.12506)	19.10	NO	EN LA E#04	SI
2 (GA.12019)	2.10	NO	EN LA E#02	SI

Fuente: Elaboración propia

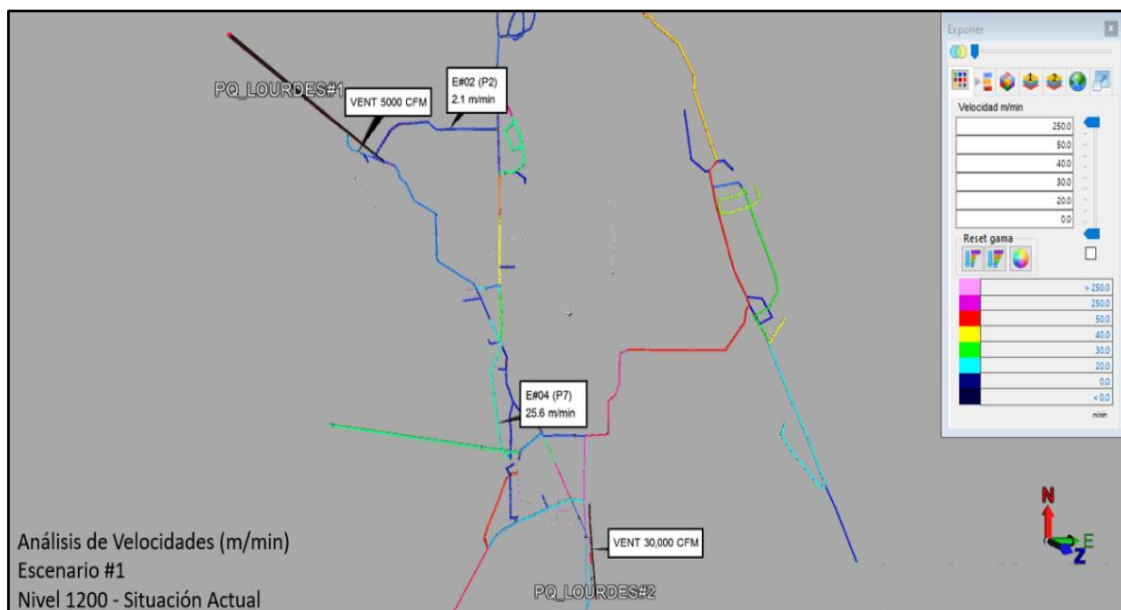


Figura 33. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación actual

Tabla 60 Escenarios de propuesta de mejora nivel 1200 – GA. 12019 BP. 12506

Nivel 1200- Propuesta de Mejora				
Escenario 1 (Personal laborando en el área de derrumbe)				
<ul style="list-style-type: none"> - Ventilador 10 000 CFM APAGADO – PUERTA ABIERTA - Ventilador 16 000 CFM ENCENDIDO – PUERTA CERRADA - Ventilador 20 000 CFM ENCENDIDO 				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
7 (BP. 12506)	26.00	SI	EN LA E#04	SI
2 (GA. 12019)	22.90	SI	EN LA E#02	SI
Escenario 2 (Personal NO laborando en el área de derrumbe)				
<ul style="list-style-type: none"> - Ventilador 10 000 CFM ENCENDIDO – PUERTA CERRADA - Ventilador 16 000 CFM APAGADO – PUERTA ABIERTA - Ventilador 20 000 CFM ENCENDIDO 				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
7 (BP. 12506)	22.00	SI	EN LA E#04	SI
2 (GA. 12019)	24.40	SI	EN LA E#02	SI

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se registró una zona adicional en el nivel 1200 en donde se tenía velocidades por debajo de los valores permisibles ubicada en la GA.1263-NE, entre la RP.14540 y la GA.1238. En la situación actual de esta zona el aire no circula debido a una puerta ubicada en la GA.1263 la cual se mantiene cerrada y que parte del aire se va hacia el RB.12852 a través de la GA.1258 la cual se encuentra obstruida aproximadamente al 50% de su área con bolsacretes.

La propuesta de mejora contempla en retirar la puerta mencionada anteriormente, obstruir totalmente el paso de aire hacia el RB.12852 a través de la GA.1258 y habilitar la entrada de aire al RB.1263 desde la GA.1263 con el fin de asegurar el paso del aire a una velocidad permisible por esta zona.

A continuación, se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 61 Situación actual nivel 1200 - GA.1263

Nivel 1200 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
3'	6.70	NO	En la E#27	SI

Fuente: Elaboración propia

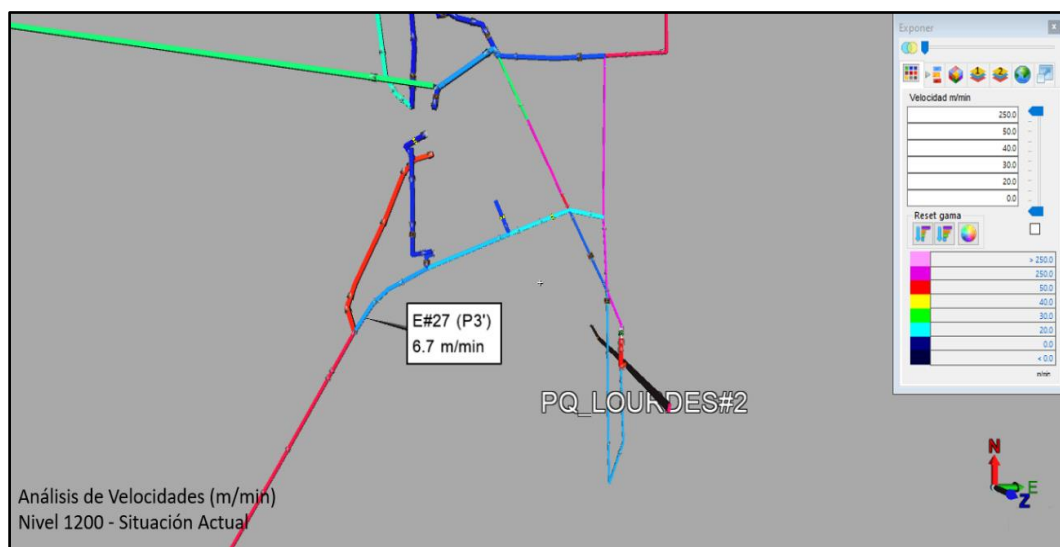


Figura 34. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación GA. 1263

Tabla 62 Propuesta de mejora nivel 1200 - GA.1263

Nivel 1200 – Propuesta de Mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
3'	23.00	SI	En la E-27	SI

Fuente: Elaboración propia

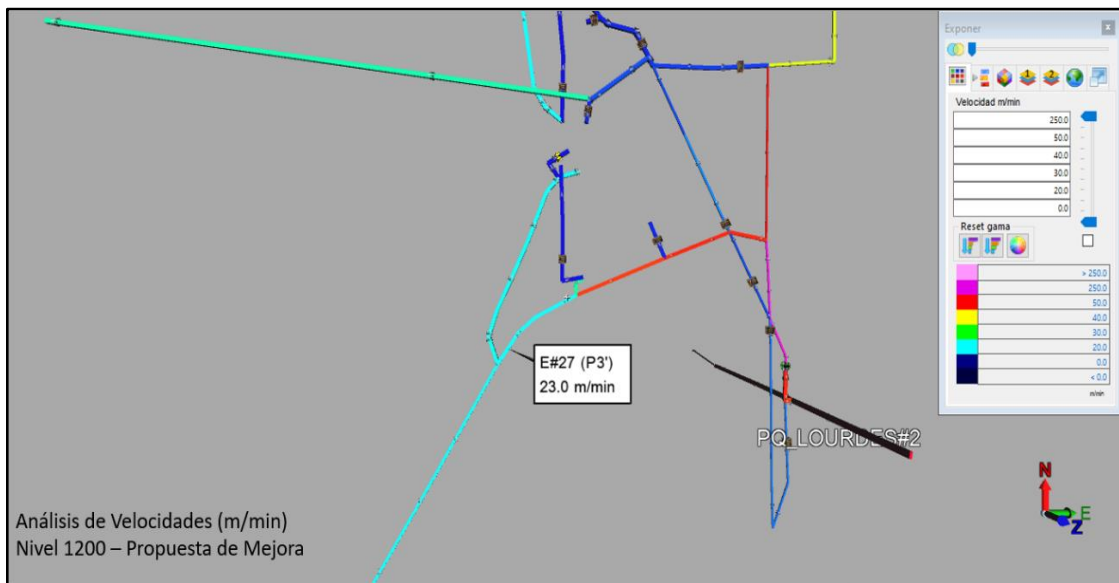


Figura 35. Análisis de velocidades nivel 1200 – propuesta de mejora GA. 1263

Finalmente, se identificó una zona con potencial de mejora alrededor del PQ. Excelsior. La situación actual de esta zona contempla un ingreso de aire de 26 100 CFM desde superficie hacia el nivel 1200 por esta zona y además se cuentan con dos ventiladores de 30 000 CFM y otro de 16 000 CFM ubicados en la GA.1201 y en la GA.1201-S respectivamente. El ventilador de 30 000 CFM transporta aire desde el PQ. Excelsior hacia la RP. Esperanza y el ventilador de 16 000 CFM transporta aire desde el PQ. Excelsior hacia la CB.1281. Producto de este arreglo ingresa una cantidad considerablemente alta de aire la cual se puede ajustar al requerimiento disminuyendo el caudal ingresante para de esta manera reducir el costo de consumo de energía por parte de los ventiladores y mantener las velocidades de aire por encima de los límites permisibles por normativa sin descuidar las condiciones de trabajo.

La propuesta de mejora contempla en retirar el ventilador de 30 000 CFM, sustituir el ventilador de 16 000 CFM por un ventilador de 10 000 CFM, el cual no contará con mangas e invertirá el sentido del flujo y retirar las puertas de la GA.1201 tal como se muestra a continuación:

Tabla 63 Retiro de ventilador 30 000 CFM - nivel 1200 GA. 1201

Nivel 1200 - GA.1201	
Ventilador Actual	Propuesta
30 000 CFM VAV-32-14-3450-II-A	RETIRAR EL VENTILADOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64 Cambio de ventilador 16 000 CFM - nivel 1200 GA. 1201-S

Nivel 1200 – GA.1201-S	
Situación Actual	Ventilador Propuesto
16 000 CFM - VAV-25(1/4)-18-3450-II-A	10 000 CFM - VAV-23 1/4-18-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 65 Situación actual nivel 1200 – CB. 1281, E#28

Nivel 1200 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
12'	144.70	SI	EN LA E#28	SI
CB.1281	48.60	SI	CÁMARA DE BOMBAS 1281	SI

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66 Propuesta de mejora nivel 1200 – CB. 1281, E#28

Nivel 1200 – Propuesta de Mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
12'	25.00	SI	EN LA E#28	SI
CB.1281	23.00	SI	CÁMARA DE BOMBAS 1281	SI

Fuente: Elaboración propia

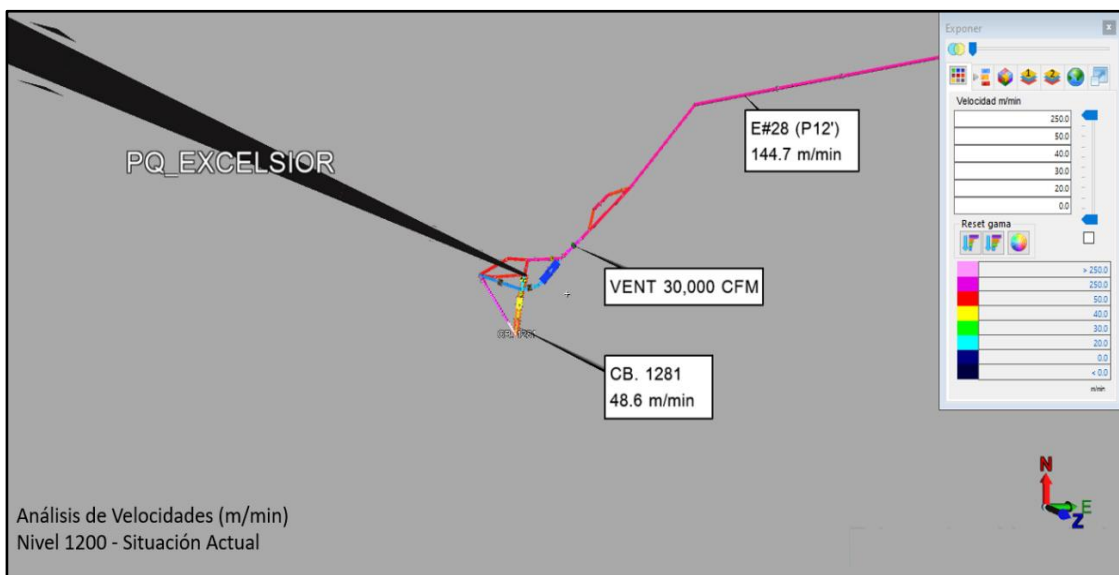


Figura 36. Análisis de velocidades nivel 1200 – situación actual CB. 1281, E#28

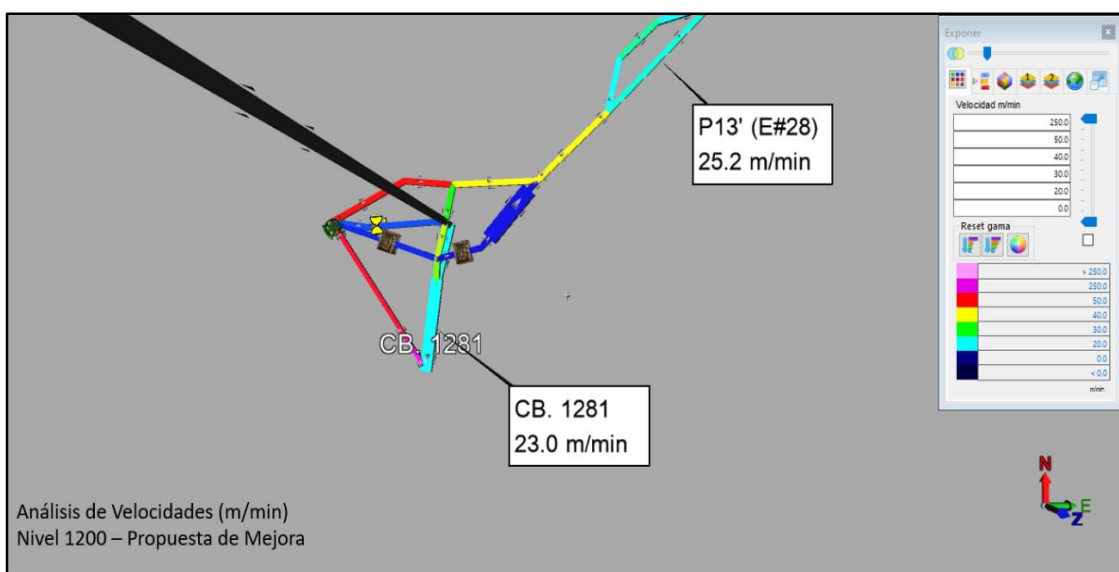


Figura 37. Análisis de velocidades nivel 1200 – propuesta de mejora CB. 1281, E#28

Finalmente se observó una última zona con potencial de mejora en el PQ. Lourdes #2 en la cual el ventilador presente de 30 000 CFM puede ser reemplazado por un ventilador de 20 000 CFM con el fin de reducir el costo de operación, tal como se muestra a continuación:

Tabla 67 Cambio de ventilador 20 000 CFM - nivel 1200 GA.12185

Nivel 1200 – GA. 12185, PQ. L2	
Situación Actual	Ventilador Propuesto
30 000 CFM - VAV-32-14-3450-I-A	20 000 CFM - VAV-27-1/4-14-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

7.1.4 Análisis del Nivel 1400

En la situación actual del Nivel 1400 se observa que se cuenta con dos zonas con potencial de mejora: la primera zona comprende las labores aledañas al ventilador de 30 000 CFM instalado en la GA.14904-SE y la segunda zona comprende el BP.1422-SW la cual presenta velocidades no permisibles.

La propuesta de mejora incluiría en primera instancia en retirar el ventilador 30 000 CFM ya que de acuerdo a la simulación la dirección del flujo al retirarse el ventilador es invariable y las velocidades siguen siendo permisibles. En segunda instancia se propone en colocar un ventilador de 7 000 CFM en el RB.1654 con el fin de introducir aire desde superficie hacia interior mina, esto hará que el caudal aumente en el BP.1422-SW, tal como se muestra a continuación:

Tabla 68 Retiro de ventilador 30 000 CFM - nivel 1400 GA.14904-SE

Nivel 1400 - GA.14904-SE	
Ventilador Actual	Propuesta
30,000 CFM VAV-32-14-3450-II-A	RETIRAR EL VENTILADOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69 Cambio de ventilador 7 000 CFM - nivel 1400 RB.1654

Nivel 1400 - RB.1654	
Situación Actual	Ventilador Propuesto
NO SE CUENTA CON VENTILADOR, LABOR BLOQUEADA	7,000 CFM - VAV-21 1/4-14-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 70 Situación actual nivel 1400 – BP.1422-SW, GA.14904-SE

Nivel 1400 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
G2	2.50	NO	BP. 1422-SW	SI
G3	32.40	SI	GA.14904-SE	SI

Fuente: Elaboración propia

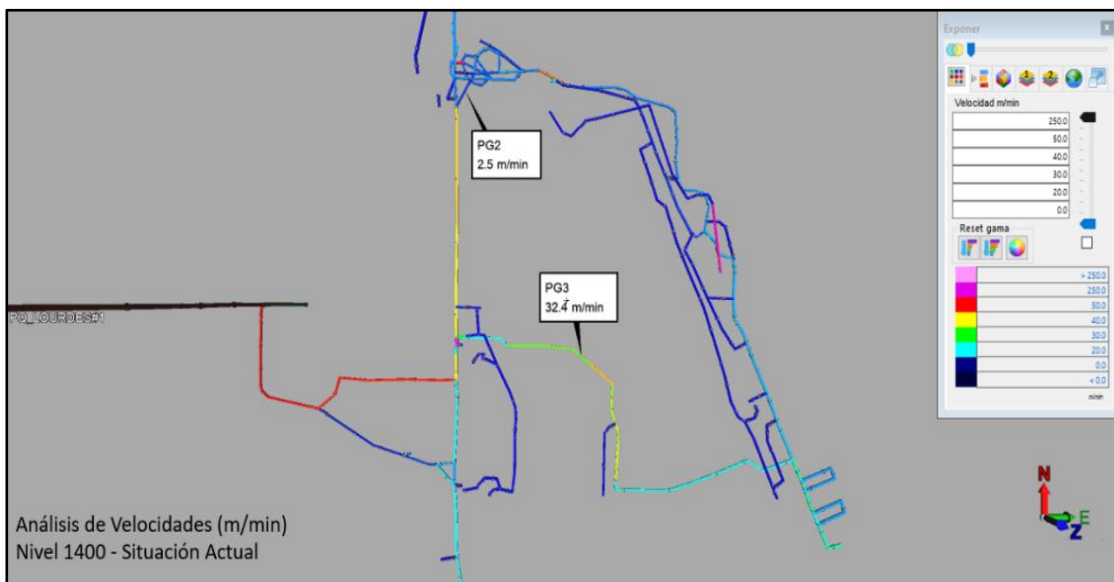


Figura 38. Análisis de velocidades nivel 1400 – situación actual BP. 1422-SW, GA. 14904-SE

Tabla 71 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 1400 GA.14458-SE

Nivel 1400 - GA.14458-SE	
Ventilador Actual	Propuesta
30 000 CFM VAV-32-14-3450-II-A	10 000 CFM - VAV-23 1/4-18-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

El análisis del costo del consumo de energía se detallará en el capítulo de costos. A continuación, se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades identificadas:

Tabla 72 Situación actual nivel 1400 – E#10, E#09

Nivel 1400 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
11"	45.90	SI	EN LA E#10	SI
4.1	33.00	SI	EN LA E#09	SI

Fuente: Elaboración propia



Figura 39. Análisis de velocidades nivel 1400 – situación actual E#10, E#09

Tabla 73 Propuesta de mejora actual nivel 1400 – E#10, E#09

Nivel 1400 – Propuesta de Mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
11''	108.5	SI	EN LA E#10	SI
4.1	25.7	SI	EN LA E#09	SI

Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Análisis de velocidades nivel 1400 – propuesta de mejora E#10, E#09

7.1.5 Análisis del Nivel 1600

En la situación actual del Nivel 1600 se identificaron tres zonas con los siguientes problemas: La primera zona comprendida en la GA.1663-NW la cual presenta velocidades menores a las permisibles, la segunda zona se ubica en la GA.1640-SW comprendida entre el ventilador de 16 000 CFM y la CH.1638; y la tercera zona correspondientes al ventilador de 30 000 CFM del PQ. Lourdes#2.

La propuesta de mejora contempla para la primera zona restringir el tránsito de personal por la GA.1663-NW dado que no se presentan trabajos en esta área. Para la segunda zona se propone mover el ventilador de 16 000 CFM en una ubicación entre la GA.1648-N y la GA.1640-SW, retirar las mangas y además colocar una puerta de ingreso en la ubicación del ventilador la cual deberá permanecer cerrada. Finalmente,

para la tercera zona se propone apagar el ventilador de 30 000 CFM dado que, de acuerdo a la simulación, el caudal circulante por esta zona con el ventilador apagado no presenta cambios importantes.

A continuación, se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 74 Situación actual nivel 1600 – E#08, GA. 1640-SW, RP.16235

Nivel 1600 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	1.20	NO	GA. 1663-NW (EN LA E-08)	SI
GA.1640-SW	0.80	NO	GA. 1640-SW	SI
6'	10.50	NO	SUBIDA RP. 16235	SI

Fuente: Elaboración propia

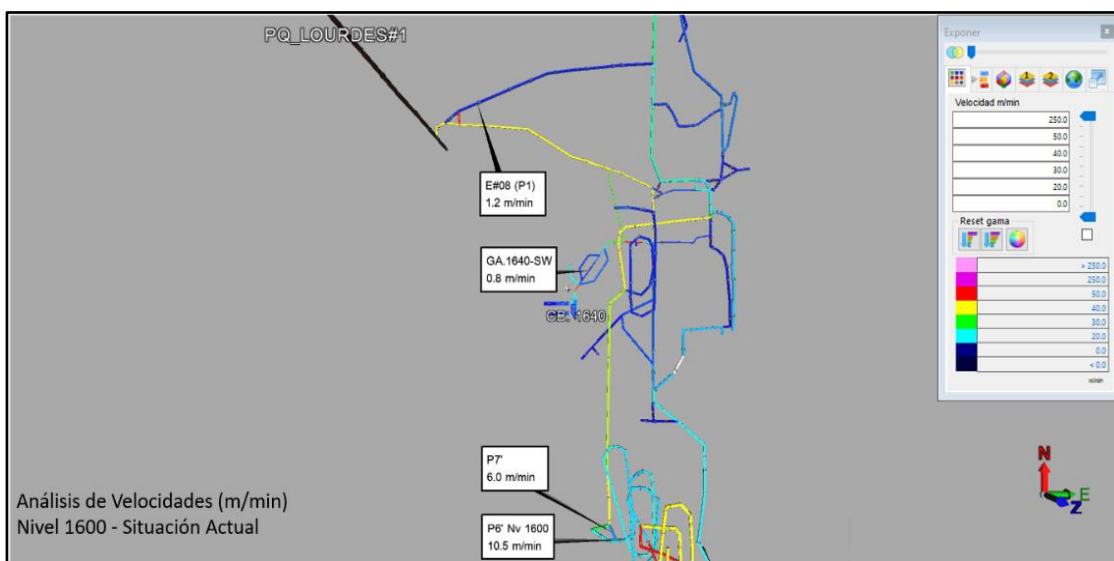


Figura 41. Análisis de velocidades nivel 1600 – situación actual E#08, GA. 1640-SW, RP. 16235

Tabla 75 Propuesta de mejora nivel 1600 – E#08, GA. 1640-SW, RP.16235

Nivel 1600 – Propuesta de Mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	-	NO	CLAUSURADO	SI
GA.1640-SW	20.20	NO	GA. 1640-SW	SI
6'	21.40	NO	SUBIDA RP. 16235	SI

Fuente: Elaboración propia

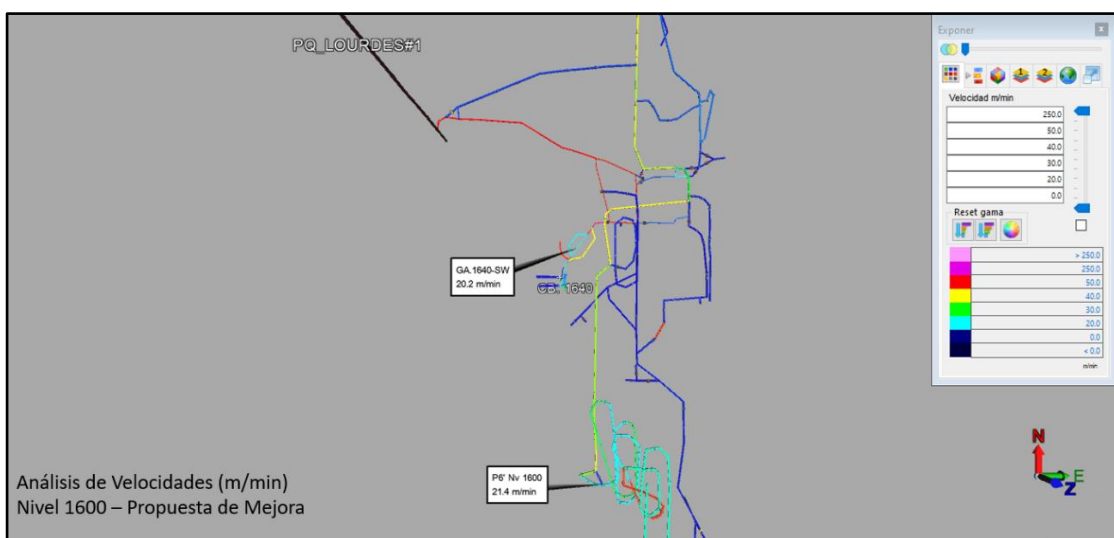


Figura 42. Análisis de velocidades nivel 1600 – propuesta de mejora E#08, GA. 1640-SW, RP. 16235

7.1.6 Análisis de los Niveles 1800-2100

En la situación actual del nivel 2100 existe una recirculación del flujo de aire dado que a través de la manga proveniente del ventilador del nivel 1800, el aire no está siendo recepcionado por el ventilador de 5 000 CFM presente en el nivel 2100. Así mismo, tampoco se observa una salida de aire del nivel 2100 al nivel 1800 ya que se presenta una recirculación hacia el ventilador del nivel 2100 desde la base del Pique Lourdes #2, la cual debería ser el inicio del retorno del aire del nivel 2100 hacia los niveles superiores.

La propuesta de mejora abarcaría en primera instancia el cambio de los ventiladores del nivel 1800 y nivel 2100, de acuerdo a lo indicado a continuación:

Tabla 76 Cambio de ventilador 16000 CFM - nivel 1800 GA. 1812

Nivel 1800	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
20 000 CFM -VAV-27-1/4-14-3450-II-A	16 000 CFM - VAV-29(1/4)-14-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77 Cambio de ventilador 10 000 CFM - nivel 2100 PQ. Lourdes#2

Nivel 2100	
Ventilador Actual	Ventilador Propuesto
5 000 CFM	16,000 CFM - VAV-25(1/4)-18-3450-II-A

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el ventilador del nivel 1800 ya no estará conectado a la manga de ventilación que bajará hacia el nivel 2100, en su lugar la manga de ventilación del nivel 1800 empezará a unos 3 metros del PQ. Lourdes#2. De la misma manera se deberá sustituir la manga antes mencionada (del ventilador del nivel 1800 hacia el nivel 2100) por una manga rígida, la cual llegue hasta el ventilador del nivel 2100, para que de esta manera el aire proveniente del nivel

1800 se distribuya de manera adecuada por todo el nivel 2100 y no se regrese por el pique Lourdes#2.

Finalmente se muestra el comparativo entre la situación actual y la propuesta de mejora en relación a las velocidades críticas identificadas:

Tabla 78 Situación actual nivel 2100 – E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB. 2125

Nivel 2100 – Situación Actual				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	0.00	NO	EN LA E#03	SI
2	6.60	NO	EN LA E#02	SI
3	11.50	NO	BASE PQ. LOURDES #2 (ALTURA DE CB. 2125)	SI
4	6.20	NO	ESCALERAS HACIA CB. 2125	SI

Fuente: Elaboración propia

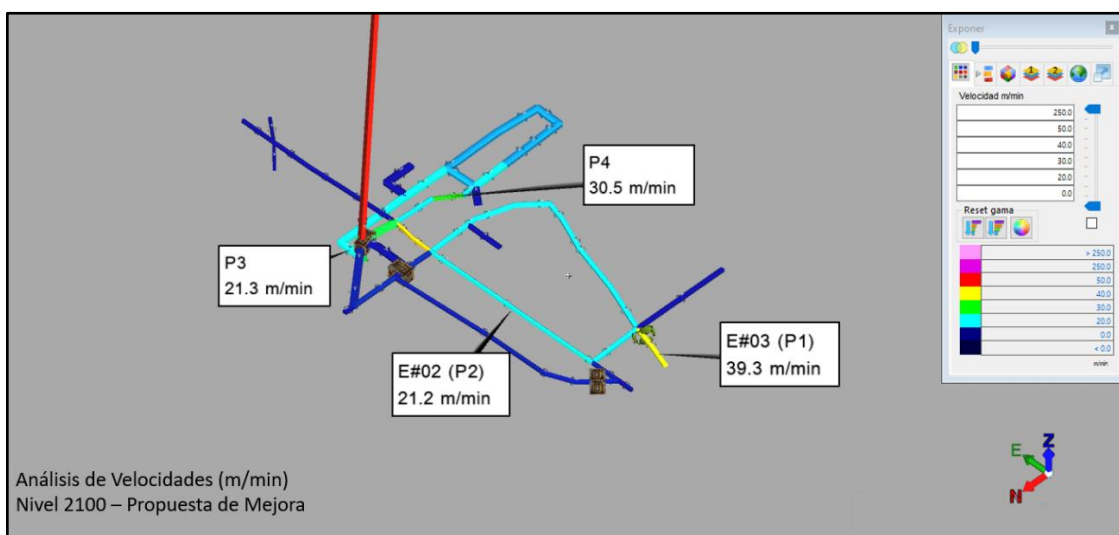


Figura 43. Análisis de velocidades nivel 2100 – propuesta de mejora E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB. 2125

Tabla 79 Propuesta de mejora nivel 2100 – E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB.2125

Nivel 2100 – Propuesta de Mejora				
Punto/Zona	Promedio (m/min)	Vpermisible	Descripción	Zona transitable
1	39.30	SI	EN LA E#03	SI
2	21.20	SI	EN LA E#02	SI
3	21.30	SI	BASE PQ. LOURDES #2 (ALTURA DE CB. 2125)	SI
4	30.50	SI	ESCALERAS HACIA CB. 2125	SI

Fuente: Elaboración propia

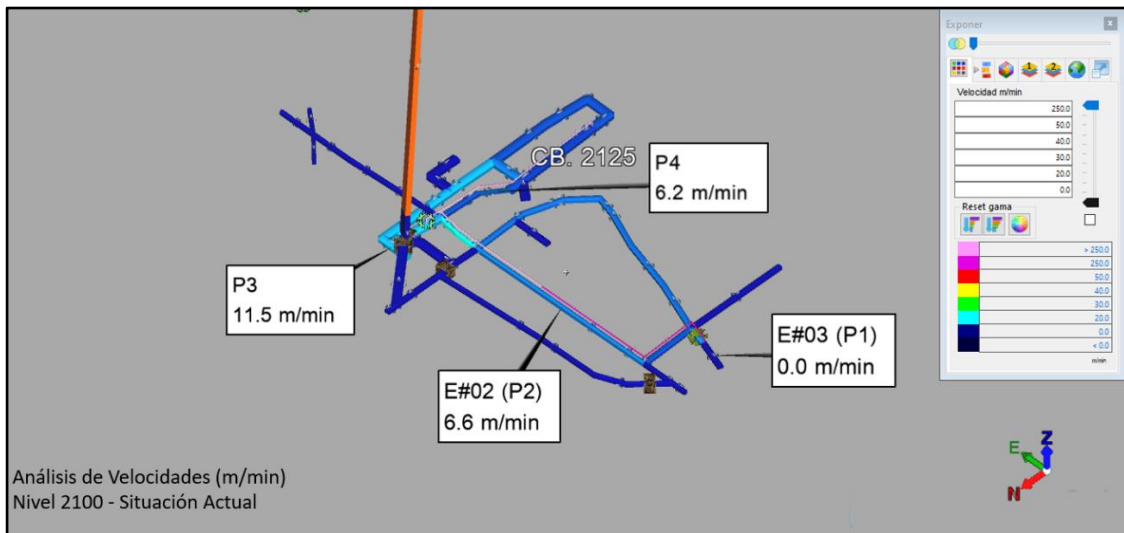


Figura 44. Análisis de velocidades nivel 2100 – situación actual E#02, E#03, PQ. Lourdes#2, CB. 2125

7.2 Evaluación y mejora para agentes contaminantes

7.2.1 Propuesta de mejora para el contaminante SO₂

Se encontró que el contaminante SO₂ se propaga en el Nivel 1200 a partir de la RP.1479 hacia la GA 12008 a través de las cimbras, dado que esta intersección no fue hermetizada.

Se recomienda colocar un sello hermético en la intersección de la GA 12008 y la RP 1479 con el fin de evitar la filtración del contaminante SO₂ y su propagación hacia otras labores transitables.

Así mismo se encontró que el contaminante SO₂ en los niveles 800-1000 se propaga a partir de las cámaras CA 10012-S y CA 10011-S y la RP 10990 hacia las rampas RP 10213 y RP 8213.

Se recomienda hermetizar correctamente en la intersección de la GA 10990-SE y la RP 10990, a su vez colocar un sello hermético en la intersección de las cámaras con la GA 10990 con el fin de evitar la filtración del contaminante SO₂ y su propagación hacia otras labores transitables.

7.2.2 Propuesta de mejora para el contaminante CO₂

Se encontró que el contaminante CO₂ se propaga en el Nivel 2100 a partir del accionar de las válvulas que permiten el paso de las aguas ácidas, este contaminante no se emite constantemente dado que las válvulas se abren a determinadas horas del día.

Debido a la recirculación del aire bajo la configuración de sistema de ventilación actual tanto el aire como el contaminante están recirculando y el Nivel 2100 no se encuentra ventilado, bajo la nueva configuración del sistema de ventilación abarcado en el Capítulo 3 - 3.5 Análisis de los niveles 1800-2100, todo el flujo de aire así como el contaminante ya no recirculará en ese nivel sino subirá a través del PQ Lourdes #2 para finalmente salir a superficie por el RB 12852 y por el RB SAN EXPEDITO.

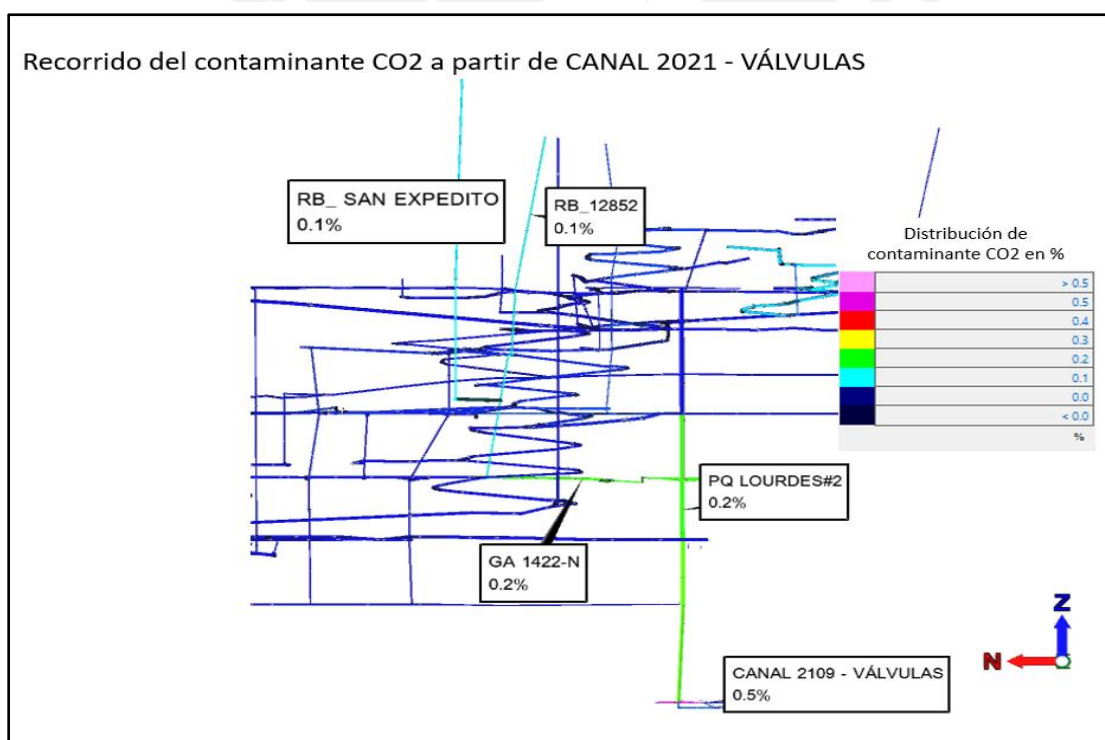


Figura 45. Recorrido del contaminante CO₂ – Canal 2021

Así mismo se encontró que el contaminante CO₂ en el Nivel 800 se propaga a partir de la RP 8213-sedimentadores hacia el SN 8357. Sin embargo, dado que el flujo por el que circula el contaminante CO₂ a una concentración de 0.5% termina diluyéndose a valores aceptables en la intersección con la RP 10213, no se consideró realizar algún cambio.

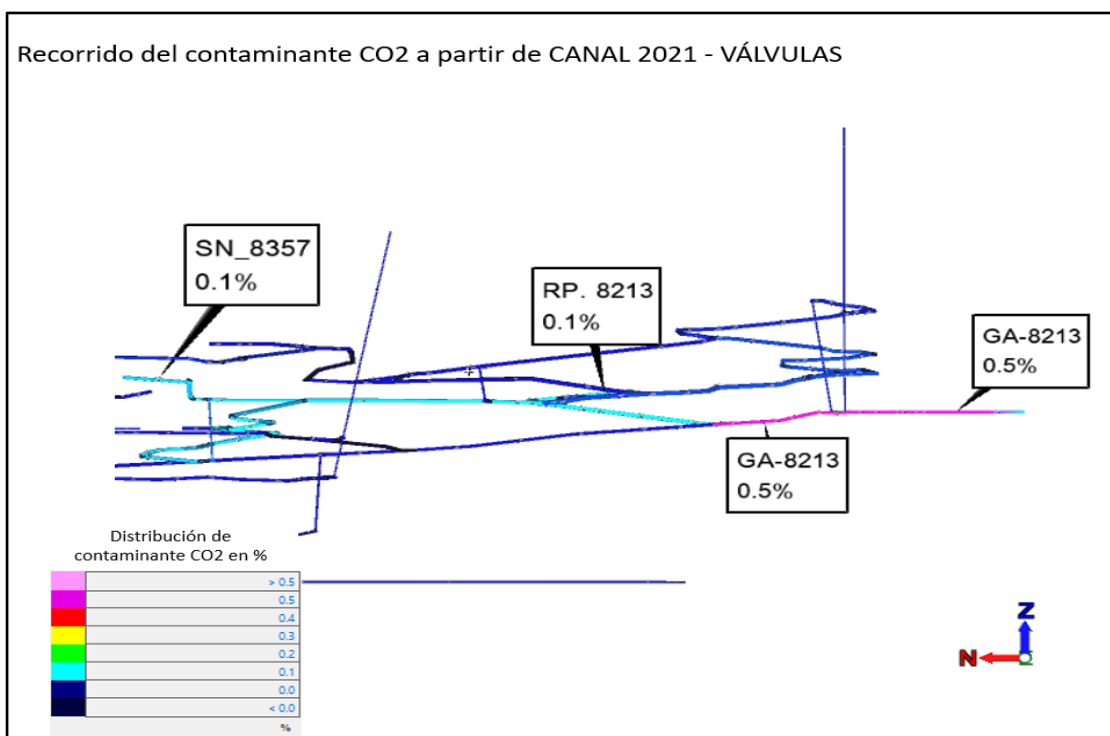


Figura 46. Recorrido del contaminante CO₂ – RP. 8213

7.3 Caracterización de ventiladores – Propuesta técnica

Para el caso de la propuesta de mejora se realizaron cambios en el circuito de ventilación, los cuales incluyeron la adición y reubicación de ventiladores; así mismo, algunos ventiladores permanecieron en sus ubicaciones iniciales. Se consideró la búsqueda de ventiladores adecuados para las mejores especificadas en capítulos anteriores, teniendo en cuenta el caudal de aire necesario, la eficiencia del ventilador y la potencia consumida.

Para la determinación de la potencia real, dado que no se cuenta con mediciones de intensidad de corriente ni amperaje se utilizó la potencia real entregada a través de la simulación por el software de ventilación.

A continuación, se mostrará una tabla resumen de los ventiladores seleccionados en la propuesta de mejora.

Tabla 80 Caracterización de ventiladores - propuesta de mejora

CÓDIGO	NIVEL	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	UBICACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL (CFM)	POTENCIA NOMINAL (HP)	POTENCIA NOMINAL (KW)	POTENCIA REAL (KW)	POTENCIA REAL (HP)	MODELO
V01	800	Ventilador AIRTEC	GA. 8212, CB. 8212	10,000	25	18.65	14.50	19.44	VAV-23 1/4-18-3450-II-A *
V02	800	Ventilador JOY	SN. 8357, RP. 8350	60,000	150	111.9	116.60	156.30	VAV-48-26.5-1750-II-B **
V03	800 - 1000	Ventilador JOY	RP. 8213, CB. 8213	20,000	30	22.38	25.10	30.39	VAV-27-1/4-14-3450-II-A **
V04	1200	Ventilador HOWDEN	GA. 12185, PQ. L2	20,000	40	29.84	19.10	25.60	VAV-27-1/4-14-3450-II-A ***
V05	1200	Ventilador AIRTEC	GA. 12019, GA. 12008	16,000	25	18.65	22.90	30.70	VAV-29 1/4-14-3450-II-A *
V07	1200	Ventilador AIRTEC	GA. 1238	10,000	25	18.65	13.20	17.69	VAV-23 1/4-18-3450-II-A *
V08	1200	Ventilador AIRTEC	GA. 1201-S, CB. 1281	10,000	25	18.65	11.30	15.15	VAV-23 1/4-18-3450-II-A *
V15	1200	Ventilador AIRTEC	RP.12054	20,000	40	29.84	20.10	26.94	VAV-27-1/4-14-3450-II-A *
V09	1400	Ventilador AIRTEC	BP. 14458-SE, PQ. L2	10,000	25	18.65	11.30	15.15	VAV-23 1/4-18-3450-II-A *
V16	1400	Ventilador AIRTEC	RB.1654	7,000	15	11.19	8.30	11.13	VAV-21 1/4-14-3450-II-A *
V11	1600	Ventilador JOY	GA. 1640 (Sedimentadores)	16,000	30	22.38	25.10	33.65	VAV-29(1/4)-14-3450-II-A **
V12	1600	Ventilador JOY	GA. 1638	30,000	50	37.3	35.20	47.18	VAV-32-14-3450-I-A ***
V13	1800	Ventilador AIRTEC	GA. 1812, PQ. L2	16,000	25	18.65	23.70	31.77	VAV-29 1/4-14-3450-II-A *
V14	2100	Ventilador JOY	PQ. L2	16,000	25	18.65	14.80	19.84	VAV-25(1/4)-18-3450-II-A ***

* Nuevo ventilador

** Sin cambios

*** Ventilador reubicado

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará los valores operativos de cada ventilador junto con su curva:

7.3.1 Análisis del Ventilador V1-V07-V08-V09

Tabla 81 Análisis de ventilador V01-V07-V08-V09 - propuesta de mejora

V01-V07 -V08-V09 POST DIAGNOSTICO		
CODIGO: - VAV-23 1/4-18-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
11.12	68.00	26.00

Fuente: Elaboración propia

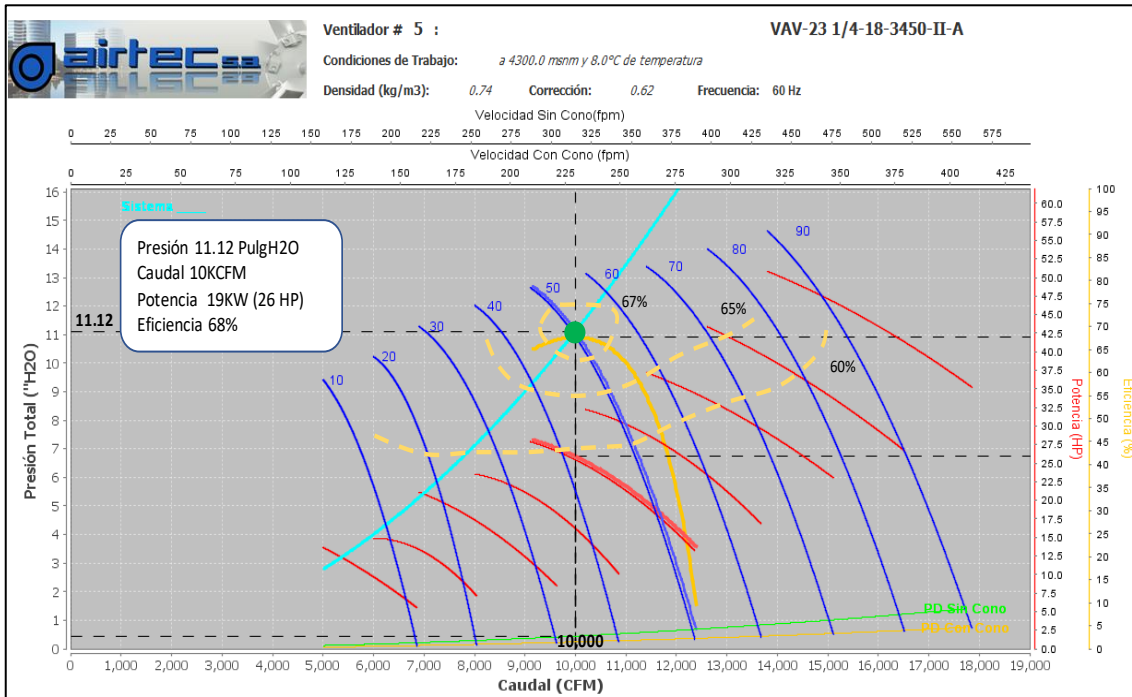


Figura 47. Curva de ventilador V01-V07-V08-V09

7.3.2 Análisis del Ventilador V02

Tabla 82 Análisis de ventilador V02 - propuesta de mejora

V02 (SN. 8357, RP. 8350)		
CODIGO: VAV-48-26.5-1750-II-B		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H ₂ O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
10.95	77.35%	156.30

Fuente: Elaboración propia

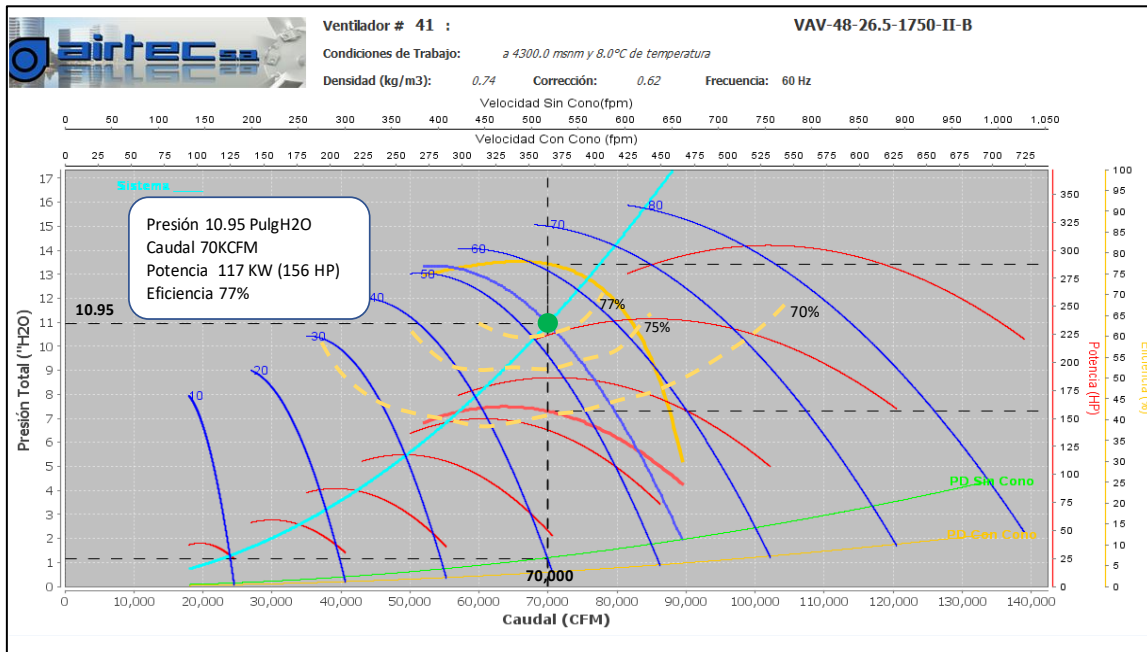


Figura 48. Curva de ventilador V02

7.3.3 Análisis del Ventilador V03

Tabla 83 Análisis de ventilador V03 - propuesta de mejora

V03 (RP. 8213, CB. 8213)		
CODIGO: VAV-27-1/4-14-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H ₂ O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
7.40	65.44%	30.32

Fuente: Elaboración propia

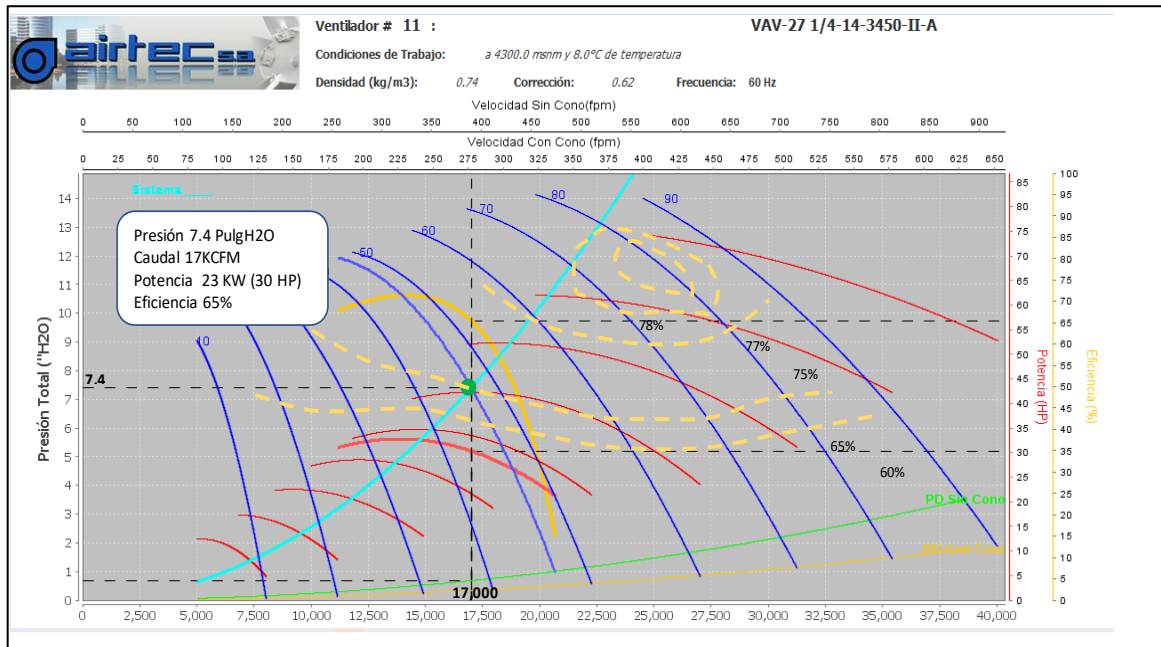


Figura 49. Curva de ventilador V03

7.3.4 Análisis del Ventilador V04-V15

Tabla 84 Análisis de ventilador V04, V15 - propuesta de mejora
 V04-V15 (GA. 12185, PQ. L2 / RP.12054)

CODIGO: VAV-27-1/4-14-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
12.04	72.94%	39.05

Fuente: Elaboración propia

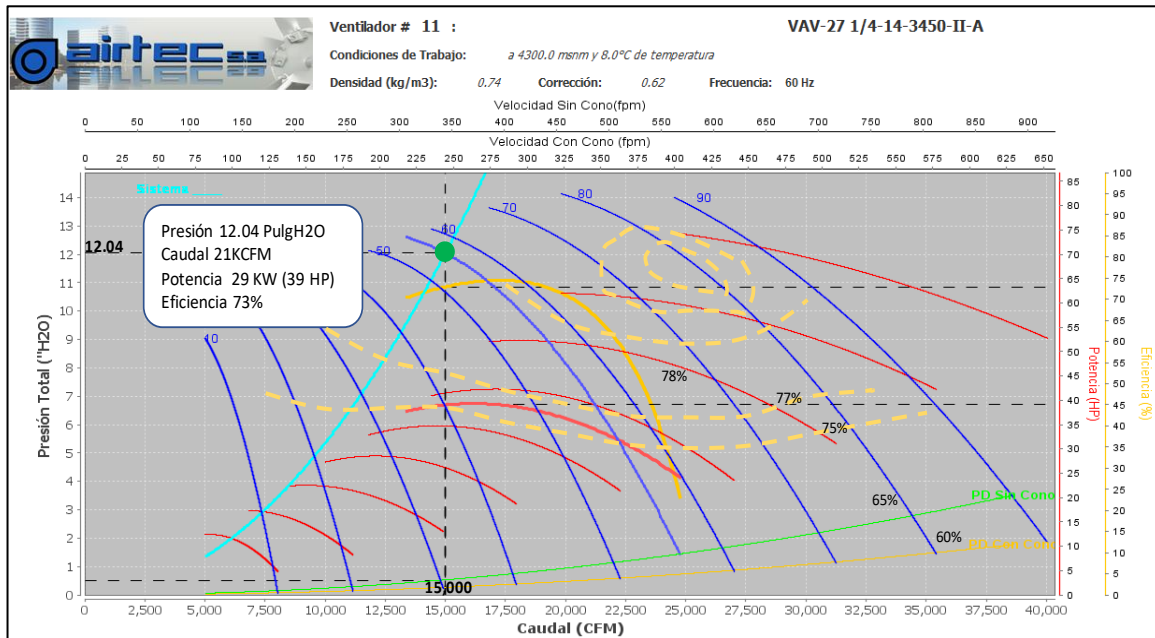


Figura 50. Curva de ventilador V04-V15

7.3.5 Análisis del Ventilador V05-V13

Tabla 85 Análisis de ventilador V05, V13 - propuesta de mejora

V05 - V13 - POST DIAGNOSTICO		
CODIGO: VAV-29 1/4-14-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
7.44	71.00	27.00

Fuente: Elaboración propia

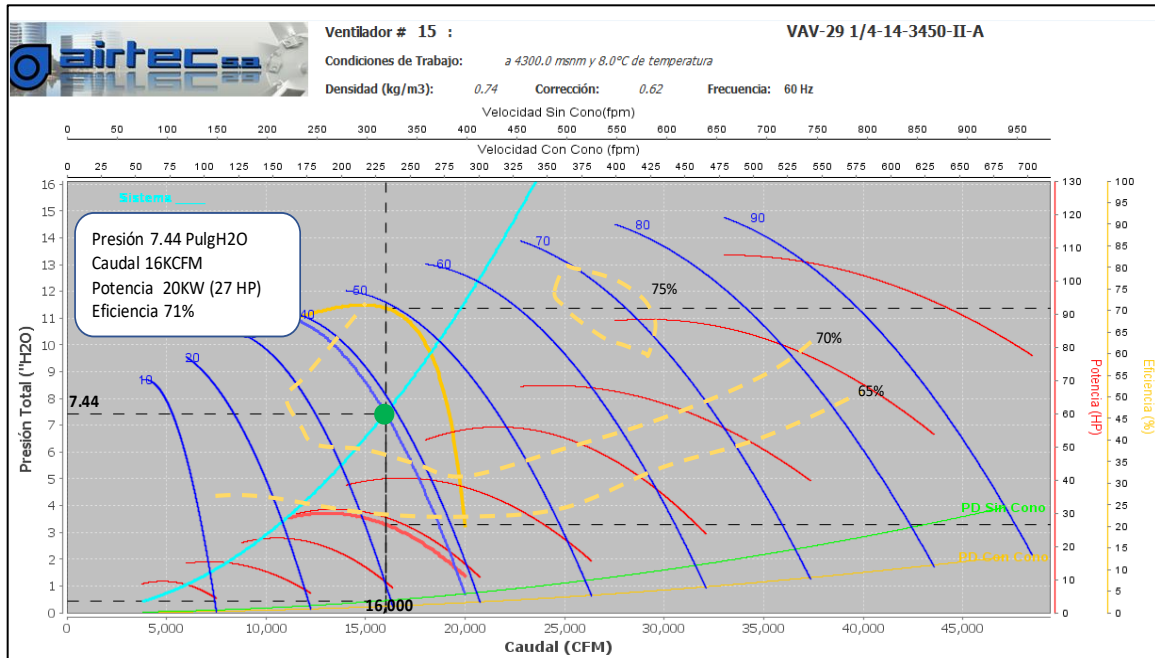


Figura 51. Curva de ventilador V05-V13

7.3.6 Análisis del Ventilador V11

Tabla 86 Análisis de ventilador V11 - propuesta de mejora V11 (GA. 1640, Sedimentadores)

CODIGO: VAV-29(1/4)-14-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H ₂ O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
11.00	68.68%	30.32

Fuente: Elaboración propia

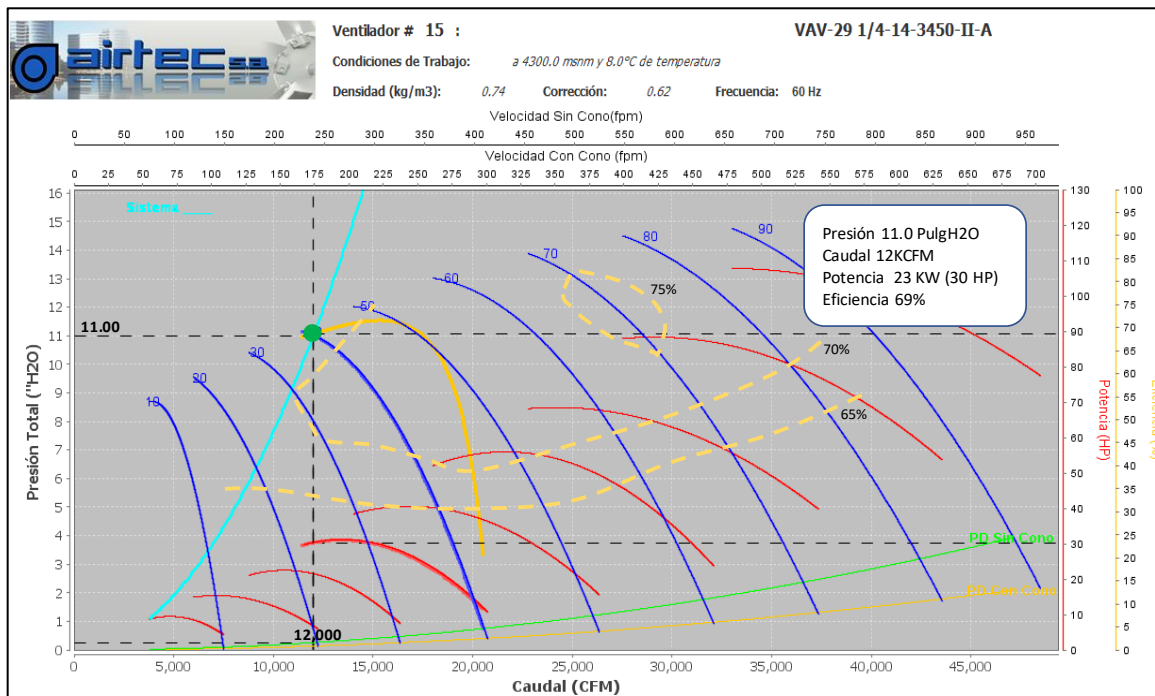


Figura 52. Curva de ventilador V11

7.3.7 Análisis del Ventilador V12

Tabla 87 Análisis de ventilador V12 - propuesta de mejora

V12 (GA. 1638)		
CODIGO: VAV-32-14-3450-I-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
5.99	74.57%	46.88

Fuente: Elaboración propia

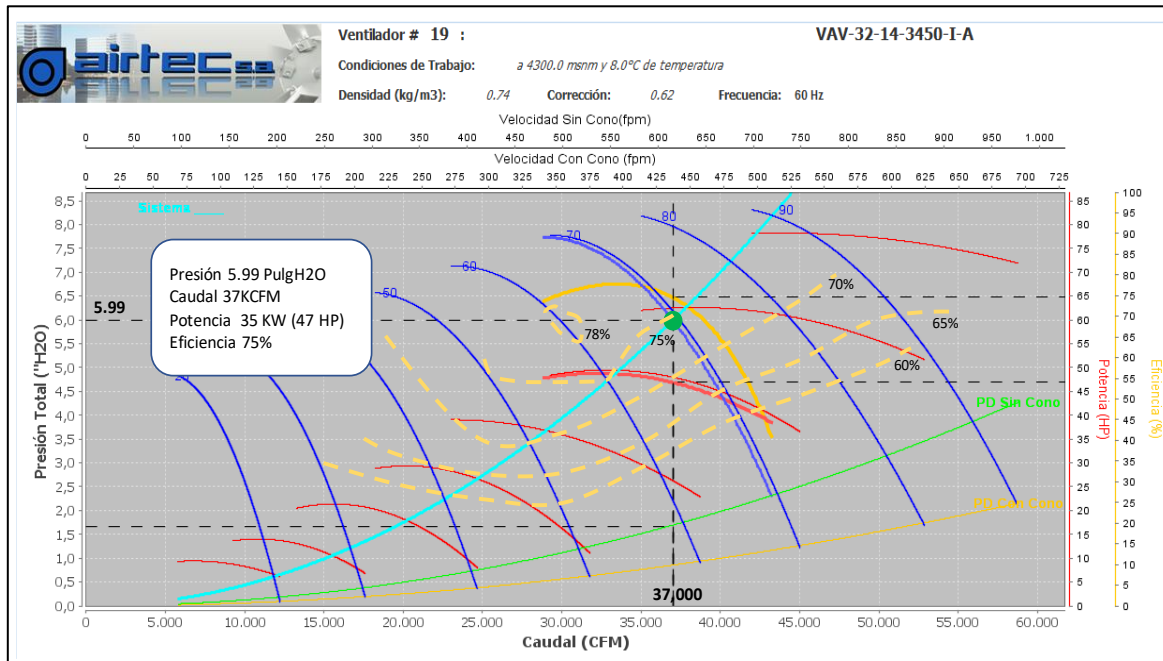


Figura 53. Curva de ventilador V12

7.3.8 Análisis del Ventilador V14

Tabla 88 Análisis de ventilador V14 - propuesta de mejora

V14 (PQ L2)		
CODIGO: VAV-25(1/4)-18-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
7.43	62.69%	24.3

Fuente: Elaboración propia

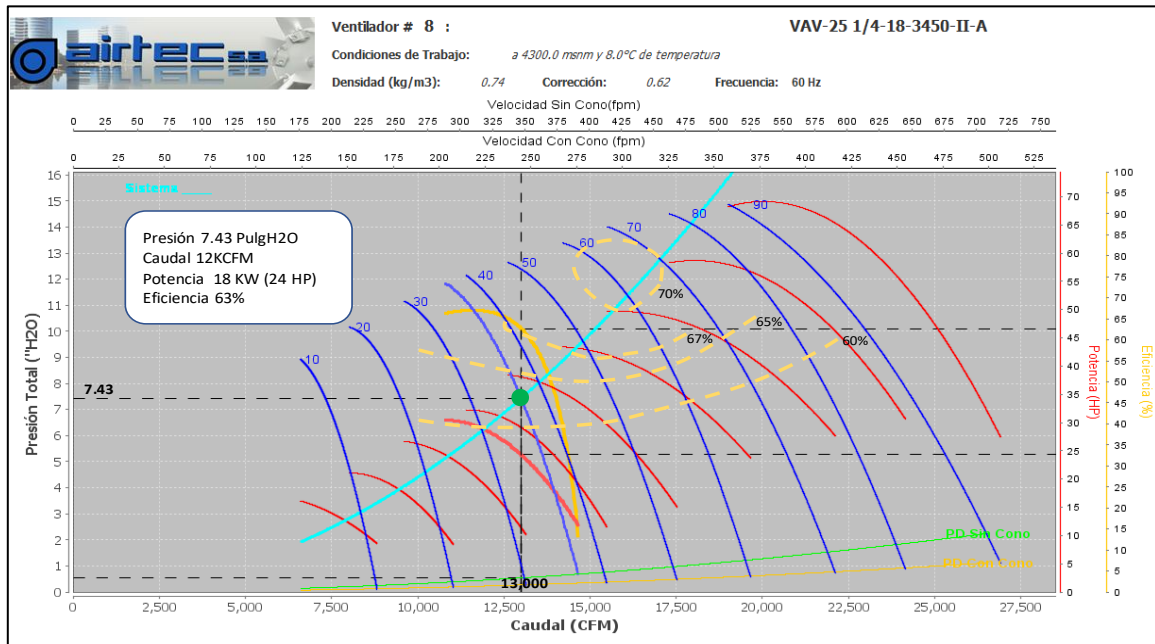


Figura 54. Curva de ventilador V14

7.3.9 Análisis del Ventilador V16

Tabla 89 Análisis de ventilador V16 - propuesta de mejora

V16 (RB.1654) - POST DIAGNOSTICO		
CODIGO: VAV-21 1/4-14-3450-II-A		
PARÁMETROS ENTREGADOS POR CURVA ELEGIDA		
PRESIÓN AIRTEC (pulg H2O)	EFICIENCIA DE AIRTEC (%)	POTENCIA AIRTEC (HP)
9.53	65.00	16.00

Fuente: Elaboración propia

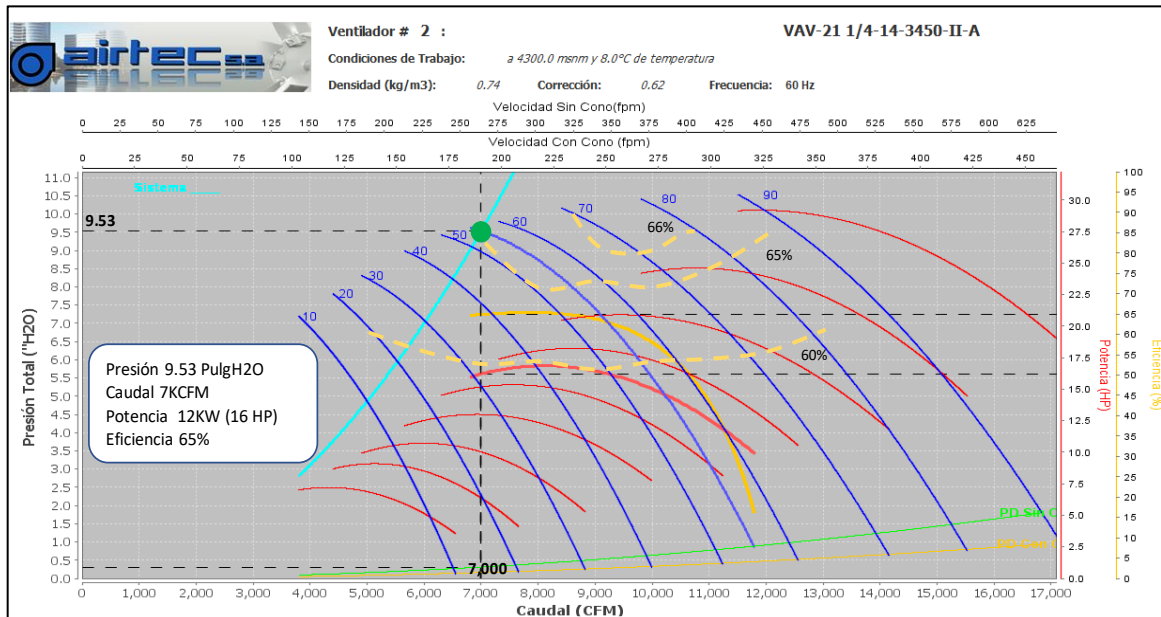


Figura 55. Curva de ventilador V16

7.4 Balance General y Cobertura de Aire – Propuesta técnica de mejora

Se procedió a realizar un mapeo de todas las labores de ingresos y salidas de la mina en el que fueron modelados y simulados los parámetros necesarios para realizar el balance general de la propuesta técnica de mejora en el software Ventsim Design 5.

A continuación, se muestra el balance general y cobertura de aire de toda la mina:

Tabla 90 Balance de ingreso de aire y cobertura – propuesta de mejora

INGRESO DE AIRE FRESCO			
UBICACIÓN	CAUDAL		DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL
	Labor	m3/min	
BM 8440	395.33	13,961.00	4.6%
BM 8066 - 8100	1,061.90	37,501.00	12.3%
RB 16235	940.85	33,226.00	10.9%
PIQUE EXCELSIOR-McFARLAND	188.36	6,652.00	2.2%
PIQUE LOURDES N°1	2,760.67	97,493.00	32.0%
BM 4070	604.93	21,363.00	7.0%
BM 8080 CNB	1,233.73	43,569.00	14.3%
RB. 8066	498.09	17,590.00	5.8%
CH 8931	278.69	9,842.00	3.2%
RB 8030	319.21	11,273.00	3.7%
RB 1654	205.83	7,269.00	2.4%
RB 8212 - 1	143.59	5,071.00	1.7%
TOTAL INGRESO	8,631.2	304,810	100.0%
REQUERIMIENTO TOTAL	1,144.8	40,429	
COBERTURA DE LA MINA	754%		
SUPERAVIT	264,381	CFM	

Diferencia entre Ingresos y Salidas	3.717%
--	---------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91 Balance de salida de aire – propuesta de mejora

SALIDA DE AIRE VICIADO			
UBICACIÓN	CAUDAL		DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL
	Labor	m3/min	
RB 12852	301.18	10,636.00	3.6%
RB 16919-1	424.52	14,992.00	5.1%
RB 16919-2	415.23	14,664.00	5.0%
RB 10120	410.42	14,494.00	4.9%
RB 8892	326.35	11,525.00	3.9%
RB 1046	551.15	19,464.00	6.6%
RB 12830 FIRTH	643.89	22,739.00	7.7%
BM CHASQUI	869.15	30,694.00	10.5%
RB 10112	379.53	13,403.00	4.6%
PIQUE SAN EXPEDITO	526.72	18,601.00	6.3%
SN 8357 CNB	2,593.94	91,605.00	31.2%
WZ 98	353.11	12,470.00	4.2%
RB 12472	341.21	12,050.00	4.1%
RB 81500	173.95	6,143.00	2.1%
TOTAL SALIDA	8,310.3	293,480	100.0%

Fuente: Elaboración propia

8. Análisis económico (Situación actual – propuesta técnica)

8.1 Costos

8.1.1 Costo de consumo de energía

El análisis se realizó para la situación del año 2020 como para la propuesta de mejora, reflejándose así la variación del costo del consumo de energía.

A continuación, se muestran las dos tablas de consumo de energía, tanto para el año 2020 y para la propuesta de mejora:



Tabla 92 Cuadro comparativo de consumo de energía de ventiladores

CUADRO RESUMEN DEL COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE VENTILADORES (2020)								
Código Nivel	Descripcion	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Costo de Energía en \$ (USD) / KW-h	Horas trabajadas por día	Costo por día \$ (USD)	Costo de energía por mes \$ (USD)	Costo de energía por año \$ (USD)
V01 / 800	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568
V02 / 800	VENT. DE 60000 CFM	209.52	156.30	0.060	24	301.71	9,051	110,124
V03 / 800 - 1000	VENT. DE 20000 CFM	40.74	30.39	0.060	24	58.67	1,760	21,413
V04 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	62.86	46.89	0.060	24	90.51	2,715	33,037
V05 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	67.51	50.36	0.060	12	48.61	1,458	17,742
V06 / 1200	VENT. DE 30000 CFM	81.48	60.78	0.060	24	117.33	3,520	42,826
V07 / 1200	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568
V08 / 1200	VENT. DE 16000 CFM	32.59	24.31	0.060	24	46.93	1,408	17,130
V09 / 1400	VENT. DE 30000 CFM	67.51	50.36	0.060	24	97.22	2,917	35,484
V10 / 1400	VENT. DE 30000 CFM	81.48	60.78	0.060	24	117.33	3,520	42,826
V11 / 1600	VENT. DE 16000 CFM	40.74	30.39	0.060	24	58.67	1,760	21,413
V12 / 1600	VENT. DE 30000 CFM	62.86	46.89	0.060	24	90.51	2,715	33,037
V13 / 1800	VENT. DE 20000 CFM	52.38	39.08	0.060	24	75.43	2,263	27,531
V14 / 2100	VENT. DE 5000 CFM	20.11	15.00	0.060	24	28.95	869	10,568

TOTAL	\$1,190	\$35,693	\$434,270
--------------	----------------	-----------------	------------------

CUADRO RESUMEN DEL COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE VENTILADORES (PROPUESTA)								
Código Nivel	Descripcion	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Costo de Energía en \$ (USD) / KW-h	Horas trabajadas por día	Costo por día \$ (USD)	Costo de energía por mes \$ (USD)	Costo de energía por año \$ (USD)
V01 / 800	VENT. DE 10000 CFM	19.40	14.47	0.060	24	27.94	838	10,197
V02 / 800	VENT. DE 60000 CFM	156.30	116.60	0.060	24	225.07	6,752	82,151
V03 / 800 - 1000	VENT. DE 20000 CFM	30.39	22.67	0.060	24	43.76	1,313	15,973
V04 / 1200	VENT. DE 20000 CFM	25.60	19.10	0.060	24	36.87	1,106	13,457
V05 / 1200	VENT. DE 16000 CFM	30.56	22.80	0.060	12	22.01	660	8,032
V07 / 1200	VENT. DE 10000 CFM	17.69	13.20	0.060	12	12.74	382	4,650
V08 / 1200	VENT. DE 10000 CFM	15.15	11.30	0.060	24	21.81	654	7,962
V15 / 1200	VENT. DE 20000 CFM	26.94	20.10	0.060	24	38.80	1,164	14,162
V09 / 1400	VENT. DE 10000 CFM	15.15	11.30	0.060	24	21.81	654	7,962
V16 / 1400	VENT. DE 7000 CFM	11.13	8.30	0.060	24	16.02	481	5,848
V11 / 1600	VENT. DE 16000 CFM	13.94	10.40	0.060	24	20.08	602	7,327
V12 / 1600	VENT. DE 30000 CFM	47.18	35.20	0.060	24	67.94	2,038	24,798
V13 / 1800	VENT. DE 16000 CFM	31.77	23.70	0.060	24	45.75	1,372	16,698
V14 / 2100	VENT. DE 16000 CFM	19.84	14.80	0.060	24	28.57	857	10,427

TOTAL	\$629	\$18,875	\$229,643
--------------	--------------	-----------------	------------------

Ahorro mensual \$ (USD)	\$16,818.64
Ahorro Anual \$ (USD)	\$204,626.81

Fuente: Elaboración propia

A partir del resumen de los costos de consumo de energía de ventiladores, mostrados en las anteriores tablas, podemos determinar el ahorro del costo incurrido en consumo energético tanto de manera mensual como anual tal como se muestra a continuación:

Tabla 93 Reducción de costos de energía de ventiladores (situación actual - propuesta de mejora)

Reduccion de Costos (%)	47%
Ahorro mensual \$ (USD)	\$16,818.64
Ahorro Anual \$ (USD)	\$204,626.81

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Comparativo CAPEX -OPEX

Para la determinación del CAPEX de la propuesta técnica, se tomó en consideración los costos incurridos en limpieza de chimeneas, instalación de ventilador, adquisición de mangas de ventilación rígidas y adquisición de ventiladores. En las siguientes tablas se muestra el resumen de los costos mencionados por nivel:

Tabla 94 Determinación de CAPEX

Descripción	Nivel 800		Nivel 1200		Nivel 1400	
	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items
Ventilador de 7 000CFM	-	-	-	-	6590	1
Ventilador de 10 000CFM	6850	1	6850	2	6850	1
Ventilador de 16 000CFM	-	-	7900	1	-	-
Ventilador de 20 000CFM	-	-	9200	1	-	-
	subtotal	6850	subtotal	30800	subtotal	13440

Nivel 1600		Nivel 1800		Nivel 2100	
C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	7900	1	-	-
-	-	-	-	-	-
subtotal	0	subtotal	7900	subtotal	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95 Determinación de OPEX

Descripción	Nivel 800		Nivel 1200		Nivel 1400	
	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items
Limpieza de chimeneas	4122	2	4122	1	4122	1
Instalacion de ventilador	2970.84	1	2970.84	3	2970.84	2
Adquisición de mangas de ventilación rígida	-	-	-	-	-	-
subtotal		11214.84167	subtotal	13034.525	subtotal	10063.68333

Nivel 1600		Nivel 1800		Nivel 2100	
C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items	C.U (\$\$)	Items
-	-	-	-	-	-
2970.84	1	2970.84	1	2970.84	1
-	-	7 \$/m	100 m	-	-
subtotal	2970.841667	subtotal	3670.841667	subtotal	2970.841667

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un comparativo entre los costos operativos y de capital, de la situación actual y de la propuesta de mejora, teniendo en cuenta que el valor de OPEX para ambos casos fue el costo del consumo de energía de ventiladores y el mantenimiento de chimenea.

Para el caso del CAPEX se consideró que todos los costos incurridos en la propuesta de mejora se ejecutarán en el primer mes, lo cual se podrá reflejar de manera más detallada en el flujo de caja.

Tabla 96 Comparativo CAPEX -OPEX

OPEX			
DESCRIPCION	TIPO DE COSTO	SITUACION ACTUAL \$ (USD)	PROPUESTA \$ (USD)
Costo de operación de ventiladores	\$/mes	\$35,693.42	\$18,874.78
Mantenimiento de chimeneas	\$/año	\$85.00	\$85.00
Subtotal		\$35,778.42	\$18,959.78
CAPEX			
DESCRIPCION	TIPO DE COSTO	SITUACION ACTUAL \$ (USD)	PROPUESTA \$ (USD)
Rehabilitación de chimeneas	\$/mes	\$0.00	\$16,488.00
Instalacion de ventilador	\$/mes	\$0.00	\$26,737.58
Adquisición de mangas de ventilación rígida	\$/mes	\$0.00	\$700.00
Ventiladores Nuevos	\$/mes	\$0.00	\$58,990.00
Subtotal		\$0.00	\$102,915.58

Fuente: Elaboración propia

8.2 Flujo de caja y análisis financiero

8.2.1 Flujo de Caja

Se elaboró un flujo de caja considerando los costos de operación y de capital tanto para la situación actual como para la propuesta técnica de mejora, la proyección de los costos se extendió hasta un año después de ejecutados los costos de capital tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 97 Flujo de Caja (situación actual - propuesta de mejora)

		MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
SITUACION ACTUAL	CAPEX	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
	OPEX	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778
	Subtotal	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778
PROPUESTO	CAPEX	\$102,916	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
	OPEX	\$0	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960
	Subtotal	\$102,916	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960

SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778
\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960
\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960

Fuente: Elaboración propia



A partir de este flujo de caja se realizó el análisis financiero detallado en la siguiente sección.

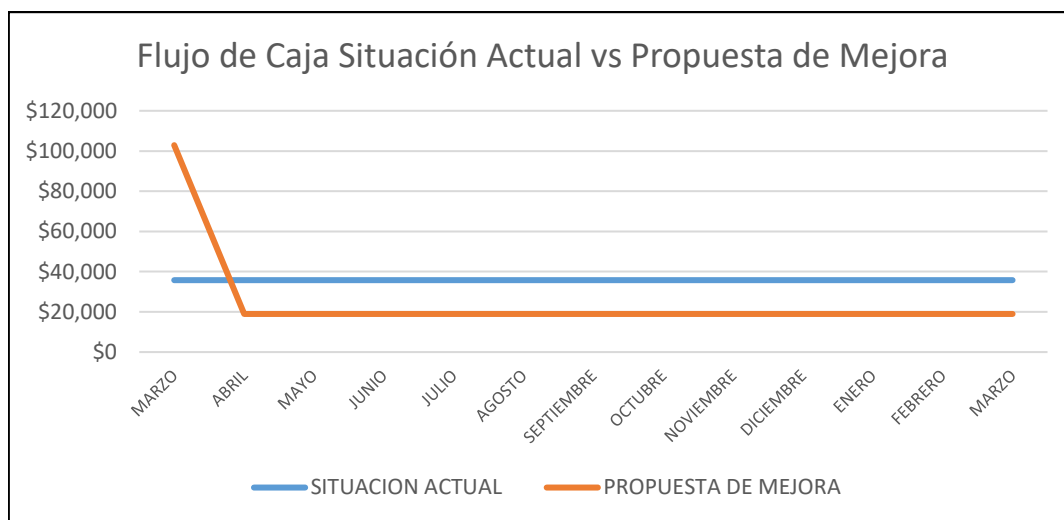


Figura 56. Flujo de caja situación actual vs propuesta de mejora

8.2.2 Análisis Financiero

En esta sección se realizará un análisis comparativo basado en las siguientes medidas de rentabilidad:

- Valor Actualizado de los Costos (VAC)
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)

8.2.2.1 Valor Actualizado de los Costos (VAC)

Dado que el escenario de la situación actual y el de la propuesta de mejora están conformados únicamente por egresos en el flujo de caja, esta medida de rentabilidad fue muy útil al momento de decidir cuál de los dos escenarios presentaba mayor rentabilidad. El criterio para la decisión fue elegir el escenario con un menor valor de VAC. La tasa de descuento asumida para el cálculo del VAC fue de 10%.

A continuación, se muestran las tablas con el resumen del cálculo del VAC:

Tabla 99 Cálculo de VAC - situación actual

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
SITUACION ACTUAL	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778
VAC (10%)	\$279,562					

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778	\$35,778

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98 Cálculo de VAC - propuesta de mejora

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
PROPUESTA DE MEJORA	\$102,916	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960
VAC (10%)	\$232,102					

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960	\$18,960

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que el escenario de la propuesta de mejora cuenta con un menor valor de VAC, por lo tanto, esta medida de rentabilidad nos indica que este escenario es más rentable.

8.2.2.2 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para esta sección se utilizará el método de evaluación de escenarios con y sin proyectos considerando la propuesta de mejora como un proyecto, para lo cual se elaboraron dos flujos de caja, el primer flujo correspondiente a la propuesta de mejora y el segundo asumiendo que se mantiene la situación actual. Una vez se cuenten con los saldos de cajas de ambos proyectos determinar el saldo de caja diferencial y a partir de este último determinar las medidas de rentabilidad del proyecto de mejora (VAN y TIR). La tasa de descuento asumida para el cálculo del VAN y la TIR fue de 10%.

El criterio para la decisión fue que el valor obtenido a partir del VAN sea positivo y que la TIR sea mayor a la tasa de descuento asumida.

Tabla 100 Flujo de caja diferencial (situación actual - propuesta de mejora)

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Saldo de Caja / Propuesta de mejora	-\$102,216	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960
Saldo de Caja / Situación actual	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778
Flujo de caja diferencial	-\$66,437	\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819
VAN	\$48,160					
TIR	23%					

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960	-\$18,960
-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778	-\$35,778
\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819	\$16,819

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que el valor del VAN es positivo y el valor del TIR es mayor a 10 %, por lo tanto, estas medidas de rentabilidad nos indican que el escenario de mejora es más rentable.

9. Conclusiones

- El ahorro en el costo de consumo de energía de ventiladores disminuyó el caudal suministrado por estos; sin embargo, esto no implicó una disminución en el ingreso de aire al circuito. Esto se dio debido a que se realizaron bloqueos y limpieza de labores, así como reubicación, instalación y retiro de ventiladores en zonas que lo requirieron. Esto garantizó una menor pérdida de caudal por fugas.
- La propuesta técnica de mejora logró reducir el costo del consumo de energía de ventiladores en un 47%, analizando por cada nivel el caudal circulante, disminuyendo o aumentando el mismo de acuerdo a los requerimientos y cumpliendo las disposiciones de la normativa. Cabe mencionar que esta reducción de costos no disminuyó la cobertura en función al requerimiento de aire ni afectó la calidad de aire suministrada al circuito.
- No se identificaron temperaturas críticas en labores transitables de acuerdo al criterio de temperatura crítica y sus límites. En caso de profundización en labores nuevas deberá de continuar con el análisis de temperatura bajo este criterio.
- La fuente de los gases contaminantes identificados en el interior de mina (SO₂ y CO₂) provienen en gran medida de labores antiguas las cuales no fueron bloqueadas o selladas adecuadamente. Por este motivo la propuesta de mejora contempla la correcta clausura de estas labores.
- La cobertura de la propuesta técnica de mejora calculada a partir del balance general (Ingreso de aire 304 810 CFM y salida de aire 293 480 CFM) fue suficiente para satisfacer la demanda de aire actual (982% de cobertura – 31 036 CFM de requerimiento).
- Por medio del diagnóstico elaborado y a través del modelamiento en el software de ventilación previa calibración, se pudieron identificar las deficiencias del circuito

de ventilación y esto nos permitió regularizar las velocidades de aire y las concentraciones de los gases que incumplían los rangos establecidos en la normativa vigente.

- De acuerdo a la evaluación de los parámetros termo higrométricos, propiedades térmicas de la litología y resistencias del circuito de ventilación; así como la evaluación del caudal movilizado por los ventiladores, se concluye que la ventilación natural cuenta con mayor preponderancia dentro de la mina dado que movilizó mayor cantidad de flujos, tanto en el interior como al exterior de la mina.
- Dado que no se contó con las curvas de los ventiladores se utilizaron los valores correspondientes a caudal medido, potencia real, intensidad de corriente y el voltaje para determinar la curva de ventilador más aproximada para cada caso, entregando a su vez la presión de operación y la eficiencia. Estas curvas de ventiladores introducidos y simulados en el software permitieron obtener caudales similares a los de medidos en campo.
- Los factores que tuvieron una participación directa en las velocidades críticas identificadas fueron la configuración actual de los ventiladores, la ventilación natural y las fugas del circuito. En todos los casos estas velocidades críticas fueron menores al valor mínimo permisible (20 m/min) de acuerdo al criterio establecido por la normativa legal vigente.
- Tomando en consideración los dos métodos de evaluación financiera utilizados (valor actualizado de costos para dos proyectos separados y TIR y VAN en un flujo de caja diferenciado para el método de evaluación de escenarios con y sin proyectos) se comprobó a través de los indicadores de rentabilidad que la propuesta técnica de mejora cuenta con mayor rentabilidad a la continuidad de la situación actual.

10. Recomendaciones

- Dado que en la zona de estudio se presentan variaciones meteorológicas significativas, se analizó el circuito de ventilación en momentos en donde las condiciones meteorológicas propiciaron la invariabilidad de la ventilación natural para poder obtener valores coherentes y evitar una incorrecta interpretación de la simulación. De realizarse estudios posteriores cuyo alcance incluya la evaluación en toda una jornada, se deberán tomar en cuenta las variaciones meteorológicas a lo largo de la jornada.
- Se recomienda contar con un registro actualizado de los elementos presentes en el circuito de ventilación, así como de las labores operativas e inoperativas con el objetivo de poder modelar correctamente los diversos escenarios que se presente a lo largo de vida de la mina.
- Se visualizó que el circuito de ventilación se ve afectado por las malas prácticas de algunos trabajadores, así como la falta de señalización de ciertos elementos del circuito de ventilación. Es por esta razón que es realmente necesario poder capacitar a los trabajadores en temas referentes al circuito de ventilación y poder realizar la actualización de la señalética en base a los nuevos flujos de aire identificadas.
- En base al diagnóstico del circuito de ventilación, se observó que en ciertas zonas cercanas a las transitables existe la presencia de aire viciado debido a la obstrucción parcial de las chimeneas ó de las labores que dirigen el aire hacia las chimeneas, esto genera que se llegue a diluir el aire fresco de algunas labores de desarrollo con el aire viciado que no logra salir completamente. Por lo tanto, se debe dar importancia a la limpieza de chimeneas y labores aledañas, así como al bloqueo de las labores antiguas que presenten algún flujo intermitente de gas contaminante.

- Las estaciones de control deben actualizarse de manera continua con el fin de visualizar los parámetros termo ambientales de acuerdo a lo estipulado por la normativa legal vigente. Por este motivo deberá existir una pizarra para el registro de los parámetros mencionados los cuales permitirán tener un mejor control del circuito de ventilación.
- Se deberá evaluar a futuro la adquisición de nuevos ventiladores que reemplacen a los ventiladores antiguos que aún se utilizan dado que muchos de estos ventiladores tienen más de 50 años de uso continuo y su rendimiento disminuirá pese al mantenimiento proporcionado.



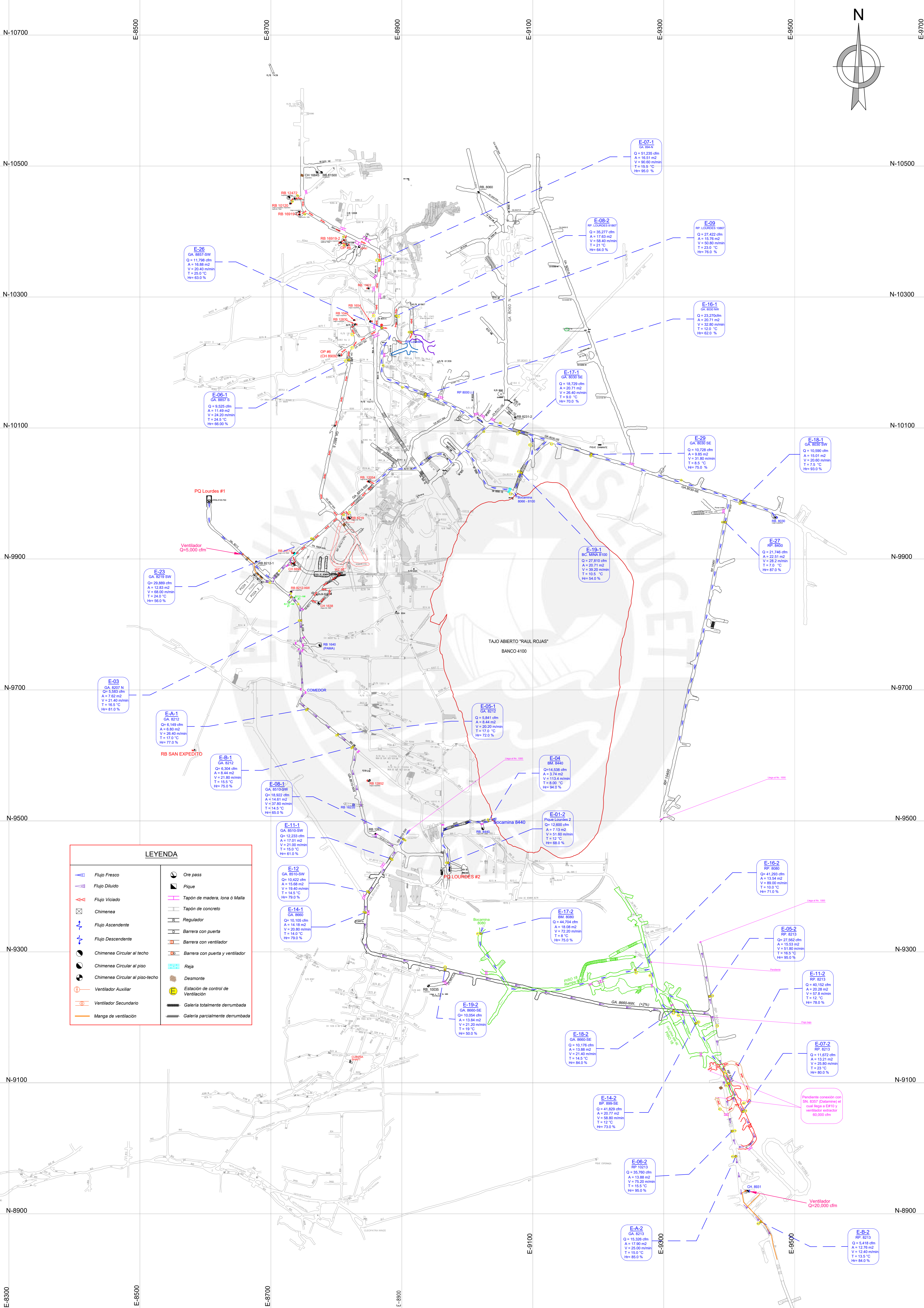
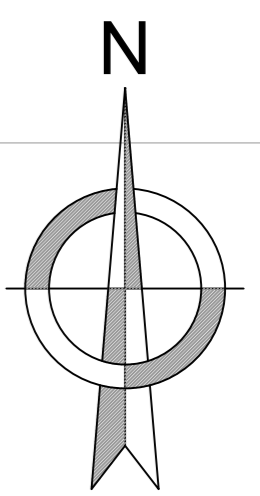
11. Bibliografía

- Anglo American. (2023). Profundizando más: métodos de minería explicados. Recuperado de <https://www.angloamerican.com/futuresmart/stories/our-industry/mining-explained/digging-deeper-mining-methods-explained>
- CAXI LLANO, Y. (2017). *ESTUDIO DE VENTILACION E IMPLEMENTACION DE MEJORAS EN EL CIRCUITO DE VENTILACION DE MINERA SOTRAMI S.A. – UEA SANTA FILOMENA – APLICANDO EL SOFTWARE VENTSIM*. Tesis Licenciatura. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS.
- MAGUIÑA ESPIRÍTU, J. (2018). *APLICACIÓN DEL SOFTWARE VENTSIM PARA EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN PROYECTADA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA MINA HÉRCULES DE LA COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A. – AÑO 2017*. Tesis licenciatura. UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS.
- LAURA BENDEZÚ, S. (2016). *ANALISIS DEL SISTEMA DE VENTILACION E IMPLEMENTACION DE PROYECTOS DE CHIMENEAS ESTRATEGICAS PARA INCREMENTAR EL CAUDAL DE AIRE CON SIMULACIONES DEL SOFTWARE VENTSIM, MINA HERCULES-2014*. TESIS LICENCIATURA. UNIVERSIDAD NACIONAL OE SAN CRISTOBAL OE HUAMANGA. FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL. ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS.

- PIEROLA TORRES, O. (2015). *EVALUACIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN, MODELAMIENTO Y DISEÑO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE VENTSIM VISUAL AVANZADO EN LA U. M. ANIMON CÍA. MINERA CHUNGAR* (TESIS LICENCIATURA). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS.
- PONCIANO REYES, O. (2016). *ESTUDIO DE VENTILACION DEL PROYECTO DE EXPLOTACION MINERA INVICTA, HUAURA* (TESIS LICENCIATURA). UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA.
- PORTILLA SALAZAR, R., & VELARDE MACUKACHI, B. (2015). *PROPUESTA TÉCNICA DE MEJORA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PRINCIPAL DE UNA OPERACIÓN MINERA SUBTERRÁNEA POLIMETÁLICA - 2015* (TESIS LICENCIATURA). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.
- Kurnia, J. C., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S., CFD Simulation of Methane Dispersion and Innovative Methane Management in Underground Mining Faces. *Applied Mathematical Modelling* (2014).
- Vasquez, Pedro. "Apuntes del curso de Minería."
- Guerra, Felix. "Apuntes del curso de Ventilacion de Minas."
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (2020th ed.). <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>

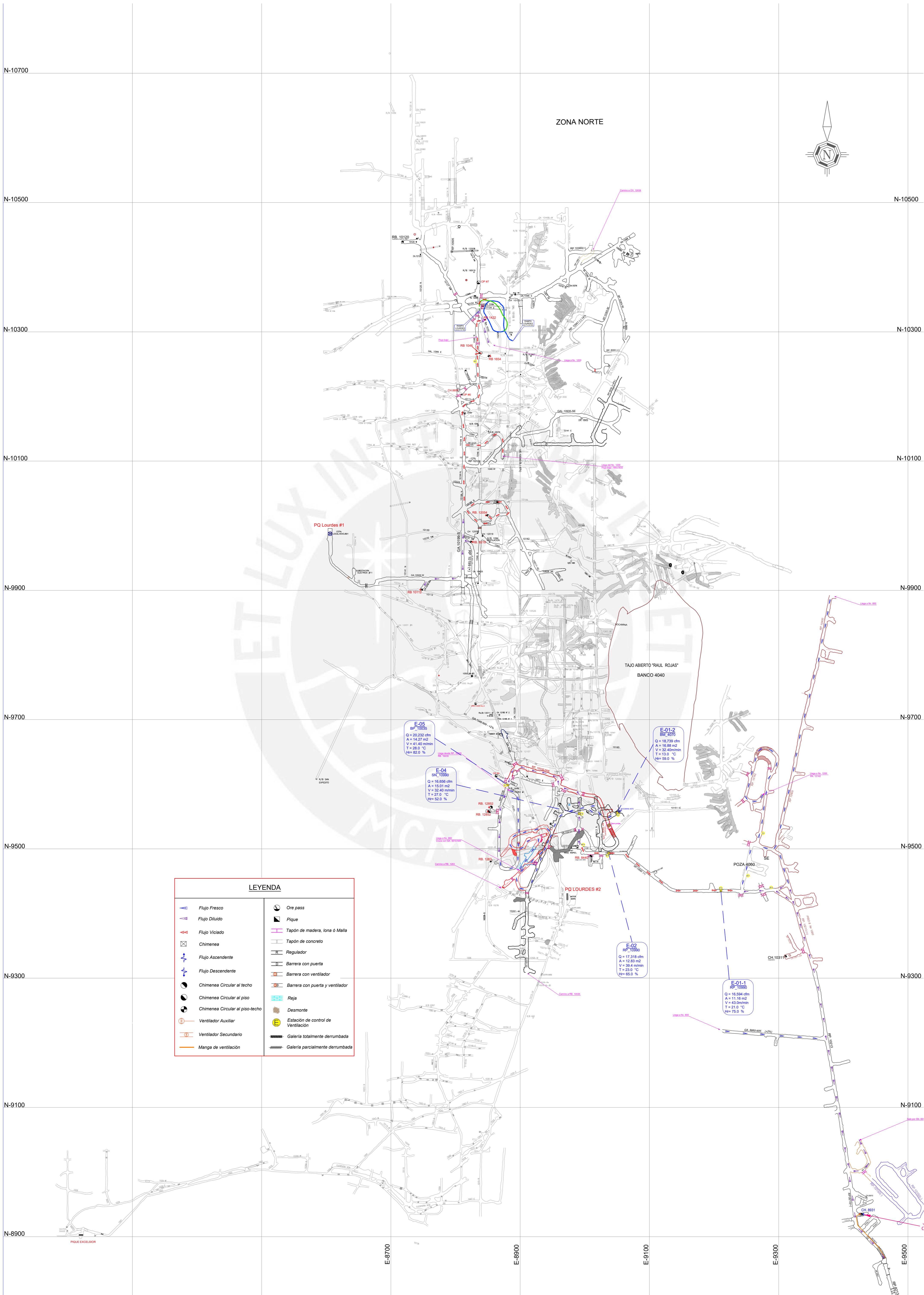
- Chapter 5. INCOMPRESSIBLE FLOW RELATIONSHIPS. (2009). In *Subsurface Ventilation Engineering* (2nd ed., p. 824). Mine Ventilation Services. https://dxi97tvbmbca.cloudfront.net/upload/user/image/English_Version-Subsurface_Ventilation_Engineering_Textbook-SRKs20200226225515735.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2019). datos disponibles de la estación meteorológica CERRO DE PASCO comprendida en el expediente N° 3779, escala DIARIA, periodo (2019) (Version V1) [Dataset].
- Ponce, P., & Hernández, O. (2014). ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA ISOTERMA DE CURIE EN PARTE DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN AZUFRAL BASADA EN DATOS GEOMAGNÉTICOS. *Boletín De Geología*, 36(2), 5–8.
- Davis, M., Chapman, D. M. F., Van Wagoner, T. M., & Armstrong, P. A. (2007). Thermal conductivity anisotropy of metasedimentary and igneous rocks. *Journal of Geophysical Research*, 2. <https://doi.org/10.1029/2006jb004755>
- Robertson, E. C. (1988). Thermal properties of rocks. *Open-File Report* /, 33. <https://doi.org/10.3133/ofr88441>
- Thermophysical Properties of Selected Rocks. (1974). THERMOPHYSICAL AND ELECTRONIC PROPERTIES INFORMATION ANALYSIS CENTER LAFAYETTE IN, 155.
- F. (n.d.). Oxygen Not Included Database. <https://oni-db.com/details/foolsgold>
- BASIC MINE VENTILATION. (2003). AMC Consultants, 22–23.
- Ministerio de Energía y Minas. (2020a). ANEXO No 15: LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS*. REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA.

12. Anexos

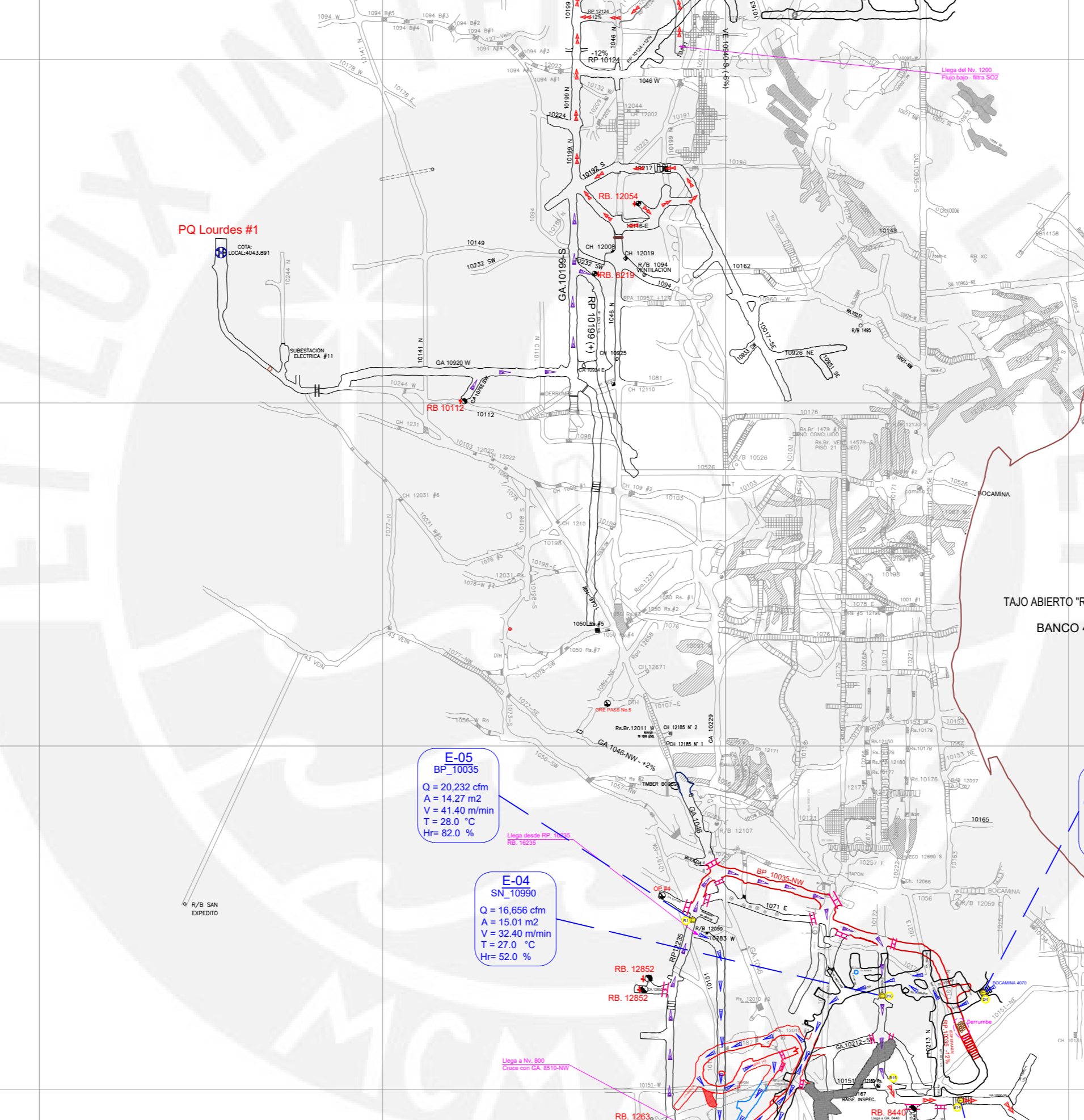
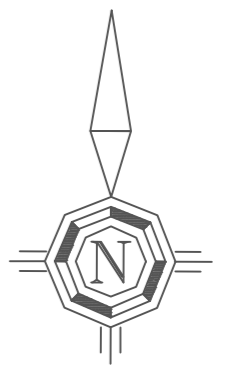


LEYENDA	
	Flujo Fresco
	Flujo Diluido
	Flujo Viciado
	Chimenea
	Flujo Ascendente
	Flujo Descendente
	Chimenea Circular al techo
	Chimenea Circular al piso
	Chimenea Circular al piso-techo
	Ventilador Auxiliar
	Ventilador Secundario
	Manga de ventilación
	Ore pass
	Pique
	Tapón de madera, Iona o Malla
	Tapón de concreto
	Regulador
	Barrera con puerta
	Barrera con ventilador
	Barrera con puerta y ventilador
	Reja
	Desmorte
	Estación de control de Ventilación
	Galería totalmente derrumbada
	Galería parcialmente derrumbada

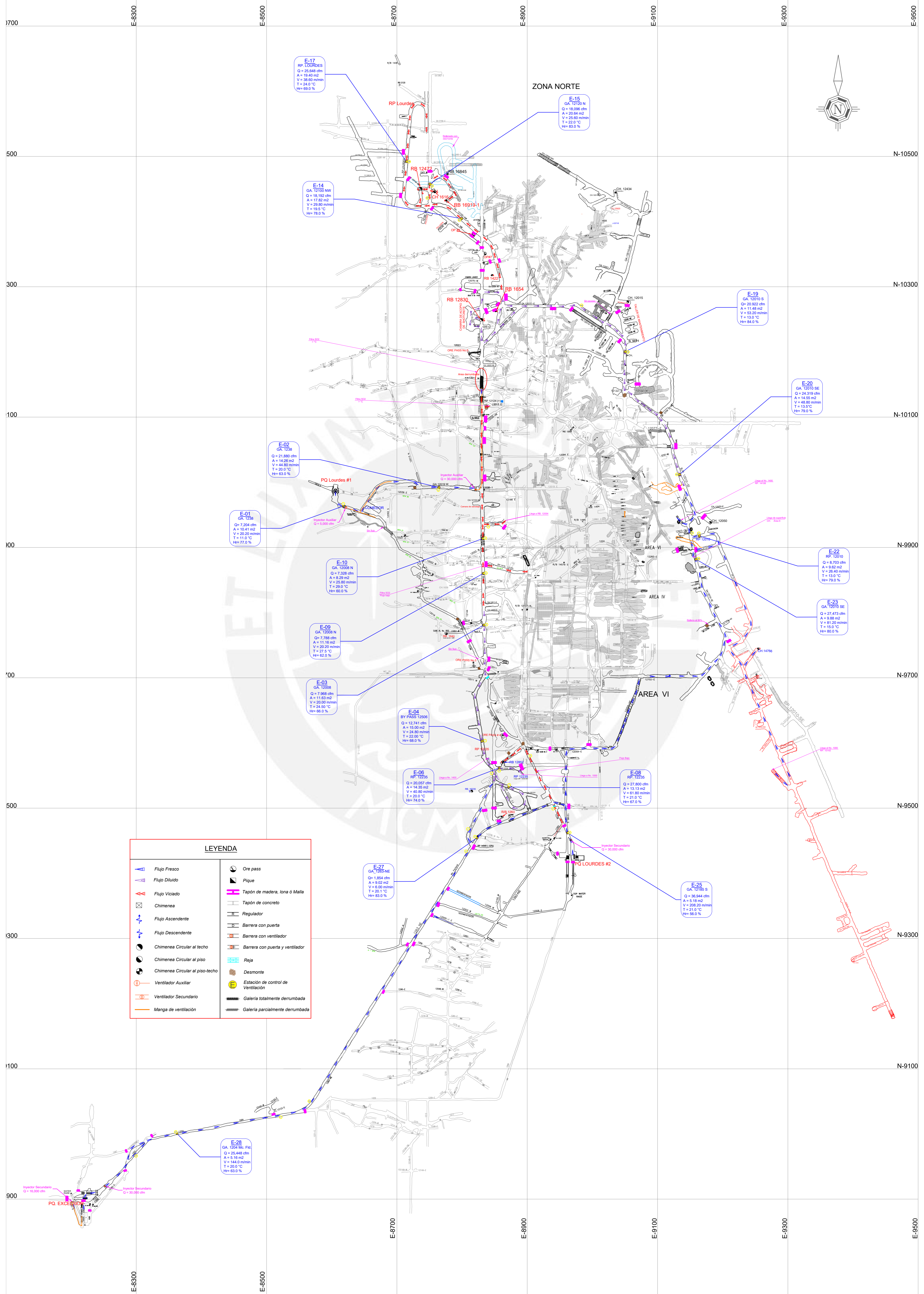
Plano de Ventilación Nivel 800 MARZO 2020



ZONA NORTE

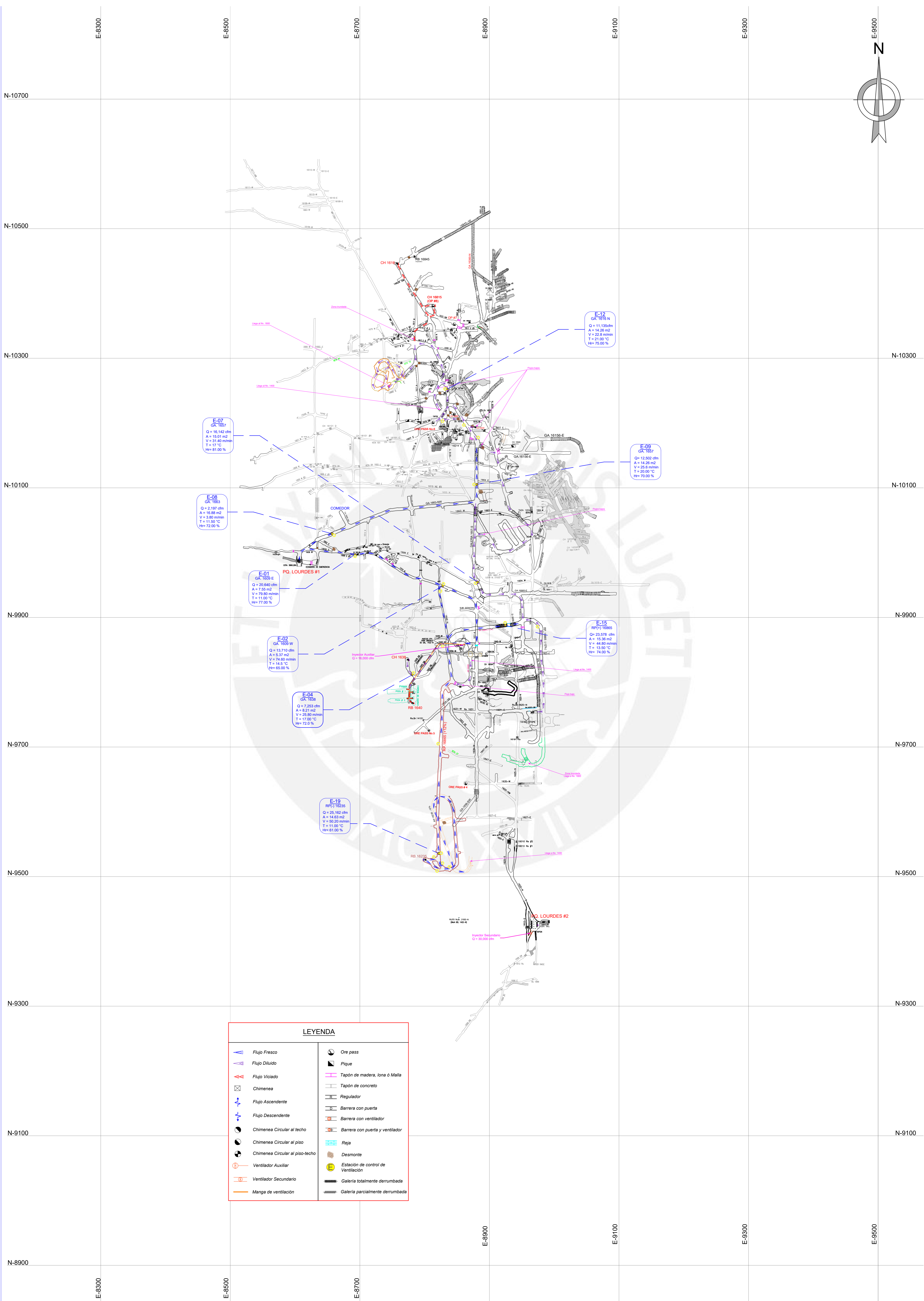
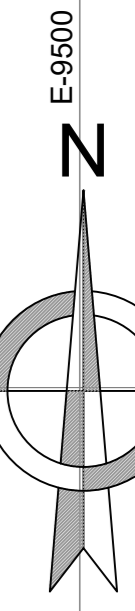


LEYENDA			
	Flujo Fresco		Ore pass
	Flujo Diluido		Pique
	Flujo Viciado		Tapón de madera, lona o Malla
	Chimenea		Tapón de concreto
	Flujo Ascendente		Regulador
	Flujo Descendente		Barrera con puerta
	Chimenea Circular al techo		Barrera con puerta y ventilador
	Chimenea Circular al piso		Reja
	Chimenea Circular al piso-techo		Desmonte
	Ventilador Auxiliar		Estación de control de Ventilación
	Ventilador Secundario		Galería totalmente derrumbada
	Manga de ventilación		Galería parcialmente derrumbada

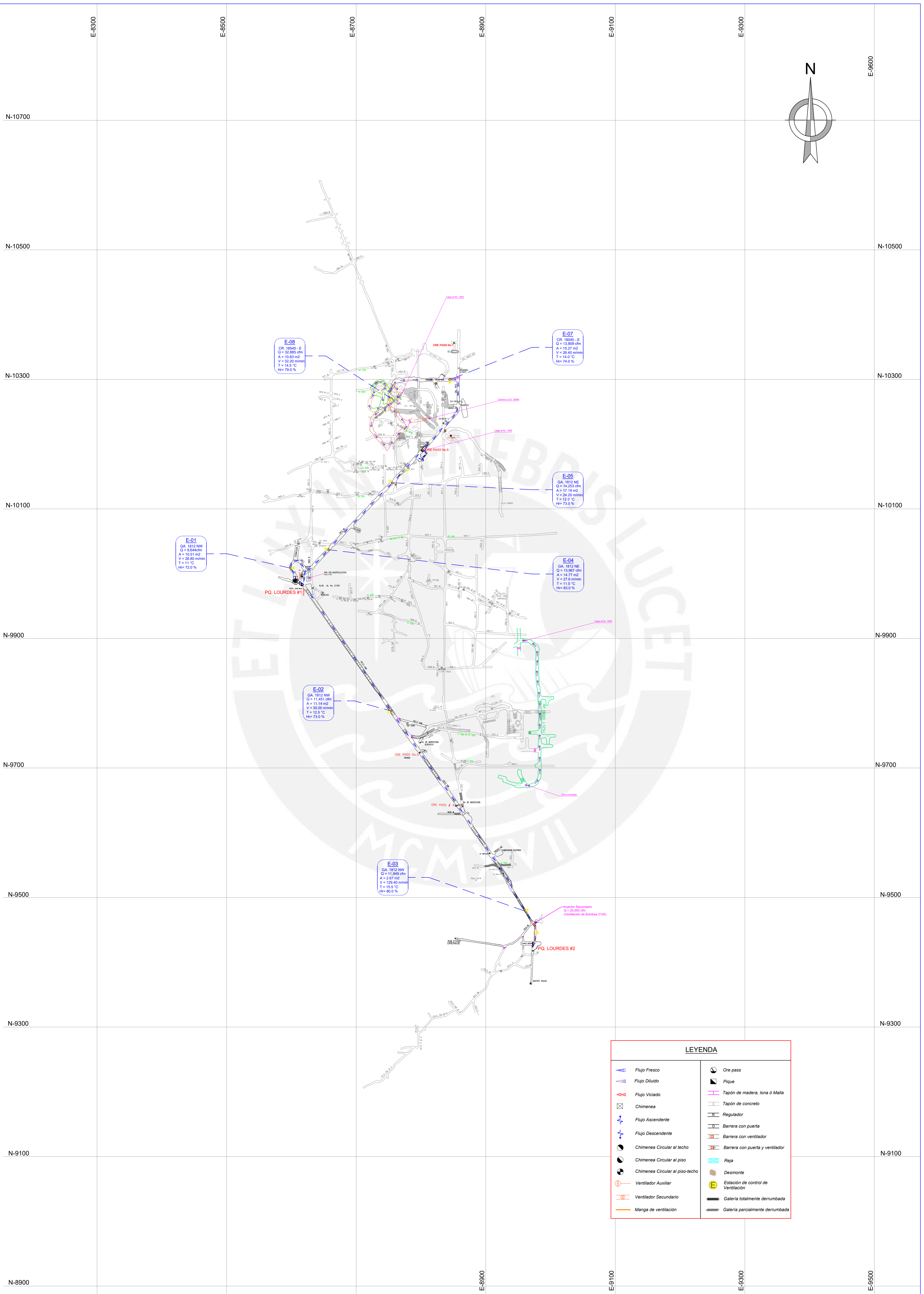
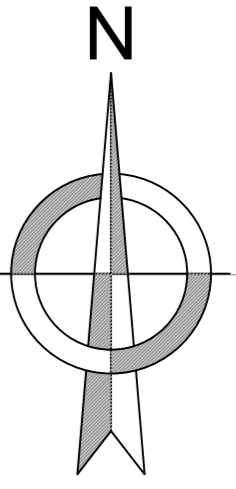


LEYENDA	
	Flujo Fresco
	Flujo Diluido
	Flujo Viciado
	Chimenea
	Flujo Ascendente
	Flujo Descendente
	Chimenea Circular al techo
	Chimenea Circular al piso
	Chimenea Circular al piso-techo
	Ventilador Auxiliar
	Ventilador Secundario
	Manga de ventilación
	Ore pass
	Pique
	Tapón de madera, lona ó Malla
	Tapón de concreto
	Regulador
	Barraera con puerta
	Barraera con ventilador
	Barraera con puerta y ventilador
	Reja
	Desmonte
	Estación de control de Ventilación
	Galería totalmente derrumbada
	Galería parcialmente derrumbada

Plano de Ventilación Nivel 1200 MARZO 2020



LEYENDA	
Flujo Fresco	Ore pass
Flujo Diluido	Pique
Flujo Viciado	Tapón de madera, Iona ó Malla
Chimenea	Tapón de concreto
Flujo Ascendente	Regulador
Flujo Descendente	Barrera con puerta
Chimenea Circular al techo	Barrera con ventilador
Chimenea Circular al piso	Barrera con puerta y ventilador
Chimenea Circular al piso-techo	Reja
Ventilador Auxiliar	Desmorte
Ventilador Secundario	Estación de control de Ventilación
Manga de ventilación	Galería totalmente derrumbada
	Galería parcialmente derrumbada



E-08
CR 18545 - E
Q = 32.985 cfm
A = 10.83 m²
V = 32.20 m/min
T = 14.5 °C
H_w = 79.0 %

E-07
CR 18545 - E
Q = 13.929 cfm
A = 15.27 m²
V = 27.65 m/min
T = 14.0 °C
H_w = 74.0 %

E-05
GA 1812 NE
Q = 14.253 cfm
A = 17.15 m²
V = 24.20 m/min
T = 12.0 °C
H_w = 73.0 %

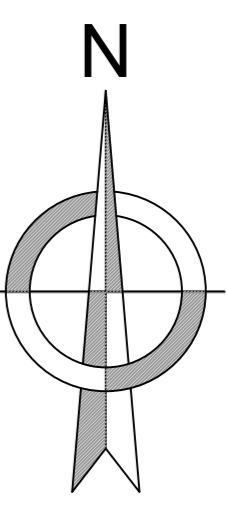
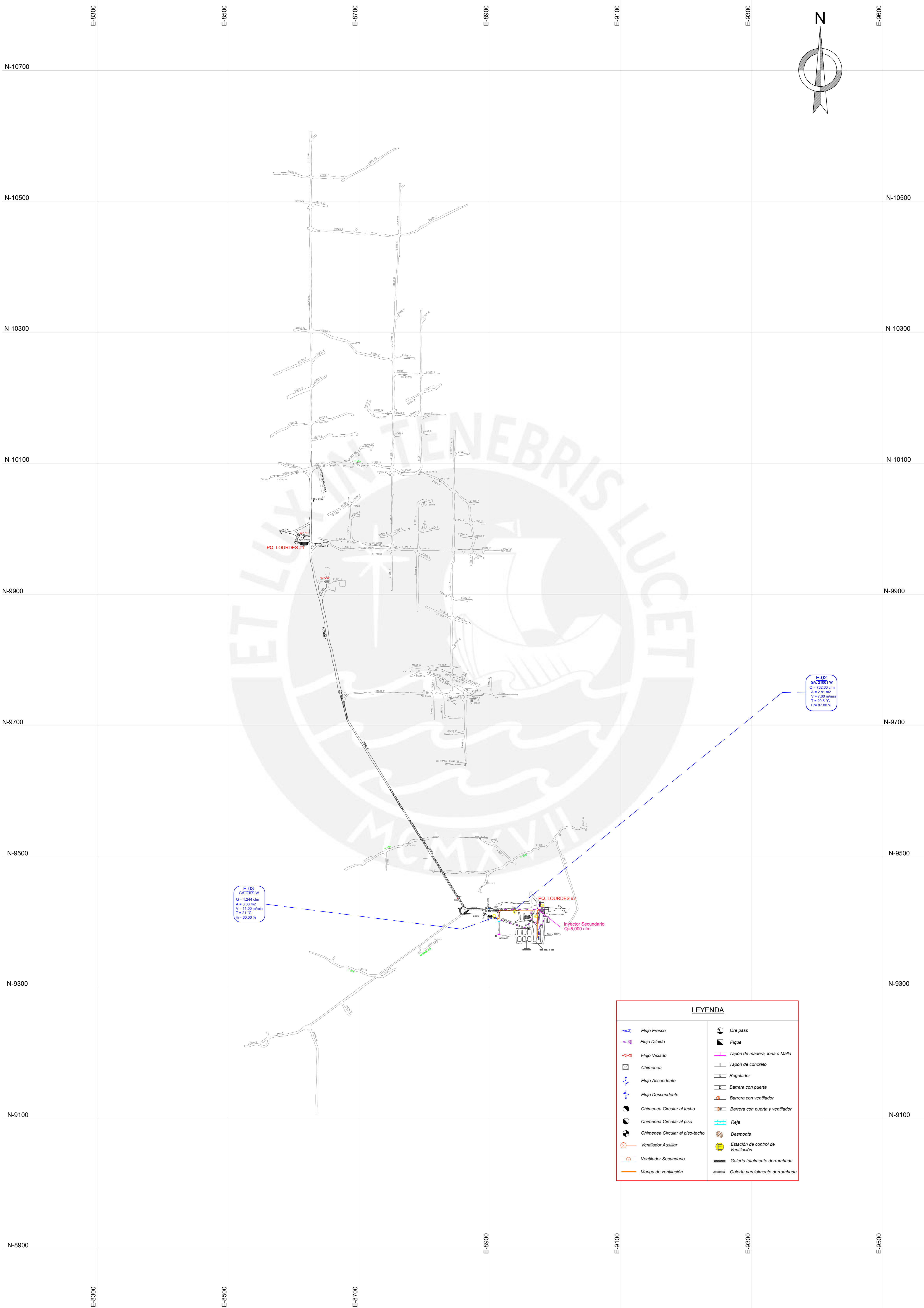
E-04
GA 1812 NE
Q = 13.927 cfm
A = 14.77 m²
V = 27.65 m/min
T = 11.0 °C
H_w = 83.0 %

E-01
GA 1812 NW
Q = 9.664 cfm
A = 10.51 m²
V = 28.90 m/min
T = 11 °C
H_w = 72.0 %

E-02
GA 1812 NW
Q = 11.451 cfm
A = 11.14 m²
V = 30.00 m/min
T = 12.0 °C
H_w = 73.0 %

E-03
GA 1812 NW
Q = 11.949 cfm
A = 2.87 m²
V = 129.40 m/min
T = 15.5 °C
H_w = 80.0 %

LEYENDA	
	Flujo Fresco
	Flujo Diluido
	Flujo Viciado
	Chimenea
	Flujo Ascendente
	Flujo Descendente
	Chimenea Circular al techo
	Chimenea Circular al piso
	Chimenea Circular al piso-techo
	Ventilador Auxiliar
	Ventilador Secundario
	Manga de ventilación
	Ore pass
	Pique
	Tapón de madera, lana ó Malla
	Tapón de concreto
	Regulador
	Barrera con puerta
	Barrera con ventilador
	Barrera con puerta y ventilador
	Reja
	Desmonte
	Estación de control de Ventilación
	Galería totalmente derrumbada
	Galería parcialmente derrumbada



E-03
GA=2109 W
Q = 1268 cfm
A = 3.30 m²
V = 11.00 m/min
T = 21 °C
H_{rel} = 60.00 %

E-02
GA=2109 W
Q = 732.60 cfm
A = 2.81 m²
V = 7.60 m/min
T = 20.5 °C
H_{rel} = 67.00 %

LEYENDA			
	Flujo Fresco		Ore pass
	Flujo Diluido		Pique
	Flujo Viciado		Tapón de madera, Iona o Malla
	Chimenea		Tapón de concreto
	Flujo Ascendente		Regulador
	Flujo Descendente		Barrera con puerta
	Chimenea Circular al techo		Barrera con ventilador
	Chimenea Circular al piso		Barrera con puerta y ventilador
	Chimenea Circular al piso-techo		Reja
	Ventilador Auxiliar		Desmorte
	Ventilador Secundario		Estación de control de Ventilación
	Manga de ventilación		Galería totalmente derrumbada
			Galería parcialmente derrumbada