UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

ESTUDIO Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA SU OPTIMIZACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA, CASO ESTUDIO MINA INMACULADA – HOCHSCHILD MINING PLC

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. GUIDO FRANCESCO FONTTIS CALDERÓN

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ
2020

UNAM

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° _33___

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Según Resolución…C.O 567-2020-UNAM ……

El Jurado Dictaminador ha calificado la defensa de la tesis:

TITULADA:

ESTUDIO Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACION PARA SU OPTIMIZACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA, CASO ESTUDIO MINA INMACULADA – HOCHSCHILD MINING PLG

……

……

Asesor Principal:

Msc. Jorge Luis Tomas Florez Salas

Asesor Externo:

……

Tesista:

Bach Guido Francesco Fonttis Calderón

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA - EPIM -

Dictamina como:...Aprobado……por Unanimidad

La defensa del tema de investigación aprueba con nota: Quince……(15)

Por lo que el bachiller. opta el Grado de Ingeniero de Minas.

Siendo las…9……..horas a los ……19……. de Octubre……..del año 2020.. se procede a la firma con conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente

Dr. MARCOS LUIS QUISPE PEREZ

Primer Miembro

Msc. VICTOR ADRÍAN PONCE ESTRADA

Segundo Miembro

Ing. MARTÍN MARIO AROCUTIPA GONZA

Bachiller GUIDO FRANCESCO FONTTIS CALDERÓN

DEDICATORIA

Para Dios por darme la vida y la fe para seguir adelante a pesar de las dificultades, lograron para seguir formándome como profesional.

Para mis padres y mi hermano, que nunca desistieron en inculcarme valores y gracias a ellos he logrado cumplir mis metas, gracias a su comprensión y tolerancia; a mis queridos madre ROMY y padre GUIDO que siempre estuvieron pendientes que sea constante en lo que me proponga.

Para mis familiares y amigos, a mis queridos abuelos PANCHITO y FLORITA por su cariño incondicional y su anhelo de verme realizado, siempre fue su mayor anhelo que sus nietos tengan una carrera y un futuro prometedor.

RESUMEN

En el sector minero subterráneo en el Perú y el mundo se enfrentan desafíos a diario, entre ellos se genera la expectativa de garantizar la buena ventilación en las labores mineras, es por ello se genera un mayor consumo de explosivos y equipos a fin de garantizar la producción de mineral. La ventilación juega un papel importante para mejorar la calidad de aire, de modo que actualmente el uso de software que permita definir circuitos y plantear proyectos cumple un factor importante al momento de dar soluciones óptimas. Se realizó el estudio y diseño del sistema de ventilación de la mina, donde se determinó que la cobertura es de 49%, siendo necesario cubrir el 100% para garantizar las condiciones favorables y estar acorde a la normativa vigente peruana. Para lograr suplir la necesidad de la demanda de aire será necesario implementar proyectos de mejora empleados en 03 fases, Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo, que comprenderá en la construcción de chimeneas de ventilación, y posterior instalación de ventiladores extractores para lograr la cobertura por del 100%, asimismo el diseño contempla la independización de circuito de ventilación de las zonas minables. Dichos diseños fueron desarrollados en el software Ventsim Design 5, donde se sugirió el diámetro óptimo de 3.1 m para las chimeneas, así como la implementación de 01 ventilador de 300,000 cfm, y 02 ventiladores de 150,000 cfm para incrementar la capacidad de extracción garantizar la ventilación futura en la mina. Se detalla los resultados obtenidos en el estado actual y proyectado de ventilación:

Tabla 1.

Resumen Caudal de aire actual y proyectado

Ítem	Descripción	ACTUAL cfm	CORTO PLAZO cfm	MEDIANO PLAZO cfm	LARGO PLAZO cfm
1	Total de aire requerido	**1,113,822**	**1,125,294**	**1,125,294**	**1,125,294**
2	Ingreso de aire a mina	551,078	1,213,869	1,235,335	1,595,724
3	Salida de aire	546,807	1,284,632	1,285,627	1,635,569
4	Cobertura (%)	49%	108%	110%	142%
5	Déficit (cfm)	**-562,745**	**88,575**	**110,041**	**470,430**

Nota. Elaboración propia

ABSTRACT

In the underground mining sector of Peru and the world, challenges are faced daily, among them the expectation of guaranteeing good ventilation in work mining, which is why a greater consumption of explosives and equipment is generated in order to guarantee production of mineral. Ventilation plays an important role in improving air quality, so that currently the use of software that allows defining circuits and planning projects plays an important factor when providing optimal solutions. The study and design of the ventilation system of the mine was carried out, where it was determined that the coverage is 49%, being necessary to cover 100% to guarantee favorable conditions and be in accordance with current Peruvian regulations. To meet the need for air demand, it will be necessary to implement improvement projects used in 03 phases, Short Term, Medium Term and Long Term, which will include the construction of ventilation chimneys, and subsequent installation of extractor fans to achieve the coverage above 100%, also the design contemplates the independence of the ventilation circuit of the mineable areas. These designs were developed in the Ventsim Design 5 software, where the optimal diameter of 3.1 m for the chimneys was suggested, as well as the implementation of 01 fan of 300,000 cfm, and 02 fans of 150,000 cfm to increase the extraction capacity to guarantee the future ventilation in the mine. The results obtained in the current and projected state of ventilation are detailed:

Tabla 2.

Summary Current and projected quantity air flow

Item	Description	CURRENT cfm	SHORT TERM cfm	MEDIUM TERM cfm	LONG TERM cfm
1	Total air required	**1,113,822**	**1,125,294**	**1,125,294**	**1,125,294**
2	Air intake to mine	551,078	1,213,869	1,235,335	1,595,724
3	Air outlet	546,807	1,284,632	1,285,627	1,635,569
4	Coverage (%)	49%	108%	110%	142%
5	Deficit (cfm)	**-562,745**	**88,575**	**110,041**	**470,430**

Source: Self-made

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **II**

RESUMEN ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

I. INTRODUCCIÓN **1**

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 1

1.1.1. Descripción del Problema 1

1.1.2. Formulación del problema 3

1.1.3. Problema General 3

1.1.4. Problemas Específicos 3

1.2. ANTECEDENTES 3

1.2.1. A nivel internacional. 3

1.2.2. A nivel nacional. 4

1.2.3. Antecedentes Legales 5

1.3. OBJETIVOS 7

1.3.1. Objetivo General 7

1.3.2. Objetivos específicos 7

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 7

1.5. HIPÓTESIS 8

1.5.1. Hipótesis General 8

1.5.2. Hipótesis específicas 8

II. MARCO TEÓRICO **9**

2.1. BASES TEÓRICAS 9

III. MARCO METODOLÓGICO **24**

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO 24

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 24

3.2.1. Tipo 24

3.2.2. Diseño 25

3.2.3. Nivel de Investigación 25
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 26
3.3.1. Variable independiente: Indicadores 26
3.3.2. Variable dependiente: Indicadores 27
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA 28
3.4.1. Población 28
3.4.2. Muestra 28
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 29
3.5.1. Método de medición utilizado 29
3.5.2. Técnica de medición de velocidad 29
3.5.3. Instrumentación utilizada 31
3.6. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS 32
3.7. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS 33
3.7.1. Procesamiento de datos 33
3.7.2. Presentación de datos 33
3.7.3. Levantamiento y monitoreo de estaciones ventilación 33
3.7.4. Diseño de circuitos de ventilación y caracterización de ventiladores 33
3.7.5. Modelamiento, Simulación y Caracterización en Ventsim Design 5 34
3.7.6. Cálculo de caudal global requerido para el desarrollo de proyectos 34
IV. RESULTADOS 35
4.1. Estudio del sistema de ventilación 35
4.1.1. Medición de Estaciones de ventilación 35
4.1.2. Cálculo de requerimiento de aire actual 36
4.1.3. Balance y cobertura de aire actual 42
4.1.4. Consumo de energía actual 43
4.1.5. Modelamiento del sistema 46
4.1.6. Calibración del Modelo 3D 46
4.1.7. Cálculo de requerimiento de aire proyectado 47

4.2. Presentación de resultados 47
4.2.1. Proyecto A Corto Plazo – 07 meses 47
4.2.2. Proyecto Mediano Plazo (2019-2020) 55
4.2.3. Proyecto a Largo Plazo (2020-2022) 64
4.2.4. Selección del Diámetro Óptimo 74
4.2.5. Plan de Optimización de Energía 78
4.2.6. Costo de Ventilación 82
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 84
5.1. Caudal total de ingreso 84
5.2. Potencia instalada 85
5.3. Costo de energía anual 85
5.4. Comprobación de hipótesis 86
5.4.1. Comprobación de hipótesis general 86
5.4.2. Comprobación de hipótesis específica N° 01 91
5.4.3. Comprobación de hipótesis específica N° 02 96
VI. CONCLUSIONES 102
VII. RECOMENDACIONES 103
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104
IX. ANEXOS 106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen Caudal de aire actual y proyectado III
Tabla 2. Summary Current and projected quantity air flow IV
Tabla 3. Contaminantes del aire 6
Tabla 4. Oxígeno consumido por los seres humanos 6
Tabla 5. Composición de aire seco puro 9
Tabla 6. Leyes de ventiladores 14
Tabla 7. Cálculo de requerimiento de aire por personal 36
Tabla 8. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera 37
Tabla 9. Cálculo de requerimiento de aire por temperatura en las labores 38
Tabla 10. Cálculo de requerimiento de aire por equipos con motor petrolero 38
Tabla 11. Cálculo de requerimiento de aire por fugas 41
Tabla 12. Cálculo de requerimiento total de aire actual 42
Tabla 13. Distribución de requerimiento de aire 43
Tabla 14. Balance y cobertura de aire 43
Tabla 15. Consumo de energía por ventilación principal 43
Tabla 16. Consumo de energía por ventilación secundaria 44
Tabla 17. Consumo de energía ventiladores auxiliares 44
Tabla 18. Resumen costo de energía global 45
Tabla 19. Requerimiento de aire actual y proyectado 47
Tabla 20. Flujo de inversión Plan a Corto Plazo 53
Tabla 21. Flujo de inversión – Proyecto Mediano Plazo 60
Tabla 22. Flujo de inversión Mensual 2019 61
Tabla 23. Cobertura de aire por zonas de producción – Mediano Plazo 64
Tabla 24. Flujo de inversión – Proyecto a largo plazo 72
Tabla 25. Cobertura de aire por zonas de producción – Largo Plazo 74
Tabla 26. Datos requeridos para Diámetro óptimo 75
Tabla 27. Cálculo para la selección de diámetro óptimo RB 76

Tabla 28. Cálculo para determinar el diámetro óptimo – Simulación Ventsim 78
Tabla 29. Costo de capital de ventilación – Actual vs Proyectado 82
Tabla 30. Costo de operación por ventilación - Actual vs Proyectado 83
Tabla 31. Costo unitario de ventilación - Actual y Proyectado 84
Tabla 32. Variación caudal de ingreso - Actual vs Proyectado 84
Tabla 33. Variación de Potencia Instalada - Actual vs Proyectado 85
Tabla 34. Variación de consumo de energía - Actual vs Proyectado 85
Tabla 35. Datos de para comprobación de hipótesis 86
Tabla 36. Estadísticos descriptivos Hipótesis General 87
Tabla 37. Prueba de normalidad Hipótesis General 87
Tabla 38. Datos para contraste de hipótesis específica N° 01 91
Tabla 39. Estadísticos descriptivos Hipótesis Específica N°01 92
Tabla 40. Prueba de normalidad Hipótesis Específica N°01 92
Tabla 41. Datos para contraste de hipótesis específica N° 02 96
Tabla 42. Estadísticos descriptivos Hipótesis Específica N°02 97
Tabla 43. Prueba de normalidad Hipótesis Específica N°02 97
Tabla 44. Resumen Balance de Ventilación 112
Tabla 45. Resumen ingreso de aire fresco 112
Tabla 46. Resumen salida de aire viciado 113
Tabla 47. Resumen de lista de personal mina 114
Tabla 48. Resumen factor de producción por consumo de madera 115
Tabla 49. Resumen velocidad crítica 115
Tabla 50. Resumen cálculo requerimiento de aire por temperatura 116
Tabla 51. Resumen detallado requerimiento de aire por equipos con motor petrolero 116
Tabla 52. Resumen cálculo de requerimiento por fugas 120
Tabla 53. Inventario de ventiladores principales 121
Tabla 54. Inventario de ventiladores secundarios 121
Tabla 55. Inventario de ventiladores secundarios 122

Tabla 56. Datos de campo y Ventsim – Nv 4620..... 123
Tabla 57. Datos de campo y Ventsim – Nv 4600..... 123
Tabla 58. Datos de campo y Ventsim – Nv 4580..... 124
Tabla 59. Datos de campo y Ventsim – Nv 4560..... 125
Tabla 60. Datos de campo y Ventsim – Nv 4540..... 125
Tabla 61. Datos de campo y Ventsim – Nv 4500..... 126
Tabla 62. Datos de campo y Ventsim – Nv 4480..... 127
Tabla 63. Datos de campo y Ventsim – Nv 4460..... 128
Tabla 64. Datos de campo y Ventsim – Nv 4440..... 129
Tabla 65. Datos de campo y Ventsim – Nv 4420..... 130
Tabla 66. Datos de campo y Ventsim – Nv 4400..... 131
Tabla 67. Datos de campo y Ventsim – Nv 4375..... 132
Tabla 68. Datos de campo y Ventsim – Nv 4360..... 133
Tabla 69. Datos de campo y Ventsim – Nv 4345..... 134
Tabla 70. Datos de campo y Ventsim – Nv 4330..... 135
Tabla 71. Datos de campo y Ventsim – Nv 4315..... 136
Tabla 72. Datos de campo y Ventsim – Nv 4300..... 137
Tabla 73. Datos de campo y Ventsim – Nv 4280..... 138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Calor generado por el tipo de roca y la profundidad 10
Figura 2. Caudal inducido por presión natural 11
Figura 3. Ventilación auxiliar sistema impelente 15
Figura 4. Ventilación auxiliar sistema aspirante 16
Figura 5. Ventilación auxiliar sistema combinada 16
Figura 6. Punto de trabajo del ventilador 17
Figura 7. Curva característica de ventiladores 18
Figura 8. Curva de dos ventiladores trabajando en serie 19
Figura 9. Curva de dos ventiladores trabajando en paralelo 21
Figura 10. Ubicación de Unidad Minera Inmaculada 24
Figura 11. Factores que contribuyen a los métodos de control 25
Figura 12. Método de áreas iguales –ASHARAE 111 29
Figura 13. Esquema para mediciones de velocidad de aire en Labores con sección típica 4.0 x 4.0 mts 30
Figura 14. Esquema de medición de velocidad del aire en ventiladores 30
Figura 15. Set de equipos utilizados en campo 31
Figura 16. Certificado de Calibración Equipo Testo 480 32
Figura 17. Análisis de velocidades de flujo de aire 35
Figura 18. Vista isométrica 3D del modelamiento de la mina Inmaculada 46
Figura 19. Correlación de datos de campo - Ventsim vs Campo 46
Figura 20. Resumen de la red Proyecto Corto plazo 48
Figura 21. Resumen de potencia instalada y costo de energía-Proyecto Corto Plazo 48
Figura 22. Ventilador caracterizado de 120,000 cfm – RB 06 49
Figura 23. Ventilador de 120,000 cfm, en Ventsim- RB 06 50
Figura 24. Ventilador caracterizado de 120,000 cfm – RB 12 50
Figura 25. Ventilador de 120,000 cfm, en Ventsim- RB 12 51
Figura 26. Ventilador caracterizado de 100,000 cfm 51

Figura 27. Ventilador N°01 de 150,000 cfm, en Ventsim 52
Figura 28. Ventilador N°01 de 150,000 cfm, en Ventsim 52
Figura 29. Plan de ejecución de ventilación - Proyecto a Corto Plazo 54
Figura 30. Vista en planta de INMACULADA proyectada 2019-2020 55
Figura 31. Vista en perfil INMACULADA proyectado 2019-2020 – ejes de ingreso y salida 56
Figura 32. Vista perfil de la mina Inmaculada proyectado 2019-2020 – circuito de ventilación 57
Figura 33. Curva característica de ventilador 300,000 cfm – Sección 1 de 2 58
Figura 34. Curva característica de ventilador 300,000 cfm – Sección 2 de 2 59
Figura 35. Curva de operación ventilador 300,000 cfm en Ventsim - RB 21 59
Figura 36. Flujo de inversión mensual por 2019 61
Figura 37. Resumen de la red – Mediano Plazo 62
Figura 38. Resumen de la potencia – Mediano Plazo 63
Figura 39. Vista en planta diseño proyectado a mina Inmaculada 65
Figura 40. Vista en perfil INMACULADA proyectado 2020-2022 – ejes de ingreso y salida 66
Figura 41. Vista perfil de la mina Inmaculada proyectado 2020-2022 – circuito de ventilación 67
Figura 42. Vista isométrica Plan de ventilación Zona Martha 68
Figura 43. Vista isométrica Zona Lucy – Diseño proyectado Largo Plazo 69
Figura 44. Curva de operación Ventilador 150,000 cfm – RB 01 Veta Bárbara 70
Figura 45. Curva de operación ventilador 150,000 cfm en Ventsim - RB 07 Veta Lucy 70
Figura 46. Curva de operación Ventilador 60,000 cfm 71
Figura 47. Curva de operación 60,000 cfm en Ventsim - Veta Millet 71
Figura 48. Resumen de la red – Largo Plazo (2020-2022) 73
Figura 49. Resumen de potencia instalada y consumo de energía (2020-2022) 74
Figura 50. Selección de diámetro óptimo – Método gráfico y algebraico 76
Figura 51. Costos unitarios de excavación por avance lineal y volumétrico 77
Figura 52. Selección del diámetro óptimo de RB 21 - Simulación Financiera Ventsim 78

Figura 53. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 04 VETA LUCY 79
Figura 54. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 93% – RB 04 VETA LUCY 79
Figura 55. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 03 VETA LUCY 80
Figura 56. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 90% - RB 03 VETA LUCY 80
Figura 57. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 05 VETA LUCY 80
Figura 58. Ventilador de 150,000 cfm, estado al 91% - RB 05 VETA LUCY 80
Figura 59. Resumen de la red – Sistema proyectado 2022 81
Figura 60. Resumen de la red – Sistema proyectado optimizado 2022 81
Figura 61. Resumen de Potencia – Sistema proyectado 2022 82
Figura 62. Resumen de Potencia – Sistema proyectado optimizado 2022 82
Figura 63. Ratio de caudal de aire - Actual vs Proyectado 84
Figura 64. Ratio de consumo de energía – Actual vs Proyectado 85
Figura 65. Ratio de costo anual de energía - Actual vs Proyectado 85
Figura 66. Prueba de homogeneidad de las varianzas 88
Figura 67. Distribución de la ventilación actual (cfm) 90
Figura 68. Distribución de la ventilación optimización actual y proyectada (cfm) 91
Figura 69. Prueba de homogeneidad de las varianzas 93
Figura 70. Distribución de la ventilación actual (cfm) 95
Figura 71. Distribución de la ventilación con modelamiento 96
Figura 72. Prueba de homogeneidad de las varianzas 98
Figura 73. Distribución de la ventilación actual (cfm) 100
Figura 74. Distribución de la ventilación optimizada actual y proyectada con Planeamiento a Corto, Mediano y Largo Plazo 101
Figura 75. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4620 123
Figura 76. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4600 124
Figura 77. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4580 124
Figura 78. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4560 125
Figura 79. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4540 126

Figura 80. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4500 127
Figura 81. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4480 128
Figura 82. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4460 129
Figura 83. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4440 130
Figura 84. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4420 131
Figura 85. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4400 132
Figura 86. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4375 133
Figura 87. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4360 134
Figura 88. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4345 135
Figura 89. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4330 136
Figura 90. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4315 137
Figura 91. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4300 138
Figura 92. Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4280 138
Figura 93. Plano isométrico de ventilación unidad minera Inmaculada 139
Figura 94. Medición de velocidad y presión de aire..... 140
Figura 95. Verificación de ventiladores interior mina 141
Figura 96. Verificación de placa de ventiladores 142
Figura 97. Placa de datos de ventilador 142
Figura 98. Monitoreo de consumo de energía en ventiladores principales 143
Figura 99. Monitoreo y verificación de condiciones en ventiladores auxiliares 143
Figura 100. Inspección en ventiladores principales superficie..... 144

I. INTRODUCCIÓN

En ventilación de minas subterráneas, es un factor importante para garantizar la producción de la mina, es así que se debe se cubrir la cantidad de aire suficiente para que el personal y equipos trabajen en las condiciones adecuadas.

El presente documento demuestra mejorar las condiciones de la mina, en cuestiones del planeamiento de soluciones inmediatas a corto plazo, mediano plazo y largo plazo, de modo que se siga un lineamiento para la ejecución de las mismas.

La hipótesis general consiste en el estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 de la unidad minera Inmaculada, permitirá definir la ruta crítica para la optimización actual y proyectada.

Para obtener dichos resultados se deberán definir las hipótesis específicas que son:

1) El modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación.
2) El planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura.

Las hipótesis planteadas están acorde al diseño de investigación que plantea el diseño transversal descriptivo permitirán recolectar datos para describir las variables y analizar las soluciones de modo que se defina el óptimo diseño de ventilación.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del Problema

El desarrollo del presente se debe a que la ventilación representa el alma de la mina, donde los conductos de ingreso de aire son las arterias que acarrean el oxígeno a las áreas de trabajo, y los retornos de aire son las venas que conducen los contaminantes hacia la atmósfera exterior para su expulsión.

La problemática en las explotaciones mineras subterráneas se debe a que carecen de un sistema de ventilación efectivo, ello conduce a carentes condiciones de trabajo

presentándose peligros potenciales como polvos, emisiones de gas, calor, humedad, incendios, explosiones y radiación; siendo como requerimiento general que todo el personal sea capaz de trabajar y transitar dentro de un ambiente seguro y confortable.

Es así que la ventilación representa un parte importante en la producción de las explotaciones subterráneas, siendo un valor significativo en un 30% del costo total del consumo de energía en la mina, esto es consecuencia por la cantidad de ventiladores principales, secundarios y auxiliares; siendo la causante de una mala distribución de aire y diseño de ingeniería.

En el Perú, el Ministerio de Energía y Minas maneja el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. 023-2017-EM, que establecen la ruta para el cálculo del requerimiento de aire para personal, consumo de madera, temperatura, equipos con motor petrolero, como sus velocidades mínimas y máximas en las labores mineras; establece los límites máximos permisibles de los diferentes agentes contaminantes y la obligatoriedad de contar con los equipos e instrumental para su detección, evaluación y la frecuencia de evaluación de sistemas de ventilación. Siendo un problema común en las minas subterráneas que no cumplen con la cobertura de aire igual o mayor al 100%, debido a una mala distribución de aire y un diseño 3D desarrollado en un software computacional.

HOCHSCHILD MINING PLC, con su Unidad Minera Inmaculada, ubicada en el distrito de Oyolo, provincia de Páucar del Sara Sara, departamento de Ayacucho, la cual se encuentra en operación, contando con una producción estimada de 4,000 TMPD (toneladas métricas por día); debido a su alta productividad la demanda de aire fresco es elevada tanto por personal y equipos, como consecuencia genera un déficit en la cobertura aire, así también carece de un diseño en 3D a fin de entregar proyectos que alivien la problemática de la mina; concluyendo que la unidad no cuenta con un sistema de ventilación eficiente, conllevaría a aumentar la probabilidad de presentar accidentes e incidentes.

1.1.2. Formulación del problema

En la actualidad Unidad Minera Inmaculada, cuenta con un sistema ventilación forzado el cual está gobernado por 02 ventiladores extractores (Ventilador de 150,000 cfm ubicado en el RB 11, 01 Ventilador de 300,000 cfm ubicado en el RB 09) y RB 18 en proceso de expansión de diámetro, así también comprende ingresos de aire que comprende 04 bocaminas y 07 chimeneas Raise Borer (BM 4500, BM 4560, BM 4300, RP 4400, RB01, RB 02, RB 04, RB 05, RB 06, RB 07, RB 10), entregando una cobertura por debajo del 100%, siendo necesario la realización de un estudio de ingeniería conceptual que defina las zonas con problemas de ventilación.

En el departamento de ventilación no cuentan con un diseño 3D actualizado que garantice realizar diseños óptimos que generen un ahorro de energía en la mina, siendo necesario realizar el modelamiento, simulación y calibración de la mina Inmaculada bajo el soporte del software Ventsim Design 5.

1.1.3. Problema General

¿La realización de un estudio y diseño 3D, permitirá la optimización actual y proyectada para la mina Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC?

1.1.4. Problemas Específicos

1) ¿Realizando un modelo virtual en 3D, con la aplicación del programa Ventsim Design 5?, permitirá realizar la optimización deseada para la mina?
2) ¿Los diseños proyectados en 3D, permitirán una optimización a futuro para mejorar la ventilación?

1.2. ANTECEDENTES

El presente Perfil de Proyecto de Tesis presenta los siguientes antecedentes:

1.2.1. A nivel internacional.

(José Corimanya, 2011). (2012). Mine Ventilation Fan Control System. Master Thesis Charles Darwin University. Australia.

Logros de ingeniería:

Los logros operacionales se basaron en el diseño y construcción del control del sistema, ubicación del ventilador y la simulación de las resistencias de la mina. Las especificaciones del diseño del sistema de control proveen la metodología verdadera de ingeniería para implementar el trabajo de proyecto.

Modelamiento de ventilación y otros análisis algebraicos fueron realizados para simplificar el cálculo de resistencia de la mina. La simulación en Ventsim exitosamente ha demostrado los requisitos del tamaño del ventilador y del regulador para mantener la cantidad necesaria de flujo de aire. Para calcular las resistencias de la mina en las diferentes etapas, las redes globales deben ser consideradas. Entonces, este trabajo de la tesis le da los últimos toques al sistema de control y selección del ventilador basada en el cálculo mencionado en los capítulos previos.

1.2.2. A nivel nacional.

(José Corimanya, 2011). Planeamiento de Ventilación para la Unidad peruana San Cristóbal - Cía. Minera Volcán. Junín.

La Mina San Cristóbal utiliza el Programa VNET PC para generar circuitos principales para labores actuales y futuras. En el planeamiento de la ventilación, un simulador es una herramienta de trabajo que nos ayuda representar la mina por un modelo numérico que puede ser usado para predecir los requerimientos de ventilación. Específicamente, el modelo puede ser usado para determinar:

- Los flujos de aire y sus sentidos de avance en las labores proyectadas, y determinar los cambios en presiones y caudales cuando nuevas labores son añadidas al modelo.
- Cambios de velocidades del aire en las diferentes labores debidos a cambios efectuados.
- Los puntos de operación de los ventiladores, los requerimientos de energía eléctrica y otros factores económicos.

- Caídas de presión del aire en los conductos primarios y secundarios indicando alternativas de mejora en los circuitos.
- Evitar gastos innecesarios en construcción de chimeneas inadecuadas, ya sea por su mala ubicación o tamaño inadecuado. Chimeneas mal diseñadas no sirven mucho en los circuitos de ventilación o sirven solo para generar cortocircuitos en la red principal, hecho que fue verificado en la mina San Cristóbal.
- Reducir costos. Con solo evitar la ejecución de una chimenea inadecuada, con la ayuda de este programa se puede reducir los costos de ejecución de proyectos de ventilación considerablemente. El programa necesita ser alimentado con datos reales de mina (sección, perímetro, longitud, coeficiente de fricción de cada labor).
- Generar un sistema de ventilación eficiente y económica. Para alcanzar este objetivo, el ingeniero debe tener un buen conocimiento de geología y el método de explotación usado en la mina. El programa por sí solo no generara un sistema de ventilación eficiente; se necesita de la lógica y la experiencia del ingeniero para generar dicho sistema.

1.2.3. Antecedentes Legales

D.S. N° 024-2016-EM (modificatoria DS. N°023-2017 EM), Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del estado peruano. Artículo 246.- El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a la necesidad del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.

Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO Nº 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite

Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo Nº 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya.

Tabla 3.

Contaminantes del aire

Contaminantes	Efecto en la salud	Principales Notas
CO	Daños a los sistemas nervioso central y cardiovascular.	Combustibles fósiles.
SOx	Cardiovasculares y respiratorios	Combustibles fósiles Conteniendo azufre
NOx	Tracto respiratorio alto y bajo.	Combustión a alta temperatura de combustibles fósiles.
Hidrocarburos no saturados y aromáticos.	Algunos poseen propiedades cancerígenas, terratogénicas y mutagénicas.	Uso de petróleo, carbón y gas natural.
Partículas	Afecciones en sistemas respiratorio, nervioso central, renal, gastrointestinal.	Actividades industriales de transporte, combustión y causas naturales.

Nota. D.S. 023 – 2017 – EM

Tabla 4.

Oxígeno consumido por los seres humanos

Grado de actividad	Respiraciones/ minuto	Aire inhalado por respiración (litros)	Aire inhalado por minuto (litros)	Oxígeno consumido por minutos (litros)
En reposo	16	0,5	8	0,33
Actividad moderada	30	1,6	48	1,98
Actividad intensa	40	2,5	100	3,96

Nota. D.S. 023 – 2017 – EM

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio a nivel conceptual y diseño en 3D bajo el soporte del software Ventsim Design 5, permitiendo diseños y simulaciones proyectadas que generen la optimización actual y proyectada del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC.

1.3.2. Objetivos específicos

1) Realizar el estudio y diseño en 3D en base al modelamiento, calibración y simulación en el software Ventsim Design 5, en las condiciones actuales y proyectadas para la Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC.

2) Realizar el planeamiento a corto, mediano y largo plazo para optimizar el sistema de ventilación proyectado de la mina.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La ventilación de una mina subterránea corresponde al proceso de controlar y dirigir corrientes de aire a través de las excavaciones subterráneas, ya sea mediante métodos naturales, mecánicos o utilizando una combinación de ambos, siendo un factor importante en la vida de la mina, para ello es necesario dimensionar el caudal necesario para las labores de la mina, y se debe contar con el uso de ventiladores auxiliares de modo que abastezcan la cantidad y calidad de aire a los frentes de trabajo.

Además, es importante considerar que aumentar la cantidad de ventiladores por la necesidad de aire, sin contar con un diseño adecuado entregará resultados negativos en cuanto a la eficiencia y consumo de energía.

El presente proyecto se justifica a la realización de un estudio a nivel conceptual y a su vez la elaboración de un modelo en 3D del circuito de ventilación donde se logrará realizar diseños actuales y proyectados a corto, mediano y largo plazo, como la incorporación de galerías, cruceros, chimeneas, niveles, subniveles, ventiladores, de modo que generen una

optimización técnica y económicamente diseñada y ubicada. Así de esta manera se podrá tener a disposición un modelo en la cual se puedan realizar diseños y simulaciones, así dar prioridad que tiene cada frente de trabajo debe cumplir con los requerimientos estipulados por el DS 024-2016-EM y su modificatoria DS 023-2017-EM (Anexo 38).

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

El estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 de la unidad minera Inmaculada, permitirá definir la ruta crítica para la optimización actual y proyectada.

1.5.2. Hipótesis específicas

1) El modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación.
2) El planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

Chasm Consulting, empresa australiana de consultoría en ventilación de minas, bajo el soporte del Ing. Craig Stewart, empresa creadora del software Ventsim, Pumpsim™, CSafe™, para la simulación y control de ventilación, bombeo y seguridad respectivamente.

Simulación en software de ventilación, Inspección y mapeo, análisis y procedimientos de problemas críticos, optimización de circuito de ventilación, Auditoría en mina, Reglamento para el requerimiento de aire en mina.

Evaluación del sistema, ingeniería y administración de cambios, trabajo en equipo, servicios auxiliares, seguridad para el control de gases, monitoreo de ventilación.

2.1.1. Definición de términos

- **Aire atmosférico. -** La composición del aire puro seco es:

Tabla 5.

Composición de aire seco puro

Gases	% en volumen	% en masa
Nitrógeno (N_2)	78.09	75.53
Oxígeno (O_2)	20.95	23.14
Dióxido de Carbono (CO_2)	0.03	0.046
Helio, Neón, etc.	0.93	1.284

Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

- **Atmosfera de mina.** La cantidad de oxígeno consumida por los seres humanos depende de la intensidad del trabajo que éstos desarrollan. Al ingresar a la mina, el aire atmosférico sufre cambios en su composición. El N_2 sube, el O_2 baja, aumenta el CO_2 y también se produce un aumento del contenido de vapor de agua. Existe generación de otros gases y de polvos que se suman a esta nueva composición.

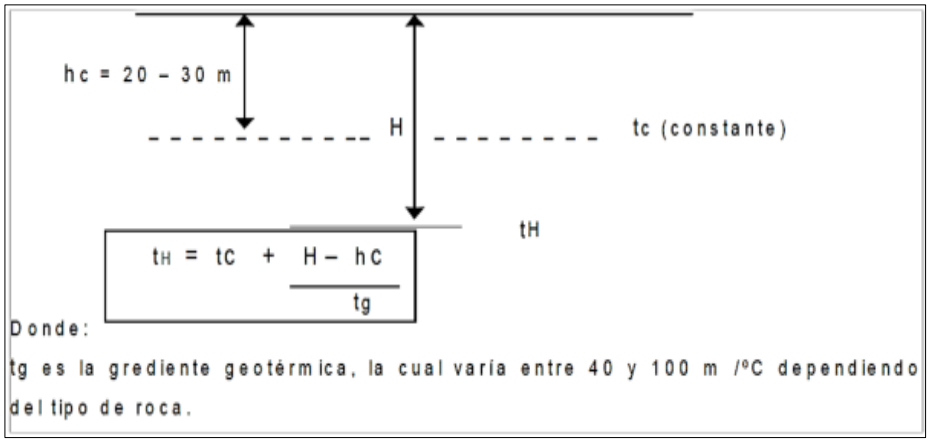
- **Polvo en mina.** El polvo de las minas está constituido por un conjunto de partículas que se encuentran presentes en el aire, paredes, techos y pisos de las

labores mineras. Cuando el polvo se encuentra en el aire, forma un sistema disperso llamado "aerosol". El polvo puede permanecer en el aire durante largo tiempo, dependiendo de varios factores, entre los cuales están: El tamaño, finura, forma y peso específico de las partículas; velocidad, contenido de humedad del aire y temperatura ambiental.

- **Calor proveniente de la roca.** Debido a la gradiente geotérmica de la corteza terrestre; depende del tipo de roca, de la zona donde se encuentra ubicada la mina y de su profundidad.

Figura 1.

Calor generado por el tipo de roca y la profundidad



Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

- **Ventilación.** Es el proceso mediante el cual se hace circular el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura, para el desarrollo de los trabajos.

- **Ventilación subterránea.** Es el suministro de aire a las labores mineras, requerido por los trabajadores, equipos diésel y para la evacuación de gases y polvo, con la ayuda y buen grado de utilización de Ventiladores y los diversos dispositivos de control de flujos, tales como puertas de ventilación, tapones, reguladores, instalados para este fin (distribución) al interior de los circuitos principales y secundarios.

- **Tipos de ventilación:**

Ventilación natural. - El “tiro natural” en las minas se debe a la diferencia de densidad del aire entrante y del saliente. Esta diferencia de densidad proviene principalmente de la diferencia de temperatura del aire (>Tº a <Tº), en menor grado a la diferencia de presión (>H a <H), y menos aún a la variación de humedad y composición química del aire.

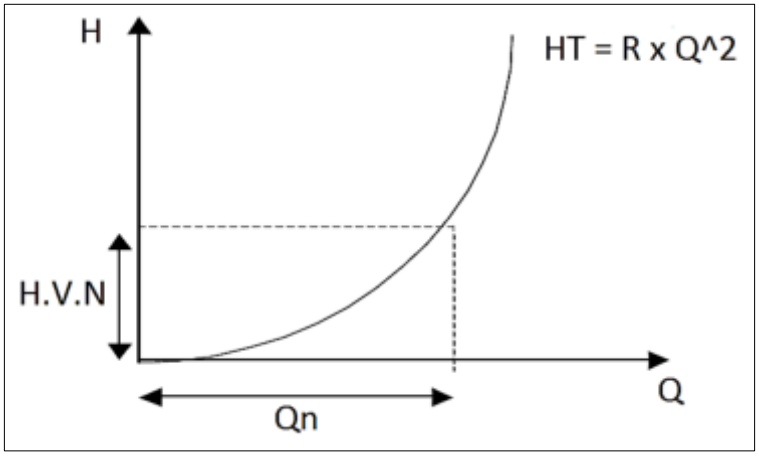
La ventilación natural puede ser importante para la ventilación de algunas minas, particularmente de las no muy profundas; pero no es muy confiable por su variabilidad por las estaciones del año.

La temperatura en el exterior puede variar desde menos 0°C hasta 35°C entre el verano y el invierno, mientras que la temperatura en el interior de la mina permanece más o menos constante, excepto en las cercanías de las conexiones a superficie. Esto hace que la Presión de Ventilación Natural (H.V.N), varíe de acuerdo con las fluctuaciones estacionales de la temperatura en la superficie.

La Presión de Ventilación Natural (H.V.N), varía entre 125 y 750 Pa (1 – 7 mm H_2O) y el caudal varía entre 10 y 500 m^3/min, dependiendo de la resistencia de la mina.

Figura 2.

Caudal inducido por presión natural



Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

- **Densidad del aire. -** La densidad del aire de un lugar de mina es un dato importante que debe ser hallado y que se usa en cálculos de ventilación. La densidad del aire es la relación o cociente que hay entre la masa de un volumen unitario del aire y su unidad de volumen de este aire en libras por pie cúbico (lb/ft^3) o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad del aire a cualquier altitud de modo seguro se halla por la fórmula:

$$\rho = \frac{1.34B}{460+T}$$

Donde:

ρ: Densidad del aire del lugar (lb/ft^3)

B: Presión barométrica del lugar (“Hg)

T: Temperatura del aire en °F, obtenido por el bulbo seco en el punto que se determina la densidad.

- **Ventilación mecánica. -** El aire en la mina es inducido por una diferencia de presión, entre la entrada y la salida del aire, generado por un Ventilador.

- **Ventilador.** - Es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (presión total) con la que mantener un flujo continuo de dicho fluido. Para realizar este trabajo el ventilador requiere de una potencia en el eje del motor que lo acciona. Las consideraciones que se toman en cuenta para calcular la potencia del motor son:

  a) El caudal de aire que necesitamos mover, ello depende de nuestro requerimiento, según el personal que labora, los equipos diésel y el tipo y cantidad de explosivo a utilizar, (Q).

  b) Cuál es la presión del sistema (caída de presión total), ello está sujeto al caudal y la topografía de los ductos de la mina, (H).

c) La eficiencia del ventilador (η), la cual varía entre 60 a 85 %, dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo.

d) Cuanto es la potencia necesaria (AHP), para mover el caudal Q del aire en un circuito, cuya depresión es H, en KW.

$$\mathrm{AHP(KW)} = \frac{\mathrm{Q}\left(\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right) \mathrm{x\ H(Pa)}}{1{,}000}$$

e) La potencia mecánica (BHP) del ventilador, en KW.

$$\mathrm{BHP(KW)} = \frac{\mathrm{Q}\left(\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right) \mathrm{x\ H(Pa)}}{1{,}000\ \mathrm{x}\ \eta(\%)}$$

- **Potencia instalada del ventilador. -** Gran parte de los ventiladores de las minas son impulsados por motores eléctricos (de corriente alterna); la energía eléctrica que consume dicho motor puede calcularse de la siguiente manera:

$$\mathrm{W} = \mathrm{E} \times \mathrm{I} \times \mathrm{pf} \times \sqrt{3}$$

Donde:

W: Potencia Eléctrica (KW)

E: Voltaje (KV)

I: Corriente (Amp)

pf: Factor de potencia, cosϕ, (%)

- **Presión del ventilador. -** Es el valor de la fuerza que ejerce el ventilador para vencer las pérdidas de carga de una instalación de ventilación. En las curvas características se reflejan los valores en mm C.A. (milímetros de columna de agua) y Pa (pascales).

- **Leyes de los ventiladores. -** Existen tres leyes que regulan el comportamiento de la presión (H), caudal (Q), potencia (Pm) y eficiencia (Eff) de un ventilador basado en los cambios en la velocidad rotacional (RPM, número de revoluciones

por minuto), tamaño (D, diámetro) de los ventiladores y peso específico del aire (y):

El caudal de aire varía directamente con la velocidad del ventilador y es independiente del peso específico del aire (dos veces el caudal o volumen requiere doble velocidad).

La presión inducida varia directamente con el cuadrado de la velocidad y el peso específico (dos veces el volumen desarrolla cuatro veces la presión).

La energía necesaria para el ventilador varia directamente con el cubo de la velocidad y el peso específico del aire (dos veces el volumen requiere ocho veces la energía).

El rendimiento mecánico del ventilador es independiente de la velocidad y el peso específico del aire.

En una actividad dinámica como la minería, se tienen cambios constantes en la configuración de los conductos de aire. Al no disponerse de un stock de ventiladores, las posibilidades de efectuar incrementos de caudal de aire están dadas ajustando la velocidad de operación de los ventiladores. Ante la posibilidad de intercambiar la ubicación de ventiladores se pueden aplicar la Primera y Segunda Ley de los Ventiladores.

Tabla 6.

Leyes de ventiladores.

Leyes de los Ventiladores			
Características	**Primera Ley**	**Segunda Ley**	**Tercera Ley**
	Cambio de Velocidad, RPM. (D, γ constantes)	Cambio de tamaño D. (γ , RPM constantes)	Cambio de Pe, γ. (RPM, D constantes)
Caudal, Q	$Q_2/Q_1 = RPM_2/RPM_1$	$Q_2/Q_1 = (D_2/D_1)^2$	$Q_2 = Q_1$
Presíon, H	$H_2/H_1 = (RPM_2/RPM_1)^2$	$H_2 = H_1$	$H_2/H_1 = (\gamma_2/\gamma_1)^2$
Potencia, BHP	$BHP_2/BHP_1 = (RPM_2/RPM_1)^3$	$BHP_2/BHP_1 = (D_2/D_1)^2$	$BHP_2/BHP_1 = (\gamma_2/\gamma_1)$
Eficiencia, η	$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$
		$RPM_2/RPM_1 = D_2/D_1$	

Nota. Yana J. Florentino. (2011). Ventilación de Minas. Trabajo presentado en clase de Ventilación Mecánica.

- **Ventilación principal. -** Es el uso de ventiladores principales, las cuales gobiernan en todo el circuito global de ventilación, y que cumplen con suministrar el aire requerido (Qr). Principalmente se instalan en superficie conectados a chimeneas.

- **Ventilación secundaria. -** Un ventilador secundario es instalado para ayudar al ventilador primario en controlar la presión del aire y reducir fugas dentro de labores mineras.

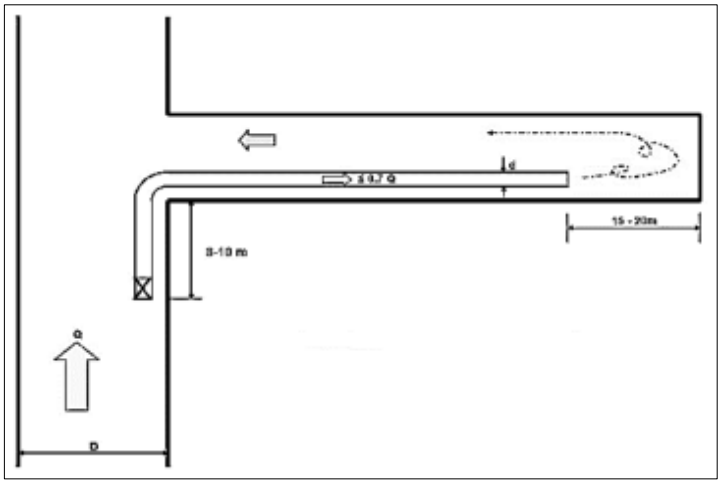
- **Ventilación auxiliar. -** Se define aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

- **Sistemas de ventilación auxiliar. -** Un sistema de ventilación auxiliar puede ser:

  Impelente. - El ventilador auxiliar se ubica fuera de la labor a ventilarse y antes del ingreso a ésta. El aire limpio se toma de superficie o de la labor principal de la red y se impulsa al frente de trabajo a través del ducto y barre el frente a una velocidad relativamente alta. El aire contaminado regresa a través de la galería.

Figura 3.

Ventilación auxiliar sistema impelente



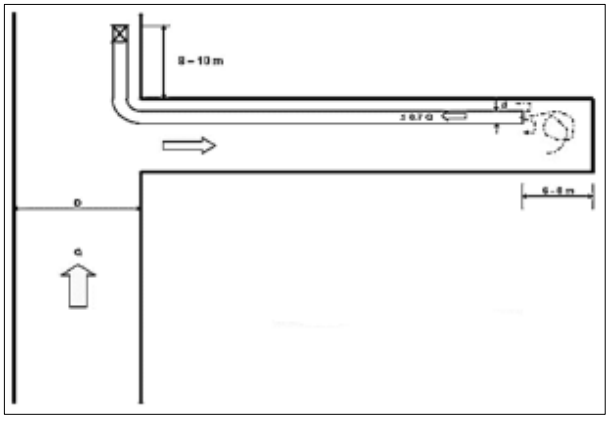
Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

- **Aspirante.** El ventilador auxiliar se ubica fuera de la labor a ventilarse y después del ingreso a ésta. El aire contaminado es extraído del frente de trabajo a través del ducto y el aire limpio que proviene de superficie o de la red principal ingresa al frente a través de la galería. Ver Ilustración 4

- **Combinado o** mixto**.** Una combinación de los anteriores.

Figura 4.

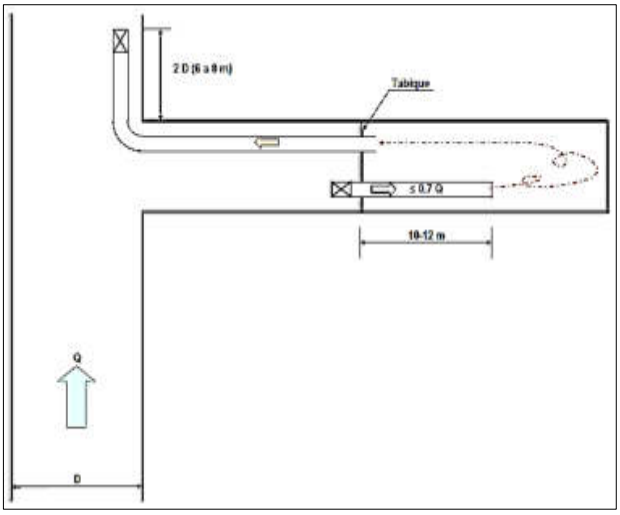
Ventilación auxiliar sistema aspirante.



Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

Figura 5.

Ventilación auxiliar sistema combinada



Nota. Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas. (2011).

- **Curva característica del ventilador. –** Un ventilador funcionando a una determinada velocidad y conectado a un sistema que tiene una resistencia dada, desarrolla una presión que representa su capacidad de realizar trabajo útil. Una vez estabilizado el flujo de aire a través del sistema, una parte de la energía impartida por el ventilador se convierte en velocidad (presión de velocidad), y el resto será la energía disponible para vencer la resistencia del circuito (presión estática o útil). La suma de estas dos presiones constituye la presión total del aire en un punto determinado del circuito.

  La curva característica de un ventilador es la representación gráfica de la relación existente entre la presión desarrollada por la máquina y el caudal de aire que fluye a través de la misma para una velocidad de rotación determinada.

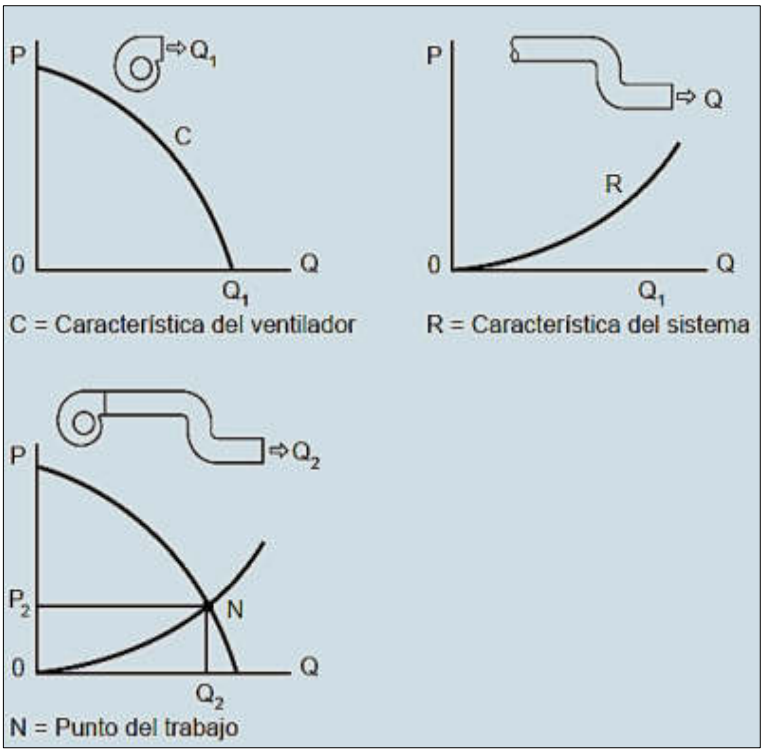
  En la curva característica de los ventiladores, se muestra generalmente la presión estática desarrollada y la potencia al eje requerida para cada condición de flujo. En algunos casos, se incluye además la eficiencia del ventilador para todo el rango en el que es capaz de operar.

  Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo.

  Para cada ángulo de regulación de los álabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador (H, Q).

Figura 6.

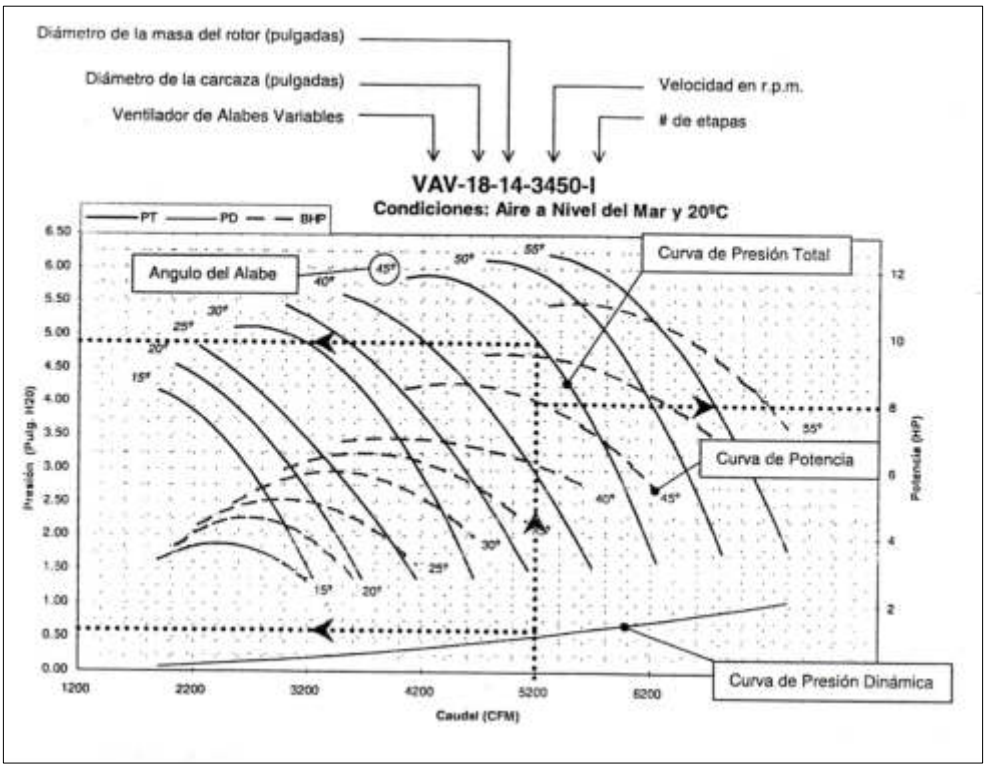
Punto de trabajo del ventilador



Nota. Soler & Palau. Manual Práctico de Ventilación. Catálogo Técnico.

Figura 7.

Curva característica de ventiladores



Nota. Catálogo Ventiladores Delcrosa.

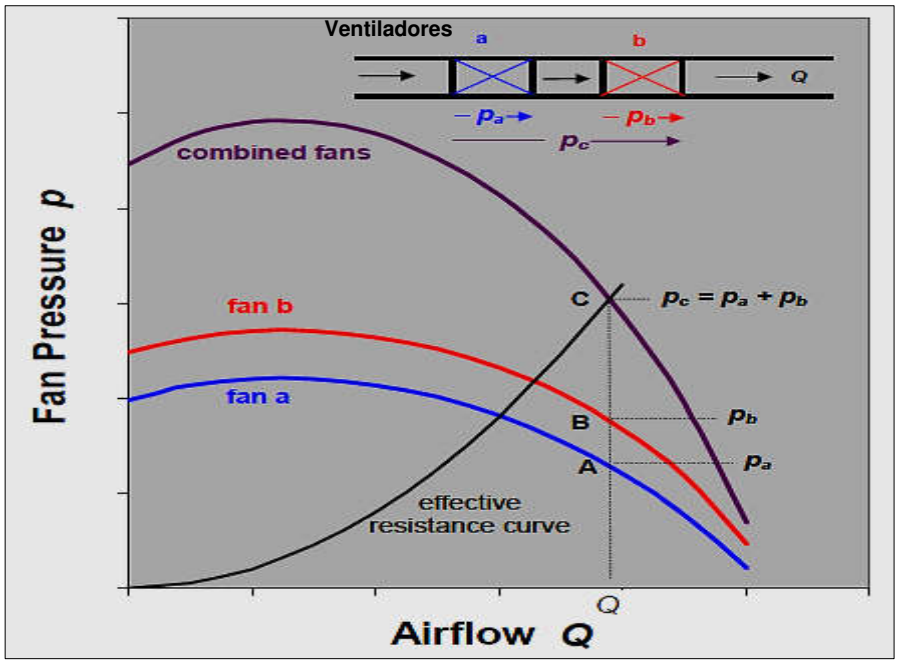
- **Acoplamiento de ventiladores.** En instalaciones importantes de ventilación, cuando es necesario disponer de caudales o presiones con grandes variaciones, recurrir a un sistema de acoplamiento de equipos, tanto en serie como en paralelo.

- **Trabajo de dos ventiladores en serie.** La Ilustración 8 muestra dos ventiladores, A y B, situados en serie dentro de un solo conducto. También se muestran las correspondientes características presión-volumen y la curva de resistencia efectiva. La curva característica para la combinación se obtiene simplemente mediante la adición de las presiones de ventilador individuales para cada valor de flujo de aire.

El punto de trabajo efectivo se encuentra en C, donde la curva de resistencia se cruza con la característica combinada. Por los ventiladores a y b pasan el mismo flujo de aire “Q”, pero con el desarrollo de presiones Pa y Pb, respectivamente, los puntos de trabajo individuales se muestran como A y B. Para tres o más ventiladores, el proceso de agregar presiones de ventiladores sigue siendo el mismo. Sin embargo, si el cambio en la densidad a través de la combinación se convierte en significativa, entonces las leyes del ventilador deben emplearse para corregir las curvas características individuales. Como se muestra en la Ilustración, los ventiladores individuales no necesitan tener curvas características idénticas. Sin embargo, si un ventilador es considerablemente más potente que la otra, o si la resistencia del sistema cae a un nivel bajo, entonces el impulsor de la unidad más débil puede ser impulsado de manera turbina por su fuerte compañero. El ventilador más débil se convierte entonces en una resistencia adicional en el sistema. Es habitual y mejor emplear ventiladores idénticos en combinación.

Figura 8.

Curva de dos ventiladores trabajando en serie.



Nota. Malcolm J. MacPherson. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering.

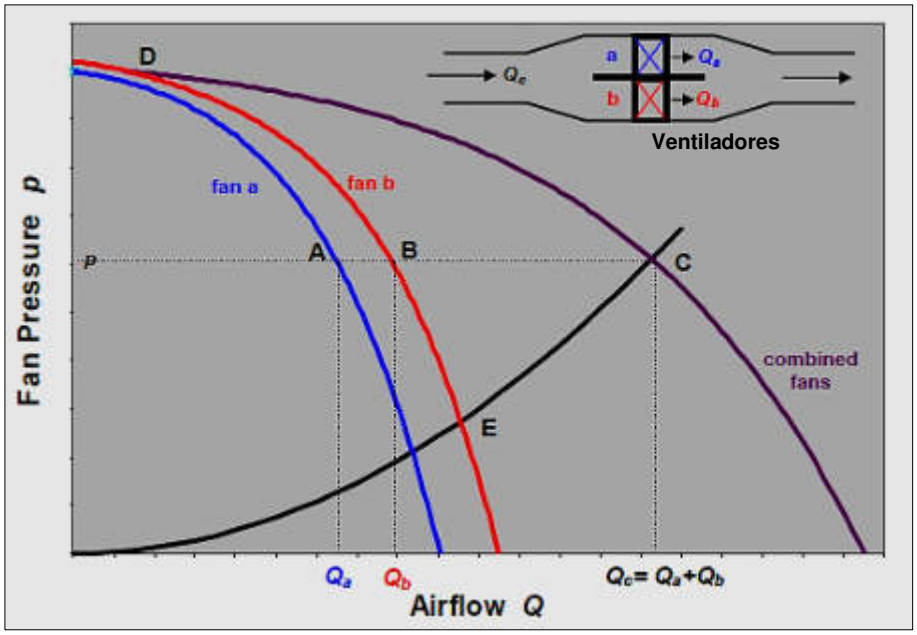
Para una resistencia dada, un solo ventilador podría trabajar en un punto próximo al bombeo, en cambio, al acoplarle otro ventilador, se observa que (Pc, Q), está bastante alejado del régimen inestable.

- **Trabajo de dos ventiladores en paralelo.** Para los ventiladores que se combinan de forma paralela, se añaden las corrientes de aire para cualquier presión dada del ventilador, para obtener la curva característica combinada. Como se muestra en la Ilustración 12, por los ventiladores **a** y **b** pasan flujos de aire **Qa** y **Qb**, respectivamente, pero a la misma presión común "**P**". El punto de funcionamiento de la unidad completa se produce en "**C**" con los puntos de trabajo individuales para los ventiladores **a** y **b** en **A** y **B**, respectivamente. Una vez más, los ventiladores no tienen por qué ser necesariamente idénticas. Sin embargo, se debe tener cuidado para asegurar que el punto de operación **A** y **B** no se muevan demasiado sus respectivas curvas. Esto es particularmente importante en el caso de ventiladores axiales debido a su característica curva inestable pronunciada. En la práctica, antes de llegar a esta condición, los ventiladores pueden exhibir un

efecto notable. Por estas razones, la variación máxima de la resistencia del sistema que es probable que se produzca debe ser investigada antes de instalar ventiladores en paralelo. Tres o más ventiladores se pueden combinar en paralelo, la adición de flujos de aire para obtener la curva característica combinada. Aunque la Ilustración 9 muestra dos ventiladores con características diferentes, es prudente emplear ventiladores idénticos cuando se conectan en paralelo. Esto reducirá la tendencia de uno de ellos para acercarse a las condiciones de inestabilidad antes de la otra.

Figura 9.

Curva de dos ventiladores trabajando en paralelo



Nota. Malcolm J. MacPherson. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering.

- **Requerimientos del aire. -** Teniendo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (DS-024-2016-EM y su modificatoria DS-023-2017-EM), aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, en su Artículo 236, señala que, el titular minero dotará de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del

aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional (TWA, STEL y Techo (C)) para agentes químicos de acuerdo al **ANEXO Nº 4.**

Entre los más presentes y perjudiciales agentes químicos se mencionan:

Polvo respirable	: Max. $3\ \mathrm{mg/m^3}$, por jornada de 8 h.
Polvo inhalable	: Max. $10\ \mathrm{mg/m^3}$, por jornada de 8 h.
Oxigeno ($\mathbf{O_2}$)	: Min. 19.5 % por jornada de 8 h y máx. 22.5 %, que en ningún momento debe ser sobrepasado.
Dióxido de Carbono	: Max. 5 000 ppm, por jornada de 8 h y 30 000 ppm por lapso 15 min.
Monóxido de Carbono	: Max. 25 ppm, por jornada de 8 h.
Metano ($\mathbf{CH_4}$)	: Max. 5 000 ppm, que en ningún momento debe ser sobrepasado.
Dióxido de Nitrógeno ($\mathbf{NO_2}$)	: Min. 3 ppm por jornada de 8 h y 5 ppm, por lapso 15 min.
Monóxido de nitrógeno ($\mathbf{NO}$)	: Max. 25 ppm, por jornada de 8 h.
Anhídrido Sulfuroso	: Max. 2 ppm por jornada de 8 h y 5 ppm por lapso 15 min.
Hidrogeno (H)	: Max. 5 000 ppm que en ningún momento debe ser sobrepasado.
Ozono trabajo ligero	: Max. 0.1 ppm por jornada de 8 h.

- **Requerimiento de aire para el personal.** El Artículo 247 menciona que cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (03) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

1. De 1,500 a 3,000 msnm, aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min.

2. De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min.

3. Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min.

- **Seguridad. -** Ciencia interdisciplinaria que está encargada de evaluar, estudiar y gestionar los riesgos que se encuentra sometido una persona, un bien o medio ambiente según (Ministerio de Energia y Minas, 2016)
- **Trabajo de Alto Riesgo. -** Aquella tarea cuya realización implica un alto potencial de daño grave a la salud o muerte del trabajador. La relación de actividades calificadas como de alto riesgo será establecida por el titular minero y por la autoridad minera según (Ministerio de Energia y Minas, 2016)
- **Zonas de Alto Riesgo. -** Son áreas o ambientes de trabajo donde están presentes las condiciones de peligro inminente, que pueden presentarse por un diseño inadecuado o por condiciones físicas, químicas, eléctricas, mecánicas o ambientales inapropiadas, entre otros según (Ministerio de Energia y Minas, 2016)

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Unidad Minera Inmaculada se localiza al Sur del Perú en la Provincia de Parinacochas y Páucar de Sara Sara; en el Departamento de Ayacucho, situado entre 3900 y 4800 msnm, dentro del cinturón metalogenético epitimar Puquio-Caylloma; aproximadamente a 210 km Sur-Oeste del Cuzco y a unos 530 km Sur-Este de Lima, la capital del Perú.

Figura 10.

Ubicación de Unidad Minera Inmaculada



Nota. Google Earth

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo

De acuerdo a la naturaleza del tipo de investigación es descriptiva y aplicada, puesto que se realizó una investigación demostrando los resultados del estudio que permitió un análisis y optimización del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada verificando

deficiencias y necesidades inmediatas, asimismo se dará solución bajo el soporte del software Ventsim Design 5, proponiendo alternativas de solución.

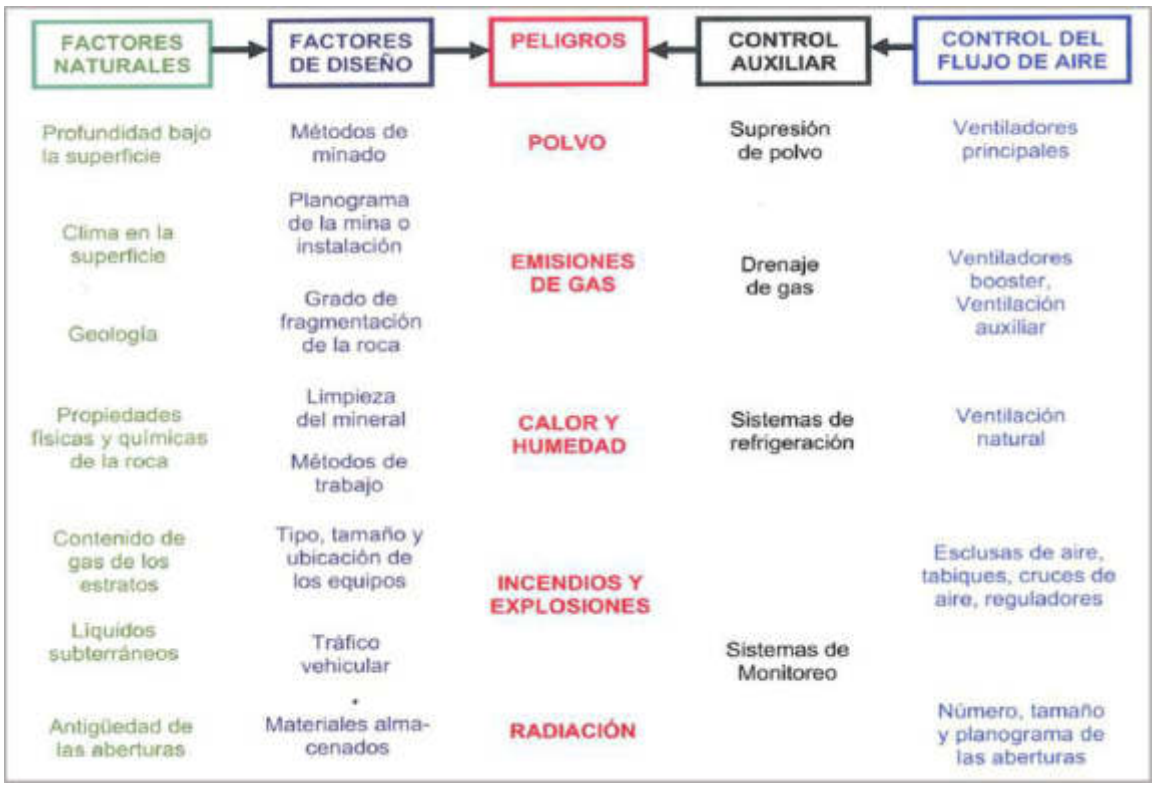
El método de manipulación de datos es cuantitativo, ya que se utilizó las diferentes fases del proceso del proceso.

3.2.2. Diseño

El tipo de diseño a utilizarse es el diseño transversal descriptivo, ya que se recolectarán datos en un solo momento, con el propósito de describir las variables y analizar a las posibles soluciones para la implementación de un mejor diseño de ventilación.

Figura 11.

Factores que contribuyen a los métodos de control



Nota. Ingeniería de Ventilación Subterránea, Malcolm J. McPherson (2016)

3.2.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es predictivo ya que se realizará con estadística básica, en base al análisis del circuito de ventilación, a partir de ello se comienza a realizar la optimización.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable independiente: Indicadores

Hipótesis General:

X = La evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Indicadores:

X1 = Modelamiento del sistema de ventilación utilizando el software Ventsim Design 5, de la unidad minera Inmaculada de la empresa minera HOCHSCHILD MINING PLC.

Hipótesis Específicas:

A = Diseño en Ventsim Design 5, bajo las condiciones actuales y medidas en los monitoreos realizados.

B= Diseño proyectado a corto, mediano y largo plazo en base al software Ventsim Design 5 de la mina Inmaculada.

Indicadores:

A1 = Velocidad de aire (m/s)

A2 = Temperatura ambiente, bulbo húmedo y seco (°C)

A3 = Presión barométrica (kPa)

B1 = Caudal de aire (m3/min, cfm)

B2 = Caudal de aire (m3/min)

B3 = Presión (pulg. H_2O)

B4 = Potencia (kW)

B5 = Caudal de aire (m^3/min)

B6 = Caudal de aire (m3/min)

B7 = Velocidad de aire (m/min)

B8 = Costo CAPEX (US$/TMS)

B9 = Costo OPEX (US$/TMS)

B10 = Costo de Ventilación (US$/TMS)

3.3.2. Variable dependiente: Indicadores

Hipótesis General:

Y = La optimización a corto, mediano y largo plazo del sistema de ventilación principal y auxiliar de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Indicadores:

Y1 = Caudal de aire (m3/seg)

Y2 = Velocidad de aire (m/seg)

Hipótesis Específicas:

A = Evaluación del diseño en software, comparando los resultados medidos en campos vs resultados medidos en Ventsim

B = Factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

Indicadores:

A1 = Modelamiento proyectado en Ventsim Design 5, para definir el diseño óptimo.

A2 = Velocidad de aire (m/min)

B1 = Costo unitario de energía (US$/kW)

B2 = Costo anual de energía (US$/año)

B3 = Caudal de aire (m3/min)

B4 = Flujo de Masa (kg/s)

B5 = Simulación en Ventsim, determinando la efectividad de los proyectos.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población está constituida por el sistema de ventilación principal, secundaria y auxiliar de las labores del proyecto minero de la Unidad Minera Inmaculada de la Empresa Minera Hochschild Mining PLC.

Entradas:

- BM 4500
- BM 4300
- RP 4400
- RB 01
- RB 02
- RB 04
- RB 05
- RB 06
- RB 07
- RB 10
- Salidas:
- RB 09
- RB 11
- RB 18

3.4.2. Muestra

En vista de la cantidad de niveles y labores, se trabajará con toda la población.

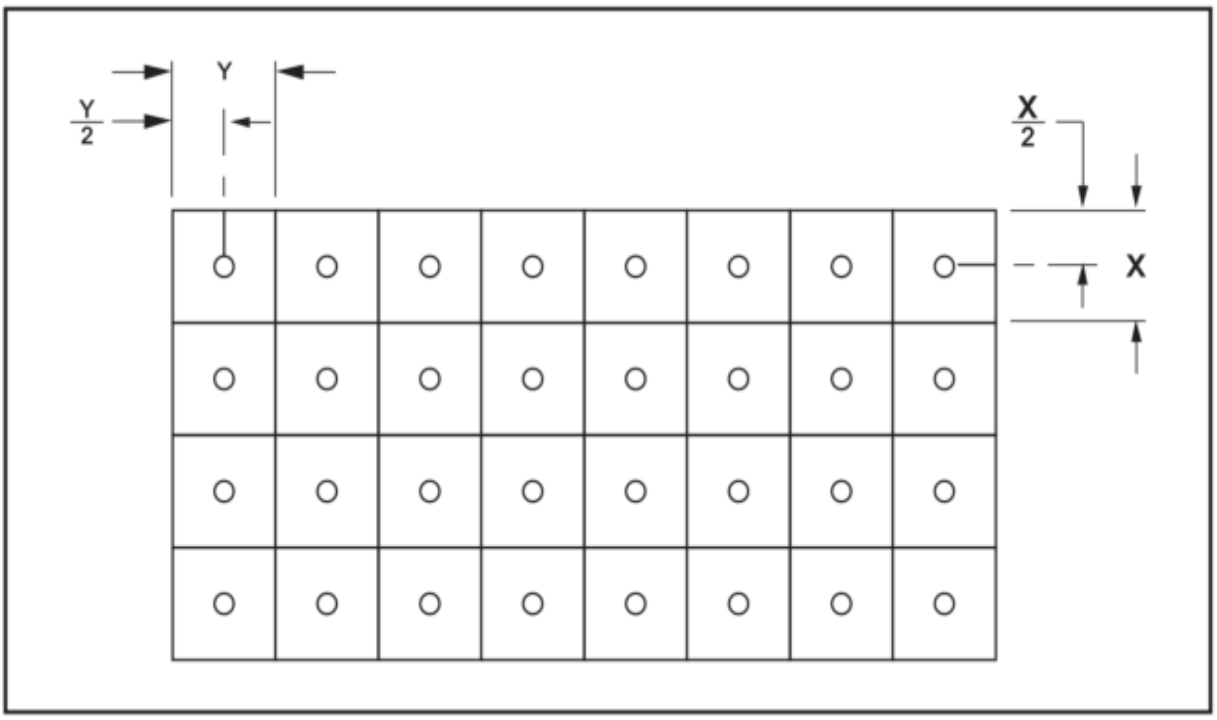
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Método de medición utilizado

Las mediciones de flujo de aire realizadas se basaron a la norma: “ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal areas”.

Figura 12.

Método de áreas iguales –ASHARAE 111



Nota. Malcolm J McPherson, Subsurface Ventilation Engineering, 1993.

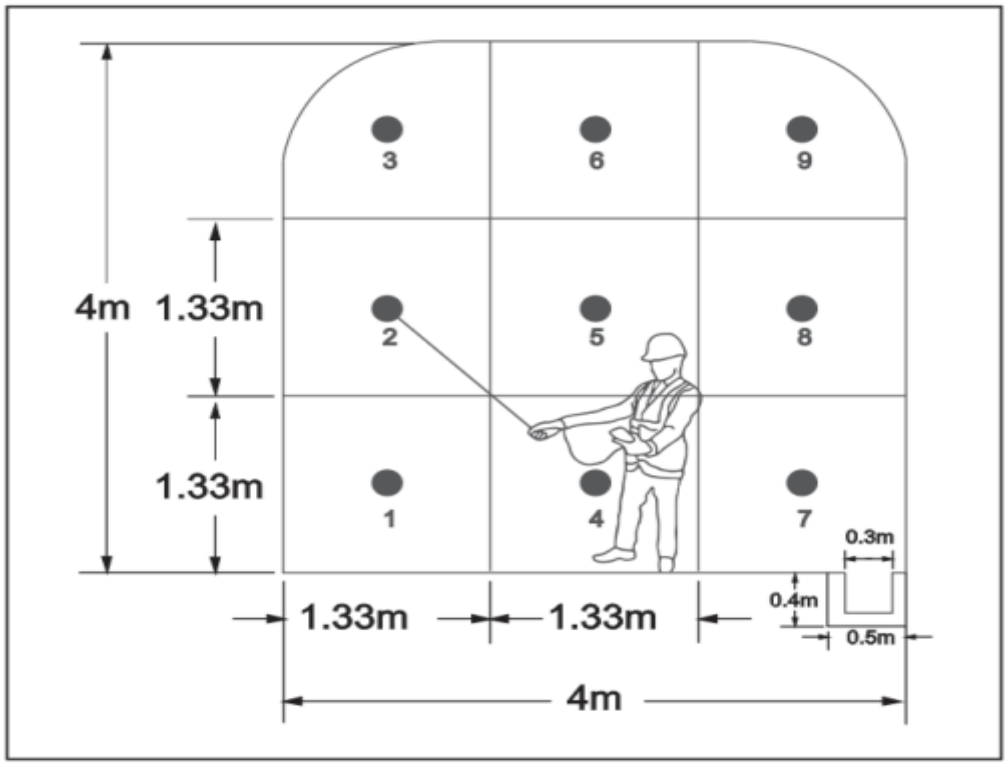
Se basa principalmente en la aproximación del área transversal del túnel a un rectángulo para luego ser divido en áreas iguales y en su centro realizar las mediciones de velocidad que posteriormente se promediarán según las especificaciones de la norma.

3.5.2. Técnica de medición de velocidad

Se realiza 3 mediciones en los puntos medios de los cuadrantes en sentido del aire. Si la velocidad del aire es baja se debe usar sondas de hilo caliente, y por el contrario si la velocidad es alta se debe usar sondas de diámetros de cabeza mayores de 12 mm.

Figura 13.

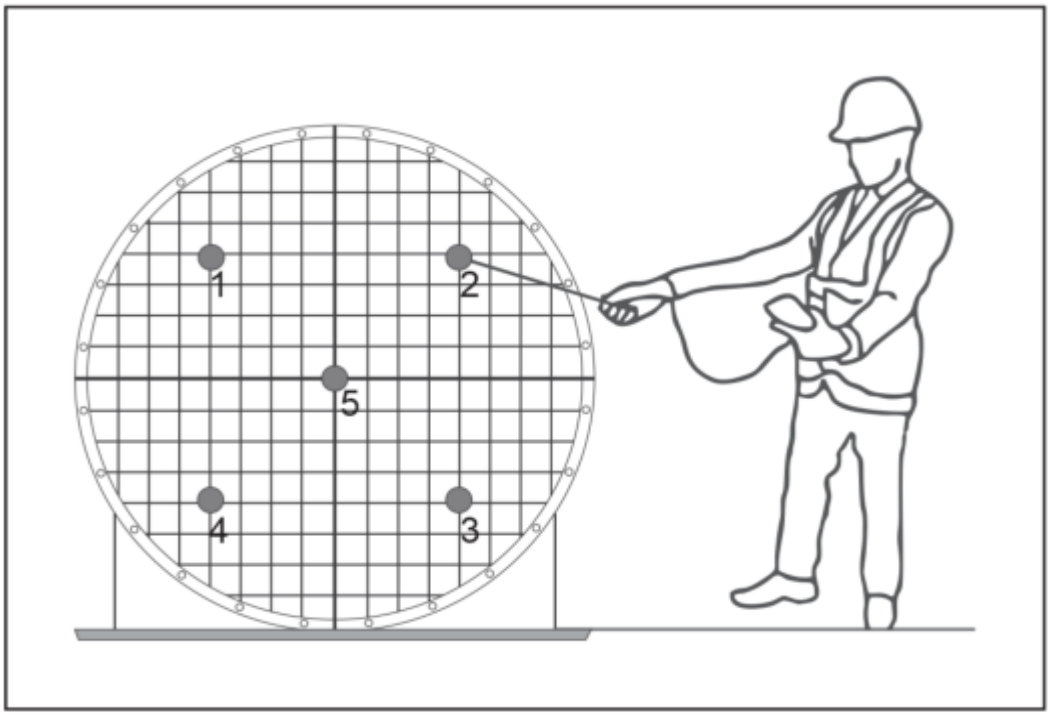
Esquema para mediciones de velocidad de aire en Labores con sección típica 4.0 x 4.0 mts



Nota. Elaboración Propia

Figura 14.

Esquema de medición de velocidad del aire en ventiladores



Nota. Elaboración Propia

3.5.3. Instrumentación utilizada

- 01 equipo Multifunción 480 Testo.
- 01 sonda térmica de Ø 10 mm, Velocidad de aire y temperatura (hilo caliente de ±0 a 20 m/s).
- 01 sonda de molinete Ø 16 mm, Velocidad de aire (alta velocidad de ±0 a 40 m/s).
- 01 higrómetro 610 Testo, para medición de la temperatura bulbo húmedo y seco, y humedad relativa.
- 01 sonda de aguja para medir temperatura en la roca y agua
- 01 distanciómetro digital Bosch, Rango de medición de 40 m.
- 01 cronómetro digital Casio, dos decimales.
- 01 tubo de Pitot de 100 mm de Log. 7 mm de Ø, para medición de presión total, estática y dinámica.
- 01 kit de tubos de humo Draguer, con bombilla de goma.
- 01 medidor de gases, registro de oxígeno O2, monóxido de carbono CO y monóxido de nitrógeno NO, marca Draguer.

Figura 15.

Set de equipos utilizados en campo



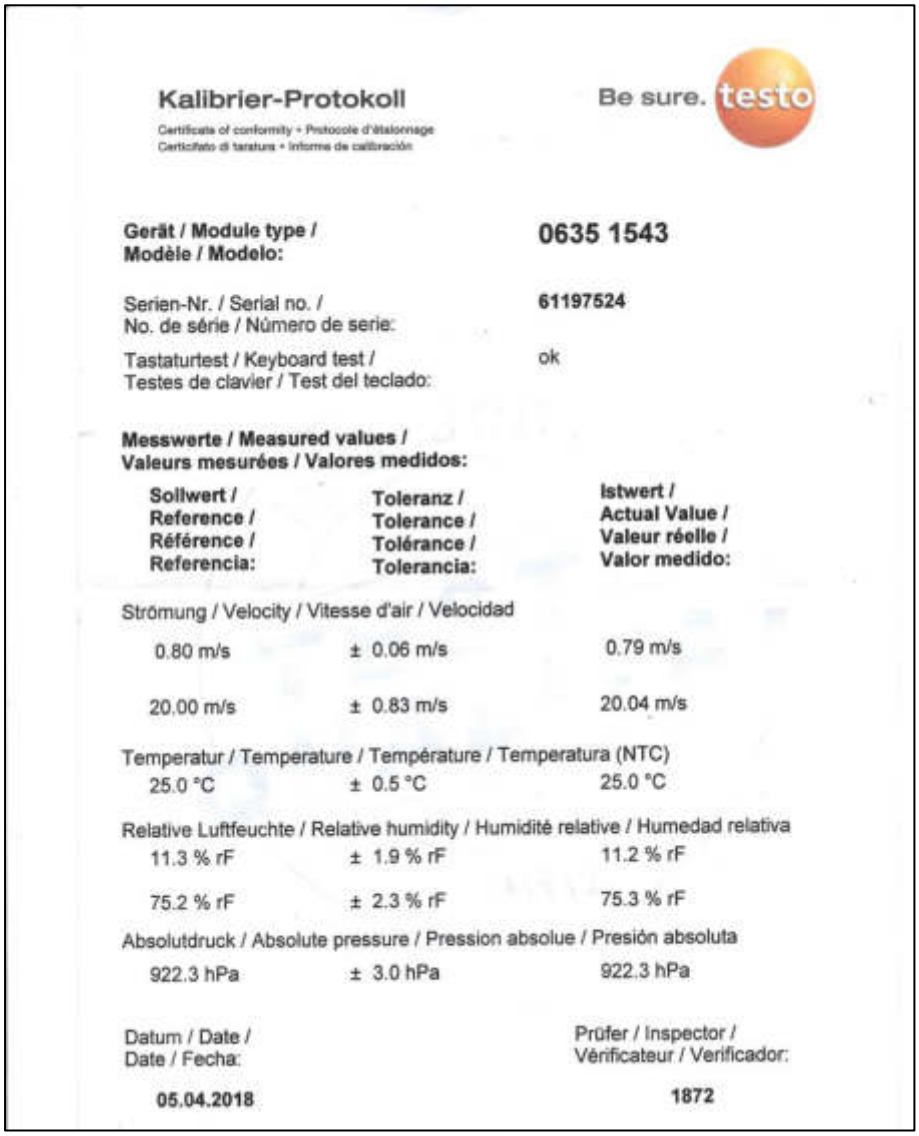
Nota. Ficha de datos testo 480, por Testo Perú, 2019, tomado de https://www.testo.com/es-PE/testo-480/p/0563-4800

3.6. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

Los equipos utilizados para el proyecto de tesis a presentar, fueron calibrados y certificados por la propia empresa Testo, dando la validación y confiabilidad para la ejecución del proyecto.

Figura 16.

Certificado de Calibración Equipo Testo 480



Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificato di taratura • Informe de calibración

Be sure. testo

Gerät / Module type / Modèle / Modelo:	**0635 1543**
Serien-Nr. / Serial no. / No. de série / Número de serie:	**61197524**
Tastaturtest / Keyboard test / Testes de clavier / Test del teclado:	ok

Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:

Sollwert / Reference / Référence / Referencia:	Toleranz / Tolerance / Tolérance / Tolerancia:	Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:
Strömung / Velocity / Vitesse d'air / Velocidad		
0.80 m/s	± 0.06 m/s	0.79 m/s
20.00 m/s	± 0.83 m/s	20.04 m/s
Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (NTC)		
25.0 °C	± 0.5 °C	25.0 °C
Relative Luftfeuchte / Relative humidity / Humidité relative / Humedad relativa		
11.3 % rF	± 1.9 % rF	11.2 % rF
75.2 % rF	± 2.3 % rF	75.3 % rF
Absolutdruck / Absolute pressure / Pression absolue / Presión absoluta		
922.3 hPa	± 3.0 hPa	922.3 hPa

Datum / Date / Date / Fecha:	Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificador:
05.04.2018	**1872**

Nota. Ficha de datos testo 480, por Testo Perú, 2019, tomado de https://www.testo.com/es-PE/testo-480/p/0563-4800

3.7. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1. Procesamiento de datos

En esta etapa se evaluará la información brindada por los datos de campo; para luego dar una confiabilidad adecuada al nivel de la investigación, donde se utilizará como soporte de software **Microsoft Excel, AutoCAD y Ventsim**.

3.7.2. Presentación de datos

Se detalla lo siguiente:

- Cuadros descriptivos de datos – Monitoreo en campo.
- Planos en diseño CAD de Puntos de Monitoreo de Ventilación.
- Cuadros descriptivos de Balances de Ventilación.

3.7.3. Levantamiento y monitoreo de estaciones ventilación

Mediante un proceso sistemático donde se evaluará las condiciones físicas y termo ambientales de la mina, se realizará un levantamiento del circuito de ventilación, delimitando tanto dirección y cantidad de aire en los puntos indicados por el operador.

Así también el proceso se desarrollará en los ingresos y salidas de aire de la mina (aforos), donde están incluidas bocaminas, chimeneas y ventiladores, dependiendo de las condiciones presentes de la mina.

3.7.4. Diseño de circuitos de ventilación y caracterización de ventiladores

En la etapa de diseño, se debe tener en cuenta toda mina donde dispone de un circuito de ventilación que proporciona aire fresco a las labores de operación y que eventualmente libera al medio ambiente al concluir su ciclo, ya sea por medios naturales, forzados o combinados.

Este proceso consiste en encausar y dirigir el aire a través de las labores de la mina mediante el diseño adecuado para la ventilación, que asegurará que los caudales de aire

fresco lleguen a las labores de producción, mientras que los de aire viciado salga de la mina evitando mezclarse y crear recirculación.

Un parámetro importante es la adecuada caracterización de sus ventiladores principales y secundarios, a partir de fichas técnicas del fabricante donde se elaboran las curvas operativas, considerado desde nivel de mar hasta su altura de trabajo.

3.7.5. Modelamiento, Simulación y Caracterización en Ventsim Design 5

A partir del levantamiento de ventilación inicial, y contando con una adecuada base de ventiladores, se dará inicio al levantamiento del diseño de la mina en el software, que nos brindará un modelo aproximado de la mina, el cual podrá ser calibrado ya sea desde parámetros de caudal de aire, presión y/o consumo de energía, y dependerá del grado de exactitud con la que se realice que se dispondrá de un modelo lo suficientemente fiable como para poder utilizarlo como base referencial para la proyección y ejecución inmediata de mejoras en el sistema de ventilación, brindando además la posibilidad de simular diversas situaciones en la mina, desde los cambios a partir de modificaciones en el diseño de la mina, evacuación de gases contaminados, detección de labores sin ventilación, hasta las posibilidades de la ocurrencia de un incendio al interior de la mina.

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

La cantidad de aire necesario para ventilar adecuadamente una mina se calcula en función de diferentes necesidades y parámetros establecidos (Anexo 38 del DS 024-2016-EM, y su modificatoria DS 023-2017-EM), teniendo como objetivo:

1) Satisfacer la necesidad vital mínima establecida, dando un cierto grado de confort a los trabajadores que laboran en interior mina.

2) Para diluir y trasladar los gases, polvos, humos y calor producidos en las operaciones mineras.

3) Dar las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de los equipos diésel dentro de la mina.

IV. RESULTADOS

4.1. Estudio del sistema de ventilación

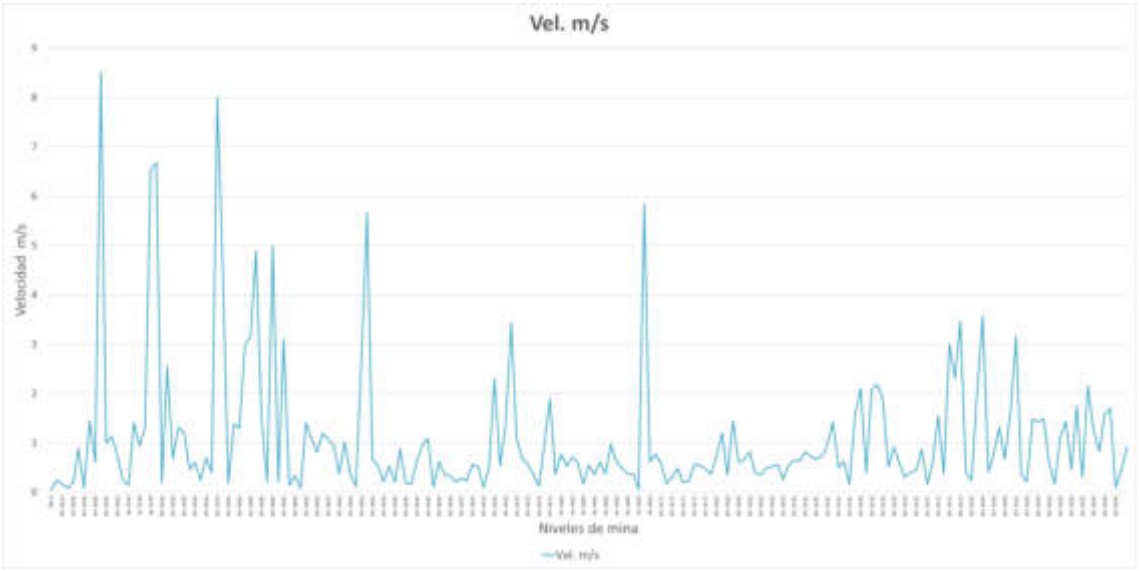
4.1.1. Medición de Estaciones de ventilación

Las estaciones de ventilación deben estar fijados en el terreno, tanto en galerías principales y secundarias, bifurcaciones, chimeneas y tajeos.

El uso de equipos de medición de alta precisión es un factor determinante al momento de definir las velocidades de aire, concentraciones de gases (O2, CO, CO2, NO2, entre otros), humedad relativa, temperaturas y presión barométrica en la mina, y así realizar el correspondiente cálculo (véase Anexo I).

Figura 17.

Análisis de velocidades de flujo de aire



Nota. Elaboración propia

Labores mineras con sección forma herradura

A no menos de cinco (5) metros de las intersecciones se deberán ubicar las estaciones, determinando labores con una sección uniforme, se debe evitar ubicar estación en labores curvas ya que existe mayor turbulencia.

Se toman 9 o más puntos en sección transversal, a fin de estabilizar la “sonda” y tener una medida precisa, siendo el margen de error permisible no mayor del 8%.

Correspondientemente se ubican se pintan en el hastial las estaciones y dirección del aire, o en su defecto se colocan placas reflectivas con los datos anteriormente mencionados.

Chimeneas con secciones circulares

Se ubicaron todas las estaciones en superficie e interior mina.

Para la toma de datos se procede de 6 a 12 puntos imaginarios en la sección transversal, dependiendo del tamaño, en un rango de tiempo de 10 segundos, evitando las corrientes de aire en superficie.

En ventiladores

Se tomaron medidas en ventiladores en superficie e interior mina.

Para la toma de datos de 8 a 12 puntos imaginarios, de acuerdo al tamaño de la sección transversal del ventilador, siendo la medición de 5 – 10 cm al ras de la campana de admisión del ventilador, evitando las corrientes de aire en superficie.

4.1.2. Cálculo de requerimiento de aire actual

Se realizó el cálculo del requerimiento de aire determinándose tanto para personal, consumo por madera, temperatura en los frentes de trabajo, equipos con motor petrolero y un porcentaje por fugas; dicho cálculo ha sido tomado de acuerdo al DS 024-2016-EM y el DS 023-2017-EM.

A. Requerimiento de personal

Para el cálculo de requerimiento de aire se considera todo el personal que trabaja por guardia en las labores, asimismo es importante un porcentaje de flotantes que normalmente es considerado como visitas o personal de supervisión temporal.

Tabla 7.

Cálculo de requerimiento de aire por personal

Personal	Total/ g	m3/min (*)	cfm
MINA CIA.	62	372	13,137
GEOLOGIA	15	90	3,178

ZICSA	85	510	18,011
UNICON	19	114	4,026
VICOR	8	48	1,695
FADECOM	3	18	636
ZEVALLOS	5	30	1,059
MDH	12	72	2,543
OTROS	30	180	6,357
SUBTOTAL	**239**	**1,434**	**50,642**
Flotantes (5%)	12	72	2,532
TOTAL	**251**	**1,506**	**53,174**

Q_{Tr}	**53,174**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

B. Requerimiento por madera

Para el consumo de madera no se registra la utilización de madera, por tanto, para el cálculo el requerimiento está considerado como valor 0.

Tabla 8.

Factor de producción de acuerdo al consumo de madera

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

Nota. Decreto Supremo 023-2017-EM, Anexo N° 38

$$Q_{Ma} = \text{0 TMH/mes} * 0.00 \frac{m^3}{min}$$

$Q_{Ma} =$	**0 cfm**

C. Requerimiento en labores de trabajo por temperatura

De acuerdo al monitoreo realizado en la mina, se registró 1 nivel de producción con temperaturas entre los 24 a 29°C.

Tabla 9.

Cálculo de requerimiento de aire por temperatura en las labores

TEMPERATURA °C	24 a 29	°C
# NIVELES	1	>23°C
VELOCIDAD MÍN (Vm)	30	m/min
AREA (Prom.)	19	m2
$Q_{Te} =$	**20,024**	**cfm**

Sólo se percibió temperaturas en ese rango en el Nv 4280.

Nota. Elaboración Propia

D. Requerimiento por equipo con motor petrolero

A partir del registro de los equipos que actualmente operan en la mina, se determina su disponibilidad mecánica y factor de utilización, a fin de determinar el caudal requerido.

Tabla 10.

Cálculo de requerimiento de aire por equipos con motor petrolero

Item	Eq.	Descripción	Cant	Pot (HP)	Disp. mec. (Dm) (%)	Fac. ut. (Fu) (%)	Factor por Altura (%)	m3/min	cfm	Dist. (%)
1	PERFORACIÓN	JUMBO S1D-01	1	97	96%	16%	87%	40	1,406	**0.16%**
2		JUMBO S1D-02	1	97	90%	7%	87%	16	566	**0.06%**
3		JUMBO T1D-01	1	74	92%	4%	87%	8	275	**0.03%**
4		JUMBO T1D-02	1	74	92%	3%	87%	5	176	**0.02%**
5		JUMBO T1D-03	1	74	93%	5%	87%	9	332	**0.04%**
6		JUMBO T1D-04	1	74	85%	6%	87%	9	325	**0.04%**
7		JUMBO JB-30	1	56	85%	10%	87%	12	425	**0.05%**
8		JUMBO JB-25	1	56	92%	14%	87%	18	641	**0.07%**
9		JUMBO JB-26	1	56	92%	17%	87%	23	807	**0.09%**
10		JUMBO JB-27	1	56	93%	14%	87%	19	686	**0.08%**
11		JUMBO JB-29	1	56	95%	9%	87%	13	451	**0.05%**
12		SIMBA SB-01	1	74	83%	5%	87%	7	257	**0.03%**
13		SIMBA SB-02	1	74	90%	4%	87%	6	225	**0.03%**
SUB TOTAL			**13**	**915**				**186**	**6,572**	**0.73%**
14	LIMPIEZA Y CARGUIO	SCOOP ST-01, 6Yd	1	249	85%	50%	87%	277	9,790	**1.09%**
15		SCOOP ST-02, 6Yd	1	249	91%	47%	87%	280	9,886	**1.10%**
16		SCOOP ST-03, 6Yd	1	249	90%	39%	87%	232	8,200	**0.92%**
17		SCOOP ST-05, 6Yd	1	249	87%	52%	87%	293	10,355	**1.16%**
18		SCOOP ST-08, 6Yd	1	279	94%	40%	87%	276	9,740	**1.09%**
19		SCOOP ST-09, 6Yd	1	279	96%	42%	87%	294	10,394	**1.16%**

20		SCOOP SC-19, 6Yd	1	280	86%	54%	87%	339	11,985	**1.34%**
21		SCOOP SC-39, 6Yd	1	280	86%	62%	87%	391	13,805	**1.54%**
22		SCOOP SC-41, 6Yd	1	279	92%	55%	87%	370	13,083	**1.46%**
23		SCOOP SC-42, 6Yd	1	279	90%	62%	87%	406	14,326	**1.60%**
24		SCOOP SC-43, 6Yd	1	279	91%	62%	87%	413	14,603	**1.63%**
25		SCOOP SC-44, 6Yd	1	279	92%	57%	87%	385	13,580	**1.52%**
26		SCOOP SC-45, 6Yd	1	279	92%	52%	87%	350	12,350	**1.38%**
27		SCOOP SC-46, 6Yd	1	279	94%	46%	87%	315	11,120	**1.24%**
28		SCOOP SC-47, 6Yd	1	279	94%	56%	87%	381	13,440	**1.50%**
SUB TOTAL			**15**	**4,069**				**5,002**	**176,658**	**19.73%**
29	ACARREO Y TRANSPORTE	VOLQUETE 58 Relleno	1	440	99%	67%	87%	763	26,957	**3.01%**
30		VOLQUETE 96 Relleno	1	440	97%	81%	87%	903	31,889	**3.56%**
31		VOLQUETE 97 Relleno	1	440	98%	62%	87%	699	24,688	**2.76%**
32		VOLQUETE 9 Mina	1	480	98%	62%	87%	758	26,765	**2.99%**
33		VOLQUETE 11 Mina	1	480	98%	53%	87%	649	22,913	**2.56%**
34		VOLQUETE 12 Mina	1	480	86%	46%	87%	498	17,604	**1.97%**
35		VOLQUETE 14 Mina	1	480	97%	61%	87%	745	26,305	**2.94%**
36		VOLQUETE 17 Mina	1	480	57%	37%	87%	265	9,372	**1.05%**
37		VOLQUETE 18 Mina	1	480	76%	48%	87%	454	16,019	**1.79%**
38		VOLQUETE 21 Mina	1	480	97%	55%	87%	662	23,377	**2.61%**
39		VOLQUETE 22 Mina	1	480	99%	65%	87%	804	28,392	**3.17%**
40		VOLQUETE 24 Mina	1	480	97%	59%	87%	716	25,278	**2.82%**
41		VOLQUETE 25 Mina	1	480	98%	61%	87%	743	26,250	**2.93%**
42		VOLQUETE Q-69 Zicsa	1	480	97%	18%	87%	212	4,491	**0.50%**
43		VOLQUETE Q-47 Zicsa	1	440	91%	35%	87%	368	7,789	**0.87%**
44		VOLQUETE Q-48 Zicsa	1	440	93%	33%	87%	351	7,428	**0.83%**
45		VOLQUETE Q-49 Zicsa	1	440	97%	38%	87%	422	8,938	**1.00%**
46		VOLQUETE Q-50 Zicsa	1	440	88%	10%	87%	101	2,149	**0.24%**
47		VOLQUETE Q-51 Zicsa	1	480	97%	36%	87%	436	9,238	**1.03%**
48		VOLQUETE Q-52 Zicsa	1	480	95%	31%	87%	367	7,783	**0.87%**
49		VOLQUETE Q-53 Zicsa	1	480	97%	25%	87%	303	6,415	**0.72%**
50		VOLQUETE Q-71 Zicsa	1	480	94%	39%	87%	457	9,684	**1.08%**
51		VOLQUETE Q-N Zicsa	1	480	94%	39%	87%	457	9,684	**1.08%**
SUB TOTAL			**22**	**10,280**				**11,676**	**369,726**	**41.29%**
51	SOSTENIMIENTO	MIXER BAJO PERFIL CAM107	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
52		MIXER BAJO PERFIL CAM110	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
53		MIXER BAJO PERFIL CAM177	1	174	94%	72%	87%	306	10,797	**1.21%**
54		MIXER BAJO PERFIL CAM180	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**
55		MIXER BAJO PERFIL CAM187	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
56		MIXER BAJO PERFIL CAM188	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**

57		MIXER BAJO PERFIL CAM193	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**
58		LANZADOR DE CONCRETO SHO-13	1	154	89%	35%	87%	125	4,422	**0.49%**
59		LANZADOR DE CONCRETO SHO-16	1	154	75%	52%	87%	159	5,601	**0.63%**
60		LANZADOR DE CONCRETO SHO-29	1	95	91%	55%	87%	124	4,383	**0.49%**
61		JUMBO EMPERNADOR EM-05	1	56	89%	21%	87%	27	959	**0.11%**
62		JUMBO EMPERNADOR EM-06	1	56	90%	22%	87%	29	1,026	**0.11%**
63		JUMBO EMPERNADOR EM-07	1	56	85%	22%	87%	28	978	**0.11%**
64		JUMBO EMPERNADOR EM-08	1	56	85%	19%	87%	24	846	**0.09%**
65		JUMBO EMPERNADOR EM-09	1	56	89%	7%	87%	9	330	**0.04%**
66		SCALER SL-05	1	56	81%	41%	87%	48	1,708	**0.19%**
67		SCALER SL-06	1	56	93%	49%	87%	67	2,364	**0.26%**
68		SCALER SL-07	1	56	92%	41%	87%	55	1,959	**0.22%**
SUB TOTAL			**18**	**2,069**				**2,753**	**97,238**	**10.86%**
69	AUXILIARES	SERVICE TRUCK CL-01	1	74	96%	12%	87%	22	762	**0.09%**
70		Elevador MT-01	1	95	96%	34%	87%	81	2,864	**0.32%**
71		Elevador MT-02	1	95	91%	40%	87%	90	3,174	**0.35%**
72		RETROEXCAVADORA Infraestructura vias lodos	1	300	90%	58%	87%	409	14,434	**1.61%**
73		MINICARGADOR Infraestructura vias lodos	1	73	90%	58%	87%	99	3,510	**0.39%**
74		MANITOU	1	95	94%	37%	87%	86	3,025	**0.34%**
75		TELEHANDLER DE PLUMA TELESCOPICA	1	74	96%	12%	87%	22	762	**0.09%**
76		CISTERNA - 2 V6O - 776	1	480	97%	38%	87%	462	16,308	**1.82%**
77		MOTONIVELADORA Infraestructura vias lodos	1	158	99%	50%	87%	204	7,209	**0.81%**
78		RODILLO Infraestructura vias lodos	1	156	99%	50%	87%	202	7,118	**0.79%**
79		Cisterna Hyundai V80 - 730	1	138	96%	28%	87%	97	3,419	**0.38%**
80		Camion Hyundai V9A-895	1	138	95%	38%	87%	130	4,592	**0.51%**
81		Grua Hyundai V9Q-877	1	138	97%	67%	87%	234	8,267	**0.92%**
SUB TOTAL			**13**	**2,013**				**2,136**	**75,443**	**8.43%**
82	LIVIANOS	Camioneta GEOLOGIA 1	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
83		Camioneta GEOLOGIA 2	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
84		Camioneta GEOLOGIA 3	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
85		Camioneta GEOMECANICA	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
86		Camioneta INFRAESTRUCTURA	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
87		Camioneta MANT. ELECTRICO	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
88		Camioneta MANT. MECANICO (inspección)	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
89		Camioneta MANT. EPIROC	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
90		Camioneta MANTTO EPIROC 1	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
91		Camioneta MEDIO AMBIENTE	1	174	100 %	2%	87%	9	321	**0.04%**

92		Camioneta MDH 1	1	174	100 %	45%	87%	204	7,217	**0.81%**
93		Camioneta MDH 2	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
94		Camioneta MDH 3	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
95		Camioneta MINA 1 Operaciones	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
96		Camioneta MINA 2 Operaciones	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
97		Camioneta MINA 3 Servicios	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
98		Camioneta MINA 4 Avances	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
99		Camioneta PLANEAMIENTO	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
100		Camioneta SEGURIDAD INDUSTRIAL 1	1	174	100 %	30%	87%	136	4,811	**0.54%**
101		Camioneta TOPOGRAFIA	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
102		Camioneta UNICON 1	1	174	100 %	46%	87%	208	7,345	**0.82%**
103		Camioneta UNICON 2	1	174	100 %	46%	87%	208	7,345	**0.82%**
104		Camioneta VICOR 1	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
105		Camioneta ZEVALLOS 1	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
106		Camioneta ZICSA 1 Zona alta	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
107		Camioneta ZICSA 2 Zona baja	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
108		Camioneta ZICSA 3 Residencia	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
109		Camioneta ZICSA 4 Topografía	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
110		Minibus Hyundai VCN-962 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
111		Minibus Hyundai VDL-967 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
112		Minibus Hyundai V9F 814 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
113		Custer DAJOR 1	1	170	96%	20%	87%	85	3,008	**0.34%**
114		Custer DAJOR 2	1	147	96%	20%	87%	74	2,601	**0.29%**
SUB TOTAL			**33**	**5,603**				**4,806**	**169,708**	**18.95%**
TOTAL			**114**	**24,949**				**26,560**	**895,343**	**100%**

$Q_{Eq} =$	**895,343**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

E. Requerimiento por fugas

De acuerdo a la normativa vigente, considera que se deberá multiplicar por un porcentaje de 15% para lo que son las fugas.

Tabla 11.

Cálculo de requerimiento de aire por fugas

PERSONAL	Q_{Tr}	53,174	cfm
MADERA	Q_{Ma}	0 cfm	cfm
TEMPERATURA	Q_{Te}	20,024	cfm
EQUIPOS	Q_{Eq}	895,343	cfm
SUBTOTAL	Q_{t1}	**968,541**	**cfm**
FUGAS	Q_{Fu}	**145,281**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

F. Requerimiento total de aire total

De acuerdo al cálculo se detalla el requerimiento total de aire actual, la suma de personal, madera, temperatura en las labores, equipos con motor petrolero y fugas.

Tabla 12.

Cálculo de requerimiento total de aire actual

Ítem	Requerimiento	Simbología	Valor	Unidad
1	PERSONAL	Q_{Tr}	53,174	cfm
2	MADERA	Q_{Ma}	0 cfm	cfm
3	TEMPERATURA	Q_{Te}	20,024	cfm
4	EQUIPOS DIESEL	Q_{Eq}	895,343	cfm
SUB TOTAL		Q_{T1}	**968,541**	**cfm**
5	FUGAS (15%)	Q_{Fu}	145,281	cfm
TOTAL		Q_{To}	**1,113,822**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

4.1.3. Balance y cobertura de aire actual

El balance y cobertura de aire se determinan a partir de los datos del requerimiento de aire por personal, consumo de madera, temperatura en las labores, equipos con motor petrolero, y fugas (15%); dichos valores se suman y se determina el caudal requerido total de aire para toda la mina, luego se procede a dividirlo entre el caudal de ingreso que tiene el circuito de ventilación, y entrega el valor de la cobertura. Asimismo, en el cuadro se muestra

Tabla 13.

Distribución de requerimiento de aire

Distribución Requerimientos	m3/min	cfm
QTr: Personas (239 trabajadores)	1,506	53,174
QMa: Consumo de Madera (<20%)	-	0 cfm
QTe: Temperatura en Labores (<24 °C)	567	20,024
QEq: Equipos Diesel (114 equipos; 24,949 HP)	25,353	895,343
Caudal Requerido QT1 = QTr+Qma+Qte+Qeq	**27,426**	**968,541**
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	4,114	145,281
Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu	**31,540**	**1,113,822**

Nota. Propia

Tabla 14.

Balance y cobertura de aire

Balance Total de Aire		
Caudal de Aire	**m3/min**	**cfm**
Total de aire requerido	31,540	1,113,822
Ingreso de aire	15,605	551,078
Salida de aire	15,484	546,807
Cobertura (%)		**49**
Déficit (cfm)		**562,745**

Nota. Propia

4.1.4. Consumo de energía actual

Se realizó el monitoreo en los tableros eléctricos para determinar el consumo energético en los ventiladores tanto principales, secundarios y auxiliares.

Para el caso estudio se considera un costo de energía unitario de 0.081 US$/Kw.

Tabla 15.

Consumo de energía por ventilación principal

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real Kw	Costo Energía US$/Kw-Hr	Costo Energía Anual US$/año	Dist %
1	V 300-2	ZITRON	ZVN 1-23-230/6	300,000	168.5	0.081	117,947	36%
2	VT150-1	TOMOCORP	ZVN 1-23-230/6	150,000	171.1	0.081	119,754	37%
3	V 120-1	AIRTEC	VAV-60-26.5-1750-IIA	120,000	124.4	0.081	87,044	27%
		Sub Total		**570,000**	**464**		**324,745**	**100%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 16.

Consumo de energía por ventilación secundaria

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real Kw	Costo Energía US$/Kw-Hr	Costo Energía Anual US$/año	Dist %
1	VR60-03	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	60.5	0.081	42,360	5%
2	V50-09	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	88.9	0.081	62,198	7%
3	V50-06	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	69.8	0.081	48,826	5%
4	V50-04	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	70.0	0.081	49,016	5%
5	V50-10	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	89.7	0.081	62,792	7%
6	V40-01	AIRTEC HURACAN	VAV-38-26.5-1750-11	40,000	51.6	0.081	36,124	4%
7	V30-10	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	39.8	0.081	27,873	3%
8	V50-13	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	81.3	0.081	56,925	6%
9	V50-07	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	74.1	0.081	51,827	6%
10	V50-03	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	65.9	0.081	46,109	5%
11	V50-02	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	74.8	0.081	52,323	6%
12	V50-01	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	72.1	0.081	50,467	6%
13	VR60-01	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	65.2	0.081	45,637	5%
14	V50-05	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	72.0	0.081	50,395	6%
15	VR60-02	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	65.1	0.081	45,568	5%
16	V50-12	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	90.8	0.081	63,514	7%
17	VZ50-02	INVENSAC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	74.3	0.081	51,995	6%
18	V50-11	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	85.9	0.081	60,099	7%
		Sub Total		**900,000**	**1292**		**904,047**	**100%**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 17.

Consumo de energía ventiladores auxiliares

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real Kw	Costo Energía US$/Kw-Hr	Costo Energía Anual US$/año	Dist %
1	VT30-02	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	42.6	0.081	29,845	4%
2	V30-02	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	44.6	0.081	31,194	4%
3	V5-03	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	8.8	0.081	6,189	1%
4	VT20-01	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	45.0	0.081	31,465	4%
5	V5-02	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	18.2	0.081	12,734	2%
6	V5-04	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	21.1	0.081	14,799	2%

7	V30-12	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	45.8	0.081	32,054	4%
8	V30-01	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	42.5	0.081	29,712	4%
9	V30-09	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	39.9	0.081	27,949	3%
10	V30-07	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	32.2	0.081	22,523	3%
11	V20-03	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	37.2	0.081	26,059	3%
12	V20-02	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	33.9	0.081	23,739	3%
13	V10-01	AIRTEC	VAV-23 1_4-18-3450-II-A	10,000	21.1	0.081	14,798	2%
14	V5-05	AIRTEC	VAV-18-14-3450-II-A	5,000	18.1	0.081	12,658	2%
15	V30-13	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	46.2	0.081	32,312	4%
16	V30-11	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	39.7	0.081	27,800	3%
17	V30-05	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	40.9	0.081	28,658	4%
18	VZ30-01	INVENSAC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	40.5	0.081	28,366	4%
19	V20-05	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	37.5	0.081	26,213	3%
20	VR30-02	REMOVEX AB	VAV-45-26.5-1750-II-B	30,000	64.6	0.081	45,215	6%
21	V30-14	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	28.0	0.081	19,608	2%
22	VR30-01	REMOVEX AB	VAV-45-26.5-1750-II-B	30,000	67.6	0.081	47,283	6%
23	VZ50-01	INVENSAC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	52.2	0.081	36,499	5%
24	VT20-02	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	36.8	0.081	25,758	3%
25	V20-01	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	32.2	0.081	22,517	3%
26	V30-08	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	30,000	38.3	0.081	26,800	3%
27	VT30-01	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	33.6	0.081	23,532	3%
28	VZ30-02	INVENSAC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	22.5	0.081	15,733	2%
29	V30-06	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	40.7	0.081	28,451	4%
30	VZ20-01	INVENSAC	VAV - 25 1/4-18-3450-II-A	20,000	39.5	0.081	27,621	3%
31	V30-04	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	44.0	0.081	30,807	4%
		Sub Total		**760,000**	**1155.8**		**808,892**	**100%**

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo a las tablas especificadas se tiene como resumen que el costo total de energía por ventilación es:

Tabla 18.

Resumen costo de energía global

Tipo	Total	Consumo (kW)	HP	US$/día	US$/mes	US$/año
Principal	3	464.03	622	902	27,062	324,745
Secundario	18	1,291.79	1,731	2,511	75,337	904,047
Auxiliar	31	1,155.82	1,549	2,247	67,408	808,892
TOTAL	**52**	**2,911.64**	**3,902**	**5,660**	**169,807**	**2,037,683**

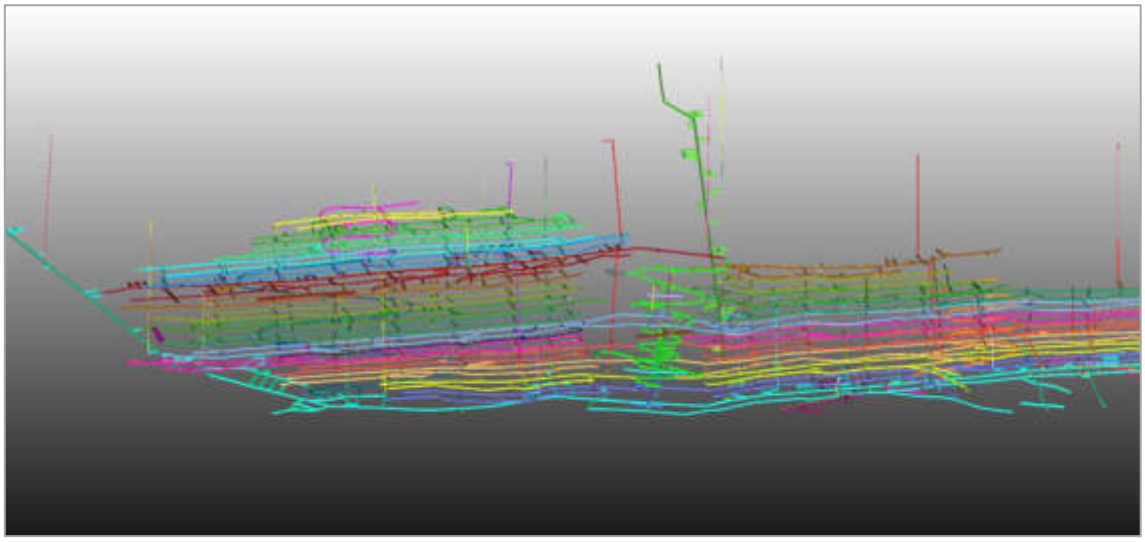
Nota. Elaboración Propia

4.1.5. Modelamiento del sistema

Una vez realizado los trabajos en campo se desarrolla el procesamiento de data input para que luego sea ingresada al programa computarizado de ventilación, para este caso se utilizará el software Ventsim Design 5, para realizar el modelamiento de los conductos de ventilación que comprende toda la mina, se incluye la construcción de cruceros, galerías, chimeneas convencionales, chimeneas por método Raise Borer y rampas de acceso.

Figura 18.

Vista isométrica 3D del modelamiento de la mina Inmaculada



Nota. Ventsim Design 5

4.1.6. Calibración del Modelo 3D

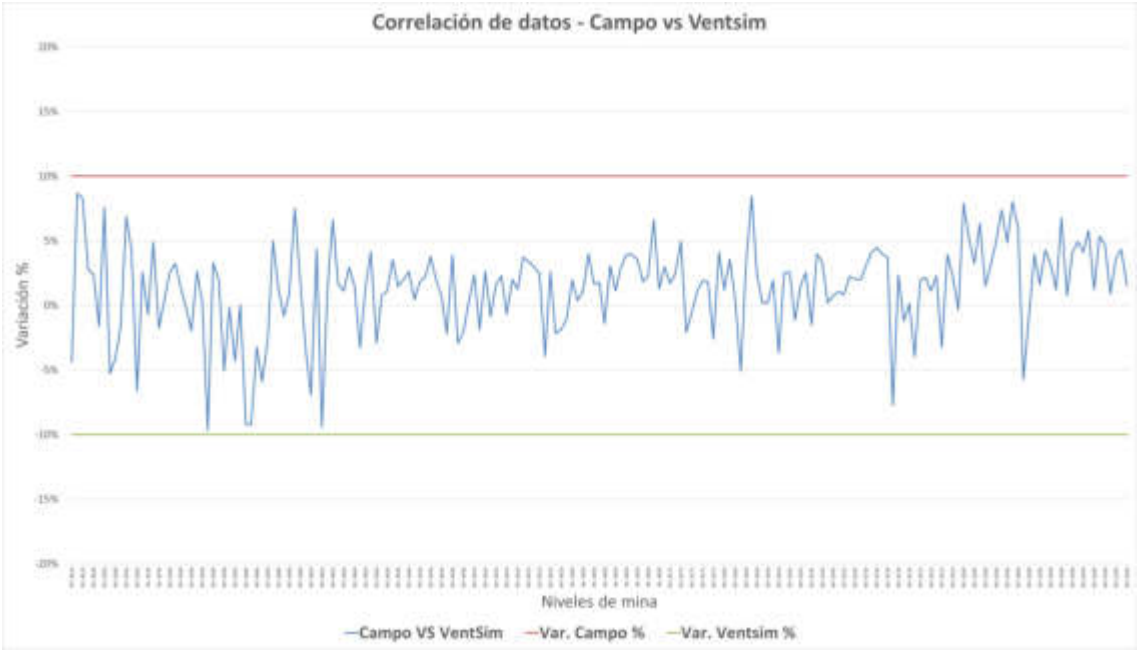
En este proceso se realizan la comparación de los datos obtenido en campo vs los datos simulados en el software, debiéndose obtener un valor aproximado a un porcentaje menor al 10%.

$$Correlación\ (\%) = \frac{(Flujos\ medidos\ en\ campo - Flujos\ medidos\ en\ modelo)}{Flujos\ medidos\ en\ campo} x100 < 10\%$$

Nota. Ventilación de minas subterráneas y túneles, Pablo Jiménez Ascanio 2002

Figura 19.

Correlación de datos de campo - Ventsim vs Campo



Nota. Elaboración propia

4.1.7. Cálculo de requerimiento de aire proyectado

El cálculo de requerimiento de aire proyectado, está en base a los proyectos planteados para la mejora por ventilación, es por ello que se ha determinado cuanto será la cobertura en el corto, mediano y largo plazo, garantizando condiciones favorables por ventilación.

Tabla 19.

Requerimiento de aire actual y proyectado

Ítem	Descripción	ACTUAL cfm	CORTO PLAZO cfm	MEDIANO PLAZO cfm	LARGO PLAZO cfm
1	Total de aire requerido	**1,113,822**	**1,125,294**	**1,125,294**	**1,125,294**
2	Ingreso de aire a mina	551,078	1,213,869	1,235,335	1,595,724
3	Salida de aire	546,807	1,284,632	1,285,627	1,635,569
4	Cobertura (%)	49%	108%	110%	142%
5	Déficit (cfm)	**-562,745**	**88,575**	**110,041**	**470,430**

Nota. Elaboración Propia

4.2. Presentación de resultados

4.2.1. Proyecto A Corto Plazo – 07 meses

A. Resumen de red

En el cuadro se muestra que el caudal de admisión es de 1,214,862 cfm, y el caudal de escape es de 1,286,060 cfm. Teniendo como antecedente el requerimiento actual de 1,125,294 cfm. Por lo tanto, se determina que la cobertura proyectada es 108%.

Figura 20.

Resumen de la red Proyecto Corto plazo

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	3: Esc. N°03 - NOOVA
Todos los conductos de aire	10040
Actual etapa conductos	4473 y 398 Exclusión
Longitud total	86,669.7 m
Caudal de aire total de admisión	1,214,862 cfm
Caudal de aire total de escape	1,286,060 cfm
Flujo de masa total	425.15 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00530 Ns²/m8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00898 Ns²/m8

Nota. Ventsim Design 5

B. Consumo de energía

El consumo de energía se ve incrementado en un 0.2% (potencia instalada actual 3,983.2 HP, potencia instalada proyectada 3,994.7 HP, debido a que incrementarán ventiladores principales, a fin de lograr una cobertura del 100%.

En el costo de energía actual se contempla US$ 2,107,241 y proyectado de US$ 2,113,723 determinándose un aumento de un 0.2% (incremento de US$ 6,482).

Figura 21.

Resumen de potencia instalada y costo de energía-Proyecto Corto Plazo

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	2,474.8 hp Total
	516.6 hp Chimenea
	945.3 hp Conducir
	1,012.9 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	**3,994.7 hp**
Costo de energía anual de la red	**$ 2,113,723**
Eficiencia de la red	**62.0 %**
Que consta de ..	
48 Ventiladores	3,994.7 hp
0 Presiones fijadas	0.0 hp
0 Flujos fijados	0.0 hp
0 Refrigeración	0.0 hp

Nota. Ventsim Design 5

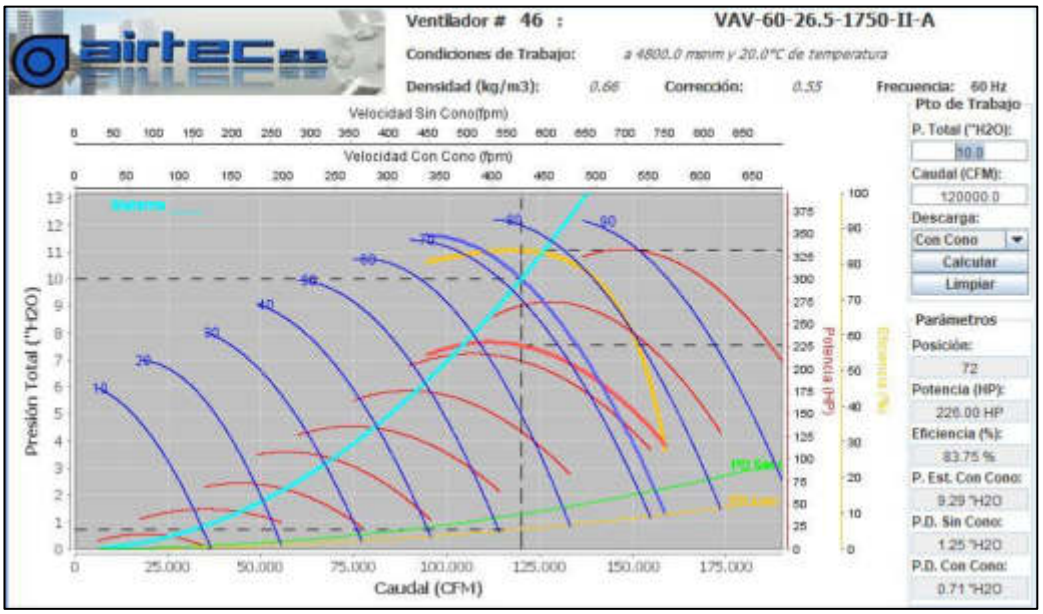
C. Ventiladores Proyectados – Escenario N°03

Se plantea la instalación de un ventilador de 120Kcfm en la cabeza de RB 04 (diámetro de 1 m, forma circular), para ello se utilizó el soporte del software de caracterización de ventiladores AIRTEC. Se propone que el ventilador extraiga el aire viciado en los niveles 4460, 4440, 4420, 4400, 4375, 4360, 4330.

FAN 120,000 cfm – RB 06

Figura 22.

Ventilador caracterizado de 120,000 cfm – RB 06

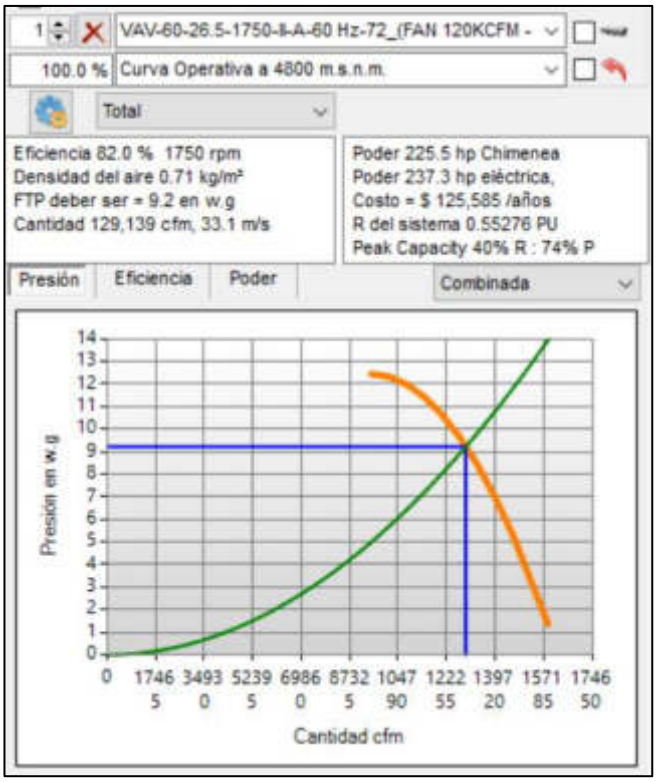


Nota. Ventsim Design 5

En Ventsim

Figura 23.

Ventilador de 120,000 cfm, en Ventsim- RB 06

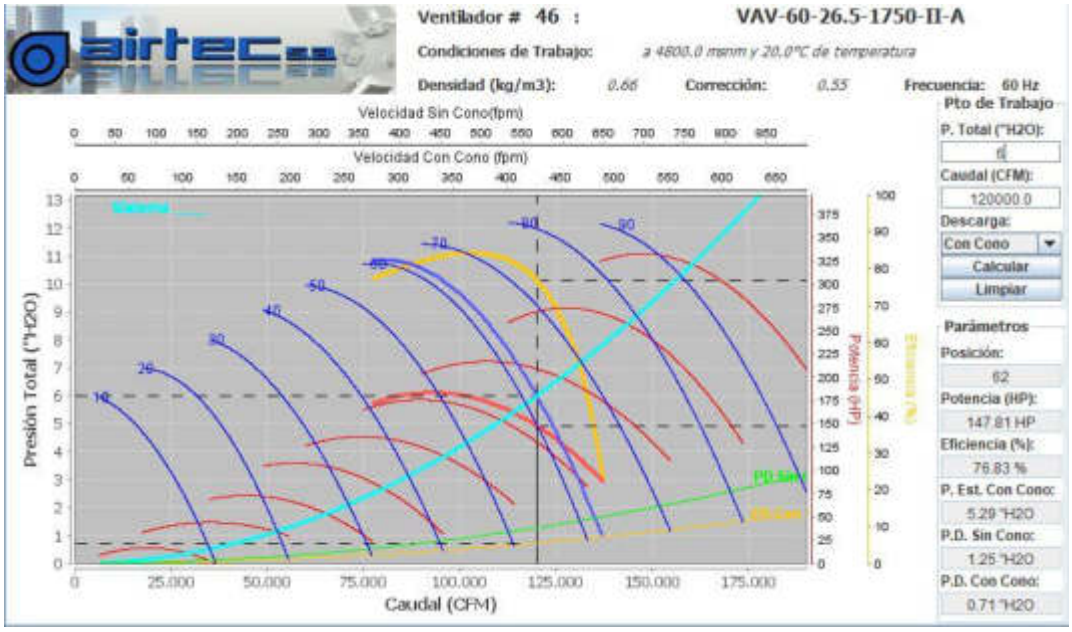


Nota. Ventsim Design 5

FAN 120,000 cfm – RB 12

Figura 24.

Ventilador caracterizado de 120,000 cfm – RB 12

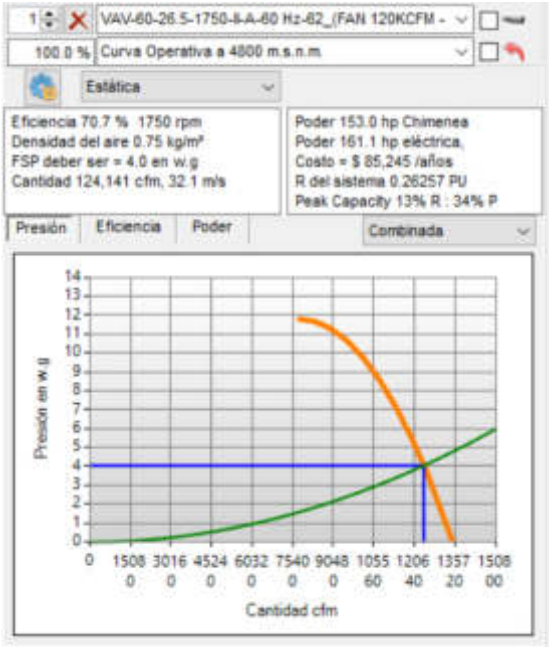


Nota. Ventsim Design 5

En Ventsim

Figura 25.

Ventilador de 120,000 cfm, en Ventsim- RB 12



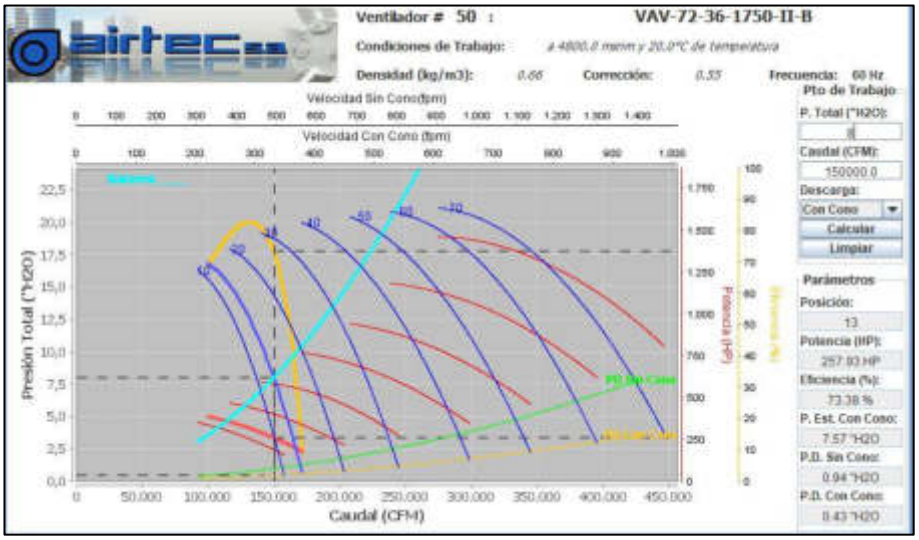
Nota. Ventsim Design 5

FAN 150,000 cfm

Así también, se instalaría dos ventiladores de 150,000 cfm en la cabeza del RB 02 (diámetro de 1.5 mts, forma redonda), para ello se utilizó el soporte del software de caracterización de ventiladores AIRTEC.

Figura 26.

Ventilador caracterizado de 100,000 cfm

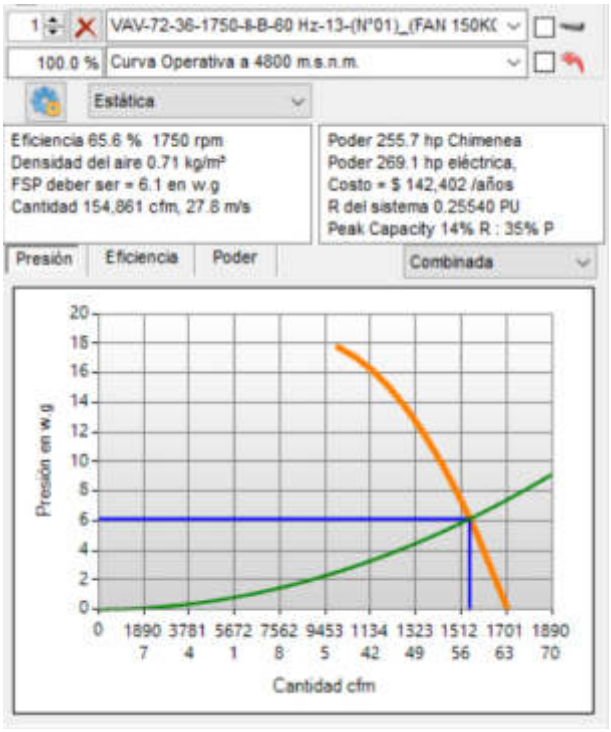


Nota. Ventsim Design 5

En Ventsim

Figura 27.

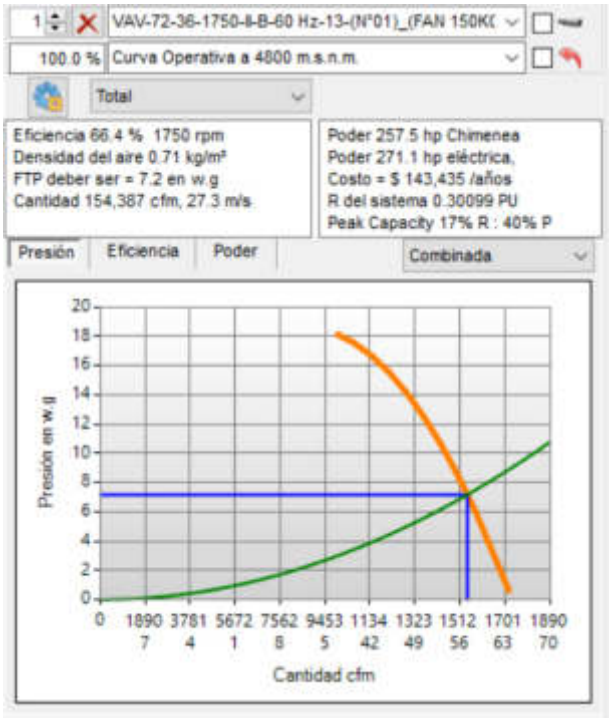
Ventilador N°01 de 150,000 cfm, en Ventsim



Nota. Ventsim Design 5

Figura 28.

Ventilador N°01 de 150,000 cfm, en Ventsim



Nota. Ventsim Design 5

D. Flujo de inversión

Se contempla una inversión de US$ 3’135,627, siendo un plan para 07 meses aproximadamente, dando como resultado la adquisición de 03 ventiladores principales (02 ventilador de 150,000 cfm y 01 ventilador de 120,000 cfm) a fin de cubrir el requerimiento de aire necesario para la mina.

Tabla 20.

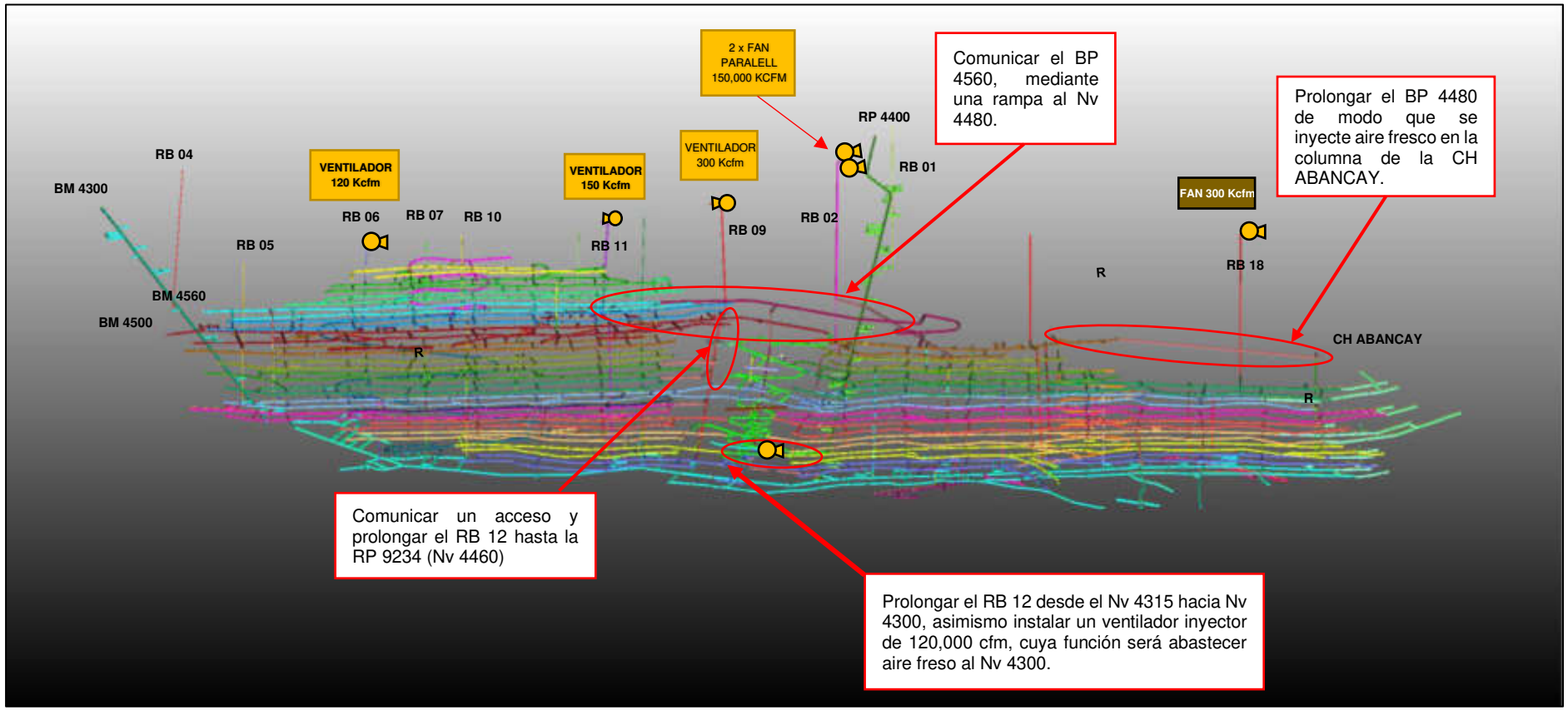
Flujo de inversión Plan a Corto Plazo

FLUJO DE INVERSIÓN - PLAN A CORTO PLAZO																	
Item	**Descripción**	**Detalles**	**Cant.**	**Trabajo a desarrollar**	**Nivel**	**Zona**	**Veta**	**Tipo**	**Sección (mts)**	**Forma**	**Gradiente**	**u/m**	**long.**	**Incl.**	**Área (m2)**	**P.U. (US$/um)**	**Total (US$)**
3.1	**Plan de avances**																
3.1.1	BP 4480	Comunica NV 4480 con CH Abancay	1		4480	Norte	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	343.6			1,895.00	651,122
3.1.2	BY PASS	Comunica Nv 4440 hacia RB 02	1	en acceso a RB 12 A	4440	Norte	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	384.6			1,895.00	728,817
3.1.3	BP 4440	Comunica a RB 09	1		4440	Sur	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	105.7			1,895.00	200,302
3.1.4	BP 4420	Comunica a RB 09	1		4420	Sur	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	102.1			1,895.00	193,480
3.1.5	BP 4375	Comunica a RB 09	1		4375	Sur	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	80.2			1,895.00	151,979
3.1.6	AC RB 12	Comunicar acceso en Nv 4560 y Nv 4300	1	Comunicar la prolongación de RB 12	4560/4300	Central	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	121.3			1,895.00	229,864
3.1.7	ACC CH 6302	Comunicar prolongación CH 6302	1		4560	Sur	Angela	Labor horizontal	4.5 x 4.0	Baul	0°	m	30.3			1,895.00	57,419
3.1.8	CH 6302	Prolongación desde Nv 4560 hasta Nv 4500	1		4560/4500	Sur	Angela	Labor vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	38.2	90°		1,800.00	68,760
3.1.9	RB 12 (Tramo 1)	Prolongación desde Nv 4560 hasta Nv 4460	1		4560/4460	Sur	Angela	Labor vertical	3.0	Circular	-	m	61.7	60°		2,500.00	154,250
3.1.10	RB 12 (Tramo 2)	Prolongación desde Nv 4315 hasta Nv 4300	1		4315/4300	Sur	Angela	Labor vertical	3.0		-	m	14.4	60°		2,500.00	36,000
Sub Total US$ PLAN DE AVANCES																	**2,471,991**
3.2	**Plan de taponeo**																
3.2.1	Tapon N°01	BP en el Nv 4480 (V 10 y V11)	1	Tapón concreto al 100%	4480	Norte	Angela		5.07 x 4.27	Baul					20.3	2,727.27	2,727
3.2.2	Tapon N°02	SN en el Nv 4480 (V 10 y V11)	1	Tapón concreto al 100%	4480	Norte	Angela		4.43 x 4.87	Baul					23.9	2,727.27	2,727
3.2.3	Tapon N°03	Acceso a CH 7016	1	Tapón concreto al 100%	4480	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.4	Tapon N°04	Acceso a CH 7258	1	Tapón concreto al 100%	4480	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.5	Tapon N°05	Acceso a RB 13	1	Tapón concreto al 100%	4480	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.6	Tapon N°06	Acceso a OP 8657	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.7	Tapon N°07	Acceso a RB 06	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.8	Tapon N°08	Acceso a RP 8707	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.9	Tapon N°09	Acceso a RB 07	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.10	Tapon N°10	Acceso a RB 10	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.11	Tapon N°11	Acceso a OP 8924	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.12	Tapon N°12	Acceso a RB 11	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.13	Tapon N°13	Acceso a RB 08	1	Tapón concreto al 100%	4560	Norte	Angela		3.7 x 3.7	Baul					12.8	2,727.27	2,727
3.2.14	Tapon N°14	Acceso a RP 8707	1	Tapon hermetico con puerta de acceso	4500	Sur	Angela		4.5 x 4	Baul					16.9	2,727.27	2,727
3.2.15	Tapon N°15	Acceso a OP 8924	1	Tapón concreto al 100%	4500	Sur	Angela		4.5 x 5	Baul					16.9	2,727.27	2,727
3.2.16	Tapon N°16	RB 11	1	Regulador de 3 m2	4500	Sur	Angela		4.5 x 6	Baul					16.9	2,727.27	2,727
Sub Total US$ PLAN DE TAPONEO																	**43,636**
2.3	**Ventiladores**																
2.3.1	Fan 120,000 cfm	Ubicado en cabeza del RB 06	1		Superficie	Norte	Angela										180,000
2.3.3	Fan 150,000 cfm	Ubicado en cabeza del RB 02	1		Superficie	Norte	Angela										220,000
2.3.4	Fan 150,000 cfm	Ubicado en cabeza del RB 02	1		Superficie	Norte	Angela										220,000
Sub Total US$ COMPRA DE VENTILADORES																	**620,000**
Sub Total US$ PLAN A CORTO PLAZO																	**3,135,627**

E. Plan de ejecución en Ventsim

Figura 29.

Plan de ejecución de ventilación - Proyecto a Corto Plazo



Nota. Ventsim Design 5

4.2.2. Proyecto Mediano Plazo (2019-2020)

El plan de minado a mediano plazo se considera dentro del año 2019 a 2020 (01 año), teniendo en cuenta el desarrollo de:

- Veta Bárbara
- Veta Millet
- Veta Divina

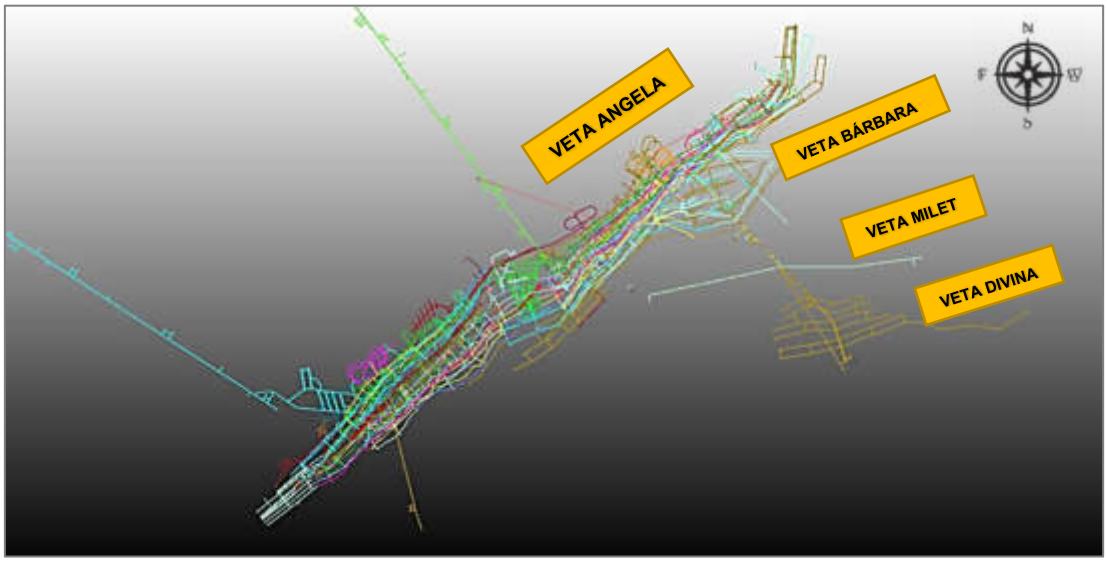
A. Zona Norte – Veta Angela / Veta Bárbara, Veta Milet, Veta Divina

En el plan de minado proyectado por la mina, se tiene referenciado lo siguiente:

- El desarrollo de RP 6878 y RP 7292 que darán cabida a 06 niveles de producción (2019-2020), teniendo como necesidad prioritaria la construcción de chimeneas de ingreso y salida de aire.
- Así también se plantea el desarrollo del RB 21, donde se propone instalar un Ventilador de 300,000 cfm, con una potencia de 350 HP.

Figura 30.

Vista en planta de INMACULADA proyectada 2019-2020



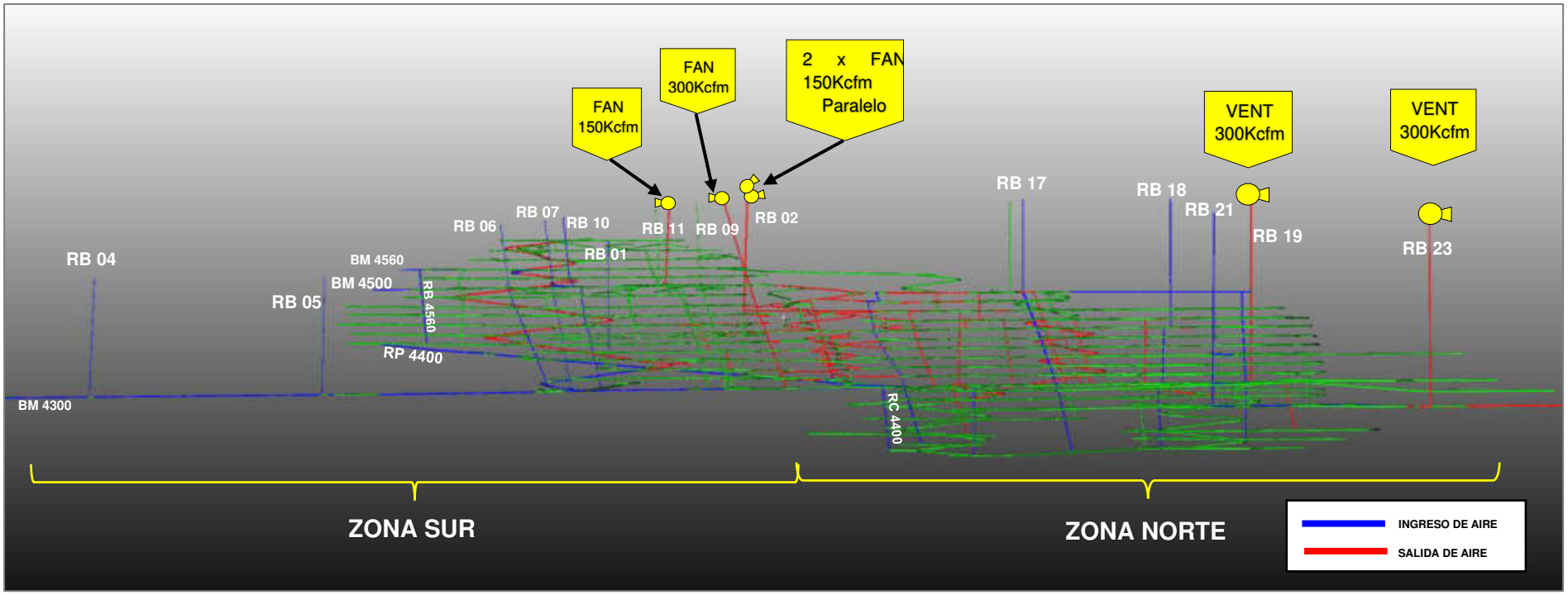
Nota. Ventsim Design 5

B. Plan de ejecución

Se tiene como objetivo dar calidad de aire a la mina para la zona Norte (Veta Angela – Zona Norte, Veta Bárbara, Millet y Divina), planteando como ejes de ingreso de aire fresco RC 4400, RB 17 (desde Nv 4480 a Superficie), RB 18, RB 21, asimismo con las salidas de aire RB 19, RB 23.

Figura 31.

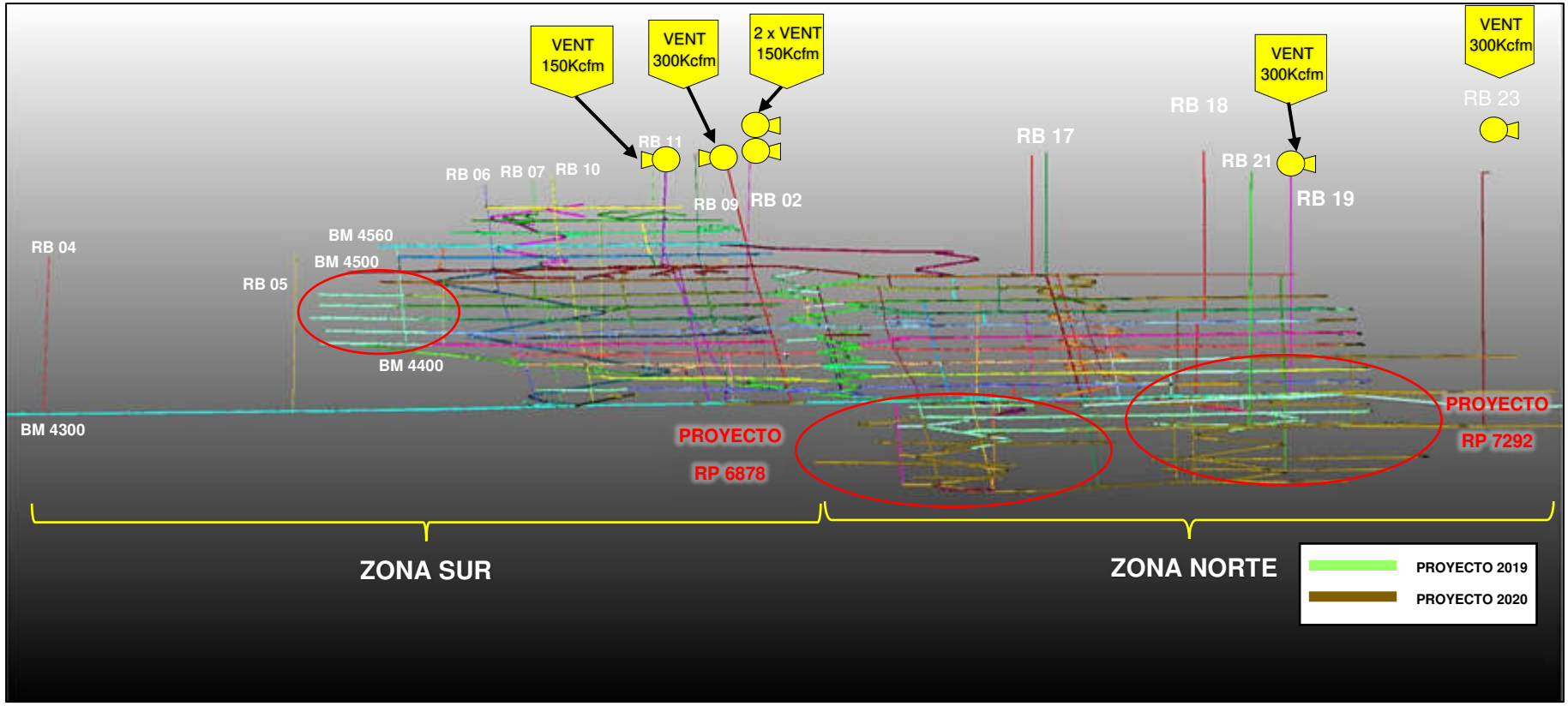
Vista en perfil INMACULADA proyectado 2019-2020 – ejes de ingreso y salida



Nota. Ventsim Design 5

Figura 32.

Vista perfil de la mina Inmaculada proyectado 2019-2020 – circuito de ventilación



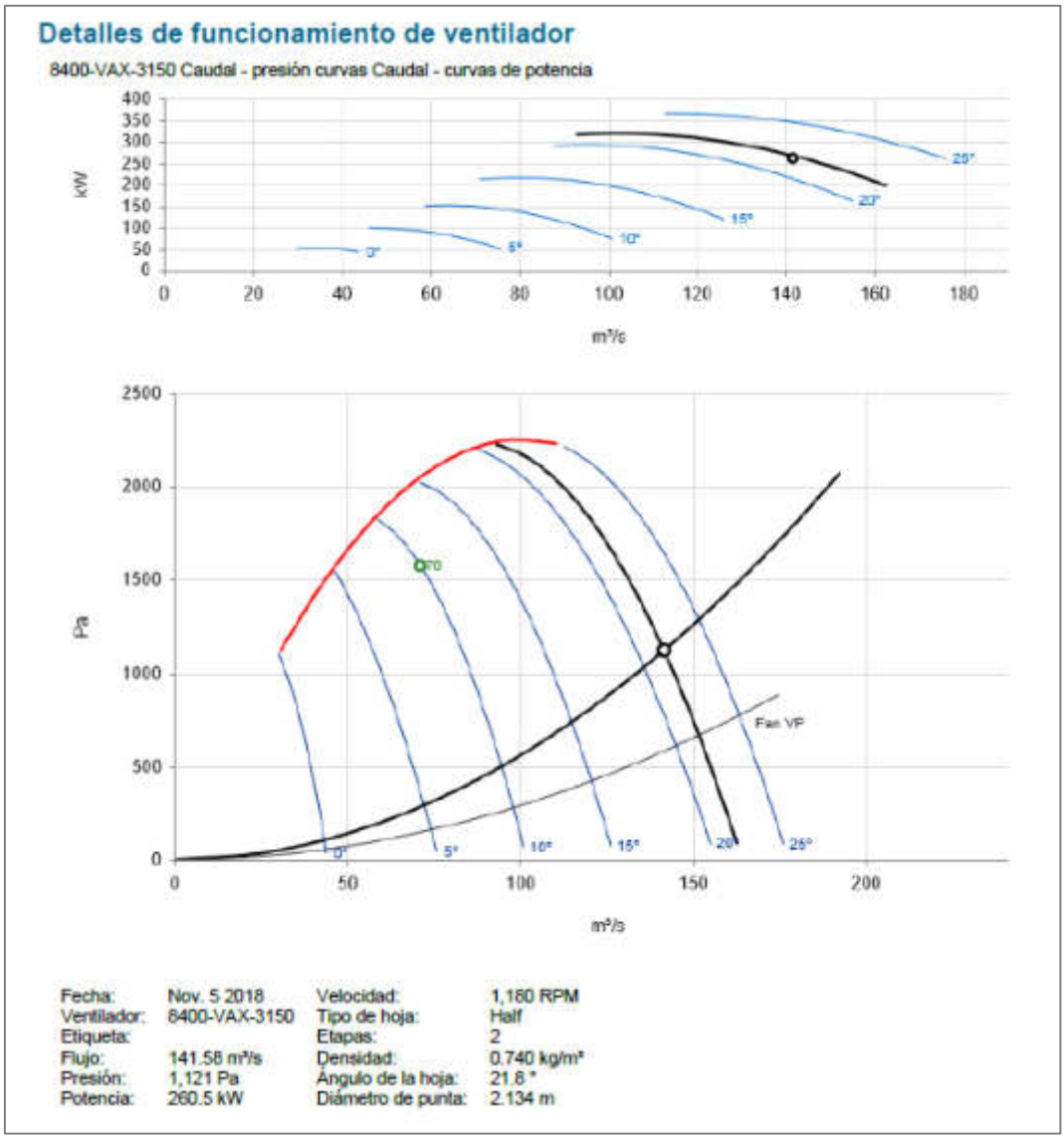
Nota. Ventsim Design 5

C. Ventiladores Propuestos

Se instalará un ventilador extractor de 300,000 cfm, teniendo como ubicación el RB 21 (2019 primer semestre), de acuerdo al avance en la Veta Millet se plantea la reubicación de dicho ventilador en el RB 23 (inicios del 2020), así designando al RB 21 como ingreso de aire fresco para el desarrollo de las zonas ya mencionadas.

Figura 33.

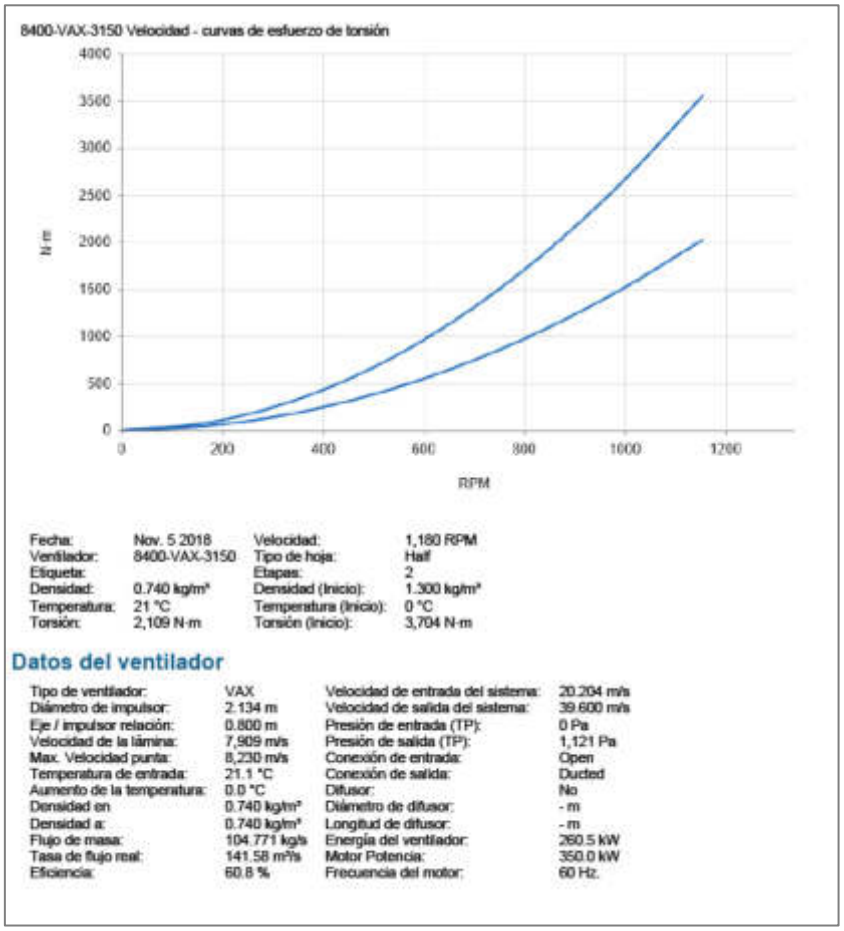
Curva característica de ventilador 300,000 cfm – Sección 1 de 2



Nota. Ficha Técnica HOWDEN

Figura 34.

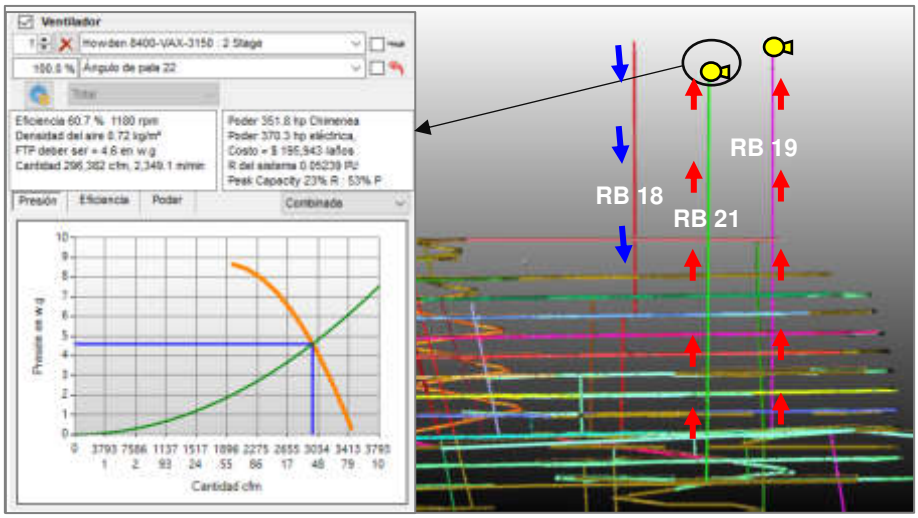
Curva característica de ventilador 300,000 cfm – Sección 2 de 2



Nota. Ficha Técnica HOWDEN

Figura 35.

Curva de operación ventilador 300,000 cfm en Ventsim - RB 21



Nota. Ventsim Design 5

D. Flujo de inversión

De acuerdo al plan proyectado desarrollar una labor de ingreso de aire, asimismo instalación de ventiladores:

- RC 4400, comunica en RP 4400 (Ingreso de aire fresco)
- RB 4560, comunica desde el NV 4560 hacia Nv 4375 (Ingreso de aire fresco)
- 01 ventilador de 300,000 cfm

Tabla 21.

Flujo de inversión – Proyecto Mediano Plazo

MEDIANO PLAZO 2019-2020																	
VETA MILET / VETA ANGELA / VETA BÁRBARA																	
Item	Descripción	Detalles	Cant.	Trabajo a desarrollar	Nivel	Zona	Veta	Tipo	Sección (mts)	Forma	Gradiente	u/m	long.	Incl.	Área (m2)	P.U. (US$/um)	Total (US$)
1.1	**Plan de avances**																
1.1.1	RC 4400	Nv 4300 hacia niveles de profundización	1	Desarrollo de chimenea	Nv 4300 / Prof.	Norte	Angela	Raise Climber	3.0 x 3.0	Cuadrada	-	m	183.2	71°	9.0	1,800.00	329,760
1.1.2	RB 4560	Nv 4560 hasta Nv 4375	1	Desarrollo de chimenea	Nv 4560 / Nv 4375	Sur	Angela	Raise Borer	3.1	Circular	-	m	150.0	82°	7.5	2,500.00	375,000
Sub Total US$ PLAN DE AVANCES																	**704,760**
1.2	**Ventiladores**																
1.2.1	Ventilador 300,000 cfm	Ubicado en RB 21, posteriormente en RB 23	1	Instalación de ventilador	Superficie											537,946	537,946
Sub Total US$ COMPRA DE VENTILADORES																	**537,946**
Sub Total MEDIANO PLAZO US$																	**1,242,706**

De acuerdo a la tabla, se establece una inversión para el avance del RC 4400 y el RB 4560 de US$ 704,760, instalación de 01 ventilador de 300,000 cfm de US$ 537,946. Asimismo, se da un monto total de **US$ 1,242,706**.

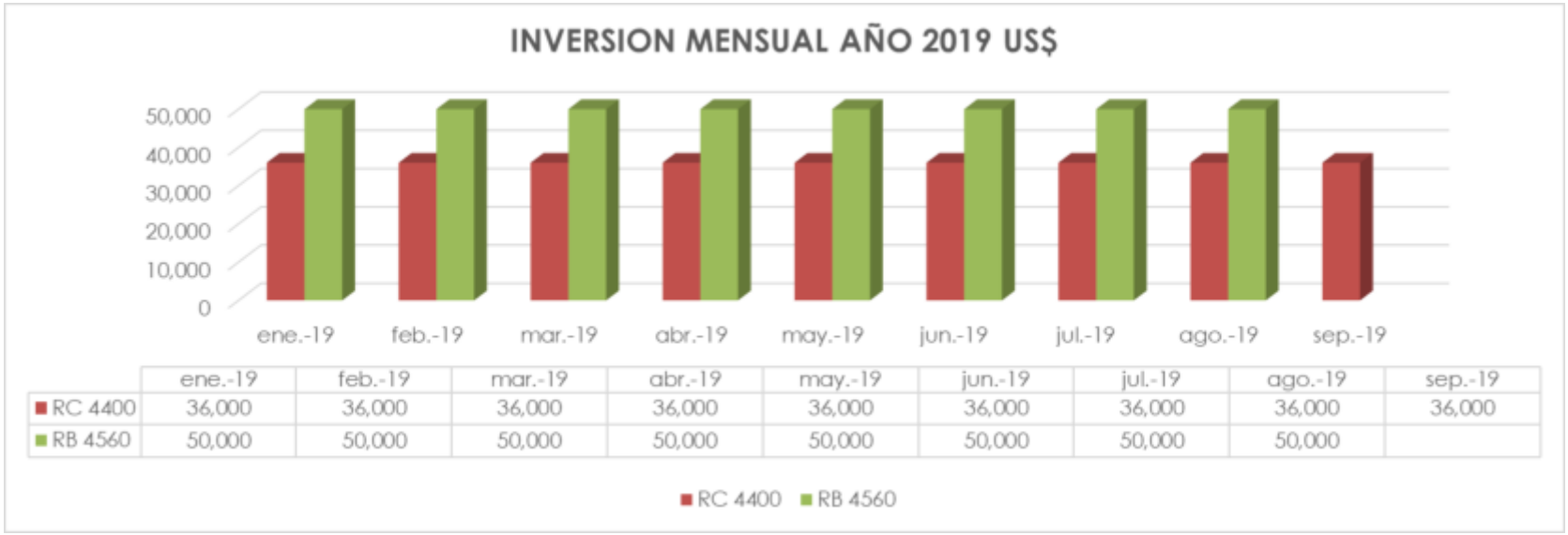
Tabla 22.

Flujo de inversión Mensual 2019

			INVERSION MENSUAL AÑO 2019 US$									
Avan./ Mes	**Meses**	**Días**	**ene-19**	**feb-19**	**mar-19**	**abr-19**	**may-19**	**jun-19**	**jul-19**	**ago-19**	**sep-19**	**TOTAL**
20	9	275	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	**329,760**
20	8	225	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000		**375,000**
												704,760

Figura 36.

Flujo de inversión mensual por 2019



	ene.-19	feb.-19	mar.-19	abr.-19	may.-19	jun.-19	jul.-19	ago.-19	sep.-19
RC 4400	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000
RB 4560	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	

E. Resumen de la Red (2019-2020)

En el sistema de ventilación proyectado a los años 2019-2020, en el resumen de la red se obtiene un caudal de admisión de 1,235,335 cfm, caudal de escape de 1,285,627 cfm; asimismo en base a su requerimiento proyectado que será estimado en base al **Balance y cobertura actual del Estudio Fase 1** siendo de **1,125,294** cfm (requerimiento que debe mantenerse en el plazo de 2019 – 2020), por consiguiente la cobertura sería de **110%,** con un superávit de **108,606 cfm.**

Figura 37.

Resumen de la red – Mediano Plazo

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	6: Proyecto 2019_2 SEM
Todos los conductos de aire	11860
Actual etapa conductos	5528 y 399 Exclusión
Longitud total	120,957.8 m
Caudal de aire total de admisión	1,235,335 cfm
Caudal de aire total de escape	1,285,627 cfm
Flujo de masa total	430.03 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00312 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00601 PU

Nota. Ventsim Design 5

F. Resumen Potencia Instalada y Costo de Energía

De acuerdo a la Ilustración 8, se tiene que la potencia eléctrica es de 3,551.8 HP (Considerándose los ventiladores actuales y proyectados). El costo de energía anual de la red es US$ 1,879,378.

Figura 38.

Resumen de la potencia – Mediano Plazo

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,895.9 hp Total
	349.9 hp Chimenea
	635.1 hp Conducir
	910.9 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	**3,551.8 hp**
Costo de energía anual de la red	**$ 1,879,378**
Eficiencia de la red	**53.4 %**

Nota. Ventsim Design 5

G. Cobertura Mediano Plazo (2019 – 2020)

En el proyecto a mediano plazo, se debe tener en cuenta focalizar los puntos de explotación, a fin de poder distribuir de forma ordenada el caudal para los tajos de producción. Definiendo lo siguiente:

a. Veta Angela – Zona Norte

- **Ingresos de aire:** RB 17, RB 18, RP 4400, RB 01, BM 4560, BM 4300
- **Salidas de aire:** RB 19, RB 02

b. Veta Angela – Zona Sur

- **Ingresos de aire:** BM 4300, RB 04, RB 05, RB 06, RB 07, RB 10, BM 4500, BM 4560 (RB 4560).
- **Salidas de aire:** RB 11, RB 09.

c. Veta Bárbara, Milet y Divina

- **Ingresos de aire:** RB 21, 2 x FAN 60,000 cfm
- **Salidas de aire:** RB 23

Tabla 23.

Cobertura de aire por zonas de producción – Mediano Plazo

		INGRESOS DE AIRE		SALIDAS DE AIRE		REQ. AIRE	Cobertura
ÍTEM	VETA	Labor	Caudal (cfm)	Labor	Caudal (cfm)	cfm	%
1	VETA ANGELA - NORTE	RB 17	86,859	RB 19	253,402		
		RB 18	70,495	RB 02	300,707		
		RP 4400	142,957				
		RB 01	10,110				
		BM 4560	85849				
		BM 4300	96,273				
SUBTOTAL VETA ANGELA - NORTE			**492,543**		**554,109**	**450,000**	**109%**
2	VETA ANGELA - SUR	BM 4300	64,690	RB 11	115,094		
		RB 04	16,920	RB 09	307,591		
		RB 05	9,476				
		RB 06	13,912				
		RB 07	14,086				
		RB 10	13,043				
		BM 4500	211,555				
		BM 4560	133,598				
SUBTOTAL VETA ANGELA - SUR			**477,280**		**422,685**	**450,000**	**106%**
3	VETA BÁRBARA, MILET Y DIVINA	RB 21	140,096	RB 23	268,621		
		2 x FAN 60Kcfm	120,000				
SUBTOTAL VETA BÁRBARA, MILET Y DIVINA			**260,096**		**268,621**	**250,000**	**104%**
TOTAL GLOBAL			**1,229,919**		**1,245,415**	**1,150,000**	**107%**

4.2.3. Proyecto a Largo Plazo (2020-2022)

El plan de minado a largo plazo se considera dentro del año 2020 a 2022 (03 años), teniendo en cuenta el desarrollo de:

- Veta Martha (Zona Central)
- Veta Lucy (Zona Sur Este)

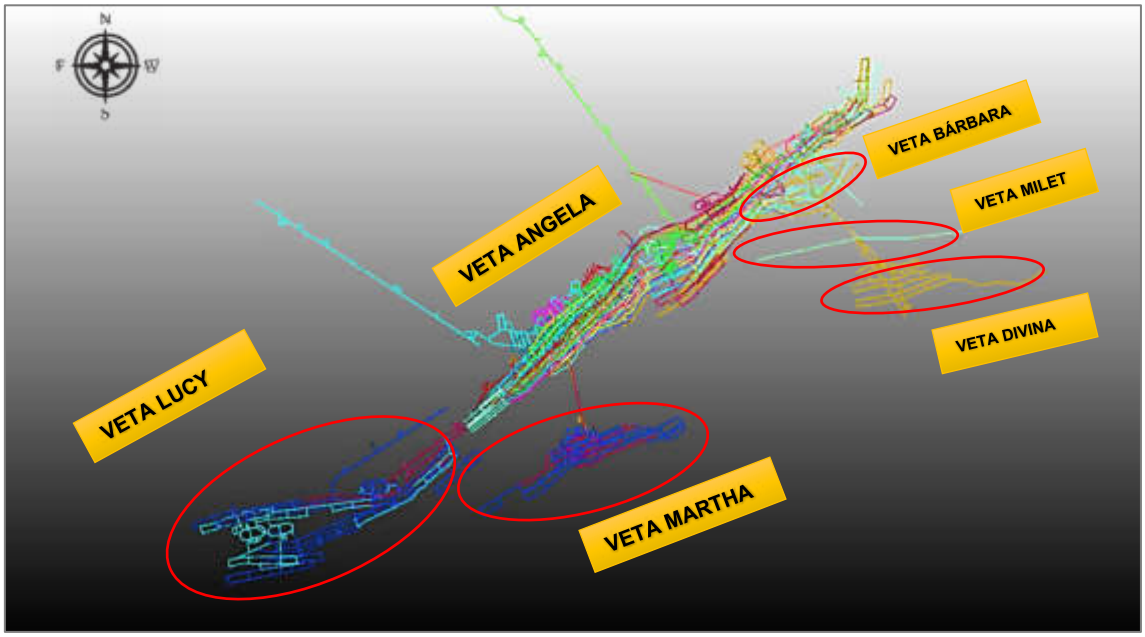
A. Zona Veta Martha / Veta Lucy

En el plan de minado proyectado por la mina, se tiene referenciado lo siguiente:

- Zona Martha, se planifica 02 ejes principales, 01 ingreso de aire y 01 salida de aire.
- Zona Lucy, se planifica 07 ejes principales, 03 ingresos de aire y 04 salidas de aire.

Figura 39.

Vista en planta diseño proyectado a mina Inmaculada



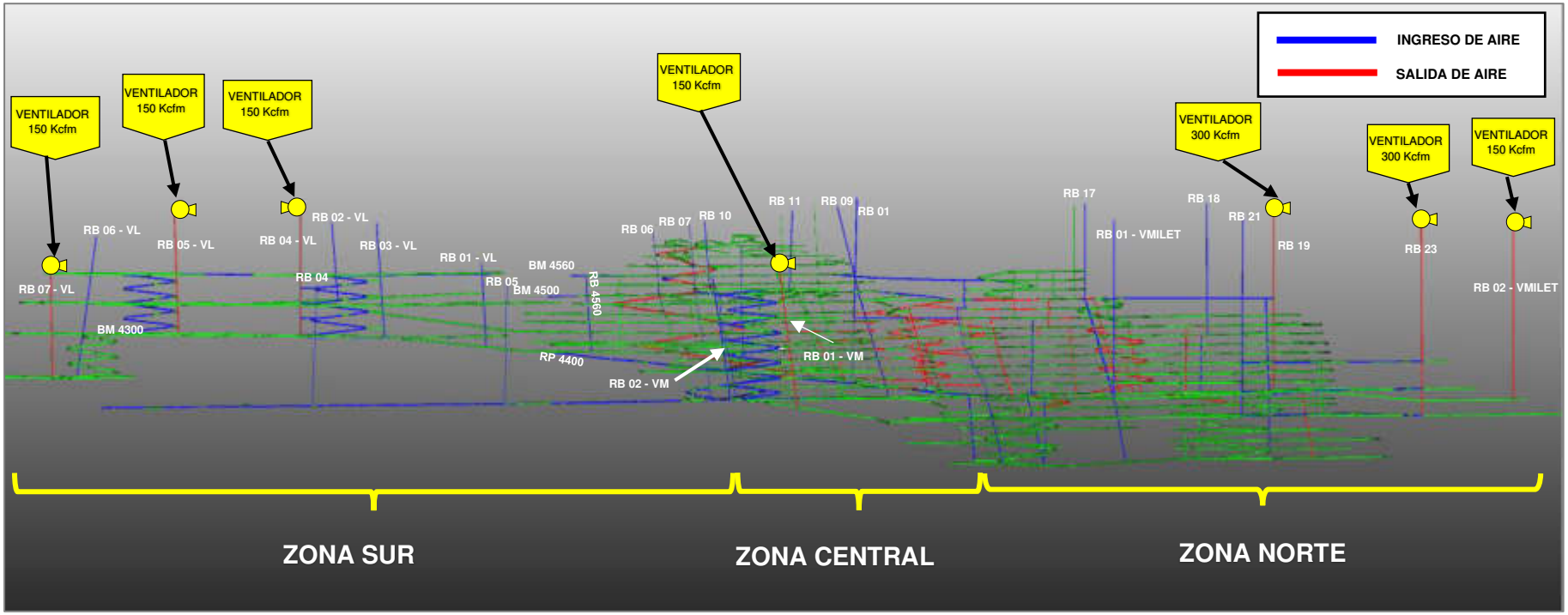
Nota. Ventsim Design 5

B. Plan de ejecución

Se tiene como objetivo dar calidad de aire a la mina para la zona Norte (Veta Angela – Zona Norte, Veta Bárbara, Millet y Divina), planteando como ejes de ingreso de aire fresco RC 4400, RB 17 (desde Nv 4480 a Superficie), RB 18, RB 21, asimismo con las salidas de aire RB 19, RB 23.

Figura 40.

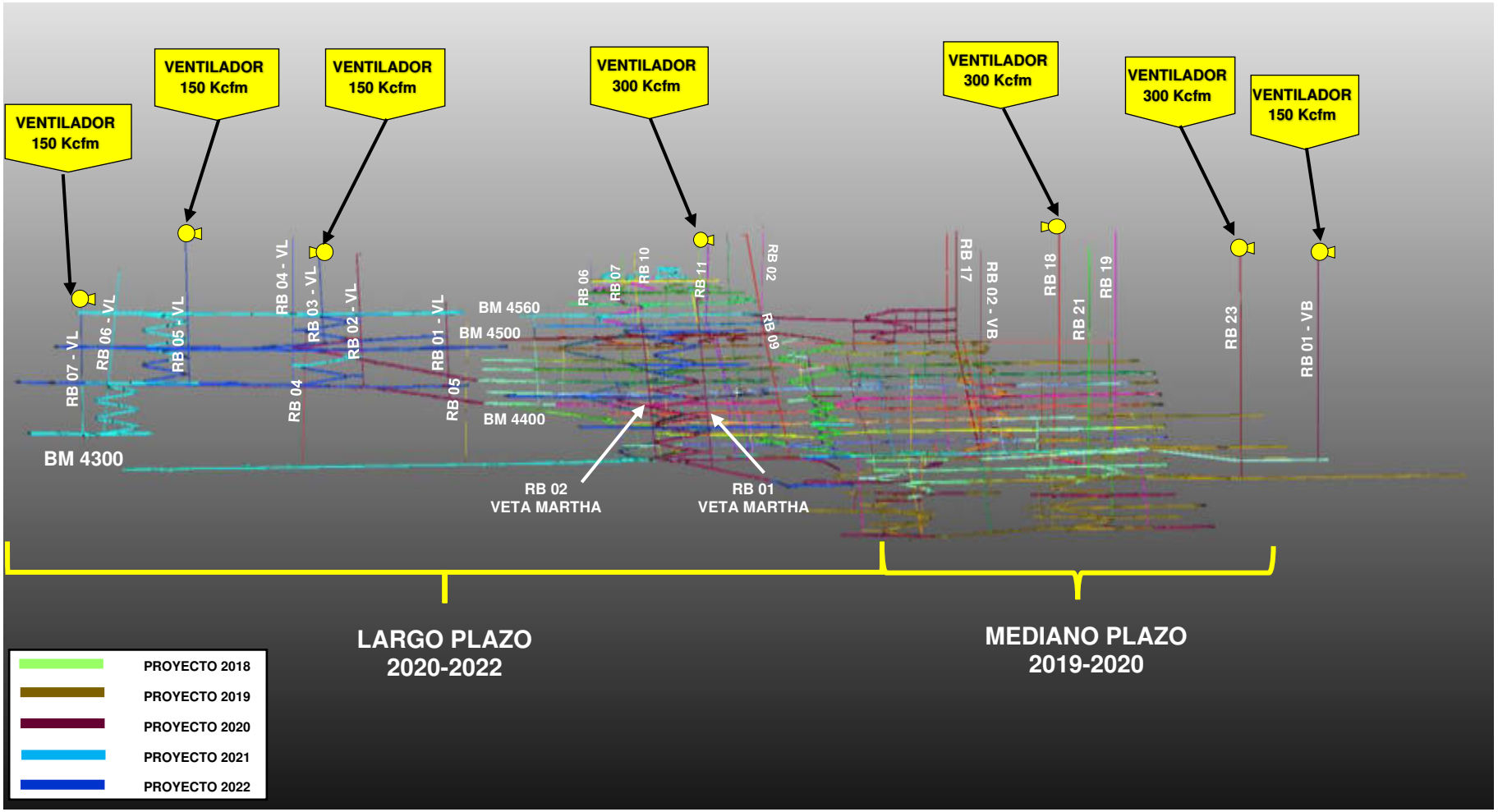
Vista en perfil INMACULADA proyectado 2020-2022 – ejes de ingreso y salida



Nota. Ventsim Design 5

Figura 41.

Vista perfil de la mina Inmaculada proyectado 2020-2022 – circuito de ventilación



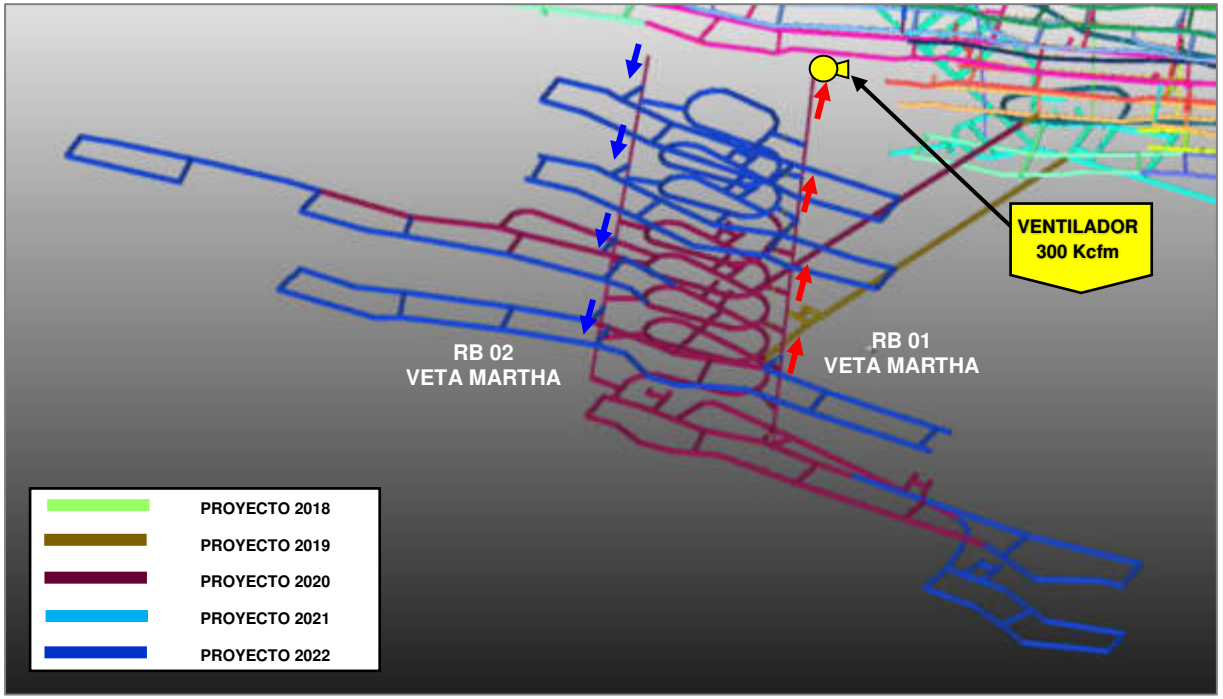
Nota. Ventsim Design 5

C. Zona Martha

Para Zona Martha que se encuentra ubicado en el Sur Oeste de la mina, se tiene estimado la instalación de un ventilador de **300,000 cfm,** para ello será necesario reubicar el ventilador en el RB 09 (V300-02) hacia el RB 01 VETA MARTHA; asimismo se tiene un requerimiento de aire de **300,000** cfm, a fin de lograr una cobertura igual o mayor al 100%.

Figura 42.

Vista isométrica Plan de ventilación Zona Martha



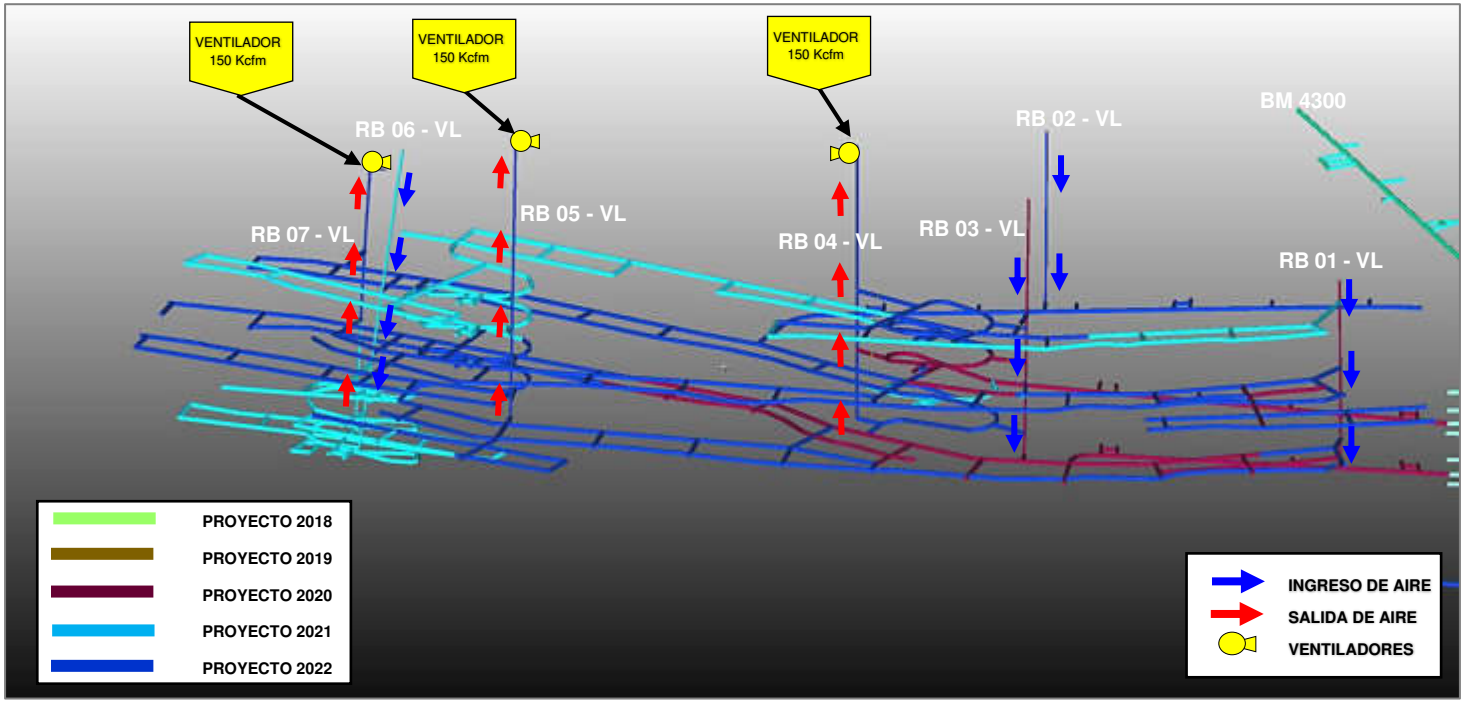
Nota. Ventsim Design 5

D. ZONA LUCY

Para Zona Lucy que se encuentra ubicado en la Zona Sur, se tiene estimado la instalación de 03 ventiladores (02 ventiladores de **300,000 cfm**, 02 ventiladores de 150,000 cfm); asimismo se contempla un caudal requerido de **450,000 cfm**. Obteniendo una cobertura de 110%.

Figura 43.

Vista isométrica Zona Lucy – Diseño proyectado Largo Plazo



Nota. Ventsim Design 5

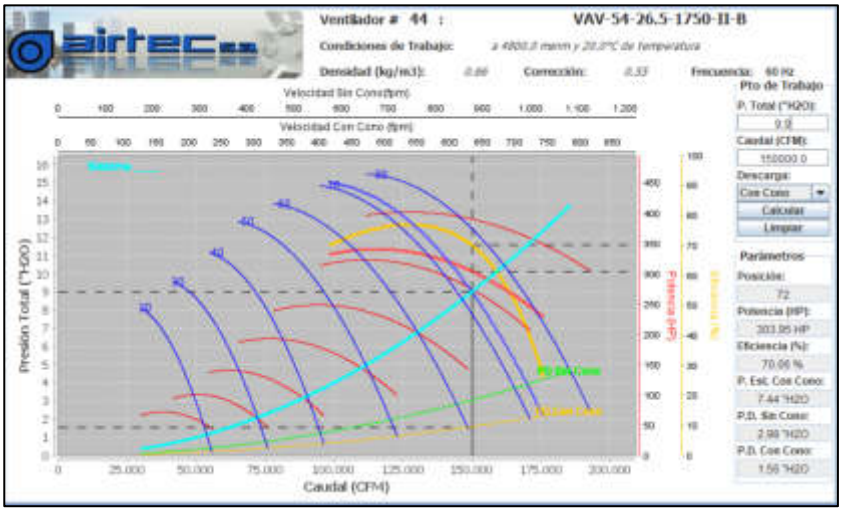
E. Ventiladores Propuestos

Para la instalación se plantea utilizar los 02 ventiladores de 150,000 cfm (ubicados en el RB 02), para ello será necesario reubicar los mencionados en los RB 04- VL y RB 05 - VL; asimismo se plantea la adquisición de un nuevo ventilador con una **capacidad de 150,000 cfm, una potencia de 300 HP, siendo ubicado en el RB 07 – VL.**

Ventilador 150,000 cfm

Figura 44.

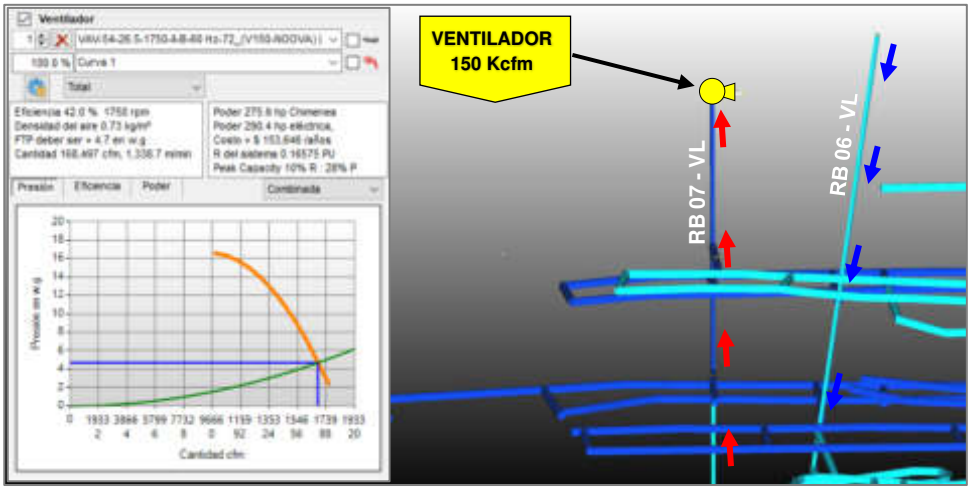
Curva de operación Ventilador 150,000 cfm – RB 01 Veta Bárbara



Nota. Ventsim Design 5

Figura 45.

Curva de operación ventilador 150,000 cfm en Ventsim - RB 07 Veta Lucy



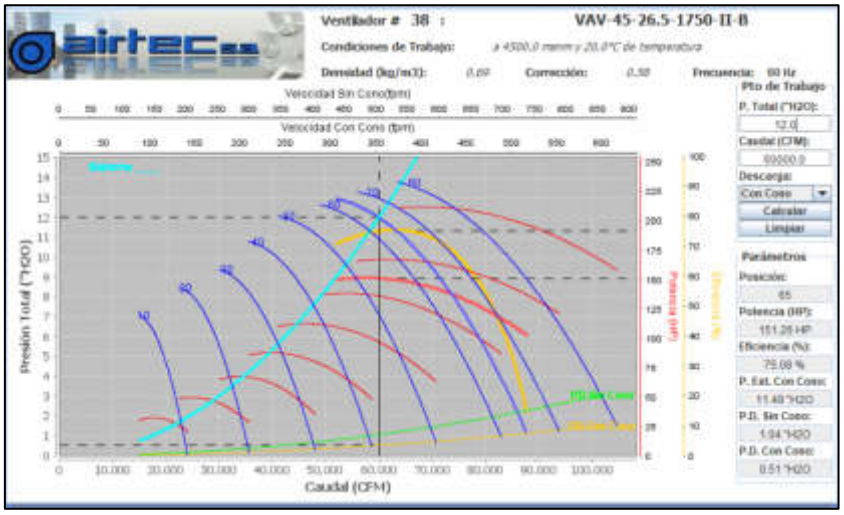
Nota. Ventsim Design 5

Ventilador 60,000 cfm

Así también para el desarrollo de avances en los tajos se propone la adquisición de 10 ventiladores con una capacidad de 60,000 cfm, una potencia de 150 HP; para el desarrollo de los tajos en las Vetas Lucy, Veta Martha y Vetas Bárbara, Millet y Divina.

Figura 46.

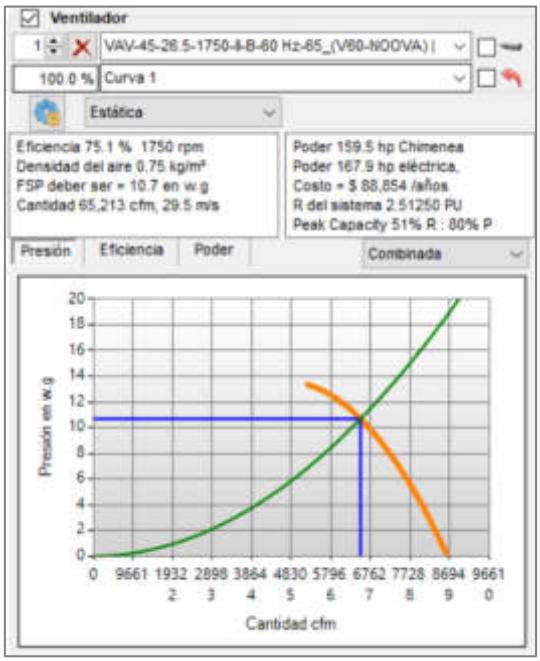
Curva de operación Ventilador 60,000 cfm



Nota. Ventsim Design 5

Figura 47.

Curva de operación 60,000 cfm en Ventsim - Veta Millet



Nota. Ventsim Design 5

F. Flujo de inversión

De acuerdo a la inversión proyectada a largo plazo se contempla la compra de 10 ventiladores axiales con una capacidad de 60,000 cfm; así también de 02 ventiladores de 150,000 cfm. Para la inversión se obtiene un total US$ 770,268.

Tabla 24.

Flujo de inversión – Proyecto a largo plazo

LARGO PLAZO 2020-2022									
VETA LUCY / VETA MARTHA									
Item	**Descripción**	**Detalles**	**Cant.**	**Trabajo a desarrollar**	**Nivel**	**Zona**	**Veta**	**P.U. (US$/um)**	**Total (US$)**
2.1	**Ventiladores**								
2.1.2	Ventilador 150,000 cfm	Ubicado en RB 01 VMILET y RB 07 VL	2	Instalación de ventilador	Superficie	Sur / SW	Martha / Lucy	385,134.09	770,268
2.1.3	Ventilador 60,000 cfm	Ubicado para los frentes de avances	10	Instalación de ventilador	Superficie	Avances	Lucy / Divina / Martha	97,192.27	971,923
Sub Total US$ COMPRA DE VENTILADORES									**770,268**
Sub Total LARGO PLAZO US$									**770,268**

G. Resumen de la Red y Cobertura (2020-2022)

En el sistema de ventilación proyectado a los años 2020-2022, en el resumen de la red se obtiene un caudal de admisión de 1,595,724 cfm, caudal de escape de 1,635,569 cfm; asimismo en base a su requerimiento proyectado que será estimado en base al **Balance y cobertura actual del Estudio Fase 1** siendo de **1,500,000** cfm (*siendo caudal requerido para Zona Angela, Zona Lucy, Zona Martha y Zona Millet de 300,000 cfm, 450,000 cfm, 300,000 cfm y 450,000 cfm*), por consiguiente la cobertura global sería de 110%.

Figura 48.

Resumen de la red – Largo Plazo (2020-2022)

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	9: 2022
Todos los conductos de aire	11860
Actual etapa conductos	7153 y 398 Exclusión
Longitud total	159,120.4 m
Caudal de aire total de admisión	1,595,724 cfm
Caudal de aire total de escape	1,635,569 cfm
Flujo de masa total	555.46 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00084 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00206 PU

Nota. Ventsim Design 5

H. Resumen de Potencia Instalada y Costo de Energía

De acuerdo a la Ilustración 22, se tiene que la potencia eléctrica es de 3,765.5 HP (Considerándose los ventiladores actuales y proyectados). El costo de energía anual de la red es US$ 1,992,454.

Asimismo, se contempla que la mina tiene una amplia magnitud en ancho y largo, es por ello que el incremento de sus costos y potencia se ven incrementados.

Figura 49.

Resumen de potencia instalada y consumo de energía (2020-2022)



RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,369.1 hp Total
	331.0 hp Chimenea
	225.9 hp Conducir
	812.1 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	**3,765.5 hp**
Costo de energía anual de la red	**$ 1,992,454**
Eficiencia de la red	**36.4 %**

Nota. Ventsim Design 5

I. Cobertura Largo Plazo

En el proyecto a mediano plazo, se debe tener en cuenta focalizar los puntos de explotación, a fin de poder distribuir de forma ordenada el caudal para los tajos de producción.

Tabla 25.

Cobertura de aire por zonas de producción – Largo Plazo

		INGRESOS DE AIRE		SALIDAS DE AIRE		REQ. AIRE	Cobertura
ÍTEM	VETA	Labor	Caudal (cfm)	Labor	Caudal (cfm)	cfm	%
1	VETA BÁRBARA, MILET Y DIVINA	RB 21	99,095	RB 23	270,185		
		RB 01 VMILET	83,620	RB 02 VMILET	162,176		
		OTROS NV	242,610				
SUBTOTAL VETA BÁRBARA, MILET Y DIVINA			**425,325**		**432,361**	**400,000**	**106%**
2	VETA MARTHA	RB 01 - VM	239,173	RB 02 - VM	330,139		
		OTROS NV	86,355				
SUBTOTAL VETA ANGELA - SUR			**325,528**		**330,139**	**300,000**	**109%**
3	VETA LUCY	RB 01 - VL	167,711	RB 04 - VL	167,652		
		RB 02 - VL	78,559	RB 05 - VL	167,274		
		RB 03 - VL	63,368	RB 07 - VL	167,795		
		RB 06 - VL	93,736				
		OTROS NV	95,749				
SUBTOTAL VETA LUCY			**499,123**		**502,721**	**450,000**	**111%**
4	VETA ANGELA - ZONA NORTE	RB 17	46,410	RB 19	254,089		
		RP 4400	99,716	RB 18	55,355		
		RB 02 - VL	123,932				
		RB 01	7,880				
		OTROS NV	30,591				
SUBTOTAL VETA ANGELA - ZONA NORTE			**308,529**		**309,444**	**250,000**	**123%**
TOTAL GLOBAL			**1,249,976**		**1,265,221**	**1,150,000**	**109%**

4.2.4. Selección del Diámetro Óptimo

A. Método Algebraico

Se determinó la ubicación de las chimeneas proyectadas, asimismo se procedió a seleccionar su tamaño óptimo, considerando los costos totales por año (CT), que

equivale a la suma del costo de capital (CC), costo de ejecución de la chimenea, y los costos de operación (CO), costo de energía consumida por el ventilador en la chimenea, puesto que estos dos tienden a variar inversamente uno con relación al otro:

$$CT = CC + CO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.1)$$

La tangente a la curva del costo total representa el punto de menor costo y, por tanto, el tamaño óptimo del conducto.

Se evaluaron para los RB's propuestos para cada alternativa, con valores promedios de: **factor de fricción K (0.005 Kg/m3), costo de excavación (US$ 199 m3) y densidad de aire (0.74 Kg/m3).** Particularmente para el RB 21, la evaluación del diámetro óptimo se hizo de la siguiente forma:

Para:

- diámetro (D) = 3.1 m;
- perímetro (C) = 7.54 m;
- área (A) = 4.57 m2.

Caída de presión (Hf) = 2.2 "CA (pulg H_2O).

Potencia al freno (Pm) = 96 KW

Costo Capital (CC) = Ci*Ce*Volumen = 0.12*199 $/m3*2925 m3 = US$ 69,842 /año.

Costo de operación (CO) = Cf*Pm =0.081 $/KW-h*24*365*96 KW = US$ 68,210 / año.

Costo Total (CT) = CC+CO = 69,842 + 68,210 = US$ 138,053 /año.

Y así sucesivamente para diferentes diámetros asumidos.

Tabla 26.

Datos requeridos para Diámetro óptimo

DATOS REQUERIDOS			
K tabla	K´ =	**0.005**	Kg/m3
Densidad	d =	0.74	Kg/m3
Eficiencia vent.	n =	0.8	
Tasa interes	Ci =	0.12	
Costo excavacion promedio	Ce =	199	$/m3
Longitud RB	L =	387.5	m
Costo unit. energia	cf =	0.081	$/KW-h

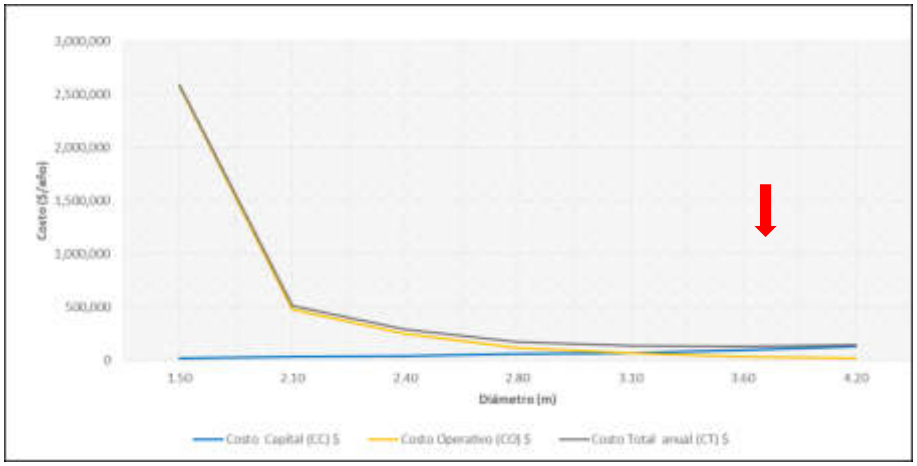
Tabla 27.

Cálculo para la selección de diámetro óptimo RB

Diametro (D) m	Area (A) m2	Perimetro (P) m	Resistencia (R) Ns/m8	Caudal fijo (Q) cfm	Volumen (V) m3	Costo Capital (CC) $	Caida presion (Hf) "C.A.	Potencia Freno (BHP) KW	Costo Operativo (CO) $	Costo Total anual (CT) $
1.50	1.77	4.71	1.020E+00	300,000	685	16,352	82.1	3,624	2,571,587	2,587,939
2.10	3.46	6.60	1.897E-01	300,000	1,342	32,050	15.3	674	478,146	510,197
2.40	4.52	7.54	9.730E-02	300,000	1,753	41,862	7.8	346	245,246	287,107
2.80	6.16	8.80	4.502E-02	300,000	2,386	56,979	3.6	160	113,466	170,445
3.10	7.55	9.74	2.706E-02	300,000	2,925	69,842	2.2	96	68,210	138,053
3.60	10.18	11.31	1.281E-02	300,000	3,944	94,189	1.0	46	32,296	126,485
4.20	13.85	13.19	5.928E-03	300,000	5,369	128,202	0.5	21	14,942	143,144

Figura 50.

Selección de diámetro óptimo – Método gráfico y algebraico



Nota. Elaboración Propia

De acuerdo al análisis del método algebraico y gráfico, se determinó que el diámetro adecuado es de **3.6m**, dando como resultado un costo total anualizado de **US$ 126,485** (siendo la primera opción viable); Así también es adecuado considerar el diámetro de **3.1m** (siendo un diámetro comercial ya utilizado por la unidad) ya que representa un costo anualizado de **US$ 138,053**.

B. SIMULACIÓN EN VENTSIM

Ventsim realizó un análisis financiero de optimización, para el diámetro de las chimeneas (RB's), basado en el costo de excavación y en el costo de operación del ventilador, estos fueron costos promedios de excavación y un costo supuesto para el ventilador. Para este último costo, Ventsim ya tiene establecido en su base de datos, un valor aproximado del costo total de un ventilador por unidad de potencia.

Para ello seleccionamos el ducto a optimizar y alimentamos los siguientes datos al programa:

- Costo fijo.
- Costo unitario de Excavación.
- Costo unitario de energía.
- Tasa de interés.
- Tiempo del proyecto.

Una vez alimentado esta data al software, realizamos la simulación financiera teniendo como resultado el Gráfico 49, donde se confirma que el diámetro óptimo de la chimenea proyectada es de 3.10 m.

Figura 51.

Costos unitarios de excavación por avance lineal y volumétrico

Minería	
[RESET]	No
CALCULATOR	No
Costo fijo por unidad de longitud Horizontal	$ 1895 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Rectangular	$ 1200 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Redondo	$ 1500 / m
Costo Variable Conducto Horizontal	$ 100 / m³
Costo Variable Conducto Vertical Rectangular	$ 133 / m³
Costo Variable Conducto Vertical Redondo	$ 199 / m³
Moneda	$
Poder	

Nota. Ventsim Design 5

Para esta simulación se está considerando un caudal fijo de 300,000 cfm, donde el software Ventsim nos entrega la siguiente data:

Tabla 28.

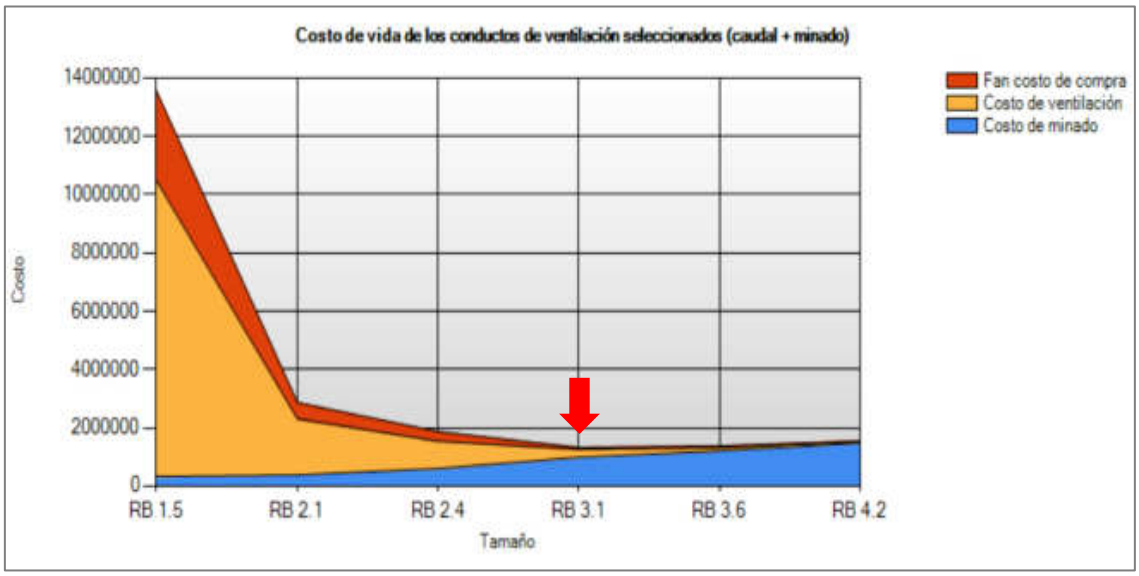
Cálculo para determinar el diámetro óptimo – Simulación Ventsim

Sim.	Tamañ del nombre	Tipo de pared	Anchura m	Altura m	Coste fijo	Costo/ m	Costo de minado	Costo Anual de ventilación seleccionado	Costo del ventilador
☑	RB 1.5	Raise Borer (RB)	1.5	1.5	$ 800	$ 800	$ 310,831	$ 2,693,036	$ 3,094,463
☑	RB 2.1	Raise Borer (RB)	2.1	2.1	$ 1,000	$ 1,000	$ 388,539	$ 500,728	$ 575,368
☑	RB 2.4	Raise Borer (RB)	2.4	2.4	$ 1,500	$ 1,500	$ 582,808	$ 256,828	$ 295,111
☑	RB 3.1	Raise Borer (RB)	3.1	3.1	$ 2,000	$ 2,500	$ 970,847	$ 71,432	$ 82,079
☑	RB 3.6	Raise Borer (RB)	3.6	3.6	$ 2,500	$ 3,100	$ 1,203,870	$ 33,821	$ 38,862
☑	RB 4.2	Raise Borer (RB)	4.2	4.2	$ 3,100	$ 3,800	$ 1,475,747	$ 15,648	$ 17,980

Nota. Ventsim Design 5

Figura 52.

Selección del diámetro óptimo de RB 21 - Simulación Financiera Ventsim



Nota. Ventsim Design 5

Asimismo, nos detalla que el mejor diámetro para utilizar y movilizar un caudal de 300,000 cfm se tomará en cuenta que el costo de Ventilación tiende a disminuir. Determinándose como el diámetro adecuado de **3.1 m**. Dato con el que se trabajó para determinar la efectividad en los ventiladores.

4.2.5. Plan de Optimización de Energía

Para lograr un ahorro energético eficiente, no basta con disminuir ventiladores, sino con poder tener un control de mediciones y asimismo identificar las zonas que requieren mayor cantidad y consecuente de labores de menor caudal requerido. Es por

ello que se contempla el uso de variadores de frecuencia, ello nos ayuda a poder regular la velocidad del ventilador, asimismo independientemente de acuerdo al trazado de su curva operativa nos deriva a poder disminuir su potencia.

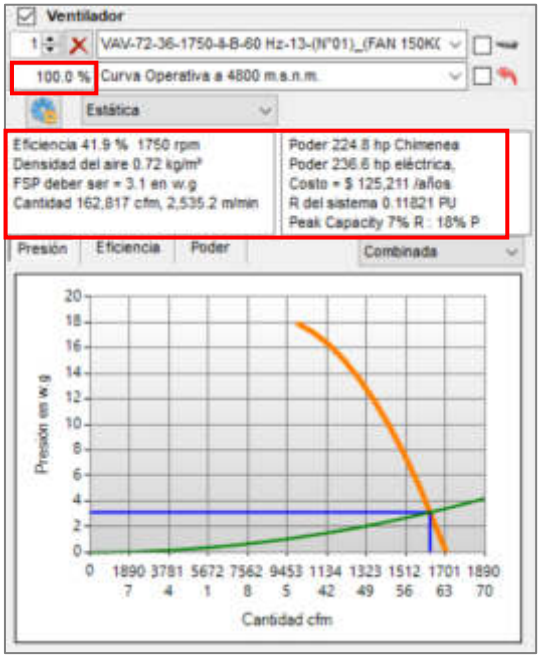
Para Mina INMACULADA se plantea el uso de variadores de frecuencia en los ventiladores principales dándoles un mejor uso en cuanto al caudal de salida y por consiguiente el ahorro energético, que buscamos son alterar condiciones operativas y está en función a la demanda.

A. Ventilación Principal

En Ventsim utilizó la herramienta para regular la velocidad de un ventilador, asimismo se tuvo que considerar y evaluar los comparativos para los ventiladores a elegir, para la Zona Lucy donde se logrará optimizar la energía para los 03 ventiladores de capacidad de 150,000 cfm (ubicados en RB 04 –VL, RB 05 – VL y RB 07 - VL).

Figura 53.

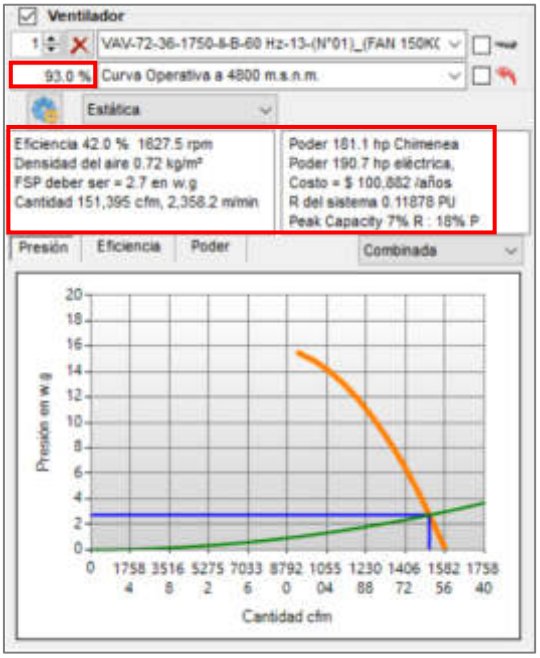
Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 04 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

Figura 54.

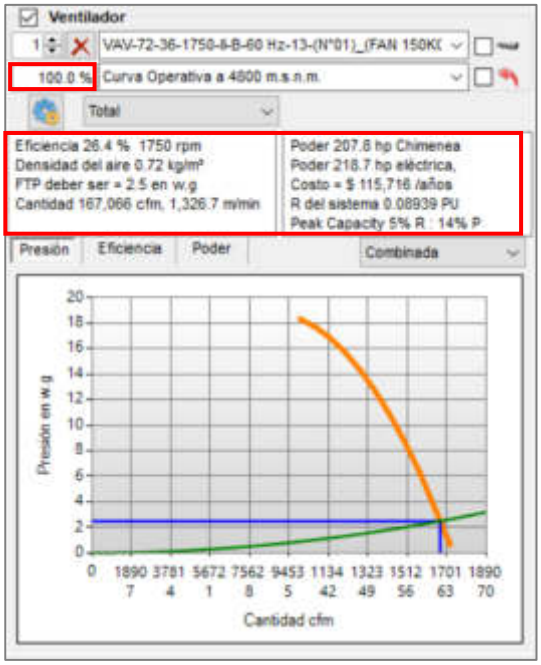
Ventilador de 150,000 cfm, estado al 93% – RB 04 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

Figura 55.

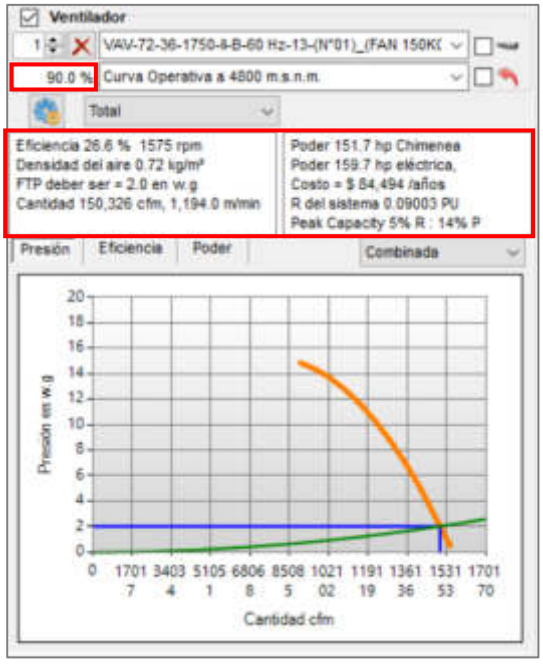
Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 03 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

Figura 56.

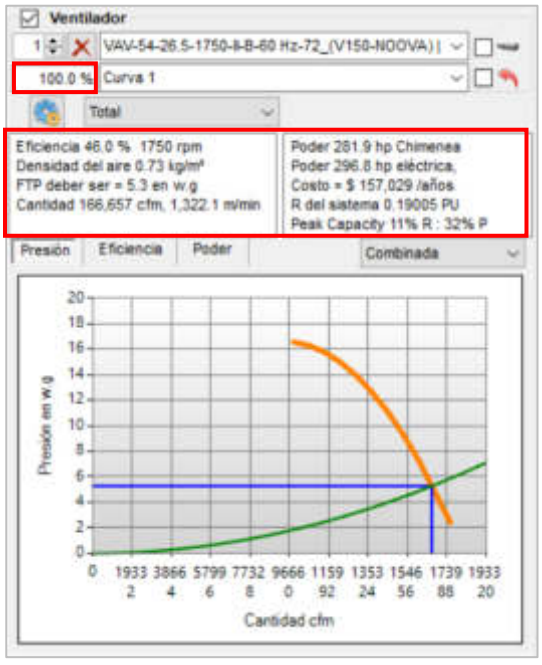
Ventilador de 150,000 cfm, estado al 90% - RB 03 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

Figura 57.

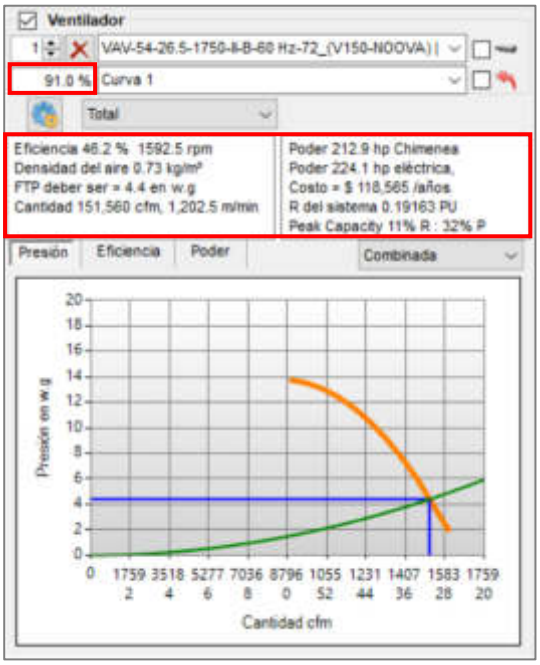
Ventilador de 150,000 cfm, estado al 100% – RB 05 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

Figura 58.

Ventilador de 150,000 cfm, estado al 91% - RB 05 VETA LUCY



Nota. Ventsim Design 5

B. Resumen de la red proyectado

Se realiza un comparativo (Trade Off), obteniéndose lo siguiente la diferencia de caudales del estado actual vs el estado optimizado (utilizando variadores de frecuencia).

Figura 59.

Resumen de la red – Sistema proyectado 2022

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	9: 2022
Todos los conductos de aire	11860
Actual etapa conductos	7153 y 398 Exclusión
Longitud total	159,120.4 m
Caudal de aire total de admisión	1,595,724 cfm
Caudal de aire total de escape	1,635,569 cfm
Flujo de masa total	555.46 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00084 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00206 PU

Nota. Ventsim Design 5

Figura 60.

Resumen de la red – Sistema proyectado optimizado 2022

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	10: Op. Energética 2022
Todos los conductos de aire	11973
Actual etapa conductos	7135 y 398 Exclusión
Longitud total	158,750.3 m
Caudal de aire total de admisión	1,546,433 cfm
Caudal de aire total de escape	1,586,931 cfm
Flujo de masa total	538.41 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00112 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00242 PU

Nota. Ventsim Design 5

C. Resumen de Energía Consumida Proyectada

En cuanto a la energía optimizada se tiene lo siguiente:

- La potencia proyectada 2022: 3,765.5HP
- La potencia proyectada optimizado 2022: 3,382.6 HP
- Ahorro estimado (HP): 382.9

En base al costo proyectado se tiene lo siguiente:

- **Costo de energía proyectado 2022:** US$ 1,992,454
- **Costo de energía proyectado optimizado 2022:** US$ 1,789,819
- **Ahorro estimado (US$):** 202,632

Figura 61.

Resumen de Potencia – Sistema proyectado 2022

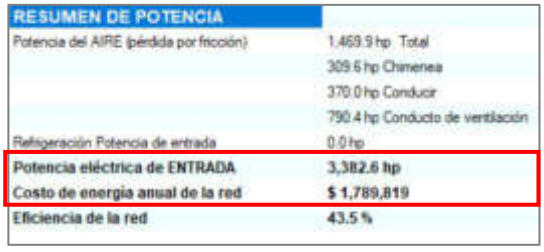


RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,369.1 hp Total
	331.0 hp Chimenea
	225.9 hp Conducir
	812.1 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	3,765.5 hp
Costo de energía anual de la red	$ 1,992,454
Eficiencia de la red	36.4 %

Nota. Ventsim Design 5

Figura 62.

Resumen de Potencia – Sistema proyectado optimizado 2022



RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,469.9 hp Total
	309.6 hp Chimenea
	370.0 hp Conducir
	790.4 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	3,382.6 hp
Costo de energía anual de la red	$ 1,789,819
Eficiencia de la red	43.5 %

Nota. Ventsim Design 5

4.2.6. Costo de Ventilación

A. Costo de capital – CAPEX

Se realiza la evaluación del sistema de ventilación, donde se plantea que la implementación y construcción de chimeneas para el funcionamiento en el circuito de ventilación, asimismo la instalación de ventiladores extractores a fin de poder cubrir el balance y cobertura de aire de la mina al 100%.

La implementación de infraestructura de ventilación, dará la optimización del circuito de ventilación y un ahorro en su costo de ventilación.

Tabla 29.

Costo de capital de ventilación – Actual vs Proyectado

Ítem	Descripción	U/M	Actual	CORTO PLAZO 7 meses	MEDIANO PLAZO 1 año	LARGO PLAZO 2 años
			nov-18	ene-19	2019-2020	2020-2022
1	Producción de mineral	TM/año	1,460,000	1,460,000	1,800,000	2,000,000
2	Caudal de aire total de admisión	cfm	554,668	1,213,869	1,235,335	1,595,724
3	Caudal de aire total de escape	cfm	546,807	1,284,632	1,285,627	1,635,569
4	Caudal Requerido	cfm	1,125,294	1,125,294	1,125,294	1,125,294
5	Cobertura	%	49%	108%	110%	142%
6	**Costo Capital por año**	**US$**	**-**	**3,135,627**	**1,242,706**	**770,268**
7	Costo Unitario Caudal	US$/cfm	-	2.58	1.01	0.48
	Costo Unitario CAPEX	**US$/TMS**	**-**	**2.15**	**0.69**	**0.39**

Nota. Elaboración Propia

B. Costo de operación – OPEX

Se realiza un análisis en base al consumo de energía eléctrica en los ventiladores principales, secundarios y auxiliares, mano de obra, herramientas, materiales y servicios.

Así también como criterio de diseño es importante considerar la optimización de la ventilación mediante métodos de diseño como evitar codos con ángulos de 90°, codos en los ductos flexibles, verificando que las paredes de la labor no sean tan rugosas, evitar las obstrucciones y carga de material en circuitos principales de ventilación, son parámetros significativos para evitar las resistencias en nuestro circuito de ventilación y potenciar un ahorro energético.

Tabla 30.

Costo de operación por ventilación - Actual vs Proyectado

Ítem	Descripción	U/M	Actual	CORTO PLAZO 7 meses	MEDIANO PLAZO 1 año	LARGO PLAZO 2 años
			nov-18	ene-19	2019-2020	2020-2022
1	Producción de mineral (Referencial)	TM/año	1,460,000	1,460,000	1,800,000	2,000,000
2	Total, de ventiladores Principales	-	2	6	5	7
3	Total, de ventiladores Secundarios	-	1	1	-	1
4	Caudal de aire total de admisión	cfm	554,668	1,213,869	1,235,335	1,595,724
5	Caudal de aire total de escape	cfm	546,807	1,284,632	1,285,627	1,635,569
6	Potencia eléctrica de Entrada	kW	3905	3,994.70	3,551.80	3,765.50
7	Consumo de Energía	US$	2,107,241	2,113,723	1,879,378	1,992,454
8	Mano de obra - 10 personas (3%)	US$	63,217	63,412	56,381	59,774
9	Mantenimiento/Repuestos (10%)	US$	210,724	211,372	187,938	199,245
10	**Costo Operación por año**	**US$**	**2,381,182**	**2,388,507**	**2,123,697**	**2,251,473**
11	Costo Unitario Caudal	US$/cfm	4.29	1.97	1.72	1.41
12	**Costo Unitario OPEX**	**US$/TMS**	**1.63**	**1.64**	**1.18**	**1.13**

Nota. Elaboración Propia

C. Costo unitario ventilación

De acuerdo al análisis del CAPEX y OPEX, se desarrolló el balance económico a fin de determinar el costo unitario de ventilación proyectado a los próximos 5 años de la vida de la mina, considerado en el planeamiento a mediano y largo plazo.

Tabla 31.

Costo unitario de ventilación - Actual y Proyectado

Ítem	Descripción	U/M	Actual	CORTO PLAZO 7 meses	MEDIANO PLAZO 1 año	LARGO PLAZO 2 años
			nov-18	ene-19	2019-2020	2020-2022
1	Producción de mineral	TM/año	1,460,000	1,460,000	1,800,000	2,000,000
2	Costo de Capital - CAPEX	US$/Año		3,135,627	1,242,706	770,268
3	Costo Unitario CAPEX	US$/TMS		2.58	0.69	0.39
4	Costo de Capital - OPEX	US$/Año	2,381,182	2,388,507	2,123,697	2,251,473
5	Costo Unitario OPEX	US$/TMS	4.29	1.64	1.18	1.13
6	**Total (CAPEX + OPEX)**	**US$/Año**	**2,381,182**	**5,524,134**	**3,366,403**	**3,021,741**
7	**COSTO DE VENTILACIÓN**	**US$/TMS**	**4.29**	**4.22**	**1.87**	**1.51**

Nota. Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Caudal total de ingreso

Para lograr una cobertura proyectada en el mediano y largo plazo, de 110% y 142% respectivamente, se deberá incrementar la capacidad de aire fresco.

Tabla 32.

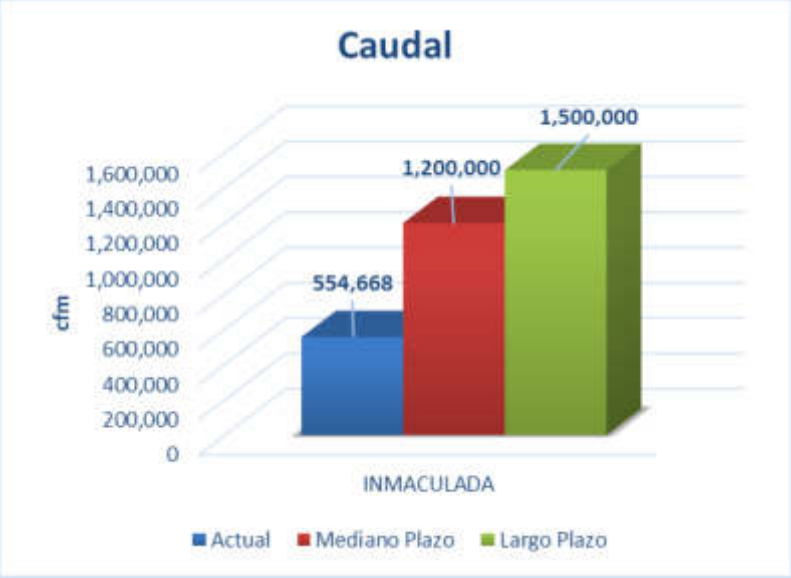
Variación caudal de ingreso - Actual vs Proyectado

Zona	Actual	Mediano Plazo	Largo Plazo	Var. Porcentual	
				1er%	3ro%
INMACULADA	554,668	1,200,000	1,500,000	54%	63%

Nota. Elaboración Propia

Figura 63.

Ratio de caudal de aire - Actual vs Proyectado



Nota. Elaboración propia

5.2. Potencia instalada

En la tabla 20 se observa el incremento en el consumo de energía del 54% y 58% para el mediano y largo plazo respectivamente.

Tabla 33.

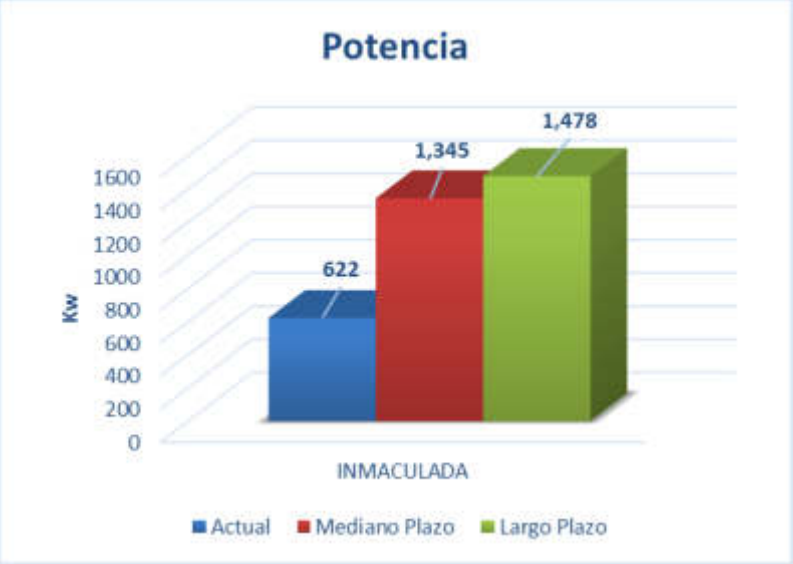
Variación de Potencia Instalada - Actual vs Proyectado

Zona	Actual	Mediano Plazo	Largo Plazo	Var. Porcentual	
				1er%	3ro%
INMACULADA	622	1,345	1,478	54%	58%

Nota. Elaboración Propia

Figura 64.

Ratio de consumo de energía – Actual vs Proyectado



Nota. Elaboración Propia

5.3. Costo de energía anual

De acuerdo al análisis se comparó el costo de energía para el mediano y largo plazo respecto al estado actual del costo energético.

Tabla 34.

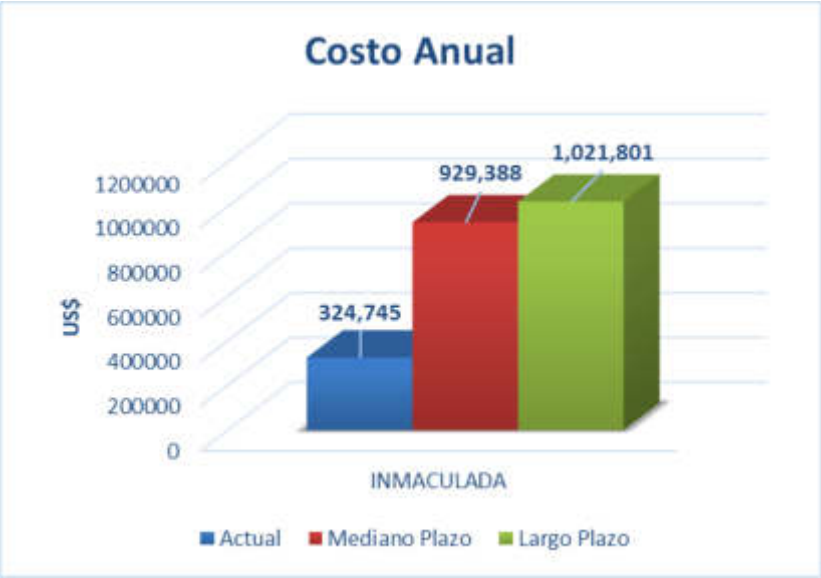
Variación de consumo de energía - Actual vs Proyectado

Zona	Actual	Mediano Plazo	Largo Plazo	Var. Porcentual	
				1er%	3ro%
INMACULADA	324,745	929,388	1,021,801	65%	68%

Nota. Elaboración Propia

Figura 65.

Ratio de costo anual de energía - Actual vs Proyectado



Nota. Elaboración propia

5.4. Comprobación de hipótesis

5.4.1. Comprobación de hipótesis general

La hipótesis general es el estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 de la unidad minera Inmaculada, permitirá definir la ruta crítica para la optimización actual y proyectada.

Tomando una muestra de 10 datos del caudal de aire actual y proyectado de la ventilación principal de la mina Inmaculada.

Tabla 35.

Datos de para comprobación de hipótesis

Ventilación actual (cfm)	Ventilación optimización actual y proyectada (cfm)
554,363	1,500,000
554,331	1,500,019
554,367	1,500,011
554,349	1,500,022
554,360	1,500,074
554,438	1,500,372
554,296	1,500,186
554,118	1,499,814
550,963	1,496,648
556,990	1,500,559

Nota**.** Datos de Campo

a) Cálculo estadístico descriptivo

Tabla 36.

Estadísticos descriptivos Hipótesis General

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
Ventilación actual (cfm)	10	550963	556990	554257,50	1430,665	2046801,167
Ventilación optimización actual y proyectada (cfm)	10	1496648	1500559	1499770,50	1117,323	1248411,167
N válido (por lista)	10					

Nota. Minitab

b) Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos No es normal

Utilizando el programa SPSS Statistics se obtiene:

Tabla 37.

Prueba de normalidad Hipótesis General

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ventilación actual (cfm)	,361	10	,001	,697	10	,001
Ventilación optimización actual y proyectada (cfm)	,416	10	,000	,545	10	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Minitab

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.001 para la ventilación actual.

Pv = 0.000 para la ventilación optimización actual y proyectada.

Como Pv < 0.05 se Rechaza la Ho, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

c) Prueba de homogeneidad de las varianzas

La hipótesis Nula: Las dos muestras provienen o tienen las mismas varianzas, en otros términos, son homogéneas.

La hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas

RESULTADOS

Prueba e IC para dos varianzas: Ventilación actual (cfm); Ventilación Optimización actual y proyectada

Método

σ_1: desviación estándar de Ventilación actual (cfm)
σ_2: desviación estándar de Ventilación Optimización actual y proyectada
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ²
Ventilación actual (cfm)	10	1117.197	1248128.172	(590510.996; 4159827.147)
Ventilación Optimización actual y proyectada	10	1430.703	2046911.571	(968429.218; 6822054.425)

Relación de varianzas

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
0.609762	(0.151; 2.455)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$
Hipótesis alterna	$H_1: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

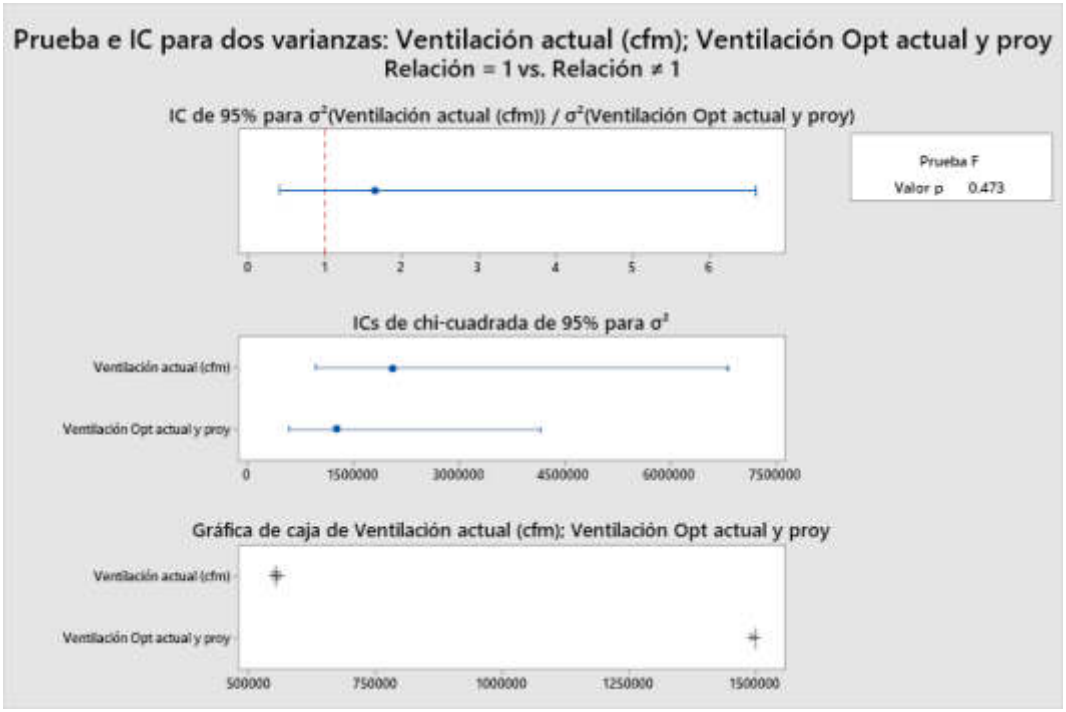
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	0.61	9	9	0.473

Como Pv=0.473 > 0.05 Entonces se AHo. (Se acepta la hipótesis nula).

Concluimos que las muestras provienen de varianzas iguales (Pv = 0.679).

Figura 66.

Prueba de homogeneidad de las varianzas



Nota. SPSS Statistics.

d) Contrastación de Hipótesis General

Hipótesis Nula: La media del estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 es igual a la media de la evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Hipótesis Alternativa: La media del estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 es mayor que la media de la evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Utilizando el Minitab, se obtiene:

RESULTADOS

Prueba T e IC de dos muestras: Ventilación actual (cfm); Ventilación Optimización actual y proyectada

Método

μ_1: media de Ventilación actual (cfm)
μ_2: media de Ventilación Optimización actual y proyectada
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ventilación actual (cfm)	10	554257	1431	452
Ventilación Proyectado Optimización actual y proyectada	10	1499771	1117	353

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-945513	(-946724; -944302)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1647.17	17	0.000

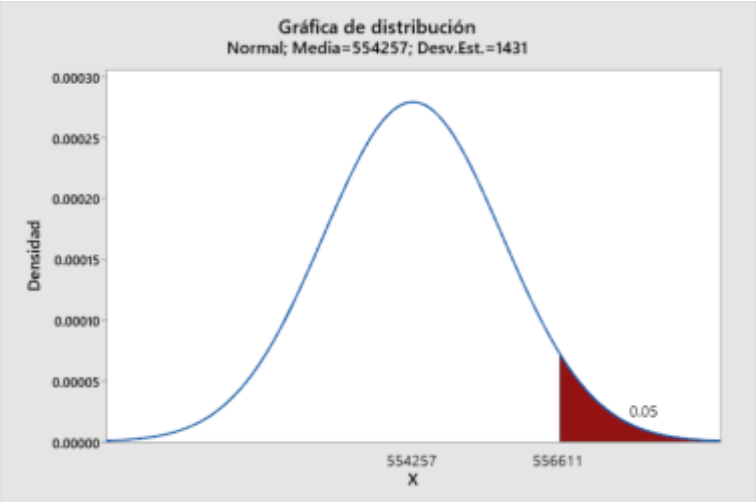
Como Pv < 0.05 RHo (Se rechaza la hipótesis nula).

Se puede concluir que la media del estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5, es mayor que la media de la evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Esto significa que el estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 predomina en la evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC.

Figura 67.

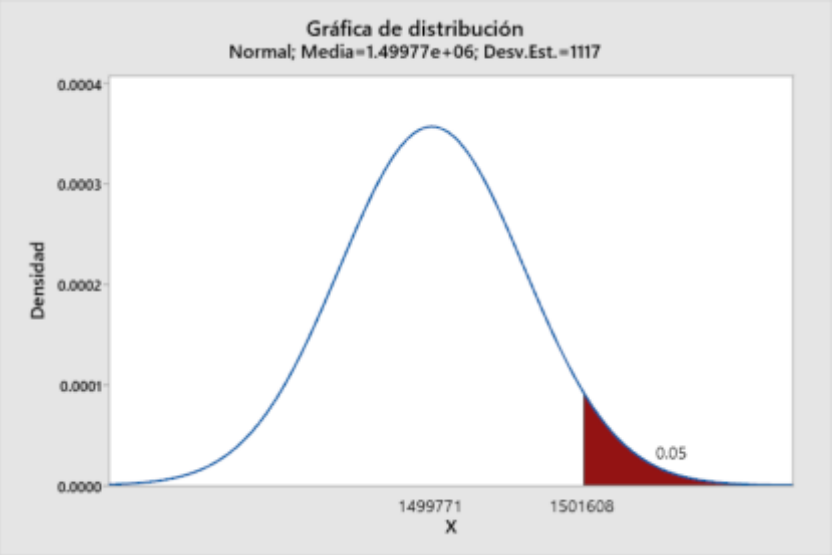
Distribución de la ventilación actual (cfm)



Nota. SPSS Statistics

Figura 68.

Distribución de la ventilación optimización actual y proyectada (cfm)



Nota. SPSS Statistics

5.4.2. Comprobación de hipótesis específica N° 01

La hipótesis específica N°01: El modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación.

Se tomaron muestras de 10 datos del caudal de aire actual y proyectado en el modelamiento del software Ventsim Design 5 de la ventilación principal de la mina Inmaculada.

Tabla 38.

Datos para contraste de hipótesis específica N° 01

Ventilación actual (cfm)	Ventilación con Modelamiento (cfm)
554,367	1,500,019
554,349	1,500,022
554,384	1,500,019
554,360	1,500,030
554,356	1,500,093
554,455	1,500,410
554,313	1,500,168
554,101	1,499,795
550,998	1,496,667
557,008	1,500,577

Nota. Datos de campo

Modelamiento utilizando el software Ventsim Design 5.

Se realizó la prueba de hipótesis en el programa IBM SPSS Statistics 25.

a) Cálculo de los estadísticos descriptivos

Tabla 39.

Estadísticos descriptivos Hipótesis Específica N°01

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
Ventilación actual (cfm)	10	550998	557008	554269,10	1426,394	2034599,656
Ventilación con modelamiento (cfm)	10	1496667	1500577	1499780,00	1115,891	1245213,556
N válido (por lista)	10					

Nota. Minitab

a) Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal.

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos no es normal

Utilizando el programa SPSS tenemos:

Tabla 40.

Prueba de normalidad Hipótesis Específica N°01

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ventilación actual (cfm)	,353	10	,001	,701	10	,001
Ventilación proyectado con modelamiento (cfm)	,405	10	,000	,552	10	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Minitab

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.001 para la ventilación actual (cfm).

Pv = 0.000 para la ventilación proyectada con modelamiento usando el software.

Como Pv < 0.05 se Rechaza la Ho, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

b) Prueba de homogeneidad de las varianzas

Hipótesis Nula: Las dos muestras provienen o tienen las mismas varianzas, en otros términos, son homogéneas.

Hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas.

Utilizando el programa Minitab 19 tenemos:

RESULTADOS

Prueba e IC para dos varianzas: Ventilación actual (cfm); Ventilación con modelamiento

Método

σ_1: desviación estándar de Ventilación actual (cfm)
σ_2: desviación estándar de Ventilación con modelamiento
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Ventilación actual (cfm)	10	1426.282	2034281.155	(981.047; 2603.835)
Ventilación con modelamiento	10	1115.832	1245081.136	(767.509; 2037.074)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
1.27822	(0.637; 2.565)

Prueba

Hipótesis nula	H_0: $\sigma_1 / \sigma_2 = 1$
Hipótesis alterna	H_1: $\sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

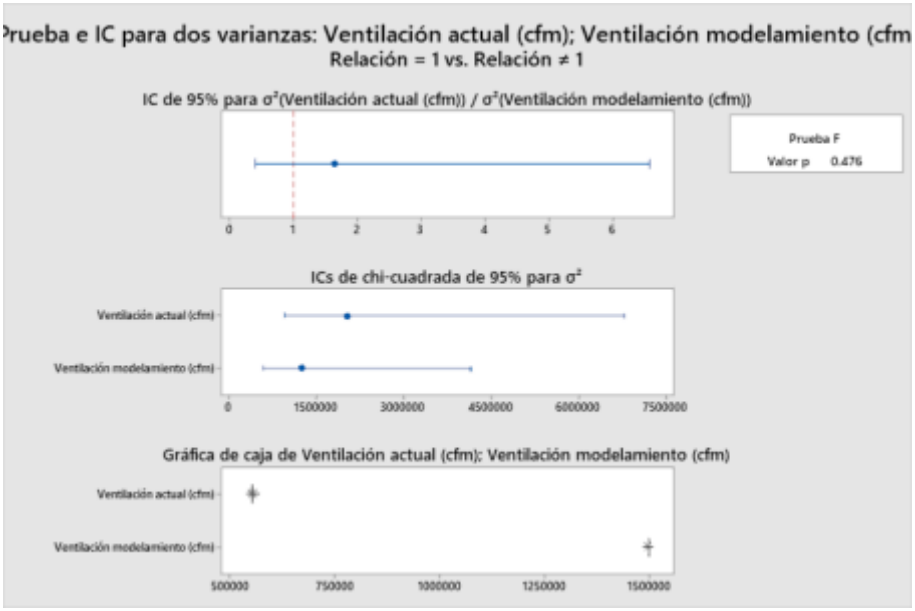
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	1.63	9	9	0.476

Como Pv=0.476 > 0.05 Entonces se AHo. (Se acepta la hipótesis nula).

Concluimos que las muestras provienen de varianzas iguales (Pv = 0.476).

Figura 69.

Prueba de homogeneidad de las varianzas



Nota. SPSS Statistics

c) Contrastación de hipótesis:

Hipótesis nula: La media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura **es igual** a la media de la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

Hipótesis Alternativa: La media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura **es mayor** a la media de la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

RESULTADOS

Prueba T e IC de dos muestras: Ventilación actual (cfm); Ventilación con Modelamiento

Método

μ_1: media de Ventilación actual (cfm)
μ_2: media de Ventilación con Modelamiento
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ventilación actual (cfm)	10	551078	961	304
Ventilación con Modelamiento	10	1503867	226	72

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia

-952789 (-953495; -952083)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-3051.97	9	0.000

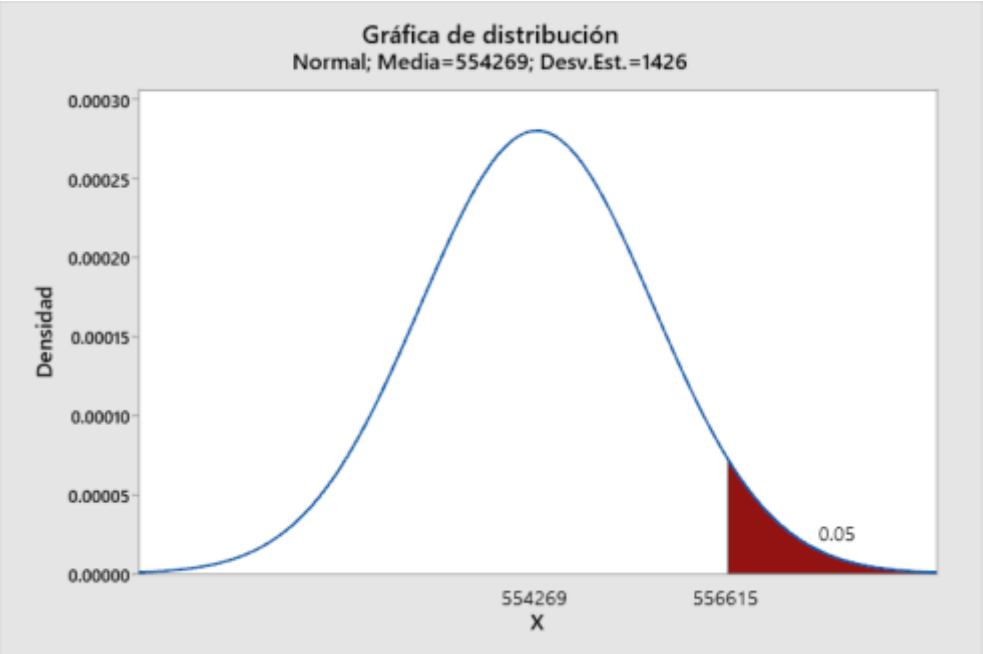
Como Pv < 0.05 RHo (Se rechaza la hipótesis nula).

Se puede concluir que la media de la modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación, es mayor que la media que la evaluación del diseño en software, comparando los resultados medidos en campos vs resultados medidos en Ventsim Design 5.

Esto significa que con la modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación influye considerablemente en la evaluación del diseño en software, comparando los resultados medidos en campos vs resultados medidos en Ventsim Design 5 de la unidad minera Inmaculada de la empresa minera HOCHSCHILD MINING PLC.

Figura 70.

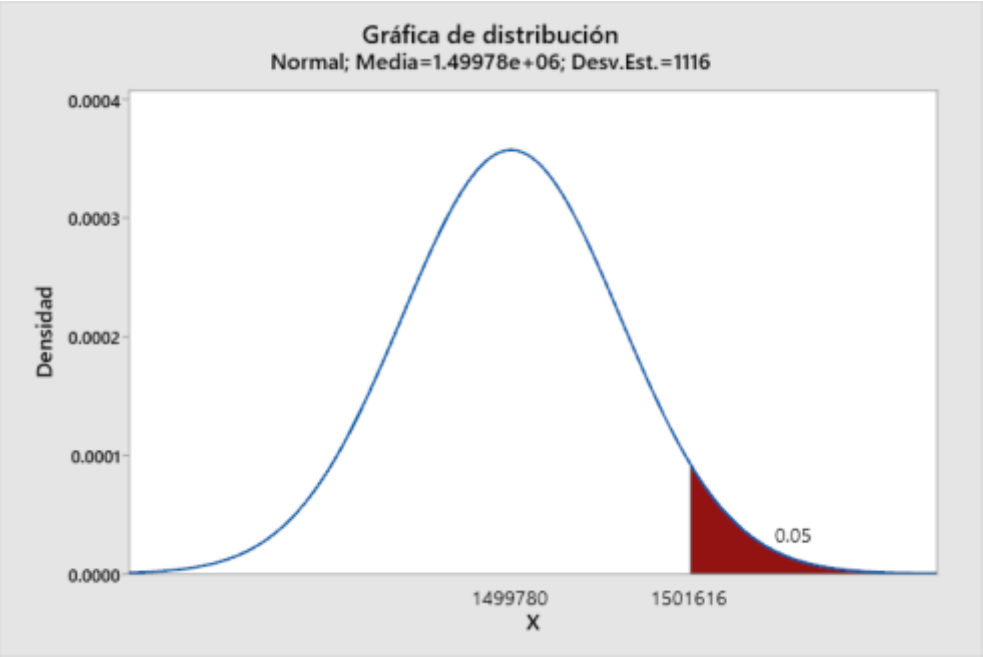
Distribución de la ventilación actual (cfm)



Nota. SPSS Statistics

Figura 71.

Distribución de la ventilación con modelamiento



Nota. SPSS Statistics

5.4.3. Comprobación de hipótesis específica N° 02

La hipótesis específica N°02: El planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura.

Tomando una muestra de 10 datos del caudal de aire actual y proyectado en el modelamiento utilizando el software Ventsim Design 5 de

Se tomaron muestras de 10 datos del caudal de aire actual y proyectado en el modelamiento del software Ventsim Design 5 de la ventilación principal de la mina Inmaculada.

Tabla 41.

Datos para contraste de hipótesis específica N° 02

Ventilación actual (cfm)	Ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo (cfm)
550,821	1,503,724
550,803	1,503,743
550,839	1,503,735
550,821	1,503,746
550,818	1,503,798
550,892	1,504,096

550,772	1,503,910
550,605	1,503,538
550,608	1,504,096
553,799	1,504,283

Nota. Datos de campo

Se realizó la prueba de hipótesis en el programa IBM SPSS Statistics 25.

a) Cálculo de los estadísticos descriptivos

Tabla 42.

Estadísticos descriptivos Hipótesis Específica N°02

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
Ventilación actual (cfm)	10	550605	553799	551077,80	960,853	923238,400
Ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo (cfm)	10	1503538	1504283	1503866,90	226,244	51186,544
N válido (por lista)	10					

Nota. Minitab

a) Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal.

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos no es normal

Utilizando el programa SPSS tenemos:

Tabla 43.

Prueba de normalidad Hipótesis Específica N°02

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ventilación actual (cfm)	,477	10	,000	,454	10	,000
Ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo (cfm)	,220	10	,188	,916	10	,328

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Minitab

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.001 para la ventilación actual (cfm).

Pv = 0.328 para la ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo (cfm).

Como Pv < 0.05 se Rechaza la Ho, por lo tanto, las distribuciones son normales.

b) Prueba de homogeneidad de las varianzas

Hipótesis Nula: Las dos muestras provienen o tienen las mismas varianzas, en otros términos, son homogéneas.

Hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas.

Utilizando el programa Minitab 19 tenemos:

RESULTADOS

Prueba e IC para dos varianzas: Ventilación actual (cfm); Ventilación planeamiento a corto, mediano y largo plazo

Método

σ_1: desviación estándar de Ventilación actual (cfm)
σ_2: desviación estándar de Ventilación Planeamiento a corto, mediano y largo plazo
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ²
Ventilación actual (cfm)	10	960.949	923422.820	(436887.285; 3077632.090)
Ventilación Planeamiento a corto, mediano y largo plazo	10	226.261	51193.902	(24220.719; 170621.726)

Relación de varianzas

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
18.0378	(4.480; 72.620)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$
Hipótesis alterna	$H_1: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

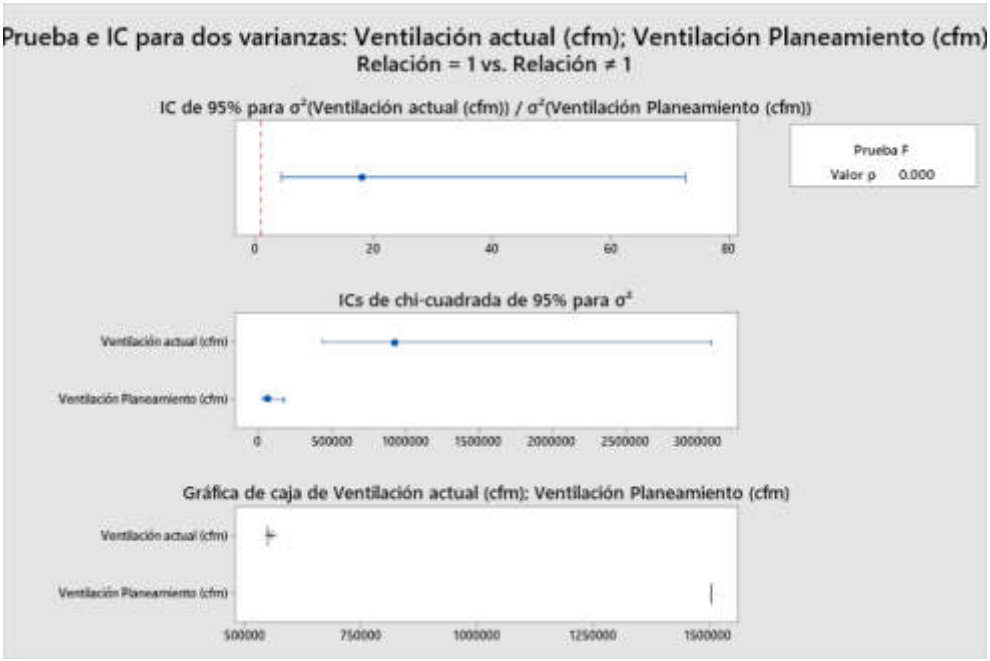
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	18.04	9	9	0.000

Como Pv=0.000 < 0.05 Entonces es RHo. (Se rechaza la hipótesis nula).

Concluimos que las muestras no provienen de varianzas iguales (Pv = 0.000).

Figura 72.

Prueba de homogeneidad de las varianzas



Nota. SPSS Statistics

c) Contrastación de hipótesis:

Hipótesis nula: La media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura **es igual** a la media de la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

Hipótesis Alternativa: La media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura **es mayor** a la media de la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

RESULTADOS

Prueba T e IC de dos muestras: Ventilación actual (cfm); Ventilación Planeamiento corto, mediano y largo plazo

Método

μ_1: media de Ventilación actual (cfm)
μ_2: media de Ventilación Planeamiento a corto, mediano y largo plazo
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ventilación actual (cfm)	10	551078	961	304
Ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo	10	1503867	226	72

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-952789	(-953495; -952083)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-3051.97	9	0.000

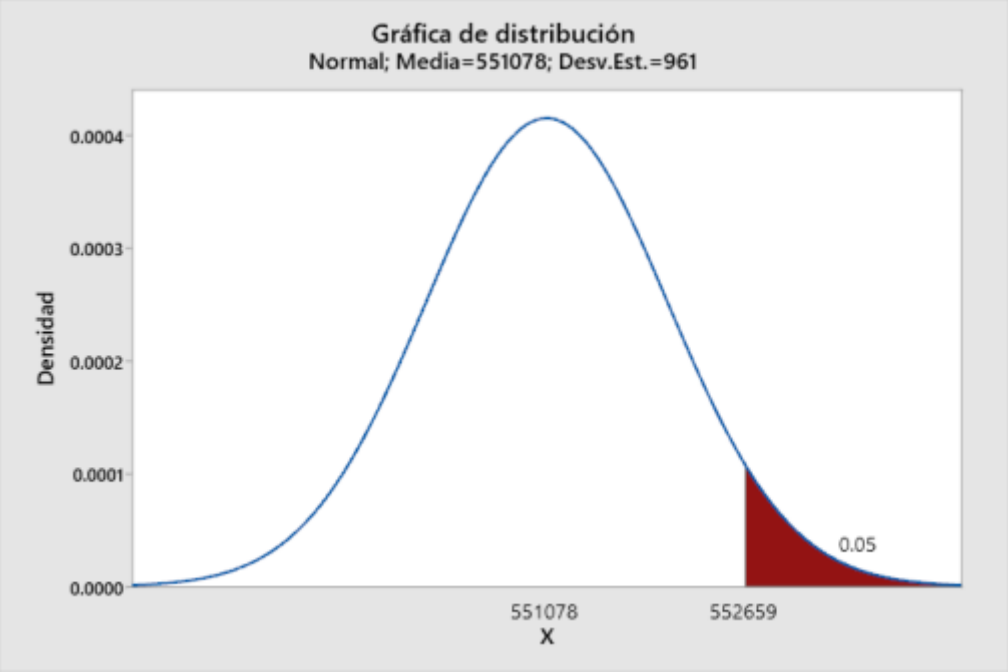
Como Pv < 0.05 RHo (Se rechaza la hipótesis nula).

Se puede concluir que la media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura, es mayor a la media de la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

Esto significa que, con el planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura influye considerablemente en la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua.

Figura 73.

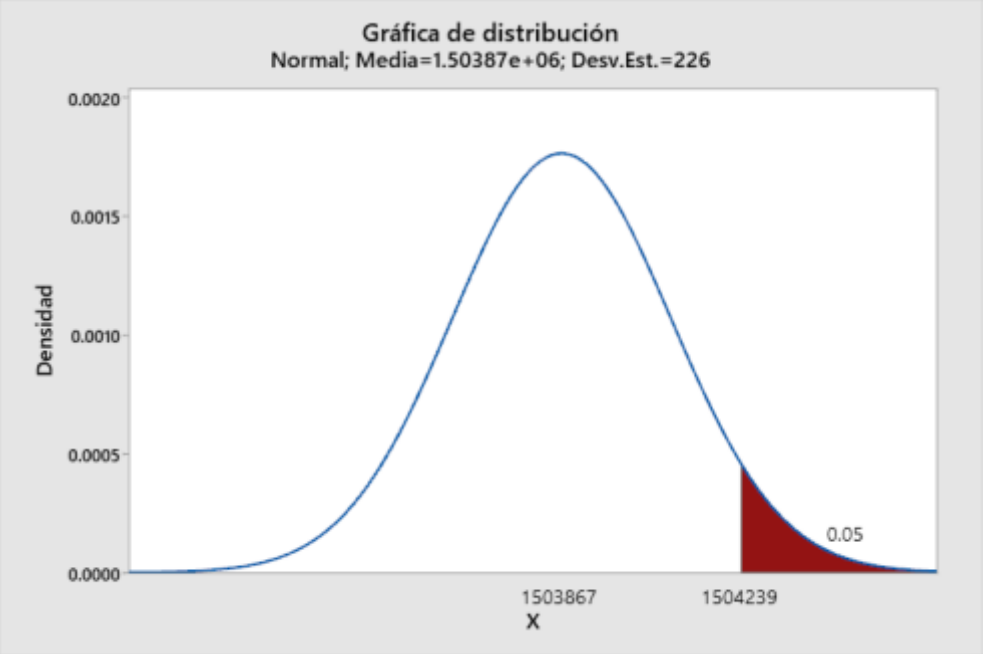
Distribución de la ventilación actual (cfm)



Nota. SPSS Statistics

Figura 74.

Distribución de la ventilación optimizada actual y proyectada con Planeamiento a Corto, Mediano y Largo Plazo



Nota. SPSS Statistics

VI. CONCLUSIONES

1) Del contraste de la HIPÓTESIS GENERAL se concluye que el estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 predomina en la evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC. El valor crítico de la ventilación optimizada actual y proyectada es 1,501,608 cfm.

2) Del contraste de la HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°01 se concluye que con el modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 predomina en la evaluación del diseño en software, comparando los resultados medidos en campos vs resultados medidos en Ventsim. El valor crítico de la ventilación con modelamiento es 1,501,616 cfm.

3) Del contraste de la HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°02 se concluye que con la media del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, optimizarán el sistema de la ventilación futura predomina en la factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo que generen una mejora continua. El valor crítico de la ventilación planeamiento corto, mediano y largo plazo es 1,504,239 cfm.

VII. RECOMENDACIONES

1) Realizar un estudio para la instalación de sensores en interior mina y verificar el monitoreo de los flujos de aire, temperaturas y gases en los frentes de minado.

2) Realizar el registro permanente en planos 2D de los circuitos de ventilación de la mina, de modo que se tenga un control efectivo en las condiciones ambientales.

3) Realizar monitoreo diario en el circuito de ventilación para identificar la cantidad de aire, dirección, y condiciones termo-ambientales, a fin de que ello se registre en un plano isométrico y se elabore un reporte diario de ventilación para las demás áreas.

4) Realizar un plan de mantenimiento en los ventiladores principales, recomendable cada 3 años, para el engrase, alineamiento y balanceo en sus rodajes y así como el mantenimiento en los álabes para un óptimo funcionamiento.

5) Realizar señalización de las estaciones de ventilación para tener un control adecuado en los monitoreos

6) En zonas críticas de ventilación los ventiladores se deben encontrar automatizados, ante cualquier eventualidad se enciendan de manera autónoma y mejore las condiciones.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. (14 de Julio de 2017). *Mine Air Conditioning and Ventilation*. Obtenido de https://www.ashrae.org/advertising/handbook-advertising/applications/mine-air-conditioning-and-ventilation
- Corimanya, J. A., & Méndez, F. R. (2011). *Planeamiento de Ventilación Asistida para la Unidad Peruana San Cristóbal- Cía. Minera San Cristóbal. Tesis de Pre Grado.* Lima: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Enríquez R., J. F. (2011). *Evaluación del Sistema de Ventilación de la Mina San Vicente - Compañía Minera San Ignacio de Morococha aplicando el so0ftware Ventsim 3.9.* Lima: UNI.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (1989). Manual de Ventilación de Minas. *Jueves Mineros.*
- ISTEC. (2000). Ventilación Elemental. *ISTEC*.
- J. McPherson, M. (1993). *Subsurface Ventilation Engineering.* USA: Springer-Science + Business Media, B.V. Primera Edición.
- Jiménez Ascanio, P. (2011). Curso de Ventilación de Minas. *ISTEC*, 4-5.
- Jiménez Ascanio, P. (2011). Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. *Boletín Jueves Mineros del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*, 1-2.
- Kaseng Solís, F. L. (2017). Guía Práctica para Elaborar Plan de Tesis y Tesis de Post Grado. Lima: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Licas Tipe, V. H. (2015). Proyecto de Ventilación, para Aplicar el Derribo por Subniveles en la Unidad Minera de Caudalosa Chica-2014. Tesis de Pre Grado. Ayacucho: Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil.

- Minas, M. d. (28 de Julio de 2016). D.S. N° 024-2016-EM. Aprueban el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, págs. 1-2.
- Noova SAC. (2012). Informe Preliminar del Montaje 3D de la Mina Arcata. Simulación con Ventsim. Estandarización del Sistema. Análisis del Consumo de Energía. Evaluación de Alternativas de Diseño y Adquisición de Herramientas. Lima: IIMP.
- Noova SAC. (2014). Análisis y Optimización del Sistema de Ventilación de la Unidad Minera Chungar. Lima: Volcan Compañía Minera.
- Novitzky, A. (1962). Ventilación de Minas. Buenos Aires. Argentina.
- Quispe Mamani, E. (2010). Caracterización y Diseño del sistema de Ventilación para la Mejora de la Circulación del Aire en el Proyecto Minero Inmaculada 4 -CIEMSA. Tesis de Pre Grado. Puno: Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Sutty Vilca, J. A. (2016). Influencia de la Ventilación Mecánica, en el Diseño del Sistema de Ventilación del Nivel 4955 Mina Urano SAC - Puno. Tesis de Pre Grado. Puno: Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

IX. ANEXOS

ANEXO N°01 – MATRIZ DE CONSISTENCIA

"ESTUDIO Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA SU OPTIMIZACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA, CASO ESTUDIO MINA INMACULADA – HOCHSCHILD MINING PLC"

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	**HIPÓTESIS GENERAL**	**OBJETIVO GENERAL**	**VARIABLE INDEPENDIENTE**
¿La realización de un estudio y diseño 3D, permitirá la optimización actual y proyectada para la mina Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC?	El estudio de ingeniería básica y el diseño en 3D del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5 de la unidad minera Inmaculada, permitirá definir la ruta crítica para la optimización actual y proyectada.	Realizar un estudio a nivel conceptual y diseño en 3D bajo el soporte del software Ventsim Design 5, de modo que se pueda registrar los frentes de trabajo con necesidad de aire, ello permitirá generar diseños y simulaciones proyectadas que generen la optimización del	La evaluación técnica de la cobertura de aire global utilizando el software Ventsim Design 5 del sistema de ventilación de la Unidad Minera Inmaculada de la empresa HOCHSCHILD MINING PLC. INDICADORES

		sistema de ventilación de mina Inmaculada.	Modelamiento del sistema de ventilación utilizando el software Ventsim Design 5, de la unidad minera Inmaculada de la empresa minera HOCHSCHILD MINING PLC.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**VARIABLES DEPENDIENTES**
¿Realizando un modelo virtual en 3D, con el software Ventsim Design 5, permitirá realizar la optimización deseada para la mina? ¿Los diseños proyectados en 3D, permitirán una	El modelo virtual 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación. El planeamiento a corto, mediano y largo plazo,	Realizar el diseño en 3D en base al modelamiento, calibración y simulación en el software Ventsim Design 5, en las condiciones actuales y proyectadas para la mina. Realizar el planeamiento a corto, mediano y largo plazo para optimizar el sistema de	A = Evaluación del diseño en software, comparando los resultados medidos en campos vs resultados medidos en Ventsim B = Factibilidad y eficacia de los proyectos planteados en el software Ventsim, de modo

optimización a futuro para mejorar la ventilación?	optimizarán el sistema de la ventilación futura.	ventilación proyectado de la mina.	que generen una mejora continua. **INDICADORES** A_1 = Estadísticas de velocidades de aire y parámetros ambientales. B_1 = Modelamiento proyectado en Ventsim Design 5, para definir el diseño óptimo. C_1 = Velocidad de aire (m/min) D_1 = Costo unitario de energía (US$/kW) D_2 = Costo anual de energía (US$/año)

	E_1 = Caudal de aire (m3/min) E2 = Flujo de Masa (kg/s) F1 = Simulación en Ventsim, determinando la efectividad de los proyectos. G1= Trade off (comparativo de costo beneficio), para determinar la ruta de optimización del diseño de ventilación.

ANEXO N°02 – NOMENCLATURA Y TERMINOLOGÍA

- **cfm:** Pies cúbicos por minuto (Cubic Feet per minute). Indica el flujo de aire que pasa por un punto estacionario en un minuto.
- **m^3/s:** Metros cúbicos por segundo. Indica el flujo de aire, que pasa por un punto estacionario en un segundo.
- 1 m^3/s = 60 m^3/min = 2118.88 cfm.
- **HP:** Caballaje de fuerza (Horse Power). Potencia desarrollada por el motor.
- **KW:** Kilowatt, unidad de potencia que desarrolla el ventilador.
- HP = 0.746 KW
- **RPM:** Revoluciones por minuto. Medida de la cantidad de vueltas que genera el motor en el lapso de un minuto.
- **Hz:** Hertz. Medida de la frecuencia que se repite una onda en un segundo.
- **C.A.:** Unidad de presión, igual a la presión ejercida por una columna de agua de una pulgada de altura a temperatura estándar.
- **η:** eficiencia del ventilador, es una función de su diseño aerodinámico y el punto de operación de su curva.
- **msnm:** metros sobre el nivel de mar, unidad que indica la altitud de un lugar.

TERMINOLOGÍA

- **Presión estática:** Es la presión potencial ejercida en todas las direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en la dirección perpendicular a la del flujo, tendencia a dilatar o colapsar al ducto.
- **Presión dinámica:** Es la presión cinética en la dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad.

- **Presión Total:** Suma algebraica de las presiones estáticas y dinámicas. Los resultados se expresarán en unidades inglesas pulgadas de columna de agua ("C.A.).
- **Factor de corrección por densidad:** es el cociente entre la densidad real del aire en faena y la densidad del aire estándar.
- **Aerodinámico:** Objeto cuya forma ofrece poca resistencia al aire.
- **Punto de operación:** El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito (P, Q), es el punto de funcionamiento del ventilador.

ANEXO N°03 – CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE Y BALANCE DE VENTILACIÓN ACTUAL

BALANCE DE VENTILACIÓN ACTUAL

Tabla 44.

Resumen Balance de Ventilación

Balance Total de Aire		
Caudal de Aire	**m3/min**	**cfm**
Total de aire requerido	31,540	1,113,822
Ingreso de aire	15,605	551,078
Salida de aire	15,484	546,807
Cobertura (%)		**49**
Déficit (cfm)		**562,745**

Nota. Elaboración propia

AFOROS DE VENTILACIÓN – INGRESOS Y SALIDAS DE AIRE

INGRESO DE AIRE:

Tabla 45.

Resumen ingreso de aire fresco

Estac.	UBICACIÓN		AREA	VELOCIDAD		CAUDAL CAMPO		DIST.
	Nivel	Labor	m2	m/s	m/min	m3/min	CFM	(%)
EP- 01	4400	BM 4400	18.64	3.05	183	3,408	120,363	22%
EP- 02	4300	BM 4300	17.95	3.46	208	3,728	131,649	24%

EP- 03	4500	BM 4500	15.35	6.52	391	6,007	212,144	38%
EP- 04	4700	RB 06	1.77	3.40	204	360	12,723	2%
EP- 05	4650	RB 10	3.80	1.43	86	326	11,518	2%
EP- 06	4650	RB 07	1.52	4.06	244	370	13,069	2%
EP-07	4560	BM 4560	0.73	9.09	545	399	14,096	3%
EP -07	4400	RB 01	10.41	0.38	23	234	8,281	1%
EP -08	4400	RB 02	14.52	0.21	13	185	6,530	1%
EP - 09	4300	RB 04	17.94	0.41	24	437	15,416	3%
EP -10	4300	RB 05	15.98	0.26	16	251	8,879	2%
TOTAL INGRESO						**15,706**	**554,668**	**100%**

Nota. Elaboración propia

SALIDA DE AIRE:

Tabla 46.

Resumen salida de aire viciado

Estac.	UBICACIÓN		AREA	VELOCIDAD		CAUDAL		DIST.
	Nivel	Labor	m2	m/s	m/min	m3/min	CFM	(%)
EP-01	4700	RB 18	1.77	3.28	197	348	12,298	2%
EP-02	4690	RB 09	7.21	24.73	1,484	10,701	377,892	69%
EP-03	4640	RB 11	3.77	19.62	1,177	4,435	156,616	29%
TOTAL SALIDA						**15,484**	**546,807**	**100%**

Nota. Elaboración propia

A1. REQUERIMIENTO DE AIRE POR PERSONAL

Teniendo en cuenta la altura es mayor a 4,000 msnm, y el caudal requerido es de 6m3/min se determinó:

$$Q_{Tr} = FxN$$

Donde:

Q_{Tr}: Caudal total para “n” trabajadores (m3/min).

F: Caudal mínimo por persona de acuerdo al decreto supremo.

N: Número de personas por labor.

Reemplazando a la ecuación, tenemos el siguiente caudal requerido por el número de trabajadores.

Tabla 47.

Resumen de lista de personal mina

Personal	Total/ g	m3/min (*)	cfm
MINA CIA.	62	372	13,137
GEOLOGIA	15	90	3,178
ZICSA	85	510	18,011
UNICON	19	114	4,026
VICOR	8	48	1,695
FADECOM	3	18	636
ZEVALLOS	5	30	1,059
MDH	12	72	2,543
OTROS	30	180	6,357
SUBTOTAL	**239**	**1,434**	**50,642**
Flotantes (5%)	12	72	2,532
TOTAL	**251**	**1,506**	**53,174**

Nota. Elaboración propia

A2. REQUERIMIENTO DE AIRE POR CONSUMO DE MADERA

Para obtener el consumo de madera se debe considerar el programa de uso programado por mes.

$$Q_{Te} = Txu$$

Donde:

Q_{Ma}: Caudal requerido por toneladas de producción (m3/min)

U: Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento

T: Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Tabla 48.

Resumen factor de producción por consumo de madera

FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE MADERA	
CONSUMO DE MADERA (%)	**FACTOR DE PRODUCCIÓN (m3/min)**
<20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
>70	1.25

Nota. D.S. 024-2017 EM, Anexo 38.

El consumo de madera está por debajo del 20% de la producción, por lo tanto:

$$Q_{Ma} = \text{ 0 TMH/mes * 0.00 } \frac{m^3}{min}$$

$Q_{Ma} =$	**0 cfm**

A3. REQUERMIENTO DE AIRE POR TEMPERATURA EN LAS LABORES

Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar la velocidad mínima es de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.

$$Q_{Te} = V_m x A x N$$

Donde:

Q_{Te}: Caudal por temperatura (m3/min).

V_m: Velocidad mínima.

A: Área de la labor promedio.

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

Tabla 49.

Resumen velocidad crítica

VELOCIDAD MÍNIMA

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

Nota. D.S. 024-2017 EM, Anexo 38.

Reemplazando a la ecuación, se obtiene el caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo de 20,024 cfm.

Tabla 50.

Resumen cálculo requerimiento de aire por temperatura

TEMPERATURA °C	24 a 29	°C
# NIVELES	1	>23°C
VELOCIDAD MÍN (Vm)	30	m/min
AREA (Prom.)	19	m^2
$Q_{Te} =$	**20,024**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

A4. REQUERIMIENTO DE AIRE POR EQUIPOS CON MOTOR PETROLERO

Para cálculo del caudal requerido por equipo con motor petrolero se obtiene como fórmula la siguiente ecuación:

$$Q_{Eq} = 3(\frac{m^3}{min})xHPxD_mxF_uxFA$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m3/min)

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs).

Dm = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%),

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

FA= Factor de corrección por altura (%).

Tabla 51.

Resumen detallado requerimiento de aire por equipos con motor petrolero

Item	Eq.	Descripción	Cant	Pot (HP)	Disp. mec. (Dm) (%)	Fac. ut. (Fu) (%)	Factor por Altura (%)	m3/min	cfm	Dist. (%)
1	PERFORACIÓN	JUMBO S1D-01	1	97	96%	16%	87%	40	1,406	**0.16%**
2		JUMBO S1D-02	1	97	90%	7%	87%	16	566	**0.06%**
3		JUMBO T1D-01	1	74	92%	4%	87%	8	275	**0.03%**
4		JUMBO T1D-02	1	74	92%	3%	87%	5	176	**0.02%**

5		JUMBO T1D-03	1	74	93%	5%	87%	9	332	**0.04%**
6		JUMBO T1D-04	1	74	85%	6%	87%	9	325	**0.04%**
7		JUMBO JB-30	1	56	85%	10%	87%	12	425	**0.05%**
8		JUMBO JB-25	1	56	92%	14%	87%	18	641	**0.07%**
9		JUMBO JB-26	1	56	92%	17%	87%	23	807	**0.09%**
10		JUMBO JB-27	1	56	93%	14%	87%	19	686	**0.08%**
11		JUMBO JB-29	1	56	95%	9%	87%	13	451	**0.05%**
12		SIMBA SB-01	1	74	83%	5%	87%	7	257	**0.03%**
13		SIMBA SB-02	1	74	90%	4%	87%	6	225	**0.03%**
SUB TOTAL			**13**	**915**				**186**	**6,572**	**0.73%**
14	LIMPIEZA Y CARGUIO	SCOOP ST-01, 6Yd	1	249	85%	50%	87%	277	9,790	**1.09%**
15		SCOOP ST-02, 6Yd	1	249	91%	47%	87%	280	9,886	**1.10%**
16		SCOOP ST-03, 6Yd	1	249	90%	39%	87%	232	8,200	**0.92%**
17		SCOOP ST-05, 6Yd	1	249	87%	52%	87%	293	10,355	**1.16%**
18		SCOOP ST-08, 6Yd	1	279	94%	40%	87%	276	9,740	**1.09%**
19		SCOOP ST-09, 6Yd	1	279	96%	42%	87%	294	10,394	**1.16%**
20		SCOOP SC-19, 6Yd	1	280	86%	54%	87%	339	11,985	**1.34%**
21		SCOOP SC-39, 6Yd	1	280	86%	62%	87%	391	13,805	**1.54%**
22		SCOOP SC-41, 6Yd	1	279	92%	55%	87%	370	13,083	**1.46%**
23		SCOOP SC-42, 6Yd	1	279	90%	62%	87%	406	14,326	**1.60%**
24		SCOOP SC-43, 6Yd	1	279	91%	62%	87%	413	14,603	**1.63%**
25		SCOOP SC-44, 6Yd	1	279	92%	57%	87%	385	13,580	**1.52%**
26		SCOOP SC-45, 6Yd	1	279	92%	52%	87%	350	12,350	**1.38%**
27		SCOOP SC-46, 6Yd	1	279	94%	46%	87%	315	11,120	**1.24%**
28		SCOOP SC-47, 6Yd	1	279	94%	56%	87%	381	13,440	**1.50%**
SUB TOTAL			**15**	**4,069**				**5,002**	**176,658**	**19.73%**
29	ACARREO Y TRANSPORTE	VOLQUETE 58 Relleno	1	440	99%	67%	87%	763	26,957	**3.01%**
30		VOLQUETE 96 Relleno	1	440	97%	81%	87%	903	31,889	**3.56%**
31		VOLQUETE 97 Relleno	1	440	98%	62%	87%	699	24,688	**2.76%**
32		VOLQUETE 9 Mina	1	480	98%	62%	87%	758	26,765	**2.99%**
33		VOLQUETE 11 Mina	1	480	98%	53%	87%	649	22,913	**2.56%**
34		VOLQUETE 12 Mina	1	480	86%	46%	87%	498	17,604	**1.97%**
35		VOLQUETE 14 Mina	1	480	97%	61%	87%	745	26,305	**2.94%**
36		VOLQUETE 17 Mina	1	480	57%	37%	87%	265	9,372	**1.05%**
37		VOLQUETE 18 Mina	1	480	76%	48%	87%	454	16,019	**1.79%**
38		VOLQUETE 21 Mina	1	480	97%	55%	87%	662	23,377	**2.61%**
39		VOLQUETE 22 Mina	1	480	99%	65%	87%	804	28,392	**3.17%**
40		VOLQUETE 24 Mina	1	480	97%	59%	87%	716	25,278	**2.82%**
41		VOLQUETE 25 Mina	1	480	98%	61%	87%	743	26,250	**2.93%**
42		VOLQUETE Q-69 Zicsa	1	480	97%	18%	87%	212	4,491	**0.50%**
43		VOLQUETE Q-47 Zicsa	1	440	91%	35%	87%	368	7,789	**0.87%**

44		VOLQUETE Q-48 Zicsa	1	440	93%	33%	87%	351	7,428	**0.83%**
45		VOLQUETE Q-49 Zicsa	1	440	97%	38%	87%	422	8,938	**1.00%**
46		VOLQUETE Q-50 Zicsa	1	440	88%	10%	87%	101	2,149	**0.24%**
47		VOLQUETE Q-51 Zicsa	1	480	97%	36%	87%	436	9,238	**1.03%**
48		VOLQUETE Q-52 Zicsa	1	480	95%	31%	87%	367	7,783	**0.87%**
49		VOLQUETE Q-53 Zicsa	1	480	97%	25%	87%	303	6,415	**0.72%**
50		VOLQUETE Q-71 Zicsa	1	480	94%	39%	87%	457	9,684	**1.08%**
51		VOLQUETE Q-N Zicsa	1	480	94%	39%	87%	457	9,684	**1.08%**
SUB TOTAL			**22**	**10,280**				**11,676**	**369,726**	**41.29%**
51	SOSTENIMIENTO	MIXER BAJO PERFIL CAM107	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
52		MIXER BAJO PERFIL CAM110	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
53		MIXER BAJO PERFIL CAM177	1	174	94%	72%	87%	306	10,797	**1.21%**
54		MIXER BAJO PERFIL CAM180	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**
55		MIXER BAJO PERFIL CAM187	1	174	93%	70%	87%	296	10,441	**1.17%**
56		MIXER BAJO PERFIL CAM188	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**
57		MIXER BAJO PERFIL CAM193	1	174	92%	69%	87%	288	10,181	**1.14%**
58		LANZADOR DE CONCRETO SHO-13	1	154	89%	35%	87%	125	4,422	**0.49%**
59		LANZADOR DE CONCRETO SHO-16	1	154	75%	52%	87%	159	5,601	**0.63%**
60		LANZADOR DE CONCRETO SHO-29	1	95	91%	55%	87%	124	4,383	**0.49%**
61		JUMBO EMPERNADOR EM-05	1	56	89%	21%	87%	27	959	**0.11%**
62		JUMBO EMPERNADOR EM-06	1	56	90%	22%	87%	29	1,026	**0.11%**
63		JUMBO EMPERNADOR EM-07	1	56	85%	22%	87%	28	978	**0.11%**
64		JUMBO EMPERNADOR EM-08	1	56	85%	19%	87%	24	846	**0.09%**
65		JUMBO EMPERNADOR EM-09	1	56	89%	7%	87%	9	330	**0.04%**
66		SCALER SL-05	1	56	81%	41%	87%	48	1,708	**0.19%**
67		SCALER SL-06	1	56	93%	49%	87%	67	2,364	**0.26%**
68		SCALER SL-07	1	56	92%	41%	87%	55	1,959	**0.22%**
SUB TOTAL			**18**	**2,069**				**2,753**	**97,238**	**10.86%**
69	AUXILIARES	SERVICE TRUCK CL-01	1	74	96%	12%	87%	22	762	**0.09%**
70		Elevador MT-01	1	95	96%	34%	87%	81	2,864	**0.32%**
71		Elevador MT-02	1	95	91%	40%	87%	90	3,174	**0.35%**
72		RETROEXCAVADORA Infraestructura vias lodos	1	300	90%	58%	87%	409	14,434	**1.61%**
73		MINICARGADOR Infraestructura vias lodos	1	73	90%	58%	87%	99	3,510	**0.39%**
74		MANITOU	1	95	94%	37%	87%	86	3,025	**0.34%**
75		TELEHANDLER DE PLUMA TELESCOPICA	1	74	96%	12%	87%	22	762	**0.09%**
76		CISTERNA - 2 V6O - 776	1	480	97%	38%	87%	462	16,308	**1.82%**
77		MOTONIVELADORA Infraestructura vias lodos	1	158	99%	50%	87%	204	7,209	**0.81%**
78		RODILLO Infraestructura vias lodos	1	156	99%	50%	87%	202	7,118	**0.79%**

79		Cisterna Hyundai V80 - 730	1	138	96%	28%	87%	97	3,419	**0.38%**
80		Camion Hyundai V9A-895	1	138	95%	38%	87%	130	4,592	**0.51%**
81		Grua Hyundai V9Q-877	1	138	97%	67%	87%	234	8,267	**0.92%**
SUB TOTAL			**13**	**2,013**				**2,136**	**75,443**	**8.43%**
82	LIVIANOS	Camioneta GEOLOGIA 1	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
83		Camioneta GEOLOGIA 2	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
84		Camioneta GEOLOGIA 3	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
85		Camioneta GEOMECANICA	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
86		Camioneta INFRAESTRUCTURA	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
87		Camioneta MANT. ELECTRICO	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
88		Camioneta MANT. MECANICO (inspección)	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
89		Camioneta MANT. EPIROC	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
90		Camioneta MANTTO EPIROC 1	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
91		Camioneta MEDIO AMBIENTE	1	174	100 %	2%	87%	9	321	**0.04%**
92		Camioneta MDH 1	1	174	100 %	45%	87%	204	7,217	**0.81%**
93		Camioneta MDH 2	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
94		Camioneta MDH 3	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
95		Camioneta MINA 1 Operaciones	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
96		Camioneta MINA 2 Operaciones	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
97		Camioneta MINA 3 Servicios	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
98		Camioneta MINA 4 Avances	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
99		Camioneta PLANEAMIENTO	1	174	100 %	10%	87%	45	1,604	**0.18%**
100		Camioneta SEGURIDAD INDUSTRIAL 1	1	174	100 %	30%	87%	136	4,811	**0.54%**
101		Camioneta TOPOGRAFIA	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
102		Camioneta UNICON 1	1	174	100 %	46%	87%	208	7,345	**0.82%**
103		Camioneta UNICON 2	1	174	100 %	46%	87%	208	7,345	**0.82%**
104		Camioneta VICOR 1	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
105		Camioneta ZEVALLOS 1	1	174	100 %	35%	87%	159	5,613	**0.63%**
106		Camioneta ZICSA 1 Zona alta	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
107		Camioneta ZICSA 2 Zona baja	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
108		Camioneta ZICSA 3 Residencia	1	174	100 %	25%	87%	114	4,009	**0.45%**
109		Camioneta ZICSA 4 Topografía	1	174	100 %	46%	87%	209	7,377	**0.82%**
110		Minibus Hyundai VCN-962 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
111		Minibus Hyundai VDL-967 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
112		Minibus Hyundai V9F 814 County	1	138	100 %	20%	87%	72	2,544	**0.28%**
113		Custer DAJOR 1	1	170	96%	20%	87%	85	3,008	**0.34%**
114		Custer DAJOR 2	1	147	96%	20%	87%	74	2,601	**0.29%**

SUB TOTAL	**33**	**5,603**		**4,806**	**169,708**	**18.95%**
TOTAL	**114**	**24,949**		**26,560**	**895,343**	**100%**

Nota. Elaboración Propia

A5. REQUERIMIENTO DE AIRE POR FUGAS

Para el cálculo del caudal requerido por fugas es:

$$Q_{Fu} = 15\% x Q_{t1} (m^3/min)$$

Donde:

Q_{Fu}: Caudal requerido por fugas

Q_{t1}: Caudal requerido total

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

Tabla 52.

Resumen cálculo de requerimiento por fugas

PERSONAL	Q_{Tr}	53,174	cfm
MADERA	Q_{Ma}	0 cfm	cfm
TEMPERATURA	Q_{Te}	20,024	cfm
EQUIPOS	Q_{Eq}	895,343	cfm
SUBTOTAL	Q_{t1}	**968,541**	**cfm**
FUGAS	Q_{Fu}	**145,281**	**cfm**

Nota. Elaboración Propia

ANEXO N°03 – INVENTARIO DE VENTILADORES ACTUAL

VENTILACIÓN PRINCIPAL

Tabla 53.

Inventario de ventiladores principales

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real HP
1	V 300-2	ZITRON	ZVN 1-23-230/6	300,000	226
2	VT150-1	TOMOCORP	ZVN 1-23-230/6	150,000	229
3	V 120-1	AIRTEC	VAV-60-26.5-1750-IIA	120,000	167
Sub Total				**570,000**	**622**

Nota. Elaboración propia

VENTILACIÓN SECUNDARIA

Tabla 54.

Inventario de ventiladores secundarios

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real. HP
1	VR60-03	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	81
2	V50-09	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	119
3	V50-06	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	94
4	V50-04	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	94
5	V50-10	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	120
6	V40-01	AIRTEC HURACAN	VAV-38-26.5-1750-11	40,000	69
7	V30-10	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	53
8	V50-13	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	109
9	V50-07	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	99
10	V50-03	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	88
11	V50-02	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	100
12	V50-01	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	97
13	VR60-01	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	87
14	V50-05	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	97
15	VR60-02	REMOVEX AB	LMT-1250.4.8.800.90	60,000	87
16	V50-12	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	122
17	VZ50-02	INVENSAC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	100
18	V50-11	AIRTEC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	115

Sub Total		**900,000**	**1,732**

Nota. Elaboración propia

VENTILACIÓN AUXILIAR

Tabla 55.

Inventario de ventiladores secundarios

Ítem	Código	Marca	Modelo	Q Nominal CFM	Potencia Real. HP
1	VT30-02	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	57
2	V30-02	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	60
3	V5-03	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	12
4	VT20-01	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	60
5	V5-02	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	24
6	V5-04	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	5,000	28
7	V30-12	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	61
8	V30-01	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	57
9	V30-09	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	54
10	V30-07	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	43
11	V20-03	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	50
12	V20-02	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	45
13	V10-01	AIRTEC	VAV-23 1_4-18-3450-II-A	10,000	28
14	V5-05	AIRTEC	VAV-18-14-3450-II-A	5,000	24
15	V30-13	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	62
16	V30-11	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	53
17	V30-05	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	55
18	VZ30-01	INVENSAC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	54
19	V20-05	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	50
20	VR30-02	REMOVEX AB	VAV-45-26.5-1750-II-B	30,000	87
21	V30-14	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	38
22	VR30-01	REMOVEX AB	VAV-45-26.5-1750-II-B	30,000	91
23	VZ50-01	INVENSAC	VAV-45-26.5-1750-II-B	50,000	70
24	VT20-02	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	49
25	V20-01	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	20,000	43
26	V30-08	AIRTEC	VAV-24-14-1550-I-A	30,000	51
27	VT30-01	TOMOCORP	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	45
28	VZ30-02	INVENSAC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	30
29	V30-06	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	55
30	VZ20-01	INVENSAC	VAV - 25 1/4-18-3450-II-A	20,000	53
31	V30-04	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	30,000	59
		Sub Total		**760,000**	**1,550**

Nota. Elaboración propia

ANEXO N°03 – CORRELACIÓN DE DATOS – CAMPO VS VENTSIM

Tabla 56.

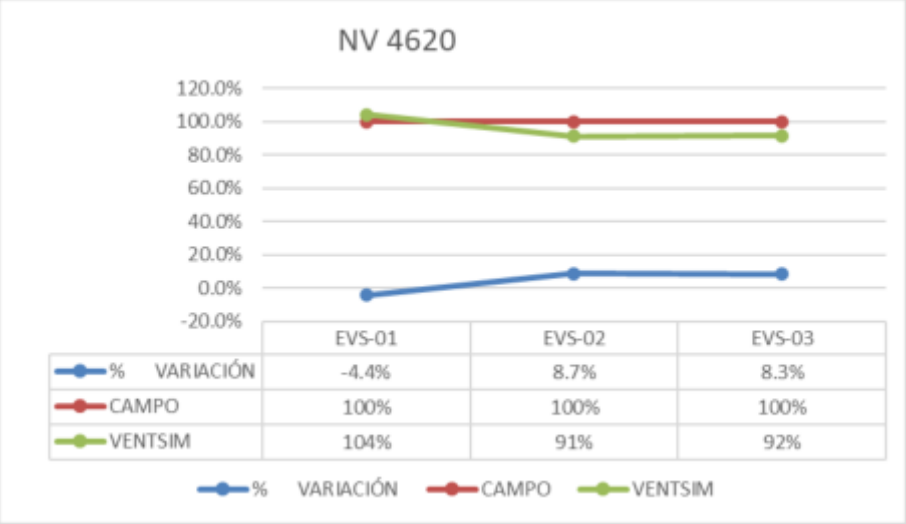
Datos de campo y Ventsim – Nv 4620

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4620	RB 06	**1,133**	**1,183**	**-4.4%**	100%	104%
EVS-02	NV 4620	CA 6752NW	**7,924**	**7,237**	**8.7%**	100%	91%
EVS-03	NV 4620	RP 8707	**5,237**	**4,803**	**8.3%**	100%	92%

Nota. Elaboración propia

Figura 75.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4620



Nota. Elaboración propia

Tabla 57.

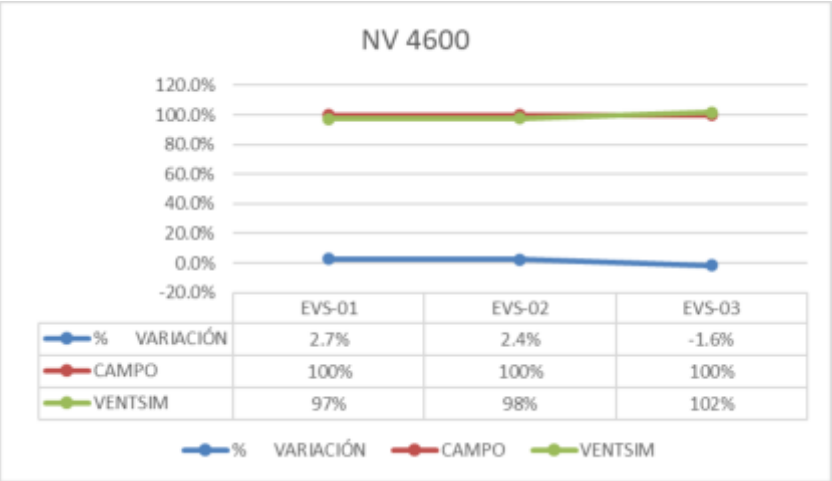
Datos de campo y Ventsim – Nv 4600

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4600	CA 0001 NW	**2,356**	**2,292**	**2.7%**	100%	97%
EVS-02	NV 4600	VE (4-3) SW	**5,692**	**5,555**	**2.4%**	100%	98%
EVS-03	NV 4600	VE 05	**26,545**	**26,977**	**-1.6%**	100%	102%

Nota. Elaboración propia

Figura 76.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4600



Nota. Elaboración propia

Tabla 58.

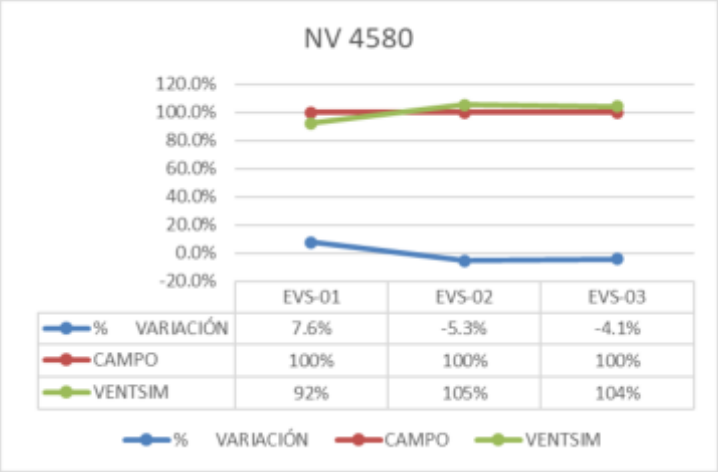
Datos de campo y Ventsim – Nv 4580

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4580	CA 8522NW	**2,197**	**2,030**	**7.6%**	100%	92%
EVS-02	NV 4580	RB 11	**32,087**	**33,785**	**-5.3%**	100%	105%
EVS-03	NV 4580	RP 8828	**25,717**	**26,776**	**-4.1%**	100%	104%

Nota. Elaboración propia

Figura 77.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4580



Nota. Elaboración propia

Tabla 59.

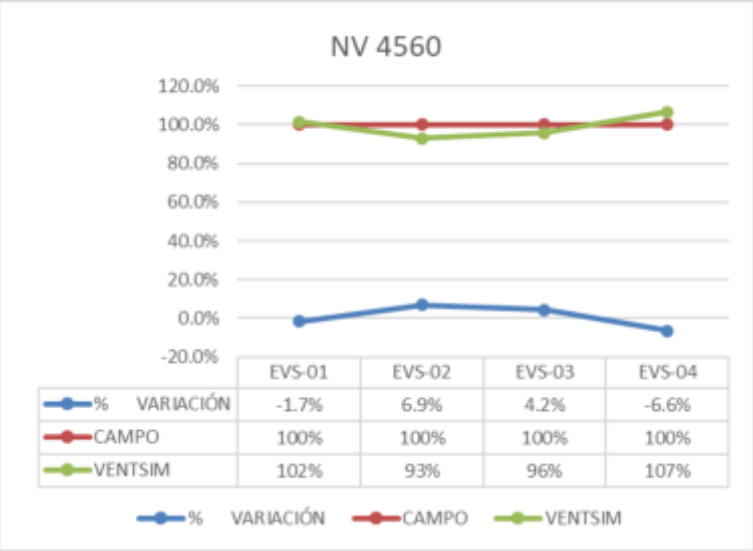
Datos de campo y Ventsim – Nv 4560

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4560	BM 4560	**13,215**	**13,433**	**-1.7%**	100%	102%
EVS-02	NV 4560	BP 4560NE	**40,742**	**37,932**	**6.9%**	100%	93%
EVS-03	NV 4560	BP 4560NE	**43,768**	**41,922**	**4.2%**	100%	96%
EVS-04	NV 4560	AC 4560	**35,159**	**37,484**	**-6.6%**	100%	107%

Nota. Elaboración propia

Figura 78.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4560



Nota. Elaboración propia

Tabla 60.

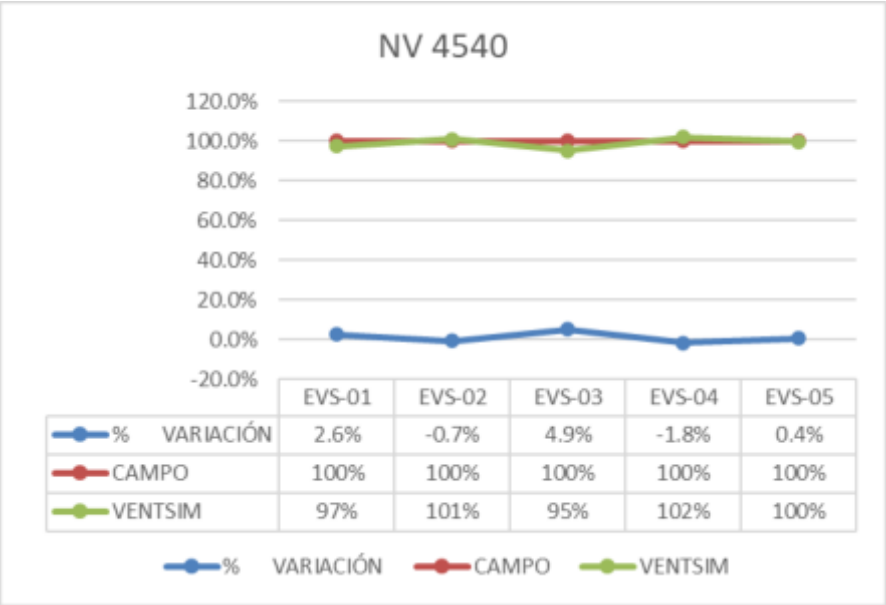
Datos de campo y Ventsim – Nv 4540

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	Nv 4540	BP 4540NE	**9,278**	**9,040**	**2.6%**	100%	97%
EVS-02	Nv 4540	BP 4540NE	**5,746**	**5,785**	**-0.7%**	100%	101%
EVS-03	Nv 4540	BP 4540NE	**51,042**	**48,539**	**4.9%**	100%	95%
EVS-04	Nv 4540	BP 4540NE	**38,725**	**39,408**	**-1.8%**	100%	102%
EVS-05	Nv 4540	BP 4540NE	**48,747**	**48,571**	**0.4%**	100%	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 79.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4540



Nota. Elaboración propia

Tabla 61.

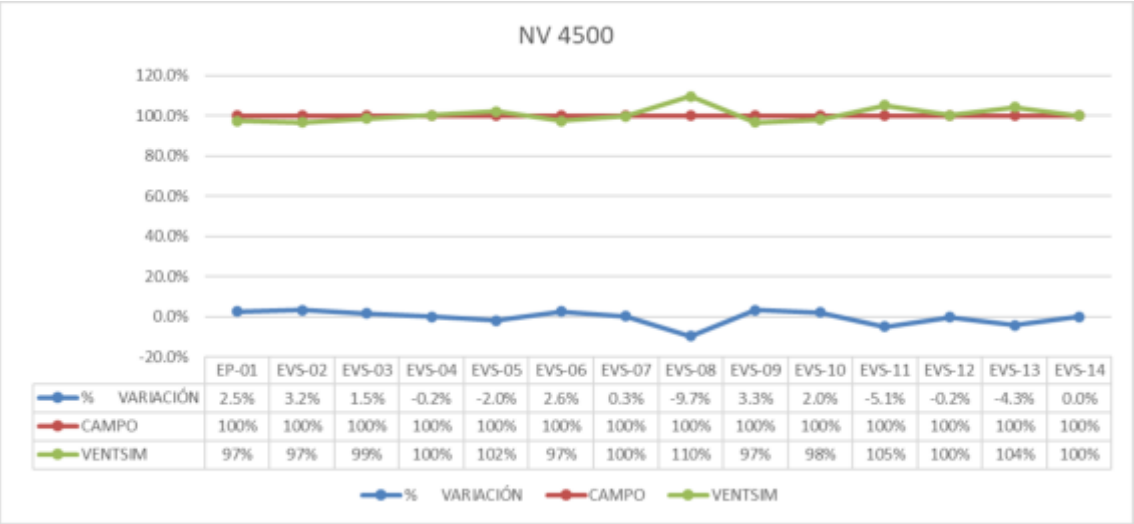
Datos de campo y Ventsim – Nv 4500

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EP-01	NV 4500	BM	**212,144**	**206,763**	**2.5%**	100%	97%
EVS-02	NV 4500	BP 4500	**207,015**	**200,292**	**3.2%**	100%	97%
EVS-03	NV 4500	BP 4500	**14,959**	**14,735**	**1.5%**	100%	99%
EVS-04	NV 4500	RB 06	**99,596**	**99,751**	**-0.2%**	100%	100%
EVS-05	NV 4500	BP 4500	**33,879**	**34,551**	**-2.0%**	100%	102%
EVS-06	NV 4500	BP 4500	**55,478**	**54,024**	**2.6%**	100%	97%
EVS-07	NV 4500	BP 4500	**59,635**	**59,477**	**0.3%**	100%	100%
EVS-08	NV 4500	BP 4500	**22,250**	**24,404**	**-9.7%**	100%	110%
EVS-09	NV 4500	OP 8924	**16,434**	**15,893**	**3.3%**	100%	97%
EVS-10	NV 4500	BP 4500	**9,707**	**9,513**	**2.0%**	100%	98%
EVS-11	NV 4500	VE 6 1/2	**20,319**	**21,349**	**-5.1%**	100%	105%
EVS-12	NV 4500	BP 4500	**16,666**	**16,697**	**-0.2%**	100%	100%
EVS-13	NV 4500	RB 09	**326,960**	**341,088**	**-4.3%**	100%	104%
EVS-14	NV 4500	BP 4500	**198,316**	**198,246**	**0.0%**	100%	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 80.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4500



	EP-01	EVS-02	EVS-03	EVS-04	EVS-05	EVS-06	EVS-07	EVS-08	EVS-09	EVS-10	EVS-11	EVS-12	EVS-13	EVS-14
% VARIACIÓN	2.5%	3.2%	1.5%	-0.2%	-2.0%	2.6%	0.3%	-9.7%	3.3%	2.0%	-5.1%	-0.2%	-4.3%	0.0%
CAMPO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VENTSIM	97%	97%	99%	100%	102%	97%	100%	110%	97%	98%	105%	100%	104%	100%

Nota. Elaboración propia

Tabla 62.

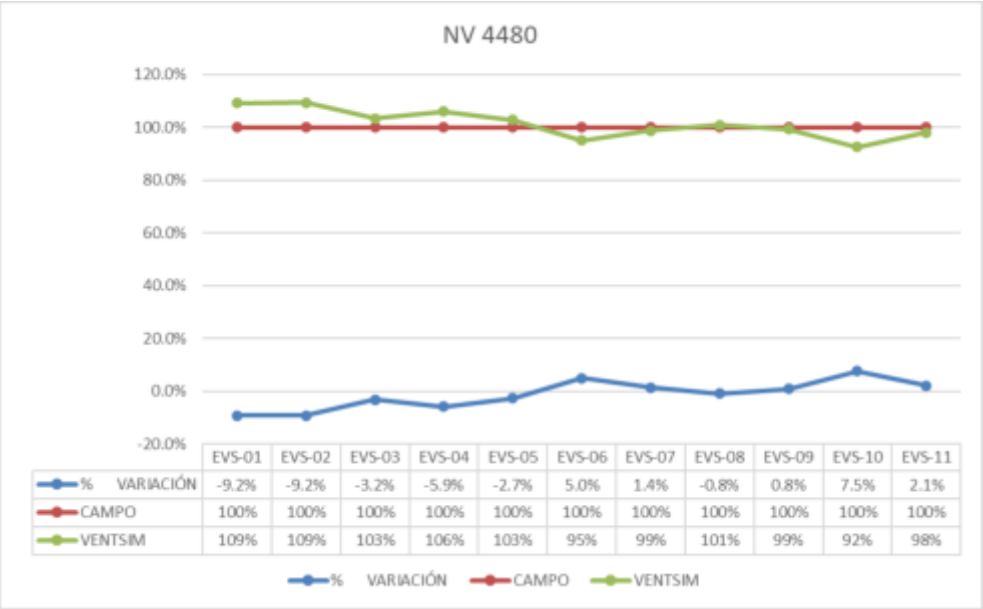
Datos de campo y Ventsim – Nv 4480

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4480	VE 01	**5,336**	**5,826**	**-9.2%**	100%	109%
EVS-02	NV 4480	BP 6460SW	**39,242**	**42,871**	**-9.2%**	100%	109%
EVS-03	NV 4480	BP 6460SW	**35,416**	**36,558**	**-3.2%**	100%	103%
EVS-04	NV 4480	BP 6460SW	**91,770**	**97,177**	**-5.9%**	100%	106%
EVS-05	NV 4480	BP 6460SW	**97,151**	**99,784**	**-2.7%**	100%	103%
EVS-06	NV 4480	BP 6460NE	**210,502**	**199,956**	**5.0%**	100%	95%
EVS-07	NV 4480	SN 6460	**63,747**	**62,885**	**1.4%**	100%	99%
EVS-08	NV 4480	SN 6460	**9,155**	**9,230**	**-0.8%**	100%	101%
EVS-09	NV 4480	BP 6460NE	**214,055**	**212,256**	**0.8%**	100%	99%
EVS-10	NV 4480	BP 6460NE	**7,963**	**7,364**	**7.5%**	100%	92%
EVS-11	NV 4480	BP 6460NE	**129,078**	**126,419**	**2.1%**	100%	98%

Nota. Elaboración propia

Figura 81.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4480



Nota. Elaboración propia

Tabla 63.

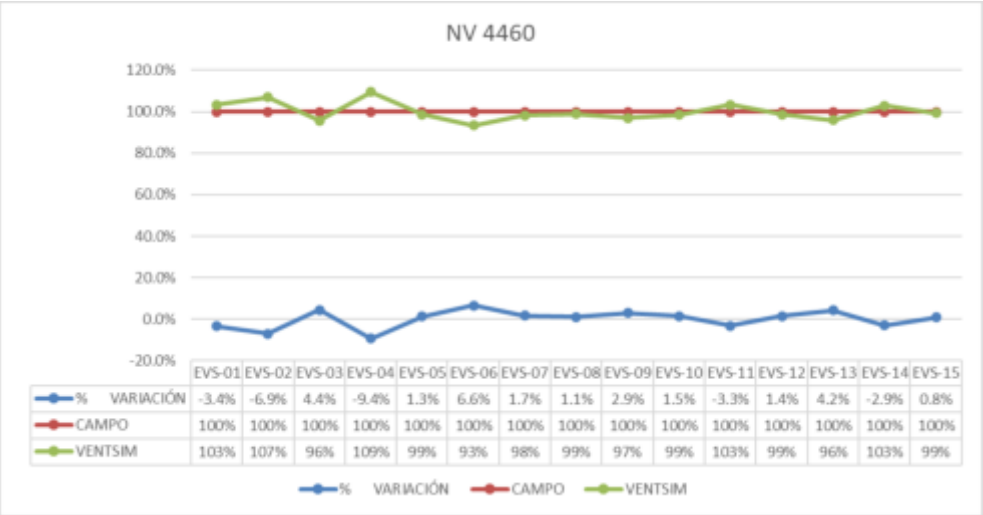
Datos de campo y Ventsim – Nv 4460

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4460	BP 6450 SW	**4,759**	**4,922**	**-3.4%**	100%	103%
EVS-02	NV 4460	BP 6450 NE	**7,313**	**7,820**	**-6.9%**	100%	107%
EVS-03	NV 4460	BP 6450	**2,634**	**2,519**	**4.4%**	100%	96%
EVS-04	NV 4460	BP 6450	**39,695**	**43,433**	**-9.4%**	100%	109%
EVS-05	NV 4460	VE 06	**31,314**	**30,906**	**1.3%**	100%	99%
EVS-06	NV 4461	RP 8741	**35,155**	**32,830**	**6.6%**	100%	93%
EVS-07	NV 4460	CA 7026NW	**36,477**	**35,869**	**1.7%**	100%	98%
EVS-08	NV 4460	BP 6450NE	**38,428**	**38,001**	**1.1%**	100%	99%
EVS-09	NV 4460	BP 6450NE	**31,367**	**30,444**	**2.9%**	100%	97%
EVS-10	NV 4460	VE 11	**11,438**	**11,267**	**1.5%**	100%	99%
EVS-11	NV 4460	VE 10	**29,832**	**30,809**	**-3.3%**	100%	103%
EVS-12	NV 4460	BP 6450NE	**13,487**	**13,296**	**1.4%**	100%	99%
EVS-13	NV 4460	RB 12	**4,647**	**4,453**	**4.2%**	100%	96%
EVS-14	NV 4460	RB 09	**80,093**	**82,455**	**-2.9%**	100%	103%
EVS-15	NV 4460	RB 09	**73,590**	**73,017**	**0.8%**	100%	99%

Nota. Elaboración propia

Figura 82.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4460



	EVS-01	EVS-02	EVS-03	EVS-04	EVS-05	EVS-06	EVS-07	EVS-08	EVS-09	EVS-10	EVS-11	EVS-12	EVS-13	EVS-14	EVS-15
% VARIACIÓN	-3.4%	-6.9%	4.4%	-9.4%	1.3%	6.6%	1.7%	1.1%	2.9%	1.5%	-3.3%	1.4%	4.2%	-2.9%	0.8%
CAMPO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VENTSIM	103%	107%	96%	109%	99%	93%	98%	99%	97%	99%	103%	99%	96%	103%	99%

Nota. Elaboración propia

Tabla 64.

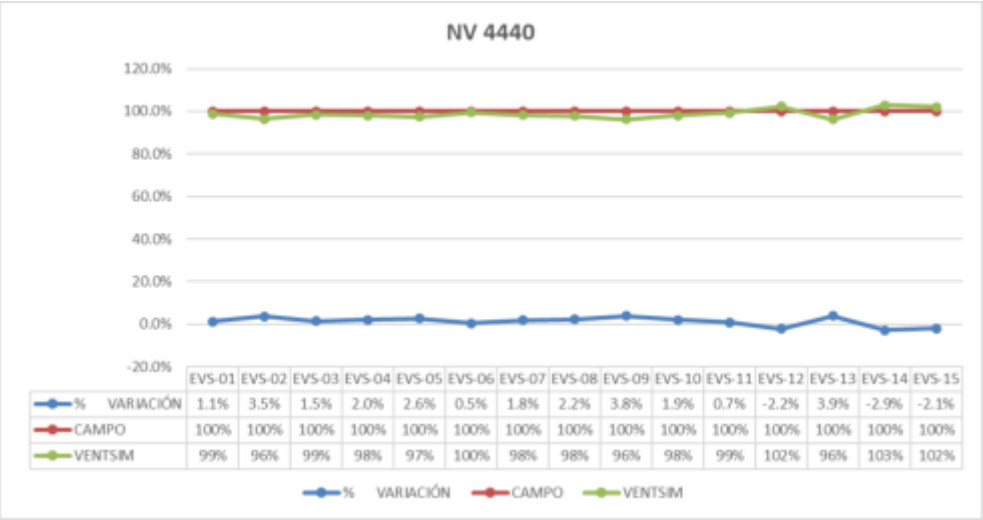
Datos de campo y Ventsim – Nv 4440

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4440	BP 6440 SW	**17,020**	**16,834**	**1.1%**	100%	99%
EVS-02	NV 4440	BP 6440 SW	**14,424**	**13,916**	**3.5%**	100%	96%
EVS-03	NV 4440	RP 6590NW	**5,754**	**5,670**	**1.5%**	100%	99%
EVS-04	NV 4440	RP 8741	**28,163**	**27,599**	**2.0%**	100%	98%
EVS-05	NV 4440	Tj 9180S	**12,726**	**12,394**	**2.6%**	100%	97%
EVS-06	NV 4440	Tj 9180S	**32,749**	**32,601**	**0.5%**	100%	100%
EVS-07	NV 4440	BP/V14	**5,276**	**5,182**	**1.8%**	100%	98%
EVS-08	NV 4440	VE 12	**5,515**	**5,393**	**2.2%**	100%	98%
EVS-09	NV 4440	RB 13	**21,630**	**20,816**	**3.8%**	100%	96%
EVS-10	NV 4440	VE 12	**30,056**	**29,476**	**1.9%**	100%	98%
EVS-11	NV 4440	CA 7009NE	**31,656**	**31,437**	**0.7%**	100%	99%
EVS-12	NV 4440	VE 11	**3,287**	**3,359**	**-2.2%**	100%	102%
EVS-13	NV 4440	BP 6440NE	**17,823**	**17,131**	**3.9%**	100%	96%
EVS-14	NV 4440	VE 10	**10,109**	**10,403**	**-2.9%**	100%	103%
EVS-15	NV 4440	BP 6440NE	**9,909**	**10,113**	**-2.1%**	100%	102%

Nota. Elaboración propia

Figura 83.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4440



	EVS-01	EVS-02	EVS-03	EVS-04	EVS-05	EVS-06	EVS-07	EVS-08	EVS-09	EVS-10	EVS-11	EVS-12	EVS-13	EVS-14	EVS-15
% VARIACIÓN	1.1%	3.5%	1.5%	2.0%	2.6%	0.5%	1.8%	2.2%	3.8%	1.9%	0.7%	-2.2%	3.9%	-2.9%	-2.1%
CAMPO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VENTSIM	99%	96%	99%	98%	97%	100%	98%	98%	96%	98%	99%	102%	96%	103%	102%

Nota. Elaboración propia

Tabla 65.

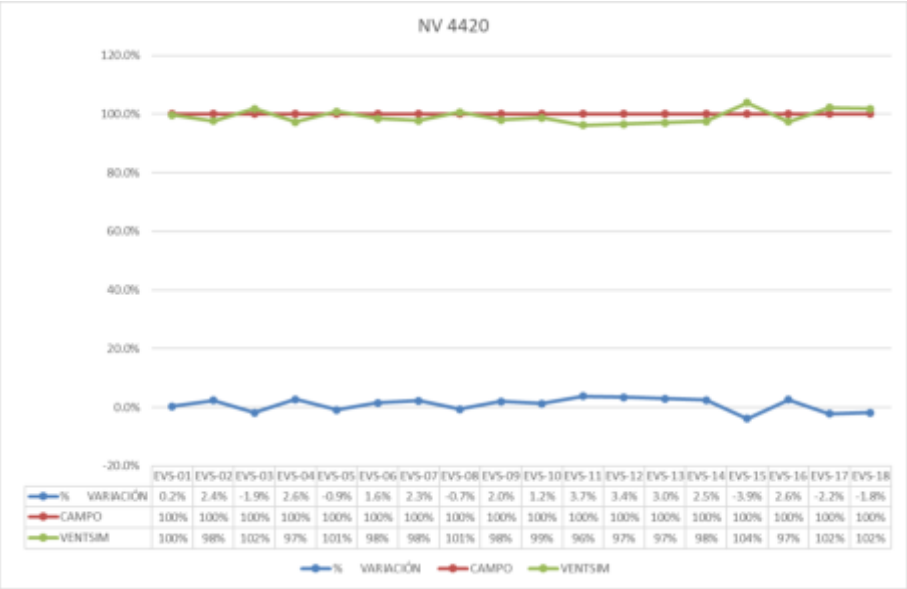
Datos de campo y Ventsim – Nv 4420

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4420	CX 6430	**7,536**	**7,517**	**0.2%**	100%	100%
EVS-02	NV 4420	VE 01	**6,614**	**6,457**	**2.4%**	100%	98%
EVS-03	NV 4420	VE 06	**7,249**	**7,384**	**-1.9%**	100%	102%
EVS-04	NV 4420	RP 8707	**23,911**	**23,279**	**2.6%**	100%	97%
EVS-05	NV 4420	RP 4420	**18,939**	**19,103**	**-0.9%**	100%	101%
EVS-06	NV 4420	OP 15	**2,549**	**2,509**	**1.6%**	100%	98%
EVS-07	NV 4420	RC 15	**19,860**	**19,409**	**2.3%**	100%	98%
EVS-08	NV 4420	CH 7252	**68,844**	**69,304**	**-0.7%**	100%	101%
EVS-09	NV 4420	OP 16	**16,027**	**15,705**	**2.0%**	100%	98%
EVS-10	NV 4420	VE 13	**39,684**	**39,190**	**1.2%**	100%	99%
EVS-11	NV 4420	RB 13	**21,997**	**21,179**	**3.7%**	100%	96%
EVS-12	NV 4420	BP 6430NE	**37,900**	**36,619**	**3.4%**	100%	97%
EVS-13	NV 4420	CA 7164NW	**16,050**	**15,571**	**3.0%**	100%	97%
EVS-14	NV 4420	BP 6430NE	**18,659**	**18,193**	**2.5%**	100%	98%
EVS-15	NV 4420	BP 6430NE	**10,965**	**11,394**	**-3.9%**	100%	104%
EVS-16	NV 4420	BP 6430NE	**5,112**	**4,980**	**2.6%**	100%	97%
EVS-17	NV 4420	RB 18	**4,761**	**4,864**	**-2.2%**	100%	102%
EVS-18	NV 4420	RP 7180	**70,153**	**71,445**	**-1.8%**	100%	102%

Nota. Elaboración propia

Figura 84.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4420



Nota. Elaboración propia

Tabla 66.

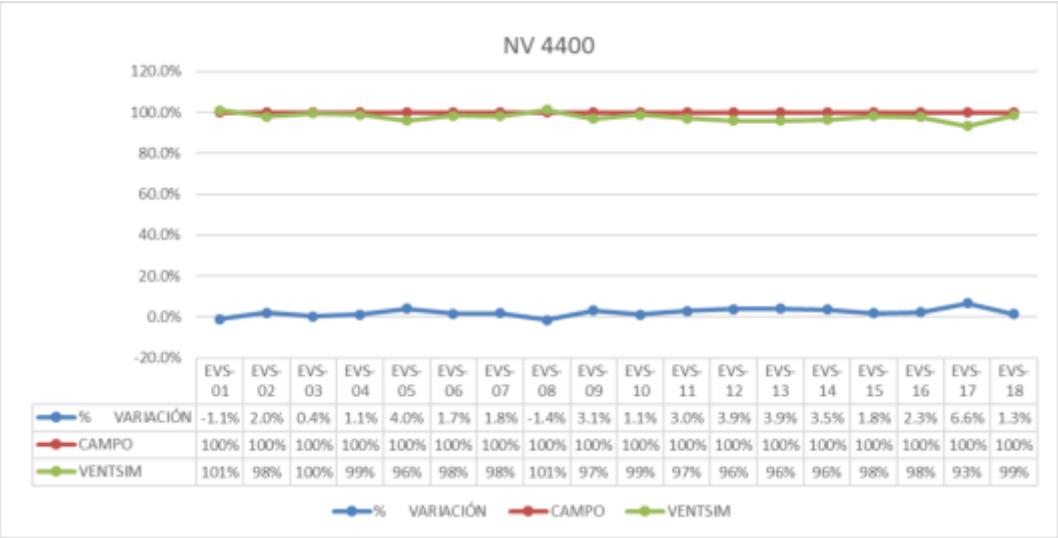
Datos de campo y Ventsim – Nv 4400

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	Nv 4400	…	**9,715**	9,819	-1.1%	100%	101%
EVS-02	Nv 4400	BP 6420SW	**21,647**	21,221	2.0%	100%	98%
EVS-03	Nv 4400	Acc. 6425SW	**16,036**	15,976	0.4%	100%	100%
EVS-04	Nv 4400	RB 08	**19,532**	19,321	1.1%	100%	99%
EVS-05	Nv 4400	BP 6420NE	**20,227**	19,417	4.0%	100%	96%
EVS-06	Nv 4400	RB 09	**4,135**	4,066	1.7%	100%	98%
EVS-07	Nv 4400	Tj derecho	**15,617**	15,341	1.8%	100%	98%
EVS-08	Nv 4400	RP 8741	**9,715**	9,851	-1.4%	100%	101%
EVS-09	Nv 4400	BP Mismo	**22,284**	21,597	3.1%	100%	97%
EVS-10	Nv 4400	BP 6430NE	**13,877**	13,719	1.1%	100%	99%
EVS-11	Nv 4400	BP 6420NE	**30,457**	29,541	3.0%	100%	97%
EVS-12	Nv 4400	BP 6420 NE	**20,435**	19,635	3.9%	100%	96%
EVS-13	Nv 4400		**14,222**	13,661	3.9%	100%	96%
EVS-14	Nv 4400	VE 12	**10,037**	9,681	3.5%	100%	96%
EVS-15	Nv 4400	VE 11	**9,833**	9,652	1.8%	100%	98%
EVS-16	Nv 4400	CA 6880	**5,999**	5,863	2.3%	100%	98%
EVS-17	Nv 4400	CA 6890	**19,795**	18,486	6.6%	100%	93%
EVS-18	Nv 4400	BP 6420NE	**18,677**	18,438	1.3%	100%	99%

Nota. Elaboración propia

Figura 85.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4400



	EVS-01	EVS-02	EVS-03	EVS-04	EVS-05	EVS-06	EVS-07	EVS-08	EVS-09	EVS-10	EVS-11	EVS-12	EVS-13	EVS-14	EVS-15	EVS-16	EVS-17	EVS-18
% VARIACIÓN	-1.1%	2.0%	0.4%	1.1%	4.0%	1.7%	1.8%	-1.4%	3.1%	1.1%	3.0%	3.9%	3.9%	3.5%	1.8%	2.3%	6.6%	1.3%
CAMPO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VENTSIM	101%	98%	100%	99%	96%	98%	98%	101%	97%	99%	97%	96%	96%	96%	98%	98%	93%	99%

Nota. Elaboración propia

Tabla 67.

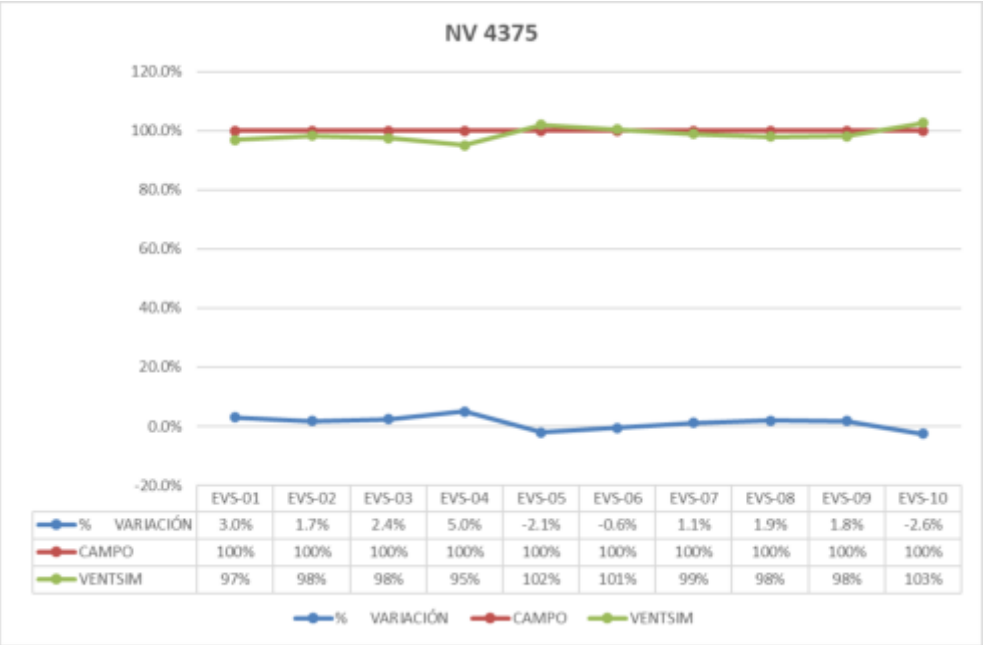
Datos de campo y Ventsim – Nv 4375

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4375	CX 4375	**24,789**	**24,048**	**3.0%**	100%	97%
EVS-02	NV 4375	BP 4375SW	**18,809**	**18,491**	**1.7%**	100%	98%
EVS-03	NV 4375	CA 6513NW	**6,140**	**5,991**	**2.4%**	100%	98%
EVS-04	NV 4375	RP 8741	**12,933**	**12,292**	**5.0%**	100%	95%
EVS-05	NV 4375	AC 6370	**13,972**	**14,263**	**-2.1%**	100%	102%
EVS-06	NV 4375	AC 6370	**6,199**	**6,233**	**-0.6%**	100%	101%
EVS-07	NV 4375	VE 13	**5,990**	**5,924**	**1.1%**	100%	99%
EVS-08	NV 4375	VE 14	**16,708**	**16,390**	**1.9%**	100%	98%
EVS-09	NV 4375	CX 7119SE	**22,364**	**21,956**	**1.8%**	100%	98%
EVS-10	NV 4375	AC 6370	**18,538**	**19,022**	**-2.6%**	100%	103%

Nota. Elaboración propia

Figura 86.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4375



Nota. Elaboración propia

Tabla 68.

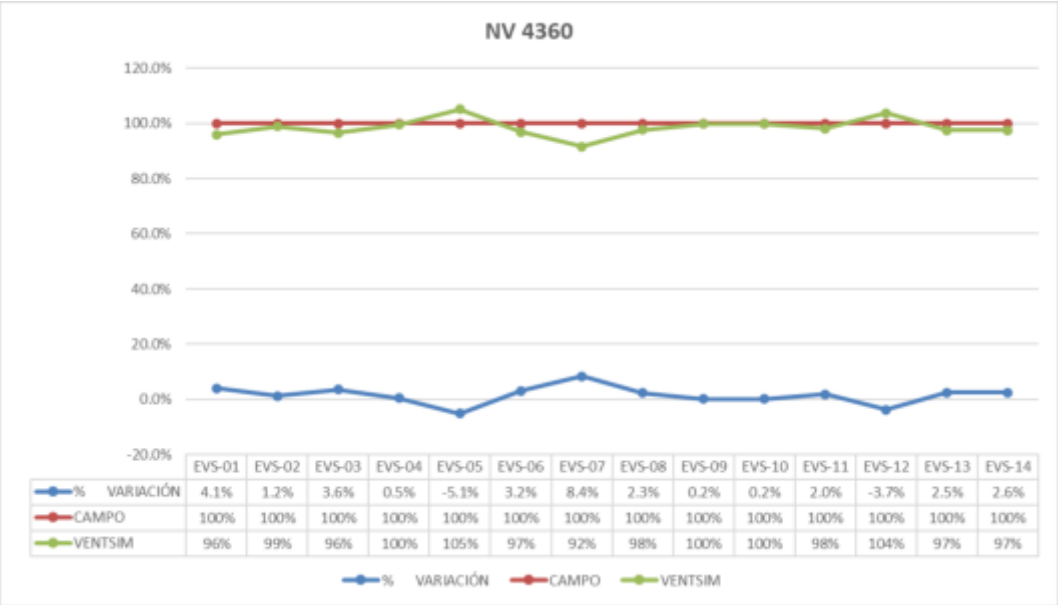
Datos de campo y Ventsim – Nv 4360

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	Gases		VENTSIM	%	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	O2	CO	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4360	BP 6360SW	**10,267**	20.90	4	**9,846**	4.1%	100%	96%
EVS-02	NV 4360	VE 04	**22,546**	20.90	5	**22,271**	1.2%	100%	99%
EVS-03	NV 4360	BP 6360SW	**33,430**	20.70	10	**32,240**	3.6%	100%	96%
EVS-04	NV 4360	VE 07	**9,133**	20.70	10	**9,088**	0.5%	100%	100%
EVS-05	NV 4360	BP 6360NE	**39,430**	20.70	12	**41,433**	-5.1%	100%	105%
EVS-06	NV 4360	VE 09	**19,103**	20.20	8	**18,499**	3.2%	100%	97%
EVS-07	NV 4360	BP 6360NE	**16,987**	20.10	8	**15,552**	8.4%	100%	92%
EVS-08	NV 4360	BP 6360NE	**20,210**	20.00	10	**19,737**	2.3%	100%	98%
EVS-09	NV 4360	VE 12	**11,505**	20.10	8	**11,480**	0.2%	100%	100%
EVS-10	NV 4360	RB13	**10,371**	19.90	16	**10,352**	0.2%	100%	100%
EVS-11	NV 4360	BP 6360NE	**13,271**	19.90	10	**13,012**	2.0%	100%	98%
EVS-12	NV 4360	BP 6360NE	**18,834**	20.10	6	**19,522**	-3.7%	100%	104%
EVS-13	NV 4360	CX	**30,550**	20.10	0	**29,784**	2.5%	100%	97%
EVS-14	NV 4360	RP 7180	**11,874**	20.00	0	**11,571**	2.6%	100%	97%

Nota. Elaboración propia

Figura 87.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4360



Nota. Elaboración propia

Tabla 69.

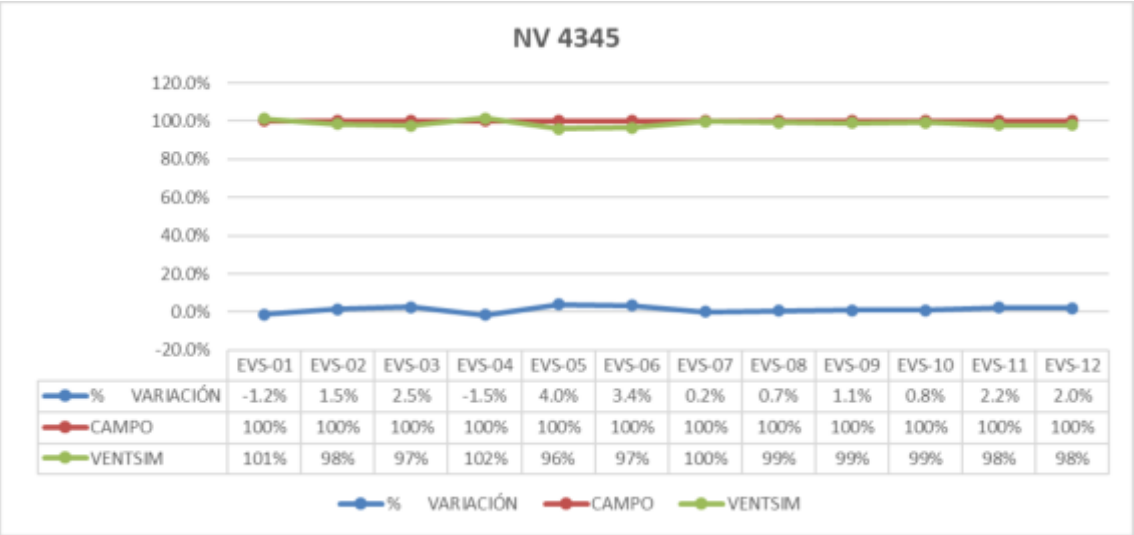
Datos de campo y Ventsim – Nv 4345

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN CAMPO VS VENTSIM	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm		%	%
EVS-01	NV 4345	BP 6350SW	**15,234**	**15,410**	**-1.2%**	100%	101%
EVS-02	NV 4345	BP 6350SW	**20,077**	**19,769**	**1.5%**	100%	98%
EVS-03	NV 4345	BP 6350NE	**18,965**	**18,485**	**2.5%**	100%	97%
EVS-04	NV 4345	RF 6266	**33,089**	**33,588**	**-1.5%**	100%	102%
EVS-05	NV 4345	V09	**22,775**	**21,868**	**4.0%**	100%	96%
EVS-06	NV 4345	V10	**20,156**	**19,475**	**3.4%**	100%	97%
EVS-07	NV 4345	V13	**18,388**	**18,350**	**0.2%**	100%	100%
EVS-08	NV 4345	BP6350NE	**24,362**	**24,186**	**0.7%**	100%	99%
EVS-09	NV 4345	V14	**48,284**	**47,773**	**1.1%**	100%	99%
EVS-10	NV 4345	V15	**21,219**	**21,044**	**0.8%**	100%	99%
EVS-11	NV 4345	V16	**15,344**	**15,002**	**2.2%**	100%	98%
EVS-12	NV 4345	RP7180	**6,507**	**6,375**	**2.0%**	100%	98%

Nota. Elaboración propia

Figura 88.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4345



	EVS-01	EVS-02	EVS-03	EVS-04	EVS-05	EVS-06	EVS-07	EVS-08	EVS-09	EVS-10	EVS-11	EVS-12
% VARIACIÓN	-1.2%	1.5%	2.5%	-1.5%	4.0%	3.4%	0.2%	0.7%	1.1%	0.8%	2.2%	2.0%
CAMPO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VENTSIM	101%	98%	97%	102%	96%	97%	100%	99%	99%	99%	98%	98%

Nota. Elaboración propia

Tabla 70.

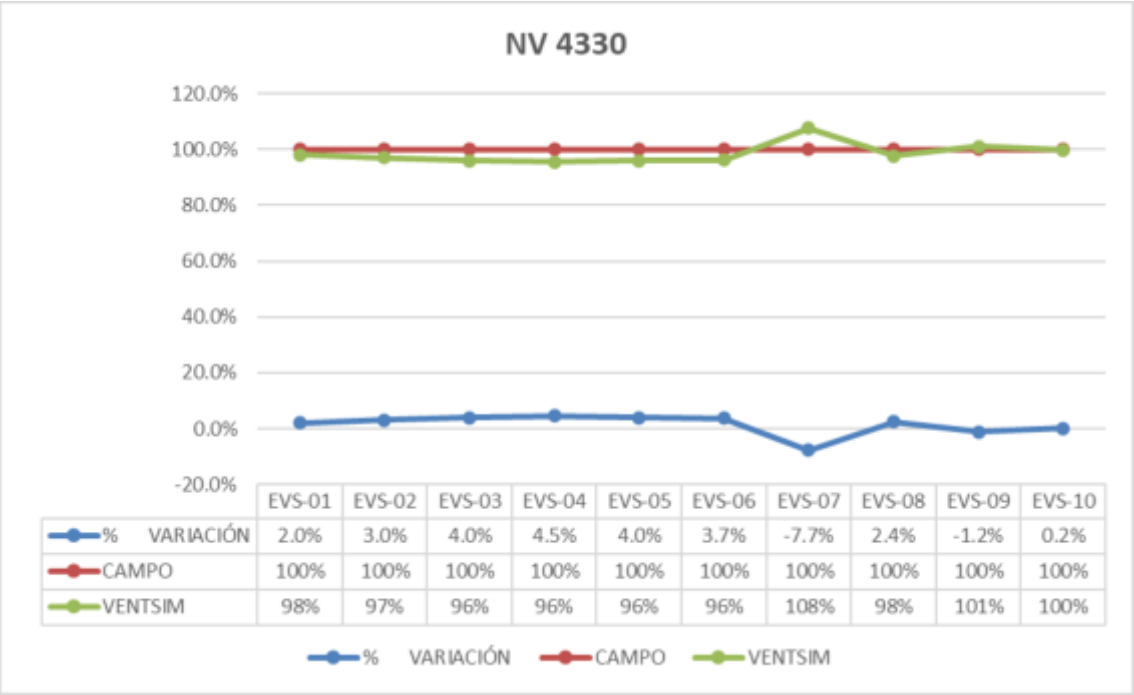
Datos de campo y Ventsim – Nv 4330

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	Gases		VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	O2	CO	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4330	BP 6340	**48,457**	20.7	11	**47,500**	**2.0%**	100%	98%
EVS-02	NV 4330	BP 6340	**60,419**	20.8	16	**58,585**	**3.0%**	100%	97%
EVS-03	NV 4330	BP 6340	**10,521**	20.9	16	**10,098**	**4.0%**	100%	96%
EVS-04	NV 4330	BP 6340	**61,234**	20.9	13	**58,495**	**4.5%**	100%	96%
EVS-05	NV 4330	BP 6340	**54,788**	20.9	13	**52,617**	**4.0%**	100%	96%
EVS-06	NV 4330	RP7180	**89,424**	20.5	16	**86,073**	**3.7%**	100%	96%
EVS-07	NV 4330	CA7013	**13,837**	20.8	39	**14,908**	**-7.7%**	100%	108%
EVS-08	NV 4330	BP6340NE	**30,831**	20.7	32	**30,105**	**2.4%**	100%	98%
EVS-09	NV 4330	BP6340NE	**14,414**	20.6	12	**14,586**	**-1.2%**	100%	101%
EVS-10	NV 4330	BP6340NE	**8,719**	20.8	10	**8,705**	**0.2%**	100%	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 89.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4330



Nota. Elaboración propia

Tabla 71.

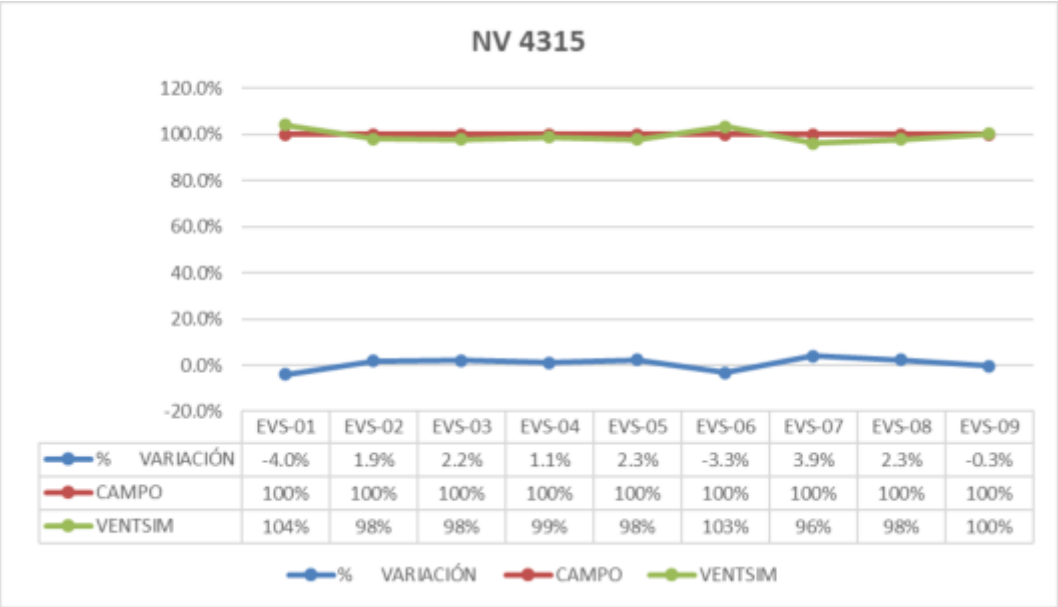
Datos de campo y Ventsim – Nv 4315

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	Gases		VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	O2	CO	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4315	4315.00	**19,919**	21	23	**20,711**	**-4.0%**	100%	104%
EVS-02	NV 4315	V11	**12,650**	21	13	**12,406**	**1.9%**	100%	98%
EVS-03	NV 4315	V12	**20,735**	20.8	18	**20,288**	**2.2%**	100%	98%
EVS-04	NV 4315	V17	**5,975**	20	6	**5,908**	**1.1%**	100%	99%
EVS-05	NV 4315	V15	**17,283**	20.6	15	**16,888**	**2.3%**	100%	98%
EVS-06	NV 4315	BP6330	**41,871**	21	15	**43,234**	**-3.3%**	100%	103%
EVS-07	NV 4315	SN6331	**13,535**	21	18	**13,002**	**3.9%**	100%	96%
EVS-08	NV 4315	RP7031	**124,217**	20.6	22	**121,401**	**2.3%**	100%	98%
EVS-09	NV 4315	RP7031	**83,117**	21	23	**83,384**	**-0.3%**	100%	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 90.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4315



Nota. Elaboración propia

Tabla 72.

Datos de campo y Ventsim – Nv 4300

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4300	BM	131,649	121,252	7.9%	100%	92%
EVS-02	NV 4300	RB 04	15,120	14,351	5.1%	100%	95%
EVS-03	NV 4300	RB 05	8,127	7,864	3.2%	100%	97%
EVS-04	NV 4300	BP Principal	94,028	88,059	6.3%	100%	94%
EVS-05	NV 4300	BP8787	135,785	133,760	1.5%	100%	99%
EVS-06	NV 4300		13,965	13,529	3.1%	100%	97%
EVS-07	NV 4300		22,281	21,164	5.0%	100%	95%
EVS-08	NV 4300	RP8741	52,534	48,646	7.4%	100%	93%
EVS-09	NV 4300	RB08	27,837	26,477	4.9%	100%	95%
EVS-10	NV 4300	NV4300	84,626	77,842	8.0%	100%	92%
EVS-11	NV 4400	BM	124,753	117,249	6.0%	100%	94%
EVS-12	NV 4300	RB 01	8,281	8,754	-5.7%	100%	106%
EVS-13	NV 4300	RB 02	6,530	6,579	-0.7%	100%	101%
EVS-14	NV 4300	4400	56,478	54,256	3.9%	100%	96%
EVS-15	NV 4300	BP 4300	70,094	68,958	1.6%	100%	98%
EVS-16	NV 4300	BP 6320	55,921	53,525	4.3%	100%	96%
EVS-17	NV 4300	RP7180	23,620	22,863	3.2%	100%	97%
EVS-18	NV 4300	OP16	5,847	5,777	1.2%	100%	99%
EVS-19	NV 4300	AC RB12	31,479	29,338	6.8%	100%	93%
EVS-20	NV 4300	BP4300	61,566	61,096	0.8%	100%	99%
EVS-21	NV 4300	CX1865SE	18,116	17,377	4.1%	100%	96%
EVS-22	NV 4300	SN6320NE	61,732	58,683	4.9%	100%	95%
EVS-23	NV 4300	SN6320NE	11,710	11,228	4.1%	100%	96%
EVS-24	NV 4300	CA7229	64,648	60,896	5.8%	100%	94%
EVS-25	NV 4300	BP6320NE	49,964	49,341	1.2%	100%	99%
EVS-26	NV 4300	V17	29,170	27,613	5.3%	100%	95%

Nota. Elaboración propia

Figura 91.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4300



Nota. Elaboración propia

Tabla 73.

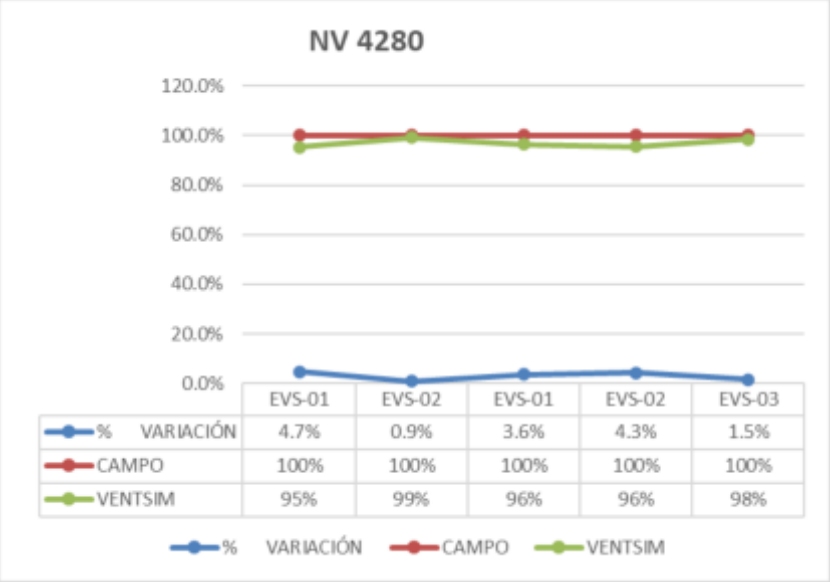
Datos de campo y Ventsim – Nv 4280

Estac.	UBICACIÓN		CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-01	NV 4280	RP (-)7292	65,124	62,078	4.7%	100%	95%
EVS-02	NV 4280	RP (-)7292	65,632	65,038	0.9%	100%	99%
EVS-01	NV 4280	RP 6878	3,245	3,127	3.6%	100%	96%
EVS-02	NV 4280	RP 6878	16,385	15,675	4.3%	100%	96%
EVS-03	NV 4280	RP 6878	35,073	34,534	1.5%	100%	98%

Nota. Elaboración propia

Figura 92.

Ratio comparativo Campo vs Ventsim - Nv 4280

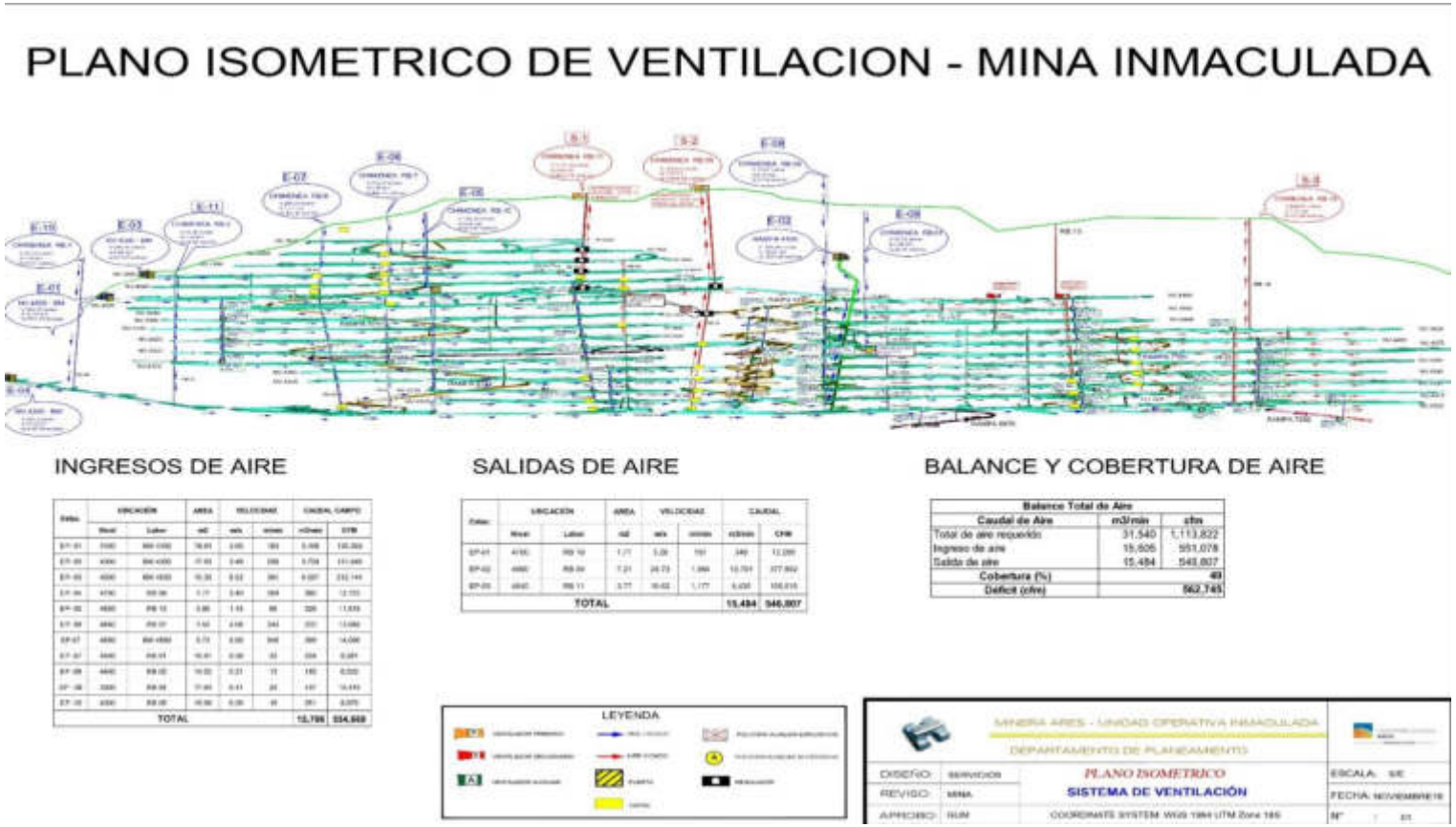


Nota. Elaboración propia

ANEXO N°03 – PLANO ISOMÉTRICO DE VENTILACIÓN ACTUAL

Figura 93.

Plano isométrico de ventilación unidad minera Inmaculada



Nota. Elaboración Propia

ANEXO N°04 – EVIDENCIAS DE TRABAJOS DE CAMPO

Figura 94.

Medición de velocidad y presión de aire



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 95.

Verificación de ventiladores interior mina



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 96.

Verificación de placa de ventiladores



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 97.

Placa de datos de ventilador



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 98.

Monitoreo de consumo de energía en ventiladores principales



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 99.

Monitoreo y verificación de condiciones en ventiladores auxiliares



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC

Figura 100.

Inspección en ventiladores principales superficie



Nota. Unidad Minera Inmaculada – HOCHSCHILD MINING PLC