

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL DISEÑO  
DEL CIRCUITO PRINCIPAL EN LA MINA ESPERANZA – U. M. SAN  
JUAN DE AREQUIPA”**

**PRESENTADO POR:**

BACH. ROENEL AVALOS LLOCLLA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO DE MINAS

**ASESOR:**

MGT. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

CUSCO - PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de tesis a Dios por su apoyo espiritual que guía siempre mi camino y en especial a mis padres Marcial y Gregoria, por darme un apoyo incondicional y ser un ejemplo e inspiración de perseverancia para alcanzar mis metas y objetivos propuestos. Gracias por su apoyo desmedido y constancia en la búsqueda de mi bienestar.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi grato agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por haberme aceptado ser parte de ella, permitir mi formación profesional en sus aulas, así como también los diferentes docentes que brindaron su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradecimiento de manera muy especial, al personal que labora en el área de ventilación; a todos ellos por permitir mi aprendizaje constante y atender de manera muy desinteresada mis interrogantes y consultas. Estaré siempre agradecido con todos ustedes, nunca los olvidaré. Finalmente agradezco a la compañía minera CENTURY MINING PERU SAC. por darme la oportunidad de pertenecer a su grupo de trabajo.

# INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE PLANOS .....	xiii
INDICE DE ANEXOS .....	xiv
PRESENTACIÓN.....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	xviii
CAPÍTULO I .....	1
PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problema Específicos.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. Objetivos Generales .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	3
1.4.1. Justificación de la Investigación .....	3
1.4.2. Delimitación de la Investigación .....	4

1.5.	ALCANCES.....	4
1.6.	HIPÓTESIS.....	4
1.6.1.	Hipótesis General.....	4
1.6.2.	Hipótesis Específicos.....	4
1.7.	VARIABLES E INDICADORES.....	5
CAPÍTULO II MARCO TEORICO .....		6
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
2.2.	MARCO CONTEXTUAL .....	7
2.2.1.	Ubicación .....	7
2.2.2.	Accesibilidad.....	8
2.2.3.	El clima.....	9
2.3.	MARCO GEOLÓGICO.....	10
2.3.1.	Geomorfología .....	11
2.3.2.	Escarpa costera.....	11
2.3.3.	Geología regional.....	12
2.3.4.	Geología local .....	15
2.3.5.	Geología estructural de la zona.....	19
2.3.6.	Geomecánica.....	20
2.3.7.	Método de explotación.....	22
2.3.8.	Limpieza .....	29
2.3.9.	Sostenimiento.....	30
2.3.10.	Voladura .....	36
2.3.11.	Acarreo .....	38
2.4.	BASES TEÓRICAS.....	39
2.4.1.	Definición de la ventilación de minas.....	39

2.4.2.	Componentes de un sistema de ventilación .....	39
2.4.1.	Caudal de Aire .....	40
2.4.1.	Requerimiento del aire .....	41
2.4.2.	Ventilación subterránea .....	44
2.4.3.	Tipos de ventilación.....	45
2.4.4.	Diseño del sistema de ventilación.....	48
2.4.5.	Características deseables de un sistema de ventilación .....	52
2.4.6.	Tipos de sistemas de ventilación.....	53
2.4.7.	Tipos de ventiladores .....	55
2.4.8.	Curva característica de un ventilador.....	56
2.4.9.	Parámetros de ventilación.....	57
2.4.10.	Pérdidas por Choque (Hx).....	61
2.5.	MARCO CONCEPTUAL.....	64
2.5.1.	Atmosfera de mina .....	64
2.5.2.	Aforo de mina .....	65
2.5.3.	Balance de aire .....	65
2.5.4.	Cobertura de aire.....	65
2.5.5.	Presión del fluido .....	66
2.5.6.	Presión estática.....	66
2.5.7.	Presión dinámica.....	66
CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....		67
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	67
3.1.1.	Tipo de diseño.....	67
3.1.2.	Nivel de investigación.....	67
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	68

3.2.1.	Población.....	68
3.2.2.	Muestra .....	68
3.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	68
3.3.1.	Mediciones de velocidad.....	68
3.3.2.	Medición de área.....	69
3.3.3.	Instrumentos de medición.....	70
3.4.	Métodos y técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	70
3.3.4.	Observación directa .....	70
3.5.1.	Análisis estadístico.....	70
3.5.2.	Análisis descriptivo.....	71
3.5.3.	Presentación .....	71
CAPÍTULO IV.....		72
DESARROLLO DEL TEMA, RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		72
4.1.	EVALUACION INGRESOS Y SALIDAS DE CAUDAL DE AIRE DE LA VETA SAN JUAN .....	72
3.5.4.	Zonas de la veta San Juan .....	72
3.5.5.	Evaluación de ingresos de caudal de aire .....	74
3.5.6.	Evaluación de salidas de caudal de aire .....	75
4.2.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACION ACTUAL .....	76
4.3.	PARÁMETROS DEL SISTEMA DE VENTILACION.....	78
4.3.1.	Análisis de balance de aire.....	78
4.3.2.	Requerimiento de caudal de aire para la zona esperanza.....	82
4.3.3.	Cobertura de aire.....	91
4.4.	EVALUACIÓN DE VELOCIDADES DE AIRE EN LA ZONA ESPERANZA.....	91
4.3.1.	Evaluación de velocidades de aire Nv. 566 .....	93

4.3.2.	Evaluación de velocidades de aire Nv. 734 .....	94
4.3.3.	Evaluación por temperatura y humedad en interior mina .....	95
4.5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA ZONA ESPERANZA .....	98
4.5.1.	Proyecto de ventilación lado Este de la zona esperanza .....	98
4.5.2.	Proyectos del sistema de ventilación par la zona Esperanza .....	99
4.5.3.	Calculo de parámetros de ventilación de las labores .....	106
4.6.	SIMULACION DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	113
4.6.1.	Modelamiento en SOFTWARE VENTSIM .....	113
4.6.2.	Establecer atributos a conductos de aire .....	116
4.6.3.	Selección de ventiladores para el sistema de ventilación. ....	122
4.7.	ESTIMACION DE MEJORAS EN EL CIRCUITO DE VENTILACIÓN .....	133
4.6.4.	Incremento de caudal de ingreso.....	133
4.6.5.	Cobertura de aire.....	133
4.6.6.	Evaluación de velocidades de aire .....	134
CONCLUSIONES .....		136
RECOMENDACIONES.....		137
BIBLIOGRAFIA .....		138
ANEXOS .....		139

## INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Variables e indicadores.</i>	5
<i>Cuadro 2. Rutas de acceso terrestre a la mina.</i>	8
<i>Cuadro 3. Clasificación del macizo rocoso.</i>	21
<i>Cuadro 4. Productividad de tajos.</i>	27
<i>Cuadro 5. Vida de tajos.</i>	27
<i>Cuadro 6. Cantidad de taladros y explosivos.</i>	28
<i>Cuadro 7. Hoja técnica del explosivo Emulnor.</i>	36
<i>Cuadro 8. Características técnicas accesorio de voladura Carmex.</i>	37
<i>Cuadro 9. Índices de voladura de malla de perforación 2.1 mts x 2.1 mts</i>	38
<i>Cuadro 10. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.</i>	42
<i>Cuadro 11. Velocidad mínima de acuerdo a la temperatura del aire en Perú.</i>	43
<i>Cuadro 12. Características de aire saturado.</i>	51
<i>Cuadro 13. Tabla psicométrica.</i>	52
<i>Cuadro 14. Factor de Atkinson “K” para labores mineras.</i>	60
<i>Cuadro 15. Coeficientes de perdida por choque.</i>	63
<i>Cuadro 16. ingresos de veta San Juan.</i>	74
<i>Cuadro 17. Salidas de caudal de aire veta San Juan.</i>	75
<i>Cuadro 18. Ingreso de caudal de aire durante el día.</i>	79
<i>Cuadro 19. Salidas de caudal de aire durante el día.</i>	80
<i>Cuadro 20. Promedio de ingresos de caudal de aire durante el día.</i>	81
<i>Cuadro 21. Promedio de salidas de caudal de aire durante el día.</i>	81
<i>Cuadro 22. Numero de trabadores por guardia.</i>	83
<i>Cuadro 23. Caudal requerido por número de trabajadores.</i>	83
<i>Cuadro 24. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.</i>	84
<i>Cuadro 25. Caudal por consumo de madera.</i>	87
<i>Cuadro 26. Niveles con temperaturas mayores a 23 C°.</i>	88
<i>Cuadro 27. Caudal por consumo de madera.</i>	88
<i>Cuadro 28. Área promedio de labores.</i>	89

<i>Cuadro 29. Caudal por dilución de gases.....</i>	<i>90</i>
<i>Cuadro 30. Requerimiento de caudal total. ....</i>	<i>90</i>
<i>Cuadro 31. Cobertura de aire.....</i>	<i>91</i>
<i>Cuadro 32. Distribución de estaciones de monitoreo por niveles. ....</i>	<i>91</i>
<i>Cuadro 33. Distribución de estaciones Nv. 566.....</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 34. Distribución de estaciones Nv. 734.....</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 35. Temperaturas y humedad en los tajos de la zona Esperanza. ....</i>	<i>96</i>
<i>Cuadro 36. Área de ingreso. ....</i>	<i>106</i>
<i>Cuadro 37. Área de ingreso. ....</i>	<i>106</i>
<i>Cuadro 38. Coeficiente de resistencias para labores rectas. ....</i>	<i>108</i>
<i>Cuadro 39. Coeficiente de resistencias por choque para diferentes caudales. ....</i>	<i>110</i>
<i>Cuadro 40. Resistencias por choque para diferentes labores. ....</i>	<i>119</i>
<i>Cuadro 41. Puntos de trabajo del álabe en 62° del ventilador principal. ....</i>	<i>124</i>
<i>Cuadro 42. Calculo de presión dinámica y presión estática. ....</i>	<i>125</i>
<i>Cuadro 43. Calculo de presión total de mina. ....</i>	<i>126</i>
<i>Cuadro 44. Caudal de ingreso de la zona esperanza. ....</i>	<i>133</i>
<i>Cuadro 45. Caudal de ingreso de la zona esperanza. ....</i>	<i>133</i>
<i>Cuadro 46. Estaciones de monitoreo de velocidad en interior mina.....</i>	<i>134</i>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación de la unidad minera San Juan de Arequipa.</i>	8
<i>Figura 2. Unidad Minera San Juan de Arequipa.</i>	9
<i>Figura 3. Vista de la zona en verano.</i>	10
<i>Figura 4. Valle de San Juan de Chorunga.</i>	12
<i>Figura 5. Plano geológico general.</i>	14
<i>Figura 6. Granodiorita.</i>	16
<i>Figura 7. Diorita vista en galería.</i>	17
<i>Figura 8. Muestra de andesita.</i>	18
<i>Figura 9. Cartilla geomecánica GSI.</i>	20
<i>Figura 10. Estándar de diseño de preparación de tajos.</i>	23
<i>Figura 11. Tajo 8667.</i>	24
<i>Figura 12. Ciclo de minado tipo breasting.</i>	26
<i>Figura 13. Perforación en breasting.</i>	27
<i>Figura 14. Sistema de perforación breasting.</i>	28
<i>Figura 15. Componentes de Limpieza con winche.</i>	29
<i>Figura 16. Características de pala neumática.</i>	30
<i>Figura 17. Elemento del cuadro cojo.</i>	31
<i>Figura 18. Encribado en chimeneas 1.5mts x 1.5mts.</i>	32
<i>Figura 19. Máquina perforadora jackleg.</i>	33
<i>Figura 20. Malla de perforación en frentes.</i>	34
<i>Figura 21. Elementos de un cuadro completo.</i>	35
<i>Figura 22. Explosivo Emulnor.</i>	36
<i>Figura 23. Accesorio de voladura Carmex.</i>	37
<i>Figura 24. Locomotora de 1.5 Tn.</i>	38
<i>Figura 25. Componentes del sistema de ventilación.</i>	40
<i>Figura 26. Elementos del sistema de ventilación soplante.</i>	54
<i>Figura 27. Elementos del sistema de ventilación aspirante.</i>	54

<b>Figura 28.</b> Ventiladores centrífugos. ....	55
<b>Figura 29.</b> Ventilador axial. ....	56
<b>Figura 30.</b> Curva característica típica de un ventilador axial. ....	57
<b>Figura 31.</b> Medición de velocidad en una sección de 2.1m x 2.1m. ....	69
<b>Figura 32.</b> Calculo de áreas. ....	69
<b>Figura 33.</b> Instrumentos de medición de ventilación. ....	70
<b>Figura 34.</b> Las zonas de veta San Juan. ....	73
<b>Figura 35.</b> Ingreso principal de aire zona Esperanza. ....	74
<b>Figura 36.</b> Chimenea de salida de caudal de aire zona Esperanza. ....	76
<b>Figura 37.</b> Mediciones en los puntos de monitoreo. ....	77
<b>Figura 38.</b> Distribución de aire. ....	92
<b>Figura 39.</b> Distribución de estaciones de monitoreo. ....	92
<b>Figura 40.</b> Distribución de aire del Nv. 566. ....	93
<b>Figura 41.</b> Evaluación de velocidades del Nv. 566. ....	94
<b>Figura 42.</b> Distribución de aire del Nv. 734. ....	95
<b>Figura 43.</b> Evaluación de velocidades del Nv. 734. ....	95
<b>Figura 44.</b> Ubicación de las labores de la zona Esperanza. ....	97
<b>Figura 45.</b> Altura de encampane. ....	98
<b>Figura 46.</b> Vista representativa de la zona del proyecto. ....	110
<b>Figura 47.</b> Creación de línea central AutoCAD. ....	114
<b>Figura 48.</b> Importar de AutoCAD a VentSim. ....	115
<b>Figura 49.</b> Importar de AutoCAD a VentSim. ....	115
<b>Figura 50.</b> Modelo solido de VentSim. ....	116
<b>Figura 51.</b> Ingreso de datos de sección y resistencias. ....	118
<b>Figura 52.</b> Configuración para tipo de perdida por choque. ....	119
<b>Figura 53.</b> Ingreso de datos de resistencias por choque. ....	120
<b>Figura 54.</b> Direccionadores del flujo de aire. ....	121
<b>Figura 55.</b> Punto de operación de ventilador con Caudal de 50000 CFM. ....	122
<b>Figura 56.</b> Factores para determinar el costo por año del ventilador. ....	123
<b>Figura 57.</b> Punto de operación de ventilador con Caudal de 50000 CFM. ....	124
<b>Figura 58.</b> Curva de presión total de ventilador principal. ....	126

<b>Figura 59.</b> <i>Curva de presión total de la mina.</i> .....	127
<b>Figura 60.</b> <i>Punto de operación del ventilador principal.</i> .....	127
<b>Figura 61.</b> <i>Punto de operación del ventilador principal.</i> .....	128
<b>Figura 62.</b> <i>Ubicación del ventilador VAV-45-18-1750-II-A</i> .....	129
<b>Figura 63.</b> <i>Vista isométrica del circuito de ventilación.</i> .....	130
<b>Figura 64.</b> <i>Vista lateral del circuito de ventilación.</i> .....	131
<b>Figura 65.</b> <i>Resumen de la red del sistema de ventilación.</i> .....	132
<b>Figura 66.</b> <i>Estaciones de monitoreo mayores y menores de 20m/min.</i> .....	134
<b>Figura 67.</b> <i>Ingreso de caudales en la simulación.</i> .....	135

## INDICE DE PLANOS

<i>Plano N° 1. Proyectos de ventilación de la zona Esperanza. ....</i>	100
<i>Plano N° 2. Proyecto de chimenea 9357, Nv. 699. ....</i>	102
<i>Plano N° 3. Proyecto de chimenea 9372, Nv. 772. ....</i>	103
<i>Plano N° 4. Proyecto de chimenea 9384, Nv. 150. ....</i>	104

## INDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO 1 : Certificados de calibración del anemómetro marca TESTO modelo 480.....</i>	<i>140</i>
<i>ANEXO 2. Certificados de calibración de la sonda de hilo caliente del anemómetro marca TESTO modelo 480.....</i>	<i>141</i>
<i>ANEXO 3. Certificados de calibración de la sonda de paletas del anemómetro marca TESTO modelo 480.....</i>	<i>142</i>
<i>ANEXO 4. Planos.....</i>	<i>143</i>

## **PRESENTACIÓN**

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**SEÑORES CATEDRATICOS MIEMBROS DEL JURADO**

El trabajo de investigación **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL DISEÑO DEL CIRCUITO PRINCIPAL EN LA MINA ESPERANZA – U. M. SAN JUAN DE AREQUIPA”** se realizó con el fin de optar el título profesional de ingeniero de minas mediante la modalidad de tesis y encontrar la solución a la problemática que viene afectado a las labores de la zona de esperanza en la U. M. San Juan de Arequipa, que es el incremento de temperatura en interior mina.

El presente trabajo busca encontrar las causas del incremento de temperatura para encontrar una solución apropiada, se presume que el incremento de temperatura es debido a la falta de cauda de aire, el ingreso de caudal de aire adecuado a interior mina garantiza un ambiente saludable de trabajo.

El incremento de temperatura y la falta de caudal en las labores mineras hace que baje el rendimiento de los trabajadores y problemas en dilución de los gases nocivos, este problema podría solucionarse con un adecuado sistema de ventilación que garantice el caudal necesario para todas las labores mineras.

Bach. ROENEL AVALOS LLOCLLA

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal, proveer un ambiente de trabajo en condiciones saludables y lograr el confort necesario para realizar sus labores cotidianas en interior mina.

Se realiza la evaluación de los principales parámetros de ventilación para el circuito principal de la zona esperanza y se determinó: el requerimiento de aire es de 43,941 CFM de caudal de aire, cumpliendo con una cobertura total de 63% del caudal necesario para la mina esperanza, se muestra que se tiene un 33% de estaciones de monitoreo que tienen velocidades menores a 20 m/min y la mayoría de labore en la zona esperanza tienen temperaturas que superan los 29 °C.

Con la evaluación de todos los parámetros se llega a la conclusión que es necesario realiza un nuevo sistema de ventilación, donde ya no tenga que dependerse de la ventilación natural y se use una ventilación mecánica.

En el nuevo sistema de ventilación principal, consistió en lo siguiente:

- Determinación del promedio de caudal de ingreso que es 27 785 CFM y de salida que es 20 662 CFM, teniendo un desbalance de 7 123 CFM, que se pierde por labores antiguas.
- La determinación del caudal necesario para la zona es de 43 941 CFM
- El diseño del nuevo sistema principal de ventilación con chimeneas convencionales de doble compartimiento en roca competente por el lado este de la zona esperanza.
- Selección de un ventilador principal adecuado de modelo VAV - 45 - 18 - 1750 - II - A y con las características de operación de: 7.7 pulg. H<sub>2</sub>O, 50 000 CFM, y 87% de eficiencia.

Los resultados que se obtienen son adecuados y proporcionan un ambiente de trabajo en condiciones saludables.

**Palabras claves: Caudal, velocidad, temperatura, diseño del sistema de ventilación.**

## ABSTRACT

The main objective of this research is to provide a healthy working environment and achieve the necessary comfort to perform their daily work inside the mine.

The evaluation of the main ventilation parameters for the main circuit of the Esperanza area was carried out and it was determined: the air requirement is 43,941 CFM of air flow, meeting a total coverage of 63% of the necessary flow for the Esperanza mine, it is shown that 33% of the monitoring stations have speeds lower than 20 m/min and most of the work in the Esperanza area have temperatures above 29 °C.

With the evaluation of all the parameters, it is concluded that a new ventilation system is necessary, where natural ventilation is no longer needed and mechanical ventilation is used.

The new main ventilation system consisted of the following:

- Determination of the average inlet flow rate which is 27 785 CFM and outlet flow rate which is 20 662 CFM, having an imbalance of 7 123 CFM, which is lost due to old work.
- The determination of the required flow rate for the zone is 43 941 CFM.
- The design of the new main ventilation system with conventional double-compartment stacks in competent rock on the east side of the hope zone.
- Selection of a suitable main fan model VAV - 45 - 18 - 1750 - II -A and with the operating characteristics of: 7.7 in. H<sub>2</sub>O, 50 000 CFM, and 87% efficiency.

The results obtained are adequate and provide a healthy working environment.

**Key words: Flow rate, velocity, temperature, ventilation system design.**

## INTRODUCCIÓN

En la U. M. San Juan de Arequipa el fuerte incremento de temperatura en las labores mineras que genera una problemática constante en los trabajadores de la zona que disminuye el rendimiento, la mejor solución es incrementar el caudal de aire fresco que ingresa la zona esperanza.

El presente trabajo de investigación encontró las causas del incremento de temperatura y una alternativa de solución.

En el Capítulo 1, se plantea la problemática de la investigación.

En el Capítulo 2, se realizó la revisión de lo que es el marco teórico así también los antecedentes de la investigación, marco contextura, marco geológico, en esta parte se consideró toda la información disponible sobre el tema de diseño de ventilación.

En el Capítulo 3, se realizó la metodología de la investigación así también la población y técnica de recolección de datos.

En el Capítulo 4, se muestra el desarrollo del tema, resultados y discusiones, se realizó la evaluación de los principales parámetros de ventilación, se muestra el diseño de chimeneas y la propuesta de la instalación de un ventilador principal con sus respectivas mejoras en circuito principal.

Con el proyecto de ventilación se cumple con la cobertura de aire y se disminuye la temperatura en interior mina.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Unidad Minera San Juan de Arequipa de la Compañía Minera CENTURY MINING PERU S.A.C, en la actualidad se está ejecuta la extracción de mineral aurífero con un sistema convencional y un ritmo de producción de 4500 ton/mes con una ley de 11.00 gr/ton. trabajando 25 días por mes.

Es una zona donde se está profundizando, donde toda su operación se concentra en el nivel 566, Nivel 516 y Nivel 609 contando actualmente con 11 tajos en producción (1673 ton/mes con una ley de 9.3 gr/ton.), la falta de una correcta planificación en el diseño de la mina por las anteriores gestiones, no consideraron un sistema de chimeneas de ventilación en roca competente, por este motivo su circuito de ventilación se acondiciono por chimeneas

centrales de tajos antiguos ya explotados, que el tipo de sostenimiento de las chimeneas es con madera encibada, las altas temperatura y la humedad del aire viciado que se evacua por dichas chimeneas hacen que rápidamente empiecen a perder sección, enseguida colapsen y perdiéndose una gran cantidad de chimeneas que se usan para la ventilación de la zona, esto genera que se disminuya el caudal de ingreso de aire y se incremente la resistencia total de la mina. Causando esto: un aumento de la temperatura, problemas en el rendimiento de los trabajadores y retrasos e inconvenientes en el cumplimiento de avances y explotación de labores.

Se demuestra que en la zona esperanza se tiene que realizar un nuevo diseño de un sistema de ventilación minimizado las resistencias en el circuito de chimeneas de ventilación para cumplir con la cobertura de aire, para disminuir la temperatura en las labores de trabajo que la mayoría están superando los 29 °C y donde se use la ventilación mecánica como fuente principal de alimentación de aire y la ventilación natural como un medio secundario.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo diseñar el sistema de ventilación en la zona Esperanza unidad minera San Juan de Arequipa?

### **1.2.2. Problema Específicos**

- ¿Cuál es la situación actual del sistema de ventilación de la zona Esperanza?
- ¿Cuáles son las posibilidades de mejorar el sistema de ventilación?
- ¿Cuáles son las consecuencias del diseño del sistema de ventilación?

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Objetivos Generales**

diseñar el sistema de ventilación de la zona esperanza en la Unidad Minera San de Arequipa.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar el diagnóstico situacional del sistema de ventilación.
- Definir el nuevo sistema de ventilación principal haciendo uso de software Ventsim 5.4.
- Evaluar las diferentes mejoras en el circuito de ventilación.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

### **1.4.1. Justificación de la Investigación**

La presente investigación se desarrolla, debido al rápido deterioro de las chimeneas del circuito de ventilación, problemática que ocasiona la profundización y el aumento de las actividades mineras subterráneas esto ocasiona el incremento de temperatura y déficit de caudal de aire para la mina esperanza.

La zona esperanza cuenta con un sistema de ventilación que es deficiente en caudal y teniendo alta resistencia en los ductos de ventilación debido a estos factores es el incremento de temperatura en las labores, ocasionando el bajo rendimiento del personal y retraso en el cumplimiento de las actividades en interior mina.

Es necesario realizar un diseño adecuado del sistema de ventilación principal de la zona esperanza para incrementar el caudal, disminuir las resistencias e incrementar las duraciones de los ductos de ventilación.

la investigación es factible realizar por que la información que se recolecta y trabajara está al alcance del investigador, contando con la disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales.

#### **1.4.2. Delimitación de la Investigación**

La investigación está delimitada en las todas las labores de zona esperanza, unidad minera San Juan de Arequipa, para resolver el déficit de caudal y el incruento de temperatura.

### **1.5. ALCANCES**

La reciente investigación tiene una aplicación en la minería subterránea proporcionando un aporte para realizar la evaluación y el diseño del sistema de ventilación, para proporcionar aportes para realizar posteriores proyectos de ventilación y las diferentes mejoras en circuito principal de ventilación.

### **1.6. HIPÓTESIS**

#### **1.6.1. Hipótesis General**

Con el diseño del sistema de ventilación se cumplirá con el requerimiento de caudal necesario en interior mina.

#### **1.6.2. Hipótesis Específicos.**

- Con la evaluación se determina el requerimiento de aire necesario en la zona esperanza.
- Con el sistema de ventilación principal se incrementa el caudal de aire en interior mina.
- Con las mejoras en el circuito de ventilación se cumple con la cobertura de aire requerido para la zona Esperanza.

## 1.7. VARIABLES E INDICADORES

*Cuadro 1. Variables e indicadores.*

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		
VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
<b>Variables Dependientes</b>		
Cobertura de aire	Recirculación del aire	CFM
	Eficiencia del personal	Tm/Hombre
	Balance de aire	%
	Temperatura del aire en interior mina	C°
Alcance de Ventilador	Potencia de motor	HP
	Caudal de ventilador	CFM
<b>Variables independientes</b>		
Caudal de aire	Velocidad de aire	m/s
Costo de ventilación	Costo de energía	\$
Tipo de ventilador	Potencia de motor	HP
Presión de aire	Diámetro y longitud de ducto	Pulg.
	Rugosidad del ducto	H2 O pulg.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

- Carlos Alberto Quispe Díaz. (2017). Diseño del sistema de ventilación principal para mejorar las condiciones termo – ambientales en mina Mercedes U.M. San Juan de Arequipa, Universidad nacional de San Agustín de Arequipa.

#### **Objetivo general**

Optimizar y diseñar el sistema de ventilación principal de Mina Mercedes para tener caudales y temperaturas de aire de acuerdo a las necesidades de operación y exigencias del DS 023-2017.

#### **Conclusión**

Se ha cumplido con el objetivo principal, el de mejorar el sistema de ventilación. controlando: el flujo de aire, la recirculación de aire y la evacuación de contaminantes en Mina Mercedes de la U.M. San Juan de Arequipa. A través principalmente de la: independización de circuitos de aire, ejecución de chimeneas de ventilación de 4m<sup>2</sup> en los extremos de los niveles operativos e instalación de ventilador principal.

- SRK Consulting Peru SAC (2019), Revisión del sistema de ventilación de la mina San Juan de Arequipa.

## **Objetivo general**

El objetivo de la revisión del sistema de ventilación actual es orientar y proporcionar las bases para desarrollar análisis futuros.

## **Conclusión**

Se efectuaron una serie de recomendaciones de rápida ejecución para minimizar las temperaturas en las labores de la mina y mejorar la calidad del aire circulante.

En Esperanza, detectar las chimeneas existentes que permitan conducir el aire de los niveles 210, 41 y 150 hacia las labores de desarrollo y producción en las zonas profundas (p. ej. Nv.669, Nv. 566). Al colocar elementos de control (tabiques, puertas o muros) que permitan conducir el aire fresco que ingresa por esos niveles hacia el sector inferior, aumentará la presión de ventilación natural, con el consecuente incremento del flujo de aire en el portal del Nv. 734.

En la zona Esperanza, concretar el proyecto de construcción de una chimenea de ventilación en el extremo Este del nivel 566 para facilitar el escape del aire. Ese sector solo cuenta con la CH 8943 para la extracción. Esta única labor es insuficiente.

## **2.2. MARCO CONTEXTUAL**

### **2.2.1. Ubicación**

La unidad minera San Juan de Arequipa, se encuentra ubicado en el distrito de Rio Grande, Provincia de Condesuyos y Departamento de Arequipa (**ver figura 1**). La zona donde se realiza el estudio se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur del Perú, ubicado en el valle de Ocoña aguas arriba al lado izquierdo de la quebrada Chorunga.

- Coordenadas UTM:
- NORTE: 8'241,017.95 m.
- ESTE: 709,038.50 m.
- ALTITUD: 734 m.s.n.m.



**Figura 1.** Ubicación de la unidad minera San Juan de Arequipa.

**Fuente:** <https://www.google.com/search?q=ubicacion+de+san+juan+de+chorunga+a+requipa>

### 2.2.2. Accesibilidad.

La zona es accesible desde la ciudad de Arequipa mediante la carretera Panamericana Sur, pasando por la ciudad de Camaná hasta el poblado de Ocoña, se encuentra aproximadamente a 170 Km al NE de la ciudad de Arequipa. El acceso es por vía terrestre y es como se muestra:

**Cuadro 2.** Rutas de acceso terrestre a la mina.

RUTA	TRAMO	VÍA	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (HORAS)
1	Lima - Arequipa	Vía aérea	-	1h 20'
2	Arequipa - Ocoña	Vía terrestre (asfaltado)	250	3h 30'
3	Ocoña - San Juan de Arequipa	Vía terrestre (afirmado)	80	4h 30'
		<b>Total</b>	<b>330</b>	<b>8h 00'</b>

**Fuente:** Elaboración propia.



*Figura 2. Unidad Minera San Juan de Arequipa.*

*Fuente: Fuente Propia*

### **2.2.3. El clima**

El clima en la zona de estudio es de tipo desértica-hiperárido, con esporádicas precipitaciones fluviales, temperaturas elevadas en verano y neblinas en invierno.

La temperatura Máxima = 33° C y la temperatura Mínima = 13° C en la zona de trabajo. Está ubicada en un desierto desecado subtropical, la Precipitación anual varía entre 15.25 - 31.25 y con un coeficiente de escurrimiento de 0.25. En cuanto a la humedad tenemos humedad máxima = 90% y humedad mínima = 60%.



*Figura 3. Vista de la zona en verano.*

*Fuente: Fuente Propia.*

### **2.3. MARCO GEOLÓGICO**

La geología se define como rama de las ciencias naturales que estudia la estructura interna de la Tierra en su estado inorgánico y su composición, así como los cambios que ha sufrido a lo largo del tiempo geológico.

Los datos geológicos son proporcionados por el departamento de geología de la unidad minera San Juan de Arequipa, compañía minera Century Mining Perú S.A.C.

### **2.3.1. Geomorfología**

Las diferentes fases orogénicas que formaron parte de los Andes del Perú, su geología y el tiempo geológico tiene una función muy importante en la formación de las grandes unidades y subunidades geomorfológicas; ellas son:

- Escarpa costera
- Pampa costanera
- Valles

### **2.3.2. Escarpa costera**

corresponde relieve conformado por la cadena costanera, donde la cumbre de mayor altitud alcanza 1800 de altura, terminando bruscamente en el océano pacífico pasando por la costa y en las playas del litoral son poco visibles, a excepción en las desembocaduras de los grandes valles, están conformadas por rocas metamórficas, graníticas y sedimentarias con edades desde el Precámbrico hasta el Mesozoico.

#### **2.3.2.1. Pampa Costanera**

Esta unidad geomorfológica está limitada al Este por la Cordillera Occidental y al Oeste por la Cordillera de la Costa y forma parte de la depresión tectónica longitudinal que se extiende a lo largo de toda la faja costanera entre Ica y Tacna, en forma casi paralela a la línea de la costa.

Tiene un relieve con suave inclinación hacia el Sureste, se eleva bruscamente hacia el Noroeste hasta los 1900 m.s.n.m para dar lugar a los flancos de la Cordillera Andina.

### 2.3.2.2. Valles

Esta unidad geomorfológica, surgió de la intensa actividad erosiva desarrollada, por una parte, por la erosión de los ríos (río grande, chorunga y ocoña), y otra por los deslizamientos de materiales de ambos flancos de los valles formados. Como consecuencia de esta actividad dan origen a numerosas quebradas y valles profundos. En ellos se diferencian preferencialmente dos tipos de relieves:



*Figura 4. Valle de San Juan de Chorunga.*

*Fuente: Área de Geología.*

### 2.3.3. Geología regional

Las diferentes rocas desde las sedimentarias hasta las volcánicas muestran una geología compleja llena de una larga historia geológica que es probable que debió iniciarse con un

proceso de sedimentación y acumulación de grandes paquetes de sedimento pertenecientes al Grupo Yura ,específicamente la formaciones Labra , Cachios estas formaciones se ubican en la parte SW del plano geológico regional, luego del proceso de sedimentación comienza un intenso magmatismo generando arcos de isla que van migrando al continente y van engrosando la corteza continental está a la vez va acompañada de un proceso tectónico orogénico llamada face hercinica que genera los primeros esfuerzos de compresión junto con este proceso se introduce en el continente un magmatismo calco alcalino de tipo plutónico generando cuerpos batolitos (batolito de la costa) con ligera dirección al eje andino ( Acosta J.2010).

Después del ingreso de cuerpos batolitos, se genera una intensa actividad compresiva ,distensiva que genera estructuras geológicas como las fallas y fracturas( falla Choclón, falla San Juan, falla Rosario) que luego son rellenadas por rocas hipo abisales (Andesitas) con textura porfirítica (Complejo Bella Unión) arrastrando mineralización hipo termal a meso termal que son depositadas en las zonas de baja presión es decir en zonas de espaciamiento favorables zonas de transtensión, el proceso termina con una sedimentación terciaria conformada por el grupo Moquegua y cubierta por productos volcánicos cuaternarios.

#### **2.3.3.1. Grupo Moquegua**

Inicialmente es descrita por Adams (1906), como formación Moquegua, estudios posteriores de Steinmann (1930), la divide en dos miembros Moquegua inferior y Moquegua superior, debido a su extensión regional es elevada a la categoría de grupo. La cuenca Moquegua se encuentra ubicada entre el complejo basal de la costa y el batolito de la costa, es una cuenca rellenada por elementos molasicos en forma elonganda que se extiende por más de 650 Km, y en un ancho promedio de 60 Km.



#### **2.3.4. Geología local**

La geología local de la zona de estudio se compone básicamente de rocas hipo abisal (Complejo Bella Unión) e intrusivo de origen plutónico (Batolito de la Costa).

El Complejo Bella Unión que aflora en la zona de estudio representada por diques Andesíticos y Monzoníticos es responsable de la migración de la mineralización.

Los estudios de Pitcher y Cobbing (1983) dan a conocer detalladamente las unidades y súper unidades y segmentos para el plutonismo del Batolito de la Costa, comparando los y súper unidades según su composición y tectónica

##### **2.3.4.1. Super Unidad Incahuasi ( Ks-gd/to-in)**

La Súper Unidad Incahuasi está integrada principalmente por intrusivos tonalíticos, granodiorita y dioríticas, originados por fases de pulsaciones magmáticas y por el emplazamiento de cuerpos tardíos, representados por monzodioritas y dioritas, los cuales han sido emplazados en los bordes de esta super-unidad. (Victor P.G 1983).

##### **2.3.4.2. Granodiorita**

La granodiorita está presente a lo largo de toda la longitud de la Veta San Juan gradualmente los cambios entre la mineralogía y la textura de la granodiorita varían tanto en profundidad como en afloramiento esto es debido a los distintos parámetros como temperatura, presión, composición y gradiente térmico.

El término de “Granodiorita “fue introducido por Lingdren, para designar a una variedad del granito en el cual predomina las plagioclasas sódicas sobre los feldespatos alcalinos.

Se toma referencia de muestras microscópicas tomadas dentro de la superunidad Incahuasi que generalmente están conformadas por granodioritas y monzonitas, estas presentan una dirección preferencial de rumbos NW-SE en el margen izquierdo de la quebrada Chorunga Jorge C.G (1991).



**Figura 6.** Granodiorita.

**Fuente:** Departamento de Geología de Century Mining Perú SAC.

#### 2.3.4.3. Diorita

Esta roca aflora al oeste del yacimiento San Juan pertenece a la súper unidad Tiabaya, la parte oeste de la veta mercedes esta encajonada entre dioritas, la cual muestra la oxidación que ha sufrido los sulfuros encajonada entre rocas de composición diorítica.

La diorita presenta mucho fracturamiento y debido a este se observa claramente manchas rojizas en el contacto de las fracturas, formadas por la circulación de agua.

Feldespatos calco sódicos (oligoclasa –andesina), biotita y pirita. C. Rosas v. (1968) en sección delgada obtuvo la siguiente composición.

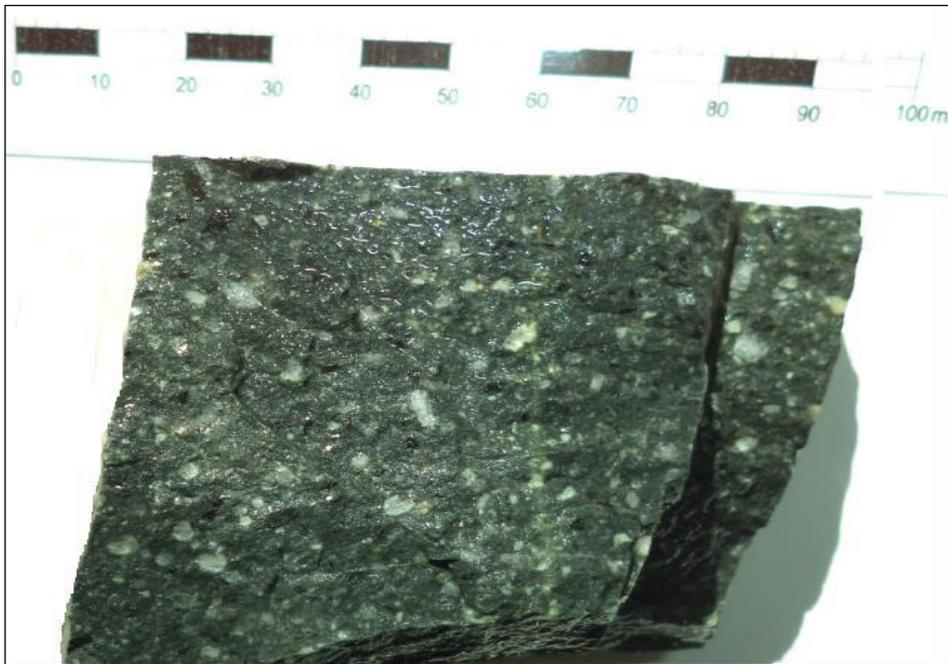


*Figura 7. Diorita vista en galería.*

*Fuente: Departamento de Geología de Century Mining Perú SAC.*

#### 2.3.4.4. Dique de andesita

Diques cuenta con una composición andesítica que se encuentran intruyendo a las rocas granodioritas con direcciones dominantes entre E-W, con buzamientos variables, mayormente verticales; se presenta en diferentes anchos y longitudes que se encuentran afiliados a las estructuras mineralizadas, suponiendo que estos diques hayan sido trasportadores de las soluciones mineralizadas con contenido aurífero. La constitución de las andesitas está en su mayor parte por plagioclasa sódica 80%, biotita 5%, hornblenda 5%, piroxenos 2%, pirita, arcillas 8%, ausencia de cuarzo. Por su textura se tiene dos tipos de dique: Uno denominado pórfido andesítico de color gris oscuro con fenocristales de plagioclasa en matriz afanítica, y otra andesita de textura afanítica de color gris oscuro a negro. Las las dos clases de diques se muestran en diferentes grados de alteración hidrotermal (propilitización, piritización, silicificación).



*Figura 8. Muestra de andesita.*

*Fuente: Departamento de Geología de Century Mining Perú SAC.*

#### **2.3.4.5. Monzonita**

El dique Monzonítico se encuentra ubicada en la parte E de la veta Mercedes, tiene un mayor ancho que el dique pórfido Andesítico, la presencia del pórfido Monzonita entre la veta Norte y veta Sur indicando una estructura con tendencia tabular que sirvió como canal para la circulación de los fluidos hidrotermales.

### **2.3.5. Geología estructural de la zona**

Tenemos dos fallas estructurales más resaltantes en la región que se denominan IQUIPI y CHOCLÓN; la primera se emplaza al pie de la ladera SE de la quebrada Chorunga, siguiendo un rumbo general de S68°W y buzamiento 89° al norte falla de cizalla y la segunda pasa al sur de la quebrada Chorunga limitando el extremo sur del intrusivo, que tiene rumbo S83°W y buzamiento 60° al sur es falla normal.

Los diques andesíticos con rumbo E-W intrusionan a la granodiorita, presentando fracturas de rumbo perpendicular N-S.

#### **2.3.5.1. Sistema de fallas**

El sistema de fallas que determina en la zona, está constituido por fallas normales, de cizalla con rumbo E-W o NNE-SSW; las más importantes que se presentan en la zona son: falla Choclón y falla IQUIPI (NEE-SWW), falla San Juan, falla Santa Mónica, falla Rosario, falla Colorado (NW-SE).

Localmente, el rasgo estructural más importante es la falla Choclón, sus sistemas de fracturas tienen rumbo NW-SE con variaciones N80°W y N75°W con buzamiento vertical que está seguido por una zona de cizallamiento. Este sistema de fallas se puede notar claramente en los cortes que muestra las quebradas y carreteras, se distribuyen en un espacio corto y están acompañados por una familia de fracturas que ocurren en sentido casi perpendicular.

### 2.3.6. Geomecánica

Es la ciencia que se encarga del estudio de macizo rocos.

GSI ESTANDARIZADO		CONDICION SUPERFICIAL	
 <p>(Para labores de 0.7 a 4 mts)</p> <p><b>I</b> No requiere de sostenimiento ocasionalmente puntales en tajos.</p> <p><b>II</b> Pernos puntales en donde requiera puntales en tajos.</p> <p><b>III</b> Pernos Sistemáticos a 1.2 x 1.4 mts c/u (P.H. labores permanentes, P. S.S. labores temporales). ocasionalmente malla electrosoldada.</p> <p><b>IV</b> Pernos Sistemáticos a 1.4 x 1.4 + malla electrosoldada mts c/u (P.H. labores permanentes, P.S.S. labores temporales). Cuadro de Madera 1.2 x 1.5 en tajos colocacion de puntales en linea a 1 mt c/u.</p> <p><b>V</b> Sostenimiento con cimbra (1.0 x 1.5 mts) o Cuadro de madera 0.5 a 1.5 mts, encribado y topado, avance con marchavantes en tajos perforacion horizontal y armado de cuadro completo y puntales con plantilla sistemática cada 1.2 mts.</p>		<p><b>BUENA (B)</b> (Resistente, Levemente Alterada) Discontinuidades rugosas, presenta superficie con oxidación, ligeramente abiertas &lt;1mm. Dureza R4 (50 a 100 Mpa). (Se rompe con varios golpes de picota)</p> <p><b>REGULAR (R)</b> (Moderadamente Resistente y Alterada) Discontinuidad ligeramente rugosa, moderadamente alterada; abierta de 1 a 5mm. Relleno compacto. Dureza R3 (25 a 50 MPa) (Se rompe con uno o dos golpes firmes de picota)</p> <p><b>POBRE (P)</b> (Poco Resistente, Muy Alterada) Discontinuidad lisa, plana o con estraciones, abierta &gt; 5mm. Relleno compacto o con fragmentos de roca. Dureza R2 (5-25 MPa). (Se identifica superficialmente y/o raya fácilmente con la navaja)</p> <p><b>MUY POBRE (MP)</b> (Blanda, Extremadamente Alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta &gt; 5mm. Relleno de fragmentos en matriz blanda y pasizada. Dureza R1 (&lt;5 MPa). (Se disgrega con fuerza de puño y/o identa profundamente con la picota)</p>	
ESTRUCTURA			
 <p><b>FRACTURADA (F)</b> Bien trabada, poco disturbada. Bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD= 50% - 75%) (6 a 10 fracturas / m2)</p>	I F/B	II F/R	III F/P
 <p><b>MUY FRACTURADA (MF)</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada. Bloques angulosos formados por 4 ó mas sistemas de discontinuidades. (RQD= 25% - 50%) (11 a 20 fracturas / m2)</p>	I MF/B	II MF/R	III MF/P
 <p><b>INTENSAMENTE FRACTURADA (IF)</b> Plegamiento y fallamiento. Muchas discontinuidades interceptadas formando trozos angulosos e irregulares. Espaciamiento entre diaclasas de &lt; 5cm. (RQD= &lt;25%) (Mas de 20 fracturas / m2)</p>	II IF/B	III IF/R	IV IF/P
 <p><b>TRITURADA (T)</b> Masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados en matriz arcillosa. (Sin RQD)</p>			V T/P

Figura 9. Cartilla geomecánica GSI.

Fuente. Área geomecánica de Century Mining Perú SAC.

#### 2.3.6.1. Tipos de roca en labores de desarrollo

En la zona Esperanza se tiene los siguientes tipos de roca:

##### a) Bypass: Roca Tipo III

El estándar de labores es de desarrollo es 2.1m x 2.1m se coloca pernos en sistemático distribuidos 4 x 3 en forma distribuida hasta completar toda la sección.

**b) Chimeneas de tajo: Roca tipo III – IV**

La chimenea construida en los tajos es de 1.m x 1.m están encribadas con cribing de 1.20m y topes de 1m como sostenimiento.

**c) Subniveles: Roca tipo IV**

El estándar de subniveles es de 2.1m x 0.9 m, se colocan cuadros completos con espaciamiento de 1.5m.

**d) Chimeneas en estéril: Roca tipo II – III**

Las chimeneas de ventilación son de doble compartimiento de sección 2.4m x 1.2m después de dos disparos coloca bases, entablado y se coloca escalera y guarda cabeza.

**e) Tipos de roca en labores de explotación**

En los tajos que el tipo de roca varia en IV y V se colocan cuadros cojos a 1.5m de separación.

*Cuadro 3. Clasificación del macizo rocoso.*

RMR (Bieniawski 1989)

Categorías de la clasificación

R.M.R.	Descripción del macizo rocoso	Clase
Suma de los puntajes obtenidos de las tablas anteriores		
81 - 100	Muy bueno	I
61 - 80	Bueno	II
41 - 60	Medio	III
21 - 40	Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V

Características resistentes del macizo rocoso

Clase ( R.M.R.)	c [ Kpa]	$\phi$ °	t sin soporte
I ( 81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5 m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50 m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m

*Fuente. Bieniawski 1989.*

### **2.3.7. Método de explotación**

El método de explotación es elegido de acuerdo a las características del yacimiento minera, la inclinación y composición de sus cajas en la zona esperanza, el método de explotación que se emplea en la unidad minera San Juan de Arequipa es el de “Corte y Relleno Ascendente”, con una capacidad de extracción de mineral de 4500 toneladas por mes, el relleno empleado es material detrítico roto obtenido de labores de desarrollo y profundización.

#### **2.3.7.1. Preparación del tajo**

El tajo cuenta con una dimensión de 60 metros de longitud divididos en dos alas de 30 metros con una altura entre 40 y 50 metros, en el diseño cuenta con una chimenea centra de compartimiento simple en formar de “h” que tiene una función de servicios y ventilación más dos chimeneas laterales que sirven como accesos al tajo durante los cortes.

- La preparación de los tajos se inicia con la intersección del crucero a la vete para con la construcción de los caminos por los cruceros.
- La construcción de los caminos laterales y el buzón en la parte central del tajo.
- Preparación del subnivel en la base del tajo sobrando un puente de 3 mts.
- La construcción de la chimenea central de simple compartimiento hasta los 20 mts.
- La chimenea en “h” a 7 mts. de la chimenea central, hasta los 20 mts de altura.
- El subnivel de conexión de la chimenea central del tajo.
- Culminación de la chimenea central.



### **2.3.7.2. Explotación del tajo**

El método de explotación consiste en dividir en dos sectores el tajo para el laboreo de la explotación, se inicia el arranque del mineral a partir del subnivel inicialmente ejecutado con la preparación, los cortes se realizan en forma horizontal iniciando del centro del tajo y terminando en un extremo.

La perforación en Breasting se realiza en forma horizontal con barrenos de 4 pies utilizando como cara libre el subnivel, fracturando la roca mediante disparos. La limpieza de mineral se realiza con winche de arrastre, descargando el mineral en la chimenea central que es echadero de mineral. El sostenimiento se realiza con cuadros cojos espaciados a 1.5 mts.



*Figura 11. Tajo 8667.*

*Fuente. Elaboración Propia.*

### **2.3.7.3. El ciclo de minado en un tajo**

#### **2.3.7.4. a) Servicios:**

Se inicia con el transporte del winche en el ala contraria donde se va iniciar el corte, encribar 2 vueltas de cribing en camino y una 1/2 en echadero.

#### **2.3.7.5. b) Rellenar:**

Rellenar con la cantidad necesaria de marial detrítico hasta obtener una cara libre de 0.60cm. para poder tender la manta en todo largo del ala del tajo y posteriormente las tablas para comenzar con el corte.

#### **2.3.7.6. c) Perforación y voladura:**

Se culmina con el sostenimiento y se inicia con la perforación horizontal en método Breasting

#### **2.3.7.7. d) Limpieza y sostenimiento:**

Limpieza de mineral del disparo anterior y el colocado de un cuadro cojo después de sigue la perforación y voladura que es un trabajo cíclico.

#### **2.3.7.8. e) Servicios y sostenimiento:**

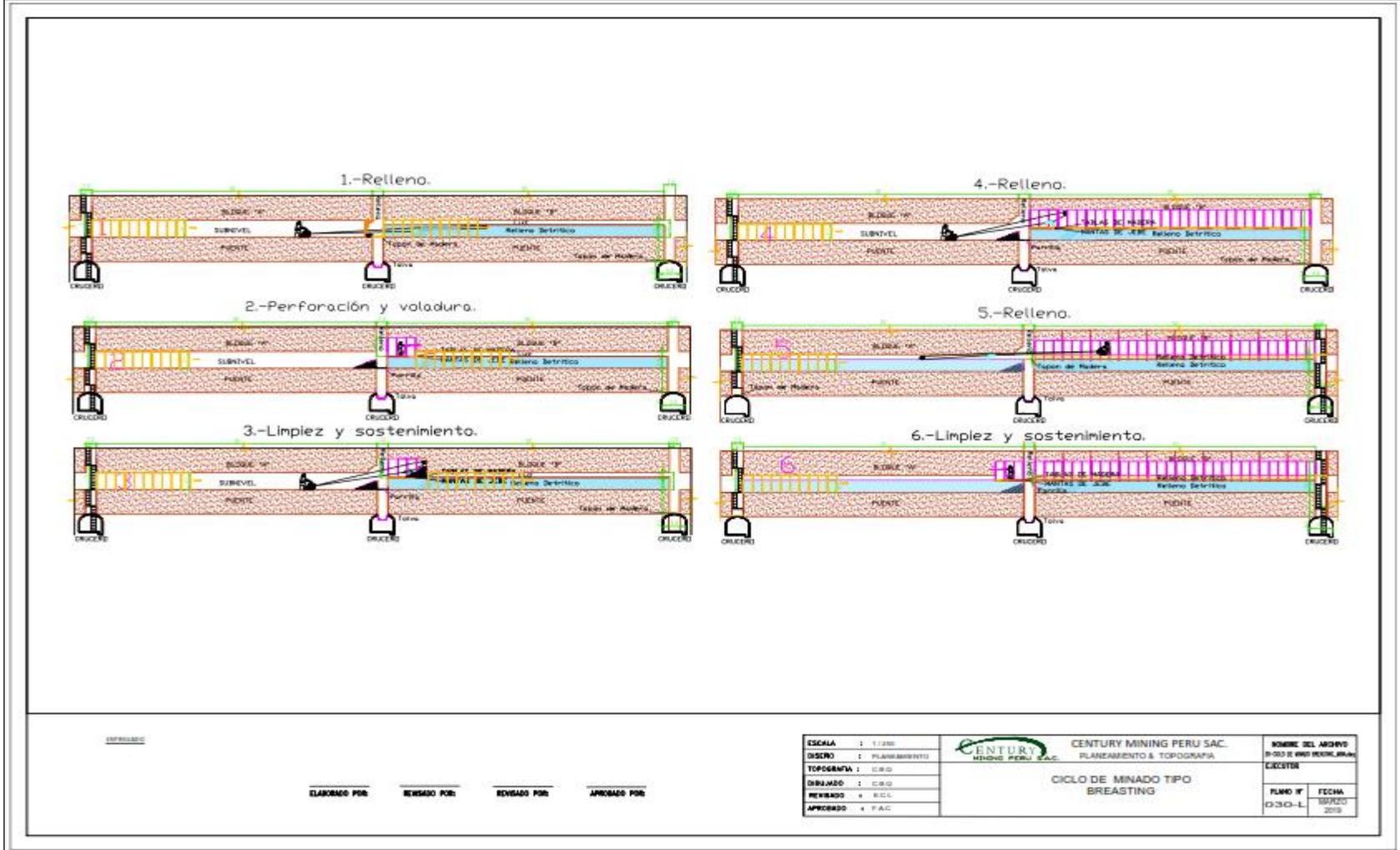
Levantar los caminos con 5 vueltas de cribing y colocar escaleras más descansos.

#### **2.3.7.9. f) Rellenar:**

Rellenar la cantidad adecuada hasta una altura de 1.0mts. y dejar la altura de 1.1mts. para tener altura para poder caminar.

#### **2.3.7.10. g) Servicios y sostenimiento:**

Incrementar 3 vueltas de cribing en el echadero, limpieza de caminos, colocación de escaleras y traslado de equipos.



**Figura 12.** Ciclo de minado tipo breasting.  
**Fuente.** Área de planeamiento de Century Mining Perú SAC.

**2.3.7.11. Productividad y vida de tajeo**

*Cuadro 4. Productividad de tajos.*

PRODUCTIVIDAD EN TAJOS	
Guardias disponibles por mes	60 guardias
Numero de cortes por mes	0.82 cortes/mes
Rotura por mes	370 Tm/mes
Numero de tajos	11 tajos
Rotura programada por mes en la zona	1756 Tm/mes
Personal requerido por tajo	2 hombres/guardia

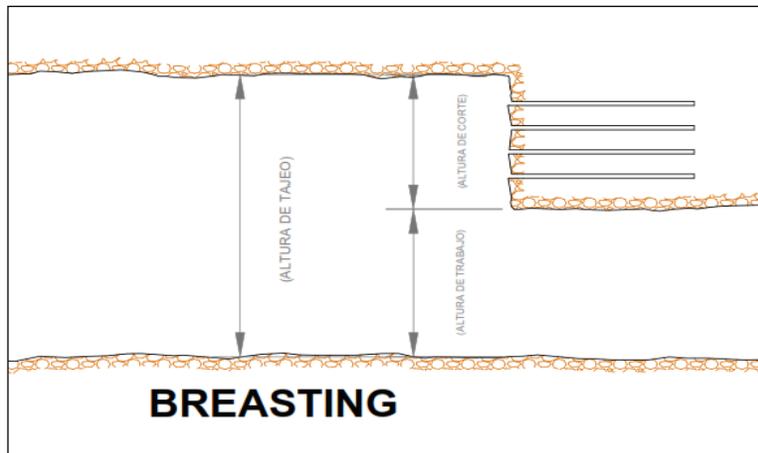
*Fuente: Área de planeamiento de Century Mining Perú SAC.*

*Cuadro 5. Vida de tajos.*

VIDA DE TAJEO	
Altura de Tajo	50 mts
Altura de Corte	2.4 mts
Altura de subnivel	1.8 mts
Puente dejados	3 mts
Altura a Tajear	45.2 mts
Nº días/ corte	40 días
tiempo/tajo	760 días
Tiempo /Tajo	25 meses

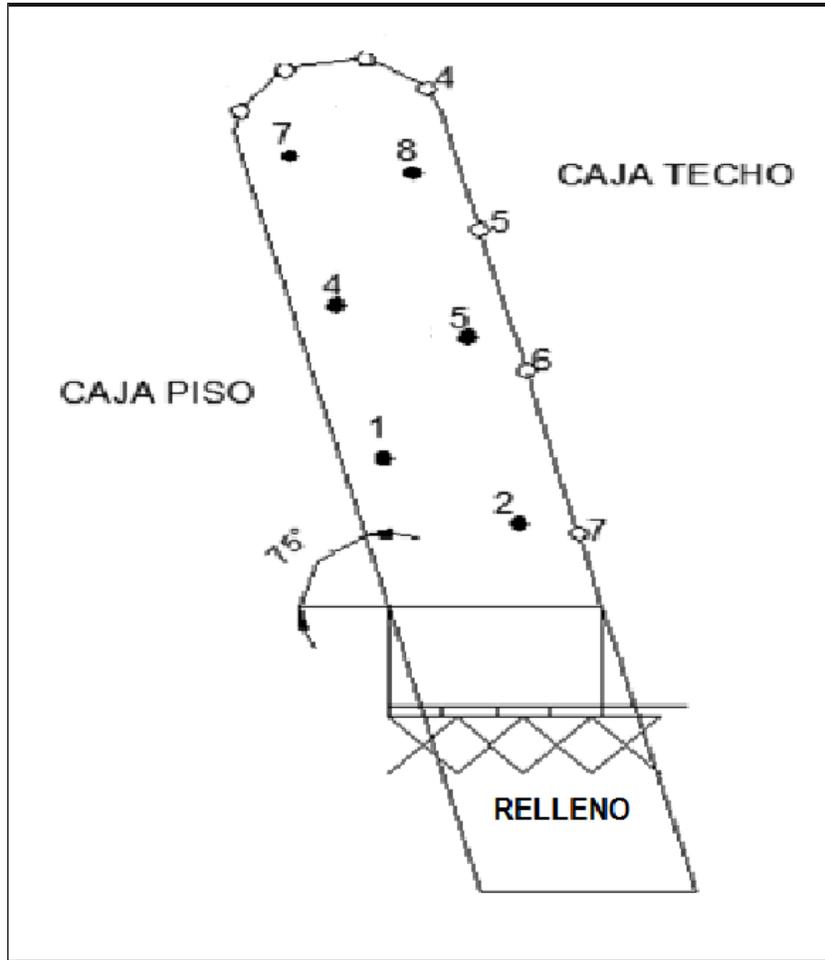
*Fuente: Elaboración propia.*

**2.3.7.12. Perforación de breasting**



*Figura 13. Perforación en breasting.*

*Fuente. Área de mina de Century Mining Perú SAC*



*Figura 14. Sistema de perforación breasting.*

*Fuente. Área de mina de Century Mining Perú SAC.*

*Cuadro 6. Cantidad de taladros y explosivos.*

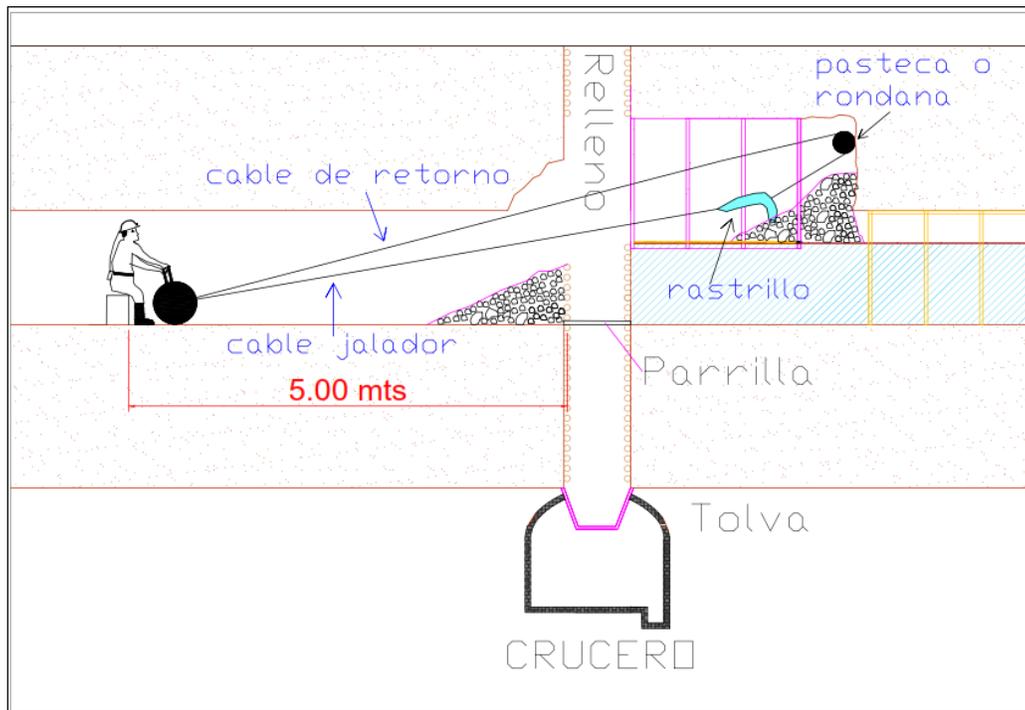
Tipo de taladro 41, 38, 36 mm	N° Mukinel	N° Taladros	Explosivos Tronex Pluss 7/8" x 8"	
			Cart/Tal	Total
Taladros producidos		6	4	24
Taladros de alivio		7		
<b>Total</b>		<b>13</b>		<b>24</b>

*Fuente: Área de planeamiento de Century Mining Perú SAC.*

### 2.3.8. Limpieza

La limpieza en los tajos se realiza con winche de arrastre de dos tamboras y subnivel, en su mayoría con winche JOY de 15 HP y 18 HP, son eléctricos que estas ubicados detrás de 5 metros de las chimeneas de echadero para jalar material hacia estas, se encuentran instalados sobre plataformas, sus componentes de trabajo son:

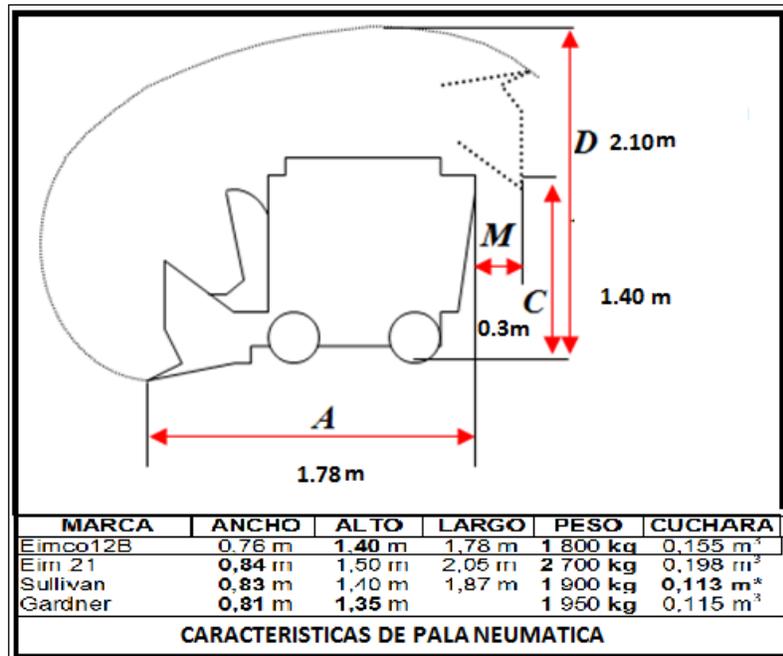
- 2 pastecas o rondanas.
- Cable jalador de 1/2" con 30m.
- Cable retorno de 3/8" con 60m.
- Rastrillo o lampón de 15" o 20".



**Figura 15.** Componentes de Limpieza con winche.

**Fuente.** Área de mina de Century Mining Perú SAC.

La limpieza es de manera convencional en los frentes de trabajo, se realizan mediante palas neumático de marca EIMCO 12B con una capacidad de cuchara de 0.12 yd<sup>3</sup>, el estándar de limpieza con pala es en una sección de 2.1 mts x 2.1 mts, utilizan rieles de 30 libras con trocha 0.60 mts.



*Figura 16. Características de pala neumática.*

*Fuente. Servicios auxiliares.*

### 2.3.9. Sostenimiento

#### 2.3.9.1. Cuadro cojo:

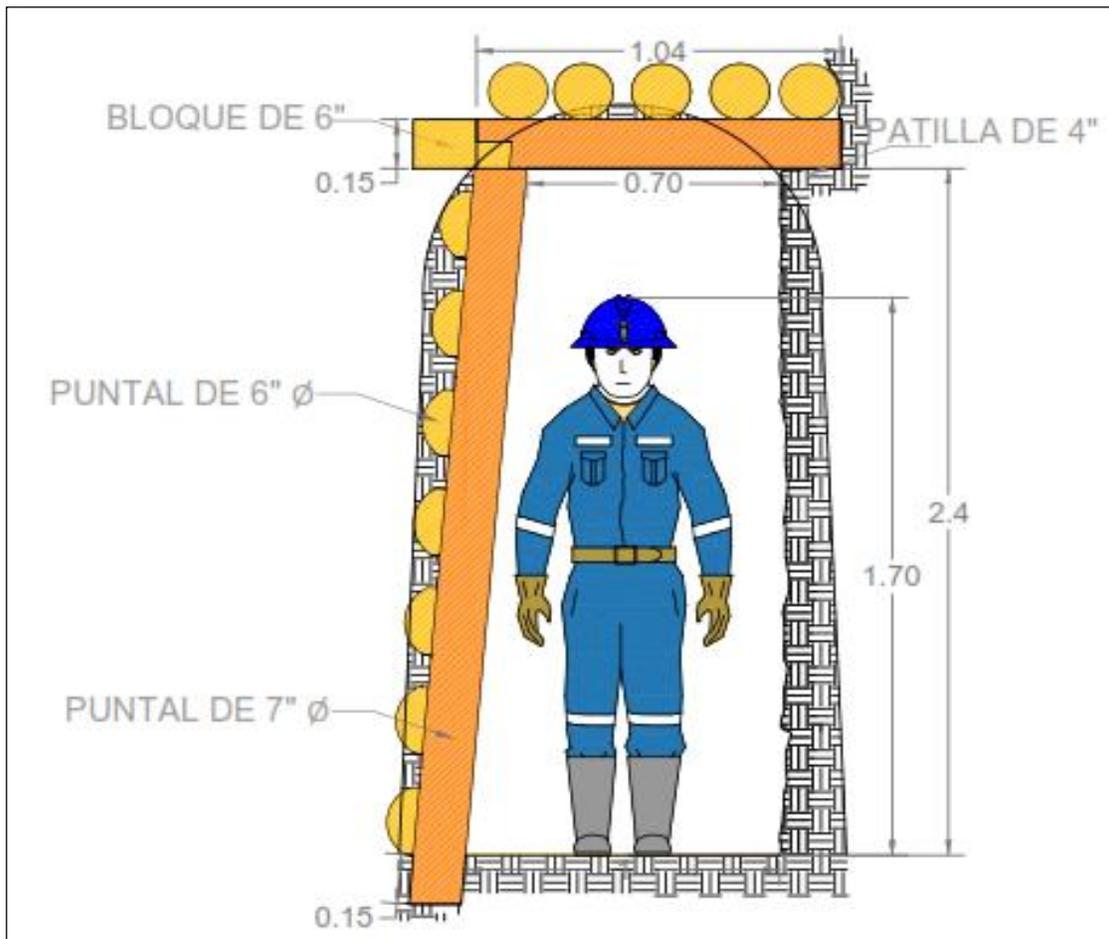
Los tajos como se trabaja en estructura se tiene normalmente un tipo de roca IV – V donde la presión es mayor en caja techo por ende se utiliza los cuadros cojos para sostener los tajos.

Uno de los elementos de sostenimiento con cuadros cojos son los rajados que tiene una separación entre sí de 10cm para evitar que pudiera atravesar algún material que pueda dañar personal que trabaja.

Cuando el tipo de roca es IV espaciamiento recomendado por el área de geomecánica es de 1.5mts, si el terreno es V el espaciamiento es 1.2mts debido que es mayor la presión.

Los elementos de cuadro son:

- Sombrero : redondo de 7" x 1.25 m.
- Poste : redondo de 7" x 3 m.
- Enrejado : rajados de 6" x 3 m.



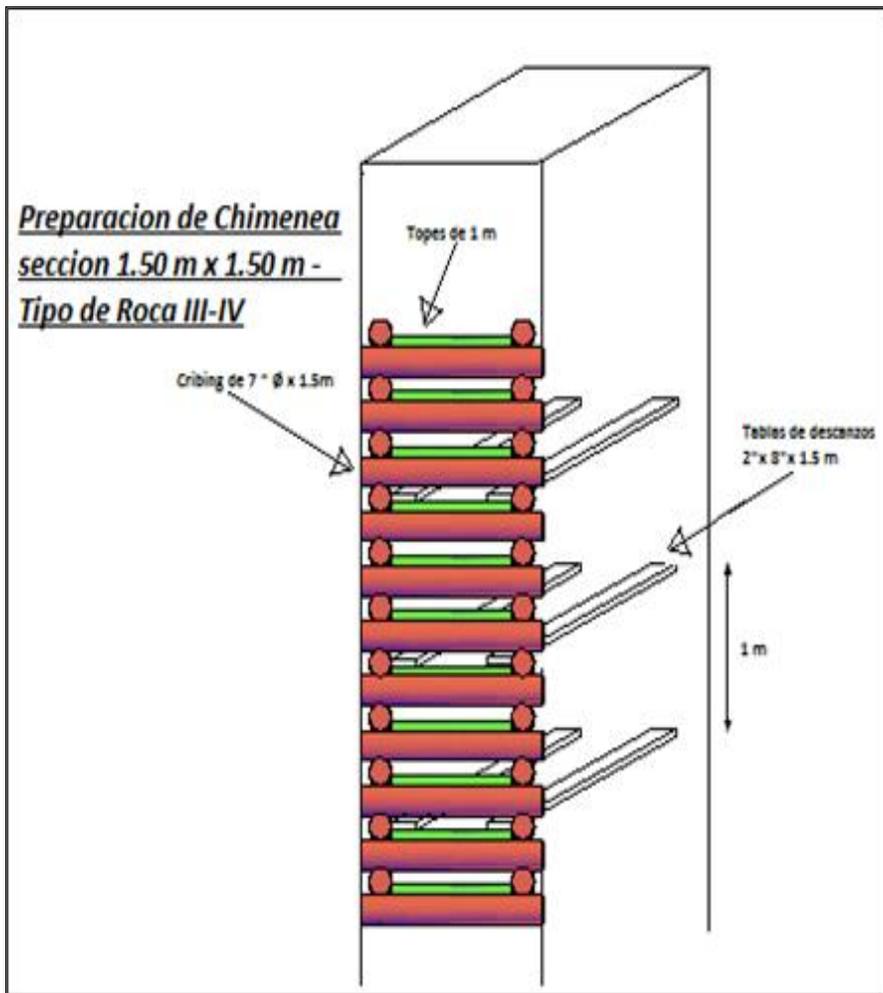
**Figura 17.** Elemento del cuadro cojo.

**Fuente.** Área de planeamiento de Century Mining Perú SAC.

### 2.3.9.2. Encribado de chimeneas

En la construcción de chimeneas para camino y echadero con un tipo de roca III y IV se utilizan el encribado para su sostenimiento y estabilidad de la labor

En sección de 1.50mt. x 1.50mt. con un tipo de roca III y IV el encribado de tener cribing 7"Ø de 1.50mt. con topes de 1.0mt y el entablado de descansos debe ser 2" x 8" x 1.50mt. a cada 1.0mt.



**Figura 18.** Encribado en chimeneas 1.5mts x 1.5mts.  
**Fuente.** Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC.

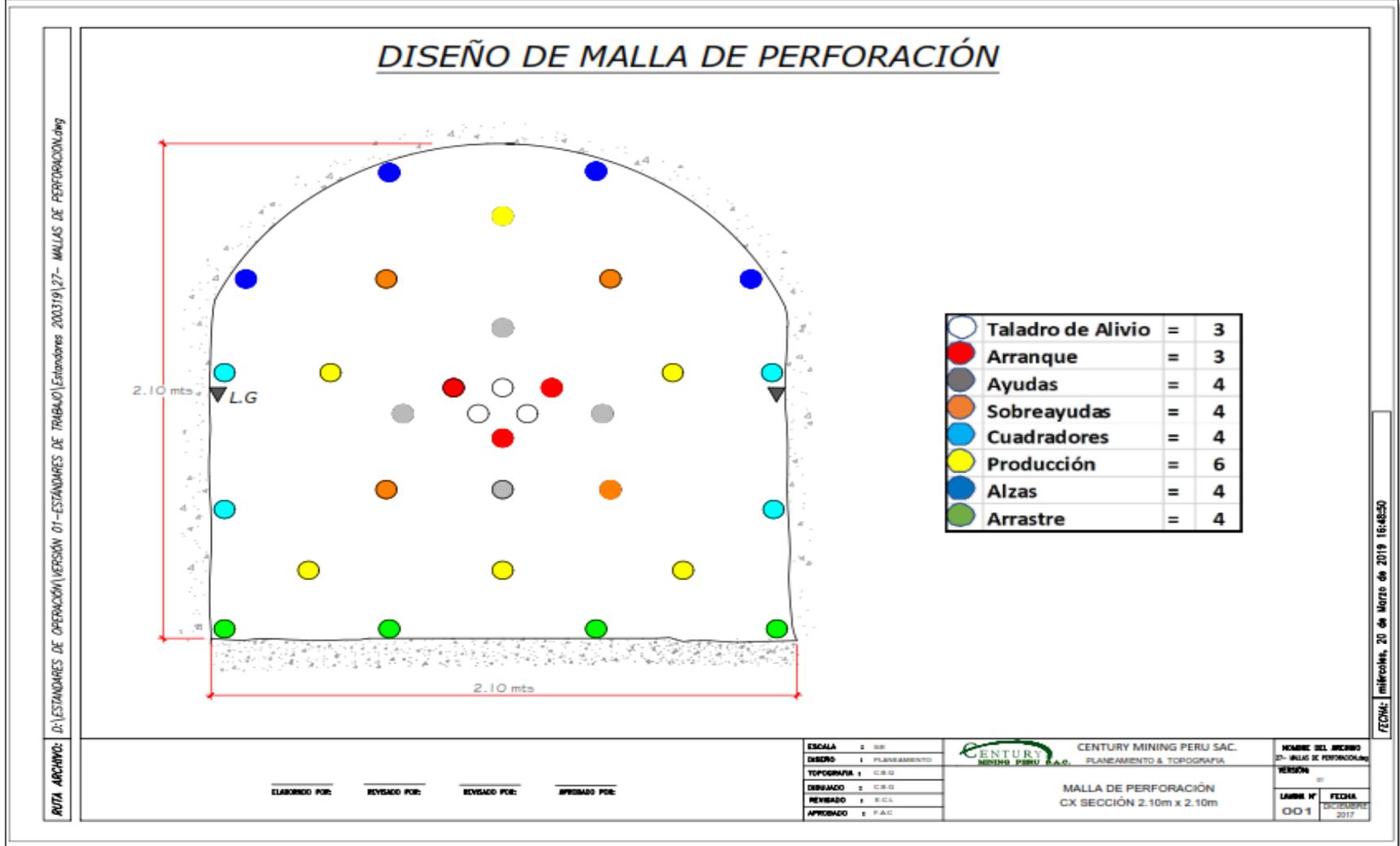
### 2.3.9.3. Perforación de frentes

La perforación de frentes se realiza en cruceros, bye pass y subniveles, se realiza para el desarrollo y la preparación de las labores minera, para realizar esta actividad se utiliza máquinas perforadoras JACKLEG, es muy importante llevar un adecuado paralelismo de los taladros para lo cual se hace uso de los guidores, teniendo un especial cuidado en el arranque para tener un óptimo resultado en la voladura y minimizar costos de sostenimiento.



*Figura 19. Máquina perforadora jackleg.*

*Fuente. Elaboración Propia.*

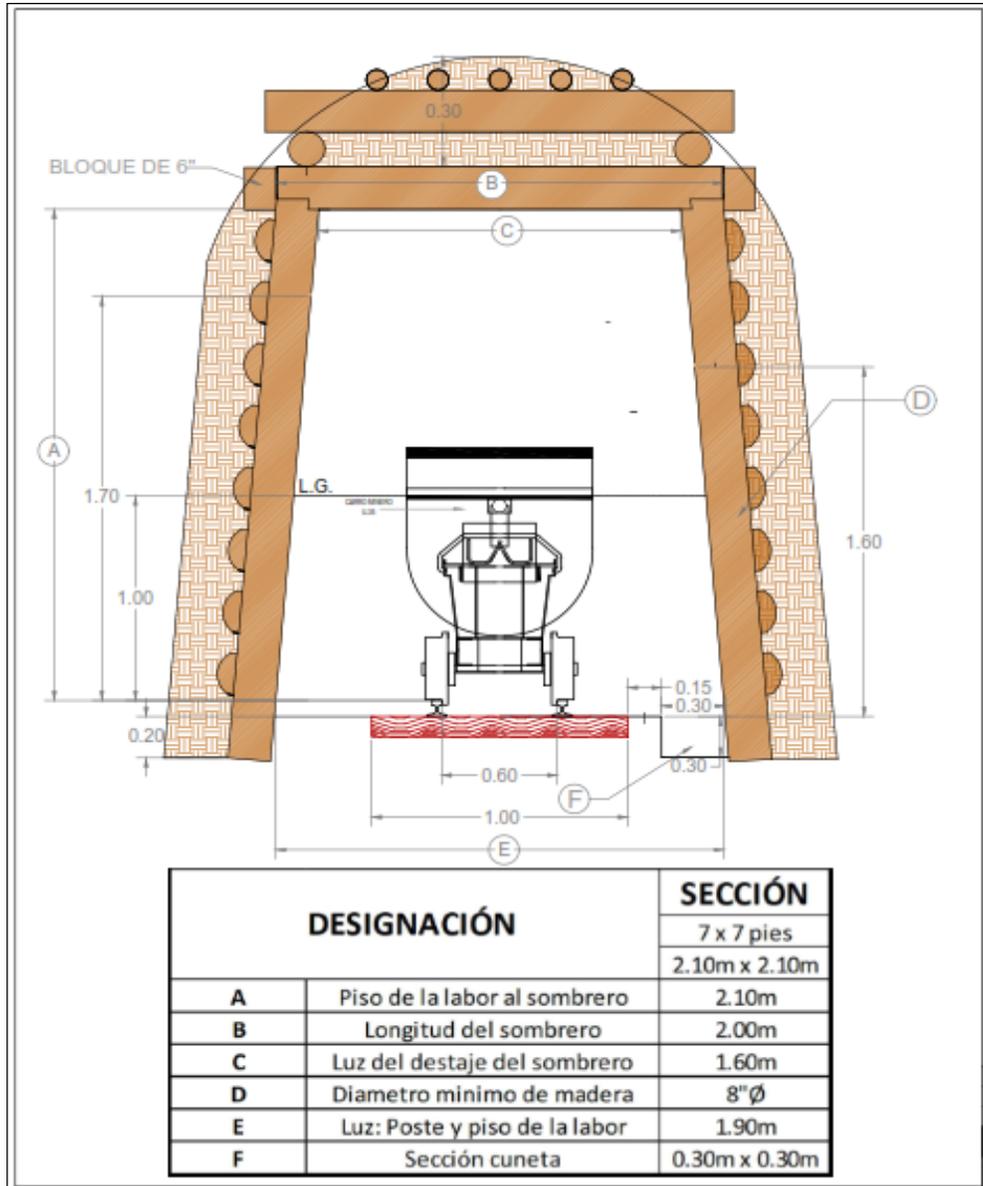


FECHA: miércoles, 20 de marzo de 2019 16:48:50

*Figura 20. Malla de perforación en frentes.*  
*Fuente. Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC*

### 2.3.9.4. Cuadros completos

El sostenimiento con cuadros se utiliza cuando la labor atraviesa por terreno suave con tipo de roca IV – V, en galerías que están sobre estructura y en cruceros cuando cortan veta.



*Figura 21. Elementos de un cuadro completo.*

*Fuente. Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC.*

## 2.3.10. Voladura

### 2.3.10.1. Explosivo de voladura

Los explosivos usados para la voladura de frentes y tajos es el Emulnor de 1000 y de 3000 de 1" x 8" de marca FAMESA.



*Figura 22. Explosivo Emulnor.*

*Fuente. FAMESA explosivos.*

*Cuadro 7. Hoja técnica del explosivo Emulnor.*

		EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
DENSIDAD RELATIVA (g/cm³)		0,90	1,13	1,14	1,16
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	CONFINADO *	4 400	5 800	5 700	5 500
	S/CONFINAR **	3 500	4 500	4 400	4 200
PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)		44	95	93	88
ENERGÍA (kcal/kg)		628	785	920	1010
VOLUMEN NORMAL DE GASES (L/kg)		952	920	880	870
POTENCIA RELATIVA EN PESO *** (%)		63	85	100	105
POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN *** (%)		75	120	145	155
SENSIBILIDAD AL FULMINANTE		Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
RESISTENCIA AL AGUA		Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
CATEGORÍA DE HUMOS		Primera	Primera	Primera	Primera

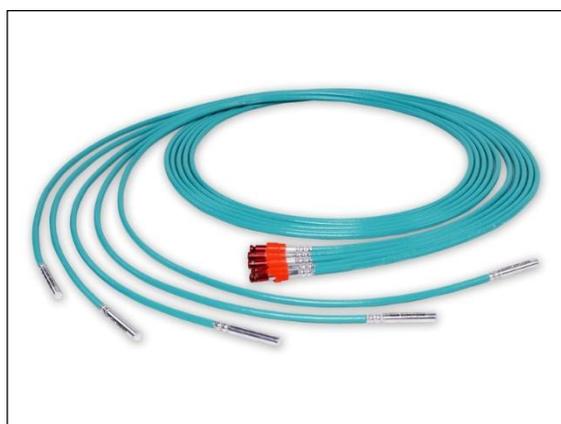
\* Velocidad de detonación en tubo de 1 1/2 pulgadas de diámetro.  
 \*\* Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.  
 \*\*\* Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

*Fuente. FAMESA explosivos.*

### 2.3.10.2. Accesorios de Voladura

El sistema utilizando de iniciador y el armado es convencional, se utilizan los siguientes accesorios de voladura.

- Mecha rápida.
- Carmex con tramo de mecha de seguridad con fulminante N° 8.



*Figura 23. Accesorio de voladura Carmex.*

*Fuente. FAMESA explosivos*

*Cuadro 8. Características técnicas accesorio de voladura Carmex.*

Características técnicas DEL FULMINANTE COMÚN		CARMEX®
DIÁMETRO DEL FULMINANTE (mm)		6,3
LONGITUD DEL FULMINANTE (mm)		45
PRUEBA DE ESOPPO, DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)		10,0
VOLUMEN TRAUZL (cm <sup>3</sup> )		23
RESISTENCIA A LA HUMEDAD RELATIVA DEL 100 % POR 24 HORAS		Detona
RESISTENCIA AL IMPACTO 2 kg/1m		No Detona
SENSIBILIDAD A LA CHISPA DE LA MECHA DE SEGURIDAD		Buena

*Fuente. FAMESA explosivos.*

### 2.3.10.3. Índices de voladura

*Cuadro 9. Índices de voladura de malla de perforación 2.1 mts x 2.1 mts*

INDICES DE VOLADURA		
Densidad de mineral	2.80	Ton/m <sup>3</sup>
Sección 2.1 x 2.1 mts	3.94	m <sup>2</sup>
Longitud de corte	1.70	m
Peso de Tronex Pluss 7/8" X 8"	0.115	Kg/Cart
De explosivo por Disparo	21.25	Kg
Factor de potencia (Kg/Ton)	1.13	Kg/ton

*Fuente: Área de mina de Century Mining Perú SAC*

### 2.3.11. Acarreo

El acarreo es el transporte de desmote y mineral se realiza mediante locomotoras a batería de 3.5Tn a 1.5Tn. a batería que jalas los carros mineros de volteo de tipo “U35” con capacidad de 1,6Tn, todo el acarreo de materia se realiza hacia las tolvas principales de cada nivel.

La línea de cauville de 30lb/yd, durmientes de 4” x 6” x 1.2mts, espaciamiento entre durmientes 0.8 m y con una trocha de 0.60 mts.



*Figura 24. Locomotora de 1.5 Tn.*

*Fuente. Elaboración Propia.*

## **2.4. BASES TEÓRICAS**

### **2.4.1. Definición de la ventilación de minas**

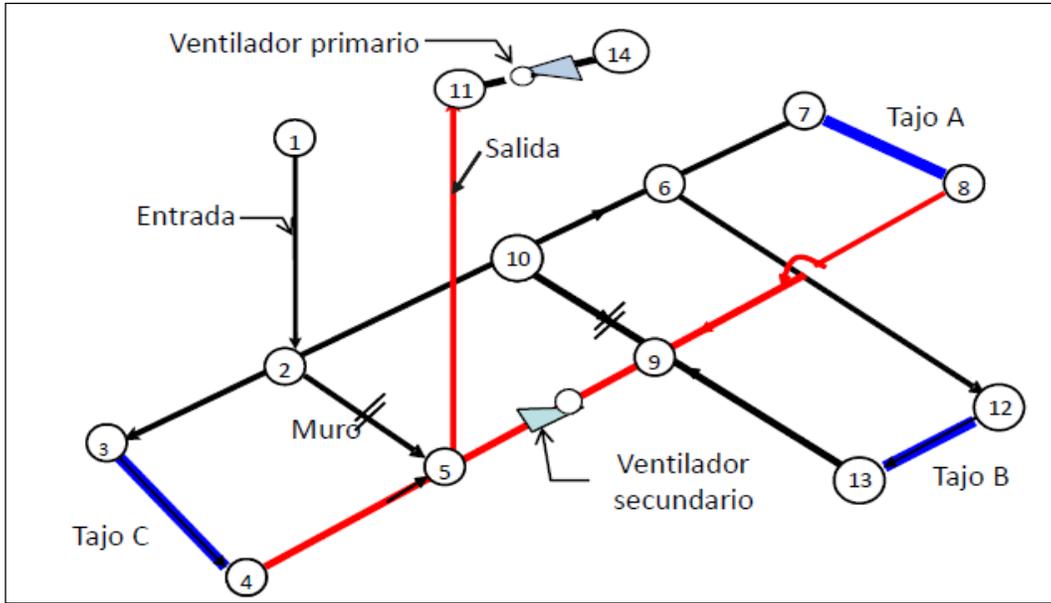
Se determina como el trabajo ejecutado para conseguir la adecuación del aire que circula por las labores subterráneas. Teniendo un objetivo principal el ofrecer un ambiente de trabajo sano y cómodo en las labores mineras. Diluir los contaminantes provocados por las operaciones mineras a concentraciones por debajo de límite permisible.

La finalidad es proveer un ambiente de trabajo con aire fresco y limpio en los frentes donde se realizan actividades de trabajo, para disminuir la temperatura y la humedad utilizando las condiciones naturales de presión y temperatura de la mina y en caso necesario utilizar medios auxiliares.

### **2.4.2. Componentes de un sistema de ventilación**

Los elementos de un sistema de ventilación de minas

- Entradas y salidas principales y independientes con conexión directas a la superficie.
- Cortadas, bypass y chimeneas de repartición.
- Ventiladores principales y secundarios
- Controles de circuito de ventilación (ventiladores auxiliares, reguladores, Puertas, Muros, etc). (intercade, 2018)



**Figura 25.** Componentes del sistema de ventilación.

**Fuente:** INTERCADE 2018.

### 2.4.1. Caudal de Aire

El caudal se determina a partir de dos factores que son: la velocidad del aire y el área de la sección transversal por la que este atraviesa, está determinado por el volumen de aire por una unidad de tiempo que se desplaza venciendo unas resistencias del ducto o una labor minera, matemáticamente se determina por la multiplicación de la velocidad del aire por la respectiva área de la sección, con la ecuación siguiente.

$$Q = V \times A \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$Q$ : Caudal del aire ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$ : Velocidad del aire ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A$ : Área ( $\text{m}^2$ )

### 2.4.1. Requerimiento del aire

La demanda de aire en interior mina se calcula con la comparación de los valores del caudal de consumo de explosivos y los valores de caudal total para la operación. Se obtiene cada uno de los valores se determina el mayor como requerimiento de aire total. (DS. 023 - 2017 – EM):

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

$Q_{To}$  = Caudal para la operación.

$Q_{T1}$  = Sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores ( $Q_{Tr}$ ), b) el consumo de madera ( $Q_{ma}$ ) y c) temperatura en labores de trabajo ( $Q_{Te}$ )

$Q_{Fu}$  = 15% del  $Q_{T1}$

#### 2.4.1.1. Caudal requerido por el número de trabajadores

El requerimiento mínimo por persona varía de acuerdo a la altitud de trabajo sobre el nivel del mar según la siguiente escala:

(Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Decreto Supremo N° 023 - 2017 - EM. Perú).

El requerimiento de aire mínimo para los hombres de acuerdo al artículo 247 del reglamento actual:

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$Q_{Tr}$  = Cantidad total para el número de trabajadores, en m<sup>3</sup>/min.

$N$  = Número máximo de trabajadores por guardia.

$F$  = Caudal mínimo por persona de acuerdo a la altura de trabajo, en m<sup>3</sup>/min.

#### 2.4.1.2. Caudal requerido por el consumo de madera

El requerimiento de aire por uso de madera de acuerdo al anexo 38 del DS. 023 -2017- EM:

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$Q_{Ma}$  = Caudal requerido por consumo de madera (m<sup>3</sup>/min).

$T$  = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

$u$  = Factor de producción, se determina mediante la escala del artículo 252 del decreto supremo (se muestra en el cuadro 10)

**Cuadro 10.** Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.

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

*Fuente: DS. 023 -2017 –EM*

#### 2.4.1.3. Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo

En el artículo 252 del DS. 023 -2017 - EM, señala que la temperatura seca del aire máximo es 29 °C y la velocidad mínima del aire será de acuerdo a la siguiente tabla (**ver cuadro 11**)

**Cuadro 11.** Velocidad mínima de acuerdo a la temperatura del aire en Perú.

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

**Fuente:** DS. 023 -2017 –EM

El requerimiento de aire por temperatura es:

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

$Q_{Te}$  = Caudal por temperatura (m<sup>3</sup>/min).

$V_m$  = Velocidad mínima del aire (m/min).

A = Área de la labor promedio (m<sup>2</sup>).

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C.

#### **2.4.1.4. Caudal requerido por consumo de explosivos**

Cuando dentro de la operación no se use equipos diésel, se debe calcular y tomar importancia a la necesidad de aire requerido por consumo de explosivos, calcular por la siguiente ecuación. (DS. 023 - 2017 – EM)

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

$Q_{Ex}$  = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado ( $m^3/min$ )

$A$  = Área promedio de las labores ( $m^2$ )

$V$  = Velocidad mínima requerida según la norma ( $m/min$ )

$N$  = Número de niveles en voladura.

#### **2.4.1.5. Caudal requerido por fugas**

El reglamento indica que se debe asumir un 15% del  $Q_{T1}$  para cubrir las posibles fugas en el sistema. El procedimiento señalado en el D.S. 023 para el cálculo de este caudal es el siguiente: (DS. 023 - 2017 – EM):

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{T1} \quad (m^3/min) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

#### **2.4.2. Ventilación subterránea**

La ventilación subterránea es el desarrollo por el cual se hace circular caudales de aire por el interior de la mina subterránea para garantizar una atmosfera respirable y segura para el desempeño de los trabajadores. Se efectúa la circulación del aire por interior de la mina por medio de todas sus labores minera. En la mina es muy impórtate que tenga dos labores de accesos independientes conectados a superficie, en caso que se cuente con frentes ciegos que cuentan con un solo acceso como son (las labores de desarrollo) se necesita ventilar con ventiladores que impulsen el aire mediante ductos de ventilación rígidos, semirrígidos y flexibles que se coloca desde el ventilador hasta el final de la labor, este tipo de ventilación se conoce como ventilación secundaria y auxiliar, los ventiladores son necesarios para el movimiento de aire. Comúnmente los ventiladores principales se ubican en los exteriores, los ventiladores secundarios de ubican instalados en interior mina y los ventiladores auxiliares son instalados para ventilador labores de desarrollo y preparación.

### **2.4.3. Tipos de ventilación**

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural.
- Ventilación mecánica.

#### **2.4.3.1. Ventilación natural.**

El flujo de aire que se presenta en una mina en ausencia de medios mecánicos, es debido a factores naturales, se mide en metros cúbicos por segundo (Herrera, 1996)

Factores que permiten el movimiento de la corriente de aire son:

- Diferencia de temperatura.
- Profundidad de la mina.
- Diferencia topográfica entre entrada y salida.
- Presión barométrica
- Humedad del aire
- Movimiento de temperatura del aire en superficie.
- Personal en la mina.

### Fórmula para calcular depresión natural

$$H_n = 353w \left( \frac{h_1}{T_A} - \frac{h_1 - h_2}{T} - \frac{h_2}{T_2} \right) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

$h_1$  = Profundidad del inclinado de entrada de aire, (m)

$h_2$  = Profundidad del inclinado o tambor de salida, (m)

$T_A$  = Temperatura media en el inclinado de entrada de grados Kelvin, (K°)

$$T_A = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}, \text{ °K} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$T_A$  = Temperatura media del tambor de salida, en grados °K

T = Media de aritmética de las temperaturas absoluta al final del inclinado de entrada y la temperatura media del tambor de ventilación con la superficie.

$$T = \frac{(t_1 + 273) - (t_2 + 273)}{2}, \text{ °K}$$

$t_1$  y  $t_2$  = temperaturas medias en grados.

#### 2.4.3.2. Características de ventilación natural

La ventilación natural depende de la diferencia en la elevación entre dos puntos en la superficie, con la diferencia en la temperatura del aire dentro y fuera de la mina. Normalmente cuanto mayor es esta diferencia, más fuerte es la ventilación natural. En una mina ventilada solo por ventilación natural, mayores diferencias

resultar en una mayor transferencia de energía térmica, una mayor diferencia de presión (carga) y mayor flujo de aire.

Es la intensidad del calor de la roca y la diferencia en elevación de las diversas aberturas en la mina que determinan la fuerza de la ventilación natural. Las principales fuentes de calor de la mina el flujo de aire a través de las aberturas de la mina no puede existir a menos que las pérdidas de energía en el sistema son superadas por las ganancias de energía en el sistema. Hay dos fuerzas que suministrar energía al sistema de ventilación de la mina. (Howard Hartman y Jan Mutmansky, 1982)

### 2.4.3.3. Cálculo de la presión ventilación natural

la ecuación para calcular la presión de ventilación natural es:

$$H_N = P_1 x \left[ e^{\frac{g}{R} x \left( \frac{h_1 - h_2}{T_S} + \frac{h_2}{T_2} \right)} - e^{\frac{g x h_1}{R x T_1}} \right] \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$P_1 = P_0 x e^{\left( \frac{-g x h}{R x T} \right)} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

$H_N$  = Presión de ventilación natural (Pa).

$P_1$  = Presión barométrica en el nivel de la salida más alto (Pa).

$g$  = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

$R$  = Constante universal del aire (290 J/Kg - °K).

$h$  = Diferencia de niveles (m).

$T$  = Temperatura (°K).

$P_0$  = Presión a nivel de mar (Pa)

#### **2.4.3.4. Ventilación mecánica**

La ventilación mecánica consiste en un ventilador que ejerce presión a un determinado caudal de aire, que es activado por un motor eléctrico que posibilita el envío o la succión del aire en cantidades fijas. (Zitron, 2010)

#### **2.4.4. Diseño del sistema de ventilación**

Tener en cuenta los siguientes conceptos para el diseño del sistema de ventilación

- Aire de mina
- Gases presentes de la mina
- Polvo en las minas
- Condiciones termo – ambientales
- Psicométrico

##### **2.4.4.1. Aire de mina**

Se denomina aire de minas a la mezcla de los compuestos de gases y vapores, normalmente de encuentra con polvo en suspendido, que está lleno en los espacios generado por las labores, al ingresar a interior mina tiene muchos cambios en su composición, si los cambios son menores el aire alcanza la denominación de aire atmosférico, se denomina aire fresco o de ingreso, al aire contaminado se denomina aire viciado o de retorno.

Cuando el aire circula por el interior de mina recolecta gases, vapor y polvo que producen las operaciones mineras, el aire pierde parte del oxígeno debido a la respiración humana. (López Jimeno, 1997)

#### **2.4.4.2. Gases presentes en las minas**

El aire subterráneo de la mina es una mezcla de varios gases. El aire encontrado bajo tierra rara vez contiene las concentraciones exactas de gases porque, a medida que circula por la mina, pierde algo de su oxígeno y gana otros gases de varias fuentes como los estratos, voladuras y motores de combustión interna. (Howard Hartman y Jan Mutmansky, 1982)

#### **2.4.4.3. Polvo en las minas**

Consiste en partículas sólidas suspendidas en un gas. Polvos constituyen el problema de aerosoles más común en las industrias mineras y generalmente están formados por procesos de fragmentación como perforación, trituración y molienda, pero también puede ser el resultado de la resuspensión debido al equipo operación o movimiento de aire. Las partículas de polvo varían de 1 a 100  $\mu\text{m}$  (micrómetro) de diámetro, pero el rango de tamaño es normalmente 1-20  $\mu\text{m}$ .

Esto es un resultado del hecho de que las partículas por debajo de  $\mu\text{m}$  no se forman en abundancia y las partículas 8 por encima de 20  $\mu\text{m}$  suelen ser relativamente rápidas para depositarse. (Howard Hartman y Jan Mutmansky, 1982)

#### **2.4.4.4. Psicométricas**

La ciencia encargada de estudiar las condiciones del aire húmedo y la temperatura del aire interior. (Howard Hartman y Jan Mutmansky, 1982)

Propiedades de psicométricas del aire son:

- Temperatura de bulbo seco.
- Temperatura de bulbo húmedo.
- Temperatura de punto de rocío
- Humedad específica W.
- Humedad relativa HR.
- Entalpía.
- Volumen específico.

**La humedad Relativa del aire**, es la relación de vapor de agua que se encuentra presente en el aire que se expresa en porcentaje (%HR) de la cantidad necesaria para lograr la saturación a esa temperatura.

$$HR = \frac{P_v}{P_v(\text{saturado})} \times 100 \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Para calcular la humedad relativa se necesita calcular la temperatura de bulbo seco (TBS) y la temperatura de bulbo húmedo (TBH).

El contenido de humedad (W) del aire, se define por la división de la masa de vapor de agua ( $m_v$ ) y la masa de aire seco ( $m_a$ ) y se expresa en g/Kg o en Kg/Kg.

$$W = \frac{m_v}{m_a}$$

En otra forma:

$$W = 0.622 \times \frac{P_v}{P_{at} - P_v} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

$P_v$ : presión de vapor de aire

$P_{at}$ : presión atmosférica

*Cuadro 12. Características de aire saturado.*

Temp. de Saturación °C	Presión de Vapor (Absoluta)		Volumen Específico m <sup>3</sup> /kg	Peso del Vapor			Entalpía kcal/kg		
	kPa	psia		Densidad kg/m <sup>3</sup>	Humedad Absoluta		Sensible	Latente	Total
					g/m <sup>3</sup>	granos/pie <sup>3</sup>			
0	0.61	0.0885	206.32	0.004847	4.84	2.11	0	597.66	597.66
1	0.65	0.0945	194.10	0.005152	5.15	2.25	1	596.87	597.87
2	0.7	0.1023	179.58	0.005569	5.57	2.43	2	596.28	598.28
3	0.76	0.1098	168.18	0.005946	5.95	2.60	3	595.68	298.68
4	0.81	0.1179	157.40	0.006353	6.35	2.77	4	595.09	599.09
5	0.87	0.1265	147.14	0.006796	6.79	2.97	5	594.53	599.53
6	0.93	0.1356	137.74	0.007260	7.26	3.18	6	593.93	599.93
7	1.00	0.1452	129.04	0.007750	7.75	3.38	7	593.37	600.37
8	1.07	0.1556	120.95	0.008268	8.27	3.61	8	592.79	600.79
9	1.15	0.1664	113.39	0.008819	8.82	3.85	9	592.25	601.25
10	1.23	0.1780	106.37	0.009401	9.40	4.10	10	292.03	602.03
11	1.31	0.1903	99.90	0.01001	10.01	4.37	11	591.10	602.10
12	1.40	0.2033	93.82	0.01066	10.66	4.66	12	590.56	602.56
13	1.50	0.2187	88.13	0.01135	11.35	4.96	13	589.98	602.98
14	1.60	0.2317	82.85	0.01207	12.07	5.27	14	589.41	603.41
15	1.70	0.2472	77.97	0.01283	12.83	5.60	15	588.87	603.87
16	1.82	0.2636	73.35	0.01363	13.63	5.96	16	588.31	604.31
17	1.94	0.2809	69.09	0.01447	14.47	6.32	17	587.72	604.72
18	2.06	0.2992	65.07	0.01537	15.37	6.72	18	587.18	605.18
19	2.20	0.3186	61.32	0.01631	16.31	7.13	19	586.59	605.59
20	2.33	0.3390	57.81	0.01730	17.30	7.56	20	586.03	606.03
21	2.48	0.3606	54.54	0.01834	18.34	8.01	21	585.48	606.48
22	2.64	0.3834	51.48	0.01943	19.43	8.48	22	584.89	606.89
23	2.83	0.4102	48.60	0.02058	20.58	8.99	23	584.34	607.34
24	2.98	0.4327	45.91	0.02178	21.78	9.52	24	583.76	607.76

*Fuente: Howard Hartman y Jan Mutmansky*

*Cuadro 13. Tabla psicométrica.*

<b>Tabla psicométrica</b>										
Temperatura de un termómetro seco	Diferencia de temperatura entre los termómetros seco y húmedo ( en °C) (El valor de la lectura medida especifica la humedad relativa en %)									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	82	64	47	31	14				
1	100	83	66	60	34	18				
2	100	84	68	52	37	22				
3	100	84	69	54	40	25	12			
4	100	85	70	56	42	28	18			
5	100	86	72	58	45	32	19	7		
6	100	86	73	60	47	35	23	11		
7	100	87	75	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	62	51	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	
10	100	88	77	65	55	44	34	24	14	5
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17
15	100	90	80	71	61	53	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22
17	100	90	81	72	63	56	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	36	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	31
21	100	91	83	75	67	60	52	45	39	32
22	100	92	83	75	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36
24	100	92	84	77	70	62	56	49	43	37
25	100	92	85	77	70	63	57	51	44	39
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40
27	100	93	85	78	71	65	59	53	47	41
28	100	93	86	79	72	65	59	53	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

*Fuente: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/temperatura-del-bulbo-humedo>*

#### **2.4.5. Características deseables de un sistema de ventilación**

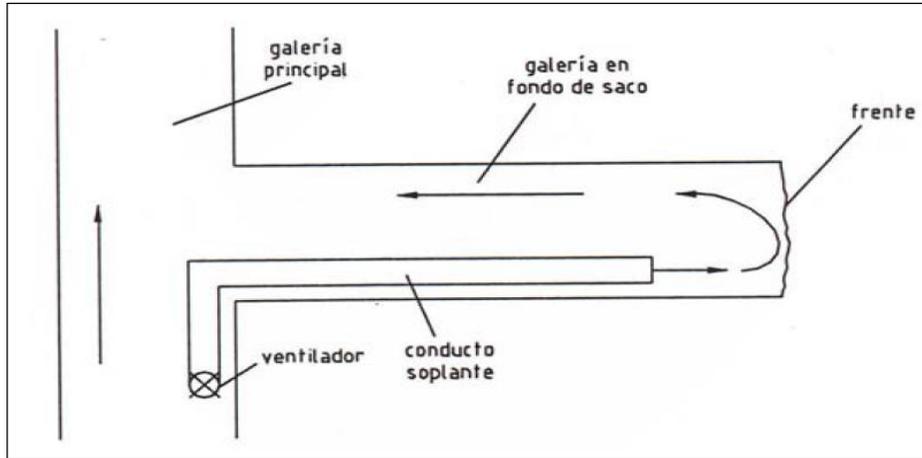
Debe tenerse en cuenta las siguientes características deseables al seleccionar un sistema de ventilación.

- La entrada principal a la mina por donde ingresan los trabajadores deben usarse en lo posible como ingreso de aire.
- Las resistencias totales de la mina deben minimizarse para evitar un incremento del costo de ventilación y tener la mayor sección posible de las labores que están conectadas a superficie.
- El aire fresco se tiene que conducir mediante las labores activas por la ruta más corta.
- En lo posible las labores de temperatura alta, gases y polvo deben ser ventilados de forma individual particular mente en minas de carbón.
- Minimizarse las fugas y evitar que recircule el aire.
- El aire debe empezar a circular de las zonas de trabajo a las zonas ya explotadas.
- El uso de los reguladores debe minimizarse para no incrementar la resistencia total de mina.
- Todas las rutas de ingreso y salida de aire deben estar limpios sin obstrucciones.
- Las labores principales deben tener dimensiones adecuadas

## **2.4.6. Tipos de sistemas de ventilación**

### **2.4.6.1. Ventilación auxiliar soplante**

El aire es impulsado hacia los frentes de trabajo por la presión ejercida por un ventilador que lleva aire desde la corriente principal mediante ductos de ventilación para limpiar los gases contaminantes y el polvo del frente siego por medio de la labor (Zitrón, 2010).

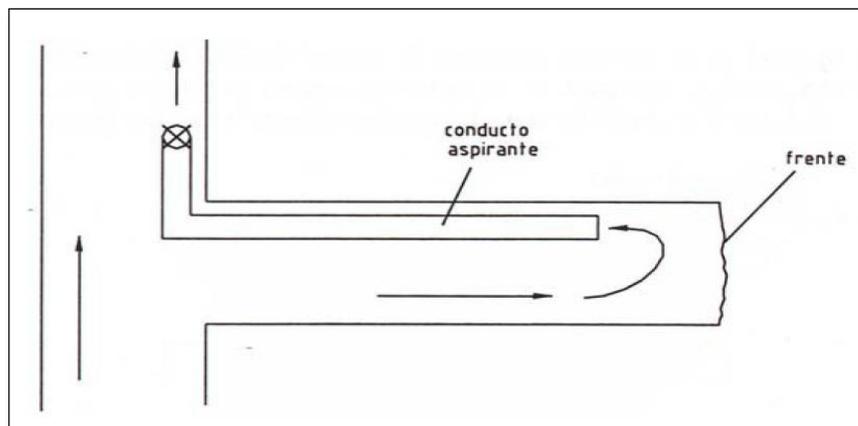


**Figura 26.** Elementos del sistema de ventilación soplante.

*Fuente: ZITRÓN 2010.*

#### 2.4.6.1. Ventilación auxiliar aspirate

El aire contaminado es aspirado de los frentes de trabajo a través de un ventilador que se encuentra instalado en un extremo del ducto de ventilación creando una depresión que saca el aire contaminado a la corriente principal y el aire fresco ingresa por la labor minera. (Zitrón, 2010)



**Figura 27.** Elementos del sistema de ventilación aspirante.

*Fuente: ZITRÓN 2010.*

#### 2.4.6.2. Ventilación auxiliar mixta (soplante – aspirante)

Este sistema es la combinación del soplante y aspirante donde se tiene que extender dos ductos de ventilación uno para que extraiga aire de los frentes de trabajo y el otro para que impulse el aire hacia los frentes de trabajo, este sistema tiene las bondades de los dos sistemas, la generación de aire fresco en el frente es mayor y una evacuación con mayor velocidad, la desventaja es su mayor costo de instalación y mantenimiento. (Zitrón, 2010)

### 2.4.7. Tipos de ventiladores

#### 2.4.7.1. Ventiladores centrífugos

En ellos el aire ingresa por un oído que se encuentra en la parte central, para ser aspirado por centrifugación en una rueda de álabes, de donde es empujado a un cuerpo con forma de caracol, que la sección va creciendo hasta alcanzar el orificio de salida en la zona llamada difusor.



*Figura 28. Ventiladores centrífugos.*

*Fuente: Departamento de ventilación.*

#### 2.4.7.1. Ventiladores axiales

El aire ingresa al ventilador en dirección paralela al eje de la hélice y es descargado en la misma dirección. Principalmente son usados para mover volúmenes moderados de aire a altas presiones.

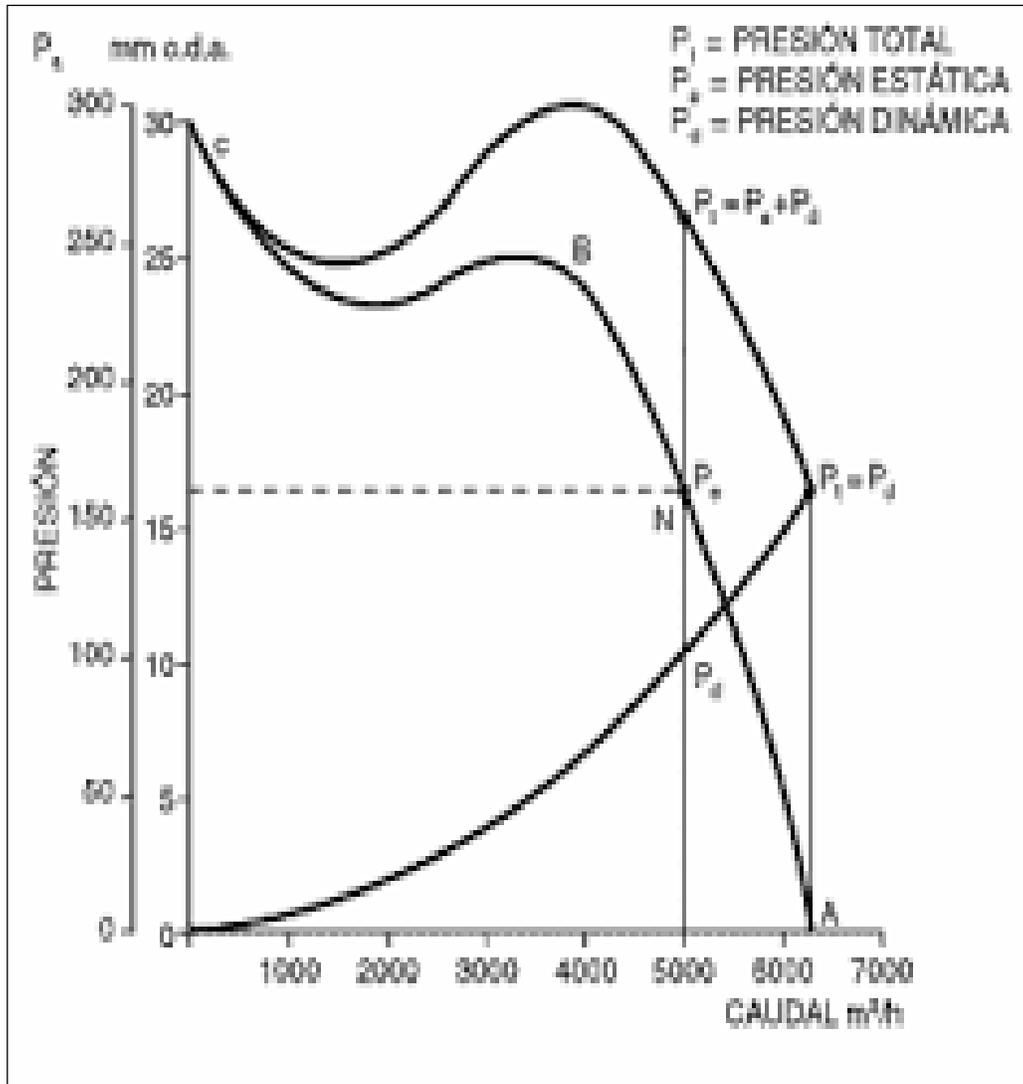


*Figura 29. Ventilador axial.*

*Fuente: Departamento de ventilación.*

#### **2.4.8. Curva característica de un ventilador**

Los valores determinados de un ventilador son sus parámetros de regulación que son: la presión total, potencia, Angulo de alavés, eficiencia u otros, hay relaciones, hay una relación entre presión u caudal, ha esta curva se le denomina curva de ventilador. (López Jimeno, 1997)



*Figura 30. Curva característica típica de un ventilador axial.*

*Fuente: Colegio de Ingenieros del Perú, 2010.*

## 2.4.9. Parámetros de ventilación

### 2.4.9.1. Caída de Presión

Para que haya flujo debe existir una diferencia de presión, o, dicho con otras palabras, para mover un fluido y crear un flujo determinado, se necesita vencer la caída de presión que presenta el trayecto deseado. La energía es utilizada para

vencer las caídas de presión producto de las resistencias de las galerías y de las geometrías que se oponen al paso del fluido.

Existen dos caídas de presión, que en conjunto forman lo que se llama caída total, por lo que se entiende que la caída de presión total es la suma de la caída presión por fricción de las paredes, más la caída de presión por choque con obstrucciones, quedando expresada por la siguiente expresión. (Howard Hartman y Jan Mutmansky, 1982)

$$H_T = H_f + H_x \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

$H_T$ : Caída de presión total (Pa.)

$H_f$ : Caída de presión por fricción (Pa.)

$H_x$ : Caída de presión por choque (Pa.)

#### **2.4.9.2. Pérdidas por Fricción ( $H_f$ )**

Representan las pérdidas de presión estática en el flujo lineal, producida por el rozamiento del aire contra las paredes del ducto (rugosidad en las paredes), y constituyen entre 70-90% de las pérdidas de presión en un sistema. Dependen de las características internas de los conductos, en este caso de las galerías, piques, cavernas y obras mineras en general, de la velocidad del flujo y de las dimensiones del conducto. La ecuación de Atkinson para pérdidas por fricción, en sistema internacional, es la siguiente: (Malcolm Mc. Pherson, 1993)

$$H_f = R \times Q^2 \quad \text{Ecuación 2.14}$$

$$R = \frac{K \times P \times L}{A^3} \times \frac{w}{1.2} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

$$K = \left( \frac{f \times w^*}{2} \right) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$\lambda = 4f \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

$Hf$  = Caída de presión por fricción (N/m<sup>2</sup>).

R = Resistencia (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup>)

Q = Caudal de aire (m<sup>2</sup>/s)

K = Coeficiente de resistencia de atkinson (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

P = Perímetro de la galería (m)

L = Longitud de galería (m)

A = Área de galería (m<sup>2</sup>)

w = Densidad del aire en el lugar de trabajo (Kg/m<sup>3</sup>)

f = Coeficiente de frotamiento para flujos turbulentos.

w \* = Densidad del aire a nivel del mar (kg/m<sup>3</sup>)

λ = Coeficiente de fricción de Darcy

### 2.4.9.3. Coeficiente de fricción o frotamiento

El coeficiente de frotamiento en general es para flujos turbulentos y se determina con la aspereza relativa de las vías de aire.

$$f = \frac{1}{4 \left[ 2 \log_{10} \left( \frac{d}{e} \right) + 1.14 \right]^2} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$d = \frac{4 \times A}{P} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

$d$ = Diámetro hidráulico (m)

$e$ = altura de aspereza de la vía del aire (m)

$P$ = Perímetro de la galería (m)

$A$ = Área de galería (m<sup>2</sup>)

(Manual DuctSIM, 2003).

**Cuadro 14.** Factor de Atkinson “K” para labores mineras.

Tipo de Labor	Irregularidades en la superficie y alineamiento	RECTO (kg/m3)			SINUOSO O CURVADO (kg/m3)								
		Limpio	Poco obstruido	Moderadamente Obstruido	SUAVE			MODERADO			FUERTE		
					Limpio	Poco obstruido	Moderadamente Obstruido	Limpio	Poco obstruido	Moderadamente Obstruido	Limpio	Poco obstruido	Moderadamente Obstruido
Superficie Lisa	Mínimo	0.0019	0.0028	0.0046	0.0037	0.0046	0.0065	0.0046	0.0056	0.0074	0.0065	0.0074	0.0093
	Promedio	0.0028	0.0037	0.0056	0.0046	0.0056	0.0074	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102
	Máximo	0.0037	0.0046	0.0065	0.0056	0.0065	0.0083	0.0065	0.0074	0.0093	0.0083	0.0093	0.0111
Roca Sedimentaria	Mínimo	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102	0.0083	0.0093	0.0111	0.0102	0.0111	0.0130
	Promedio	0.0102	0.0111	0.0130	0.0121	0.0130	0.0148	0.0130	0.0139	0.0158	0.0148	0.0158	0.0176
	Máximo	0.0130	0.0139	0.0158	0.0148	0.0158	0.0176	0.0158	0.0176	0.0186	0.0176	0.0186	0.0204
Con enmaderación	Mínimo	0.0148	0.0158	0.0176	0.0167	0.0176	0.0195	0.0176	0.0186	0.0204	0.0195	0.0204	0.0223
	Promedio	0.0176	0.0186	0.0204	0.0195	0.0204	0.0223	0.0204	0.0213	0.0232	0.0223	0.0232	0.0250
	Máximo	0.0195	0.0204	0.0223	0.0213	0.0223	0.0241	0.0223	0.0232	0.0250	0.0241	0.0250	0.0269
Roca Ígnea	Mínimo	0.0167	0.0176	0.0195	0.0186	0.0195	0.0213	0.0195	0.0204	0.0223	0.0213	0.0223	0.0241
	Promedio	0.0269	0.0278	0.0297	0.0288	0.0297	0.0306	0.0297	0.0306	0.0325	0.0315	0.0325	0.0362
	Máximo	0.0362	0.0371	0.0390	0.0380	0.0390	0.0408	0.0390	0.0399	0.0417	0.0408	0.0417	0.0436

**Fuente:** Howard Hartman y Jan Mutmansky

#### **2.4.10. Pérdidas por Choque (Hx)**

Siempre que el flujo de aire deba cambiar de dirección, se iniciarán vórtices adicionales. La propagación de esos remolinos a gran escala consume energía mecánica (pérdidas por choque) y, por tanto, la resistencia de la vía aérea puede aumentar considerablemente. Esto ocurre en las curvas, los cruces, los cambios de sección, las obstrucciones, los reguladores y en los puntos de entrada o salida del sistema.

Los efectos de las pérdidas por choque siguen siendo los más inciertos de todos los factores que afectan a la resistencia de las vías respiratorias resistencia de las vías respiratorias. Esto se debe a que modificaciones bastante pequeñas en la geometría pueden causar cambios significativos en la generación de vórtices y, por tanto, en la resistencia de las vías respiratorias. Las técnicas analíticas pueden ser empleadas para geometrías simples y bien definidas. Para las situaciones más complejas que surgen en En las situaciones más complejas que surgen en la práctica, se pueden emplear modelos a escala o simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) para investigar los patrones de flujo y las pérdidas por choque. (Malcolm Mc. Pherson, 1993)

#### **Presión de velocidad:**

$$H_v = \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

#### **Presión de pérdida por choque**

$$H_x = C H_v \quad \text{Ecuación 2.20}$$

#### **Resistencia de pérdida por choque**

$$R_X = \frac{H_x}{Q^2} = \frac{C\rho}{2A^2} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde:

$\rho$ : densidad del aire.

$v$ : velocidad de aire.

$C$ : coeficiente de pérdida por choque.

$A$ : Área de corte transversal.

$Q$ : Cantidad de flujo de aire.

#### 2.4.10.1. Longitud equivalente

Supongamos que en una vía aérea superficial de longitud  $L$ , hay una curva u otra causa de pérdida por choque. La resistencia de la vía aérea será mayor que si esa misma vía aérea no contuviera pérdidas por choque.

En podemos expresar esa resistencia adicional,  $R_{shock}$ , en términos de la longitud de la vía aérea recta correspondiente que tendría ese mismo valor de resistencia al choque. Esta "longitud equivalente" de pérdida por choque, puede incorporarse a la ecuación para obtener una resistencia de Atkinson de. (Malcolm Mc. Pherson, 1993)

$$R = K (L + L_{eq}) \frac{\rho}{A^3} \frac{v^5}{1.2}, \quad \frac{Ns^2}{m^8} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

La resistencia debida a la pérdida por choque es:

$$R_{shock} = K L_{eq} \frac{\rho}{A^3} \frac{v^5}{1.2}, \quad \frac{Ns^2}{m^8} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

a relación entre el factor de pérdida por choque,  $X$ , y la longitud equivalente,  $L_{eq}$ , se obtiene comparando las ecuaciones.

$$R_{shock} = \frac{X\rho}{2A^2} = K L_{eq} \frac{per}{A^3} \frac{\rho}{1.2}, \quad \frac{Ns^2}{m^8}$$

$$L_{eq} = \frac{1.2X}{2k} \frac{A}{per}, \quad m \quad \text{Ecuación 2.24}$$

La longitud equivalente puede expresarse en términos de diámetros medios hidráulicos,  $d = \frac{4A}{per}$ , dando.

$$L_{eq} = \frac{1.2X}{8k}, \quad m$$

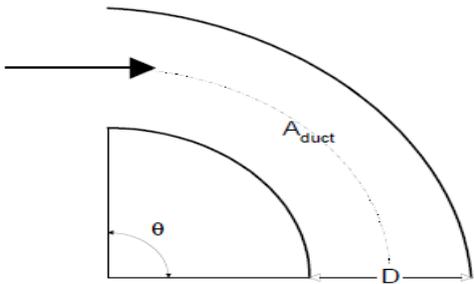
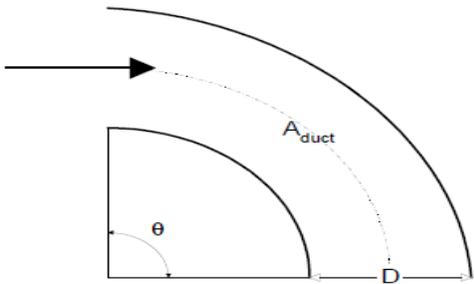
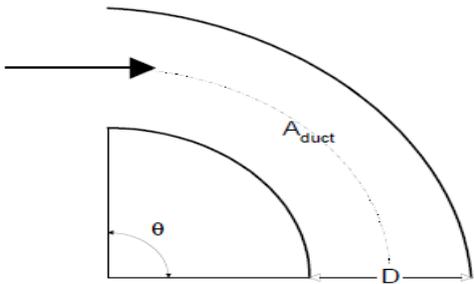
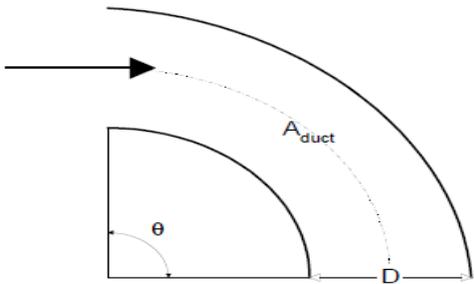
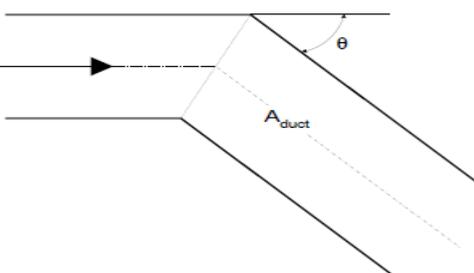
o que conduce a una expresión muy conveniente para la longitud equivalente,

$$L_{eq} = 0.15 \frac{X}{k} \text{ x diámetros medios hidráulicos}$$

a referencia al Apéndice A5 para los factores X, junto con el conocimiento del factor de fricción esperado y la geometría de la vía aérea prevista, permite incluir la longitud equivalente de las pérdidas por choque en las hojas de cálculo de la resistencia de la vía aérea, o durante la preparación de los datos para los ejercicios informáticos de planificación de la ventilación.

Al trabajar en proyectos particulares, el ingeniero de ventilación adquirirá pronto un conocimiento de longitudes equivalentes para las pérdidas de choque recurrentes. Por ejemplo, una regla común es estimar una longitud equivalente de 20 diámetros medios hidráulicos para una curva cerrada en ángulo recto en una vía de aire limpia. (Malcolm J. McPherson, 1993)

***Cuadro 15. Coeficientes de pérdida por choque.***

<i>Codo liso</i>		$\theta$	$r/D$	
45 Grados		45	0.50	0.40
			0.75	0.20
			1.00	0.13
			1.50	0.09
			2.00	0.08
			2.50	0.08
90 Grados		90	0.50	0.71
			0.75	0.33
			1.00	0.22
			1.50	0.15
			2.00	0.13
			2.50	0.12
135 Grados		135	0.50	0.85
			0.75	0.40
			1.00	0.26
			1.50	0.18
			2.00	0.16
			2.50	0.14
180 Grados		180	0.50	0.99
			0.75	0.46
			1.00	0.31
			1.50	0.21
			2.00	0.18
			2.50	0.16
Codo de inglete		$\theta$	45	0.34
			60	0.55
			90	1.20

*Fuente. Manual de DuctSim.*

## 2.5. MARCO CONCEPTUAL

### 2.5.1. Atmosfera de mina

La mina es similar a un recinto cerrado, dado el gran volumen que representa sus labores en comparación a su pequeña sección de vías. En su interior puede ocurrir muchos fenómenos que pueden degradar la atmosfera, el empobrecimiento del oxígeno se debe a

la respiración de las personas, funcionamiento de motores, putrefacción de las maderas. Ellos producen anhídrido carbónico que ayuda a la degradación.

La atmosfera de mina por lo tanto se hará irrespirable necesitando para ello una corriente adicional de aire puro, con el fin de reducir la concentración de estos contaminantes. (Herrera, 1996)

### **2.5.2. Aforo de mina**

El aforo consiste en realizar monitoreo de velocidades, caudales, de ventilación en puntos establecidos como estaciones de monitoreo, con el propósito de evaluar y calcular el caudal de aire actual.

La forma correcta de realizar una medición es en un tramo entre dos puntos donde no se tenga ningún obstáculo u otro elemento que impida el libre desplazamiento del caudal de aire. (Herrera, 1996)

### **2.5.3. Balance de aire**

El balance de aire es el caudal de ingreso y la salida de aire de la mina, se determina con la diferencia de caudales, donde el caudal que ingresa a la mina debe ser menor como máximo 10% del caudal de salida.

### **2.5.4. Cobertura de aire**

Con cobertura de aire nos referimos a la cantidad de aire fresco disponible que circula en la mina, se determina en porcentaje, de caudal total de interior mina entre la cantidad de aire requerido de aire.

$$cobertura = \frac{caudal\ ingreso}{caudal\ requerido} \times 100\%$$

### 2.5.5. Presión del fluido

Describe el comportamiento dinámico de las moléculas en un líquido o gas. Cuando una molécula rebota desde cualquier límite de confinamiento, una fuerza igual a la tasa de cambio de impulso de esa molécula se ejerce sobre el límite. Si el área del límite sólido / fluido es grande en comparación con la distancia promedio entre colisiones moleculares, entonces el efecto estadístico será dar una uniforme fuerza distribuida sobre ese límite. Este es el caso en la mayoría de las situaciones de importancia en el subsuelo ingeniería de ventilación. (Malcolm J. McPherson, 2017)

### 2.5.6. Presión estática

La presión estática de un ventilador se denomina la presión que necesita para poder vencer la resistencia del ducto y con la cual un ventilador debe vencer para empujar el aire en una dirección y se mide en pulga. H<sub>2</sub>O (pulgadas de agua) o bien en Pa (Pascal).

### 2.5.7. Presión dinámica

La presión dinámica o presión de velocidad se le denomina a la presión que resulta del movimiento del aire. Mientras más rápido es el movimiento del aire o mayor sea la velocidad del aire, la presión de velocidad es mayor. (Malcolm Mc. Pherson, 1993)

$$P_{dinamica} = \frac{\rho \times V^2}{2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$P_{dinamica}$  : Presión de velocidad o dinámica en pulga.H<sub>2</sub>O o Pa.

$V$  : velocidad del aire en m/s

$\rho$  : densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Tipo de diseño**

El tipo de investigación es experimental, para determinar con mayor confiabilidad LA posible relación de causa y efecto.

##### **3.1.2. Nivel de investigación**

El nivel del proyecto es exploratorio y descriptivo, el propósito de la investigación es realizar estudio de ventilación para conocer la problemática principal de la zona esperanza y plantear posibles soluciones.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. Población**

La población está conformada por el sistema de ventilación principal y las labores de la zona Esperanza.

### **3.2.2. Muestra**

Las estaciones de monitoreo principales y secundarios de toda la zona esperanza.

## **3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

En estos puntos de estación de monitoreo principales y secundario se realizaron mediciones de velocidad y área con el propósito de determinar los caudales que circulan por estos puntos.

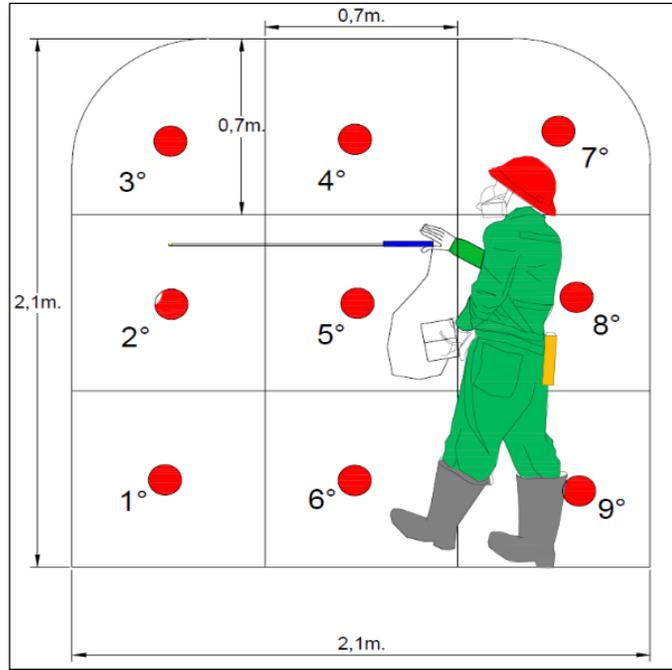
Para determinar el caudal utilizamos las siguiente formula.

$$Caudal = Velocidad \times Area$$

### **3.3.1. Mediciones de velocidad**

Los monitoreo de velocidad se realizaron en cada punto de una estación de monitoreo, se distribuye manera equidistante en toda la sección de la labor, teniendo en cuenta que el anemómetro deberá estar en forma perpendicular al flujo de aire y realizar movimientos laterales para cubrir toda la sección del ducto.

Si es galería, bypass o crucero se deberá tomar 9 datos, si es subnivel 6 datos, si es chimenea 5 datos de velocidad del aire. La velocidad resultante se determina por promedio aritmético.

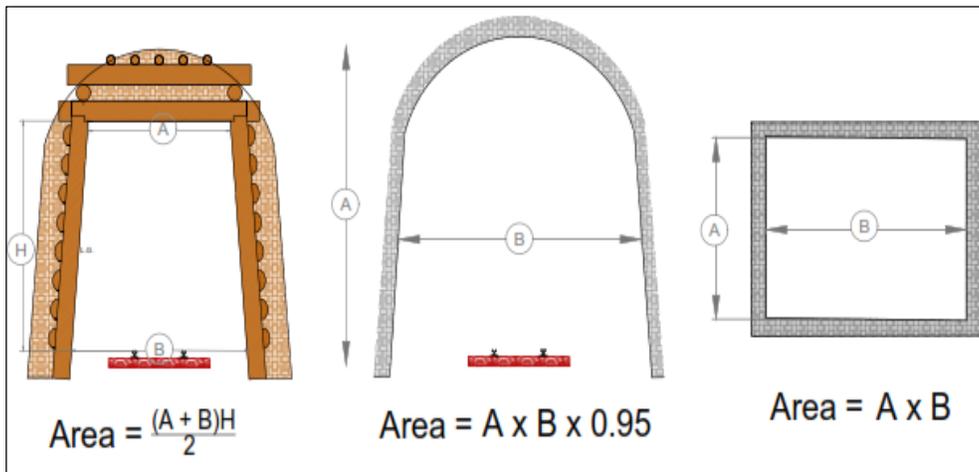


**Figura 31.** Medición de velocidad en una sección de 2.1m x 2.1m.

**Fuente.** Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.

### 3.3.2. Medición de área

Usamos geometría para la determinación de área:



**Figura 32.** Calculo de áreas.

**Fuente.** Elaboración propia.

### 3.3.3. Instrumentos de medición

- 01 testo 480 - Medidor multifunción.
- Detector de gas MSA altair 4x



*Figura 33. Instrumentos de medición de ventilación.*

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*

## 3.4. Métodos y técnicas para el procesamiento y análisis de datos

### 3.3.4. Observación directa

Se observará la velocidad y caudal de aire que se mide en todos los puntos de monitoreo como son las labores principales de ingresos y salidas de aire. La estimación correcta para la elección correcta de un ventilador adecuado para disminuir la temperatura en interior mina.

### 3.5.1. Análisis estadístico

Se analiza y compara las alternativas, los análisis estadísticos de velocidad y caudales de aire y llevando un registro de control de todos los resultados.

### **3.5.2. Análisis descriptivo**

Se realiza monitoreo y análisis mensuales o cada vez que una labor comunicó a otra para evaluar la variación de flujo.

### **3.5.3. Presentación**

Primero se realiza un mapeo y monitoreo muy detallado, para luego ser actualizado en los planos isométricos para posterior realizar un análisis detallado del mismo para finalmente presentar la propuesta de mejorar y ejecución.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL TEMA, RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. EVALUACION INGRESOS Y SALIDAS DE CAUDAL DE AIRE DE LA VETA SAN JUAN**

##### **3.5.4. Zonas de la veta San Juan**

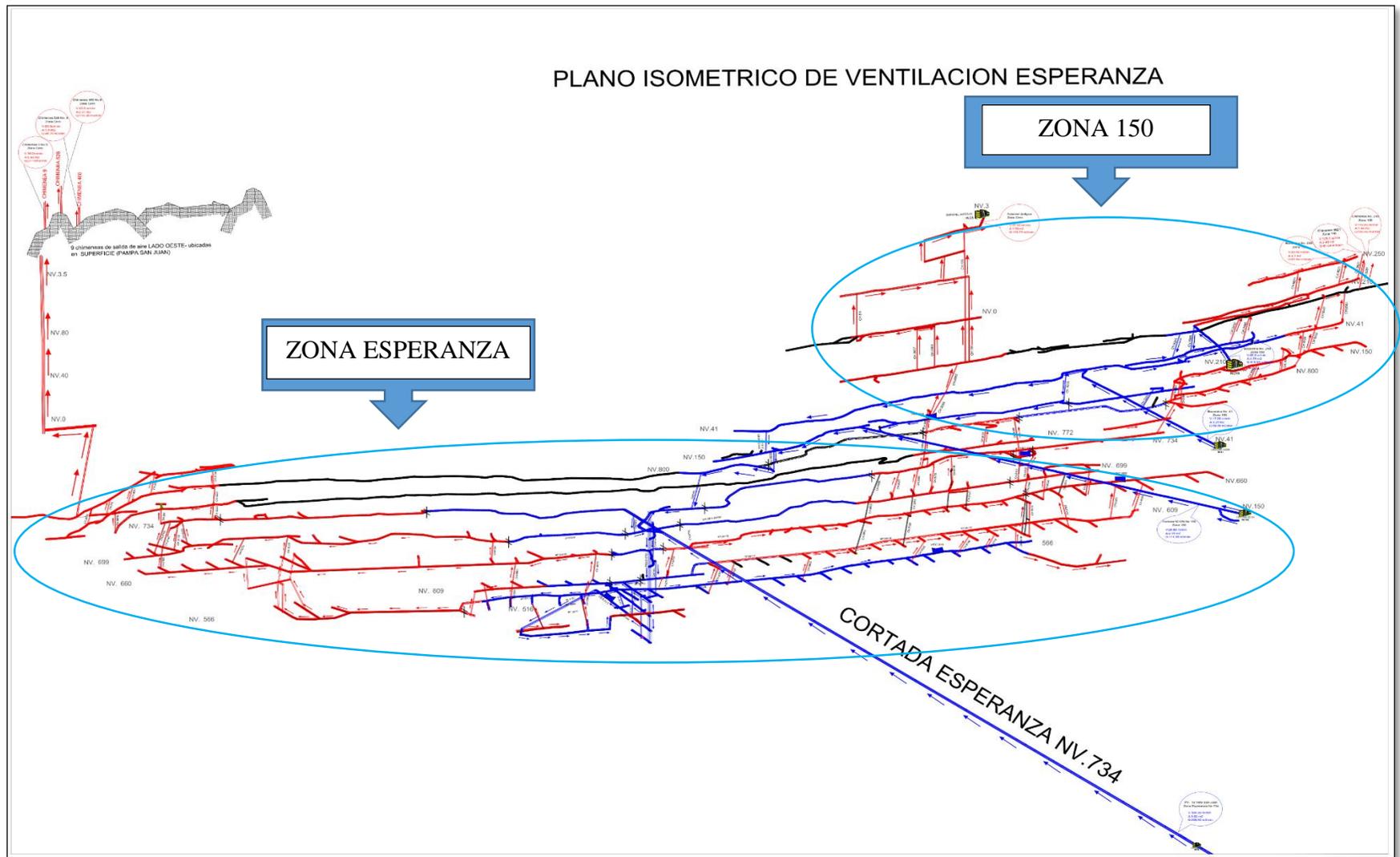
Los puntos de ingreso de cauda de aire de la veta San Juan se ubican en diferentes niveles de la mina.

- **Zona Esperanza**

Es la zona donde se está profundizándose las operaciones mineras que inicia a partir de la cortada Esperanza del nivel 734 hacia nivel más abajo, donde es la zona de mayor producción de mineral.

- **Zona 150**

Es la parte alta de la Veta San Juan que es un zona superficial que cuenta con un nivel principal que es el 150



*Figura 34. Las zonas de veta San Juan.*

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*

### 3.5.5. Evaluación de ingresos de caudal de aire

El circuito de ventilación de la veta San Juan se divide.

- Zona esperanza
- Zona 150

Se cuenta con 4 puntos de ingreso de cauda de aire fresco, que son las cortadas principales que se detalla a continuación (**ver cuadro 16**).

*Cuadro 16. ingresos de veta San Juan.*

LABOR	Vp		AREA (m2)	CAUDAL cfm
	(m/s)	(m/min)		
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	1.66	99.33	4.39	15,396
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	0.53	31.60	3.25	3,626
Bocamina Nv.41 Zona 150	0.38	22.73	3.08	2,471
Bocamina Nv.210 Zona 150	0.58	34.87	3.43	4,223

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*



*Figura 35. Ingreso principal de aire zona Esperanza.*

*Fuente. Elaboración Propia.*

### 3.5.5.1. Ingresos de caudal de aire en zona esperanza

El mayor ingreso de caudal de aire es el nivel de extracción de la zona que es la cortada Esperanza (**nivel 734**) que tiene una longitud de 1.4 KM. Para luego ingresan por el pique principal hacia la zona de profundización de la zona.

### 3.5.5.2. Ingreso de caudal de aire en la zona 150

El ingreso de caudal de aire principalmente la cortada principal del nivel 150, 41, 210 que comunican a superficie.

### 3.5.6. Evaluación de salidas de caudal de aire

Cuenta con 3 zonas de salida de caudal de aire viciado en la veta San Juan:

*Cuadro 17. Salidas de caudal de aire veta San Juan.*

LABOR	Vp		AREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL cfm
	(m/s)	(m/min)		
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	0.20	11.76	0.95	395
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	0.30	18.00	1.14	725
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	0.24	14.40	1.15	585
CHIMENEA 9621, Zona 150	0.83	49.92	0.94	1,658
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	0.86	51.36	1.36	2,464
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.13	67.68	1.25	2,997
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	0.62	36.93	4.91	6,406
Subnivel Antiguo Zona cero	0.64	38.47	3.43	4,659

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*

### 3.5.6.1. Salidas de caudal de aire en zona esperanza

Las salidas de aire viciado en la zona esperanza son por dos puntos:

- Salida por el subnivel Antiguo: Es la salida de aire viciado lado ESTE de la Zona Esperanza, en esta salida cuenta con un ventilador extractor de 16.000 CFM de 40 HP.
- Salida por la zona Cero: Es la salida de airé viciado del lado OESTE de la Zona Esperanza cuanta con una salida por tiro natural hacia las chimeneas de la Zona la Pampa.
- Lado este de la zona 150: Es la salida de aire viciado de la zona 150.



**Figura 36.** Chimenea de salida de caudal de aire zona Esperanza.

**Fuente.** Elaboración propia.

#### **4.2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACION ACTUAL**

Para la evaluación del circuito, lo primero que se hace es la medición de los parámetros de ventilación en las estaciones de monitoreo principales y secundarias de la zona Esperanza,

para luego analizar los datos recopilados, con el propósito de evaluar el circuito de ventilación mediante ello determinar el balance de aire, la cobertura de aire global.

- Se inicia el levantamiento con las mediciones de velocidad y sección de los ingresos de aire limpio y salidas de aire viciado para determinar los caudales de aire en la zona esperanza.
- Con las mediciones obtenidas de ingresos y salida se lleva a cabo la evaluación del volumen de ingreso vs el de salida para luego determinar el balance de aire en interior mina.
- Con los planos isométricos actualizados se inicia con el levantamiento y el mapeo desde los niveles más bajos hasta los más altos siguiendo las direcciones de flujo de aire en interior mina,
- Durante el levantamiento se toma mediciones de velocidad, área, humedad relativa, gases, diámetros de manga y ventiladores instalados, realizando un mapeo de labores de operación.



**Figura 37.** Mediciones en los puntos de monitoreo.

**Fuente.** Elaboración Propia.

### **4.3. PARÁMETROS DEL SISTEMA DE VENTILACION**

Para el control del sistema de ventilación los parámetros son:

- Balance del caudal de aire de ingresos y salida
- Cobertura de aire de la zona esperanza
- Temperatura y humedad del aire en interior mina

#### **4.3.1. Análisis de balance de aire**

Para realizar una evaluación del circuito principal, se determina el caudal de ingreso y salida, mediante los datos recolectados en noviembre del 2019 y se determinan la proyección que es necesario para el desarrollo y profundización de la mina en los posteriores años

Para determinar el balance de caudal de aire es la comparación del ingreso de aire fresco y las salidas de aire viciado.

En la zona esperanza contamos con:

#### **Zona esperanza:**

Tenemos 11 tajos de producción, 03 frentes de desarrollo y su nivel de explotación y desarrollo está en el nivel 609, nivel 566, nivel 516.

#### **Zona 150:**

Tenemos 08 tajos de producción, 03 frentes de desarrollo y su nivel de explotación y desarrollo está en el nivel 250 y 210.

## AFORO DE CAUDAL DE AIRE

*Cuadro 18. Ingreso de caudal de aire durante el día.*

MAÑANA																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m2)	CAUDAL		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m3/s)	(m3/min)	cfm
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	1.54	1.80	1.55	1.53	1.78	1.65	1.60	1.77	1.68	1.66	99.33	8:10 a. m.	18.60	64.90	2.20	2.10	4.39	7.27	435.97	15,396
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	0.54	0.52	0.48	0.54	0.50	0.54	0.56	0.50	0.56	0.53	31.60	8:22 a. m.	17.30	75.20	1.80	1.90	3.25	1.71	102.67	3,626
Bocamina Nv.41 Zona 150	0.38	0.35	0.32	0.36	0.40	0.42	0.38	0.45	0.35	0.38	22.73	8:40 a. m.	19.00	65.00	1.80	1.80	3.08	1.17	69.97	2,471
Bocamina Nv.210 Zona 150	0.59	0.57	0.55	0.65	0.62	0.57	0.62	0.56	0.50	0.58	34.87	9:13 a. m.	17.90	76.60	1.90	1.90	3.43	1.99	119.58	4,223
<b>Qi Total</b>															12.14	728.19	25,715			
TARDE																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m2)	CAUDAL		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m3/s)	(m3/min)	cfm
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	1.82	1.56	1.76	1.72	1.80	1.78	1.81	1.68	1.80	1.75	104.87	12:30 p. m.	19.10	59.50	2.20	2.10	4.39	7.67	460.26	16,254
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	0.53	0.56	0.60	0.58	0.52	0.50	0.68	0.64	0.62	0.58	34.87	12:53 p. m.	18.30	58.80	1.80	1.90	3.25	1.89	113.28	4,000
Bocamina Nv.41 Zona 150	0.40	0.36	0.32	0.41	0.38	0.41	0.39	0.38	0.35	0.38	22.67	1:35 p. m.	18.70	70.50	1.80	1.80	3.08	1.16	69.77	2,464
Bocamina Nv.210 Zona 150	0.60	0.52	0.56	0.62	0.57	0.60	0.56	0.51	0.57	0.57	34.07	1:30 p. m.	19.40	69.50	1.90	1.90	3.43	1.95	116.83	4,126
<b>Qi Total</b>															12.67	760.14	26,844			
NOCHE																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m2)	CAUDAL		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m3/s)	(m3/min)	cfm
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	1.78	1.96	1.92	2.00	1.97	1.88	1.78	2.05	1.96	1.92	115.33	10:30 a. m.	18.40	59.50	2.20	2.10	4.39	8.44	506.20	17,876
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	0.52	0.50	0.54	0.51	0.48	0.60	0.52	0.54	0.44	0.52	31.00	1:53 p. m.	17.80	58.80	2.20	2.35	4.91	2.54	152.26	5,377
Bocamina Nv.41 Zona 150	0.42	0.34	0.34	0.54	0.45	0.42	0.48	0.40	0.38	0.42	25.13	1:35 p. m.	18.90	68.50	1.90	1.80	3.25	1.36	81.66	2,884
Bocamina Nv.210 Zona 150	0.63	0.67	0.60	0.58	0.64	0.72	0.65	0.60	0.68	0.64	38.47	1:30 p. m.	18.70	70.20	1.90	1.90	3.43	2.20	131.92	4,659
<b>Qi Total</b>															14.53	872.03	30,795			

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*

## SALIDAS DE CAUDAL DE AIRE

*Cuadro 19. Salidas de caudal de aire durante el día.*

MAÑANA																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	0.22	0.19	0.18	0.14	0.25					0.20	11.76	8:10 a. m.	32.00	86.70	1.00	1.00	0.95	0.19	11.17	395
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	0.32	0.37	0.25	0.28	0.26					0.30	18.00	8:30 a. m.	31.50	64.50	1.20	1.00	1.14	0.34	20.52	725
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	0.18	0.22	0.34	0.26	0.20					0.24	14.40	8:55 a. m.	30.00	71.20	1.10	1.10	1.15	0.28	16.55	585
CHIMENEA 9621, Zona 150	0.79	0.64	0.83	1.00	0.90					0.83	49.92	9:00 a. m.	28.20	85.80	1.10	0.90	0.94	0.78	46.95	1,658
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	0.84	0.75	0.83	0.92	0.94					0.86	51.36	9:20 a. m.	29.10	88.20	1.30	1.10	1.36	1.16	69.77	2,464
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.10	1.23	1.08	0.98	1.25					1.13	67.68	9:50 a. m.	31.40	68.20	1.10	1.20	1.25	1.41	84.87	2,997
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	0.63	0.72	0.58	0.51	0.66	0.60	0.52	0.54	0.78	0.62	36.93	10:10 a. m.	31.20	75.50	2.20	2.35	4.91	3.02	181.40	6,406
Subnivel Antiguo Zona cero	0.63	0.67	0.60	0.58	0.64	0.72	0.65	0.60	0.68	0.64	38.47	10:20 a. m.	30.80	81.90	1.90	1.90	3.43	2.20	131.92	4,659
<b>Qi Total</b>																	9.39	563.16	19,887	
TARDE																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	0.21	0.22	0.18	0.16	0.22					0.20	11.88	1:10 p. m.	31.60	84.20	1.00	1.00	0.95	0.19	11.29	399
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	0.40	0.38	0.30	0.28	0.32					0.35	21.00	1:20 p. m.	31.20	67.00	1.20	1.00	1.14	0.40	23.94	845
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	0.16	0.20	0.34	0.36	0.25					0.26	15.72	1:35 p. m.	30.10	71.24	1.10	1.10	1.15	0.30	18.07	638
CHIMENEA 9621, Zona 150	0.82	0.72	0.78	1.10	0.98					0.88	52.80	12:15 p. m.	29.00	82.50	1.10	0.90	0.94	0.83	49.66	1,754
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	0.78	0.70	0.82	0.98	1.00					0.86	51.36	1:18 p. m.	29.20	87.00	1.30	1.10	1.36	1.16	69.77	2,464
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.20	1.12	1.05	1.08	1.16					1.12	67.32	1:40 p. m.	31.00	68.10	1.10	1.20	1.25	1.41	84.42	2,981
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	0.70	0.68	0.62	0.67	0.60	0.58	0.62	0.62	0.68	0.64	38.47	1:50 p. m.	30.60	78.02	2.20	2.35	4.91	3.15	188.93	6,672
Subnivel Antiguo Zona cero	0.73	0.70	0.75	0.63	0.71	0.84	0.74	0.58	0.74	0.71	42.80	2:20 p. m.	30.00	80.90	1.90	1.90	3.43	2.45	146.78	5,183
<b>Qi Total</b>																	9.88	592.86	20,936	
NOCHE																				
LABOR	VELOCIDADES (m/s)									Vp		HORA (hh:mm)	TH (°C)	HR (%)	SECCION		AREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	(m/s)	(m/min)				a1 (m)	h1 (m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	0.25	0.18	0.22	0.17	0.32					0.23	13.68	6:10 p. m.	30.50	85.40	1.00	1.00	0.95	0.22	13.00	459
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	0.34	0.41	0.33	0.35	0.37					0.36	21.60	6:25 p. m.	30.20	75.20	1.20	1.00	1.14	0.41	24.62	870
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	0.18	0.20	0.32	0.22	0.20					0.22	13.44	6:40 p. m.	28.90	72.00	1.10	1.10	1.15	0.26	15.45	546
CHIMENEA 9621, Zona 150	0.80	0.67	0.78	0.88	0.92					0.81	48.60	6:20 p. m.	27.80	84.50	1.10	0.90	0.94	0.76	45.71	1,614
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	0.84	0.75	0.83	0.87	0.92					0.84	50.52	6:30 p. m.	28.00	87.40	1.30	1.10	1.36	1.14	68.63	2,424
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.20	1.33	1.22	1.01	1.17					1.19	71.16	6:45 p. m.	30.50	78.20	1.10	1.20	1.25	1.49	89.23	3,151
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	0.68	0.78	0.75	0.66	0.74	0.72	0.56	0.74	0.76	0.71	42.62	7:20 p. m.	31.00	88.50	2.20	2.35	4.91	3.49	209.33	7,392
Subnivel Antiguo Zona cero	0.63	0.67	0.62	0.55	0.67	0.65	0.74	0.62	0.68	0.65	38.87	7:35 p. m.	30.20	92.70	1.90	1.90	3.43	2.22	133.29	4,707
<b>Qi Total</b>																	9.99	599.27	21,162	

*Fuente. Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.*

**Cuadro 20.** Promedio de ingresos de caudal de aire durante el día.

LABOR	Vp		CAUDAL		
	(m/s)	(m/min)	(m3/s)	(m3/min)	cfm
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	1.78	106.51	7.79	467.48	16,508
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	0.54	32.49	2.05	122.74	4,334
Bocamina Nv.41 Zona 150	0.39	23.51	1.23	73.80	2,606
Bocamina Nv.210 Zona 150	0.60	35.80	2.05	122.78	4,336
<b>Qi Total</b>	<b>3.31</b>	<b>198.31</b>	<b>13.11</b>	<b>786.79</b>	<b>27,785</b>

*Fuente.* Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.

**Cuadro 21.** Promedio de salidas de caudal de aire durante el día.

LABOR	Vp		CAUDAL		
	(m/s)	(m/min)	(m3/s)	(m3/min)	cfm
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	0.21	12.44	0.20	11.82	417
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	0.34	20.20	0.38	23.03	813
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	0.24	14.52	0.28	16.69	589
CHIMENEA 9621, Zona 150	0.84	50.44	0.79	47.44	1,675
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	0.85	51.08	1.16	69.39	2,451
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.15	68.72	1.44	86.17	3,043
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	0.66	39.34	3.22	193.22	6,823
Subnivel Antiguo Zona cero	0.67	40.04	2.29	137.33	4,850
<b>Qi Total</b>	<b>4.95</b>	<b>296.78</b>	<b>8.10</b>	<b>585.09</b>	<b>20,662</b>

*Fuente.* Área de Ventilación de Century Mining Perú SAC.

**El aforo de caudal de aire de la zona esperanza:**

- Caudal total de INGRESO: 27,785 CFM.
- Caudal total de SALIDA: 20,662 CFM.
- Desbalance: 7,123 CFM.

El desbalance que se tiene de 7.123 CFM. ocurre porque el aire escapa por afloramiento y labores antiguas de la zona esperanza, donde no es accesible para poder medir los parámetros de ventilación, siendo necesario volver a identificar las labores de salida de aire para evitar fugas de aire.

#### **4.3.2. Requerimiento de caudal de aire para la zona esperanza**

El requerimiento de aire debe ser calculada según el Decreto Supremo 024-2016-EM y su modificatoria 023-2017-EM, subtítulo VII – Ventilación, artículo 252, en inciso “D”, ANEXO N° 38, considera para el cálculo de requerimiento de caudal de aire los siguiente.

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

Dónde:

$Q_{To}$  = Caudal total para la operación

$Q_{T1}$  = La sumatoria de caudal requerido

$Q_{Fu}$  = 15% del  $Q_{T1}$

Para determinar el requerimiento de aire debemos calcular lo siguiente

##### **4.3.2.1. Caudal requerido por el número de trabajadores.**

El requerimiento de aire por uso de madera de acuerdo al anexo 38 del DS. 023 -2017- EM

**Se debe considerar para “F” la altitud que se encuentra la mina**

**Cuadro 22.** Numero de trabadores por guardia.

CANTIDAD DE PERSONAL POR GUARDIA		
ZONA ESPERANZA		
EMPRESA	GUARDIA	
	A	B
CIA - Explotación	82	80
Contrata adgeminco	40	38
Mantenimiento	10	8
Geologia	8	6
Servicios	6	0
<b>Total</b>	146	132

*Fuente.* Área de mina de Century Mining Perú SAC.

**Datos:**

$F = 3 \text{ m}^3/\text{min}$  (la mina se encuentra a 734 m.s.n.m.).

$N = 146$  trabajadores. (ver cuadro 22).

Reemplazando en la ecuación 2.3, para hallar el caudal requerido por número de trabajadores:

**Cálculos:**

$$Q_{Tr} = 3 \times 146$$

$$Q_{Tr} = 438 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{15,468 \text{ CFM}}$$

**Cuadro 23.** Caudal requerido por número de trabajadores.

Caudal para Personal									
Empresa	Nivel	Supervis.	Obreros	Cant.	Caudal Requerido				
					DS-023, m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	cfm	% Distrib.
CIA - Explotación	Global	8	74	82	3	246	4.10	8,687	56%
Contrata adgeminco	Global	4	36	40	3	120	2.00	4,238	27%
Mantenimiento	Global	1	9	10	3	30	0.50	1,059	7%
Geologia	Global	2	6	8	3	24	0.40	848	5%
Servicios	Global	1	5	6	3	18	0.30	636	4%
<b>TOTAL</b>		<b>16</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>3</b>	<b>438</b>	<b>7.30</b>	<b>15,468</b>	<b>100%</b>

*Fuente.* Elaboración propia.

#### 4.3.2.2. Caudal requerido por el consumo de madera

El requerimiento de aire por uso de madera de acuerdo al anexo 38 del DS. 023 -2017- EM:

*Cuadro 24. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.*

CONSUMO DE	FACTOR DE PRODUCCIÓN
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

*Fuente. DS. 023 -2017 – EM*

#### Consumo de madera por tajo

**Ubicación de labor: Tj. 8604, Nv.516 - ZONA ESPERANZA**

Espaciado entre cuadros cojos:	1.50m
N° Rajados colocados en los hastiales:	5 Rajados
N° Rajados colocados en el sombrero:	3 Rajados
N° total de cuadros/Ala (30m):	20

**Redondos 7"x3m:**

$$\frac{2 \text{ puntales}}{\text{cuadro}} \times \frac{20 \text{ cuadros}}{\text{ala}} \times \frac{2 \text{ alas}}{\text{tajo}} = 80 \text{ puntales / corte}$$

**Redondos 6"x3m:**

$$\frac{8 \text{ rajados}}{\text{cuadro}} \times \frac{20 \text{ cuadros}}{\text{ala}} \times \frac{2 \text{ alas}}{\text{tajo}} = 320 \text{ rajados /corte}$$

**Cribe 7"x1.50m (camino):**

$$\frac{8 \text{ vueltas}}{\text{ala}} \times \frac{4 \text{ cribes}}{\text{vuelta}} \times \frac{2 \text{ alas}}{\text{tajo}} = 56 \text{ cribes /corte}$$

**Cribe 10"x1.50m (echadero):**

$$\frac{4.5 \text{ vueltas}}{\text{ala}} \times \frac{4 \text{ cribes}}{\text{vuelta}} \times 1 \text{ corte} = 18 \text{ cribes /corte}$$

**Topes 6"x1m:**

$$\frac{11.5 \text{ vueltas}}{\text{ala}} \times \frac{4 \text{ topes}}{\text{vuelta}} \times \frac{2 \text{ alas}}{\text{tajo}} = 92 \text{ topes /corte}$$

**Redondos de 5 o 6" (puntales de seguridad y servicios) :**

*6 puntales /corte*

**Total de redondos 7":**

$$(80 + 56 \text{ cribes} \times \frac{1 \text{ redondo}}{2 \text{ cribes}}) = 108 \text{ puntales}$$

**Total de redondos 6":**

$$(320 \times \frac{1 \text{ redondo}}{2 \text{ rajados}} + 6 + \frac{92 \text{ topes}}{\text{corte}} \times \frac{1 \text{ redondo}}{6 \text{ topes}}) = 181 \text{ puntales}$$

**Total de redondos 10":**

$$(18 \text{ cribes} \times \frac{1 \text{ redondo}}{2 \text{ cribes}}) = 9 \text{ puntales}$$

**N° total de redondos:**

$$108 \text{ puntales} + 181 \text{ puntales} + 9 \text{ puntales} = 298 \text{ puntales / corte}$$

$$= 149 \text{ puntales/ ala}$$

**Puntales / TM-Ala:**

$$\frac{149 \text{ puntales/ala}}{140 \text{ TM /ala}} = 1.06 \text{ puntales /TM}$$

**Peso de madera /TM:**

$$(1.06 \text{ puntales} \times \frac{0.076 \text{m}^3}{\text{puntales}} \times 550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) = 44.308 \text{ kg}$$

**Peso de madera /TM:**

$$\frac{44.308 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} = 4.43 \%$$

**Consumo de madera total:**

$$11 \text{ tajos} \times \frac{4.43 \%}{\text{tajo}} = 48.73\%$$

Obtenemos del cuadro (ver cuadro 24).

CONSUMO DE	FACTOR DE PRODUCCIÓN
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Entonces el consumo de madera es 48.73% y su factor de

producción es de  $1.00 \frac{\frac{m^3}{min}}{TMH / gdia}$

### Calculo Caudal requerido por el consumo de madera

Reemplazando en la ecuación 2.4, para hallar el consumo de madera:

$$Q_{Ma} = 140 \text{ TMH / gdia} \times 1.00 \frac{\frac{m^3}{min}}{TMH / gdia}$$

$$Q_{Ma} = 140 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{4,944 \text{ CFM}}$$

*Cuadro 25. Caudal por consumo de madera.*

<b>Caudal por Uso de Madera:</b>				
TMH/ gdia	factor de uso (m3/min)	Caudal requerido		
		m3/min	m3/s	cfm
140	1.00	140	2.33	4,944

*Fuente. Elaboración propia.*

#### 4.3.2.3. Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo

El requerimiento de Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo acuerdo al anexo 38 del DS 023 -2017- EM:

**Cuadro 26.** Niveles con temperaturas mayores a 23 C°.

NIVELES OPERATIVOS	SECCIÓN		
	Ancho (m)	altura(m)	Área(m2)
NIVEL 516	2	2.4	4.8
NIVEL 566	2	2.4	4.8
NIVEL 609	1.8	2.4	4.32
NIVEL 772	1.2	2.4	2.88
<b>PROMEDIO</b>			<b>4.2</b>

*Fuente.* Área de mina de Century Mining Perú SAC.

**Datos:**

$V_m$  : Velocidad mínima de 30 m<sup>3</sup>/min.

A: 4.2 m<sup>2</sup> (ver cuadro 26).

N: 4 Niveles de calor.

Reemplazando en la ecuación 2.5, para hallar el caudal de requerimiento por temperatura:

**Cálculos:**

$$Q_{Te} = 30 \text{ m}^3/\text{min.} \times 4.2 \text{ m}^2 \times 4$$

$$Q_{Te} = 504 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{17,798 \text{ CFM}}$$

**Cuadro 27.** Caudal por consumo de madera.

Caudal para Dilución de Calor					
Área	Velocidad	N° Niveles	Caudal total de Control Térmico		
m2	m/min		m3/s	m3/min	cfm
4.20	30	4	8.40	504	17,798

*Fuente.* Elaboración propia.

#### 4.3.2.4. Caudal requerido por consumo de explosivo

El requerimiento de Caudal requerido por consumo de explosivos acuerdo al anexo 38 del DS 023 -2017- EM:

*Cuadro 28. Área promedio de labores.*

NIVELES OPERATIVOS	SECCIÓN		
	Ancho (m)	altura(m)	Área(m <sup>2</sup> )
NIVEL 516	2	2.4	4.8
NIVEL 566	2	2.4	4.8
NIVEL 609	1.8	2.4	4.32
NIVEL 772	1.2	2.4	2.88
NIVEL 41	1.2	2.4	2.88
NIVEL 210	1.2	2.4	2.88
NIVEL 250	1.2	2.4	2.88
<b>PROMEDIO</b>			3.63

*Fuente. Área de mina de Century Mining Perú SAC.*

Reemplazando en la ecuación 2.6, para hallar el requerimiento de caudal por consumo de explosivos:

#### **Datos:**

$$A = 3.63 \text{ m}^2 \text{ (ver cuadro 28).}$$

$$V = 25 \text{ m/min}$$

$$N = 7 \text{ niveles}$$

#### **Cálculos:**

$$Q_{Ex} = 3.36 \text{ m}^2 \times 25 \text{ m/min} \times 7 \text{ niveles}$$

$$Q_{Ex} = 635 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{22,433 \text{ CFM}}$$

*Cuadro 29. Caudal por dilución de gases.*

Caudal para Dilución de Explosivos					
N° Niveles	Veloc. m/min	Área, m <sup>2</sup>	Caudal requerido		
			m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	cfm
7	25	3.63	635	11	22,433

*Fuente. Elaboración propia.*

Para el cálculo de requerimiento de caudal de aire se realiza la comparación entre la suma de requerimiento de caudal de aire por persona más consumo de madera más por temperatura en labore de trabajo que es **39,446 CFM.** (ver cuadro 30) con la dilución por explosivos que es **22,433 CFM.** considerándose el mayor de los resultados que es **39,446 CFM.** Sumándole el 15% del mismo por fugas que es igual **43,941 CFM.** El caudal de aire requerido en la zona esperanza es de: **43,941 CFM.**

*Cuadro 30. Requerimiento de caudal total.*

REQUERIMIENTO DE CAUDAL TOTAL				
CAUDAL	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	cfm	% distr.
Q <sub>Tr</sub> = Personal	438	7.30	15,468	40%
Q <sub>Ma</sub> = Consumo madera	140	2.33	4,944	13%
Q <sub>Ex</sub> = Dilución Explosivos	508	8.47	22,433	59%
Q <sub>Te</sub> = Temperatura	504	8.40	17,798	47%
Q <sub>Tr</sub> + Q <sub>Ma</sub> + Q <sub>Te</sub>	1,117	18.62	38,210	100%
Q TOTAL(con fugas)	1,244	21	43,941	115%

*Fuente. Elaboración propia.*

### 4.3.3. Cobertura de aire

La cobertura del sistema de ventilación de la Zona Esperanza es de 63.25%, necesitamos un requerimiento de caudal de 43,941 CFM, solo contamos con un caudal de 27,785 CFM teniendo un déficit de 16,156 CFM. que equivale a un 36.75% del caudal necesario. (ver cuadro 31)

*Cuadro 31. Cobertura de aire.*

COBERTURA DE AIRE	m3/s	m3/min	cfm
Qi= CAUDAL INGRESO	13.113	786.80	27,785
Qs= CAUDAL DE SALIDA	9.752	585.09	20,662
Qr= CAUDAL REQUERIDO	20.74	1,244	43,941
COBERTURA ACTUAL (%)	63%		
Déficit (CFM)	-16,156		

*Fuente. Elaboración propia.*

## 4.4. EVALUACIÓN DE VELOCIDADES DE AIRE EN LA ZONA ESPERANZA

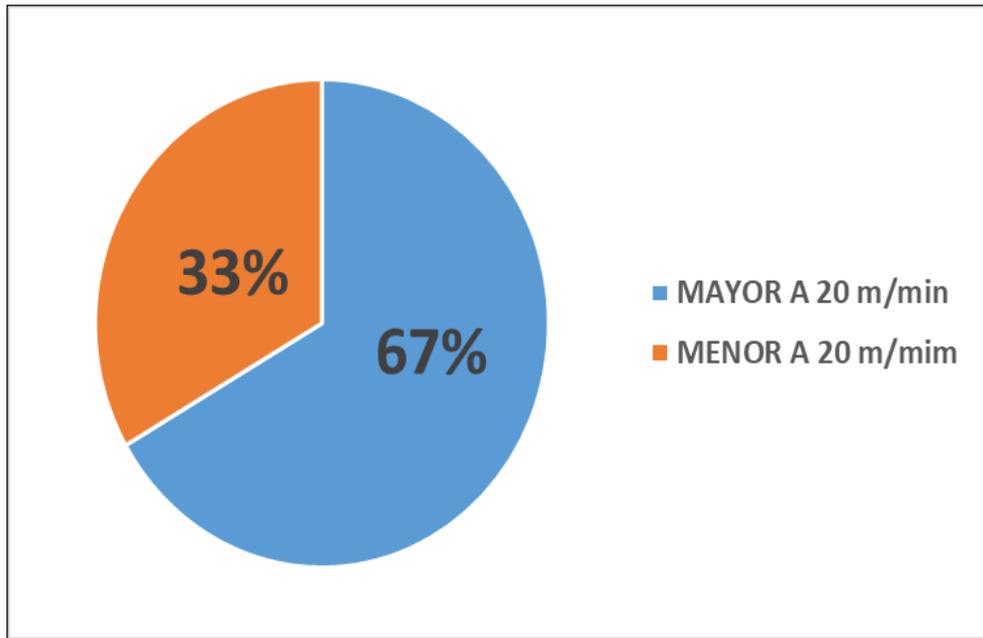
La evaluación de velocidades de aire de la zona esperanza se realizó en todos los niveles con un total de 54 estaciones de monitoreo.

- Se tiene 30 puntos que equivale a 67% de monitoreo que cumplen con DS-024-2016-EM, que son velocidades iguales o mayores a 20m/min. (ver figura 40)

*Cuadro 32. Distribución de estaciones de monitoreo por niveles.*

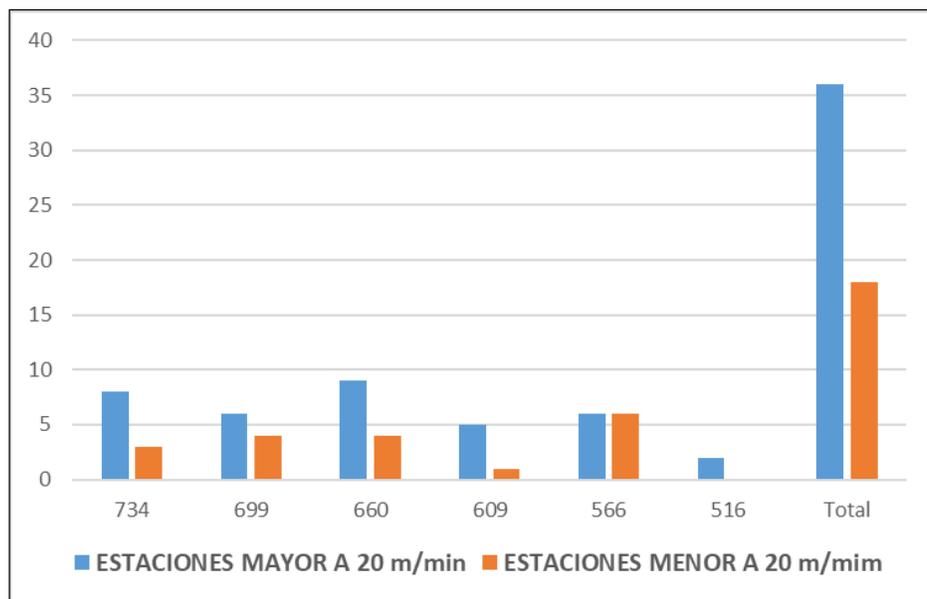
NIVEL	ESTACIONES		TOTAL
	MAYOR A 20 m/min	MENOR A 20 m/min	
734	8	3	11
699	6	4	10
660	9	4	13
609	5	1	6
566	6	6	12
516	2	0	2
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>

*Fuente. Elaboración propia.*



**Figura 38.** Distribución de aire.

**Fuente.** Elaboración Propia.



**Figura 39.** Distribución de estaciones de monitoreo.

**Fuente.** Elaboración propia.

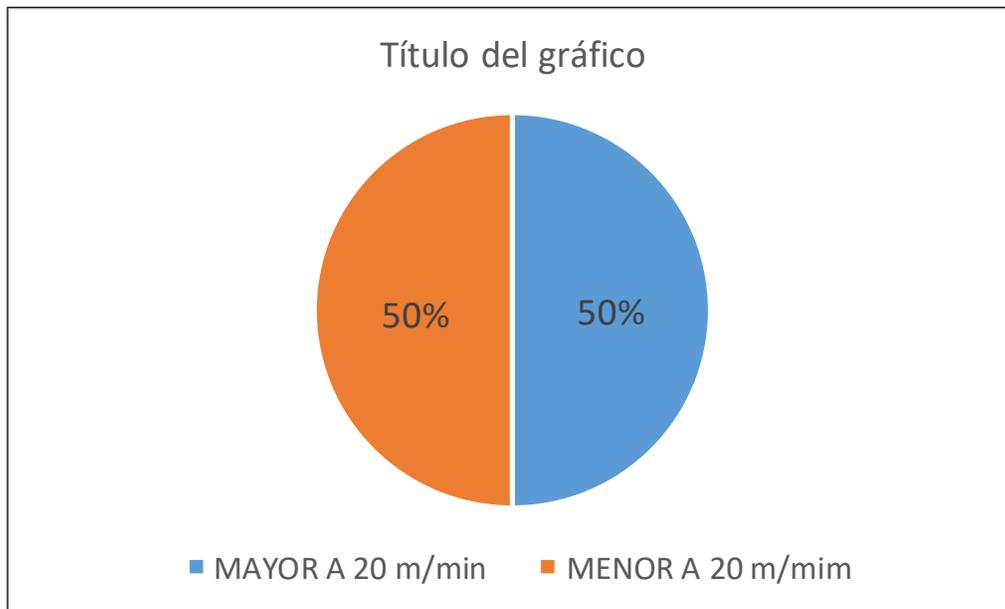
#### 4.3.1. Evaluación de velocidades de aire Nv. 566

En el nivel 566 es donde se encuentra la mayor parte de la operación en ese nivel contamos con 12 estaciones de monitoreo de las cuales 6 que es el 50% cumplen con el DS-024-2016-EM. y 6 que es el 50% no cumplen. (ver figura 42)

*Cuadro 33. Distribución de estaciones Nv. 566.*

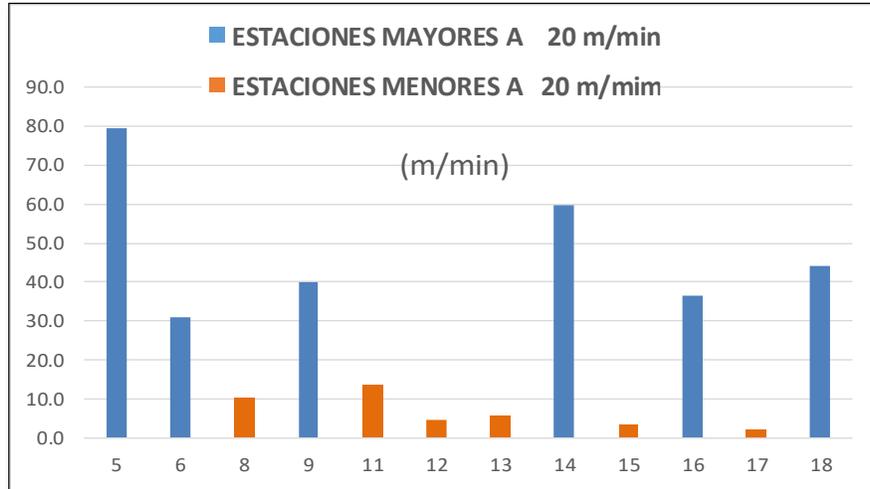
D.S.026-2016-EM	N° ESTACIONES	PORCENTAJE
MAYORES A 20 m/min	6	50%
MENORES A 20 m/min	6	50%
TOTAL	12	100%

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 40. Distribución de aire del Nv. 566.*

*Fuente. Elaboración propia.*



**Figura 41.** Evaluación de velocidades del Nv. 566.

*Fuente. Elaboración propia.*

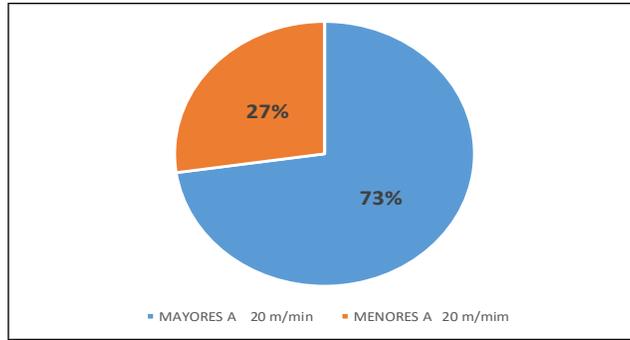
#### 4.3.2. Evaluación de velocidades de aire Nv. 734

El nivel 734 es por donde ingresa la mayor cantidad de aire fresco para la zona esperanza, cuenta con 11 estaciones de monitoreo distribuidas en forma estratégica, con 8 estaciones que equivale a 73% (ver figura 44) que cumplen con el DS-024-2016-EM y 3 que equivales a 27% que no cumplen.

**Cuadro 34.** Distribución de estaciones Nv. 734.

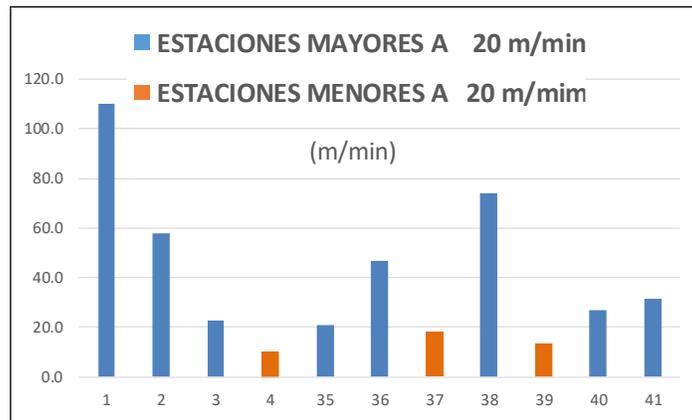
D.S.026-2016-EM	N° ESTACIONES	PORCENTAJE
MAYORES A 20 m/min	8	73%
MENORES A 20 m/min	3	27%
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>

*Fuente. Elaboración propia.*



**Figura 42.** Distribución de aire del Nv. 734

*Fuente. Elaboración propia.*



**Figura 43.** Evaluación de velocidades del Nv. 734.

*Fuente. Elaboración Propia.*

#### **4.3.3. Evaluación por temperatura y humedad en interior mina**

El incremento de la temperatura y la humedad incide mucho en el rendimiento de los trabajadores que laboran en las diferentes actividades.

Tenemos 3 parámetros que actúan en el incremento de temperatura en la zona esperanza:

- La auto compresión del aire que baja por el pique principal.
- Incremento por el grado geotérmico.
- Emisión de calor de los minerales de pirita.

De acuerdo al DS 024 – 2016 y su modificadorio DS 023 -2017 –ME, Artículo 252 menciona que la temperatura como máximo debe ser 29 C°, para mantener un aviente de confort, para temperatura que se encuentre en un rango de 24C° y 29C° la velocidad de aire debe ser 30 m/min

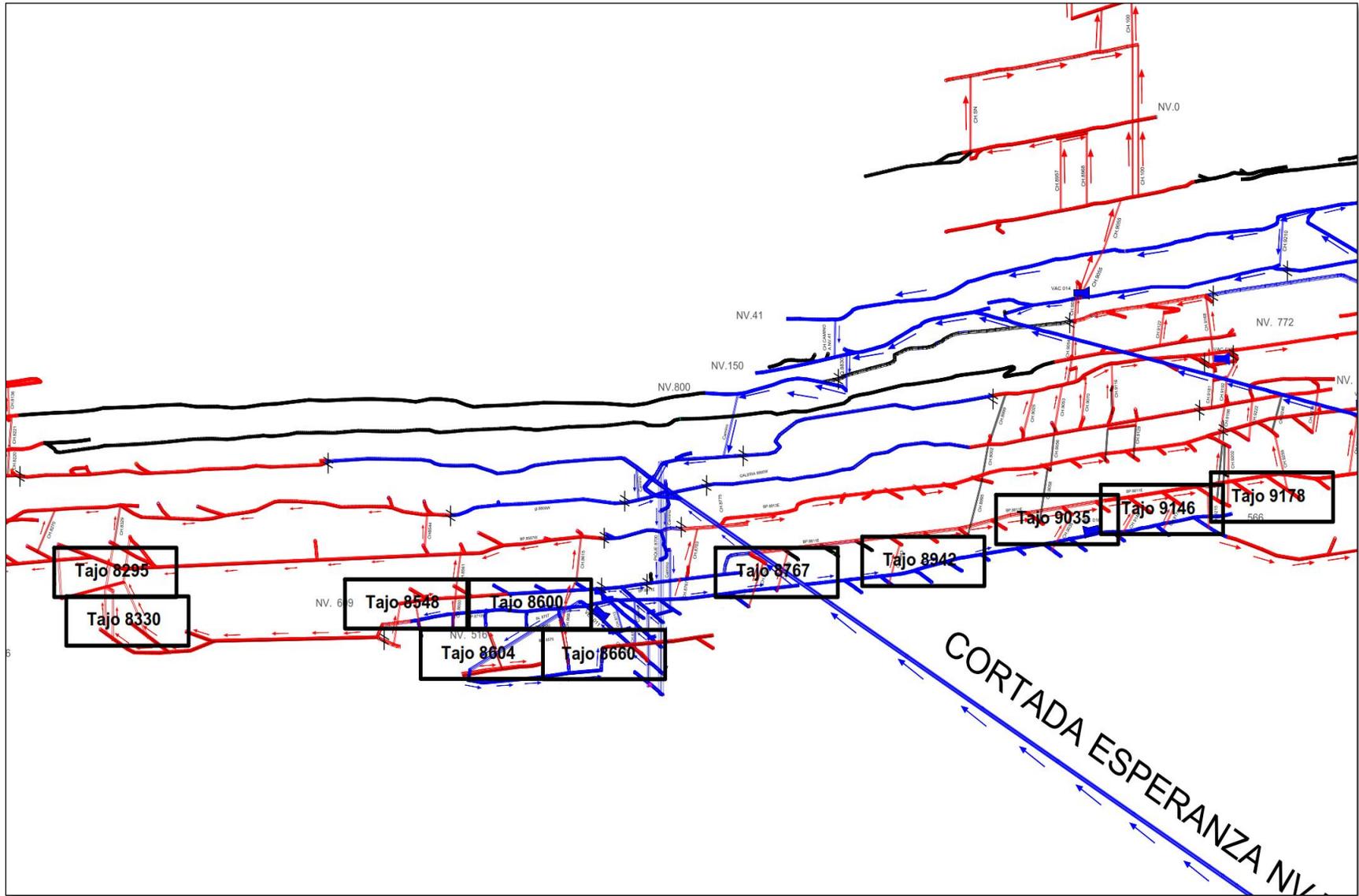
*Cuadro 35. Temperaturas y humedad en los tajos de la zona Esperanza.*

NIVEL	LABOR	T°	HR	V (m/min)
516	Tajo 8604	27.3	83.2	25.8
516	Tajo 8660	29.6	94.6	19.8
566	Tajo 8330	30.8	91.2	27.5
566	Tajo 8767	26.8	88.2	25.4
566	Tajo 8600	30.6	87.3	22.3
566	Tajo 8548	31.3	89.4	23.4
566	Tajo 9035	27.5	82.4	27.5
566	Tajo 8942	29	78.2	18.5
566	Tajo 9178	30.2	86.3	20.8
566	Tajo 9146	30.5	79.5	22.8
566	Crucero 8705	25.4	81.3	79.4
609	Tajo 8295	31.2	90.1	24.5

*Fuente. Área de ventilación de Century Mining Perú SAC.*

El aire fresco ingresa al nivel 566 por el crucero principal 8705 con una temperatura de 25.4 C° y una humedad relativa de 81.3%, se muestra en el (**cuadro 35**), que en los tajos se incrementa la temperatura y la humedad por consecuencia de:

- Deficiencia de caudal de aire en interior de la mina
- Deficiencia de cauda de aire las labores, forzando el ingreso de aire con ventiladores.
- Liberación de calor de la pirita.



*Figura 44. Ubicación de las labores de la zona Esperanza.*

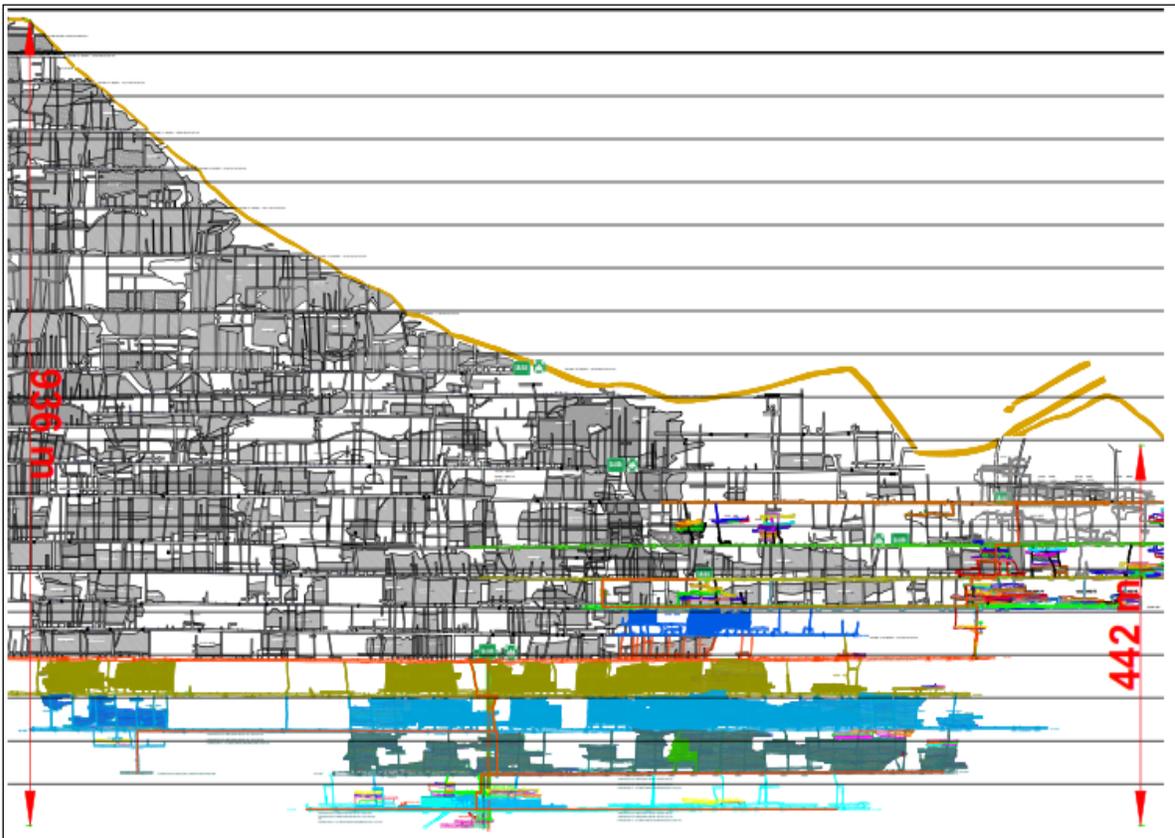
*Fuente. Área de ventilación de Century Mining Perú SAC*

## 4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA ZONA ESPERANZA

### 4.5.1. Proyecto de ventilación lado Este de la zona esperanza

En zonas Esperanza es ingreso de aire fresco es por la bocamina para posterior descender por el pique y distribuirse a lado este y oeste en la zona de profundización, el proyecto de ventilación consiste en la construcción de labores mineras para la evacuación del aire viciado de interior mina hasta superficie con la menor resistencia en los ductos de ventilación.

Todo el diseño se realiza en lado este de la zona Esperanza debido a que el encampane del serró es menor, lado este tiene 442 mts.y lado oeste tiene 936 mts. Como muestra la **figura 47.**



*Figura 45. Altura de encampane.*

*Fuente. Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC.*

#### **4.5.2. Proyectos del sistema de ventilación par la zona Esperanza**

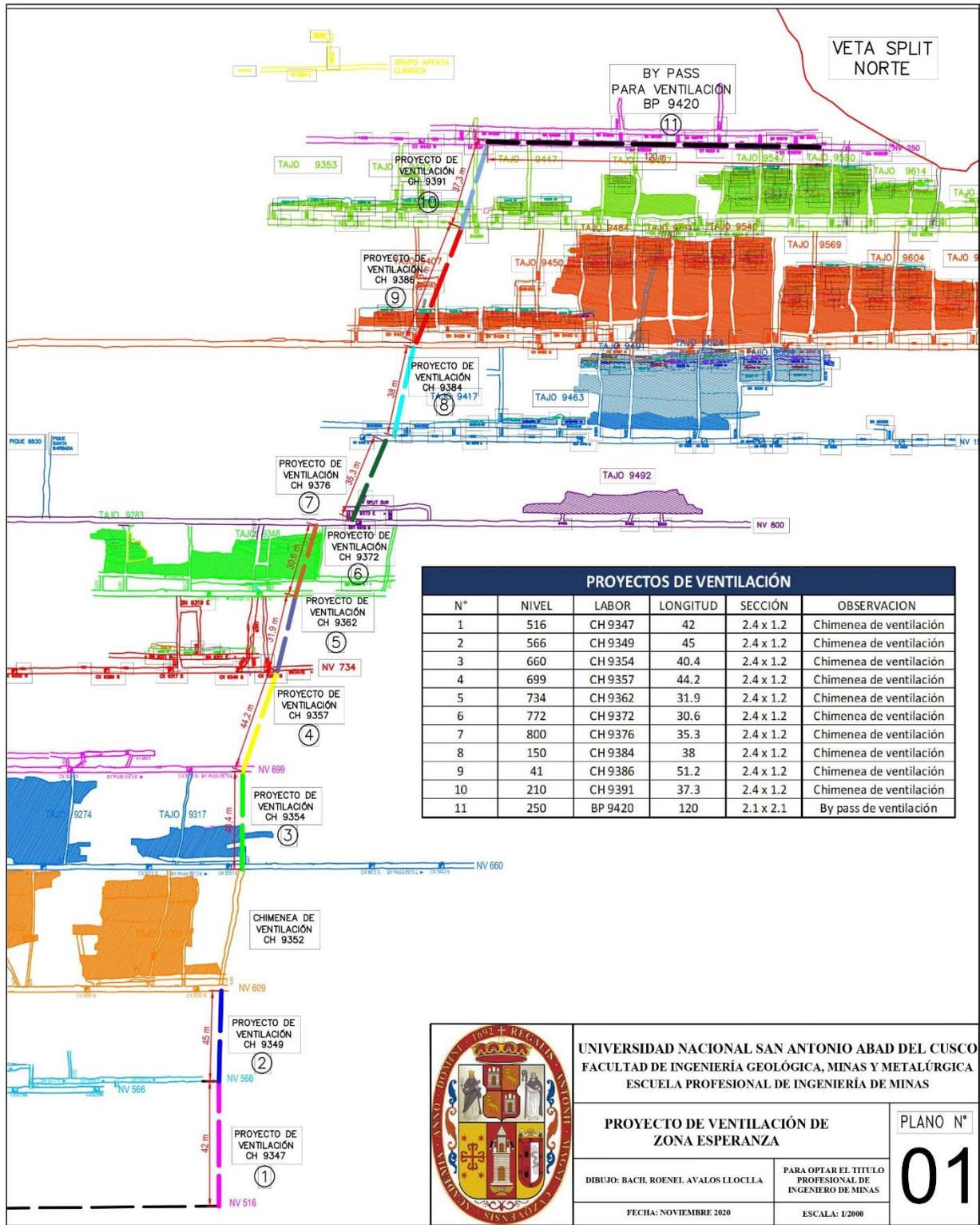
El diseño del sistema de ventilación consiste en la construcción chimeneas y by pass en lado este de la zona Esperanza con el propósito de formar una salida directa a superficie con menores resistencias en el circuito de ventilación.

##### **4.5.2.1. Proyectos para el sistema de ventilación de la zona Esperanza**

Contamos con 11 proyectos para el sistema de ventilación de la zona Esperanza, son:

1. Ejecutar 42m de chimenea 9347 para ventilación de Nv. 516 – 566.
2. Ejecutar 45m de chimenea 9349 para ventilación de Nv. 566 – 609.
3. Ejecutar 40.4m de chimenea 9354 para ventilación de Nv. 660 – 699.
4. Ejecutar 44.2m de chimenea 9357 para ventilación de Nv. 699 – 734.
5. Ejecutar 31.9m de chimenea 9362 para ventilación de Nv. 734 – 772.
6. Ejecutar 30.6m de chimenea 9372 para ventilación de Nv. 772 – 800.
7. Ejecutar 35.3m de chimenea 9376 para ventilación de Nv. 800 – 150.
8. Ejecutar 38m de chimenea 9384 para ventilación de Nv. 150 – 41.
9. Ejecutar 51.2 m de chimenea 9386 para ventilación de Nv. 41 – 210.
10. Ejecutar 37.3m de chimenea 9391 para ventilación de Nv. 210 – 250.
11. Ejecutar 120m de by pass 9420 para ventilación de Nv. 250.

*Plano N° 1. Proyectos de ventilación de la zona Esperanza.*



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

PROYECTO DE VENTILACIÓN DE ZONA ESPERANZA

DIBUJO: BACH. ROENEL AVALOS LLOCLLA

FECHA: NOVIEMBRE 2020

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

ESCALA: 1/2000

PLANO N° 01

*Fuente. Elaboración propia.*

**a. Proyecto de chimenea 9357 para ventilación de Nv. 699 – 734**

- Sección: 2.40 m x 1.20 m.
- Longitud: 44.2 m
- Azimut: N180°E
- Inclinación: 79°

El proyecto de chimenea 9357 se muestra en el plano N°5.

**b. Proyecto de chimenea 9372 para ventilación de Nv. 772 – 800**

- Sección: 2.40 m x 1.20 m.
- Longitud: 30.6 m
- Azimut: N121°E
- Inclinación: 70°

Para comunicar la chimenea al nivel superior es necesario realizar una estocada.

- Longitud: 12 m
- Dirección: N32°E

El proyecto de chimenea 9372 se muestra en el plano N°6.

**c. Proyecto de chimenea 9384 para ventilación de Nv. 150 – 41**

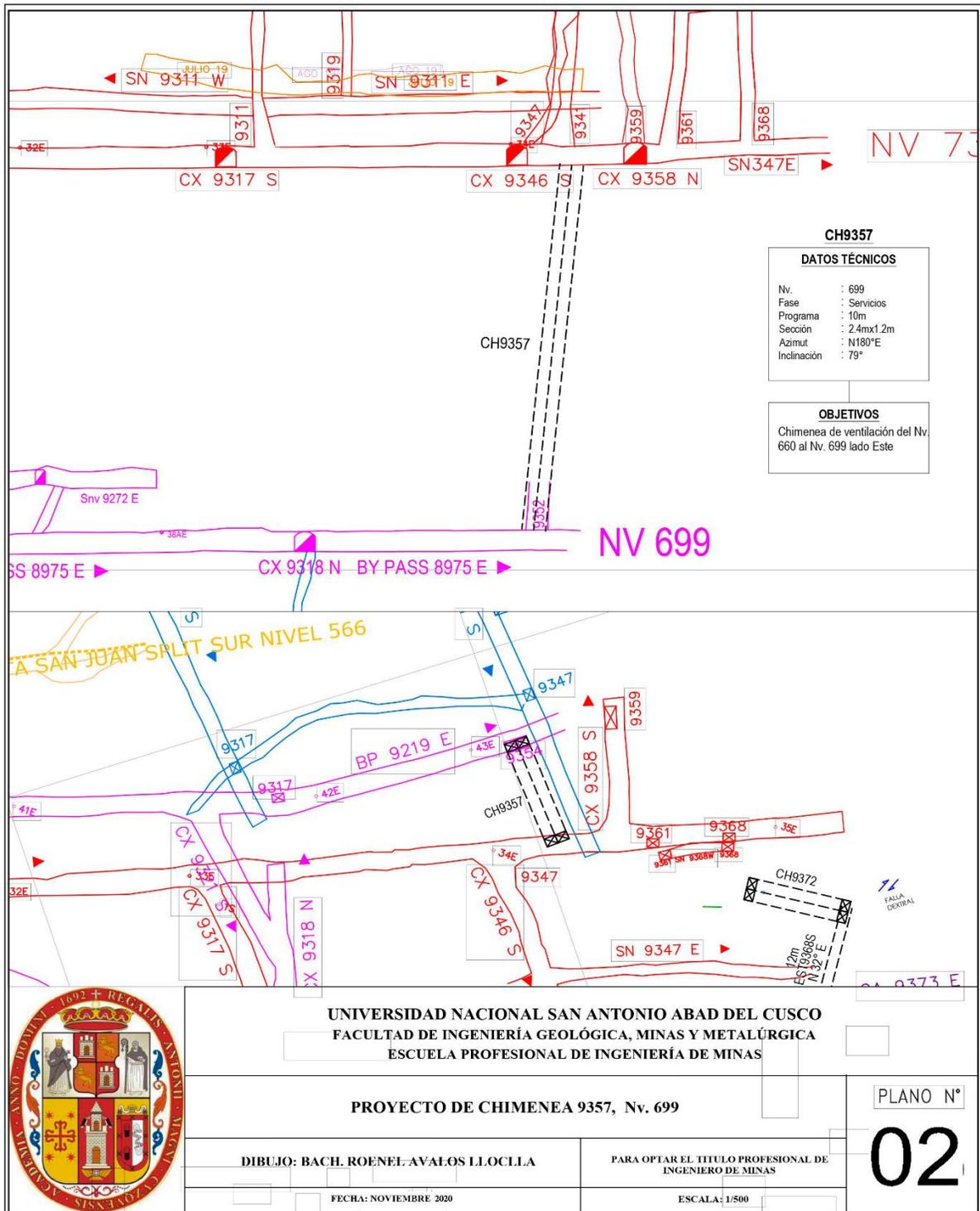
- Sección: 2.40 m x 1.20 m.
- Longitud: 38 m
- Azimut: N121°E
- Inclinación: 70°

Para iniciar la ejecución de la chimenea es necesario prolongar el crucero 9380.

- Longitud: 5 m
- Dirección: N32°E

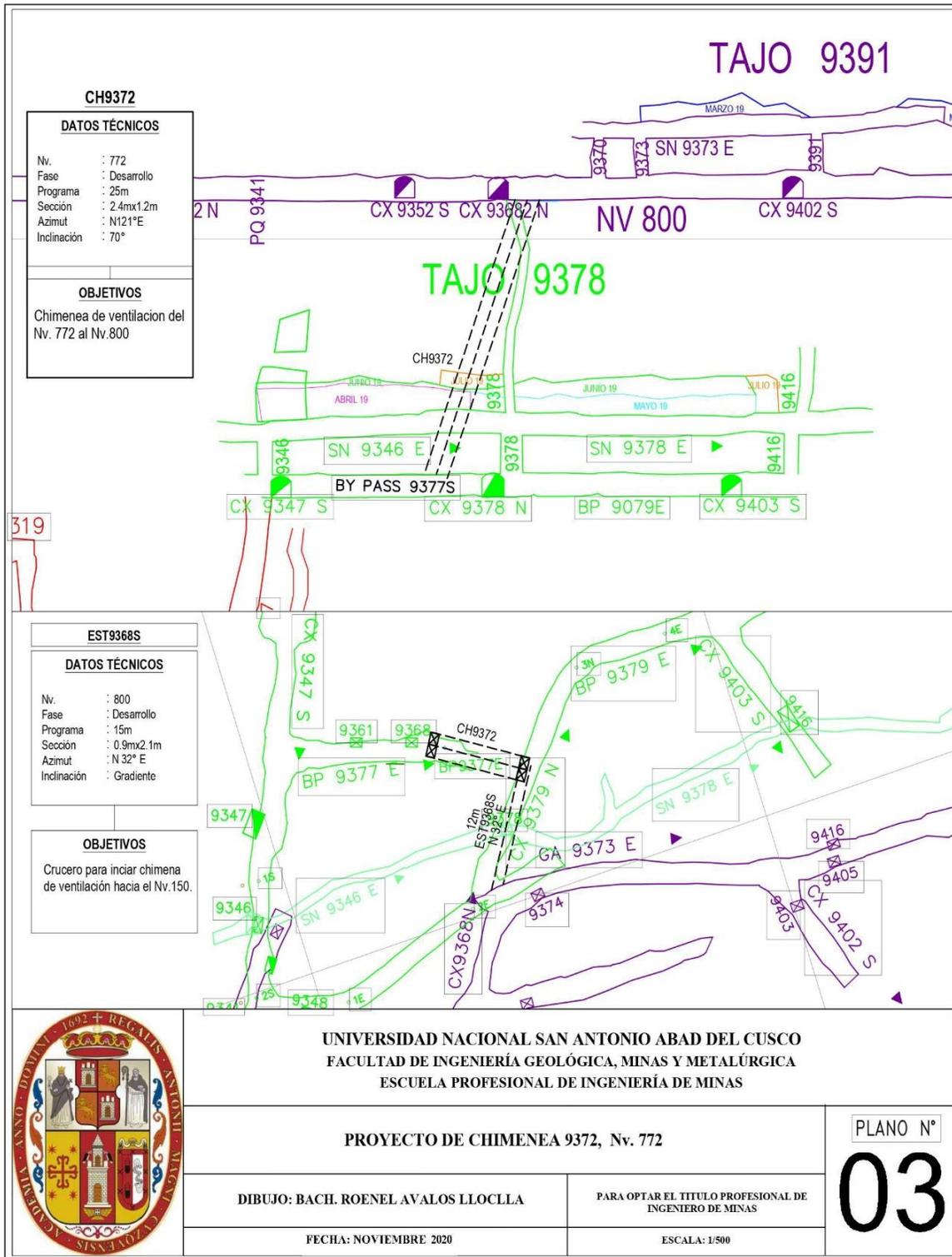
El proyecto de chimenea 9384 se muestra en el plano N°7.

Plano N° 2. Proyecto de chimenea 9357, Nv. 699.



Fuente. Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC.

Plano N° 3. Proyecto de chimenea 9372, Nv. 772.



Fuente. Área de Planeamiento de Century Mining Perú SAC.



#### 4.5.2.2. Cálculos de área de ingreso y salida de aire

Para determinar el área de ingreso y salida de aire, nos apoyamos en el D.S. N° 023-2017-EM, artículo 248, nos indica que la velocidad que la velocidad debe ser como mínima 20 m/min y máximo de 250 m/min.

el cálculo de área remplazamos en ecuación 2.1, para el requerimiento de caudal de aire.

$$A_{total} = Q_{total} / V_{maxima}$$

$$A_{total} = 50000 \text{ CFM} / 250 \text{ m/min}$$

$$A_{total} = 50000 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}} \times \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28084 \text{ pies}} \right)^3 / 250 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$A_{total} = 5.66 \text{ m}^2$$

En el ingreso y la salida de aire se necesita un área mínimo  $5.66 \text{ m}^2$  para cumplir con el requerimiento de caudal de aire en la zona Esperanza.

Considerando el principio de continuidad tenemos que el caudal de ingreso de aire fresco de ser igual al caudal de salida de aire viciado en condiciones diferentes, las áreas también son iguales.

$$CAUDAL_{ingreso} = CAUDAL_{salida}$$

$$AREA_{ingreso} = AREA_{salida} = 5.66 \text{ m}^2$$

Comparación del área de ingreso y salida de aire actual con el área requerido para cubrir el requerimiento de caudal de aire necesario para la zona.

*Cuadro 36. Área de ingreso.*

LABOR	AREA ACTUAL			AREA REQUERIDA
	SECCION		AREA	AREA (m2)
	a1 (m)	h1 (m)	(m2)	
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	2.20	2.10	4.39	
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	1.80	1.90	3.25	
Bocamina Nv.41 Zona 150	1.80	1.80	3.08	
Bocamina Nv.210 Zona 150	1.90	1.90	3.43	
	<b>Total</b>		<b>14.15</b>	<b>5.66</b>

*Fuente. Elaboración propia.*

*Cuadro 37. Área de ingreso.*

LABOR	AREA ACTUAL			AREA REQUERIDA
	SECCION		AREA	AREA (m2)
	a1 (m)	h1 (m)	(m2)	
CHIMENEA 9 NV. 9 Zona Cero	1.00	1.00	0.95	
CHIMENEA 529 NV. 9 Zona Cero	1.20	1.00	1.14	
CHIMENEA 460 NV. 9 Zona Cero	1.10	1.10	1.15	
CHIMENEA 9621, Zona 150	1.10	0.90	0.94	
CHIMENEA Nv.210 Zona 150	1.30	1.10	1.36	
CHIMENEA 34 Nv. 210 Zona 150	1.10	1.20	1.25	
BOCAMINA Nv. 250 Zona 150	2.20	2.35	4.91	
Subnivel Antiguo Zona cero	1.90	1.90	3.43	
	<b>Total</b>		<b>15.13</b>	<b>5.66</b>

*Fuente. Elaboración propia.*

### 4.5.3. Cálculo de parámetros de ventilación de las labores

#### 4.5.3.1. Cálculo de coeficiente de resistencia

calcular el coeficiente de resistencia para una chimenea de sección 2.40m x 1.20m, con los siguientes datos:

datos:

$$\begin{aligned}A &= 2.88 \text{ m}^2 & e &= 0.25 \text{ m} \\P &= 7.2 \text{ m} & \rho &= 1.12 \text{ kg/m}^3 \\L &= 42 \text{ m}\end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación 2.19, determinar diámetro hidráulico:

$$d = \frac{4 \times 2.88 \text{ m}^2}{7.2 \text{ m}} = 1.60 \text{ m}$$

Para determinar el coeficiente reemplazando en la ecuación 2.18 de frotamiento o fricción reemplazamos en la ecuación siguiente:

$$f = \frac{1}{4 \left[ 2 \log_{10} \left( \frac{1.60 \text{ m}}{0.25 \text{ m}} \right) + 1.14 \right]^2} = 0.03300$$

Remplazando en la ecuación 2.16, obtenemos el coeficiente de resistencia de atkinson:

$$K = \left( \frac{0.03300 \times 1.2}{2} \right) = 0.01980 \text{ kg/m}^3$$

Para hallar el coeficiente de resistencia de la labor reemplazando en la ecuación 2.25

$$R = \frac{0.01980 \times 7.2 \times 42}{(2.88)^3} \times \frac{1.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.2296 \text{ N s}^2/\text{m}^8$$

*Cuadro 38. Coeficiente de resistencias para labores rectas.*

PROYECTOS DE VENTILACIÓN										
N°	LABOR	LONGITUD (m)	SECCIÓN (m)	AREA (m2)	PERIMETRO (m)	ALTURA DE ASPEREZA (m)	DIAMETRO HIDRAULICO (m)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (f)	COEFICIENTE DE ATKINSON (Kg/m3)	COEFICIENTE DE RESISTENCIA
		L		A	P	e	d	f	K	R
1	CH 9347	42	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.22960
2	CH 9349	45	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.24600
3	CH 9354	40.4	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.22086
4	CH 9357	44.2	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.24163
5	CH 9362	31.9	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.17439
6	CH 9372	30.6	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.16728
7	CH 9376	35.3	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.19298
8	CH 9384	38	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.20774
9	CH 9386	51.2	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.27990
10	CH 9391	37.3	2.4 x 1.2	2.88	7.2	0.25	1.60	0.03300	0.01980	0.20391
11	BP 9420	120	2.1 x 2.1	4.3	7.97	0.25	2.16	0.02755	0.01653	0.18215
12	Cortada	1026.1	2.2 x 2.2	4.48	8.2	0.25	2.19	0.02735	0.01641	1.40680

*Fuente. Elaboración propia.*

Estimación de pérdidas por choque

Calcula las pérdidas por choque ( $H_x$ ) para codos de  $90^\circ$ , en coeficiente de pérdida por choque (C) se determina en cuadro N° 12.

Datos:

Q: 50 000 cfm

$\rho$ : 1.12 kg/m<sup>3</sup>

C: 1.2

A: 2.88 m<sup>2</sup>

Calcular la velocidad para un caudal de 50 000 cfm.

$$Q = 50\,000 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}} \times \frac{(1\text{m})^3}{(3.2808 \text{pies})^3} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} = 23.60 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{23.60 \text{ m}^3/\text{seg}}{2.88 \text{ m}^2} = 8.194 \text{ m/seg}$$

Remplazando en la siguiente ecuación 2.19, determinar la presión por velocidad.

$$H_v = \frac{\rho u^2}{2} = \frac{1.12 \text{ kg/m}^3 (8.194 \text{ m/seg})^2}{2} = 37.60 \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{seg}^2}$$

Estimación de pérdidas de presión por choque.

$$H_x = CH_v = 1.2 \times 37.60 = 45.12 \text{ Pa}$$

Donde:

1 Pascal = 0.00401474 Pulgadas de agua

$$45.12 \text{ Pa} \times \frac{0.00401474 \text{ inH}_2\text{O}}{1 \text{ Pa}} = 0.181 \text{ inH}_2\text{O}$$

La resistencia por choque para un codo de 90° con un caudal de 50 000 cfm. es de 0.181 inH<sub>2</sub>O.

Determinado las resistencias por choque con la ecuación 2.21.

$$R_x = \frac{C\rho}{2A^2} = \frac{1.2 \times 1.12 \text{ kg/m}^3}{2 \times (2.88 \text{ m}^2)^2} = 0.0810 \text{ N s}^2/\text{m}^8$$

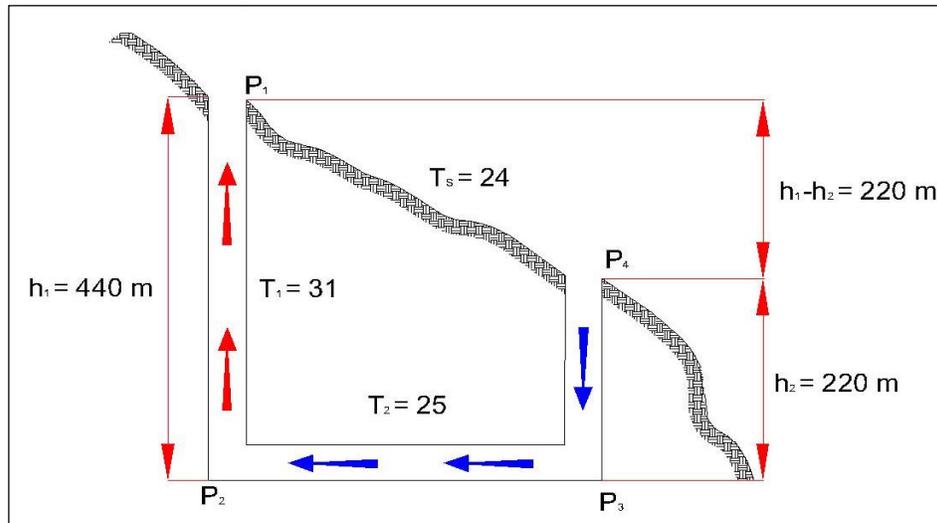
**Cuadro 39.** Coeficiente de resistencias por choque para diferentes caudales.

CAUDAL (CFM)	DENSIDAD DE AIRE (Kg/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE PERDIDA POR CHOQUE	SECCIÓN (m)		ÁREA (m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PRESIÓN POR CHOQUE	RESISTENCIA POR CHOQUE
			largo	ancho					
Q	$\rho$	C			A	V	$H_V$	$H_X$	$R_X$
50000	1.12	1.2	2.4	1.2	2.88	8.194	37.5978	45.1173	0.0810
50000	1.12	1.2	1.2	1.2	1.44	16.388	150.3911	180.4693	0.3241
50000	1.12	0.34	2.4	1.2	2.88	8.194	37.5978	12.7832	0.0230
30000	1.12	1.2	2.4	1.2	2.88	4.916	13.5352	16.2422	0.0810
30000	1.12	1.2	1.2	1.2	1.44	9.833	54.1408	64.9689	0.3241
30000	1.12	0.34	2.4	1.2	2.88	4.916	13.5352	4.6020	0.0230
20000	1.12	1.2	1.2	1.2	1.44	6.555	24.0626	28.8751	0.3241
20000	1.12	1.2	2.4	1.2	2.88	3.278	6.0156	7.2188	0.0810

*Fuente.* Elaboración propia.

#### 4.5.3.2. Cálculo para la presión por ventilación natural

Para determinar el cálculo de presión de la ventilación natural, utilizamos los datos de la **figura 48**.



**Figura 46.** Vista representativa de la zona del proyecto.

*Fuente.* Elaboración propia.

Remplazando en la ecuación 2.8, para obtener la presión barométrica en el nivel de la salida.

$$P_1 = P_0 \times e^{\left(\frac{-g \times h}{R \times T}\right)} = 101.3 \text{ KPa} \times e^{\left(\frac{-9.81 \times 954}{290 \times 297}\right)} = 90869.83 \text{ Pa}$$

Remplazar en la ecuación 2.9, para determinar la presión de ventilación natural ( $H_N$ )

$$H_N = P_1 \times \left[ e^{\frac{g}{R} \times \left(\frac{h_1 - h_2}{T_S} + \frac{h_2}{T_2}\right)} - e^{\frac{g \times h_1}{R \times T_1}} \right]$$

$$H_N = 90869.83 \text{ Pa} \times \left[ e^{\frac{9.81}{290} \times \left(\frac{220}{297} + \frac{220}{298}\right)} - e^{\frac{9.81 \times 440}{290 \times 304}} \right] = 102.16 \text{ Pa}$$

$$H_N = 102.16 \text{ Pa} = 0.419 \text{ pulg. } H_2O$$

#### 4.5.3.3. Parámetros psicométricos de aire que ingresa a mina.

Para los parámetros psicométricos se tomarán en el nivel principal (Nv. 734) de ingreso de aire fresco a la zona Esperanza.

- TBH = Temperatura de bulbo Húmedo (°C) = 19°
- TBS = Temperatura de bulbo seco (°C) = 23°

Para determinar la presión barométrica ( $P_{atm}$ ) se determina con la ecuación 2.10:

$$P_{atm} = P_0 \times e^{\left(\frac{-g \times h}{R \times T}\right)} = 101.3 \text{ KPa} \times e^{\left(\frac{-9.81 \times 954}{290 \times 297}\right)} = 90904.34 \text{ Pa.}$$

### **Humedad Relativa (HR)**

- TBH = Temperatura de bulbo Húmedo (°C) = 19°
- TBS = Temperatura de bulbo seco (°C) = 23°

Diferencia de bulbo húmedo = 23°C - 19°C = 4°C

Las humedades relativas se determinan con la tabla N° 14, HR = 69%

La presión saturada de vapor se obtiene de la tabla N° 13, Pv = 2.83 kPa

$$HR = \frac{P_v}{P_v \text{ (saturada)}} \times 100$$

$$P_v = 0.69 \times 2.83 \text{ Kpa} = 1.95 \text{ Kpa}$$

### **Humedad**

Se determina usando la siguiente ecuación 2.12:

$$W = 0.622 \times \frac{1.95}{90.904 - 1.95} = 0.013635$$

W = 13.63 g de vapor de agua / kg de aire seco

### **Volumen específico de aire seco**

Para determinar la presión que ejerce la masa de aire seco (Pa)

$$P_a = P_{atm} - P_v = 90.904 \text{ kPa} - 1.95 \text{ kPa} = 88.954 \text{ kPa}$$

De la ecuación general de los gases, se tiene:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Despejando el volumen, se tiene:

$$V = \frac{n \times R \times T}{P} = \frac{1 \times 287 \times 296}{88.954} = 0.9550 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Esto quiere decir, que el volumen que ocupa 1 Kg de aire seco a esta presión parcial (88.854 kPa) será 0.9550 m<sup>3</sup>/kg.

Donde 0.9550 m<sup>3</sup> de aire equivale a 1 kg de aire seco + 0.01071 Kg de vapor

La masa de 1.0171 kg de aire atmosférico ocupa un volumen de 0.9550 m<sup>3</sup>

La densidad de aire atmosférico (d) será:

$$d = \frac{1.01071 \text{ kg}}{0.9550 \text{ m}^3} = 1.06 \text{ Kg/m}^3$$

## **4.6. SIMULACION DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN**

### **4.6.1. Modelamiento en SOFTWARE VENTSIM**

Para el modelamiento de en SOFTWARE VENTSIM, es necesario modelar la topografía de la mina.

Describen los pasos de la construcción del modelo en VentSim:

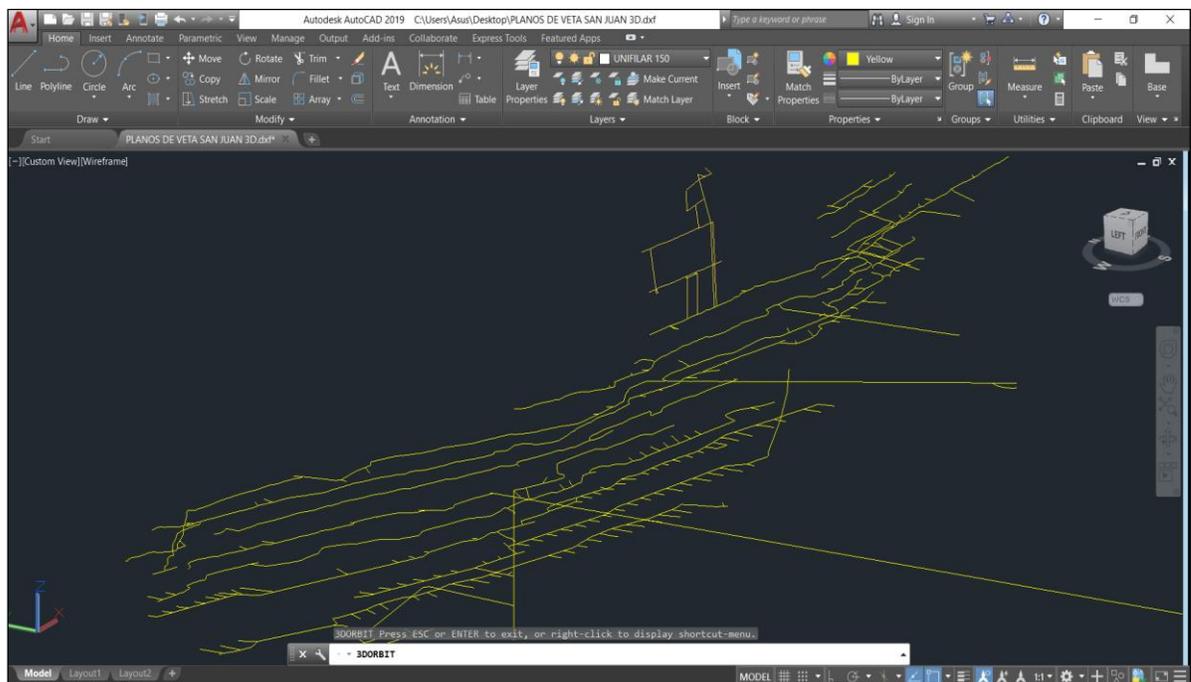
**Paso 1:** Recabar la información topográfica de todas las labores de la mina (piques, rampas, galerías, chimeneas, accesos, cámaras, accesos, etc.)

**Paso 2:** Construcción de la línea central de todas las labores mineras, considerando en la labor horizontal el techo y en las verticales como chimeneas considerar el eje central.

**Paso 3:** Guardar el archivo topográfico en DXF.

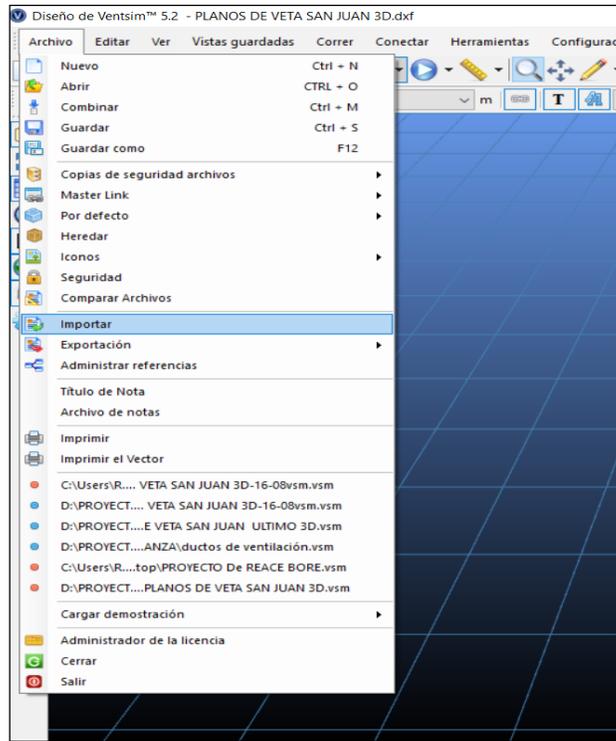
**Paso 4:** Los archivos en formato DXF se pueden importar al SOFTWARE VENTSIM.

Las siguientes imágenes describen los pasos de construcción del modelamiento en el Software VentSim.



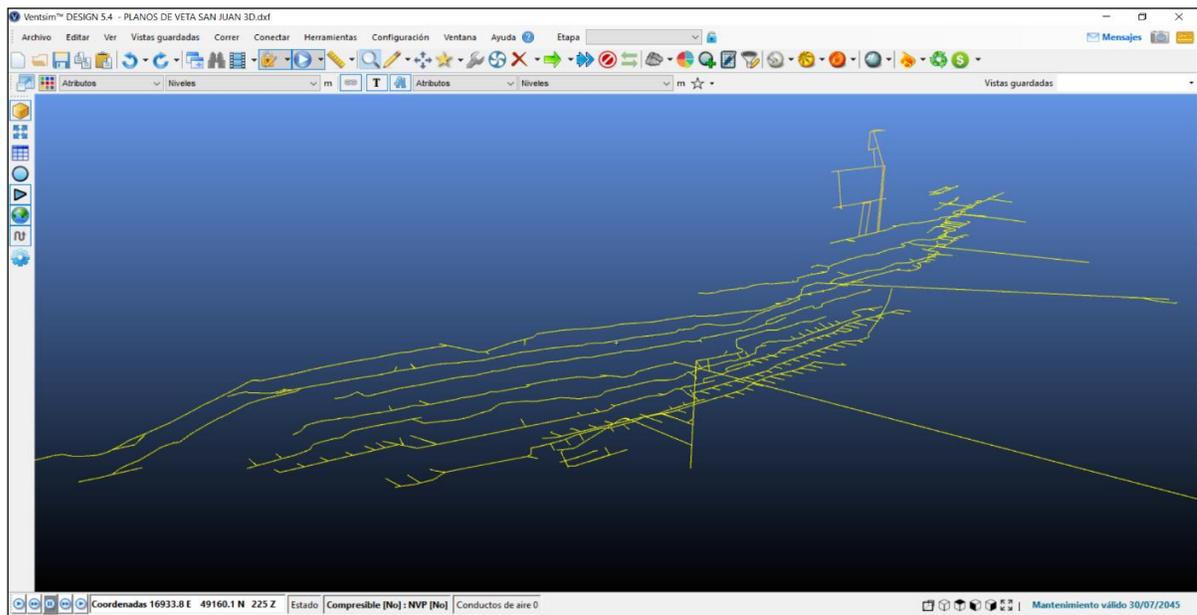
**Figura 47.** Creación de línea central AutoCAD.

**Fuente.** Elaboración propia.



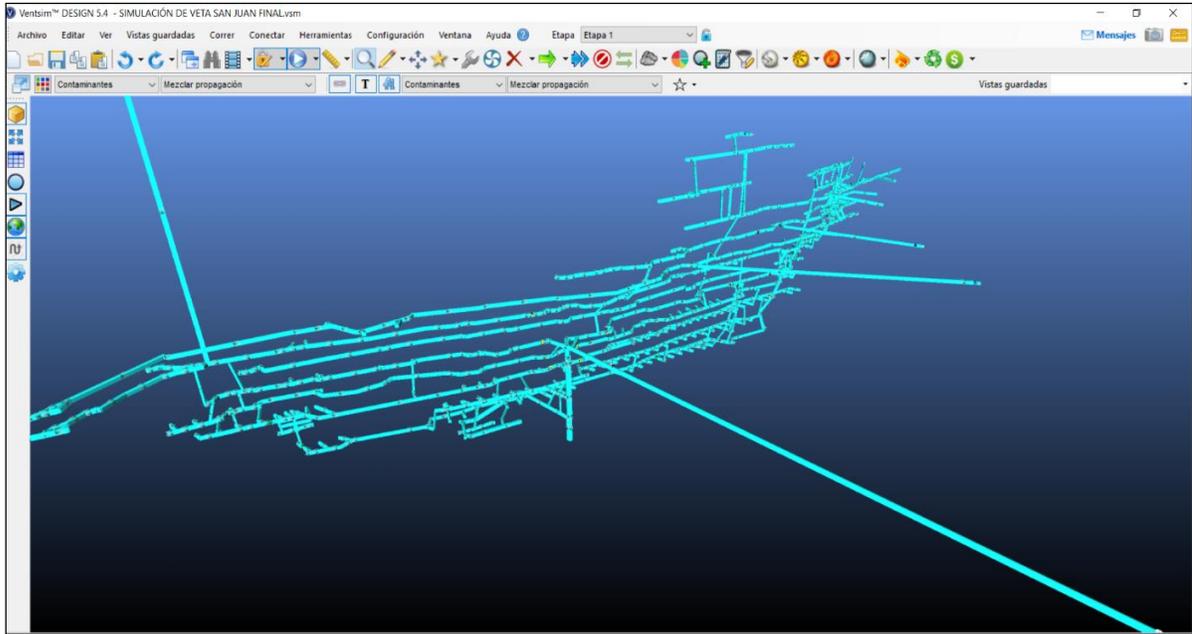
*Figura 48. Importar de AutoCAD a VentSim.*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 49. Importar de AutoCAD a VentSim.*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 50. Modelo solido de VentSim.*

*Fuente. Elaboración propia.*

#### **4.6.2. Establecer atributos a conductos de aire**

Con el modelo en 3D de la mina en el software VentSim continuamos estableciendo los atributos y las propiedades a todos los conductos de aire.

Datos requeridos en el modelamiento de VentSim:

- Cota del nivel principal de ingreso de aire : 734 msnm.
- Temperatura de bulbo seco :23 °C
- Temperatura de bulbo húmedo :19 °C
- Densidad : 1.06 Kg/m<sup>3</sup>
- Presión barométrica : 90904.34 Pa.

#### 4.6.2.1. Resistencia por Fricción (R)

Determinar la resistencia por fricción para las labores mineras con los siguientes datos:

- Secciones de la labor minera : 1.2m x 1.2m,
- Altura de aspereza de ducto : 0.3 m
- Caudal : 50 000 CFM = 1415.87 m<sup>3</sup>/s

Calcular la ecuación 2.19, el diámetro hidráulico y coeficiente de fricción con la ecuación 2.18.

$$d = \frac{4 \times 1.44}{4.8} = 1.2$$

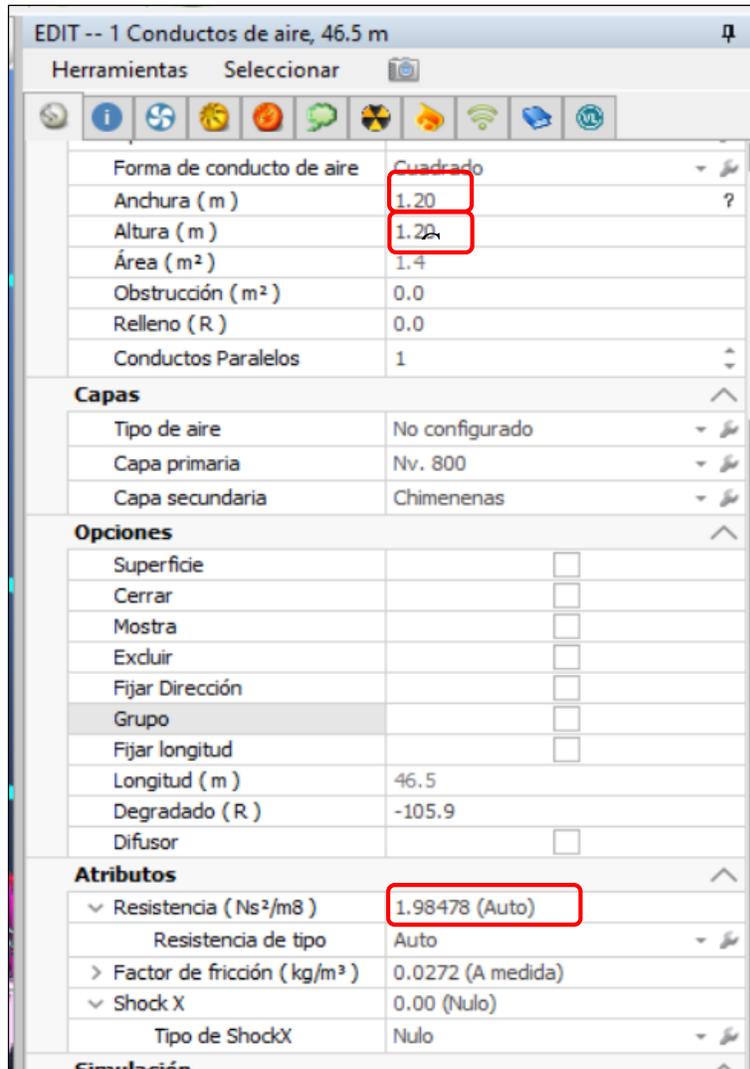
$$f = \frac{1}{4 \left[ 2 \log_{10} \left( \frac{1.2}{0.3} \right) + 1.14 \right]^2} = 0.0454$$

Para el coeficiente (K) remplazamos en la ecuación 2.16.

$$K = \frac{0.0454 \times 1.2^*}{2} \times 0.02724 \text{ Kg/m}^3$$

Calcular la Resistencia

$$R_l = \frac{K \times P \times L}{A^3} \times \frac{w}{1.2} = \frac{0.02724 \times 4.8 \times 46.5}{1.44^3} \times \frac{1.17}{1.2} = 1.98 \frac{Ns^2}{m^8}$$



*Figura 51. Ingreso de datos de sección y resistencias.*

*Fuente. Software VentSIM.*

#### 4.6.2.1. Resistencia por Choque (R)

El cálculo de resistencia se realiza por métodos de factor de choque, con los siguientes datos.

Calcular los factores geométricos.

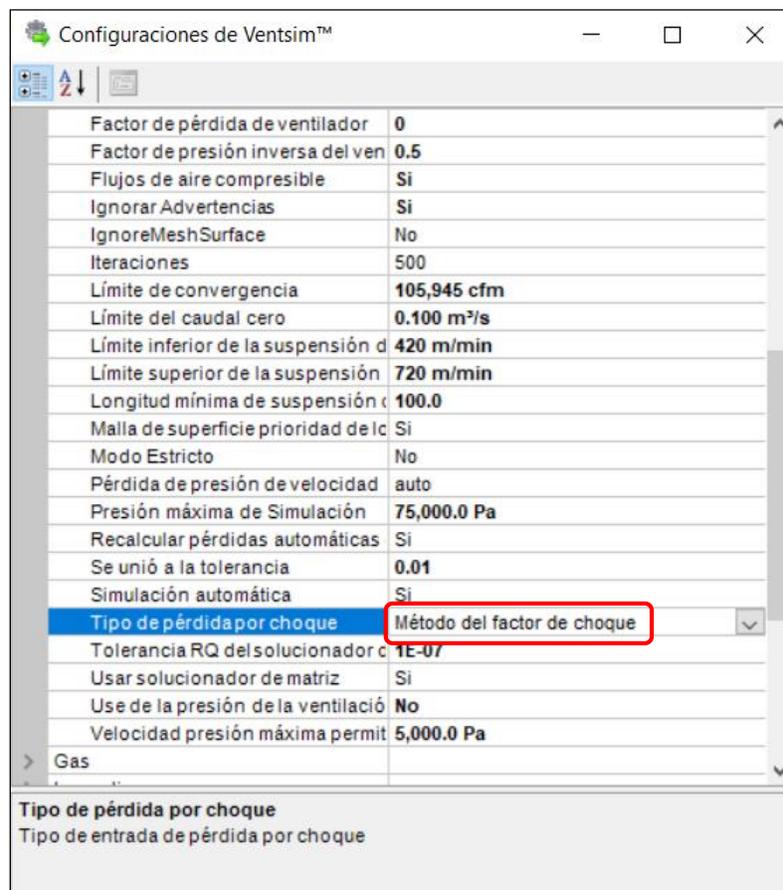
- Factor de pérdida por choque : 1.2

$$R_x = \frac{H_x}{Q^2} = \frac{C\rho}{2A^2} = \frac{1.2 \times 1.06}{2 \times 1.44^2} = 0.3067 \frac{NS^2}{m^8}$$

**Cuadro 40.** Resistencias por choque para diferentes labores.

LABORES MINERAS	SECCIÓN (m)		ÁREA (m2)	COEFICIENTE DE PERDIDA	RESISTENCIAS POR CHOQUE
	H	W			
CHIMENEA SIMPLE	1.2	1.2	1.44	1.2	0.3067
CHIMENEA DOBLE	1.2	2.4	2.88	1.2	0.0767
BY PASS	2.1	2.1	4.1	1.2	0.0378
CORTADA	2.2	2.2	4.5	1.2	0.0314
PIQUE	3.0	3.0	9	1.2	0.0079

*Fuente.* Elaboración propia.



**Figura 52.** Configuración para tipo de pérdida por choque.

Fuente. Software VentSIM.

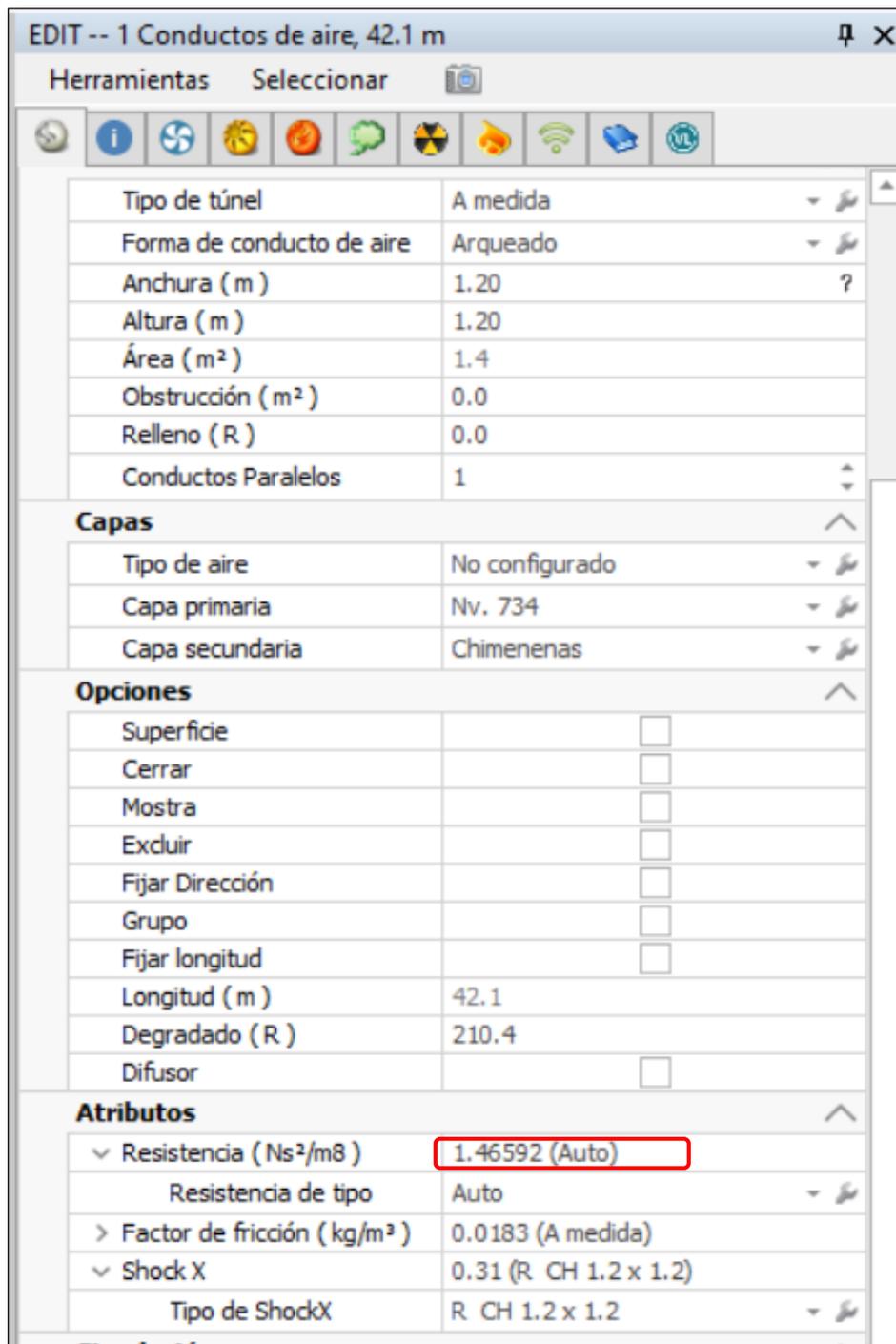


Figura 53. Ingreso de datos de resistencias por choque.

Fuente. Software VentSIM.

#### 4.6.2.2. Direccionadores de caudal de aire

Nos referimos a direccionadores de caudal a los muros de concreto, puertas de ventilación, cortinas, etc.

Que nos ayuda a direccionar el aire fresco a los lugares de trabajo y el aire contaminado a superficie, evitando la recirculación.

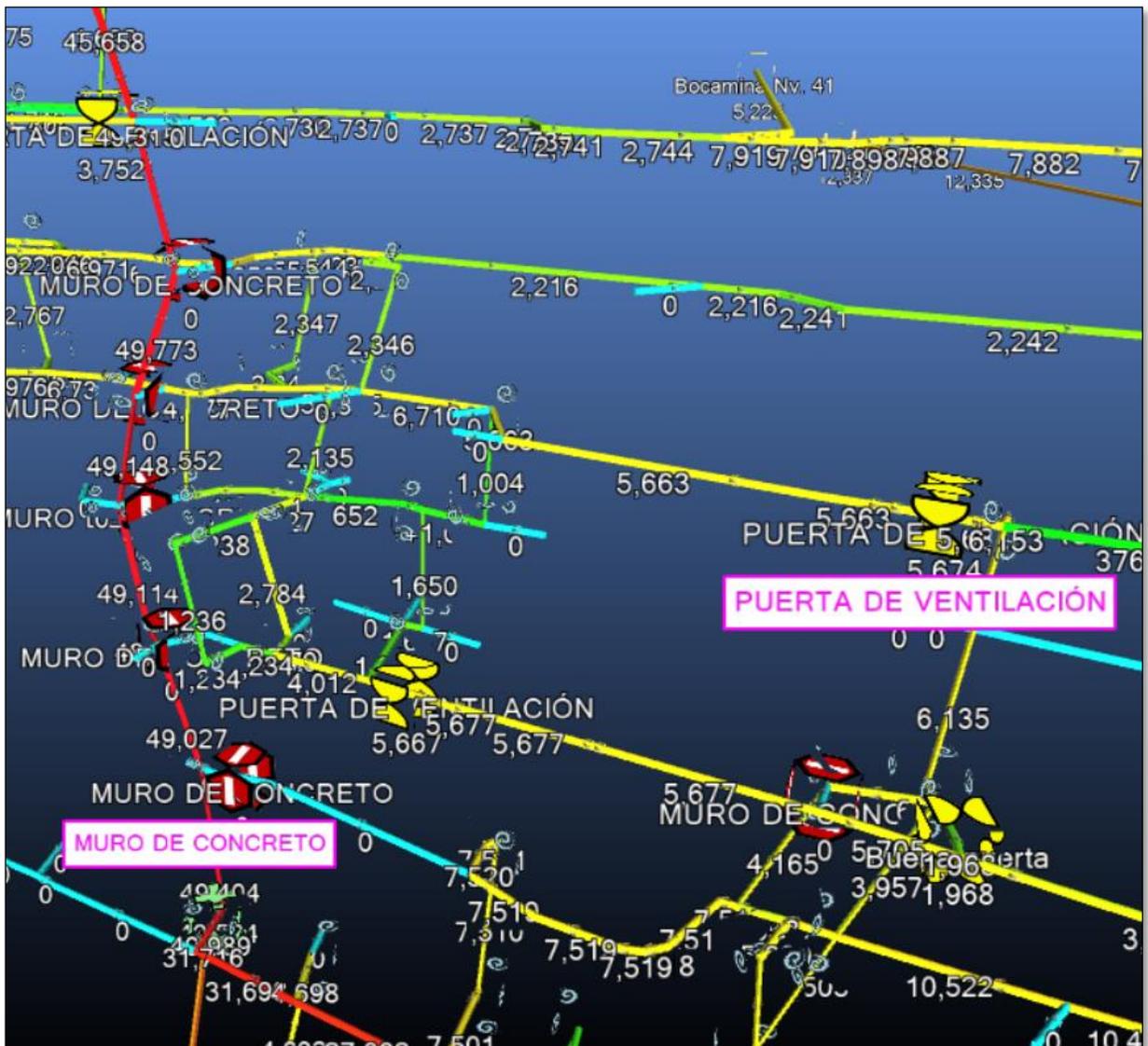


Figura 54. Direccionadores del flujo de aire.

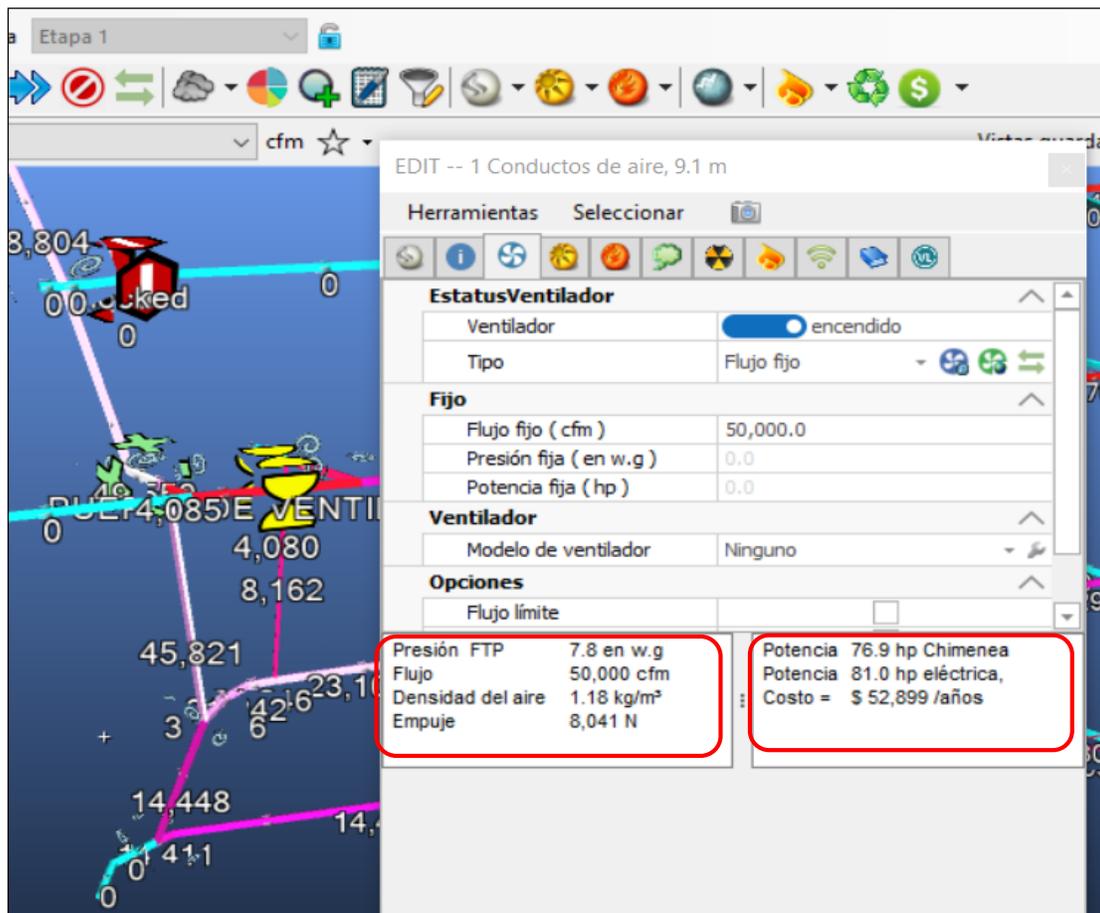
Fuente. Software VentSIM.

### 4.6.3. Selección de ventiladores para el sistema de ventilación.

Según a los datos de simulación y a la forma de los ductos de la mina, se recomienda un ventilador de acuerdo a los datos de simulación:

Datos del Ventilador.

Presión Total	= 7.8 pulga.H2O
Caudal	= 50000 CFM
Densidad	= 1.18 Kg/m <sup>3</sup>
BHP	= 76.9 HP
HP	= 81.0 HP
Costo	= 52,899 \$/año



**Figura 55.** Punto de operación de ventilador con Caudal de 50000 CFM.

**Fuente.** Software VentSIM

The image shows a software window titled "Configuraciones de Ventsim™". It contains a tree view on the left with categories: "Ajustes de sistema", "Costos", "Minería", "Potencia", "General", "Gráfica", "Simulación", "Videos", and "Visualización / VentLog". The "Costos" and "Minería" sections are expanded, showing a list of parameters and their values in a table.

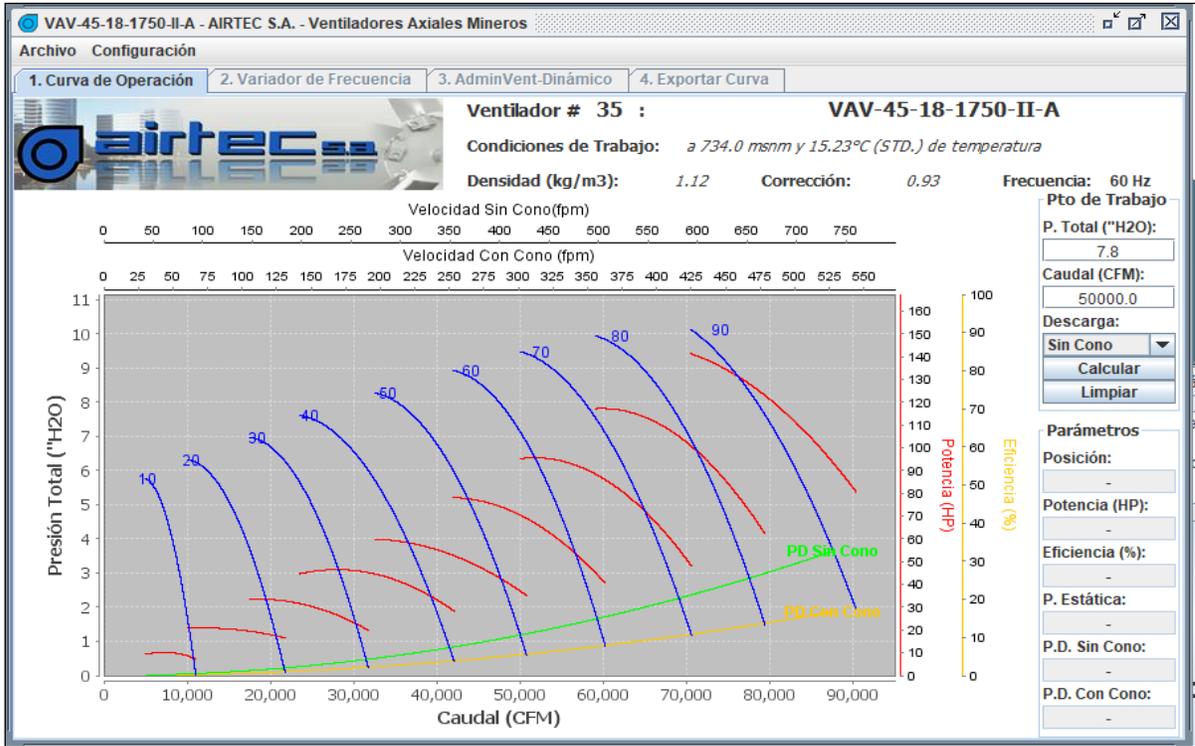
Ajustes de sistema	
▼ Costos	
▼ Minería	
[RESET]	No
CALCULATOR	No
Costo fijo por unidad de longitud Horizontal	\$ 800 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Rectangular	\$ 750 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Redondo	\$ 1600 / m
Costo Variable Conducto Horizontal	\$ 130 / m <sup>2</sup>
Costo Variable Conducto Vertical Rectangular	\$ 125 / m <sup>2</sup>
Costo Variable Conducto Vertical Redondo	\$ 250 / m <sup>2</sup>
Moneda	\$
▼ Potencia	
Costo de energía	\$ 0.110 /kwh
Fan costo de compra	\$ 1,000 /kW
Tasa VAN	10
Vida de mina	10
> General	
> Gráfica	
> Simulación	
> Videos	
> Visualización / VentLog	
Potencia	
Power	

*Figura 56. Factores para determinar el costo por año del ventilador.*

*Fuente. Software VentSIM.*

#### 4.6.3.1. Curva de operación del ventilador

Los datos de la simulación ingresaremos en el Software Airtec para determinar la curva de operación del ventilador.



**Figura 57. Punto de operación de ventilador con Caudal de 50000 CFM.**

*Fuente. Software Airtec.*

Seleccionando el ventilador con álabes en posición 62°, se tiene los siguientes datos.

**Cuadro 41. Puntos de trabajo del álabe en 62° del ventilador principal.**

Caudal (CFM)	Presión total pulg. H2O	Potencia en HP	Eficiencia %
43437	9.03	80.10	76.19
45217	8.87	79.80	78.17
46976	8.59	78.81	79.61
48735	8.18	77.12	80.37
50493	7.64	74.72	80.29
52252	6.98	71.64	79.15
54011	6.19	67.85	76.61
55769	5.27	63.36	72.17
57528	4.23	58.19	65.06
61046	1.77	45.73	36.71

*Fuente. Software Airtec.*

Para una posición de alabes de 62°, la presión dinámica y la presión estática para un diámetro de ventilador de 45 pulg. son:

$$V = \frac{23.60 \text{ m}^3/\text{s}}{1.03 \text{ m}^2} = 22.91 \text{ m/s}$$

Reemplazando en la ecuación 2.25 para determinar la presión de dinámica

$$P_d = \frac{\rho \times V^2}{2} = \frac{1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times (22.91 \text{ m/s})^2}{2} = 314.92 \text{ Pa.}$$

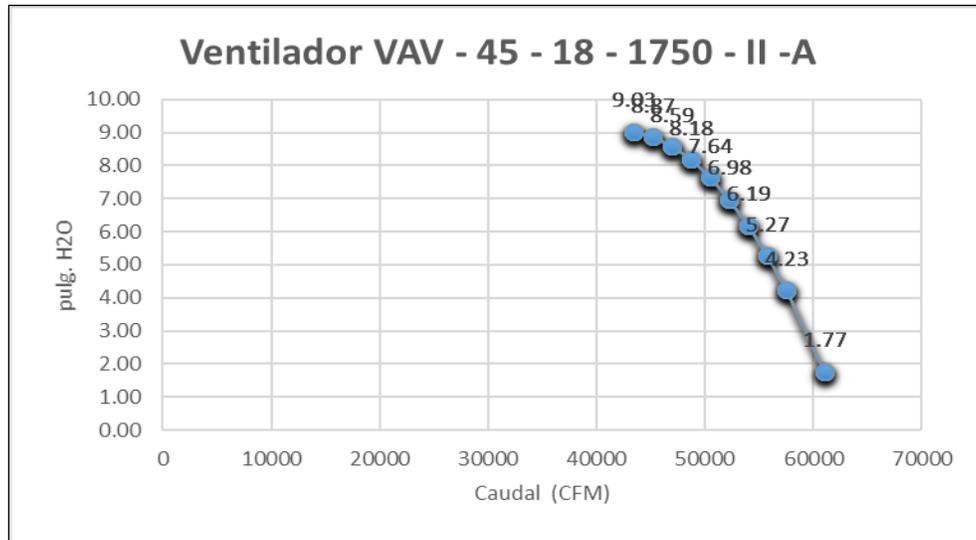
$$P_T = P_s + P_d$$

$$P_s = P_t - P_d$$

**Cuadro 42.** *Calculo de presión dinámica y presión estática.*

Caudal		Sección	Velocidad	P. Dinamica		P estatica
(CFM)	m3/s			m2	m/s	Pa.
43437	20.50	1.03	19.90	237.69	0.95	8.08
45217	21.34	1.03	20.72	257.57	1.03	7.84
46976	22.17	1.03	21.52	277.99	1.12	7.47
48735	23.00	1.03	22.33	299.20	1.20	6.98
50493	23.83	1.03	23.14	321.18	1.29	6.35
52252	24.66	1.03	23.94	343.94	1.38	5.60
54011	25.49	1.03	24.75	367.49	1.48	4.71
55769	26.32	1.03	25.55	391.81	1.57	3.70
57528	27.15	1.03	26.36	416.91	1.67	2.56
61046	28.81	1.03	27.97	469.45	1.88	0.10

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 58.** Curva de presión total de ventilador principal.

**Fuente.** Elaboración propia.

#### 4.6.3.2. Curva de resistencia característica de mina.

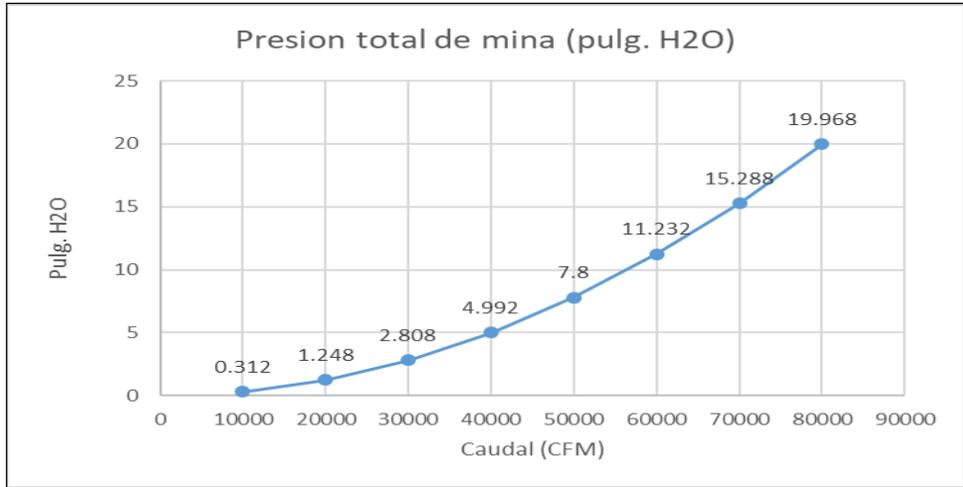
Con los datos proporcionados por la simulación obtendremos la curva de resistencia característica de mina, usando la siguiente formula.

$$R = \frac{H_L}{Q^2} = \frac{7.8 \text{ pulg H2O}}{50000^2} = 3.12 \times 10^{-9}$$

**Cuadro 43.** Calculo de presión total de mina.

Caudal (CFM)	Presion total de mina pulg. H2O
10000	0.283
20000	1.132
30000	2.547
40000	4.528
50000	7.075
60000	10.2
70000	13.867
80000	18.112

**Fuente:** Elaboración propia.

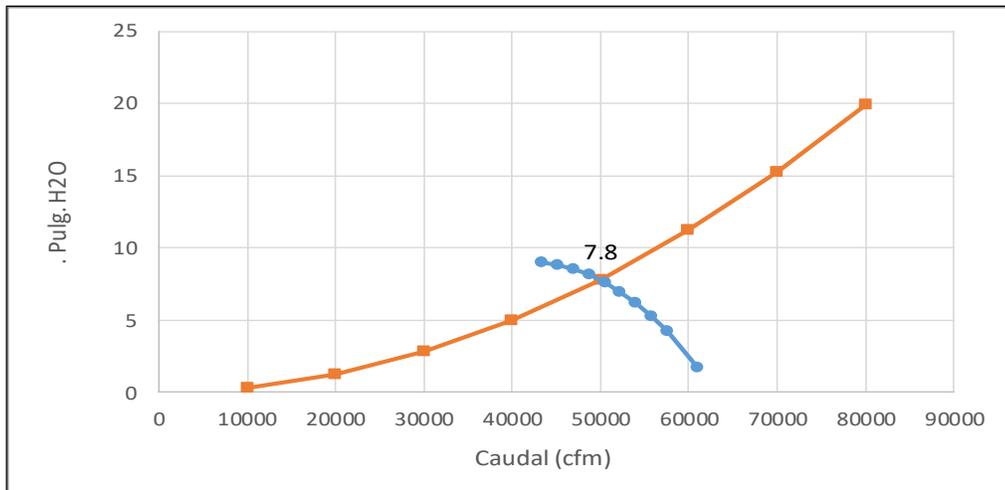


**Figura 59.** Curva de presión total de la mina.

**Fuente.** Elaboración propia.

#### 4.6.3.3. Punto de operación del ventilador principal

El punto de operación es la intersección entre la curva de presión total del ventilador y la curva característica de mina.

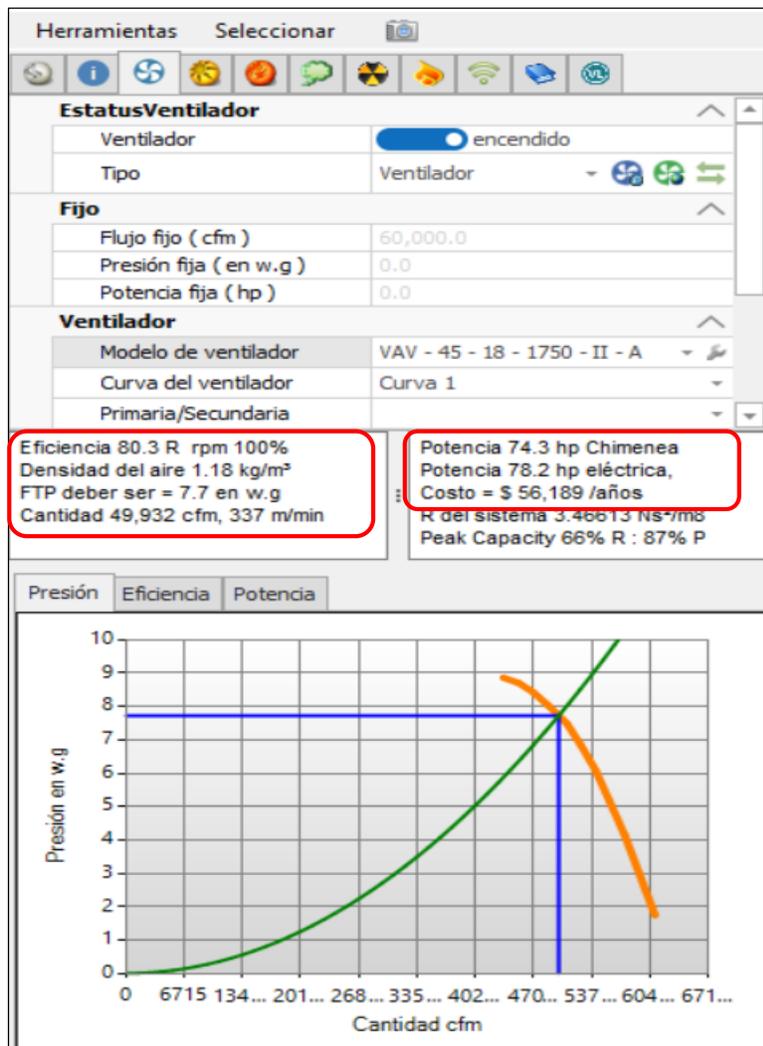


**Figura 60.** Punto de operación del ventilador principal.

**Fuente.** Elaboración propia.

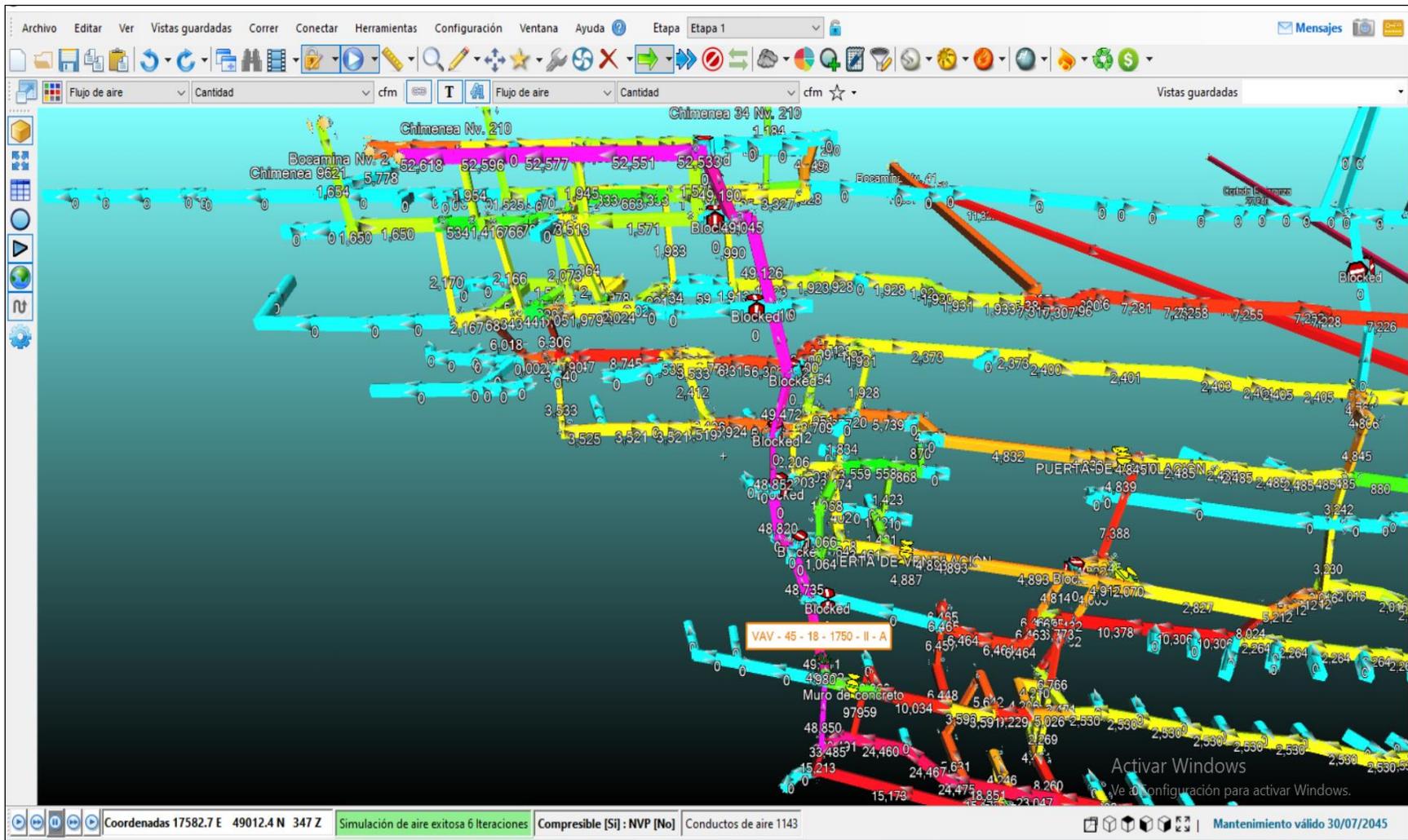
Datos del punto de operación del ventilador.

$P_{estatica}$  = 6.35 pulg. H<sub>2</sub>O  
 $P_{dinamica}$  = 1.29 pulg. H<sub>2</sub>O  
 $P_{total}$  = 7.7 pulg. H<sub>2</sub>O  
Caudal = 49 932 CFM  
Densidad = 1.17 kg/m<sup>3</sup>  
BHP = 74.3 HP  
Eficiencia = 87 %



**Figura 61.** Punto de operación del ventilador principal.

**Fuente.** Software Ventsim.



*Figura 62. Ubicación del ventilador VAV-45-18-1750-II-A*

*Fuente. Software Ventsim.*

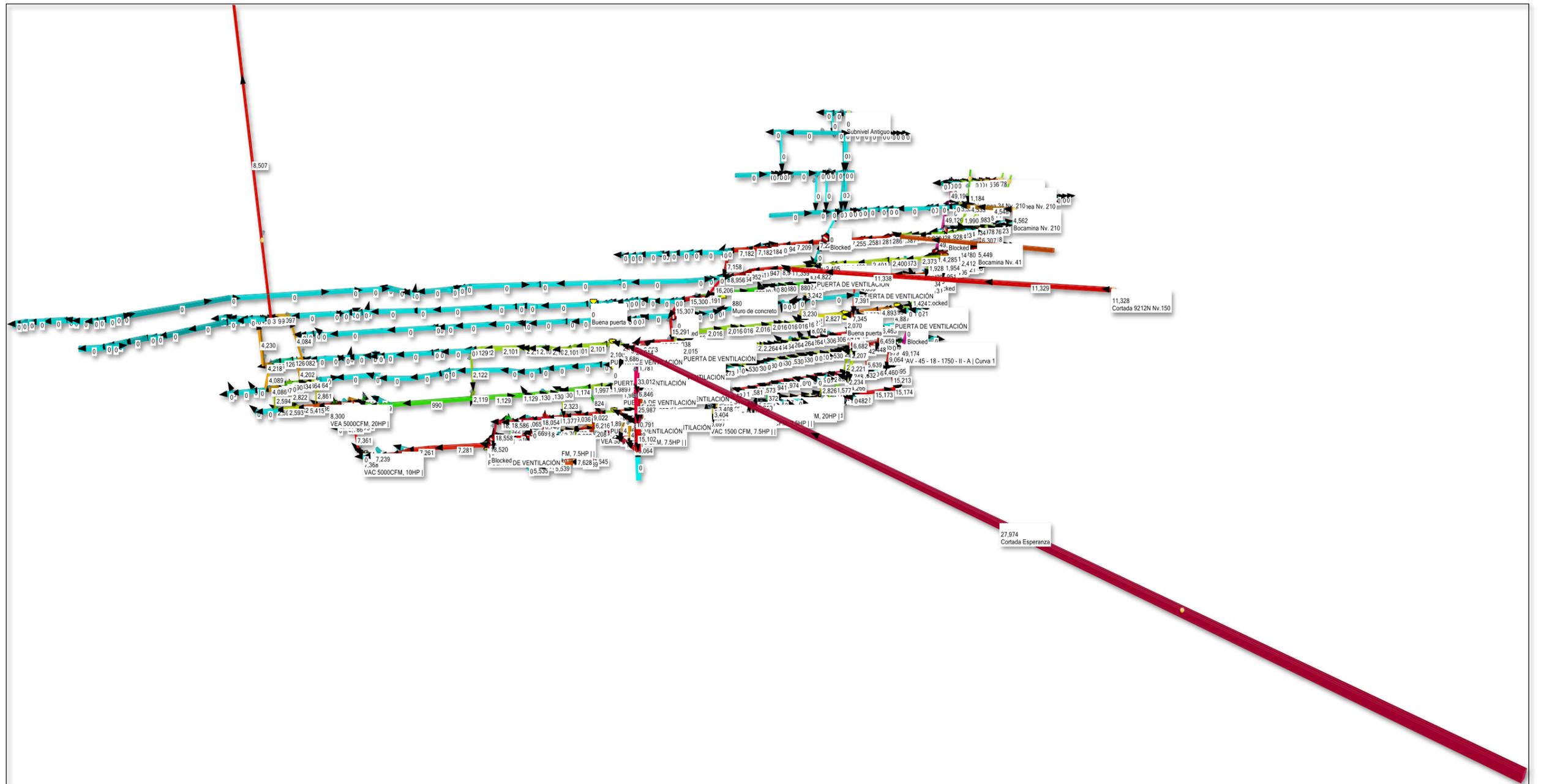


Figura 63. Vista isométrica del circuito de ventilación.

Fuente. Software VenTsim.

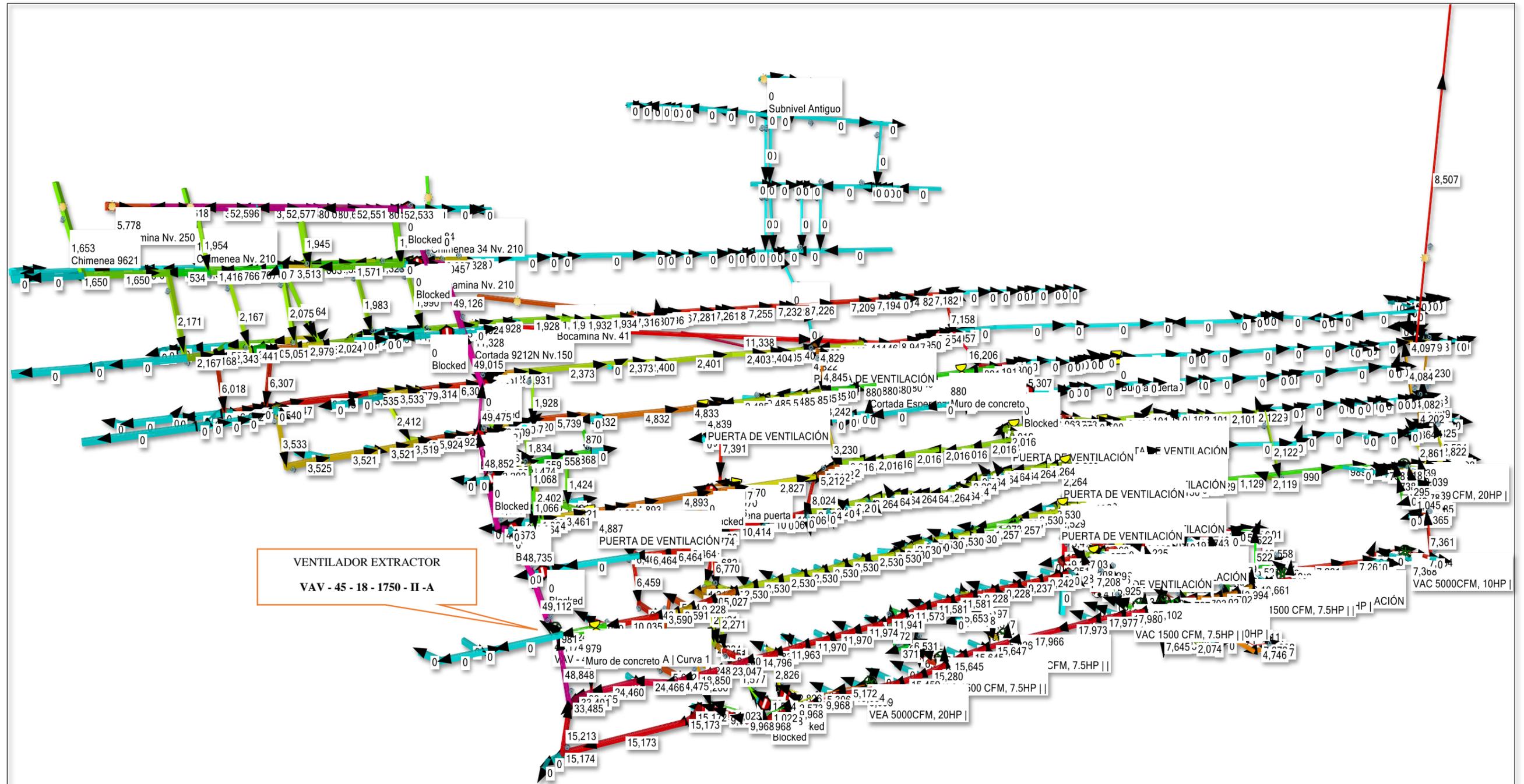


Figura 64. Vista lateral del circuito de ventilación.

Fuente. Software VenTsim.

#### 4.6.3.4. Resumen de la red del sistema.

En el cuadro siguiente se muestra el resumen de la red del sistema, donde se muestran los siguientes datos.

- El caudal de ingreso es de 59 533 CFM.
- La resistencia total de la mina es de 2.41031 Ns/m<sup>8</sup>.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	No
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	0: Etapa 1
Todos los conductos de aire	1150
Actual etapa conductos	1140 y 6 Exclusión
Segmentos de etapa actual	659 y 6 Exclusión
Longitud total	28,210.3 m
Caudal de aire total de admisión	59,533 cfm
Caudal de aire total de escape	61,088 cfm
Flujo de masa total	31.88 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	2.41031 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	6.16658 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	190.7 hp Total
	47.0 hp Chimenea
	27.6 hp Conducir
	116.2 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia eléctrica del ventilador	0.0 hp
<b>Potencia eléctrica de ENTRADA</b>	<b>363.2 hp</b>
Que consta de ..	
10 Ventiladores	363.2 hp
0 Presiones fijadas	0.0 hp
0 Flujos fijos	0.0 hp
0 Refrigeración	0.0 hp

**Figura 65.** Resumen de la red del sistema de ventilación.

**Fuente.** Software VentSim.

## 4.7. ESTIMACION DE MEJORAS EN EL CIRCUITO DE VENTILACIÓN

### 4.6.4. Incremento de caudal de ingreso

El caudal de ingreso antes es de 27 785 CFM, con la implementación del proyecto de ventilación se incrementa a 49 166 CFM, el incremento es de 177 % del caudal de aire para la zona esperanza, como se muestra en el (ver cuadro 44)

*Cuadro 44. Caudal de ingreso de la zona esperanza.*

LABOR	CAUDAL		INCREMENTO DE CAUDAL
	ANTES	DESPUES	
PV. 12 Veta San Juan Zona Esperanza Nv 734	16,508	27,840	169%
Cortada 9212N Nv.150 Zona 150	4,334	11,329	261%
Bocamina Nv.41 Zona 150	2,606	5,434	209%
Bocamina Nv.210 Zona 150	4,336	4,563	105%
<b>Qi Total</b>	<b>27,785</b>	<b>49,166</b>	<b>177%</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 4.6.5. Cobertura de aire

La cobertura de aire para la zona esperanza después del proyecto de ventilación.

Caudal de ingreso : 59 533 CFM

Caudal de salida : 61 088 CFM

*Cuadro 45. Caudal de ingreso de la zona esperanza.*

COBERTURA DE AIRE	m3/s	m3/min	cfm
Qi= CAUDAL INGRESO	28.097	1,685.82	59,533
Qs= CAUDAL DE SALIDA	28.831	1,729.85	61,088
Qr= CAUDAL REQUERIDO	20.74	1,244	43,941
COBERTURA ACTUAL (%)	135%		
Superávit (CFM)	15,592		

*Fuente: Elaboración propia.*

La cobertura de aire en la zona esperanza es de 129% con un superávit de 12943 CFM después de la implementación del nuevo sistema de ventilación. (ver cuadro 45)

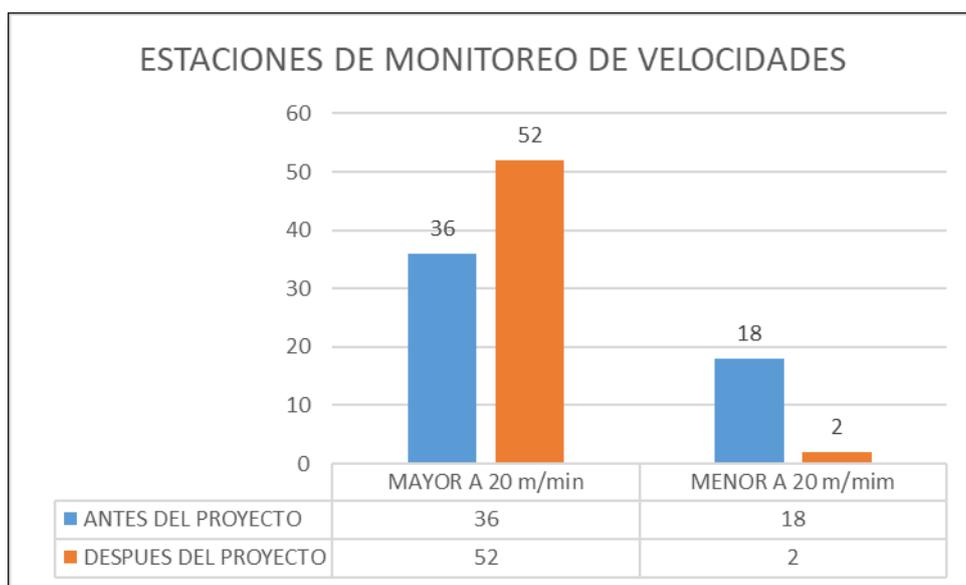
#### 4.6.6. Evaluación de velocidades de aire

Con la nueva evaluación de velocidades en las estaciones de monitoreo se muestra un incremento en 16 estaciones de monitoreo que superan la velocidad de 20 m/min, haciendo un total de 52 estaciones, como muestra el (Cuadro 46).

*Cuadro 46. Estaciones de monitoreo de velocidad en interior mina.*

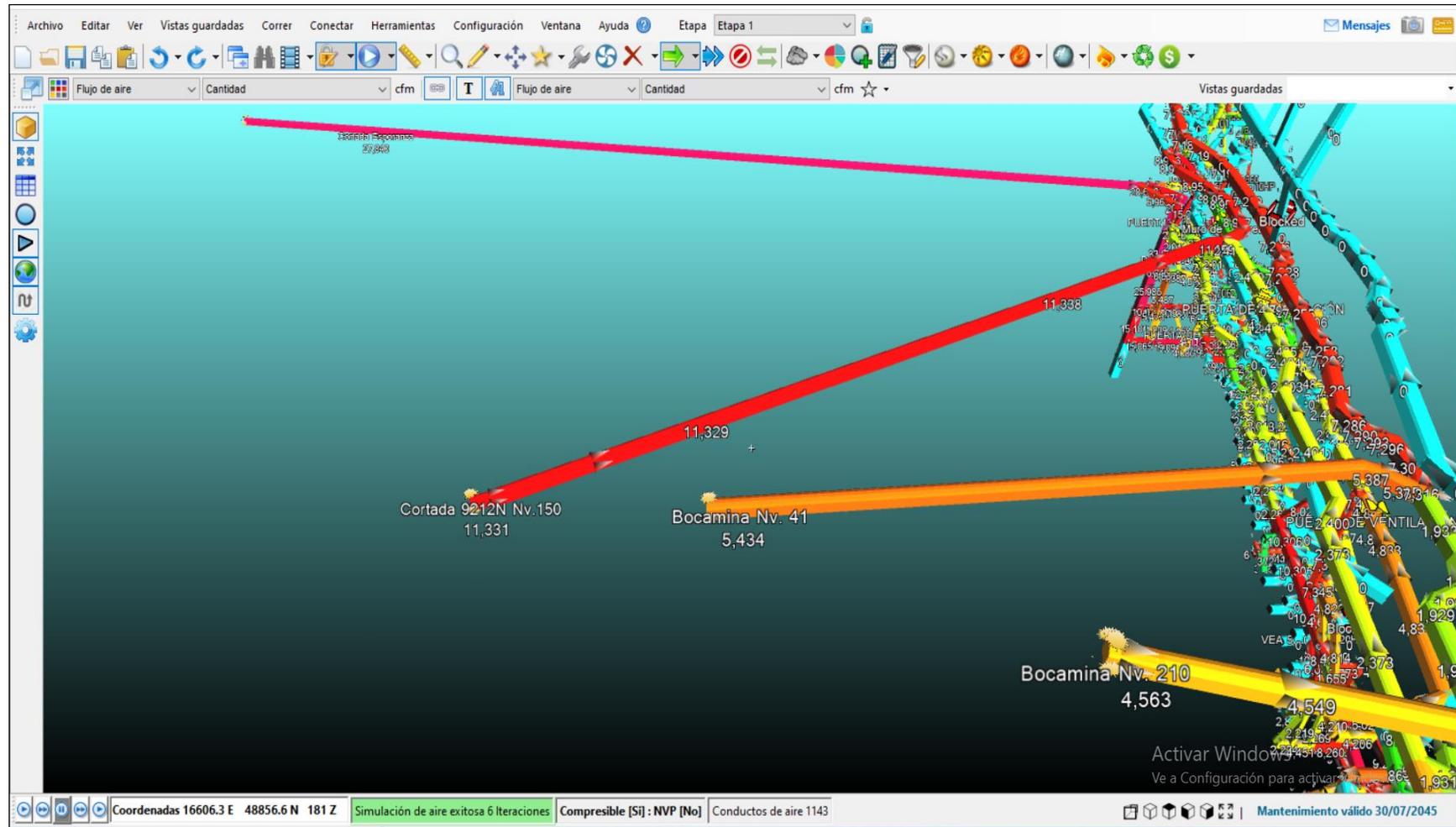
NIVEL	ESTACIONES DE MONITOREO		TOTAL
	MAYOR A 20 m/min	MENOR A 20 m/min	
734	10	1	11
699	10	0	10
660	12	1	13
609	6	0	6
566	12	0	12
516	2	0	2
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>2</b>	<b>54</b>

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 66. Estaciones de monitoreo mayores y menores de 20m/min.*

*Fuente. Elaboración propia.*



**Figura 67.** Ingreso de caudales en la simulación.

**Fuente.** Software VentSIM.

## CONCLUSIONES

1. En el diseño de nuevo sistema de ventilación se cumple con el objetivo de tener una ventilación mecánica, cumpliendo con la cobertura de caudal que es de 43 941 CFM, que se requiere en la zona esperanza, para disminuir la temperatura y eliminar la recirculación, ejecutándose el proyecto de chimeneas de ventilación e instalado el ventilador extractor principal en el nivel 660.
2. Con la evaluación del sistema de ventilación de la zona esperanza, se determina el caudal de ingreso es de 27 785 CFM, caudal de salida es 20 662 CFM con un desbalance de 7 123 CFM que se pierde por labores antiguas. Según la evaluación se necesita un caudal de aire en la zona esperan de 43 941 CFM teniendo un déficit de caudal de 16.156 CFM que hace un 63% de cobertura de aire para la zona y debido al déficit de caudal es el incremento de temperatura en interior mina.
3. El nuevo sistema de chimeneas está construido por el lado este de la zona esperanza, con la finalidad de poder tener chimeneas de salida en roca competente con menor resistencia y mayor sección, complementando con un ventilador extractor principal de 50 000 CFM de modelo **VAV - 45 - 18 - 1750 - II –A** que se encuentra instalado en el nivel 660 para garantizar que se cumpla con la cobertura de aire en interior mina, las características del ventilador son:
  - $P_{total}$  = 7.7 pulg. H<sub>2</sub>O
  - Caudal = 50 000 CFM
  - BHP = 74.3 HP
  - Eficiencia = 87 %
4. Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se cumple con la cobertura, teniendo un 135 % con un superávit que representa a un caudal de 15 592 CFM, también se muestra incremento de caudal de aire en los ingresos principales que es de 177% y un incremento de estaciones de monitoreo con velocidad mayores a 20 m/min.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda definir y mantener puntos estratégicos de monitoreo de ventilación en la mina, que nos permita un monitoreo constante del caudal, velocidades y dirección de flujo, poder determinar estudios constantes de cobertura de aire
2. Se recomienda la construcción de un nuevo sistema de ventilación en roca dura y competente para su mayor duración, con una sección de chimenea de 2.4 x 1.2, en caso se proyecten a la compra de un ventilador se debe considerar las variables de caudal y presión para no tener mayores costos en adquisición y consumo de energía.
3. Se recomienda realizar evaluaciones semestrales de ventilación y correcciones en el circuito de ventilación principal con direccionados de flujo.
4. Se recomienda la señalización de todas las chimeneas de ventilación para uso exclusivo del paso del aire y no se utilice con otras funciones como: es el de echadero de mineral o desmonte.

## BIBLIOGRAFIA

1. Calizaya Felipe (2018). “*Simulación y análisis computacional*”. *Diplomado en ventilación minera INTERCADE*, Lima.
2. Carpio Pizarro Daniel (2017). “*control geológico estructural de mineralización y correlación de flujos hidrotermales en veta mercedes unidad minera san juan de chorunga*” de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa de la facultad de geología, geofísica y minas.
3. Hartman, H.L., Mutmanky, J.M., and Wang, Y.J. (1982) “*Mine ventilation and air conditioning. s.l. : John Wiley & Sons, INC.*”
4. Herrera Alonso (1996). “*Elementos de ventilación en mina*” de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Ingeniería de Minas.
5. Jiménez Ascanio Pablo (1997). “*Ventilación de minas subterráneas y túneles*”. *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*, Lima.
6. Llano Yoman Caxi (2017). “*estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera sotrami s.a. – uea santa filomena – aplicando el software ventsim*” de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa de la facultad de geología, geofísica y minas.
7. Malcolm Mc. Pherson. (1993) “*Subsurface mine ventilation*” Mine Ventilation Services 2nd. Edition.
8. Ministerio de Energía y Minas. (2016). D.S. 024-2016-EM. Congreso de la Republica, Minería, Seguridad y Salud ocupacional. Lima, Perú.
9. Ministerio de Energía y Minas. (2017). D.S. 023-2017-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima, Perú.
10. Quispe Díaz Carlos Alberto (2017). “*Diseño del sistema de ventilación principal para mejorar las condiciones termo – ambientales en mina mercedes u.m. san juan de Arequipa*” de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa de la facultad de geología, geofísica y minas.
11. Zitron (2010). “Ventilación de minas”

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 : Certificados de calibración del anemómetro marca TESTO modelo 480.**

<b>Kalibrier-Protokoll</b> Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage Certificato di taratura • Informe de calibración	<b>Be sure. testo</b>	
<b>Gerät / Module type / Modèle / Modelo:</b>	<b>0635 9542</b>	
<b>Serien-Nr. / Serial no. / No. de série / Número de serie:</b>	<b>61218944</b>	
<b>Tastaturtest / Keyboard test / Testes de clavier / Test del teclado:</b>	ok	
<b>Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:</b>		
<b>Sollwert / Reference / Référence / Referencia:</b>	<b>Toleranz / Tolerance / Tolérance / Tolerancia:</b>	<b>Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:</b>
<b>Strömung / Velocity / Vitesse d'air / Velocidad</b>		
10.0 m/s	± 0.3 m/s	10.0 m/s
20.0 m/s	± 0.4 m/s	20.0 m/s
<b>Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (NTC)</b>		
21.9 °C	± 1.8 °C	22.1 °C
<b>Datum / Date / Date / Fecha:</b>	<b>Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificador:</b>	
<b>19.04.2021</b>	<b>1991</b>	

**ANEXO 2. Certificados de calibración de la sonda de hilo caliente del anemómetro marca TESTO modelo 480.**

<b>Kalibrier-Protokoll</b>		<b>Be sure. </b>
<small>Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage Certificado di taratura • Informe de calibración</small>		
<b>Gerät / Module type / Modèle / Modelo:</b>		<b>0560 0480</b>
Serien-Nr. / Serial no. / No. de série / Número de serie:		<b>61219930</b>
Segmenttest / Display test / Testes d'affichage / Test del visualizador:		ok
Tastaturtest / Keyboard test / Testes de clavier / Test del teclado:		ok
<b>Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:</b>		
<b>Sollwert / Reference / Référence / Referencia:</b>	<b>Toleranz / Tolerance / Tolérance / Tolerancia:</b>	<b>Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:</b>
Druck / Pressure / Pression / Presión		
10.000 hPa	± 0.103 hPa	9.999 hPa
19.999 hPa	± 0.203 hPa	20.000 hPa
Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (TE1, TE2)		
500.0 °C	± 1.3 °C	499.9 °C
500.0 °C	± 1.3 °C	499.9 °C
Absolutdruck / Absolute pressure / Pression absolue / Presión absoluta		
918.2 hPa	± 3.0 hPa	918.1 hPa
Datum / Date / Date / Fecha:		Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificador:
<b>09.04.2021</b>		<b>426</b>

**ANEXO 3. Certificados de calibración de la sonda de paletas del anemómetro marca TESTO modelo 480.**

<b>Kalibrier-Protokoll</b> <small>Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage Certificato di taratura • Informe de calibración</small>	<b>Be sure. </b>	
<b>Gerät / Module type / Modèle / Modelo:</b>	<b>0635 1543</b>	
Serien-Nr. / Serial no. / No. de série / Número de serie:	<b>61197493</b>	
Tastaturtest / Keyboard test / Testes de clavier / Test del teclado:	ok	
<b>Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:</b>		
<b>Sollwert / Reference / Référence / Referencia:</b>	<b>Toleranz / Tolerance / Tolérance / Tolerancia:</b>	<b>Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:</b>
Strömung / Velocity / Vitesse d'air / Velocidad		
0.80 m/s	± 0.06 m/s	0.81 m/s
20.00 m/s	± 0.83 m/s	20.05 m/s
Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (NTC)		
25.0 °C	± 0.5 °C	25.2 °C
Relative Luftfeuchte / Relative humidity / Humidité relative / Humedad relativa		
11.3 % rF	± 1.9 % rF	11.2 % rF
75.2 % rF	± 2.3 % rF	75.2 % rF
Absolutdruck / Absolute pressure / Pression absolue / Presión absoluta		
922.3 hPa	± 3.0 hPa	922.2 hPa
Datum / Date / Date / Fecha:	Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificador:	
<b>05.04.2021</b>	<b>1872</b>	

***ANEXO 4. PLANOS***