

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Planificación, diseño y simulación 3D del sistema de ventilación
de una mina de oro en Guinea – África**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Arnold Isaías Tadeo Fabián

 [0009-0004-7457-8355](https://orcid.org/0009-0004-7457-8355)

Asesor

MSc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Tadeo Fabián [1]
Referencia/Reference	[1] A. Tadeo Fabián, <i>“Planificación, diseño y simulación 3D del sistema de ventilación de una mina de oro en Guinea – África”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Tadeo, 2024)
Referencia/Reference	Tadeo, A. (2024). <i>Planificación, diseño y simulación 3D del sistema de ventilación de una mina de oro en Guinea – África</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres y mi hermana por sus enseñanzas constantes incondicionales durante toda mi vida y por ser mi motivación de ser mejor cada día para cumplir mis sueños y metas.

Agradecimientos

Agradezco a mi Universidad Nacional de Ingeniería por ser parte de mi desarrollo profesional durante mis años de estudio. A mis profesores y colegas de Ingeniería de Minas por sus enseñanzas, críticas, aportaciones a la carrera. A mis asesores y jurado por su tiempo empleado en el desarrollo de mi proyecto. A Redco Global Perú por brindarme la oportunidad de desarrollar proyectos y la investigación.

Resumen

La minería a nivel mundial es una ciencia que abarca distintas disciplinas, engloba profesionales de distintos sectores, países, culturas. La minería africana se caracteriza por ser la cuna de los sistemas de refrigeración para las minas y el desarrollo de la Ingeniería en Ventilación Subterránea contiene un avance destacado en tecnología y aplicaciones. La ventilación minera es una especialización de la minería subterránea, su aplicabilidad e importancia radica en la seguridad de los trabajadores que ingresan a la mina y su correspondiente optimización del consumo energéticos; por ello diseñarla y planearla es crucial en cada etapa de un proyecto minero (Conceptualmente, en la Prefactibilidad, en la Factibilidad, durante la ingeniería a detalle y cada año de exploración y operación). Si no se tuviera una adecuada ventilación en los frentes de desarrollo, preparación, exploración, entre otros, quedarían paralizados ocasionando pérdidas en la producción, en el cumplimiento de objetivos y por ende en la rentabilidad del proyecto. En la presente investigación se diseñará y planeará el sistema de ventilación de un proyecto minero de 11 años de vida útil con el soporte del software Ventsim de una mina de oro africana de 400m de profundidad con un método de explotación Sub Level Stopping que garantice una cobertura de aire proyectada mayor al 100% durante cada año bajo criterios de diseño aceptados internacionalmente y el cumplimiento de la norma Ghana.

La metodología usada para este estudio se centra en definir inicialmente la mejor forma de calcular y considerar el requerimiento de aire proyectado según equipos, personas, labores a operar y requerimientos mínimos, resultando que la mina obtendrá un requerimiento máximo de aire de 409.8 m³/s (868 kcfm) en el año 2028 basándonos principalmente en la cantidad de equipos y personas. La producción de 3750 ktpd (1.37 Mtpa) implica tener 5 frentes activos de producción acompañados de sus frentes de preparación y desarrollo. De esta manera nos basamos en calcular la ventilación auxiliar donde considerando dos escenarios; uno donde en el frente solo ingresará el Scoop CAT R2900G de 9 yd³ el caudal requerido como mínimo es 18.1 m³/s (38.3 kcfm) para labores de producción y preparación

y un segundo escenario donde ingresará el Scoop y un Volquete Modelo Sandvik TH663 de 63 Ton resultando el caudal requerido como mínimo en el frente de 36.2 m³/s (76.7 kcfm) para las labores de desarrollo. Al definir el requerimiento por frente, se determinó el diámetro óptimo de las mangas a utilizar (1.4m) para las labores.

El diseño también comprueba el cumplimiento mínimo en cada labor de 0.75 m/s para las labores de desarrollo y 0.5 m/s para las labores de producción y preparación en todos los años la velocidad mínima establecida por la normativa Ghana.

Debido a que la mina se encuentra en el continente africano, existe una posibilidad de poseer temperaturas por encima de los 32.5°C de bulbo húmedo en las labores más profundas por la cercanía a la Línea Ecuatorial y la temperatura de la roca virgen de la roca, sin embargo, la temperatura de bulbo húmedo en superficie es de 26.5°C, la temperatura de roca virgen según estudios considerados es de 25°C, la gradiente geotérmica es de 2°C/100m y una profundidad de 400 m. Por ello, la simulación de temperatura en todos los casos resulta con temperatura en las labores menores a 32.5°C Tbh, recomendando que para las labores por encima de los 28.5°C se deberá utilizar cámaras de aire acondicionado para los trabajadores.

También se analizó desde el punto de vista económico, determinando y comparando el costo de ventilación de 1.45 \$/t de la mina con minas en el África de similares características. Dando como resultado menor al promedio de minas.

De esta manera concluimos que la planificación y diseño del sistema de ventilación no solo cumple con satisfacer la cobertura de aire mayor al 100%, además de cumplir la normativa de Ghana, sino también desde el punto de vista económico es atractivo a diferencia de otras minas de similares características.

Palabras clave — Diseño, ventilación, caudal, temperatura, costo.

Abstract

Global mining is a science that encompasses various disciplines and brings together professionals from different sectors, countries, and cultures. African mining is renowned as the birthplace of cooling systems for mines, and the development of Underground Ventilation Engineering represents a significant advancement in technology and applications. Mine ventilation is a specialization within underground mining, and its importance lies in the safety of workers entering the mine and in optimizing energy consumption. For this reason, designing and planning ventilation systems is crucial at every stage of a mining project (conceptually, in Prefeasibility, Feasibility, detailed engineering, and throughout each year of exploration and operation). Without proper ventilation in development, preparation, exploration, and other mining fronts, operations would be halted, leading to production losses, failure to meet objectives, and ultimately reduced project profitability.

This research focuses on designing and planning the ventilation system for an 11-year mining project using Ventsim software for an African gold mine at a depth of 400 meters. The mine will utilize the Sub Level Stoping extraction method, ensuring a projected air coverage of over 100% each year, in accordance with internationally accepted design criteria and compliance with Ghanaian regulations.

The methodology used in this study begins by defining the best approach to calculating and considering the projected air requirements based on equipment, personnel, tasks to be performed, and minimum requirements. As a result, the mine will require a maximum air demand of 409.8 m³/s (868 kcfm) in 2028, primarily based on the number of equipment and workers. The production rate of 3,750 ktpd (1.37 Mtpa) will involve 5 active production fronts, accompanied by preparation and development fronts. The ventilation design is based on two scenarios: the first scenario involves only the Scoop CAT R2900G (9 yd³), with a minimum required airflow of 18.1 m³/s (38.3 kcfm) for production and preparation tasks; the second scenario includes both the Scoop and a Sandvik TH663 63-ton truck, resulting in a

required airflow of 36.2 m³/s (76.7 kcfm) for development tasks. Based on this, the optimal diameter of the ventilation ducts (1.4m) for these tasks was determined.

The design also ensures compliance with the minimum airflow velocity for each task, which is 0.75 m/s for development tasks and 0.5 m/s for production and preparation tasks, as per Ghanaian regulations, across all operational years.

Given that the mine is located in Africa, there is a possibility of temperatures exceeding 32.5°C wet bulb at deeper levels due to its proximity to the Equator and the temperature of the virgin rock. However, the surface wet bulb temperature is 26.5°C, the virgin rock temperature is 25°C according to studies, the geothermal gradient is 2°C/100m, and the depth is 400 meters. Temperature simulations for all cases show that the temperature at work levels will remain below 32.5°C wet bulb, with the recommendation that air-conditioned chambers should be used for workers in areas with temperatures exceeding 28.5°C.

An economic analysis was also conducted, comparing the ventilation cost of \$1.45 per ton for this mine with other mines in Africa with similar characteristics. The result shows that the cost is lower than the average for comparable mines.

In conclusion, the planning and design of the ventilation system not only ensures air coverage exceeding 100% and compliance with Ghanaian regulations, but also proves economically attractive compared to other mines with similar characteristics.

Keywords — Design, ventilation, flow, temperature, cost.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vii
Introducción	xvii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Antecedentes Investigativos	3
1.5 Hipótesis.	5
1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.5.2 Hipótesis específica.....	5
1.6 Operacionalización de variables	5
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 ¿Qué determina la elección de un ventilador?.....	8
2.1.2 Cálculo del caudal requerido por equipos	8
2.1.3 Cálculo del caudal requerido por personas.....	8
2.1.4 Cálculo del caudal total requerido por fugas.....	8
2.1.5 Cálculo de la presión total	9
2.1.6 La altura de trabajo y la densidad del aire	9
2.1.7 Cálculo de potencias del ventilador	9
2.1.8 Cálculo de eficiencias del ventilador	10
2.1.9 Ley Cuadrática de la ventilación minera	11
2.1.10 Factor de fricción.....	12

2.1.11	Cálculo de la curva característica de mina	13
2.2	Marco conceptual	14
2.2.1	Ubicación y descripción de la mina.....	14
2.2.2	Criterios de diseño – velocidades limites labores.	15
2.2.3	Criterios de diseño – velocidades limites ductos.....	16
2.2.4	Estimación de los parámetros de fricción	17
2.2.5	Parámetros y condiciones superficiales.....	18
2.2.6	Legislación y marco regulatorio considerado para el diseño.....	18
2.2.7	Software Ventsim™ Design 5.4	20
	Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	22
3.1	Cálculo de la demanda para la ventilación auxiliar.	22
3.1.1	Cálculo de caudal – frente desarrollo.....	22
3.1.2	Cálculo de caudal – frente producción y preparación	22
3.2	Cálculo de la demanda para la ventilación principal.	24
3.2.1	Cálculo de la demanda por año por equipos y personas.	24
3.2.2	Cálculo de la demanda por velocidad mínimas.....	26
3.2.3	Cálculo de la demanda por secciones	28
3.3	Determinación del diámetro óptimo – ducto de ventilación	32
3.4	Simulación y diseño del sistema de ventilación	33
3.4.1	Simulación de caudal y temperatura año 2023.....	33
3.4.2	Simulación de caudal y temperatura año 2024.....	37
3.4.3	Simulación de caudal y temperatura año 2025.....	42
3.4.4	Simulación de caudal y temperatura año 2026.....	46
3.4.5	Simulación de caudal y temperatura año 2027.....	51
3.4.6	Simulación de caudal y temperatura año 2028.....	56
3.4.7	Simulación de caudal y temperatura año 2029.....	61
3.4.8	Simulación de caudal y temperatura año 2030.....	66
3.4.9	Simulación de caudal y temperatura año 2031.....	71

3.4.10 Simulación de caudal y temperatura año 2032.....	76
3.4.11 Simulación de caudal y temperatura año 2033.....	81
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	85
4.1 Resultados ventilación principal.....	85
4.2 Resultados consumo potencia anual ventilación	87
4.3 Lista de ventiladores y consumibles por año	88
4.4 Cálculo costo ventilación mina	89
4.5 Comprobación de hipótesis	92
4.5.1 Comprobación de hipótesis general	92
4.5.2 Comprobación de hipótesis específica N°01.....	94
4.5.3 Comprobación de hipótesis específica N°02.....	97
4.5.4 Comprobación de hipótesis específica N°03.....	101
Conclusiones	104
Recomendaciones	107
Referencias bibliográficas.....	111
Anexos	113

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2 : Matriz de consistencia.....	7
Tabla 3 : Velocidades máximas recomendadas por labor	15
Tabla 4 : Caudales máximos y mínimos por labores horizontales y verticales	16
Tabla 5 : Criterio de diseño – conductos flexibles o mangas de ventilación	17
Tabla 6 : Factores de fricción estimados por tipo de sección	17
Tabla 7 : Velocidades máximas y mínimas por labor	19
Tabla 8 : Requerimiento de caudal y condiciones de temperatura	19
Tabla 9 : Condiciones de temperatura	19
Tabla 10: Requerimiento auxiliar – escenario volquete – Scoop	22
Tabla 11: Requerimiento auxiliar – escenario Scoop	23
Tabla 12: Cantidad de equipos y personas que ingresaran a la mina	24
Tabla 13: Requerimiento de caudal por equipos y personas por año.....	25
Tabla 14: Parámetros de las secciones de producción, desarrollo y preparación	26
Tabla 15: Requerimiento anual de caudal por velocidades mínimas.....	27
Tabla 16: Parámetros de las secciones de producción, desarrollo y preparación	28
Tabla 17: Requerimiento anual de caudal por requerimiento de secciones.....	29
Tabla 18: Requerimiento anual de caudal máximo calculado.....	30
Tabla 19: Tabla resumen diámetro óptimo – Ducto de ventilación	32
Tabla 20: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – Año 2023.....	34
Tabla 21: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2023.....	37
Tabla 22: Tabla resultados cobertura de aire – año 2024	39
Tabla 23: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2024.....	39
Tabla 24: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2024.....	40
Tabla 25: Tabla resultados cobertura de aire – año 2025	42
Tabla 26: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2025.....	44

Tabla 27: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2025	44
Tabla 28: Tabla resultados cobertura de aire – año 2026	46
Tabla 29: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2026.....	48
Tabla 30: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2026.....	49
Tabla 31: Tabla resultados cobertura de aire – año 2027	51
Tabla 32: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2027.....	53
Tabla 33: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2027	54
Tabla 34: Tabla resultados cobertura de aire – año 2028	56
Tabla 35: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2028.....	58
Tabla 36: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2028.....	59
Tabla 37: Tabla resultados cobertura de aire – año 2029	61
Tabla 38: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2029.....	63
Tabla 39: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2029.....	64
Tabla 40: Tabla resultados cobertura de aire – año 2024	66
Tabla 41: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2030.....	68
Tabla 42: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2030.....	69
Tabla 43: Tabla resultados cobertura de aire – año 2031	71
Tabla 44: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2031.....	73
Tabla 45: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2031	74
Tabla 46: Tabla resultados cobertura de aire – año 2032	76
Tabla 47: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2032.....	78
Tabla 48: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2032.....	79
Tabla 49: Tabla resultados cobertura de aire – año 2033	81
Tabla 50: Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2033.....	83
Tabla 51: Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2033.....	83
Tabla 52: Requerimiento anual de ventiladores + consumibles.....	88
Tabla 53: Cálculo de Capex ventilación	89
Tabla 54: Cálculo del Opex ventilación	90

Tabla 55: Cálculo del costo de ventilación	91
Tabla 56: Tabla resultados coberturas de aire (2024-2025)	92
Tabla 57: Validación estadística descriptiva de hipótesis general	92
Tabla 58: Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°1	94
Tabla 59: Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°2	98
Tabla 60: Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°3	102

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Factores de fricción y coeficientes de fricción según tipo de labor	12
Figura 2 : Curva característica de un ventilador minero	14
Figura 3 : Ubicación de la mina en África.....	15
Figura 4 : Demanda total caudal m ³ /s por año.....	31
Figura 5 : Rangos permitidos caudal (m ³ /s) por diámetro de manga	32
Figura 6 : Diseño completo de la mina con los cuerpos de mineral o Stopes	33
Figura 7 : Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2023	35
Figura 8 : Simulación de temperatura de bulbo húmedo – año 2023	36
Figura 9 : Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2024	38
Figura 10: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2024	41
Figura 11: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2025	43
Figura 12: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2025	45
Figura 13: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2026	47
Figura 14: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2026	50
Figura 15: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2027	52
Figura 16: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2027	55
Figura 17: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2028	57
Figura 18: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2028	60
Figura 19: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2029	62
Figura 20: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2030	65
Figura 21: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2030	67
Figura 22: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2030	70
Figura 23: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2031	72
Figura 24: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2031	75
Figura 25: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2032	77
Figura 26: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2032	80

Figura 27: Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2033	82
Figura 28: Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2033	84
Figura 29: Comparación simulación vs. requerimiento por año de caudal de aire	86
Figura 30: Perfil de potencias eléctricas (ventilación principal y auxiliar).....	87
Figura 31: Prueba de normalidad de hipótesis general	93
Figura 32: Resultados Prueba T-Student de comprobación de hipótesis general	93
Figura 33: Prueba de normalidad de hipótesis específica N°1	95
Figura 34: Resultados de Prueba T-Student de comprobación de hipótesis específica N°1.1	96
Figura 35 Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°1.2	97
Figura 36 Prueba de normalidad de hipótesis específica N°2	98
Figura 37: Resultados Prueba T-Student de comprobación de hipótesis específica N°2.1	99
Figura 38: Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°2.2	100
Figura 39: Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°2.3	101
Figura 40: Prueba de normalidad de hipótesis específica N°3	102
Figura 41: Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°3.....	103
Figura 42: Ubicación de cámara de aire acondicionado para los trabajadores.....	107
Figura 43: Imagen referencial de diseño de cámaras de aire acondicionado	108
Figura 44: Tipo de instalación de puertas de ventilación recomendadas.....	108
Figura 45: Imagen referencial de instalación puertas herméticas con ventiladores en paralelo.....	109
Figura 46: Imagen referencial de los sensores de presiones y pt100 instalados en el sistema en paralelo	110

Introducción

El impacto de la ventilación minera en el diseño y secuenciamiento del plan de minado es determinante, puede robustecerlo o puede causar incumplimiento de objetivos. En la presente tesis se da a conocer el diseño del sistema integral de ventilación de una operación minera en África, continente que posee un tercio de las reservas minerales del planeta como el oro, platino, diamanta, cobalto, entre otros y una tecnología de la ventilación minera que cautiva a los ingenieros de ventilación, tecnologías como sistemas de refrigeración para disminuir altas temperaturas como son los Spray Chambers que mediante el bombeo de agua helada enfrían el aire que ingresa a las minas o las fábricas de hielo en superficie o interior mina para obtener agua a 1°C de temperatura. Estas tecnologías son muy reconocidas a nivel mundial.

Para el diseño de ventilación de la mina se integró variables como la ubicación geográfica de la mina, método de explotación, geología, comportamiento geomecánica de la roca, ritmos de producción, costos operativos, condiciones operativas y termo ambientales, vida útil de la mina, temperatura de roca virgen, entre otros con el objetivo de determinar en el mejor diseño y simulación de caudales y temperatura. De esta manera concluimos que el ingreso de aire proyectado cumple con el requerimiento anual de la mina garantizando la producción de 3750 ktpd bajo un consumo energético óptimo y una temperatura de bulbo húmedo menor a 32.5°C según normativa de la legislación Ghana

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

El consumo energético es parte fundamental en el desarrollo de un proyecto minero. Por lo general la planta de procesos o planta concentradora representa más del 50% del consumo total en una operación minera, sin embargo, la ventilación y en especial en el África puede llegar inclusive a representar un porcentaje similar (30-50%) debido a las diversas minas que utilizan sistemas de refrigeración para enfriar el aire que ingresa y se distribuye hacia cada labor. Por ello su diseño y planificación posee una importancia única para garantizar el tonelaje anual comprometido.

Planificar el sistema de ventilación de una mina no es nada sencillo, intervienen diversos factores: Tipos de Equipos, Criterios de diseño, Normativa Aplicable, Condiciones Operativas, Condiciones Termo-ambientales, entre otros. Por ello su complejidad puede ser resuelta con el soporte del software Ventsim que utiliza el método de Hardy Cross para simular caudales, velocidad, potencia, temperatura, fricción, recirculación, polvo, explosivos, contaminantes, entre otros, realiza iteraciones con un factor error menor al 1% hasta lograr un grado aceptable de error.

1.2 Descripción del problema de investigación

Desde el inicio de un proyecto minero y de acuerdo con sus recursos y reservas, se planifica su vida útil y el tonelaje anual a extraer. Este tonelaje anual se convierte en tasas de producción diaria, por turno y por hora cuando se habla del corto plazo y de cumplimientos de planes semanales.

Si no se realizara una correcta planificación del sistema de ventilación ocasionaría dimensionar capacidades de ventiladores erróneas, diámetros de mangas que choquen con los equipos de acarreo, recirculaciones, gaseamiento del personal, paralizaciones en el proceso de extracción del mineral. Si una labor no está correctamente ventilada, no se ingresará para perforar, limpiar o sostener, quedaría paralizada completamente. He ahí la importancia de diseñar y calcular las mejores alternativas y practicas con criterios de

simulación según diferentes estudios realizados en minas de Canadá, Australia, Brasil y África especialmente.

La recirculación es uno de los mayores problemas ocasionados muchas veces por una mala planificación. La restricción por ventilación no es agregada correctamente a los planes de largo plazo y operaciones mina sigue avanzando y profundizando sin darse cuenta de que algún momento el sistema puede colapsar.

Cuando el cálculo del requerimiento máximo por frente de trabajo se toma a la ligera, ocasionaría que la instalar ventiladores de capacidades menores a la demanda de las zonas de producción, también resultaría en recirculación y por lo tanto en concentración altas de NO₂ y CO. En minas del África donde la temperatura virgen de la roza oscila entre 45 a 60`C.

La planificación juega un papel importante, ya que, si no se realiza una correcta planificación de la necesidad correcta de aire para diluir el calor en una mina, se elevarían las temperaturas de trabajo influyendo directamente en el confort de los trabajadores y en la producción mina.

Por lo que mantener una producción continua implica no tener demoras durante la operación, sobre todo en ventilación. Poseer frentes ventilados, labores subterráneas con aire limpio y extraer todo el aire viciado evita accidentes como el gaseamiento del personal. Por lo tanto, se deberá de cumplir con el requerimiento anual de aire por todos los años que dura el proyecto minero, de esta manera se plantea la planificación y el diseño del sistema de ventilación a largo plazo (por 11 años) que permitirá conocer la ubicación y capacidad de los ventiladores principales y secundarios. Así como un correcto control del calor en interior mina.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Planificar y diseñar el sistema de ventilación a largo plazo (11 años) para satisfacer la cobertura de aire proyectada mayor al 100% con el software 3D Ventsim en una mina de Guinea-África.

1.3.2 Objetivos específicos

- Comprobar que el diseño del sistema de ventilación asegura el cumplimiento del tonelaje diario proyectado de 3750 tpd bajo el cumplimiento de mínimo de 36.2 m³/s por labor de desarrollo y 18.1 m³/s por labor de producción y preparación.
- Comprobar que el diseño del sistema de ventilación a largo plazo cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana bajo el cumplimiento mínimo de una velocidad de 0.75 m/s por labor de desarrollo y 0.5 m/s por labor de producción y preparación y una temperatura de bulbo húmedo menor a 32.5°C.
- Determinar que el diseño del sistema de ventilación mejora la productividad respecto al bajo costo que representa la ventilación respecto al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).

1.4 Antecedentes Investigativos

Kudakwashe Dzwiti and Victor Mutambo (2018) utilizaron el software Ventsim™ para calcular el tamaño óptimo de las infraestructuras de ventilación en la mina Konkola (Chililabombwe – Zambia – África) explotada por la empresa Konkola Copper Mine PLC, con el objetivo de aumentar la producción anual de 2.4 a 7.5 millones de toneladas de cobre, esto se iba a llevar a cabo con una mecanización total de la mina, por ello el satisfacer una mayor demanda de aire era el objetivo principal. Con el software Ventsim lograron analizar y desarrollar estrategias para la reducción de los costos operativos del sistema de ventilación; se logró simular 60 airways a una reducción de costos de \$ 1 715, 158 y un ahorro energético anual de \$ 355, 659.

Fred Mungalaba (2016) en su tesis “Diseño del Sistema de Ventilación de la mina Mindola Deep Shaft (Kitwe – Zambia - África)” menciona que “Con el objetivo de reducir y controlar los altos niveles de temperatura en interior mina, se calculó la cantidad total de carga térmica de las principales fuentes de calor (32, 033 KW), así como el caudal requerido para satisfacer la demanda de aire, el caudal estimado requería un aumento de 624 m³/s a 826.45 m³/s.

Es por ello por lo que se dimensiono un sistema de refrigeración de capacidad 25.5 MW y la adquisición de un segundo ventilador principal en el eje V9; de esta manera reducirán las temperaturas de $t_w = 32.5^{\circ}\text{C}$ y $t_d = 35^{\circ}\text{C}$ a $t_w = 28^{\circ}\text{C}$ y $t_d = 32^{\circ}\text{C}$, permitidas por normativa Zambia.

Francis Chilumba Chewe (2016) en su tesis “Diseño y planificación de la mina Mufulira (Copperbelt, Zambia, Africa)” manifiesta el objetivo de optimizar el sistema de ventilación relacionado al diseño de un sistema de refrigeración de la mina Mufulira, explotada por la empresa Mopani Copper Mines Plc, debido a la cantidad de aire requerida 1486.12 m³/s para diluir la carga térmica total de la mina de 45, 207.81 KW. De esta manera reducirán las temperaturas de $t_w = 33.5^{\circ}\text{C}$ y $t_d = 37^{\circ}\text{C}$ a $t_w = 28^{\circ}\text{C}$ y $t_d = 32^{\circ}\text{C}$, permitidas por normativa Zambia.

Derrington (2015) manifiesta de uso del software VentsimTM que “He estado usando Ventsim para diseñar y solucionar problemas en mis trabajos de Consultorías desde 1995. Este software ha integrado una amplia gama de tipos de flujos de aire, calor, fuego y funciones de modelamiento de radiación, que antes requerían programas y cálculos externos.

Sin embargo, las características más importantes son sus gráficos claros en 3D y su capacidad para la caracterización rápida de un modelo, mediante la importación de archivos con el diseño de tu mina”.

McPherson (2016) manifiesta acerca de la planificación del sistema de ventilación de minas lo siguiente “El diseño de un sistema principal de ventilación y control ambiental subterráneo es un proceso complejo con muchos factores interactivos. Se deben aplicar los principios de los análisis de sistemas para asegurar que las consecuencias de tales interacciones no sean pasadas por alto. Sin embargo, la ventilación y el entorno subterráneo no deben ser tratados por separado sino durante los ejercicios de planificación. Ellos son, en sí mismo, una parte integral del sistema general de la mina o instalación subterránea”.

1.5 Hipótesis.

1.5.1 Hipótesis general.

La planificación y diseño del sistema de ventilación a largo plazo permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% en todos los años con el soporte del software 3D Ventsim.

1.5.2 Hipótesis específica.

- El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, debido a que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m³/s y 18.1 m³/s respectivamente.
- El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, ya que la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación se encuentran por encima de 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.
- El diseño del sistema de ventilación contempla un costo por ventilación menor al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).

1.6 Operacionalización de Variables

En la Tabla 1 se muestra la variable independiente y dependiente con sus respectivos indicadores, así como también la matriz de consistencia en la Tabla 2.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS	POBLACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	POBLACIÓN
Planificación a largo plazo del sistema de ventilación	Cobertura de aire proyectado mayor a 100%	Caudal (m3/s) Cobertura (%)	Caudal de aire en los puntos de ingreso en Software Ventsim	Todos los ingresos y salidas de aire Muestra Coberturas 2024-2033
VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	ANÁLISIS DE VARIABLES
Sistema de Ventilación a largo plazo	*Caudal de aire en labores de desarrollo, producción y preparación *Velocidad de aire en labores de desarrollo, producción y preparación *Temperatura de bulbo húmedo en labores de desarrollo, producción y preparación. *Costo de Ventilación Mina	*Caudal (m3/s) *Velocidad de aire (m/s) *Temperatura bulbo húmedo (°C) *Costo de Ventilación Mina (\$/t)	Caudal, Velocidad de aire, Temperatura de bulbo húmedo en Software Ventsim y costo de ventilación mina.	Las herramientas estadísticas serán la T-Student, Wilcoxon con un índice de confianza del 95% mediante el paquete estadístico SPSS.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2

Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
¿El planeamiento y diseño a largo plazo del sistema de ventilación de la mina permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% utilizando el software 3D Ventsim?	La planificación y diseño del sistema de ventilación a largo plazo permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% en todos los años con el soporte del software 3D Ventsim	Planificar y diseñar el sistema de ventilación a largo plazo (11 años) para satisfacer la cobertura de aire proyectada mayor al 100% con el software 3D Ventsim en una mina de Guinea-África.	X = Planificación a largo plazo del sistema de ventilación Indicadores X1 = Caudal (m3/s) X2 = Cobertura (%)
PROBLEMA ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES DEPENDIENTES
<p>a. ¿El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, logrando que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m3/s y 18.1 m3/s respectivamente?</p> <p>b. ¿El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina lograra cumplir con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, y obtendrá resultado de la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación mayores a 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.?</p> <p>c. ¿El diseño del sistema de ventilación resultara con un costo por ventilación menor al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).</p>	<p>a. El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, debido a que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m3/s y 18.1 m3/s respectivamente.</p> <p>b. El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, ya que la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación se encuentran por encima de 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.</p> <p>c. El diseño del sistema de ventilación contempla un costo por ventilación menor al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).</p>	<p>a. Comprobar que el diseño del sistema de ventilación asegura el cumplimiento del tonelaje diario proyectado de 3750 tpd bajo el cumplimiento de mínimo de 36.2 m3/s por labor de desarrollo y 18.1 m3/s por labor de producción y preparación..</p> <p>b. Comprobar que el diseño del sistema de ventilación a largo plazo cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana bajo el cumplimiento mínimo de una velocidad de 0.75 m/s por labor de desarrollo y 0.5 m/s por labor de producción y preparación y una temperatura de bulbo húmedo menor a 32.5°C.</p> <p>c. Determinar que el diseño del sistema de ventilación mejora la productividad respecto al bajo costo que representa la ventilación respecto al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).</p>	<p>Y = Sistema de Ventilación a largo plazo</p> <p>Indicadores Y1 = Caudal (m3/s) Y2 = Velocidad (m/s) Y3 = Temperatura bulbo húmedo (°C) Y4 = Costos de Ventilación Mina (\$/t)</p>

Fuente: Elaboracion propia

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 ¿Qué determina la elección de un ventilador?

Lo que determina en un principio la elección de un ventilador minero son 2 parámetros importantes: Caudal y La caída de Presión Total, que permitirán hallar el tipo de motor a utilizar. En segundo lugar, el tipo y ubicación de la instalación del ventilador puede darse en superficie o interior mina, asimismo el diámetro del ventilador puede ajustarse a las necesidades del sistema –mina.

2.1.2 Cálculo del caudal requerido por equipos

Para el cálculo del caudal necesario para diluir el monóxido de carbono (CO) emitido por los equipos diésel.

$$QEQ = 3xHPxDmxFu \quad (1)$$

Donde:

QEQ = Caudal por equipos (m³/min)

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs)

Dm = Disponibilidad Mecánica promedio de los equipos (%)

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

2.1.3 Cálculo del caudal requerido por personas

Para el cálculo del caudal necesario por cada trabajador se utilizará la siguiente formula:

$$QTR = FxN \quad (2)$$

Donde:

QTR = Caudal por trabajadores (m³/min)

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa

2.1.4 Cálculo del caudal total requerido por fugas

La presente fórmula corresponde al cálculo de caudal requerido por fuga de aire.

$$QXF = Qt * 15\% \quad (3)$$

2.1.5 Cálculo de la presión total

Para el cálculo de la caída de presión total se posee la siguiente formula:

$$TP = SP + DP \quad (4)$$

Donde:

TP = Presión total (pulg. de H2O)

SP = Presión estática (pulg. de H2O)

DP = Presión dinámica (pulg. de H2O)

2.1.6 La altura de trabajo y la densidad del aire

Por lo general las minas subterráneas se ubican a grandes altitudes y a temperaturas bajas (muchas veces bajo 0°), por ello la densidad de aire cambia disminuyendo a medida que aumenta la altitud. El cambio en la densidad de aire afecta directamente en el consumo de HPs del ventilador, presiones del ventilador, amperaje, entre otros parámetros.

Según la altitud y temperatura se debe utilizar un factor de corrección, con el cual se determina cuanto consumirá en HPs el ventilador a la altitud correspondiente, de esa manera definir el motor correcto para el ventilador minero.

2.1.7 Cálculo de potencias del Ventilador

La potencia eléctrica viene hacer la energía que se trasmite desde el tablero arrancador del ventilador al motor. Se calcula de la siguiente manera:

$$Pe = \frac{\sqrt{3}xVxAxcos\phi}{74570} \quad (5)$$

Donde:

Pe = Potencia eléctrica (HP)

V = Voltaje (V)

A = Amperaje (Amp)

Cosφ = Factor de potencia (Adimensional)

El factor de potencia depende del tipo de motor y del trabajo que el motor está ejerciendo. Su valor por lo general se encuentra en el data sheet del motor y dada por el fabricante.

La potencia del eje es la energía transmitida por el motor, repartida de la potencia eléctrica, se calcula de la siguiente manera:

$$BHP = \frac{\sqrt{3} \times V \times A \times \cos\phi \times eff_e}{74570} \quad (6)$$

Donde:

- BHP = Potencia del eje (BHP)
- V = Voltaje (V)
- A = Amperaje (Amp)
- Cosφ = Factor de potencia (Adimensional)
- Effe = Eficiencia eléctrica (%)

La potencia Aerodinámica o también llamada potencia del ventilador es la energía transmitida del eje del motor al aire. Se calcula de la siguiente manera:

$$AHP = \frac{TP \times Q}{6346} \quad (7)$$

Donde:

- AHP = Potencia Aerodinámica (HP)
- TP = Presión total (pulg. H2O)
- Q = Caudal requerido (cfm)

2.1.8 Cálculo de eficiencias del ventilador

La eficiencia del ventilador es la eficiencia aerodinámica. Se calcula de la siguiente manera:

$$eff_a = \frac{AHP}{BHP} \quad (8)$$

Donde:

- eff_a = Eficiencia aerodinámica (%)
- AHP = Potencia Aerodinámica (HP)
- BHP = Potencia del eje (BHP)

Pe = Potencia eléctrica (HP)

La eficiencia eléctrica dependerá del tipo de motor, por ende, del fabricante de motores. Se calcula de la siguiente manera:

$$eff_e = \frac{BHP}{P_e} \quad (9)$$

Donde:

eff_a = Eficiencia aerodinámica (%)

2.1.9 Ley Cuadrática de la Ventilación Minera

Define el diseño de ventilación en cualquier punto que se requiera realizar, determina el punto de operación de un ventilador minero. Asimismo, que define la resistencia que posee una mina en operación.

$$TP = R \times Q^2 \quad (10)$$

Donde:

TP = Presión total ("H₂O)

R = Resistencia mina (pulg. min²/pies⁶)

Q = Caudal requerido (pies³/min)

La resistencia mina es una cantidad que varía según el tipo de terreno, choques, la fricción, longitud y área de la sección de trabajo. A continuación, se muestra cómo se calcula:

$$R = \frac{K \times P \times L}{5.2 \times A^3} \quad (11)$$

Donde:

R = Resistencia mina (pulg. min²/pies⁶)

K = Coeficiente de fricción (lb-f. min²/pies⁴)

P = Perímetro de la sección (pies)

L = Longitud de la sección (pies)

A = Área de la sección (pies)

5.2 = Constante conversión (1 pulg.H₂O = 5.2 lb-f/pies²)

2.1.10 Factor de Fricción

El factor de fricción depende de la aspereza y el tipo de revestimiento de la excavación. A continuación, mostramos en la Figura 1 donde se muestra los factores de fricción utilizados en las minas subterráneas.

Figura 1

Factores de fricción y coeficientes de fricción según tipo de labor

	Friction factor, k kg/m ³	Coefficient of friction, f (dimensionless)
Rectangular Airways		
Smooth concrete lined	0.004	0.0067
Shotcrete	0.0055	0.0092
Unlined with minor irregularities only	0.009	0.015
Girders on masonry or concrete walls	0.0095	0.0158
Unlined, typical conditions no major irregularities	0.012	0.020
Unlined, irregular sides	0.014	0.023
Unlined, rough or irregular conditions	0.016	0.027
Girders on side props	0.019	0.032
Drift with rough sides, stepped floor, handrails	0.04	0.067
Steel Arched Airways		
Smooth concrete all round	0.004	0.0067
Bricked between arches all round	0.006	0.01
Concrete slabs or timber lagging between flanges all round	0.0075	0.0125
Slabs or timber lagging between flanges to spring	0.009	0.015
Lagged behind arches	0.012	0.020
Arches poorly aligned, rough conditions	0.016	0.027
Metal Mines		
Arch-shaped level drifts, rock bolts and mesh	0.010	0.017
Arch-shaped ramps, rock bolts and mesh	0.014	0.023
Rectangular raise, untimbered, rock bolts and mesh	0.013	0.022
Bored raise	0.005	0.008
Beltway	0.014	0.023
TBM drift	0.0045	0.0075
Coal Mines: Rectangular entries, roof-bolted		
Intakes, clean conditions	0.009	0.015
Returns, some irregularities/ sloughing	0.01	0.017
Belt entries	0.005 to 0.011	0.0083 to 0.018
Cribbed entries	0.05 to 0.14	0.08 to 0.23
Shafts¹		
Smooth lined, unobstructed	0.003	0.005
Brick lined, unobstructed	0.004	0.0067
Concrete lined, rope guides, pipe fittings	0.0065	0.0108
Brick lined, rope guides, pipe fittings	0.0075	0.0125
Unlined, well trimmed surface	0.01	0.0167
Unlined, major irregularities removed	0.012	0.020
Unlined, mesh bolted	0.0140	0.023
Tubbing lined, no fittings	0.007 to 0.014	0.0012 to 0.023
Brick lined, two sides buntons	0.018	0.030
Two side buntons, each with a tie girder	0.022	0.037
Longwall faceline with steel conveyor and powered supports²		
Good conditions, smooth wall	0.035	0.058
Typical conditions, coal on conveyor	0.05	0.083
Rough conditions, uneven faceline	0.065	0.108
Ventilation ducting³		
Collapsible fabric ducting (forcing systems only)	0.0037	0.0062
Flexible ducting with fully stretched spiral spring reinforcement	0.011	0.018
Fibreglass	0.0024	0.0040
Spiral wound galvanized steel	0.0021	0.0035

Fuente: McPherson (2017)

Hay que considerar que dichos valores corresponden a una densidad del aire ($\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$), cuando varíe la altitud, variará la densidad del aire, por ende, resultara otro valor de K , al cual denominamos “ K estandarizado”:

$$K' = \frac{K \rho}{\rho'} \quad (12)$$

Donde:

- K' = K estandarizado en la ubicación
- P = Densidad del aire (Kg/m³)
- K = K a nivel del mar
- ρ' = Densidad del aire en la ubicación (Kg/m³)

Es muy importante el poder analizar la velocidad del aire, ya sea en las secciones de interior mina, como en el interior del ventilador y las mangas de ventilación. Es por ello se considera la siguiente fórmula para hallar la Presión Dinámica, presión que depende solo de la velocidad del aire.

$$DP = \frac{\rho V^2}{2} \quad (13)$$

Donde:

- DP = Presión Dinámica (Pa)
- P = Densidad del aire (Kg/m³)
- V = Velocidad del aire (m/s)

Considerar la densidad del aire de la ubicación correspondiente a la medición de la velocidad del aire. De trabajar la presión dinámica en “pulg. H₂O”, se tiene la siguiente conversión:

$$1 \text{ pulg H}_2\text{O} = 248.84 \text{ Pa}$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

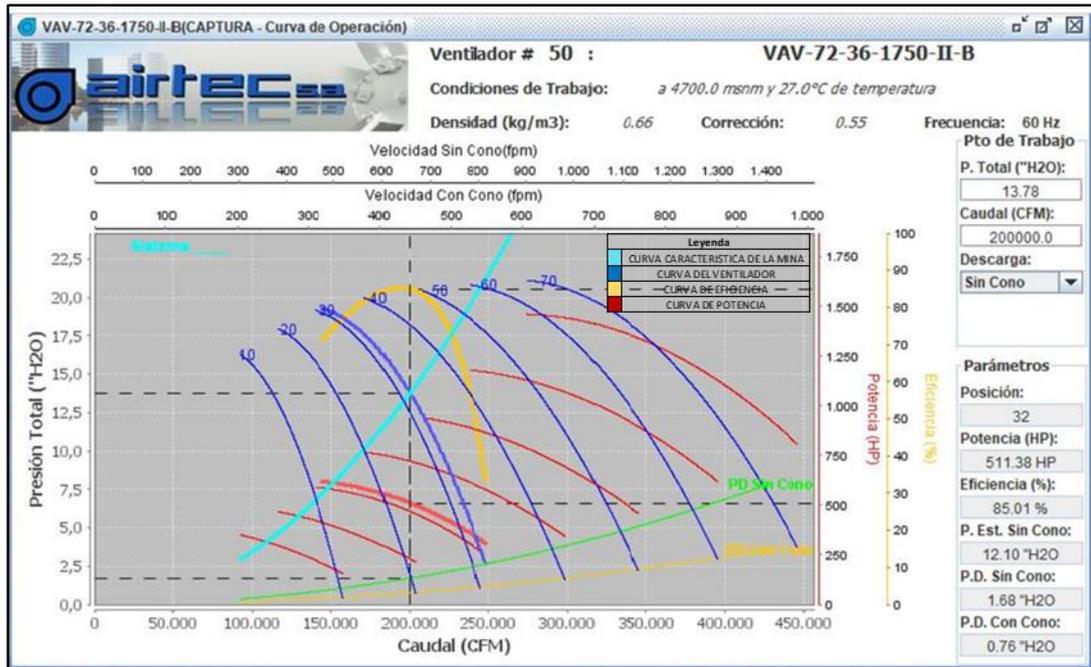
2.1.11 Cálculo de la curva característica de mina

Cuando se define el total de caudal requerido en referencia a la cantidad de personas, equipos y explosivos; además, se calculó la caída de presión total; se tiene el punto de operación del ventilador o ventiladores mineros que operaran ya sea en interior mina o superficie.

En la Figura 2 se muestra de color celeste la curva característica de la mina intersecando a la curva del ventilador minero en el punto de operación calculado. Cabe mencionar que dicha curva del ventilador pertenece a un ángulo de regulación definido.

Figura 2

Curva característica de un ventilador minero.



Fuente: Software Airtec - Mineflows

De acuerdo con la gráfica, el punto de operación que interseca a la curva del sistema está determinado por un caudal de 200 000 cfm con una presión total de 13.78 pulg. H2O. Consumiendo 511.38 HP con una eficiencia del 85.01%.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Ubicación y descripción de la mina

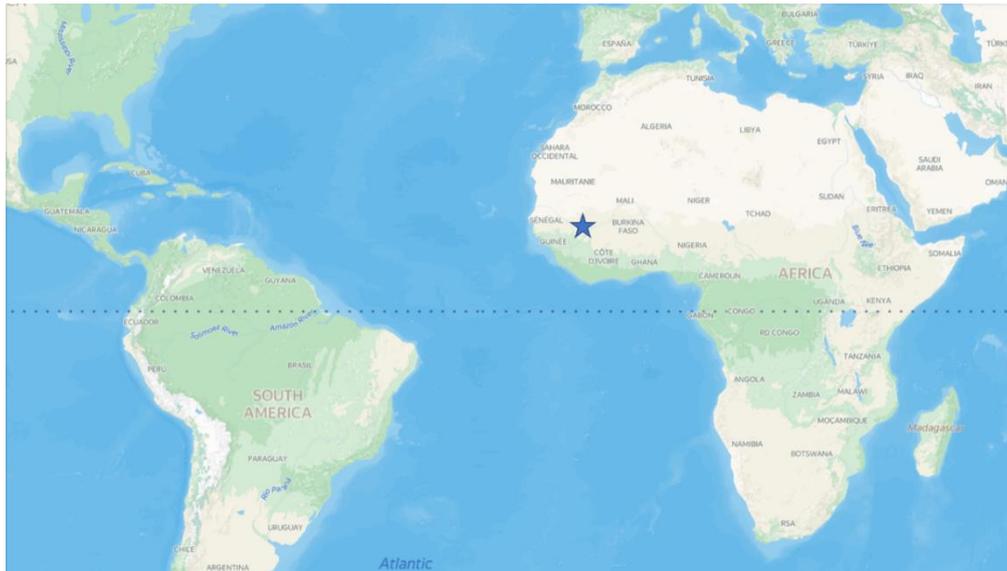
La mina subterránea de oro está ubicada en un país del África (ver Figura). La mina es operada por una importante compañía trasnacional, que es uno de los principales productores de oro a nivel mundial.

La mina es parte de un proyecto minero, que incluye varias operaciones mineras en Guinea. La mina ha estado en operación desde 2008 mediante el método de explotación OP y ha sido una fuente importante de producción de oro para la compañía.

La operación minera involucra la extracción de mineral de oro de yacimientos subterráneos utilizando métodos de minería subterránea convencionales, como la perforación y voladura. El mineral extraído se procesa en una planta de procesamiento en el sitio para obtener el oro.

Figura 3

Ubicación de la mina en África.



Fuente: Maps

2.2.2 Criterios de diseño – Velocidades límites labores.

Todas las labores horizontales o verticales deben de cumplir un máximo y mínimo de velocidad por diseño, por ello nos respaldamos de una tabla muy usada para poder tomarlo como criterio inicial para determinar los caudales máximo y mínimos que puedo pasar por las labores. La Figura 4 se observa los límites de velocidades que se utiliza como criterio.

Tabla 3

Velocidades máximas recomendadas por labor

Área	Velocity (m/s)
Working faces	4
Conveyor drifts	5
Main haulage routes	6
Smooth lined main airways	8
Hoisting shafts	10
Ventilation shafts	20

Fuente: McPherson 2017

La Tabla 4 a continuación muestra las labores horizontales y verticales utilizadas en el proyecto tomado como estudio y sus respectivos caudales mínimo y máximo a ser tomados en cuenta.

Tabla 4

Caudales máximos y mínimos por labores horizontales y verticales.

Ítem	Drif Type	Seccion bxh (mxm)	A (m ²)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Qmin (cfm)	Qmax (cfm)
1	Mixing Bay	5x4.5	21.1	0.5	6	10.55	126.6	22,354.18	268,250.21
2	Sump	5x.4.5	21.1	0.5	6	10.55	126.6	22,354.18	268,250.21
3	Escape Drive	5x5	23.5	0.5	6	11.75	141	24,896.84	298,762.08
4	Vent Drive	5x5	23.5	0.5	6	11.75	141	24,896.84	298,762.08
5	Grade Control	5x5	23.5	0.5	6	11.75	141	24,896.84	298,762.08
7	Hangingwall Drive	5x5.5	25.8	0.5	6	12.9	154.8	27,333.55	328,002.62
8	Ore Long Drive	5x5.5	25.8	0.5	6	12.9	154.8	27,333.55	328,002.62
9	Ore Trans-Drive	5x5.5	25.8	0.5	6	12.9	154.8	27,333.55	328,002.62
10	Footwall Drive	5.5x5.5	28.4	0.5	6	14.2	170.4	30,088.10	361,057.15
11	Level Access	5.5x5.5	28.4	0.5	6	14.2	170.4	30,088.10	361,057.15
12	Stockpile	5.5x5.5	28.4	0.5	6	14.2	170.4	30,088.10	361,057.15
13	Decline	5.5x6	30.9	0.5	6	15.45	185.4	32,736.70	392,840.35
14	Escape Raise	3x3	9	10	20	90	180	190,699.20	381,398.40
15	Vent Raise	5x5	25	10	20	250	500	529,720.00	1,059,440.00

Fuente: Elaboración Propia

2.2.3 Criterios de diseño – Velocidades Limites Ductos

Las velocidades en los ductos flexibles son cruciales al momento de diseñar la ventilación auxiliar. Una manga de ventilación con velocidades bajas menores a 13 m/s no llegaría a inflar la manga y si cuenta con una velocidad mayor a 30 m/s hay la probabilidad de que la manga se llegue a romper ocasionando fugas de aire en el circuito auxiliar. A continuación, en la Tabla 5 se muestra el caudal mínimo y máximo considerando una manga de 1.4m. Mas adelante se sustentará el detalle de la elección del diámetro optimo.

Tabla 5*Criterio de diseño – Conductos Flexibles o Mangas de Ventilación.*

Item	Drif Type	Type	Seccion bxh (mxm)	A (m ²)	W (m)	H (m)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m/s)	Qmin (cfm)	Qmax (cfm)
1	Flexible Ducts	Circular	1.4	1.54	-	-	13	30	20.01	46.18	42,401.66	97,849.98

Fuente: Elaboración Propia

2.2.4 Estimación de los parámetros de fricción

Otro elemento relevante utilizado para este estudio, son los factores de fricción estimados, los que dependen de la sección construida, tanto horizontal como verticalmente. En la Tabla 6 se observan los factores considerados para el estudio, simulación y modelamiento de sistema de ventilación.

Tabla 6*Factores de fricción estimados por tipo de sección.*

Ítem	Drif Type	Type	Estimated Friction Factor (kg/m ³)
1	Mixing Bay	Horizontal	0.014
2	Sump	Horizontal	0.014
3	Escape Drive	Horizontal	0.014
4	Vent Drive	Horizontal	0.014
5	Grade Control	Horizontal	0.014
6	Hangingwall Drive	Horizontal	0.014
7	Ore Long Drive	Horizontal	0.014
8	Ore Trans Drive	Horizontal	0.014
9	Footwall Drive	Horizontal	0.014
10	Level Access	Horizontal	0.014
11	Stockpile	Horizontal	0.014
12	Decline	Horizontal	0.014
13	Escape Raise	Vertical - Cuadrada	0.013
14	Vent Raise	Vertical - Cuadrada	0.013
15	Flexible Ducts	Circular	0.003

Fuente: Elaboración Propia

2.2.5 Parámetros y condiciones superficiales

Para el modelamiento de la temperatura interior mina, se consideraron las condiciones superficiales que se presentan a continuación.

- Altura de Operación: 450msnm
- Profundidad: 400m
- Surface temperature: 28.5°C
- Average humidity: 90
- Air density: 1.11
- Correction factor: 0.92
- Geothermal gradient: 2°C /100m
- Temperatura Roca Virgen Superficie: 25°C
- Temperatura de bulbo húmedo superficie: 26.5°C
- Temperatura de bulbo seco superficie: 28.5°C
- Bulbo húmedo de invierno: 24.2°C
- Bulbo húmedo de verano: 25.2°C
- Bulbo seco de invierno: 26.2°C
- Bulbo seco de verano: 27.2°C
- Mes más cálido: Mayo
- Bulbo húmedo mínimo: 23.6°C
- Bulbo seco máximo: 28.1°C
- Bulbo seco mínimo: 25.6°C
- Bulbo húmedo máximo: 26.1°C

2.2.6 Legislación y marco regulatorio considerado para el diseño

Guinea no posee una legislación vigente, por ello para el diseño se utilizará la legislación minera de Ghana que se rige principalmente por el Código Minero de Ghana, que establece el marco legal y regulatorio para la exploración, explotación y gestión de los recursos minerales en el país.

El Código Minero de Ghana aborda requisitos de diseño, evaluaciones periódicas y monitoreo de la cantidad y calidad de aire con equipos de ventilación según normas de seguridad específicas. Establece un plan de emergencia, capacitación y concientización a los trabajadores con el objetivo de garantizar la seguridad y el bienestar del entorno minero promoviendo estándares de ventilación de alta calidad. A continuación, se presenta las normativas más relevantes para este estudio.

Tabla 7

Velocidades máximas y mínimas por labor.

Área/vía aérea	Velocidad mínima	Velocidad máxima
Ruta de transporte principal/ Vía de tránsito principal	0.2	6
Labores de producción y preparación	0.5	4
Labores de desarrollo	0.75	4
Chimenea de Ventilación (No acceso personal)	-	10
Raise Boring RBs a Superficie	-	20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8

Requerimiento de caudal y condiciones de temperatura.

Peligro	Se aplica al proyecto	Requisito de ventilación	Criterio de diseño dominante
Emisiones diésel	Sí	0,06 m ³ /s por kW diésel	Sí
Calor	Sí	Temperatura máxima de bulbo húmedo de 28 °C	Sí

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9

Condiciones de temperatura.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura Máxima	°C Wb	27
Inicia Régimen Trabajo-Descanso	°C Wb	28
Temperatura máxima de rechazo	°C Wb	32.5

Fuente: Elaboración Propia

El gerente de la mina se asegurará de que en la mina la temperatura de bulbo húmedo en cualquier lugar de trabajo o vía de circulación no supere los 32.5 °C, excepto en las siguientes excepciones:

- En el curso de intentar bajar la temperatura;
- En el curso de la realización de un entrenamiento de respuesta a emergencias o durante una emergencia.

2.2.7 Software Ventsim™ Design 5.4

La teoría en que se basa VentSim™ Design incluye a las Leyes de Kirchhoff, la Ley cuadrática, la Ecuación de Atkinson y el Método de Hardy Cross. VentSim™ permite implementar un modelo tridimensional del circuito de ventilación y simular de forma estacionaria o dinámica parámetros como los caudales y velocidades de aire, presencia de contaminantes procedentes de combustión o tronaduras, simulaciones de incendios, simulaciones de calor, estimaciones de costos energéticos e implementación de elementos al modelo tales como ductos, ventiladores, reguladores y resistencias.

Lo resaltable del Software Ventsim es la capacidad de determinar de forma instantánea la resistencia de cada labor, ingresando valores como área, longitud, factores de fricción, caudales que recorren cada labor, con ello calcular la potencia de ventiladores y sus variaciones a lo largo del LOM. Además de ello integra gran cantidad de variables que intervienen en la determinación de la temperatura en mina (temperatura bulbo húmedo, temperatura bulbo seco, temperatura virgen de la roca, gravedad, calor de los estratos, calor por equipos diésel y eléctricos, calor por roca rota, calor por edad de la roca, calor por personas, calor por aguas subterráneas, entre otros). El software ingresa todas las variables y calcula de forma integral cada temperatura en cada labor.

El procedimiento para la implementación de un modelo de simulación del circuito de ventilación de una mina es el siguiente:

- Introducir o importar a VentSim™ las especificaciones, dimensiones y geometría de los desarrollos mineros que forman parte del circuito de ventilación (longitudes, secciones transversales y/o perímetro de las secciones).
- Verificar que el modelo contenga los datos geométricos y de dimensiones e implementar en los puntos que corresponda las conexiones a superficie y los fondos de saco.

- Fijar el o los caudales de entrada que se han estimado para cada año.
- Introducir las curvas de los ventiladores principales o en su defecto calcularlas usando la utilidad de ajuste.
- Comprobar que la curva de funcionamiento introducida o calculada cumpla con los requerimientos de caudal en las zonas críticas.
- Generar escenarios diferentes o de largo plazo respecto al secuenciamiento propuesto y evaluar la respuesta del sistema de ventilación existente a estos cambios.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Cálculo de la demanda para la ventilación auxiliar.

Para ventilar cada tipo de labor o sección según los equipos y personas que ingresan se determina una cantidad de caudal respectiva que debería de cumplir según la norma Ghana. Por ello teniendo el número de frentes por año, se calcula el caudal mínimo que tendría que ingresar a la mina para dirigirlo hacia cada frente.

3.1.1 Cálculo de caudal – Frente desarrollo.

Cuando se requiere avanzar con un frente de desarrollo por lo general ingresara el Scoop y el Volquete como equipos críticos para ventilar el frente, por ello la Tabla 10 muestra el cálculo con ambos equipos.

Tabla 10

Requerimiento Auxiliar – Escenario Volquete – Scoop.

Equipamiento	Modelo	Potencia Nominal (Kw)	Potencia Efectiva 95% (Kw)	Factor Caudal 0.06 m3/s/kw	Cant. (Und)	DM (%)	UT (%)	Caudal (m3/s)
Scoop	CAT R2900G	352	334	0.06	1	85%	75%	12.8
Volquete	Sandvik TH663/Epiroc MT6020	565	537	0.06	1	85%	85%	23.3
Workers -Headcount			1	0.03	4	100%	100%	0.1
Caudal (m3/s) en el frente								36.2
Caudal+fugas (m3/s) ventilador								41.6
Caudal+fugas (cfm) ventilador								88,186.8

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Cálculo de caudal – Frente producción y preparación

Cuando se debe de producir un Tajo de un SLS solo ingresaría el Scoop a limpiar para cargar al volquete en la cámara de carguío, es por ello en la Tabla 11 se muestra el cálculo que se realizó cuando solo ingresa el Scoop. (Los equipos Jumbo o Scaler también se calcularon, resultando muchos menos que el Scoop).

Tabla 11*Requerimiento auxiliar – escenario Scoop.*

Equipamiento	Modelo	Potencia Nominal (Kw)	Potencia Efectiva 95% (Kw)	Factor Caudal 0.06 m3/s/kw	Cant. (Und)	DM (%)	UT (%)	Caudal (m3/s)
Scoop	CAT R2900G	352	334	0.06	1.00	95%	95%	18.1
Workers -Headcount			1.00	0.03	1.00	100%	100%	0.03
Caudal (m3/s) en el frente								18.1
Caudal+fugas(m3/s) ventilador								20.9
Caudal+fugas (cfm) ventilador								44,203.8

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Cálculo de la demanda para la ventilación principal.

3.2.1 Cálculo de la demanda por año por equipos y personas.

El secuenciamiento y programa de producción determina la cantidad de equipos principales, auxiliares y personas necesarias para el desarrollo del proyecto. La Tabla 12 muestra la cantidad de Equipos y personas que se han considerado para el cálculo del requerimiento de aire por año.

Tabla 12

Cantidad de equipos y personas que ingresarán a la mina.

Ítem	Equipamiento	Modelo	Potencia Nominal (Kw)	Potencia Efectiva 95% (Kw)	Unidades Requeridas										
					2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Development Jumbo	Sandvik DD421-60	110	104.5	2	4	4	4	3	2	2	1	1	1	0
2	Production Drill Rig	Resemin Raptor 7	110	104.5	0	2	4	4	4	4	4	4	3	3	1
3	Loader	CAT R2900G	352	334.4	2	5	7	7	8	8	8	8	8	7	3
4	Trucks	Sandvik TH663/Epiroc MT6020	565	536.7	2	3	5	6	6	7	7	7	6	6	2
5	Cable Bolter	Resemin Cable R66	110	104.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	Scissor Lift	Resemin SL22	55.1	52.3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
7	Shotcrete Sprayer	China Normet KSP-2509C Shotcrete	12	11.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	Concrete Mixer	China Normet MF100J Mixer (5.5m3)	170	161.5	1	1	1	2	3	3	3	3	3	2	1
9	Charge Vehicle	Getman ProCharge 4000 MAXX	120	114	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1
10	Integrated Tool Carrier	XCMG IT Carrier	180	171	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
11	Troop carrier	Resemin PBUS20	95	90.3	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2
12	Light vehicle	Toyota Land Cruiser 75	95	90.3	3	5	6	6	6	6	6	4	4	2	2
13	Grader	Elphinstone UG20K Motor Grader	108	102.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	Grade Control Drilling	LM90	110	104.5	2	2	2	3	3	3	2	2	1	1	0
15	Workers -Headcount		1	1	40	67	89	95	100	100	98	88	76	64	37

Fuente: Elaboración Propia

Según la normativa y legislación de Ghana se calcula el requerimiento por equipos y personas por cada año, considerando las disponibilidad y utilización con el cual se realizó el secuenciamiento. La Tabla 13 a continuación muestra la demanda por cada año.

Tabla 13

Requerimiento de caudal por equipos y personas por año.

Ítem	Equipos	Factor Caudal 0.06 m3/s/kw	DM (%)	UT (%)	Caudal por año (m3/s)										
					2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Development Jumbo	0.06	85%	60%	6.4	12.8	12.8	12.8	9.6	6.4	6.4	3.2	3.2	3.2	0.0
2	Production Drill Rig	0.06	85%	60%	0.0	6.4	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	9.6	9.6	3.2
3	Loader	0.06	85%	75%	25.6	64.0	89.5	89.5	102.3	102.3	102.3	102.3	102.3	89.5	38.4
4	Trucks	0.06	85%	85%	46.5	69.8	116.3	139.6	139.6	162.9	162.9	162.9	139.6	139.6	46.5
5	Cable Bolter	0.06	85%	70%	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	0.0
6	Scissor Lift	0.06	85%	45%	1.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	1.2	1.2
7	Shotcrete Sprayer	0.06	85%	60%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
8	Concrete Mixer	0.06	85%	60%	4.9	4.9	4.9	9.9	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	9.9	4.9
9	Charge Vehicle	0.06	85%	60%	3.5	10.5	10.5	10.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	3.5
10	Integrated Tool Carrier	0.06	85%	45%	3.9	11.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	11.8
11	Troop carrier	0.06	85%	40%	1.8	5.5	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	3.7
12	Light vehicle	0.06	85%	30%	4.1	6.9	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	5.5	5.5	2.8	2.8
13	Grader	0.06	85%	50%	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
14	Grade Control Drilling	0.06	85%	40%	4.3	4.3	4.3	6.4	6.4	6.4	4.3	4.3	2.1	2.1	0.0
15	Workers - Headcount	0.033	100%	100%	1.3	2.2	2.9	3.1	3.3	3.3	3.2	2.9	2.5	2.1	1.2
Caudal (m3/s)					110.3	208.1	294.5	325.1	336.3	356.3	354.1	347.8	318.9	296.8	119.8
Caudal + 15% fugas (m3/s)					126.9	239.3	338.7	373.8	386.7	409.8	407.3	400.0	366.7	341.3	137.8
Caudal + 15% fugas (kcfm)					268.8	507.1	717.6	792.1	819.4	868.3	862.9	847.6	777.0	723.1	291.9

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Cálculo de la demanda por velocidad mínimas

Según el plan de producción y objetivos de la compañía se tiene un número de frentes activos por cada año, así como también frentes de desarrollo y preparación típicos del método de minado. La Tabla 14 a continuación muestra y cuantifica la demanda por frentes de producción, desarrollo y preparación por cada año. La Tabla 15 muestra a continuación los resultados del requerimiento por secciones.

Tabla 14

Parámetros de las secciones de producción, desarrollo y preparación.

Ítem	Tipo de Sección	AREA (m2)	Section	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	Numero de Frentes por Año										
						2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Producción	25.8	5x5.5	0.5	12.9	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
2	Desarrollo	30.9	5.5x6	0.75	23.2	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	Preparación	28.4	5.5x5.5	0.5	14.2	0	3	9	9	10	9	9	8	7	6	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15*Requerimiento anual de caudal por velocidades mínimas.*

Ítem	Tipo de Sección	Caudal por año (m3/s)										
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Producción	0.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	51.6
2	Desarrollo	92.7	69.5	23.2	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Preparación	0.0	42.6	127.8	127.8	142.0	127.8	127.8	113.6	99.4	85.2	0.0
	Caudal (m3/s)	92.7	176.6	215.5	215.5	206.5	192.3	192.3	178.1	163.9	149.7	51.6
	Caudal + talleres + fugas (m3/s)	112.2	213.8	260.8	260.8	250.0	232.8	232.8	215.6	198.4	181.2	62.5
	Caudal + talleres + fugas (kcfm)	237.8	453.0	552.7	552.7	529.7	493.2	493.2	456.8	420.4	384.0	132.4

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Cálculo de la demanda por secciones

Para ventilar cada tipo de labor o sección según los equipos y personas que ingresan se determina una cantidad de caudal respectiva que debería de cumplir según la norma Ghana. Por ello teniendo el número de frentes por año (ver Tabla 16), se calcula el caudal mínimo que tendría que ingresar a la mina para dirigirlo hacia cada frente. La Tabla 17 muestra a continuación los resultados del requerimiento por secciones.

Tabla 16

Parámetros de las secciones de producción, desarrollo y preparación.

Ítem	Tipo de Sección	AREA (m2)	Section	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	Numero de Frentes por Año										
						2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Producción	25.8	5x5.5	0.7	18.1	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
2	Desarrollo	30.9	5.5x6	1.2	36.2	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	Preparación	28.4	5.5x5.5	0.6	18.1	0	3	9	9	10	9	9	8	7	6	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*Requerimiento anual de caudal por requerimiento de secciones*

Ítem	Tipo de Sección	Caudal por año (m3/s)										
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	Producción	0.0	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	72.4
2	Desarrollo	144.8	108.6	36.2	36.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Preparación	0.0	54.3	162.9	162.9	181.0	162.9	162.9	144.8	126.7	108.6	0.0
	Caudal (m3/s)	144.8	253.4	289.6	289.6	271.5	253.4	253.4	235.3	217.2	199.1	72.4
	Caudal + talleres + fugas (m3/s)	175.3	306.7	350.6	350.6	328.7	306.7	306.7	284.8	262.9	241.0	87.6
	Caudal + talleres + fugas (kcfm)	371.4	650.0	742.8	742.8	696.4	650.0	650.0	603.5	557.1	510.7	185.7

Fuente: Elaboración propia

Como resumen de los 3 tipos de requerimiento calculados, se escoge los caudales mayores a considerar, por ello como input de entrada al Ventsim se utiliza los caudales mayores calculados con cada metodología mostradas en la Tabla 18 por cada año.

Tabla 18

Requerimiento anual de caudal máximo calculado.

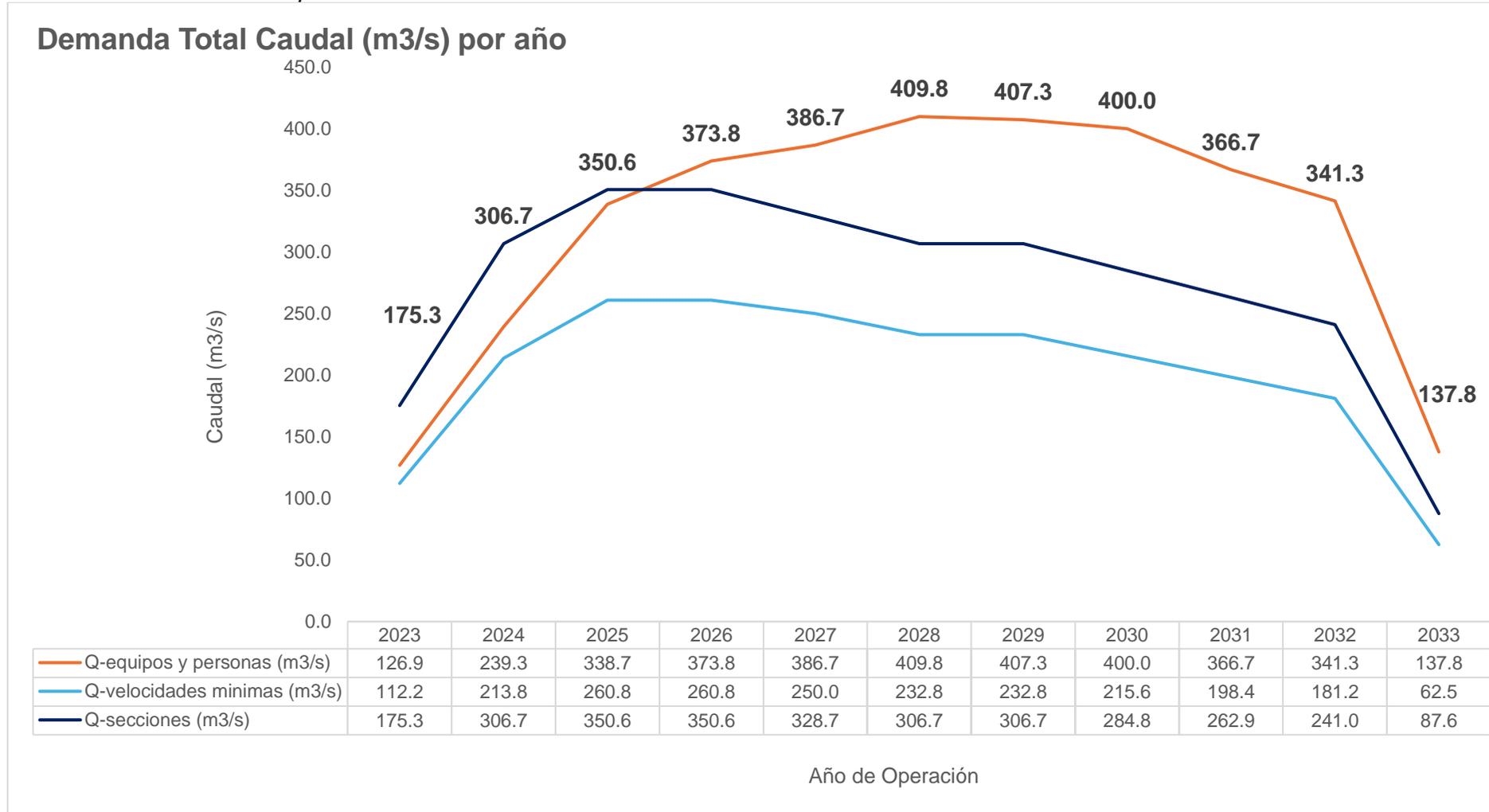
Caudal Principal Requerido por año (m3/s)										
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
175.3	306.7	350.6	373.8	386.7	409.8	407.3	400.0	366.7	341.3	137.8

Fuente: Elaboración propia

El resultado de los cálculos, toman en cuenta las 3 metodologías y se determina el mayor caudal comparándolos en cada año, estas metodologías se muestran en la Figura 4 que deberán ingresar a la mina para sustentar el programa de producción. Se observa que los caudales mayores son representados en los primeros 4 años por el número de secciones y los siguientes años por los equipos diésel y personas. También se observa que el cálculo por velocidades mínimas es menor al cálculo por secciones y por equipos diésel y personas.

Figura 4

Demanda total caudal m3/s por año.



Fuente: Elaboración propia. Cálculo de la demanda de aire bajo 3 metodologías (Por Equipos y Personas, por secciones y por velocidades mínimas).

3.3 Determinación del diámetro óptimo – ducto de Ventilación

Para determinar el diámetro óptimo de los ductos o mangas de ventilación se deberá considerar como punto de partida los dos escenarios de cálculo de caudal para producción y desarrollo (ver Sección 0) y como paso siguiente los límites de velocidad (ver Tabla 19) correspondientes a los ductos de ventilación de tipo flexible (13-30 m/s).

Tabla 19

Tabla resumen diámetro óptimo – Ducto de ventilación.

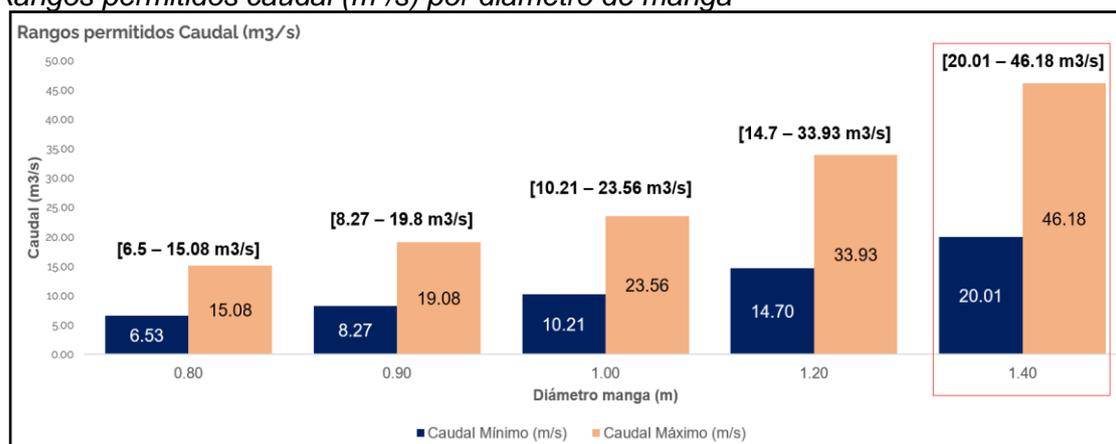
Diámetro Manga Ventilación (pulg)	Diámetro Manga Ventilación (m)	Área Manga (m ²)	Velocidad Mínima (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Caudal Mínimo (m ³ /s)	Caudal Máximo (m ³ /s)
31.5	0.80	0.50	13.00	30.00	6.53	15.08
35.4	0.90	0.64	13.00	30.00	8.27	19.08
39.4	1.00	0.79	13.00	30.00	10.21	23.56
47.2	1.20	1.13	13.00	30.00	14.70	33.93
55.1	1.40	1.54	13.00	30.00	20.01	46.18

Fuente: Elaboración propia

Para ello nos apoyamos de la Figura 5 que muestra los rangos permitidos de caudales correspondientes a diferentes tipos de manga.

Figura 5

Rangos permitidos caudal (m³/s) por diámetro de manga



Fuente: Elaboración propia

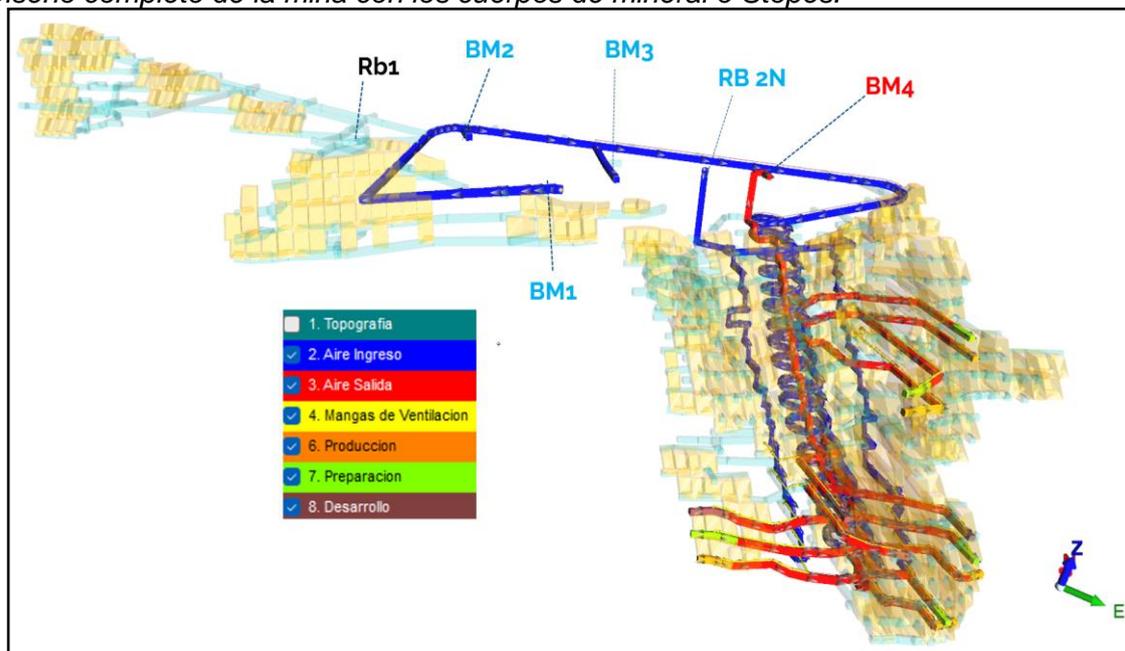
Debido a que en los dos escenarios los caudales de los ventiladores son 20.86 m³/s y 41.62 m³/s se encuentran en el rango del diámetro de 1.4m. Por ello se determina que el mejor diámetro para dichos caudales es el de 1.4m.

3.4 Simulación y Diseño del Sistema de Ventilación

La planificación del Sistema de Ventilación de la mina es parte del proceso de asegurar la calidad y cantidad de aire demandada por año y por cada frente de trabajo, por ello se deberá diseñar y simular el sistema de ventilación y temperaturas por cada año. Logrando obtener un sustento sólido para la adquisición de ventiladores auxiliares y principales que permitan asegurar una producción de 3750 ktpd con sus respectivos frentes activos de producción, desarrollo y preparación para cada uno de los años de la vida de la mina. Como se muestra en la Figura 6 el diseño en general con los cuerpos mineralizados a extraer.

Figura 6

Diseño completo de la mina con los cuerpos de mineral o Stopes.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.1 Simulación de caudal y Temperatura Año 2023

Para la ejecución del inicio del proyecto se procede a ingresar por dos Bocaminas avanzando 4 frentes de desarrollo en simultaneo, por ello se diseña colocar en superficie 2 ventiladores auxiliares de 55 Kw ubicados en Bocamina utilizando el aire de superficie para ventilar las labores de avance. Cada ventilador aporta aproximadamente 30 m³/s. Por ello en ambas bocaminas se extrae en conjunto 117.6 m³/s cumpliendo con el caudal

mínimo de velocidades. Como se muestra en la Figura 8 la simulación de caudal del año 2023.

La Tabla 20 muestra los resultados de la simulación Ventsim donde los caudales en el frente de los desarrollos son menores que 36.2 m³/s, sin embargo, contemplan una sola cámara de carguío para dos desarrollos en simultaneo, por lo cual la suma de los caudales de los desarrollos deberá ser mayor que 36.2 m³/s como se muestra en la Figura 7.

Tabla 20

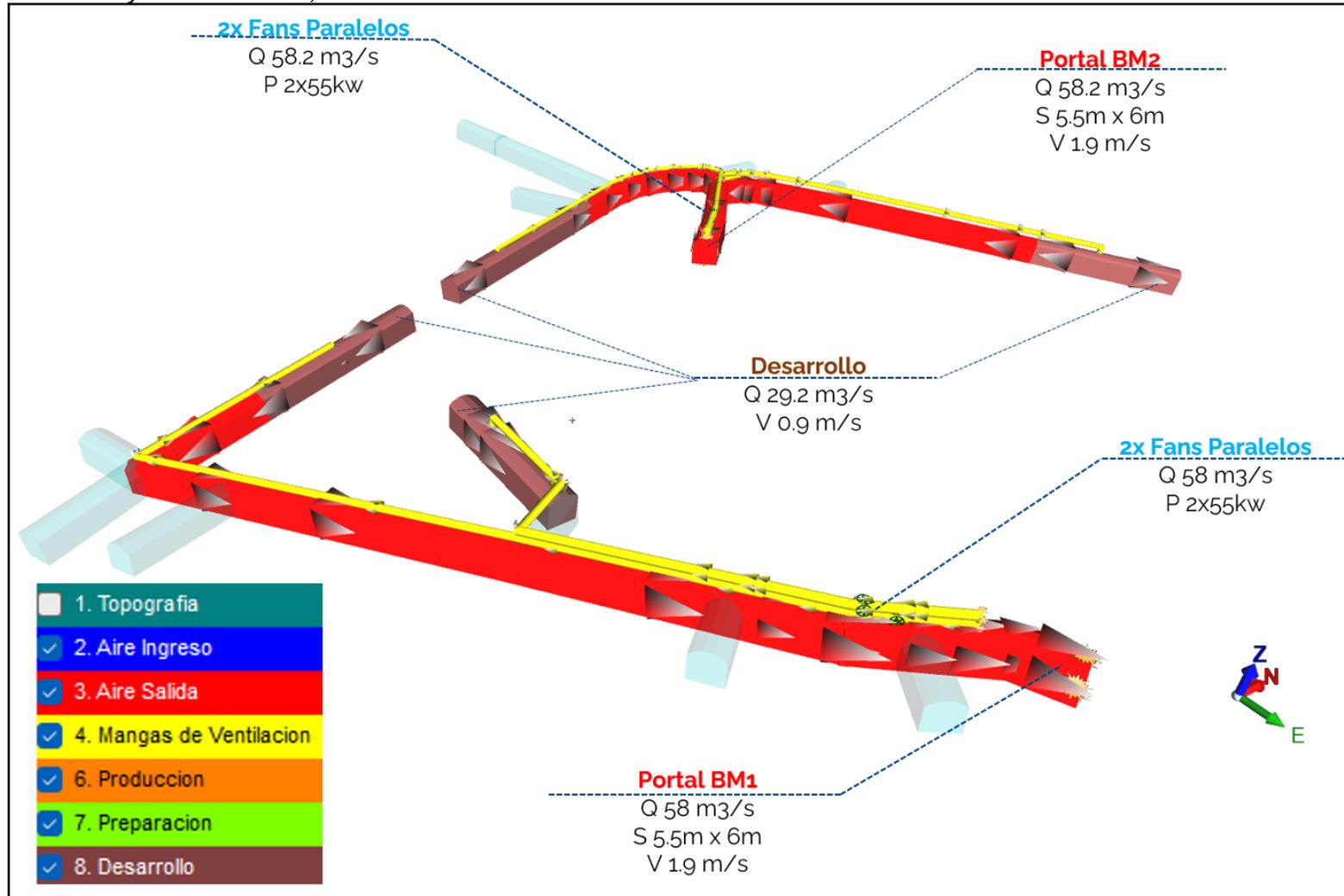
Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – Año 2023.

Tipo de Seccion	Caudal en el frente (m³/s)	Velocidad (m/s)
Des	30.3	1
Des	28.6	0.9
Des	28.9	0.9
Des	29.1	0.9

Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2023.

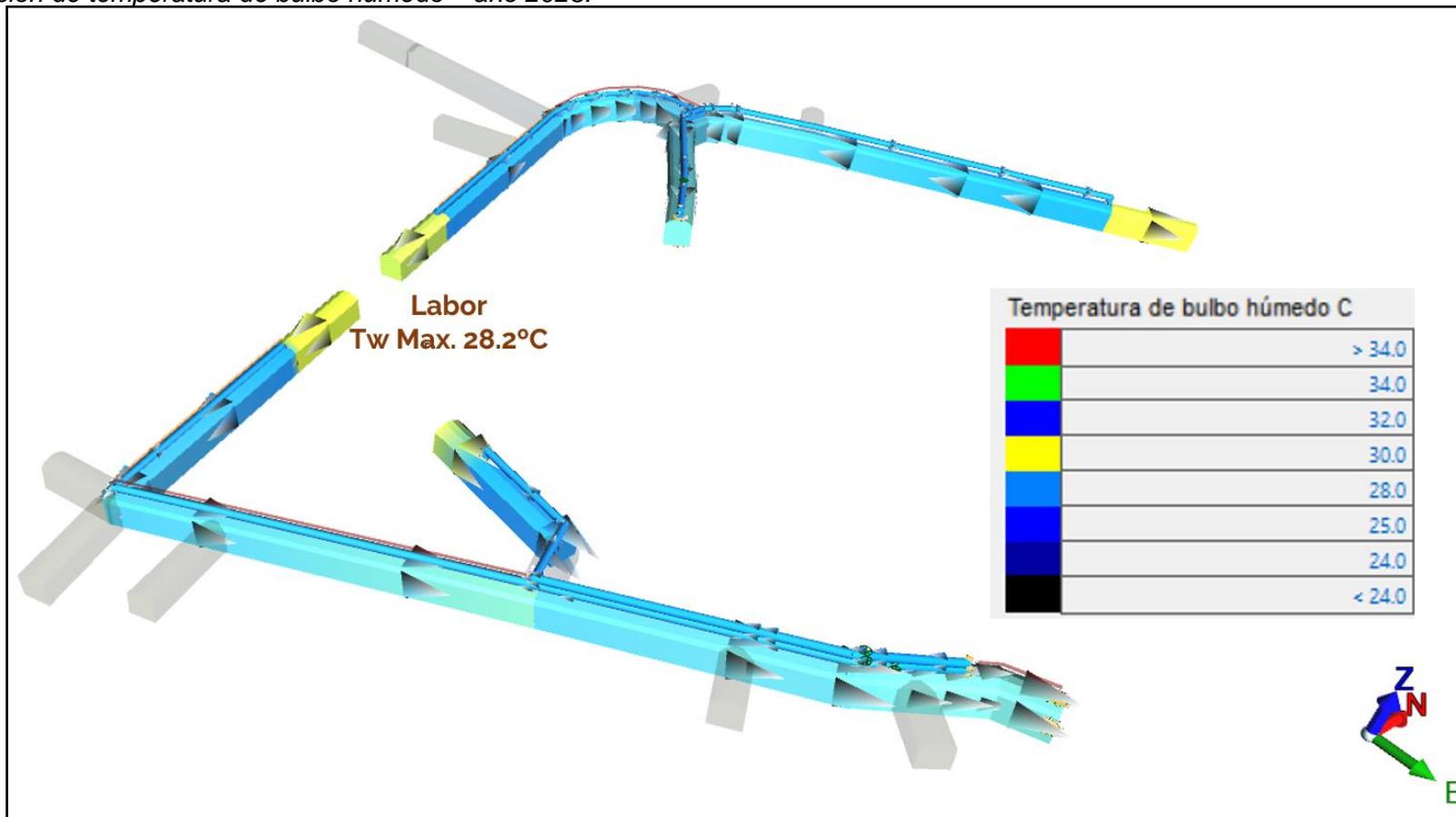


Fuente: Elaboración Propia

También se simuló la temperatura de bulbo húmedo, la cual debe ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 8 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 28.2°C.

Figura 8

Simulación de temperatura de bulbo húmedo – año 2023.



Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 21 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 28.2°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 21

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – Año 2023.

Tipo de sección	Tw (°C)
Des	28.2
Des	28.1
Des	28.2
Des	28.2

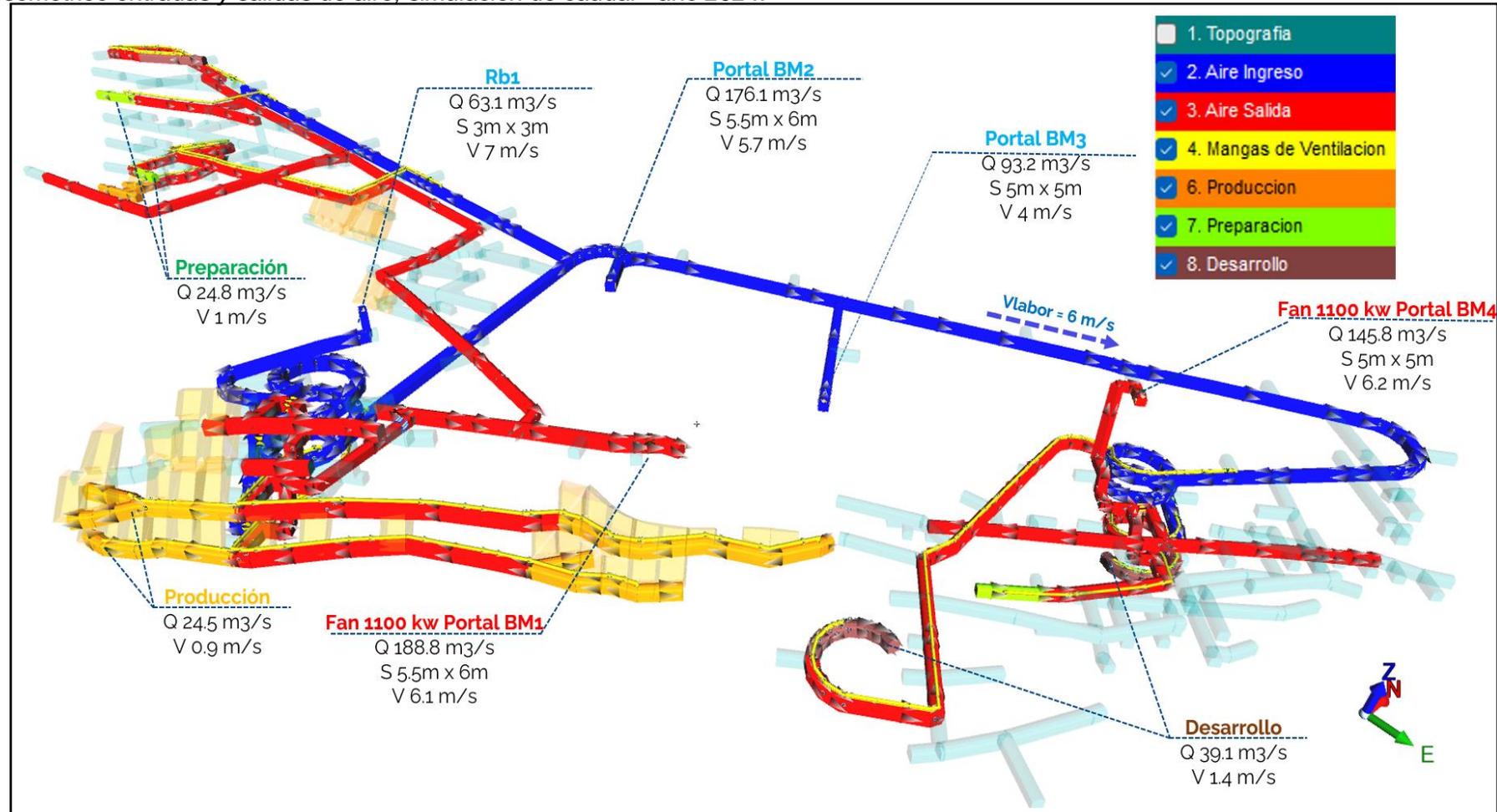
Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Simulación de caudal y temperatura año 2024

En el 2024 se avanzó gran parte del cuerpo principal y los dos cuerpos que se encuentran a la izquierda de la Figura 9. La producción se concentra a la izquierda del portal BM1 (Cuerpo 1) donde se sugiere colocar un ventilador de 1100 Kw debido a que solo por los años 2024 y 2025 se encontrará en esa ubicación, después se trasladará al portal BM4 para que opere en paralelo con el ventilador de 1100 kw que se encuentra en este año también operando como ventilador de extracción. Estos dos ventiladores principales extractores son de 200 m³/s a 270 m³/s, son particularmente el mismo modelo, ya que, si trabajaran en algún momento en paralelo, es la principal recomendación, ser prácticamente gemelos, debido a que si no lo son pueden incurrir en bajas eficiencias cuando entren en funcionamiento en simultaneo. En este año los portales de ingreso son el Rb1 (90.8 m³/s), el portal BM2 (252.3 m³/s) y el portal BM3 (132.7 m³/s) que en total está ingresando 475.8 m³/s de caudal de ingreso. De esta manera, los portales de salida son el Portal BM1 (270.5 m³/s) y el Portal BM4 (207.9 m³/s).

Figura 9

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2024.



Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 22 muestra la cobertura resultante para el año 2024 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de 108%.

Tabla 22

Tabla resultados cobertura de aire – Año 2024.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	6.2	145.8
BM1	6	188.8
RB1	7	63.1
BM2	5.7	176.1
BM3	4	93.1
Caudal Ingreso (m3/s)		332.3
Caudal Requerimiento (m3/s)		306.7
Cobertura (%)		108%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 los resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m3/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m3/s.

Tabla 23

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – Año 2024.

Tipo de sección	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
Des	39.7	1.5
Des	39	1.3
Des	38.7	1.3
Prep	29.8	1.1
Prep	22.4	0.9
Prep	22.3	0.9
Pro	30.4	1.2
Pro	25	1
Pro	23.9	0.9
Pro	21.9	0.8
Pro	21.4	0.8

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 24 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 28.2°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 24

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – Año 2024.

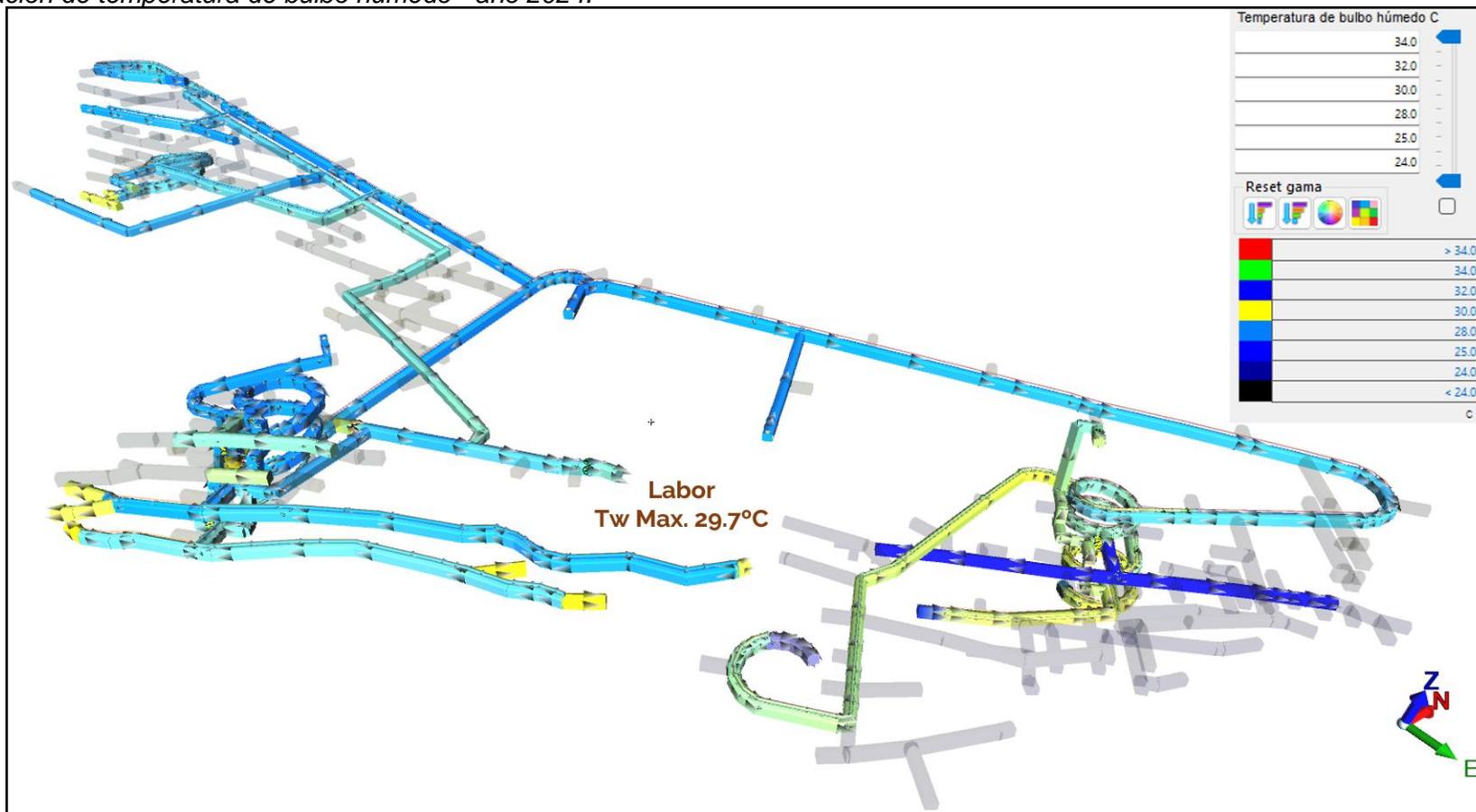
Tipo de sección	Tw (°C)
Des	28.9
Des	29.7
Des	29
Prep	29.6
Prep	28.3
Prep	28.4
Pro	28.2
Pro	28.1
Pro	29.3
Pro	28.5
Pro	28.7

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 10 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 29.7°C.

Figura 10

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2024.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Simulación de caudal y Temperatura Año 2025

En la Figura 11 se observa el isométrico del 2025 donde la producción se concentra en el cuerpo 2, ubicado al norte del cuerpo 1, los ingresos y salidas de aire se mantiene y notamos que la velocidad del aire en la labor de entrada al cuerpo principal (En adelante Cuerpo 3) está en aumento a 6.5 m/s debido a un ligero aumento del caudal de salida en el portal BM4 (243.3. m3/s), aun aceptable sin embargo cuando el ventilador del portal BM1 se traslade al portal BM4 el caudal aumentará, por ello es muy importante no exceder esta velocidad ya que podría ocasionar accidentes cuando las personas transiten por esta vía.

La Tabla 25 muestra la cobertura resultante para el año 2025 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 25

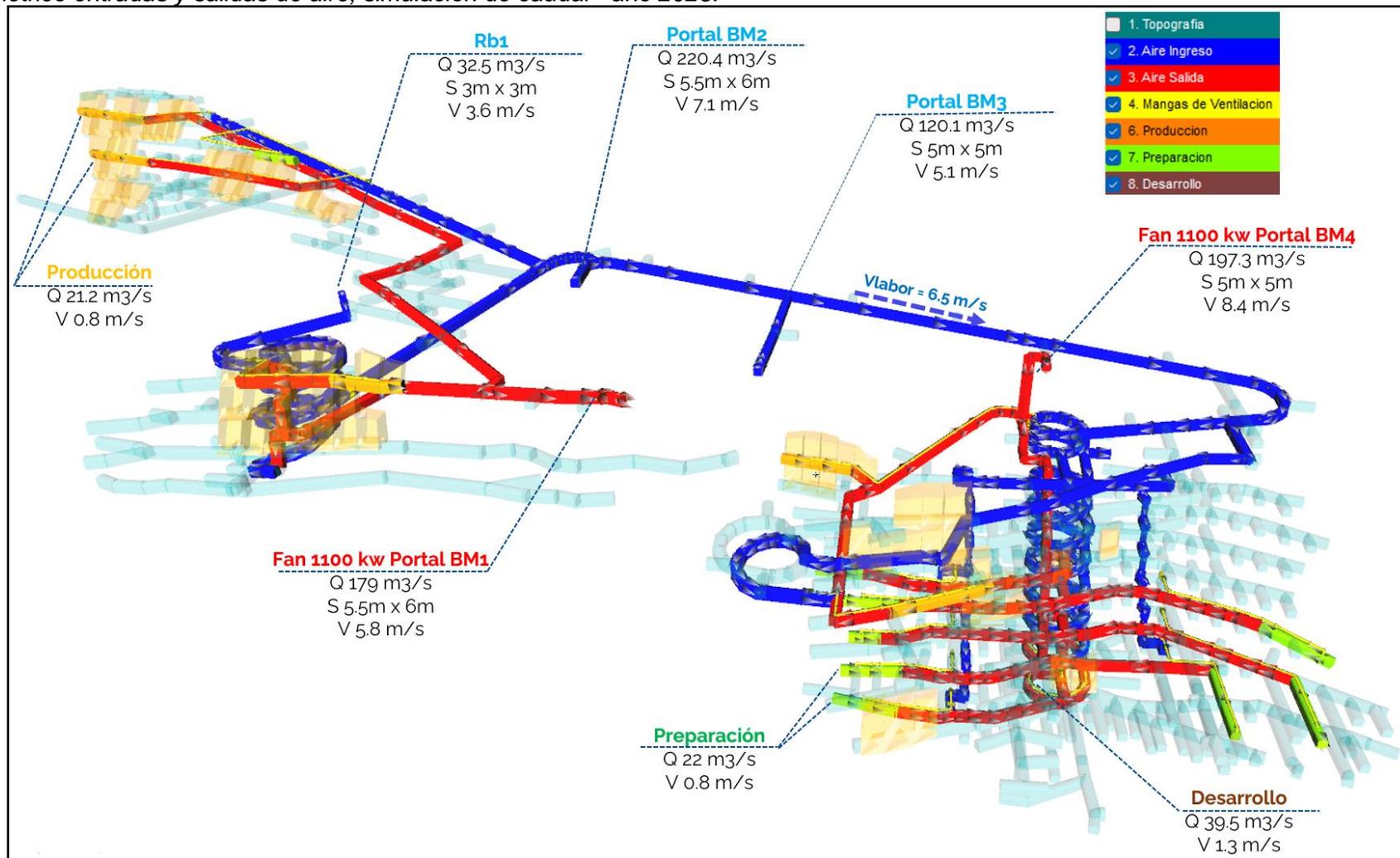
Tabla resultados Cobertura de aire – Año 2025.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	8.4	197.3
BM1	5.8	179
RB1	3.6	32.5
BM2	7.1	220.4
BM3	5.1	120.1
Caudal Ingreso (m3/s)		373.0
Caudal Requerimiento (m3/s)		350.6
Cobertura (%)		106%

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2025.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 26 los resultados Ventsim se logra observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 26

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – Año 2025.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Des	39.5	1.3
Prep	23.1	0.8
Prep	23	0.8
Prep	23	0.8
Prep	22	0.9
Prep	22	0.8
Prep	21.6	0.8
Prep	21.5	0.9
Prep	21.4	0.8
Prep	20.1	0.8
Pro	22.3	0.9
Pro	21.4	0.8
Pro	21.3	0.8
Pro	20.9	0.8
Pro	20.2	0.8

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 27 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 31°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 27

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – Año 2025.

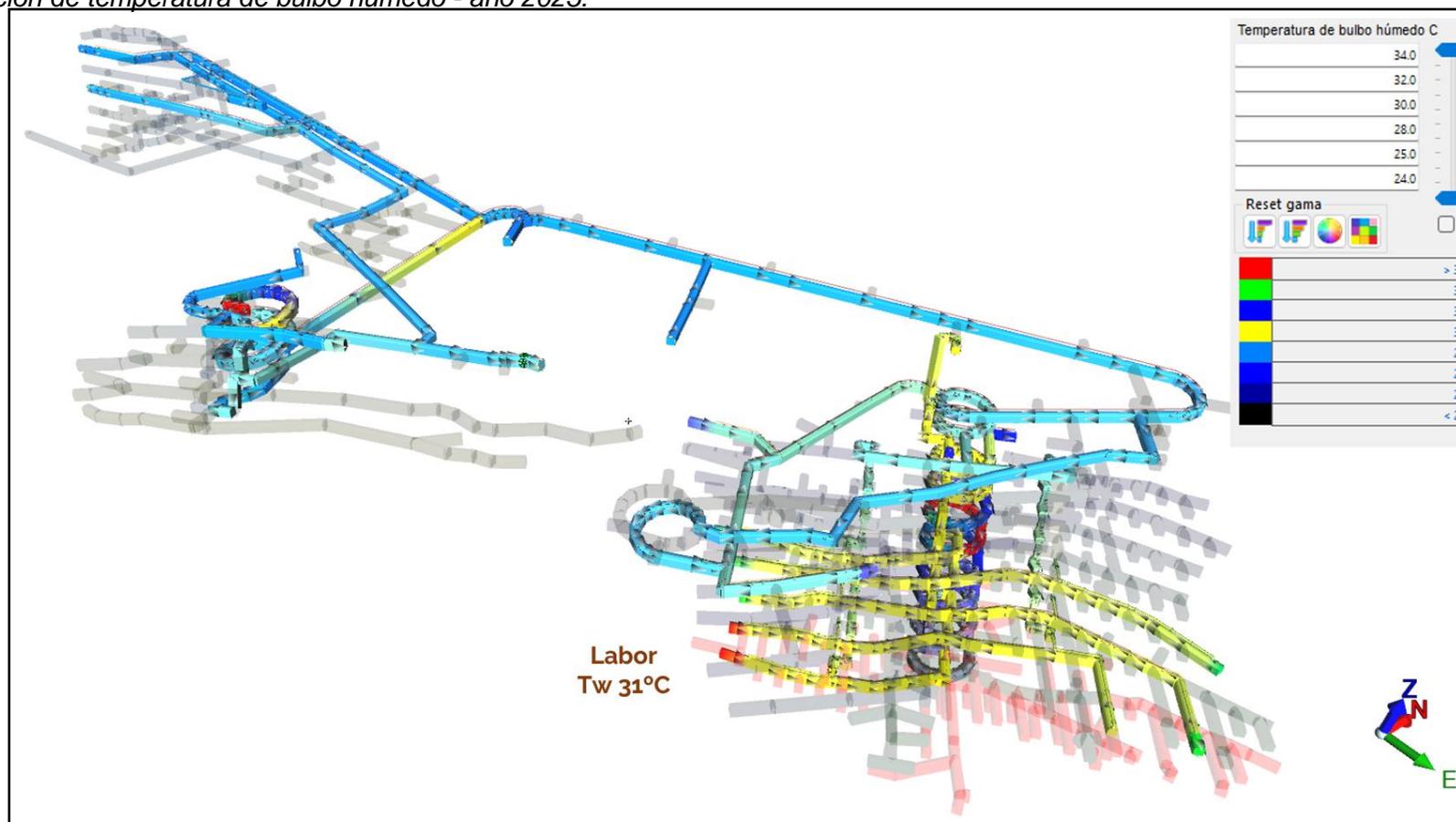
Tipo de sección	Tw (°C)
Des	31
Des	29.7
Des	29.5
Des	29.6
Des	29.5
Prep	29.4
Prep	29.4
Prep	29.4
Prep	29.5
Prep	28
Pro	28.7
Pro	28.1
Pro	27.8
Pro	28.1
Pro	28.8

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 12 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 31°C .

Figura 12

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2025.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Simulación de caudal y Temperatura Año 2026

En la Figura 13 se observa el isométrico del 2026 donde ocurre un ligero cambio de circuito, ya que se trasladó el ventilador del Portal BM1 al portal BM4. Por ello ahora el portal BM1 se considerará como ingreso de aire. Sin embargo, al tener un solo punto de extracción y un solo acceso hacia el Cuerpo 3 (Las 3 Bocaminas de ingreso en el punto señalado se juntan), limita al sistema en paralelo de ventiladores de 1100 Kw aumentando su velocidad a valores entre 7.5 – 13.8 m³/s, valores inaceptables ya que no permitiría el ingreso de personal ni tampoco ciertos equipos diésel. Por ello se recomendó la construcción de un segundo Rb de 4.5x4.5, que toma como nombre RB 2N el cual aliviara al sistema de ventilación, dando como resultado que la velocidad se mantenga dentro de los límites permitidos por criterio y normativa.

La Tabla 28 muestra la cobertura resultante para el año 2026 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 28

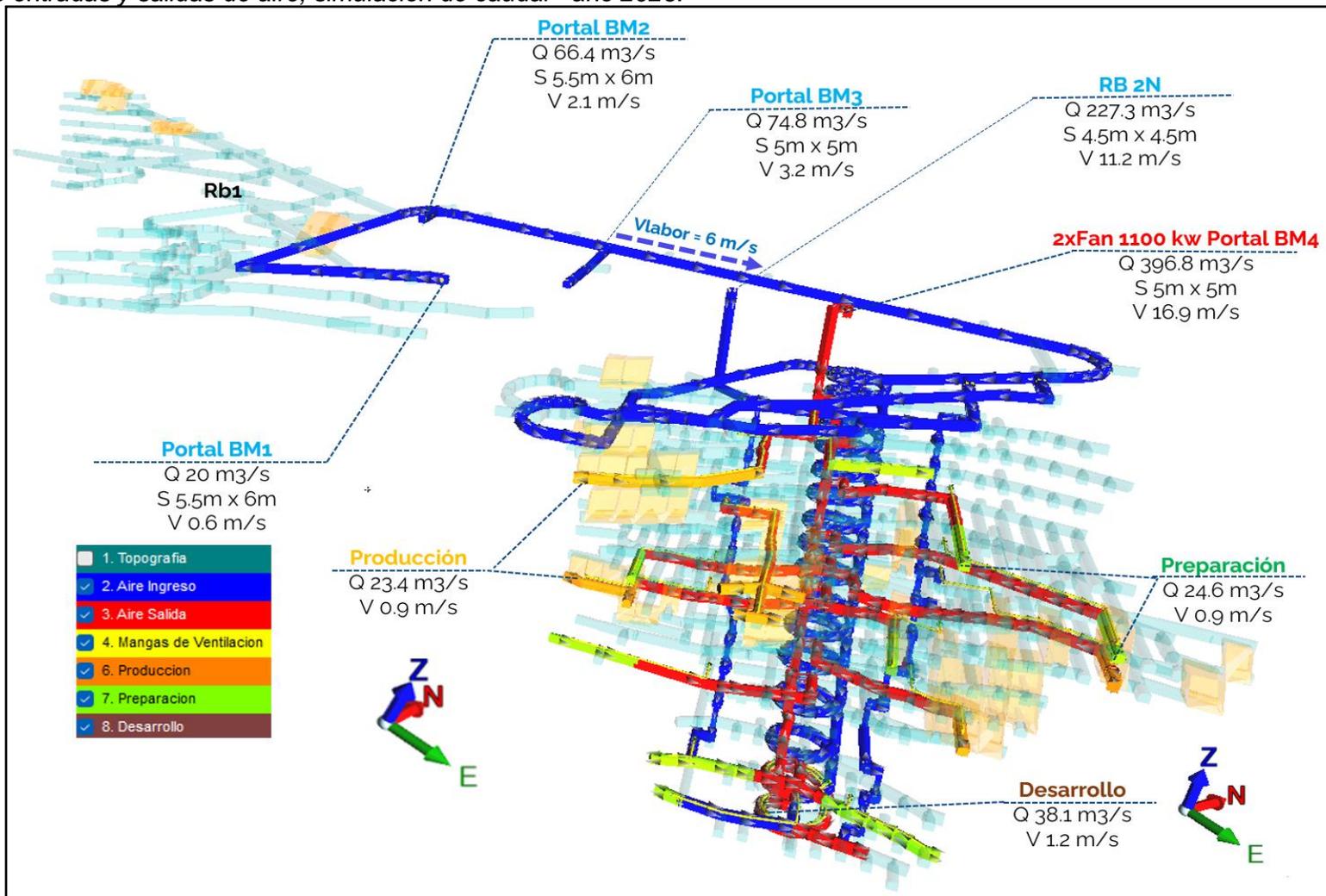
Tabla resultados cobertura de aire – año 2026.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
BM4	16.9	396.9
BM1	0.6	20
BM2	2.1	66.4
BM3	3.2	74.8
RB2N	11.2	227.3
Caudal Ingreso (m ³ /s)		388.5
Caudal Requerimiento (m ³ /s)		373.8
Cobertura (%)		104%

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2026.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 29 los resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 29

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2026.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Des	38.1	1.2
Prep	23.8	0.8
Prep	29.9	1.2
Prep	28.6	1
Prep	28.5	1.1
Prep	23.8	0.8
Prep	23.8	0.9
Prep	22.9	0.9
Prep	22	0.8
Prep	22	0.9
Prep	20.9	0.9
Pro	26.5	1.1
Pro	26.3	1
Pro	22.6	0.9
Pro	21.2	0.8
Pro	20.4	0.8

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 30 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 31.5°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 30

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2026.

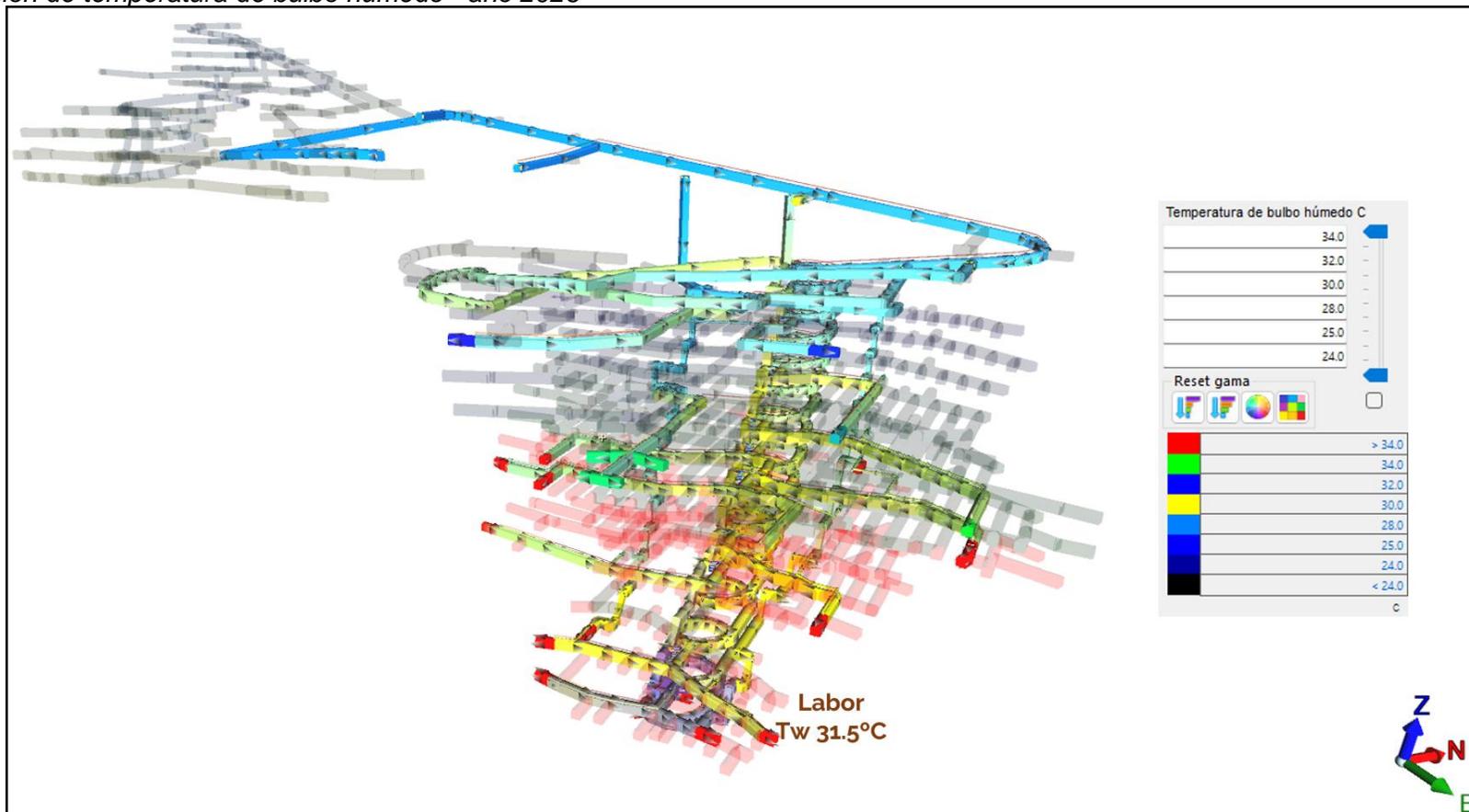
Tipo de sección	Tw (°C)
Des	31.4
Des	31.5
Prep	29.2
Prep	30.3
Prep	28.7
Prep	31.5
Prep	29.4
Prep	29.3
Prep	30.6
Prep	29
Prep	29.2
Pro	28.9
Pro	28.7
Pro	29.3
Pro	30
Pro	29

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 14 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 31.5°C.

Figura 14

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2026



Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Simulación de caudal y Temperatura Año 2027

En la Figura 15 se observa el isométrico del 2025 donde se cuenta con un sistema en paralelo y con un nuevo Rb la producción y la preparación no poseen problemas de ventilación ya que se cuenta con un circuito donde el aire limpio baja por todos los niveles por 3 puntos (La rampa y sus dos escaleras de chimeneas que se encuentran a cada lado. Durante los años 2026,2027 y 2028 son los años en donde el sistema en paralelo de dos ventiladores de 1100 Kw funcionan a su máxima potencia debido a los altos requerimientos de caudal que se contemplan en dichos años.

La Tabla 31 muestra la cobertura resultante para el año 2027 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 31

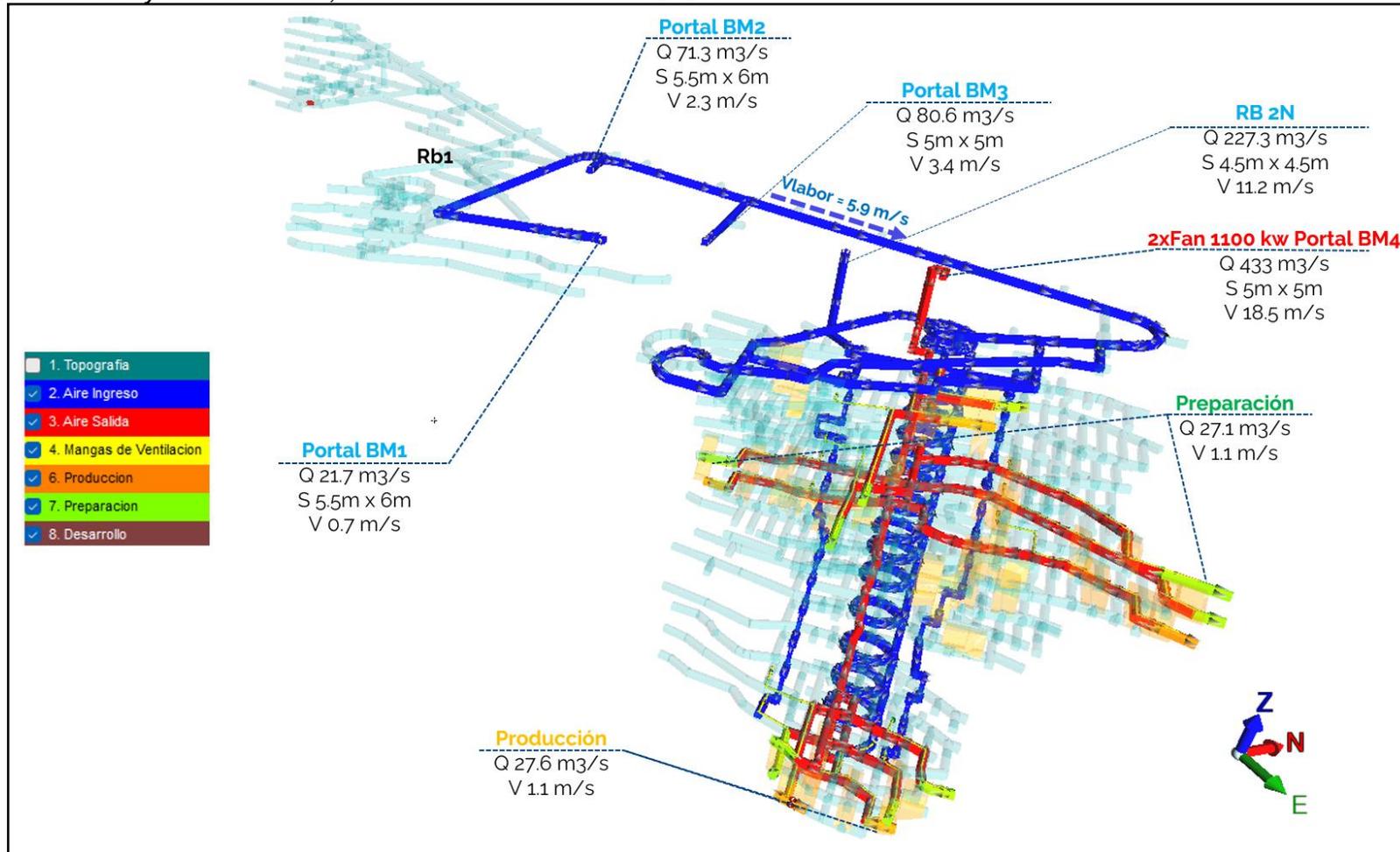
Tabla resultados cobertura de aire – año 2027.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	18.5	433
BM1	0.7	21.7
BM2	2.3	71.3
BM3	3.4	80.6
RB2N	12.3	249.5
Caudal Ingreso (m3/s)		423.1
Caudal Requerimiento (m3/s)		386.7
Cobertura (%)		109%

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2027.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 32 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 32

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2027.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	29.9	1.2
Prep	28.9	1.1
Prep	27.8	1.1
Prep	27.7	1.1
Prep	26.7	1
Prep	26.4	1
Prep	26.2	1
Prep	25.9	1
Prep	25.8	1
Prep	25.5	1.1
Pro	29.8	1.2
Pro	28.9	1.1
Pro	27.6	1.1
Pro	26.6	1
Pro	25.2	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 31.9°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 33

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2027.

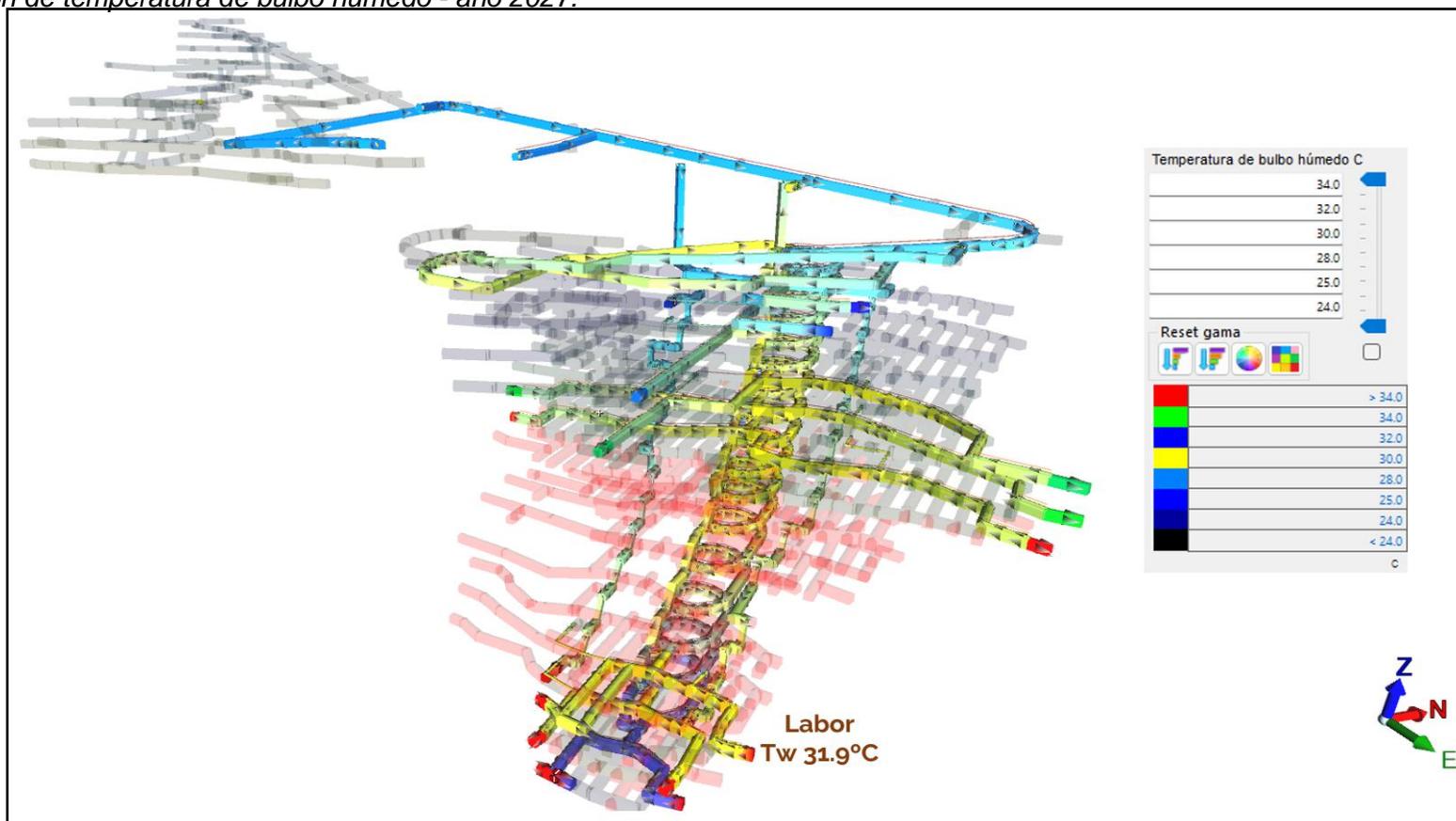
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	29
Prep	30
Prep	30
Prep	29.7
Prep	29.6
Prep	29.1
Prep	28.9
Prep	29.4
Prep	29.4
Prep	29
Pro	31.9
Pro	31.9
Pro	28.8
Pro	29.1
Pro	29.5

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 16 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 31.9°C.

Figura 16

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2027.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.6 Simulación de caudal y Temperatura Año 2028

En la Figura 17 se observa el isométrico del 2028 donde no posee cambios significados, se mantienen una velocidad de 6 m/s en el único acceso al cuerpo 3. Si bien es cierto los desarrollo hasta el nivel más bajo terminan en el 2027, por ello en este año los desarrollo que se tienen contemplado básicamente se consideran como preparación, por ello el caudal en promedio que se manejan están cerca de los valores de 24 – 25 m³/s, similares a los de una preparación y producción.

La Tabla 34 muestra la cobertura resultante para el año 2028 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 34

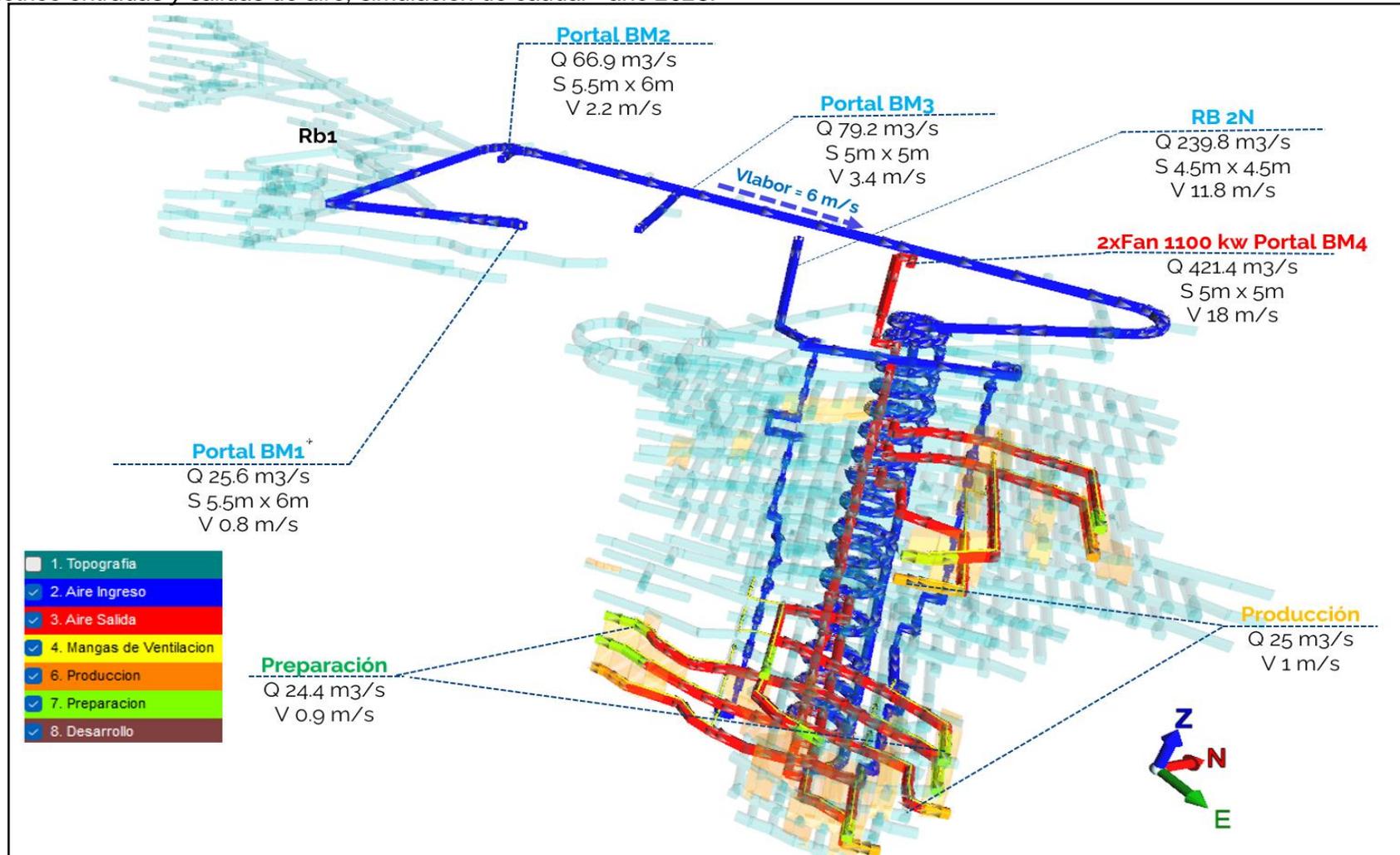
Tabla resultados cobertura de aire – año 2028.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
BM4	18	421.4
BM1	0.8	25.6
BM2	2.2	66.9
BM3	3.4	79.2
RB2N	11.8	239.8
Caudal Ingreso (m ³ /s)		411.5
Caudal Requerimiento (m ³ /s)		409.8
Cobertura (%)		100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2028.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 35 de resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 35

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2028.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	25.4	1
Prep	25.1	1
Prep	23.5	0.9
Prep	23.5	0.9
Prep	25.6	1
Prep	25.1	1
Prep	24.3	0.9
Prep	23.6	0.9
Prep	23.5	0.9
Pro	29.7	1.2
Pro	25.6	1
Pro	24.2	0.9
Pro	22.9	0.9
Pro	22.5	0.9

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 36 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 31.8°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 36

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2028.

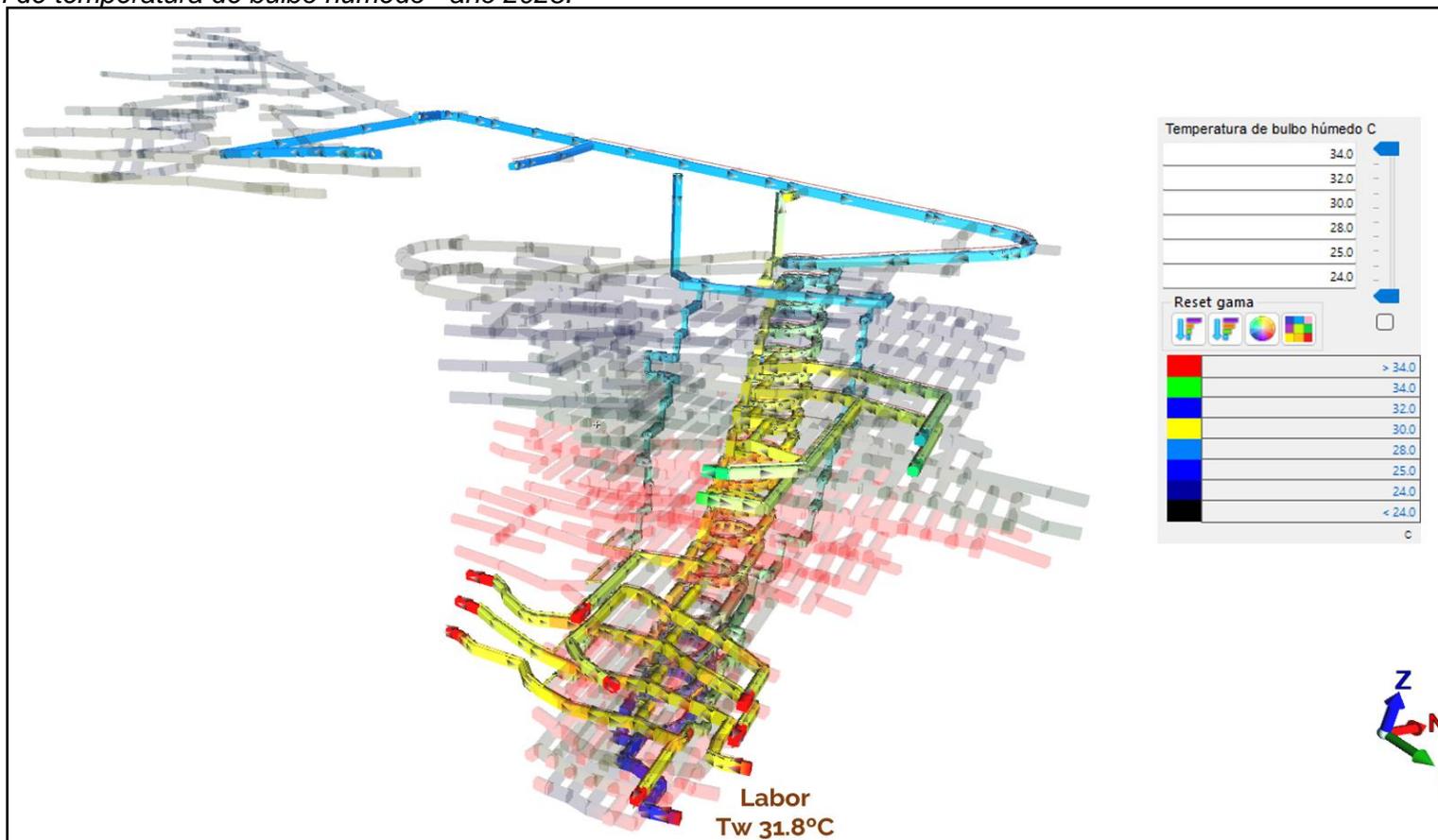
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	29.6
Prep	29.4
Prep	29.7
Prep	29.5
Prep	29.7
Prep	29.1
Prep	29.9
Prep	29.8
Prep	29.2
Pro	31.8
Pro	29.7
Pro	29.2
Pro	29.8
Pro	29.3

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 18 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 31.8°C.

Figura 18

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2028.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.7 Simulación de caudal y Temperatura Año 2029

En la Figura 19 se observa el isométrico del 2029 donde prácticamente ya no se cuenta con desarrollo, el requerimiento de caudal disminuyó, por ese motivo el sistema en paralelo de los ventiladores en superficie reduce su velocidad para brindar un menor caudal. Todas las consideraciones anteriores se mantienen operando con normalidad.

La Tabla 37 muestra la cobertura resultante para el año 2029 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 37

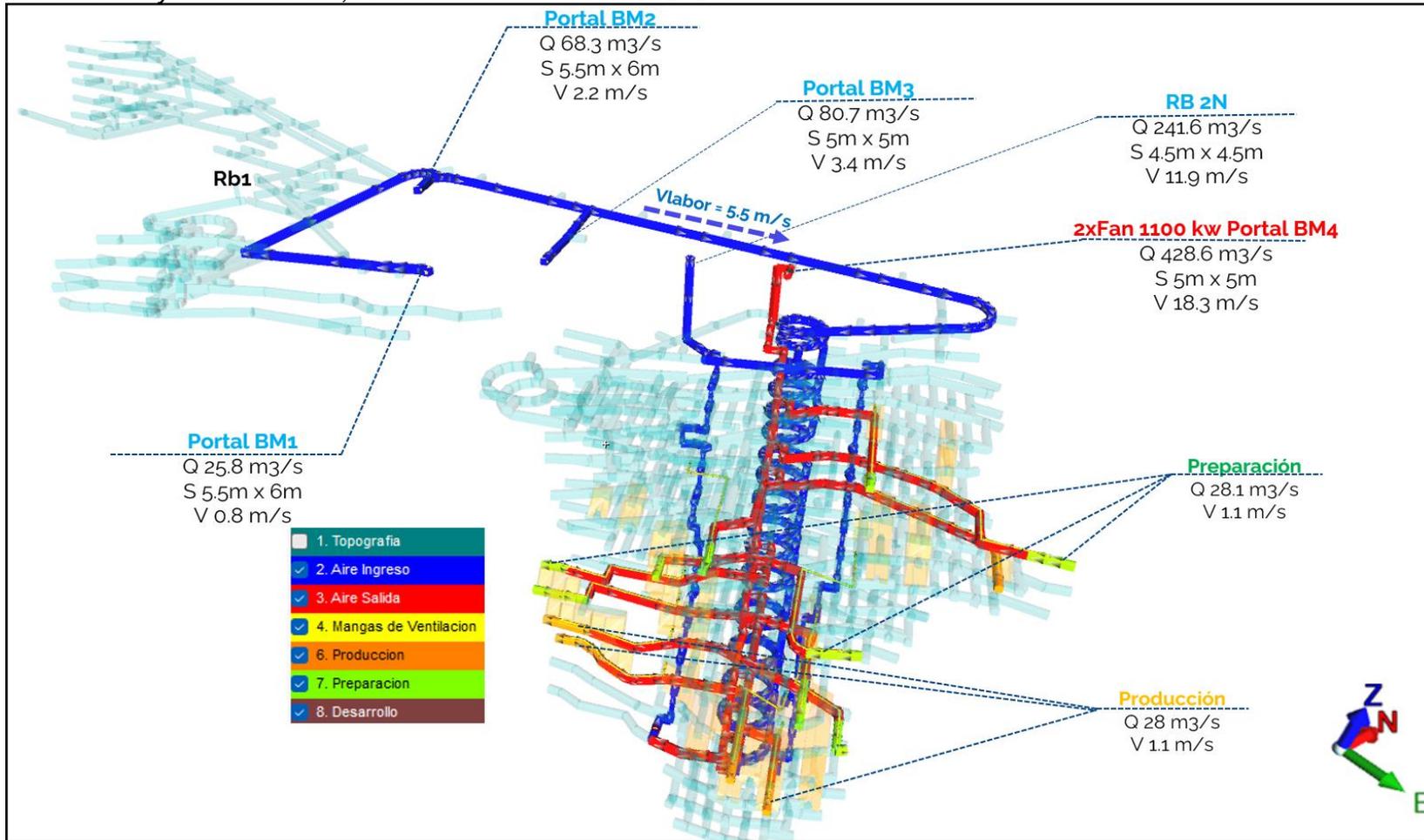
Tabla resultados cobertura de aire – año 2029.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	18.3	428.6
BM1	0.8	25.8
BM2	2.2	68.3
BM3	3.4	80.7
RB2N	11.9	241.6
Caudal Ingreso (m3/s)		416.4
Caudal Requerimiento (m3/s)		407.3
Cobertura (%)		102%

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2029.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 38 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 38

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2029.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	29.9	1.2
Prep	29.8	1.2
Prep	28.8	1.1
Prep	28.4	1.1
Prep	27.8	1.1
Prep	27.7	1.1
Prep	27.7	1.1
Prep	27.4	1.1
Prep	25	1
Pro	28.7	1.1
Pro	28.2	1.1
Pro	28.2	1.1
Pro	28	1.1
Pro	27	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 39 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 30°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 39

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2029.

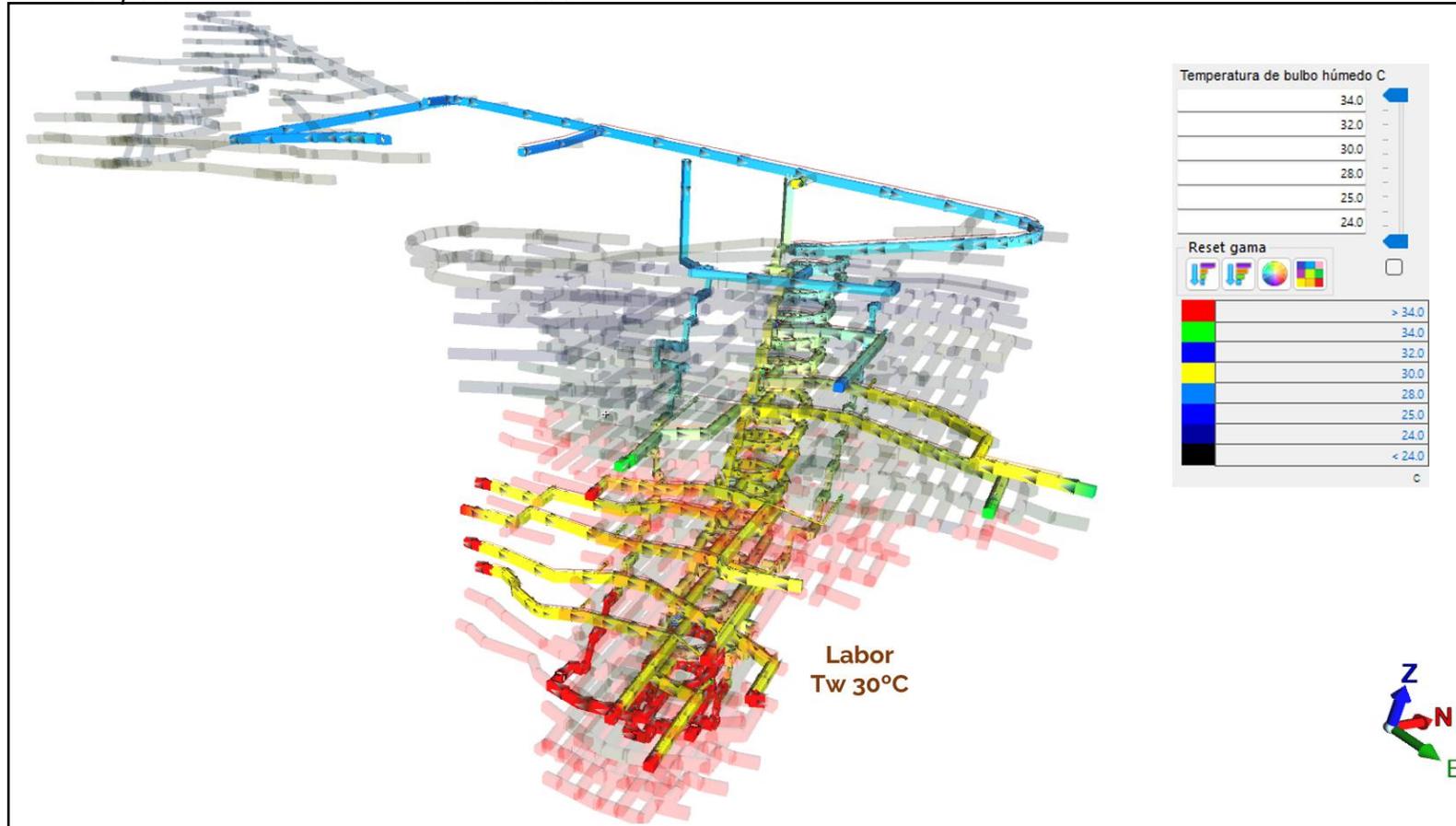
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	28.8
Prep	29.7
Prep	29
Prep	29.8
Prep	29.8
Prep	29.9
Prep	29.9
Prep	29.8
Prep	29.7
Pro	30
Pro	29.9
Pro	30
Pro	29.4
Pro	29.9

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 20 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 30°C.

Figura 20

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2030.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.8 Simulación de caudal y Temperatura Año 2030

En la Figura 21 se observa el isométrico del 2030 donde de igual manera no se contemplan cambios significados, a partir de este año el requerimiento de caudal va en bajada y por ello también los variadores de frecuencia juegan un papel fundamental para considerar un ahorro energético en los ventiladores principales y auxiliares.

La Tabla 40 muestra la cobertura resultante para el año 2030 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 40

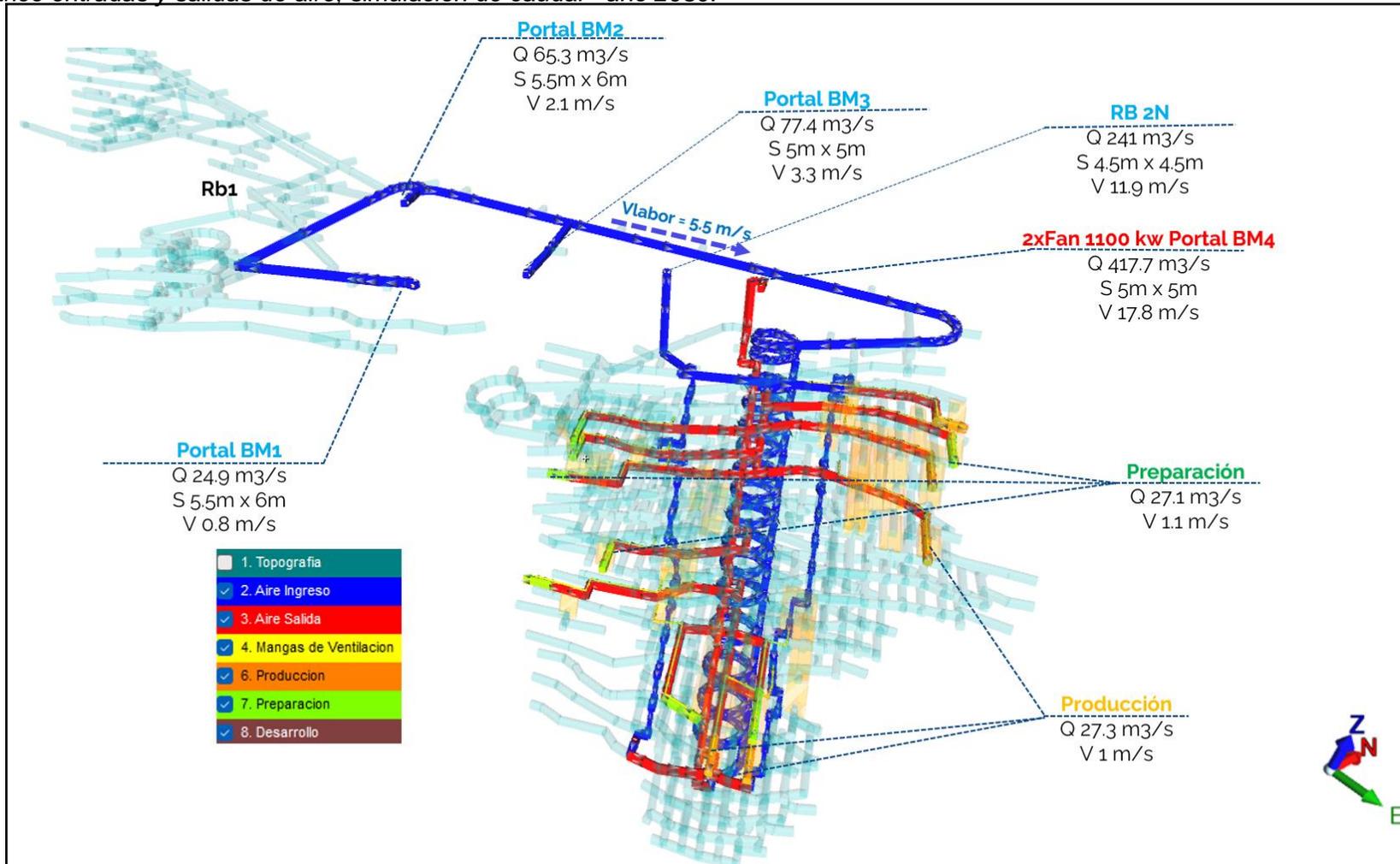
Tabla resultados cobertura de aire – año 2024.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	17.8	417.7
BM1	0.8	24.9
BM2	2.1	65.3
BM3	3.3	77.4
RB2N	11.9	241
Caudal Ingreso (m3/s)		408.6
Caudal Requerimiento (m3/s)		400.0
Cobertura (%)		102%

Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2030.



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 41

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2030.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	28.1	1.1
Prep	28	1.1
Prep	27.8	1.1
Prep	27.5	1.1
Prep	26.7	1
Prep	26.6	1
Prep	26.1	1
Prep	26	1
Pro	28.5	1.1
Pro	28.1	1.1
Pro	27.1	1
Pro	26.8	1
Pro	26.1	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 42 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 29.9°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 42

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2030.

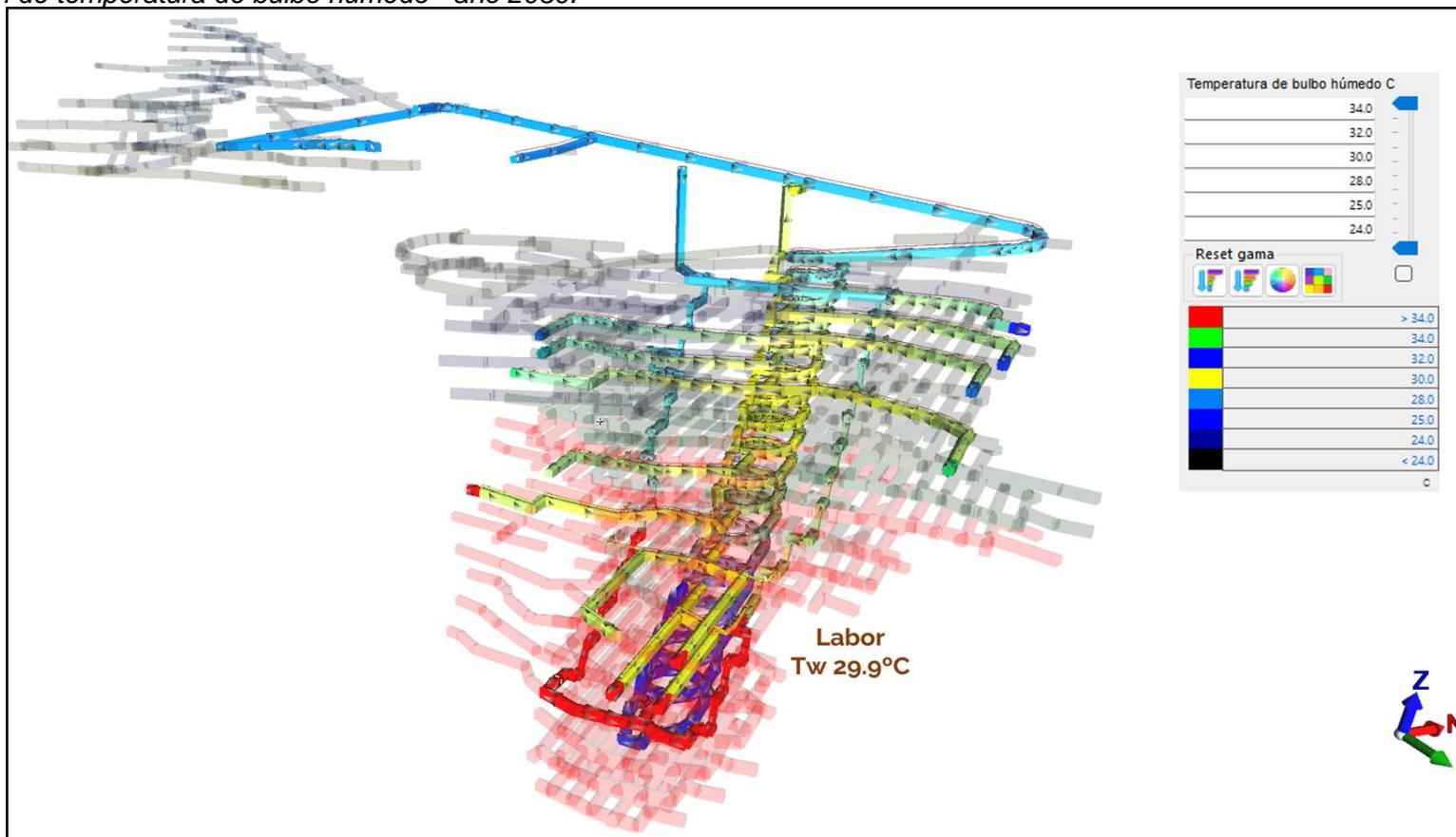
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	29.1
Prep	28.8
Prep	29.2
Prep	28.9
Prep	29
Prep	29.8
Prep	29.5
Prep	29.4
Pro	28.9
Pro	29.2
Pro	29.8
Pro	29.3
Pro	29.9

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 22 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 29.9°C.

Figura 22

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2030.



Fuente: Elaboración propia

3.4.9 Simulación de caudal y Temperatura Año 2031

En la Figura 23 se observa el isométrico del 2031 donde de igual manera va en bajada el requerimiento de caudal, sin embargo, es importante considerar la velocidad mínima de aire que debería de tener el BM4 ya que una menor velocidad podría ocasionar que partículas de agua se filtren en la escalera de chimeneas de extracción ocasionando accidentes o colapsos. Por ese motivo el mínimo caudal a extraer por el sistema en paralelo es de 250 m³/s que se contempla en el año 2033.

La Tabla 43 muestra la cobertura resultante para el año 2031 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 43

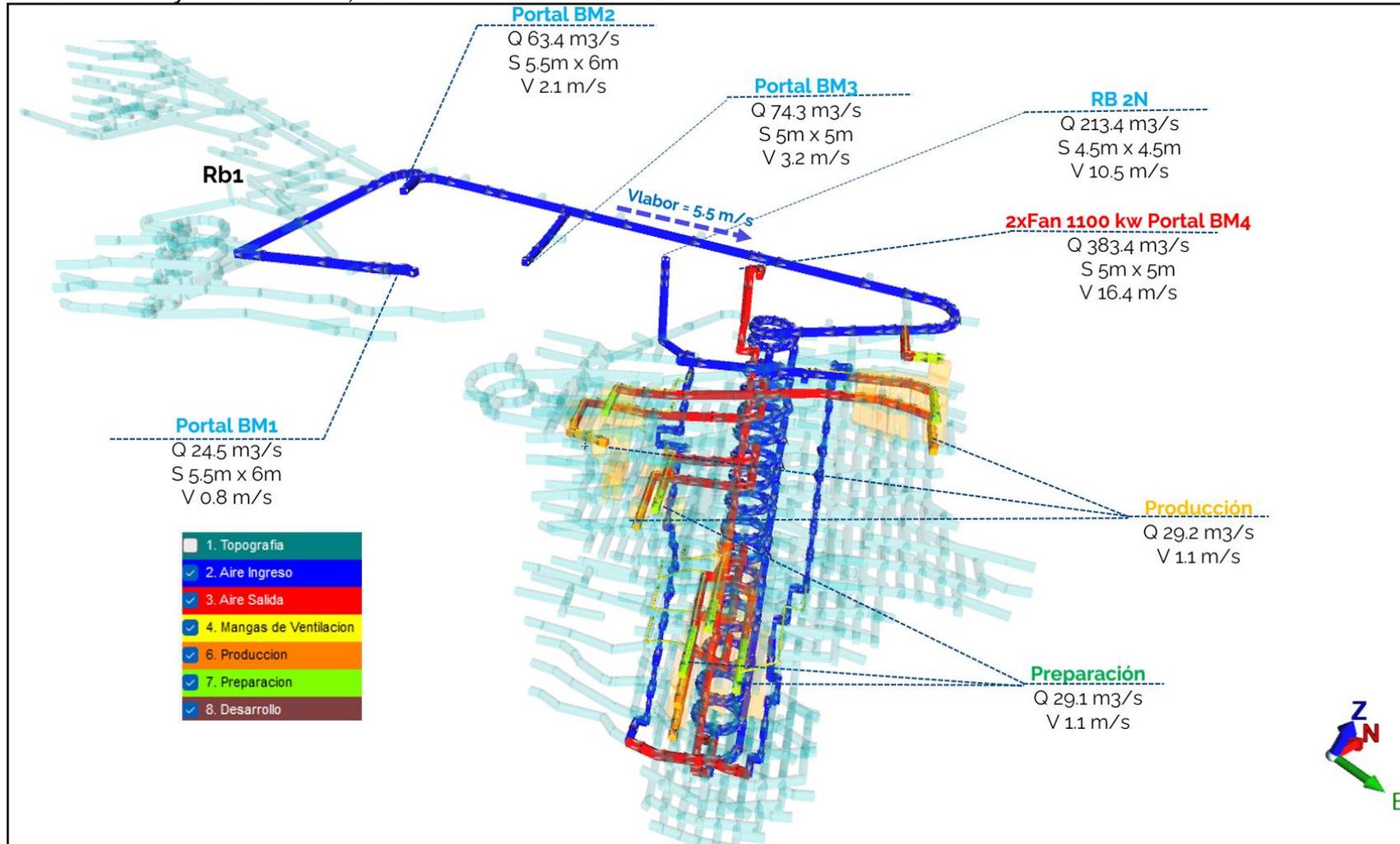
Tabla resultados cobertura de aire – año 2031.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
BM4	16.4	383.4
BM1	0.8	24.5
BM2	2.1	63.4
BM3	3.2	75.3
RB2N	10.5	213.4
Caudal Ingreso (m ³ /s)		376.6
Caudal Requerimiento (m ³ /s)		366.7
Cobertura (%)		103%

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2031.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 44 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 44

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2031.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	30.3	1.2
Prep	30.1	1.2
Prep	29.8	1.2
Prep	29.3	1.1
Prep	29.3	1.1
Prep	28.9	1.1
Prep	28.5	1.1
Prep	27.7	1.1
Pro	30.4	1.2
Pro	29.5	1.1
Pro	28.3	1.1
Pro	28.2	1.1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 45 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 30.2°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 45

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2031.

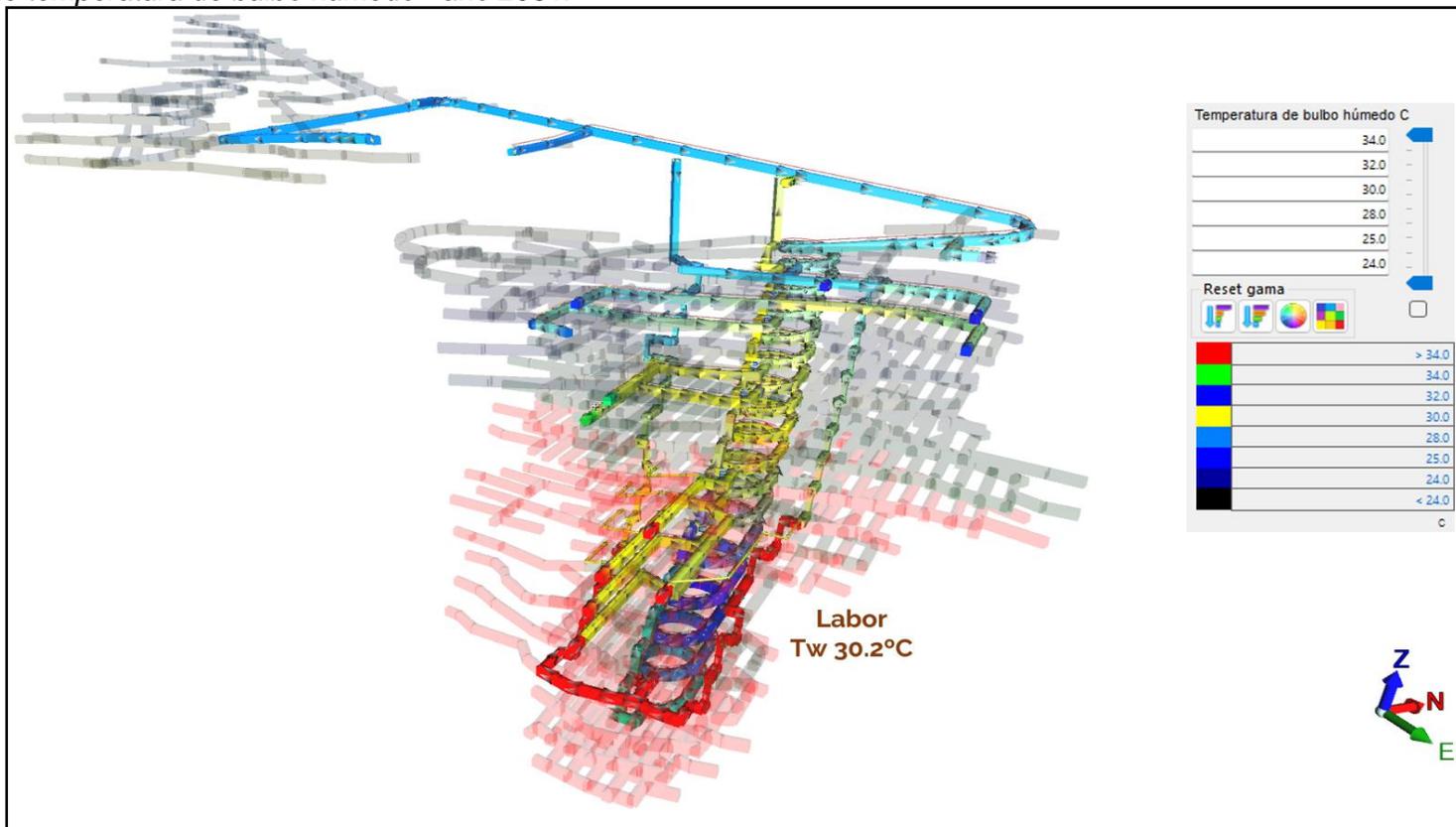
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	28.7
Prep	29.8
Prep	29.6
Prep	28.7
Prep	28.7
Prep	30
Prep	28.8
Prep	30.1
Pro	29.4
Pro	29
Pro	30.2
Pro	30.1

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 24 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 30.2°C.

Figura 24

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2031.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.10 Simulación de caudal y Temperatura Año 2032

En la Figura 25 se observa el isométrico del 2032 donde se contempla extraer stopes que se encuentran en la parte superior del cuerpo 3, la mina se encuentra en su penúltimo año de operación. Es importante mencionar que inclusive con el sistema en paralelo diseñado es posible a partir de los últimos años considerar labores de exploración para alargar la vida útil de la mina.

La Tabla 46 muestra la cobertura resultante para el año 2032 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 46

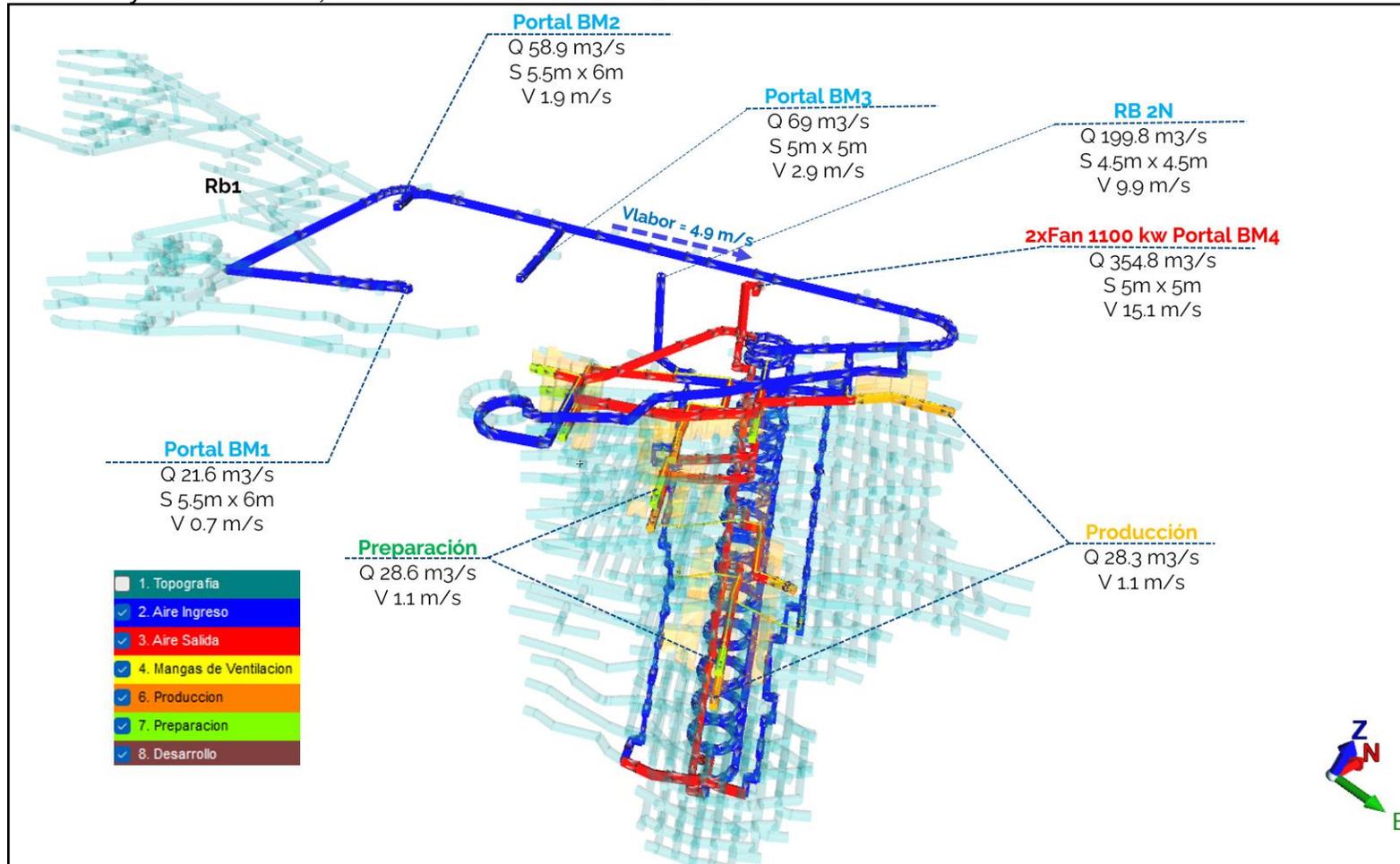
Tabla resultados cobertura de aire – año 2032.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	15.1	354.8
BM1	0.7	21.6
BM2	1.9	58.9
BM3	2.9	69
RB2N	9.9	199.8
Caudal Ingreso (m3/s)		349.3
Caudal Requerimiento (m3/s)		341.3
Cobertura (%)		102%

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2032.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 47 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 47

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2032.

Tipo de sección	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
Prep	30.3	1.2
Prep	29.7	1.2
Prep	29.5	1.1
Prep	28.6	1.1
Prep	27.6	1.1
Prep	27.6	1.1
Prep	27.2	1.1
Pro	30.4	1.2
Pro	29	1.1
Pro	28	1.1
Pro	25.9	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 48 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 30.2°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 48

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2032.

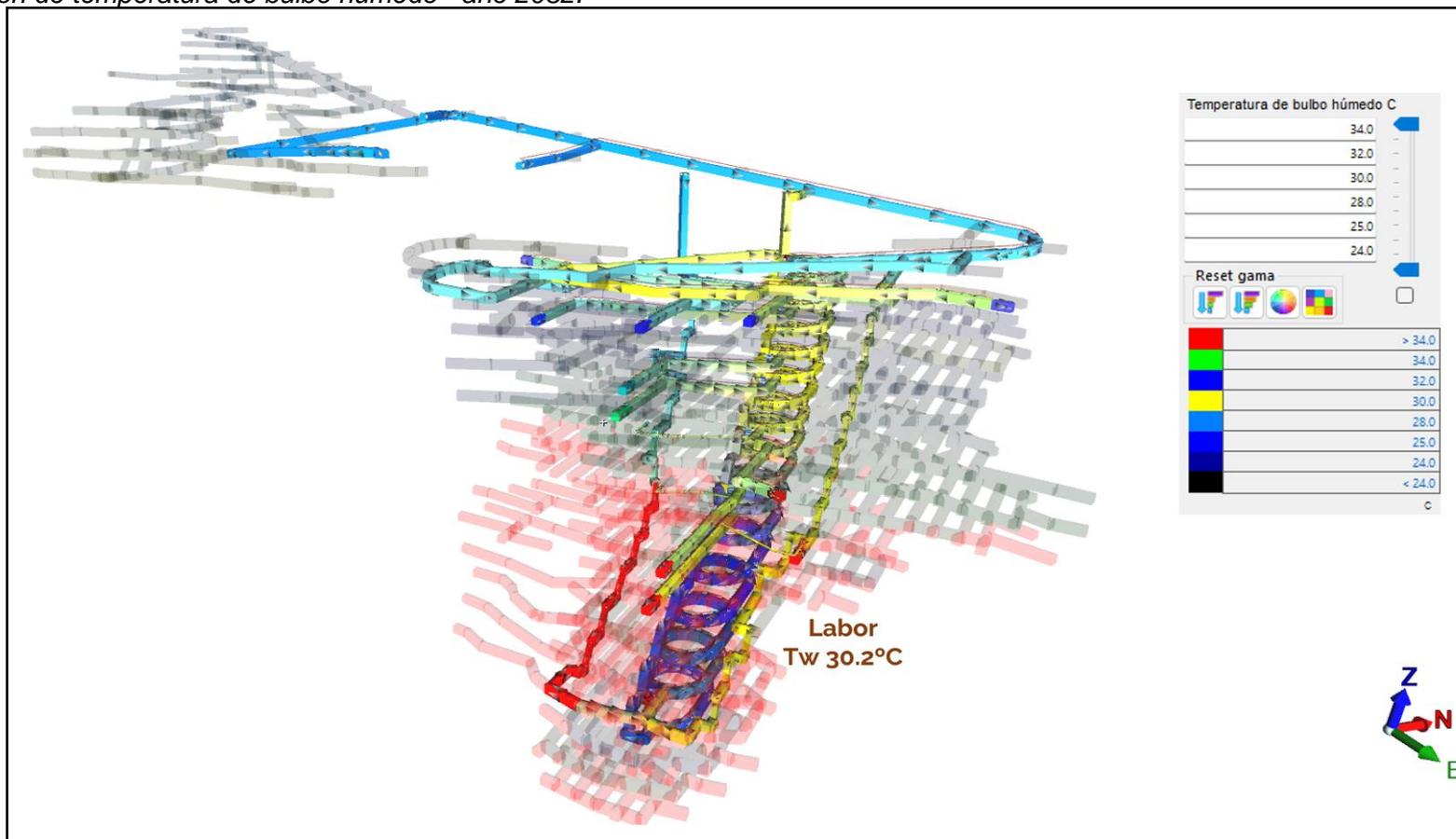
Tipo de sección	Tw (°C)
Prep	28.9
Prep	29.4
Prep	28.9
Prep	28.7
Prep	28.7
Prep	28.8
Prep	29.3
Pro	29.3
Pro	28.9
Pro	30.2
Pro	29.2

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 26 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 30.2°C.

Figura 26

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2032.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11 Simulación de caudal y Temperatura Año 2033

La Figura 27 muestra el isométrico del último año de la vida de la mina se considera el menor requerimiento de aire y solo 4 labores de producción, no se contemplan preparación ni desarrollo. Pero hay posibilidad de continuar explorando para encontrar mayores yacimientos de oro. El sistema en paralelo de ventiladores principales y ventiladores auxiliares poseen una vida útil entre 10 a 15 años. Por ello es factible utilizarlo en proyectos futuros.

La Tabla 49 muestra la cobertura resultante para el año 2033 (Ingresos y Salidas), observamos que el caudal de ingreso es mayor al caudal requerido y la cobertura de %.

Tabla 49

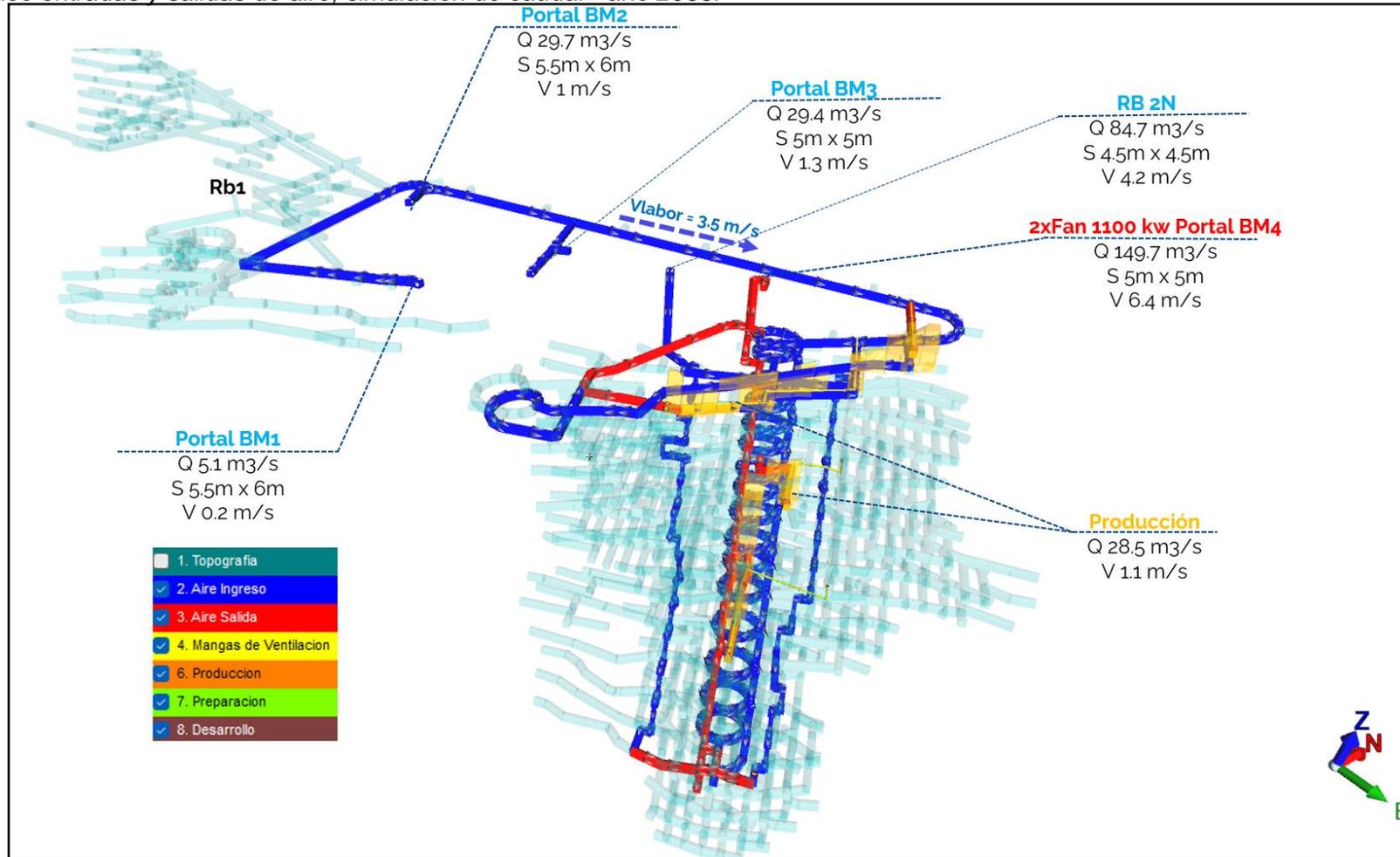
Tabla resultados cobertura de aire – año 2033.

Labor	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)
BM4	6.4	149.7
BM1	0.2	5.1
BM2	1	29.7
BM3	1.3	29.4
RB2N	4.2	84.7
Caudal Ingreso (m3/s)		148.9
Caudal Requerimiento (m3/s)		137.8
Cobertura (%)		108%

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Isométrico entradas y salidas de aire, simulación de caudal - año 2033.



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 50 resultados Ventsim se logran observar que los caudales en los frentes de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s y los frentes producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Tabla 50

Tabla resultados de caudales y velocidades en el frente – año 2033.

Tipo de sección	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
Pro	30	1.1
Pro	29.4	1.1
Pro	27.8	1.1
Pro	26.8	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 51 siguiente muestra los resultados de las simulaciones de la temperatura donde se señala a la temperatura 29.5°C como la mayor temperatura simulada.

Tabla 51

Tabla resultados de temperaturas de bulbo húmedo – año 2033.

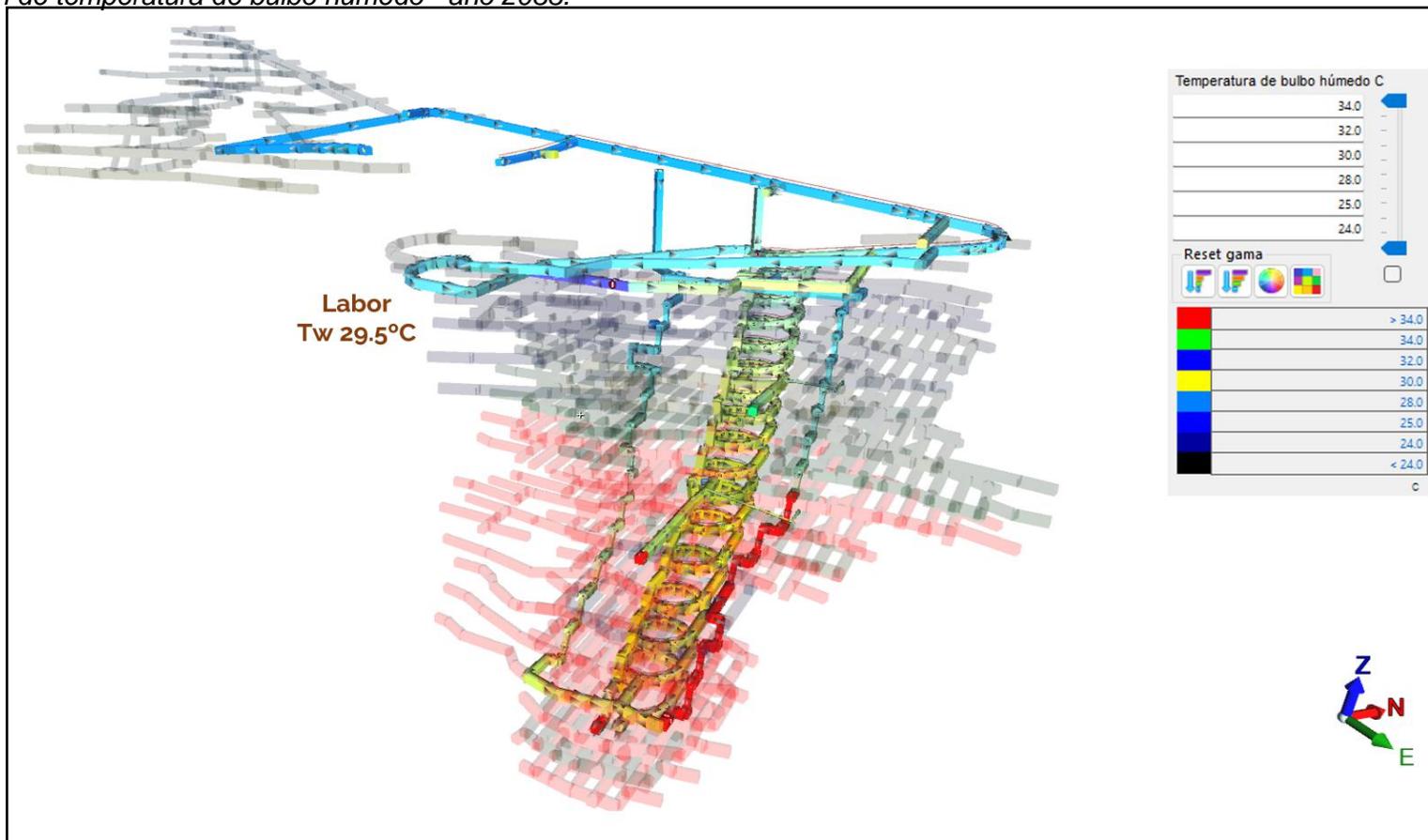
Tipo de sección	Tw (°C)
Pro	29.5
Pro	29.2
Pro	29.1
Pro	28.6

Fuente: Elaboración propia

La simulación de temperatura de Bulbo Húmedo deberá ser menor a 32.5°C según la normativa utilizada por este estudio. A continuación, la Figura 28 muestra la simulación de temperaturas dando una Temperatura Máxima de Bulbo Húmedo de 29.5°C.

Figura 28

Simulación de temperatura de bulbo húmedo - año 2033.



Fuente: Elaboración Propia

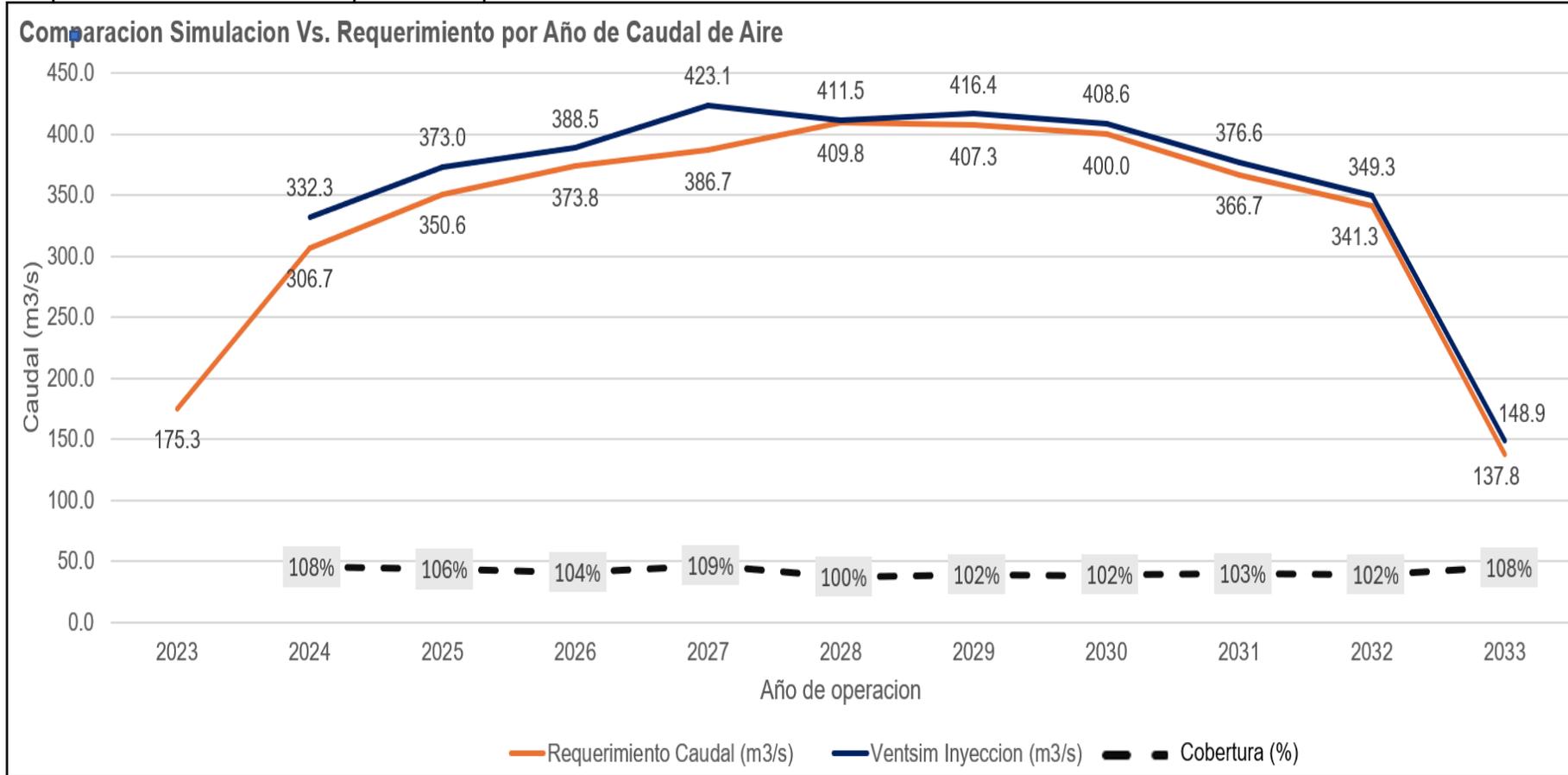
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Resultados ventilación principal

Dado la importancia de cumplir con el requerimiento de caudal de aire para todos los años de operación, la comparación con los resultados del Software Ventsim deberán de ser mayores al requerimiento. Los sistemas de ventilación en superficie son los responsables directos en generar un circuito principal durante la vida de la mina del proyecto y se verá reflejado en la potencia que consumen estos sistemas durante cada año. En la Figura 29 se muestra los caudales por cada año y sus requerimientos respectivos.

Figura 29

Comparación simulación vs. requerimiento por año de caudal de aire.



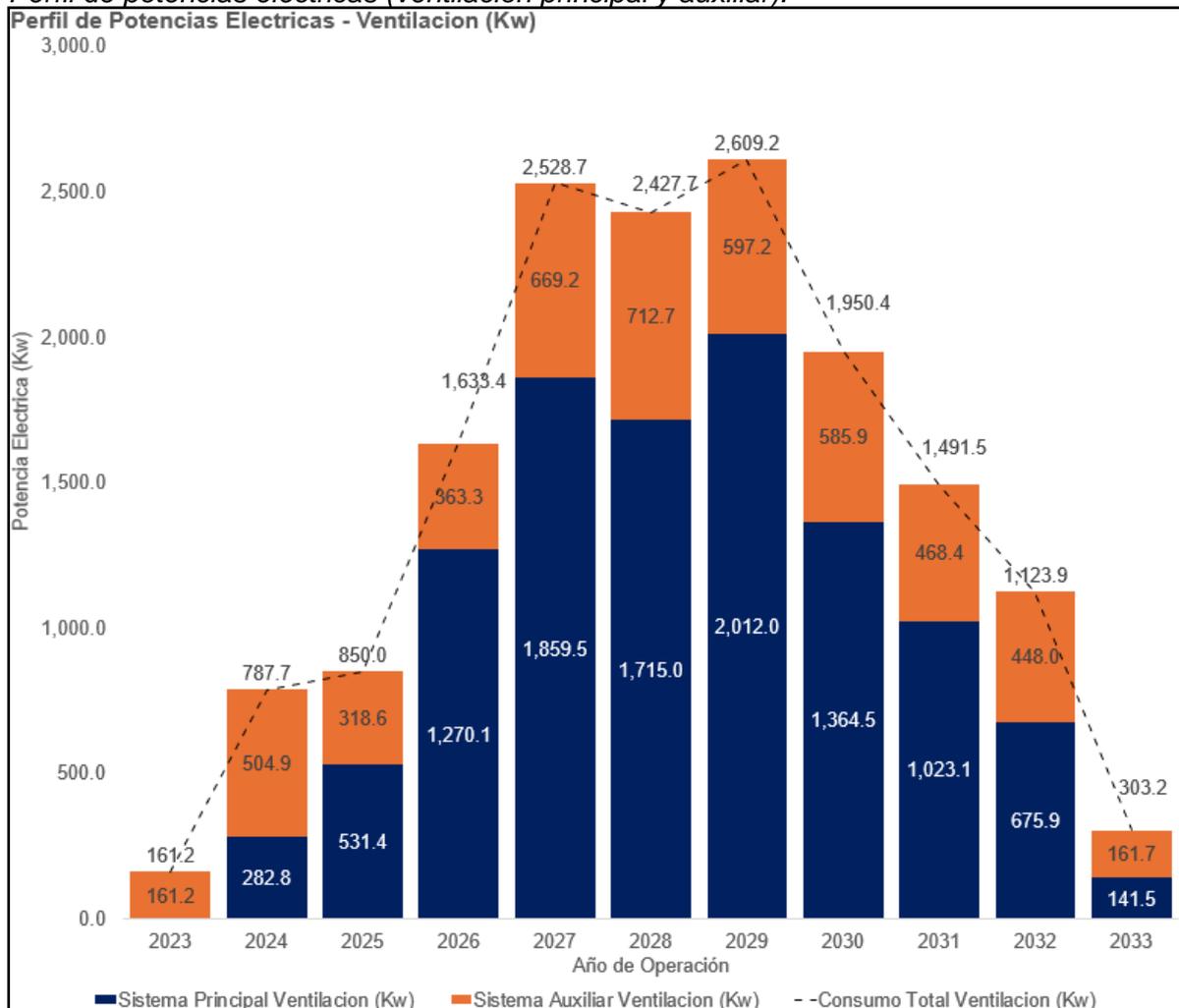
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Resultados Consumo Potencia Anual Ventilación

El consumo de potencia es la consecuencia directa al diseño y planeamiento de Sistemas de ventilación y refrigeración, debido a la incidencia en el costo operativo y de capital. Por ello, en la Figura 30 se muestra el perfil anual del consumo energético por parte de los Ventiladores Principales y Auxiliares.

Figura 30

Perfil de potencias eléctricas (ventilación principal y auxiliar).



Fuente: Elaboración Propia

Observamos que el mayor consumo energético se da en el 2029, aproximadamente 2,609.2 Kw (2.7 MW). Debido al mayor número de niveles en el cual se están operando, mientras más niveles profundos se operen en simultaneo la probabilidad de aumentar el consumo energético aumenta.

4.3 Lista de ventiladores y consumibles por año

Para determinar el Opex y Capex anuales por Ventilación, es importante detallar el número de ventiladores auxiliares y principales y consumibles por cada año. A continuación, en la Tabla 52 se muestra el conjunto de equipos a requerir durante cada año. Cabe resaltar que los números son la necesidad del año, más no lo que se va a adquirir.

Tabla 52

Requerimiento anual de ventiladores + consumibles

Ventiladores en Operación + Accesorios por año											
Descripción	Unidades										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Fans 55 Kw	4	14	16	16	15	14	14	13	12	11	4
Fans 1100 Kw		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Duct 1.4 (m)	901	5273	3197	2879	2873	2287	2369	2214	2111	2069	860

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Cálculo costo ventilación mina

Para determinar el costo de Ventilación mina, en primer lugar, se calcularon el costo de capital (Capex) y el costo de operación para cada año (Opex) por Ventilación. Para el cálculo de Capex intervino únicamente la adquisición de los ventiladores principales y auxiliares durante cada año. En el caso del Opex intervino el costo de la energía anual según la potencia eléctrica consumida por cada ventilador (Dato que resulta del Ventsim), costos de instalación, desinstalación y mantenimiento de los ventiladores, así como los costos de los metros de ductos (mangas) de ventilación que intervienen en la operación como consumibles. En la Tabla 53 y la Tabla 54 se muestra el detalle del cálculo de Capex y Opex respectivamente para cada año y el cálculo del costo de ventilación en la Tabla 54.

Tabla 53

Cálculo de Capex ventilación

Año de operación	Cálculo del Capex											
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Costo ventilador 55kw (\$/und)	28,058.08											
Costo ventilador 1000kw (\$/und)	852,727.27											
Fan Aux. Oper. 55kw (und)	4	14	16	16	15	14	14	13	12	11	4	
Fan Prin. Oper. 1000kw (und)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
CAPEX - Costo total de adquisición (M\$)	0.11	1.99	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54*Cálculo del Opex ventilación*

Cálculo del Opex											
Año de operación	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Consumo Ventilación Auxiliar (kw)	161.2	504.9	318.6	363.3	669.2	712.7	597.2	585.9	468.4	448.0	161.7
Consumo Ventilación Principal (kw)	0.0	282.8	531.4	1,270.1	1,859.5	1,715.0	2,012.0	1,364.5	1,023.1	675.9	141.5
Consumo Ventilación Total (kw)	161.2	787.7	850	1633.4	2528.7	2427.7	2609.2	1950.4	1491.5	1123.9	303.2
Costo Ratio Energía (\$/kwhr)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Costo Energía Ventilación (M\$)	0.27	1.31	1.41	2.72	4.21	4.04	4.34	3.25	2.48	1.87	0.50
Costo de instalación y/o desinstalación 10% (M\$)	0.01	0.20	0.01	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01
Costo de mantenimiento 10% (M\$)	0.01	0.20	0.01	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.18
Mangas de Ventilación 1.4(m)	900.8	5273.3	3197	2878.8	2872.9	2287.1	2369.2	2213.8	2111.2	2069	859.6
Costo mangas de ventilación (\$/m)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Costo mangas de Ventilación (\$)	18,016.0	87,450.0		57,576.0		45,742.0		44,276.0		41,380.0	
Costo de instalación mangas 10% (\$)	1,801.6	8,745.0	6,394.0	5,757.6	5,745.8	4,574.2	4,738.4	4,427.6	4,222.4	4,138.0	1,719.2
Costo Total Ductos Ventilación (M\$)	0.02	0.10	0.01	0.06	0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00
Opex (M\$)	0.31	1.80	1.43	3.13	4.47	4.34	4.60	3.54	2.72	2.15	0.70

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55*Cálculo del costo de ventilación*

Cálculo del Costo de Ventilación											
Numero de año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año de operación	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Producción anual (Mtpa)		1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
Total Reservas (Mt)	13.69										
Costo Total (M\$)	0.42	3.79	1.49	3.13	4.47	4.34	4.60	3.54	2.72	2.15	0.70
VP	0.42	3.45	1.23	2.35	3.05	2.69	2.59	1.82	1.27	0.91	0.27
Total VP (M\$)	20.06										
Costo por ventilación (\$/t)	1.47										

Fuente: Elaboración Propia

4.5 Comprobación de Hipótesis

4.5.1 Comprobación de Hipótesis General

La hipótesis general es: La planificación, modelamiento y diseño del sistema de ventilación a largo plazo permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% en todos los años con el soporte del software 3D Ventsim.

En la Tabla 56 se muestran los resultados de las 10 coberturas de aire desde el año 2024 hasta el año 2033. Se toma en cuenta la cobertura desde el 2024 debido a que se genera el primer circuito de mina.

Tabla 56

Tabla resultados coberturas de aire (2024-2025)

Año	Caudal Ingreso (m3/s)	Caudal Requerimiento (m3/s)	Cobertura (%)
2024	332.3	306.7	108%
2025	373.0	350.6	106%
2026	388.5	373.8	104%
2027	423.1	386.7	109%
2028	411.5	409.8	100%
2029	416.4	407.3	102%
2030	408.6	400.0	102%
2031	376.6	366.7	103%
2032	349.3	341.3	102%
2033	148.9	137.8	108%

Fuente: Elaboración propia

▪ Cálculo estadístico descriptivo:

Se realiza el cálculo descriptivo de hipótesis general, obteniendo los siguientes datos en la Tabla 57

Tabla 57

Validación estadística descriptiva de hipótesis general

Variable	Conteo Total	Media	Desv. Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Cobertura de aire	10	105%	0.0318	0.001	100%	109%

Fuente: Elaborado en SPSS

- **Prueba de normalidad:**

Hipótesis Nula = La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa = La distribución de datos no es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad de hipótesis general (ver Figura 31)

Figura 31

Prueba de normalidad de hipótesis general

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cobertura de aire	.223	10	.175	.891	10	.176

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Según Shapiro-Wilk:

$P_v = 0.891$ para la Cobertura de Aire

Como $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0 , por lo tanto, las distribuciones son normales.

- **Prueba T-Student para una muestra:**

Hipótesis Nula = La media de las coberturas es igual o menor al 100%

Hipótesis Alternativa = La media de las coberturas es mayor al 100%

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba T para una muestra (ver Figura 32)

Figura 32

Resultados Prueba T-Student de comprobación de hipótesis general

Prueba para una muestra							
	t	gl	Significación		Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			P de un factor	P de dos factores		Inferior	Superior
Cobertura de aire	4.548	9	<.001	.001	.04580	.0230	.0686

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para la Cobertura de Aire

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que las coberturas de aire son mayores al 100%.

Con esto podemos concluir que la planificación, modelamiento y diseño del sistema de ventilación con el software 3D Ventsim, garantiza que las coberturas de aire proyectado durante todos los años son mayores al 100%.

4.5.2 Comprobación de Hipótesis Específica N°01

La hipótesis específica N°1 es: El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, debido a que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m³/s y 18.1 m³/s respectivamente.

En el Anexo 4 se encuentra los resultados por cada año de los caudales en el frente correspondientes a labores de desarrollo, producción y preparación.

- **Cálculo estadístico descriptivo:**

Se realiza el cálculo descriptivo de hipótesis general, obteniendo los siguientes datos en la Tabla 58

Tabla 58

Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°1

Variable	Conteo Total	Media	Desv. Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Caudal Desarrollo	5	39.0	0.64	0.41	38.1	39.7
Caudal Pro y Prep	120	26.2	2.94	8.65	20.1	30.4

Fuente: Elaborado en SPSS

- **Prueba de normalidad:**

Hipótesis Nula = La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa = La distribución de datos no es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad de hipótesis general (ver Figura 33)

Figura 33

Prueba de normalidad de hipótesis específica N°1

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Caudal Desarrollo	.183	5	.200 [*]	.963	5	.827

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Caudal Pro y Prep	.127	120	<.001	.934	120	<.001

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Según Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov:

$P_v = 0.827$ para el Caudal desarrollo

$P_v < 0.05$ para el Caudal producción y preparación

Como $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0 para los caudales de desarrollo, por lo tanto, las distribuciones son normales.

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 para los caudales de producción y preparación, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

▪ **Prueba T-student para una muestra para los caudales de desarrollo:**

Hipótesis Nula = La media de los caudales de desarrollo es menor o igual a 36.2 m³/s.

Hipótesis Alternativa = La media de los caudales de desarrollo es mayor a 36.2 m³/s

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba T para una muestra (ver Figura 34).

Figura 34

Resultados de Prueba T-Student de comprobación de hipótesis específica N°1.1

Prueba para una muestra							
				Valor de prueba = 36.2		95% de intervalo de confianza de la diferencia	
	t	gl	Significación P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Caudal Desarrollo	9.778	4	<.001	<.001	2.80000	2.0049	3.5951

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para los caudales de desarrollo

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que los caudales de desarrollo son mayores a 36.2 m³/s.

Con esto podemos concluir que los caudales en los desarrollos serán mayores a 36.2 m³/s, esto influirá a no detener la producción de 3750 tpd debido a la apertura de nuevos tajeos pudiendo acceder a los niveles más inferiores.

▪ **Prueba Wilcoxon para una muestra para los caudales de producción y preparación:**

Hipótesis Nula = La mediana de los caudales de producción y preparación es menor o igual a 18.1 m³/s.

Hipótesis Alternativa = La mediana de los caudales de producción y preparación es mayor a 18.1 m³/s

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de Wilcoxon para una muestra (ver Figura 35).

Figura 35

Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°1.2

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La mediana de Caudal Pro y Prep es igual a 18.10.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para los caudales de Producción y Preparación

Como $P_v < 0.05$ se Rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que los caudales de producción y preparación son mayores a 18.1 m³/s.

Con esto podemos concluir que los caudales en las labores de producción y preparación serán mayores a 18.1 m³/s, esto permitirá el cumplimiento de la producción de 3750 tpd.

4.5.3 Comprobación de Hipótesis Específica N°02

La hipótesis específica N°2 es: El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, ya que la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación se encuentran por encima de 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.

En el Anexo 5 se encuentra los resultados por cada año de las velocidades y temperaturas de bulbo húmedo de las labores de desarrollo, producción y preparación.

▪ Cálculo estadístico descriptivo:

Se realiza el cálculo descriptivo de la hipótesis específica, obteniendo los siguientes datos en la Tabla 59

Tabla 59

Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°2

Variable	Conteo Total	Media	Desv. Est.	Varianza	Minimo	Maximo
Velocidad Desarrollo	5	1.32	0.11	0.01	1.2	1.5
Velocidad Pro y Prep	120	1.01	0.12	0.02	0.8	1.2
Temp. Bulbo Húmedo	129	29.37	0.77	0.59	27.8	31.9

Fuente: Elaborado en SPSS

▪ **Prueba de normalidad:**

Hipótesis Nula = La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa = La distribución de datos no es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad

de hipótesis general (ver Figura 36)

Figura 36

Prueba de normalidad de hipótesis específica N°2

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad Desarrollo	.372	5	.022	.828	5	.135
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad Pro y Prep	.230	120	<.001	.888	120	<.001
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura Bulbo Humedo	.106	129	.001	.927	129	<.001

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Según Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov:

$P_v = 0.135$ para la velocidad de desarrollo

$P_v < 0.05$ para la velocidad de producción y preparación

$P_v < 0.05$ para la temperatura de bulbo húmedo

Como $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0 para la velocidad de desarrollo, por lo tanto, las distribuciones son normales.

Como $P_v < 0.05$ se Rechaza la H_0 para las velocidades de producción y preparación, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

Como $P_v < 0.05$ se Rechaza la H_0 para las temperaturas de bulbo húmedo, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

▪ **Prueba T-Student para una muestra para la velocidad de desarrollo:**

Hipótesis Nula = La media de las velocidades de desarrollo es menor o igual a 0.75 m/s.

Hipótesis Alternativa = La media de las velocidades de desarrollo es mayor a 0.75 m/s.

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba T para una muestra (ver Figura 37).

Figura 37

Resultados Prueba T-Student de comprobación de hipótesis específica N°2.1

Prueba para una muestra							
Valor de prueba = 0.75							
Significación							
95% de intervalo de confianza de la diferencia							
	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Velocidad Desarrollo	11.635	4	<.001	<.001	.57000	.4340	.7060

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para las velocidades de desarrollo

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que las velocidades de desarrollo son mayores a 0.75 m/s.

Con esto podemos concluir que las velocidades en las labores de desarrollo serán mayores a 0.75 m/s, por ello el diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana.

▪ **Prueba Wilcoxon para una muestra para la velocidad de producción y preparación:**

Hipótesis Nula = La mediana de las velocidades de producción y preparación es menor o igual a 0.5 m/s.

Hipótesis Alternativa = La mediana de las velocidades de producción y preparación es mayor a 0.5 m/s

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de Wilcoxon para una muestra (ver Figura 38).

Figura 38

Resultados Prueba Wilcoxon de comprobación de hipótesis específica N°2.2

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La mediana de Velocidad Pro y Prep es igual a .50.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para las velocidades de producción y preparación

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que las velocidades de producción y preparación son mayores a 0.5 m/s.

Con esto podemos concluir que las velocidades en las labores de producción y preparación serán mayores a 0.5 m/s, por ello el diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana.

▪ **Prueba Wilcoxon para una muestra para la temperatura de bulbo húmedo:**

Hipótesis Nula = La mediana de las temperaturas de bulbo húmedo en las labores de desarrollo, producción y preparación es menor o igual a 32.5°C.

Hipótesis Alternativa = La mediana de las temperaturas de bulbo húmedo en las labores de desarrollo, producción y preparación es mayor a 32.5°C.

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de Wilcoxon para una muestra (ver Figura 39).

Figura 39

Resultados Prueba Wilcoxon de comprobación de hipótesis específica N°2.3

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La mediana de Temperatura Bulbo Humedo es igual a 32.50.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	<.001	Rechaza la hipótesis nula.

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

1-Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para las temperaturas de bulbo húmedo

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que las labores de desarrollo, producción y preparación son mayores a 32.5°C.

Con esto podemos concluir que en las labores de desarrollo, producción y preparación serán mayores a 32.5°C, por ello el diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana.

4.5.4 Comprobación de Hipótesis Específica N°03

La hipótesis específica N°3 es:

Determinar que el diseño del sistema de ventilación mejora la productividad respecto al bajo costo que representa la ventilación respecto al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).

▪ **Cálculo estadístico descriptivo:**

Se realiza el cálculo descriptivo de hipótesis general, obteniendo los siguientes datos en la Tabla 60 del Anexo 3.

Tabla 60

Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N°3

Variable	Conteo Total	Media	Desv. Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Costos Ventilación Minas África	42	2.79	0.66	0.44	1.8	4

Fuente: Elaborado en SPSS.

▪ **Prueba de normalidad:**

Hipótesis Nula = La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa = La distribución de datos no es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad de hipótesis general (ver Figura 40)

Figura 40

Prueba de normalidad de hipótesis específica N°3

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Costos Minas Africa	.106	42	.200 [*]	.941	42	.032

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Según Shapiro-Wilk:

$P_v = 0.032$ para Costos Ventilación Minas África

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 para los costos de Ventilación Minas África, por lo tanto, las distribuciones no son normales.

▪ **Prueba Wilconxon para una muestra para el costo de ventilación:**

Hipótesis Nula = El costo de ventilación mina de 1.47 \$/t es mayor o igual a la mediana de los costos de ventilación de minas subterráneas similares en el África.

Hipótesis Alternativa = El costo de ventilación mina de 1.47 \$/t es menor a la mediana de los costos de ventilación de minas subterráneas similares en el África.

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de Wilconxon para una muestra (ver Figura 41).

Figura 41

Resultados Prueba Wilconxon de comprobación de hipótesis específica N°3

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La mediana de Costos Ventilacion Minas Africa es igual a 1.47.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.

Fuente: Elaborado en SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1-\alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Por lo tanto:

$P_v < 0.05$ para los costos Ventilación

Como $P_v < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, hay evidencia suficiente para afirmar que el costo de la mina 1.47 \$/t es menor a la mediana de los costos de ventilación de minas subterráneas en el África.

Con esto podemos concluir que el costo de ventilación mina es menor a la mediana de los costos de ventilación de minas de similares características en el África, por ello el diseño de ventilación mejora la productividad.

Conclusiones

Calculando el requerimiento de caudal principal por cada año (Máxima demanda de 409.8 m³/s / 868.3 kcfm en el año 2028) y realizando una adecuada planificación y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim, los resultados nos muestran que en cada año (En particular desde el 2024 hasta el 2033) la cobertura de aire proyectado se encuentra por encima del 100%, comprobados mediante un análisis estadístico en el software SPSS con un nivel de confianza del 95% se cumple con el objetivo principal del estudio.

El requerimiento de caudal auxiliar se calculó para dos escenarios. El primer escenario se da cuando ingresa solo el Scoop para labores de preparación y producción dando como resultado 18.1 m³/s de caudal en el frente y para las labores de desarrollo un segundo escenario donde ingresa el Scoop y Volquete, dando como resultado 36.2 m³/s de caudal en el frente. Los resultados en el software Ventsim y comprobados en el software SPSS indican que los caudales en el frente son mayores que el requerimiento calculado para cada labor de producción, preparación y desarrollo durante cada año durante la vida útil de la mina.

La velocidad mínima según normativa también se comprobó, indicando que para las labores de producción y preparación sea mayor a 0.5 m/s y para las labores de desarrollo de 0.75 m/s. Dando como resultados Ventsim las velocidades en cada frente de producción, preparación y desarrollo por encima de los límites establecidos, comprobados mediante análisis estadístico el software SPSS.

La temperatura inaceptable para trabajar es de 32.5°C según normativa del país de Ghana, los resultados Ventsim muestran temperaturas en todos los frentes de producción, preparación y desarrollo muy por debajo del límite máximo permisible, también comprobados mediante análisis estadístico en el software SPSS.

El planeamiento y diseño permitió determinar la capacidad y tipo de los ventiladores principales y auxiliares, así como los metros de ductos (mangas) de ventilación que se

necesitaran año tras año. Las adquisiciones de dichos equipos y consumibles intervienen directamente en el cálculo del Capex y Opex, además del costo energético, costos de instalación, desinstalación y mantenimiento de los equipos y ductos de ventilación. Al tener el Capex y Opex anual se puede conocer el costo por ventilación de todo el proyecto trayendo al presente (2023) dichos costos. Por ello nos da como resultado el costo de ventilación de la mina 1.47 \$/t. Dicho costo se comparó con el costo de ventilación de minas en el África de similares características comprobando mediante análisis estadístico con el software SPSS que es menor a la mediana de los costos de ventilación de dichas minas.

El presente estudio se calcula la demanda o requerimiento de la ventilación principal bajo 3 metodologías (Por equipos y personas, por secciones simultaneas y por velocidades mínimas). La comparación de estos 3 resultados por año dará como resultado el requerimiento máximo que deberá de ingresar a la mina como se muestra en la Figura.

Se calculó el diámetro del ducto óptimo a utilizar, basados en el caudal en el frente más fugas para los dos escenarios descritos resultando 20.9 m³/s para las labores de producción y preparación y 41.6 m³/s para las labores de desarrollo. En la Figura se observa que el rango donde ingresan estos valores es para el diámetro de 1.4m.

Los resultados Ventsim del consumo energético anual (ver durante la vida de la mina tiene forma de campana y no creciente como es acostumbrado ver en una operación minera. Este comportamiento influye en un menor costo operacional (OPEX) respecto a minas con el comportamiento creciente.

El presente estudio del modelamiento y simulación del sistema de ventilación de la mina subterránea comprende el cálculo del requerimiento principal y secundario de la necesidad de aire con la finalidad de satisfacer un adecuado entorno de trabajo para el personal que ingresa a mina. Seguido de la selección y ubicación de ventiladores y accesorios de ventilación (ductos de ventilación y puertas de ventilación) que permiten en conjunto mantener la mina totalmente ventilada y una producción continua.

Se diseñó para la ventilación secundaria auxiliar un ventilador de 55kw. Los detalles y características técnicas se encuentran en el Anexo 4

Se diseñó para la ventilación principal un ventilador de 1100 kw. Los detalles y características técnicas se encuentran en el Anexo 5

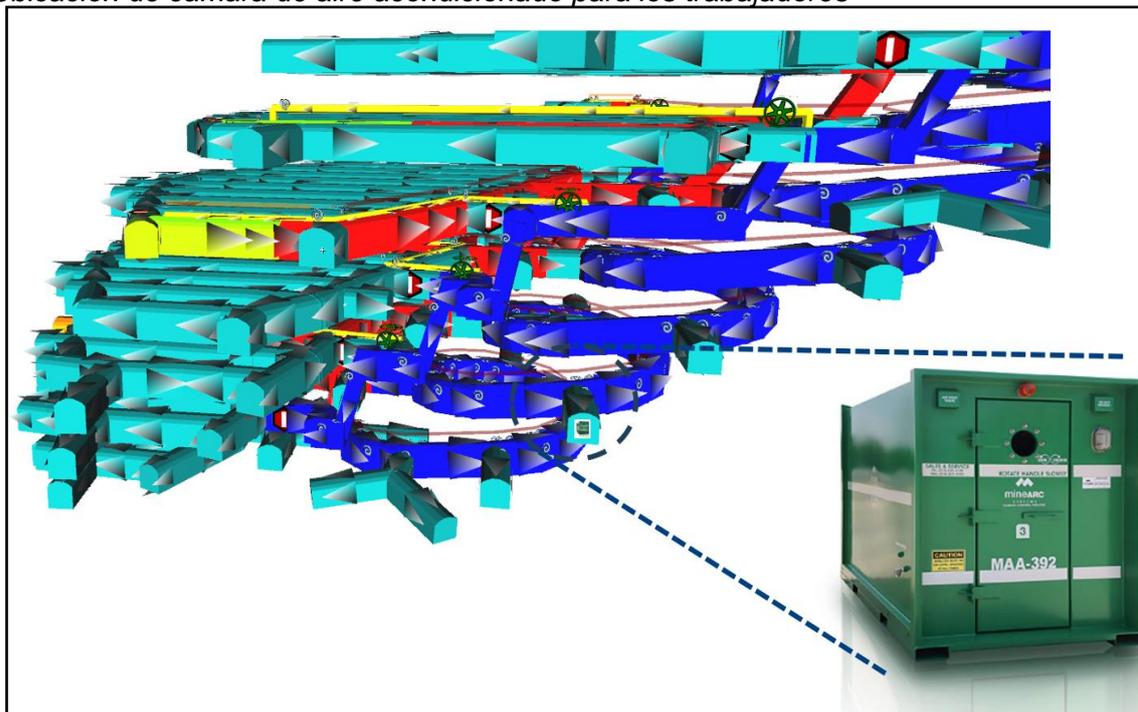
Recomendaciones

Durante los años en donde se presenten zonas específicas de temperaturas mayores a 29°C, pero menores a 32.5°C se recomienda mitigar estas elevadas temperaturas con el uso de cámaras de refrigeración en la entrada a los niveles en el penúltimo.

Como se muestra en la Figura 42 y la Figura 43 se presenta la ubicación recomendada para estas cámaras de refrigeración. Esto permitirá que los trabajadores no estén expuestos continuamente a elevadas temperaturas, por el contrario, les permitirá tomar descansos periódicos de 15 a 20 minutos para poder rehidratarse y continuar con la producción de extracción de mineral en las zonas más bajar.

Figura 42

Ubicación de cámara de aire acondicionado para los trabajadores



Fuente: Elaboración Propia y MineARC

Figura 43

Imagen referencial de diseño de cámaras de aire acondicionado



Fuente: MineARC

Se recomienda el uso del siguiente diseño para las puertas reguladores de extracción, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Tipo de instalación de puertas de ventilación recomendadas.

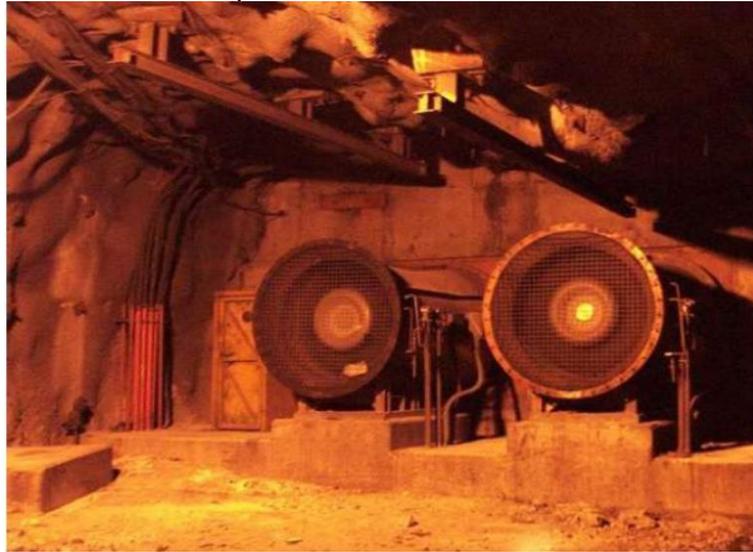


Fuente: HCA Minería

Se recomienda el siguiente diseño para las puertas herméticas de ventilación, como se muestra en la Figura 45.

Figura 45

Imagen referencial de instalación puertas herméticas con ventiladores en paralelo



Fuente: Imágenes Google

En cada instalación, ya sea ventilador secundario o principal, se deberá verificar la presión y el caudal ejercido, mediante mediciones de caudal, presión, potencia, amperaje y voltaje.

En cada instalación se deberá verificar la presión y el caudal ejercido, con la finalidad de cuidar el consumo del motor. Iniciar con 50% de frecuencia para luego ir aumentando poco a poco hasta su capacidad máxima de 1100 kw.

La vida útil de los ventiladores dependerá del cuidado del motor al momento de su uso, instalaciones que permitan ejercer más presión del ventilador hará que consuman mucha más energía por ende la vida útil del motor del ventilador disminuirá.

Se sugiere trabajar con un arrancador variador de frecuencia para todos los ventiladores, de acuerdo requerimiento de caudal que por cada año varia sobre todo en los principales.

El diámetro del ducto de ventilación deberá ser siempre igual o mayor al diámetro del ventilador; el aire debe ser direccionado de manera correcta y fluida para evitar pérdidas de presión estática y un consumo mayor al requerido. Esto puede conllevar a disminuir el alcance que puede llegar a otorgar los ventiladores de 55kw.

Mantener los conductos de ventilación limpios y libres de obstrucciones. Realiza limpiezas periódicas para eliminar cualquier acumulación de suciedad, polvo o escombros que puedan dificultar el flujo de aire.

Establecer un programa de mantenimiento regular para el sistema de ventilación subterráneo. Esto incluye la inspección de los componentes del sistema, la lubricación de los ventiladores y la reparación de cualquier problema o avería. Así como también, proporcionar capacitación a los trabajadores o personas que operen o trabajen cerca del sistema de ventilación subterráneo.

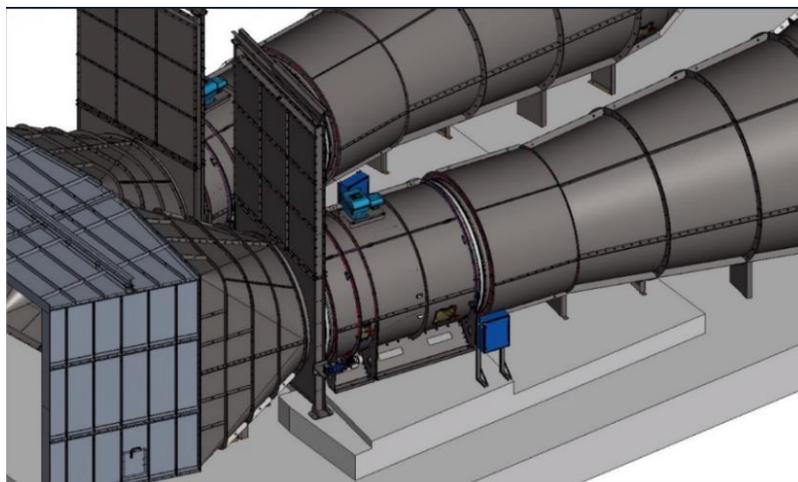
Instalar sensores de calidad del aire para monitorear constantemente los niveles de oxígeno, dióxido de carbono, humedad y otros contaminantes. Esto permitirá detectar cualquier anomalía en la calidad del aire y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Considera la instalación de un sistema de respaldo en caso de falla del sistema principal. Esto puede incluir generadores de emergencia, sistemas de respaldo de energía o ventiladores adicionales para garantizar la continuidad del suministro de aire fresco.

Además, se recomienda colocar sensores de flujo y de gases en el arreglo del ventilador, esto con la finalidad de llevar un control estricto del caudal de aire que se encuentra extrayendo, así como también el nivel de concentraciones de gases nocivos que se extraen de mina.

Figura 46

Imagen referencial de los sensores de presiones y pt100 instalados en el sistema en paralelo.



Fuente: Zitron

Referencias bibliográficas

- Agúero H. & Alvarez H. (2012). *Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías-del Nivel 1950 mina Calpa Arequipa* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica. Perú
- Aponte E. (2014). *Modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera cobriza zona norte (área coris)* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú
- ASHRAE. 2000. 2000 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment, Chapter 18, Fans. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- Baltazar R. (2016). *Influencia de los ventiladores en el sistema ventilación de la mina Kazán de la compañía minera Paraíso*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4592>
- Caxi Y. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. UEA Santa Filomena-Aplicando el Software Ventsin* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa. Perú
- Decreto Supremo N° 023-2017-EM. *Ministerio de Energía y Minas*. Lima. Perú. 15 de agosto de 2017.
- Janampa J. (2018). *Mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea-Mina Colquijirca de Minas Buenaventura S.A.A* (tesis pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco. Perú
- Luque, V. C., *Manual de ventilación de minas*. Pedeca S. Coop. Ltda, España. 1988
- Mcperson, M J, 2009. *Subsurface Ventilation Engineering*, Publicado por Mine Ventilation Services, Inc., USA.
- Osinermin. (2018, enero, 25). *Dos casos de accidente por gaseamiento*. Revista Seguridad Minera. Recuperado de <http://www.revistaseguridadminera.com>

Rueda, R., Toro C. & Zuleta, R. (2012). *Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura*. Universidad de Utah. Recuperado el de <http://www.ventsim.com/wpcontent>

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Matriz de consistencia	1
Anexo 2: Resultados Ventsim	2
Anexo 3: Costos de ventilación de minas similares - Africa.....	12
Anexo 4: Características Ventilador de 55 kw	14
Anexo 5: Calculo y determinación del ventilador principal de 1100 Kw	19

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
¿El planeamiento y diseño a largo plazo del sistema de ventilación de la mina permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% utilizando el software 3D Ventsim?	La planificación y diseño del sistema de ventilación a largo plazo permitirá poseer una cobertura de aire proyectado mayor al 100% en todos los años con el soporte del software 3D Ventsim	Planificar y diseñar el sistema de ventilación a largo plazo (11 años) para satisfacer la cobertura de aire proyectada mayor al 100% con el software 3D Ventsim en una mina de Guinea-África.	X = Planificación a largo plazo del sistema de ventilación Indicadores X1 = Caudal (m3/s) X2 = Cobertura (%)
PROBLEMA ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES DEPENDIENTES
<p>a. ¿El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, logrando que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m3/s y 18.1 m3/s respectivamente?</p> <p>b. ¿El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina lograra cumplir con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, y obtendrá resultado de la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación mayores a 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.?</p> <p>c. ¿El diseño del sistema de ventilación resultara con un costo por ventilación menor al promedio de minas de similares características. (2.79 \$/t).?</p>	<p>a. El diseño del sistema de ventilación asegurará la extracción diaria de 3750 tpd, debido a que las labores de desarrollo, producción y preparación poseen un caudal en el frente mayor a 36.2 m3/s y 18.1 m3/s respectivamente.</p> <p>b. El diseño del sistema de ventilación a largo plazo para la mina cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana, ya que la velocidad en las labores de desarrollo, producción y preparación se encuentran por encima de 0.75 m/s y 0.5 m/s respectivamente y sus temperaturas de bulbo húmedo son menores a 32.5°C.</p> <p>c. El diseño del sistema de ventilación contempla un costo por ventilación menor al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).</p>	<p>a. Comprobar que el diseño del sistema de ventilación asegura el cumplimiento del tonelaje diario proyectado de 3750 tpd bajo el cumplimiento de mínimo de 36.2 m3/s por labor de desarrollo y 18.1 m3/s por labor de producción y preparación..</p> <p>b. Comprobar que el diseño del sistema de ventilación a largo plazo cumple con las normas y estándares internacionales del país de Ghana bajo el cumplimiento mínimo de una velocidad de 0.75 m/s por labor de desarrollo y 0.5 m/s por labor de producción y preparación y una temperatura de bulbo húmedo menor a 32.5°C.</p> <p>c. Determinar que el diseño del sistema de ventilación mejora la productividad respecto al bajo costo que representa la ventilación respecto al promedio de minas de similares características (2.79 \$/t).</p>	<p>Y = Sistema de Ventilación a largo plazo</p> <p>Indicadores</p> <p>Y1 = Caudal (m3/s) Y2 = Velocidad (m/s) Y3 = Temperatura bulbo húmedo (°C) Y4 = Costos de Ventilación Mina (\$/t)</p>

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Resultados Ventsim

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2023	BM1 - Outlet Air	59.5	1.9	0	28.7
2023	BM2 - Inlet Air	58.1	1.9	0	28.7
2023	Des	30.3	1	0	28.2
2023	Des	29.1	0.9	0	28.1
2023	Des	28.9	0.9	0	28.2
2023	Des	28.6	0.9	0	28.2
2023	V1	30.2	19.6	36.8	28
2023	V2	28.7	18.7	41.4	28.1
2023	V3	29	18.8	40.8	27.9
2023	V4	28.4	18.5	42.2	28
2024	BM1 - Outlet Air	188.8	6.1	155.2	28.8
2024	BM2 - Inlet Air	176.1	5.7	0	27.8
2024	BM3 - Inlet Air	93.1	4	0	28
2024	BM4 - Outlet Air	145.8	6.2	127.6	29.3
2024	Des	38.7	1.3	0	29
2024	Des	39	1.3	0	29.7
2024	Des	39.7	1.5	0	28.9
2024	Prep	22.3	0.9	0	28.4
2024	Prep	22.4	0.9	0	28.3
2024	Prep	29.8	1.1	0	29.6
2024	Pro	21.4	0.8	0	28.7
2024	Pro	21.9	0.8	0	28.5
2024	Pro	23.9	0.9	0	29.3
2024	Pro	25	1	0	28.1
2024	Pro	30.4	1.2	0	28.2
2024	RB1 - Inlet Air	63.1	7	0	27.5
2024	V1	20.9	13.6	39.3	28.9
2024	V10	21.7	14.1	55.3	28.2
2024	V11	25	16.2	50.2	28.2
2024	V12	22.3	14.5	22.3	28.2
2024	V13	20.2	13.1	32	28.4
2024	V14	21.8	14.2	29.6	29.3
2024	V2	20.4	13.2	39.9	29
2024	V3	20.6	13.4	32	29.5
2024	V4	30.2	19.6	36.8	29.5
2024	V5	21.2	13.8	31.2	29.5
2024	V6	31	20.1	34.4	28.1
2024	V7	26.7	17.4	47.2	28
2024	V8	24.2	15.7	25.8	29.2
2024	V9	22.7	14.8	28.9	28.6

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2025	BM1 - Outlet Air	179	5.8	209.4	28.5
2025	BM2 - Inlet Air	220.4	7.1	0	27.8
2025	BM3 - Inlet Air	120.1	5.1	0	28
2025	BM4 - Outlet Air	197.3	8.4	322	29.8
2025	Des	39.5	1.3	0	31
2025	Prep	20.1	0.8	0	28
2025	Prep	21.4	0.8	0	29.5
2025	Prep	21.5	0.9	0	29.4
2025	Prep	21.6	0.8	0	29.4
2025	Prep	22	0.9	0	29.5
2025	Prep	22	0.8	0	29.4
2025	Prep	23	0.8	0	29.5
2025	Prep	23	0.8	0	29.6
2025	Prep	23.1	0.8	0	29.7
2025	Pro	20.2	0.8	0	28.8
2025	Pro	20.9	0.8	0	28.1
2025	Pro	21.3	0.8	0	27.8
2025	Pro	21.4	0.8	0	28.1
2025	Pro	22.3	0.9	0	28.7
2025	RB1 - Inlet Air	32.5	3.6	0	27.5
2025	V1	21.1	13.7	18.3	28.7
2025	V10	21.5	14	17.7	29.3
2025	V11	21.6	14	17.6	29.3
2025	V12	21.5	14	17.5	27.7
2025	V13	22.6	14.7	21.9	28.1
2025	V14	21.2	13.8	18	28.1
2025	V15	21.2	13.7	12.5	28
2025	V16	21	13.6	31.5	31.3
2025	V2	22.7	14.8	15.6	28.6
2025	V3	22	14.3	17	29.3
2025	V4	21.8	14.2	17.4	29.4
2025	V5	22	14.3	17	29.4
2025	V6	20.8	13.5	31.9	30.3
2025	V7	23	15	21.5	29.6
2025	V8	22.9	14.9	21.6	29.5
2025	V9	23	14.9	21.6	29.4

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2026	BM1 - Inlet Air	20	0.6	0	27.9
2026	BM2 - Inlet Air	66.4	2.1	0	27.8
2026	BM3 - Inlet Air	74.8	3.2	0	28
2026	BM4 - Outlet Air	396.9	16.9	1270.1	29.5
2026	Des	38.1	1.2	0	31.4
2026	Prep	20.9	0.9	0	29.2
2026	Prep	22	0.8	0	30.6
2026	Prep	22	0.9	0	29
2026	Prep	22.9	0.9	0	29.3
2026	Prep	23.8	0.8	0	31.5
2026	Prep	23.8	0.8	0	31.5
2026	Prep	23.8	0.9	0	29.4
2026	Prep	28.5	1.1	0	28.7
2026	Prep	28.6	1	0	30.3
2026	Prep	29.9	1.2	0	29.2
2026	Pro	20.4	0.8	0	29
2026	Pro	21.2	0.8	0	30
2026	Pro	22.6	0.9	0	29.3
2026	Pro	26.3	1	0	28.7
2026	Pro	26.5	1.1	0	28.9
2026	RB1	0.1	0	0	27.5
2026	RB2N	227.3	11.2	0	28.1
2026	V1	27.6	17.9	45.1	28.6
2026	V10	21.2	13.8	12.8	29.9
2026	V11	21.1	13.7	13	29.2
2026	V12	28.8	18.7	21.8	30.3
2026	V13	22.1	14.3	11.3	30.6
2026	V14	24.1	15.7	19.5	31.4
2026	V15	18.4	11.9	17	31.5
2026	V16	20.3	13.2	14.3	31.1
2026	V2	29.1	18.9	40.7	28.6
2026	V3	30.2	19.7	37	29.1
2026	V4	27.3	17.7	36	28.8
2026	V5	22.9	14.9	21.7	29.2
2026	V6	22.5	14.6	22.5	29.2
2026	V7	22.3	14.5	16.4	28.9
2026	V8	20.4	13.2	14.1	28.9
2026	V9	23.7	15.4	20.1	29.3

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2027	BM1 - Inlet Air	21.7	0.7	0	27.9
2027	BM2 - Inlet Air	71.3	2.3	0	27.8
2027	BM3 - Inlet Air	80.6	3.4	0	28
2027	BM4 - Outlet Air	433	18.5	1859.5	29.7
2027	Prep	25.5	1.1	0	29
2027	Prep	25.8	1	0	29.4
2027	Prep	25.9	1	0	29.4
2027	Prep	26.2	1	0	28.9
2027	Prep	26.4	1	0	29.1
2027	Prep	26.7	1	0	29.6
2027	Prep	27.7	1.1	0	29.7
2027	Prep	27.8	1.1	0	30
2027	Prep	28.9	1.1	0	30
2027	Prep	29.9	1.2	0	29
2027	Pro	25.2	1	0	29.5
2027	Pro	26.6	1	0	29.1
2027	Pro	27.6	1.1	0	28.8
2027	Pro	28.9	1.1	0	31.9
2027	Pro	29.8	1.2	0	31.9
2027	RB1	0.1	0	0	28.4
2027	RB2N	249.5	12.3	0	28.1
2027	V1	30.4	19.7	36.6	28.9
2027	V10	27.1	17.6	47.3	29.5
2027	V11	28.1	18.3	44	29.8
2027	V12	29.1	18.9	41.3	29.9
2027	V13	28.1	18.2	44.5	29.5
2027	V14	29.4	19.1	40.4	31.8
2027	V15	29.7	19.3	39.3	31.8
2027	V2	28.3	18.4	43.1	28.6
2027	V3	27.2	17.7	46.4	28.7
2027	V4	26.3	17.1	48.5	28.8
2027	V5	26.9	17.5	47	28.9
2027	V6	27.1	17.6	46.6	29
2027	V7	26.7	17.4	47.6	29.2
2027	V8	26.7	17.4	47.6	29.3
2027	V9	26.1	17	49	29.4

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2028	BM1 - Inlet Air	25.6	0.8	0	27.9
2028	BM2 - Inlet Air	66.9	2.2	0	27.8
2028	BM3 - Inlet Air	79.2	3.4	0	28
2028	BM4 - Outlet Air	422.3	18	1715	29.7
2028	Prep	23.5	0.9	0	29.7
2028	Prep	23.5	0.9	0	29.5
2028	Prep	23.5	0.9	0	29.2
2028	Prep	23.6	0.9	0	29.8
2028	Prep	24.3	0.9	0	29.9
2028	Prep	25.1	1	0	29.4
2028	Prep	25.1	1	0	29.1
2028	Prep	25.4	1	0	29.6
2028	Prep	25.6	1	0	29.7
2028	Pro	22.5	0.9	0	29.3
2028	Pro	22.9	0.9	0	29.8
2028	Pro	24.2	0.9	0	29.2
2028	Pro	25.6	1	0	29.7
2028	Pro	29.7	1.2	0	31.8
2028	RB1	0.1	0	0	27.5
2028	RB2N	240	11.8	0	28.1
2028	V1	25.8	16.7	49.4	28.9
2028	V10	25.6	16.6	50.4	29.4
2028	V11	25.6	16.6	50.5	29.5
2028	V12	23.5	15.3	54.1	29.6
2028	V13	24.4	15.8	52.6	29.6
2028	V14	30.1	19.5	38	31.8
2028	V2	24.2	15.7	52.1	28.9
2028	V3	24.9	16.2	50.9	28.9
2028	V4	23.2	15.1	53.7	29
2028	V5	25.3	16.4	50.7	29.2
2028	V6	24.2	15.7	52.9	29.3
2028	V7	23.9	15.5	53.2	29.4
2028	V8	23.7	15.4	53.5	29.5
2028	V9	25.4	16.5	50.7	29.4

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2029	BM1 - Inlet Air	25.8	0.8	0	27.9
2029	BM2 - Inlet Air	68.3	2.2	0	27.8
2029	BM3 - Inlet Air	80.7	3.4	0	28
2029	BM4 - Outlet Air	428.6	18.3	2012	29.5
2029	Prep	25	1	0	29.7
2029	Prep	27.4	1.1	0	29.8
2029	Prep	27.7	1.1	0	29.9
2029	Prep	27.7	1.1	0	29.9
2029	Prep	27.8	1.1	0	29.8
2029	Prep	28.4	1.1	0	29.8
2029	Prep	28.8	1.1	0	29
2029	Prep	29.8	1.2	0	29.7
2029	Prep	29.9	1.2	0	28.8
2029	Pro	27	1	0	29.9
2029	Pro	28	1.1	0	29.4
2029	Pro	28.2	1.1	0	29.9
2029	Pro	28.2	1.1	0	30
2029	Pro	28.7	1.1	0	30
2029	RB1	0.1	0	0	27.5
2029	RB2N	241.6	11.9	0	28.1
2029	V1	30.3	19.7	36.8	28.7
2029	V10	28.5	18.5	43	29.9
2029	V11	28.9	18.8	41.9	29.8
2029	V12	27.3	17.8	46.1	29.8
2029	V13	27.9	18.1	44.6	29.7
2029	V14	28.3	18.4	43.2	29.6
2029	V2	28.5	18.5	42.2	29.8
2029	V3	28.8	18.7	41.8	29.3
2029	V4	29.1	18.9	40.6	28.9
2029	V5	25.9	16.8	49.4	29.5
2029	V6	30	19.5	38	29.5
2029	V7	28.3	18.4	43.3	29.7
2029	V8	28.1	18.3	43.9	29.7
2029	V9	28.6	18.6	42.4	29.8

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2030	BM1 - Inlet Air	24.9	0.8	0	27.9
2030	BM2 - Inlet Air	65.3	2.1	0	27.8
2030	BM3 - Inlet Air	77.4	3.3	0	28
2030	BM4 - Outlet Air	417.7	17.8	1364.5	29.6
2030	Prep	26	1	0	29.4
2030	Prep	26.1	1	0	29.5
2030	Prep	26.6	1	0	29.8
2030	Prep	26.7	1	0	29
2030	Prep	27.5	1.1	0	28.9
2030	Prep	27.8	1.1	0	29.2
2030	Prep	28	1.1	0	28.8
2030	Prep	28.1	1.1	0	29.1
2030	Pro	26.1	1	0	29.9
2030	Pro	26.8	1	0	29.3
2030	Pro	27.1	1	0	29.8
2030	Pro	28.1	1.1	0	29.2
2030	Pro	28.5	1.1	0	28.9
2030	RB1	0.1	0	0	27.5
2030	RB2N	241	11.9	0	28.1
2030	V1	29.2	19	40.3	28.8
2030	V10	26.6	17.3	48.4	29.3
2030	V11	27.1	17.6	46.8	29.6
2030	V12	26.7	17.3	48.3	29.7
2030	V13	27.5	17.9	45.9	29.7
2030	V2	28.7	18.6	41.9	29
2030	V3	28.5	18.5	42.6	29
2030	V4	27.4	17.8	45.6	29.2
2030	V5	28.3	18.4	43	28.7
2030	V6	27.8	18.1	44.4	28.8
2030	V7	27.3	17.8	45.9	28.8
2030	V8	28	18.2	44.2	29
2030	V9	26.6	17.3	48.6	29.2

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2031	BM1 - Inlet Air	24.5	0.8	0	27.9
2031	BM2 - Inlet Air	63.4	2.1	0	27.8
2031	BM3 - Inlet Air	75.3	3.2	0	28
2031	BM4 - Outlet Air	383.4	16.4	1023.1	29.6
2031	Prep	27.7	1.1	0	30.1
2031	Prep	28.5	1.1	0	28.8
2031	Prep	28.9	1.1	0	30
2031	Prep	29.3	1.1	0	28.7
2031	Prep	29.3	1.1	0	28.7
2031	Prep	29.8	1.2	0	29.6
2031	Prep	30.1	1.2	0	29.8
2031	Prep	30.3	1.2	0	28.7
2031	Pro	28.2	1.1	0	30.1
2031	Pro	28.3	1.1	0	30.2
2031	Pro	29.5	1.1	0	29
2031	Pro	30.4	1.2	0	29.4
2031	RB1	0.1	0	0	27.5
2031	RB2N	213.4	10.5	0	28.1
2031	V1	30.5	19.8	36.1	28.6
2031	V10	28.9	18.8	41.7	30
2031	V11	28.8	18.7	42.2	30.1
2031	V12	30.5	19.8	36.8	29.5
2031	V2	29.7	19.3	38.6	28.6
2031	V3	29.9	19.4	38	29
2031	V4	29.5	19.1	39.5	28.6
2031	V5	29.1	18.9	40.7	28.7
2031	V6	30.4	19.7	36.4	29.9
2031	V7	30.6	19.9	36.1	29.3
2031	V8	29.5	19.2	39.6	29.9
2031	V9	28.6	18.6	42.7	30

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2032	BM1 - Inlet Air	21.6	0.7	0	27.9
2032	BM2 - Inlet Air	58.9	1.9	0	27.8
2032	BM3 - Inlet Air	69	2.9	0	28
2032	BM4 - Outlet Air	354.8	15.1	675.9	29.6
2032	Prep	27.2	1.1	0	29.3
2032	Prep	27.6	1.1	0	28.7
2032	Prep	27.6	1.1	0	28.8
2032	Prep	28.6	1.1	0	28.7
2032	Prep	29.5	1.1	0	28.9
2032	Prep	29.7	1.2	0	29.4
2032	Prep	30.3	1.2	0	28.9
2032	Pro	25.9	1	0	29.2
2032	Pro	28	1.1	0	30.2
2032	Pro	29	1.1	0	28.9
2032	Pro	30.4	1.2	0	29.3
2032	RB1	0.1	0	0	27.5
2032	RB2N	199.8	9.9	0	28.1
2032	V1	30.5	19.8	35.8	29.2
2032	V10	27.9	18.1	44.8	29.2
2032	V11	28.6	18.6	42.5	30.1
2032	V2	30.6	19.9	35.7	28.9
2032	V3	30.2	19.6	37	29.3
2032	V4	29.3	19	40	28.6
2032	V5	28.6	18.6	42.2	28.6
2032	V6	28.4	18.5	42.8	28.7
2032	V7	29.6	19.2	39.2	28.7
2032	V8	29.2	19	40.5	28.8
2032	V9	26.8	17.4	47.5	29

Año	Nombre Labor - Ventilador	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Potencia eléctrica Fan (kw)	Temp. bulbo húmedo (°C)
2033	BM1 - Inlet Air	5.1	0.2	0	27.9
2033	BM2 - Inlet Air	29.7	1	0	27.8
2033	BM3 - Inlet Air	29.4	1.3	0	28
2033	BM4 - Outlet Air	149.7	6.4	141.5	29.4
2033	Pro	26.8	1	0	29.2
2033	Pro	27.8	1.1	0	29.5
2033	Pro	29.4	1.1	0	29.1
2033	Pro	30	1.1	0	28.6
2033	RB1	0.1	0	0	27.5
2033	RB2N	84.7	4.2	0	28.1
2033	V1	30.4	19.7	36.4	28.5
2033	V2	27.9	18.2	43.8	29
2033	V3	29.9	19.4	38.6	29
2033	V4	28.5	18.5	42.9	29.4

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Costos de ventilación de minas similares - Africa

Resultados Ventsim

Nombre de la Mina	País	Costo de Ventilación (USD/tonelada)	Año	Tipo de Mineral	Fuente Bibliográfica
Mina A	Sudáfrica	3.5	2023	Oro	Informe Anual de Minería 2023
Mina B	Zambia	2.2	2023	Cobre	Estudio de Costos 2023
Mina C	Sudáfrica	4	2022	Platino	Revista de Minería Africana 2022
Mina D	Madagascar	3	2023	Níquel	Reporte de Proyecto 2023
Mina E	Ghana	2.8	2022	Oro	Informe de Evaluación 2022
Mina F	Namibia	1.9	2021	Cobre	Análisis Financiero 2021
Mina G	Sudáfrica	3.6	2023	Platino	Estudio de Caso 2023
Mina H	Tanzania	2.5	2021	Níquel	Reporte del Sector 2021
Mina I	Sudáfrica	3.2	2022	Oro	Informe Anual de Minería 2022
Mina J	Zambia	2	2023	Cobre	Estudio de Costos 2023
Mina K	Sudáfrica	3.4	2021	Platino	Revista de Minería Africana 2021
Mina L	Zimbabue	2.6	2023	Oro	Informe de Proyecto 2023
Mina M	Namibia	1.8	2022	Cobre	Análisis Financiero 2022
Mina N	Tanzania	2.3	2023	Níquel	Reporte del Sector 2023
Mina O	Sudáfrica	3.1	2021	Oro	Informe Anual de Minería 2021
Mina P	Zimbabue	2.4	2022	Cobre	Estudio de Caso 2022
Mina Q	Ghana	2.9	2023	Platino	Informe de Evaluación 2023
Mina R	Sudáfrica	3.7	2022	Níquel	Estudio de Proyecto 2022
Mina S	Mozambique	2.5	2023	Oro	Reporte del Sector 2023
Mina T	Namibia	1.95	2021	Cobre	Análisis Financiero 2021
Mina U	Sudáfrica	3.8	2022	Platino	Informe Anual de Minería 2022

Mina V	Tanzania	2.15	2023	Níquel	Estudio de Caso 2023
Mina W	Sudáfrica	3.3	2021	Oro	Informe de Proyecto 2021
Mina X	Zambia	2.05	2023	Cobre	Estudio de Costos 2023
Mina Y	Sudáfrica	3.6	2022	Platino	Revista de Minería Africana 2022
Mina Z	Ghana	2.75	2023	Níquel	Informe de Evaluación 2023
Mina AA	Zimbabwe	2.45	2022	Oro	Reporte de Proyecto 2022
Mina AB	Madagascar	3.15	2023	Cobre	Estudio de Caso 2023
Mina AC	Namibia	1.85	2021	Platino	Análisis Financiero 2021
Mina AD	Sudáfrica	3.9	2022	Níquel	Informe Anual de Minería 2022
Mina AE	Tanzania	2.6	2023	Oro	Reporte del Sector 2023
Mina AF	Zambia	2.3	2022	Cobre	Estudio de Costos 2022
Mina AG	Sudáfrica	3.4	2021	Platino	Informe de Proyecto 2021
Mina AH	Mozambique	2.8	2023	Níquel	Reporte del Sector 2023
Mina AI	Sudáfrica	3.5	2022	Oro	Informe Anual de Minería 2022
Mina AJ	Ghana	2.2	2023	Cobre	Estudio de Evaluación 2023
Mina AK	Namibia	1.9	2021	Platino	Análisis Financiero 2021
Mina AL	Tanzania	2.4	2022	Níquel	Estudio de Proyecto 2022
Mina AM	Zambia	2	2023	Oro	Estudio de Costos 2023
Mina AN	Sudáfrica	3.7	2022	Platino	Informe Anual de Minería 2022
Mina AO	Zimbabwe	2.65	2023	Cobre	Informe de Proyecto 2023
Mina AP	Sudáfrica	3.55	2021	Níquel	Análisis Financiero 2021
Media		2.79			
Mediana		2.70			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Características Ventilador de 55 kw

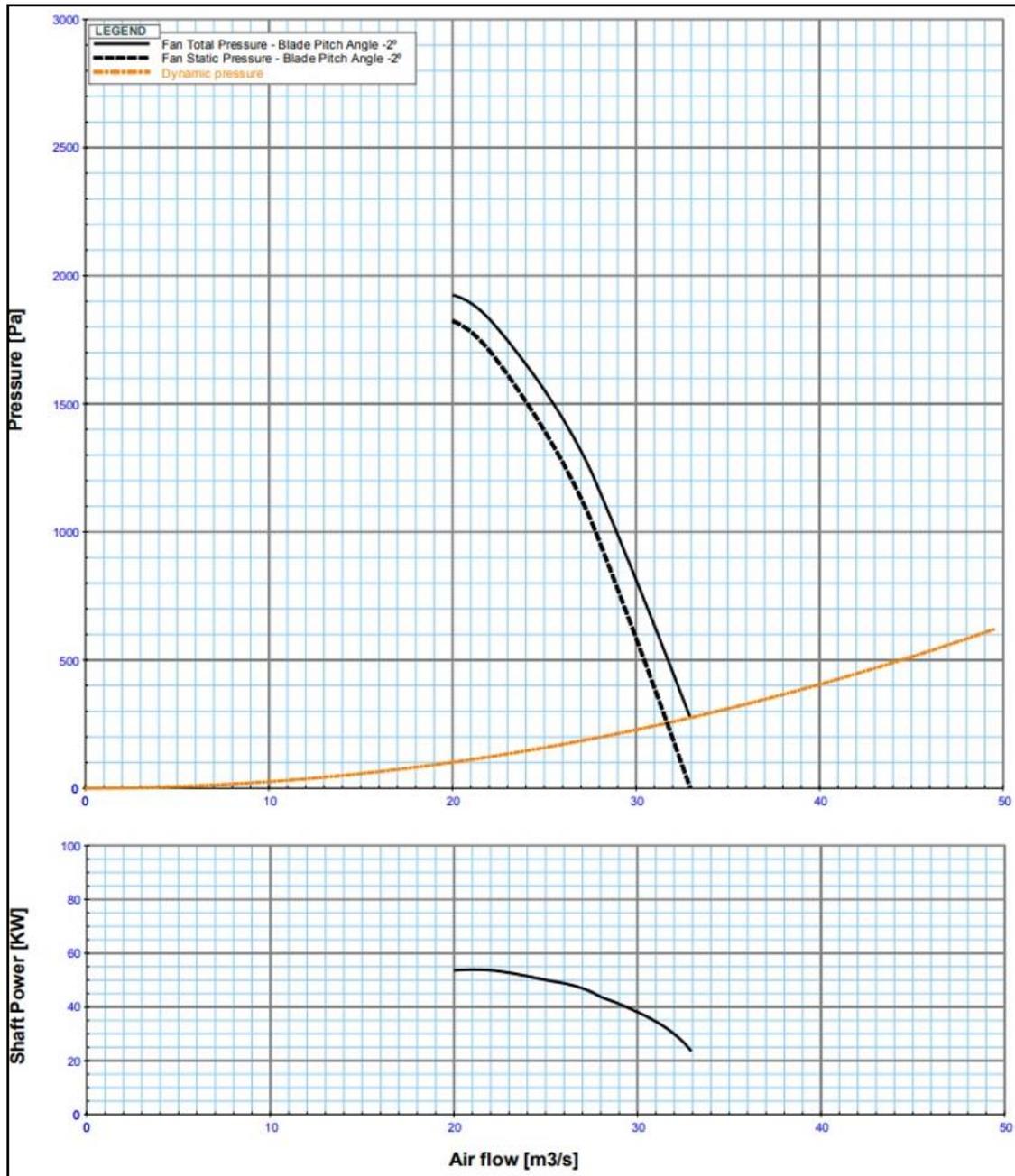
Este ventilador auxiliar inyector, utilizado para ventilar labores de frente ciego mediante ductos de ventilación de 1.4m de diámetro, llegando a alcances de 450m aproximadamente. A medida que en el ducto se presente curvas o choques el alcance disminuirá.

A continuación, sus características técnicas:

- Marca: ZITRON
- Rango de operación – Caudal: (25 – 28) m³/s – (52.9-59.3) kcfm
- Rango de operación – Presión Total: (4.8-7.2)” H₂O – (1200-1800) Pa
- Caudal de operación: 26.5 m³/s (56.1 kcfm)
- Presión Total: 1500 Pa (6” H₂O)
- Frecuencia: 50Hz
- Velocidad de rotación: 1500 rpm
- Potencia consumida aprox.: 52 Kw
- Potencia nominal motor: 55 Kw (75 HP)
- Diámetro del ventilador: 1400 mm
- Eficiencia: 80%

El punto de operación considerado para la curva del ventilador se muestra en la siguiente Figura, cabe resaltar que este ventilador ya se encontraba en las instalaciones de la mina, es por ello por lo que se tomó como base estos equipos para las distintas instalaciones y requerimiento que necesita la operación minera en los distintos frentes de trabajo.

Curva del ventilador auxiliar de 55 Kw.



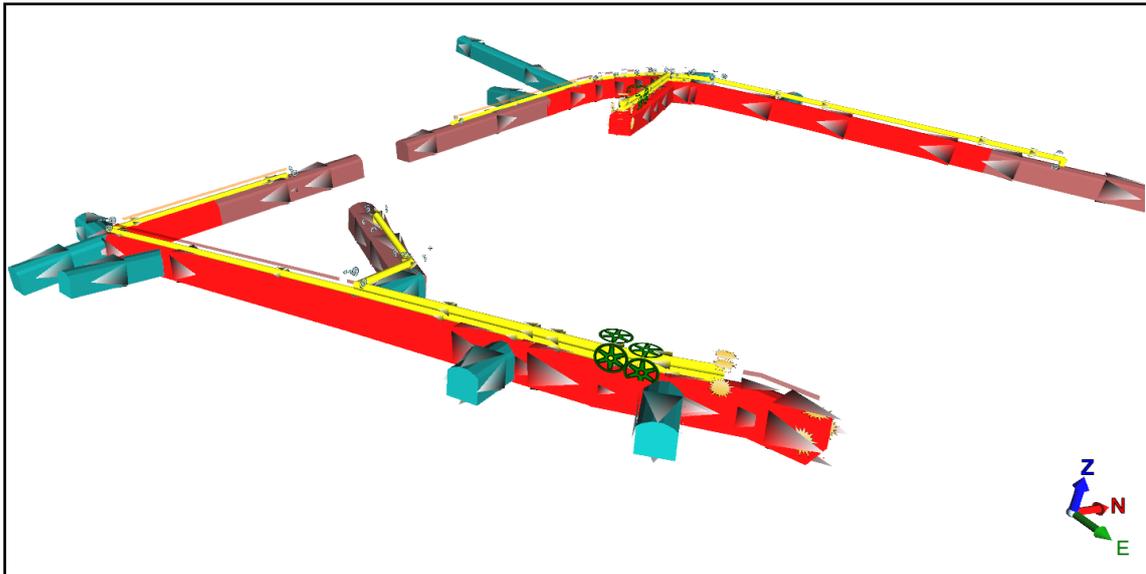
Fuente: Software Zitron

Para el presente estudio se comprende a lo largo de los 11 años, 3 tipos de instalación para el ventilador auxiliar de 55kw y se muestran a continuación:

- **Instalación en superficie**

Quando se trata de ventilar frentes ciegos se utiliza esta instalación, el ventilador se instala en superficie (Ver las siguientes dos Figuras), anexo a un ducto de ventilación y el aire viciado se extrae por la misma bocamina.

Instalación en superficie de los ventiladores auxiliares – Simulación Ventsim.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen referencial recomendada en superficie de un ventilador de 55 Kw.

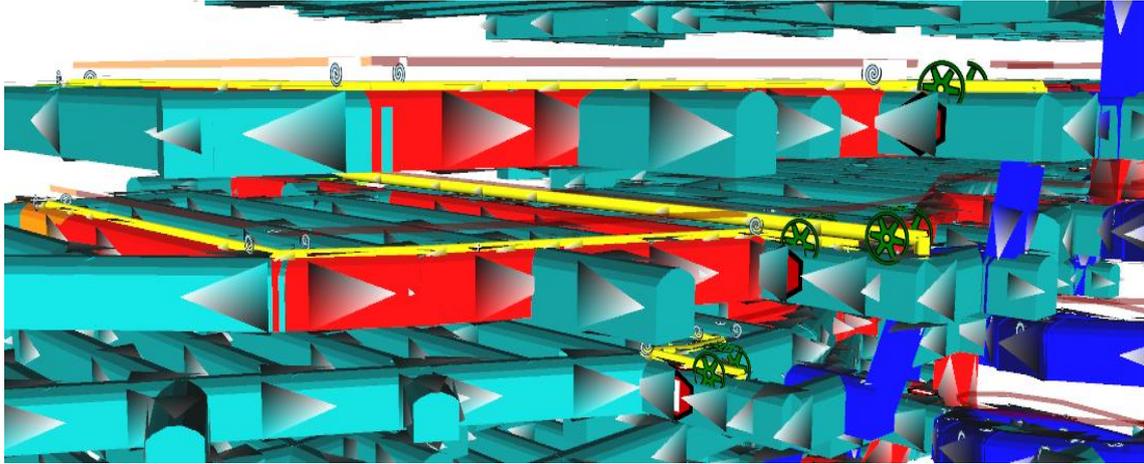


Fuente: Imágenes Google

- **Instalación en pie de chimenea**

Cuando se trata de ventilar frentes en un nivel y sobre todo en interior mina, se instala el ventilador de 55 kw hermetizado con una puerta de ventilación de concreto o de tubos metálicos (Ver las siguientes dos Figuras).

Instalación ventiladores auxiliares de 55 kw.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen referencial de ventiladores auxiliares de 55 kw (campo).

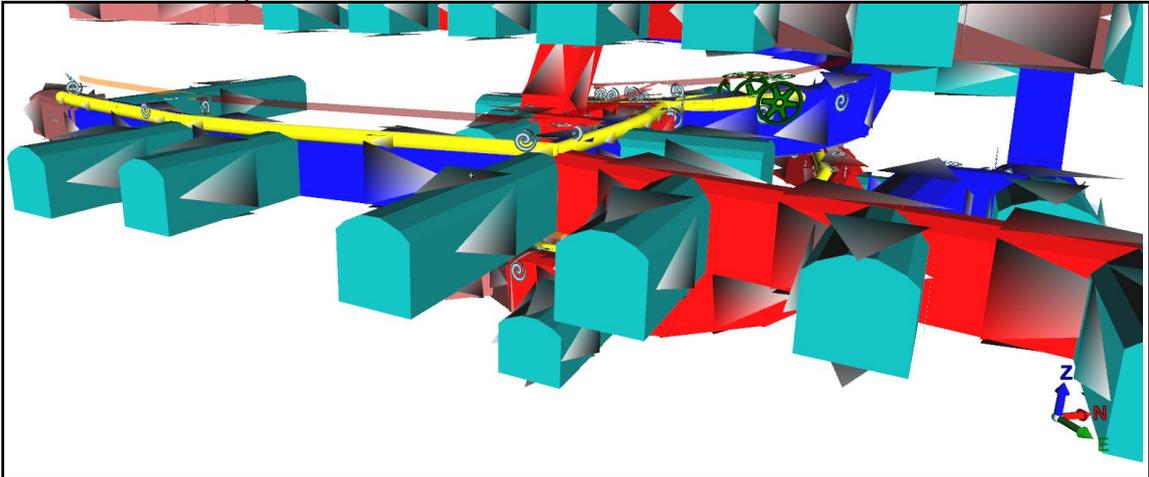


Fuente: Fotografía Mina Colquisiri

- **Instalación en rampa**

Cuando se trata de ventilar o de desarrollar un nivel, lo que se recomienda es colocar esta instalación en rampa para dirigir el aire limpio que ingresa por la rampa y utilizar para avances y desarrollos de los niveles (Ver las siguientes dos Figuras).

Instalación en Rampa de ventiladores de 55 Kw – Simulación Ventsim.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía de instalación en Rampa de ventiladores de 55 Kw en campo.



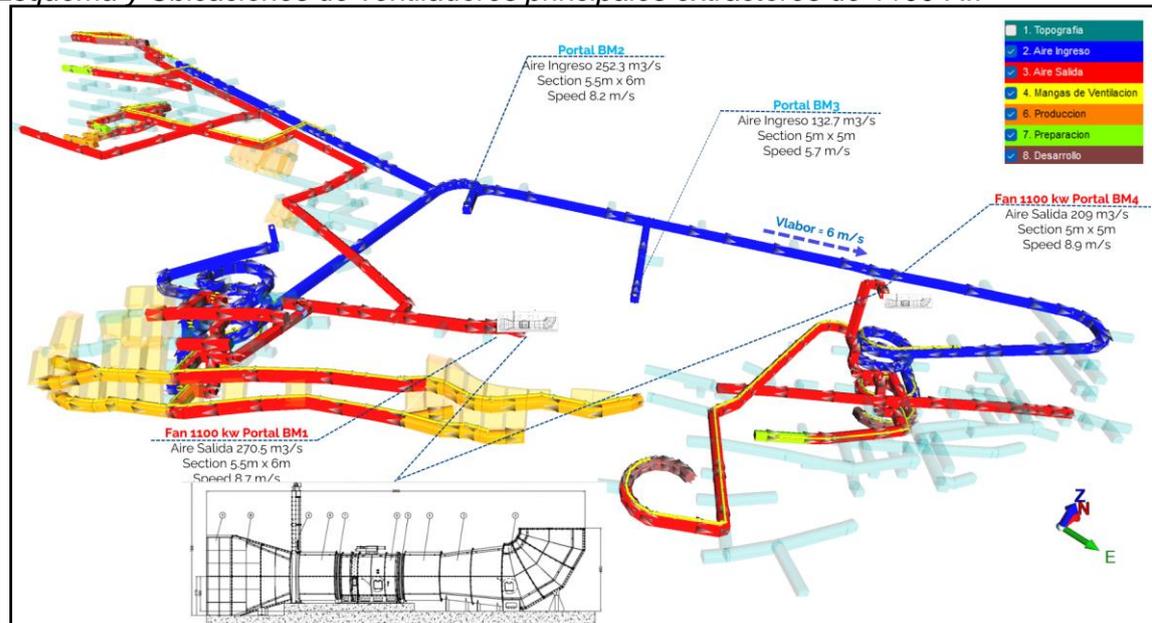
Fuente: Fotografía Minera Lincuna

Anexo 5: Calculo y determinación del ventilador principal de 1100 Kw

La recomendación del ventilador principal de 1100kw está basada en el lugar donde se instalará dicho ventilador, recomendaciones de diseño según el marco regulatorio, requerimiento de aire general por años y velocidades mínimas y máximas para que un ventilador principal opere de manera correcta.

El modelamiento y simulación nos exige requerimientos de aire por cada año y solo tenemos una salida inicial por BM1 y una única salida para el año 2026 en adelante definida por el área de planeamiento del proyecto con el enfoque de explotar el cuerpo principal de mayor volumen. Por ello desde el año 2024, se consideró un ventilador extractor de 1100 kw para el portal BM1 y un segundo ventilador extractor de 1100 kw para BM4. Como se muestra en la siguiente Figura del año 2024 la recomendación de instalación.

Esquema y Ubicaciones de ventiladores principales extractores de 1100 Kw

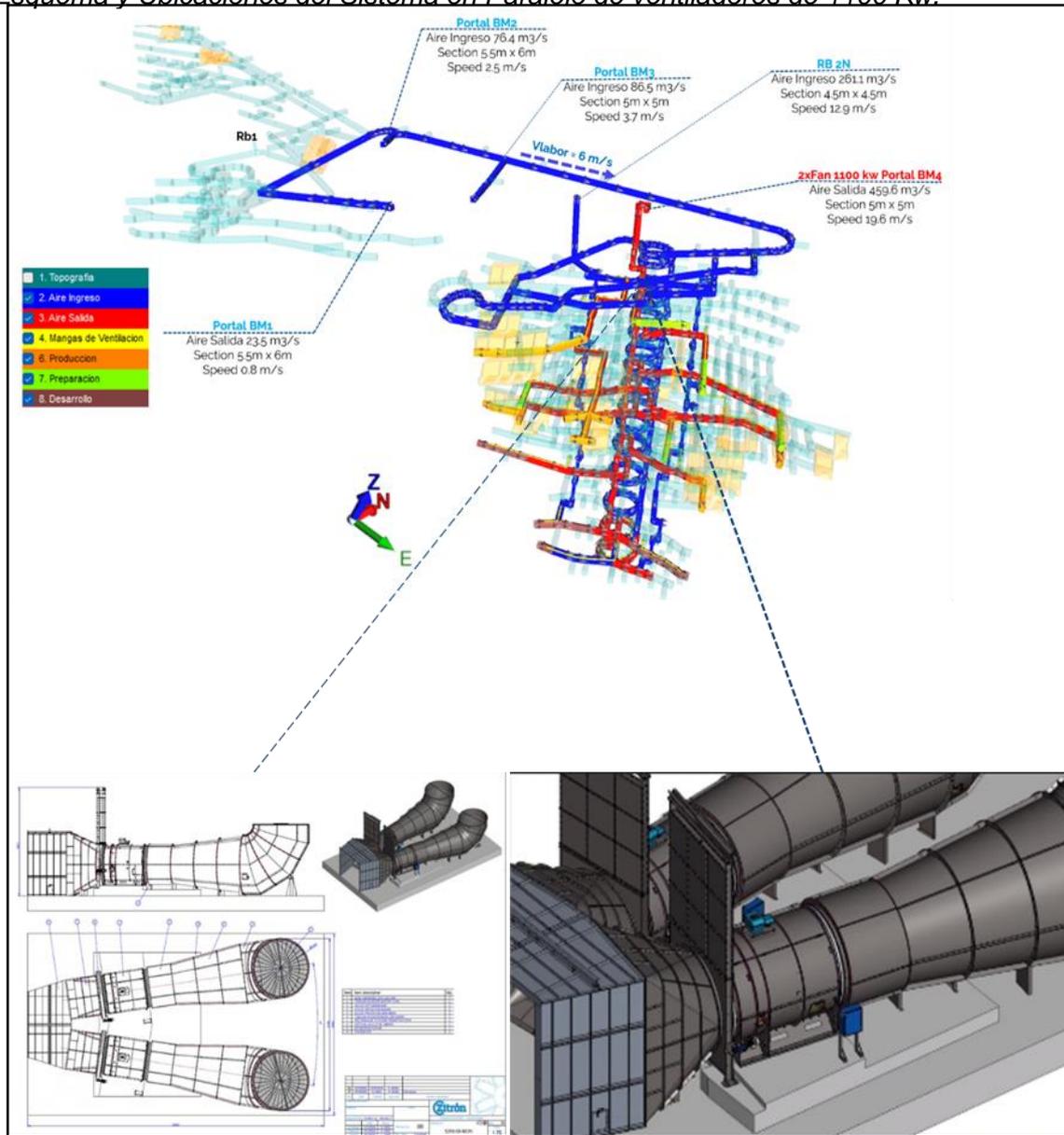


Fuente: Elaboración Propia

A partir del año 2026 en adelante el ventilador principal que se encontraba en el portal BM1 se trasladará al portal BM4 para su instalación en paralelo con el ventilador ya instalado, como se muestra en la [Figura 5.1](#).

De esta forma cumplir con los 448.3 m³/s de requerimiento de caudal de aire para los años 2026 y 2027 como los años críticos de operación.

Esquema y Ubicaciones del Sistema en Paralelo de ventiladores de 1100 Kw.



Fuente: Elaboración Propia

Características Ventilador Principal de 1100 Kw

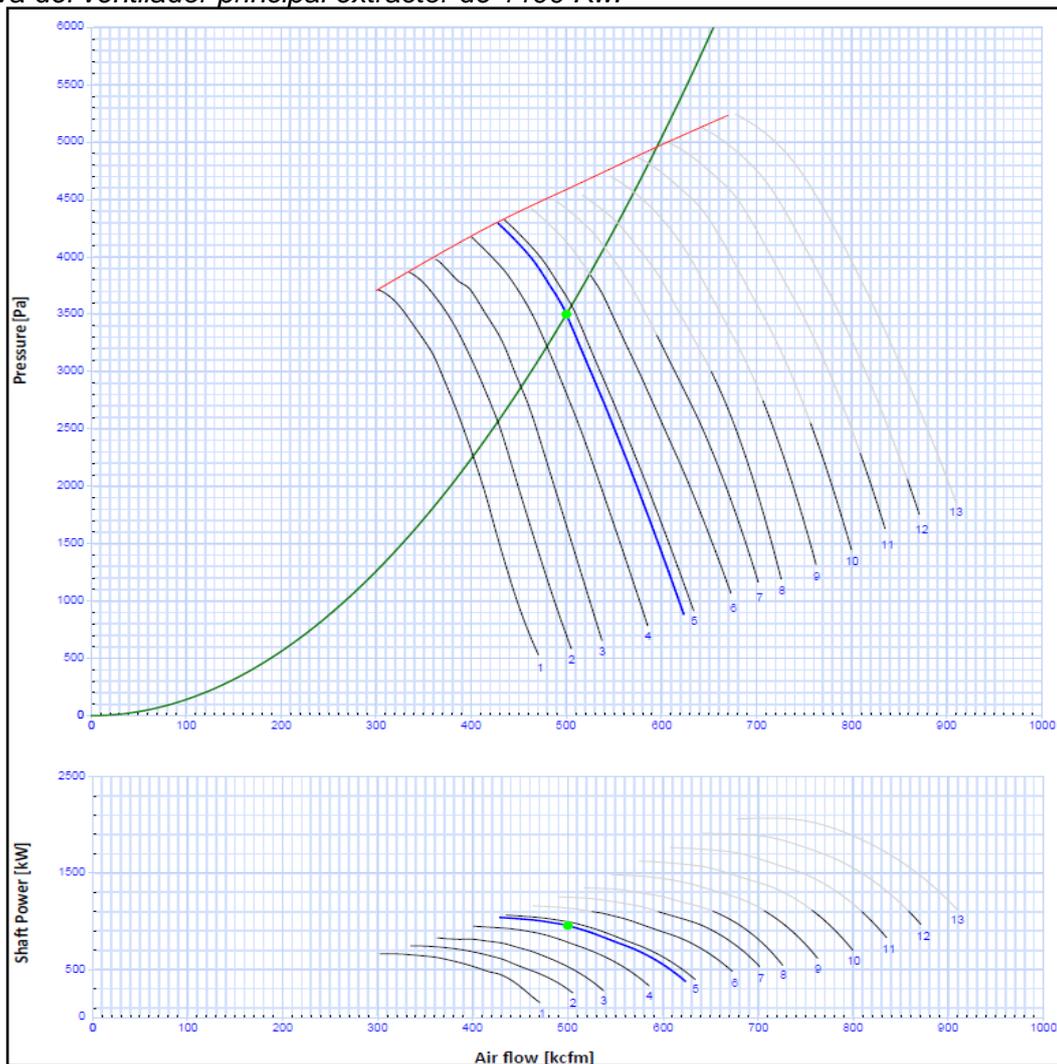
El ventilador de 1100 Kw como se mencionó en el punto anterior se ubicará inicialmente en el portal BM1 y después con un gemelo en el portal BM4. Es el único sistema de extracción para la mina y funciona como sistema de ventilación principal con dos de ellos instalados en paralelo. A continuación, sus características técnicas:

- Marca: ZITRON
- Rango de operación – Caudal: (188.8 – 283.2) m³/s – (400-600) kcfm
- Rango de operación – Presión Total: (12.0-15.3)” H₂O – (3000-3800) Pa
- Caudal de operación: 236 m³/s (500 kcfm)

- Presión Total: 3500 Pa (14" H2O)
- Frecuencia: 50Hz
- Velocidad de rotación: 1000 rpm
- Potencia consumida aprox.: 954.62 Kw
- Potencia nominal motor: 1100 Kw (1474 HP)
- Diámetro del ventilador: 3000 mm
- Eficiencia: 80%

El punto de operación considerado para la curva del ventilador se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cabe resaltar que a medida que se avance con el minado y el avance de las labores subterráneas, el punto de operación variara considerando perdidas, secciones de las labores, frecuencia y ángulo de operación.

Curva del ventilador principal extractor de 1100 Kw.



Fuente: Software Zitron