

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES EN LA INTEGRACIÓN DE DOS UNIDADES DE PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA MINERA LA LIBERTAD 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Arturo Gomez de la Torre Hernandez

Asesor:

Mg. Miguel Alcalá Adrianzén

Trujillo - Perú

2021



DEDICATORIA

A mi DIOS que me guía con su luz infinita

A mi señor de los Milagros que con mucha fe siempre me acompaña en los pasos que doy.

A mi madre Alicia que me inculco desde niño el amor a DIOS y ser un ejemplo de sacrificio, mi padre Roberto por enseñarnos a ser mejores personas.

A mis hijos Emmanuel y Rafaella que son mis bendiciones y mi esposa Milagros por su invaluable apoyo.

A mis hermanos Karina y Roberto por nunca renunciar a nuestros sueños de superación....

A mis familiares y amigos por ser parte de mis vivencias.

AGRADECIMIENTO

A mi DIOS por ser arquitecto de mi vida y crear los tiempos perfectos.

Al Ing. Anthony Ortega e Ing. Alex Rojas, que me motivaron a continuar superándome en la vida.

Al Ing. Marcelo Santillana Salas quien desde un primer momento me brindo esta oportunidad de estudiar.

A mis compañeros de Trabajo por sus enseñanzas.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO II. METODOLOGIA.....	33
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	39
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS.....	77
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Consistencia.	36
Tabla 2 Matriz de Operacionalización de Variables e instrumentos.	37
Tabla 3 Monitoreo de condiciones termoambientales del flujo de aire.....	39
Tabla 4 Monitoreos de Velocidad de aire en cada estación.....	40
Tabla 5 Monitoreos de Caudal y propiedades psicométricas del aire en cada estación	40
Tabla 6 Monitoreos de concentraciones de gases en el aire en cada estación.....	40
Tabla 7 Monitoreos de Velocidad de aire en cada estación después de la ejecución de CHRC 58	42
Tabla 8 Monitoreos de Caudal y propiedades psicométricas del aire en cada estación de CHRC 58	43
Tabla 9 Monitoreos de concentraciones de gases en el aire en cada estación después CHRC 58	43
Tabla 10 Monitoreo en campo de parámetros de ventilación.....	45
Tabla 11 Monitoreo en campo de parámetros de eléctrico de variador de frecuencia	45
Tabla 12 Calculo teórico para potencia en eje de motor	46
Tabla 13 Calculo teórico para potencia en eje de motor: 40000CFM y 16.5"C.A.....	46
Tabla 14 Ventilador de 40kcfm con tablero de arranque convencional	50
Tabla 15 Ventilador de 40kcfm con tablero de arranque con variador de frecuencia.....	51
Tabla 16 Ventilador de 50kcfm con tablero de arranque convencional	53
Tabla 17 Ventilador de 50kcfm con tablero de arranque con variador de frecuencia.....	54
Tabla 18 Longitud de cámara de ventiladores y su factor de fricción.....	67
Tabla 19 Cuadro comparativo de informe anual de sostenibilidad de una Minera de La Libertad del año 2014 – 2019.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista Longitudinal del Proyecto Túnel San Gotardo de longitud 57Km.	16
Figura 2 Esquema circuitos en serie.	21
Figura 3 Esquema circuito en paralelo.	22
Figura 4 Curva característica de dos ventiladores conectados en serie.	23
Figura 5 Curva característica de dos ventiladores conectados en paralelo.....	24
Figura 6 Elementos de un sistema de ventilación principal.	24
Figura 7 Diagrama de Presión – Volumen; Generado por la ventilación natural en una labor subterránea.....	25
Figura 8 Diagrama de Presión – Volumen; Generado por ventilación mecánica en una labor subterránea.....	26
Figura 9 Volumen de control infinitesimal fijo.	28
Figura 10 Trayectoria de velocidad en la simulación (CFD) de la estación Uskudar (Turkey)	30
Figura 11 Puntos de monitoreo en la sección de la labor Cortada 5000	41
Figura 12 Velocidad de aire en tope de labor antes de ejecución de CHRC 58.....	41
Figura 13 Niveles de gases en el tope de labor antes de la ejecución de CHRC 58.....	42
Figura 14 Velocidad de aire en tope de labor después de ejecución de CHRC 58.	44
Figura 15 Niveles de gases en el tope de labor después de ejecución de CHRC 58.	44
Figura 16 Representación de monitores en campo de parámetros de Ventilación y Eléctricos.	46
Figura 17 Instalación de ductos de ventilación (mangas); longitud 15m c/u	47
Figura 18 Instalación de ductos de ventilación (mangas); longitud 100m c/u	47
Figura 19 Se observa la curva del ventilador a elegir.....	48
Figura 20 Ahorro de Energía del Ventilador 40 000CFM.....	52

Figura 21 Ahorro de energía – Ventilador principales 2 x 50 000CFM.....	55
Figura 22 Simulación en software VENTSIM de ventilador óptimo y ducto de ventilación en CR 5000 de Nv 1915.	56
Figura 23 Simulación en software VENTSIM de ventiladores principales que extraen el aire viciado de CR 5000 de Nv 1915 por CHRC.	57
Figura 24 Cuadro de iteraciones de software ANSYS.	58
Figura 25 Volumen de control tomado para análisis del comportamiento del flujo de aire.	59
Figura 26 Vista isométrica de comportamiento de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso en cámara de ventiladores principales.	59
Figura 27 Vista longitudinal de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso de cámara de ventiladores principales.	60
Figura 28 Vista planta de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso de cámara de ventiladores principales.	60
Figura 29 Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación salida de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales. Se observa la convergencia de los parámetros analizados.....	61
Figura 30 Vista isométrica de geometría de labor minera en salida de aire de cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	61
Figura 31 Vista isométrica del comportamiento del flujo de aire desde salida en cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	62
Figura 32 Vista sección longitudinal de labor minera, el movimiento de flujo de aire salida de aire desde cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	62
Figura 33 Vista isométrica con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	63

Figura 34 Vista sección longitudinal con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	63
Figura 35 Vista isométrica del comportamiento del flujo de aire con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la parte intermedia de la cámara de ventiladores principales.....	64
Figura 36 Vista isométrica del factor de fricción de la cámara de ventiladores principales.	64
Figura 37 Vista longitudinal del factor de fricción de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.	65
Figura 38 Vista isométrica de la vorticidad de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.....	65
Figura 39 Vista longitudinal de la vorticidad de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.....	66
Figura 40 Vista isométrica de la cámara de ventiladores principales, observando la Longitud útil a la salida de los ventiladores hasta el final de la zona excavada. Señalando el número de Reynolds en la cámara de ventiladores principales.	66
Figura 41 Se observa vista corte sección de cámara de ventiladores principales, el comportamiento de flujo de aire por labor minera.	67
Figura 42 Longitud de sección vs Factores de Fricción	67
Figura 43 Vista isométrica de intercesión de ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915	68
Figura 44 Líneas de corriente en ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915.....	69
Figura 45 Cuadro comparativo de EBITDA de Minera de La Libertad del 2014 -2019. ...	71
Figura 46 Cuadro comparativo Kw - Hr/TMB de Minera de La Libertad del 2014 -2019.	71

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Formula de Atkinson.....	20
Ecuación 2 Ecuación cuadrática	20
Ecuación 3 Primera Ley de Kirchhoff.....	20
Ecuación 4 Segunda Ley de Kirchhoff	21
Ecuación 5 Circuitos en serie	21
Ecuación 6 Circuitos en paralelo	22
Ecuación 7 Ley de Ohm.....	26
Ecuación 8 Potencia en el eje del motor	26
Ecuación 9 Calculo de Kw - Hr	27
Ecuación 10 Conservación de Masa.....	28
Ecuación 11 Conservación de Momento x	29
Ecuación 12 Conservación de Momento y	29
Ecuación 13 Conservación de Momento z	29
Ecuación 14 Ley de Gases.....	31
Ecuación 15 Ecuación de EBITDA	31

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	81
ANEXO 2	83
ANEXO 3	86
ANEXO 4	91
ANEXO 5	101
ANEXO 6	103
ANEXO 7	105
ANEXO 8	107
ANEXO 9	109
ANEXO 10	111

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar cómo influye el sistema de ventilación de las operaciones en la integración de dos unidades de producción de una minera de La libertad 2021. El tipo fue teórica aplicada y por su diseño no experimental, la muestra fue la Cortada 5000 Nv 1915. Los parámetros del sistema de ventilación integral, Oxígeno: 20.9% y CO: 6ppm. Los ventiladores: 40000 cfm, con mangas de 100 metros y diámetro de 42 pulgadas, optimizaron el sistema de ventilación auxiliar, para una velocidad de 32.91 m/min y una temperatura de 25.1° C. El ahorro en costo de energía de US\$ 21,561.6 /año y de US\$ 16,795.4/año para ventiladores de 40000cfm y 50000 cfm. La posición de las CHRCs se determinó con el software VENTSIM, costo de ejecución US\$ 825,000. Las pérdidas de carga en la cámara principal de ventiladores se determinaron con el software ANSYS FLUENT. Los indicadores como el EBITDA, Onzas Au y consumos de energía anuales, antes y después de la optimización, mejoraron según los informes de sostenibilidad anual. Con relación al impacto ambiental los motores eléctricos de tipo IE3 (0.6 Kg CO₂/kWh), contribuyeron a la mejora del medio ambiente.

Palabras clave: Modelamiento, Consumo energético, Dinámica de fluidos computacional (CFD), Vorticidad, Convergencia

I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera es un pilar de la economía en el Perú, en la actualidad existe un 38% de minas subterráneas, en su mayoría estas minas tienen que atender una necesidad básica que es la ventilación, debido a la profundización de los yacimientos. Las empresas mineras buscan ser eficientes y eficaces, considerando anualmente volúmenes mayores de producción. Sin embargo, la ventilación de minas subterránea representa aproximadamente el 50% del costo operativo de operación mina y entre el 25 – 40 % del total de la mina. Las explotaciones mineras modernas se comprometen a reducir el consumo total de energía y el sistema de ventilación constituye un objetivo (De Souza, 2007).

En el grupo de mineras metálicas se encuentra la Minera de la Libertad ubicada en el distrito y provincia de Pataz, departamento de La Libertad, a 320Km de la ciudad de Trujillo. Teniendo una cota de trabajo, considerándose desde los 1,200 a 3,200msnm en la región de La Libertad. Actualmente se tiene dos unidades de producción: Las dos unidades se encuentran ubicadas al norte y sur del batolito de Pataz. La integración de estas Unidades de Producción es estratégica, para reducir los costos de transporte de mineral, desmonte, logística, servicios y en la exploración con la búsqueda de nuevos cuerpos mineralizados. Para el desarrollo del Proyecto CR 5000, se planteó el uso de una nueva herramienta tecnológica el CFD, que utiliza algoritmos y aproximaciones numéricas, produciéndose resultados que no tiene una solución analítica, por su comportamiento no lineal, y que representen con gran aproximación la realidad de estos fenómenos, como difusión, convección, ondas de choque, capa límite, turbulencia.

Según el análisis de Brodny, J., & Tutak, M. (2021) del artículo “Applying computational fluid dynamics in research on ventilation safety during underground hard coal mining: A systematic literature review”, dice lo siguiente: El carácter aleatorio de muchos fenómenos peligrosos que acompañan a este proceso requiere la aplicación de métodos

modernos y seguros para estudiar estos fenómenos. Se sabe que los estudios de modelos basados en el método de dinámica de fluidos computacional (CFD) tienen tales características. Permiten el análisis de fenómenos muy complejos (vorticidad) y peligrosos (reacciones químicas), que son difíciles o incluso imposibles de investigar con el uso de otros métodos. Esta problemática que se tiene en este tipo de labores es ventilar su metraje a ejecutar, para la investigación del circuito de ventilación de la Cortada 5000 del Nv. 1915, se tendrá que ejecutar 5,000m de labor subterránea, asimismo la demanda de ventilar la infraestructura requerida, teniendo en cuenta

Decreto Supremo N° 024-2016-EM y modificatoria, Decreto Supremo N° 023 –2017 – EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Donde se requiere lo siguiente:

- a) Caudal requerido por el número de trabajadores.
- b) Caudal requerido por el número de personas.
- c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo.
- d) Caudal requerido por motor petrolero.
- e) Caudal requerido por fugas, estos requerimientos hacen que el CFD sea una alternativa a considerar, en la seguridad como se muestra en el siguiente trabajo:

El CFD es una herramienta importante se usa para analizar el comportamiento del metano en minas de carbón, como señala Kurnia, et al., (2014), en su trabajo de investigación “CFD simulation of methane dispersion and innovative methane management in underground mining faces”. Donde indica lo siguiente: Este estudio proporciona algunas nuevas ideas para diseñar un sistema de ventilación de mina subterránea "inteligente" que pueda mantener de forma rentable la concentración de metano por debajo del valor crítico.

El trabajo presentado por Hurtado, J.P.; Acuña, E.I. (2015) indica que el “CFD analysis of 58 Adit main fans parallel installation for the 2015–2019 underground

developments of the new level mine project”, señalando que para la instalación de los ventiladores, se llevó a cabo un estudio adicional de dinámica de fluidos computacional (CFD) para validar el punto de funcionamiento, dada la geometría particular de la ubicación y colocación del ventilador, para garantizar un funcionamiento estable de los ventiladores.

Tal es el caso que plantea Feng Wei; Zhu Fangping; Lv Huiqing (2011). del trabajo “The Use of 3D simulation System in mine ventilation Management”, indicando para el Cálculo de la red de aire en tiempo real, la muestra dinámica la dirección del flujo de aire, la cantidad de aire, la velocidad y otros parámetros son el uso básico del software VENTSIM, que puede ser científico, preciso y rápido. simulando el estado de la ventilación, la reducción de la resistencia y la propagación de contaminantes.

En segundo lugar, la determinación de los ventiladores óptimos con los monitoreos de parámetros de ventilación para el cálculo de caudal, presión y potencia de los ventiladores, asimismo el diámetro del ducto adecuado, de acuerdo con la realidad de la Cortada 5000 de Nv 1915. Y, además, el consumo de energía en ventilación subterránea se ha visto afectado, por el incrementó de potencia eléctrica en ventiladores de mayor volumen de aire, que se requieren en las labores.

La experiencia suiza – italiana en la construcción del Túnel San Gotardo, “Contribución al estudio de los túneles ferroviarios de gran longitud”, La problemática fue el creciente tráfico de pasajeros y mercancías en 1980 hizo que colapse la red transporte. El túnel de la base San Gotardo de 57Km, es el túnel ferroviario más largo del mundo. En el sector de Sedrun se planifico la construcción de 02 pozos (Chimeneas - CH) que servirían para la ventilación con un diámetro de 8.5m y una longitud de 900m. Este proyecto se usó como un modelo para la solución del proyecto Cortada 5000 de Nv 1915, ya que la ubicación de los pozos de ventilación intermedio permite una ventilación segura ante cualquier contingencia. (Beltrán Monero, A., 2011).

De acuerdo con Myrvang, T. y Khawaja, H. (2018) en su trabajo de investigación “Validation of air ventilation in tunnels, using experiments and computational fluid dynamics” El sistema de ventilación es el responsable de la eliminación de gases de escape (CO), asimismo en caso de incendio la evacuación de los gases. Asimismo, se sustenta en la aplicación del software ANSYS FLUENT aplicando la dinámica de fluidos computacionales (CFD) para su verificación y comparación. Esta metodología nos ayudara a definir las dimensiones de las cámaras donde se instalarán los ventiladores principales y auxiliares.

En el campo de las reacciones fisicoquímicas nos muestra también este estudio como lo indica Zhou, Q., Lucchini, T., D’Errico, G., Novella, R., García-Oliver, J. M., & Lu, X. (2021). “CFD analysis of combustion and emission characteristics of primary reference fuels: from transient Diesel spray to heavy-duty engine”, donde la premezcla de combustibles de baja y alta reactividad para un mismo sistema de inyección directa ha demostrado ser una forma eficaz de controlar la reactividad de las mezclas en los motores de encendido por compresión, teniendo el potencial de reducir simultáneamente el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Sin embargo, no hay muchos conocimientos sobre los complejos fenómenos físico-químicos que se producen en las pulverizaciones turbulentas con combustibles que tienen cualidades de autoignición muy diferentes, aunque esta información es fundamental para el diseño y desarrollo de sistemas de combustión más limpios basados en este concepto, por esta razón, se realizó primero un análisis computacional del comportamiento de la ignición. Los resultados mostraron que el PRF70 mostró el mejor rendimiento en la condición probada, que redujo la masa de hollín al 5% del valor de referencia sin sacrificar la eficiencia del combustible.

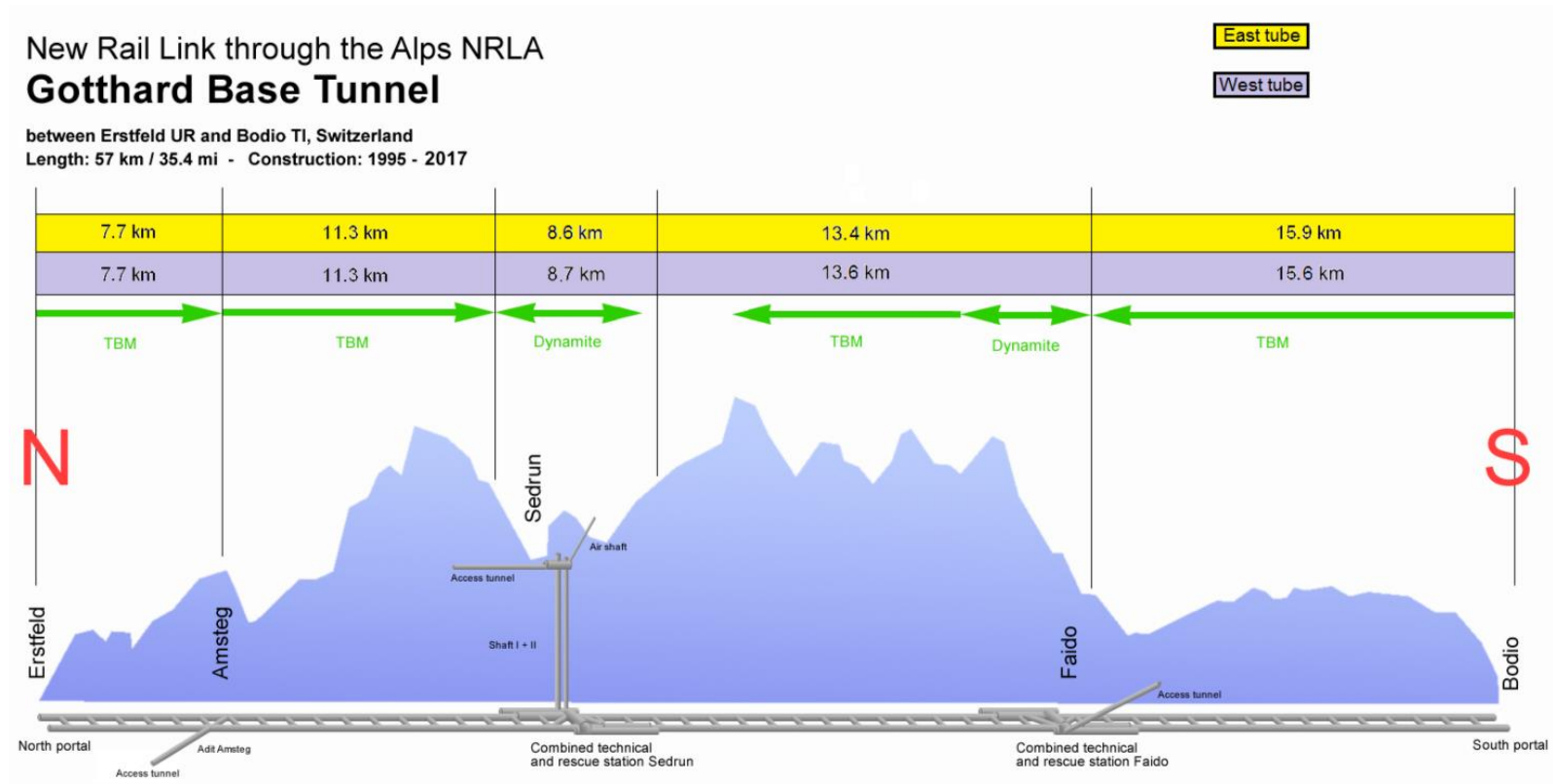


Figura 1. Vista Longitudinal del Proyecto Túnel San Gotardo de longitud 57Km.

Fuente: New Railway Link through the Alps (NRLA)

El túnel integra Erstfeld (Suiza) y Bodio (Italia). Por otro lado, se observa los 02 Pozos (Shaft) de Sedrun, que servían para la ventilación (evacuación de aire viciado) de los frentes de trabajo. El Proyecto Túnel San Gotardo fue tomado como una referencia para la ejecución de proyecto CR 5000 de Nv 1915.

La aplicación del CFD se dan en campos muy precisos como es la medicina, así lo indica Mojarab A. & Kamali R. (2020) “Design, optimization and numerical simulation of a MicroFlow sensor in a realistic model of the human aorta”. Entre todas las enfermedades arteriales, el aneurisma y la aterosclerosis, en estas enfermedades cambia el área de la sección transversal de la arteria y, por tanto, la velocidad del flujo sanguíneo. En este estudio se investiga el diseño, la optimización geométrica y la simulación numérica de un microsensor de película caliente en el modelo realista de la aorta humana. Se investigan los parámetros del flujo sanguíneo mediante simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD). Lo ratifica Croft, L. R., & Mofrad, M. R. K. (2009). “Computational Modeling of Aortic Heart Valves”, La modelización computacional es una excelente herramienta para investigar la mecánica de la válvula cardíaca aórtica. El entorno de la válvula cardíaca presenta una dinámica y un comportamiento mecánico complejos en el que las estructuras sólidas interactúan con un fluido. Actualmente no existe un enfoque estándar, sino que se han utilizado diversas estrategias para abordar los diferentes aspectos de la modelización de la válvula cardíaca. Los estudios computacionales de la válvula aórtica han contribuido a mejorar la comprensión de la mecánica de la válvula normal, a comprender la progresión de las válvulas enfermas y a predecir la durabilidad y la eficacia de las reparaciones quirúrgicas y las sustituciones valvulares.

Además, en el artículo de J. P. Hurtado y N. Diaz, C. Maya, (2013) titulado “Caracterización numérica y experimental de pérdidas de carga en el nivel de producción en método block caving”. Se concluye en ensayar simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics) en modelos a escala que permiten obtener las condiciones iniciales para la simulación computacional de la geometría a escala 1:1. La interacción de estos estudios nos asegura, cumplir con los objetivos trazados. La metodología del uso de simulaciones CFD

(Dinámica de fluidos computacionales) aplicado en cámaras de ventilación, todavía no tiene mucha aplicación en minas del Perú.

Actualmente en el Perú se están usando nuevas tecnologías en motores de alta eficiencia para optimizar la operación de los ventiladores; investigaciones con respecto a la importancia de los ductos de ventilación, esta iniciativa se implementó en Compañía Minera Poderosa.

En el proyecto “Túnel Trasandino Olmos, obra titánica de la ingeniería en el Perú”. El Comercio Perú. Sandoval W. (2011) nos dice que fue ejecutado por el Consorcio Odebrecht; Los hombres que perforan las entrañas del cerro la Succha, en el difícil proceso de excavación del Túnel trasandino Olmos, un túnel de 20Km por el que se transvasaran las aguas del río Huancabamba (Piura), hacia las tierras de Olmos (Lambayeque) a partir del 2010; No saben en qué momento crujió y estallara este macizo rocoso que forma parte de la vertiente occidental de los Andes. La presencia de la Cordillera de los Andes que cruza parte del territorio sudamericano propone un reto a la ingeniería subterránea en lo que se refiere a la construcción de túneles con altas coberturas como el caso del Túnel Trasandino Olmos en Perú, que tiene coberturas entre 1.3 hasta 2 Km en el cual se ha tenido manifestaciones del fenómeno de estallido de rocas. Lo expuesto en el trabajo de Lewis D, W (2013), el principal reto que se presentó fue el fenómeno de estallido de rocas, también denominado rockbursting, que es producto de liberación de energía hacia la cara libre de excavación. Este es una situación impredecible que involucra una expulsión violenta de fragmentos de roca desde el frente de excavación donde los esfuerzos de compresión superan la resistencia de la roca. En el año 2009 un grupo de trabajo de una Minera de la Libertad, realiza una visita a las instalaciones de esta obra, con el fin de ganar experiencia en la ventilación de labores y señala que el sistema de ventilación fue uno de los más modernos, la instalación de 3 ventiladores en serie de

50KCFM c/u en la bocamina para la ventilación de 14Km de longitud, conduciendo el caudal de aire limpio con mangas de ventilación de 64” de diámetro. Estos ingresaban el aire fresco muy cerca de la TBM (Túnel Boring Machine), se instalaron 04 ventiladores de impelentes de 20KCFM c/u, (2 en paralelo enseriados), llevando un caudal de 40KCFM, seguidos con la instalación de enfriadores (chillers), ya que la temperatura estaba entre los 35° a 40° C, este aire fresco daba confort al personal que laboraba en la TBM (Túnel Boring Machine).

En la “Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015” de Portilla S. Renzo y Velarde M. Ryan (2018), encontró que en el mejoramiento del sistema de ventilación basado en tres conceptos: mejora de las condiciones actuales, redistribución de aire en la mina y la construcción de raise borer (RB) ó raise climber (CHRC).

Por otro lado, Quevedo Ch. C (2013), en su estudio: “Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la central hidroeléctrica Huanza”, encontró que es más económico el uso de tablero variador de frecuencia que un tablero estrella triangulo porque el variador de frecuencia garantiza que nuestro sistema de ventilación tendrá el menor consumo de energía.

Estas mejoras señaladas en los procesos de la actividad minera, como es la ventilación generan rentabilidad, como se traduce en los informes anuales de sostenibilidad de Compañía Minera Poderosa, coincidiendo con en el trabajo de Alcalde, Adriano; Lopes Fávero, Luiz Paulo; Takamatsu, Renata Turola (2013). “EBITDA1 margin in Brazilian companies Variance decomposition and hierarchical effects”, señalando lo siguiente: Santos (2000) también sugiere que la variación porcentual del EBITDA entre un año y otro muestra a los inversores una tendencia sobre si una empresa está mejorando su eficiencia o mejorar su productividad.

Las fórmulas aplicadas en el presente trabajo tienen su fundamento en lo siguiente:

Ecuación de Atkinson

Esto se conoce como ecuación de Atkinson y k como factor de fricción de Atkinson. El factor de fricción de Atkinson es una función del aire y densidad, de hecho, tiene las dimensiones de densidad. La ecuación de Atkinson se puede escribir en términos de flujo de aire (Malcolm J. McPherson 1993), $Q = uA$, donde:

$$P = k * L * \frac{\text{per}}{A^3} * Q^2 \text{ (Pa)} \quad (1)$$

Ley Cuadrática

Esta ecuación se conoce como la ley del cuadrado de la ventilación de la mina y probablemente sea la única relación más utilizada en la ingeniería de ventilación subterránea (Malcolm J. McPherson 1993)

$$R = k * L * \frac{\text{per}}{A^3} \left(\frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^8} \right) \text{ o } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^7} \right)$$
$$P = R * Q^2 \text{ (Pa)} \quad (2)$$

Fundamentos del Análisis de Redes de Ventilación

Leyes de Kirchhoff

Las relaciones básicas, ahora conocidas como leyes de Kirchhoff, también son aplicables a las redes fluidas incluidos los sistemas de ventilación cerrados en régimen permanente.

Primera ley de Kirchhoff

Establece que el flujo másico que ingresa a una unión es igual al flujo másico que sale de esa unión o, matemáticamente:

$$\sum_i M = 0 \quad (3)$$

Segunda Ley de Kirchhoff

La afirmación más simple de la segunda ley de Kirchhoff aplicada a las redes de ventilación es que la suma algebraica de todas las caídas de presión alrededor de una ruta cerrada, o malla, en la red debe ser cero, habiendo tenido en cuenta los efectos de los ventiladores y las presiones de ventilación.

$$\sum (p - p_f) - NVP = 0 \quad (4)$$

Métodos de solución de redes de ventilación

Resistencia equivalente

Este es el método más elemental para analizar las redes de ventilación. Si dos o más las vías respiratorias están conectadas en serie o en paralelo, entonces cada uno de esos conjuntos de resistencias puede ser combinado en una sola resistencia equivalente.

Circuitos en Serie

Las caídas de presión están dadas por la siguiente ecuación:

$$p = (p_1 + p_2 + p_3) = (R_1 + R_2 + R_3) * Q^n$$

$$p = R_{ser} * Q^n$$

Donde: $R_{ser} = R_1 + R_2 + R_3$

La resistencia equivalente en un circuito en serie:

$$R_{ser} = \sum R \quad (5)$$

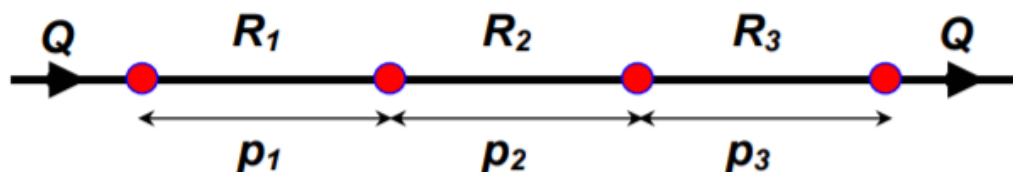


Figura 2. Esquema circuitos en serie.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Circuitos en Paralelo

Las caídas de presión están dadas por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{P^{1/n}}{R_{par}^{1/n}}$$

$$\frac{1}{R_{par}^{1/n}} = \frac{1}{R_1^{1/n}} + \frac{1}{R_2^{1/n}} + \frac{1}{R_3^{1/n}}$$

$$\frac{1}{R_{par}^{1/n}} = \sum \frac{1}{R^{1/n}}$$

La resistencia equivalente en un circuito en paralelo:

$$\frac{1}{\sqrt{R_{par}}} = \sum \frac{1}{\sqrt{R}} \quad (6)$$

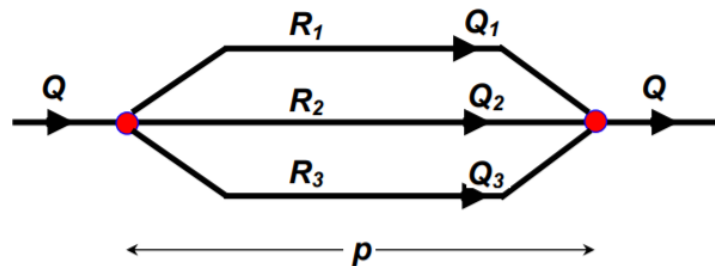


Figura 3. Esquema circuito en paralelo.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

VENTILADOR

Ventilador. – Ventilador axial es un tipo de ventilador que hace que el aire fluya a través de él en una dirección axial, paralela al eje alrededor del cual giran las aspas. El flujo es axial en la entrada y salida. Está diseñado para producir una diferencia de presión y por tanto, forzar para provocar un flujo a través del ventilador.

Combinación de ventiladores

Ventiladores en serie

Muestra dos ventiladores a y b, ubicados en serie dentro de un solo conducto o vía aérea. También se muestran las características de presión-volumen correspondientes y la curva de resistencia efectiva. La curva característica de la combinación se obtiene simplemente agregando el ventilador individual presiones para cada valor de flujo de aire.

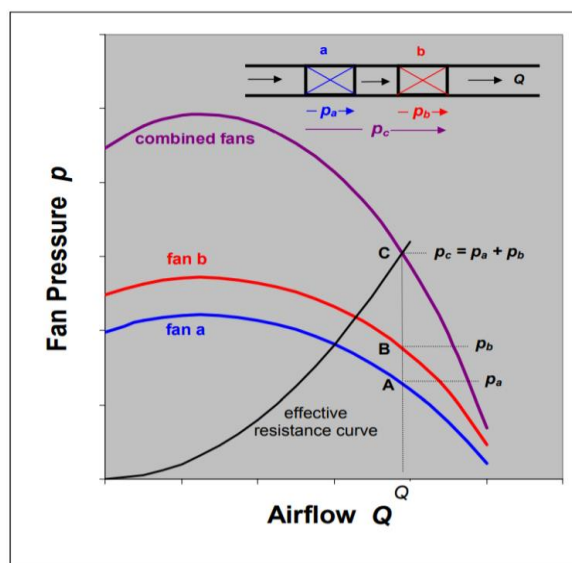


Figura 4. Curva característica de dos ventiladores conectados en serie.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Ventiladores en paralelo

Para los ventiladores que se combinan en paralelo, los flujos de aire se agregan para cualquier presión de ventilador dada en orden para obtener la curva característica combinada. Los ventiladores a y b pasan flujos de aire Q_a y Q_b , pero a la misma presión común.

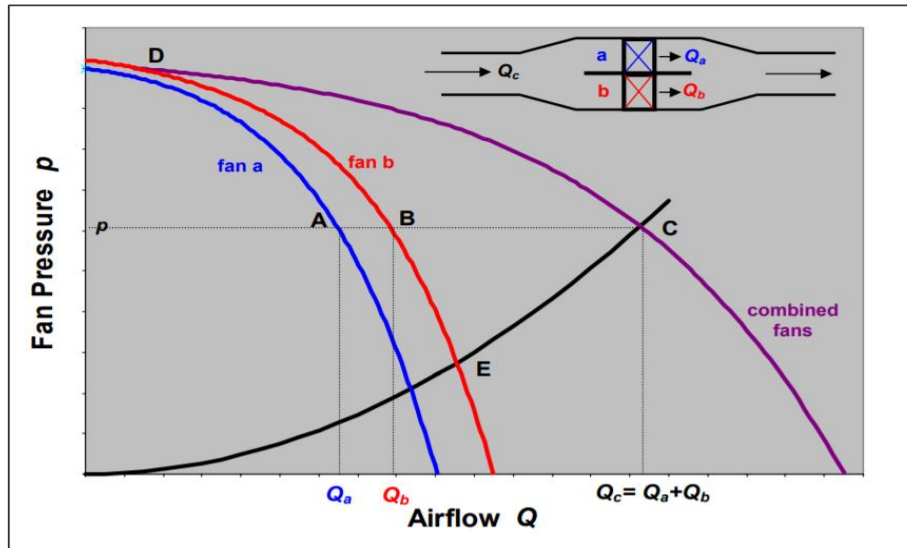


Figura 5. Curva característica de dos ventiladores conectados en paralelo.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Ciclo de vida de la Mina.

Se presenta los elementos esenciales en un sistema de ventilación de una mina subterránea.

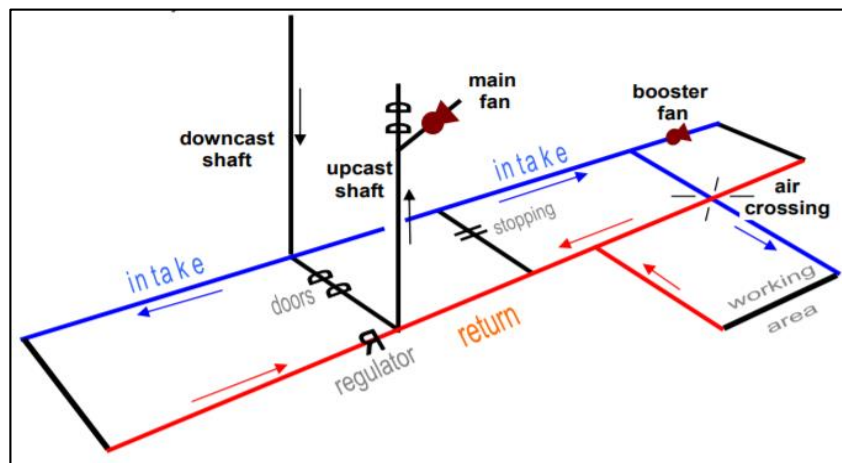


Figura 6. Elementos de un sistema de ventilación principal.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Ventilación Natural

El fluido más pesado desplazará al más ligero y los fluidos se moverán. El movimiento se mantendrá mientras exista una diferencia entre las densidades medias de los fluidos que llenan cada rama del tubo en U. (Malcolm J. McPherson 1993).

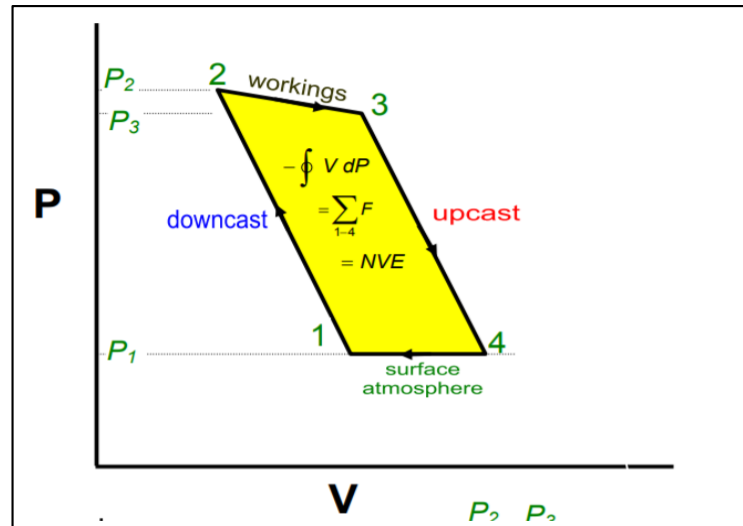


Figura 7. Diagrama de Presión – Volumen; Generado por la ventilación natural en una labor subterránea.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Ventilación Mecánica

Los ventiladores principales pueden colocarse en varios sitios estratégicos en un sistema subterráneo, sujeto a las restricciones impuestas por la legislación vigente. Sin embargo, para examinar la combinación de ventilador y ventilación natural, usaremos la situación más común - la de un ventilador de escape principal ubicado en la parte superior del eje ascendente. (Malcolm J. McPherson 1993).

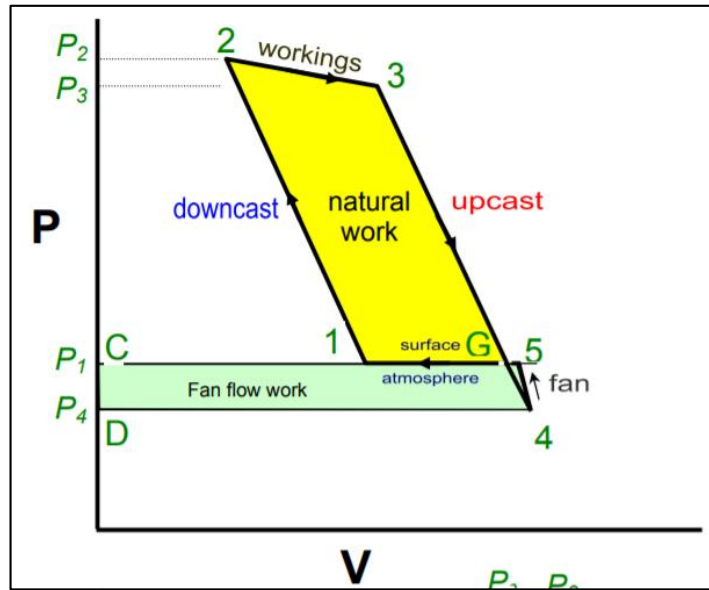


Figura 8. Diagrama de Presión – Volumen; Generado por ventilación mecánica en una labor subterránea.

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Ley de Ohm

Se usa para determinar la relación entre la tensión, corriente y resistencia en el circuito eléctrico.

$$E = I * R \quad (7)$$

$$V = A \times \Omega$$

Tensión (Voltios): E

Corriente (Amperios): I

Resistencia (Ohmios): R

Potencia en el eje de motor de ventilador.

$$Potencia [vatios] = \frac{Caudal [m^3 /seg] \times Presion Total [Pa]}{n ventilador [\%]} \quad (8)$$

Potencia (vatios): Potencia eléctrica de motor de ventilador

Caudal (m^3 /seg): Caudal de aire

Presión Total (Pa): Presión del ventilador

n (%): Eficiencia de ventilador

Cálculo de kWh en ventiladores

$$kWh = \frac{Amp * 440 * 1.73 * 0.85 * H.O.}{1000} \quad (9)$$

Corriente (Amp): Amperaje de ventilador

440 (V): Voltaje

(H.O.): Horas de operación de ventilador

Dinámica de Fluidos Computacional. (ANSYS FLUENT R18.2)

CFD (Computational Fluids Dynamics): Representa el análisis del sistema de flujo de fluidos que puede involucrar problemas de transferencia de calor y fenómenos asociados a reacciones químicas.

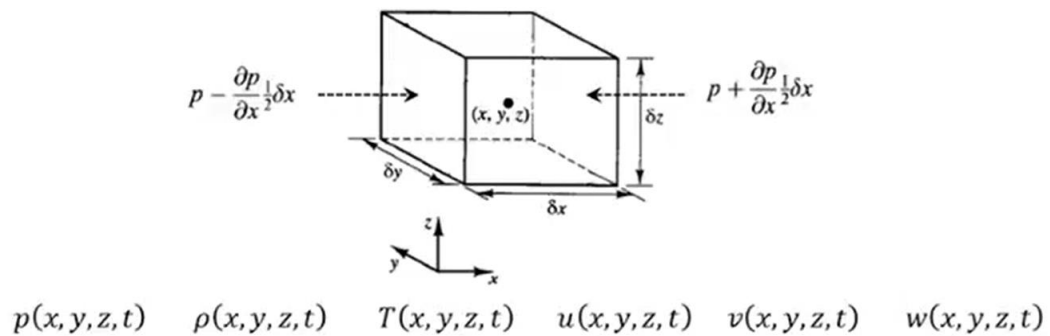


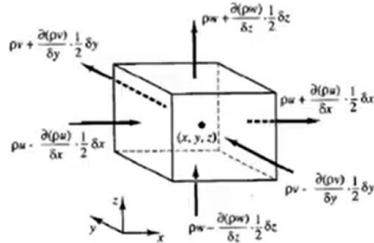
Figura 9. Volumen de control infinitesimal fijo.

Se asume que las propiedades del fluido como: presión, densidad, tiempo, componentes de la velocidad, varían uniformemente en función de tiempo y espacio.

Conservación de Masa

La tasa de incremento de masa en un volumen de control = Tasa neta de flujo de masa de entrada dentro del volumen de control

Flujo de masa entrante–Flujo de masa saliente



Fluido Compresible

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0$$

Fluido incompresible

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{div} \mathbf{u} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (10)$$

Conservación de Momento

“Segunda Ley de Newton”

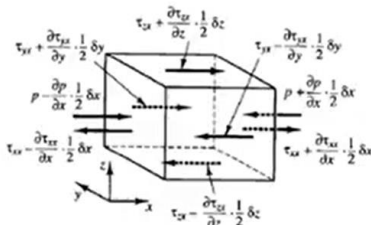
La tasa de variación de momentum de un sistema = Suma de fuerzas sobre el sistema

Fuerzas de superficie

- Fuerzas de presión (p)
- Fuerzas viscosas (τ)

Fuerzas de cuerpo (S_M)

- Fuerza de gravedad
- Fuerza centrífuga
- Fuerza de coriolis
- Fuerza electromagnética



Términos convectivos

Términos viscosos

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + S_{Mx} \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + S_{My} \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + S_{Mz} \end{aligned}$$

Fluido Newtoniano = Las tensiones viscosas son proporcionales a la tasa deformación (constantes μ y λ)

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

Ecuaciones de Navier- Stokes (Fluido Compresible)

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{Mx}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_{My}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \right] + S_{Mz}$$

Fluido Newtoniano = Las tensiones viscosas son proporcionales a la tasa deformación (constantes μ y λ)

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \operatorname{div} \mathbf{u}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

Ecuaciones de Navier- Stokes (Fluido Incompresible)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + S_{Mx}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + S_{My}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + S_{Mz}$$

Momentum – x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + S_{Mx} \quad (11)$$

Momentum – y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + S_{My} \quad (12)$$

Momentum – z

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + S_{Mz} \quad (13)$$

Conservación de Energía

“Primera ley de la Termodinámica”

La tasa de variación de energía de un sistema	=	Tasa neta de calor adicionado al sistema	+	La tasa neta de trabajo realizado sobre el sistema
-----------------------------------------------	---	------------------------------------------	---	----------------------------------------------------

$$\rho \frac{DE}{Dt} = -\text{div}(p\mathbf{u}) + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div}(k \text{ grad } T) + S_E$$

$$\rho \frac{Di}{Dt} = \dots$$

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \dots$$

$$\rho \frac{Dh_0}{Dt} = \dots$$

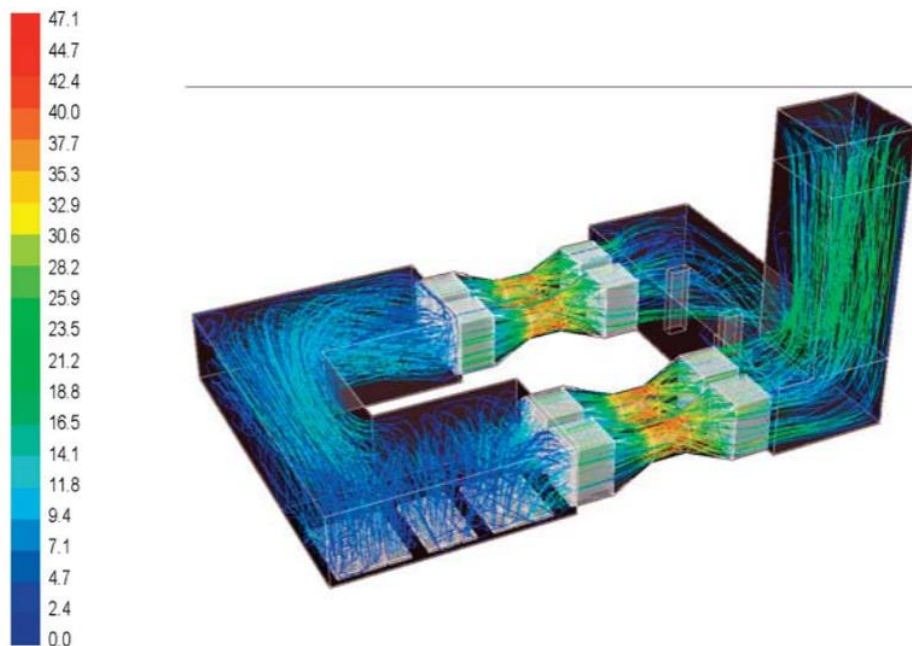


Figura 10. Trayectoria de velocidad en la simulación (CFD) de la estación Uskudar (Turkey)

Fuente: Validación de modelos de ventilación en metros y túneles ferroviarios – zitron (Ana B. Amado García)

Ley de Gases Ideales (VENTSIM)

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética).

$$P * V = n * R * T \quad (14)$$

Presión: P

Volumen: V

Temperatura: T

Numero de Avogadro: n

Constante de gases: R

EBITDA

Es la utilidad operativa que se calcula antes de descontar las depreciaciones y amortizaciones.

$$\text{EBITDA} = \text{Uti. Ope.} + \text{Gasto Depre.} + \text{Gasto Amor.} + \text{Gasto Provi} \quad (15)$$

Utilidad Operativa: Uti. Ope.

Gasto de depreciación: Gasto Depre.

Gasto de Amortización: Gasto Amor.

Gasto de Provisiones: Gasto Provi.

En la presente investigación se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el sistema de ventilación de las operaciones en la integración de las unidades de producción en una empresa minera de La Libertad 2021?

Se planteó como objetivo general: Determinar cómo influye el sistema de ventilación de las operaciones en la integración de dos unidades de producción de una empresa minera de La Libertad 2021.

Como objetivos específicos se plantearon:

- Determinar los parámetros para el diseño del sistema de ventilación integral
- Seleccionar el ventilador y el diámetro del ducto de ventilación óptimo.
- Determinar el ahorro en el consumo de energía de los ventiladores.
- Determinar la posición de las CHRCs con el modelamiento en software VENTSIM.

- Determinar las pérdidas de carga en la geometría de la sección de la cámara principal de los ventiladores con el modelamiento en software ANSYS FLUENT.
- Comparar los indicadores de las operaciones en la integración de las unidades de producción como el EBITDA, Onzas Au y consumos de energía anuales, antes y después de la optimización.

En la presente investigación se planteó como hipótesis: El sistema de ventilación optimiza las operaciones en la integración de dos unidades de producción de una empresa minera de La Libertad 2021.

El presente trabajo de investigación se justifica porque propone un diseño sustentando en las situaciones, los conceptos teóricos de ingeniería de ventilación subterránea, asimismo aplicando simulaciones de las posibles alternativas enmarcadas en la norma legal para tener un Sistema de ventilación de la Cortada 5000 Nv 1915, que incide en la optimización de la integración de dos unidades de producción en una minera de La Libertad.

Como indica Brodny, J., & Tutak, M. (2021) del artículo “Applying computational fluid dynamics in research on ventilation safety during underground hard coal mining: A systematic literature review”, dice lo siguiente: El carácter aleatorio de muchos fenómenos peligrosos que acompañan a este proceso requiere la aplicación de métodos modernos y seguros para estudiar estos fenómenos. Se sabe que los estudios de modelos basados en el método de dinámica de fluidos computacional (CFD) tienen tales características. Permiten el análisis de fenómenos muy complejos (vorticidad) y peligrosos (reacciones químicas), que son difíciles o incluso imposibles de investigar con el uso de otros métodos.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación por el propósito es de tipo teórica aplicativa, porque busca encontrar principios que gobiernan diversos fenómenos

Esta investigación por su diseño es de tipo no experimental.

La Población objeto de estudio fue la Cortada 5000 Nv 1915, para la integración de dos unidades de producción en una empresa minera de La Libertad.

La muestra es de tipo censal porque se consideró, todo el sistema de ventilación de la Cortada 5000 de Nv 1915, para la integración de dos unidades de producción en una empresa minera de La Libertad

Técnicas e instrumentos

Técnica: Observación

Tiene como objetivo realizar mediciones de la velocidad y caudal del aire en los puntos topográficos de la cortada 5000. Los datos se registraron en Excel y se determinó los promedios. Estos datos se utilizaron en el software para la optimización de las unidades de producción.

Instrumentos:

Para la recolección de los datos se utilizaron los siguientes instrumentos, cuyas certificaciones de calibración por empresas especializadas (Instruments Lab – ANEXO 10) están vigentes al año 2021, en cumplimiento a normas internacionales exigidas en los procesos de la empresa minera:

- Termohygro - anemómetro, marca: TESTO 435.
- Anemómetro, marca: KESTREL.
- Termómetro-estanca para medir la temperatura de la roca, marca: TESTO.
- Distanciómetro digital: LEICA

- Monitoreo de gases. Equipo la marca: MSA que mide O₂, CO, NO y NO₂.
- Monitoreo de parámetros eléctricos. Equipo multímetro marca: PFLUKER.

Análisis de datos

Para el análisis de datos incluyendo los datos geofísicos (ANEXO 09) se utilizaron en el software VENTSIM en la simulación del ventilador óptimo y ducto de ventilación en CR 5000 de Nv 1915.

Para las evaluaciones del comportamiento del flujo de aire en el ingreso de la cámara de ventilación, se utilizó el software ANSYS 18.2 en la determinación de las pérdidas de carga en la geometría de sección de la cámara principal de los ventiladores principales en CR E Nv 2450.

Procedimiento para el monitoreo

Velocidad de aire en crucero:

Verificación del funcionamiento de los equipos anemómetro

Señalar el día, hora y estación de monitoreo

Posicionar el anemómetro perpendicular a la dirección del flujo de aire.

Realizar siete mediciones con el anemómetro (02 hastial izquierdo, 03 centro de labor y 02 hastial derecho)

Medición de ancho y alto de la labor, multiplicando por 0.95 (factor de corrección de curvatura corona – hastial), para hallar el área de la labor.

Velocidad de aire en ventilador:

Verificación del funcionamiento de los equipos anemómetro y distanciómetro.

Señalar el día, hora y estación de monitoreo

Posicionar el anemómetro perpendicular a la dirección del flujo de aire del ventilador

Realizar un barrido en el ventilador iniciándose desde un extremo del diámetro del ventilador, continuando el monitoreo formando un espiral hasta terminar al centro del ventilador.

Medición del diámetro del ventilador para hallar el área.

Presión estática de ventilador:

Verificación del funcionamiento de los equipos barómetro y distanciómetro

Señalar el día, hora y ventilador

Colocar el barómetro en la parte posterior del ventilador, cerca de la campana de salida.

Colocación de ducto (Manguera) a la salida de la válvula de ingreso de aire del barómetro.

Instalación de la otra salida del ducto (Manguera) en la salida del punto de monitoreo de presión estática del ventilador (Campana de salida).

Monitoreo del desplazamiento del agua (Diferencia de alturas) con el distanciómetro.

Matrices de Consistencia y Operacionalización de Variables e Instrumentos

Tabla 01

Matriz de Consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “SISTEMA DE VENTILACION PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES EN LA INTEGRACION DE DOS UNIDADES DE PRODUCCION EN UNA EMPRESA MINERA, LA LIBERTAD 2021”

Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología	Población y Muestra
¿Cómo influye el sistema de ventilación de las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera, La Libertad 2021?	El sistema de ventilación optimiza las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera, La Libertad 2021.	Objetivo General Determinar cómo influye el sistema de ventilación de las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera, La Libertad 2021.	Variable Dependiente Operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera, La Libertad.	Tipo de Investigación	CR 5000 Nv 1915 de dos unidades de producción en una empresa minera de La Libertad.
		Objetivos Específicos Determinar los parámetros para el diseño del sistema de ventilación integral Seleccionar el ventilador y el diámetro del ducto de ventilación óptimo. Determinar el ahorro en el consumo de energía de los ventiladores. Determinar la posición de las CHRCs con el modelamiento en software VENTSIM. Determinar las pérdidas de carga en la geometría de la sección de la cámara principal de los ventiladores con el modelamiento en software ANSYS FLUENT. Comparar los indicadores de las operaciones en la integración de las unidades de producción como el EBITDA, Onzas Au y consumos de energía anuales, antes y después de la optimización.		Variable Independiente Sistema de ventilación	

Tabla 02

Matriz de Operacionalización de Variables e instrumentos.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INSTRUMENTOS

VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Escala de Medición
Variable Dependiente: Operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera de La Libertad.	Complejidad de actividades cuyo estudio y optimización solo puede ser llevado a cabo eficientemente mediante el uso de software y modelos computacionales 3D (Feng, Zhu y Lv 2011)	Refiere al mejoramiento continuo de la economía y las operaciones	Utilidad Operativa	EBITDA	US\$ dólares/Año	Razón
			Energía Eléctrica	E.E. / TMB (mineral + desmonte)	kWh/TMB	Razón
			Productividad	Onzas Au/ Año	Onzas/Año	Razón
Variable Independiente: Sistema de ventilación	El sistema de ventilación representa el 50% del costo operativo de operación de mina y entre el 25 - 40% del total de la mina (De Souza 2007)	Refiere al sistema de ventilación minera denominado servicios	Flujo de aire	Caudal	m ³ /min	Razón
			Velocidad lineal de aire	Velocidad de aire	m/min	Razón
			Oxígeno en labor minera	Oxígeno	%	Porcentaje
			Monóxido en labor minera	Monóxido de Carbono	ppm	Intervalo

Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación se consideró como aspectos éticos la ética profesional en la recolección de información con previa autorización y cumpliendo con las restricciones de la empresa minera en La Libertad.

III. RESULTADOS

3.1 Determinar los parámetros para el diseño del sistema de ventilación integral

Descripción de monitoreo

Los monitoreos se realizaron en las estaciones de ventilación de la CR 5000 de Nv 1915, identificándolos por los puntos topográficos marcados a lo largo de esta labor, donde se monitorearon los siguientes parámetros:

Tabla 03

Monitoreo de condiciones termoambientales del flujo de aire.

Antes					
Labor	Estación	Velocidad de Aire		Ambientales	
		(m/seg)	(m/min)	T (° C)	HR (%)
		Σ Prome.	V (m/min)		
Cortada 5000	PV Pto topográfico 05 (1)	0.72	43.03	25.5	88
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (2)	0.42	25.46	28.2	90.3
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (3)	0.31	18.69	29.2	92

Después					
Labor	Estación	Velocidad de Aire		Ambientales	
		(m/seg)	(m/min)	T (° C)	HR (%)
		Σ Prome.	V (m/min)		
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (1)	1.08	64.71	23.2	79
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (2)	0.91	54.51	23.6	80
Cortada 5000	PV Pto topográfico 33 (3)	0.79	47.57	24.6	84.5
Cortada 5000	PV Pto topográfico 44 (4)	0.85	50.83	24.7	86
Cortada 5000	PV Pto topográfico 52 (5)	0.64	38.66	27.3	91.2
Cortada 5000	PV Pto topográfico 63 (6)	0.55	32.91	28.4	92.4

Fuente: Elaboración propia

Se observó los monitoreos antes y después en las estaciones de monitoreo (PV), este cambio se debió a la ejecución de una CHRC 58 (Chimenea Raise Climber) que evacuara el aire viciado.

Tabla 04

Monitoreos de Velocidad de aire en cada estación

Labor	Estación	Velocidad de Aire							Σ Prome.	Velocidad
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
Cortada 5000	PV Pto topográfico 05 (1)	0.56	0.64	0.87	0.71	0.68	0.81	0.75	0.72	43.03
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (2)	0.46	0.47	0.44	0.39	0.42	0.41	0.38	0.42	25.46
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (3)	0.23	0.24	0.34	0.35	0.28	0.36	0.38	0.31	18.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Monitoreos de Caudal y propiedades psicométricas del aire en cada estación

Labor	Estación	Sección			Caudal		Ambientales	
		Ancho (m)	Alto (m)	Área(m ²)	m ³ /min	cfm	T (° C)	HR (%)
Cortada 5000	PV Pto topográfico 05 (1)	3.2	3.5	10.6	457.8	16167.6	25.5	88
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (2)	3.3	3.6	11.3	287.3	10146.0	28.2	90.3
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (3)	3.2	3.67	11.2	208.5	7362.0	29.2	92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Monitoreos de concentraciones de gases en el aire en cada estación

Labor	Estación	Gases						
		O2 (%)	CO ppm	CO %	CO2 ppm	CO2 %	NO2 ppm	NO2 %
Cortada 5000	PV Pto topográfico 05 (1)	20.8	0	0	0	0	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (2)	20.1	8	0.0008	2	0.0002	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (3)	20.1	22	0.0022	10	0.0010	2	0.0002

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 4 y 5 se muestra los monitoreos de los parámetros de ventilación tomados en campo tal como se muestra en la figura 11, realizados en CR 5000 Nv 1915. Asimismo, en la tabla 6 se observa LMP de gases en labor minera, equipos diésel y parámetros ambientales.

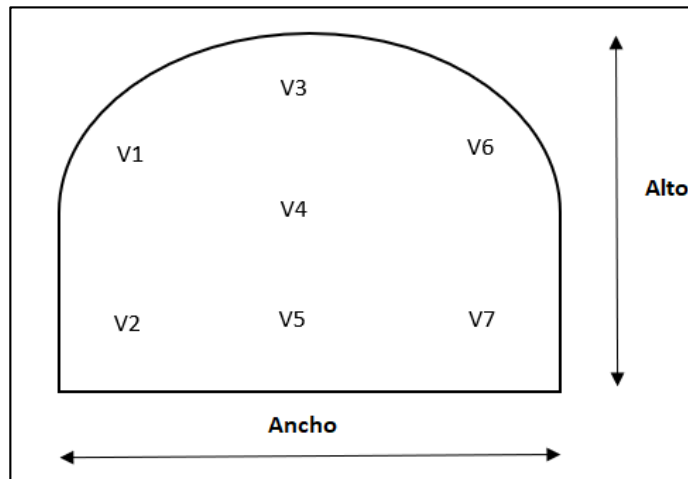


Figura 11. Puntos de monitoreo en la sección de la labor Cortada 5000

Fuente: Elaboración propia

Se observan un resumen de los cuadros en la siguiente figura:

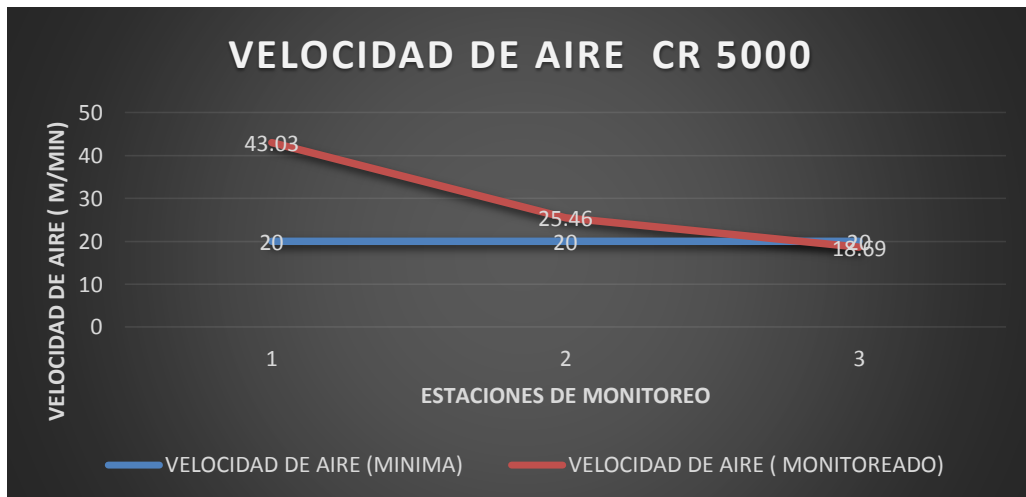


Figura 12. Velocidad de aire en tope de labor antes de ejecución de CHRC 58.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que la velocidad cerca del tope de la labor en la estación 3 la velocidad del aire llega a 18m/min.

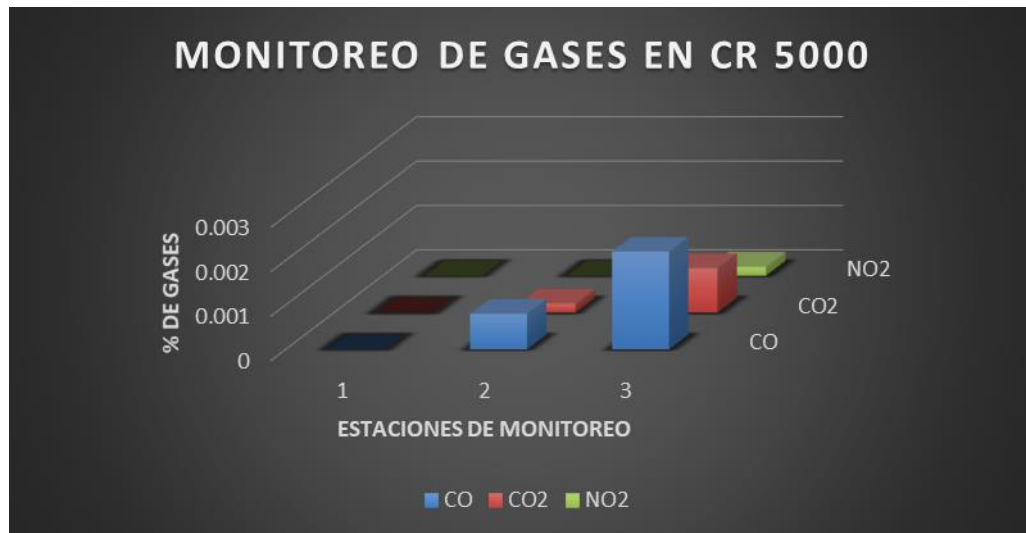


Figura 13. Niveles de gases en el tope de labor antes de la ejecución de CHRC 58.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que los niveles de gases el más representativo es el monóxido de carbono en la estación 3, que se encuentra ceca del tope de la labor.

Tabla 7

Monitoreos de Velocidad de aire en cada estación después de la ejecución de CHRC 58.

Labor	Estación	Velocidad de Aire							Σ Prome.	Velocidad
		(m/seg)								
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (1)	1.1	1.05	1.23	0.98	1.12	1.18	0.89	1.08	64.71
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (2)	0.95	0.88	0.78	0.94	1.01	0.99	0.81	0.91	54.51
Cortada 5000	PV Pto topográfico 33 (3)	0.79	0.75	0.64	0.85	0.72	0.93	0.87	0.79	47.57
Cortada 5000	PV Pto topográfico 44 (4)	0.89	0.77	0.92	0.81	0.87	0.93	0.74	0.85	50.83
Cortada 5000	PV Pto topográfico 52 (5)	0.64	0.66	0.69	0.64	0.61	0.62	0.65	0.64	38.66
Cortada 5000	PV Pto topográfico 63 (6)	0.51	0.48	0.56	0.57	0.69	0.52	0.51	0.55	32.91

Tabla 8

Monitoreos de Caudal y propiedades psicométricas del aire en cada estación de CR 5000 después de comunicación de CHRC 58.

Labor	Estación	Sección			Caudal		Ambientales	
		Ancho (m)	Alto (m)	Área(m ²)	m ³ /min	cfm	T (° C)	HR (%)
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (1)	3.3	3.6	11.3	730.4	25792.1	23.2	74
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (2)	3.2	3.67	11.2	608.2	21478.2	23.4	74.2
Cortada 5000	PV Pto topográfico 33 (3)	3.31	3.52	11.1	526.6	18594.6	23.7	75.7
Cortada 5000	PV Pto topográfico 44 (4)	3.2	3.5	10.6	540.8	19098.4	24	76
Cortada 5000	PV Pto topográfico 52 (5)	3.3	3.6	11.3	436.3	15407.0	24.3	79.1
Cortada 5000	PV Pto topográfico 63 (6)	3.2	3.67	11.2	367.2	12967.9	25.1	81.5

Tabla 9

Monitoreos de concentraciones de gases en el aire en cada estación de CR 5000 después de comunicación de CHRC 58.

Labor	Estación	Gases						
		O2 (%)	CO ppm	CO %	CO2 ppm	CO2 %	NO2 ppm	NO2 %
Cortada 5000	PV Pto topográfico 12 (1)	20.8	0	0	0	0	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 22 (2)	20.8	0	0	0	0	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 33 (3)	20.8	0	0	0	0	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 44 (4)	20.8	0	0	0	0	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 52 (5)	20.8	4	0.0004	3	0.0003	0	0
Cortada 5000	PV Pto topográfico 63 (6)	20.9	6	0.0006	5	0.0005	1	0.0001

Se muestra en las tablas 7 y 8 los monitoreos de los parámetros de ventilación tomados en campo tal como se muestra en la figura 11, realizados en CR 5000 Nv 1915. Asimismo, se observó en la tabla 9 los LMP de gases en labor minera, equipos diésel y parámetros ambientales - Culminado la ejecución de la CHRC 58.

Se observa resumen de cuadros siguiente:

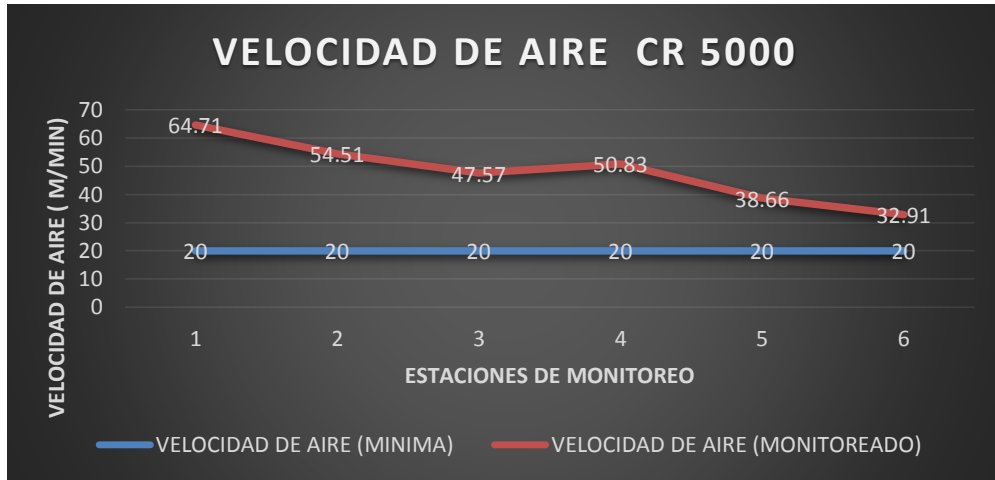


Figura 14. Velocidad de aire en tope de labor después de ejecución de CHRC 58.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que la velocidad cerca del tope de la labor en la estación 6 la velocidad del aire llega a 33m/min.

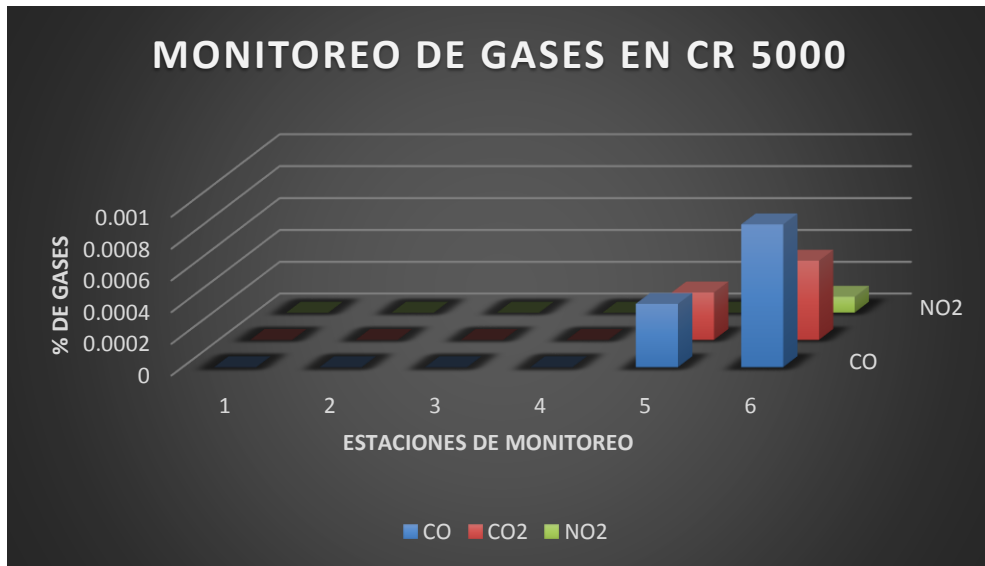


Figura 15. Niveles de gases en el tope de labor después de ejecución de CHRC 58.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que los niveles de gases el más representativo es el monóxido de carbono en la estación 6, que se encuentra ceca del tope de la labor.

3.2. Seleccionar el ventilador y el diámetro del ducto de ventilación óptimo.

Se realizaron pruebas en ventiladores de 40 000 cfm de diferentes presiones estáticas y usando mangas de ventilación de 15m de longitud (medida estándar en Perú) y usando mangas de ventilación de 100m de longitud (Pedido de empresa minera de La Libertad a proveedor extranjero).

Tabla 10

Monitoreo en campo de parámetros de ventilación

MONITOREOS EN CAMPO DE PARAMETROS DE VENTILACION				
Ø Manga de 42" x 100m	Longitud (m)	Presión Total	Caudal de Ingreso	Caudal de Salida
		"H ₂ O	(CFM)	(CFM)
		A	B	C
	1260	13.25	23,443.00	17,608.00
	600	9.43	28,134.00	24,909.00
	0	0.98	32,039.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Monitoreo en campo de parámetros de eléctrico de variador de frecuencia

MONITOREOS EN CAMPO PARAMETROS ELECTRICOS DE VARIADOR DE FRECUENCIA							
RPM	Frecuencia (Hertz)	Intensidad (A)	Voltaje de Salida (V)	Par Motor (%)	Potencia Salida (Kw)	Potencia eje motor (Kw)	Temperatura (°C)
D	E	F	G	H	I	J	K
3329.8	55.3	119.03	425.0	88.4	77.83	73.33	44
3329.8	55.3	109.25	430.0	81.2	71.8	67.31	40
3329.8	55.3	84.48	437.0	60.2	53.64	50.48	39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Calculo teórico para potencia en eje de motor

Caudal		Presión		Eficiencia	Potencia eje de motor	
CFM	m ³ /seg	"H ₂ O	Pa	N	vatios	Kw
B	B	A	A			
32,039.00	15.12100961	13.25	3300.575	0.80	62385.03	62.39
32,039.00	15.12100961	9.43	2349.013	0.80	44399.31	44.40

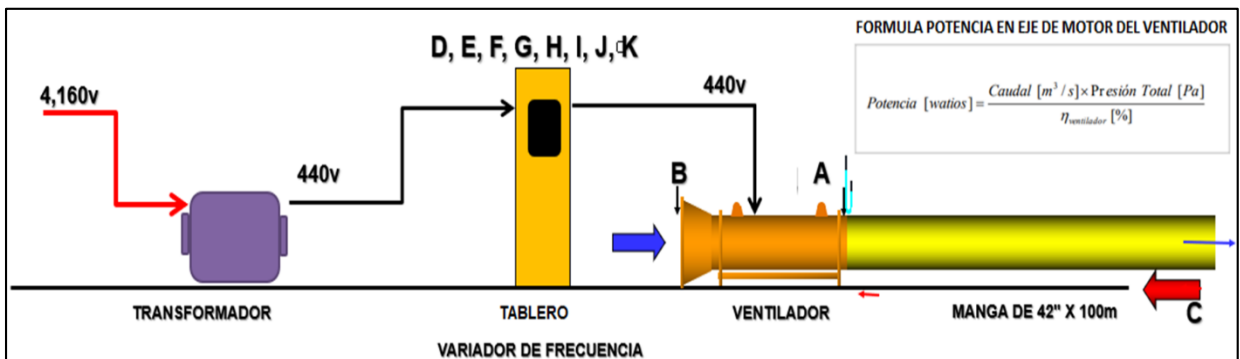
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Calculo teórico para potencia en eje de motor: 40000 cfm y 16.5" c.a.

Caudal		Presión		Eficiencia	Potencia eje de motor	
CFM	m ³ /seg	"H ₂ O	Pa	N	vatios	Kw
40,000.00	18.87825414	16.5	4110.15	0.8	96990.57	96.99
35,000.00	16.51847237	16.5	4110.15	0.8	84866.75	84.87

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Representación de monitores en campo de parámetros de Ventilación y Eléctricos.

En la tabla 10 se muestra el cuadro de monitoreo de parámetros en ventilador de 40000 cfm, realizado en CR 5000 Nv 1915. Asimismo, en la tabla 11 se muestra los parámetros eléctricos y ambientales.

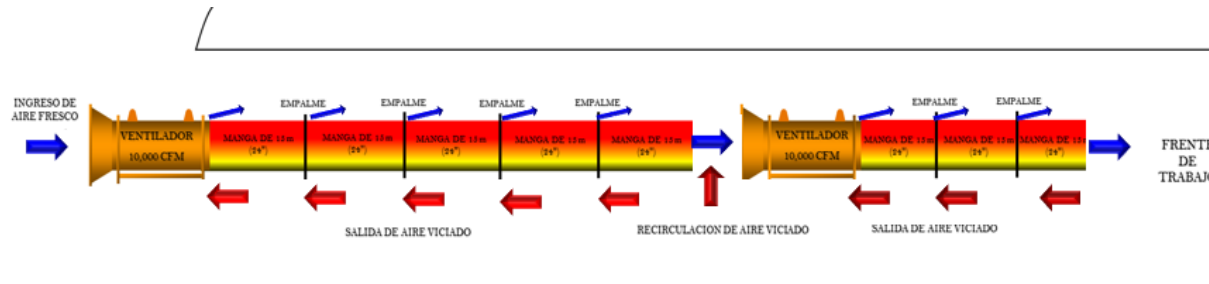


Figura 17. Instalación de ductos de ventilación (mangas); longitud 15 m c/u

Fuente: EDT Los Checos (2017).

Se observó en la figura 17 la condición por fugas en las mangas, generado por el número de empalmes y la recirculación de aire viciado

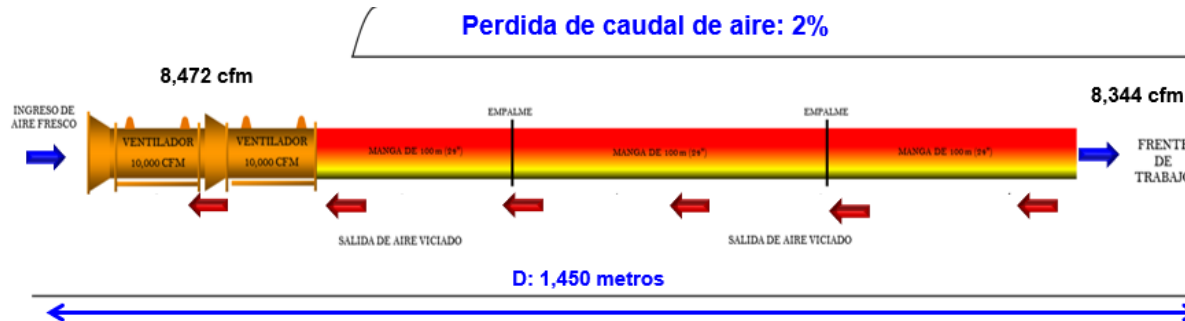


Figura 18. Instalación de ductos de ventilación (mangas); longitud 100 m c/u

Fuente: EDT Los Checos (2017).

Se observa en la figura 18 que la condición de recirculación de aire viciado ha sido eliminada por el reducido número de empalmes en las mangas

Curva de ventilador de 40000 cfm

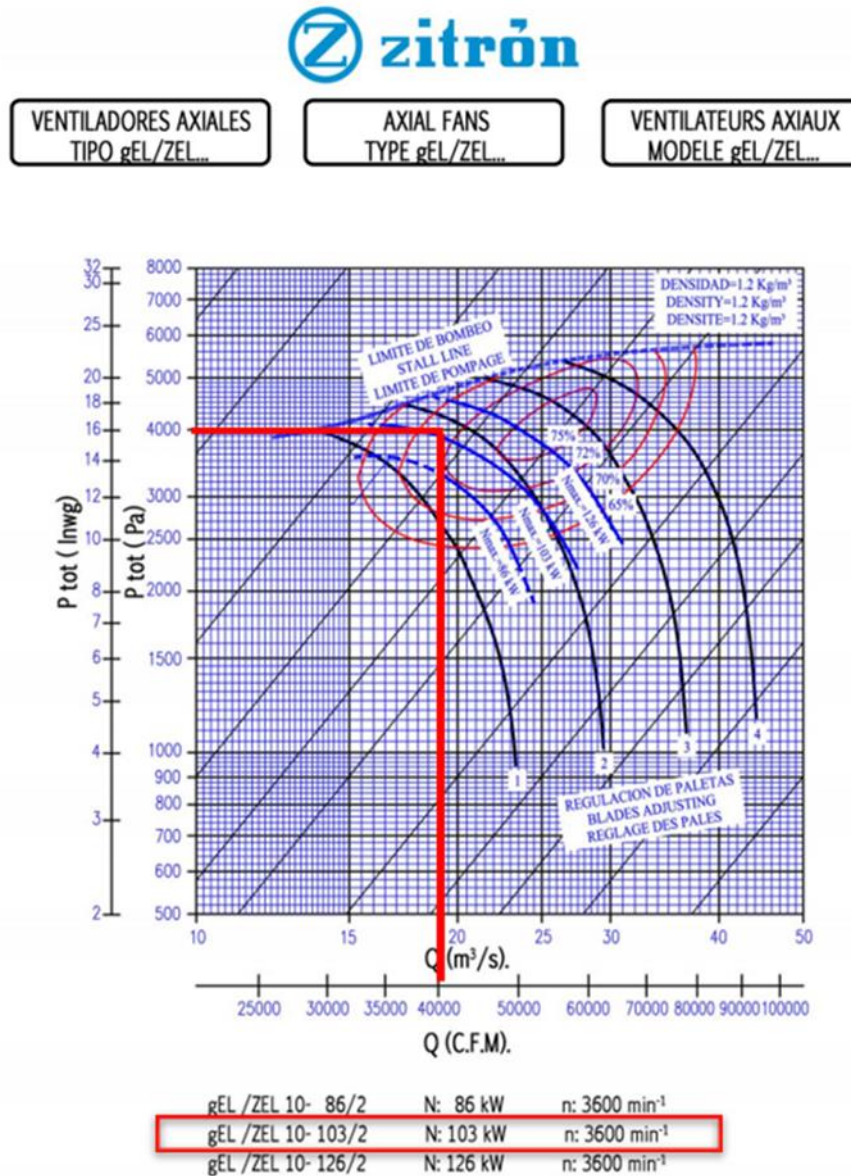


Figura 19. Se observa la curva del ventilador a elegir.

Fuente: www.zitron.com

3.3. Determinar el ahorro en el consumo de energía de los ventiladores.

Los monitoreos se realizaron en los tableros de control de los ventiladores ubicados en la CR 5000 de Nv 1915, siendo los siguientes parámetros: El consumo de energía en mina representa uno de los costos más altos debido al funcionamiento por las horas de operación y la elevada potencia de estos equipos.

Para el cálculo de kWh en los ventiladores se tiene la siguiente formula:

$$kWh = \frac{Amp * 440 * 173 * 0.85 * H.O.}{1000} \quad (15)$$

Como vemos este consumo kWh, es calculado a partir del amperaje del equipo y de sus horas de Operación.

- **Ahorro de consumo de energía en ventiladores de 40 000 cfm**

Se realizó las siguientes actividades:

- En las pruebas con tablero de arranque convencional, no se puede variar la frecuencia en el ventilador. Funciona a toda su potencia.
- En las pruebas con el tablero de arranque con variador de frecuencia, si es factible variar su frecuencia y poder regular su potencia de funcionamiento.

Criterios en pruebas:

Se consideró bajar la frecuencia de los ventiladores en horas donde el personal está fuera de la labor después de la voladura. Hubo que recurrir a su paralización para ahorrar energía, después de quedar el frente limpio sin gases.

- **Ahorro de consumo de energía en ventiladores principales de 50 000 cfm**

Se realizó las siguientes actividades:

- En las pruebas con tablero de arranque convencional, no se puede variar la frecuencia en el ventilador. Funciona a toda su potencia.
- En las pruebas con el tablero de arranque con variador de frecuencia, si es factible variar su frecuencia y poder regular su potencia de funcionamiento.

Criterios en pruebas:

Se consideró bajar la frecuencia de los ventiladores en horas donde el personal está fuera de la labor después de la voladura. Por ser ventiladores principales no se puede paralizar su funcionamiento.

Tabla 14

Ventilador de 40 000 cfm con tablero de arranque convencional

VENTILADOR CON TABLERO DE ARRANQUE CONVENCIONAL		
HORAS	POTENCIA	AMPERAJE
12 PM	137 HP	135
1 PM	137 HP	135
2 PM	137 HP	135
3 PM	137 HP	135
4 PM	137 HP	135
5 PM	137 HP	135
6 PM	137 HP	135
7 PM	137 HP	135
8 PM	137 HP	135
9 PM	137 HP	135
10 PM	137 HP	135
11 PM	137 HP	135
12 AM	137 HP	135
1 AM	137 HP	135
2 AM	137 HP	135
3 AM	137 HP	135
4 AM	137 HP	135
5 AM	137 HP	135
6 AM	137 HP	135
7 AM	137 HP	135
8 AM	137 HP	135
9 AM	137 HP	135
10 AM	137 HP	135
11 AM	137 HP	135
CONSUMO TOTAL DIARIO kw		2096.34
Costo US\$/kWh:		0.0812
Costo diario US\$		170.22
Costo mensual US\$		5106.70
Costo anual US\$		61280.351

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Ventilador de 40 000 cfm con tablero de arranque con variador de frecuencia

VENTILADOR CON TABLERO DE ARRANQUE CON VARIADOR DE FRECUENCIA				
HORAS	POTENCIA	AMPERAJE	% FUNCIONAMIENTO	
12 PM	82.2 HP	0	OFF	
1 PM	137 HP	121.5	90%	
2 PM	137 HP	121.5	90%	
3 PM	137 HP	121.5	90%	
4 PM	137 HP	121.5	90%	
5 PM	137 HP	121.5	90%	
6 PM	137 HP	121.5	90%	
7 PM	137 HP	121.5	90%	
8 PM	137 HP	121.5	90%	
9 PM	82.2 HP	82	60%	
10 PM	82.2 HP	0	OFF	
11 PM	82.2 HP	0	OFF	
12 AM	137 HP	121.5	90%	
1 AM	137 HP	121.5	90%	
2 AM	137 HP	121.5	90%	
3 AM	137 HP	121.5	90%	
4 AM	137 HP	121.5	90%	
5 AM	137 HP	121.5	90%	
6 AM	137 HP	121.5	90%	
7 AM	137 HP	121.5	90%	
8 AM	82.2 HP	82	90%	
9 AM	82.2 HP	82	OFF	
10 AM	82.2 HP	0	OFF	
11 AM	82.2 HP	0	OFF	
CONSUMO TOTAL DIARIO kw			1358.74	
Costo US\$/kWh:			0.0812	
Costo diario US\$			110.33	
Costo mensual US\$			3309.90	
Costo anual US\$			39718.75	
Comparativo Ahorro Anual US\$:			21561.61	

Fuente: Elaboración propia

Se observa en resumen el cuadro siguiente:

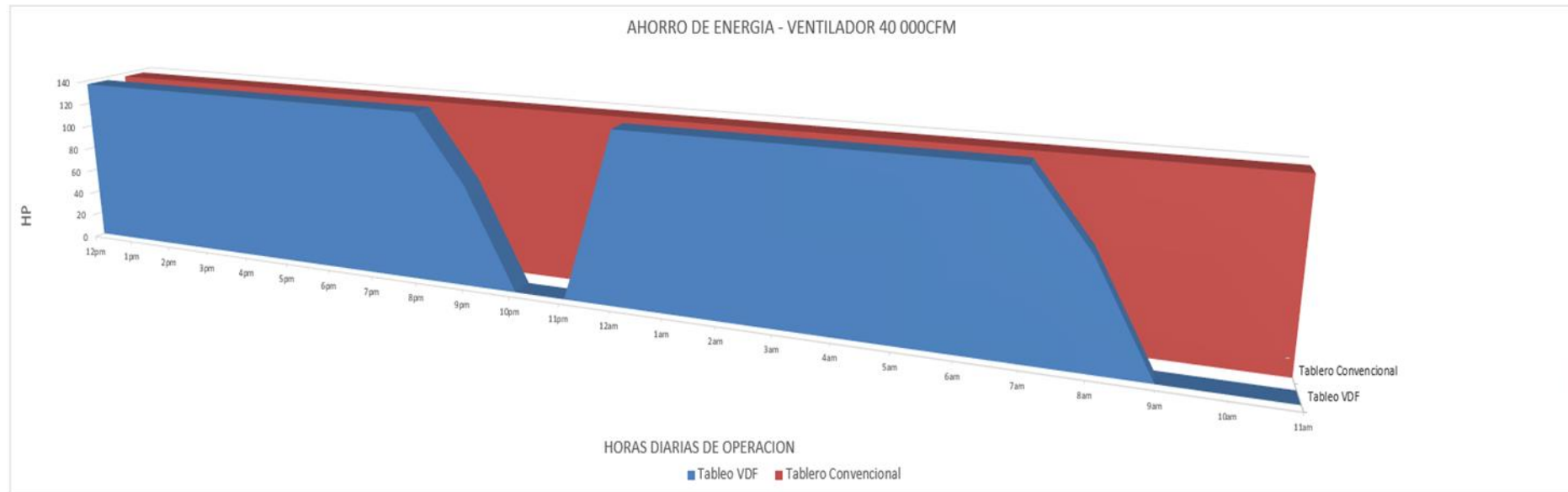


Figura 20. Ahorro de Energía del Ventilador 40 000 cfm.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se muestra una gráfica donde se compara el ahorro de energía con tablero convencional (estrella – triangulo) y Variador de Frecuencia (VDF), en ventilador de 40 000 cfm. Se tuvo ahorro en costo de energía de US\$ 21,561.6 /año

Tabla 16

Ventilador de 50 000 cfm con tablero de arranque convencional

VENTILADOR CON TABLERO DE ARRANQUE CONVENCIONAL		
HORAS	POTENCIA	AMPERAJE
12 PM	230 HP	220
1 PM	230 HP	220
2 PM	230 HP	220
3 PM	230 HP	220
4 PM	230 HP	220
5 PM	230 HP	220
6 PM	230 HP	220
7 PM	230 HP	220
8 PM	230 HP	220
9 PM	230 HP	220
10 PM	230 HP	220
11 PM	230 HP	220
12 AM	230 HP	220
1 AM	230 HP	220
2 AM	230 HP	220
3 AM	230 HP	220
4 AM	230 HP	220
5 AM	230 HP	220
6 AM	230 HP	220
7 AM	230 HP	220
8 AM	230 HP	220
9 AM	230 HP	220
10 AM	230 HP	220
11 AM	230 HP	220
CONSUMO TOTAL DIARIO kW		3416.27
Costo US\$/kWh:		0.0812
Costo diario US\$		277.40
Costo mensual US\$		8322.02
Costo anual US\$		99864.276

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Ventilador de 50 000 cfm con tablero de arranque con variador de frecuencia

VENTILADOR CON TABLERO DE ARRANQUE CON VARIADOR DE FRECUENCIA			
HORAS	POTENCIA	AMPERAJE	% FUNCIONAMIENTO
12 PM	138 HP	135	60%
1 PM	207 HP	207	90%
2 PM	207 HP	207	90%
3 PM	207 HP	207	90%
4 PM	207 HP	207	90%
5 PM	207 HP	207	90%
6 PM	207 HP	207	90%
7 PM	207 HP	207	90%
8 PM	207 HP	207	90%
9 PM	138 HP	135	60%
10 PM	138 HP	135	60%
11 PM	138 HP	135	60%
12 AM	207 HP	207	90%
1 AM	207 HP	207	90%
2 AM	207 HP	207	90%
3 AM	207 HP	207	90%
4 AM	207 HP	207	90%
5 AM	207 HP	207	90%
6 AM	207 HP	207	90%
7 AM	207 HP	207	90%
8 AM	138 HP	135	60%
9 AM	138 HP	135	60%
10 AM	138 HP	135	60%
11 AM	138 HP	135	60%
CONSUMO TOTAL DIARIO kw			2841.71
Costo US\$/kWh:			0.0812
Costo diario US\$			230.75
Costo mensual US\$			6922.41
Costo anual US\$			83068.92
Comparativo Ahorro Anual US\$:			16795.36

Fuente: Elaboración propia

Se observa en resumen el cuadro siguiente:

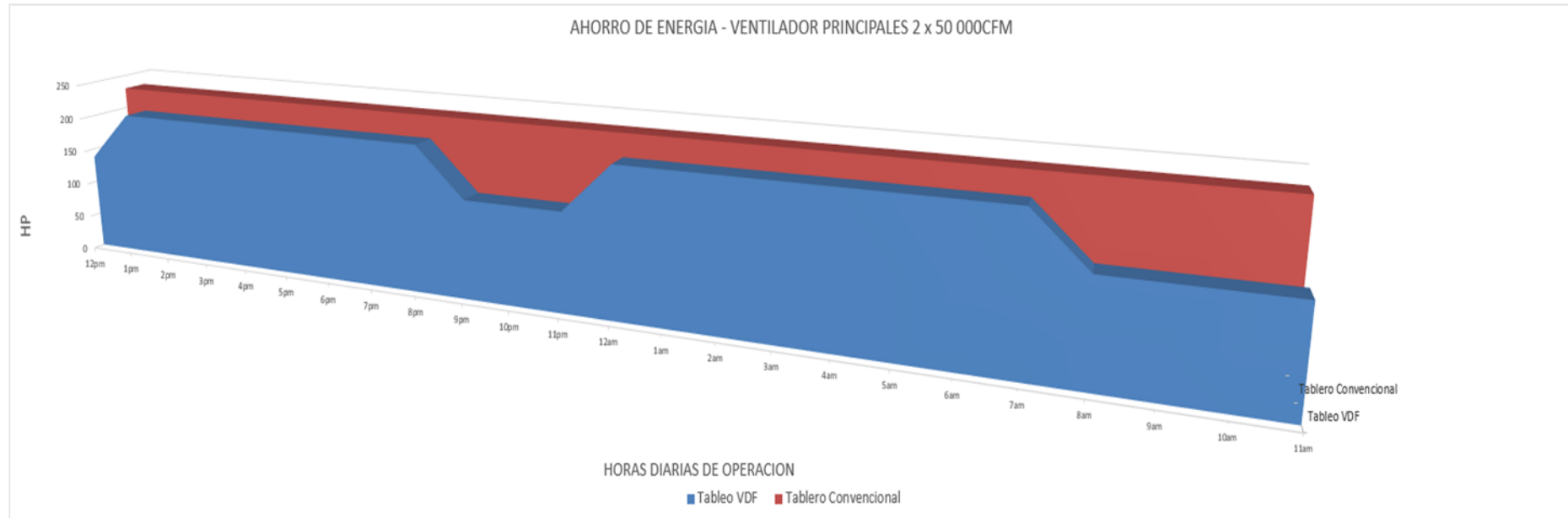


Figura 21. Ahorro de energía – Ventilador principales 2 x 50 000 cfm.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se muestra una gráfica donde se compara el ahorro de energía con tablero convencional (estrella – triangulo) y Variador de Frecuencia (VDF), en ventiladores principales de 2 x 50 000 cfm. Se tuvo ahorro en costo de energía de US\$ 16,795.4/año

3.4. Determinar la posición de las CHRCs con el modelamiento en software VENTSIM.

3.4.1. Modelar en software VENTSIM

Se observa en resumen el cuadro siguiente:

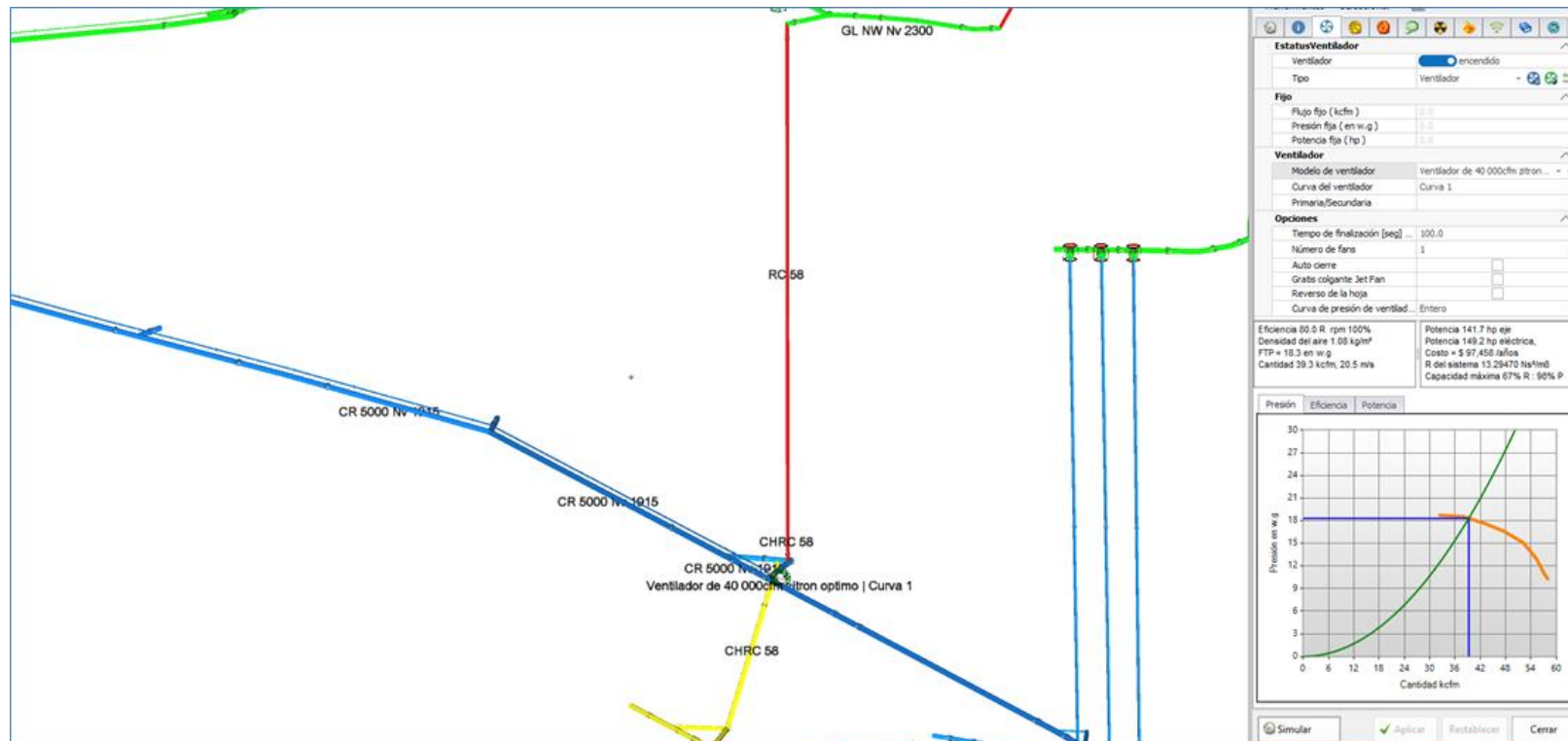


Figura 22. Simulación en software VENTSIM de ventilador óptimo y ducto de ventilación en CR 5000 de Nv 1915.

Fuente: Elaboración propia

Se observa en resumen el cuadro siguiente:

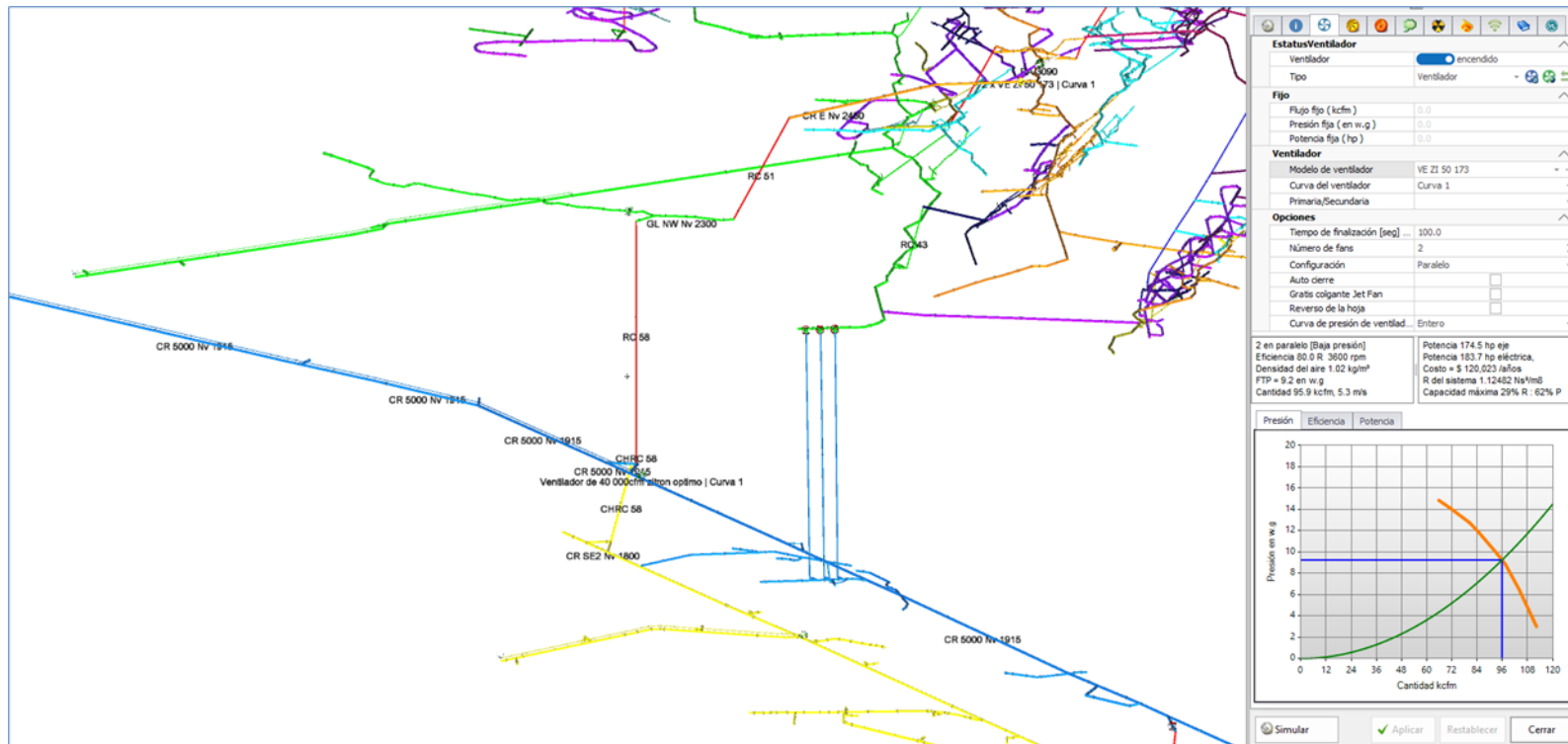


Figura 23. Simulación en software VENTSIM de ventiladores principales que extraen el aire viciado de CR 5000 de Nv 1915 por CHRC.

Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinar las pérdidas de carga en la geometría de la sección de la cámara principal de los ventiladores con el modelamiento en software ANSYS FLUENT.

3.5.1. Determinación de dimensiones de cámara subterránea de ventiladores principales en CR E Nv 2450

Para las evaluaciones del comportamiento del flujo de aire en el ingreso de la cámara de ventilación, se tomaron las siguientes consideraciones en el software ANSYS 18.2.

- Flujo incompresible.
- Flujo no viscoso.
- Densidad constante.
- Condiciones de borde.
- Flujo transitorio y estacionario.

Con estas consideraciones se evaluó las líneas de corriente y ver el comportamiento de las partículas. Si se mueven en trayectorias muy irregulares de esta manera causando colisiones entre ellas y conllevando a la pérdida de energía en todo el flujo o volumen de control. Se evaluó en 2 etapas el comportamiento de flujo de aire en la cámara de ventiladores principales.

1) Ingreso de flujo de aire hacia ventiladores principales:

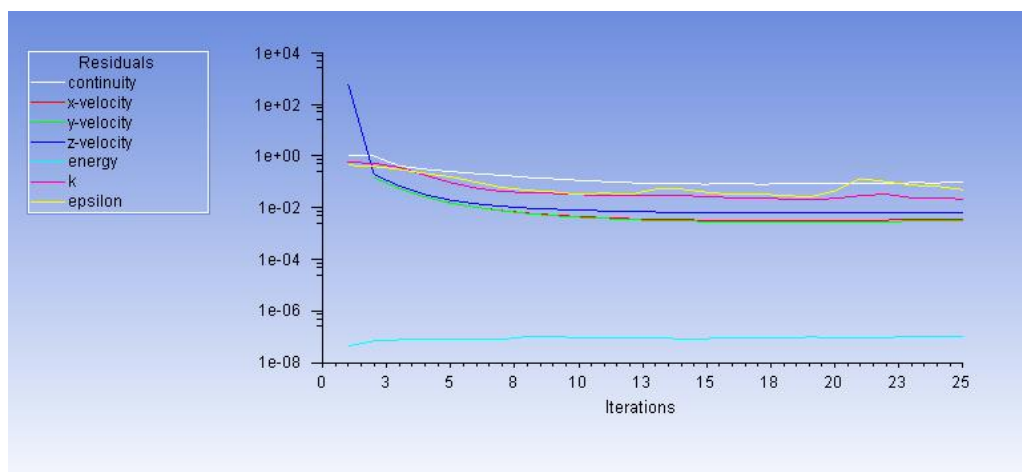


Figura 24. Cuadro de iteraciones de software ANSYS.

Fuente: Elaboración propia

Simulación ingreso de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales. Se observó la convergencia de los parámetros analizados.

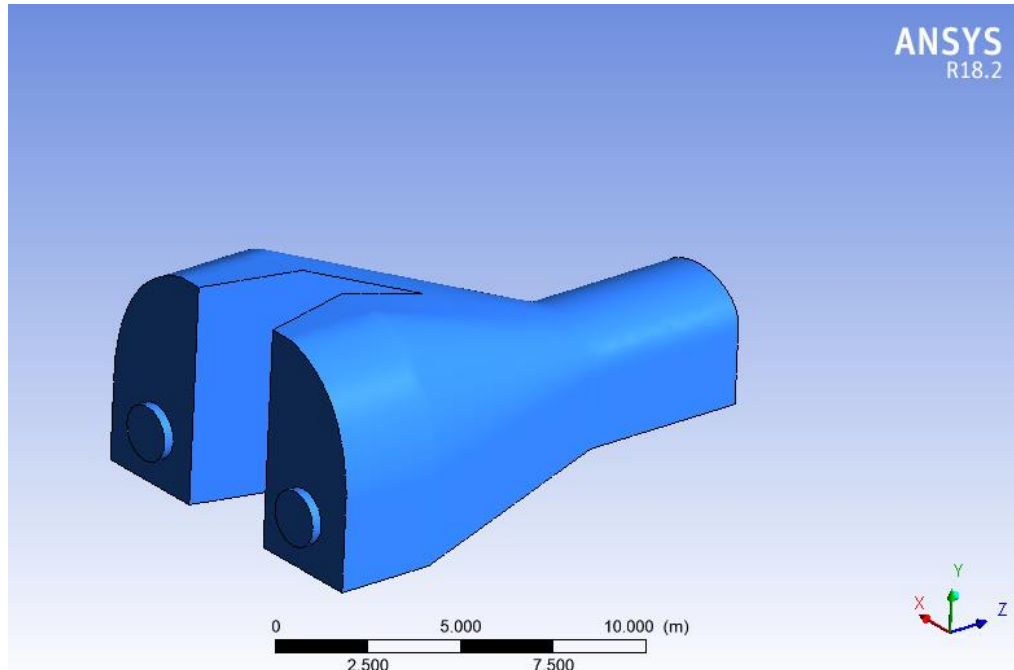


Figura 25. Volumen de control tomado para análisis del comportamiento del flujo de aire.

Fuente: Elaboración propia

Se vista isométrica de geometría de labor minera en ingreso de aire hacia cámara de ventiladores principales

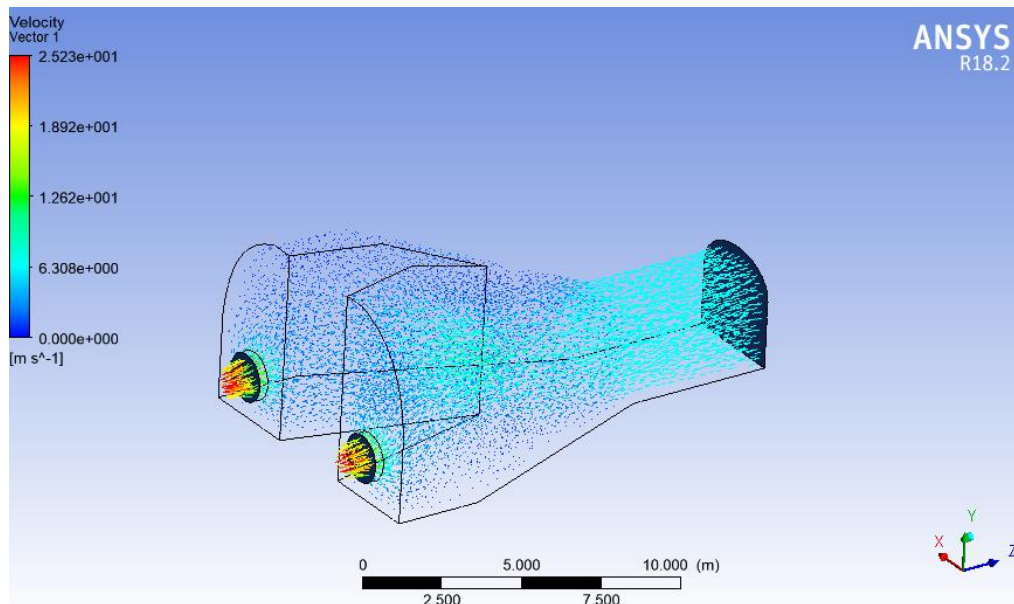


Figura 26. Vista isométrica de comportamiento de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso en cámara de ventiladores principales.

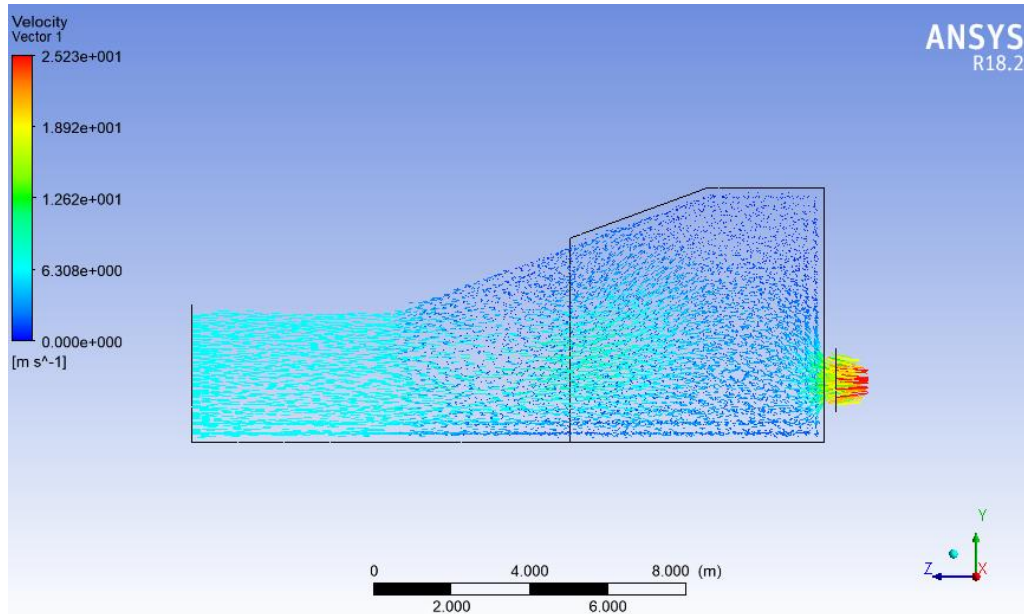


Figura 27. Vista longitudinal de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso de cámara de ventiladores principales.

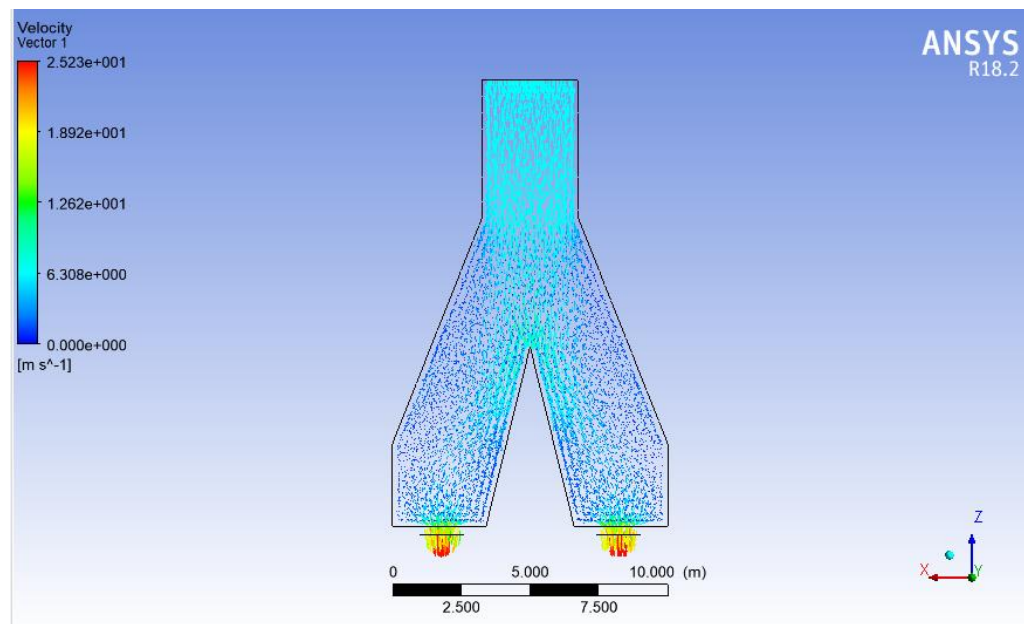


Figura 28. Vista planta de velocidad de aire desde labor minera hacia ingreso de cámara de ventiladores principales.

Fuente: Elaboración propia

1) Salida de flujo de aire de cámara de ventiladores principales hacia labor minera:

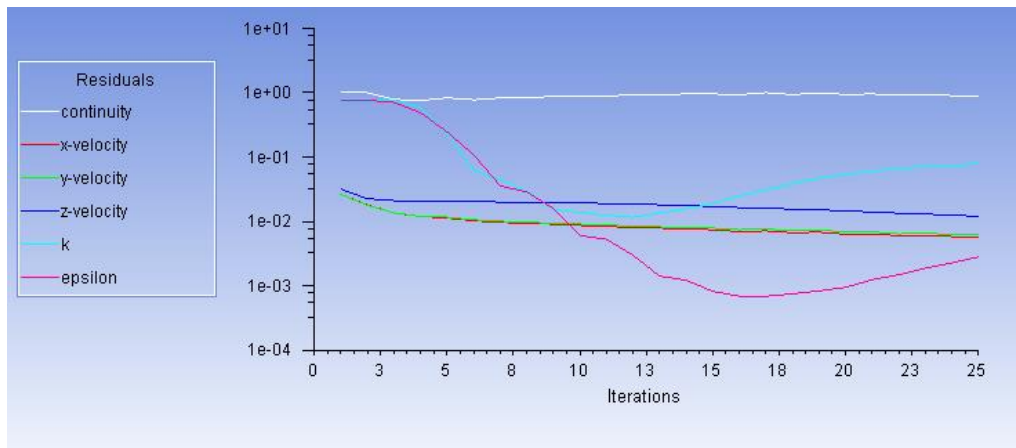


Figura 29. Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación salida de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales. Se observa la convergencia de los parámetros analizados.

Fuente: Elaboración propia

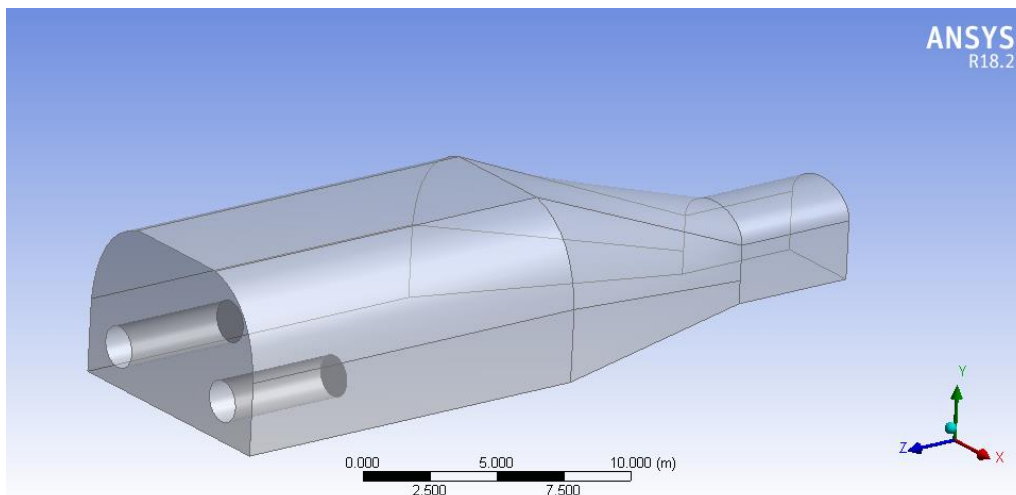


Figura 30. Vista isométrica de geometría de labor minera en salida de aire de cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

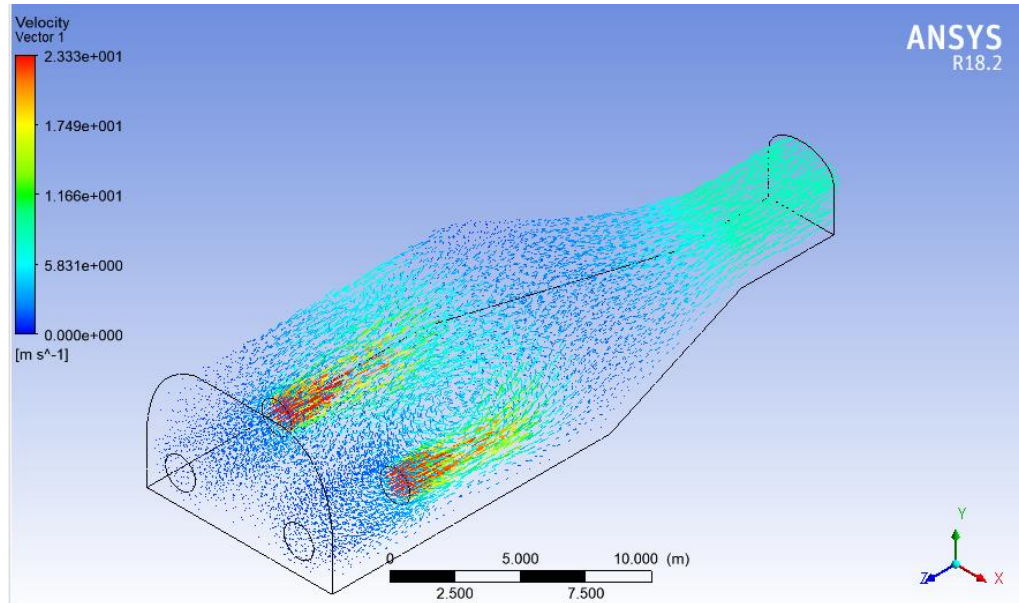


Figura 31. Vista isométrica del comportamiento del flujo de aire desde salida en cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

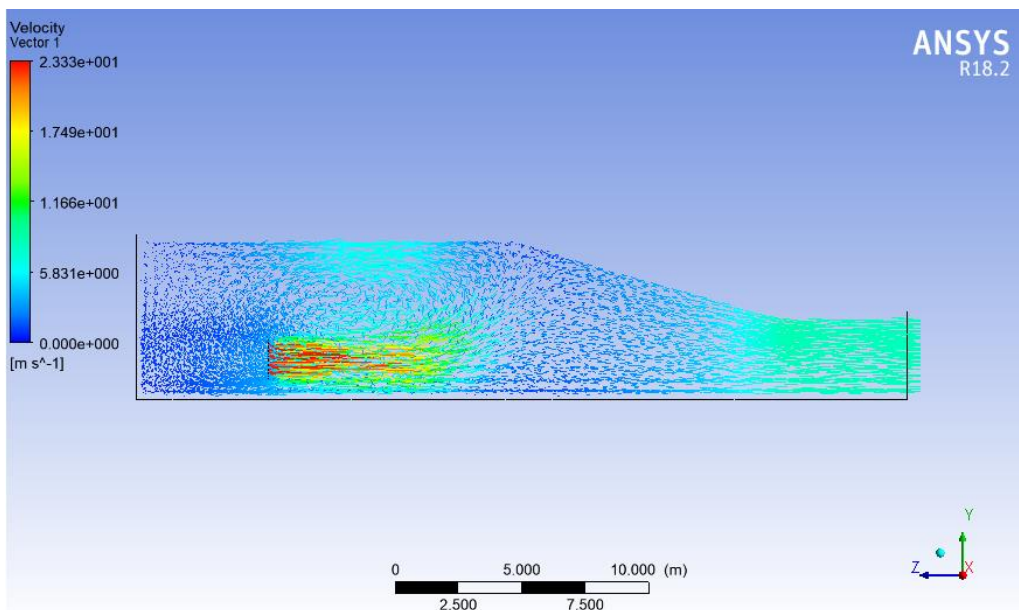


Figura 32. Vista sección longitudinal de labor minera, el movimiento de flujo de aire salida de aire desde cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

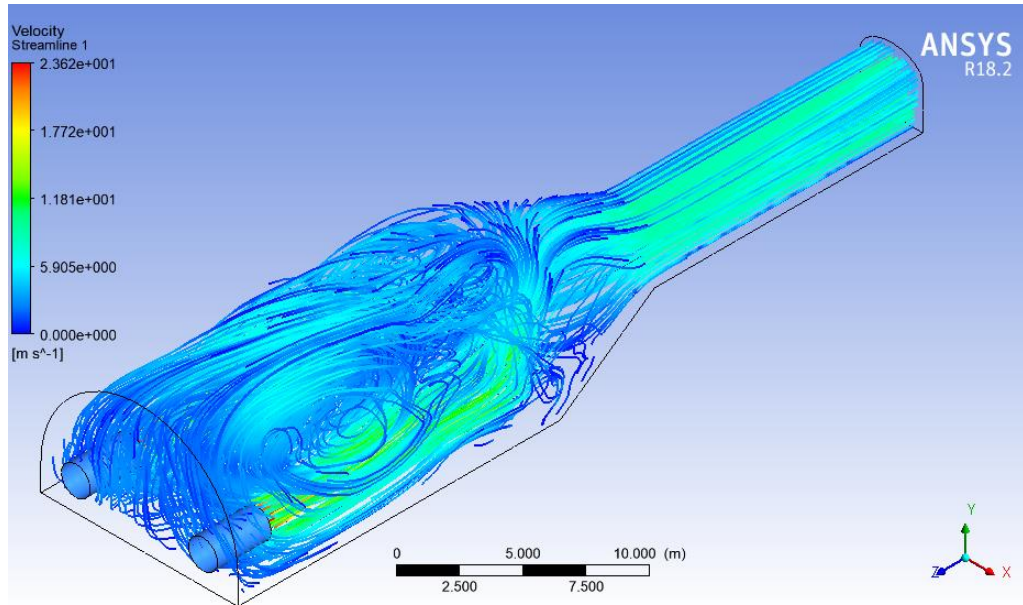


Figura 33. Vista isométrica con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

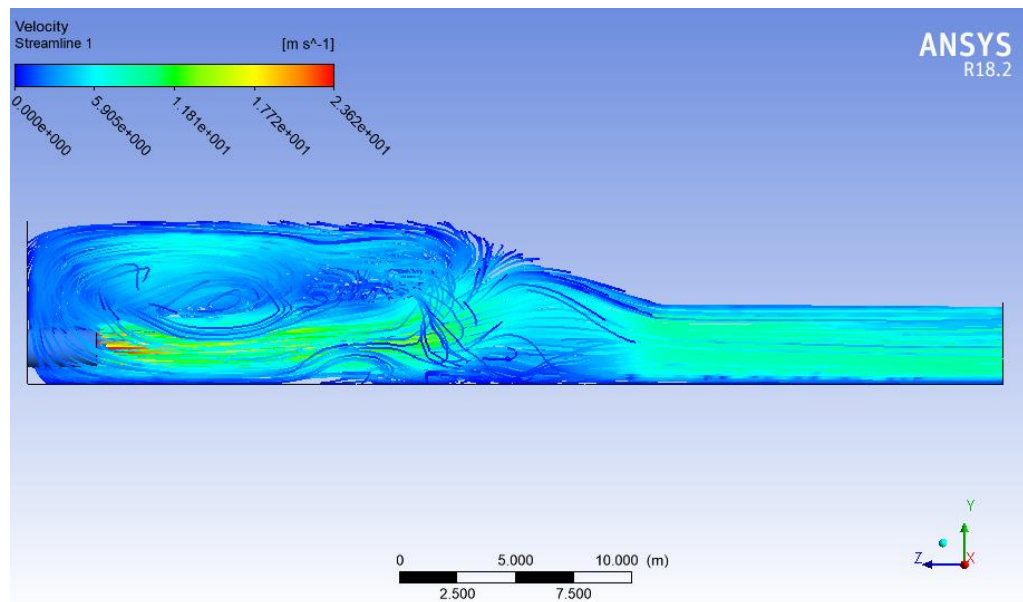


Figura 34. Vista sección longitudinal con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

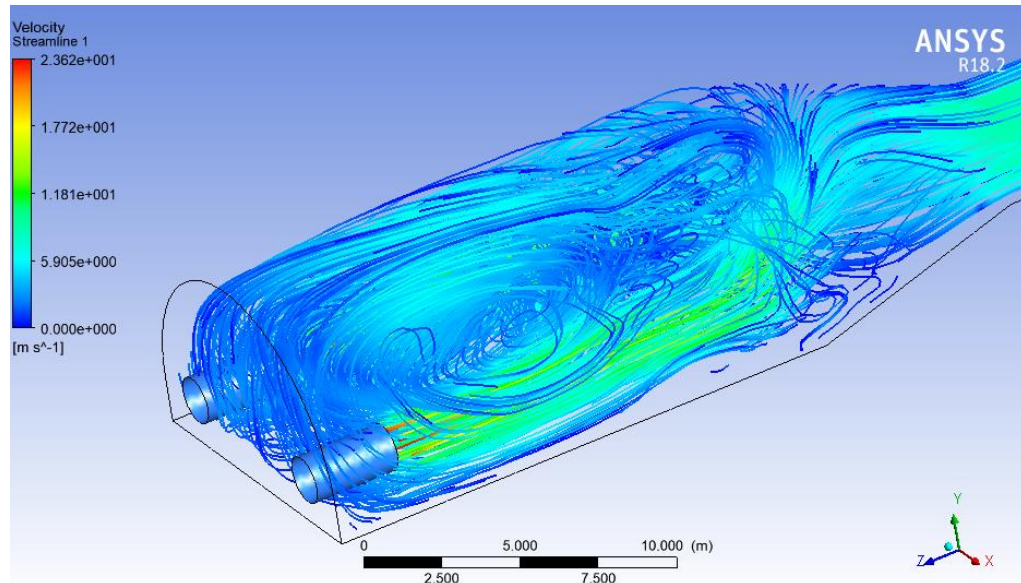


Figura 35. Vista isométrica del comportamiento del flujo de aire con respecto a la formación de vórtices por las líneas de corriente en la parte intermedia de la cámara de ventiladores principales.

Fuente: Elaboración propia

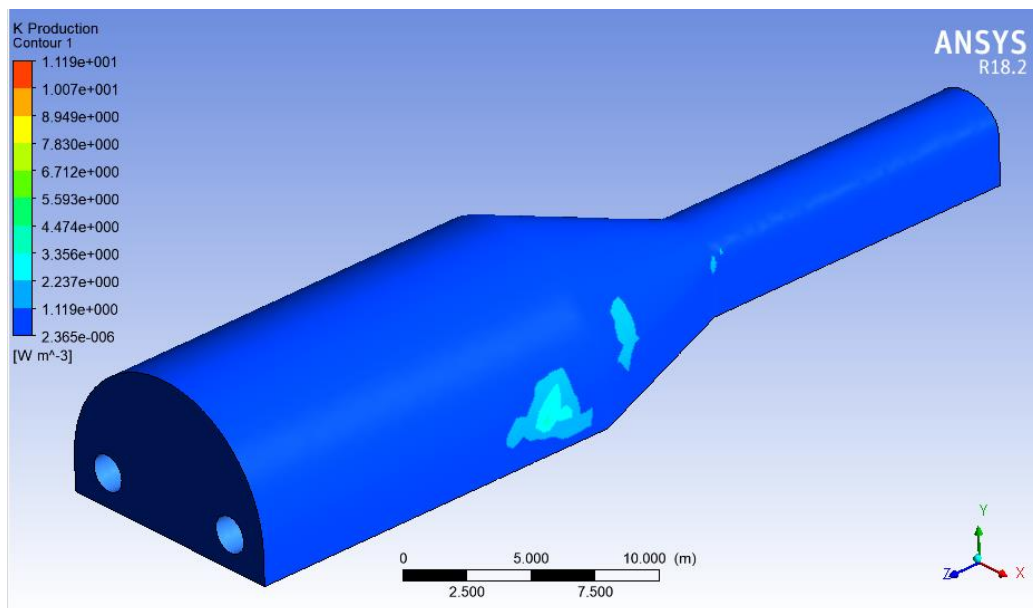


Figura 36. Vista isométrica del factor de fricción de la cámara de ventiladores principales.

Fuente: Elaboración propia

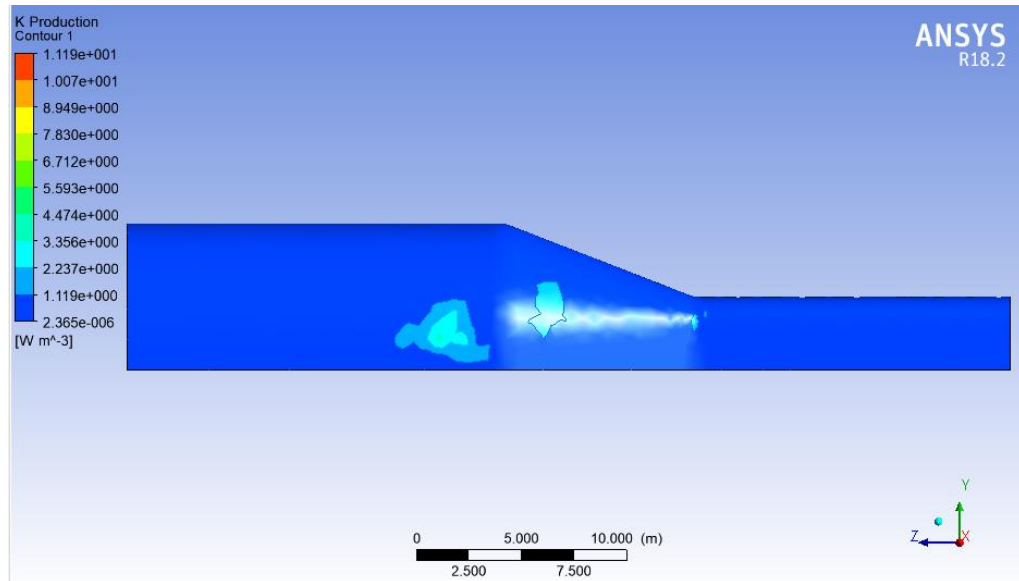


Figura 37. Vista longitudinal del factor de fricción de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

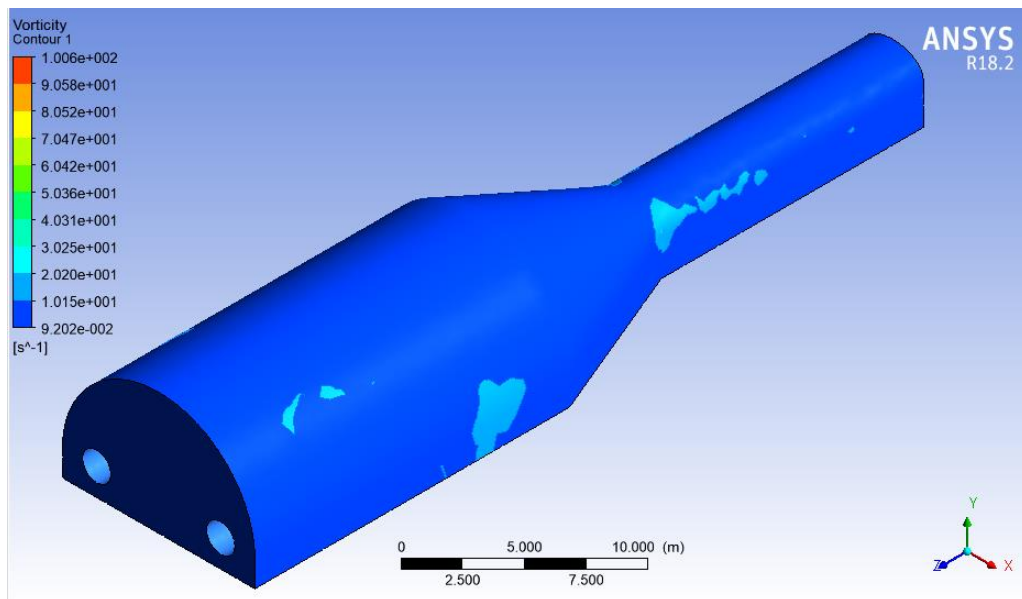


Figura 38. Vista isométrica de la vorticidad de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

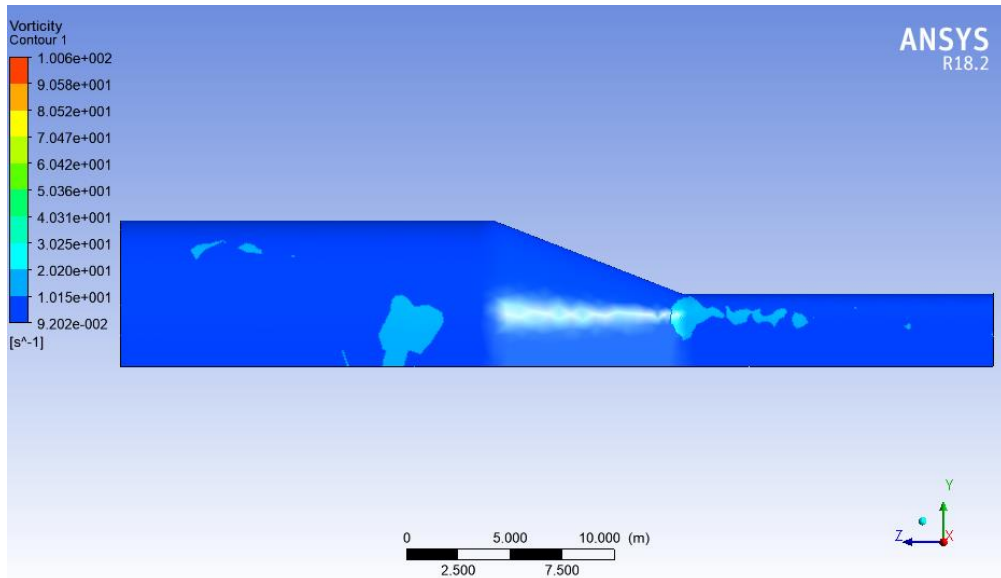


Figura 39. Vista longitudinal de la vorticidad de la cámara de ventiladores principales hacia labor minera.

Fuente: Elaboración propia

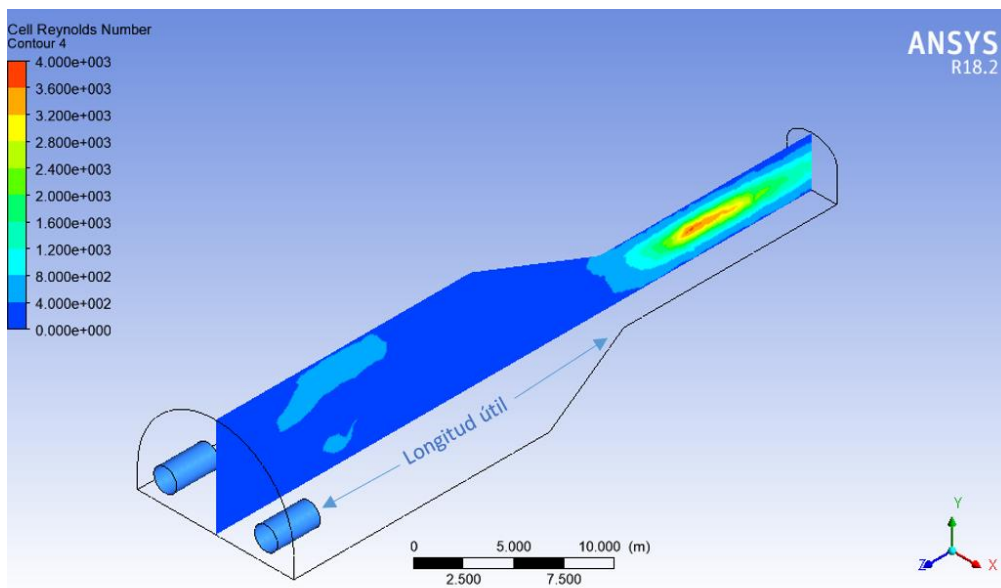


Figura 40. Vista isométrica de la cámara de ventiladores principales, observando la Longitud útil a la salida de los ventiladores hasta el final de la zona excavada. Señalando el número de Reynolds en la cámara de ventiladores principales.

Fuente: Elaboración propia

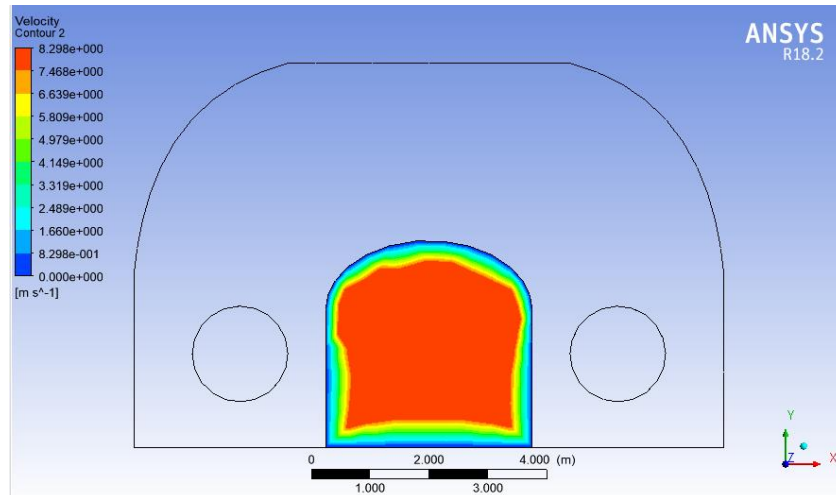


Figura 41. Se observa vista corte sección de cámara de ventiladores principales, el comportamiento de flujo de aire por labor minera.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Longitud de cámara de ventiladores y su factor de fricción

Longitud sección 7x11m	Factor de fricción
6	0.084
8	0.0802
10	0.0543
12	0.0458
14	0.0318

Fuente: Elaboración propia

Cuadro comparativo de Longitudes de desarrollo útiles de ventiladores Vs. factores de fricción

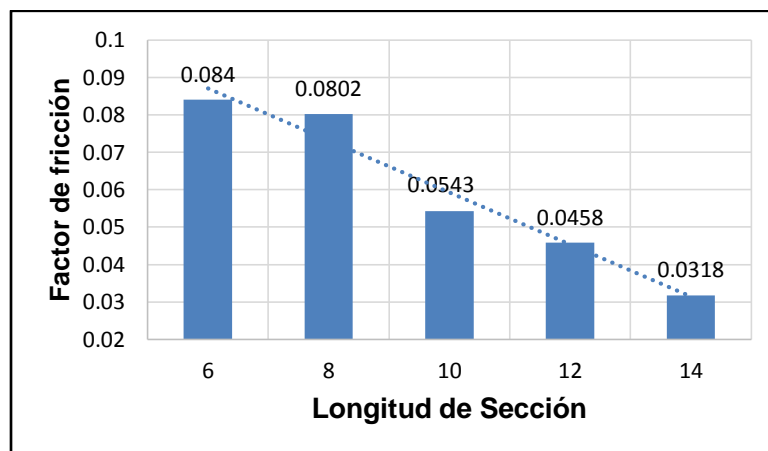


Figura 42. Longitud de sección vs Factores de Fricción

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Determinación de la geometría de la sección al ingreso a CHRC 58

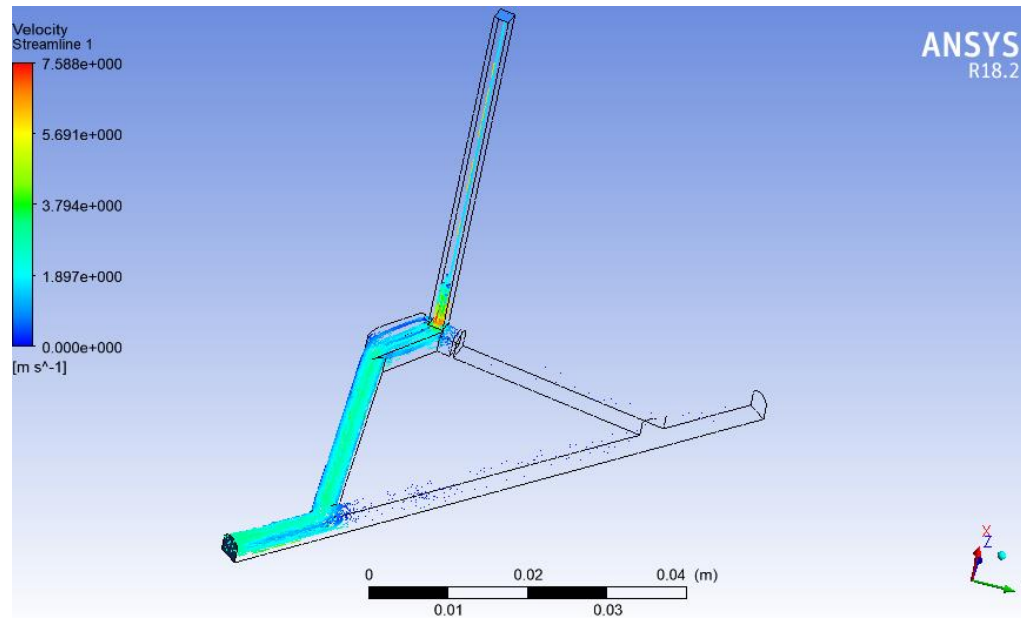


Figura 43. Vista isométrica de intercesión de ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915

Fuente: Elaboración propia

Vista isométrica de desquinche de intercesión de ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915 y construcción de tabique para direccionamiento de flujo de aire

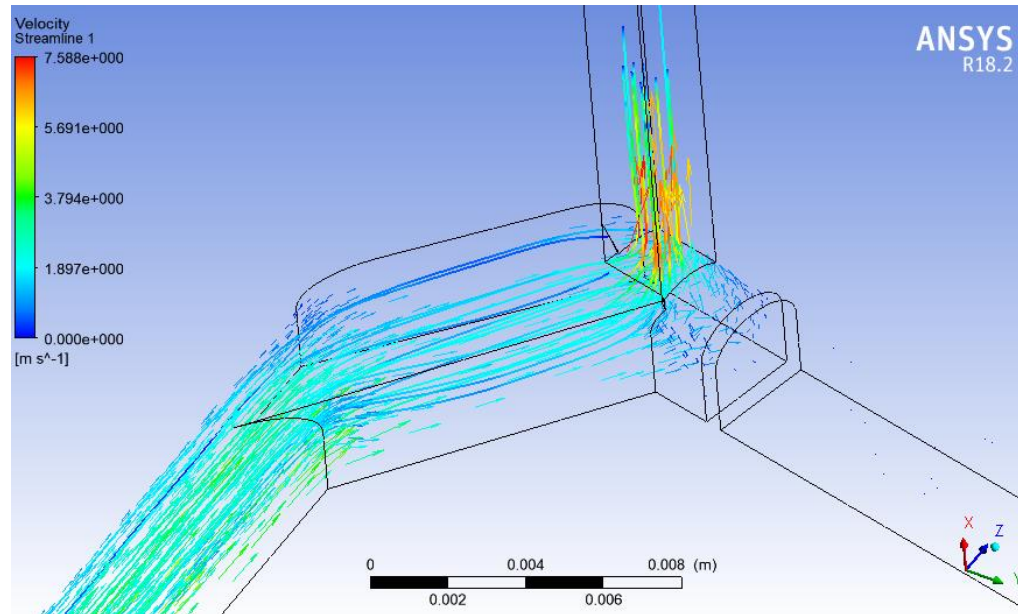


Figura 44. Líneas de corriente en ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915.

Fuente: Elaboración propia

Se observó el comportamiento del flujo de aire (líneas de corriente), con desquince entre la ESCM 3195 y ESCM RC 58 de Nv 1915 y construcción de tabique para direccionar el flujo de aire hacia la CHRC 58 de Nv 1915, subiendo al nivel superior 2300.

3.6. Comparar los indicadores de las operaciones en la integración de las unidades de producción como el EBITDA, Onzas Au y consumos de energía anuales, antes y después de la optimización.

Tabla 19

Cuadro comparativo de informe anual de sostenibilidad de empresa minera de La libertad del año 2014 – 2019.

COMPARATIVO INFORMACION ANUAL DE SOSTENIBILIDAD DE EMPRESA MINERA DE LA LIBERTAD 2014 - 2019							
AREA	DATOS	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Finanzas	EBITDA (USD)	69,053,592	83,279,935	118,782,164	138,608,686	160,274,134	203,635,645
Ventas y Costos	Ventas Au (Onzas)	157,381	189,521	221,773	250,710	279,543	312,413
	Precio Promedio de venta de oro (USD/Onzas)	1,263	1,151.40	1,249.60	1,261.30	1,267.70	1,404.50
Mantenimiento	Total, Energía MW / Hr	54,304	58,237	64,106	68,600	73,666	85,069
	Kw - Hr / TMB (Tonelada Métrica Bruta)	76.89	75.6	78.8	67.54	58.53	62.67

Fuente: Elaboración propia

Se observó el incremento progresivo del EBITDA de empresa minera de La libertad, desde el año 2014 – 2019.

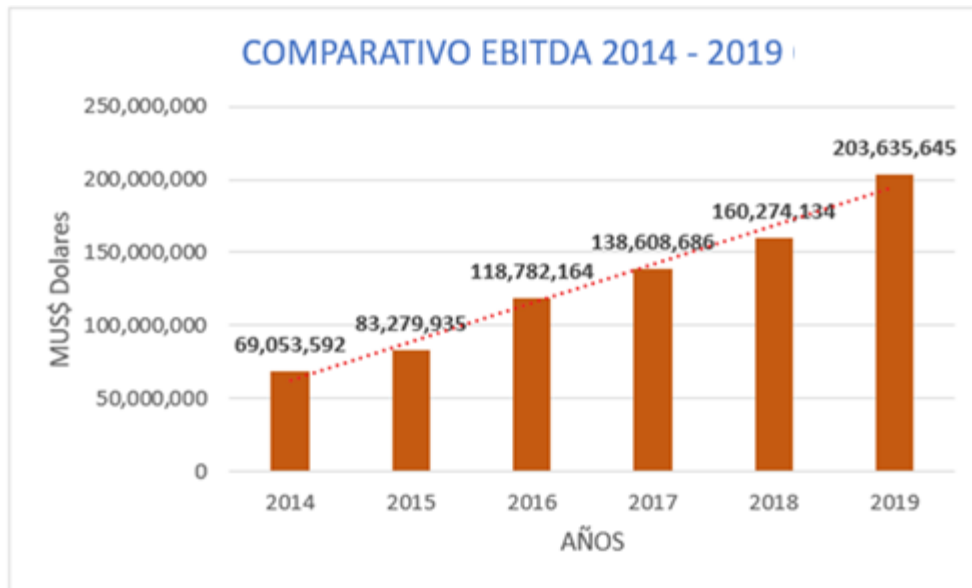


Figura 45. Cuadro comparativo de EBITDA de Empresa Minera de La Libertad 2014 - 2019.

Fuente: Elaboración propia

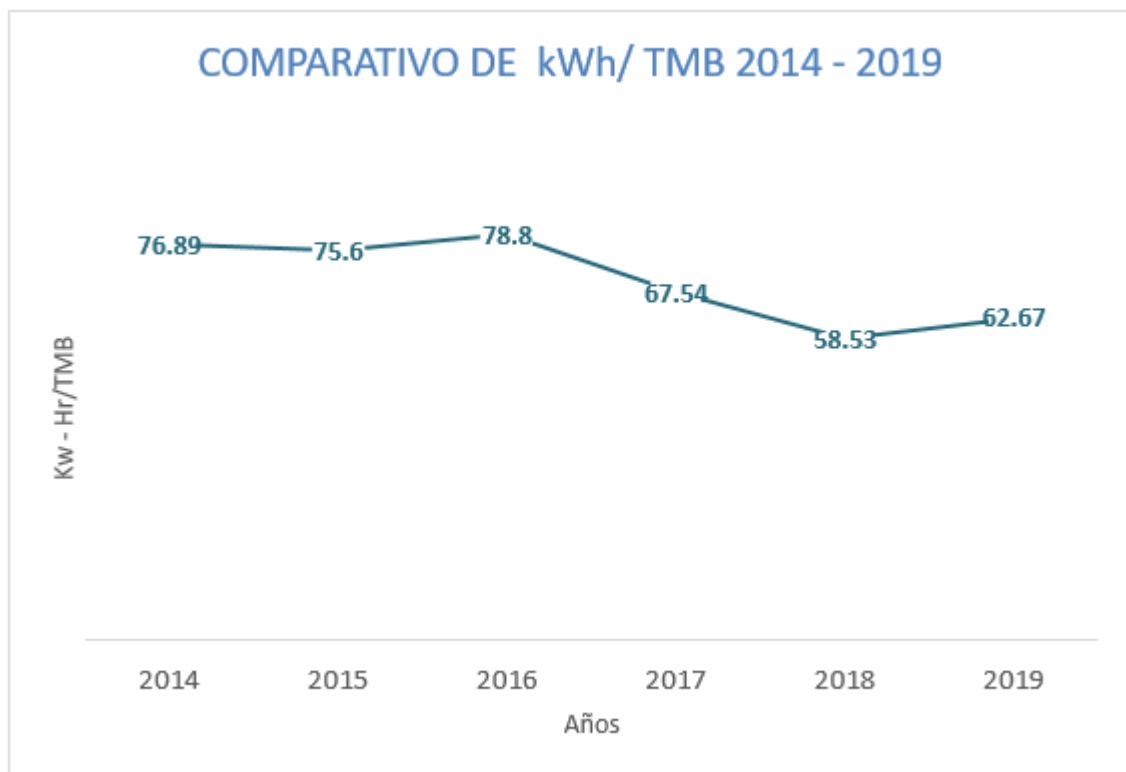


Figura 46. Cuadro comparativo kWh/TMB de Empresa Minera de La Libertad del 2014 - 2019.

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

De acuerdo con el primer objetivo se determinaron los parámetros para el diseño del sistema de ventilación integral con los monitoreos de Oxígeno: 20.9% y CO: 6ppm, estos gases son generados en cada voladura. Concuerda con lo señalado por Myrvang, T. and Khawaja, H. (2018), El Sistema de ventilación fue el responsable de la eliminación de gases de CO, en su estudio los gases son generados por vehículos en los túneles. Esta problemática se tuvo que modelar con CFD con ANSYS FLUENT R18.0.

De acuerdo con el segundo objetivo se seleccionaron el ventilador y el diámetro del ducto de ventilación óptimo con simulaciones en ventiladores y ductos, con motores de alta eficiencia IE3, optimizando el diámetro del ducto a 42” y 100m de longitud; Concuerda con Hurtado, J.P.; Acuña, E.I. (2015), que recomienda llevar a cabo un estudio adicional de dinámica de fluidos computacional (CFD) para validar el punto de funcionamiento del ventilador.

Se determinó el ahorro en el consumo de energía de los ventiladores, debido al alto costo de energía se evaluaron los tableros de arranque, con VDF y Estrella-Triangulo, reduciéndose a US\$ 21,561.6 dólares en ventiladores de 40 000 cfm en ventilación auxiliar y US\$ 16,795.4 dólares en ventiladores de 50 000 cfm en ventilación principal; coincide con Quevedo Ch. C (2013), en su estudio determino que fue más económico el uso de tablero variador de frecuencia (VDF), que un tablero estrella – triangulo, por su menor consumo de energía.

Se determinó la posición de las CHRCs con el modelamiento en software VENTSIM del sistema de ventilación principal, el costo de ejecución CHRC 58 fue US\$ 825,000 dólares; concuerda con Feng Wei; Zhu Fangping; Lv Huiqing (2011). el sistema de

ventilación es complejo, para resolver este problema, se utilizó el software de simulación tridimensional VENTSIM

Se determinó las pérdidas de carga en la geometría de sección de la cámara principal de los ventiladores con el modelamiento en software ANSYS FLUENT R18.2 a la infraestructura (labores mineras), obteniendo más información del sistema. Concuerta con Brodny, J., & Tutak, M. (2021), los estudios en CFD permitieron el análisis de fenómenos complejos (vorticidad) y peligrosos (por reacciones químicas), que son difíciles o incluso imposibles de investigar con el uso de otros métodos.

Se realizó la comparación de los indicadores de las operaciones en la integración de las unidades de producción como el EBITDA, Onzas Au y consumos de energía anuales, antes y después de la optimización, según los informes de sostenibilidad anual de empresa minera de La Libertad desde el año 2014 al 2019, los indicadores EBITDA, Onzas Au y consumo de energía, mejoraron anualmente. Concuerta con Santos (2000) sugiere que la variación porcentual del EBITDA entre un año y otro, mostro a los inversionistas una tendencia, si una empresa está mejorando su eficiencia o mejorando su productividad.

Se optimizó el sistema de ventilación para una velocidad de aire de 32.91 m/min y una temperatura de 25.1° C. Concuerta con Malcom J. McPherson (1993), en su estudio planteo el diagrama: Rendimiento del trabajador (%) Vs. Temperatura efectiva (° C); El estándar para el rendimiento del trabajador al 100%, requiere de una temperatura efectiva de 22° C, reduciéndose muy rápidamente cuando excede los 30° C

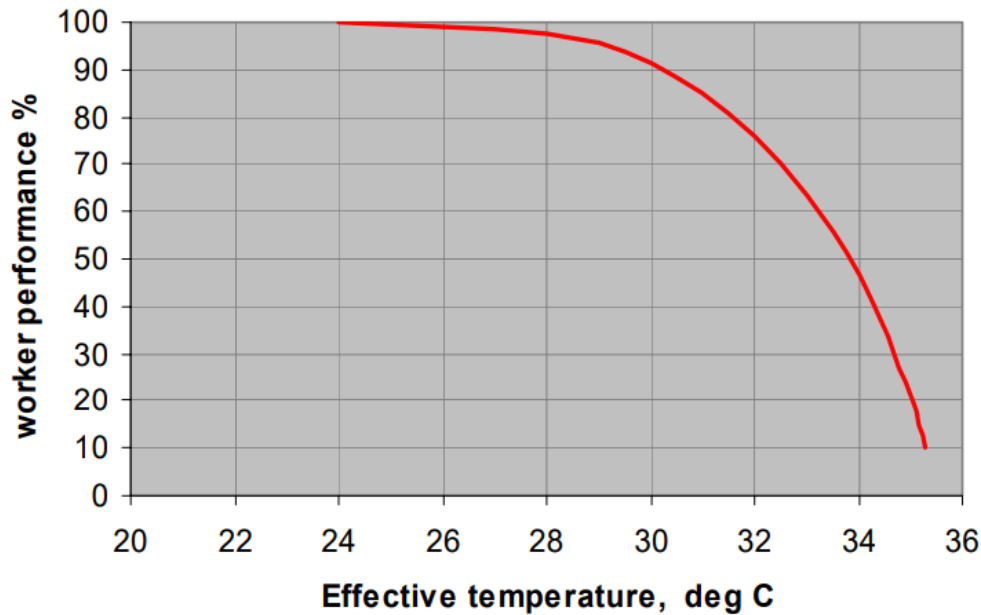


Figura 48. Influencia de la temperatura efectiva en el desempeño del trabajador y el rendimiento se expresa como un porcentaje

Fuente: Malcolm J. McPherson, (1993)

Limitaciones

- La coyuntura actual (Pandemia por el Covid 19) hicieron que se retrasarán la llegada a la Unidad Minera algunos equipos y materiales para la ejecución de estos trabajos.
- Falta de personal debido al Covid 19, hicieron que se retrasarán algunas actividades, reprogramando los Gantt de trabajos.
- Falta de habilidades duras, con respecto al uso de la simulación numérica de fluidos y transferencias de calor, requirió capacitación en software ANSYS FLUENT R18.2

Conclusiones

Los diseños y simulaciones optimizaron las diferentes operaciones con un circuito de ventilación eficiente. La ventilación de minas es un campo ideal para la aplicación de CFD, debido a las condiciones del macizo rocoso (estabilidad), requiere de labores (rentables – seguras), logrando menor consumo de energía, mejor control de operación del ventilador. Se recomienda estandarizar los diseños de labores mineras e implementar procedimientos en operación y adquisición de ventiladores y ductos; Con relación al impacto ambiental las

nuevas tecnologías de motores eléctricos de tipo IE3 (0.6 Kg CO₂/kWh), contribuyeron a la mejora del medio ambiente.

La determinación de los parámetros del sistema de ventilación con la instrumentación fue útil para la realización de las pruebas según las necesidades presentes en la mina. Se recomienda mantener los monitoreos con una frecuencia de 15 días.

Como resultado de las simulaciones se determinó el ventilador y el diámetro del ducto del sistema de ventilación, se concluye que es importante el modelamiento con el uso de software especializado. Este estudio recomendó el uso de nuevas tecnologías con motores IE3.

Se determinó que el uso de tableros con arranque de motor con variador de frecuencia, tienen menor consumo de energía con relación al arranque de motor con estrella triángulo. Se está implementando en la empresa minería de la libertad 4.0 considerando la conectividad, la digitalización y el predictivo inteligente, próximamente estos variadores estarán conectados en una red inteligente para el control maestro (scada), buscando la ventilación a demanda (VOD).

Se determinó la posición de la CHRC 58 ya que su área de influencia involucra a una labor minera en el nivel superior. Fue determinante la simulación con software VENTSIM, del circuito de ventilación principal para la posición óptima del CHRC 58. Considerando las recomendaciones de las áreas Mina, Geología, P&I, Seguridad y Mantenimiento se proyectó en software VENTSIM, encontrando la posición óptima.

Se determinaron las pérdidas de carga calculadas a partir de las ecuaciones de Navier – Stokes, empleando las leyes de conservación de masa y conservación de momento en fluidos viscosos. El software ANSYS FLUENT R18.2 en base a la aplicación del CFD, en minería tiene pocos expertos en el Perú. Se está desarrollando una nueva alternativa energética “Aerogenerador VORTEX” (Aprovecha la energía eólica por medio del

fenómeno de aparición de vórtices llamado Vortex Shedding). Se recomienda exponer estas nuevas soluciones y ampliar estas competencias académicas en los futuros profesionales de Ingeniería de Minas.

Se determinó que una de las causas que incrementó el EBITDA anual en una empresa minera de la Libertad, fue el menor consumo de energía en ventilación, como se observó en la reducción del indicador KkWh/TMB. Estos resultados determinaron que la alta dirección contemple en futuros proyectos la implementación de esta metodología en los sistemas de ventilación.

Implicancias

- La optimización de las operaciones en la integración de las unidades de producción depende del monitoreo de los parámetros del sistema de ventilación por lo que se recomienda mantener los monitoreos con una frecuencia de 15 días.
- La reducción del factor de fricción y la resistencia del flujo de aire en mina subterránea depende de la geometría de las secciones en mina por lo que se recomienda su control.
- El uso de tableros de arranque de motor con variador de frecuencia reduce el consumo de energía eléctrica.
- El software ANSYS FLUENT R18.2 en base a la aplicación del CFD, en minería tiene pocos expertos en el Perú. Se recomienda exponer estas nuevas soluciones y ampliar estas competencias académicas en los futuros profesionales de Ingeniería de Minas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuna, E. (2017) “*Chuquicamata Underground Mine Project: 2017 construction ventilation design and commissioning sequence*” - 5to International Seminar on Mine Planning – GEOMIN – MINEPLANNING 2017
- Alcalde, Adriano; Lopes Fávero, Luiz Paulo; Takamatsu, Renata Turola (2013). *EBITDAI margin in brazilian companies Variance decomposition and hierarchical effects. Contaduría y Administración, 58(2),197–220.*
Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042\(13\)71215-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042(13)71215-4)
- Aponte Espinoza É. (2014). “Modificación e Implementación del Sistema de ventilación de la Unidad Minera Cobriza – Zona Norte” Tesis de grado – Universidad Nacional de Ingeniería” – Facultas de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.
- Beltrán Monero, A (2011) “*Contribución al estudio de los túneles ferroviarios de gran longitud*” Tesis de Especialidad - Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2021). *Applying computational fluid dynamics in research on ventilation safety during underground hard coal mining: A systematic literature review. Process Safety and Environmental Protection, 151, 373–400.* Silesian University of Technology, Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Poland
Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2021.05.029>
- Caro Perdigón, P (2016) “*El túnel base San Gotardo – Los Pozos de Sedrun*” – Obras Urbanas N° 57.
- Croft, L. R., & Mofrad, M. R. K. (2009). Computational Modeling of Aortic Heart Valves. *Computational Modeling in Biomechanics, 221–252.*
Doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3575-2_7

De Souza, E. (2007). OPTIMIZATION OF COMPLEX MINE VENTILATION SYSTEMS

WITH COMPUTER NETWORK MODELLING. IFAC Proceedings Volumes,
40(11), 323–329.

Doi: <http://dx.doi.org/10.3182/20070821-3-ca-2919.00049>

EDT Los Checos (2017). “Reducción del Tiempo de Ventilación en los frentes de Trabajo
Optimizando el Sistema de Ventilación Auxiliar” SNI - Compañía Minera Poderosa
– Ventilación

Feng Wei; Zhu Fangping; Lv Huiqing (2011). *The Use of 3D Simulation System in Mine
Ventilation Management.* , 26(none), 1370–1379. School of Resource and
Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing
100083, China b. Beijing Ginmine Software Co. LTD, Beijing 100083, China

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2313>

Hurtado, J.P.; Acuña, E.I. (2015). *CFD analysis of 58 Adit main fans parallel installation
for the 2015–2019 underground developments of the new level mine project. Applied
Thermal Engineering*, 90(), 1109–1118.

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.014>

Kurnia, Jundika C.; Sasmito, Agus P.; Mujumdar, Arun S. (2014). *CFD simulation of
methane dispersion and innovative methane management in underground mining
faces. Applied Mathematical Modelling*, 38(14), 3467–3484.

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.11.067>

Lewis D, W (2013) “Túneles profundos el fenómeno de estallidos de roca” Revista de la
PUCP

McPherson, M (1993) “Subsurface Ventilation Engineering” - Virginia Polytechnic Institute
and State University.

- Mojarab, A., & Kamali, R. (2020). Design, optimization and numerical simulation of a MicroFlow sensor in the realistic model of human aorta. Flow Measurement and Instrumentation, Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101791>
- Moser, L (2019). “*Puente entre Francia y Reino Unido*” Tesis de Maestría - Escuela técnica superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos de la UPC Barcelona Tech
- Muhammad M. (2016). “Study of Pressure Losses at Main Mine Fan Installations Using Computational Fluid Dynamics” Thesis of grade – The University of Utah” – Departament of mining Engineering
- Myrvang, T. and Khawaja, H. (2018) “Validation of air ventilation in tunnels, using experiments and computational fluid dynamics”, The International Journal of Multiphysics, 12(3), pp. 295-312. Doi: <http://dx.doi.org/10.21152/1750-9548.12.3.295>
- Portilla S. Renzo/ Velarde M. Ryan (2018). “*Propuesta de mejora del Sistema de Ventilación principal de una mina polimetálica 2015*” Tesis de grado – Pontificia Universidad Católica del Perú – Facultas de Ciencia e Ingeniería
- Quevedo Ch. C (2013). “*Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la central hidroeléctrica Huanza*” Tesis de grado – Universidad Nacional Mayor de San Marcos” – Facultas de Ciencias Físicas – E.A.P. de Ingeniería de Mecánica de Fluidos.
- Raico Tasilla A. (2019). “Evaluación y Optimización del Sistema de ventilación del Túnel de Exploración Chaquicocha Nivel 3750, Minera Yanacocha 2019” Tesis de grado – Universidad Nacional de Cajamarca” – Facultad de Ingeniería
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. D.S. N° 024-2016-EM y modificatoria, Decreto Supremo N° 023 –2017 – MEM

Zhou, Q., Lucchini, T., D’Errico, G., Novella, R., García-Oliver, J. M., & Lu, X. (2021).

CFD analysis of combustion and emission characteristics of primary reference fuels:

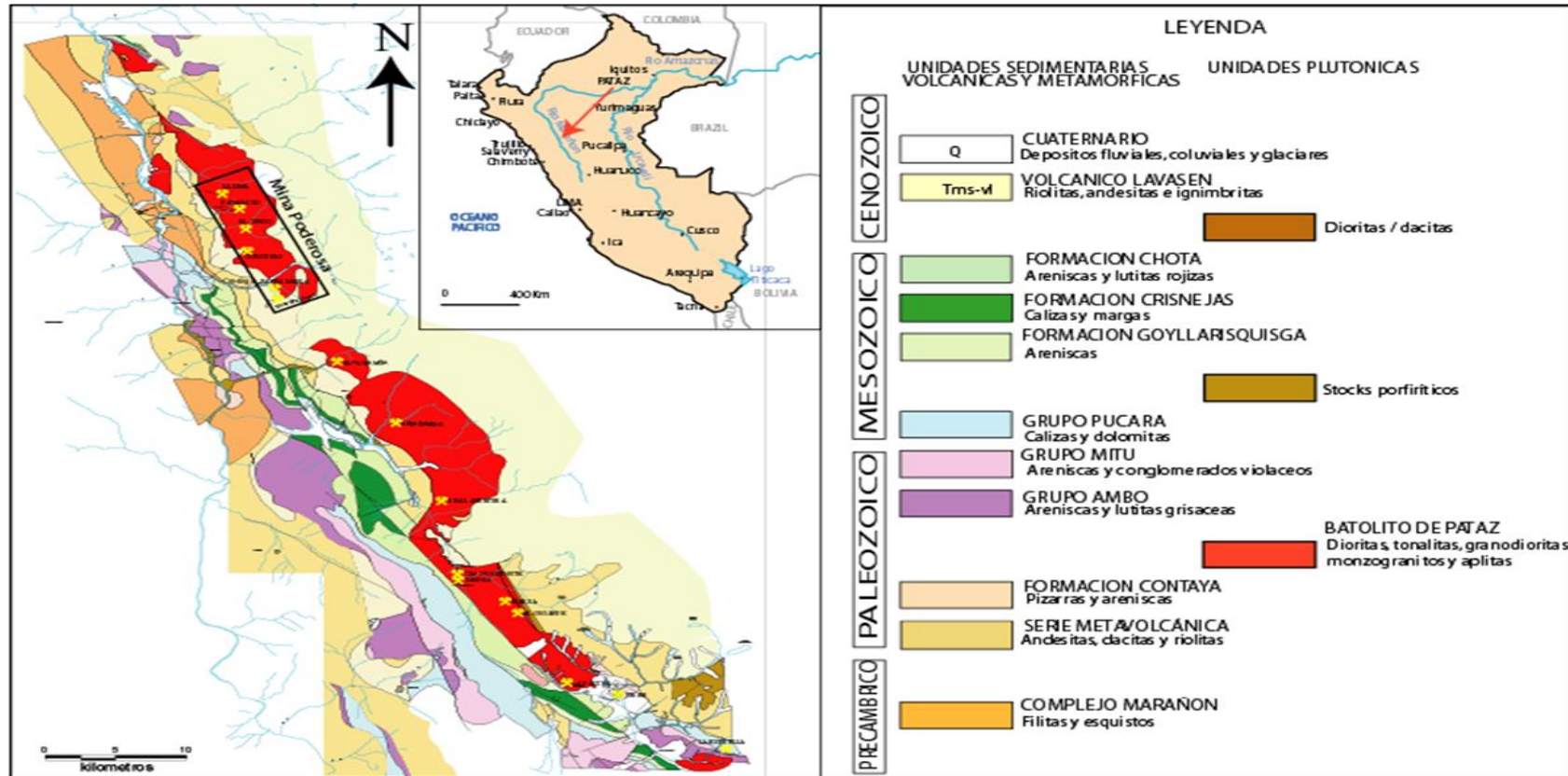
from transient Diesel spray to heavy-duty engine. Fuel, 301, Doi:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120994>

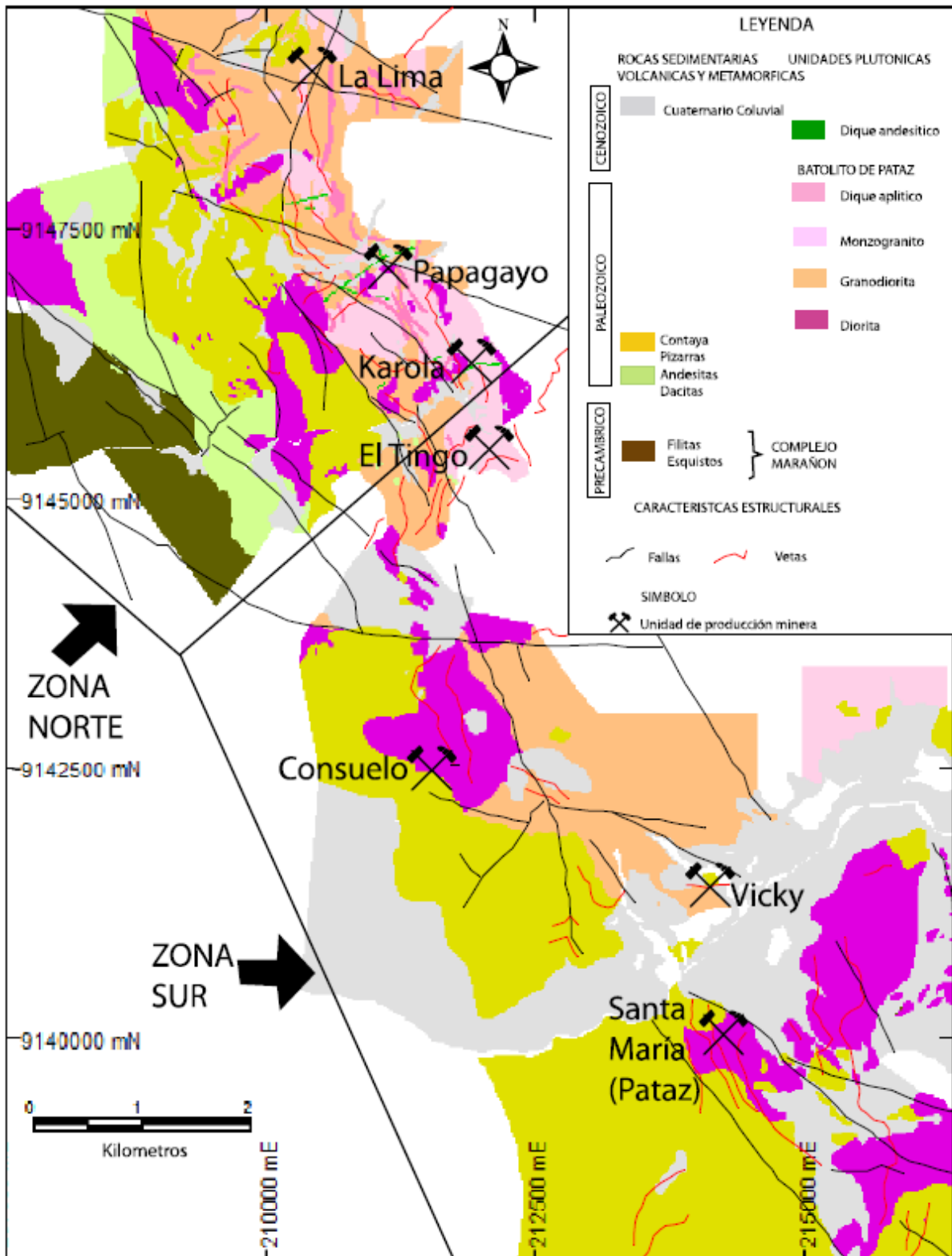
ANEXOS

ANEXO 1

Plano de ubicación y geología regional de la empresa minera, La Libertad.



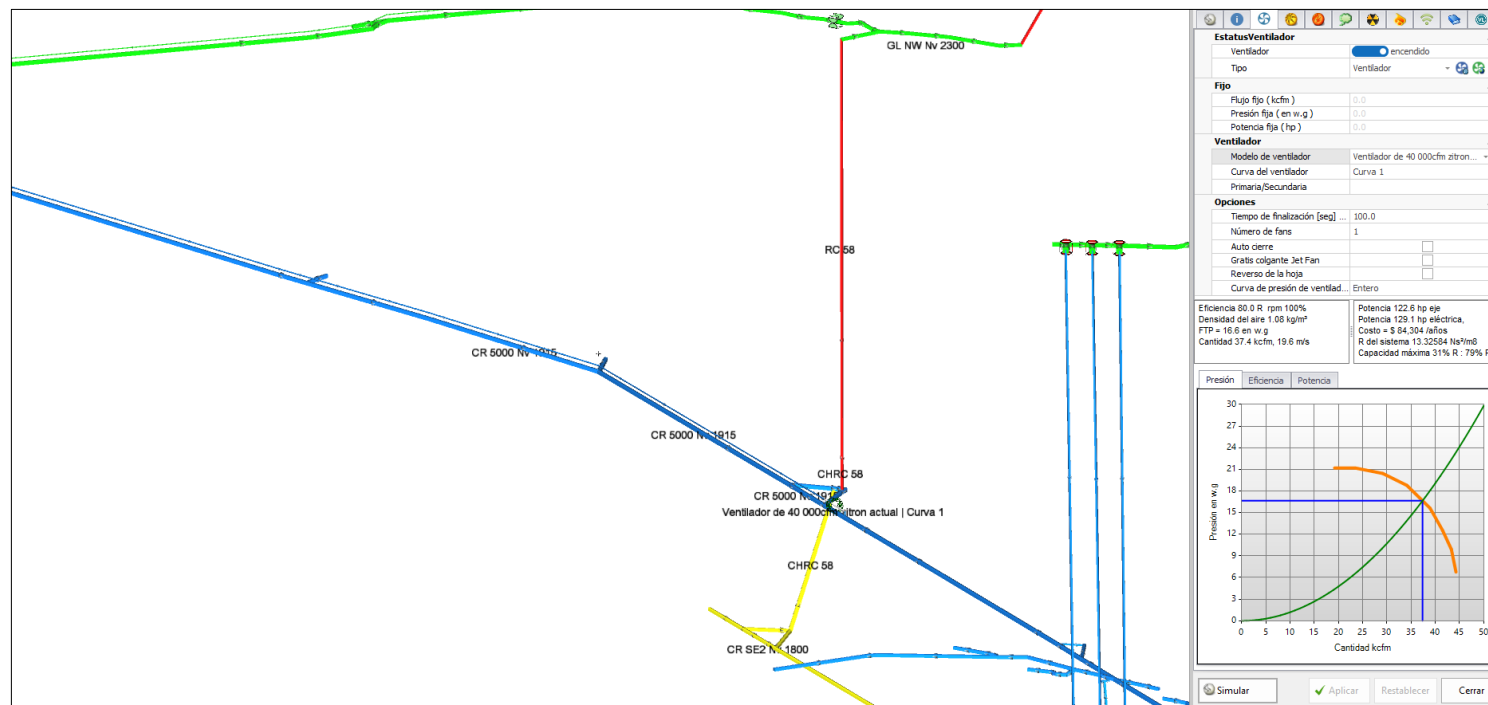
Plano geológico local de la empresa minera, La Libertad.



ANEXO 2

MODELAMIENTO EN SOFTWARE VENTSIM

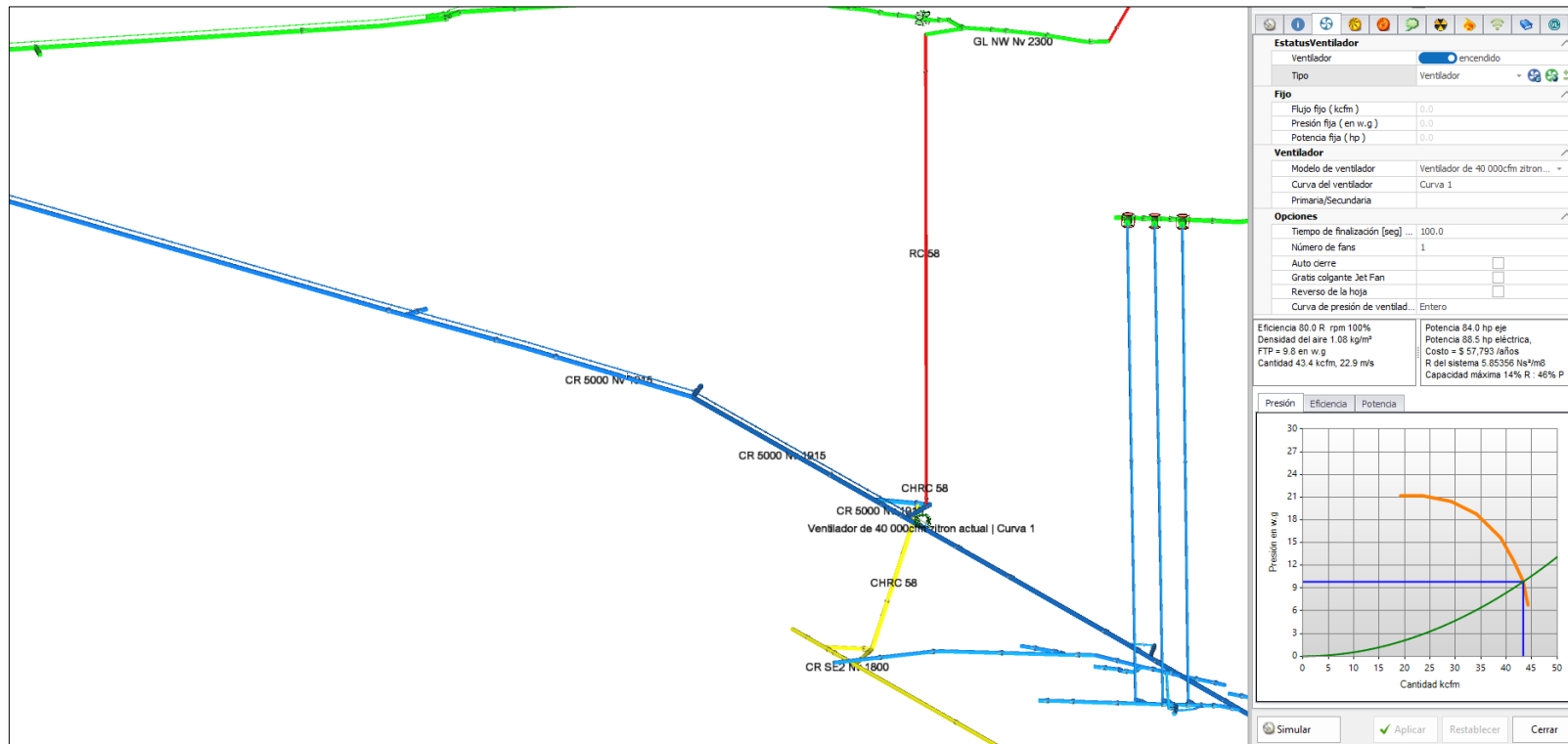
Ventilador actual y ducto de ventilación de 100m en CR 5000 Nv 1915



Simulación en software VENTSIM de ventilador de 40KCFM, presión 10" C.A. y longitud de ducto de ventilación de 100m en CR 5000 de Nv 1915

MODELAMIENTO EN SOFTWARE VENTSIM

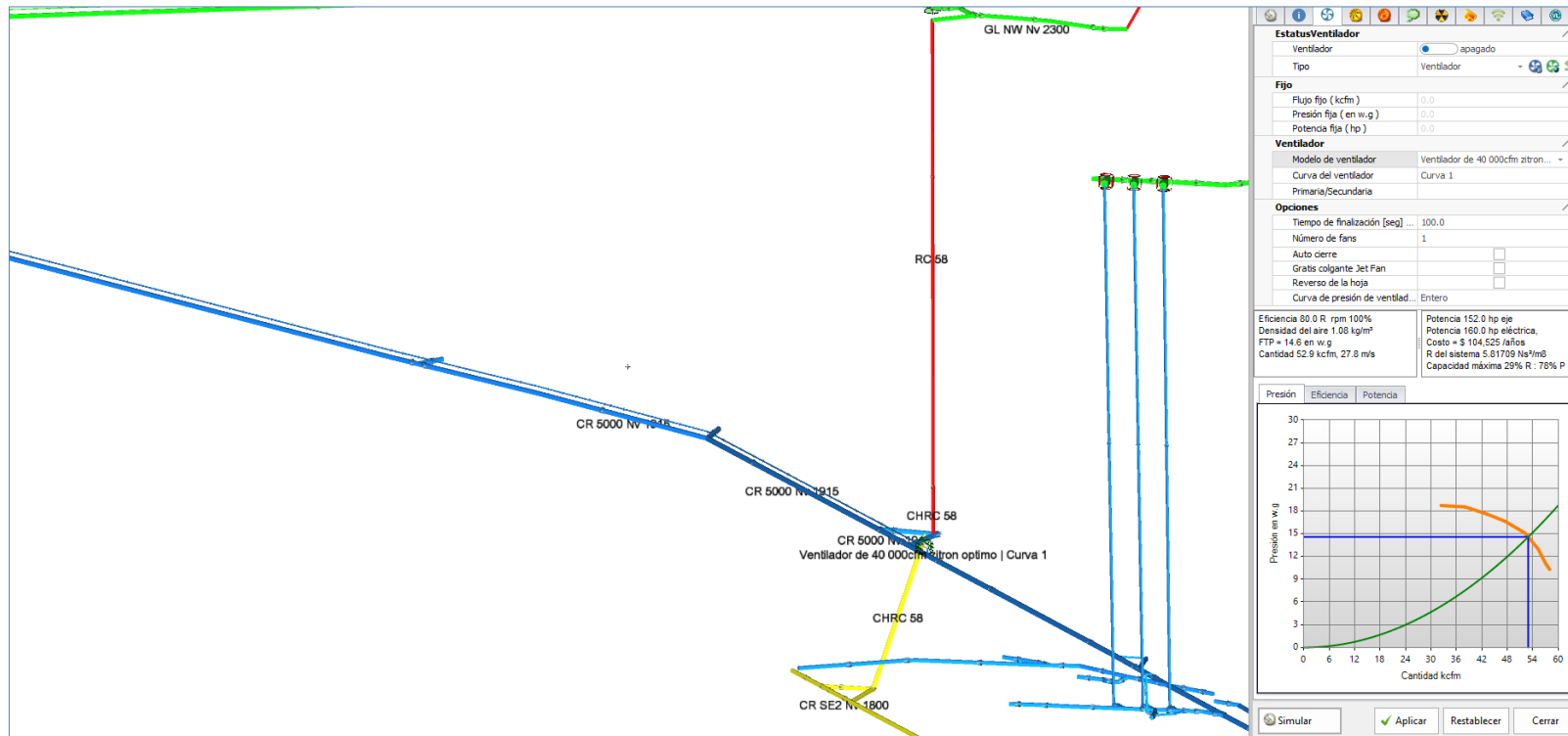
Ventilador actual y ducto de ventilación de 15m en CR 5000 Nv 1915



Simulación en software VENTSIM de ventilador de 40KCFM, presión 10" C.A. y longitud de ducto de ventilación 15m en CR 5000 de Nv 1915

MODELAMIENTO EN SOFTWARE VENTSIM

Ventilador optimo y ducto de ventilación de 15m en CR 5000 Nv 1915



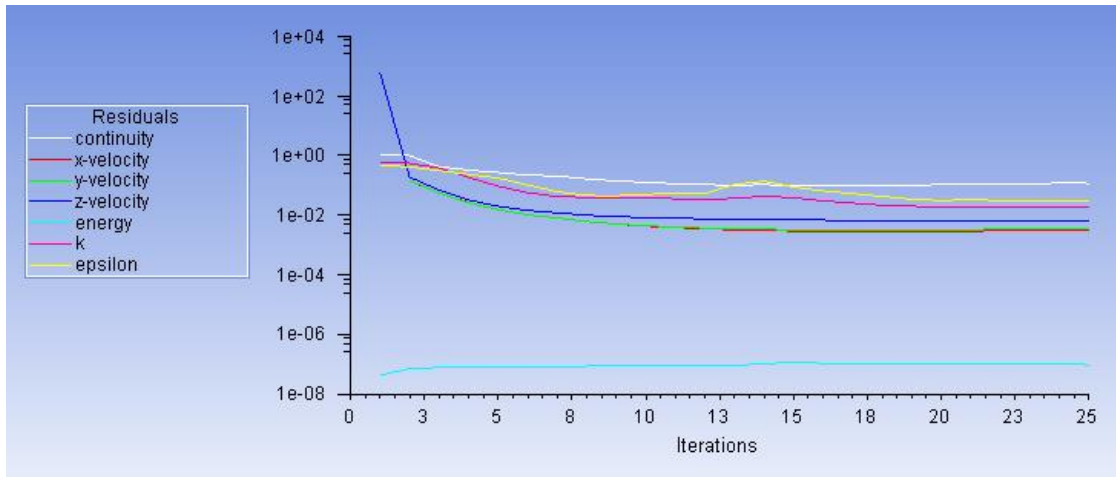
Simulación en software VENTSIM de ventilador de 40KCFM, presión 16'' C.A. y longitud de ducto de ventilación 15m en CR 5000 de Nv 1915

ANEXO 3

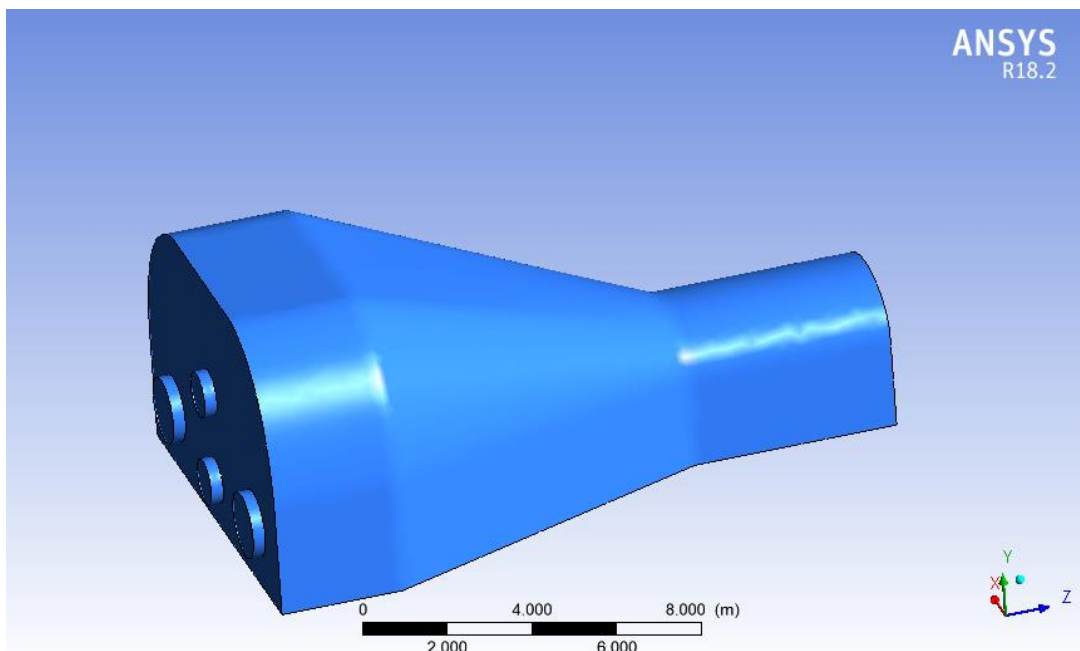
SIMULACION EN SOFTWARE ANSYS

CAMARA DE VENTILADORES PRINCIPALES (INGRESO)

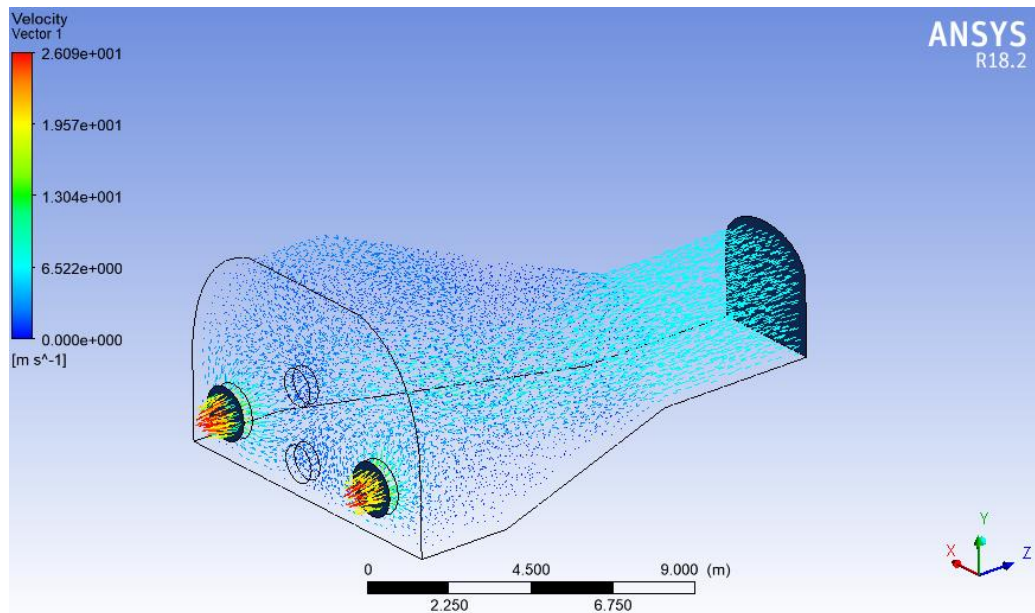
Caso 1: SIN CONSIDERAR DESVIADOR DE AIRE



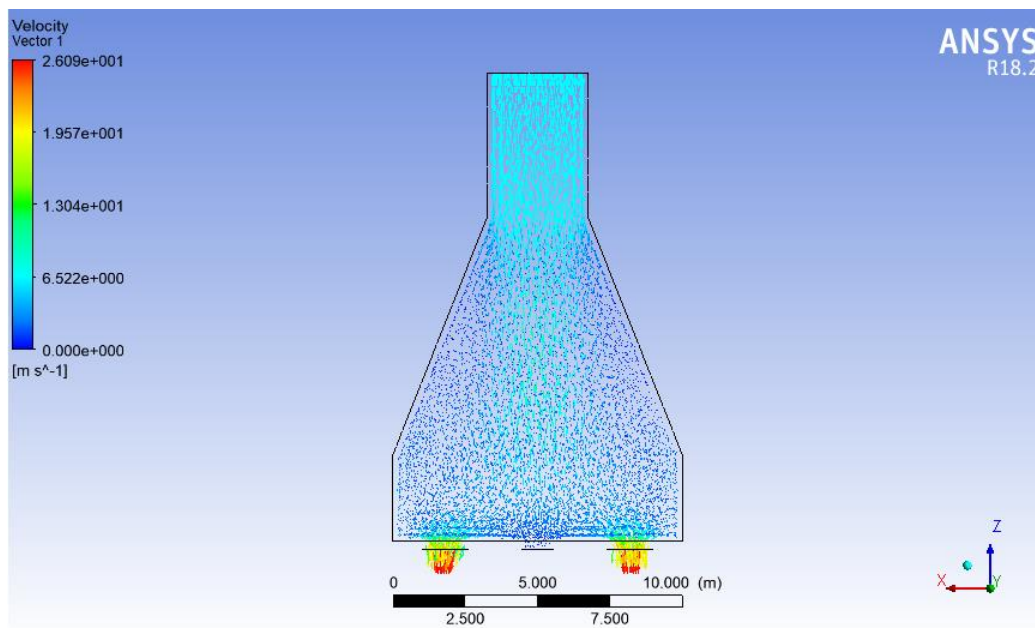
Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación entrada de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales, sin considerar desviador de aire. Se observó la convergencia de los parámetros analizados.



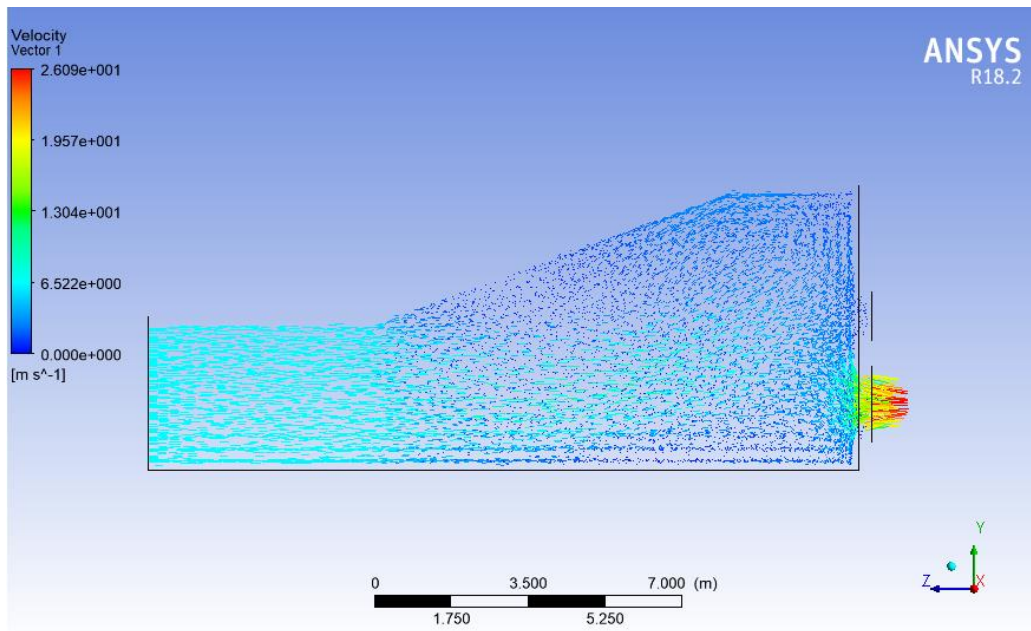
Volumen de control sin considerar desviador al ingreso de aire en la cámara de ventiladores principales.



Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal.

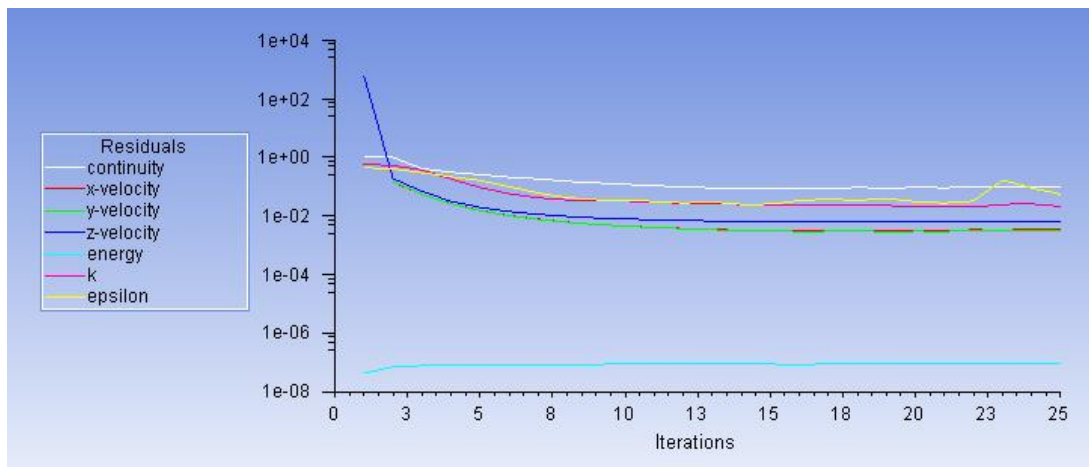


Vista planta del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal.

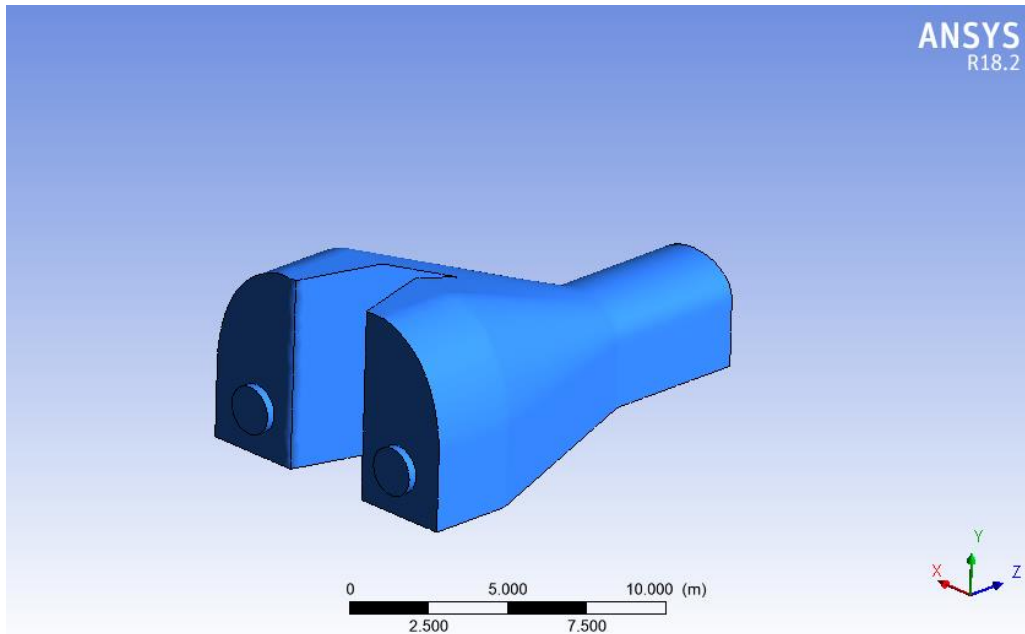


Vista longitudinal del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal

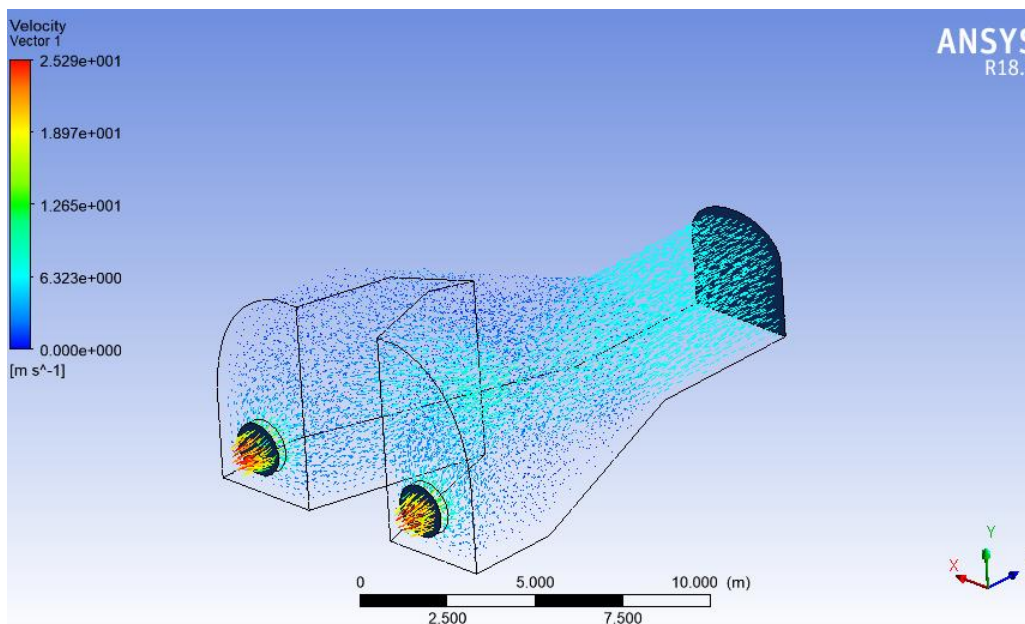
Caso 2: CONSIDERANDO DESVIADOR DE AIRE A 5.6m



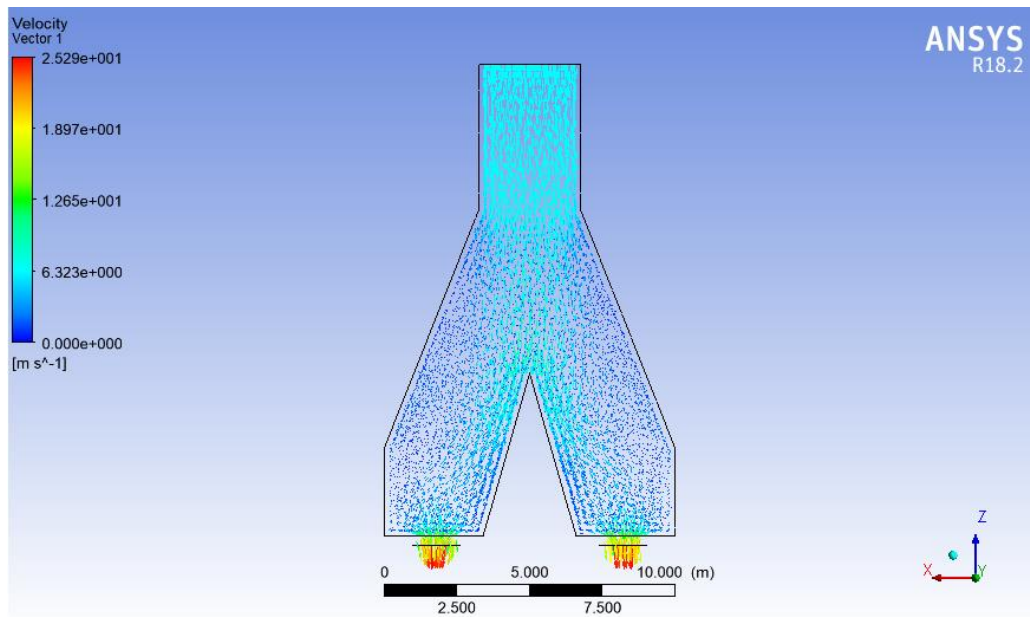
Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación entrada de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales, considerando desviador de aire a 5.6m. Se observó la convergencia de los parámetros analizados.



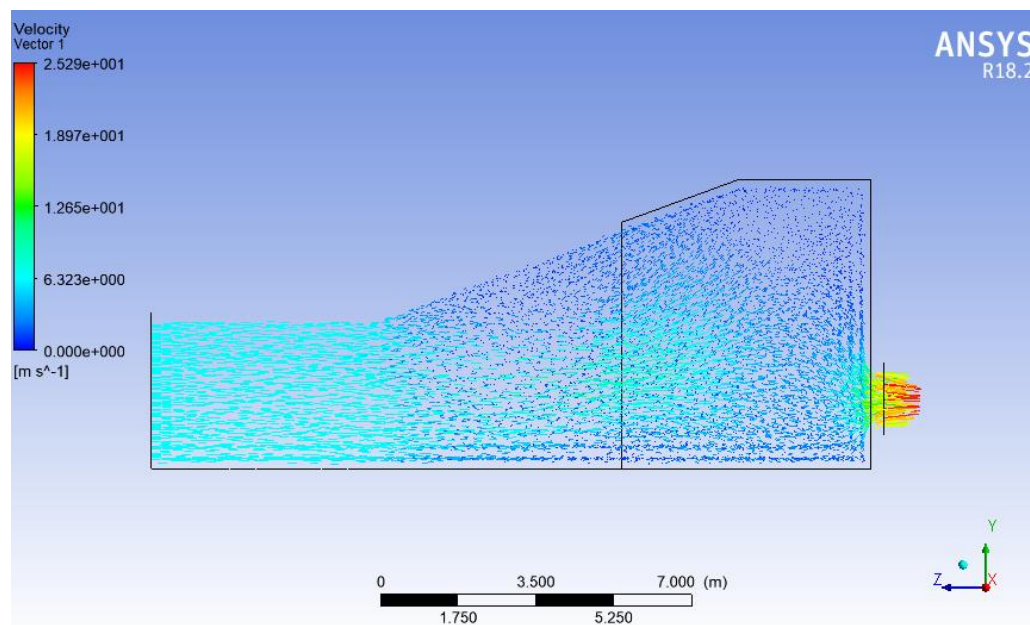
Vista isométrica de geometría de ingreso de aire a ventiladores en cámara principal, considerando desviador a 5.6m



Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal.



Vista planta del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal, considerando desviador de aire a 5.6m



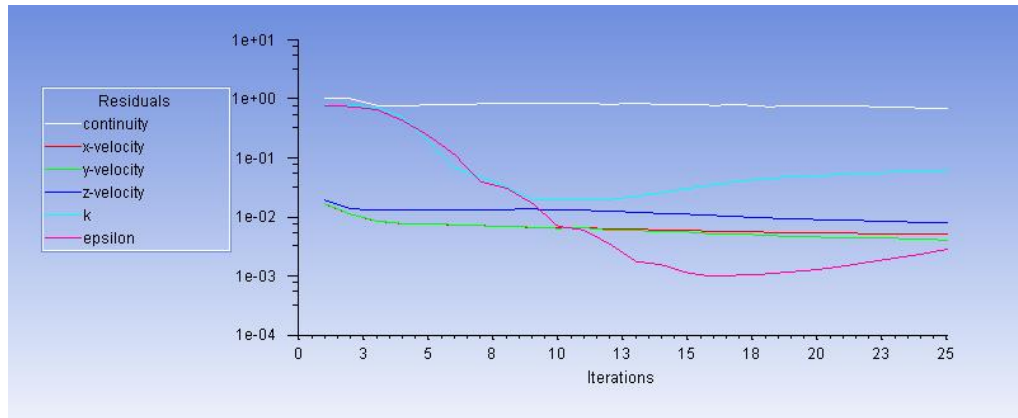
Vista longitudinal del comportamiento de velocidad de aire desde en ingreso de aire a ventiladores en cámara principal.

ANEXO 4

SIMULACION EN SOFTWARE ANSYS

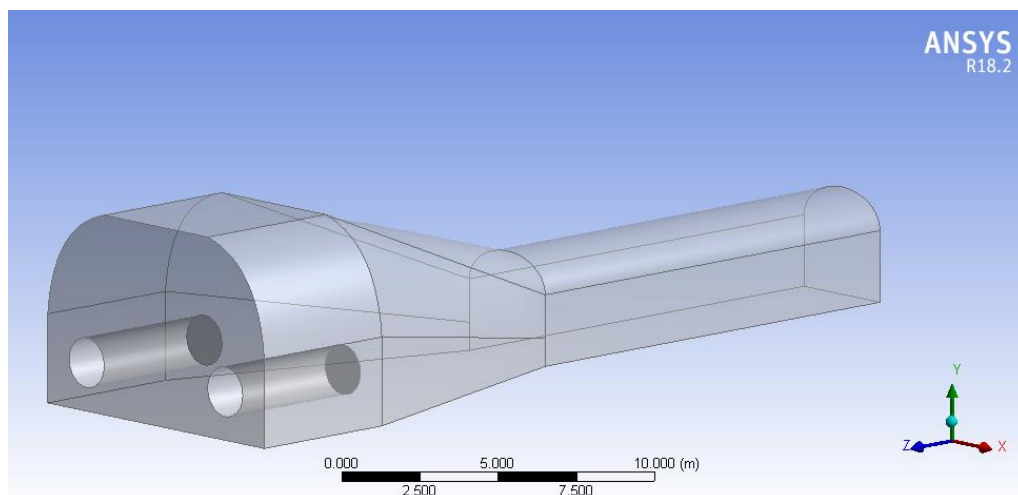
CAMARA DE VENTILADORES PRINCIPALES (SALIDA)

Caso 1: 0m

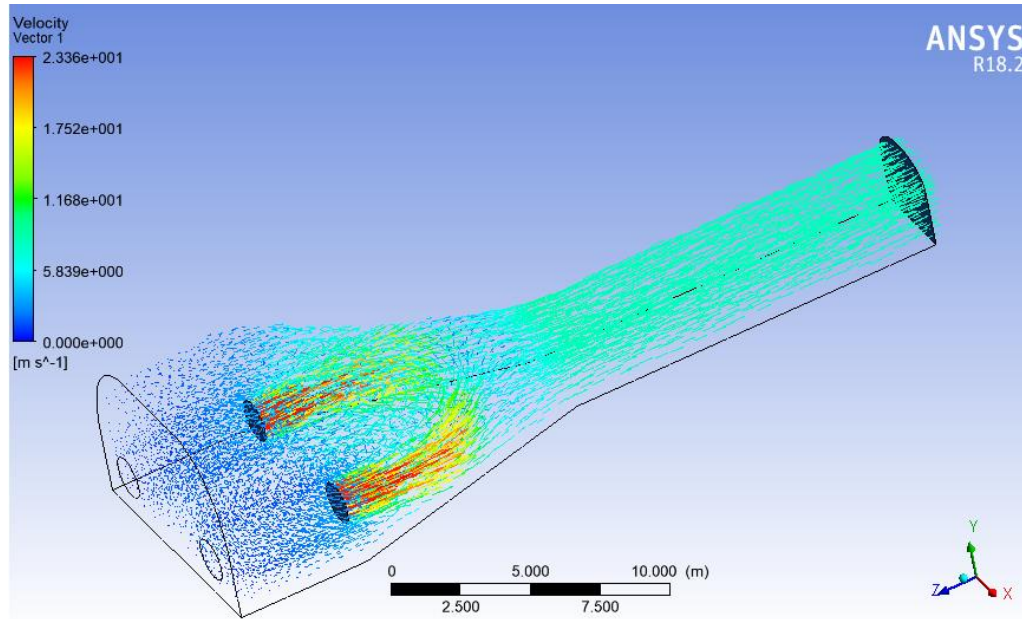


Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación considerando 1.0m de salida de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales.

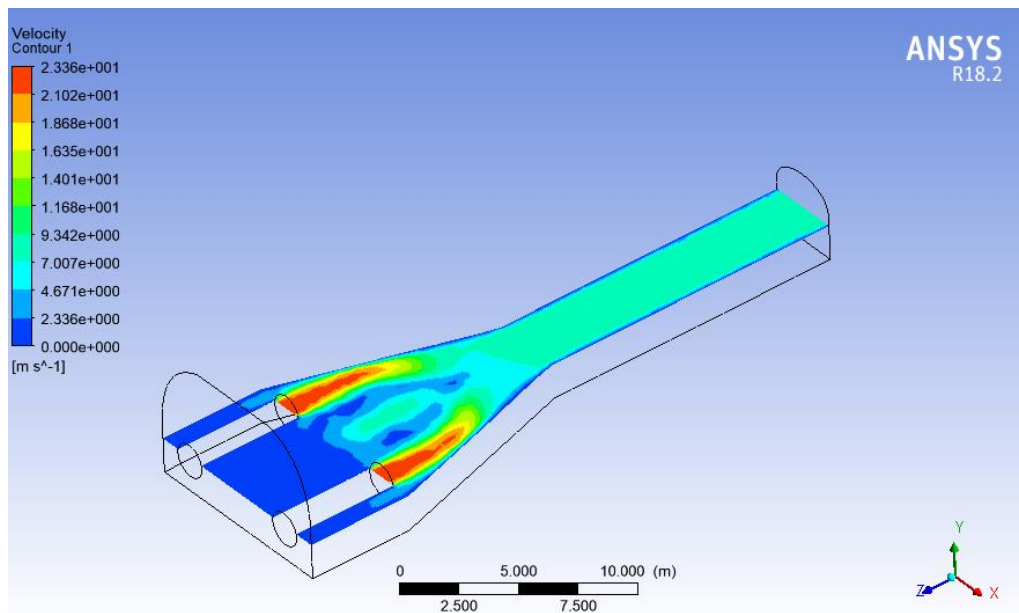
Se observó la convergencia de los parámetros analizados.



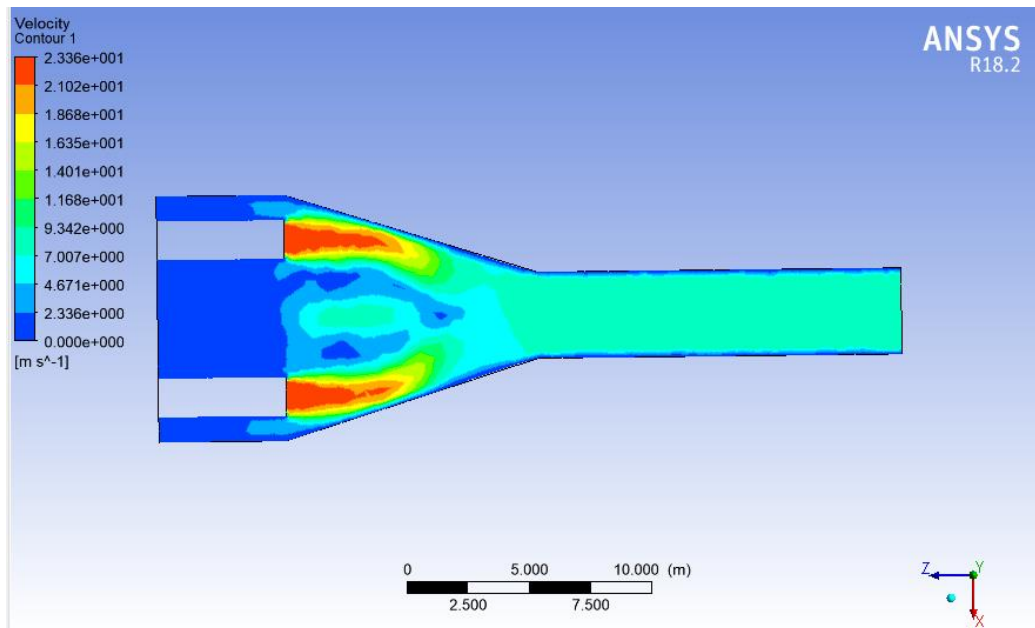
Vista isométrica de geometría de la cámara de ventiladores principales a 1.0m de salida de aire a ventiladores



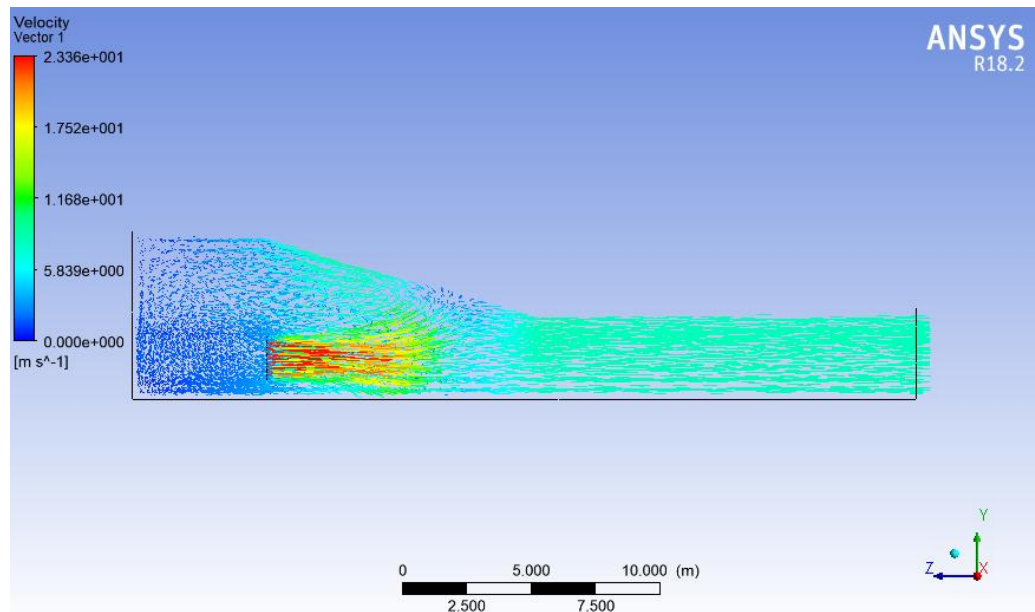
Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m



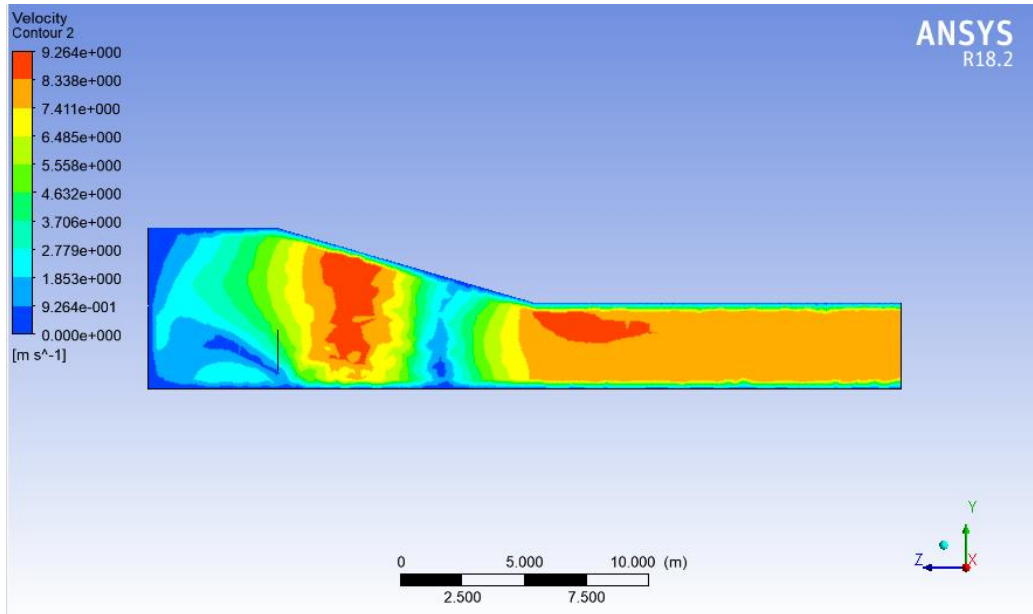
Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m



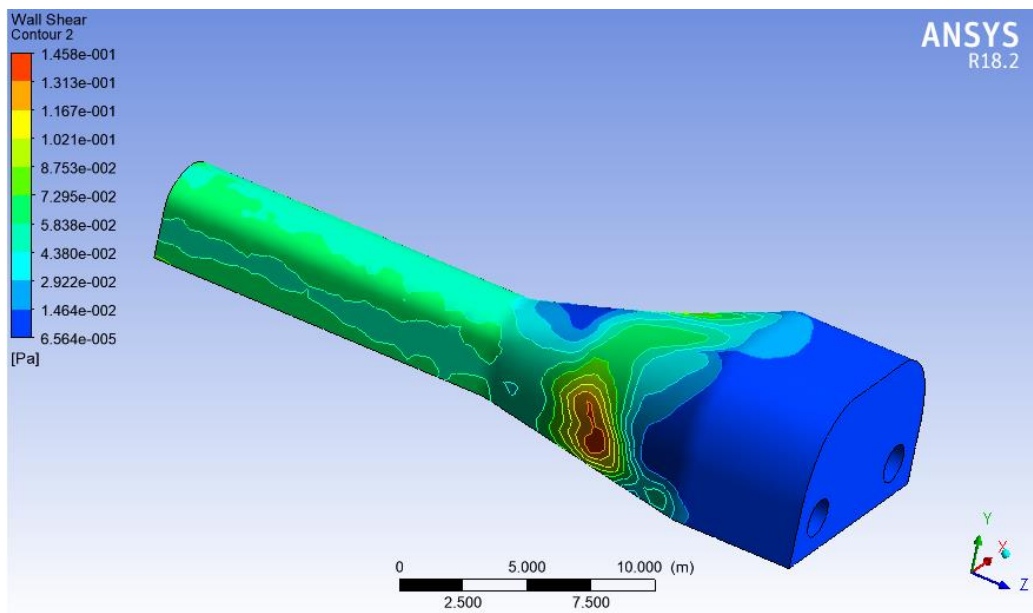
Vista planta del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m



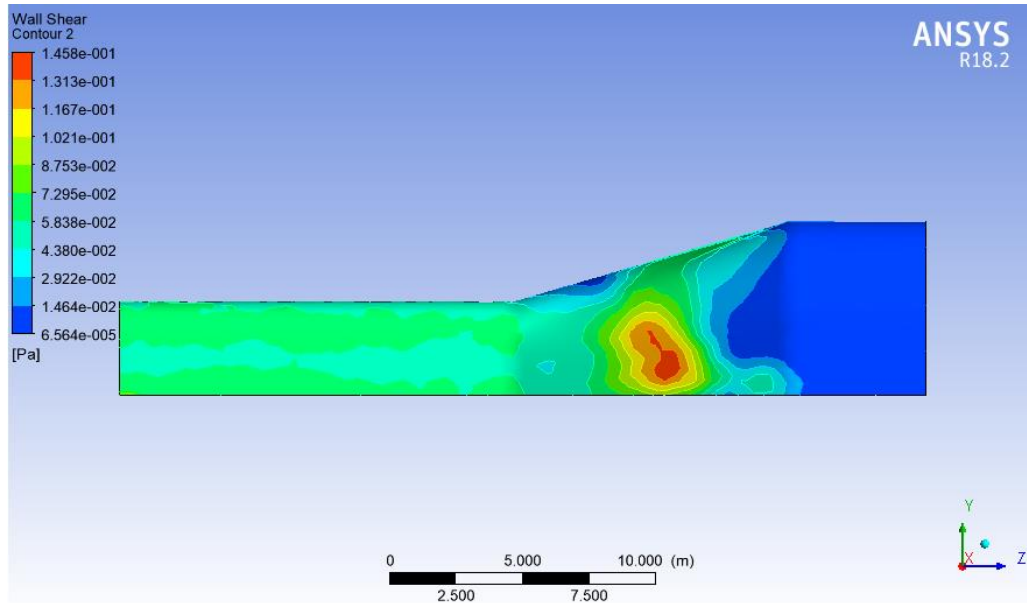
Vista longitudinal del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m



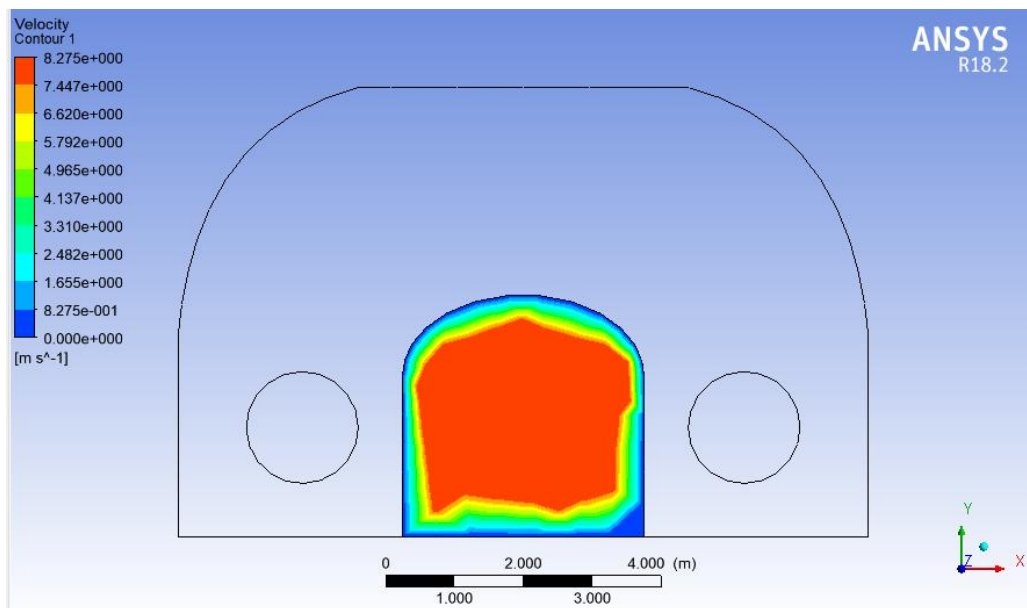
Vista longitudinal del comportamiento de velocidad en contorno desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m



Vista isométrica del comportamiento del contacto del flujo aire con la sección desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m

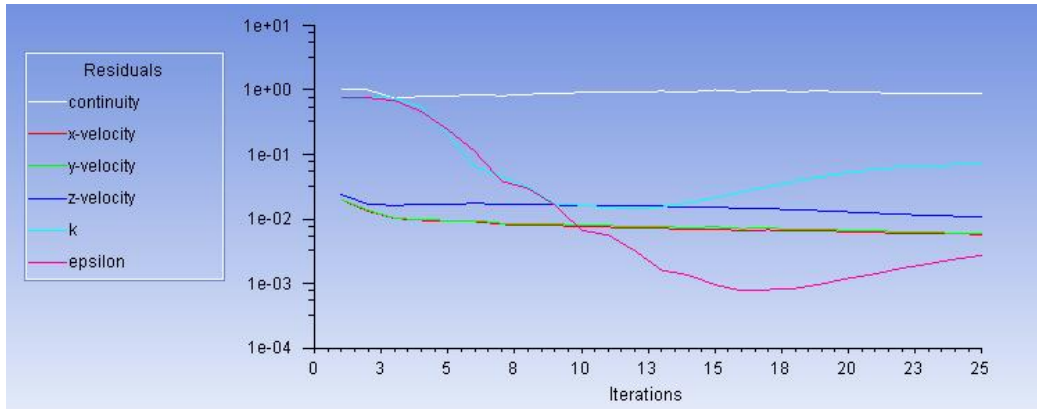


Vista longitudinal del comportamiento del contacto del flujo aire con la sección desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 1.0m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 1.0m

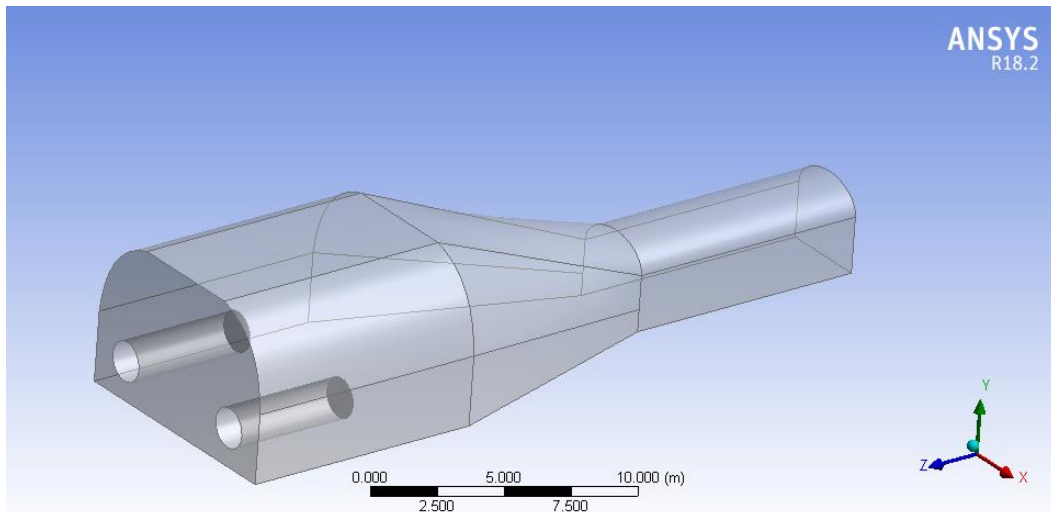


Se observó vista corte sección de cámara de ventiladores principales, el comportamiento de flujo de aire por labor minera, donde la velocidad llega a 8.275m/seg

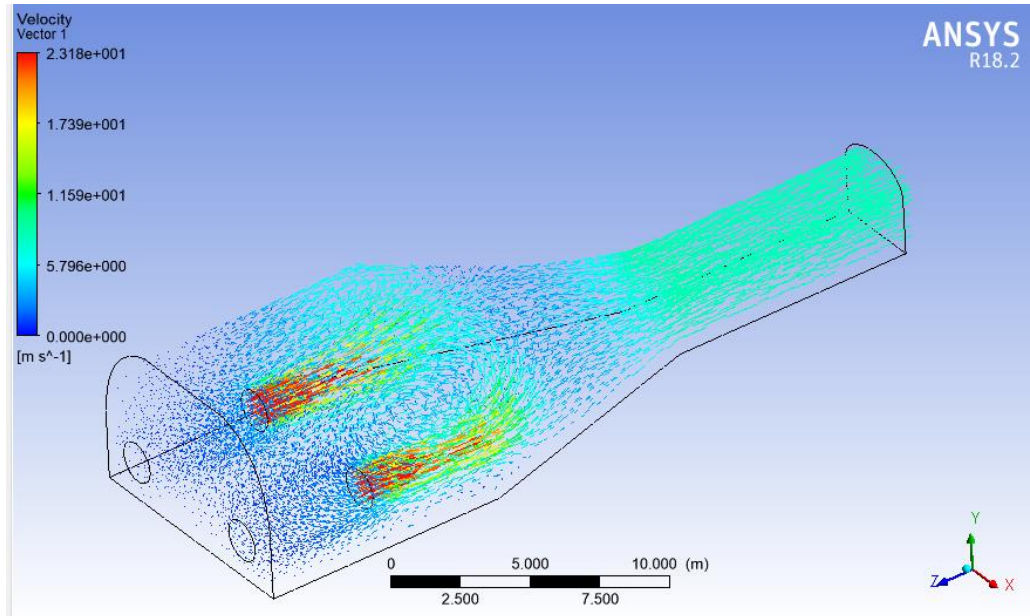
Caso 2: 4.8m



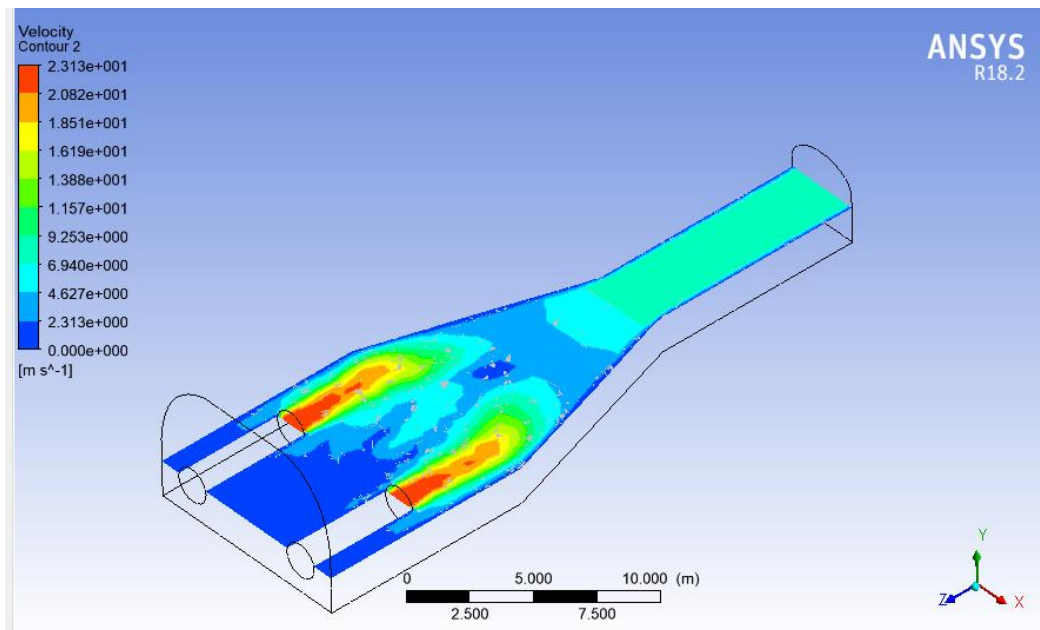
Cuadro de iteraciones de software ANSYS – Simulación considerando 4.8m de salida de aire de ventiladores en cámara de ventiladores principales, Se observó la convergencia de los parámetros analizados.



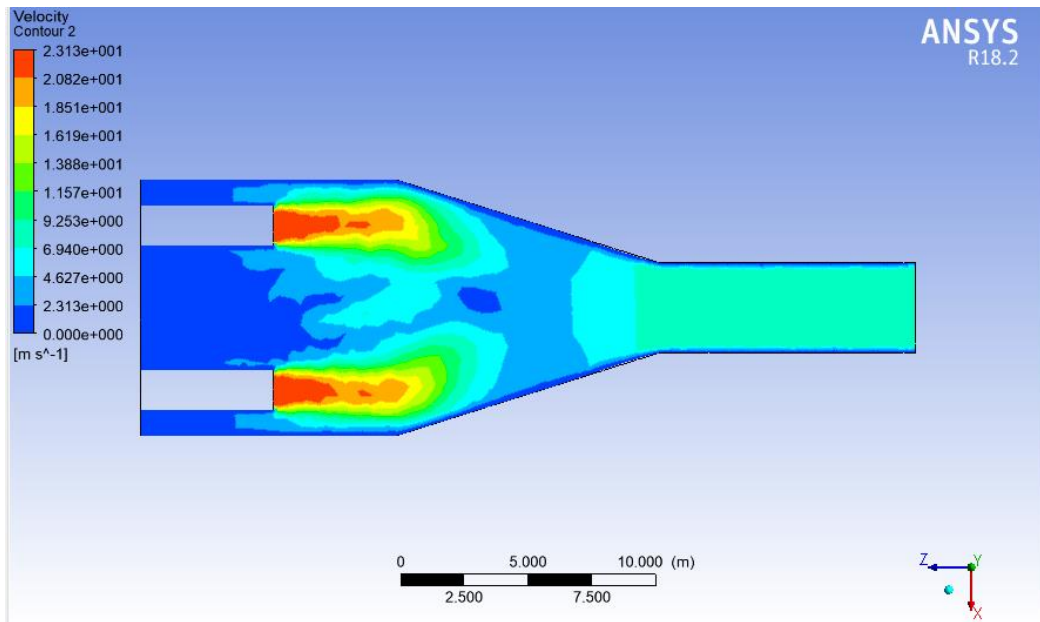
Vista isométrica de geometría de la cámara de ventiladores principales a 4.8m de salida de aire a ventiladores



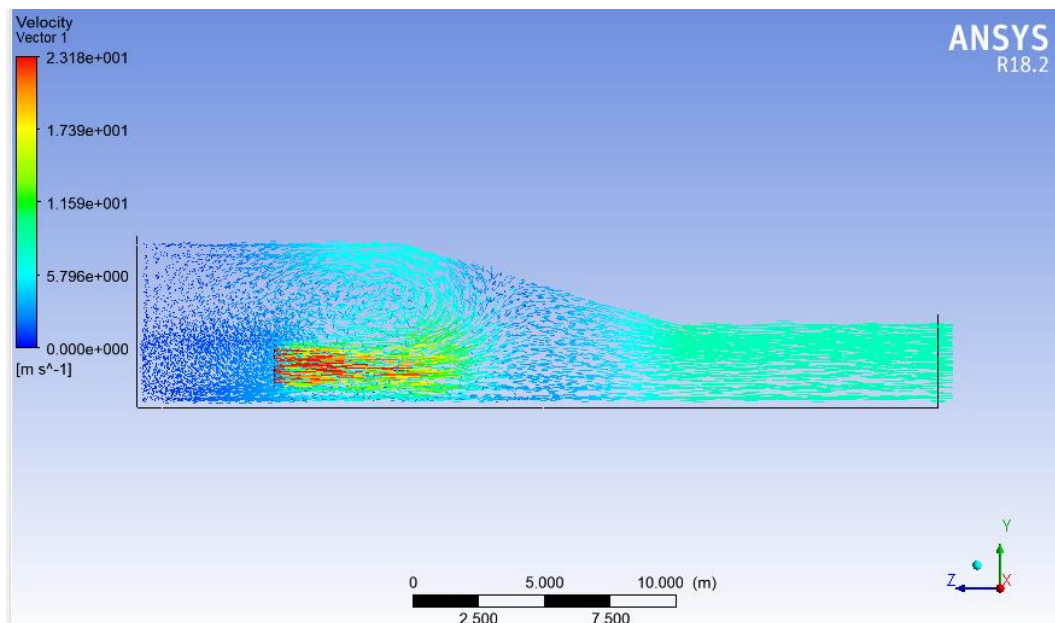
Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m



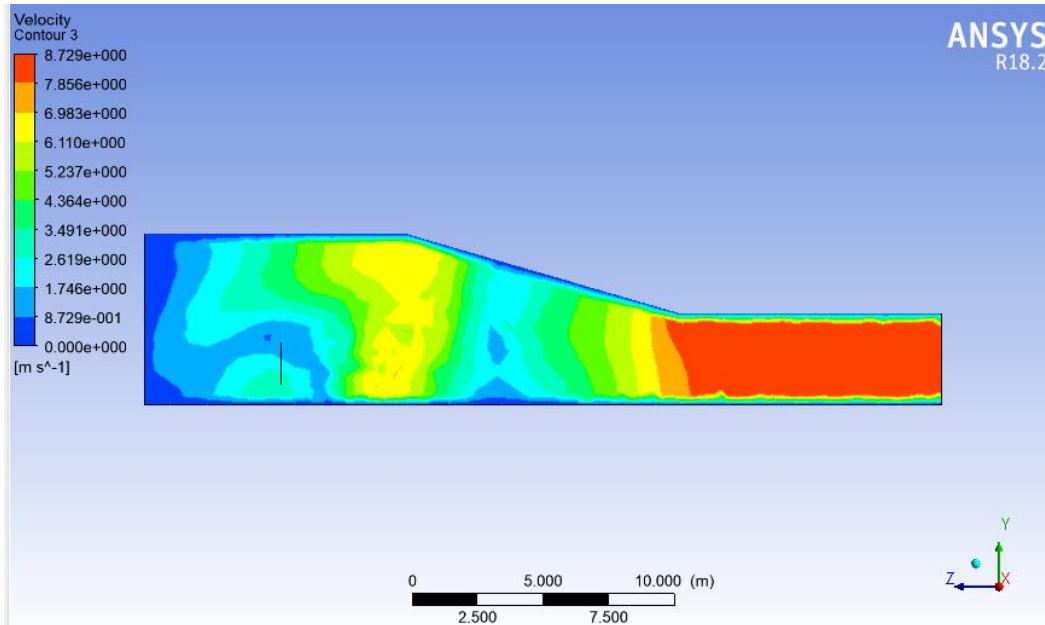
Vista isométrica del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m; Observando el choque leve del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 4.8m



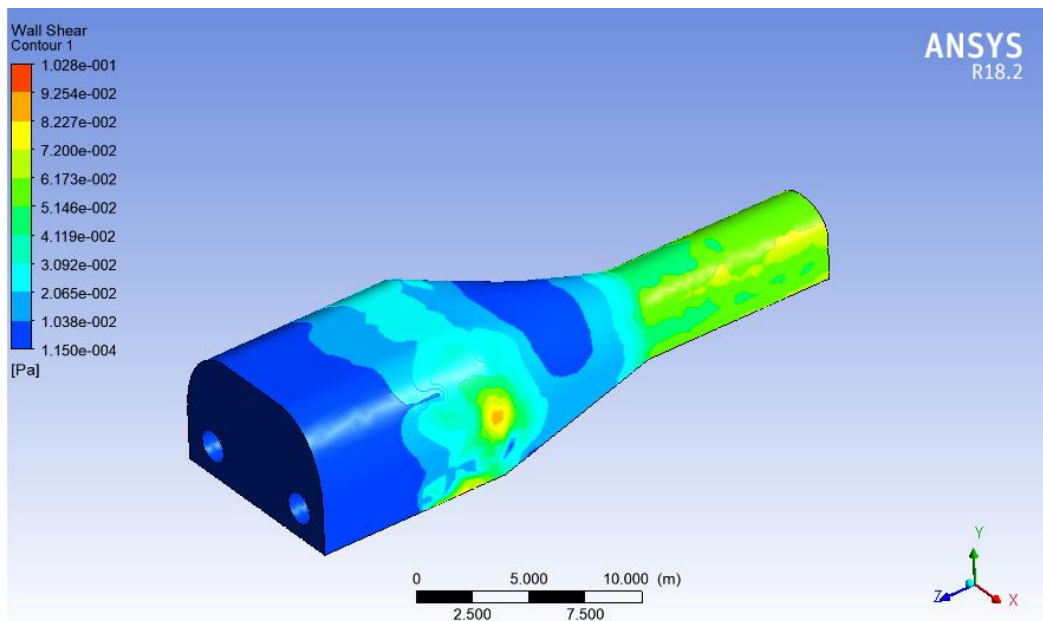
Vista planta del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m; Observando el choque leve del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 4.8m



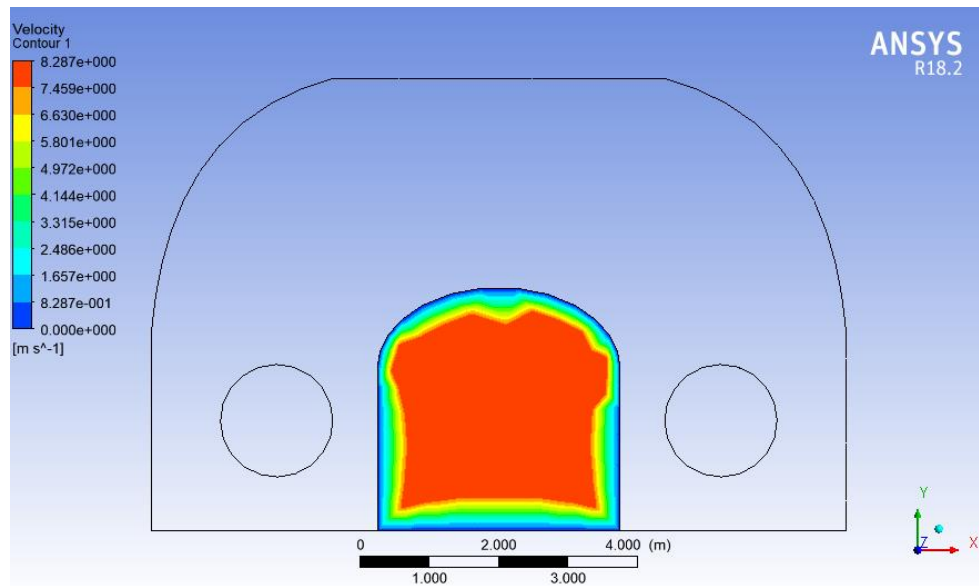
Vista longitudinal del comportamiento de velocidad de aire desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m; Observando el choque leve del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 4.8m



Vista longitudinal del comportamiento de velocidad en contorno desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 4.8m



Vista isométrica del comportamiento del contacto del flujo aire con la sección desde salida de aire a ventiladores en cámara principal a 4.8m; Observando el choque del flujo aire de los ventiladores en las paredes de la sección, debido a tener solo 4.8m



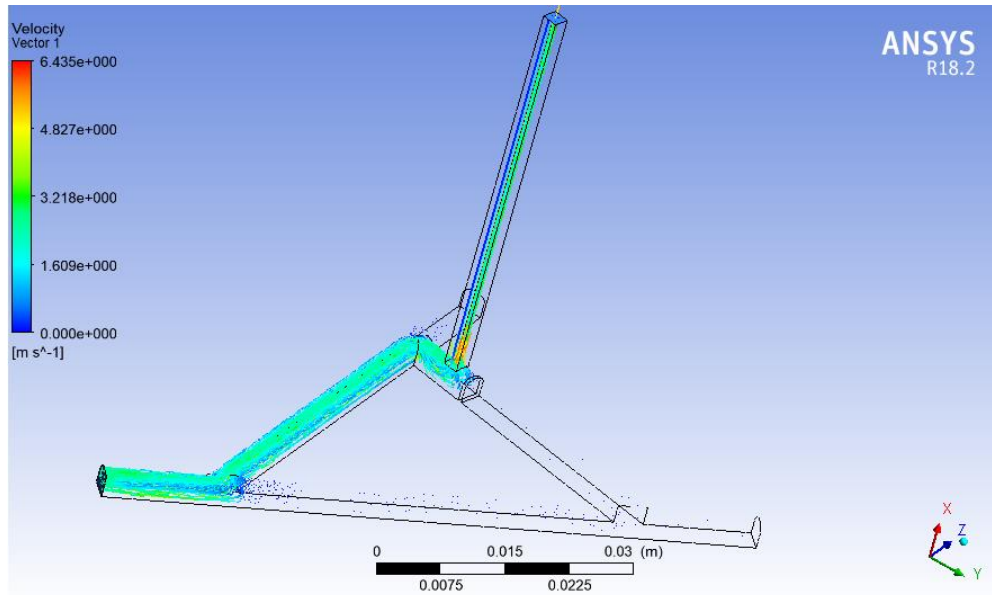
Se observó vista corte sección de cámara de ventiladores principales, el comportamiento de flujo de aire por labor minera, donde la velocidad llega a 8.267m/seg

ANEXO 5

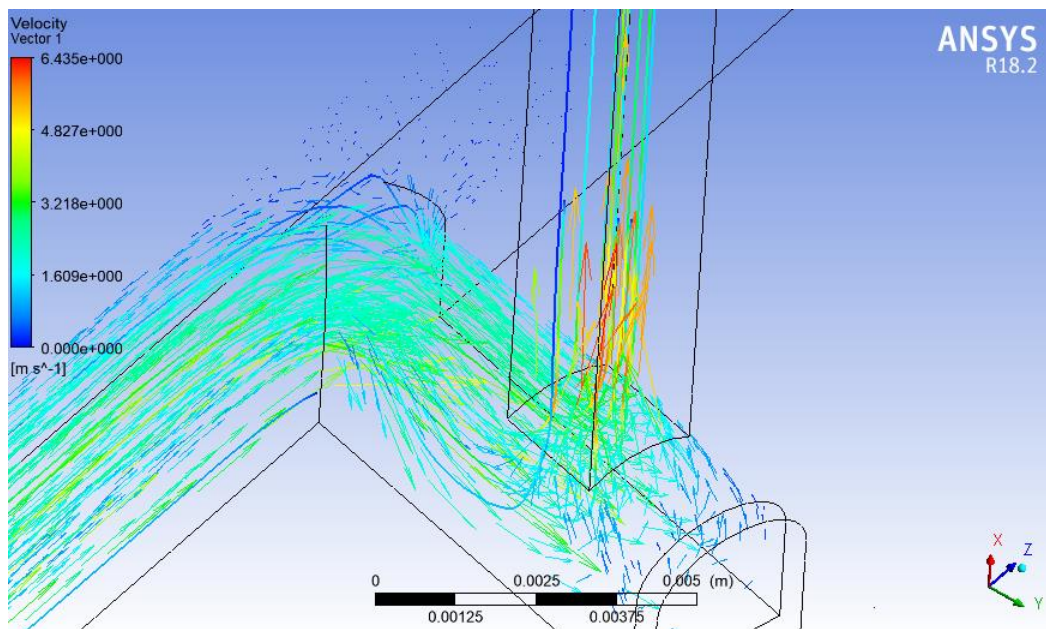
SIMULACION EN SOFTWARE ANSYS

EVACUACION DE AIRE VICIADO POR CHRC 58

Caso 1

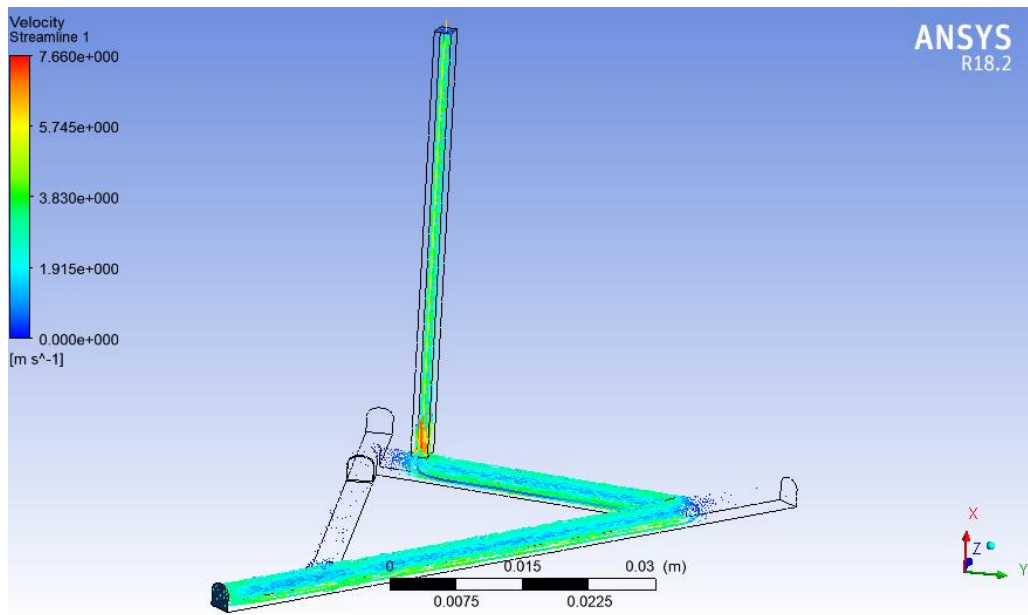


Se observó vista isométrica de ESCM 3195 y ESCM CHRC 58 de Nv 1915 el ingreso de flujo de aire por el ESCM 3195 de Nv 1915, hacia CHRC 58

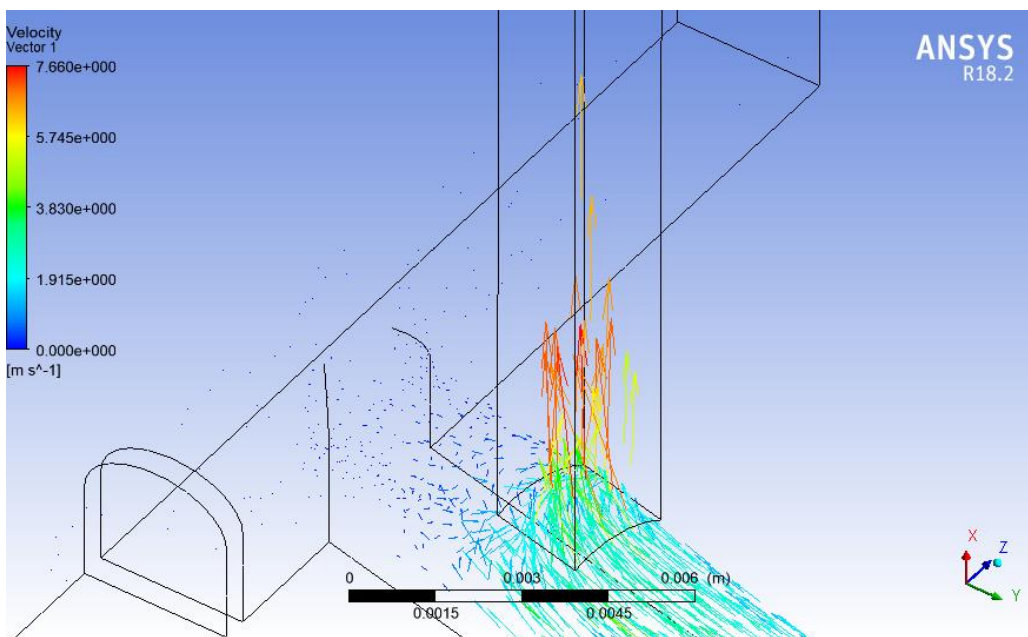


Se observó vista isométrica de ESCM 3195 y ESCM CHRC 58 de Nv 1915 el comportamiento de la velocidad donde llega a 6.435m/seg

Caso 2



Se observó vista isométrica de ESCM 3195 y ESCM CHRC 58 de Nv 1915 el ingreso de flujo de aire por el ESCM CHRC58 de Nv 1915, hacia CHRC 58



Se observó vista isométrica de ESCM 3195 y ESCM CHRC 58 de Nv 1915 el comportamiento de la velocidad donde llega a 7.66m/seg

ANEXO 6

Motores de alta eficiencia IE3

¿Qué es la eficiencia de un motor?

Es la relación entre la potencia de salida (mecánica) y la potencia de entrada (eléctrica)

¿Por que es importante la eficiencia energética?

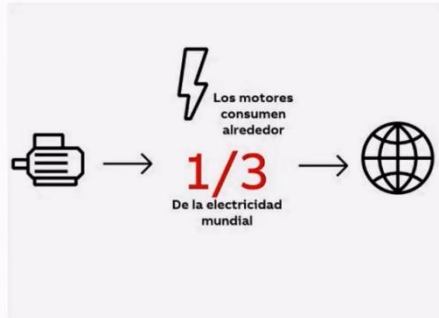
Consumo de Energía a nivel mundial

Reducir el impacto ambiental

- Utilizar la electricidad de forma consciente
- Reducir emisiones de CO₂

Mejorar la sustentabilidad

- Cumplimiento de estándares de eficiencia
- Incrementar la eficiencia y productividad



“El cambio climático y ambiental demanda grandes cambios en todas las industrias”

©ABB April 16, 2020 | Slide 5



Se observó la importancia de la eficiencia energética en motores de alta eficiencia IE

Fuente: ABB Motores de alta eficiencia

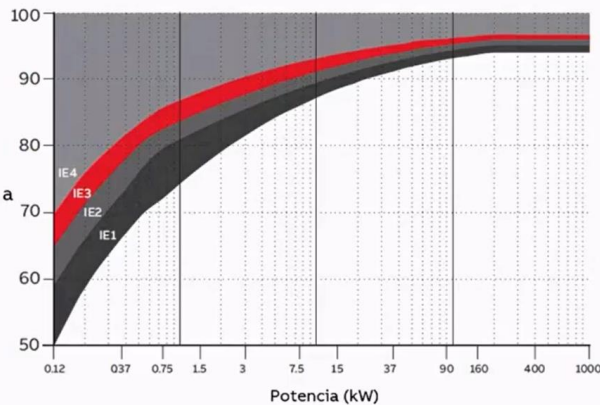
Curvas de Eficiencia

Desde IE1 a IE4

IEC 60034-30-1:2014

El estándar define cuatro clases de eficiencia:

- **IE4** = Eficiencia super premium
- **IE3** = Eficiencia premium, idéntica a NEMA Premium para USA
- **IE2** = Alta eficiencia
- **IE1** = Eficiencia estandar



La curva se utiliza para motores eléctricos en una velocidad y diseñados para operación de voltaje sinusoidal

©ABB April 16, 2020 | Slide 7



Se observó la curva característica de Eficiencia (%) Vs Potencia (Kw)

Fuente: ABB Motores de alta eficiencia

Consumo Energético

Caso practico IE2 vs IE4

$P_{in} = 93,36$ [KW] IE4

$P_{in} = 95,03$ [KW] IE2

Eff.: 96,4%

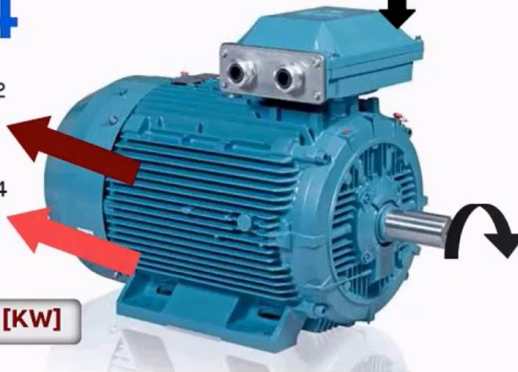
Eff.: 94,7%

IE4

Pérdidas IE2
5,03 [KW]

Pérdidas IE4
3,36 [KW]

Δ IE2-IE4 = 1,67 [KW]



$P_{out} = 90$ [KW]

$$Eff = \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

Con la eficiencia incrementada en 1,7%, la reducción de las pérdidas es 33%

Ahorro 1609 [USD] por año = 8,7 [tons] CO2 (0,6kg/kwh)
 $1,67$ (kW) x 0.11 (USD/kWh) x 8760(hrs) = 1609 USD x Motor x Año

©ABB

ABB

Se observó el caso comparativo de motores IE2 Vs IE4, donde se refleja las perdidas en los casos, el ahorro de energía y la reducción de emisión de CO2 al medio ambiente.

Fuente: ABB Motores de alta eficiencia



Se observó la placa de ventilador zitron con motor WEG con eficiencia IE3 (eficiencia 95.4%)

Fuente: Empresa Minera de La Libertad.

ANEXO 7



Se observó monitoreo de velocidad al ingreso de ventilador de 40KCFM con equipo anemómetro Kestrel.



Se observa tablero variador de frecuencia de ventilador de 40KCFM.



Se observa monitoreo de velocidad de aire en labor minera.



Se observa monitoreo de presión estática en ventilador

ANEXO 8

42

ÍNDICES DE GESTIÓN

Tabla 10. Índices de gestión

DATOS		2014	2015	
SEGURIDAD	Frecuencia	6.86	3.31	
	Seriedad	909.73	3.935.10	
	Accidentalidad Incidentes	6.24	13.01	
		1.622	427	
AVANCE	Avance DDI (m)	23.448	30.995	
GEOLOGÍA	RECURSOS	TonELAJE de recursos	1'168.491	1'157.365
		Ozozos de recursos	500.440	582.862
		Ley de recursos	13.32	15.66
	RESERVAS	TonELAJE de reservas	1'051.523	1'064.996
	Ozozos de reservas	477.470	554.590	
	Ley de reservas	14.12	16.20	
MINA	Mineral enviado a planta (t)	319.666	344.039	
	Avance horizontal + vertical + operación (m)	27.956	30.167	
	Labores de posición	3.847	5.094	
	Labores de desarrollo	13.345	14.563	
	Labores de mina	9.631	9.282	
	Avance raisebolting	1.133	1.228	
	Avance raiseclimber	1.49	1.48	
	Toneladas métricas brutas/Tareas total	4.83	6.06	
	Mineral preparado - (accesibilidad 0 - 3 meses)			
PLANTA	MARAFION MINA	Tratado (t)	219.054	181.535
		Ley de cabeza calculada (gr/t)	9.46	9.96
		Recuperación (%)	93.50%	93.20%
		Producción (onzas)	62.194	53.973
	ACOPIO	Tratado (t)	40.445	67.341
		Ley de cabeza calculada (gr/t)	33.08	27.57
		Recuperación (%)	89.30%	88.23%
		Producción (onzas)	38.451	52.653
	SANTA MARÍA MINA	Tratado (t)	91.648	153.657
		Ley de cabeza calculada (gr/t)	13.62	14.06
		Recuperación (%)	94.06%	93.10%
		Producción (onzas)	35.892	64.461
ACOPIO	Tratado (t)	45.111	32.520	
	Ley de cabeza calculada (gr/t)	17.73	21.22	
	Recuperación (%)	87.31%	86.15%	
	Producción (onzas)	22.396	19.206	

INFORME ANUAL DE SOSTENIBILIDAD 2015

Accionistas Colaboradores Proveedores Compañías Minera Inversoras Clientes Estados
GRUPO DE INTERÉS

43

DATOS		2014	2015	
PLANTA	ACOPIO	Tratado (t)	85.556	99.861
		Ley de cabeza calculada (gr/t)	24.99	25.50
		Recuperación (%)	88.55%	87.67%
	Producción (onzas)	60.847	71.859	
CONSOLIDADO	Tratado (t)	396.258	435.054	
	Ley de cabeza calculada (gr/t)	13.63	14.97	
	Recuperación (%)	91.67%	91.01%	
	Producción (onzas)	158.933	190.293	
MANTENIMIENTO	Total energía (kW-h)	54.283	58.237	
	Energía hidráulica (kW-h)	0.0321	0.0337	
	Energía térmica (kW-h)	0.7271	0.3182	
	Energía SEIN (kW-h)	0.0903	0.089	
	Energía Pélrica (kW-h)			
	Disponibilidad mecánica trackless	86.25%	86.78%	
	Disponibilidad mecánica convencional	88.06%	88.11%	
KW-h /Toneladas métricas bruta	76.89	75.60		
RECURSOS HUMANOS	Personal de compañía	727	743	
	Personal de empresas especializadas	2.276	2.281	
	Personal operativo	2.342	2.359	
	Personal de inversiones	661	665	
	Total personal	3.003	3.024	
	Total personal mina (28/14)	2.002	2.016	
	Rotación de personal compañía anual (%)	10.34%	2.47%	
	Rotación de personal contratistas	69.92%	52.57%	
	Ventas Au y Ag (US\$)	200'386.101	220'351.478	
	Ventas Au (oz)	157.381	189.521	
Pracio promedio de venta de Au (US\$/oz)	1.263	1.151.40		
Costo de producción (US\$/t)	192.5	181.20		
Costo de producción (US\$/oz)	609.8	512.70		
Costo efectivo (US\$/oz)	805.0	654.80		
Costo total (US\$/oz)	1.228.6	1.027.90		
Costo de cubicación US\$/m ³ cubizada	152.7	150.1		
US\$/kW-h consolidado	0.1165	0.1134		
INVERSIÓN	Inversión US\$/oz	550.40	496.40	
	Inversión normal US\$	48'018.342	40'577.242	
	Inversión crecimiento US\$	5'967.799	18'111.161	
FINANZAS	Ebitda (US\$) NIC 21 (últimos 12 meses)	69'953.592	83'279.935	
	Ebitda (US\$) NIC 21 (2014)	69'953.592	83'279.935	
	Índice de cobertura (Ebitda/intereses)	48.12	65.67	
	Índice de apalancamiento (deuda total financiera / Ebitda (últimos 12 meses))	0.51	0.40	
	Financiamiento adicional con bancos US\$	14'477.665	20.344.262	
	Coberturas garantías = garantías / saldo principal	4.07	6.40	

Informe Anual de Sostenibilidad 2014 – 2015 de empresa minera, La Libertad.

SALUD Y SEGURIDAD PRIMERO | INFORME ANUAL DE SOSTENIBILIDAD 2019



102-7



103-2

ÍNDICES DE GESTIÓN



			ACUM. 2018	ACUM. 2019
Seguridad	Frecuencia		2,07	2,22
	Severidad		135	3,183
	Accidentalidad		0,26	7,08
	Incidentes		1,103	1,082
Geología	Avance	Avance DDH (m)	44.378	50.059
	Recursos	Tonelaje de reservas	1.344.904	1.432.743
		Ozonzas de reservas	734.982	769.649
		Ley de reservas	17,00	16,71
Reservas	Tonelaje de reservas	1.145.511	1.432.743	
	Ozonzas de reservas	666.220	769.649	
	Ley de reservas	18,09	17,47	
Mina	Mineral enviado a Planta (Mina + LA) (t)		393.543	423.603
	Avance H + V + Operación (m)		44.710	48.009
	Labores de posición		10.110	7.881
	Labores de desarrollo		14.576	14.940
	Labores de mina		18.342	21.780
	Avance raise boring		382	2.038
	Avance raise climber		1.300	1.370
	Tmb/Tar_Total		2,81	2,81
	TMT/Tar_Total		0,90	0,94
	Mineral preparado - (accesibilidad 0-3 meses)		4,95	5,33
Planta Marañón	Producción recursos	Mina	134.096	142.984
		Ley de cabeza calculada (g/t)	13,22	11,39
		Recuperación (%)	94,75%	96,36%
		Producción (onzas)	54.357	51.980
		Labor asignada	19.789	32.398
		Ley de cabeza calculada (g/t)	36,74	38,91
	Producción potencial	Cateo libre	116.590	112.603
		Ley de cabeza calculada (g/t)	24,64	27,38
		Recuperación (%)	86,75%	89,07%
		Producción (onzas)	80.249	87.452
		Consolidado Marañón	270.476	287.985
		Ley de cabeza calculada (g/t)	19,86	20,74
Recuperación (%)	89,71%	91,42%		
Producción (onzas)	154.999	176.066		

				ACUM. 2018	ACUM. 2019
Planta	Santa Maria	Producción recursos	Mina	229.563	266.872
			Ley de cabeza calculada (g/t)	18,24	17,47
			Recuperación (%)	92,53%	92,08%
		Producción (onzas)	124.506	137.957	
		Labor asignada	148		
			Ley de cabeza calculada (g/t)	21,17	
	Recuperación (%)		87,15%		
	Producción (onzas)	32			
	Producción potencial	Cateo libre	229.711	266.872	
		Ley de cabeza calculada (g/t)	18,24	17,47	
	Consolidado Santa Maria	Recuperación (%)	92,53%	92,08%	
		Producción (onzas)	124.538	137.957	
Acopio (cl)	116.590	112.603			
	Ley de cabeza calculada (g/t)	24,64	27,38		
	Recuperación (%)	86,75%	89,07%		
Producción (onzas)	80.249	87.452			
Consolidado	500.187	554.857			
	Ley de cabeza calculada (g/t)	19,12	19,17		
	Recuperación (%)	90,95%	91,71%		
	Producción (onzas)	279.537	314.023		
Mantenimiento	Total energía (MW-hr)	73.666	85.069		
	Costo energía hidráulica (USD/kW-h)	0,0594	0,0396		
	Costo energía térmica (USD/kW-h)	0,3854	0,3067		
	Costo SIN (USD/kW-h)	0,0611	0,0663		
	Energía PALCA (kW-h)	89.72%	92.48%		
	Drmecánica trackless	83.52%	85.09%		
Drmecánica convencional	58.53	62.67			
kW-h/TMB	147,28	153,32			
Recursos humanos	Personal cia	709	707		
	Personal E.E	2.964	3.081		
	Personal Op.	2.865	2.955		
	Personal Inv.	808	833		
	Total personal	3.673	3.788		
	Total personal mina (28/14)	2.449	2.525		
	Rotación de personal anual (%)	63%	60%		
Ventas y costos	Ventas Au y Ag (USD)	357.923.640	442.602.663		
	Ventas Au (onzas)	279.543	312.413		
	Precio promedio de venta de Au (USD/onzas)	1.267,7	1.404,5		
	Costo de producción (USD/oz)	229,3	231,3		
	Costo de producción (USD/onzas)	441,3	451,5		
	Costo efectivo (USD/onzas)	550,5	583,8		
	Costo total (USD/onzas)	810,1	852,8		
Costo de cubicación USD/onza cubicada	168,6	159,2			
USD/kW-h Consolidado	0,0944	0,1023			
Inversión	Inversión (USD/oz)	491,78	483,70		
	Inversión normal USD	49.487.197	89.019.305		
	Inversión crecimiento USD	46.937.130	18.485.300		
Finanzas	EBITDA (USD) NIC 21 (últimos 12 meses)	160.274.134	203.635.645		
	EBITDA (USD) NIC 21 (2019)	160.274.134	203.635.645		
	Índice de cobertura (EBITDA/Intereses)	87,52	79,42		
	Ratio de cobertura de servicio de deuda	24,12	5,05		
	Índice de Apalancamiento				
	(Deuda total financiera / EBITDA (últimos 12 meses))	0,29	0,22		
Financiamiento adicional con Bancos USD	21.528.749	17.978.857			
Coberturas garantías = garantías/saldo principal	13,81	23,02			



102-7



103-2

Informe Anual de Sostenibilidad 2018 – 2019 de empresa minera, La Libertad.

ANEXO 9



Certificado de Calibración

V-0046-2020

Cliente:
Dirección de Cliente: Av. Primavera Nro. 834 Urb. Chacarilla Del Estanque - Lima - Lima - Santiago De Surco
Instrumento: Medidor multifunción / Sonda de hilo caliente
Fabricante: Testo SE & Co. KGaA
Modelo: Testo 435-4 / 0635 1025
Nº de serie: 60811181 / 10386904
Código Cliente: No Indica
Alcance de medición: 0 hasta 20 m/s
Resolución: 0,01 m/s
Exactitud: ±(0,03 m/s + 5 % del v.m.)
Nº de Orden de trabajo: OT 20-0481
Fecha de Calibración: 2020-10-27
Lugar de Calibración: Instruments Lab S.A.C.
Próxima Calibración: 2021-10-27

Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025. Los patrones usados en las calibraciones son calibrados regularmente y son trazables a estándares nacionales e internacionales. Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle. El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).

Incertidumbre de la medición

La incertidumbre expandida de la medición, fue calculada de acuerdo a las regulaciones de la GUM, con un factor de cobertura $k=2$, la cual contiene los procedimientos de incertidumbre de la medición y la incertidumbre del sistema de medición.

Método de Calibración

Comparación del instrumento con un patrón calibrado, en un medio de generación de flujo controlado.

Este certificado de calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, excepto con la autorización del Laboratorio. Los certificados de calibración sin firma no es válido.

Condiciones Ambientales

Temperatura 22,6 °C **Humedad** 64,8 %HR

Emisión Certificada:

2020-11-06

Técnico



Mishell Martínez

Certificado de calibración de equipo Termohygroanemometro TESTO 435 - 4 de empresa minera, La Libertad.



Certificado de Calibración

V-0046-2020

Patrón de referencia

Descripción	Fabricante	Modelo	N° de serie	N° de Certificado
Sonda de velocidad	TESTO SE & Co. KGaA	0635 1570	20738272	3703504

Resultados

Parámetro	Valor de referencia m/s	Valor del instrumento m/s	Corrección m/s	Incertidumbre de la medición (k=2) m/s
Velocidad	2,53	2,00	0,53	0,12
	5,10	5,00	0,10	0,13

NOTAS

1. El presente certificado ampara únicamente al instrumento sometido a calibración. Los resultados presentados son válidos para el instrumento en su estado y bajo las condiciones que prevalecieron en la calibración.
2. Como parte del servicio de atención a los clientes, favor de enviarnos sus comentarios del servicio de calibración, dudas o aclaraciones del certificado al siguiente correo: atencionalcliente@instrumentslab.com.pe.

Fin del documento

INSTRUMENTS LAB S.A.C.
I-FCV-001

Pasejo Colonial N° 800
Urb. Los Pinos - Lima 01

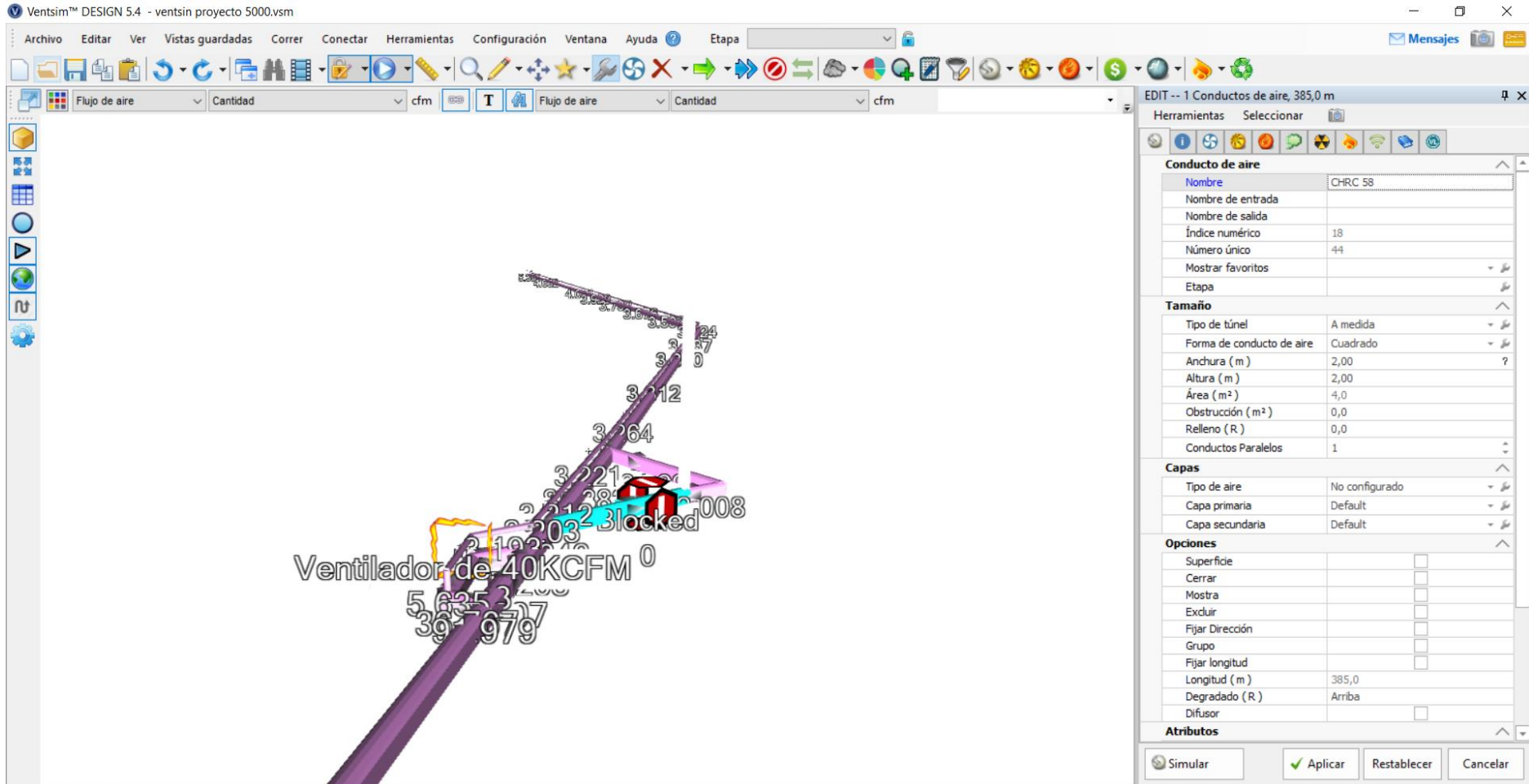
+51 1 3803085
+51 1 3803086

www.instrumentslab.com.pe
info@instrumentslab.com.pe

Página
2 de 2

Certificado de calibración de equipo Termohygroanemometro TESTO 435 - 4 de empresa minera, La Libertad.

ANEXO 10



The screenshot displays the Ventsim DESIGN 5.4 software interface. The main window shows a 3D model of a mine ventilation system with various air ducts and a fan labeled "Ventilador de 40KCFM". The interface includes a menu bar, a toolbar, and a properties panel on the right.

The properties panel, titled "EDIT -- 1 Conductos de aire, 385,0 m", contains the following information:

Conducto de aire	
Nombre	CHRC 58
Nombre de entrada	
Nombre de salida	
Índice numérico	18
Número único	44
Mostrar favoritos	
Etapa	
Tamaño	
Tipo de túnel	A medida
Forma de conducto de aire	Cuadrado
Anchura (m)	2,00
Altura (m)	2,00
Área (m ²)	4,0
Obstrucción (m ²)	0,0
Relleno (R)	0,0
Conductos Paralelos	1
Capas	
Tipo de aire	No configurado
Capa primaria	Default
Capa secundaria	Default
Opciones	
Superficie	<input type="checkbox"/>
Cerrar	<input type="checkbox"/>
Mostra	<input type="checkbox"/>
Excluir	<input type="checkbox"/>
Fijar Dirección	<input type="checkbox"/>
Grupo	<input type="checkbox"/>
Fijar longitud	<input type="checkbox"/>
Longitud (m)	385,0
Degradado (R)	Arriba
Difusor	<input type="checkbox"/>
Atributos	

Buttons at the bottom of the panel include: Simular, Aplicar, Restablecer, and Cancelar.

Tabla de información de características geofísicas en software VENTSIM de CR 5000 en empresa minera, La Libertad.

The screenshot displays the Ventsim DESIGN 5.4 interface. The main window shows a 3D model of a mine ventilation system with a purple tunnel and various components labeled with numbers. A red cube is labeled 'Blocked' and a fan is labeled 'Ventilador de 40KCFM'. The right-hand panel, titled 'EDIT -- 1 Conductos de aire, 385,0 m', contains the following data:

Herramientas	
Tipo de túnel	A medida
Forma de conducto de aire	Cuadrado
Anchura (m)	2,00
Altura (m)	2,00
Área (m ²)	4,0
Obstrucción (m ²)	0,0
Relleno (R)	0,0
Conductos Paralelos	1
Capas	
Tipo de aire	No configurado
Capa primaria	Default
Capa secundaria	Default
Opciones	
Superficie	<input type="checkbox"/>
Cerrar	<input type="checkbox"/>
Mostra	<input type="checkbox"/>
Excluir	<input type="checkbox"/>
Fijar Dirección	<input type="checkbox"/>
Grupo	<input type="checkbox"/>
Fijar longitud	<input type="checkbox"/>
Longitud (m)	385,0
Degradado (R)	Arriba
Difusor	<input type="checkbox"/>
Atributos	
Resistencia (Ns ² /m8)	0,58233 (Auto)
Resistencia de tipo	Auto
Factor de fricción (kg/m ³)	0,0121 (Auto)
Shock X	0,00 (Nulo)
Simulación	
Q (cfm)	94.628,0
V (m/s)	11,2
Pérdida P (Pa)	1.161,4
R (Ns ² /m8)	0,58233

Buttons at the bottom of the panel: Simular, Aplicar, Restablecer, Cancelar.

Tabla de información de características geofísicas en software VENTSIM de CR 5000 en empresa minera, La Libertad.