

# Planificación del sistema de ventilación y diseño 3D a largo plazo con el software 3D ventsim, caso Mina Santander – Glencore

*Planning of the ventilation system and long-term 3D design with the 3D ventsim software, case Santander – Glencore Mine*

*Planejamento do sistema de ventilação e projeto 3D de longo prazo com o software 3D ventsim, caso Mina Santander – Glencore*

Victor A. Ponce Estrada <sup>1</sup>, Elvis. J. Huaraya Manzano <sup>2</sup>

Recibido: 22/05/2022

Aceptado: 27/06/2022

**Resumen.** - En el país, uno de los mayores retos de la minería subterránea es el abastecimiento del flujo de aire requerido en los frentes de trabajo de acuerdo con el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM. En la unidad minera Santander, Glencore, la ventilación es forzada debido a la depresión que ejercen los tres ventiladores principales, 100k cfm, 160 cfm y 120k cfm; ubicados en la superficie de la mina. El requerimiento de aire limpio en esta unidad minera es de 421,940 cfm, pero el ingreso de aire limpio es de 431,145 cfm y la salida es de 432,531 cfm, implicando una cobertura de 102%.

Para cumplir, de manera transitoria, con el requerimiento de aire proyectado a largo plazo se realiza una planificación a mediano plazo; para solventar esta deficiencia de planificación, se aplica el software 3D Ventsim que calibrado al 90% la simulación del sistema de ventilación simula escenarios confiables.

En conclusión, la planificación de un sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim permite cumplir con el aire requerido a largo plazo y realizar una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.

**Palabras clave:** Software 3D Ventsim, planificación, largo plazo, Mina Santander – Glencore.

**Summary.** - In the country, one of the biggest challenges of underground mining is the supply of the air flow required in the work fronts according to D.S. 023-2016-EM and its amendment D.S. 024-2017-EM. In the Santander mining unit, Glencore, ventilation is forced due to the depression exerted by the three main fans, 100k cfm, 160 cfm and 120k cfm; located on the surface of the mine. The clean air requirement at this mining unit is 421,940 cfm, but the clean air inlet is 431,145 cfm and the outlet is 432,531 cfm, implying 102% coverage.

*In order to temporarily meet the projected long-term air requirement, medium-term planning is*

---

<sup>1</sup> Doctorado de Ciencias Ambientales; Magister en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente; Ingeniero de Minas, victoradrian\_2@hotmail.com, Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7156-1898>

<sup>2</sup> Ingeniero de Minas, huaraya.e.j@gmail.com, Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú  
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-3003-0006>

carried out; To solve this planning deficiency, the 3D Ventsim software is applied, which, calibrated at 90%, simulates the simulation of the ventilation system in reliable scenarios.

In conclusion, the planning of a ventilation system with the Ventsim design program allows to comply with the required air in the long term and to carry out a detailed evaluation of the behavior of the ventilation system in the long term.

**Keywords:** Ventsim 3D software; planning; long term, Santander – Glencore Mine.

**Resumo.** - No país, um dos maiores desafios da mineração subterrânea é o suprimento da vazão de ar necessária nas frentes de trabalho conforme D.S. 024-2016-EM e sua alteração D.S. 023-2017-EM. Na unidade de mineração do Santander, Glencore, a ventilação é forçada devido à depressão exercida pelos três ventiladores principais, 100k cfm, 160 cfm e 120k cfm; localizado na superfície da mina. A necessidade de ar limpo nesta unidade de mineração é de 421.940 cfm, mas a entrada de ar limpo é de 431.145 cfm e a saída é de 432.531 cfm, o que implica 102% de cobertura.

Para atender temporariamente à necessidade de ar projetada a longo prazo, é realizado um planejamento de médio prazo; Para solucionar essa deficiência de planejamento, é aplicado o software 3D VentSim que, calibrado a 90%, simula o sistema de ventilação em cenários confiáveis.

Em conclusão, o planejamento de um sistema de ventilação com o programa de projeto Ventsim permite atender o ar necessário a longo prazo e realizar uma avaliação detalhada do comportamento do sistema de ventilação a longo prazo.

**Palavras-chave:** Software 3D Ventsim, planejamento, longo prazo, Santander Mine – Glencore.

**1. Introducción.** - En una mina subterránea, la correcta distribución y cumplimiento de cobertura de aire limpio en los frentes de trabajo es vital en la operación, ya que incide en la salud del personal y la producción, en este sentido el D.S. 024–2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM establece que el titular de la actividad minera es el responsable del suministro de aire limpio en los frentes de trabajo de acuerdo con el requerimiento del personal y equipo. La ventilación de una mina subterránea implica controlar y dirigir el aire limpio a través de las excavaciones subterráneas, sea por ventilación natural o mecánico; por ello, en una unidad minera se debe tener como objetivo básico proveer una atmosfera saludable a todo el personal del interior de la mina, además es relevante tener en cuenta el costo de energía de la ventilación, en vista que representa del 25% al 40% del costo total energético, así como el costo de la ingeniería del circuito principal de ventilación, costos que dependen del planeamiento idóneo que se realice, en vista que una adecuada planificación del circuito de acuerdo a la explotación y tiempo de vida de la mina se evitará costos de reingeniería, y a su vez, cumplir con el requerimiento de caudal de aire en los frentes de trabajo.

**1.1. Aspectos que se deben tener en cuenta en minas como la UEA Santander, Glencore.**- La Empresa Minera “Los Quenuales” con su unidad administrativa económica Santander (UEA Santander), ubicada en la provincia Huaral, departamento de Lima; actualmente, esta unidad minera cuenta con un LOM (life of mine) de cinco años, su sistema de ventilación es forzado, donde está conformado por dos ventiladores extractores de 100,000 cfm ubicados en el RB-VENT - 4670 (Magistral Norte) y RB-VENT - 4529 (Magistral sur) y con un ventilador de 160,000 cfm ubicado en el RB-VENT- 4310 (Magistral Central), todos los ventiladores extractores se encuentran en superficie. Los ingresos de aire comprende tres bocaminas y un crucero –BM Magistral Norte, BM Magistral Centro, BM Magistral Sur y CX-4040–, el requerimiento actual es de 421,940 cfm y se tiene un ingreso de 431,145 cfm de aire fresco, entregando una cobertura del 102%, al incrementar la producción actual de 1,800 TMD (toneladas métricas por día) a 2,200 TMD que implica el incremento de cinco volquetes Mercedes Benz modelo Actros 3344k 6x4 representando un requerimiento de aire de 159,932 cfm; Un Scoop de 6.3 Yds<sup>3</sup> que representa un requerimiento de aire de 15,466 cfm y 11 trabajadores representando 2,331 cfm de aire, un total de 177,728 cfm de aire limpio, es por ello que es necesario la planificación del sistema de ventilación a largo plazo.

Actualmente, para la planificación del sistema de ventilación en las minas subterráneas se tiene disponibles herramientas 3D, como el software *Ventsim*, esta herramienta analiza a mayor detalle el comportamiento del flujo de aire en los proyectos planteados, así como también una evaluación de numerosos escenarios más viables para la operación, representando un importante ahorro de tiempo. Herramienta tecnológica que la unidad minera Santander, Glencore no cuenta, limitando la planificación del requerimiento de ventilación a largo plazo. Por ello, es necesario realizar en unidad minera Santander, Glencore un modelamiento, caracterización y simulación del sistema de ventilación con el soporte del software *Ventsim Design* que permita planificar a largo plazo los proyectos de ventilación en esta unidad minera.

Ventilación de minas, refiere McPherson (2016) [7], es el transporte de aire a través de las galerías, cruceros y rampas hacia un frente de trabajo, donde el aire contaminado se direcciona hacia una salida a fin de evitar la recirculación, de manera que la ventilación de minas tiene por objeto proveer aire limpio en los frentes de trabajo y tránsito. Con el sistema de ventilación de minas el aire fresco ingresa a través de uno o más pozos de admisión, galerías, rampas, socavones u otras conexiones con la superficie; de manera que el aire fluye a través de los conductos de ingreso hacia las áreas o lugares de trabajo, donde se suman los contaminantes del aire, como polvo, gases tóxicos o inflamables, calor, humedad o radiación; este aire contaminado circula a lo largo de los conductos de retorno, evitando que la concentración de los contaminantes exceda los valores límites que tipifica la ley y la seguridad del personal que circula en todo el sistema de ventilación. Los

conductos de ingreso de aire fresco y los de retorno de aire son los ingresos y retornos respectivamente; el aire de retomo regresa a la superficie a través de uno i más pozos de salida o por las galerías inclinadas u horizontales.

En este sentido, frente a la necesidad de mejorar la planificación a largo plazo del sistema de ventilación de las minas subterráneas, a fin de satisfacer la demanda de aire proyectada y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo con los requerimientos de la unidad minera Santander, Glencore con el soporte del software Ventsim™ Design.

El uso del software Ventsim™, conforme a la experiencia de Derrington (2015) [4] que experimentado con el uso del Ventsim para diseñar y solucionar problemas de planificación a largo plazo de la ventilación en minas, con este software ha integrado una amplia gama de tipos de flujos de aire, calor, fuego y funciones de modelamiento de radiación, que antes requerían programas y cálculos externos, valorándose la nitidez de los gráficos en 3D y la rápida caracterización de un modelo, valiéndose de la importación de archivos con el diseño de tu mina.

Corimanya (2011) [3] precisa que el software Ventsim™, puede ser usado para determinar:

- Los flujos de aire y sus sentidos de avance en las labores proyectadas y determinar los cambios en presiones y caudales cuando nuevas labores son añadidas al modelo.
- Cambios de velocidades del aire en las diferentes labores.
- Los puntos de operación de los ventiladores, los requerimientos de energía eléctrica y otros factores económicos.
- Caídas de presión del aire en los conductos primarios y auxiliares indicando alternativas de mejora en los circuitos.
- Evitar gastos innecesarios en construcción de chimeneas inadecuadas, ya sea por su mala ubicación o tamaño inadecuado.
- Generar un sistema de ventilación eficiente y económica, para ello se debe tener un buen conocimiento de geología y el método de explotación usado en la mina; el programa por sí solo no generara un sistema de ventilación eficiente, se necesita de la lógica y la experiencia del ingeniero para generar dicho sistema (Corimanya y Méndez, 2011) [3].
- El software *Ventsim Design* es una herramienta potente para modelar y simular escenarios a futuro del sistema de ventilación de la mina, teniendo en cuenta siempre la calibración del modelo, que tiene que estar en un 90%, para la confiabilidad de los escenarios simulados. Facilita la visualización de velocidades, recirculación de aire, variación de temperaturas, presiones, distribución de caudal, dando al usuario un análisis completo y una mejor evaluación del comportamiento del flujo en su sistema de ventilación, así como la simulación de escenarios, que conlleva a una mejor planificación del sistema de ventilación de la mina, evitando problemas de requerimiento de aire y reingeniería a futuro.
- La planificación del sistema de ventilación de minas, tal como refiere McPherson (2016) [7], el diseño de un sistema principal de ventilación y control ambiental subterráneo es un proceso complejo con muchos factores interactivos. Se deben aplicar los principios de los análisis de sistemas para asegurar que las consecuencias de tales interacciones no sean pasadas por alto. Sin embargo, la ventilación y el entorno subterráneo no deben ser tratados por separado sino durante los ejercicios de planificación.
- La consideración de los esquemas de ventilación es fundamental en el proceso de planificación a medio y largo plazo de la mina, dado que la correcta planificación, permite reducir costos en infraestructura minera (Luque, 2005) [6].

**2. Materiales y Métodos.** - Según la naturaleza del estudio, es aplicada, dado que se realizó una investigación que demuestra los resultados de la toma de data en campo, plasmado en una herramienta 3D con un nivel de calibración del 90% el comportamiento del sistema de ventilación de la mina Santander es real a lo que sucede en la mina. Es de enfoque cuantitativo, utiliza datos numéricos y la recopilación de información es objetiva y precisa usando instrumentos válidos y confiables. De diseño transversal ya que la toma de datos se realizó en un momento dado. El nivel de investigación es predictivo.

La mina ubicada al noreste de Lima con redes regionales acceso de carreteras por Huaral, Cerro de Pasco y Canta. El levantamiento de data, tapones, compuertas, ventiladores auxiliares, ventiladores principales, obstrucciones y orificios del sistema de ventilación se realizó del 12 al 22 de agosto del 2017, La validación de la calibración del sistema de ventilación en el software Ventsim se realizó el 15 de noviembre del 2017. Se trabajó con toda la población, realizando siete estaciones principales en los ingresos y salidas de aire, 154 estaciones secundarias en toda la red del sistema (accesible) se midió la velocidad de aire, concentración de oxígeno, condiciones termo ambientales, resistencias y dirección del flujo de aire en los siguientes niveles, que cuentan con cuatro pisos o subniveles cada nivel: Nv. 4230, Nv. 4300, Nv. 4370, Nv. 4440, Nv. 4510, Nv. 4580.

Los instrumentos para iniciar con la recolección de datos de la toma de datos en campo, y plasmado en el software Ventsim con un nivel de calibración del 90% el comportamiento del Sistema de ventilación de la mina Santander es real a lo que sucede en la mina. El procedimiento se describe a detalle de la forma correcta del levantamiento de data del sistema de ventilación principal y secundaria. La información primaria brindada por los datos de campo se evaluó superficialmente; luego se le dio una confiabilidad adecuada, para lo cual se utilizó diversas herramientas digitales; en la Figura I, se visualiza el procedimiento de este proyecto, detallando los trabajos realizados en cada etapa.

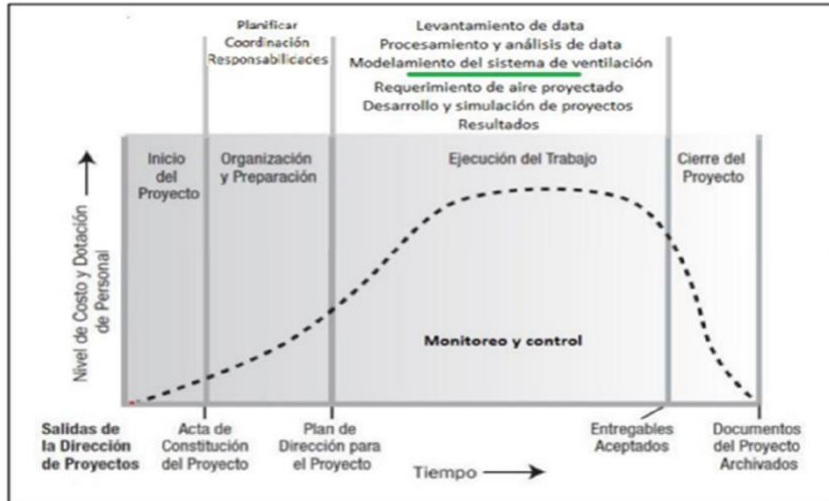


Figura I.- Procedimiento del estudio - proceso del proyecto.

El levantamiento del sistema de ventilación es un proceso sistemático de evaluación de las condiciones de mina a través de un planteamiento de captura de una línea base en un determinado momento. Incluye así mismo el levantamiento de los aforos de la mina (ingreso y salida), levantamiento del circuito principal y secundario como velocidad del aire, sección de la labor,

presión, parámetros medioambientales, factor de fricción de las labores, condición de labores, condición de trabajo de los ventiladores, características de los ventiladores y las mangas de ventilación, se realiza al mayor detalle posible para la caracterización en la herramienta 3D.

El procesamiento y análisis de data recopilada en campo, velocidad, presión, secciones, parámetros ambientales y detalles de las labores se realizó con herramientas digitales como Excel, AutoCAD y el D.S.024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM.

**3. Resultados y Discusión.** - Procesados los datos, se procedió al modelado 3D del sistema de ventilación con el software *Ventsim Design 5*, tal como se muestra en la Figura II y Figura III, para realizar el modelamiento de los conductos del sistema de ventilación que comprende toda la mina, se detalla cruceros, galerías, chimeneas, rampas, compuertas, reguladores, obstrucciones, dimensión de labores y caracterización de ventiladores.

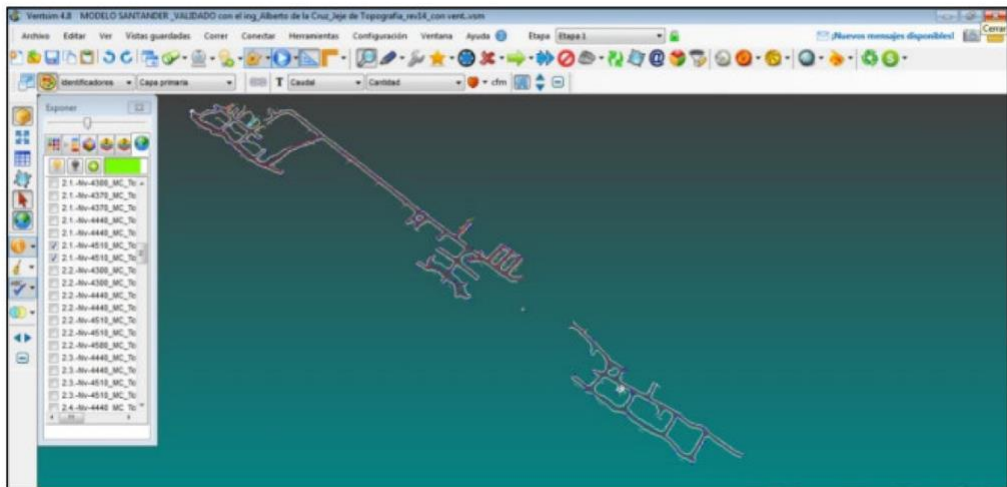


Figura II.- Importación de datos topográficos DXF.

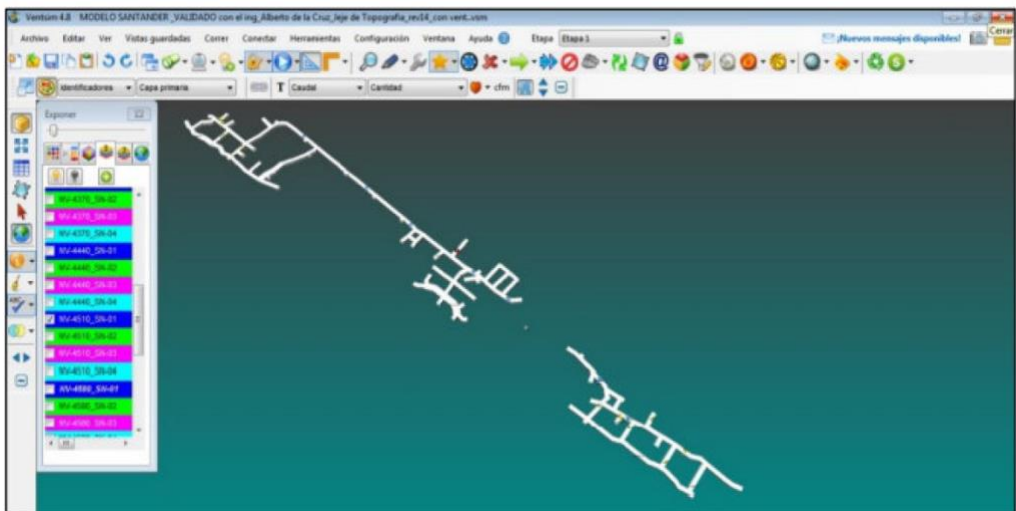


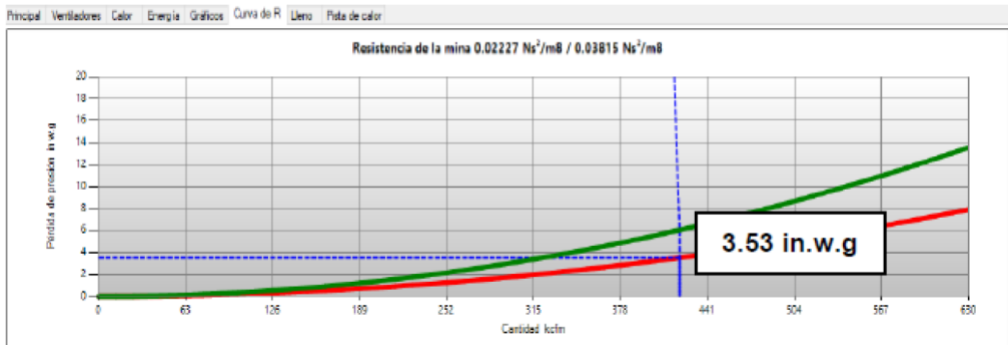
Figura III.- Conversión de DXF a Galerías, cruceros, by pass.

En la Figura IV se muestra el resumen del estado del sistema actual, observándose que el balance general de ingresos y salidas de la mina, el caudal de aire que ingresa al sistema es de 419,005 cfm, también se tiene la resistencia de la mina (Figura V), la longitud total de las labores y demás parámetros calculados por el software Ventsim Visual Avanzado, que permite el análisis de las diversas variaciones del sistema de ventilación.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	0: Modelo Actual
Todos los conductos de aire	5852
Actual etapa conductos	4588
Segmentos de etapa actual	2310
Longitud total	43,296.3 m
Caudal de aire total de admisión	419,005 cfm
Caudal de aire total de escape	422,749 cfm
Flujo de masa total	138.55 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.02251 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.03840 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	403.5 hp Total
	144.3 hp Chimenea
	92.2 hp Conducir
	167.0 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
<b>Potencia eléctrica de ENTRADA</b>	<b>706.6 hp</b>
<b>Costo de energía anual de la red</b>	<b>\$ 452,343</b>
<b>Eficiencia de la red</b>	<b>57.1 %</b>
<b>Que consta de ...</b>	
13 Ventiladores	706.6 hp

Nota. Modelo Ventsim

Figura IV.- Resumen del sistema actual – Ventsim.

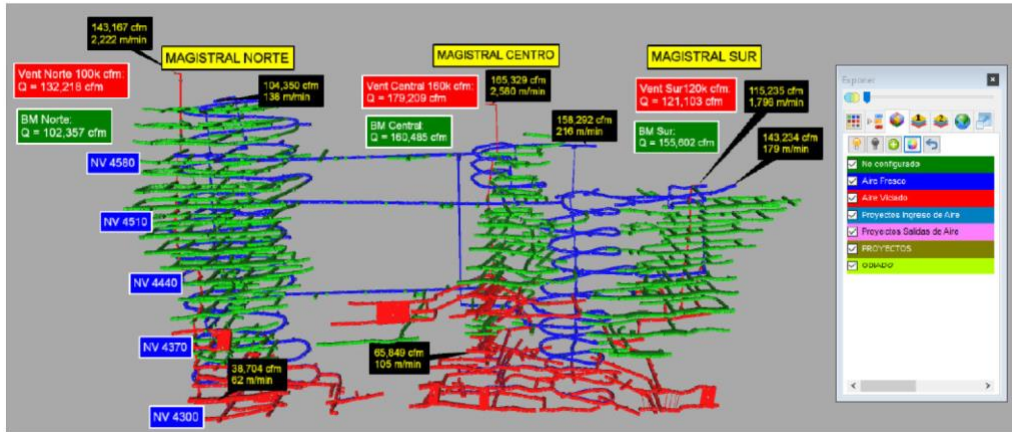


Nota. Modelo Ventsim

Figura V.- Resistencia de la mina en Ventsim.

En la Figura VI se muestra el sistema de ventilación actual con sus respectivos ingresos y salidas de aire.





Nota. Modelo Ventsim

Figura VI.- Circuito de sistema de ventilación actual de aire limpio y viciado.

Considerando que el aire requerido a largo plazo, con el incremento de 11 trabajadores y 6 equipos, de acuerdo con el D.S. 023-2017 EM en su artículo 252, la cobertura global de aire se proyecta respecto al actual en 69%, representando un déficit de 195,182 cfm, tal como se muestra en la Tabla I.

Balance Total de Aire a Largo Plazo en Base al Sistema Actual		
Distribución de Aire	m3/min	cfm
Total de aire requerido	17,735	626,327
Ingreso de aire	12,209	431,145
Salida de aire	12,248	432,531
<b>Cobertura (%)</b>	<b>69%</b>	
<b>Déficit (cfm)</b>	<b>195,182</b>	

Nota. Elaboración propia.

Tabla I.- Balance del aire actual.

En la Tabla II se visualiza los caudales de ingreso de aire fresco de 678,400 cfm y en la Tabla III la salida de aire viciado de 698,500 cfm proyectados para largo plazo.

Estac.	Nivel-Piso	UBICACIÓN		SECCIÓN	AREA	VELOCIDAD		Caudal Campo		Distrib.		
		Labor	Detalle			a (m)	h (m)	FORMA	m2		m/s	m/min
EVP-01	4580-4	RP(-)4577	BM Magistral Norte	5.47	3.98	BAUL	20.42	2.85	171	3,494	123,400	18.2%
EVP-02	4580-1	BP-4580	BM Magistral Centro	5.40	3.95	BAUL	20.01	6.83	410	8,198	289,500	42.7%
EVP-03	4510-2	RP(-)4005	BM Magistral Sur	4.87	4.46	BAUL	20.37	3.25	195	3,970	140,200	20.7%
EVP-04	Superf.	RB-02 (nuevo)	BM Magistral Centro	3.10	Φ	BAUL	7.54	7.84	471	3,548	125,300	18.5%
<b>TOTAL INGRESO</b>										<b>19,210</b>	<b>678,400</b>	<b>100.0%</b>

Nota. Elaboración propia.

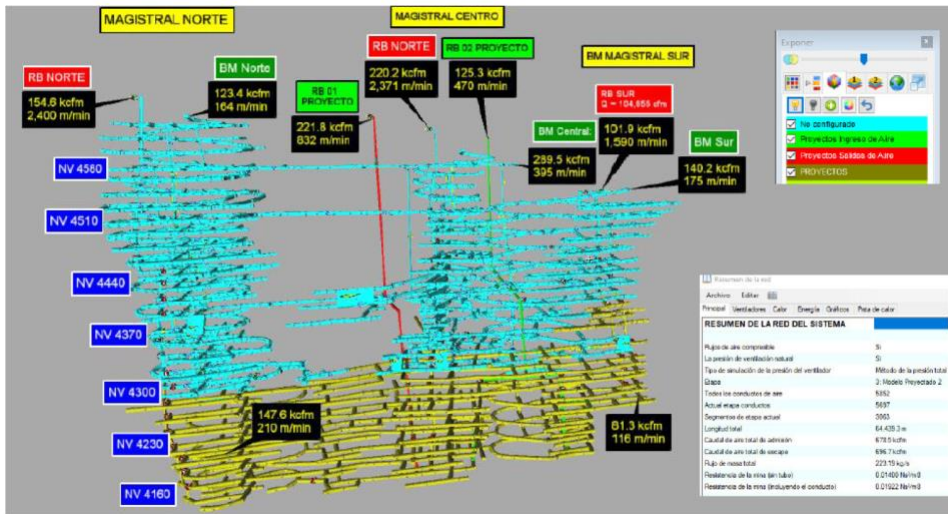
Tabla II.- Ingreso de aire fresco proyectado a largo plazo.



Estac.	UBICACIÓN		Detalle	SECCIÓN		VELOCIDAD		Caudal Campo		Distrib.
	Nivel	Labor		Ø	m2	m/s	m/min	m3/min	cfm	
EVP-01	Superf.	RB-VENT-4670	VAV-60-30-1750-II-B-160 kcfm-Magistral-Norte	2.05	3.30	22.11	1,326	4,378	154,600	22.1%
EVP-02	Superf.	RB-VENT-4310	2 VENT.-VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm-Magistral-Centro	2.05	3.30	31.49	1,889	6,235	220,200	31.5%
EVP-03	Superf.	BM Magistral Sur	VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm-Magistral-Sur	2.05	3.30	14.57	874	2,885	101,900	14.6%
EVP-04	Superf.	RB-01 (nuevo)	VAV-84-43-1150-II-B-Magistral-Centro	2.13	3.56	29.38	1,763	6,281	221,800	31.8%
<b>TOTAL SALIDA</b>								<b>13,499</b>	<b>698,500</b>	<b>100%</b>

Nota. Elaboración propia.  
 Tabla III.- Salida de aire viciado proyectado a largo plazo.

En la Figura VII se muestra el sistema de ventilación proyectado a largo plazo.



Nota. Modelo Ventsim  
 Figura VII.- Sistema de ventilación proyectado a largo plazo.

Para cubrir el 100% de cobertura de aire fresco a largo plazo de acuerdo con el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, con el requerimiento de aire de 626,327 cfm, es necesario incrementar la capacidad de aire limpio con un plan de proyectos de transición de mediano a largo plazo: en la Tabla IV se visualiza la evolución del balance con los proyectos planteados.

Item	Descripción	Actual	Mediano plazo	Largo plazo
1	Ingreso de aire	431, 940	482, 646	678, 400
2	Requerimiento de aire	421, 940	421, 940	626, 327
3	Balance	102%	114%	108%

Nota. Elaboración propia.  
 Tabla IV.- Variación de caudal de ingreso y balance actual – mediano y largo plazo.

De manera que los principios básicos para la planificación y diseño 3D del sistema de ventilación a largo plazo, caso estudio mina Santander – Glencore a tenerse en cuenta, según aprecia Corimanya & Oyola (2017) [2] en su experiencia enfatizan que se debe planificar el sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim para cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo. Se debe diseñar la ventilación para el corto y mediano plazo de la explotación de la mina subterránea, donde se contemplan un nuevo escenario con la introducción de los equipos; el diseño del circuito de ventilación se basó con la aplicación del software Ventsim 4.8, que tiene funciones de diseñador de labores. Por su parte Carrasco (2017) [1] se debe diseñar en una herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore para una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo. Cabe señalar que Corimanya (2011) [3] refiere que en la Mina San Cristóbal se utiliza el Programa VNET PC para generar circuitos principales para labores actuales y futuras. En el planeamiento de la ventilación, un simulador es una herramienta de trabajo que nos ayuda representar la mina por un modelo numérico que puede ser usado para predecir los requerimientos de ventilación. Y por su parte Guillen (2016) [5] condice con los antes referidos quien sostiene que diseñar un sistema de ventilación a través de un simulador es una técnica viable y confiable, evitando gastos innecesarios en equipos e infraestructura.

**4. Conclusiones.** - Con la adecuada planificación bajo el soporte del software Ventsim, se cumple con el requerimiento de aire fresco a largo plazo y permite la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo con los avances en la unidad minera Santander, Glencore; con una cobertura de aire al 108%, de esta manera se cumple con el requerimiento establecido en el D.S. 024 - 2016 – EM y su modificatoria D.S. 023 - 2017 – EM.

La planificación del sistema de ventilación a largo plazo con el soporte de la herramienta 3D Ventsim con una calibración de 90% de los datos tomados en campo, garantiza el requerimiento de aire proyectado y tener el sistema de ventilación proyectado en el software Ventsim que ayuda evaluar el comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances en el sistema. Al elaborar proyectos del sistema de ventilación a largo plazo con el soporte del software Ventsim permite cumplir con el requerimiento de aire proyectado a largo plazo.

## 5. Referencias

- [1] Carrasco, J. (2017). “Reformulación del sistema de ventilación del proyecto mina Chuquicamata subterránea.” *Simposio Internacional de Ventilación de Minas*.
- [2] Corimanya, J.A. y Oyola, H. (2017). “Estudio del Proyecto de Mejoramiento de Ventilación”, Mina Chavincha, Ayacucho - Perú. *Simposio Internacional de Ventilación de Minas*.
- [3] Corimanya, J. A., & Méndez, F. R. (2011). “Planeamiento de Ventilación Asistida para la Unidad Peruana San Cristóbal- Cía. Minera San Cristóbal.” [Tesis de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Universidad Nacional de Ingeniería].
- [4] Derrington, A. (2015). “La solución definitiva del diseño de ventilación de minas”, Howden
- [5] Guillen, C. (2016). “Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas minera Hemco– Nicaragua.” Universidad Nacional de Ingeniería.
- [6] Luque, V. (2005). “Manual de ventilación de minas.” Madrid, España: PEDECA, S. Coop, Ltda.
- [7] McPherson, M. (2016). “Ingeniería de ventilación subterránea.” California, Estados Unidos: Omnipres

### Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

VAPE ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

EAHM ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

**Nota de aceptación:** Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.