UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN A LARGO PLAZO, CASO ESTUDIO MINA SANTANDER - GLENCORE

TESIS
PRESENTADO POR:

BACH. ELVIS JOVITO HUARAYA MANZANO

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ
2021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

UNAM SECRETARIA GENERAL

Folio N° 020

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 0109-2021-FACIO-UNAM

Fecha: 13.12.2021

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
" PLANIFICACIÓN Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN A LARGO PLAZO, CASO ESTUDIO MINA SANTANDER - GLENCORE"

Bachiller: ELVIS JOVITO HUARAYA MANZANO

Asesor Principal: MGR. VICTOR ADRIAN PONCE ESTRADA

Co-Asesor : —

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [X]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [ ] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:20 horas, del 14 de DICIEMBRE del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
MARCOS LUIS QUISPE PEÑER
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Arquímedes León Vargas Luque
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
ELVIS JOVITO HUARAYA MANZANO
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mis padres por haberme formado con esta mentalidad disruptiva y en especial mi madre quien fue incondicional en mi formación profesional y personal, que estuvo lleno de retos, todos mis logros los debo a ella.

Agradecimientos

Agradezco la enseña y confianza por los catedráticos de la Universidad Nacional de Moquegua de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

A mis colegas profesionales de especialidad ventilación de minas por sus consejos, enseñanzas, aportaciones y sus valiosas críticas para el desarrollo de este proyecto.

A mi equipo en el proyecto en la Unidad Minera Santander, Glencore, por su apoyo y aporte en la explicación de este documento.

A mi asesor y jurados por su tiempo dedicado para el desarrollo de mi proyecto.

Y por último, pero no menos importante, un eterno agradecimiento a mí mismo.

RESUMEN

En la minería subterránea nacional uno de los mayores retos es el abastecimiento del flujo de aire requerido en los frentes de trabajo de acuerdo al D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, el área de ventilación es uno de los que tiene mayor consumo de energía siendo este una representación de 30% de los costos en energía en mina. Así como también si no se tiene una adecuada ventilación en los frentes de trabajo el avance y la producción paraliza, siendo por este motivo la importancia de una adecuada planificación del sistema de ventilación.

La unidad minera Santander, Glencore, ubicada en la provincia Huaral, departamento de Lima, actualmente cuenta con seis (06) NVs Operativos siendo éstas: 4580, 4510, 4440, 4370, 4300 y 4320. Cada NV integra cuatro (04) Pisos o Sub niveles. De ellos el NV-4230 solo cuenta con un Piso 4 en avance y desarrollo a la profundización. Actualmente, la producción se encuentra entre los Niveles 4230 (Piso 4), 4300 (Piso 1-4), 4370 (Piso 2-3), correspondiente a VETA MAGISTRAL NORTE, VETA MAGISTRAL CENTRO y VETA MAGISTRAL SUR, la dirección del mineral es hacia la zona central y zona sur, profundización.

La ventilación de la unidad minera Santander, es forzada debido a la depresión que ejercen tres (03) ventiladores principales: 100k cfm, 160 cfm y 120k cfm; ubicados todos en superficie mina. Por tanto, su requerimiento de aire limpio es de 421,940 cfm, Se tiene un ingreso de aire limpio de 431,145 cfm y una salida de 432,531 cfm, contando con una cobertura de 102%.

De acuerdo a la gerencia se planifica a largo plazo incrementar la producción actual de 1800 TMD (toneladas métricas por día) a 2,200 MTD, Lo cual implicará el incremento de seis (06) volquetes, 1 Scoop de 6.3 Yd3 y 11 trabajadores, representando un incremento de aire limpio de 177,728 cfm. Siendo entonces un requerimiento a largo plazo de aire limpio de 626,327 cfm, el cual respecto al ingreso de aire actual de 421,940 cfm, se tendrá una cobertura de 69% en condiciones actuales del sistema de ventilación.

Para cumplir con el requerimiento de aire proyectado a largo plazo se realiza una planificación a mediano plazo el cual será una transición para el

cumplimiento del requerimiento del aire proyectado a largo plazo. Para esto se usa el soporte de la herramienta 3D Ventsim.

A mediano plazo el requerimiento de aire freso es de 421,940, La planificación a mediano plazo comprende en la reubicación de ventiladores principales, en el magistral norte se colocará el ventilador de 160k cfm que actualmente está ubicado en el magistral centro. En el magistral centro se instalará 2 ventiladores de 120k cfm, 1 ventilador de 120k cfm se traslada del magistral sur. En el magistral sur se instalará el ventilador de 100k cfm que está en el magistral norte. Con esta reubicación de ventiladores se consigue un ingreso de aire 482,646 cfm, siendo una cobertura de 114%.

El sistema de ventilación a largo plazo debe abastecer el caudal de aire requerido por los equipos y personal que se implementara por lo cual el requerimiento de aire limpio a largo plazo es de 626,327 cfm, de acuerdo a la planificación a largo plazo se desarrollará un raise boring (RB) principal en la zona central, de un diámetro de 3.10m, el cual será la troncal principal para el abastecimiento de aire limpio en las labores de profundización para a la zona central y sur, donde se encuentra las reservas de mineral, en este RB se instalará un ventilador de 200k cfm, con el cual se tendrá un ingreso de aire de 678,400cfm, representando una cobertura de 108% y un superávit de 52,073 cfm.

Con el ingreso de aire proyectado con los proyectos planteados se cumple el flujo de aire limpio requerido de acuerdo al D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM.

De nuestro objetivo general del presente proyecto podemos concluir que la planificación del sistema de ventilación a largo plazo con el soporte del software Ventsim, garantiza cumplir con el requerimiento de aire proyectado a largo plazo y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances en la unidad minera Santander, Glencore.

La simulación del sistema de ventilación en la herramienta 3d Ventsim, calibrado al 90%, nos permite poder simular escenarios confiables de proyectos de sistema de ventilación a largo plazo.

De acuerdo a nuestro objetivo específico 01 podemos concluir que la planificación de un sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim permite cumplir con el aire requerido a largo plazo. Elaborando distintos proyectos de ventilación para suministrar el flujo requerido de aire.

De nuestro objetivo específico 02 podemos concluir que diseñar en una herramienta 3D el sistema de ventilación permite realizar una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.

Significa que la simulación del sistema de ventilación en la herramienta 3d Ventsim nos permite revisar el caudal y velocidad de flujo de aire que llegan a las labores.

ABSTRAC

In the national underground mining one of the greatest challenges is the supply of the required air flow in the work fronts according to the D.S. 024-2016-EM and its amendment S.D. 023-2017-EM, the ventilation area is one of those with the highest energy consumption, this being a representation of 30% of the energy costs in the mine. As well as if there is not adequate ventilation in the work fronts, progress and production paralyzes, being for this reason the importance of adequate planning of the ventilation system.

The Santander mining unit, Glencore, located in the Huaral province, department of Lima, currently has six (06) Operating NVs, these being: 4580, 4510, 4440, 4370, 4300 and 4320. Each NV integrates four (04) Floors or Sub levels. Of these, the NV-4230 only has a 4th Floor in advance and development to deepening. Currently, the production is between Levels 4230 (Floor 4), 4300 (Floor 1-4), 4370 (Floor 2-3), corresponding to VETA MAGISTRAL NORTE, VETA MAGISTRAL CENTRO and VETA MAGISTRAL SUR, the direction of the mineral is towards the central zone and south zone, deepening.

The ventilation of the Santander mining unit is forced due to the depression exerted by three (03) main fans: 100k cfm, 160 cfm and 120k cfm; all located on the mine surface. Therefore, its clean air requirement is 421,940 cfm. It has a clean air inlet of 431,145 cfm and an outlet of 432,531 cfm, with a coverage of 102%.

According to the management, it is planned in the long term to increase the current production from 1800 TMD (metric tons per day) to 2,200 MTD, which will imply the increase of six (06) dump trucks, 1 Scoop of 6.3 Yd3 and 11 workers, representing a 177,728 cfm clean air increment. Being then a long-term requirement of clean air of 626,327 cfm, which with respect to the current air intake of 421,940 cfm, there will be a coverage of 69% in current conditions of the ventilation system.

To meet the projected long-term air requirement, a medium-term planning is carried out, which will be a transition to fulfill the projected long-term air requirement. For this, the support of the 3D Ventsim tool is used.

In the medium term, the fresh air requirement is 421,940. Medium-term planning includes the relocation of main fans, in the masterful north the 160k cfm fan that is currently located in the masterful center will be placed. In the masterful center, 2 120k cfm fans will be installed, 1 120k cfm fan will be moved from the masterly south. In the masterful south, the 100k cfm fan that is in the master north will be installed. With this relocation of fans, an air intake is achieved 482,646 cfm, being a coverage of 114%.

The long-term ventilation system must supply the air flow required by the equipment and personnel to be implemented, so the long-term clean air requirement is 626,327 cfm, according to the long-term planning a raise will be developed. main boring (RB) in the central zone, with a diameter of 3.10m, which will be the main backbone for the supply of clean air in the deepening work for the central and southern zone, where the mineral reserves are located, in this RB a 200k cfm fan will be installed, with which an air intake of 678,400cfm will be installed, representing a coverage of 108% and a surplus of 52,073 cfm.

With the air intake projected with the proposed projects, the clean air flow required according to the D.S. 024-2016-EM and its amendment S.D. 023-2017-EM.

From our general objective of this project we can conclude that the planning of the long-term ventilation system with the support of the Ventsim software, guarantees to meet the projected long-term air requirement and the evaluation of the behavior and sensitivity of the air flow according to to the advances in the Santander mining unit, Glencore.

The simulation of the ventilation system in the 3d Ventsim tool, calibrated at 90%, allows us to simulate reliable scenarios of long-term ventilation system projects.

According to our specific objective 01 we can conclude that the planning of a ventilation system with the Ventsim design program allows to fulfill the required air in the long term. Developing different ventilation projects to supply the required air flow.

From our specific objective 02 we can conclude that designing the ventilation system in a 3D tool allows a detailed evaluation of the long-term behavior of the ventilation system.

It means that the simulation of the ventilation system in the 3d Ventsim tool allows us to check the flow rate and speed of the air flow that reaches the work.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 2

1.1.1 Formulación del problema general 3

1.1.2 Formulación del problema específico 3

1.2 ANTECEDENTES 3

1.2.1 Antecedentes a nivel nacional 3

1.2.2 Antecedentes a nivel internacional 5

1.2.3 Antecedentes Legales 6

1.3 OBJETIVOS 6

1.3.1 Objetivo general 6

1.3.2 Objetivo específico 7

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 7

1.4.1. Justificación teórica 7

1.4.2. Justificación práctica 7

1.4.3. Justificación metodológica 7

1.4.4. Justificación Legal 8

1.5 HIPÓTESIS 8

1.5.1 Hipótesis general 8

1.5.2 Hipótesis específica 8

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 8

II. MARCO TEÓRICO 11

2.1 BASE TEÓRICA 11

2.1.1 Ubicación del de la mina Santander - Glencore 11

2.1.2 Parámetros actuales de operación 11

2.1.3 Parámetros de Medio Ambiente 12

2.1.4 Método de medición de flujo de aire 12

2.1.5 El aire 14

2.1.6 Ventilador 14

2.1.7 Curva característica del ventilador 14

2.1.8 Ventilación de minas 15

2.1.9 Ventilador centrífugo 16

2.1.10 Ventilador axial 16

2.1.11 Ecuación de Atkinson y la ley cuadrática 17

2.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN ACTUAL DE LA MINA SANTANDER 19

2.3 INVENTARIO DE VENTILADORES PRINCIPALES Y AUXILIARES 21

2.4 LISTA DE PERSONAL Y EQUIPOS ACTUALES 22
2.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 24
III. MÉTODO 25
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN. 25
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL. 26
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA. 26
3.4 INSTRUMENTOS. 27
3.5 PROCEDIMIENTOS. 28
3.5.1 Procedimiento de estudio *28*
3.5.2 Levantamiento de data. *31*
3.6 ANÁLISIS DE DATOS 38
IV. RESULTADOS 39
4.1 LEVANTAMIENTO DE VENTILACIÓN 39
4.1.1 Estación principal – ingreso de aire *39*
4.1.2 Estación principal – salida de aire *39*
4.1.3 Análisis velocidad de aire en estaciones auxiliares *40*
4.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MINA 44
4.3 COSTO DE ENERGÍA POR VENTILACIÓN ACTUAL 45
4.4 OPERATIVIDAD DE VENTILADORES 47
4.4.1 VENTILADOR DE MAGISTRAL NORTE 47
4.4.2 VENTILADOR CENTRO 48
4.4.3 VENTILADOR SUR 50
4.5 REQUERIMIENTO DE AIRE GLOBAL ACTUAL 52
4.5.1 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LOS TRABAJADORES 52
4.5.2 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EQUIPOS PETROLEROS -DIÉSEL 52
4.5.3 REQUERIMIENTO POR CONSUMO DE MADERA 53
4.5.4 REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA 54
4.5.5 REQUERIMIENTO POR FUGAS 54
4.5.6 REQUERIMIENTO TOTAL DE AIRE ACTUAL 54
4.6 BALANCE DE AIRE ACTUAL 54
4.7 MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN ACTUAL 55
4.7.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO 3D 56
4.7.2 GRADO DE CALIBRACIÓN 57
4.7.3 CORRELACIÓN DE AFOROS 58
4.7.4 CORRELACIÓN DE ESTACIONES SECUNDARIAS 60
4.7.5 RESUMEN ESTADO ACTUAL – MODELO VENTSIM VISUAL™ AVANZADO 63
4.7.6 POTENCIA INSTALADA – GLOBAL 64
4.7.7 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA 64
4.7.8 CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN ACTUAL DE LA MINA 64
4.8 REQUERIMIENTO DE AIRE PROYECTADO A LARGO PLAZO 67
4.8.1 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LOS TRABAJADORES 67
4.8.2 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EQUIPOS PETROLEROS -DIÉSEL 67
4.8.3 REQUERIMIENTO POR CONSUMO DE MADERA 69

4.8.4 REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA 69
4.8.5 REQUERIMIENTO POR FUGAS 69
4.8.6 REQUERIMIENTO GLOBAL DE AIRE PROYECTADO 69
4.9 BALANCE DE AIRE ACTUAL VS REQUERIMIENTO PROYECTADO A LARGO PLAZO 70
4.10 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 70
4.11 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON PROYECTO MEDIANO PLAZO (2021-2022) 70
4.12 COSTO DE ENERGÍA POR VENTILACIÓN A MEDIANO PLAZO 76
4.12.1 BALANCE Y COBERTURA A MEDIANO PLAZO 79
4.12.2 INVERSIÓN A MEDIANO PLAZO CAPEX Y OPEX 80
4.13 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON PROYECTO A LARGO PLAZO – 2 AÑOS 82
A. EVALUACIÓN DE LA ZONA DE FALLAS DE LA MINA SANTANDER – GLENCORE 83
B. MINERALIZACIÓN EN SANTANDER – GLENCORE 83
C. UBICACIÓN DE PROYECTO 85
D. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DE LAS CHIMENEAS RB 01 Y RB 02 87
E. SIMULACIÓN EN VENTSIM VISUAL AVANZADO 90
F. DESARROLLO DEL EJE DE SALIDA RB-01 Y EJE DE INGRESO RB-02 93
G. INSTALACIÓN DEL VENTILADOR DE 200 KCFM EN RB-01 - MG. CENTRO 95
4.13.1 INGRESO Y SALIDA DE AIRE PROYECTADO A LARGO PLAZO 95
4.13.2 COSTO DE ENERGÍA POR VENTILACIÓN A LARGO PLAZO 95
4.13.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN PROYECTADO A LARGO PLAZO 96
4.13.4 BALANCE Y COBERTURA A LARGO PLAZO 100
4.13.5 INVERSIÓN A LARGO PLAZO CAPEX Y OPEX 100
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 103
5.1. BALANCE DE AIRE A LARGO PLAZO 103
5.2. COSTO DE ENERGÍA ANUAL A LARGO PLAZO 103
5.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS 103
5.3.1. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL 103
5.3.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 01 111
5.3.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 02 116
VI. CONCLUSIONES 120
VII. RECOMENDACIONES 122
VIII. REFERENCIAS 123
IX. ANEXOS 124
9.1. LEVANTAMIENTO DE VENTILACIÓN 124
9.2. DATA DE CORRELACIÓN DE ESTACIONES 130

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 *Ubicación de la unidad minera Santander. 11*
Figura 2 *Puntos de medición para un recorrido transversal de punto fijo en una abertura rectangular. 13*
Figura 3 *Posición de medición para un recorrido transversal de un ducto circular 13*
Figura 4 *Curva característica de ventilador Tomocorp. 14*
Figura 5 *Ventilación de minas. 15*
Figura 6 *Ventilador centrífugo 16*
Figura 7 *Ventilador Axial 17*
Figura 8 *Sistema de ventilación actual. 20*
Figura 9 *Equipos y herramientas. 28*
Figura 10 *Procedimiento del estudio - proceso del proyecto 29*
Figura 11 *Medición de velocidad en Magistral Sur 32*
Figura 12 *Medición de la caída de presión total en una labor. 34*
Figura 13 *Puntos de medición de presión estática y de velocidad en los ventiladores. 37*
Figura 14. *Distribución porcentual velocidades de aire en la mina. 41*
Figura 15. *Análisis velocidades de aire NV-4580 (Piso 1-4). 41*
Figura 16 *Análisis velocidades de aire NV-4510 (Piso 1-4). 42*
Figura 17 *Análisis velocidades de aire NV-4440 (Piso 1-4). 42*
Figura 18 *Análisis velocidades de aire NV-4370 (Piso 1-4). 43*
Figura 19 *Análisis velocidades de aire NV-4300 (Piso 1-4). 43*
Figura 20 *Análisis velocidades de aire NV-4230 (Piso 4). 43*
Figura 21 *Importación de data topográfica DXF. 56*
Figura 22 *Conversión de DXF a Galerías, cruceros, by pass sólidos. 56*
Figura 23 *Parámetros de medio ambiente 57*
Figura 24 *Correlación ingresos de aire 59*
Figura 25 *Correlación salida de aire 59*
Figura 26. *Gráfico del nivel de confianza Campana de Gauss. 60*
Figura 27 *Resumen del sistema actual – Ventsim. 63*
Figura 28 *Resistencia de la mina en Ventsim. 63*
Figura 29 *Resumen de distribución de energía. 64*
Figura 30 *Curva característica actual de la mina 65*
Figura 31 *Circuito del sistema de ventilación actual de aire limpio y viciado. 66*
Figura 32 *Curva característica ventilador VAV-60-26.5-1750-II-A-60 Hz_MG. Norte 71*
Figura 33 *Curva combinada de trabajo de los ventiladores de 120 kcfm_MG. Centro. 71*
Figura 34 *Curva característica del ventilador de 160 kcfm. 72*
Figura 35 *Curva combinada de trabajo del ventilador de 160 kcfm_MG. Norte. 72*
Figura 36 *Curva característica del ventilador 160K cfm en MG. Sur – reubicado. 73*
Figura 37 *Curva característica del ventilador 120K cfm en MG. Norte – reubicado. 74*
Figura 38 *Curva característica del ventilador 100K cfm en MG. Norte – actual. 74*
Figura 39 *Curva característica del ventilador 120K cfm en MG. Sur – actual. 75*
Figura 40 *Ingreso y salidas de aire - Sistema planteado a mediano plazo. 78*
Figura 41 *Resumen del sistema a mediano plazo – Ventsim. 79*
Figura 42 *Ubicación de la falla santander y magistral. 83*
Figura 43 *Vista isométrica de la mineralización en la mina Santander. 84*
Figura 44 *Vista Frontal de la mineralización en la mina santander. 84*

Figura 45 *Vista en planta de ubicación donde se desarrollará los proyectos. 86*
Figura 46 *Vista en el eje X del proyecto planteado. 87*
Figura 47 *Elección del diámetro óptimo – RB-01 ....89*
Figura 48 *Visualización del sistema de ventilación proyectado. 90*
Figura 49 *Ubicación del Rb 01 y Rb 02 en superficie. 91*
Figura 50 *Vista proyecto de ingreso RB-01. ....94*
Figura 51 *Vista proyecto de salida RB-02. ....94*
Figura 52 *Resistencia del sistema de ventilación proyectado a largo plazo. 97*
Figura 53 *Sistema de ventilación ingreso y salidas de aire. 98*
Figura 54 *Sistema de ventilación proyectado a largo plazo 99*
Figura 55 *Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis general. 106*
Figura 56 *Gráfico del nivel de confianza Campana de Gauss 107*
Figura 57 *Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 01. ....114*
Figura 58 *Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 02. ....118*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Operacionalización de variables....9*
Tabla 2 *Matriz de consistencia....10*
Tabla 3 *Inventario de ventiladores principales actuales. 21*
Tabla 4 *Inventario de ventiladores auxiliares actuales. 21*
Tabla 5 *Inventario de ventiladores en stand by. 22*
Tabla 6 *Cantidad de personal 22*
Tabla 7 *Lista de equipos diésel. 23*
Tabla 8 *Ingreso de aire limpio, medición en campo. 32*
Tabla 9 *salida de aire viciado actual, medición en campo. 32*
Tabla 10 *Determinación de factor de fricción "K" 35*
Tabla 11 *VAV-60-26.5-1750-II-A, 100k cfm, Magistral Norte. 36*
Tabla 12. *VAV-60-30-1750-I-B, 160k cfm, Magistral Centro. 36*
Tabla 13 *VAV-60-25-1750-II-A, 120k cfm, Magistral Sur. 36*
Tabla 14. *Potencia nominal de ventiladores auxiliares. 36*
Tabla 15 *Presión estática y total (VAV-60-26.5-1750-II-A, 100 kcfm, Magistral Norte). 37*
Tabla 16 *Presión estática y total (VAV-60-30-1750-I-B, 160 kcfm, Magistral Centro). 38*
Tabla 17 *Presión estática y total (VAV-60-26.5-1750-II-A, 120 cfm, Magistral Sur). 38*
Tabla 18. *Ingreso de Aire fresco. 39*
Tabla 19. *Salida de aire viciado. 39*
Tabla 20*. Desbalance de ingreso vs salida de aire. 40*
Tabla 21. *Resistencia de las labores 44*
Tabla 22. *Costo de energía de ventiladores principales actual. 46*
Tabla 23. *Costo de energía de ventiladores auxiliares actual. 46*
Tabla 24 *Determinación de presión estática y total del ventilador. 47*
Tabla 25 *Presión estática y total del ventilador. 47*
Tabla 26 *Eficiencia del ventilador. 48*
Tabla 27 *Determinación de presión estática y total del ventilador. 48*
Tabla 28 *Presión estática y total del ventilador. 49*

Tabla 29 *Eficiencia del ventilador. 49*
Tabla 30 *Determinación de presión estática y total del ventilador. 50*
Tabla 31 *Presión estática y total del ventilador. 50*
Tabla 32 *Eficiencia del ventilador. 51*
Tabla 33 *Requerimiento de aire para trabajadores. 52*
Tabla 34 *Requerimiento de aire para equipos diésel. 53*
Tabla 35 *Requerimiento de aire por fugas 54*
Tabla 36 *Requerimiento de aire global. 54*
Tabla 37 *Balance de aire actual 55*
Tabla 38 *Correlación ingresos de aire. 58*
Tabla 39 *Correlación salida de aire 59*
Tabla 40. *Cuadro de Nivel de confianza y el coeficiente de confianza 60*
Tabla 41 *Variación de las estaciones secundarias. 62*
Tabla 42 *Caída de presión del sistema 65*
Tabla 43 *Requerimiento de aire a largo plazo para trabajadores. 67*
Tabla 44 *Requerimiento de aire para equipos diésel. 68*
Tabla 45 *Requerimiento de aire por fugas 69*
Tabla 46 *Requerimiento de aire global. 69*
Tabla 47 *Balance de aire actual 70*
Tabla 48 *Costo de energía de ventiladores principales a mediano plazo. 76*
Tabla 49. *Costo de energía de ventiladores principales a mediano plazo. 77*
Tabla 50 *Balance proyectado a corto plazo. 79*
Tabla 51 *CAPEX de proyectos a mediano plazo 80*
Tabla 52 *Determinación de la incidencia de leyes y beneficios sociales. 81*
Tabla 53 *Costo de equipo de trabajo. 81*
Tabla 54 *Costo de energía de ventilación a mediano plazo. 81*
Tabla 55 *OPEX del sistema de ventilación a mediano plazo. 82*
Tabla 56 *Balance de aire a largo plazo respecto al sistema actual. 82*
Tabla 57 *Datos para Evaluar el diámetro óptimo de Rb. 88*
Tabla 58 *Costo de raise boring. 88*
Tabla 59 *Determinación del diámetro óptimo del RB-01. ..... 89*
Tabla 60 *Características del ventilador de 200k cfm nuevo en el Rb 01. ..... 91*
Tabla 61 *Curva característica del ventilador airtec de 200k cfm. 92*
Tabla 62 *Diámetro óptimo del Rb-01 calculado con el Ventsim. 92*
Tabla 63 *Desarrollo del eje de salida RB-02 ..... 93*
Tabla 64 *Desarrollo del eje de ingreso RB-02 ..... 93*
Tabla 65 *Ingreso de aire fresco proyectado a largo plazo. 95*
Tabla 66 *Salida de aire viciado proyectado a largo plazo 95*
Tabla 67 *Costo de energía de ventiladores principales a largo plazo. 96*
Tabla 68 *Costo de energía de ventiladores auxiliares a largo plazo. 96*
Tabla 69 *balance y cobertura del sistema de ventilación a largo plazo 100*
Tabla 70 *Costo CAPEX por desarrollo de labores 101*
Tabla 71 *Costo CAPEX obras civiles y acondicionamiento del ventilador – MG. Centro. 101*
Tabla 72 *Costo CAPEX por desarrollo de labores – MG. Sur. 101*
Tabla 73 *Determinación de la incidencia de leyes y beneficios sociales. 102*
Tabla 74 *Costo de equipo de trabajo. 102*
Tabla 75 *OPEX del sistema de ventilación a largo plazo. 102*

Tabla 76 *Variación de caudal de ingreso y balance actual - mediano y largo plazo.....103*
Tabla 77 *variación del costo de energía a mediano y largo plazo. 103*
Tabla 78 *Datos para comprobación de hipótesis.....104*
Tabla 79 *Validación estadística descriptiva de hipótesis general 104*
Tabla 80 *Prueba de normalidad de hipótesis general.....105*
Tabla 81 *Cuadro de Nivel de confianza y el coeficiente de confianza.....107*
Tabla 82 *Variación de las estaciones secundarias. 108*
Tabla 83 *Datos para comprobación de hipótesis específica N° 01.....111*
Tabla 84 *Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N° 1.....112*
Tabla 85 *Prueba de normalidad de hipótesis específica N° 01. .....112*
Tabla 86 *Datos para comprobación de hipótesis específica N° 02.....116*
Tabla 87 *Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N° 01.....116*
Tabla 88 *Prueba de normalidad de hipótesis específica N° 01. .....117*
Tabla 89 *levantamiento de data nivel 4580.....124*
Tabla 90 *levantamiento de data nivel 4510.....125*
Tabla 91 *levantamiento de data nivel 4440.....126*
Tabla 92 *levantamiento de data nivel 4370.....127*
Tabla 93 *levantamiento de data nivel 4300.....128*
Tabla 94 *levantamiento de data nivel 4230.....129*
Tabla 95 *data de correlación de estaciones.....130*

I. INTRODUCCIÓN

La correcta distribución y cumplimiento de cobertura de aire limpio en los frentes de trabajo en una mina subterránea es el aspecto más vital de la operación, ya que influye en la salud del personal y la producción, es por ello que en el D.S. 024–2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM se establece que el titular de la actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio en los frentes de trabajo de acuerdo al requerimiento por personal y equipo.

La ventilación de una mina subterránea comprende a controlar y dirigir el aire limpio a través de las excavaciones subterráneas, ya sea por ventilación natural o mecánico, el objetivo principal del ingeniero de ventilación es proveer una atmosfera saludable al personal que trabaje o se desplace por el interior de la mina.

Es importante tomar en consideración el costo de energía por ventilación en nuestras unidades mineras, ya que esto representa entre 25% y 40% del costo energético total, así como también el costo de la ingeniería del circuito principal de ventilación, estos costos dependen mucho del adecuado planeamiento que el ingeniero de ventilación realice, ya que un circuito planificado adecuadamente de acuerdo a la explotación y tiempo de vida de la mina se evitará costos de reingeniería, así como también permitirá cumplir con el requerimiento de caudal de aire en los frentes de trabajo.

Actualmente la planificación del sistema de ventilación se realiza con la ayuda de herramientas 3D, como es el software Ventsim, esta herramienta ayuda al ingeniero de ventilación a analizar a mayor detalle el comportamiento del flujo de aire en los proyectos planteados, así como también una evaluación de numerosos escenarios más viables para nuestra operación. Esto representa un importante ahorro de tiempo y de gran apoyo para los ingenieros de ventilación.

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La EMPRESA MINERA LOS QUENUALES con su unidad administrativa económica SANTANDER, De ahora en adelante UEA SANTANDER, ubicada en la provincia Huaral, departamento de Lima, Actualmente la unidad minera Santander cuenta con un LOM (life of mine) de 5 años, su sistema de ventilación es forzado, donde está conformado por 01 ventilador extractor de 100,000 cfm ubicados en el RB-VENT - 4670 (magistral norte), 01 ventilador extractor de 120k cfm en RB-VENT - 4529 (Magistral sur) y 01 ventilador de 160,000 cfm ubicado en el RB-VENT- 4310 (magistral central), todos estos ventiladores extractores se encuentran en superficie. Como ingresos de aire comprende 3 bocaminas y 1 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 (06) volquetes Mercedes Benz modelo Actros 3344k 6x4 representando un requerimiento de aire de 159,932 cfm; Un (01) Scoop de 6.3 Yds3 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.

El software Ventsim Design ha demostrado ser 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, todo ello conlleva a una mejor planificación del sistema de ventilación de la mina, evitando problemas de requerimiento de aire y reingeniería a futuro.

El área de ventilación no cuenta con un diseño 3D que garantice realizar simulación de escenarios y evaluar proyectos a mayor detalle para la correcta

distribución de aire, que genere ahorro de energía y se evite reingeniería. Es por ello que es necesario realizar un modelamiento, caracterización y simulación del sistema de ventilación de la mina Santander con el soporte del software Ventsim™ Design, de tal manera se pueda planificar a largo plazo los proyectos de ventilación.

1.1.1 Formulación del problema general

¿Puede el planeamiento del sistema de ventilación a largo plazo satisfacer la demanda de aire proyectada de la Mina Santander-Empresa Minera los Quenuales?

1.1.2 Formulación del problema específico

1. ¿Puede la planificación de un sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim™ cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo?
2. ¿Puede el diseño proyectado del sistema de ventilación en Ventsim™ proporcionar una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes a nivel nacional

Corimanya y Oyola (2017) afirma lo siguiente “Se realiza el diseño de ventilación para el corto y mediano plazo 2018 de la explotación de la mina subterránea, donde se contemplan un nuevo escenario con la introducción de un equipo scooptram diésel de 1.5 Yd3, un volquete de 10 toneladas, desarrollo de la rampa principal de profundización 3.0x3.0m, desarrollo de Sub niveles hacia el Este 2.5x2m y ampliación del nivel principal a una sección de 4x4m desde la bocamina. Para el diseño del circuito de ventilación se utilizó el software Ventsim 4.8, el cual también cumple las funciones de diseñador de las labores y se realizaron ensayos a ventiladores de pequeño caudal en el laboratorio de Ventilación Minera de la Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú (p. 87)”.

Guillen (2016) en su tesis, Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas Minera Hemco – Nicaragua concluye que “El diseñar un sistema de ventilación a través de un simulador es una técnica viable y confiable, evitando gastos innecesarios en equipos e infraestructura; en mi experiencia se observa que numerosas compañías realizan un planeamiento de minado sin tener en cuenta cómo van a ventilar sus operaciones, lo que ocasiona un elevado costo de reingeniería”.

Corimanya (2011) manifiesta que “La Mina San Cristóbal utiliza el Programa VNET PC para generar circuitos principales para labores actuales y futuras. En el planeamiento de la ventilación, un simulador es una herramienta de trabajo que nos ayuda representar la mina por un modelo numérico que puede ser usado para predecir los requerimientos de ventilación. Específicamente, el modelo puede ser usado para determinar:

- Los flujos de aire y sus sentidos de avance en las labores proyectadas, y determinar los cambios en presiones y caudales cuando nuevas labores son añadidas al modelo.
- Cambios de velocidades del aire en las diferentes labores debidos a cambios efectuados.
- Los puntos de operación de los ventiladores, los requerimientos de energía eléctrica y otros factores económicos.
- Caídas de presión del aire en los conductos primarios y 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. Chimeneas mal diseñadas no sirven mucho en los circuitos de ventilación o sirven solo para generar cortocircuitos en la red principal, hecho que fue verificado en la mina San Cristóbal.
- Reducir costos. Con solo evitar la ejecución de una chimenea inadecuada, con la ayuda de este programa se puede reducir los costos de ejecución de proyectos de ventilación considerablemente. El programa necesita ser alimentado con datos reales de mina (sección, perímetro, longitud, coeficiente de fricción de cada labor).

- Generar un sistema de ventilación eficiente y económica. Para alcanzar este objetivo, el ingeniero debe tener un buen conocimiento de geología y el método de explotación usado en la mina. El programa por sí solo no generara un sistema de ventilación eficiente; se necesita de la lógica y la experiencia del ingeniero para generar dicho sistema".

1.2.2 Antecedentes a nivel internacional

Carrasco (2017) concluye que "El cambio de estrategia en el diseño de ventilación secundaria permitió obtener un sistema más flexible, con una menor cantidad de dispositivos de regulación de flujo y asegurando su implementación en los tiempos que requiere el proyecto" (p.84).

Codoceo (2017) manifiesta que "En las minas metálicas la planificación de la ventilación es una acción de la ventilación es una acción obligatoria con el fin de obtener la cantidad suficiente de aire para poder ventilar la programación de desarrollos y de producción aprobada en el programa anual y quinquenal (p. 62)".

Derrington (2015) manifiesta de uso del software Ventsim™ que "He estado usando Ventsim para diseñar y solucionar problemas en mis trabajos de Consultorías desde 1995. Este software ha integrado una amplia gama de tipos de flujos de aire, calor, fuego y funciones de modelamiento de radiación, que antes requerían programas y cálculos externos. Sin embargo, las características más importantes son sus gráficos claros en 3D y su capacidad para la caracterización rápida de un modelo, mediante la importación de archivos con el diseño de tu mina".

McPherson (2016) manifiesta acerca de la planificación del sistema de ventilación de minas lo siguiente "El diseño de un sistema principal de ventilación y control ambiental subterráneo es un proceso complejo con muchos factores interactivos. Se deben aplicar los principios de los análisis de sistemas para asegurar que las consecuencias de tales interacciones no sean pasadas por alto. Sin embargo, la ventilación y el entorno subterráneo no deben ser tratados por separado sino durante los ejercicios

de planificación. Ellos son, en sí mismo, una parte integral del sistema general de la mina o instalación subterránea (p. 7)".

Luque (2005) manifiesta que "la consideración de los esquemas de ventilación es fundamental en el proceso de planificación a medio y largo plazo de la mina", "la correcta planificación, pude conllevar ahorros importantísimos en costes de infraestructura minera (p. 14)".

1.2.3 Antecedentes Legales

D.S. N° 024-2016-EM y modificatoria D.S. N°023-2017 EM, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del estado peruano. Artículo 246.- El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a la necesidad del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO Nº 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo Nº 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Planificar el sistema de ventilación a largo plazo para satisfacer la demanda de aire proyectada y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances de la unidad minera Santander – Empresa Minera Los Quenuales – Glencore con el soporte del software Ventsim™ Design.

1.3.2 Objetivo específico

a. Planificar el sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim para cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo.

b. 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.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1. Justificación teórica

Este proyecto radica en la deficiencia de cobertura de aire que se tendrá en el sistema de ventilación a largo plazo (2022 – 2024) respecto a las condiciones actuales, el incremento de producción actual de 1800 TMD a 2200 TMD generará un déficit de aire, ya que implica adicionar personal y equipos, con la planificación adecuada y diseño óptimo del sistema de ventilación de la mina Santander, bajo el soporte del software Ventsim, se realizará la simulación y evaluación de los proyectos para una adecuada planificación del sistema de ventilación, cuyo resultado podrán ser considerados en la importancia de la planificación del sistema de ventilación en las minas subterráneas. Ya que se estaría demostrando que la planificación y uso adecuado de un software 3D mejora el análisis de proyectos a largo plazo a través de simulación de escenarios.

1.4.2. Justificación práctica

Esta investigación se realiza por que existe la necesidad de mejorar y dar la importancia adecuada a la planificación a largo plazo del sistema de ventilación de las minas subterráneas

1.4.3. Justificación metodológica

La aplicación adecuada de un software 3D para el dibujo y simulación de un sistema de ventilación de minas subterráneas y el análisis de proyectos a largo plazo ayudan a la correcta operación en el periodo de vida de la mina. Una vez demostrado la confiabilidad de esa investigación se podrá aplicar en otras unidades mineras subterráneas.

1.4.4. Justificación Legal

Con la correcta planificación se cumplirá con la cobertura con el requerimiento del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del Estado Peruano D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, con este proyecto se busca evitar reingenierías, mismo que se representa en costos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Planificando el sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ Design permitirá cumplir con el requerimiento de aire proyectado y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances.

1.5.2 Hipótesis específica

1. Planificando el sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim permitirá cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo.
2. Diseñando en herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore permitirá una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.

1.6 Operacionalización de variables

En la tabla 01 se muestra la variable independiente y dependiente con sus respectivos indicadores, así como también la matriz de consistencia en la tabla 02.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Herramientas	Población
Variable Independiente	**Variable Dependiente**	**Variable Independiente**	**Variable Independiente**	**Población**
				Todos los Ingresos y Salidas de aire
Planificación y diseño 3D del sistema de ventilación	Cobertura de aire global mayor a 100%	Caudal (cfm) Cobertura (%)	Velocidad y Caudal de aire en punto de monitoreo en Software Ventsim	**Muestra** Nv 4230 Nv 4300 Nv 4370 Nv 4440 Nv 4510 Nv 4580
Variable Dependiente	**Variable Dependiente**	**Variable Dependiente**	**Variable Dependiente**	**Análisis de Variables**
Sistema de ventilación óptimo a largo plazo	Caudal de aire en labores de tránsito y trabajo a largo plazo	Caudal (cfm) Velocidad (m/min)	Anemómetro Distanciómetro	La herramienta estadística que se utilizara será ANOVA, con un índice de confianza del 95%, mediante el paquete estadístico SPS.
	Velocidad de aire en labores de tránsito y trabajo	Velocidad (m/min)	Distanciómetro	

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Matriz de consistencia

Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables
Problema General	**Hipótesis General**	**Objetibo General**	**Variable Independiente**
1.¿Puede el planeamiento del sistema de ventilación a largo plazo satisfacer la demanda de aire proyectada de la Mina Santander-Empresa Minera los Quenuales?	1. Planificando el sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ Design permitirá cumplir con el requerimiento de aire proyectado y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances.	1. Planificar el sistema de ventilación a largo plazo para satisfacer la demanda de aire proyectada y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances de la unidad minera Santander – Empresa Minera Los Quenuales – Glencore con el soporte del software Ventsim™ Design.	X = Planificación y diseño 3D del sistema de ventilación **Indicadores** X1 = Caudal de aire (cfm) X2 = Velocidad de aire (m/min)
Problema Específico	**Hipótesis Específica**	**Objetivos Específicos**	**Variables Dependientes**
1. 1. ¿Puede la planificación de un sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim™ cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo?	1. 1. Planificando el sistema de ventilación con el programa de diseño ventsim permitirá cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo.	1.1. Planificar el sistema de ventilación con el programa de diseño ventsim para cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo.	
1.2. ¿Puede el diseño proyectado del sistema de ventilación en Ventsim™ proporcionar una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo?	1.2. Diseñando en herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore permitirá una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.	1.2. 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.	Y = Sistema de ventilación largo plazo. **Indicadores** Y1 = Caudal de aire (cfm) Y2 = Velocidad de aire (m/min)

Nota: Elaboración Propia

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Base teórica

2.1.1 Ubicación del de la mina Santander - Glencore

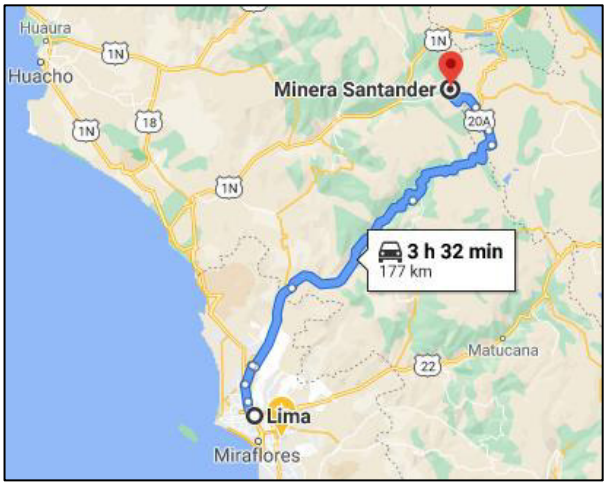
La U.E.A Santander, está ubicada en el distrito de Santa Cruz de Andamarca, provincia de Huaral, departamento de Lima, a una altitud de operación promedio de 4,620 msnm.

La mina se ubica al noreste de Lima, y disfruta de facilidad de acceso con redes regionales de carreteras por Huaral, Cerro de Pasco y Canta, en la figura 01 se traza la ruta desde Lima.

Figura 1

Ubicación de la unidad minera Santander.

Nota. Fuente, Google Maps.



2.1.2 Parámetros actuales de operación

- Cota promedio superficie: 4,620 msnm (BM 4580 y 4510).
- Cota inferior: 4,300 msnm
- Sistema de minado: Mecanizado.
- Método de Minado: Corte y Relleno Ascendente, empleando Taladros Largos.
- Perforación: Jumbo y Simba.
- Limpieza: Scooptram de 4.2 yd^3, Diésel.
- Número de guardias: 02/día

- Horario de trabajo:
  - ✓ Turno “A” 8:00 am a 8:00 pm.
  - ✓ Turno “B” 8:00 pm a 8:00 am.
- Personal por guardia: 89 personas.
- Número de equipos petroleros (Diésel): 35.
- Potencia nominal, total equipos Diésel: 7,560 HP.
- Número de disparos: 02/día.
- Los tiempos de ventilación después de las voladuras son:
  - ✓ Turno “A” = 2 horas de 5:30 am. a 7:30 am.
  - ✓ Turno “B” = 2 horas de 5:30 pm. a 7:30 pm.
- Los horarios voladuras primarias (chispeos) son:
  - ✓ Turno “A” = 5:45 am.
  - ✓ Turno “B” = 5:45 pm.
- Tipo de explosivo: ANFO.
- Velocidad mínima del aire: 25 m/min.
- Velocidad máxima del aire: 250 m/min (en zonas de tránsito de personal).
- Producción de mineral:
  - ✓ Diario: 1,800 TMS.

2.1.3 Parámetros de Medio Ambiente

- Temperatura seca: 8.8 °C.
- Temperatura húmeda: 20.3 °C.
- Presión barométrica promedio: 582 hPa.
- Humedad relativa: 38 %.

2.1.4 Método de medición de flujo de aire

La medición del flujo de aire en nuestras labores se basará en la norma: “ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal áreas”.

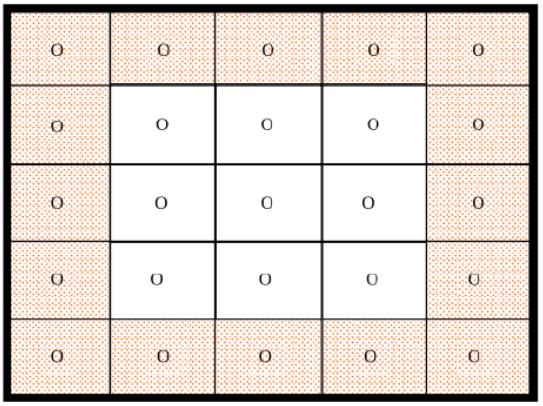
Esta teoría se fundamenta principalmente en la aproximación del área transversal del túnel a un rectángulo ver figura 2 y figura 3, para luego dividirlo en áreas iguales y en el centro de esas áreas realizar la medición

de la velocidad considerando en un determinado tiempo, tiempo en donde la velocidad de aire debe ser uniforme, luego se sacará un promedio según las especificaciones de la norma ASHRAE 111.

La medición se debe realizar cuando no exista mucho movimiento de equipos por la zona, así como también el instrumentista debe procurar no generar mucha turbulencia en el área.

Figura 2

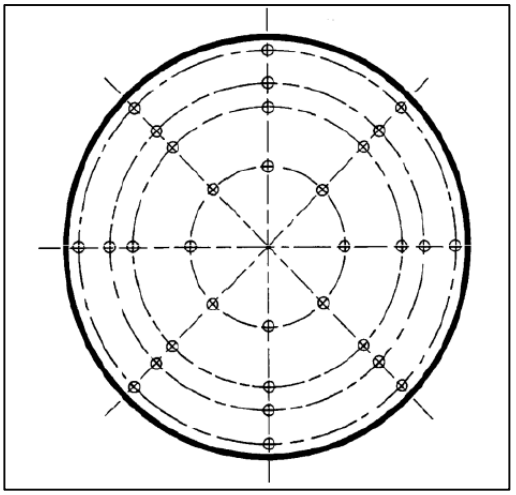
Puntos de medición para un recorrido transversal de punto fijo en una abertura rectangular.



Nota. Fuente, Malcolm J. Mcpherson

Figura 3

Posición de medición para un recorrido transversal de un ducto circular



Nota. Fuente, Malcolm J. Mcpherson

2.1.5 El aire

Es la mezcla homogénea de gases que se encuentra en la atmosfera, “Es una mezcla de gases en proporciones ligeramente variables, compuesto por 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, 0.93 % de argón, 0.04 % de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de otros gases. El aire también contiene una cantidad variable de vapor de agua, en promedio alrededor del 1 % al nivel del mar y del 0.4 % en toda la atmósfera”, (Jacquard & Patrick, 1997, p. 427)

2.1.6 Ventilador

Malcolm J. McPherson (2016), afirma: “Un ventilador es un dispositivo que utiliza la energía mecánica de un impulsor rotatorio para producir el movimiento del aire y un aumento de su presión total” (p.307).

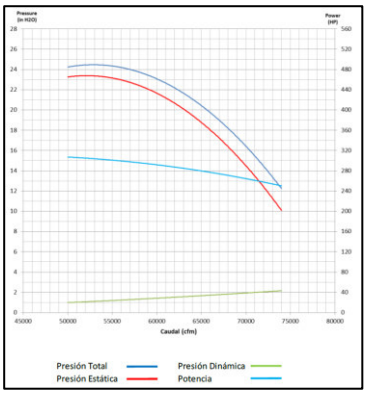
2.1.7 Curva característica del ventilador

Zitron (2007), conferencia sobre ventilación de minas: “Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo. Para cada ángulo de regulación de los álabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador” (p. 23).

En la figura 4, se muestra una curva característica de un ventilador, donde se muestra la presión total, estática, dinámica y su potencia.

Figura 4

Curva característica de ventilador Tomocorp.



Nota: Fuente, ficha técnica de ventilador VAV – 48 – 26.5 – 1750 – 2 – 01, tomocorp.

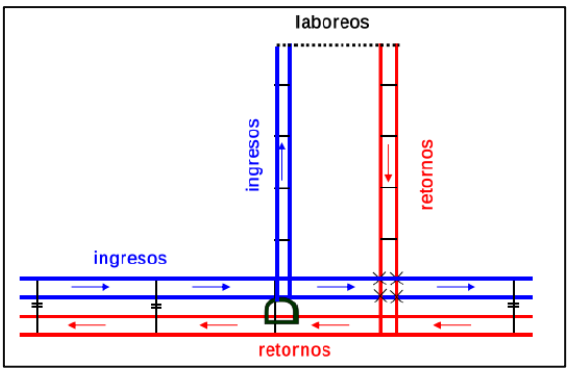
2.1.8 Ventilación de minas

Ventilación de minas se le denomina al transporte de aire a través de las galerías, cruceros y rampas hacia un frente de trabajo, donde se contaminará y se direccionará a una salida para no generar recirculación, la ventilación de minas tiene como objetivo proveer aire limpio en los frentes de trabajo y tránsito.

El aire fresco ingresa al sistema a través de uno o más pozos de admisión, galerías, rampas socavones u otras conexiones con la superficie. El aire fluye a través de los conductos de ingreso hacia las áreas o lugares de trabajo, donde se agrega la mayoría de los contaminantes al aire. Estos incluyen al polvo y a una combinación de muchos otros peligros potenciales, como los gases tóxicos o inflamables, el calor, la humedad o la radiación. El aire contaminado vuelve a pasar a través del sistema a lo largo de los conductos de retorno en la mayoría de los casos, no se permite que la concentración de los contaminantes exceda ciertos valores umbral limite obligatorios impuestos por la ley y la seguridad del personal que circula por todo el sistema de ventilación, incluyendo los conductos de retorno de aire viciado. Los conductos de ingreso de aire fresco y los de retorno de aire viciado son llamados simplemente como ingresos y retornos, respectivamente. El aire de retorno finalmente regresa a la superficie a través de uno o más pozos de salida, o a través de galerías inclinadas u horizontales, (Malcolm J. McPherson, 2016, p. 83), revisar figura 5.

Figura 5

Ventilación de minas.



Nota. Fuente, Malcolm J. Mcpherson

2.1.9 Ventilador centrífugo

Zitron (2007), El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble. Son ventiladores de flujo radial. La trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta (p. 6).

Figura 6

Ventilador centrífugo



Nota: Figura tomada de vymsa ingenieros.
(www.vymsa.com/es/ventilacion/extractor-centrifugo)

2.1.10 Ventilador axial

Zitron (2007), El ventilador axial es de diseño aerodinámico. Este tipo de ventilador consiste esencialmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa. La adición de álabes-guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turbo-axial en un ventilador axial con aletas guía (p. 8). Revisar figura 7.

Zitron (2007), Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo a la vez que es mucho más eficiente. Los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para

enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que sirven de apoyo en el diseño (p. 9).

Figura 7

Ventilador Axial



Nota: G&G Ingenieros (www.gygingenieros.com/gyg-ventiladores-axiales-mineros)

2.1.11 Ecuación de Atkinson y la ley cuadrática

Malcolm J. McPherson (2016), Atkinson utilizó los trabajos previos de los ingenieros hidráulicos franceses y, en particular la relación de Chezy Darcy de la forma expresada en la siguiente ecuación (p. 121):

$$p = fl\frac{per}{A}\rho\frac{v^2}{2} \qquad Pa$$

Dónde:

- p : $caida\ de\ presión\ friccional\ (pa)$
- f : $factor\ de\ fricción$
- l : $longitud\ (m)$
- per : $perímetro\ (m)$
- A : $área\ (m2)$
- ρ : $densidad\ (\frac{kg}{m3})$
- v : $velocidad\ (\frac{m}{s})$

Atkinson fue capaz de reunir en un solo factor el coeficiente de fricción y la densidad:

$$k = \frac{fp}{2} \quad \frac{kg}{m^3}$$

Dando:

$$p = kl\frac{per}{A}v^2 \qquad Pa$$

Esto se conoció como la ecuación de atkinson y k como el factor de fricción de atkinson, nótese que el factor de fricción “f” es una función de la densidad del aire, como también tiene las dimensiones de la densidad. La ecuación de atkinson se puede escribir en términos de flujo de aire, Q=VA (m3/min).

Dando:

$$p = kl\frac{per}{A^3}Q^2 \qquad Pa$$

Malcolm J. McPherson (2016), Para cualquier galería o conducto dado, la longitud “L”, perímetro “per” y el área “A” de la sección transversal, son todos conocidos, ignorando su dependencia de la densidad, el factor de fricción varía solo con la rugosidad del revestimiento de la galería o conducto para la turbulencia, completamente desarrollada. Por lo tanto, podemos recopilar todas esas variables en un solo número característico, R, para esa galería o conducto (p. 122).

$$R = kl\frac{per}{A^3} \qquad \frac{Ns^2}{m^8}$$

Dando:

$$p = RQ^2 \quad Pa$$

Esta ecuación es conocida como la ley cuadrática de la ventilación de minas, El parámetro R viene a ser la resistencia de atkinson de la galería o conducto.

Para realizar el cálculo del diámetro óptimo, de una chimenea de Ventilación, se debe definir, primero el caudal que vamos a mover (extraer), y la longitud de la labor en proyecto, así de esta manera, se usará la ecuación de la caída de presión por fricción para hallar la resistencia (Malcolm J. McPherson):

$$Hf = k_{1.2} * L * \frac{per}{A^3} * Q^2 * \frac{p}{1.2} \quad (Pa)$$

$$R = k_{1.2\,*}\, L * \frac{per}{A^3} * \frac{p}{1.2} \quad \left(\frac{Ns^2}{m^8}\right)$$

$$Hf = R * Q^2 \quad (Pa)$$

Donde:

- Hf : $caida\ de\ presión\ (pa)$
- $k_{1.2}$: $k\ de\ fricción\ dimensional\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- L : $Longitud\ (m)$
- Per : $Perímetro\ (m)$
- A : $Area\ (m2)$
- p : $Densidad\ \left(\frac{kg}{m3}\right)$
- Q : $Caudal\ (m^3/min)$
- R : $Resistencia\ de\ Atkinson(Ns^2/m^8)$

2.2 Sistema de ventilación actual de la mina Santander

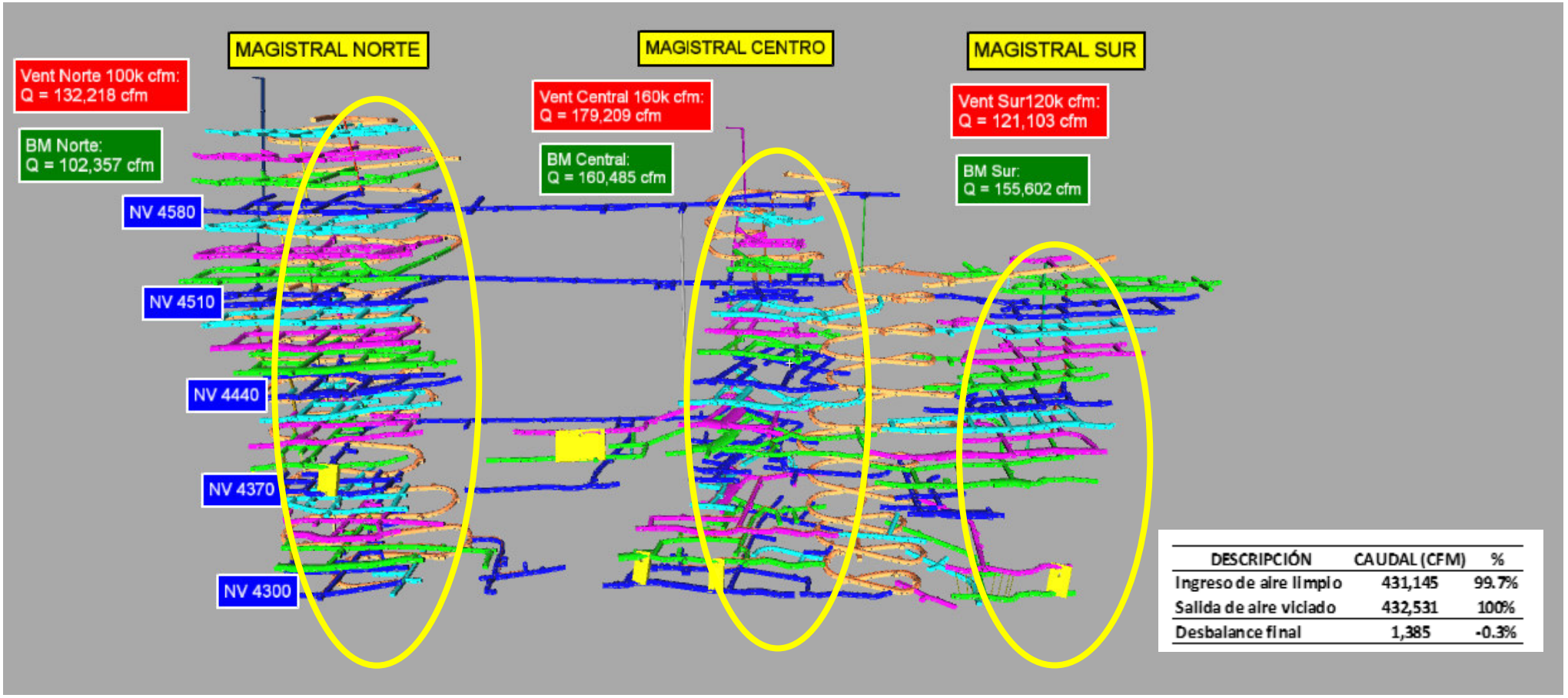
La UEA Santander, cuenta con seis (06) NVs Operativos siendo éstas: 4580, 4510, 4440, 4370, 4300 y 4320. Cada NV integra cuatro (04) Pisos o Sub niveles. De ellos el NV-4230 solo cuenta con un Piso 4 en avance y desarrollo a la profundización. Actualmente, la producción se encuentra entre los Niveles 4230 (Piso 4), 4300 (Piso 1-4), 4370 (Piso 2-3), correspondiente a VETA MAGISTRAL NORTE, VETA MAGISTRAL CENTRO y VETA MAGISTRAL SUR. Se emplea el sistema de explotación mecanizada (trackless mining) con método de explotación Corte y Relleno Ascendente (Bench & Fill) empleando Taladros Largos.

La ventilación de la UEA Santander, es forzada debido a la depresión que ejercen tres (03) ventiladores principales: 100 kcfm, 160 kcfm y 120 kcfm; ubicados todos en superficie mina. Por tanto, la salida del aire total (viciado) es de 432,531 cfm.

El ingreso de aire fresco al sistema es por las labores: BM Magistral Norte (NV 4580-4, RP (-) 4507), BM Magistral Centro (NV 4580-1, BP-4580), BM Magistral Sur (NV 4510-2, RP (-) 4005) y por el CX-4041 (BM Magistral Sur, NV 510-2, lado del ventilador de 120 kcfm). De ellos, el ingreso mayor en caudal es un 37.2 %, representado por la BM Magistral Centro. En efecto la suma total resultante es de 431,145 cfm, teniendo un desbalance del 0.19%, valor no significativo.

El sistema de ventilación actual se puede visualizar en la figura 8, donde se especifica las zonas con sus respectivos ingresos y salidas de aire.

Figura 8
Sistema de ventilación actual.



Nota: Elaboración propia en el software Ventsim 3D.

2.3 Inventario de ventiladores principales y auxiliares

Según el inventario proporcionado por la Unidad Minera Santander y validado en el levantamiento de campo; la mina cuenta con tres (03) ventiladores principales instalados, tabla 3; 2 ventiladores de 120 kcfm en stand by, tabla 5; y doce (12) auxiliares, tabla 4; todos en condiciones operativos. Las potencias instaladas a nivel mar suman en total: 989 HP (principal) instalados y 500 HP en stand by, 952 HP (auxiliares). Esta información se registró en el formato de inventario de ventiladores, tomando las principales variables de operación, parámetros geométricos y eléctricos.

Tabla 3

Inventario de ventiladores principales actuales.

Item	Marca	Zona	Posición	Capac. (cfm)	HP Nom.	Presión Total Cota Trabajo ("CA)	RPM
1	AIRTEC	MAGISTRAL NORTE SUPERFICIE	Extractor	100,000	373.7	12.3	1,790
2	AIRTEC	MAGISTRAL CENTRO SUPERFICIE	Extractor	160,000	365	6.4	1,780
3	AIRTEC	MAGISTRAL SUR SUPERFICIE	Extractor	120,000	250	7.5	1,785
		TOTAL		**380,000**	**989**		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Inventario de ventiladores auxiliares actuales.

Item	Marca	Zona/Nivel	Capac. (cfm)	HP Nom.	*Presión Total a cota mar ("CA)
1	AIRTEC	Mg. NORTE . NV 4230 - 4	30,000	60	9
2	AIRTEC	Mg. NORTE . NV 4570-2	30,000	60	9
3	AIRTEC	Mg. NORTE . NV 4570-1	40,000	125	12
4	AIRTEC	Mg. NORTE . NV. 4570-3	30,000	50	8
5	AIRTEC	Mg. CENTRO CH 4210 RP 4005	60,000	125	12
6	AIRTEC	Mg. CENTRO NV. 4300-2	30,000	50	8
7	ATLAS COPCO	Mg. CENTRO NV. 4300-3	30,000	74	10
8	AIRTEC	Mg. CENTRO NV. 4300-1	40,000	125	12
9	AIRTEC	Mg. CENTRO NV 4370-3	30,000	60	9
10	ATLAS COPCO	Mg. NORTE NV4370 - 1	30,000	74	10
11	AIRTEC	Mg. SUR NV. 4120-3	30,000	75	10
12	ATLAS COPCO	Mg. CENTRO NV 4370 - 2	30,000	74	10
		TOTAL	**410,000**	**952**	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Inventario de ventiladores en stand by.

Item	Marca	Nivel	Estado en	Capac.	HP	Presión Total
1	AIRTEC	-	Stand By	120,000	250	7.5
2	AIRTEC	-	Stand By	120,000	250	7.5
	TOTAL			**240,000**	**500**	

Nota. Elaboración propia

2.4 Lista de personal y equipos actuales

La cantidad de personal es de 89 trabajadores y 35 equipos Diesel presentes en una guardia en la unidad minera Santander los cuales se detallan en la tabla 6 y tabla 7 respectivamente.

Tabla 6

Cantidad de personal

Item	Empresa	Cant./gd
1	jrc	64
2	vijicsa	12
3	spektra	4
4	redrilsa	4
5	cia	5
	Total	**89**

Nota. Elaboración propia

Tabla 7

Lista de equipos diésel.

Ítem	Descripción	Equipo	Cant.	Potencia Nominal (HP)
1	Equipos de perforación	Jumbo	**1**	105
2		Jumbo	**1**	105
3		Jumbo	**1**	105
4		Simba	**1**	107
5		Simba	**1**	107
6		Simba	**1**	77.8
7	Equipos de acarreo de mineral	Scoop Diesel	**1**	270
8		Scoop Diesel	**1**	279
9		Scoop Diesel	**1**	279
10		Scoop Diesel	**1**	279
11		Scoop Diesel	**1**	279
12		Scoop Diesel	**1**	279
13	Equipos de carguio	Volquete	**1**	429
14		Volquete	**1**	429
15		Volquete	**1**	429
16		Volquete	**1**	429
17		Volquete	**1**	429
18		Volquete	**1**	429
19		Volquete	**1**	429
20		Volquete	**1**	429
21	Equipos de sostenimiento	Alpha 20	**1**	145
22		Tornado	**1**	145
23		Tornado	**1**	145
24	Equipos auxiliares	Scaler	**1**	100
25		Telehandler	**1**	100
26		Telehandler	**1**	100
27		Motoniveladora	**1**	125
28	Equipos livianos	Camioncito	**1**	138
29		Camioncito	**1**	138
30		Camioneta	**1**	120
31		Camioneta	**1**	120
32		Camioneta	**1**	120
33		Camioneta	**1**	120
34		Camioneta	**1**	120
35		Camioneta	**1**	120
	Total		**35**	**7,560**

Nota. Elaboración propia

2.5 Definición de términos

- ✓ Presión Estática (PE): Es la presión potencial ejercida en todas las direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en la dirección perpendicular a la del flujo, tendencia a dilatar o colapsar al ducto.
- ✓ Presión Dinámica (PD): Es la presión cinética en la dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad.
- ✓ Presión Total (PT): Suma algebraica de las presiones estáticas y dinámicas. Los resultados se expresarán en unidades inglesas pulgadas de columna de agua (" C.A.).
- ✓ Factor de Corrección por Densidad: es el cociente entre la densidad real del aire en faena y la densidad del aire estándar.
- ✓ Punto de Operación: El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito (P, Q), es el punto de funcionamiento del ventilador.
- ✓ Eficiencia de la Red: Es el porcentaje de cuan efectivo o proporcionado es la red de ventilación (conductos), frente al volumen de ingreso de aire fresco, impulsado mecánicamente o por ventilación natural.
- ✓ Resistencia de la red: Es el sumatorio total de todos los obstáculos que impiden el paso de un volumen de aire en la mina. Está en función del tamaño de la sección de la labor y de las condiciones de las paredes de éste, denominado como factor de fricción y factor de choque expresado en Ns2/m8.

III. MÉTODO

3.1 Tipo y nivel de investigación.

De acuerdo a la naturaleza del tipo de investigación será 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. Siendo de esta manera la evaluación de proyectos y dando como resultado una evaluación a mayor detalle del comportamiento, deficiencias y necesidades inmediatas en el sistema de ventilación proyectado.

El método de manipulación de datos es cuantitativo, ya que se utilizará datos numéricos y la recopilación de información es objetiva y precisa usando instrumentos válidos y confiables.

El tipo de diseño a utilizarse es transversal ya que la toma de datos se realizó en un momento dado.

La metodología de investigación que se emplea para el proyecto es de Arteaga y campos (2010), el cual consiste en un plan para poder responder a las interrogantes presentadas en el informe y la forma de obtener la información a analizar.

De acuerdo a la naturaleza del tipo de investigación es descriptiva y aplicada, puesto que se realizó una investigación demostrando los resultados del estudio que permitió un análisis del sistema de ventilación a largo plazo de la UEA Santander - Glencore, asimismo se dará solución bajo el soporte del software Ventsim Design 5, proponiendo alternativas de solución.

El nivel de investigación es predictivo ya que se anticipará situaciones futuras del circuito de ventilación mediante la planificación a largo plazo del sistema de ventilación y el uso de la herramienta 3d que se utiliza.

3.2 Ámbito temporal y espacial.

La UEA Santander, está ubicada en el distrito de Santa Cruz de Andamarca, provincia de Huaral, departamento de Lima, sobre una altitud de operación promedio de 4,620 msnm.

La mina se ubica al noreste de Lima, y disfruta de facilidad de acceso con redes regionales 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.

3.3 Población y muestra.

a. Población

La Población que consideramos fue el sistema de ventilación principal y secundario de la Empresa Minera Los Quenuales – Santander, teniendo un total de 43,280 m de longitud total, conformado de la siguiente manera:

Sistema principal ingreso de aire:

- BM Norte Nv 4807
- BM Centro Nv 4580
- BM Sur Nv 4510
- Rp(-) 4005 Nv 4510

Sistema principal salida de aire:

- RB Magistral Norte Nv. 4680
- RB Magistral Centro Nv. 4640
- RB Magistral Sur Nv. 4530

Sistema secundario, niveles y sub niveles de:

- Nivel 4580 piso 1,2,3 y 4.
- Nivel 4510 piso 1,2,3 y 4.
- Nivel 4440 piso 1,2,3 y 4.
- Nivel 4370 piso 1,2,3 y 4.
- Nivel 4300 piso 1,2,3 y 4.

b. Muestra

En vista de la cantidad de niveles y labores, se trabajó con toda la población, realizando siete (07) estaciones principales en los ingresos y salidas de aire, ciento cincuenta y cuatro (154) estaciones secundarias en toda la red del sistema (accesible) habiéndose medido: velocidad de aire, concentración de oxígeno, condiciones termo ambientales, resistencias y dirección del flujo de aire en los siguientes niveles, mismos que cuenta con 4 pisos o subniveles cada nivel:

- Nv. 4230
- Nv. 4300
- Nv. 4370
- Nv. 4440
- Nv. 4510
- Nv. 4580

3.4 Instrumentos.

Materiales.

- Lápiz.
- Lapicero.
- Hoja de apunte.
- Porta papel de madera.

Equipos y Herramientas.

- 01 Equipo Multifunción TESTO 480
- 01 Sonda térmica de Ø 10 mm, Velocidad de aire y temperatura (hilo caliente de ±0 a 20 m/s).
- 01 Sonda de molinete Ø 16 mm, Velocidad de aire (alta velocidad de ±0 a 40 m/s).
- 01 Higrómetro 610 Testo®, para medición de la temperatura bulbo húmedo y seco, y humedad relativa.
- 01 Sonda de aguja para medir temperatura en la roca y agua.
- 01 Distanciómetro digital Bosch®, Rango de medición de 40 m.
- 01 Tubo de Pitot de 100 mm de Log. 7 mm de Ø, para medición de presión total, estática y dinámica.
- 01 kit de tubos de humo Draguer®, con bombilla de goma.

- 01 Medidor de gases, registro de oxígeno O2, monóxido de carbono CO y monóxido de nitrógeno NO, marca Draguer®.
- Laptop Lenovo Intel Core i7-5-3612QM con licencia del software Ventsim
- Cámara Power Shot 20 MP
- Cono de seguridad
- 01 taladros portátil BOSH y 04 brocas de 1/4" Ø y 7/16" Ø
- 02 rollos de manguera de silicona de 4mm de Ø, 50 cm de longitud, para medir presión diferencial.
- Sprite rojo

En la figura 9 se muestra los equipos usados en el presente proyecto de tesis.

Figura 9
Equipos y herramientas.



3.5 Procedimientos.

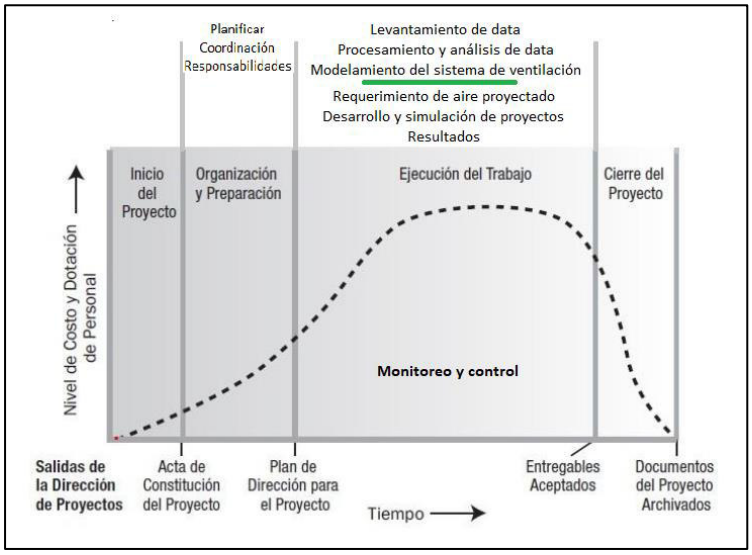
Describiremos el procedimiento de recolección y procesamiento de data del sistema de ventilación de la unidad minera Santander, así como también las medidas que se tomó para la correcta recolección de data.

3.5.1 Procedimiento de estudio

El procedimiento se describe a detalla de la forma correcta del levantamiento de data del sistema de ventilación principal y secundario. La información primaria brindada por los datos de campo se evaluará superficialmente; luego se le dará una confiabilidad adecuada al nivel de la investigación, para lo cual se utilizará las distintas herramientas digitales;

en la figura 10 se puede visualizar gráficamente el procedimiento de este proyecto, detallando los trabajos realizados en cada etapa.

Figura 10
Procedimiento del estudio - proceso del proyecto



Personal y responsabilidades.

- Ingeniero Ventilación: Coordina con el área de planeamiento, operaciones y servicios auxiliares para tenerlas condiciones necesarias en interior mina, con la finalidad de tomar data confiable. Y dirige el levantamiento de data y mapeo de sistema de ventilación.
- Asistente: realiza las mediciones de los puntos designados por el ingeniero de ventilación, velocidad, sección, presión y parámetros medioambientales.
- Técnico: Registra la data tomada por el asistente, marca el punto de monitoreo, así como también toma evidencias fotográficas del trabajo.

Equipos de protección personal.

- EPP básico (Casco, Zapatos punta de acero, chaleco y lentes).
- Guantes de badana.
- Tapones Auditivos.
- Respirador de media cara con filtros 7093C.
- Cortaviento.
- Linterna minera.

Actividades preliminares.

- Planificar el recorrido del levantamiento de data del sistema de ventilación.
- Coordinar con el área de operación para dar todas las facilidades en las zonas que realizará el levantamiento de data de acuerdo a la planificación
- Todo el personal involucrado participara en la elaboración del IPERC antes del inicio de las labores.
- Se deben de inspeccionar las herramientas a utilizar, las que no estén en buen estado o presenten alguna falla se debe retirar, sustituir y reportar.

Levantamiento de campo y monitoreo de estaciones de ventilación

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.

Procesamiento y análisis de data obtenida del sistema de ventilación

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

Caracterización en software Ventsim™ Design.

A partir del procesamiento y análisis de data del levantamiento en campo, se inicia la caracterización del sistema de ventilación en el software Ventsim 3d el cual podrá ser calibrado ya sea desde parámetros de velocidad de aire, caudal de aire, presión y/o consumo de energía, y dependerá del grado de exactitud con la que se realice que se dispondrá de un modelo lo suficientemente fiable como para poder utilizarlo como

base referencial para la proyección y ejecución inmediata de mejoras en el sistema de ventilación, brindando además la posibilidad de simular diversas situaciones en la mina, desde los cambios a partir de modificaciones en el diseño de la mina, evacuación de gases contaminados, detección de labores sin ventilación, hasta las posibilidades de la ocurrencia de un incendio al interior de la mina.

Cálculo de caudal global requerido para el desarrollo de proyectos

Se hace el cálculo de la cantidad de aire necesario para ventilar adecuadamente una mina, en función de diferentes necesidades y parámetros establecidos (Anexo 38 del D.S. 024-2016-EM, y su modificatoria D.S. 023-2017-EM), teniendo como objetivo:

1) Satisfacer la necesidad vital mínima establecida, dando un cierto grado de confort a los trabajadores que laboran en interior mina.
2) Para diluir y trasladar los gases, polvos, humos y calor producidos en las operaciones mineras.
3) Dar las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de los equipos diésel dentro de la mina.

   Este cálculo de requerimiento de aire proyectado a largo plazo se realiza de acuerdo a los equipos y personal a incrementar.

Desarrollo y simulación de proyectos de ventilación

Una vez se tenga el sistema de ventilación de la mina dibujado, caracterizado y simulado en el software Ventsim se plantea proyectos para cumplir con el requerimiento de aire proyectado a largo plazo, donde se satisfacer necesidades de aire fresco en los frentes de trabajo y labores de tránsito, así como también este proyecto planteado debe cumplir con el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM.

3.5.2 Levantamiento de data.

Los siguientes parámetros se toman con el equipo testo 480, barómetro – altímetro testo 511 y el higrómetro 610 Testo, para medición de la temperatura bulbo húmedo y seco, y humedad relativa.

- Temperatura seca: 8.8 °C.
- Temperatura húmeda: 2 °C.
- Presión barométrica promedio: 582 hPa.
- Humedad relativa: 38 %.

a. levantamiento del sistema de ventilación principal, ingresos y salidas de aire

Se identifica 4 ingresos de aire fresco y 03 salidas de aire viciado donde se toma la siguiente data, ver tabla 8 y 9 respectivamente:

Tabla 8

Ingreso de aire limpio, medición en campo.

Est.	Ubicación Labor	Detalle	T °C	HR %	Sección a (m)	Sección h (m)	Sección Forma	Area m2	Velocidad m/min
EVP-01	RP(-)4507	BM Magistral Norte	5.7	63.0	5.47	3.98	BAUL	20.42	142
EVP-02	BP-4580	BM Magistral Centro	4.4	87.0	5.40	3.95	BAUL	20.01	227
EVP-03	RP(-)4005	BM Magistral Sur	7.8	71.9	4.87	4.46	BAUL	20.37	216
EVP-04	CX-4041	BM Magistral Sur, lado del vent. 120 kcfm	8.2	72.0	5.27	3.40	BAUL	16.81	21

Nota: Elaboración propia

EST. : Estación
T : Temperatura (°C)
HR : Humedad Relativa (%)
a : ancho (m)

Tabla 9

salida de aire viciado actual, medición en campo.

Est.	Ubicación Labor	Detalle	T °C	HR %	Diámetro Ø	Área m2	Velocidad m/min
EVP-01	RB-VENT-4670	VAV-60-26.5-1750-II-A-100 kcfm-Magistral-Norte	14.8	40.0	2.05	3.30	1,134
EVP-02	RB-VENT-4310	VAV-60-30-1750-I-B-160 kcfm-Magistral-Centro	12.0	50.0	2.00	3.14	1,615
EVP-03	BM Magistral Sur	VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm-Magistral-Sur	11.7	52.0	2.05	3.30	1,039

Nota: Elaboración propia

Figura 11

Medición de velocidad en Magistral Sur



Nota: Ventilador Airtec, VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm

b. Levantamiento del sistema de ventilación secundario

Las estaciones secundarias de ventilación, se ubican en las labores de mayor representatividad del flujo de aire, estas mediciones se realizaron tanto en cruceros, cabeza y pie de chimeneas, raise boring, contabilizando un total de 154 estaciones de monitoreo, el integro de la data del levantamiento de campo de las estaciones secundarias se encuentran en el Anexo 9.1.

c. Levantamiento de caída de presión

Una de las formas a determinar este factor de fricción K, es por la diferencia de caída de presión cuyas medidas corresponden a dos puntos con una distancia de por lo menos 50m, asì como se muestra en la figura 12.

Por consiguiente, la evaluación de este factor en campo se hizo mediante la utilización de los equipos Tubos Pitot y Manómetro (Testo 480) y utilizando la fórmula de caída de presión de Atkinson se evaluaron.

$$Hf = \mathrm{K}\frac{CLQ^2}{A^3}$$

Donde:

Hf : Caída de presión por fricción (Pa)

C : Perímetro del conducto (m)

L : Longitud del túnel (m)

A : Área del ducto (m^2), para las labores típicas de forma herradura se usan factores de corrección.

Q : Caudal de aire (m^3/s)

K : Factor de fricción de Atkinson, corregida por la densidad de la mina ($\mathrm{kg/m^3}$).

Para la determinación del perímetro (C) en una sección típica se usa la siguiente ecuación:

$$C = B + 1.5H + \frac{B}{2}\left(\sqrt{\frac{H^2}{B^2}+1}\right) + \frac{B^2}{2H}\left[Ln\left(\frac{H}{B}+\sqrt{\frac{H^2}{B^2}+1}\right)\right]$$

Donde:

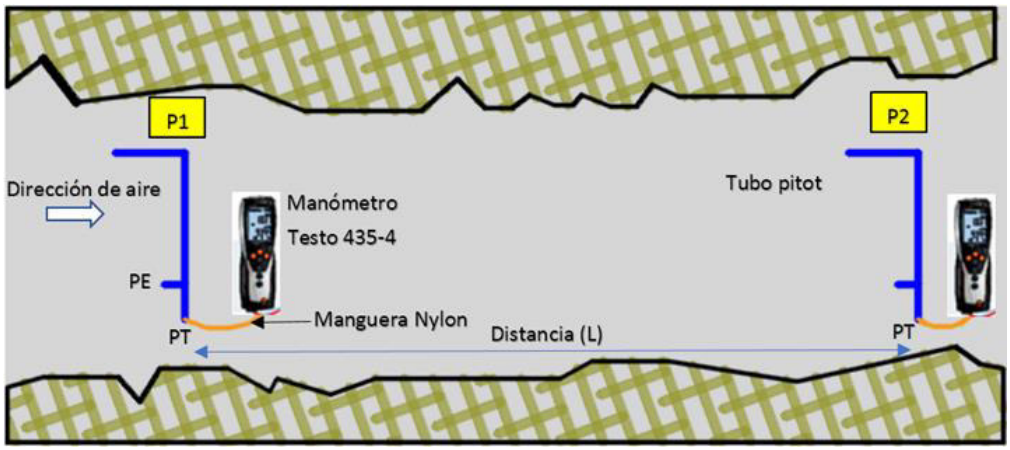
C : Perímetro del conducto (m)

B : Ancho del conducto (m)

H : Altura del conducto (m)

Figura 12

Medición de la caída de presión total en una labor.



Nota. Elaboración propia

Se determina la caída de presión de la mina de acuerdo a los datos obtenidos en campo, se ha tomado 10 puntos estratégicos en interior mina para el cálculo de la caída de presión, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Determinación de factor de fricción "K"

Item	Pto	Ubicación			TS	Sección		A	C	PT (hPa)	L	V	Caudal (Q)	K	R
		Nivel	Labor	Detalle	°C	a (m)	h (m)	m2	m	Prom.PT	m	prom. m/s	m3/s	kg/m3	Ns2/m8
1	P1	4510-4	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	5.8	5.3	4	20.11	17.16	-0.15	63.11	1.87	38.28	0.0035	0.0005
	P2	4510-4	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	5.80	5.54	3.99	20.73	17.51	-0.14					
2	P1	4510-2	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	4.80	5.00	4.65	21.81	17.62	-0.16	56.00	1.37	31.07	0.0040	0.0003
	P2	4510-2	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	4.80	5.46	4.59	23.51	18.39	-0.16					
3	P1	4510-1	BP-4510	Sost. shotcrete	5.00	5.46	5.39	27.60	19.79	-0.18	86.40	0.60	15.80	0.0732	0.0067
	P2	4510-1	BP-4510	Sost. shotcrete	5.00	5.44	4.93	25.16	18.95	-0.17					
4	P1	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	7.60	4.94	4.25	19.69	16.81	-0.16	87.40	1.30	25.67	0.0026	0.0005
	P2	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	7.60	4.94	4.25	19.69	16.81	-0.15					
5	P1	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	9.15	5.36	3.47	17.45	16.28	--0.20	87.97	0.74	12.30	0.0358	0.0110
	P2	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	9.15	5.20	3.22	15.71	15.55	--0.18					
6	P1	4370-3	CX-4371	Sost. shotcrete	11.10	4.10	3.61	13.88	14.10	--0.16	39.20	0.17	2.26	0.2891	0.0650
	P2	4370-3	CX-4371	Sost. shotcrete	11.10	3.80	3.63	12.94	13.56	--0.16					
7	P1	4580-4	RP(-)4507	Sost. shotcrete	5.70	5.40	3.98	20.16	17.23	-0.16	64.00	2.62	52.91	0.0018	0.0002
	P2	4580-4	RP(-)4507	Sost. shotcrete	5.70	5.40	3.98	20.16	17.23	-0.15					
8	P1	4510-3	RP-4577	Sost. shotcrete	4.00	5.22	4.56	22.33	17.88	-0.15	109.38	1.78	37.26	0.0012	0.0002
	P2	4510-3	RP-4577	Sost. shotcrete	4.00	5.22	4.00	19.59	16.91	-0.14					
9	P1	4510-2	CX-4620-2	Sost. shotcrete	4.00	5.22	3.68	18.02	16.36	-0.16	47.57	0.24	3.92	0.2461	0.0433
	P2	4510-2	BP-4620-2	Sost. shotcrete	4.00	4.22	3.56	14.09	14.24	-0.17					
10	P1	4510-1	BP-4510-1E	Sost. shotcrete	5.80	4.74	4.81	21.39	17.41	-0.17	73.28	0.19	3.90	0.4464	0.0658
	P2	4510-1	BP-4510-1E	Sost. shotcrete	5.80	5.00	4.14	19.42	16.73	-0.16					

Nota. Elaboración propia

Pto	:	Punto
V	:	Velocidad (m/s)
TS	:	Temperatura Seca (°C)
A	:	Area (m2)
C	:	Perímetro de una sección típica (m)
PT	:	Presión Total (hPa)
PT PROM	:	Presión Total Promedio (hPa)
L	:	Longitud (m)
K	:	K de fricción (kg/m3)
R	:	Resistencia (Ns2/m8)

d. Amperaje y Voltaje de ventiladores principales

Se evalúa la eficiencia a la que viene trabajando este ventilador, esto se ha podido realizar con los amperajes y voltajes que se tomaron en campo, respecto a la potencia nominal del ventilador, ver tabla 11, tabla 12, y tabla 13. Amperaje y voltaje de los distintos ventiladores.

Tabla 11

VAV-60-26.5-1750-II-A, 100k cfm, Magistral Norte.

	Medicion Amperaje y Voltaje ventilador			
	L1	L2	L3	Promedio
Amp. (I)	108	103	107	106
Volt. (V)	471	470	472	471

Nota. Elaboración propia

Tabla 12.

VAV-60-30-1750-I-B, 160k cfm, Magistral Centro.

	Medicion Amperaje y Voltaje ventilador			
	L1	L2	L3	Promedio
Amp. (I)	224	226	225	225
Volt. (V)	454	453	454	454

Nota. Elaboración propia

Tabla 13

VAV-60-25-1750-II-A, 120k cfm, Magistral Sur.

	Medicion Amperaje y Voltaje ventilador			
	L1	L2	L3	Promedio
Amp. (I)	152	154	161	156
Volt. (V)	462	463	464	463

Nota. Elaboración propia

e. Potencia nominal de ventiladores auxiliares

En la tabla 14 se puede visualizar la potencia nominal de los ventiladores auxiliares.

Tabla 14.

Potencia nominal de ventiladores auxiliares.

Item	Marca	Modelo	Zona	Labor	Capac. (cfm)	HP Nom.
1	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	NORTE	Mg. NORTE . NV 4230 - 4	30,000	60
2	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	NORTE	Mg. NORTE . NV 4570-2	30,000	60
3	AIRTEC	VAV-35-23.5-3450-I-C.	NORTE	Mg. NORTE . NV 4570-1	40,000	125
4	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 I-A	NORTE	Mg. NORTE . NV. 4570-3	30,000	50
5	AIRTEC	VAV-48-26.5-1750 II-A	CENTRO	Mg. CENTRO CH 4210 RP 4005	60,000	125
6	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 I-A	CENTRO	Mg. CENTRO NV. 4300-2	30,000	50
7	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0012	CENTRO	Mg. CENTRO NV. 4300-3	30,000	74
8	AIRTEC	VAV-35-23.5-3450-I-C.	CENTRO	Mg. CENTRO NV. 4300-1	40,000	125
9	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	CENTRO	Mg. CENTRO NV 4370-3	30,000	60
10	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0058	NORTE	Mg. NORTE NV4370 - 1	30,000	74
11	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 II-A	SUR	Mg. SUR NV. 4120-3	30,000	75
12	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0012	CENTRO	Mg. CENTRO NV 4370 - 2	30,000	74
		TOTAL			**410,000**	**952**

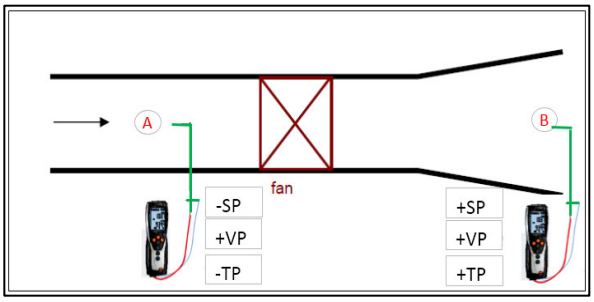
Nota. Elaboración propia

f. Presión Estática y Total - Ventiladores Principales

Es importante medir la presión estática y total de un ventilador en el campo, con el objeto de corroborar si el ventilador está trabajando dentro de su curva característica asignado por el fabricante (presión y caudal nominal). Si el ventilador trabaja por encima de su punto de operación, estaría acercándose a la zona Stall, es decir, aumentaría su presión nominal, esforzándose mucho más de lo debido; esto repercute negativamente en su vida útil, con ello también se incrementa el costo de mantenimiento y consumo de energía eléctrica. En la figura 13 se muestra la manera adecuada de medir la presión estática y su velocidad.

Figura 13

Puntos de medición de presión estática y de velocidad en los ventiladores.



Nota. Elaboración propia

-SP: Presión Estatica

+VP: Presión Variable (Dinámica)

-TP: Presión Total

Se realiza la medición de presión estática y total de ventiladores los cuales se pueden visualizar en la tabla 15, tabla 16 y tabla 17.

Tabla 15

Presión estática y total (VAV-60-26.5-1750-II-A, 100 kcfm, Magistral Norte).

Determinación de presión estática y total del ventilador

Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones		Posiciones A y B							
		Entrada (A)				Salida (B)			
		PD		PE		PD		PE	
Puntos	Distancia a medir (m)	PD1	PD2	PE1	PE2	PD1	PD2	PE1	PE2
1	0.049	4.05	4.15	15.36	14.00	1.50	1.20	1.12	1.13
2	0.160	3.54	3.56	15.00	14.32	2.00	2.11	1.04	1.16
3	0.296	3.49	3.49	12.05	13.04	2.50	2.14	1.34	1.55
4	0.492	3.05	2.94	13.12	13.15	2.12	2.13	1.03	1.24

Nota. Elaboración propia

Tabla 16

Presión estática y total (VAV-60-30-1750-I-B, 160 kcfm, Magistral Centro).

Determinación de presión estática y total del ventilador									
Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones		Posiciones A y B							
		Entrada (A)				Salida (B)			
Puntos	Distancia a medir (m)	PD		PE		PD		PE	
		PD1	PD2	PE1	PE2	PD1	PD2	PE1	PE2
1	0.049	6.07	7.41	19.94	19.74	1.34	1.24	0.34	0.30
2	0.160	8.05	8.2	19.5108	19.596	3.15	3.09	0.41	0.45
3	0.296	7.61	7.66	18.73	19.07	4.80	4.45	0.43	0.62
4	0.492	5.91	5.54	16.94	16.81	4.19	3.59	0.77	0.81

Nota. Elaboración propia

Tabla 17

Presión estática y total (VAV-60-26.5-1750-II-A, 120 cfm, Magistral Sur).

Determinación de presión estática y total del ventilador									
Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones		Posiciones A y B							
		Entrada (A)				Salida (B)			
Puntos	Distancia a medir (m)	PD		PE		PD		PE	
		PD1	PD2	PE1	PE2	PD1	PD2	PE1	PE2
1	0.049	2.74	2.69	15.00	15.30	0.97	0.96	0.28	0.27
2	0.160	3.04	3.07	14.00	14.50	1.81	1.78	0.43	0.45
3	0.296	3.67	3.56	12.00	12.50	1.54	1.61	0.45	0.41
4	0.492	3.55	3.61	13.00	13.40	1.28	1.26	0.60	0.60

Nota. Elaboración propia

3.6 Análisis de datos

El análisis de datos se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos en el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, donde se establece las velocidades mínimas y máximas en las labores de tránsito del personal, así como también el cálculo de aire requerido para la operación.

IV. RESULTADOS

4.1 Levantamiento de ventilación

4.1.1 Estación principal – ingreso de aire

El ingreso de aire fresco a la mina, se consigue a través de cuatro (04) Bocaminas, del cual, la BM Magistral Centro (NV-4580-1), representa al pulmón con el 37.2% del volumen total, seguidos de la BM Magistral Norte (NV-4580-4) con el 23.7%, de la BM Magistral Sur también con un 36.1% y por la BM Sur (CX-4041) el 2.9%. Consiguiéndose, la totalidad del ingreso de aire limpio a la mina de 431,145 cfm; así como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18.

Ingreso de Aire fresco.

Est.	Ubicación Labor	Detalle	Sección a (m)	Sección h (m)	Sección Forma	Area m2	Velocidad m/min	Q m3/min	Q cfm	Dist.
EVP-01	RP(-)4507	BM Magistral Norte	5.47	3.98	BAUL	20.42	142	2,898	102,357	23.7%
EVP-02	BP-4580	BM Magistral Centro	5.40	3.95	BAUL	20.01	227	4,544	160,485	37.2%
EVP-03	RP(-)4005	BM Magistral Sur	4.87	4.46	BAUL	20.37	216	4,406	155,602	36.1%
EVP-04	CX-4041	BM Magistral Sur, lado del vent. 120	5.27	3.40	BAUL	16.81	21	360	12,702	2.9%
		TOTAL INGRESO						**12,209**	**431,145**	100.0%

Nota. Elaboración propia

4.1.2 Estación principal – salida de aire

Las salidas de aire viciado, fueron medidos y cuantificados en estaciones de control, ubicados en superficie. Como muestra la Tabla 18, donde los ejes principales de extracción son por las chimeneas, de modo que el total de aire viciado se determinó en 432,531 cfm. Así como se visualiza en la tabla 19.

Tabla 19.

Salida de aire viciado.

Est.	Ubicación Labor	Detalle	Diámetro Ø	Área m2	Velocidad m/min	Caudal cfm	Dist
EVP-01	RB-VENT-4670	VAV-60-26.5-1750-II-A-100 kcfm-Magistral-Norte	2.05	3.30	1,134	132,218	30.6%
EVP-02	RB-VENT-4310	VAV-60-30-1750-I-B-160 kcfm-Magistral-Centro	2.00	3.14	1,615	179,209	41.4%
EVP-03	BM Magistral Sur	VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm-Magistral-Sur	2.05	3.30	1,039	121,103	28.0%
		Total de salida				**432,531**	**100%**

Nota. Elaboración propia

Existe una pequeña diferencia entre los flujos de entrada y salida de aire, ver tabla 20. Ello se debe principalmente por la diferencia de temperatura y presión que experimenta el aire cuando ingresa y sale de la mina, afectando con ello su densidad.

Tabla 20.

Desbalance de ingreso vs salida de aire.

Descripción	Caudal (cfm)	%
Ingreso de aire limpio	431,145	99.7%
Salida de aire viciado	432,531	100%
Desbalance final	**1,385**	**-0.3%**

Nota. Elaboración propia

4.1.3 Análisis velocidad de aire en estaciones auxiliares

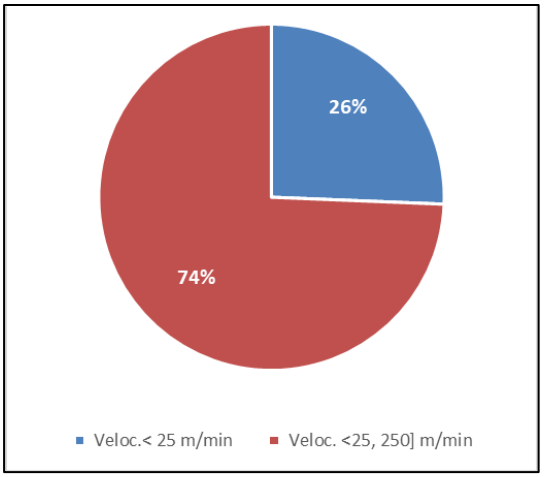
Se presenta un estudio de velocidades de aire que se realizó en seis (06) niveles principales y (16) subniveles de la mina denominados Pisos. Fueron analizados 116 estaciones, de las cuales el 74% corresponden a los permisibles, velocidades de aire mayores o iguales a 25 m/min y menor o igual a 250 m/min; y el 26% no cumplen con el requerimiento, es decir son menores a 25 m/min, ver figura 14. Por lo que se tendrá que corregir esta falencia con el diseño que se ha de plantear durante el estudio. En efecto, el valor medio (mediana) de todas las lecturas de las velocidades de aire valora en 31 m/min.

En la figura 15, figura 16, figura 17, figura 18, figura 19, figura 20, se visualiza el análisis de velocidades de los distintos puntos de monitoreo.

Los niveles 4300 y 4230 son los más críticos, por tener el 25% de sus estaciones de monitoreo con registros de velocidades de aire no permisibles. Siendo éstos los niveles que actualmente están en producción y desarrollo, es imprescindible incrementar el caudal de aire, direccionándolo a las labores dónde se realizan los trabajos en la operación.

Figura 14.

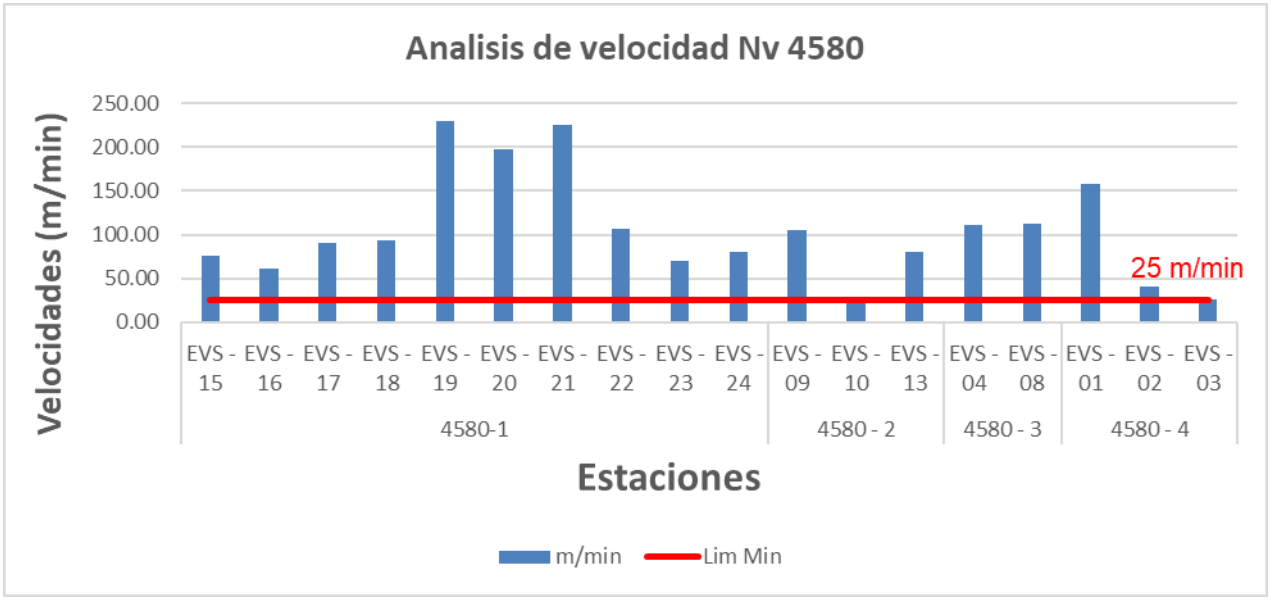
Distribución porcentual velocidades de aire en la mina.



Nota. Elaboración propia

Figura 15.

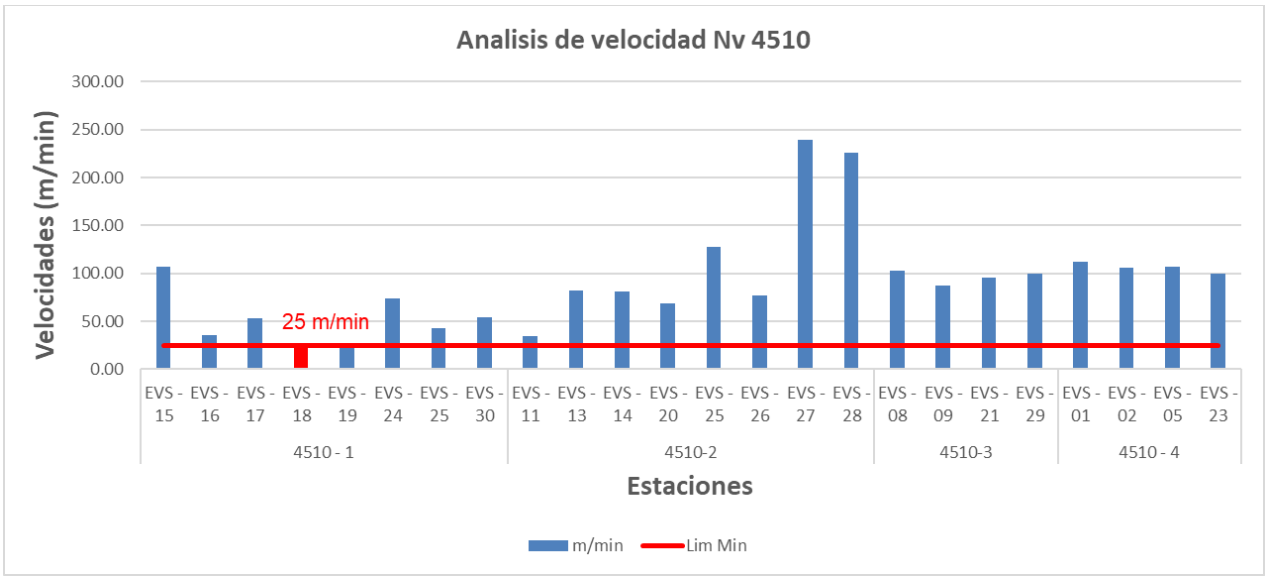
Análisis velocidades de aire NV-4580 (Piso 1-4).



Nota. Elaboración propia

Figura 16

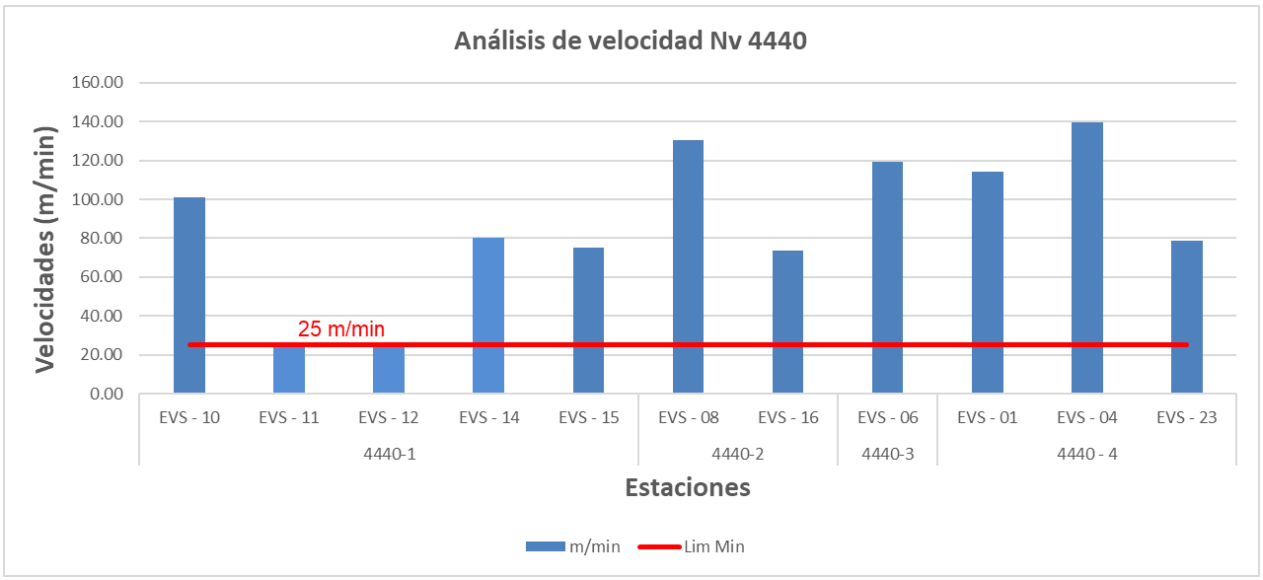
Análisis velocidades de aire NV-4510 (Piso 1-4).



Nota. Elaboración propia

Figura 17

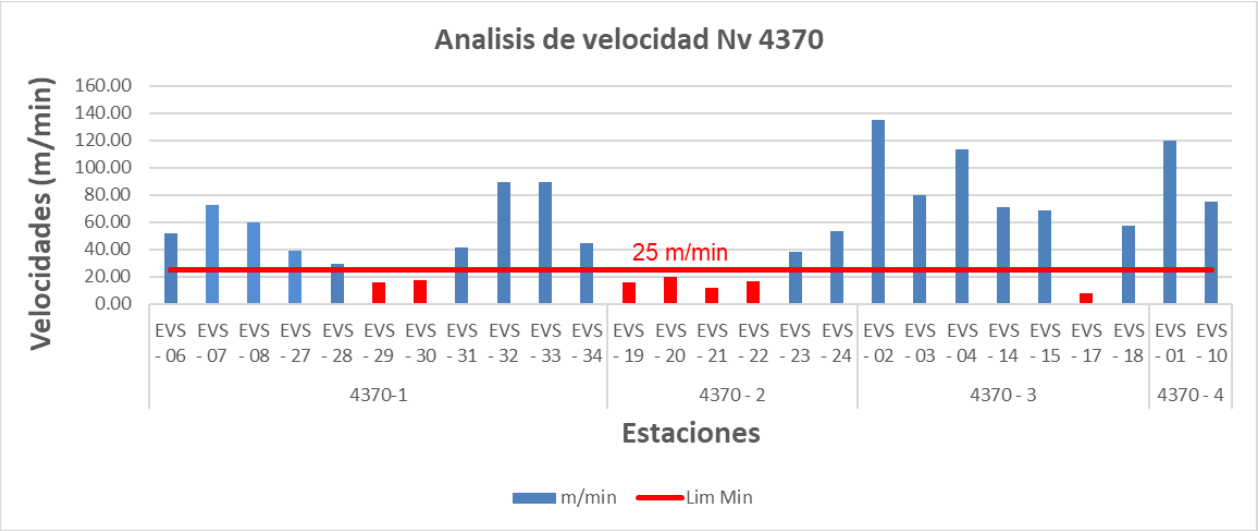
Análisis velocidades de aire NV-4440 (Piso 1-4).



Nota. Elaboración propia

Figura 18

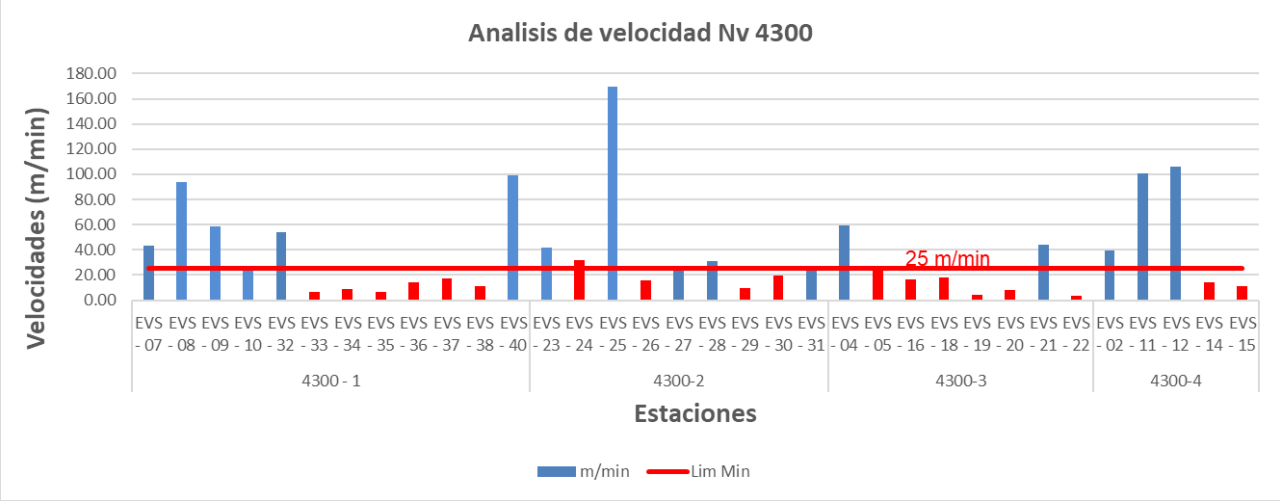
Análisis velocidades de aire NV-4370 (Piso 1-4).



Nota. Elaboración propia

Figura 19

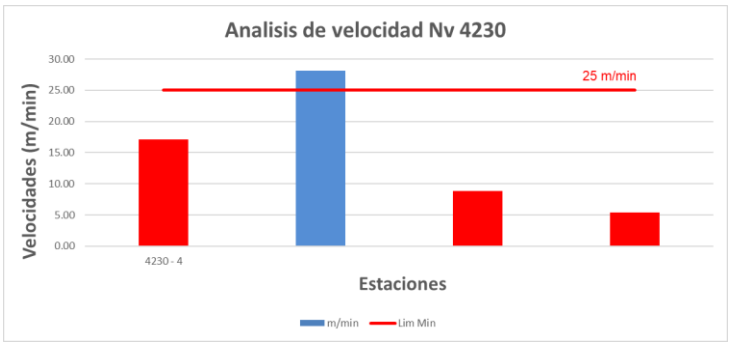
Análisis velocidades de aire NV-4300 (Piso 1-4).



Nota. Elaboración propia

Figura 20

Análisis velocidades de aire NV-4230 (Piso 4).



Nota. Elaboración propia

4.2 Determinación de la resistencia de la mina

La fricción causa una transformación de la energía de trabajo a energía de calor y esta transformación sucede, por ejemplo, cuando el aire turbulento pasa por una superficie. Mientras más áspera sea la superficie, mayor será la turbulencia y, en consecuencia, mayor la fricción y mayor la pérdida de potencia; Por lo tanto, un conducto áspero tiene un coeficiente más alto de fricción que un conducto suave. Si se presentan demasiadas obstrucciones en el conducto, aumenta el valor del factor 'K´.

Cada superficie, por naturaleza, sin importar su contextura suave o pulida, cuenta con diminutas descompresiones, bordes y porciones sobresalientes; por lo que, como resultado en el movimiento del aire, estas irregularidades ocasionan una oposición al flujo. En la tabla 21 se determina la resistencia de la mina.

Tabla 21.

Resistencia de las labores

Item	Pto	Ubicación			A	C	PT (hPa)	L	V	Caudal (Q)	K	R
		Nivel	Labor	Detalle	m2	m	Prom.PT	m	prom. m/s	m3/s	kg/m3	Ns2/m8
1	P1	4510-4	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	20.11	17.16	-0.15	63.11	**1.87**	**38.28**	**0.0035**	0.0005
	P2	4510-4	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	20.73	17.51	-0.14					
2	P1	4510-2	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	21.81	17.62	-0.16	56.00	**1.37**	**31.07**	**0.0040**	0.0003
	P2	4510-2	RP(-)4577	Sost. pernos y shotcrete	23.51	18.39	-0.16					
3	P1	4510-1	BP-4510	Sost. shotcrete	27.60	19.79	-0.18	86.40	**0.60**	**15.80**	**0.0732**	0.0067
	P2	4510-1	BP-4510	Sost. shotcrete	25.16	18.95	-0.17					
4	P1	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	19.69	16.81	-0.16	87.40	**1.30**	**25.67**	**0.0026**	0.0005
	P2	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	19.69	16.81	-0.15					
5	P1	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	17.45	16.28	--0.20	87.97	**0.74**	**12.30**	**0.0358**	0.0110
	P2	4370-1	BP-4370	Sost. shotcrete	15.71	15.55	--0.18					
6	P1	4370-3	CX-4371	Sost. shotcrete	13.88	14.10	--0.16	39.20	**0.17**	**2.26**	**0.2891**	0.0650
	P2	4370-3	CX-4371	Sost. shotcrete	12.94	13.56	--0.16					
7	P1	4580-4	RP(-)4507	Sost. shotcrete	20.16	17.23	-0.16	64.00	**2.62**	**52.91**	**0.0018**	0.0002
	P2	4580-4	RP(-)4507	Sost. shotcrete	20.16	17.23	-0.15					
8	P1	4510-3	RP-4577	Sost. shotcrete	22.33	17.88	-0.15	109.38	**1.78**	**37.26**	**0.0012**	0.0002
	P2	4510-3	RP-4577	Sost. shotcrete	19.59	16.91	-0.14					
9	P1	4510-2	CX-4620-2	Sost. shotcrete	18.02	16.36	-0.16	47.57	**0.24**	**3.92**	**0.2461**	0.0433
	P2	4510-2	BP-4620-2	Sost. shotcrete	14.09	14.24	-0.17					
10	P1	4510-1	BP-4510-1E	Sost. shotcrete	21.39	17.41	-0.17	73.28	**0.19**	**3.90**	**0.4464**	0.0658
	P2	4510-1	BP-4510-1E	Sost. shotcrete	19.42	16.73	-0.16					

Nota. Elaboración propia

4.3 Costo de energía por ventilación actual

La medición de los factores eléctricos de un motor, es importante para determinar su capacidad real y poder caracterizarlo, permitiendo conocer su consumo, curva y punto de operación real.

Por tanto, con la información del costo unitario de energía de 0.098 US$/kW-h, se determinó el costo por el consumo de energía de los ventiladores en base a sus potencias nominales a cota de trabajo. Dando como resultado, US$ 279,326/año y US$ 345,767/año en ventilación principal (figura 22) y auxiliar (figura 23) respectivamente.

Tabla 22.

Costo de energía de ventiladores principales actual.

Item	Marca	Modelo	Capac. (cfm)	HP Cota Trabajo	Pot. Trabajo Nom. (HP)	Presión Total Cota Trabajo ("CA)	RPM	F. P.	Prom. Amp. (I)	Prom. Volt. (V)	Pot. Real HP	Costo Energía. US$/Kw-h	Costo US$/año	Distrib. Energía
1	AIRTEC	VAV-60-26.5-1750-II-A	100,000	235.1	215	12.3	1,790	0.85	106	471	98.3	0.098	62,085	22%
2	AIRTEC	VAV-60-30-1750-I-B	160,000	210.6	210	6.4	1,780	0.85	225	454	201.1	0.098	127,056	46%
3	AIRTEC	VAV-60-26.5 -1750-II - A	120,000	180.38	144	7.5	1,785	0.85	156	463	142.3	0.098	89,910	32%
		TOTAL	**380,000**		**569**								**279,051**	**100%**

Nota. Elaboración propia

Tabla 23.

Costo de energía de ventiladores auxiliares actual.

Item	Marca	Modelo	Capac. (cfm)	HP Nom.	Pot. Trabajo Nom. (HP)	*Presión Total a cota mar ("CA)	Costo Unit. ($/KW-h)	Costo/año ($/año)
1	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	30,000	60	35	9	0.098	21,792
2	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	30,000	60	35	9	0.098	21,792
3	AIRTEC	VAV-35-23.5-3450-I-C.	40,000	125	72	12	0.098	45,400
4	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 I-A	30,000	50	29	8	0.098	18,160
5	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0058	60,000	125	72	12	0.098	45,400
6	AIRTEC	VAV-48-26.5-1750 II-A	30,000	50	29	8	0.098	18,160
7	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 I-A	30,000	74	43	10	0.098	26,877
8	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0012	40,000	125	72	12	0.098	45,400
9	AIRTEC	VAV-35-23.5-3450-I-C.	30,000	60	35	9	0.098	21,792
10	AIRTEC	VAV-26-48-1800II	30,000	74	43	10	0.098	26,877
11	ATLAS COPCO	AVH9055 TMG14URE 0012	30,000	75	43	10	0.098	27,240
12	AIRTEC	VAV-29 1/4-14-3450 II-A	30,000	74	43	10	0.098	26,877
		TOTAL	**410,000**	**952**	**547**			**345,767**

Nota. Elaboración propia

4.4 Operatividad de ventiladores

4.4.1 Ventilador de Magistral Norte

Se determina que se tiene presión total 5.4 “CA; tabla 25, de acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 24, presión estática 4.6 “CA y una eficiencia del ventilador al 94%, según tabla 26.

Tabla 24

Determinación de presión estática y total del ventilador.

Determinación de presión estática y total del ventilador											
Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones		Entrada (A)				Promedio A y B	Salida (B)				
Puntos	Distancia a medir (m)	PD Promedio		PD promedio de promedio	PE Promedio		PE promedio de promedio	PD Promedio		PD promedio de promedio	PE Promedio		PE promedio de promedio
		PD1	PD2		PE1	PE2		PD1	PD2		PE1	PE2	
1	0.049	4.100		3.534	14.680		13.755	1.350		1.963	1.125		1.201
2	0.160	3.550			14.660			2.055			1.100		
3	0.296	3.490			12.545			2.320			1.445		
4	0.492	2.995			13.135			2.125			1.135		

Tabla 25

Presión estática y total del ventilador.

Evaluación de presión estática y total del ventilador axial	Pa	" CA
Presión Total ventilador (PTV) = PT salida - PT entrada (PTV) = (PE salida + PD salida) - (PE entrada + PD entrada)	1,339	**5.4**
Presión Estatica del ventilador (PEV) = PTV - PD salida (PEV) = PE salida - PE entrada - PD entrada	1,142	**4.6**

Tabla 26

Eficiencia del ventilador.

Evaluación de caudal y eficiencia de ventilador															
Remplazando los datos en la fórmula de caida de presión por velocidad, hallamos la velocidad de aire v caudal.	PD	$v = \sqrt{\frac{2+VP}{p}}$	Diámetro	Área	Caudal		PD promedio de promedio entrada	AHP		Volt.	Amp.	F.P.	BHP		Eff. Vent.
	Pa		m	m2	m3/s	cfm		KW	HP	V	I	%	KW	HP	%
$VP = \frac{\rho X V^2}{2} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2+VP}{p}}$	353.38	32.48	1.524	1.82	59.23	125,494	1376	81	109	471	110	0.97	87	117	94%

4.4.2 Ventilador Centro

Se determina que se tiene presión total 6.2 “CA, presión estática 4.9 “CA, ver tabla 28, d acuerdo a la data obtenida en la tabla 27 y se tiene una eficiencia del ventilador al 92%; según tabla 29.

Tabla 27

Determinación de presión estática y total del ventilador.

Determinación de presión estática y total del ventilador											
Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones			Promedio A y B								
			Entrada (A)				Salida (B)				
Puntos	Distancia a medir (m)	PD Promedio PD1 - PD2	PD promedio de promedio	PE Promedio PE1	PE Promedio PE2	PE promedio de promedio	PD Promedio PD1	PD Promedio PD2	PD promedio de promedio	PE Promedio PE1	PE Promedio PE2	PE promedio de promedio
1	0.049	6.740	7.056	19.837		18.792	1.290		3.231	0.320		0.517
2	0.160	8.125		19.553			3.120			0.433		
3	0.296	7.635		18.900			4.625			0.525		
4	0.492	5.725		16.877			3.890			0.788		

Tabla 28

Presión estática y total del ventilador.

Evaluación de presión estática y total del ventilador axial	Pa	" CA
Presión Total ventilador (PTV) = PT salida - PT entrada (PTV) = (PE salida + PD salida) - (PE entrada + PD entrada)	1,548	**6.2**
Presión Estatica del ventilador (PEV) = PTV - PD salida (PEV) = PE salida - PE entrada - PD entrada	1,225	**4.9**

Tabla 29

Eficiencia del ventilador.

evaluación de caudal y eficiencia del ventilador																
Remplazando los datos en la fórmula de caida de presión por velocidad, hallamos la velocidad de aire y caudal.	**VP**	$v = \sqrt{\frac{VP\,x\,\rho}{2}}$	**Diámetro**	**Área**	**Caudal**		**PD promedio de promedio entrada**	**AHP**		**Volt.**	**Amp.**	**F.P.**	**BHP**		**Eff. Vent.**
	Pa		**m**	**m2**	**m3/s**	**cfm**		**KW**	**HP**	**V**	**I**	**%**	**KW**	**HP**	**%**
$VP = \frac{\rho\ X\ V^2}{2} \rightarrow v = \sqrt{\frac{VP\,x\,\rho}{2}}$	705.63	45.89	1.524	1.82	83.69	177,334	1879	157	211	454	225	0.97	171	230	92%

4.4.3 Ventilador Sur

Se determina que se tiene presión total 5.0 “CA, presión estática 4.4 “CA de acuerdo a la tabla 30 y tabla 31. y una eficiencia del ventilador al 64% según tabla 32.

Tabla 30

Determinación de presión estática y total del ventilador.

DETERMINACION DE PRESION ESTATICA Y TOTAL DEL VENTILADOR																			
Posiciones de tubo pitot, 4 posiciones		Posiciones A y B										Promedio A y B							
		Entrada (A)				Salida (B)						Entrada (A)				Salida (B)			
		PD		PE		PD		PE		PD Prom			PE Prom		PD Prom		PE Prom		
Puntos	Distancia a medir (m)	PD1	PD2	PE1	PE2	PD1	PD2	PE1	PE2	PD1	PD2	PD promedio de promedio	PE1	PE2	PE promedio de promedio	PD1	PD2	PD promedio de promedio	PE1	PE2	PE promedio de promedio
1	0.049	2.74	2.69	15.00	15.30	0.97	0.96	0.28	0.27	2.715			15.150			0.965			0.277		
2	0.160	3.04	3.07	14.00	14.50	1.81	1.78	0.43	0.45	3.055		3.241	14.250		13.713	1.795		1.401	0.440		0.437
3	0.296	3.67	3.56	12.00	12.50	1.54	1.61	0.45	0.41	3.615			12.250			1.575			0.433		
4	0.492	3.55	3.61	13.00	13.40	1.28	1.26	0.60	0.60	3.580			13.200			1.270			0.596		

Tabla 31

Presión estática y total del ventilador.

EVALUACION PRESION ESTATICA Y TOTAL DEL VENTILADOR AXIAL	Pa	" CA
Presión Total ventilador (PTV) = PT salida - PT entrada (PTV) = (PE salida + PD salida) - (PE entrada + PD entrada)	1,231	5.0
Presión Estatica del ventilador (PEV) = PTV - PD salida (PEV) = PE salida - PE entrada - PD entrada	1,091	4.4

Tabla 32

Eficiencia del ventilador.

EVALUACION CAUDAL Y EFICIENCIA DE VENTILADOR																
Remplazando los datos en la fórmula de caida de presión por velocidad, hallamos la velocidad de aire y caudal.	**VP**	$v = \sqrt{\frac{VP\,x\,2}{P}}$	**Diámetro**	**Área**	**Caudal**		**PD promedio de promedio entrada**	**AHP**		**Volt.**	**Amp.**	**F.P.**		**BHP**	**Eff. Vent.**
	Pa		**m**	**m2**	**m3/s**	**cfm**		**KW**	**HP**	**V**	**I**	**%**	**KW**	**HP**	**%**
$VP = \frac{\rho\ X\ V^2}{2} \rightarrow v = \sqrt{\frac{VP\,x\,2}{P}}$	324.13	30.43	1.524	1.82	55.49	117,584	1371	76	102	463	156	0.95	119	159	64%

4.5 Requerimiento de aire global actual

4.5.1 Requerimiento de aire para los trabajadores

Este requerimiento se ha calculado considerando por separado, el personal de compañía y las diferentes empresas especializadas que laboran en interior mina, con el criterio de priorizar las guardias de mayor afluencia de trabajadores. Teniendo presente que, para una altitud de 4620 msnm, el caudal requerido por persona es de 6 m3/min; entonces se calculó un requerimiento de 18,858 cfm, como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33

Requerimiento de aire para trabajadores.

Item	Empresa	Cant./gd	m3/min	cfm	Distrib. (%)
1	JRC	64	384	13,561	72%
2	VIJICSA	12	72	2,543	13%
3	SPEKTRA	4	24	848	4%
4	REDRILSA	4	24	848	4%
5	CIA	5	30	1,059	6%
TOTAL		**89**	**534**	**18,858**	**100%**

Nota. Elaboración propia

4.5.2 Requerimiento de aire para equipos Petroleros -Diésel

se estimó el requerimiento actual de aire para equipos petroleros. De acuerdo a la información proporcionada por la unidad minera y al ANEXO 38 D.S. 024-2016-EM y modificatoria 023-2017-EM. Se calculó un total de 5,754 HP efectivos, el caudal de aire requerido se evaluó 348,046 cfm, de acuerdo a la tabla 34.

Observación: Los factores de DM y FU, fueron proporcionados por la U.M. Santander. Por otro lado, para la evaluación de la potencia efectiva de los equipos, se ha multiplicado por el factor de altitud 75%, esto es debido a que los equipos trabajan a una potencia distinta de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar.

Tabla 34

Requerimiento de aire para equipos diésel.

Ítem	Equipo	Cant.	Potencia efectiva (HP)	DM (%)	FU (%)	FA (%)	cfm	Distrib. (%)
1	Jumbo	**1**	80	89%	26%	76%	**1,995**	0.57%
2	Jumbo	**1**	80	67%	28%	76%	**1,595**	0.46%
3	Jumbo	**1**	80	96%	24%	76%	**1,916**	0.55%
4	Simba	**1**	81	91%	18%	76%	**1,384**	0.40%
5	Simba	**1**	81	89%	17%	76%	**1,321**	0.38%
6	Simba	**1**	59	95%	19%	76%	**1,111**	0.32%
7	Scoop Diesel	**1**	206	74%	48%	76%	**7,801**	2.24%
8	Scoop Diesel	**1**	212	92%	72%	76%	**14,896**	4.28%
9	Scoop Diesel	**1**	212	95%	72%	76%	**15,463**	4.44%
10	Scoop Diesel	**1**	212	90%	74%	76%	**15,070**	4.33%
11	Scoop Diesel	**1**	212	99%	70%	76%	**15,466**	4.44%
12	Scoop Diesel	**1**	212	98%	68%	76%	**15,126**	4.35%
13	Volquete	**1**	327	95%	74%	76%	**24,215**	6.96%
14	Volquete	**1**	327	95%	74%	76%	**24,384**	7.01%
15	Volquete	**1**	327	91%	74%	76%	**23,290**	6.69%
16	Volquete	**1**	327	95%	73%	76%	**24,055**	6.91%
17	Volquete	**1**	327	96%	77%	76%	**25,543**	7.34%
18	Volquete	**1**	327	96%	77%	76%	**25,587**	7.35%
19	Volquete	**1**	327	95%	81%	76%	**26,655**	7.66%
20	Volquete	**1**	327	95%	81%	76%	**26,655**	7.66%
21	Alpha 20	**1**	110	96%	32%	76%	**3,618**	1.04%
22	Tornado	**1**	110	97%	33%	76%	**3,707**	1.07%
23	Tornado	**1**	110	80%	38%	76%	**3,591**	1.03%
24	Scaler	**1**	76	97%	38%	76%	**2,946**	0.85%
25	Telehandler	**1**	76	91%	23%	76%	**1,643**	0.47%
26	Telehandler	**1**	76	97%	25%	76%	**1,971**	0.57%
27	Motoniveladora	**1**	95	98%	34%	76%	**3,326**	0.96%
28	Camioncito	**1**	105	80%	49%	76%	**4,318**	1.24%
29	Camioncito	**1**	105	80%	49%	76%	**4,318**	1.24%
30	Camioneta	**1**	91	80%	49%	76%	**3,754**	1.08%
31	Camioneta	**1**	91	80%	49%	76%	**3,754**	1.08%
32	Camioneta	**1**	91	80%	49%	76%	**3,754**	1.08%
33	Camioneta	**1**	91	80%	49%	76%	**3,754**	1.08%
34	Camioneta	**1**	91	80%	65%	76%	**5,032**	1.45%
35	Camioneta	**1**	91	80%	65%	76%	**5,032**	1.45%
	TOTAL	**35**	**5,754**				**348,046**	**100%**

Nota. Elaboración propia

4.5.3 Requerimiento por consumo de Madera

En la actualidad, la mina es completamente mecanizada, por tanto, no se considera en su evaluación del requerimiento de caudal de aire.

4.5.4 Requerimiento por Temperatura

Se registraron en el nivel más bajo de la mina, temperaturas máximas de 17 °C, esto es en zonas de tránsito u operatividad de los equipos. Se concluye que, la mina no tiene problemas de calor o estrés térmico. De modo que, la norma solo exige el requerimiento de caudal de aire para temperaturas entre el rango 24°C-29°C.

4.5.5 Requerimiento por Fugas

Por normativa peruana, esto es el 15% de la sumatoria de todos los requerimientos de aire siendo 55,036 cfm, como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35

Requerimiento de aire por fugas

Item	Descripción	Caudal (cfm)
1	Caudal requerido para trabajadores	18,858
2	Caudal de aire requerido por equipos	348,046
3	Caudal de aire requerido por madera	0
4	Caudal de aire requerido por temperatura	0
5	Sub total	366,904
6	**Caudal de aire requerido por fuga (15%)**	**55,036**

Nota. Elaboración propia

4.5.6 Requerimiento total de aire actual

El requerimiento de aire total es de 421,940 cfm distribuido de la siguiente manera, ver tabla 36.

Tabla 36

Requerimiento de aire global.

Distribución Requerimientos	m3/min	cfm
QTr: N° Trabajadores (89 trabajadores/gd)	534	18,858
QEq: Equipos con motor petrolero (35 equipos)	9,855	348,046
QFu: Caudal requerido por fugas	1,558	55,036
Caudal Requerido (QTr+QEq+Qfu)	**11,948**	**421,940**

Nota. Elaboración propia

4.6 Balance de aire actual

Considerando el aire requerido de acuerdo al D.S. 023-2017 EM en su artículo 252, la cobertura actual del sistema de ventilación global es de 102% con un superávit de 9,206 cfm de acuerdo a la tabla 37.

Tabla 37

Balance de aire actual

Balance Total de Aire		
Distribución de Aire	**m3/min**	**cfm**
Total de aire requerido	11,948	**421,940**
Ingreso de aire	12,209	431,145
Salida de aire	12,248	**432,531**
Cobertura (%)	**102%**	

Nota. Elaboración propia

4.7 Modelamiento del sistema de ventilación actual

Una vez procesado la data tomada en campo, se procede al modelamiento 3D del sistema de ventilación en este caso en el software Ventsim Design 5, tal como se muestra en la figura 21 y figura 22, 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.

A continuación, se describen los pasos de la construcción del modelo:

Paso 1. Entrega de información topográfica triangulada en 3D, detallando todos los niveles por capas, labores horizontales y verticales (rampas, cruceros, galerías, RBs, chimeneas, accesos, cámaras, etc.).

Paso 2. Construcción de líneas centrales, se dibuja las líneas centrales al techo (preferentemente), para el caso de las chimeneas las líneas al eje central; también se puede presentarse como sólidos a escala.

Paso 3. Guardar la información en archivo DXF.

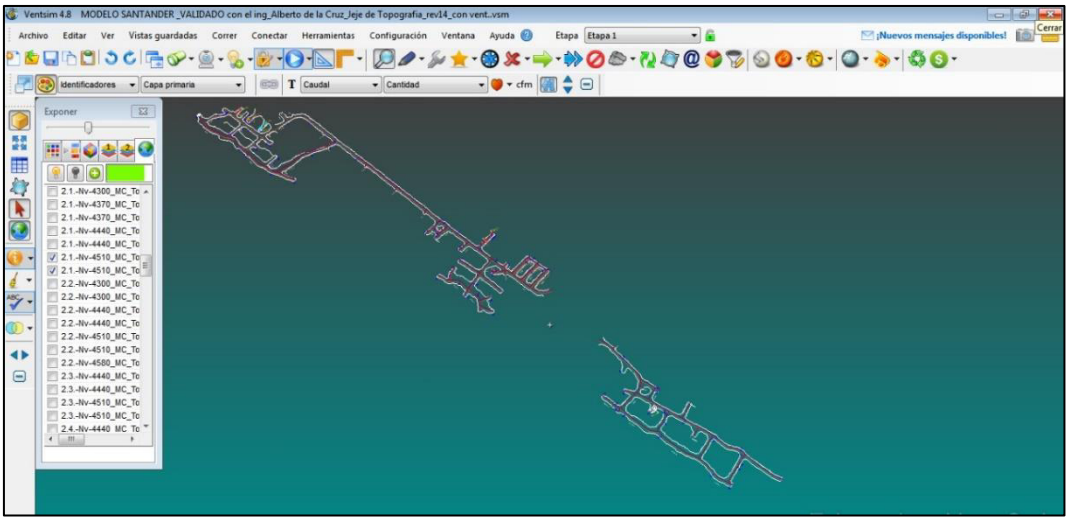
Paso 4. Los formatos DXF, se importan al software Ventsim Visual™ Avanzado.

Paso 5. Conciliación de la información topográfica en DXF y verificar que la data haya sido importada adecuadamente, para tener una base segura en Ventsim Visual™ Avanzado.

Se muestran imágenes que describen los pasos de la construcción de la arquitectura del Modelo.

Figura 21

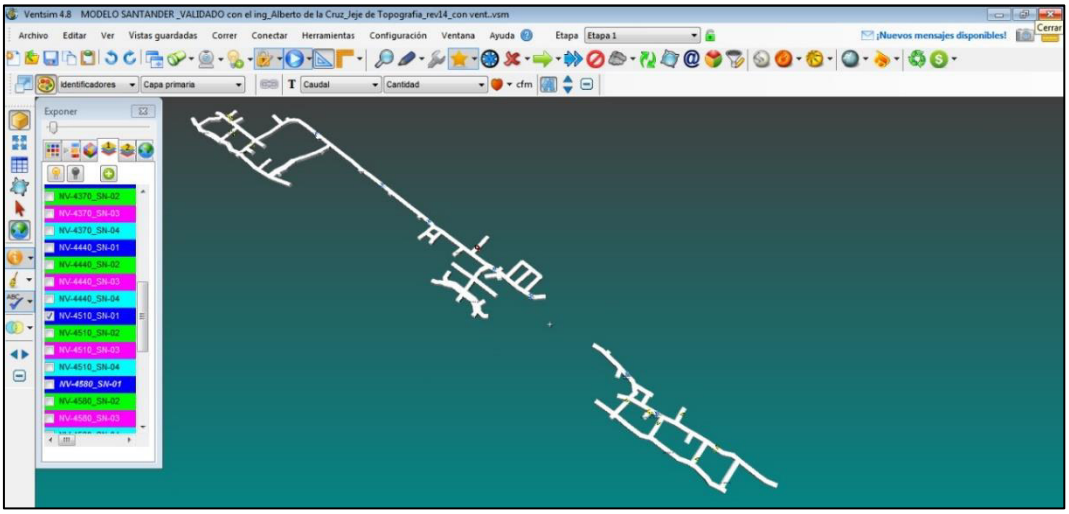
Importación de data topográfica DXF.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim.

Figura 22

Conversión de DXF a Galerías, cruceros, by pass sólidos.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim.

4.7.1 Calibración del modelo 3D

La calibración requiere de datos o parámetros del lugar de la mina como: factor de fricción “K”, altitud, temperatura, densidad, presión y otros; los cuales son imprescindibles y hacen que el modelo esté en condiciones para hacer simulaciones y diseños muy cercanos a la realidad (puesta a punto). Además, el flujo de aire circulante a través de las redes de ventilación diseñadas, deben registrar valores muy cercanos a las evaluadas en el campo (in situ).

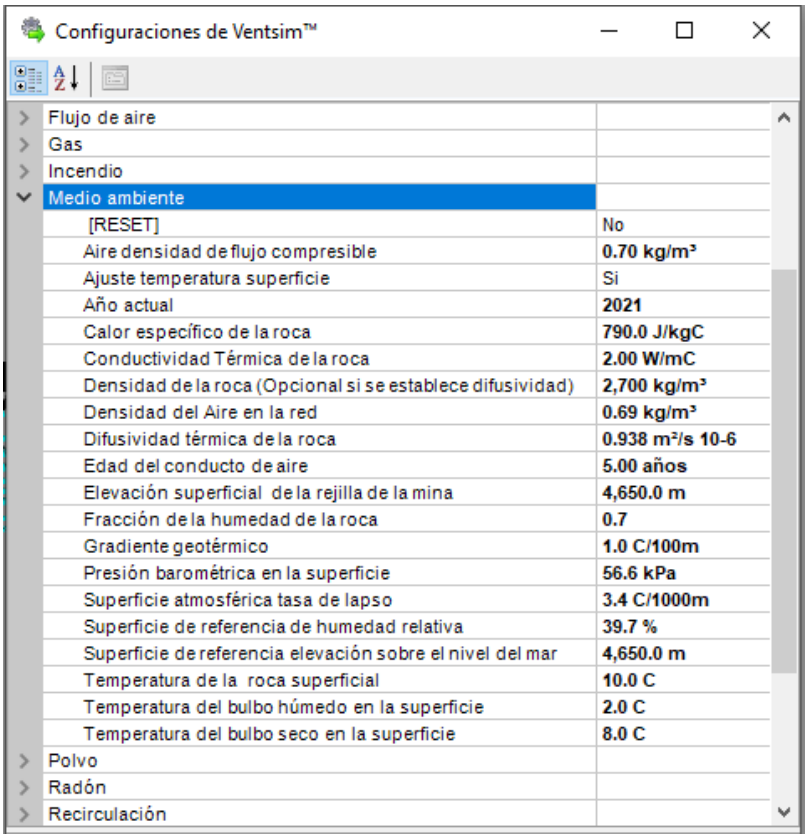
De modo que, para implementar y calibrar el modelo de ventilación de la mina Santander, se ingresaron los siguientes valorativos de sus

condiciones operativas a Ventsim Visual™ Avanzado (Input data), ver figura 23.

- Altura de nivel de referencia en superficie: 4,650 msnm.
- Densidad del aire: 0.69 kg/m3.
- Temperatura de bulbo húmedo: 2.0 °C.
- Temperatura de bulbo seco: 8.0 °C.
- Presión barométrica promedio: 566 hPa.
- Método: Presión total.
- Flujo de aire: compresible.
- Costo de energía: 0.098 US$/kW-h.

Figura 23

Parámetros de medio ambiente



Nota. Fuente: Modelo Ventsim.

4.7.2 Grado de calibración

Una vez creado el modelo con todos los detalles, se hizo la verificación (validez) del flujo (caudal), comparando los resultados obtenidos

por el simulador con los datos medidos en mina (correlación). Para verificar esta alteración se usó la siguiente ecuación:

$$Variación\ (\%) = \frac{\Sigma Flujos\ Campo - \Sigma Flujos\ Simulado}{\Sigma Flujos\ \ Campo} \times 100 < 10\%$$

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

4.7.3 Correlación de aforos

En consecuencia, se evaluaron las Tablas 37 y 38, para las estaciones principales; en ellos se observan las diferencias entre los caudales reales medidos en campo y los que se obtuvieron mediante la simulación, presentándose la mayor variación en el ingreso del aire por BM MG. Sur (7.9%) y en la salida del aire por el Ventilador VAV-60-26.5-1750-II-A-100 kcfm-MG. Centro, RB-VENT-4310 a superficie (8.3%).

En efecto, para la Unidad Minera Santander se obtuvo una correlación del 3.9% en promedio para ingreso de aire, a la tabla 38 y figura 24, y de 0.0% para el caudal de salida; de acuerdo a la tabla 39 y figura 25. por tanto, se concluye que los datos ingresados al modelo fueron confiables y el modelo pudo ser utilizado para realizar proyecciones y determinar los parámetros requeridos en el nuevo diseño de ventilación de la mina.

Tabla 38

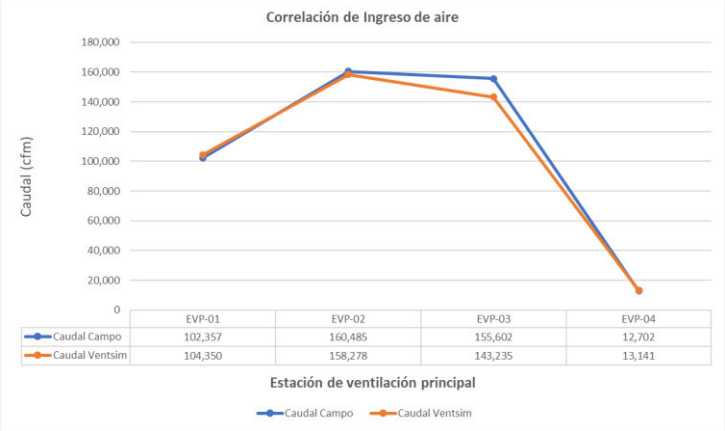
Correlación ingresos de aire.

Est.	Ubicación		Caudal Campo	Caudal Ventsim	Variación	
	Nivel-Piso	Labor	cfm	cfm	cfm	%
EVP-01	4580-4	RP(-)4507	102,357	104,350	-1,993	**-1.9%**
EVP-02	4580-1	BP-4580	160,485	158,278	2,207	**1.4%**
EVP-03	4510-2	RP(-)4005	155,602	143,235	12,367	**7.9%**
EVP-04	4510-2	CX-4041	12,702	13,141	-439	**-3.5%**
TOTAL INGRESO			**431,145**	**419,004**		**3.9%**

Nota. Elaboración propia

Figura 24

Correlación ingresos de aire



Nota. Elaboración propia

Tabla 39

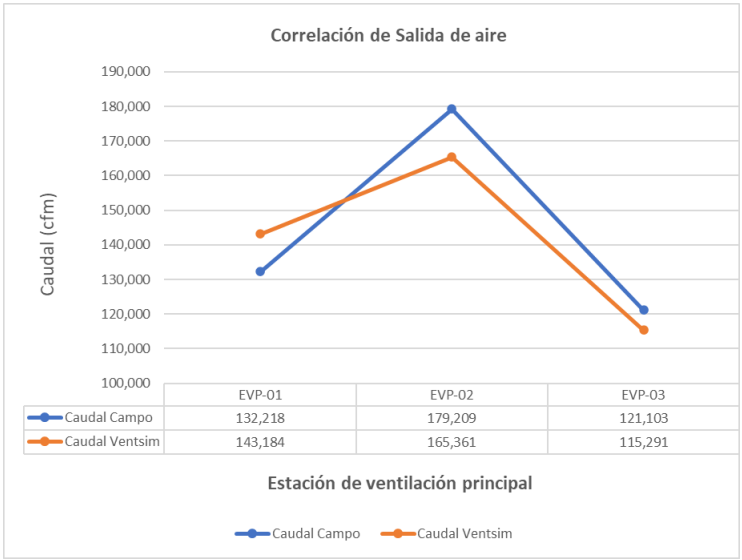
Correlación salida de aire

Est.	UBICACIÓN		Detalle	Caudal Campo	Caudal Ventsim	Variación	
	Nivel	Labor		cfm	cfm	cfm	%
EVP-01	Superf.	RB-VENT-4670	VAV-60-26.5-1750-II-A-100 kcfm-Magistral-Norte	132,218	143,184	-10,966	**-8.3%**
EVP-02	Superf.	RB-VENT-4310	VAV-60-30-1750-I-B-160 kcfm-Magistral-Centro	179,209	165,361	13,848	**7.7%**
EVP-03	Superf.	BM Magistral Sur	VAV-60-26.5-1750-II-A-120 kcfm-Magistral-Sur	121,103	115,291	5,812	**4.8%**
Total salida				**432,531**	**423,836**	**8,695**	**0.0**

Nota. Elaboración propia

Figura 25

Correlación salida de aire



Nota. Elaboración propia

4.7.4 Correlación de estaciones secundarias

Se tiene un total de 154 estaciones auxiliares de monitoreo (población), de las cuales para realizar una calibración acertada con respecto al modelo del Software se tomaron 100 puntos de monitores (muestras).

…Al reflexionar sobre tema afirmamos que uno de los problemas elementales que se le presenta al investigador referente con el muestreo consiste en saber si el grupo designado es verdaderamente representativo del conjunto; para que lo sea, los rasgos de los elementos o individuos elegidos para la muestra deben ser similares a los de toda la población (Marín Ibáñez, 1990).

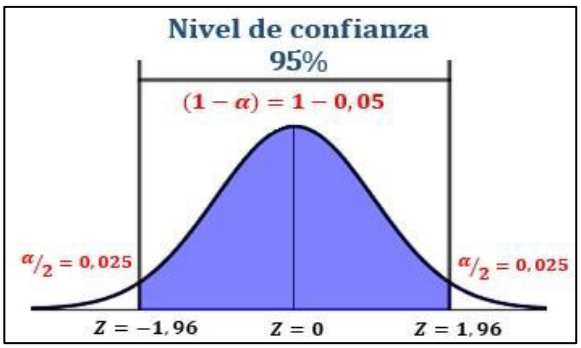
Considerando la cita anterior, podemos afirmar que dichos elementos (muestras tomadas) son significativas por la cual nos aremos la siguiente pregunta:

¿Qué cantidad de puntos estratégicos deben de considerarse para tener un nivel de confianza de 90% (K) en la mina Santander, donde los caudales no tengan alteraciones bruscas con un margen de error del ±10%?

Para determinar el nivel de confianza usaremos la campana de gauss, figura 26, en la tabla 40 se puede apreciar los niveles de confianza con su respectivo coeficiente de confianza.

Figura 26.

Gráfico del nivel de confianza Campana de Gauss.



Fuente: Gauss

Tabla 40.

Cuadro de Nivel de confianza y el coeficiente de confianza

Nivel de confianza Z (1-α)	90%	95%	95,50%	99%
Coeficiente de confianza	1,64	1,96	2	2,58

p = 0.5

q = 0.5

e = 10% = 0.10

K = 90% = 1.64 (Ver tabla 39).

$$\boldsymbol{n = \frac{K^2 * N * p * q}{[e^2(N-1)] + [K^2 * p * q]}}$$

Donde:

p : Probabilidad a favor.
q : Probabilidad en contra.
e : Margen de error.
k : Coeficiente de confianza.

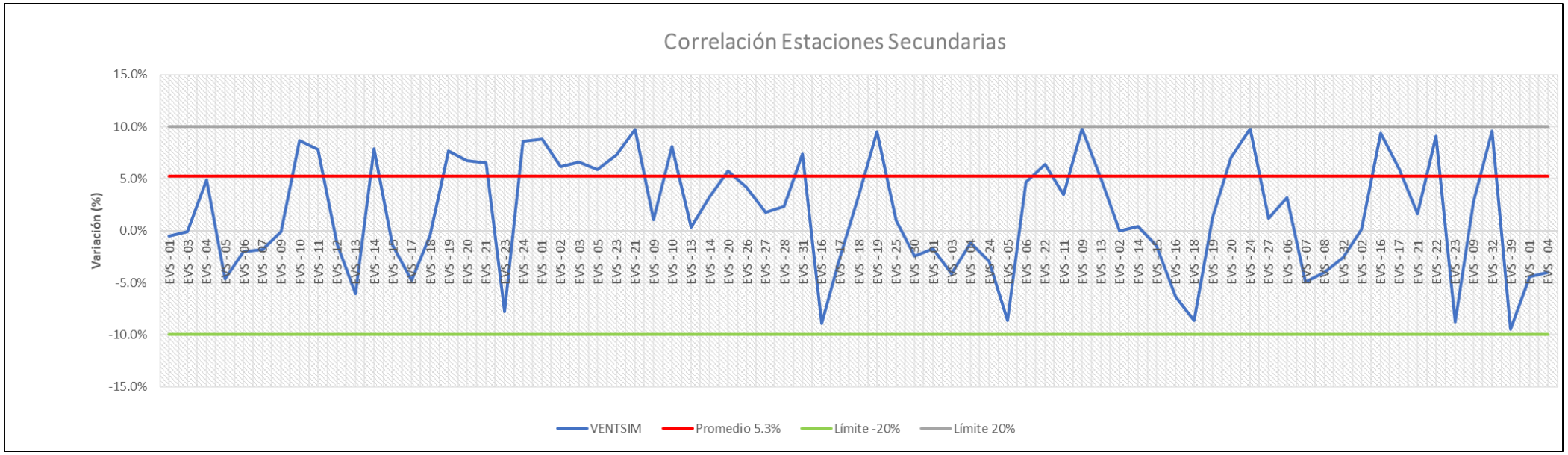
$$n = \frac{1.64^2 * 154 * 0.5 * 0.5}{[0.1^2(154-1)] + [1.64^2 * 0.5 * 0.5]}$$

$$\boldsymbol{n = 47.02 \cong 47\ pts.}$$

La cantidad de puntos a tomar para una confianza del 90% estadísticamente es de 47 puntos de los 154 tomados, siendo estos puntos que no deben variar del 10% la data tomada en campo con la simulación en el software 3D, teniendo esta data como base la presente investigación considera un total de 75 puntos de monitoreo (ver ANEXO 9.2), viéndose la siguiente variación tabla 41:

Tabla 41

Variación de las estaciones secundarias.



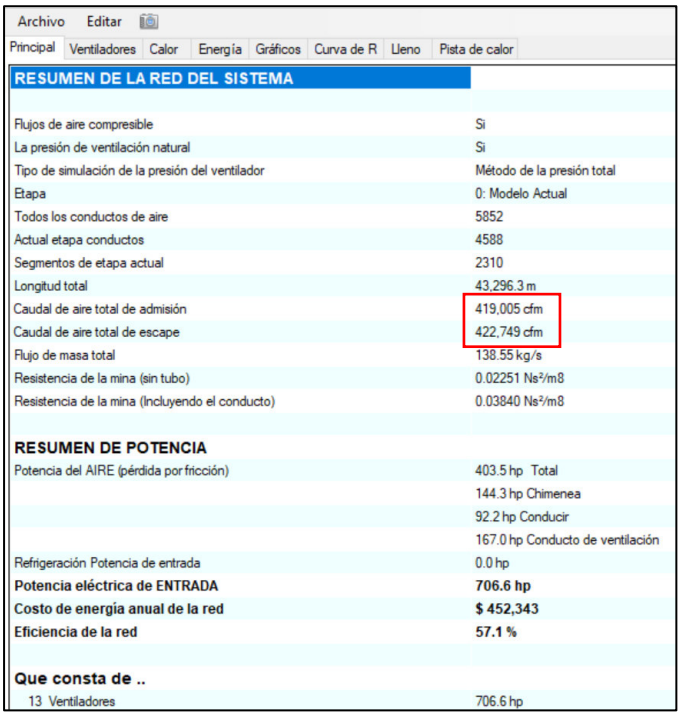
Nota. Elaboración propia

4.7.5 Resumen estado actual – modelo Ventsim visual™ avanzado

Se muestra el resumen de estado del sistema actual, en él se observa el balance general de ingresos y salidas de la mina; el caudal de aire que ingresa al sistema es de 419,005 cfm como se visualiza en la figura 27, adicional a esto también se muestra la resistencia de la mina, ver figura 28, la longitud total de las labores y de más parámetros calculados por el software Ventsim Visual™ Avanzado, permitiendo analizar las diferentes variaciones del sistema de ventilación.

Figura 27

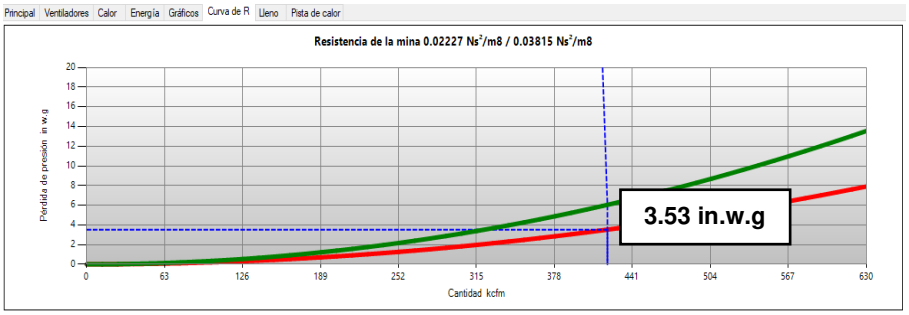
Resumen del sistema actual – Ventsim.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 28

Resistencia de la mina en Ventsim.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

4.7.6 Potencia Instalada – Global

El cuadro muestra también la potencia instalada consumida por los ventiladores, que asciende a **706 HP** por hora, generando un Costo Anual de energía de **US$ 452,343**. Este valor es calculado por el software en base a la potencia consumida por 03 ventiladores principales, y 08 auxiliares en funcionamiento; acorde a las curvas caracterizadas desarrollados en Ventsim y al costo unitario de energía proporcionado por la mina de **0.098 US$/kW-h**.

4.7.7 Distribución de Energía

Adicionalmente se presenta el resumen de las pérdidas de energía global del sistema; se observa que se dan principalmente por fricción en labores horizontales (**203.6 HP y 167.0 HP**), también las pérdidas por choque (**36.5 HP**), ver figura 29, al igual que las pérdidas por fricción, también pueden ser controladas e inclusive reducidas, brindando un margen para optimizar la eficiencia del sistema. Se recomienda suavizar en las intersecciones de las labores horizontales con las chimeneas de ventilación.

Figura 29

Resumen de distribución de energía.

Resumen de pérdidas de presión	
ChimeneaFricción del muro	143.6 hp
ConducirFricción del muro	203.6 hp
Conducto de ventilación Fricción del muro	167.0 hp
Regulador de Perdidas	13.0 hp
Pérdidas por Choque	36.5 hp
Pérdidas por el orificio	6.8 hp
Pérdidas en la salida	118.1 hp
Resumen de la Energía	
Pérdidas de presión	262.4 hp
Pérdidas por eficiencia del ventilador	185.0 hp
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Entrada eléctrica	**706.6 hp**

Nota. Fuente: Modelo Ventsim.

4.7.8 Cálculo de Caída de Presión Actual de la Mina

La fórmula fundamental de la ventilación de minas tiene su representación en un sistema cartesiano, donde en el eje "Y" tenemos la caída de presión H y en "X" el caudal Q. Como sabemos, cualquier galería

o un sistema de ella, formando un circuito de ventilación está representado por la siguiente relación:

$$H = R \times Q^2$$

Dónde:

H: Presión del sistema en Pascales (Pa)

R: Resistencia de la mina (Ns2/m8)

Q: Caudal total de ingreso de aire (m3/s)

En la tabla 42 se `puee visualizar la presión del sistema de ventilación actual de la mina, siendo 4"CA, y también gráficamente podemos observar el comportamiento de la caída de presión en la figura 30.

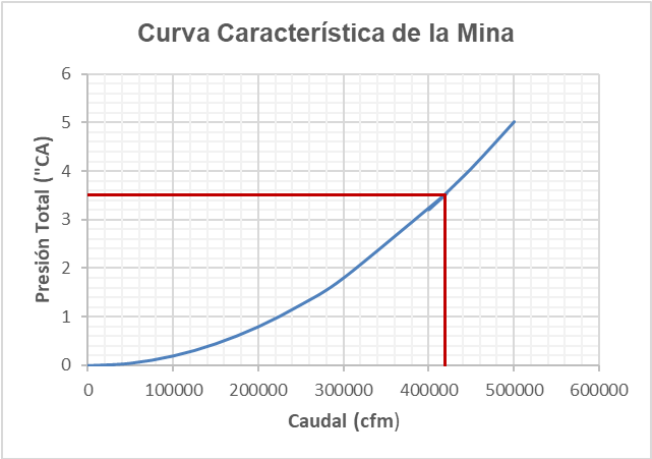
Tabla 42

Caída de presión del sistema

Presión de Mina		
Ingreso de aire	419,005	cfm
	199.53	m3/s
Resistencia	0.02244	Ns2/m8
Presión	893.35	Pa
	3.6 ≡ 4	"CA

Figura 30

Curva característica actual de la mina



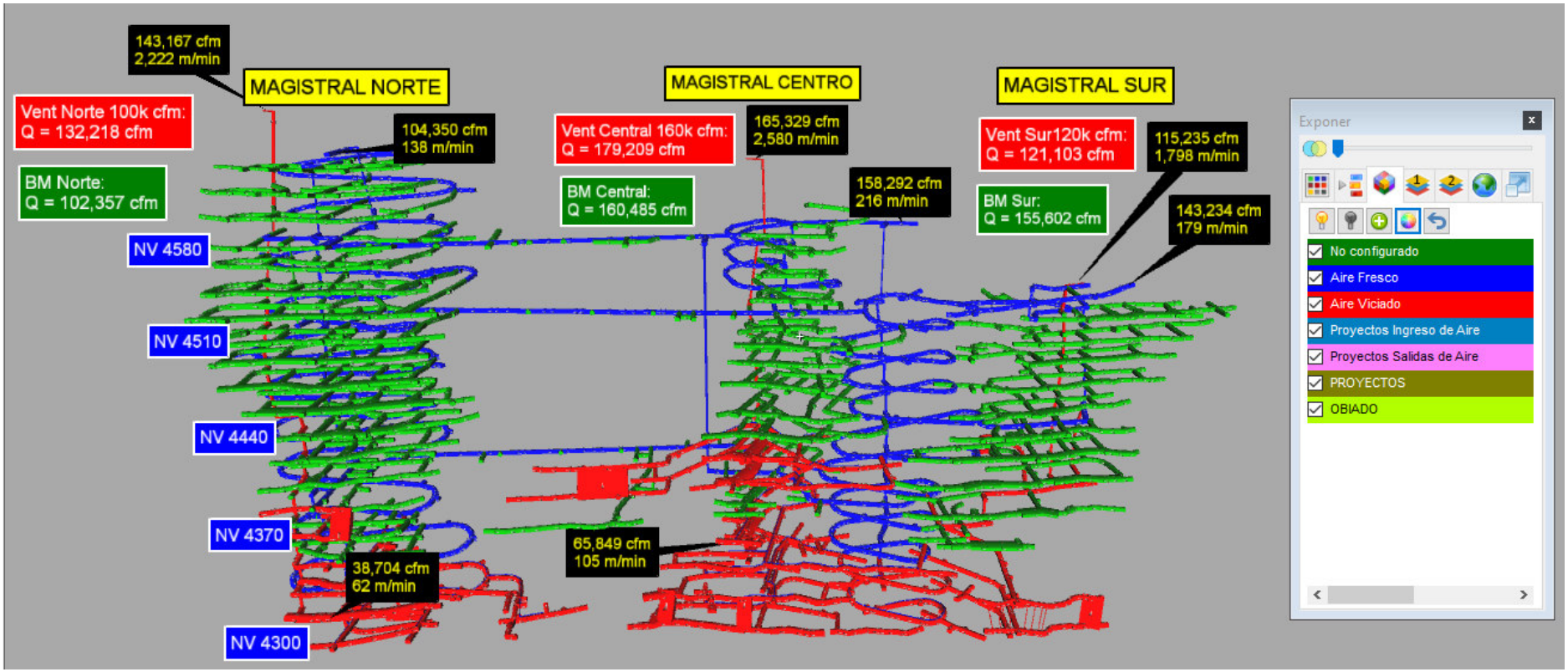
Nota. Elaboración propia

La presión de la mina es de 4 "CA, con una resistencia de 0.02244 Ns2/m8. La mina no es resistiva al paso de aire, por tener secciones amplias de 5x4 m.

En la figura 31 podemos visualizar el sistema de ventilación actual. Con sus respectivos ingresos y salidas de aire.

Figura 31

Circuito del sistema de ventilación actual de aire limpio y viciado.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim.

4.8 Requerimiento de aire proyectado a largo plazo

4.8.1 Requerimiento de aire para los trabajadores

Se proyecta incrementar 11 trabajadores a largo plazo, de tal manera se tendrá un requerimiento de 21,189 cfm, se detalla en la tabla 43.

Tabla 43

Requerimiento de aire a largo plazo para trabajadores.

Item	Empresa	Cant./gd	m3/min	cfm	Distrib. (%)
1	JRC	64	384	13,561	64%
2	VIJICSA	12	72	2,543	12%
3	SPEKTRA	4	24	848	4%
4	REDRILSA	4	24	848	4%
5	CIA	5	30	1,059	5%
6	REQUERIMIENTO A LARGO PLAZO	11	66	2,331	11%
	TOTAL	**100**	**600**	**21,189**	**100%**

Nota. Elaboración propia

4.8.2 Requerimiento de aire para equipos Petroleros -Diésel

Se proyecta incrementar seis (06) volquetes mercedes benz modelo actros 3344k 6x4 y un (01) Scoop Diesel de 6.3 Yds3, con la finalidad de aumentar su producción a 2,200 Toneladas métricas diarias. Se calcula un requerimiento de aire por equipos petróleos 523,444 cfm, como se muestra en la tabla 44.

Tabla 44

Requerimiento de aire para equipos diésel.

Ítem	Equipo	Potencia efectiva (HP)	DM (%)	FU (%)	FA (%)	cfm	Distrib. (%)
1	Jumbo	80	89.31%	26.38%	76%	**1,995**	0.38%
2	Jumbo	80	67.42%	27.95%	76%	**1,595**	0.30%
3	Jumbo	80	96.03%	23.57%	76%	**1,916**	0.37%
4	Simba	81	91.06%	17.61%	76%	**1,384**	0.26%
5	Simba	81	89.19%	17.16%	76%	**1,321**	0.25%
6	Simba	59	94.73%	18.70%	76%	**1,111**	0.21%
7	Scoop Diesel	206	74.29%	48.23%	76%	**7,801**	1.49%
8	Scoop Diesel	212	91.96%	72.00%	76%	**14,896**	2.85%
9	Scoop Diesel	212	94.93%	72.40%	76%	**15,463**	2.95%
10	Scoop Diesel	212	90.03%	74.40%	76%	**15,070**	2.88%
11	Scoop Diesel	212	98.53%	69.77%	76%	**15,466**	2.95%
12	Scoop Diesel	212	98.53%	69.77%	76%	**15,466**	2.95%
13	Scoop Diesel	212	98.35%	68.36%	76%	**15,126**	2.89%
14	Volquete	327	94.80%	73.84%	76%	**24,215**	4.63%
15	Volquete	327	94.74%	74.40%	76%	**24,384**	4.66%
16	Volquete	327	91.24%	73.79%	76%	**23,290**	4.45%
17	Volquete	327	94.80%	73.35%	76%	**24,055**	4.60%
18	Volquete	327	95.78%	77.09%	76%	**25,543**	4.88%
19	Volquete	327	95.60%	77.37%	76%	**25,587**	4.89%
20	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
21	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
22	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
23	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
24	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
25	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
26	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
27	Volquete	327	94.80%	81.28%	76%	**26,655**	5.09%
28	Alpha 20	110	95.51%	32.40%	76%	**3,618**	0.69%
29	Tornado	110	96.67%	32.80%	76%	**3,707**	0.71%
30	Tornado	110	80.39%	38.20%	76%	**3,591**	0.69%
31	Scaler	76	97.10%	37.62%	76%	**2,946**	0.56%
32	Telehandler	76	90.53%	22.50%	76%	**1,643**	0.31%
33	Telehandler	76	96.90%	25.23%	76%	**1,971**	0.38%
34	Motoniveladora	95	98.22%	34%	76%	**3,326**	0.64%
35	Camioncito	105	80%	49%	76%	**4,318**	0.82%
36	Camioncito	105	80%	49%	76%	**4,318**	0.82%
37	Camioneta	91	80%	49%	76%	**3,754**	0.72%
38	Camioneta	91	80%	49%	76%	**3,754**	0.72%
39	Camioneta	91	80%	49%	76%	**3,754**	0.72%
40	Camioneta	91	80%	49%	76%	**3,754**	0.72%
41	Camioneta	91	80%	65%	76%	**5,032**	0.96%
42	Camioneta	91	80%	65%	76%	**5,032**	0.96%
TOTAL		**7,925**				**523,444**	**100%**

Nota. Elaboración propia

4.8.3 Requerimiento por consumo de Madera

La mina es completamente mecanizada, por tanto, no se considera en su evaluación del requerimiento de caudal de aire por madera.

4.8.4 Requerimiento por Temperatura

La mina no tiene problemas de calor o estrés térmico y tampoco se observa el incremento de temperatura a largo plazo. De modo que, la norma solo exige el requerimiento de caudal de aire para temperaturas entre el rango 24°C-29°C. por lo que no se considera el cálculo.

4.8.5 Requerimiento por Fugas

Por normativa peruana, esto es el 15% de la sumatoria de todos los requerimientos de aire siendo 75,377 cfm, como se muestra en la tabla 45.

Tabla 45

Requerimiento de aire por fugas

Item	Descripción	Caudal (cfm)
1	Caudal requerido para trabajadores	21,189
2	Caudal de aire requerido por equipos	481,323
3	Caudal de aire requerido por madera	0
4	Caudal de aire requerido por temperatura	0
5	Sub total	502,512
6	**Caudal de aire requerido por fuga (15%)**	**75,377**

Nota. Elaboración propia

4.8.6 Requerimiento global de aire proyectado

El requerimiento de aire total es de 626,327 cfm distribuido de la siguiente manera, ver tabla 46.

Tabla 46

Requerimiento de aire global.

Distribución Requerimientos	m3/min	cfm
QTr: N° Trabajadores (100 trabajadores/gd)	600	21,188
QEq: Equipos con motor petrolero (42 equipos)	14,822	523,444
QFu: Caudal requerido por fugas	2,313	81,695
Caudal Requerido (QTr+QEq+Qfu)	**17,735**	**626,327**

Nota. Elaboración propia

4.9 Balance de aire actual vs requerimiento proyectado a largo plazo

Considerando el aire requerido a largo plazo, con el incremento de 11 trabajadores y 7 equipos, de acuerdo al D.S. 023-2017 EM en su artículo 252, la cobertura global de aire se proyecta respecto al actual es 69%, representando un déficit de 195,182 cfm, tal como se muestra en la tabla 47.

Tabla 47

Balance de aire actual

Balance Total de Aire a Laro 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**
Cobertura (%)	**69%**	
Déficit (cfm)	**195,182**	

Nota. Elaboración propia

4.10 Presentación de resultados

Para cumplir con mayor o igual al 100% del requerimiento de aire proyectado a largo plazo, se planifica llegar con lo requerido en dos etapas, proyecto a mediano plazo y proyectos a largo plazo del sistema de ventilación.

4.11 Planificación del sistema de ventilación con proyecto Mediano Plazo (2021-2022)

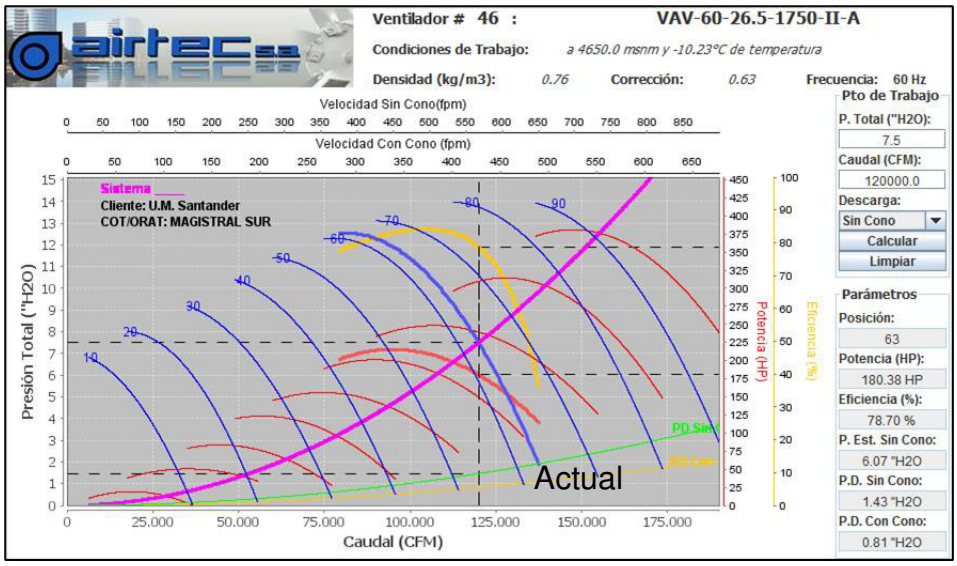
Los proyectos a mediano plazo de desarrollan con el objetivo de cumplir con el requerimiento de aire fresco a largo plazo, por tanto, una de las mejores alternativas para alcanzar una cobertura al 100%, son los siguientes:

1. Reemplazar el ventilador de 160 kcfm (VAV-60-30-1750-I-B) de la zona MG. Centro (RB-VENT-4670) por 02 ventiladores de 120 kcfm (VAV-60-26.5-1750-II-A-60Hz), instalados ambos en paralelo.

   El objetivo de este nuevo sistema es aumentar el ingreso del caudal de aire, y por la simulación en Ventsim generan entre ambos una salida de aire viciado de 222.9k cfm. No es recomendable variar los ángulos de sus álabes, por la operatividad de ambos ventiladores en un eje altamente resistivo. Se puede realizar la interpretación expuesta en la figura 32 y figura 33.

Figura 32

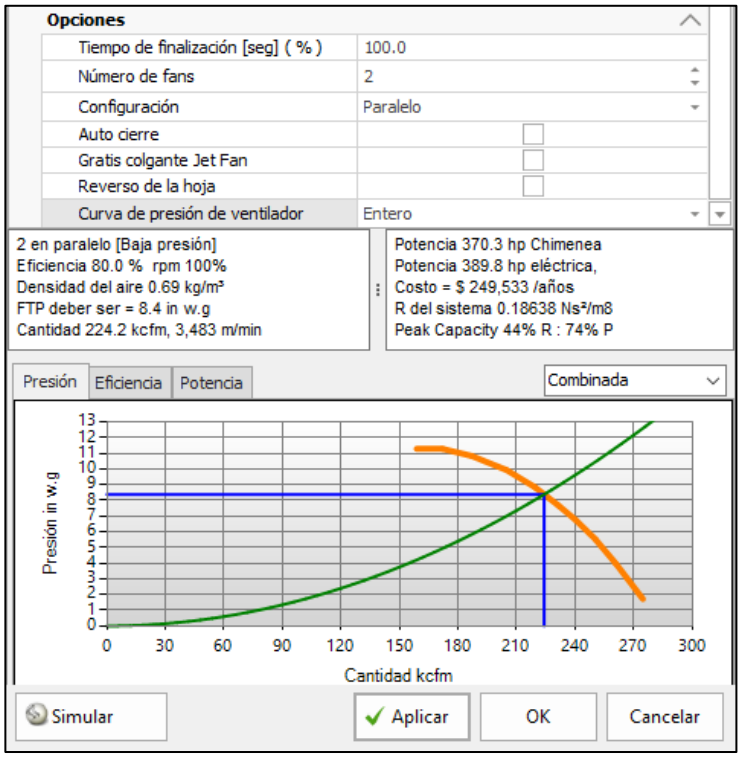
Curva característica ventilador VAV-60-26.5-1750-II-A-60 Hz_MG. Norte



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 33

Curva combinada de trabajo de los ventiladores de 120 kcfm_MG. Centro.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

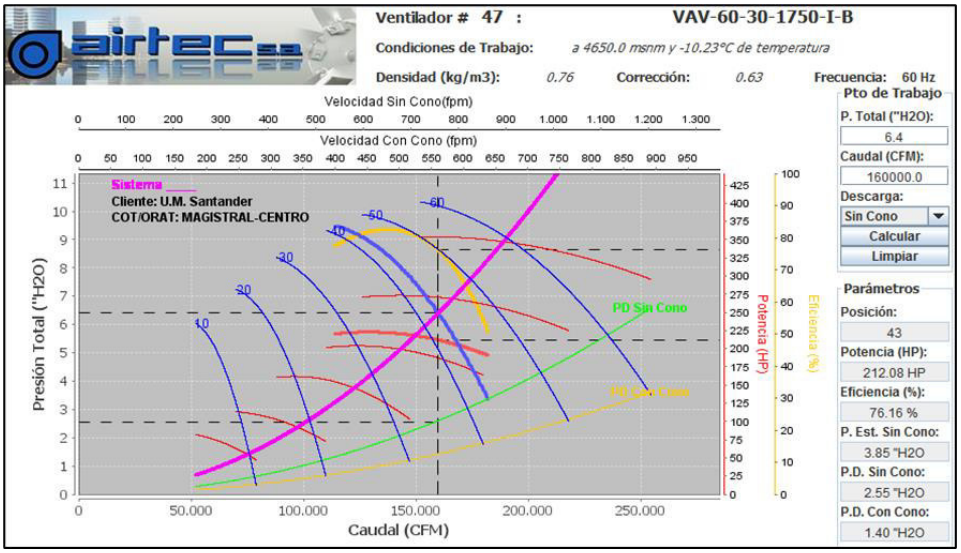
2. Reemplazar el ventilador de 100 kcfm de la zona MG. Norte (RB-VENT-4670), por el ventilador de 160 kcfm (VAV-60-30-1750-I-B).

   El objetivo de este nuevo sistema es aumentar caudal de aire fresco para cubrir el requerimiento de aire al 100%. Por la simulación en Ventsim generará

una salida de aire viciado de 165 kcfm. No es recomendable variar los ángulos de sus álabes, ya que actualmente, está trabajando con una potencia de 201 HP (medido en campo), muy cerca de su potencia máxima que es de 210 HP. Ver figura 34 y figura 35.

Figura 34

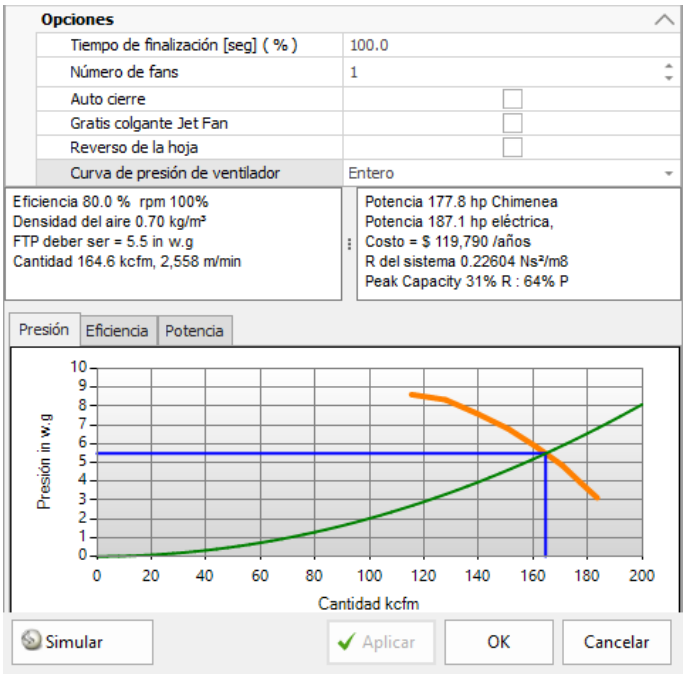
Curva característica del ventilador de 160 kcfm.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 35

Curva combinada de trabajo del ventilador de 160 kcfm_MG. Norte.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

En la figura 40 se puede visualizar el sistema de ventilación planteado a mediano plazo, como parte de la transición para el sistema de ventilación a largo plazo.

Aclaración: En un primer análisis, para la ubicación de los ventiladores, se tuvo las siguientes alternativas: realizar la instalación del ventilador de 160 Kcfm en MG. Sur, y el ventilador de 120 Kcfm a la zona MG. Norte.

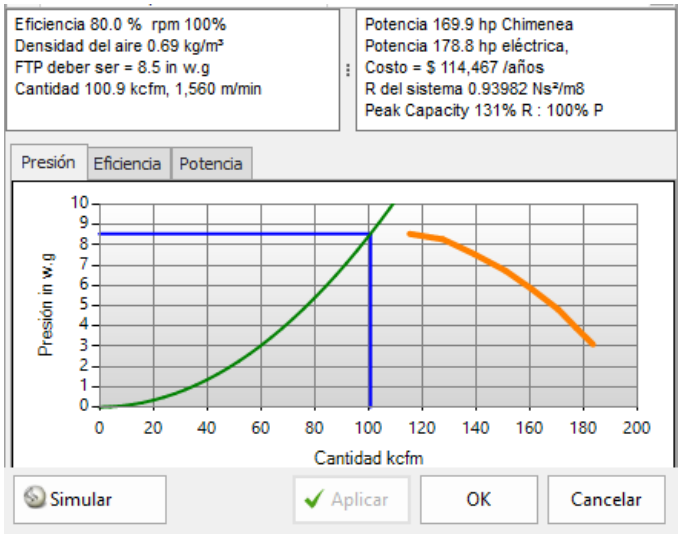
Por la simulación en Ventsim (Figura 36), si se instalaría el ventilador de 160 Kcfm en el MG. Sur (con una presión total de 6.4" CA trabajo), el punto de operación llega a la zona de stall de la curva del ventilador (quiere decir que el ventilador puede quedar inoperativo), debido a que la chimenea principal requiere un ventilador por encima de una presión total de 7.0" CA.

Si se instalaría el ventilador de 120k cfm (con una presión total de 7.5"CA trabajo) colocado en MG. Norte, genera una disminución extracción de aire viciado a 11k cfm respecto a la actual de 100k cfm (12.3" CA trabajo), ver figura 37 y figura 38, esto se debe a que en la chimenea principal de la zona norte requiere una presión total por encima de 7.5" CA. El punto de operación del ventilador de 120k cfm se muestra en la figura 29.

Por lo que, no es recomendable hacer cambios de estos ventiladores mencionados en los ejes de salida de aire viciado de MG. Norte y Sur.

Figura 36

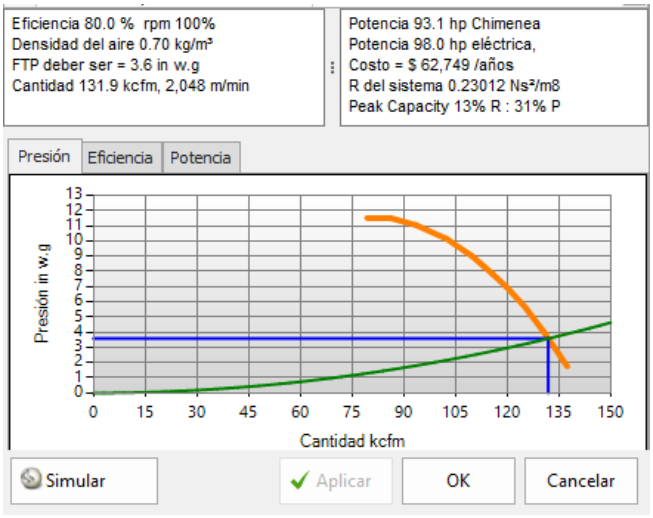
Curva característica del ventilador 160K cfm en MG. Sur – reubicado.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 37

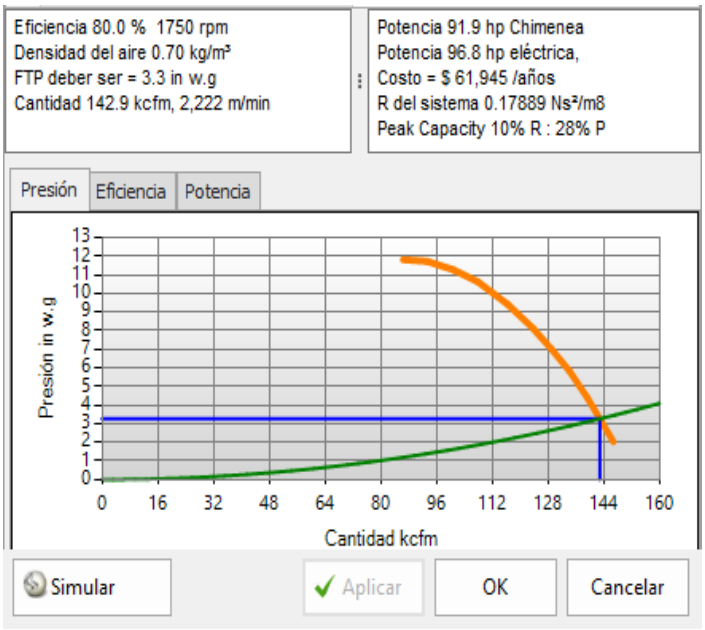
Curva característica del ventilador 120K cfm en MG. Norte – reubicado.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 38

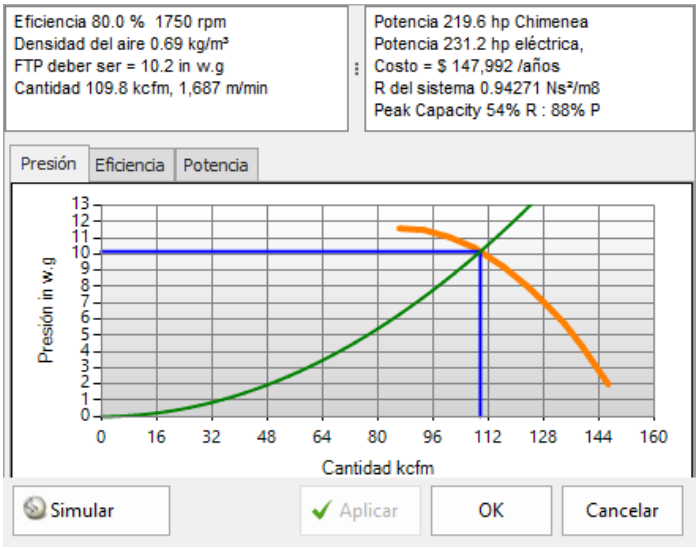
Curva característica del ventilador 100K cfm en MG. Norte – actual.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 39

Curva característica del ventilador 120K cfm en MG. Sur – actual.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

4.12 Costo de energía por ventilación a mediano plazo

De acuerdo a la proyección del sistema de ventilación a mediano plazo, con la implementación y movimiento de ventiladores en la superficie se tiene en el sistema principal un costo de 396,781 USD, y 254,967 USD; tal como se muestra en la tabla 48 y tabla 49 respectivamente. en el sistema de ventilación a mediano plazo, con un total de 651,747 USD.

Tabla 48

Costo de energía de ventiladores principales a mediano plazo.

Item	Marca	Zona	Nivel	Capac. (cfm)	Pot. Trabajo Nom. (HP)	Presión Cota Trabajo ("CA)	F. P.	Pot. Real HP	Costo Energía. US$/Kw-h	Costo US$/año	Distrib. Energía
1	AIRTEC	MG.Centro	Superf.	160,000	210	6.4	0.85	201.4	0.098	127,244	32%
2	AIRTEC	MG. Centro	Superf.	120,000	144	7.5	0.85	142.2	0.098	89,845	23%
3	AIRTEC		Superf.	120,000	144	7.5	0.85	142.2	0.098	89,845	23%
4	AIRTEC	MG. Sur	Superf.	120,000	144	7.5	0.85	142.2	0.098	89,845	23%
TOTAL				**520,000**	**354**			**628**		**396,781**	**100%**

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 49.

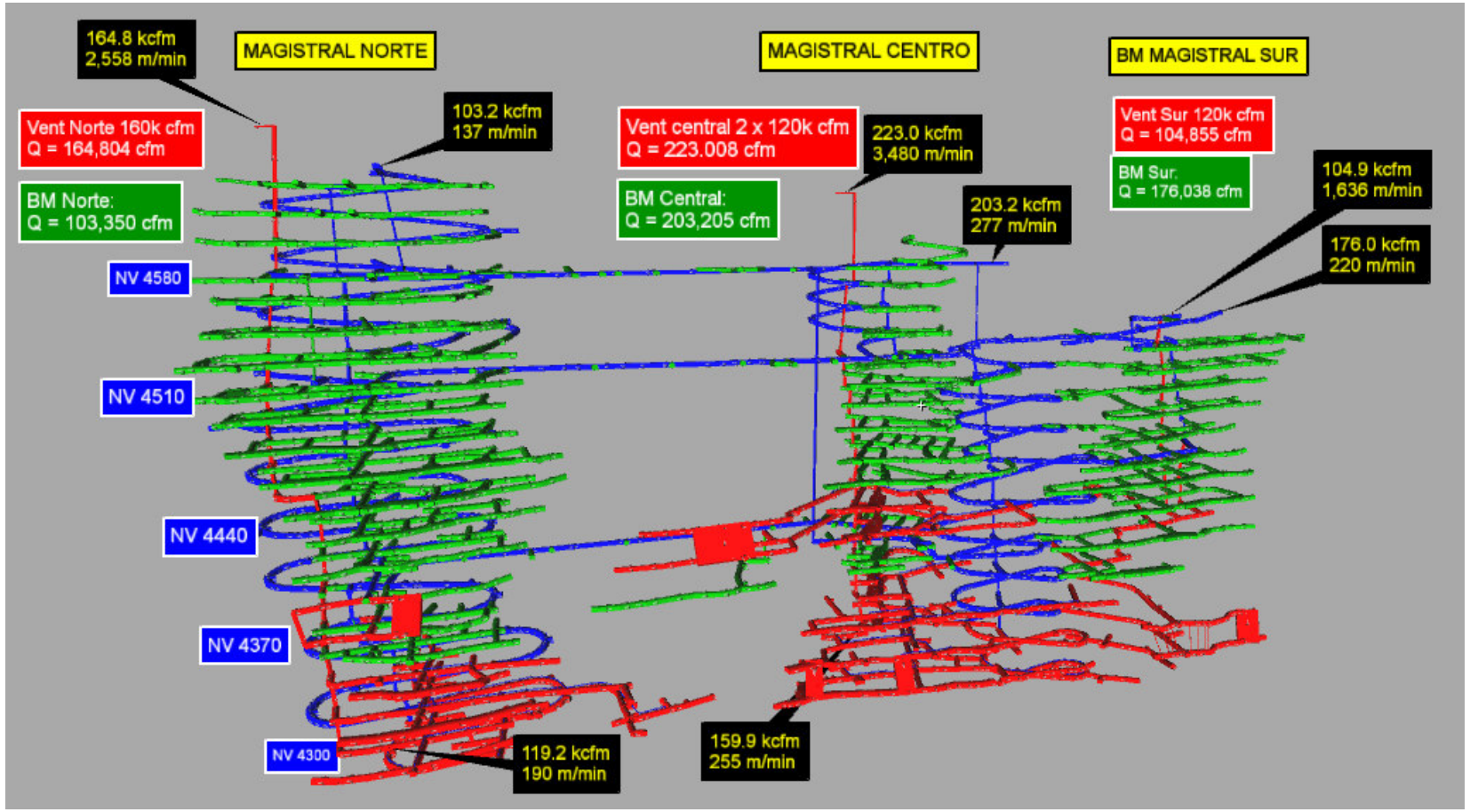
Costo de energía de ventiladores principales a mediano plazo.

Item	Marca	Capac. (cfm)	HP Nom.	Pot. Trabajo Nom. (HP)	*Presión Total a cota mar ("CA)	Costo Unit. ($/KW-h)	Costo/año ($/año)	Distrib. Energía
1	AIRTEC	30,000	60	35	9	0.098	21,792	9%
2	AIRTEC	30,000	60	35	9	0.098	21,792	9%
3	AIRTEC	40,000	125	72	12	0.098	45,400	18%
4	AIRTEC	30,000	50	29	8	0.098	18,160	7%
5	ATLAS COPCO	30,000	74	43	10	0.098	26,877	11%
6	ATLAS COPCO	30,000	74	43	10	0.098	26,877	11%
7	AIRTEC	40,000	125	72	12	0.098	45,400	18%
8	AIRTEC	30,000	60	35	9	0.098	21,792	9%
9	ATLAS COPCO	30,000	74	43	10	0.098	26,877	11%
	TOTAL	**410,000**	**952**	**547**			**254,967**	**100%**

Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Ingreso y salidas de aire - Sistema planteado a mediano plazo.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

4.12.1 Balance y cobertura a mediano plazo

Considerando el requerimiento global actual para: los HP efectivos de los equipos, personal, caudal por fuga. Al término de la implementación del sistema de ventilación a mediano plazo la cobertura de aire estará en 114% respecto al requerimiento actual, ver tabla 50 y figura 42, siendo la demanda total de aire de 421,940 cfm. En la figura 41 se muestra el resumen del sistema de ventilación planteado a mediano plazo.

Figura 41

Resumen del sistema a mediano plazo – Ventsim.

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	1: Modelo Corto Plazo
Todos los conductos de aire	5852
Actual etapa conductos	4588
Segmentos de etapa actual	2322
Longitud total	43,296.3 m
Caudal de aire total de admisión	482,646 cfm
Caudal de aire total de escape	492,559 cfm
Flujo de masa total	159.63 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.02911 Ns²/m8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.03933 Ns²/m8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	642.6 hp Total
	357.7 hp Chimenea
	117.9 hp Conducir
	167.0 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	**1,022.2 hp**
Costo de energía anual de la red	**$ 654,400**
Eficiencia de la red	**62.9 %**

Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Tabla 50

Balance proyectado a corto plazo.

Balance Total de Aire Mediano Plazo		
Distribución de Aire	**m3/min**	**cfm**
Total de aire requerido	11,948	**421,940**
Ingreso de aire	13,667	482,646
Salida de aire	13,948	**492,559**
Cobertura (%)	**114%**	
Superávit (cfm)	**60,706**	

Nota. Elaboración propia.

4.12.2 Inversión a mediano plazo CAPEX y OPEX

a. Costo de capital – CAPEX

Evaluamos el sistema de ventilación actual obteniendo un requerimiento de 421,940 cfm con una cobertura de 102% y el requerimiento a largo plazo 626,327 cfm con una cobertura respecto al actual de 69%, es por ello que se realiza proyectos a mediano plazo con el objetivo de una transición adecuada al cumplimiento del requerimiento de aire fresco a largo plazo.

El costo del movimiento e ingeniería para los ventiladores principales es de 44,000 USD, así como muestra en la tabla 51:

Tabla 51

CAPEX de proyectos a mediano plazo

Item	Proyecto	Descripción	Nivel	Zona	Cant.	P.U. US$	Costo US$
1	Obras Civiles y Acondicionamiento del Ventilador	Desinstalación de ventilador de 100 kcfm e instalacion de ventilador de 160 kcfm	Nv 4680	Norte	1	12,000	12,000
2	Obras Civiles y Acondicionamiento del Ventilador	Desinstalación de ventilador de 160 kcfm e instalacion de 2 ventiladores de 120 kcfm	Nv 4640	Centro	1	12,000	12,000
3		Base concreto para 2 ventiladores de 120 kcfm	Nv 4640	Centro	1	20,000	20,000
		Total					**44,000**

Nota. Elaboración propia

b. Costo Operación – OPEX

El costo operativo está dado por el personal encargado de velar en ejecutar los proyectos a mediano plazo, en la tabla 52 se visualiza la incidencia de leyes y beneficiosos sociales considerados en el opex. de tal manera se tiene un costo operativo anual de 146,338 USD en mano de obra, ver tabla 53; 651,747 USD en el costo de energía de ventiladores auxiliares y principales, ver tabla 54; 57,000 USD en costo de regulación de flujo y 40,247 USD en mantenimiento y repuestos, con un OPEX total de 798,085 USD, ver tabla 55.

Tabla 52

Determinación de la incidencia de leyes y beneficios sociales.

Item	Descripción	Obreros	Empleados
1	Essalud	9.00%	9.00%
2	Seguro Complem. Salud	1.15%	1.15%
3	Seguro Complem. Invalidez	5.73%	5.73%
4	Seguro Vida Ley	0.36%	0.36%
		16.24%	**16.24%**
5	Dominicales	20.98%	0.00%
6	Feriados	5.24%	0.00%
7	Descanso Medico	4.37%	0.00%
8	Induccion	0.00%	0.00%
9	Asignacion Familiar	7.08%	2.18%
10	Vacaciones	13.11%	10.57%
11	Gratificaciones	27.40%	21.50%
12	Compensacion Por Tiempo De Servicios	13.94%	10.79%
	Total leyes sociales	**108.35%**	**61.27%**

Nota. Elaboración propia

Tabla 53

Costo de equipo de trabajo.

Item	Cargo	Cantidad	Sueldo básico	Total_Mes S/.	Total_Año S/.	Total_Año US$.
1	Jefe de Ventilación	1	8000	12902	154819	37,761
2	Asistente de Ventilación	1	7500	12095	145143	35,401
3	Operarios de Compañía	3	60	11251	135011	32,930
4	Operarios de ECM	4	55	13751	165014	40,247
	Total	9				**146,338**

Tasa de cambio 4.10 soles el dólar

Nota. Elaboración propia

Tabla 54

Costo de energía de ventilación a mediano plazo.

Item	Descripción	Costo/año ($/año)
1	Ventiladores Principales	396,781
2	Ventiladores auxiliares	254,967
	Costo total	651,747

Nota. Elaboración propia

Tabla 55

OPEX del sistema de ventilación a mediano plazo.

Item	Descripción	Costo/año ($/año)
1	Costo por consumo de energia	651,747
2	Mano de obra	146,338
3	costo de regulación de flujo	57,000
4	Mantenimiento/repuesto (6.5%)	42,364
	Opex	897,449

Nota. Elaboración propia

4.13 Planificación del sistema de ventilación con proyecto a largo plazo – 2 años

Para dar cumplimiento a la normativa del D.S. N° 024-2016-EM, y su Modificatoria según el D.S. N° 023-2017-EM, es pertinente cumplir la cobertura de aire al 100% en el sistema de ventilación a largo plazo.

Se ha validado el incremento del requerimiento global de aire para el sistema proyectado, sumándose la totalidad en 626,327 cfm; por tanto, la cobertura de aire se verá disminuida en 69% respecto a la cobertura actual, tal como se muestra en la tabla 56.

Tabla 56

Balance de aire a largo plazo respecto al sistema actual.

Balance Total de Aire		
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
Cobertura (%)	**69%**	
Déficit (cfm)	**195,182**	

Nota. Elaboración propia

Esto conlleva necesariamente al desarrollo de un eje de ingreso de aire fresco y un eje de salida de aire viciado; con una capacidad de 200k cfm dado que, en el sistema actual se tienen los ejes de ingresos y salidas de aire en sus límites máximos, es decir, no es factible poner un ventilador de mayor capacidad para lograr ingresar volumen extra de aire al sistema, ya que esto generaría en el circuito principal, velocidades de aire fuera del límite permisible (250 m/min).

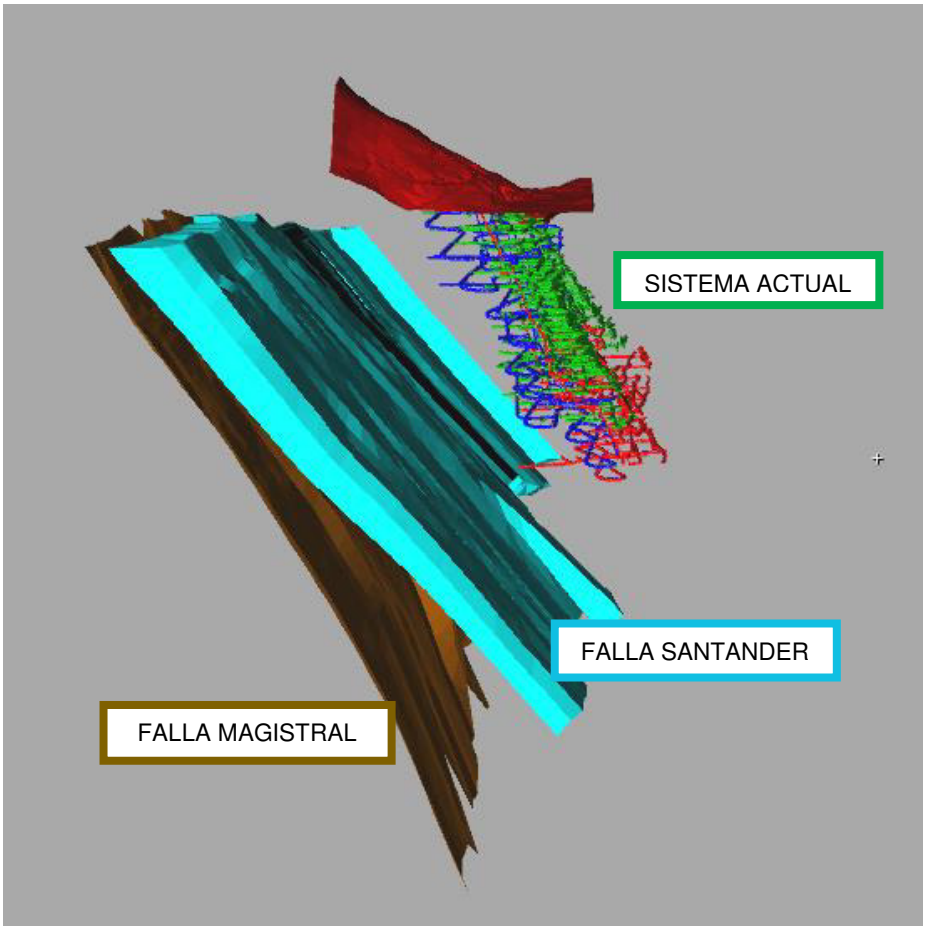
Para el planteamiento adecuado del proyecto de ejes de ventilación se debe considerar las fallas presentes, así como la zona donde se tiene reservas de acuerdo al área de planeamiento. De esta manera ubicamos nuestros ejes en la zona adecuada.

a. Evaluación de la zona de fallas de la Mina Santander – Glencore

Se identifican 2 fallas importantes, falla Santander y falla magistral, ubicados como se muestra en la figura 42:

Figura 42

Ubicación de la falla santander y magistral.



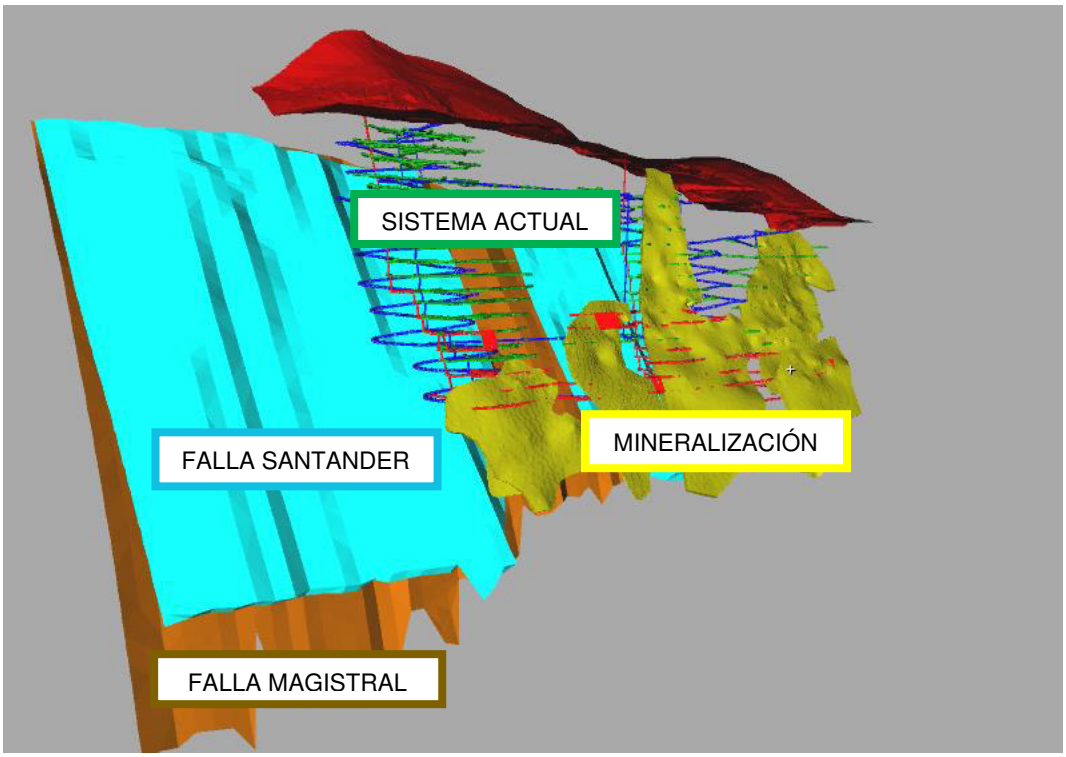
Nota. Fuente: Modelo Ventsim

b. Mineralización en Santander – Glencore

Para plantear proyectos de ventilación como raise boring, raise climber, galería, entre otros se debe evaluar el direccionamiento de la mineralización de tal manera el sistema de ventilación planteado pueda atribuir aire fresco durante un largo periodo. La mineralización de la mina Santander está desarrollándose en la zona central y sur, rpfundizaciòn, ver figura 43 y figura 44, de tal manera el sistema de ventilación proyectado a largo plazo deberá estar direccionado a esas áreas, para que abastezca el aire fresco a largo plazo.

Figura 43

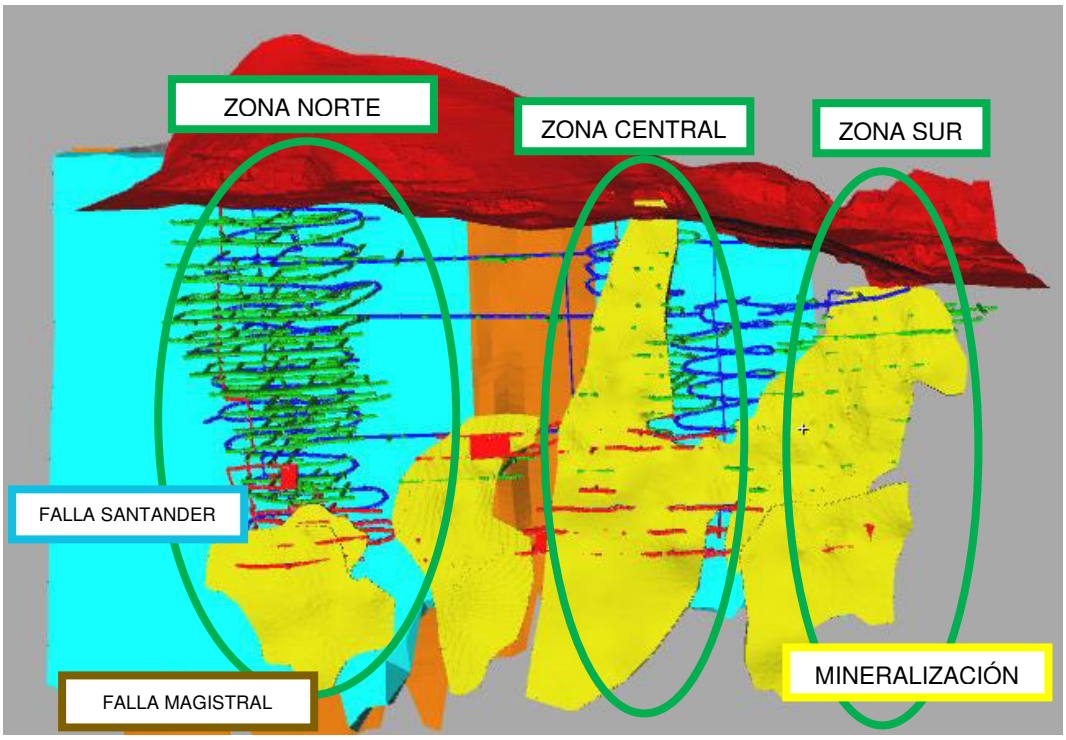
Vista isométrica de la mineralización en la mina Santander.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 44

Vista Frontal de la mineralización en la mina santander.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

c. Ubicación de proyecto

Una vez identificado nuestras limitantes en el proyecto, como fallas presentes y la mineralización de la mina, así como la importancia y prioridad donde se debe direccionar, proporcionar aire fresco, con el área geomecánica, planeamiento y el equipo de ventilación ubicamos el proyecto más acorde de acuerdo al requerimiento.

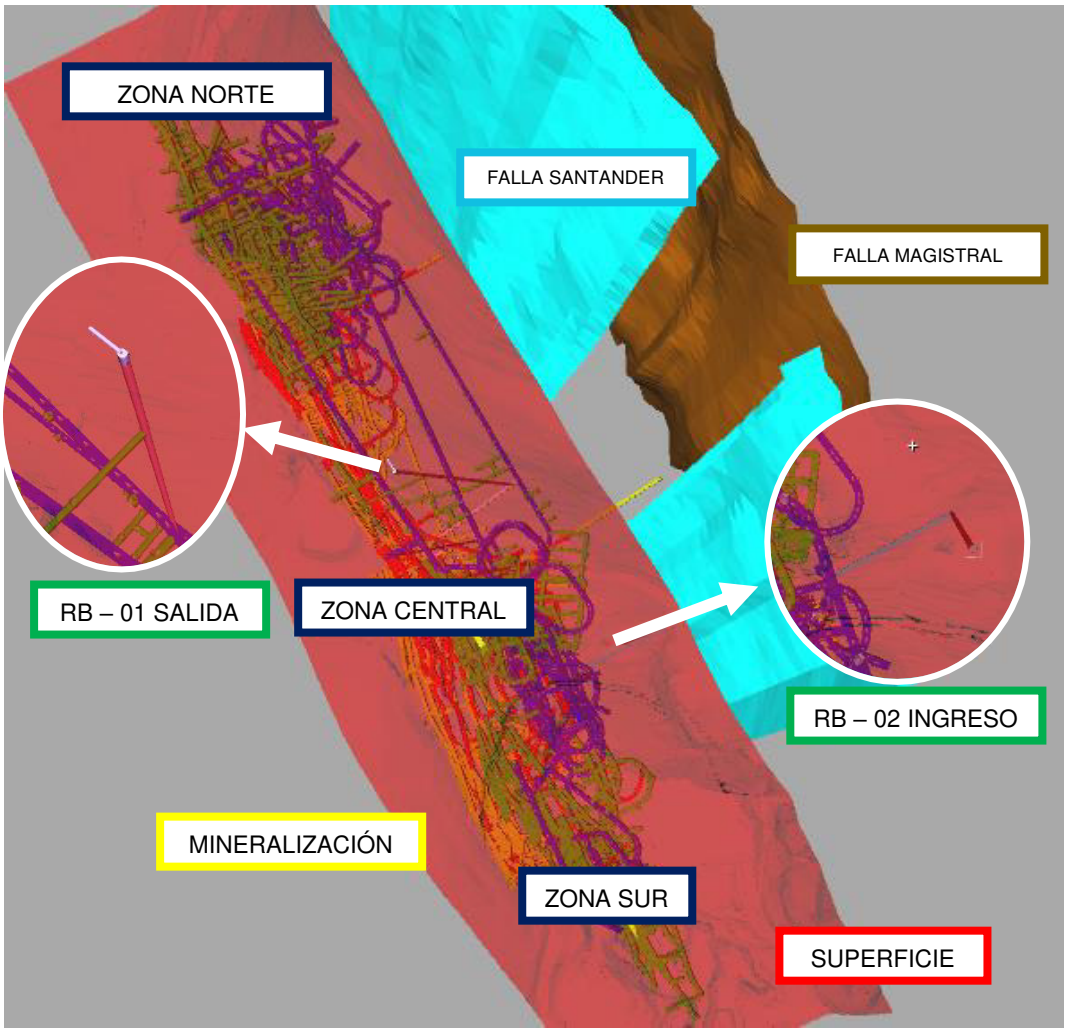
Los ventiladores que actualmente tenemos están trabajando a su límite, así como también los troncales principales de ventilación actual son de diámetro 2.4m lo mismo que hace que tenga mucha resistencia ara un ventilador de mayor capacidad, es por ello que se debe plantear un sistema principal de ventilación independiente.

Dado que tenemos un déficit de 195,182 cfm, se debe plantear un Rb de ingreso de aire fresco al cual llamaremos Rb 02 y otro de salida de aire viciado al cual llamaremos Rb 01, donde se instalará un ventilador de 200k cfm, por el mismo hecho de ser el déficit actual.

De acuerdo al análisis realizado en campo, fallas, dirección y zona de mineralización estimado, el sistema de ventilación proyectado deberá estar ubicado en la zona central. De tal manera con este sistema de ventilación troncal se pueda satisfacer las necesidades de aire en la zona central y sur profundización. En la figura 45 y figura 46 se visualiza el punto establecido para el proyecto.

Figura 45

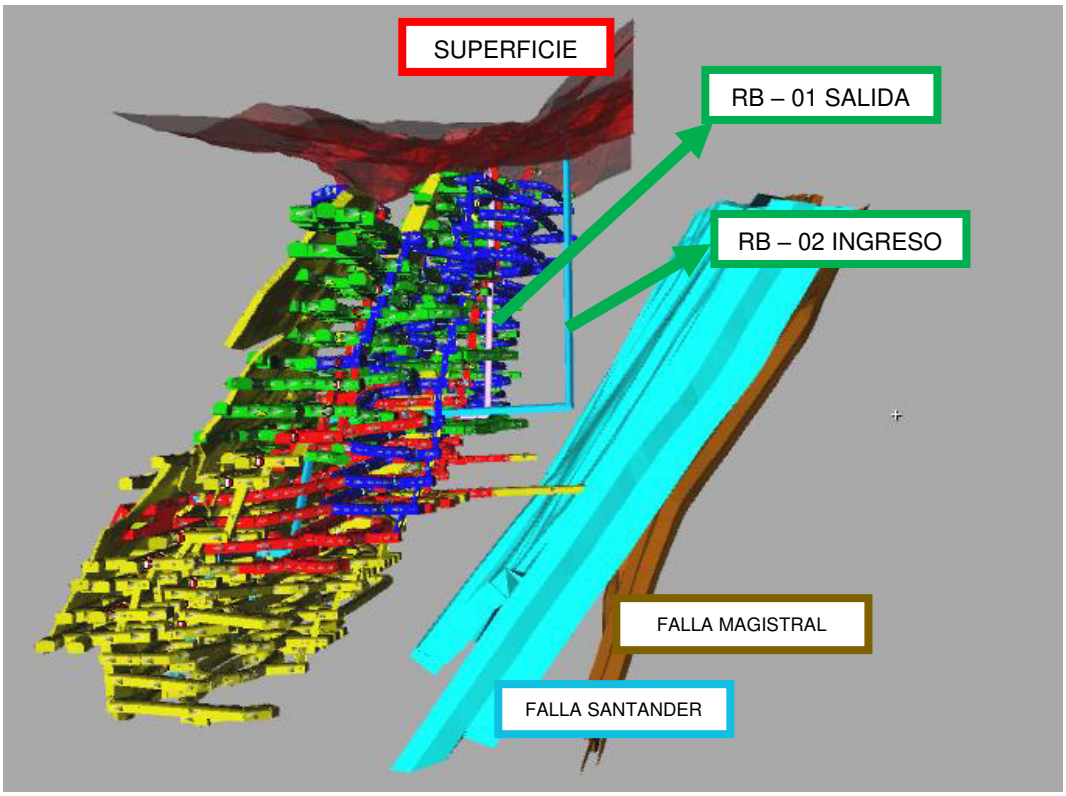
Vista en planta de ubicación donde se desarrollará los proyectos.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 46

Vista en el eje X del proyecto planteado.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

d. Selección del diámetro óptimo de las chimeneas Rb 01 y Rb 02

Una vez determinado las ubicaciones de los raise boring (Rb) proyectados, es necesario validar la sección óptima del Rb. Actualmente se tiene diferentes diámetros de RBs, entonces, se debe estandarizar y demostrar si efectivamente ese tamaño cumple con transportar el aire sin que ocasione el sobreesfuerzo de los ventiladores principales. Para realizar el cálculo del diámetro óptimo, de una chimenea de Ventilación, se debe definir, primero el caudal que vamos a mover (extraer), y la longitud de la labor en proyecto, así de esta manera, se usará la ecuación de la caída de presión por fricción para hallar la resistencia (Malcolm J. McPherson):

El caudal que se requiere extraer es de 200k cfm, dado que según los requerimientos a largo plazo se tendrá un déficit de 195,182 cfm de aire fresco según tabla 48.

Método Algebraico

Se evaluaron para el raise borer 01 y 02 (RB – 01 y RB - 02) propuesto, con valores promedios de: factor de fricción K (0.005 kg/m3) para los RBs (Malcolm J. McPherson), costo de excavación de acuerdo a diámetro,

densidad de aire (0.69 kg/m3) y costo de energía 0.098 US$/kW-h. los datos se visualizan en la tabla 57.

Para la evaluación de diámetro óptimo de los raise boring se toma los datos del Rb 01 ya que la longitud y el factor de fricción son los mismos.

En la tabla 58 podemos visualizar los diferentes costos de raise boring de acuerdo al diámetro.

Tabla 57

Datos para Evaluar el diámetro óptimo de Rb.

Datos requeridos			
"K" tabla	K´ =	0.005	Kg/m3
Densidad	d =	0.69	Kg/m3
Eficiencia ventilador	n =	0.8	
Tasa interés	Ci =	0.12	
Longitud RB 01	L =	370	m
Costo unit. energía	cf =	0.098	$/Kw-h

Nota. Elaboración propia.

Tabla 58

Costo de raise boring.

Costo de excabación de raise boring			
RB (Ø)	m3	P.U. US$/m	P.U. US$/m3
1.5	1.8	883	500
1.8	2.5	1,053	414
2.1	3.5	1,288	372
2.4	4.5	1,413	312
2.8	6.2	1,450	235
3.1	7.5	1,478	196
4.0	12.6	1,880	150

Nota. Elaboración propia

Se procedió a calcular el diámetro óptimo del RB - 01, considerando los costos totales por año (CT), que equivale a la suma del costo de capital (CC), es decir cuanto no vas a costar ejecutar la chimenea y los costos de operación (CO), considerando el costo de energía que consumirá el ventilador acorde al diámetro óptimo calculado.

Tabla 59

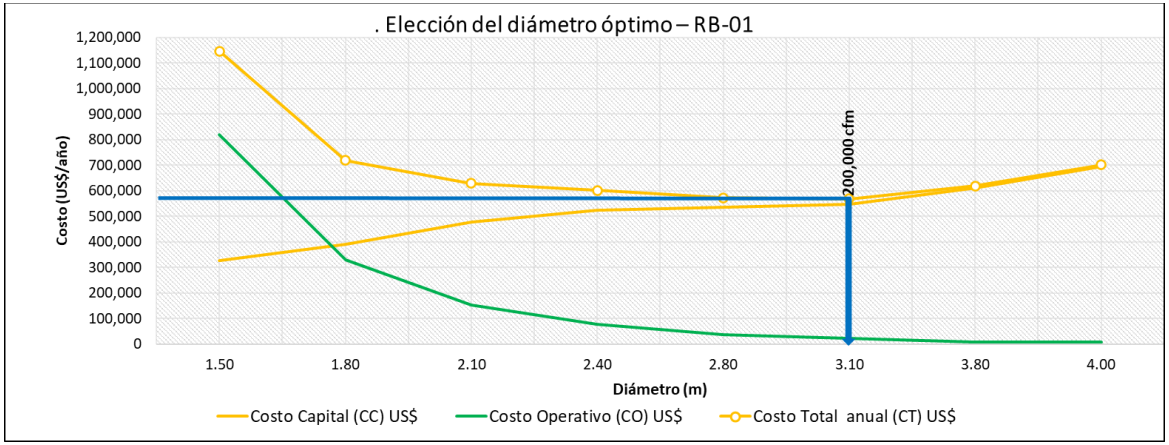
Determinación del diámetro óptimo del RB-01.

Sección Ø (m)	Área (A) (m2)	Perímetro (C) (m)	Longitud (L) (m)	Resistencia (R) Ns/m8	Resistencia (R) (PU)	Caudal fijo (Q) (cfm)	Caudal fijo (Q) m3/s	Costo Excavación $/m	Costo Capital (CC) US$	Caida presion (Hf) Pa	Caída Presión (Hf) (" C.A.)	Potencia Freno (BHP) (kW)	Costo Operativo (CO) US$	Costo Total anual (CT) US$
1.50	1.77	4.71	370.00	0.90837	0.8123	200,000	94	883	**326,654**	8,093	32.52	954.84	**819,714**	**1,146,368**
1.80	2.54	5.65	370.00	0.36505	0.3264	200,000	94	1,053	**389,461**	3,252	13.07	383.73	**329,425**	**718,886**
2.10	3.46	6.60	370.00	0.16890	0.1510	200,000	94	1,288	**476,560**	1,505	6.05	177.54	**152,413**	**628,973**
2.40	4.52	7.54	370.00	0.08663	0.0775	200,000	94	1,413	**522,661**	772	3.10	91.06	**78,174**	**600,835**
2.80	6.16	8.80	370.00	0.04008	0.0358	200,000	94	1,450	**536,500**	357	1.43	42.13	**36,168**	**572,668**
3.10	**7.55**	**9.74**	**370.00**	**0.02409**	**0.0215**	**200,000**	**94**	**1,478**	**546,711**	**215**	**0.86**	**25.33**	**21,743**	**568,454**
3.80	11.34	11.94	370.00	0.00871	0.0078	200,000	94	1,653	**611,461**	78	0.31	9.15	**7,856**	**619,317**
4.00	12.57	12.57	370.00	0.00674	0.0060	200,000	94	1,880	**695,600**	60	0.24	7.08	**6,079**	**701,679**

Nota. Elaboración propia

Figura 47

Elección del diámetro óptimo – RB-01



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

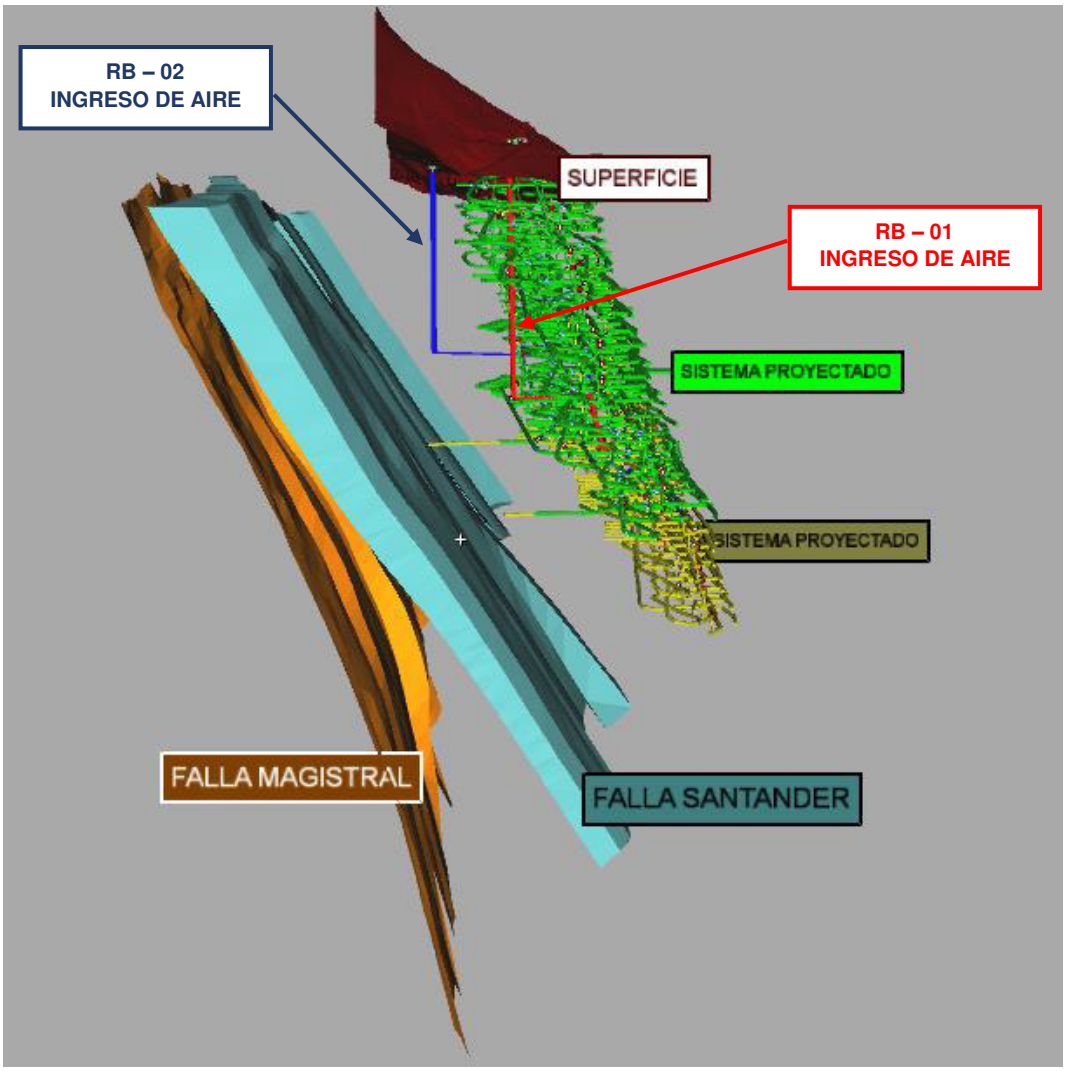
De acuerdo a nuestros cálculos y análisis realizados por el método algebraico tabla 59 y figura 47, se determina que el diámetro óptimo del raise boring 01 para extraer 200k cfm a una profundidad de 370m es de 3.10 metros.

e. Simulación en Ventsim Visual Avanzado

Una vez se tiene el diámetro óptimo y la ubicación del raise boring 01 y 02, En la figura 48 se puede visualizar que los proyectos planteados, no tendrán algún riesgo con la falla Santander ni con la falla magistral.

Figura 48

Visualización del sistema de ventilación proyectado.

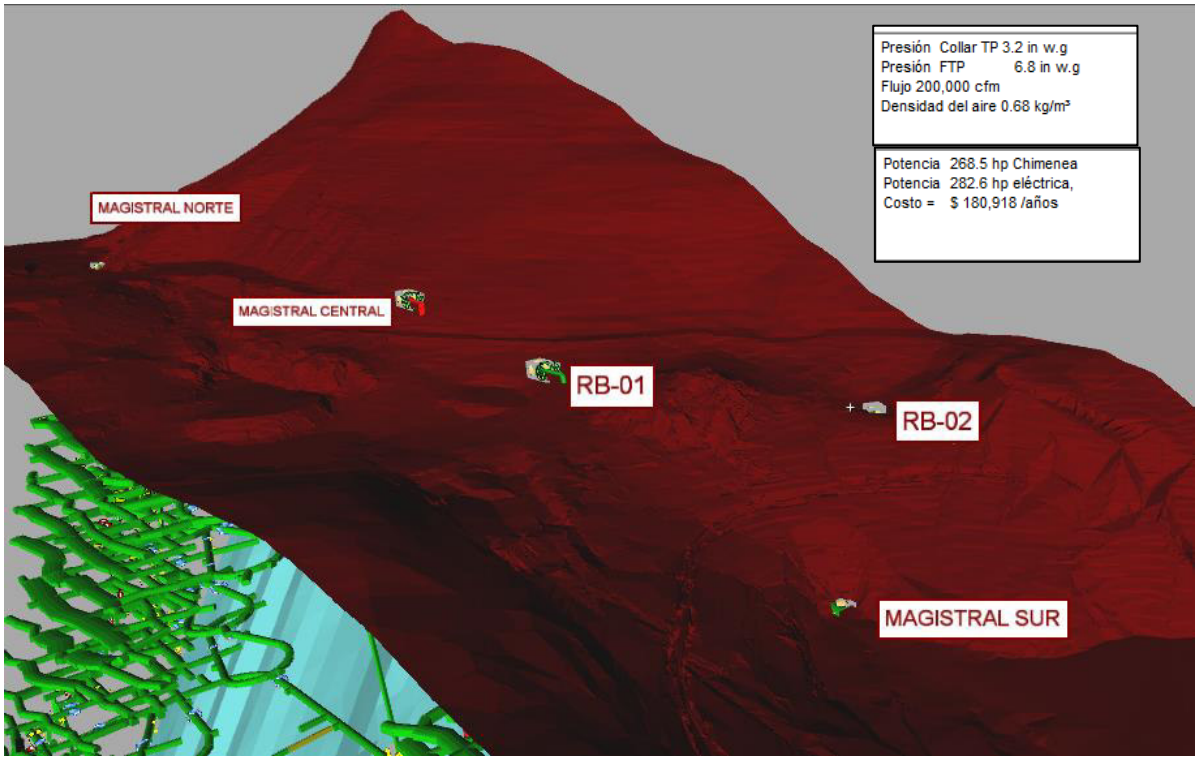


Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Procedemos a simular con la herramienta 3D Ventsim un ventilador de 200k cfm en el Rb – 01, de donde obtendremos las características técnicas del ventilador adecuado a instalar en el Rb -01 para el sistema de ventilación proyectado, ver figura 49.

Figura 49

Ubicación del Rb 01 y Rb 02 en superficie.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

En la tabla 60 se visualiza las características técnicas que debe cumplir el ventilador de 200k cfm. Con el cual se llegará a la cobertura superior a 100% según el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, el cual será colocado en el eje nuevo de salida de aire viciado RB-01.

Tabla 60

Características del ventilador de 200k cfm nuevo en el Rb 01.

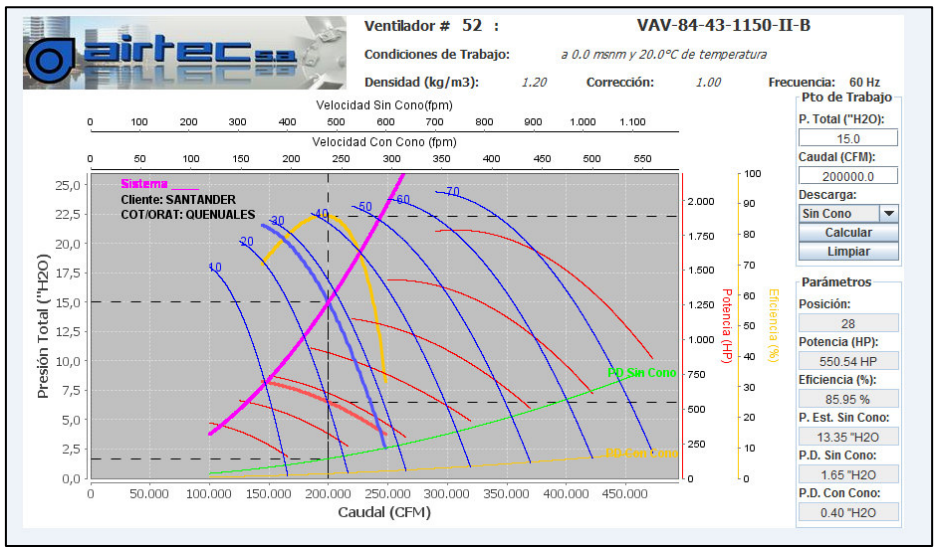
Cálculo De Las Características Del Ventilador En El Rb-01 Proyecto					
Simulado cota trabajo		Simulado cota mar		Recomendado cota mar	
Pot. (HP)	Presión ("CA)	Pot. (HP)	Presión ("CA)	Pot. (HP)	Presión ("CA)
268.5	6.8	460.2857143	11.66	500	15

Nota. Elaboración propia

Con las características técnicas que se obtuvieron con el soporte del software 3D, se busca el ventilador más próximo a estas características con el soporte del software Airtec y se obtiene la siguiente curva característica, ver tabla 61.

Tabla 61

Curva característica del ventilador airtec de 200k cfm.



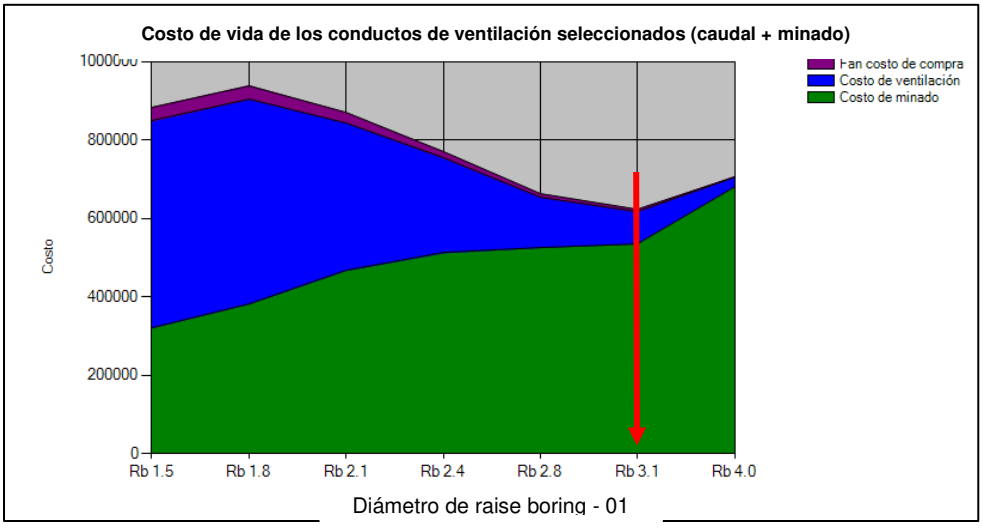
Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Con la data obtenida se realiza la verificación del diámetro óptimo calculado con el método algebraico, a través del software Ventsim, considerando la información de la tabla 50 y tabla 51.

En la tabla 62 se visualiza la simulación de diámetro óptimo obtenido con la herramienta 3D Ventsim.

Tabla 62

Diámetro óptimo del Rb-01 calculado con el Ventsim.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

f. Desarrollo del eje de salida Rb-01 y eje de ingreso Rb-02

La tabla 63 muestra la secuencia de ejecución del eje de salida de aire viciado Rb – 01.

Tabla 63

Desarrollo del eje de salida RB-02

Item	Eje	Labor	Integra/ conecta	L (m)	Sección /Ø (m)		Grad. (%)/ Buz. (°)	Coordenada Inicio			Coordenada Fin			Tiempo de Ejecucion (DIAS)
					A	h		Este (E)	Norte (N)	Cota (Z)	Este (E)	Norte (N)	Cota (Z)	
1	INGRESO RB-02	CX-02	NV-4370_SN-02 y pie del RB-02 (tramo1)	204.9	3.5 x 3.5		4%	333098.6	8763789	4368.4	333278.1	8763887.4	4377.2	50
2		RB-02 (tramo 1)	Superf. Y CX-02	244.4	3.1		90°	333278.1	8763887.4	4621.7	333278.1	8763887.4	4377.2	62
3		VN-01	RP (-)4005 y CXs-04 Y 05	39	3.5 x 3.5		1%	333089.6	8763779.8	4253.6	333052.2	8763769.2	4255.9	10
4		RB-02 (tramo 2)	CX-02 y VN-01	116.7	3.1		87	333098.6	8763789	4368.4	333081	8763777.3	4253.6	28
5		CX-03	VN-01 y NV-4230_SN-03	68.9	3.5 x 3.5		1%	333052.2	8763769.2	4255.9	333021.9	8763831.1	4258.9	18
6		CX-04	VN-01 y NV-4230_SN-04	51.9	3.5 x 3.5		1%	333052.2	8763769.2	4255.9	333062.8	8763718.5	4258.8	13
7		CHs-02 MG. Centro y Sur	CX-03 Y 04 con NVs de prof.	18 c/CH.	3 x 3		85°							4
					TOTAL									185

Nota. Fuente: Elaboración propia

La tabla 64 muestra la secuencia de ejecución del eje de salida de aire viciado Rb – 01.

Tabla 64

Desarrollo del eje de ingreso RB-02

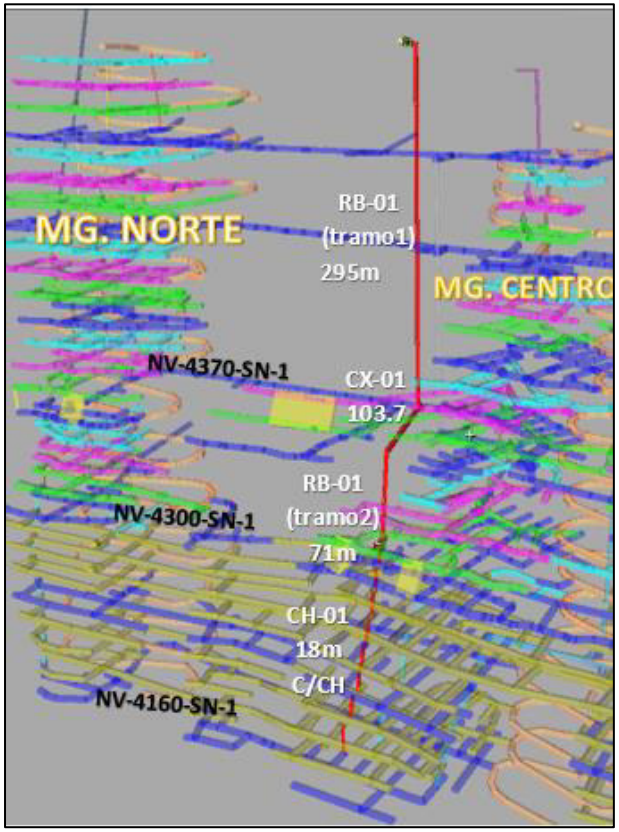
Item	Eje	Labor	Integra/ conecta	L (m)	Seccion /Ø (m)		Grad. (%)/ Buz. (°)	Coordenada Inicio			Coordenada Fin			Tiempo de Ejecucion (DIAS)
					A	h		Este (E)	Norte (N)	Cota (Z)	Este (E)	Norte (N)	Cota (Z)	
1	SALIDA RB-01	CX-01	BP-4370-1 y cabeza del RB-01 (tramo1)	103.7	3.5 x 3.5		1%	333116.0	8764022	4360	333032	8763960	4359	30
2		RB-01 (tramo 1)	superficie y CX-01	295	3.1		87°	333118.0	8764021	4651.6	333109	8764017	4360	72
3		VN-03	NV-4300_SN-01 y pie de RB-01 (tramo 2)	21.4	3.5 x 3.5		1%	333005.0	8763940	4291	333018	8763951	4291	6
4		RB-01 (tramo 2)	CX-01 y VN-03	71	3.1		87°	333032.0	8763960	4359	333018	8763950.5	4290	18
5		CHs-01	VN-03 y NVs Prof.	18 c/CH	3 x 3		85°							4

Nota. Elaboración propia

En la figura 50 y figura 51 se visualiza los ejes principales de ingreso y salida de aire, con sus respectivas dimensiones.

Figura 50

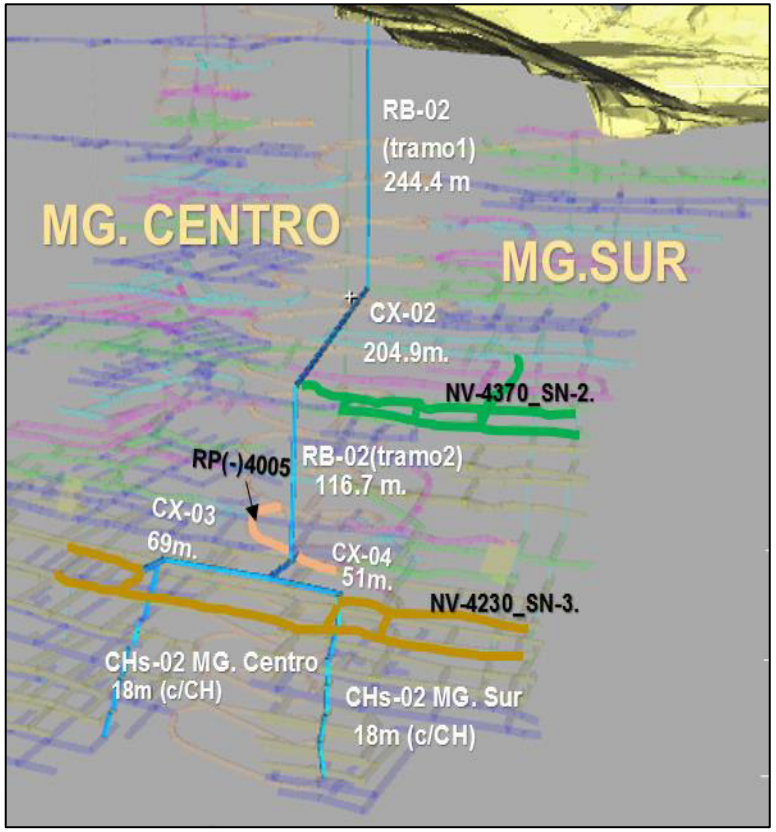
Vista proyecto de ingreso RB-01.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 51

Vista proyecto de salida RB-02.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

g. Instalación del Ventilador de 200 kcfm en RB-01 - MG. Centro

Instalar 1 ventilador de 200k cfm en el eje nuevo desarrollado RB-01 (Superficie). Por la simulación en Ventsim este ventilador evacuará un volumen de aire viciado de 220k cfm, con una presión total de trabajo de 5"CA y potencia de 204 HP.

4.13.1 Ingreso y salida de aire proyectado a largo plazo

En la tabla 65 y tabla 66 se podrá visualizar los caudales de ingreso de aire fresco de 678,400 cfm y salida de aire viciado de 698,500 cfm, proyectados a largo plazo:

Tabla 65

Ingreso de aire fresco proyectado a largo plazo.

Estac.	UBICACIÓN			SECCIÓN			AREA	VELOCIDAD		Caudal Campo		Distrib.
	Nivel-Piso	Labor	Detalle	a (m)	h (m)	FORMA	m2	m/s	m/min	m3/min	cfm	
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%
			TOTAL INGRESO							**19,210**	**678,400**	100.0%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 66

Salida de aire viciado 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%
			TOTAL SALIDA					**13,499**	**698,500**	**100%**

Nota. Elaboración propia

4.13.2 Costo de energía por ventilación a largo plazo

De acuerdo a la proyección del sistema de ventilación a largo plazo, con la ejecución de los Raise Boring se tiene en el sistema principal un costo de 459,017 USD, tabla 67; y 254,967 USD tabla 68; en el sistema de ventilación a largo plazo, con un total de 713,984 USD.

Tabla 67

Costo de energía de ventiladores principales a largo plazo.

Item	Marca	Zona MG	Tipo	Posición	Capac. (cfm)	Presión Cota Trabajo ("CA)	Pot. Real KW	Costo Energía. US$/Kw-h	Costo US$/año
1	AIRTEC	MG.Norte	Principal	Extractor	100,000	12.3	73.5	0.098	62,237
2				Extractor	160,000	6.4	150.3	0.098	127,244
3	AIRTEC	MG. Centro	Principal	Extractor	120,000	7.5	106.1	0.098	89,845
4				Extractor	120,000	7.5	106.1	0.098	89,845
5	AIRTEC	MG. Sur	Principal	Extractor	120,000	7.5	106.1	0.098	89,845
		TOTAL			**620,000**		**542.1**		**459,017**

Nota. Elaboración propia

Tabla 68

Costo de energía de ventiladores auxiliares a largo plazo.

Item	Marca	Modelo	Zona	Posición	Capac. (cfm)	Pot. Trabajo Nom. (HP)	*Presión Total a cota mar ("CA)	Costo Unit. ($/KW-h)	Costo/año ($/año)
1	AIRTEC	VENTILADOR ETAPAS VAV-26-48-1800II		Inyector	30,000	35	9	0.098	21,792
2	AIRTEC	VENTILADOR ETAPAS VAV-26-48-1800II		Inyector	30,000	35	9	0.098	21,792
3	AIRTEC	VENTILADOR VAV-35-23.5-3450-I-C.	NORTE	Inyector	40,000	72	12	0.098	45,400
4	AIRTEC	VENTILADOR ETPAS VAV-29 1/4-14-3450 I-A		Inyector	30,000	29	8	0.098	18,160
7	ATLAS COPCO	VENTILADOR AVH9055 TMG14URE 0058		Inyector	30,000	43	10	0.098	26,877
		SUB TOTAL			**250,000**	**313**			**134,021**
8	ATLAS COPCO	VENTILADOR AVH9055 TMG14URE 0012		Inyector	30,000	43	10	0.098	26,877
9	AIRTEC	VENTILADOR VAV-35-23.5-3450-I-C.	CENTRO	Inyector	40,000	72	12	0.098	45,400
10	AIRTEC	VENTILADOR ETAPAS VAV-26-48-1800II		Inyector	30,000	35	9	0.098	21,792
12	ATLAS COPCO	VENTILADOR AVH9055 TMG14URE 0012		Inyector	30,000	43	10	0.098	26,877
		SUB TOTAL			**160,000**	**235**			**120,946**
		TOTAL			**410,000**	**547**			**254,967**

Nota. Elaboración propia.

4.13.3 Sistema de ventilación proyectado a largo plazo

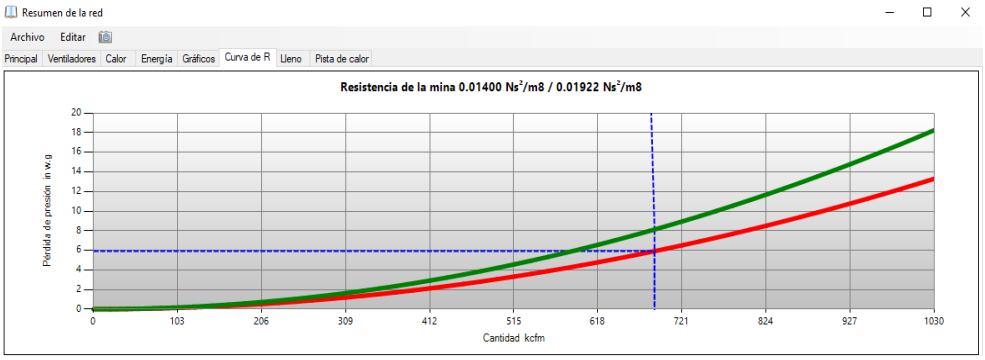
Se muestra el resumen de estado del sistema de ventilación proyectado, en él se observa el balance general de ingresos y salidas de la mina; el caudal de aire que ingresa al sistema es de 678,500 cfm, adicional a esto también se muestra la resistencia de la mina que es de 6 in w.g. ver figura 52.

La ejecución de estos proyectos Rb – 01 y Rb – 02 permite integrar los distintos niveles inferiores, Nv 4230 y 4160 con sus respectivos pisos, en la zona central y sur, de tal manera se establece un sistema de ventilación principal, ingreso de aire limpio por la rampa magistral sur, magistral centro, magistral norte y el Rb – 02, y la salida de aire viciado 01 ventilador extractor de 160,000 cfm ubicados en el RB-VENT - 4670 (magistral norte), 01 ventilador de 200k cfm en el Rb 01 que está ubicado en la zona central con la zona norte, 02 ventiladores paralelos de 120,000 cfm ubicado en el RB-VENT- 4310 (magistral centro) y 01 ventilador de 100k cfm en el RB-VENT - 4529 (Magistral sur), todos estos ventiladores

extractores se encuentran en superficie. Así como se muestra en la figura 53 y figura 54.

Figura 52

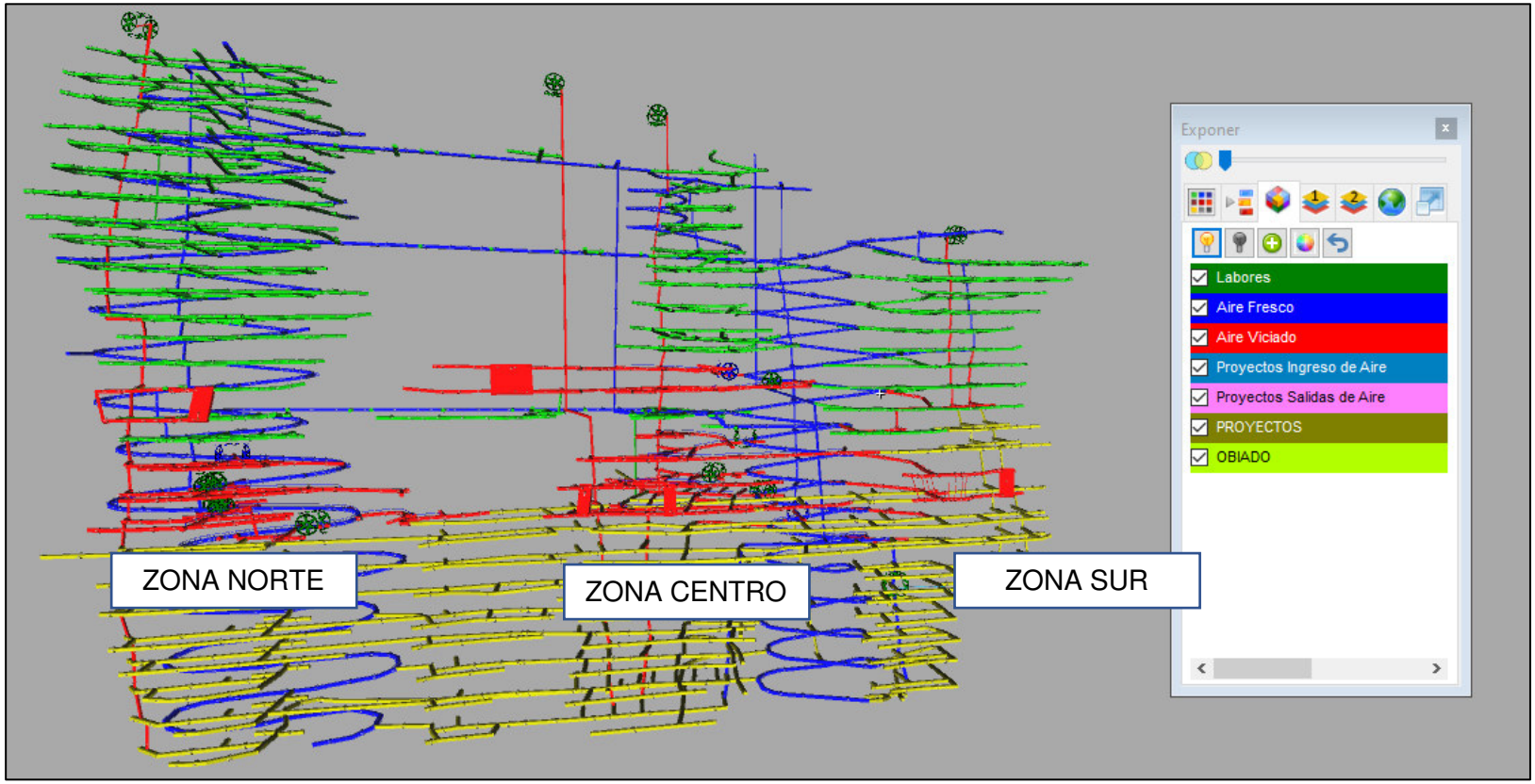
Resistencia del sistema de ventilación proyectado a largo plazo.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 53

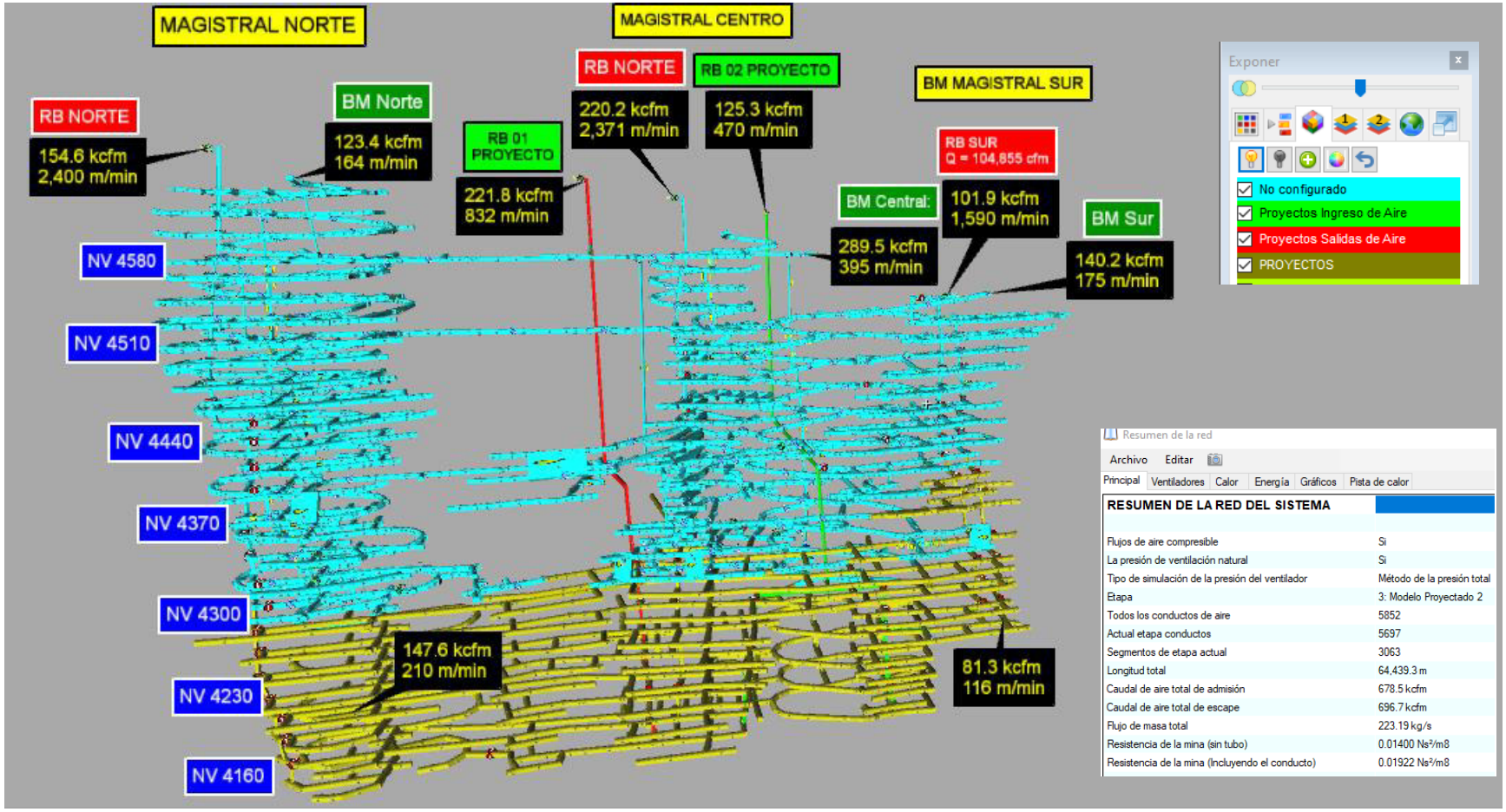
Sistema de ventilación ingreso y salidas de aire.



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

Figura 54

Sistema de ventilación proyectado a largo plazo



Nota. Fuente: Modelo Ventsim

4.13.4 Balance y cobertura a largo plazo

Considerando el requerimiento global proyectado a largo plazo 626,327 cfm, ingreso de aire fresco 678,400 y salida de aire viciado 698,500 se tiene una cobertura de 108%, con un superávit de 52,073 cfm; ver tabla 69.

Tabla 69

balance y cobertura del sistema de ventilación a largo plazo

Balance Total de Aire Largo Plazo		
Distribución de Aire	**m3/min**	**cfm**
Total de aire requerido	17,735	**626,327**
Ingreso de aire	19,210	678,400
Salida de aire	19,779	**698,500**
Cobertura (%)	**108%**	
Superávit (cfm)	**52,073**	

Nota. Elaboración propia.

4.13.5 Inversión a largo plazo CAPEX y OPEX

a. Costo de capital – CAPEX

En este escenario la línea de tiempo será de 2 años (2020 a 2022). Involucra dos zonas:

MG. Centro: La inversión para el desarrollo de los ejes de ingreso y salida de aire será de US$ 1´939,345 y por obras civiles más los acondicionamientos de la máquina Raise Boring y del ventilador de 200k cfm el costo será de US$ 446, 280. Revisar tabla 70 y tabla 71.

MG. Sur: La inversión es para la prolongación de las CHs de ingreso y salida de aire con un costo de US$ 341,744; ver tabla 72.

En consecuencia, la suma total CAPEX a Largo Plazo será de US$ 2´727369**.**

Tabla 70

Costo CAPEX por desarrollo de labores

Capex a largo plazo

Item	Proyecto	Descripción	Nivel	Zona	Diámetro (m) Sección (m)	Cant.	P.U. / m US$/m	Costo US$
1	Desarrollo de los ejes de ventilación	RB-02-Tramo 01	Superf. a NV-4370_SN-2	MG. Centro	3.10	1	1,588	388,107.2
2		RB-02-Tramo 02	NV-4370_SN-2 a NV-4230_SN-4		3.10	1	1,588	185,319.6
3		RB-01-Tramo 01	Superf. a NV-4370_SN-1		3.10	1	1,588	468,460.0
4		RB-01-Tramo 02	NV-4370_SN-1 a NV-4300_SN-1		3.10	1	1,588	112,748.0
5		CX-01	NV-4370_SN-1		3.5 x 3.5	1	1,236	135,589.2
6		CX-02	NV-4370_SN-2		3.5 x 3.5	1	1,236	253,256.4
7		CX-03	NV-4230_SN-4		3.5 x 3.5	1	1,236	85,160.4
8		VN-01	NV-4230_SN-4		3.5 x 3.5	1	1,179	45,981.0
9		VN-02	NV-4580_SN-1		3.5 x 3.5	1	1,179	62,840.7
10		VN-03	NV-4300_SN-1		3.5 x 3.5	1	1,179	25,230.6
11		CH-01	NV-4300_SN-1 a NV-4160_SN-1		3.0 x 3.0	8	701	100,944.0
12		CH-02 MG.Centro	NV-4230_SN-4 a NV-4160_SN-1		3.0 x 3.0	6	701	75,708.0
			SubTotal					**1,939,345.1**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 71

Costo CAPEX obras civiles y acondicionamiento del ventilador – MG. Centro.

Capex a largo plazo

1	Obras Civiles y Acondicionamiento del Raise Borer y Ventilador	Desinstalación, movilización e instalación - Raise Boring	Superficie	MG. Centro		4	20,000	80,000
2		Base de anclaje Raise Boring				4	9,570	38,280
3		Compra de ventilador de 200 kcfm				1	300,000	300,000
4		Base concreto para ventilador 200 kcfm				1	20,000	20,000
5		Instalación del ventilador 200 kcfm				1	8,000	8,000
			SubTotal					**446,280.0**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 72

Costo CAPEX por desarrollo de labores – MG. Sur.

Capex a largo plazo

1	Desarrollo de los ejes de ventilación	CX-04	NV-4230_SN-4	MG. Sur	3.5 x 3.5	1	1,236	64,148
2		CH-02 MG.Sur	NV-4230_SN-4 a NV-4160_SN-1		3.0 x 3.0	6	701	75,708
3		CH-VENT-4055	NV-4370_SN-2 a NV-4230_SN-1		3.0 x 3.0	8	701	100,944
4		CH-WP-4015	NV-4370_SN-2 a NV-4230_SN-2		3.0 x 3.0	8	701	100,944
			SubTotal					**341,744.4**
			Total					**2,727,370**

Nota. Elaboración propia

b. Costo Operación – OPEX

en la tabla 73 se visualiza la incidencia de leyes y beneficiosos sociales considerados en el opex. El costo operativo está dado por el personal encargado de ejecutar los proyectos a largo plazo, de tal manera

se tiene un costo operativo anual de 146,338 USD en mano de obra; ver tabla 74. 713,984 USD en el costo de energía de ventiladores auxiliares y principales; ver tabla 75. 57,000 USD en costo de regulación de flujo y 46,409 USD en mantenimiento y repuestos; ver tabla 76. con un OPEX total de 963,731 USD.

Tabla 73

Determinación de la incidencia de leyes y beneficios sociales.

Item	Descripción	Obreros	Empleados
1	Essalud	9.00%	9.00%
2	Seguro Complem. Salud	1.15%	1.15%
3	Seguro Complem. Invalidez	5.73%	5.73%
4	Seguro Vida Ley	0.36%	0.36%
		16.24%	**16.24%**
5	Dominicales	20.98%	0.00%
6	Feriados	5.24%	0.00%
7	Descanso Medico	4.37%	0.00%
8	Induccion	0.00%	0.00%
9	Asignacion Familiar	7.08%	2.18%
10	Vacaciones	13.11%	10.57%
11	Gratificaciones	27.40%	21.50%
12	Compensacion Por Tiempo De Servicios	13.94%	10.79%
	Total leyes sociales	**108.35%**	**61.27%**

Nota. Elaboración propia

Tabla 74

Costo de equipo de trabajo.

Item	Cargo	Cantidad	Sueldo básico	Total_Mes S/.	Total_Año S/.	Total_Año US$.
1	Jefe de Ventilación	1	8000	12902	154819	37,761
2	Asistente de Ventilación	1	7500	12095	145143	35,401
3	Operarios de Compañía	3	60	11251	135011	32,930
4	Operarios de ECM	4	55	13751	165014	40,247
	Total	9				**146,338**

Tasa de cambio 4.10 soles el dólar

Nota. Elaboración propia

Tabla 75

OPEX del sistema de ventilación a largo plazo.

Item	Descripción	Costo/año ($/año)
1	Costo por consumo de energia	713,984
2	Mano de obra	146,338
3	costo de regulación de flujo	57,000
4	Mantenimiento/repuesto (6.5%)	46,409
	Opex	963,731

Nota. Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Balance de aire a largo plazo

Para cubrir el 100% de cobertura de aire fresco a largo plazo de acuerdo al 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 76 se puede visualizar como viene siendo la evolución del balance con los proyectos planteados.

Tabla 76

Variación de caudal de ingreso y balance actual - mediano y largo plazo

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. Fuente: Modelo Ventsim

Transición de caudal de ingreso de aire, actual al proyectado.

5.2. Costo de energía anual a largo plazo

De acuerdo al análisis se da los siguientes resultados en el incremento del costo de energía del sistema de ventilación 44% a corto plazo respecto al actual y 58% a largo plazo respecto al actual. Ver tabla 77.

Tabla 77

variación del costo de energía a mediano y largo plazo.

Item	Descripción	Actual	Mediano plazo	Largo plazo
1	Costo de energía	452, 343	651, 747	713, 984
2	Variación de costo de energía	100%	144%	158%

Nota. Fuente: Modelo Ventsim

5.3. Comprobación de hipótesis

5.3.1. Comprobación de hipótesis general

La hipótesis general es: Planificando el sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ Design permitirá cumplir con el requerimiento de aire proyectado y la evaluación del comportamiento y sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances.

Se toma 10 mediciones de ingreso de caudal de aire fresco en campo, ver tabla 78, así como también 10 iteraciones del ingreso de aire a largo plazo simulados en el software 3D Ventsim™.

Tabla 78

Datos para comprobación de hipótesis

Caudal de ingreso de aire fresco actual - cfm	Caudal de ingreso de aire fresco proyectado - cfm
431,444	678,500
431,145	678,400
431,138	678,300
431,555	678,400
431,121	678,500
431,162	678,400
431,144	678,400
431,152	678,400
431,558	678,200
431,461	678,400

Nota. Datos medidos, elaboración propia

a. Cálculo estadístico descriptivo

Se realiza el cálculo descriptivo de hipótesis general, obteniendo los siguientes datos en la tabla 79

Tabla 79

Validación estadística descriptiva de hipótesis general

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Ingreso de aire actual	10	431,338	175	30,689	431,138	431,558
Ingreso de aire	10	678,400	94	8,889	678,200	678,500

Nota. Elaborado en Minitab

b. Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos No es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad de hipótesis general, tabla 80:

Tabla 80

Prueba de normalidad de hipótesis general.

Pruebas de normalidad

Descripción	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	o	gl	Sig.
Ingreso_de_aire_actual	0.242	10	0.098	0.840	10	0.044
Ingreso_de_aire_proyectado	0.300	10	0.011	0.841	10	0.045

Nota: análisis en spss statistics.

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.044 para el ingreso de aire actual.

Pv = 0.045 para el ingreso de aire proyectado.

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

c. Prueba de homogeneidad de la varianza

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

La hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas

Usando el Minetab hallamos el siguiente resultado:

Prueba e IC para dos varianzas: Ingreso de aire actual; Ingreso de Aire Proyectado

Método

σ_1: desviación estándar de Ingreso de aire actual
σ_2: desviación estándar de Aire Proyectado
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Ingreso de aire actual	10	175.182	30688.889	(120.497; 319.815)
Ingreso de Aire Proyectado	10	94.281	8888.889	(64.850; 172.120)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
1.85809	(0.926; 3.728)

Prueba

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

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	3.45	9	9	0.079

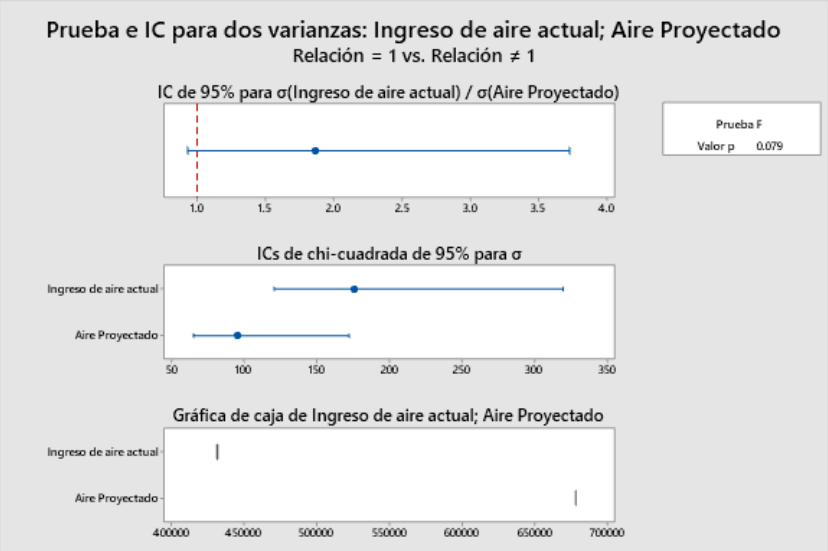
Como Pv=0.079 > 0.05 Entonces se acepta la Ho. (Se acepta la hipótesis nula).

Con este resultado concluimos que las muestras son de varianzas iguales.

En la figura 55 podemos visualizar la p*rueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis general.*

Figura 55

Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis general.



Nota: fuente Minetab.

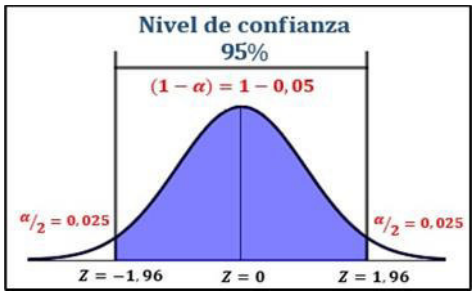
d. Correlación de estaciones de monitoreo

¿Qué cantidad de puntos estratégicos deben de considerarse para tener un nivel de confianza de 90% (K) en la mina Santander, donde los caudales no tengan alteraciones bruscas con un margen de error del ±10%?

En la figura 56 tenemos la campana de gauss, para hallar la ratio de confianza, donde de acuerdo a la tabla 81, el grado de confianza 90% tiene un coeficiente de confianza de 1.64 con el que se trabajará, dado que el sistema de ventilación actual esta simulado en el Ventsim al 90% de calibración.

Figura 56

Gráfico del nivel de confianza Campana de Gauss



Fuente: Gauss

Tabla 81

Cuadro de Nivel de confianza y el coeficiente de confianza

Cuadro de nivel y coeficiente de confianza				
Nivel de cnfianza Z(1-a)	90%	95%	95.50%	99%
coeficiente de confianza	1.64	1.96	2	2.58

p = 0.5

q = 0.5

e = 10% = 0.10

K = 90% = 1.64 (Ver tabla 80).

$$\boldsymbol{n = \frac{K^2 * N * p * q}{[e^2(N-1)] + [K^2 * p * q]}}$$

Donde:

p : Probabilidad a favor.

q : Probabilidad en contra.

e : Margen de error.

k : Coeficiente de confianza.

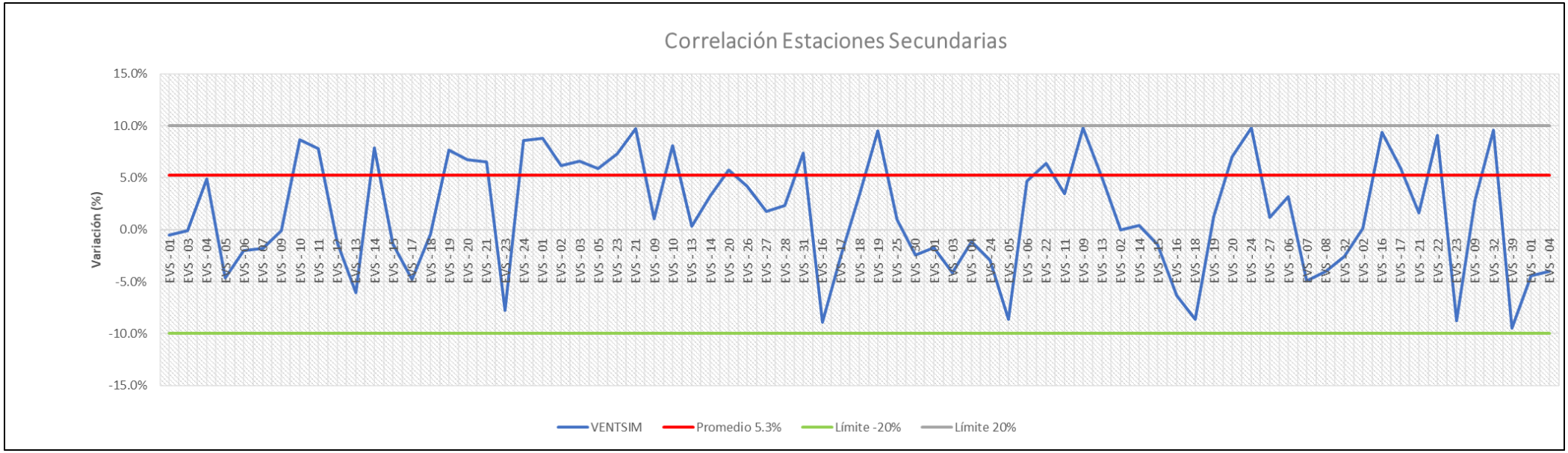
$$n = \frac{1.64^2 * 154 * 0.5 * 0.5}{[0.1^2(154-1)] + [1.64^2 * 0.5 * 0.5]}$$

n=47.02 ≅47 pts.

La cantidad de puntos a tomar para una confianza del 90% estadísticamente es de 47 puntos de los 154 tomados, siendo estos puntos que no deben variar del 10% la data tomada en campo con la simulación en el software 3D, teniendo esta data como base la presente investigación considera un total de 75 puntos de monitoreo (ver ANEXO 9.2)., viéndose la siguiente variación en la tabla 82:

Tabla 82

Variación de las estaciones secundarias.



Nota. Elaboración propia

e. Contrastación de hipótesis general.

Hipótesis Nula: La media del sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ **es igual a la media** del requerimiento de aire proyectado.

Hipótesis Alternativa: La media del sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ **es mayor a la media** del requerimiento de aire proyectado.

De acuerdo al análisis en Minitab:

Prueba T e IC de dos muestras: Ingreso de aire actual; Aire Proyectado

Método

μ_1: media de Ingreso de aire actual
μ_2: media de Aire Proyectado
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ingreso de aire actual	10	431338	175	55
Ingreso de aire proyectado	10	678400.0	94.3	30

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-247062	(-247198; -246926)

Prueba

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

Valor T	GL	Valor p
-3927.17	13	0.000

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

Se puede concluir que la media del sistema de ventilación de minas a largo plazo bajo el soporte del software Ventsim™ es mayor a la media del requerimiento de aire proyectado.

Corimanya (2011) manifiesta que “La Mina San Cristóbal utiliza el Programa VNET PC para generar circuitos principales para labores actuales y futuras. En el planeamiento de la ventilación, un simulador es una herramienta de trabajo que nos ayuda representar la mina por un modelo numérico que puede ser usado para predecir los requerimientos de ventilación. Específicamente, el modelo puede ser usado para determinar:

- Los flujos de aire y sus sentidos de avance en las labores proyectadas, y determinar los cambios en presiones y caudales cuando nuevas labores son añadidas al modelo.

- Cambios de velocidades del aire en las diferentes labores debidos a cambios efectuados.

- Los puntos de operación de los ventiladores, los requerimientos de energía eléctrica y otros factores económicos.

- Caídas de presión del aire en los conductos primarios y 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. Chimeneas mal diseñadas no sirven mucho en los circuitos de ventilación o sirven solo para generar cortocircuitos en la red principal, hecho que fue verificado en la mina San Cristóbal.

- Reducir costos. Con solo evitar la ejecución de una chimenea inadecuada, con la ayuda de este programa se puede reducir los costos de ejecución de proyectos de ventilación considerablemente. El programa necesita ser alimentado con datos reales de mina (sección, perímetro, longitud, coeficiente de fricción de cada labor).

- Generar un sistema de ventilación eficiente y económica. Para alcanzar este objetivo, el ingeniero debe tener un buen conocimiento de geología y el método de explotación usado en la mina. El programa por sí solo no generara un sistema de ventilación eficiente; se necesita de la lógica y la experiencia del ingeniero para generar dicho sistema”.

Codoceo (2017) manifiesta que “En las minas metálicas la planificación de la ventilación es una acción de la ventilación es una acción obligatoria con el fin de obtener la cantidad suficiente de aire para poder ventilar la programación de desarrollos y de producción aprobada en el programa anual y quinquenal (p. 62)”.

Con esto podemos concluir que lo que manifiesta Corimanya (2011) y Codeco 2017, con los resultados obtenidos, la planificación del sistema de ventilación a largo plazo con el soporte del software Ventsim, garantiza el requerimiento de aire proyectado nos permite evaluar el comportamiento y la sensibilidad del flujo de aire de acuerdo a los avances en la unidad minera Santander, Glencore.

La simulación del sistema de ventilación en la herramienta 3d Ventsim, calibrado al 90%, nos permite poder simular escenarios confiables de proyectos de sistema de ventilación a largo plazo.

5.3.2. Comprobación de hipótesis específica N° 01

La hipótesis específica N°01: Planificando el sistema de ventilación con el programa de diseño ventsim permitirá cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo. Se toma datos para comprobación de hipótesis específica Nº 01, ver tabla 83.

Tabla 83

Datos para comprobación de hipótesis específica N° 01.

Caudal de ingreso de aire fresco actual - cfm	Caudal de ingreso de aire fresco proyectado - cfm
418,873	678,405
418,978	678,420
418,981	678,423
418,988	678,428
418,992	678,444
419,000	678,448
419,013	678,535
419,022	678,542
419,022	678,621
419,055	678,623

Nota. Datos medidos

a. Cálculo estadístico descriptivo

Se realiza el cálculo estadístico descriptivo en el programa Minitab:

Tabla 84

Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N° 1.

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Ingreso de aire actual	10	418,992	48.0	2,307	418,873	419,055
Ingreso de aire proyectado a largo plazo	10	678,489	84.3	7,101	678,405	678,623

Nota. Elaborado en Minitab

b. Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos No es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad de hipótesis específica Nº 01, ver tabla 85:

Tabla 85

Prueba de normalidad de hipótesis específica N° 01.

Pruebas de normalidad

Descripción	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ingreso_de_aire_actual	0.282	10	0.023	0.827	10	0.031
Ingreso_de_aire_proyectado	0.286	10	0.020	0.828	10	0.031

Nota: análisis en spss statistics.

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.031 para el ingreso de aire actual.

Pv = 0.031 para el ingreso de aire proyectado.

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

c. Prueba de homogeneidad de la varianza

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

La hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas

Usando el Minetab hallamos el siguiente resultado:

Prueba e IC para dos varianzas: Ingreso de aire actual; Aire Proyectado

Método

σ_1: desviación estándar de Ingreso de aire actual
σ_2: desviación estándar de Aire Proyectado
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv. Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Ingreso de aire actual	10	48.035	2307.378	(33.040; 87.693)
Ingreso de aire proyectado	10	84.265	7100.544	(57.960; 153.835)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
0.570051	(0.284; 1.144)

Prueba

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

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	0.32	9	9	0.109

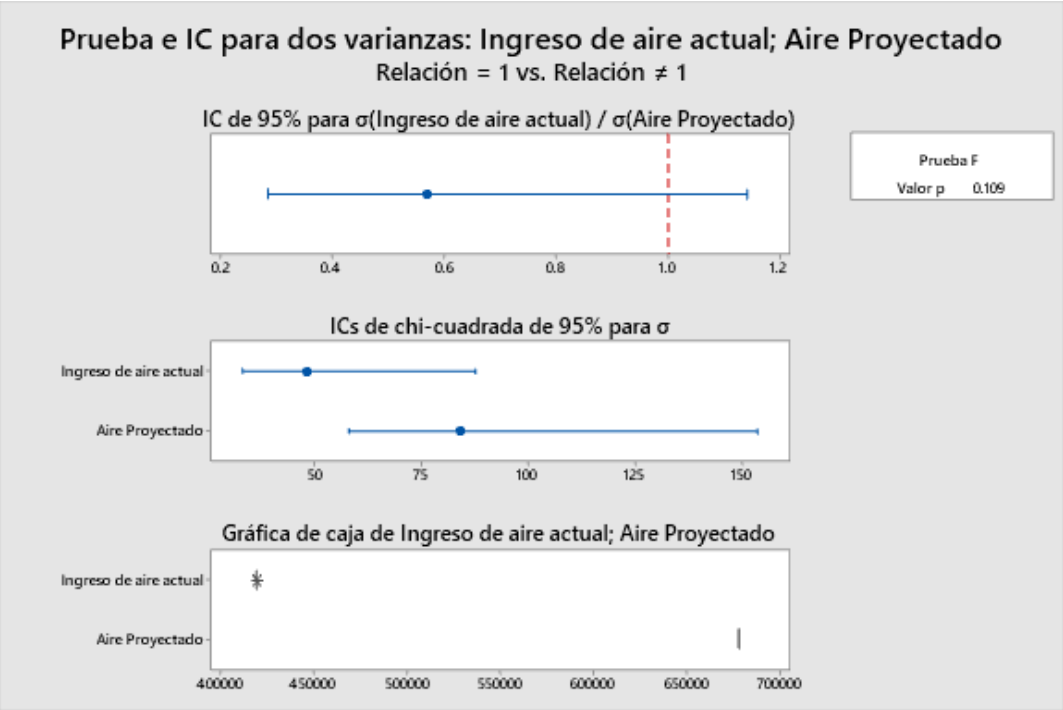
Como Pv=0.109 > 0.05 Entonces se acepta la Ho. (Se acepta la hipótesis nula).

Con este resultado concluimos que las muestras son de varianzas iguales.

En la tabla 57 se puede visualizarla p*rueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 01.*

Figura 57

Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 01.



Nota: fuente Minetab

d. Contrastación de hipótesis

Hipótesis Nula: Planificando el sistema de ventilación con el programa de diseño ventsim **no permitirá** cumplir con el requerimiento de aire a largo plazo.

Hipótesis Alternativa: Planificando el sistema de ventilación con el programa de diseño ventsim **permitirá cumplir** con el requerimiento de aire a largo plazo.

Prueba T e IC de dos muestras: Ingreso de aire actual; Aire Proyectado

Método

μ_1: media de Ingreso de aire actual
μ_2: media de Aire Proyectado
Diferencia: μ_1 - μ_2

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ingreso de aire actual	10	418992.4	48.0	15
Ingreso de aire proyectado	10	678488.9	84.3	27

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-259497	(-259562; -259431)

Prueba

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

Valor T	GL	Valor p
-8460.28	14	0.000

Como Pv < 0.05 Rho (Se rechaza la hipótesis nula)

Se puede concluir que la planificación de un sistema de ventilación con el programa de diseño Ventsim permite cumplir con el aire requerido a largo plazo. Elaborando distintos proyectos de ventilación para suministrar el flujo requerido de aire.

Corimanya y Oyola (2017) afirma lo siguiente “Se realiza el diseño de ventilación para el corto y mediano plazo 2018 de la explotación de la mina subterránea, donde se contemplan un nuevo escenario con la introducción de un equipo scooptram diésel de 1.5 Yd3, un volquete de 10 toneladas, desarrollo de la rampa principal de profundización 3.0x3.0m, desarrollo de Sub niveles hacia el Este 2.5x2m y ampliación del nivel principal a una sección de 4x4m desde la bocamina. Para el diseño del circuito de ventilación se utilizó el software Ventsim 4.8, el cual también cumple las funciones de diseñador de las labores y se realizaron ensayos a ventiladores de pequeño caudal en el laboratorio de Ventilación Minera de la Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú (p. 87)”.

Con el resultado obtenido podemos afirmar la afirmación de Corimanya y Oyola (2017); lo cual también significa que la simulación del sistema de ventilación en la herramienta 3d Ventsim, calibrado al 90%, nos permite cumplir con el aire requerido a largo plazo. Elaborando distintos proyectos de ventilación para suministrar el flujo requerido de aire.

5.3.3. Comprobación de hipótesis específica N° 02

La hipótesis específica N°02: Diseñando en herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore permitirá una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.Para la comprobación de hipótesis específica Nº 02, se toma datos en los puntos estratégicos del sistema de ventilación proyectado, ver tabla 86.

Tabla 86

Datos para comprobación de hipótesis específica N° 02.

Descripción	Detalle	Zona	Nivel	Area m2	Velocidad m/min	Caudal cfm
Cx 02, Nv 4220,Mg Centro	Ingreso de aire	Centro	4220	19.9	110	77,303.78
Cx 01, Nv 4160, Mg Centro	Salida	Centro	4160	19.9	62	43,571.22
BP 4220,Nv 4220, Mg Norte	Ingreso	Norte	4220	19.9	114	80,114.83
Rp Mg Norte, Nv 4160	Ingreso	Norte	4160	19.9	114	80,114.83
Pie-Wp-4015, Nv 4220, MG SUR	Ingreso	Sur	4220	19.9	104	73,087.21
Gl 02, Nv 4160. Mg Sur	Salida	Sur	4160	19.9	59	41,462.94

Nota. Datos medidos

e. Cálculo estadístico descriptivo

Se realiza el cálculo estadístico descriptivo en el programa Minitab, obteniendo los siguientes resultados, tabla 87:

Tabla 87

Validación estadística descriptiva de hipótesis específica N° 01.

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
Velocidad de aire (m/min)	6	94	26.1	681	59	114
Caudal de aire (cfm)	6	65,942	18,339.0	336,311,684	41,463	80,115

Nota. Elaborado en Minitab

f. Prueba de normalidad

Hipótesis nula: La distribución de datos es normal

Hipótesis Alternativa: La distribución de datos No es normal

Utilizando la herramienta digital SPSS Statistics se obtiene la prueba de normalidad, ver tabla 88:

Tabla 88

Prueba de normalidad de hipótesis específica N° 01.

Pruebas de normalidad

Descripción	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad_de_aire_m/min	0.318	6	0.058	0.749	6	0.019
Caudal_de_aire_cfm	0.318	6	0.058	0.749	6	0.019

Nota: análisis en spss statistics.

Para α = 0.05 (Nivel de significancia)

1 – α = 0.95 (Nivel de confianza)

Si Pv ≤ 0.05 se Rechaza la Ho.

Si Pv > 0.05 se Acepta la Ho.

Según Shapiro-Wilk:

Pv = 0.019 para el ingreso de aire actual.

Pv = 0.019 para el ingreso de aire proyectado.

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

g. Prueba de homogeneidad de la varianza

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

La hipótesis Alternativa: Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas

Usando el Minetab hallamos el siguiente resultado:

Prueba e IC para dos varianzas: Velocidad de aire (m/min); Caudal de aire (cfm)

Método

σ_1: desviación estándar de Velocidad de aire (m/min)
σ_2: desviación estándar de Caudal de aire (cfm)
Relación: σ_1/σ_2
Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Velocidad de aire (m/min)	6	26.095	680.967	(16.289; 64.002)
Caudal de aire (cfm)	6	18338.803	3.36312E+08	(11447.227; 44978.004)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
0.0014230	(0.001; 0.004)

Prueba

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

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	0.00	5	5	0.000

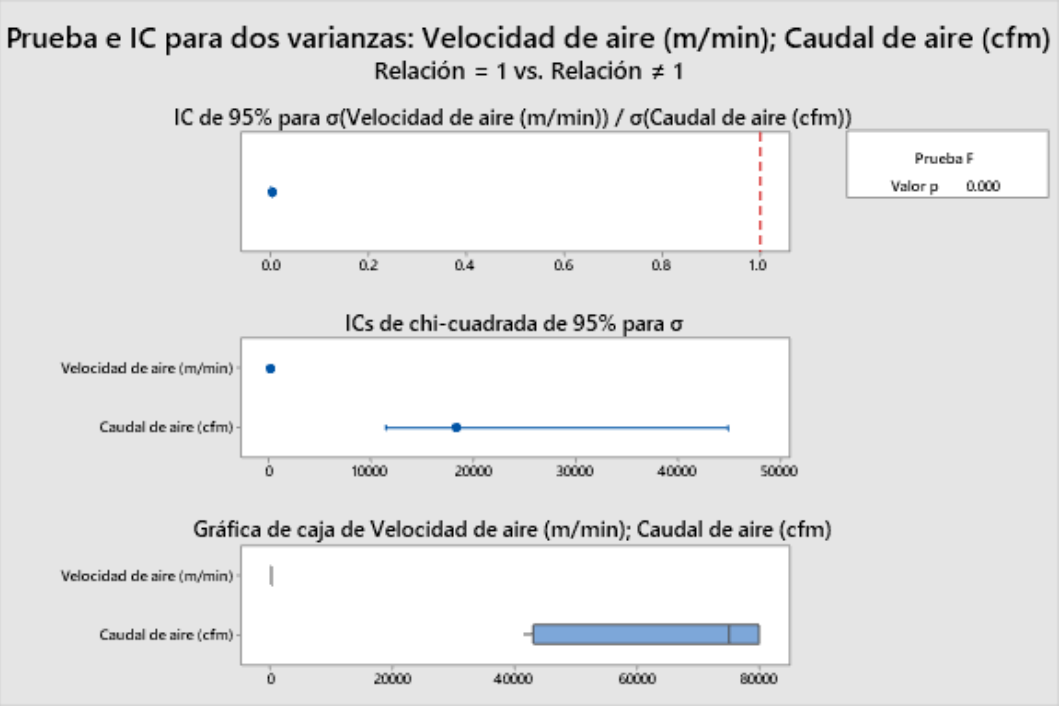
Como Pv=0.00 < 0.05 Entonces se rechaza la Ho. (Se rechaza la hipótesis nula).

Con este resultado concluimos que las dos muestras no tienen varianzas homogéneas.

En la figura 58 se muestra la Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 02.

Figura 58

Prueba de homogeneidad de las varianzas para hipótesis específica 02.



Nota: fuente Minetab

h. Contrastación de hipótesis

Hipótesis Nula: Diseñando en herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore, **no permite** una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.

Hipótesis Alternativa: Diseñando en herramienta 3D el sistema de ventilación de la unidad minera Santander – Glencore **permite** una evaluación detallada del comportamiento del sistema de ventilación a largo plazo.

Prueba T e IC de dos muestras: Velocidad de aire (m/min); Caudal de aire (cfm)

Método

μ_1: media de Velocidad de aire (m/min)
μ_2: media de Caudal de aire (cfm)
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Velocidad de aire (m/min)	6	93.8	26.1	11
Caudal de aire (cfm)	6	65942	18339	7487

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-65849	(-85094; -46603)

Prueba

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

Valor T	GL	Valor p
-8.80	5	0.000

Como Pv < 0.05 Rho (Se rechaza la hipótesis nula)

Se puede concluir que el diseño proyectado del sistema de ventilación en Ventsim si permite realizar una evaluación detallada de la planificación a largo plazo del sistema de ventilación.

Con lo que manifiesta Corimanya (2011), podemos reafirmar que la simulación del sistema de ventilación en la herramienta 3d Ventsim nos permite revisar el caudal y velocidad de flujo de aire que llegan a las labores.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que se ha planificado el sistema de ventilación a largo plazo bajo el soporte del software ventsim, siempre y cuando se calibre el sistema de ventilación al 90 % en el software ventsim, actualmente el requerimiento de aire es de 421,940 cfm con una cobertura de 102% y el requerimiento a largo plazo es de 626,327 cfm, donde el requerimiento de aire a largo plazo se debe al incremento de equipos (06) y personal (11), el cual es debido al incremento de producción a largo plazo de 1800 TMD a 2200 TMD, tenemos un déficit de 195,182 cfm respecto al sistema actual, se ha planificado proyectos a mediano plazo el cual será una transición para el cumplimiento del requerimiento de aire a largo plazo. en los proyectos a mediano plazo se reubicará los ventiladores actuales, Reemplazar el ventilador de 160k cfm de la zona MG. Centro por 02 ventiladores de 120k cfm, instalados ambos en paralelo; Reemplazar el ventilador de 100k cfm de la zona MG. Norte por el ventilador de 160k cfm. Con esto se tendrá un ingreso de aire fresco de 482,646 cfm, una cobertura de 114%, respecto al requerimiento de 421,940 cfm, superávit de aire fresco de 60,706 cfm. Para los proyectos a largo plazo se ha planificado ejecutar un Rb de ingreso de aire fresco al cual llamaremos Rb 02 y otro de salida de aire viciado al cual llamaremos Rb 01, donde se instalará un ventilador de 200k cfm, de 268.5 HP y una presión a cota de trabajo de 6.8 “CA, con este proyecto planteado tendremos una cobertura de aire al 108%, con un superávit de aire fresco de 52,073 cfm; así como también la calibración del sistema de ventilación al 90% en el software ventsim, nos permite evaluar la sensibilidad del flujo de aire en los frentes de avance; de esta manera de acuerdo al D.S. 024 - 2016 – EM y su modificatoria D.S. 023 - 2017 – EM se cumple con la demandao de aire fresco a largo plazo de 626.327 cfm.
2. Se ha planificado el sistema de ventilación a largo plazo con el programa de diseño ventsim, planificando la ejecución del RB – 01 y RB – 02, los cuales tienen una longitud de 370m, se desea direccionar 200k cfm con un ventilador ubicado en la zona central superficie en el Nv 4,655; Se evaluaron para el RB – 01 y RB – 02, el diámetro óptimo con valores promedios de: factor de fricción K 0.005 kg/m3, para los RBs (Malcolm J. McPherson), densidad de aire (0.69 kg/m3) y costo de energía 0.098 US$/kW-h a una tasa de interés de 12%, costo de excavación de acuerdo a diámetro:

Costo de excabación de raise boring			
RB (Ø)	m3	P.U. US$/m	P.U. US$/m3
1.5	1.8	883	500
1.8	2.5	1,053	414
2.1	3.5	1,288	372
2.4	4.5	1,413	312
2.8	6.2	1,450	235
3.1	7.5	1,478	196
4.0	12.6	1,880	150

Como resultado el diámetro óptimo por el método algebraico es de 3.10m, con un costo capital 546,711 usd y costo operativo de 21,743 usd/anual; un costo total de 568,454 usd:

Sección Ø (m)	Área (A) (m2)	Perímetro (C) (m)	Longitud (L) (m)	Resistencia (R) Ns/m8	Caudal fijo (Q) m3/s	Costo Excavación $/m	Costo Capital (CC) US$	Costo Operativo (CO) US$	Costo Total anual (CT) US$
1.50	1.77	4.71	370.00	0.90837	94	883	**326,654**	**819,714**	**1,146,368**
1.80	2.54	5.65	370.00	0.36505	94	1,053	**389,461**	**329,425**	**718,886**
2.10	3.46	6.60	370.00	0.16890	94	1,288	**476,560**	**152,413**	**628,973**
2.40	4.52	7.54	370.00	0.08663	94	1,413	**522,661**	**78,174**	**600,835**
2.80	6.16	8.80	370.00	0.04008	94	1,450	**536,500**	**36,168**	**572,668**
3.10	**7.55**	**9.74**	**370.00**	**0.02409**	**94**	**1,478**	**546,711**	**21,743**	**568,454**
3.80	11.34	11.94	370.00	0.00871	94	1,653	**611,461**	**7,856**	**619,317**
4.00	12.57	12.57	370.00	0.00674	94	1,880	**695,600**	**6,079**	**701,679**

Con esta data se simula en el software ventsim el diámetro óptimo resultando 3.10m, de tal manera con el proyecto planificado se cumple con el requerimiento de aire a largo plazo.

3. Se ha diseñado en una herramienta 3D el sistema de ventilación, en la software ventsim, un análisis a detalle del levantamiento de data, podemos concluir que en el sistema actual la distribución porcentual de velocidades de aire en mina existe un 26% de data que son velocidades menores a 25 m/min, teniendo una mayor incidencia en el nivel 4230 y nivel 4300, con la planificación de nuestros proyectos a mediano plazo y largo plazo en el software ventsim, concluimos que nos permite realizar una evaluación a detalle del comportamiento del flujo de aire en los niveles de profundización, nivel 4160, nivel 4230 y 4300, obteniendo velocidades mayores a 25 m/min, así como también caudal promedio de 60k cfm.

VII. RECOMENDACIONES

1. Planificar el sistema de ventilación a largo plazo bajo el soporte de la herramienta Ventsim con una calibración de 90% de los datos tomados en campo, para evaluar proyectos de ventilación en la herramienta 3D Ventsim antes de su ejecución, cumpliendo de esta manera con el requerimiento de aire proyectado, así como también se pueda evaluar a detalle el comportamiento que tendrá el flujo de aire en el sistema de ventilación.
2. Simular distintos escenarios del sistema de ventilación a largo plazo de tal manera se ejecute el sistema de ventilación que satisfaga el requerimiento y parámetros de ventilación establecidos por el D.S. 024 – 2016 -EM y su modificatoria D.S. 023 – 2017 – EM. Evitando costos de reingeniería.
3. Realizar una evaluación a detalle de velocidad y caudal que está en el diseño Ventsim 3D, del sistema de ventilación de tal manera en las labores de tránsito de personal no exceda 250 m/min asì como tampoco las velocidades sean menores a 25 m/min, de acuerdo a lo establecido por el D.S. 024 – 2016 -EM y su modificatoria D.S. 023 – 2017 – EM.

VIII. REFERENCIAS

- ASHRAE. (14 de Julio de 2017). Mine Air Conditioning and Ventilation. Obtenido de https://www.ashrae.org/advertising/handbook-advertising/applications/mine-air-conditioning-and-ventilation

- Carrasco, J. (2017). *Reformulación del sistema de ventilación del proyecto mina chuquicamata subterránea*. Simposio Internacional de Ventilación de Minas.

- Codoceo, O. (2017). Experiencia en ventilación de mina en chile: minería del carbon y metálica. Simposio Internacional de Ventilación de Minas.

- Corimanya, J. A., & Méndez, F. R. (2011). Planeamiento de Ventilación Asistida para la Unidad Peruana San Cristóbal- Cía. Minera San Cristóbal. Tesis de Pre Grado. Lima: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Corimanya J.A. y Oyola H. (2017). Estudio del Proyecto de Mejoramiento de Ventilación Mina Chavincha, Ayacucho - Perú. Simposio Internacional de Ventilación de Minas.

- Derrington, A.(2015). La solución definitiva del diseño de ventilación de minas, Howden. www.Ventsim.com/es/

- Guillen, C. (2016). Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas minera Hemco – Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería.

- Hurtado C., J. P y Acuña D., E. (2018), Primer simposio Internacional en Ventilación de Minas Subterráneas, Santiago de Chile.

- Malcolm J. McPherson (2016), Ingeniería de ventilación subterránea. California, Estados Unidos: Omnipres.

- Vicente Luque Cabal (2005), Manual de ventilación de minas. Madrid, España: PEDECA, S. Coop, Ltda.

- Zitron (2007), conferencia sobre ventilación de minas

IX. ANEXOS

9.1. Levantamiento de ventilación

- **Nivel 4580**

Tabla 89

levantamiento de data nivel 4580.

Levantamiento de ventilación : Glencore - Ttrevali

Nivel: 4580
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación		Velocidad (m/s)									Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Àrea	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	T. Amb. °C	HR %	hPa	a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 14	4580 - 1	CX-4640-1	0.35	0.34	0.29	0.35	0.38	0.50	0.34	0.29	0.37	4	76.00	584.00	5.15	3.95	BAUL	19.08	21	0.36	408	14,420
EVS - 15	4580 - 1	BP-4481	1.28	1.33	1.30	1.27	1.34	1.12	1.24	1.22	1.37	4	86.00	564.00	4.80	3.14	BAUL	14.14	76	1.27	1,081	38,177
EVS - 16	4580 - 1	CX-4640 - 1	0.72	0.99	1.00	1.06	1.08	1.01	1.12	1.12	1.12	4	87.00	585.00	4.27	4.10	BAUL	16.42	61	1.02	1,009	35,646
EVS - 17	4580 - 1	GAL-4580	1.00	1.10	1.83	1.79	1.70	1.53	1.54	1.36	1.63	4	84.00	585.00	5.36	3.63	BAUL	18.25	90	1.50	1,640	57,920
EVS - 18	4580 - 1	GAL-4580	0.88	0.94	1.18	1.81	2.08	1.82	1.95	1.55	1.84	4	82.00	584.00	6.90	3.72	BAUL	24.08	94	1.56	2,255	79,641
EVS - 19	4580 - 1	BP-4580	4.20	4.29	3.69	4.53	4.25	3.83	3.66	2.97	2.90	6	86.00	583.00	6.00	3.80	BAUL	21.39	229	3.81	4,893	172,804
EVS - 20	4580 - 1	CX-4290	4.09	3.81	3.12	2.34	3.43	3.74	3.14	3.17	2.80	5	85.00	584.00	5.83	4.11	BAUL	22.48	198	3.29	4,441	156,841
EVS - 21	4580 - 1	BP-4580 - BM MC	4.52	4.37	4.16	3.21	4.24	4.26	4.07	4.24	3.25	4	87.00	584.00	5.40	4.10	BAUL	20.77	242	4.04	5,028	177,580
EVS - 22	4580 - 1	CX-4580	2.17	2.12	2.23	1.64	1.42	1.59	1.84	1.33	1.60	8	86.00	584.00	5.15	4.33	BAUL	20.92	106	1.77	2,223	78,497
EVS - 23	4580 - 1	GAL-4580	1.10	0.80	0.90	0.96	1.07	1.13	1.36	1.56	1.66	4	87.00	584.00	5.22	3.68	BAUL	18.02	70	1.17	1,266	44,713
EVS - 24	4580 - 1	GAL-4580	1.21	1.34	1.31	1.35	1.19	1.31	1.28	1.50	1.45	4	87.00	584.00	5.39	3.71	BAUL	18.76	80	1.33	1,493	52,728
EVS - 09	4580 - 2	RP(-)-457	1.87	1.50	1.33	1.78	1.87	1.93	1.99	1.55	1.91	4	75.00	585.00	4.74	4.35	BAUL	19.34	105	1.75	2,028	71,625
EVS - 10	4580 - 2	CX-4640-2	0.26	0.31	0.50	0.55	0.47	0.31	0.42	0.45	0.49	4	74.00	584.00	4.54	3.47	BAUL	14.78	25	0.42	370	13,081
EVS - 11	4580 - 2	CA-4610	0.02	0.07	0.03	0.03	0.08	0.18	0.12	0.15	0.12	3	35.00	585.00	4.34	3.81	BAUL	15.51	5	0.09	83	2,921
EVS - 12	4580 - 2	BP-4640-2	0.02	0.06	0.04	0.03	0.23	0.26	0.26	0.26	0.04	4	68.00	584.00	3.67	4.57	BAUL	15.73	8	0.13	126	4,445
EVS - 13	4580 - 2	RP-4577	1.11	1.18	1.38	1.38	1.45	1.23	1.39	1.44	1.43	4	76.00	593.90	5.00	4.25	BAUL	19.93	80	1.33	1,593	56,266
EVS - 05	4580 - 3	CX-4649-3	0.02	0.15	0.03	0.03	0.03	0.06	0.01	0.00	0.02	4	75.00	582.70	4.16	3.79	BAUL	14.79	2	0.04	35	1,219
EVS - 06	4580 - 3	CA-4613	0.25	0.27	0.19	0.12	0.15	0.10	0.16	0.12	0.25	6	60.00	582.80	4.38	3.74	BAUL	15.37	11	0.18	165	5,824
EVS - 07	4580 - 3	CA-4631	0.19	0.21	0.10	0.04	0.04	0.15	0.18	0.19	0.06	5	75.00	583.00	3.72	3.92	BAUL	13.68	8	0.13	106	3,736
EVS - 08	4580 - 3	RP(-)-4577	1.79	1.91	2.00	2.15	2.01	1.95	1.63	1.83	1.60	4	74.00	585.00	4.98	4.47	BAUL	20.88	112	1.87	2,348	82,932
EVS - 01	4580 - 4	RP(-)-4577 BM-MN	3.00	2.60	3.78	2.70	2.00	2.10	2.40	2.53	2.51	6	63.00	581.00	5.47	3.98	BAUL	20.42	157	2.62	3,216	113,559
EVS - 02	4580 - 4	CA-4596	1.29	1.08	0.71	0.68	0.45	0.50	0.48	0.58	0.30	5	64.60	580.00	4.60	4.15	BAUL	17.91	40	0.67	725	25,590
EVS - 03	4580 - 4	CX-4640-4	0.54	0.58	0.43	0.35	0.41	0.31	0.41	0.39	0.46	5	31.70	585.10	5.16	3.01	BAUL	14.57	26	0.43	377	13,308
EVS - 04	4580 - 4	CA-4577	1.93	1.96	2.16	1.89	1.82	1.94	1.69	1.62	1.70	5	68.00	582.20	5.39	4.18	BAUL	21.13	111	1.86	2,354	83,140

- **Nivel 4510**

Tabla 90

levantamiento de data nivel 4510.

Levantamiento de ventilación :
Glencore - Ttrevali

Nivel: 4510
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación		Velocidad (m/s)									Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Área	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	T. Amb. °C	HR %		a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 15	4510 - 1	RP-4577	1.88	1.86	1.89	1.90	1.83	1.60	1.70	1.63	1.72	4.40	84.00	591.00	5.46	4.51	BAUL	23.10	107	1.78	2,465	87,063
EVS - 16	4510 - 1	BP-4510-1E	0.53	0.66	0.70	0.61	0.53	0.60	0.44	0.61	0.71	5.00	86.00	594.00	5.46	5.39	BAUL	27.60	36	0.60	992	35,030
EVS - 17	4510 - 1	BP-4510	0.74	0.84	0.93	0.84	0.93	0.96	0.92	0.85	0.80	6.00	82.00	582.00	4.74	4.81	BAUL	21.39	52	0.87	1,113	39,323
EVS - 18	4510 - 1	BP-4510-1E	0.70	0.57	0.37	0.43	0.37	0.35	0.60	0.34	0.33	6.00	84.00	583.00	5.38	4.28	BAUL	21.60	27	0.45	585	20,645
EVS - 19	4510 - 1	RP-4290(+)	0.88	1.00	0.87	1.18	1.18	1.42	1.32	1.33	1.11	5.00	84.00	583.00	5.82	5.28	BAUL	28.82	69	1.14	1,977	69,830
EVS - 25	4510 - 1	BP-4510	1.99	2.26	2.24	2.37	2.18	1.88	1.76	2.10	2.31	6.90	75.10	592.00	5.50	3.99	BAUL	20.58	127	2.12	2,620	92,515
EVS - 30	4510 - 1	BP-4510	0.67	0.76	0.90	1.00	1.20	1.22	0.73	0.91	0.78	5.80	80.00	588.00	5.00	4.14	BAUL	19.42	54	0.91	1,058	37,348
EVS - 32	4510 - 1	RP(-)-4148	0.61	0.43	0.11	0.30	0.20	0.13	0.32	0.27	0.26	6.00	82.00	582.00	4.74	4.81	BAUL	21.39	18	0.29	375	13,242
EVS - 33	4510 - 1	BP-4043-1S	0.00	0.08	0.13	0.02	0.18	0.20	0.25	0.26	0.20	5.80	87.00	582.00	4.00	4.21	BAUL	15.80	9	0.15	139	4,909
EVS - 09	4510 - 2	RP-4577	1.14	1.15	1.15	1.57	1.53	1.66	1.62	1.62	1.59	4.00	82.00	590.20	4.30	4.92	BAUL	19.84	87	1.45	1,724	60,876
EVS - 10	4510 - 2	BP-4620-1N	0.12	0.07	0.11	0.06	0.20	0.24	0.20	0.24	0.10	4.70	85.00	590.80	4.40	6.65	BAUL	27.45	9	0.15	245	8,659
EVS - 11	4510 - 2	BP-4620-1N	0.55	0.60	0.56	0.55	0.43	0.58	0.74	0.58	0.56	5.00	86.00	591.10	4.30	3.99	BAUL	16.09	34	0.57	553	19,513
EVS - 12	4510 - 2	CX-4620-2	0.25	0.31	0.22	0.28	0.20	0.28	0.33	0.15	0.18	4.00	84.00	591.10	4.22	3.56	BAUL	14.09	15	0.24	207	7,299
EVS - 13	4510 - 2	RP-4577	1.35	1.31	1.25	1.60	1.57	1.41	1.15	1.54	1.16	4.80	79.00	591.20	5.83	4.26	BAUL	23.30	82	1.37	1,916	67,681
EVS - 14	4510 - 2	RP-4577	1.56	1.59	1.55	1.41	1.18	1.16	1.20	1.24	1.31	5.00	84.00	591.10	5.00	4.65	BAUL	21.81	81	1.36	1,774	62,640
EVS - 20	4510 - 2	RP-4577	1.16	1.25	1.19	1.40	1.49	1.38	1.66	1.76	1.82	6.00	85.00	583.00	4.80	4.45	BAUL	20.04	87	1.46	1,751	61,841
EVS - 26	4510 - 2	RP-4005	1.20	1.27	1.18	1.25	1.45	1.00	1.25	1.51	1.40	7.00	76.50	590.80	5.18	4.36	BAUL	21.18	77	1.28	1,626	57,407
EVS - 27	4510 - 2	RP-4005	4.40	4.55	4.48	4.04	4.60	3.48	3.12	3.77	3.53	7.80	74.00	589.90	5.01	3.98	BAUL	18.70	240	4.00	4,485	158,392
EVS - 28	4510 - 2	RP-4005	3.10	3.38	3.95	3.80	3.56	3.46	4.30	4.20	4.10	7.80	78.00	586.00	5.90	4.35	BAUL	24.07	226	3.76	5,433	191,854
EVS - 31	4510 - 2	BM-MS	4.38	4.51	4.14	3.76	3.61	3.39	3.50	3.30	2.65	2.80	86.00	591.50	4.87	4.46	BAUL	20.37	222	3.69	4,515	159,439
EVS - 06	4510 - 3	BP-4620-3N	0.07	0.02	0.04	0.04	0.14	0.15	0.17	0.09	0.01	4.00	77.00	590.00	5.23	4.43	BAUL	21.73	5	0.08	106	3,735
EVS - 07	4510 - 3	CX-4620-3	0.20	0.22	0.23	0.20	0.40	0.21	0.26	0.26	0.22	3.70	84.00	589.50	4.22	4.46	BAUL	17.65	15	0.24	259	9,144
EVS - 08	4510 - 3	RP-4577	2.12	2.10	2.14	1.69	1.66	1.45	1.39	1.42	1.46	3.40	80.00	589.00	5.00	4.17	BAUL	19.56	103	1.71	2,012	71,047
EVS - 21	4510 - 3	RP-4290(-)	1.06	1.11	1.50	1.54	1.73	1.86	1.79	1.93	1.89	6.00	85.00	583.00	4.80	4.45	BAUL	20.04	96	1.60	1,925	67,973
EVS - 29	4510 - 3	RP-4577	2.06	1.89	1.91	1.84	1.51	1.45	1.50	1.56	1.29	5.50	79.00	587.00	5.22	4.00	BAUL	19.59	100	1.67	1,960	69,212
EVS - 01	4510 - 4	RP-4577	1.93	1.95	1.93	1.95	1.88	1.83	1.73	1.86	1.81	5.80	74.00	587.50	5.32	4.03	BAUL	20.11	112	1.87	2,262	79,873
EVS - 02	4510 - 4	RP-4577	1.68	1.77	1.82	1.82	1.84	1.78	1.80	1.77	1.61	5.00	69.00	588.00	5.54	3.99	BAUL	20.73	106	1.77	2,196	77,567
EVS - 03	4510 - 4	BP-4620-4N	0.05	0.05	0.02	0.01	0.02	0.10	0.08	0.00	0.03	5.00	70.00	588.80	5.22	4.16	BAUL	20.37	2	0.04	49	1,726
EVS - 04	4510 - 4	CX-4620-4	0.26	0.24	0.23	0.20	0.26	0.28	0.31	0.26	0.22	5.00	82.00	589.00	4.10	3.80	BAUL	14.61	15	0.25	220	7,776
EVS - 05	4510 - 4	RP-4577	1.95	1.91	1.67	1.81	1.85	1.59	1.53	1.89	1.80	4.00	88.00	589.50	5.22	4.56	BAUL	22.33	107	1.78	2,382	84,106
EVS - 22	4510 - 4	RP-4290(-)	12.00	12.45	12.05	12.00						5.00	85.00	583.00	0.30		CIRCULAR	0.07	728	12.13	51	1,816
EVS - 23	4510 - 4	RP-4290(-)	1.55	1.70	1.66	1.83	1.87	1.55	1.50	1.80	1.56	6.00	86.00	583.00	5.48	3.84	BAUL	19.74	100	1.67	1,976	69,800

- **Nivel 4440**

Tabla 91

levantamiento de data nivel 4440.

Levantamiento de ventilación :
Glencore - Ttrevali

Nivel: 4440
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación		Velocidad (m/s)									Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Área	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	T. Amb. °C	HR %		a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 09	4440 - 1	CX-4610-1	0.25	0.10	0.07	0.19	0.13	0.10	0.25	0.23	0.21	5.30	85.00	596.50	6.00	4.89	BAUL	27.52	10	0.17	281	9,913
EVS - 10	4440 - 1	BP-4140-1S	1.46	1.85	1.79	1.51	1.64	1.76	1.74	1.78	1.65	5.00	86.00	597.50	4.91	1.98	BAUL	9.12	101	1.69	923	32,590
EVS - 11	4440 - 1	RP(+)-4140-1	0.35	0.44	0.38	0.45	0.47	0.40	0.45	0.34	0.52	6.00	84.00	597.50	5.72	4.15	BAUL	22.27	25	0.42	564	19,920
EVS - 12	4440 - 1	RP-4005	0.30	0.27	0.26	0.37	0.46	0.52	0.50	0.57	0.58	5.00	82.00	598.00	5.28	4.56	BAUL	22.58	26	0.43	577	20,364
EVS - 13	4440 - 1	CA-4299-1N	11.24	10.61	11.27	10.68	10.37	10.24	11.36	10.70	10.69	4.00	81.00	597.00	0.57		CIRCULAR	0.26	648	10.80	165	5,837
EVS - 14	4440 - 1	RP-4005	1.40	1.53	1.44	1.26	1.10	1.15	1.23	1.80	1.10	5.00	76.00	597.00	5.36	4.56	BAUL	22.93	80	1.33	1,836	64,825
EVS - 15	4440 - 1	RP-4005	1.21	1.38	1.33	1.28	1.24	1.35	1.32	1.15	1.00	7.80	87.00	596.90	5.43	4.20	BAUL	21.39	75	1.25	1,606	56,710
EVS - 07	4440 - 2	CX-4610-2	0.29	0.28	0.22	0.20	0.37	0.32	0.28	0.20	0.22	5.00	77.00	594.90	4.54	3.89	BAUL	16.57	16	0.26	263	9,282
EVS - 08	4440 - 2	RP-4577	2.04	1.86	2.03	2.93	2.15	2.00	2.13	2.13	2.30	4.90	89.00	596.00	5.26	4.72	BAUL	23.29	130	2.17	3,038	107,297
EVS - 17	4440 - 2c	CX-4231-2	0.16	0.05	0.03	0.09	0.05	0.18	0.17	0.05	0.18	5.00	83.00	598.00	4.30	1.20	BAUL	4.84	6	0.11	31	1,094
EVS - 16	4440 - 2s	RP-4005	1.11	1.23	1.22	1.31	1.17	1.20	1.22	1.25	1.35	6.00	82.00	597.00	5.37	4.25	BAUL	21.41	74	1.23	1,578	55,743
EVS - 05	4440 - 3	CX-4610	0.38	0.41	0.20	0.24	0.31	0.44	0.42	0.28	0.20	5.36	84.00	594.00	4.17	3.42	BAUL	13.38	19	0.32	257	9,070
EVS - 06	4440 - 3	RP-4577	2.22	2.13	2.13	1.99	2.02	1.88	1.91	1.83	1.80	4.50	88.00	594.90	5.14	4.30	BAUL	20.73	119	1.99	2,475	87,417
EVS - 25	4440 - 3	BP-4610-3	0.09	0.12	0.09	0.06	0.14	0.19	0.20	0.10	0.05	5.80	88.00	594.00	4.35	3.86	BAUL	15.75	7	0.12	109	3,856
EVS - 22	4440 - 3c	BP-4230-3	0.21	0.18	0.15	0.22	0.20	0.13	0.24	0.10	0.11	6.80	85.30	593.80	5.49	4.26	BAUL	21.94	10	0.17	225	7,954
EVS - 01	4440 - 4	RP-4577	2.05	2.10	2.15	1.87	1.70	1.97	1.77	1.73	1.76	4.40	87.00	592.00	5.85	4.52	BAUL	24.80	114	1.90	2,827	99,853
EVS - 02	4440 - 4	BP-4610-4N	0.25	0.22	0.18	0.16	0.16	0.18	0.25	0.23	0.18	4.30	87.00	593.00	4.42	4.10	BAUL	17.00	12	0.20	205	7,248
EVS - 03	4440 - 4	CX-4610-4	0.39	0.37	0.33	0.30	0.38	0.46	0.48	0.39	0.39	4.70	86.00	593.60	4.27	2.96	BAUL	11.86	23	0.39	276	9,741
EVS - 04	4440 - 4	RP-4577	2.40	2.95	2.93	2.13	2.87	2.04	1.85	1.87	1.93	4.00	80.00	594.00	5.28	4.34	BAUL	21.49	140	2.33	3,005	106,119
EVS - 24	4440 - 4	RP-4230-4	0.46	0.26	0.40	0.54	0.31	0.33	0.33	0.23	0.55	6.80	81.00	583.00	5.50	4.61	BAUL	23.78	23	0.38	541	19,094
EVS - 23	4440 - 4c	RP-4005	1.31	1.45	1.17	1.25	1.35	1.35	1.27	1.33	1.35	9.00	76.00	592.30	5.59	4.66	BAUL	24.43	79	1.31	1,927	68,054
EVS - 18	4440 - 4s	BP-4140-4S	0.26	0.30	0.27	0.30	0.36	0.40	0.28	0.50	0.51	5.00	85.00	593.80	2.36	4.88	BAUL	10.80	21	0.35	229	8,088
EVS - 19	4440 - 4s	BP-4140-4S	0.35	0.28	0.40	0.35	0.30	0.28	0.43	0.40	0.42	6.00	81.00	593.80	4.40	2.87	BAUL	11.85	21	0.36	253	8,952
EVS - 20	4440 - 4s	RP-4140-4	0.38	0.23	0.20	0.19	0.37	0.49	0.48	0.38	0.30	6.00	85.00	593.80	4.89	4.44	BAUL	20.37	20	0.34	410	14,480
EVS - 21	4440 - 4s	RP-4140-4	0.25	0.20	0.24	0.35	0.20	0.32	0.38	0.50	0.50	7.70	80.60	593.80	5.12	3.60	BAUL	17.29	20	0.33	339	11,967

- **Nivel 4370**

Tabla 92

levantamiento de data nivel 4370.

Levantamiento de ventilación :
Glencore - Ttrevali

Nivel: 4370
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación		Velocidad (m/s)									Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Área	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	T. Amb. °C	HR %		a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 05	4370 - 1	BP-4600-1N	0.3	0.31	0.30	0.24	0.23	0.41	0.48	0.37	0.30	9.20	94.80	603.90	4.28	4.30	BAUL	17.26	20	0.33	338	11,949
EVS - 06	4370 - 1	CX-4600-1N	0.70	0.60	0.80	0.98	1.09	0.99	0.90	1.02	0.72	9.10	92.20	603.90	3.71	4.60	BAUL	16.01	52	0.87	832	29,397
EVS - 07	4370 - 1	BP-4370-1	1.18	1.19	1.09	1.24	1.19	1.17	1.47	1.20	1.21	7.60	90.30	604.30	4.94	4.25	BAUL	19.69	73	1.22	1,436	50,723
EVS - 08	4370 - 1	RP-4577	0.80	0.89	0.84	0.70	0.67	1.01	1.74	1.31	1.06	7.50	90.30	604.30	5.06	4.13	BAUL	19.60	60	1.00	1,179	41,627
EVS - 28	4370 - 1	RP-4005	0.47	0.54	0.53	0.78	0.46	0.44	0.40	0.45	0.38	9.80	90.90	602.90	4.33	5.63	BAUL	22.87	30	0.49	678	23,957
EVS - 29	4370 - 1	RP-4005	0.37	0.32	0.16	0.27	0.33	0.35	0.19	0.19	0.19	10.80	89.20	604.00	5.35	4.44	BAUL	22.28	16	0.26	352	12,432
EVS - 30	4370 - 1	RP-4005	0.31	0.44	0.25	0.32	0.26	0.27	0.29	0.27	0.20	12.20	85.10	604.00	5.29	4.39	BAUL	21.78	17	0.29	379	13,385
EVS - 31	4370 - 1	CX-4130-1	0.69	0.62	0.51	0.70	0.68	0.66	0.81	0.80	0.80	10.30	88.30	604.00	4.39	4.01	BAUL	16.51	42	0.70	690	24,375
EVS - 32	4370 - 1	BP-4369-1	1.65	1.32	1.80	1.47	1.43	1.30	1.56	1.45	1.45	7.40	87.60	605.70	4.39	3.91	BAUL	16.10	89.53	1.49	1,442	50,908
EVS - 04	4370 - 2	RP-4577	2.10	2.00	1.89	1.66	1.67	1.66	1.76	2.11	2.13	5.70	91.50	602.10	4.90	4.45	BAUL	20.45	113	1.89	2,315	81,764
EVS - 19	4370 - 2	CX-4371-2	0.45	0.16	0.16	0.18	0.15	0.42	0.35	0.32	0.15	9.30	92.20	602.00	4.58	3.97	BAUL	17.06	16	0.26	266	9,396
EVS - 20	4370 - 2	BP-4371-2	0.31	0.38	0.26	0.21	0.45	0.42	0.37	0.38	0.25	11.50	92.10	602.60	4.96	4.17	BAUL	19.40	20	0.34	392	13,840
EVS - 21	4370 - 2	CX-4371-2	0.23	0.13	0.21	0.17	0.12	0.29	0.29	0.12	0.19	12.20	91.40	602.60	4.18	3.93	BAUL	15.41	12	0.19	180	6,349
EVS - 22	4370 - 2	SN-4371-2S	0.33	0.25	0.22	0.30	0.25	0.30	0.29	0.25	0.33	16.30	87.10	602.60	4.06	1.06	BAUL	4.04	17	0.28	68	2,395
EVS - 23	4370 - 2	VN-4373-2W	0.87	0.55	0.37	0.67	0.66	0.55	0.69	0.70	0.65	17.40	85.10	602.70	3.50	3.96	BAUL	13.00	38	0.63	495	17,477
EVS - 24	4370 - 2	RP-4005	0.80	0.76	0.77	1.06	0.81	0.64	1.00	1.17	0.95	10.80	89.00	602.70	5.10	4.29	BAUL	20.52	53	0.88	1,089	38,460
EVS - 27	4370 - 2	RP-4130-2	0.71	0.72	0.78	0.73	0.64	0.48	0.48	0.65	0.70	9.30	92.00	602.90	4.16	5.40	BAUL	21.07	39	0.65	827	29,220
EVS - 02	4370 - 3	RP-4577	1.95	1.97	2.16	3.00	3.10	1.84	2.00	2.05	2.20	5.40	81.80	600.30	5.11	4.30	BAUL	20.61	135	2.25	2,785	98,359
EVS - 03	4370 - 3	RP-4577	1.64	1.09	1.38	1.42	1.17	1.15	1.42	1.35	1.36	6.20	88.30	600.30	4.15	4.47	BAUL	17.40	80	1.33	1,390	49,078
EVS - 14	4370 - 3	RP-4005	1.31	1.14	1.12	1.02	1.10	1.07	1.76	1.16	1.00	7.80	88.00	604.00	5.54	4.20	BAUL	21.83	71	1.19	1,554	54,878
EVS - 15	4370 - 3	RP-4005	1.32	1.37	1.05	1.19	0.97	0.98	0.98	1.24	1.23	8.00	88.30	604.00	5.10	4.80	BAUL	22.96	69	1.15	1,581	55,845
EVS - 16	4370 - 3	CX-4371-3	12.00	11.58	11.68	11.26	13.06	11.74	11.12	11.12		10.00	91.00	601.20	0.50	diametro	CIRCULAR	0.20	702	11.70	138	4,866
EVS - 17	4370 - 3	CX-4371-3	0.20	0.19	0.08	0.12	0.10	0.16	0.19	0.08	0.11	11.10	91.90	601.30	4.10	3.61	BAUL	13.88	8	0.14	114	4,020
EVS - 18	4370 - 3	RP-4005	0.98	0.98	0.90	0.88	0.90	0.98	1.08	0.96	0.92	11.10	87.60	602.00	5.14	4.15	BAUL	20.01	57	0.95	1,144	40,417
EVS - 25	4370 - 3	RP(+)-4130-3	0.12	0.05	0.05	0.16	0.16	0.11	0.21	0.22	0.12	11.30	90.20	602.70	4.13	3.81	BAUL	14.76	8	0.13	118	4,170
EVS - 26	4370 - 3	BP-4130-3N	0.06	0.06	0.02	0.10	0.13	0.22	0.11	0.06	0.06	10.00	93.60	602.40	3.70	4.86	BAUL	16.87	5	0.09	92	3,256
EVS - 01	4370 - 4	RP-4577	2.10	2.15	2.17	1.84	1.75	1.73	2.36	1.90	1.92	8.00	77.00	598.00	5.66	4.31	BAUL	22.88	119	1.99	2,734	96,539
EVS - 09	4370 - 4	RP-4370-4	0.15	0.30	0.19	0.20	0.10	0.14	0.21	0.11	0.11	9.50	81.40	599.80	4.39	4.25	BAUL	17.50	10	0.17	176	6,222
EVS - 10	4370 - 4	RP-4005	1.38	1.36	1.23	1.31	1.41	1.32	1.07	1.14	1.00	9.50	83.00	600.00	5.13	4.19	BAUL	20.16	75	1.25	1,508	53,259
EVS - 11	4370 - 4	BP-4130-4N	0.22	0.15	0.20	0.28	0.29	0.21	0.21	0.25	0.22	8.60	86.00	601.00	4.50	3.18	BAUL	13.42	14	0.23	182	6,415
EVS - 13	4370 - 4	RP(-)-4130-4	0.10	0.12	0.19	0.18	0.19	0.17	0.23	0.20	0.18	8.20	86.80	604.00	5.53	4.21	BAUL	21.84	10	0.17	227	8,021
EVS - 12	4373 - 4	BP-4130-4N	0.23	0.22	0.23	0.15	0.13	0.27	0.12	0.22	0.19	8.11	85.00	601.00	4.32	3.52	BAUL	14.26	12	0.20	167	5,910

- **Nivel 4300**

Tabla 93

levantamiento de data nivel 4300.

Levantamiento de ventilación :
Glencore - Ttrevali

Nivel: 4300
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación			Velocidad (m/s)								Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Área	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	T. Amb. °C	HR %		a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 08	4300 - 1	BP-4570-1N	dentro de camara	1.82	1.74	1.77	1.63	1.42	1.16	1.41	1.62	8.40	93.70	606.00	4.08	3.67	BAUL	14.05	93	1.56	1,313	46,360
EVS - 09	4300 - 1	CX-4570-1	dentro de camara	1.20	0.99	1.07	0.94	1.14	1.12	0.80	0.89	9.00	91.41	606.00	4.87	3.91	BAUL	17.86	59	0.98	1,051	37,131
EVS - 10	4300 - 1	RP-4577	en rampa	0.59	0.46	0.52	0.50	0.26	0.20	0.43	0.34	9.10	96.10	608.00	5.29	4.24	BAUL	21.04	24	0.40	505	17,832
EVS - 32	4300 - 1	RP-4005	En rampa, sost shotcrete	0.86	1.08	0.78	1.01	0.82	0.85	0.80	0.86	10.90	93.00	604.00	5.17	4.53	BAUL	21.97	54	0.90	1,182	41,738
EVS - 33	4300 - 1	RP-4005	En rampa, sost shotcrete	0.03	0.10	0.16	0.30	0.05	0.10	0.03	0.09	10.00	91.00	605.00	5.37	4.54	BAUL	22.87	6	0.11	146	5,169
EVS - 34	4300 - 1	SN-4301-1N	trabajando	0.15	0.22	0.16	0.21	0.11	0.13	0.12	0.13	9.00	90.60	607.00	5.43	4.01	BAUL	20.42	9	0.15	181	6,395
EVS - 35	4300 - 1	SN-4301-1N	trabajando	0.07	0.24	0.15	0.07	0.05	0.15	0.12	0.04	12.00	93.00	610.50	4.11	4.44	BAUL	17.12	7	0.11	112	3,949
EVS - 36	4300 - 1	CX-4274-1	trabajando	0.38	0.29	0.07	0.04	0.27	0.34	0.40	0.23	12.30	91.00	610.50	3.93	4.08	BAUL	15.04	14	0.24	215	7,578
EVS - 37	4300 - 1	BP-4300-1S	trabajando	0.30	0.47	0.40	0.30	0.36	0.29	0.20	0.23	11.00	90.60	610.00	3.78	3.68	BAUL	13.05	17	0.29	226	7,987
EVS - 38	4300 - 1	CX-4274-1	trabajando	0.15	0.06	0.14	0.29	0.18	0.21	0.25	0.11	11.30	93.00	609.00	4.27	4.01	BAUL	16.06	11	0.19	181	6,390
EVS - 39	4300 - 1	CA-4309-1	trabajando	0.42	0.38	0.20	0.25	0.32	0.57	0.44	0.26	13.60	91.00	610.00	5.77	4.26	BAUL	23.06	22	0.36	500	17,642
EVS - 41	4300 - 1	CA-4309-1	CH-4310	1.77	1.92	2.15	1.37	1.84	1.94	1.35	0.68	11.00	92.00	610.4	4.28	4.20	BAUL	16.86	99	1.66	1,675	59,149
EVS - 06	4300 - 2	RP-4577	Zona de carguio	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.17	0.10	8.20	91.40	608.00	5.05	3.78	BAUL	17.91	4	0.07	70	2,487
EVS - 07	4300 - 2	RP-4577	En rampa	0.78	0.77	0.76	0.72	0.64	0.73	0.86	0.65	8.20	92.20	608.00	3.03	4.26	BAUL	12.11	43	0.72	525	18,557
EVS - 23	4300 - 2	RP-4005	Estacion Electrica	0.50	0.75	0.72	0.68	0.66	0.70	0.79	0.75	10.20	85.00	607.00	5.81	4.35	BAUL	23.71	42	0.70	994	35,106
EVS - 24	4300 - 2	RP-4005		0.36	0.73	0.60	0.54	0.37	0.27	0.48	0.78	10.80	84.00	605.00	5.23	5.09	BAUL	24.97	32	0.53	791	27,924
EVS - 25	4300 - 2		Puerta de ventilador	2.51	2.68	3.66	2.70	2.87	2.88	2.63	2.85	14.70	78.00	604.00	0.60	1.21	RECTANGULAR	0.73	170	2.83	124	4,381
EVS - 26	4300 - 2	VN-4300-2	Jumbo trabajando	0.31	0.29	0.20	0.35	0.37	0.11	0.16	0.31	16.60	82.00	605.00	4.35	3.80	BAUL	15.50	16	0.26	244	8,612
EVS - 27	4300 - 2		simba y scoop trabajando	0.64	0.75	0.47	0.20	0.23	0.28	0.33	0.35	11.80	85.00	605.00	4.40	4.11	BAUL	16.96	24	0.41	413	14,577
EVS - 28	4300 - 2			0.48	0.50	0.51	0.45	0.61	0.53	0.64	0.60	14.20	87.00	606.00	4.19	3.80	BAUL	14.93	31	0.51	460	16,245
EVS - 29	4300 - 2	4302-2S	trabajando SIMBA	0.05	0.15	0.08	0.10	0.33	0.42	0.25	0.04	14.00	85.00	608.00	7.52	4.16	BAUL	29.34	10	0.17	291	10,294
EVS - 30	4300 - 2		trabajando SIMBA	0.36	0.19	0.37	0.06	0.26	0.44	0.41	0.42	18.40	86.00	607.00	4.14	3.95	BAUL	15.34	20	0.33	305	10,762
EVS - 31	4300 - 2			0.67	0.51	0.41	0.39	0.29	0.36	0.37	0.17	12.50	81.00	605.00	5.40	4.39	BAUL	22.24	23	0.38	513	18,114
EVS - 03	4300 - 3	CX-4570-3	En la entrada	0.20	0.25	0.20	0.25	0.19	0.21	0.21	0.19	7.20	92.30	604.30	5.57	3.92	BAUL	20.48	12	0.20	247	8,728
EVS - 04	4300 - 3	BP-4570-3N	Sobrecarga	0.80	0.78	1.18	0.90	1.00	1.11	0.74	0.80	8.60	96.40	604.30	0.88	4.36	BAUL	3.60	59	0.99	213	7,533
EVS - 05	4300 - 3	RP-4577	Mangas de ventilacion	0.67	0.59	0.48	0.59	0.20	0.24	0.39	0.33	9.80	86.20	606.00	5.30	4.23	BAUL	21.03	26	0.43	538	19,012
EVS - 16	4300 - 3	RP(-)-4300-3		0.34	0.31	0.10	0.17	0.30	0.28	0.20	0.48	10.70	92.30	608.00	4.30	4.66	BAUL	18.80	17	0.28	316	11,151
EVS - 17	4300 - 3	BP-4300-3		0.43	0.26	0.22	0.25	0.25	0.40	0.28	0.16	12.40	96.40	607.00	4.37	3.80	BAUL	15.58	16	0.26	247	8,728
EVS - 18	4300 - 3	SN-4301-3N		0.34	0.60	0.36	0.23	0.30	0.28	0.22	0.21	10.90	93.00	605.00	4.15	3.67	BAUL	14.29	18	0.31	262	9,249
EVS - 19	4300 - 3	SN-4120-4N		0.04	0.08	0.03	0.03	0.07	0.14	0.15	0.05	11.30	95.00	604.00	3.92	4.38	BAUL	16.11	4	0.07	68	2,389
EVS - 20	4300 - 3	CX-4274-3	trabajando SIMBA	0.14	0.10	0.28	0.08	0.22	0.10	0.19	0.05	11.50	85.00	605.00	4.27	3.11	BAUL	12.46	8	0.13	99	3,490
EVS - 21	4300 - 3	RP-4005	a lado de refugio	0.63	0.70	0.78	0.61	0.72	0.68	0.84	0.69	9.10	87.00	606.00	5.57	4.56	BAUL	23.82	44	0.73	1,045	36,908
EVS - 22	4300 - 3	CX 4120-3S	Nivel con agua	0.04	0.13	0.03	0.03	0.02	0.10	0.03	0.08	11.90	96.10	608.00	5.50	3.70	BAUL	19.09	3	0.05	61	2,157
EVS - 01	4300 - 4	BP-4570-4N	Cerca a un refugio	0.02	0.01	0.01	0.09	0.00	0.02	0.04	0.02	8.00	92.10	603.20	4.65	3.48	BAUL	15.18	1	0.02	22	786
EVS - 02	4300 - 4	RP-4577		0.86	0.73	0.51	0.47	0.77	0.72	0.72	0.68	6.80	90.80	604.30	5.32	4.57	BAUL	22.81	40	0.66	906	32,000
EVS - 11	4300 - 4	RP-4005	a lado de la CH	1.90	1.68	1.82	1.57	1.85	2.11	1.83	1.16	8.30	88.07	607.00	5.16	4.28	BAUL	20.72	101	1.68	2,084	73,596
EVS - 12	4300 - 4	RP-4005	Estacion Electrica	1.90	2.25	2.90	1.74	1.60	1.40	1.31	1.25	9.30	86.60	605.00	5.16	4.45	BAUL	21.54	106	1.77	2,282	80,576
EVS - 13	4300 - 4	BP-4300-4		6.56	6.34	8.20	7.02	6.72	6.05	6.30	7.43	9.80	94.00	604.00	0.64	1.18	RECTANGULAR	0.76	408	6.80	308	10,885
EVS - 14	4300 - 4	SN-4275-4W		0.20	0.15	0.34	0.25	0.32	0.19	0.16	0.22	10.50	86.40	605.00	4.28	4.02	BAUL	16.14	14	0.23	223	7,865
EVS - 15	4300 - 4	RP-4300-4		0.14	0.14	0.04	0.23	0.47	0.19	0.20	0.10	11.50	87.50	606.00	4.25	4.07	BAUL	16.23	11	0.18	176	6,226

- **Nivel 4230**

Tabla 94

levantamiento de data nivel 4230.

Levantamiento de ventilación :
Glencore - Ttrevali

Nivel: 4230
Pisos: 1,2,3 y 4
Mina: UM Santander

Estac.	Ubicación		Velocidad (m/s)									Condiciones Ambientales		P. Bar. hPa	Sección			Área	Velocidad		Caudal	
	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	T. Amb. °C	HR %		a(m)	h(m)	FORMA	m2	m/min	m/s	m3/min	cfm
EVS - 01	4230 - 4	RP-4005	0.23	0.37	0.26	0.34	0.27	0.21	0.22	0.36	0.30	11.30	69.70	610.00	5.37	4.16	BAUL	20.95	17	0.28	358	12,629
EVS - 02	4230 - 4	CX-4560-4	0.38	0.35	0.30	0.34	0.45	0.40	0.42	0.96	0.62	12.80	79.61	608.00	4.45	3.78	BAUL	15.78	28	0.47	444	15,676
EVS - 03	4230 - 4	BP-4301-4	0.15	0.22	0.16	0.21	0.11	0.13	0.12	0.13	0.10	9.00	90.60	607.00	5.43	4.01	BAUL	20.42	9	0.15	181	6,395
EVS - 04	4230 - 4	BP-4301-4	0.03	0.10	0.16	0.10	0.05	0.15	0.03	0.09	0.10	10.00	80.60	610.10	5.37	4.54	BAUL	22.87	5	0.09	123	4,361

9.2. Data de correlación de estaciones

Tabla 95

data de correlación de estaciones.

			PUNTOS DE MONITOREO				
Item	Estac.	Nivel	Labor	m3/min	cfm	m3/min	cfm
1	EVS - 01	4580 - 4	RP(-)-4577 BM-MN	2,898.40	102,357	2,913.07	102,875
2	EVS - 03	4580 - 4	CX-4640-4	376.84	13,308	377.21	13,321
3	EVS - 04	4580 - 4	CA-4577	2,354.25	83,140	2,239.81	79,099
4	EVS - 05	4580 - 3	CX-4649-3	191.27	6,755	200.11	7,067
5	EVS - 06	4580 - 3	CA-4613	89.12	3,147	90.92	3,211
6	EVS - 07	4580 - 3	CA-4631	105.78	3,736	107.72	3,804
7	EVS - 09	4580 - 2	RP(-)-457	2,028.19	71,625	2,030.44	71,705
8	EVS - 10	4580 - 2	CX-4640-2	370.41	13,081	338.33	11,948
9	EVS - 11	4580 - 2	CA-4610	82.72	2,921	76.28	2,694
10	EVS - 12	4580 - 2	BP-4640-2	520.21	18,371	526.97	18,610
11	EVS - 13	4580 - 2	RP-4577	1,593.27	56,266	1,690.33	59,694
12	EVS - 14	4580 - 1	CX-4640-1	408.34	14,420	376.33	13,290
13	EVS - 15	4580 - 1	BP-4481	569.39	20,108	577.26	20,386
14	EVS - 17	4580 - 1	GAL-4580	1,304.06	46,053	1,366.13	48,245
15	EVS - 18	4580 - 1	GAL-4580	1,813.77	64,053	1,822.37	64,357
16	EVS - 19	4580 - 1	BP-4580	4,322.14	152,636	3,990.88	140,938
17	EVS - 20	4580 - 1	CX-4290	4,155.01	146,734	3,876.82	136,910
18	EVS - 21	4580 - 1	BP-4580 - BM MC	4,697.77	165,902	4,391.34	155,080
19	EVS - 23	4580 - 1	GAL-4580	1,266.11	44,713	1,364.09	48,173
20	EVS - 24	4580 - 1	GAL-4580	1,493.06	52,728	1,364.83	48,199
21	EVS - 01	4510 - 4	RP-4577	2,261.74	79,873	2,062.66	72,843
22	EVS - 02	4510 - 4	RP-4577	2,196.43	77,567	2,061.16	72,790
23	EVS - 03	4510 - 4	BP-4620-4N	48.89	1,726	45.67	1,613
24	EVS - 05	4510 - 4	RP-4577	2,381.59	84,106	2,241.91	79,173
25	EVS - 23	4510 - 4	RP-4290(-)	1,976.48	69,800	1,831.57	64,682
26	EVS - 21	4510 - 3	RP-4290(-)	1,924.76	67,973	1,737.79	61,370
27	EVS - 09	4510 - 2	RP-4577	1,916.48	67,681	1,897.07	66,995
28	EVS - 10	4510 - 2	BP-4620-1N	245.18	8,659	225.37	7,959
29	EVS - 13	4510 - 2	RP-4577	1,723.81	60,876	1,717.54	60,655
30	EVS - 14	4510 - 2	RP-4577	1,773.76	62,640	1,715.64	60,588
31	EVS - 20	4510 - 2	RP-4577	1,751.12	61,841	1,651.28	58,315
32	EVS - 26	4510 - 2	RP-4005	2,703.05	95,458	2,589.78	91,458
33	EVS - 27	4510 - 2	RP-4005	1,621.99	57,281	1,593.20	56,264
34	EVS - 28	4510 - 2	RP-4005	4,286.85	151,390	4,187.46	147,880
35	EVS - 31	4510 - 2	BM-MS	4,514.78	159,439	4,183.15	147,728
36	EVS - 16	4510 - 1	BP-4510-1E	1,129.96	39,904	1,230.36	43,450
37	EVS - 17	4510 - 1	BP-4510	1,194.76	42,193	1,224.55	43,245
38	EVS - 18	4510 - 1	BP-4510-1E	444.79	15,708	430.16	15,191

PUNTOS DE MONITOREO							
Item	Estac.	Nivel	Labor	m3/min	cfm	m3/min	cfm
39	EVS - 19	4510 - 1	RP-4290(+)	1,837.07	64,876	1,662.95	58,727
40	EVS - 25	4510 - 1	BP-4510	837.02	29,559	828.66	29,264
41	EVS - 30	4510 - 1	BP-4510	1,198.28	42,317	1,227.47	43,348
42	EVS - 01	4440 - 4	RP-4577	2,827.50	99,853	2,875.75	101,557
43	EVS - 03	4440 - 4	CX-4610-4	219.72	7,760	228.80	8,080
44	EVS - 04	4440 - 4	RP-4577	2,613.73	92,304	2,643.38	93,351
45	EVS - 24	4440 - 4	RP-4230-4	540.67	19,094	556.42	19,650
46	EVS - 05	4440 - 3	CX-4610	256.84	9,070	279.06	9,855
47	EVS - 06	4440 - 3	RP-4577	2,475.36	87,417	2,360.64	83,366
48	EVS - 22	4440 - 3	BP-4230-3	225.22	7,954	210.93	7,449
49	EVS - 11	4440 - 1	RP(+)-4140-1	476.50	16,828	460.12	16,249
50	EVS - 09	4370 - 4	RP-4370-4	176.17	6,222	158.94	5,613
51	EVS - 13	4370 - 4	RP(-)-4130-4	227.11	8,021	215.91	7,625
52	EVS - 02	4370 - 3	RP-4577	2,503.59	88,414	2,503.95	88,427
53	EVS - 14	4370 - 3	RP-4005	1,553.97	54,878	1,547.70	54,657
54	EVS - 15	4370 - 3	RP-4005	1,581.33	55,845	1,604.16	56,651
55	EVS - 16	4370 - 3	CX-4371-3	426.84	15,074	453.86	16,028
56	EVS - 18	4370 - 3	RP-4005	1,144.48	40,417	1,243.07	43,899
57	EVS - 19	4370 - 2	CX-4371-2	266.06	9,396	262.75	9,279
58	EVS - 20	4370 - 2	BP-4371-2	391.90	13,840	364.52	12,873
59	EVS - 24	4370 - 2	RP-4005	1,089.06	38,460	982.81	34,708
60	EVS - 27	4370 - 2	RP-4130-2	668.66	23,614	660.60	23,329
61	EVS - 06	4370 - 1	CX-4600-1N	465.30	16,432	450.46	15,908
62	EVS - 07	4370 - 1	BP-4370-1	1,436.30	50,723	1,507.01	53,220
63	EVS - 08	4370 - 1	RP-4577	1,178.74	41,627	1,225.65	43,284
64	EVS - 32	4370 - 1	BP-4369-1	1,109.87	39,195	1,138.38	40,202
65	EVS - 02	4300 - 4	RP-4577	906.12	32,000	905.28	31,970
66	EVS - 16	4300 - 3	RP(-)-4300-3	248.10	8,762	224.89	7,942
67	EVS - 17	4300 - 3	BP-4300-3	157.84	5,574	148.46	5,243
68	EVS - 21	4300 - 3	RP-4005	1,045.10	36,908	1,027.95	36,302
69	EVS - 22	4300 - 3	CX 4120-3S	61.08	2,157	55.56	1,962
70	EVS - 23	4300 - 2	RP-4005	994.09	35,106	1,081.47	38,192
71	EVS - 09	4300 - 1	CX-4570-1	1,051.42	37,131	1,021.58	36,077
72	EVS - 32	4300 - 1	RP-4005	1,181.88	41,738	1,068.87	37,747
73	EVS - 39	4300 - 1	CA-4309-1	1,674.91	59,149	1,833.84	64,762
74	EVS - 01	4230 - 4	RP-4005	357.62	12,629	373.47	13,189
75	EVS - 04	4230 - 4	BP-4301-4	495.48	17,498	515.36	18,200

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS Y TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	HUARAYA MANZANO ELVIS JOVITO
D.N.I.:	72351234
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono/Celular:	974566664
e-mail:	huaraya.e.j@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	INGENIERIA DE MINAS
Grado Académico otorgado:	BACHILLER
Título Profesional otorgado:	INGENIERO DE MINAS
Tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional (Pregrado y/o Postgrado):	TESIS PREGRADO
Modalidad de Titulación:	TESIS

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional:	PLANIFICACIÓN Y DISEÑO 3D DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN A LARGO PLAZO, CASO ESTUDIO MINA SANTANDER-GLENCORE
Fecha de Sustentación:	14 de Diciembre del 2021
Calificación:	15
Año de Publicación:	

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	PONCE ESTRADA VICTOR ADRIAN
D.N.I.:	00478666
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruano
Teléfono / Celular:	992951224
e-mail:	VPONCEE@UNAM.EDU.PE

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 15/12/2021