

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE RED DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE
VENTSIM VISUAL EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL MINSUR S.A.”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RONALD WILLIAN VIZA TORRES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PROMOCIÓN 2015 – I

PUNO- PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE RED DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE
VENTSIM VISUAL EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL MINSUR S.A.”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RONALD WILLIAN VIZA TORRES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR LOS JURADOS:

PRESIDENTE	: M.Sc. Ing. HENRY A. TAPIA VALENCIA
PRIMER MIEMBRO	: M.Sc. Ing. ESTEBAN MARÍN PAUCARA
SEGUNDO MIEMBRO	: Ing. ARTURO R. CHAYÑA RODRIGUEZ
DIRECTOR DE TESIS	: Dr. Ing. FERNANDO B. SALAS URVIOLA
ASESOR DE TESIS	: Ing. AMÉRICO ARIZACA AVALOS

Área: Ingeniería de minas

Tema: Servicios auxiliares requeridos en operaciones mineras

DEDICATORIA**A Dios.**

*Por haberme iluminado mi vida
y darme salud para poder seguir
adelante.*

A mis padres

*Caetano en el cielo y Paula por el
amor esfuerzo, sacrifico, quienes
hicieron posible continuar con
los sueños en mi desarrollo
profesional.*

A mis abuelitos

*Por haberme apoyado en todo
momento por sus consejos, sus
valores, por la motivación
constante que me ha permitido ser
una persona de bien.*

A mis amigos

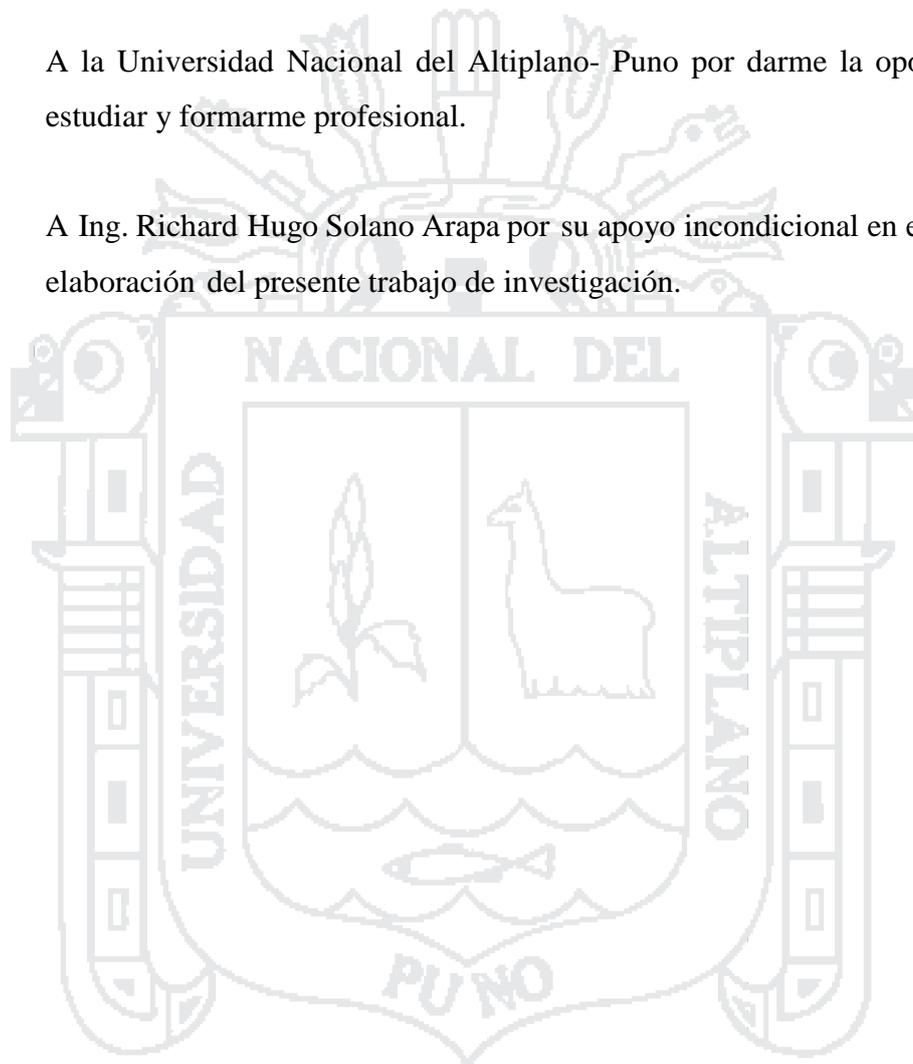
*Por su apoyo incondicional y por
su aliento permanente para
término del presente trabajo de
investigación*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me protegió, ilumino y me dio las fuerzas para superar todas las dificultades que alguna vez se me presentaron, permitiéndome alcanzar hoy una nueva meta en mi vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano- Puno por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesional.

A Ing. Richard Hugo Solano Arapa por su apoyo incondicional en el proceso de elaboración del presente trabajo de investigación.



ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	vi
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv

**CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Pregunta general	2
1.2.2 Pregunta específica	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación de la investigación	3

**CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes de investigación	4
2.2 Base teórica.....	6
2.2.1 El aire.....	6
2.2.2 Gases de mina	7
2.2.3 Ventilación.....	9
2.2.4 Psicrometría	9
2.2.5 Leyes de Kirchhoff	11
2.2.6 Método de Hardy Cross	13
2.2.7 Sistema de ventilación de minas	14

2.2.8	Planeamiento del sistema de ventilación	14
2.2.9	Ventiladores	15
2.2.10	Requerimientos de aire	19
2.2.11	Resistencia al movimiento del aire	20
2.2.12	Presiones de una mina.....	22
2.2.13	Formula de Atkinson	23
2.2.14	Factor de fricción.....	23
2.2.15	Pérdidas por choque.....	23
2.2.16	Ventilación efectiva	24
2.2.17	Circuitos de ventilación.....	24
2.2.18	Software Ventsim Visual.....	27
2.2.19	Teoría en que se basa el Ventsim Visual	28
2.2.20	Herramientas del software Ventsim Visual	28
2.2.21	Ventsim Visual <i>advanced</i> ofrece herramientas adicionales	28
2.2.22	Ventsim Visual <i>premium</i> ofrece herramientas adicionales	29
2.2.23	Características del software Ventsim Visual	29
2.2.24	Herramienta <i>ventfire</i> de Ventsim Visual	29
2.2.25	Herramienta <i>ventlog</i> de Ventsim Visual.....	30
2.2.26	Herramienta de <i>liveview</i> de Ventsim Visual.....	30
2.2.27	Recirculación de aire	30
2.2.28	Simulación financiera (<i>advanced</i>) de Ventsim Visual	30
2.2.29	Termodinámica (<i>advanced</i>) de Ventsim Visual	31
2.3	Marco conceptual.....	31
2.3.1	Sistema de ventilación de la mina Minsur S.A.....	31
2.3.2	Caudal de aire para diluir la cantidad de gases en mina Minsur S.A.	32
2.3.3	Dilución de gases en la unidad San Rafael -Minsur S.A.....	32
2.3.4	Ventsim Visual	32
2.3.5	Red.....	32
2.3.6	Pérdida de presión.....	32
2.3.7	Resistencia	32
2.3.8	Pérdidas por choque.....	33
2.3.9	Flujo de aire	33

2.3.10	Factor de fricción	33
2.3.11	Pérdidas por fricción	33
2.3.12	Método Hardy Cross	33
2.3.13	Carga (presión)	33
2.3.14	Humedad relativa.....	34
2.3.15	Densidad	34
2.3.16	Entalpía	34
2.4	Marco legal	34
2.4.1	Legislación nacional	34
2.5	Hipótesis.....	34
2.5.1	Hipótesis general	34
2.5.2	Hipótesis específico	35

**CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

3.1	Diseño metodológico	36
3.1.1	Tipo de investigación.....	36
3.1.2	Método de investigación.....	36
3.2	Población y muestra	36
3.2.1	Población	36
3.2.2	Muestra	37
3.3	Técnica de muestreo	37
3.4	Operacionalización de variables.....	38
3.5	Técnicas de recolección de datos	38
3.5.1	Datos de campo.....	38
3.5.2	Datos de gabinete.....	39

**CAPÍTULO IV
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

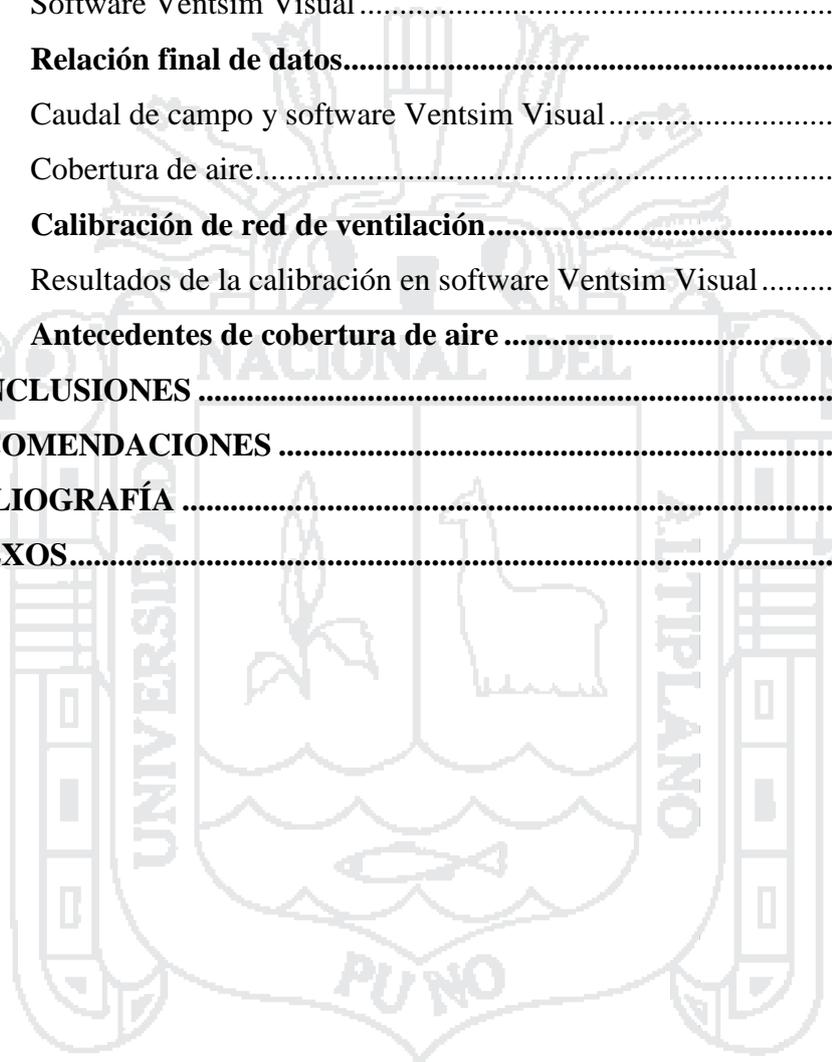
4.1	Ubicación	41
------------	------------------------	-----------

4.2	Accesibilidad	41
4.3	Clima y vegetación	41
4.4	Topografía y fisiografía	42
4.5	Reservas de mineral.....	43
4.6	Operaciones mineras	43
4.6.1	Métodos de explotación	44
4.6.2	Programa de avances mina.....	46
4.6.3	Programa de producción mina	46
4.7	Operaciones unitarias.....	47
4.7.1	Perforación.....	47
4.7.2	Voladura	47
4.7.3	Sostenimiento	48
4.7.4	Acarreo y extracción.....	49

CAPÍTULO IV
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

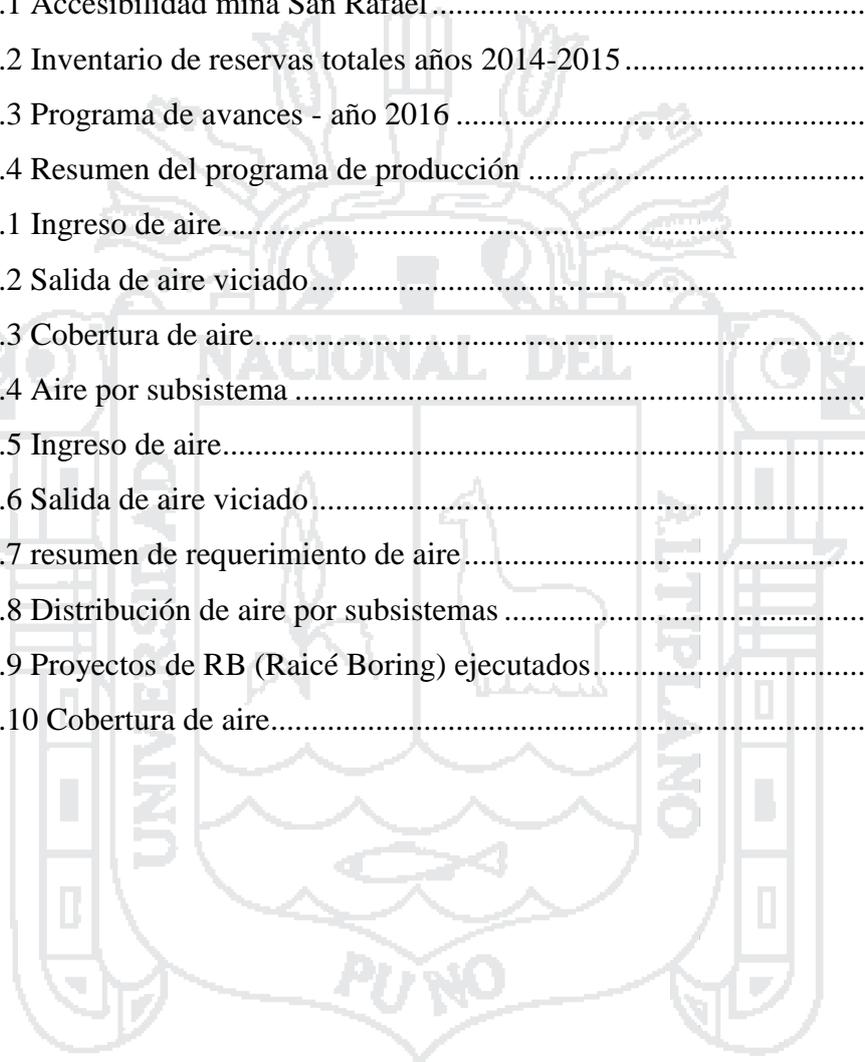
5.1	Diagnóstico inicial de red de ventilación	50
5.1.1	Ingreso principal de aire	50
5.1.2	Salida de aire viciado.....	50
5.1.3	Aire en subsistemas	50
5.2	Diseño de red de ventilación.....	54
5.2.1	Ingreso de aire.....	54
5.2.2	Salida de aire viciado.....	54
5.2.3	Requerimiento de aire por subsistemas	54
5.2.4	Resumen de requerimiento general de la mina.....	57
5.2.5	Distribución de aire por subsistemas	57
5.3	Simulación de red de ventilación.....	57
5.3.1	Introducir o importar a Ventsim Visual.....	57
5.3.2	Visualización previa a la simulación	57
5.3.3	Introducir los ventiladores	58
5.3.4	Simulación de los ventiladores	62

5.3.5	Resultados de la simulación.....	63
5.3.6	Recirculaciones y estancamiento de ventiladores.....	66
5.3.7	Proyectos RB (Raise Boring) simulados	68
5.4	Cobertura de aire.....	69
5.4.1	Campo.....	69
5.4.2	Software Ventsim Visual.....	69
5.5	Relación final de datos.....	69
5.5.1	Caudal de campo y software Ventsim Visual.....	69
5.5.2	Cobertura de aire.....	70
5.6	Calibración de red de ventilación.....	70
5.6.1	Resultados de la calibración en software Ventsim Visual.....	71
5.7	Antecedentes de cobertura de aire	71
CONCLUSIONES		72
RECOMENDACIONES		73
BIBLIOGRAFÍA		74
ANEXOS.....		76



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición de aire seco	6
Tabla 2.2 Formulas psicométricas	10
Tabla 3.1 Operacionalizacion de variables	38
Tabla 4.1 Accesibilidad mina San Rafael	41
Tabla 4.2 Inventario de reservas totales años 2014-2015	44
Tabla 4.3 Programa de avances - año 2016	46
Tabla 4.4 Resumen del programa de producción	47
Tabla 5.1 Ingreso de aire.....	51
Tabla 5.2 Salida de aire viciado.....	52
Tabla 5.3 Cobertura de aire.....	54
Tabla 5.4 Aire por subsistema	53
Tabla 5.5 Ingreso de aire.....	55
Tabla 5.6 Salida de aire viciado.....	56
Tabla 5.7 resumen de requerimiento de aire.....	57
Tabla 5.8 Distribución de aire por subsistemas	58
Tabla 5.9 Proyectos de RB (Raicé Boring) ejecutados.....	68
Tabla 5.10 Cobertura de aire.....	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Primera ley de Kirchhoff	12
Figura 2.2: Primera ley de Kirchhoff:	12
Figura 2.3: Gráfico de la presión	13
Figura 2.4: curva característica de ventilador	17
Figura 2.5: Trabajo en serie de 2 ventiladores.....	18
Figura 2.6: Trabajo en paralelo de 2 ventiladores	19
Figura 2.7: Requerimiento de aire según altura.....	20
Figura 2.8: Circuito en serie	25
Figura 2.9: Circuito en paralelo	27
Figura 5.1: Ingreso principal de aire	51
Figura 5.2: Salida principal de aire viciado	52
Figura 5.3: Ingreso de aire por estaciones	55
Figura 5.4: Salida de aire viciado por estaciones.....	56
Figura 5.5: Ventana de herramientas de Software Ventsim Visual.....	59
Figura 5.6: ventana de simulación de Software Ventsim Visual.....	59
Figura 5.7: Software de Airtec 2011	60
Figura 5.8: Características del ventilador	60
Figura 5.9: Curva del ventilador y todas sus partes.....	61
Figura 5.10: simulación de flujo de aire en software Ventsim	61
Figura 5.11: Características de ventilador de 100 000 cfm	62
Figura 5.12: Curva del ventilador instalado de 100 000 cfm.....	63
Figura 5.13: Ventana de resumen de red software Ventsim	64
Figura 5.14: Ventana de resumen de red en Software Ventsim.....	65
Figura 5.15: Recirculación de aire viciado	66
Figura 5.16: Ventana de curva de ventilador	67
Figura 5.17: Antecedentes de aire.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Tabla de matriz de consistencia	77
Anexo 2	Diagrama de diseño de ventilación	78
Anexo 3	Ventilador axial	79
Anexo 4	Ventilador centrífugo	79
Anexo 5	Anemómetro tenmars	80
Anexo 6	lanza de humo	80
Anexo 7	Inventario de ventiladores	81
Anexo 8	Ubicación geográfica de la unidad San Rafael	85
Anexo 9	Figura esquema de “sub level stoping” transversal.....	86
Anexo 10	“Sub level stoping (sls)” longitudinal y transversal.....	86
Anexo 11	Esquema de método de minado “bench & fill stoping”	87
Anexo 12	Esquema de carguío	87
Anexo 13	Puntos de monitoreo de gases	88
Anexo 14	Tabla de registro de medición de gases.....	89
Anexo 15	Tabla de parámetros de ventilación.....	96
Anexo 16	Tablas de requerimiento de aire de los subsistemas.....	103
Anexo 17	Proyecto de raise boring (RB) 3650-3700 & 3650-3750.....	106
Anexo 18	Proyecto de raise boring (RB) 3650-3700 & 3650-3750.....	107
Anexo 19	Proyecto de raise boring (RB) 4200-4302	107
Anexo 20	Proyecto de raise boring (RB) 4200-4450	108
Anexo 21	Proyecto de raise boring (RB) 4340-4520	108
Anexo 22	Ventilador axial de 100 000 cfm.....	109
Anexo 23	Tabla de valores de factores de fricción.....	109
Anexo 24	Tabla factores de pérdida de carga.....	110
Anexo 25	Bloque y puertas simulados en Ventsim Visual.....	111
Anexo 26	Cuaderno de notas en Ventsim Visual	111
Anexo 27	Plano isolíneas de red de ventilacion	112
Anexo 28	Plano de ubicación de subsistemas de red de ventilacion.....	113
Anexo 29	Plano isometrico de ventilacion	114

RESUMEN

El presente trabajo de investigación *diseño y simulación de red de ventilación con el software Ventsim visual en la unidad minera San Rafael –Minsur S.A.*; se encuentra en constante profundización de sus labores en un promedio de 900 m. , es muy complejo la red de ventilación por ello el objetivo es desarrollar el diseño y simulación red de ventilación efectiva con el software Ventsim visual cumpliendo la cobertura de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso del Software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael de la empresa minera Minsur S.A. donde el procedimiento de la metodología se ha realizado toma de datos de campo con instrumento como el anemómetro y datos de gabinete ;luego se hizo un análisis del comportamiento de caudal de aire y se ha hecho una descripción del comportamiento del red de ventilación ; donde se ha diagnosticado un ingreso de aire 1 240 309 cfm con un requerimiento de 1 372 935 cfm que llegó a una cobertura de 90 %, en seguida se ha simulado e instalado un ventilador axial de 100 000 cfm y 3 ventiladores auxiliares de 5 000 cfm logrando un ingreso 1 382 781 cfm con un requerimiento de 1 302 214 cfm con ello se ha obtenido una cobertura de aire de 103 % en el campo y 106 % con el software con un incremento de 105 835 cfm que representa el 13 % más que la anterior cobertura, entonces para distribución de aire se ha considerado 05 proyectos de raise boring (RB), que fortaleció la circulación de 179 045 cfm a la zona alta y baja, con una temperatura promedio de 22,8 °C.; además la simulación nos permitió direccionar el flujo de aire e identificar las obstrucciones de los ventiladores.

Palabras clave. Diseño, simulación, ventilación y Ventsim visual

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación es una preocupación constante de las minas subterráneas; donde cada día se hace más difícil dotar de aire fresco a causa de la profundización y expansión de labores y eso ha sido nuestra principal desafío en esta unidad minera y por ello se desarrolló este proyecto el cual se titula *diseño y simulación de red ventilación con el software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael – Minsur S.A.*, a fin de solucionar el problema que se ha presentado, donde el contenido es: En el Capítulo I: El planteamiento de problema, se detalla formulación de problema, objetivos planteados y la justificación del presente trabajo, en el capítulo II: Marco teórico, se desarrolla la teoría de mallas complejas de Hardy Cross y las pérdidas de presión de Atkinson y ley de Kirchhoff, en el capítulo III: Metodología de estudio, es analítica y explicativo describiendo e evaluando el comportamiento de caudal de aire en red de ventilación y se detalló las técnicas de recolección de datos de campo con instrumentos de monitoreo de ventilación y gabinete, en el capítulo IV: Caracterización de área de investigación, donde se desarrolla el ámbito de estudio de la unidad minera San Rafael como: ubicación, geología y operaciones unitarias, en el capítulo V : Exposición y análisis de resultados con el soporte de software Ventsim Visual donde inicialmente se hizo un diagnóstico inicial de trabajo de investigación en donde se identifican los ingresos y salida del circuito principal; también se hizo el requerimiento de aire según la cantidad de personas y equipos de mina.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La economía de nuestro país y nuestra región se debe principalmente al aporte del sector minería, donde esta actividad se orienta a un mejor control operacional, buscando la maximización de utilidades mediante la alta productividad y optimización de recursos. En minería subterránea es imprescindible la ventilación que va siendo más complejo cada día porque es un proceso continuo de proveer aire fresco de calidad y cantidad a todas las partes de una mina donde se encuentra personal y equipo trabajando. La empresa Minsur S.A. está ubicado al sureste del nevado Quenamari 5299 m.s.n.m. políticamente está en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno, con una altitud que varía entre los 4500 y 5200 m.s.n.m., donde se desarrolla la actividad de la extracción y obtención de estaño por el método de taladros largos en cuerpos de veta angostas de cámaras y sublevel stoping.

Esta unidad minera se encuentra incrementando su expansión y profundización de sus labores en donde existe la necesidad de cubrir la demanda de aire fresco, donde el flujo de aire no es efectiva y adecuado. El caudal de aire requerido de mina tiene un carácter dinámico dado que las explotaciones de labores se encuentran en continua transformación. Es indispensable actualizar el diseño de red de ventilación conforme va desarrollándose las labores donde va experimentando modificaciones continuas. La problemática de este yacimiento es la cobertura de aire a causa de la gradiente geotérmica por la profundización de sus labores por ello necesitamos diseñar y simular red de ventilación con el soporte del software Ventsim Visual que con sus herramientas

íntimamente relacionado a analizar flujos que permitirá tener mejor propuesta de proveer y distribuir aire fresco a todas partes de la mina.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es el diseño y simulación red de ventilación efectiva cumpliendo la cobertura de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso de software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael -Minsur S.A.?

1.2.2 Pregunta específica

¿Cómo es el diseño de red de ventilación cumpliendo la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.?

¿Cómo es la simulación de caudal de aire movido por equipos ventiladores en el proceso productivo mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar el diseño y simulación red de ventilación efectiva cumpliendo la cobertura de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso del Software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.

1.3.2 Objetivos específicos

Diseñar la red de ventilación cumpliendo la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo de mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A

Simular la red de ventilación con el caudal de aire movido por equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.

1.4 Justificación de la investigación

El siguiente proyecto de investigación surge por la deficiencia de cobertura de aire donde en el diagnóstico se ha determinado una cobertura de 90 % con un ingreso de aire de 1 240 309 cfm con un requerimiento de 1 372 935 cfm teniendo un déficit de 132 625 cfm por ello se debe mejorar el diseño actual de red de ventilación cumpliendo la cobertura de aire y con una distribución de aire fresco de calidad y cantidad haciendo el uso del software Ventsim ; donde en varias minas subterráneas está siendo usado (Volcán , Ares , Marsa , Buenaventura , Poderosa , B2gold , etc.); por tener herramientas íntimamente relacionados analizar flujos de ventilación según las diferentes necesidades de la demanda de aire.

Al cumplimiento de norma D.S. 024-2016-E.M. indica que se debe dotar de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador y los equipos para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajadores, asimismo en cuanto a la calidad de aire deberá mantenerse dentro de los límites permisibles teniendo una circulación de aire limpio fresco en cantidad y calidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

- Naira, A. (2003), trabajo de tesis titulado “Ventilación del desarrollo de la galería 3858 Santa Ana – compañía minera Ananea”, presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, en sus conclusiones N° 1 y 2, indica: “Conclusión N° 1, Un sistema de ventilación indudablemente es de elevado costo, de modo que su instalación requiere un análisis de los beneficios que este reporta durante el ciclo de operación. Conclusión N° 2, Para nuestro caso, es importante instalar un sistema de ventilación dado que los programas de operaciones en la explotación de mantos son complicados a comparación de yacimientos en vetas, etc.”
- Enrique, R. (2011), trabajo de tesis titulado “Evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente- compañía minera San Ignacio de Morococha, aplicando el Software Ventsim Visual 3.9”, presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, en sus conclusiones N° 1 y 3, indica: “Conclusión N° 1, El uso del software Ventsim 3.9 nos permitió realizar la evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente, considerando el uso de ventiladores y costos de energía. Conclusión N° 3, Para tener una buena base de datos de campo es necesario capacitar al personal de ventilación en el levantamiento de los puntos de muestreo y poder ingresar dicha base al software Ventsim 3.9, para poder realizar una

buena distribución del aire limpio”.

- Centeno, G. (2011) trabajo de tesis titulado “Evaluación de ventilación puntual y mecánica que influye en el sistema de ventilación de galería 636w nivel 1950 mina Colpa Arequipa 2011”, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, en sus conclusiones N° 1 y 3, indica: “Conclusión N° 1, Respecto con la evaluación de ventilación natural en la galería de extracción de acuerdo con los datos obtenidos de caudal promedio es de 165.m³/min con una velocidad promedio de 50.28 m/min se observa que está dentro del reglamento de seguridad y Salud Ocupacional por tanto mejora a la ventilación forzada. Conclusión N° 3, El caudal requerido de acuerdo a los parámetros es de 24 con un diámetro de manda de 22 pulgadas, con lo cual se mejorara notablemente la ventilación en dicha Galería proyectada viendo indicadores estadísticos”.
- Sacsu,U (2014),trabajo de tesis titulado “ Cálculo de parámetros y diseño de red de ventilación en labores de veta clara de acuerdo al D.S. 055-2010 E.M. en mina San Juan de Chorunga” presentado en la Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, en sus conclusiones N° 1 y 3, indica: “Conclusión N° 1,Se realizó el cálculo de los parámetros de ventilación y el diseño del circuito colocando un ventilador extractor en el nivel 1232 con un caudal de 300 00 cfm el cual según los estudios realizados mejorara el circuito de ventilación de veta clara teniendo las velocidades de aire en las galerías y tajos de acuerdo a lo exigido por el D.S. 055-2010-EM”.Conclusión N° 3, El circuito de ventilación de las diferentes vetas que están funcionando actualmente tiene algunas dificultades por cuanto están utilizando algunas chimeneas de los tajos, los cuales se ve interrumpiendo al paso de aire porque estas chimeneas en algunos casos lo usan para echar material de relleno”.
- Claverías, Q. (2014), trabajo de tesis titulado “Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la compañía minera Caraveli S.A.C. aplicando el software Ventsim

Visual 3” presentado en la Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, en sus conclusiones N° 2 y 6 indica: “Conclusión N° 2, Se realizó la simulación con el cálculo de los parámetros de ventilación y el diseño del circuito de ventilación, realizando un cruce y chimeneas para integrar todos los niveles de la mina y poder mejorar el circuito de ventilación evitando que se tenga recirculación y pérdida del flujo de aire”. Conclusión N° 6, Durante la evaluación del sistema de ventilación, es importante reducir al mínimo cualquier cambio en el sistema de ventilación, es importante reparar las puertas y tapones ya que durante el estudio podría arrojar resultados confusos. Se tiene que mantener la mina lo más estática posible durante el estudio, para que se puedan obtener las mejores y más exactas medidas en el monitoreo”.

- Arias, A. (2015) trabajo de tesis titulado “Comparación económica de tipos de ventilación y ventiladores en minería caso práctico” presentado en la Universidad Nacional de Altiplano de Puno para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, en sus conclusiones N° 1 y 2 indica: “Conclusiones N° 1 “Un sistema de ventilación es indudablemente complicado y de un elevado costo, de modo que para poder realizar su instalación se debe hacer un análisis comparativo de acuerdo a las especificaciones y técnicas para poder llevar una adecuada ventilación durante el ciclo de operación Mina. Conclusiones N° 1, Conocer los diferentes métodos de ventilación nos ayuda a elegir la forma correcta para la instalación de un sistema adecuado para la eliminación de gases y polvos que afectan al ser humano que opera en un ciclo de minado”.

2.2 Base teórica

2.2.1 El aire

Tabla 2.1

Composición de aire seco

Gas	% en volumen	% en peso
Nitrógeno - N ₂	78,09	75,53
Oxígeno - O ₂	20,95	23,14
Anhídrido Carbónico - CO ₂	0,03	0,046
Argón y otros	0,93	1,284

Fuente: Vejarano, A (2000)

El aire normal es aire húmedo, con contenido de vapor de agua que varían de 0,1 % a 3 % en volumen (en las minas generalmente excede el 1%).

Oxígeno (O₂)

Este gas es sumamente importante ya que es gracias al que podemos mantenernos vivos. Es incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más pesado que el aire. Aunque estamos acostumbrados a respirar aire que contiene 21 % de oxígeno, el cuerpo humano puede funcionar en atmosferas con cantidades mayores o menores de este gas. Sin embargo, cuando el contenido de oxígeno baja hasta 16 % (a 1atm de presión), muchas personas tienen dificultades para respirar. IIMP (1989)

Nitrógeno (N₂)

Gas sin color, olor ni sabor; de peso específico 0,97 químicamente inerte. No mantiene la respiración, ni la combustión. No es nocivo, pero el aumento de su contenido en el aire de minas es perjudicial para el hombre, por ser la causa de una fuerte disminución del oxígeno. Novitzky A.(1962)

Anhídrido carbónico (CO₂)

Como se ha mencionado anteriormente, el anhídrido carbónico se encuentra presente en el aire que respiramos. Sin embargo, se encuentra también en los suelos, en el carbón y en muchas rocas. IIMP (1989)

Polvo Mina

El polvo de minas es un conjunto de finas y finísimas partículas minerales suspendidas en el aire de la atmosfera de las minas o asentadas sobre las paredes, el piso y el techo de las labores mineras.

La duración de la suspensión de una partícula de polvo en el aire inmóvil se determina básicamente por interacciones de dos fuerzas: la gravedad de la partícula y la fuerza de resistencia del aire.

2.2.2 Gases de mina

Monóxido de carbono (CO)

Gas extremadamente venenoso, es incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más liviano que el aire. Su presencia en las minas se debe a los disparos, los incendios subterráneos y al empleo de motores de combustión interna mal regulados. El peligro de monóxido de carbono para la salud se debe a que la hemoglobina de la sangre se combina con el gas con mucha más facilidad que con el oxígeno, lo cual limita la capacidad de absorción de oxígeno por parte de la sangre. Claverías, J. (2014)

Gases nitrosos (NO, NO₂)

Los gases nitrosos en concentraciones bajas no tienen color, olor y sabor. En concentraciones altas se pueden detectar por su color a pólvora quemada, familiar de las voladuras y por sus humos de color rojizo. Los gases tóxicos e irritantes, se producen por:

- La combustión
- Trabajos realizados con explosivos
- Mayor concentración por detonaciones incompletas de la dinamita.
- Gases que emiten equipos o vehículos que funcionan con diésel y gasolina.

Sacsi, R. (2013)

Ácido sulfhídrico (H₂S)

Es un gas incoloro, fuertemente tóxico de olor característico a huevos podridos gusto dulzón que fácilmente es soluble en agua, arde formando mezclas explosivas cuando su concentración en el aire es de 6 % a 45 %.

Irrita las mucosas de los ojos y las vías respiratorias, atacando así mismo el sistema nervioso. El H₂S se forma en el proceso de putrefacción de sustancias orgánicas, como madera de entibación, la descomposición de piritas sulfurosas y el yeso por agua. Claverías, J. (2014)

Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, cuya molécula es CO₂. Se produce por combustión u oxidación de materiales que contienen carbono: carbón, madera, aceite o algunos alimentos; fermentación de azúcares, y por la descomposición

de carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos. Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, el metano no debe sobrepasar 5000 ppm. Marín, E. (2015)

Anhídrido sulfuroso (SO₂)

Es un gas incoloro, sofocante, con fuerte olor a azufre y sulfuroso inflamable, más pesado que el aire, se disuelve fácilmente en agua.

Se forma por la combustión de minerales con alto contenido de azufre en incendios subterráneos y por las voladuras en minas que contienen sulfuros. Su efecto extremadamente irritante lo hace fácil de detectar y es difícil que una persona pueda permanecer más de unos minutos en una atmósfera que contienen este gas. Enríquez, F. (2011)

2.2.3 Ventilación

Es el arte y ciencia que trata de distribuir y encausar la circulación de volúmenes de aire dentro de las operaciones mineras de modo más económico, ya sea por medios naturales o mecánicos, a fin satisfacer las necesidades de oxígeno del personal, de las máquinas y diluir, transportar los contaminantes sólidos y gaseosos para que no afecte la capacidad de trabajo y salud de trabajador y más bien mejoren las condiciones ambientales y termo ambientales de la mina a concentraciones y temperaturas aceptables (ver Anexo 15).

2.2.4 Psicrometría

Rama de la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad sobre los materiales y sobre las condiciones del confort humano (ver Tabla 2.2). Incluyendo métodos para controlar las propiedades de aire húmedo.

Temperatura efectiva en mina

Permite medir el grado de bienestar que experimenta el cuerpo humano en ciertas condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire circulante. Varias combinaciones de humedad relativa, y velocidad del aire pueden producir el mínimo valor de temperatura.

La temperatura máxima medida en el termómetro de bulbo húmedo, en el interior de la mina deberá exceder los 30 °C, con una duración de la jornada de trabajo de ocho horas, y deberá disminuirse la jornada de trabajo de ocho horas, y deberá disminuirse la jornada a 6 horas si dicha temperatura se eleva a 32 °C. PUCP (2011)

La temperatura húmedo máximo (Th máx.) Admisible = 32 °C, Temperatura húmeda (Th) recomendada ≤ 27 °C, Se recomienda que en las minas que la temperatura seca menos la temperatura húmeda debe ser (Ts-Th) ≥ 2 °C.

Tabla 2.2

Formulas psicométricas

Presión de vapor saturado (T °C)	$P_{vs}(T)$	$611,2 e^{(17.502 T/(240.97+T))}$	Pa.
Presión de vapor	P_v	$P_{vs}(T_{bh}) - 9[P_{atm} - P_{vs}(T_{bh})](T_{bs} - T_{bh}) / (13792 - 11.7T_{bh})$	Pa.
Densidad del aire seco	$\rho_{a.s.}$	$(P_{atm} - P_v) / (287.04 [273.15 + T_{bs}])$	kg/m ³
Densidad del vapor de agua	ρ_v	$P_v / (461.5 [273.15 + T_{bs}])$	kg/m ³
Densidad del aire húmedo	$\rho_{a.h.}$	$\rho_{a.s.} + \rho_v$	kg/m ³
Humedad relativa	HR	$(\frac{P_v}{P_{vs}(T_{bs})}) 100$	%
Contenido de humedad	w	$622 \frac{P_v}{(P_{atm} - P_v)}$	gr/kg
Porcentaje de humedad	PH	$(\frac{P_v}{P_{vs}}) (\frac{P_{atm} - P_{vs}}{P_{atm} - P_v}) 100$	%
Temperatura de rocío	T_r	$240,97 \ln(\frac{P_v}{611,2}) / (17.502 - \ln[\frac{P_v}{611,2}])$	° C

Fuente:Castro, A. (2015)

Humedad relativa

Es el cociente en la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen.

$$HR = \frac{P_v}{P_v(\text{saturado})} * 100$$

Se mide en tantos por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es 100 %. La determinación de HR es con la temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo del aire se hace con la ayuda de un psicrómetro. PUCP (2011)

Termómetro de bulbo húmedo

Es un termómetro de mercurio que tiene el bulbo envuelto en un paño de algodón empapado de agua. Al proporcionarle una corriente de aire, el agua se evapora más o menos rápidamente dependiendo de la humedad relativa del ambiente, enfriándose más cuanto menor sea ésta, debido al calor latente de evaporación del agua. PUCP (2011)

Termómetro de bulbo seco

Termómetro convencional para medición de temperatura de bulbo seco. Temperatura de bulbo seco o temperatura seca es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco. El termómetro debe ser de mercurio con un rango de escala de 5 °C a 50 °C y una precisión de +/-0,5 °C. Castro, A. (2011)

2.2.5 Leyes de Kirchhoff

Las leyes de Kirchhoff aplicadas originalmente en circuitos eléctricos, también puede aplicarles en los circuitos de ventilación de minas, donde los caudales de aire y caídas de presión son análogos a la corriente y voltaje respectivamente. Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887).

La primera ley Kirchhoff (Ley de continuidad)

La primera ley de Kirchhoff para redes de ventilación de minas establece que la suma algebraica de todo flujo de aire en cualquier unión o nodo es cero. Esto se refiere a que la suma de todas las cantidades de aire que fluyen hacia la unión debe ser igual a la suma de todas las cantidades de aire que salen del nodo. Enríquez, J. (2011)

$$\sum Q = 0$$

$$Q1 + Q2 = Q3 + Q4$$

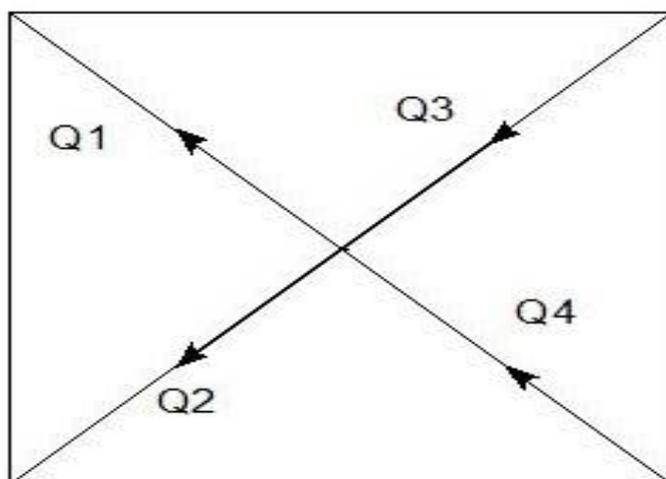


Figura 2.1: Primera ley de Kirchhoff

Fuente: Hartman, L. (2001)

Segunda ley de Kirchhoff (Ley De Circulación)

La segunda ley Kirchhoff, en forma análoga establece que la suma algebraica de las caídas de presión de todos los ramales integrantes de una malla es cero. En el caso específico de ventilación minera, es normal que existan de por medio de presiones de ventiladores (pf) ubicados en alguna malla, así como presiones por ventilación natural (pvm), los cuales hay que tener en cuenta estos factores. Enríquez J. (2011)

$$\sum P = 0$$

$$P_t = P_a + P_b + P_c - P_d$$

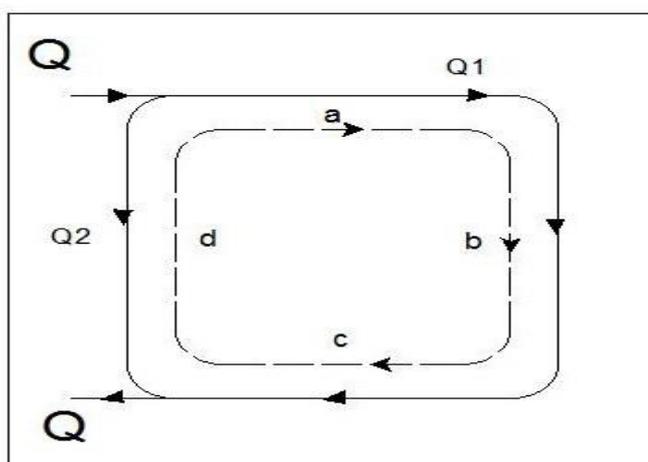


Figura 2.2: Primera ley de Kirchhoff:

Fuente: Hartman, L. (2001)

2.2.6 Método de Hardy Cross

La técnica que ha encontrado la más amplia difusión es el método desarrollado por Hardy Cross. Esta técnica iterativa considera un flujo de aire Q a través que pasa de un conducto de resistencia R. en el cual se cumple la relación.

$$\Delta QP = RQ^2$$

Donde ΔQ es el error existente en el Q_a asumido. El problema ahora es encontrar el valor ΔQ_a ser aplicado al valor asumido de Q_a . Si encontramos la representación real de los conductos de aire en una mina, esto no se encuentra aislado, sino integrados a una red de conductos cuya magnitud también depende de la extensión de la red.

$$Q = Q_a + \Delta Q$$

Donde ΔQ sería el error cometido al asumir un valor de Q que no es el valor verdadero. Del mismo modo, ΔP sería el error cometido en el cálculo de la caída de presión real p. El problema consiste por lo tanto, determinar el valor de la corrección ΔQ que habrá que aplicar a Q_a , para encontrar el valor real del caudal Q.

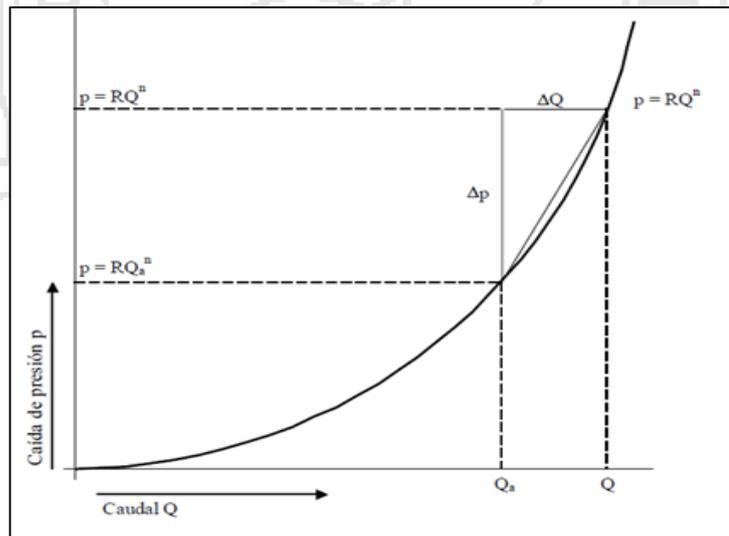


Figura 2.3: Gráfico de la presión

Fuente: PUCP (2011)

En este gráfico, la curva que corresponde a la ecuación $p = RQ^n$ representa al caudal a lo largo del conducto a través del cual está circulando el fluido, a la que se denomina curva de la característica del sistema. PUPC (2011).

2.2.7 Sistema de ventilación de minas

Ventilación natural

El tiro natural se debe en las minas a la diferencia de peso específico del aire entrante y saliente. Esta diferencia de peso específico proviene principalmente de la diferencia de temperatura del aire, en menor grado de la diferencia de presión, y todavía tiene menor influencia la variación de la humedad y composición química del aire. Novitzky, A.(1962).

Ventilación Mecánica

Los sistemas de ventilación artificial que pueden emplearse son los siguientes:

Longitudinal.- Con circulación longitudinal por el túnel. Este sistema aplicable fundamentalmente en túneles de corta longitud se funda en la inyección del aire de una de las bocas del túnel por medio de una central de ventilación, aire que es repulsado por una serie de aceleradores colocados a lo largo del túnel fuera del galibo, en entrante por encima del techo o bóveda a fin de que no perturben la circulación de vehículos. AIRTEC (2006)

Transversal.-La circulación del aire fresco y la extracción del aire viciado se realizan en sentido transversal en el túnel.

Para la sección adicional que requieren los conductos de ventilación, es preciso un estudio previo en el que se determina la necesidad o no de centrales de ventilación intermedias, así como la de las centrales de ambas boca. AIRTEC (2006)

2.2.8 Planeamiento del sistema de ventilación

El planeamiento de ventilación de una mina deberá necesariamente ser compatible y estar con el método de explotación empleado. El diseño del sistema de ventilación comprende:

- La ubicación y distribución de los ramales que constituyen el circuito de ventilación.
- El cálculo del volumen total de aire requerido en la mina.
- El cálculo de la presión requerida para hacer circular dicho caudal a través del circuito.
- -El cálculo de la presión de ventilación natural existente en la mina.
- La selección del ventilador requerido para lograr el flujo calculado.
- El cálculo del costo de ventilación.

Una vez seleccionado en sistema de ventilación a emplearse, será necesario decidir la ubicación de los ventiladores principales y si deberán ser impelentes o aspirantes. La instalación de los ventiladores principales en superficie ofrece las siguientes ventajas:

- Un control más sencillo y seguro en casos de emergencia.
- El acceso es más fácil, tanto para su mantenimiento como para su control en una emergencia.
- Su instalación es más simple.
- Es poco probable que en caso de un incendio o explosión, se dañe el ventilador.
- La posibilidad de que ocurra recirculación del aire a través de las labores es mínima.
-

2.2.9 Ventiladores

Un ventilador es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (presión total) con la que mantener un flujo continuo de dicho fluido.

Cada ventilador vendrá definido por una curva característica que es el lugar geométrico de todos los puntos de funcionamiento del mismo para cada Angulo de regulación de los alabes y se clasifican:

Ventilador centrífugo

Son turbo máquinas compuesto de una rueda de alabes y de una caja espiral, que ingresa aire lo largo del eje denominado canal de aspiración, donde se encuentra un impulsor con aletas o alabes, el cual descarga aire (ver Anexo N° 4).

Se construyen con entradas de aire de uno o dos lados, esto cuando el aire es admitido al ventilador por ambos extremos de la rueda, se le conoce como un ventilador de doble entrada; estos pueden trabajar como aspirante o impelente. La potencia útil del ventilador (N_t) en kW, o potencia descontada las pérdidas, se expresa por el producto del caudal (Q) en m^3/s por el peso específico del aire (P_{aire}) en kg/m^3 y por la altura de impulsión total de aire (H) en metros. Marín, E. (2015)

Ventilador axial

De flujo axial, tiene una rueda es como eje o tornillo, y al girar esta rueda el aire se desplaza a lo largo del eje del rotor del ventilador y luego pasa a través de las paletas del impulsor o hélice, para luego ser descargado en dirección axial (Ver Anexo 3).

Las pérdidas se producen en:

- En la rueda por resistencia de los perfiles de la paletas y en el espacio anular.
- A la salida de la rueda por desviación.
- En el difusor por transformación de la energía.
- Por pérdidas mecánicas.

Factores que afectan la operación de los ventiladores

- Diámetro del impulsor y su velocidad de rotación.
- El orificio equivalente del sistema al que se conecta el ventilador.
- Región de la curva característica en al que debe operar el ventilador, recomendándose que sea siempre en la zona de pendiente negativa.
- La eficiencia del ventilador, ya que ésta define la forma como se está aprovechando la energía mecánica consumida en operar la turbo máquina.
- La resistencia de la instalación del ventilador.
-

El corto- circuitos en la instalación de superficie constituye un problema serio en los sistemas de ventilación de minas, pudiendo reducir hasta en un 10% la cantidad de aire que ingresa con efectividad en la mina. Marín, E. (2015)

Curva característica del ventilador

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 alabes 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, (Po,Qo).

El punto de funcionamiento, estamos definiendo el punto de corte de la curva característica del ventilador con la curva resistente del circuito de ventilación. Por tanto, el punto Ph y k g pertenece a la curva resistente de la mina (ver Figura 2.4).

Realmente, tendremos definido con este punto la resistencia equivalente de la mina, o lo que es lo mismo, el orificio equivalente:

$$Re = \frac{Po}{Qo} (Ku) = \frac{Po * 1000}{Qo^2} (u)$$

$$Y \text{ además } \omega = \sqrt[0.38]{\frac{1000}{Re}} (m^2)$$

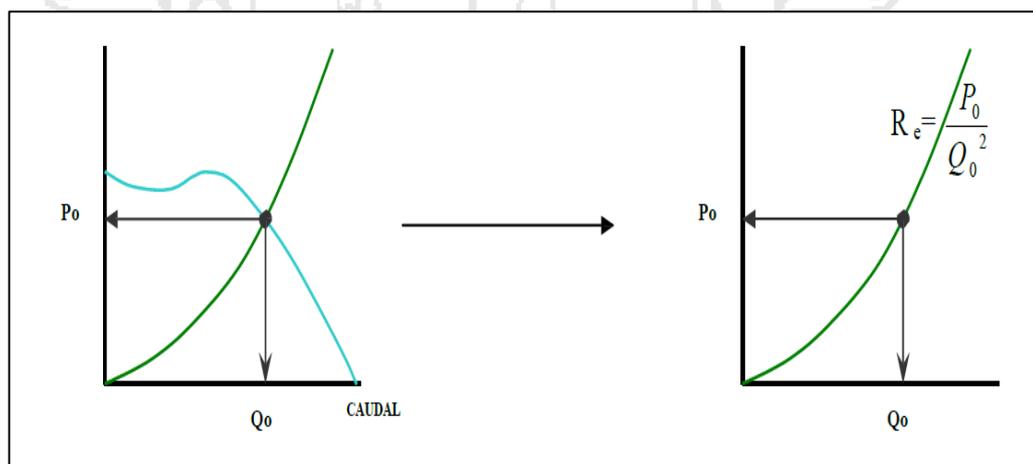


Figura 2.4: curva característica de ventilador

Fuente: OPSIVEN (2015)

Acoplamiento de ventiladores

En instalaciones importantes de ventilación, cuando es necesario disponer de caudales o presiones con grandes variaciones, puede resultar conveniente de dotarlas de equipos acoplados de forma que trabajando en conjunto o bien separados proporcionen la prestación exigida en cada momento. Si las variaciones necesarias son discretas puede

bastar un único ventilador con un sistema de regulación, pero cuando sean precisas unas capacidades muy elevadas, hay que recurrir a un sistema de acoplamiento de equipos, tanto en serie como en paralelo.

Trabajo en serie de 2 ventiladores

Con el trabajo en serie de dos ventiladores, el caudal de aire que pasa por ambos ventiladores debe ser igual, de valor Q_1 y la depresión total es igual a la suma de las depresiones producidas por cada ventilador $P_T = P_{T/2} + P_{T/2}$. En consecuencia, la curva característica totalizada de ambos ventiladores se construye sumando las ordenadas de sus curvas características individuales.

El caudal total de dos ventiladores iguales, instalados en serie y que giran con igual número de revoluciones, es mayor que cada caudal parcial, pero, siempre inferior a la suma de los caudales del trabajo individual. Es decir, $Q < IT < Q_i$ $Q_3 = 2 \times Q$; Para una resistencia dada, como podemos ver en el gráfico adjunto, un solo ventilador podría trabajar en un punto próximo al bombeo, en cambio, al acoplarle otro ventilador, se puede observar que (P_T, Q_T) , está bastante alejado del régimen inestable (ver Figura 2.5).

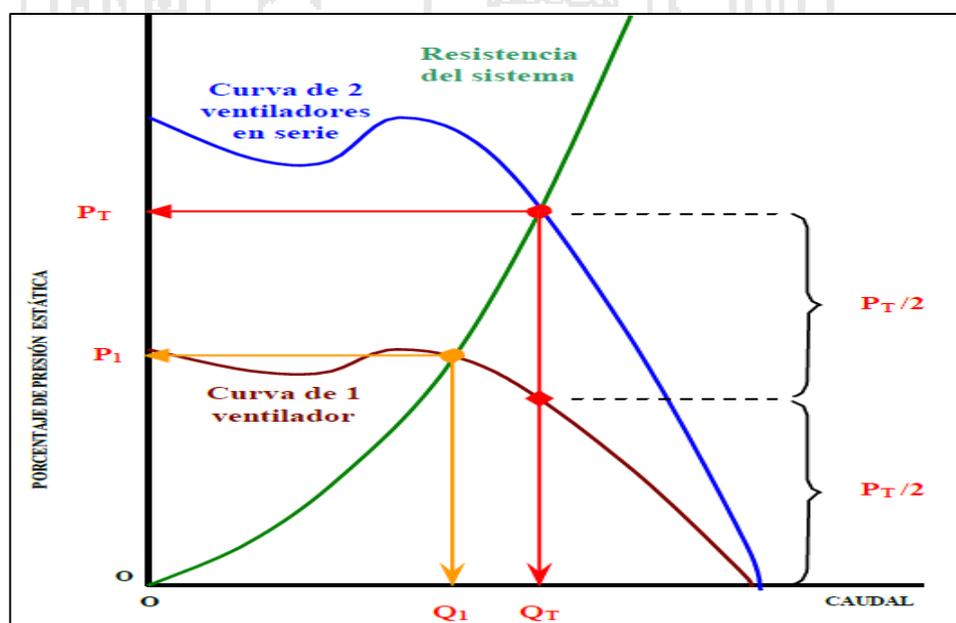


Figura 2.5: Trabajo en serie de 2 ventiladores

Fuente: Castro, A. (2015)

Trabajo en paralelo de 2 ventiladores

En un sistema de trabajo de dos ventiladores en paralelo, cada ventilador es concebido para la mitad del caudal de diseño. Cuando dos ventiladores trabajan en paralelo, forman un sistema que estará caracterizado por la curva resultante de la suma las abscisas de sus curvas características individuales. Si sólo uno de los ventiladores trabajase, su punto de funcionamiento sería distinto, con una presión más baja y con un caudal de aire mayor, (PT1, QT1) (ver Figura 2.6).

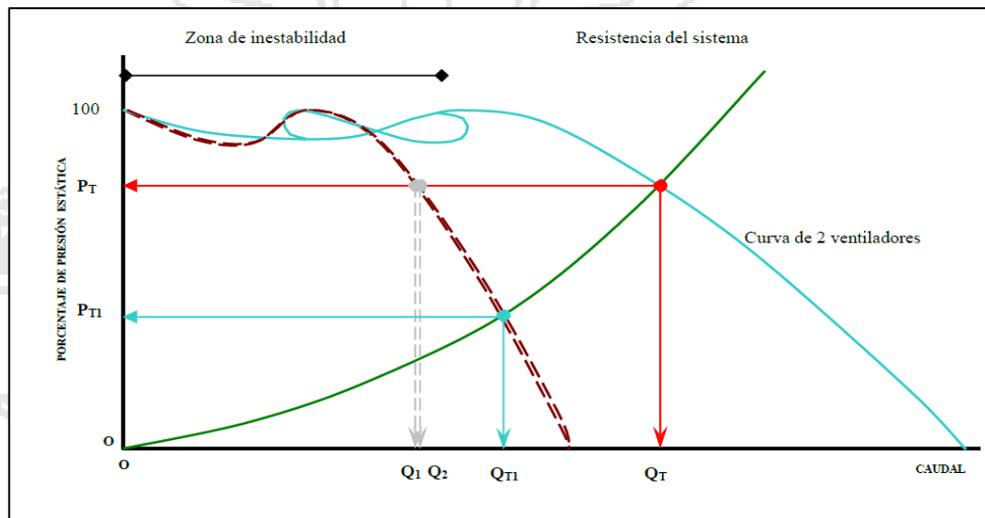


Figura 2.6: Trabajo en paralelo de 2 ventiladores

Fuente: Castro, A. (2015)

2.2.10 Requerimientos de aire

Las necesidades de aire en el interior de la mina, se determinara en base al número de personas, polvo en suspensión, aumento de temperatura y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales. Agüero H. & Alvares, H. (2012)

Requerimiento de aire por el personal

Según el Decreto Supremo 024-2016-EM, el caudal requerido por persona es de 6 m3/min, si la mina ubicada por encima de los 4,000 m.s.n.m. (ver Figura 2.7).

$$Q1=nxq$$

Requerimiento para equipo diésel

Según el decreto supremo N° 024-2016 E.M. el cálculo de volumen de aire requerido por equipos dentro de la mina debe ser de 3 m³/min por cada HP, de la máquina a combustión diésel. Basados en los parámetros anteriores, los resultados para el cálculo de requerimiento de aire por equipo. Apaza, Y. (2014)

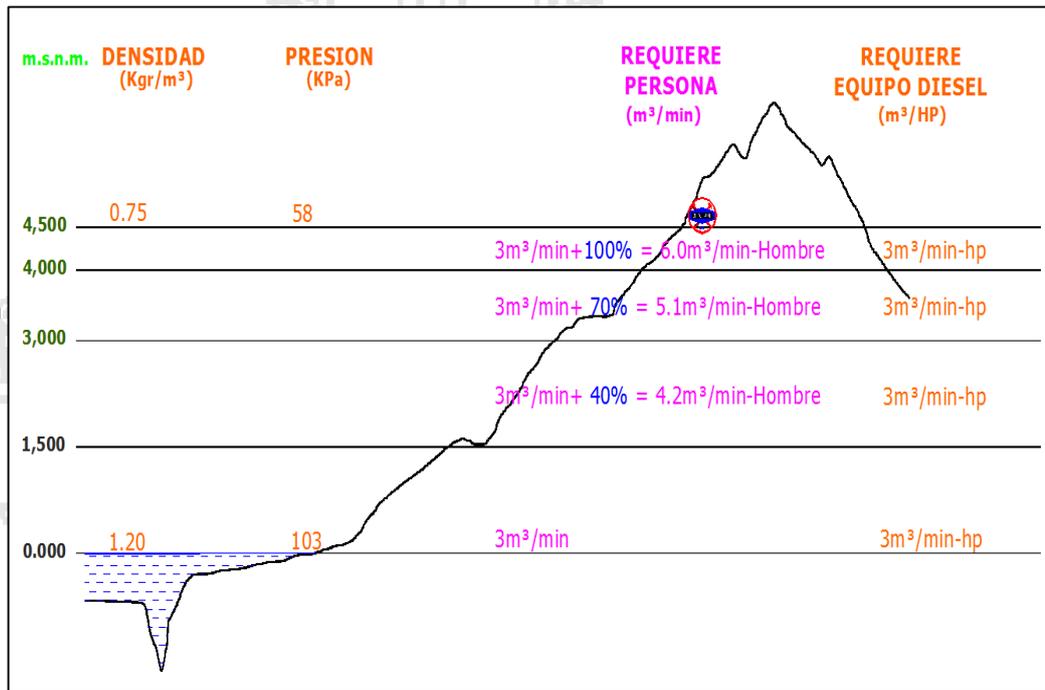


Figura 2.7: Requerimiento de aire según altura

Fuente: Castro, A. (2015)

2.2.11 Resistencia al movimiento del aire

Teorema De Bernoulli (Fluido Ideal)

La ecuación Bernoulli para el fluido incompresible ideal en términos de presión señala:

$$P_1 + W_1 + \frac{V_1^2}{2} + gw_1 H_1 = P_2 + W_2 + \frac{V_2^2}{2} + gw_2 H_2 \quad (1)$$

Donde.

P= presión absoluta (kPa o Pa)

w = densidad (kg/ m³)

V = velocidad (m/s)

g = gravedad

H = elevación

Los subíndices '1' y '2' indican los puntos de flujo hacia arriba y hacia abajo en un sistema respectivamente. El término 'p' de la ecuación es la presión resultante de la energía interna del fluido (y en nuestro caso, el fluido es el aire). Sin importar el flujo, esta presión actúa en todas direcciones y, generalmente, se conoce como "presión estática".

El término $w_1 \frac{V_1^2}{2}$ es la presión como resultado de la energía cinética del aire, en palabras simples, es la presión resultante de la velocidad del aire y el término será fácilmente identificable como la fórmula para la presión de velocidad. El término 'gwH' es la presión resultante de la energía potencial del aire. En palabras simples, es una expresión de la energía incluida en el aire por virtud de su posición. Es decir, un libro sobre una mesa contiene energía potencial puesto que puede caer al piso si se le permite. Por lo tanto, el libro cuenta con la energía potencial o energía como resultado de su posición. ISTE (2000)

Incorporando pérdidas de presión

Se debe recordar que la ecuación (1) es para un fluido ideal. Este es, en realidad, un fluido que no cuenta con pérdidas internas resultantes de la fricción. Sin embargo, en nuestro caso el fluido es el aire y existe una pérdida de presión como resultado de la fricción. Por lo tanto, la ecuación de Bernoulli puede ser modificada sumándose todas las pérdidas resultantes de la fricción entre dos puntos (p_L) hacia el punto de la corriente hacia abajo. La ecuación sería:

$$p_1 + w_1 \frac{V_1^2}{2} = p_2 + w_2 \frac{V_2^2}{2} + p_L \quad (2)$$

Los símbolos son los mismos de la ecuación (1). En este punto se debe recordar que de no existir una diferencia entre el punto (1) y el punto (2), el término 'gwH' se elimina de ambas partes de la ecuación.

Cuando se aplica la ecuación Bernoulli a las columnas de ventilación, el término 'gwH' puede, en la mayoría de los casos, ser ignorado ya que las columnas de ventilación generalmente son instaladas en elevación. Si no son exactamente horizontales, la

diferencia en elevación es lo suficientemente pequeña que puede ser ignorada. Sin una diferencia de elevación, la ecuación (2) puede representarse de la siguiente manera:

$$p_1 + w_1 \frac{V_1^2}{2} = p_2 + w_2 \frac{V_2^2}{2} + p_L \quad (3)$$

Las presiones que se incluyen en la ecuación de Bernoulli son presiones absolutas. ISTECH (2000)

2.2.12 Presiones de una mina

Para determinar la magnitud de la presión artificial es necesario sumar algebraicamente las presiones componentes de los elementos de un circuito de una red de ventilación. Esta presión se denomina generalmente presión total de la mina y se representa. Enríquez, J. (2011)

$$P_t(\text{mina}) = P_s(\text{mina}) + P_v(\text{mina})$$

Presión estática (Ps)

Algunas personas la denominan “presión explosiva”, lo cual ayuda a visualizarla debido a que la presión estática es la presión ejercida por el aire en las paredes del ducto, la cual tiende a forzarlas a expandirse. Es la cantidad total de energía necesaria para vencer las pérdidas de presión de un ducto. Enríquez, J. (2011)

$$P_s = P_p = P_f + P_x$$

Presión de velocidad (Pv)

La presión de velocidad se define como la presión resultante del movimiento del aire. Mientras más rápido se mueve el aire, o mientras mayor sea la velocidad del aire y viceversa. La presión de velocidad se mide con un tipo piloto con un medidor frontal conectado a un medidor lateral. Enríquez, J. (2011)

2.2.13 Formula de Atkinson

El valor de la resistencia (R) depende de ciertas características del conducto de ventilación o del ducto por ejemplo, si uno de los conductos de aire cuenta con una área pequeña y otra grande todos los factores son constantes, el aire circula con mayor facilidad a través del segundo conducto de ventilación. Finalmente, si las paredes de un conducto son lisas y las de otro son ásperas y el resto de los factores son iguales, la resistencia del conducto liso será menor que la del conducto áspero, es decir, el “factor de fricción” depende de la naturaleza de la superficie del conducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson considera estos factores y expresa:

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} * \frac{w}{1.2}$$

$$P = \frac{KCLQ^2}{A} * \frac{w}{1.2}$$

P = Pérdida de presión (Pa).

C= perímetro (m).

L= longitud (m²).

Q= Flujo de cantidad (m³/s).

K= Factor de fricción (Ns²/m⁴).

W = Densidad del aire (Kg/m³)

2.2.14 Factor de fricción

Los valores de K (ver Anexo 23) son determinados por las mediciones en diferentes galerías, tipos de rocas y sinuosidades y es un tanto laborioso obtenerlo en las galerías, por lo que obtenemos de una tabla elaborada, la cual hay que corregir por las densidad del aire de la mina para obtener el K corregido a nivel de mina. McPherson (1993)

$$K_{\text{Corregido}} = k \left(\frac{W}{1.2} \right)$$

2.2.15 Pérdidas por choque

Las pérdidas por choque son el origen local, producidas por turbulencias remolinos, frenadas del aire al enfrentar diversos accidentes dentro del circuito (ver Anexo N° 24). Los accidentes son cambios de dirección, entradas, contracciones, etc. También dependen de la velocidad y del peso específico del aire, Enríquez, J. (2011).

2.2.16 Ventilación efectiva

La efectividad de ventilación se determina por los siguientes puntos: que no haya concentraciones de gas, polvo y humos por encima de los límites permisibles y que la visibilidad sea de la mejor que el total de velocidades medidas en toda la mina el 90 % de las velocidades medidas este por encima de los 85 ft/m o 110 ft/m para minería clásica y minería a rieles respectivamente y muy especialmente en tajos de explotación.

Se lleva control de las horas de trabajo los ventiladores, auxiliares, secundarios y principales para la determinación del aumento o disminución del costo mensual de la ventilación. Que dentro de los circuitos de aire haya flujos de aire por ramales en paralelo que en serie.

2.2.17 Circuitos de ventilación.

En ventilación de minas hay dos tipos de combinación de galerías por donde fluye el flujo de los sistemas de ventilación; y son flujos en serie a través de galerías en línea y flujos en paralelo a través de galerías en bifurcaciones hacia paralelo y ambas se acoplan una después de la anterior formando una red, la cual tiene que ser calculada en volúmenes y resistencias para conocer la resistencia o estática total de la red y sus volúmenes y poder pedir el ventilador adecuado.

Circuitos en serie

Este circuito tiene las siguientes relaciones: el volumen total de aire es el mismo a través de todo el circuito desde que ingresa el aire a la mina hasta que sale de ella (Ver Figura 2.8); es decir:

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots$$

La resistencia total es igual a la suma de las pérdidas o resistencias de cada una de las galerías por donde viaja el flujo, esto es:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots$$

La relación que hay entre (PT) y el volumen Q_T del flujo que viaja es igual.

$$P_T = RQ^2$$

$$Pt = RQ^2 = R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 + R_3 Q_3^2 + R_4 Q_4^2 = Q^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots)$$

Pero como todos los volúmenes son iguales se puede escribir que:

$$\text{Resistencia equivalente (Rt)} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots$$

En circuitos en serie los requerimientos de fuerza o energía eléctrica son altos, para un determinado volumen, porque los HP para trasladar el peso del aire son acumulativos.

Sacsi, R. (2013)

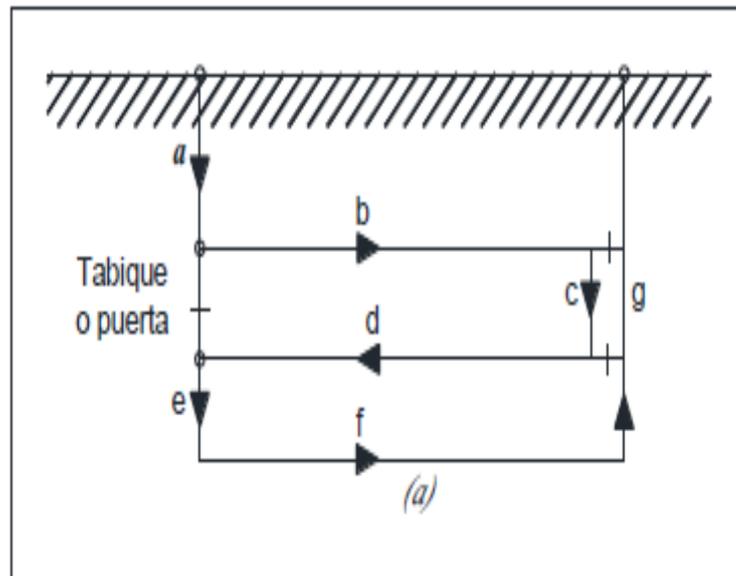


Figura 2.8: Circuito en serie

Fuente: Sacsi, R. (2013)

Circuitos en paralelo.

Es cuando el flujo o volumen total de aire es distribuido o dividido en varias galerías. Cuando el flujo pasa por galerías en paralelo, o galerías que se bifurcan el volumen total es la suma de los volúmenes que pasa por cada ramal (ver Figura 2.9).

$$QT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots$$

La pérdida de resistencia es la misma a través de cualquier ramal o galería:

$$PT = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \dots$$

Pero sabiendo que $P = RQ^2$, se puede decir que la P se puede hallar conociendo la R y el Q sin necesidad de usar la fórmula de resistencia y de lo anterior se puede decir también que:

Pero como:

$$Q_T = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} + \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} + \sqrt{\frac{P_3}{R_3}} + \sqrt{\frac{P_4}{R_4}} \dots$$

$$P_T = P_1 = P_2 = P_3 = P_4$$

Se tendrá que:

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \frac{1}{\sqrt{R_4}} + \dots$$

Se dice que cada R o resistividad involucra a las características de cada galería o conductos de los cuales se quiere conocer sus resistencias, con datos obtenidos en el mapeo de campo que permiten calcular las resistencias de estos conductos. Si la estática es la misma o constante.

$$P_2 = P_{L1} = P_{L2} \dots$$

$$\text{Y el } Q = \sqrt{\frac{P_L}{R}} \text{ O } Q = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}}$$

Y si se puede escribir o decir que:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{R}} \text{ Y } Q_1 = \frac{1}{\sqrt{R_1}}$$

Y si estas igualdades se dividen se tendrá que:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{\frac{1}{\sqrt{R}}}{\frac{1}{\sqrt{R_1}}}$$

donde Q₁ es igual a:

$$Q_1 = Q_x = \frac{\frac{1}{\sqrt{R}}}{\frac{1}{\sqrt{R_1}}}$$

Que es una de las relaciones que indica que conocidas las características o resistividad de las galerías R_1 y R_2 el volumen Q que se quiere distribuir, se puede hallar el volumen que pasará por Q_1 . Y el valor de R lo obtenemos de la fórmula:

$$R = \frac{K P_{er} (L + L_E)}{5.2 A^2}$$

Ecuación, en la que se tienen todos los datos que se han obtenido en el mapeo de mina y que ahora sirven para hallar las resistencias por cálculos y poder distribuir el volumen principal por diferentes ramales conforme exigen las operaciones. Sacsi, R. (2013)

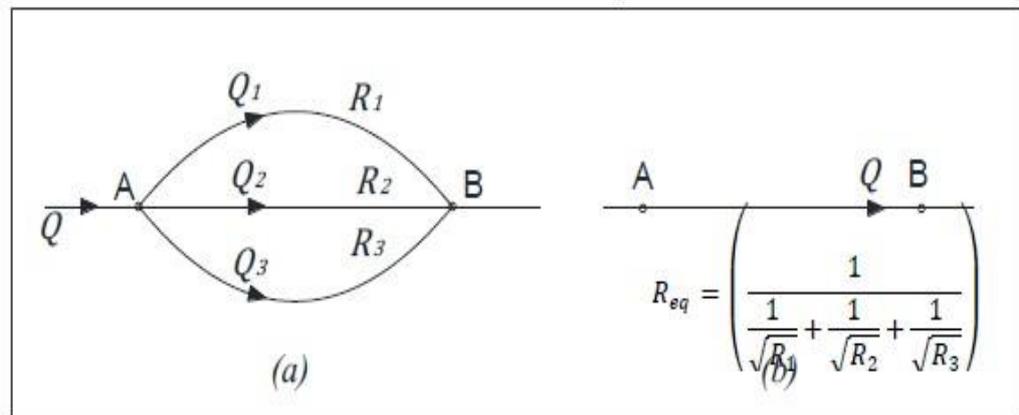


Figura 2.9: Circuito en paralelo

Fuente: Sacsi, R. (2013)

2.2.18 Software Ventsim Visual

Descripción

Ventsim visual fue introducido en sus inicios a las operaciones mineras en 1994 para ayudar a diseñar, mejorar y optimizar visualmente los sistemas de ventilación subterráneas. Ahora está siendo utilizado en más de 1000 mineras, consultores, universidades, gobiernos y organismo de investigación alrededor de todo el mundo.

El nuevo software de ventilación Ventsim Visual fue lanzado el 2009 y ofrece una gran riqueza gráfica y dinámica para la ventilación del medio ambiente con muchas más funciones que el original Ventsim clásico.

2.2.19 Teoría en que se basa el Ventsim Visual

- Leyes de Kirchhoff.
- Ley cuadrática
- Ecuación de Atkinson
- Técnica de repetición de Hardy Cross.

2.2.20 Herramientas del software Ventsim Visual

- El software Ventsim proporcionar al usuario las herramientas para.
- Simular y entregar un registro de caudales y presiones en una mina existente.
- Ejecutar simulaciones de casos hipotéticos para nuevos desarrollos planificados.
- Ayudar en el planeamiento a corto y largo plazo de los requerimientos de la ventilación.
- Asistir en la elección de los tipos de circuitos de ventiladores para la ventilación de la mina.
- Asistir el análisis financiero de las diferentes opciones de ventilación.
- Simular la distribución y concentraciones de humo, polvo o gas, para el planeamiento de la mina o en situaciones de emergencia

2.2.21 Ventsim Visual *advanced* ofrece herramientas adicionales

- Llevar a cabo un completo análisis termodinámico de calor, humedad y refrigeración en minas subterráneas.
- Tomar en cuenta la compresibilidad del aire en minas muy profundas.
- Analizar múltiples opciones de tamaño de los ductos de ventilación, tanto para establecer la capacidad de ventilación como los costos de los mismos.
- Mostrar análisis dinámicos en el tiempo de contaminantes, gas, gases diésel o calor que se expande por una mina a partir de diferentes actividades.
- Provee una herramienta para verificar las recirculaciones de aire en la mina.
- Simular concentraciones de Emisiones de Partículas Diésel a través de la mina.

Stewart,C.(2010)

2.2.22 Ventsim Visual *premium* ofrece herramientas adicionales

- Simular de manera dinámica y simultánea múltiples parámetros de ventilación (contaminantes, gas, gases diésel, calor y flujo de aire), además de la simulación de calor y gases producto del fuego. Los modelos se pueden programar para su auto modificación durante la simulación. Esta herramienta se llama *ventfire*.
- Conecte y cargue datos externos (por ejemplo de sensores de la mina) para mostrar datos en tiempo real dentro de un modelo Ventsim. Esta herramienta se llama *liveview*.
- Ventlog: Un programa de software separado para registrar y almacenar los datos de ventilación medidos de áreas subterráneas. Ventsim Visual puede vincularse a estos datos y mostrarlos dentro de un modelo 3D. Esta herramienta se llama *Ventlog*.

Stewart,C.(2010)

2.2.23 Características del software Ventsim Visual

- Soporta hasta 30000 ramales individuales.
- 1000 diferentes tipos de ventiladores, con su eficiencia puede ser modelado dentro la red.
- Las redes se pueden crear a escala real en 3D simplemente dibujando ramales con el clic del ratón
- La rotación en 3D permite la rotación real para ayudar en la visualización y la creación de ramales.
- Simulación de contaminantes de humo gases u otros contaminantes.

2.2.24 Herramienta *ventfire* de Ventsim Visual

Como su nombre lo indica, permite realizar simulaciones complejas de contaminantes y el calor provenientes de fuego. Además permite la simulación dinámica simultánea de múltiples parámetros de simulación como caudal de aire, gases, contaminante y calor. *ventfire* permite que los modelos puedan ser automáticamente

modificados durante la simulación para permitir escenarios como ventiladores alternados, apertura y cierre de puerta.

2.2.25 Herramienta *ventlog* de Ventsim Visual

Es un programa diseñado para registrar y recopilar datos obtenidos de ventilación subterránea. La base de datos de *ventlog* puede utilizarse con Ventsim Visual para que sea posible mostrar los resultados de datos reales de *ventlog*, superpuestos con los resultados de simulación de Ventsim Visual.

2.2.26 Herramienta de *liveview* de Ventsim Visual

Es un módulo de Ventsim Visual diseñado para conectarse a fuentes externas como bases de datos SQL, archivos de datos Excel o Access, o archivos de texto plano. Se usa comúnmente para conectarse a datos que provienen de sensores subterráneos en tiempo real.

Los datos se pueden registrar y mostrar dentro de un modelo Ventsim 3D, incluso se pueden utilizar para simular nuevos resultados basados en los datos conectados.

2.2.27 Recirculación de aire

Es el paso de un caudal, o de una porción de caudal, través de un mismo punto más de una vez. Ventsim visual utiliza un algoritmo creado específicamente para trazar la ruta y porción recirculada de todos los caudales a lo largo de toda la mina e informar donde el aire está recirculando.

2.2.28 Simulación financiera (*advanced*) de Ventsim Visual

Entrega una serie de métodos para optimizar los tamaños de los conductos de ventilación, incluyendo definir los tamaños de los conductos y los costos para su consideración o por costos de minería establecidos como factores variables y fijos. En este último caso se puede considerar una cantidad ilimitada de diferentes tamaños.

2.2.29 Termodinámica (*advanced*) de Ventsim Visual

Lleva a cabo un proceso de simulación termodinámica constante, el cual deriva el caudal inicial (flujo de masa) a partir de una simulación de caudales. La simulación termodinámica es un proceso complejo, y tiene por objeto simular una gran cantidad de parámetros disponibles en un ambiente minero. El proceso de simulación se basa en métodos documentados. Tales métodos se pueden encontrar en libros como *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering* de Malcom J. McPherson. Entre los parámetros de calor que Ventsim Visual considera, se encuentran:

- Calor y humedad derivados del macizo rocosos y del agua subterránea. Propiedades térmicas de diferentes tipos de roca.
- Calor de Fuentes puntuales (tales como motores eléctricos), de Fuentes lineales (como cintas transportadoras), de motores Diésel y de la oxidación de minerales.
- Calor proveniente de la auto-compresión del aire.
- Refrigeración y puntos de enfriamiento del aire.
- Cambios de densidad a través de la mina, debido al efecto de la profundidad y de la temperatura, así como también de la presión de los flujos de ventilación.
- Cambios de ventilación natural producto de los cambios de densidad.
- Humedad proveniente de Fuentes tales como rociadores de supresión de polvo.
- Condensación del aire sobresaturado.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Sistema de ventilación de la mina Minsur S.A.

El concepto general del sistema de ventilación es "flujo de un lado a otro", puede haber algunas áreas en las que se vuelve a utilizar el aire (esto se puede confirmar con un mayor seguimiento y un modelo).

Hay un número de diferentes ventiladores en el sistema de ventilación (ventiladores centrífugos - en la superficie, ventiladores axiales - en superficie, y subterráneo). Los ventiladores en los circuitos primarios situados en interior mina y superficie son "ventiladores aspirar antes" y por lo general se encuentran en el lado de retorno de las áreas de trabajo. Ventiladores auxiliares y el conducto (mangas) se

utilizan según sea necesario, y están tan cerca como sea posible a los frentes de trabajo de las áreas de desarrollo y producción.

2.3.2 Caudal de aire para diluir la cantidad de gases en mina Minsur S.A.

Minsur en su preocupación constante por mejorar las condiciones termo ambientales de operación ha invertido en una mejora de su caudal de aire donde la entrada de aire fresco 1 300 000 cfm para diluir la presencia de gases en mina.

2.3.3 Dilución de gases en la unidad San Rafael -Minsur S.A.

Para La dilución de gas es proporcionar más oxígeno y reducir los agentes contaminantes como gases tóxicos, polvos. Teniendo un ambiente seguro, confortable y saludable con un flujo de aire acondicionado.

2.3.4 Ventsim Visual

Es un software de ventilación mina que tiene herramientas de analizar y simular flujos de aire cuyo autor es Craig Stewart (Australia) que fue lanzado al mercado el año 2009.

2.3.5 Red

Una serie de conductos interconectados que juntos forman el modelo de diseño de conductos.

2.3.6 Pérdida de presión

Pérdida de presión de aire a lo largo de un conducto debido a pérdidas por fricción, ventiladores, presiones fijas, etc.

2.3.7 Resistencia

Valor que describe la dificultad que tiene el aire para moverse por un conducto. Se calcula a partir de una combinación de tamaño del conducto, factor de fricción, longitud, pérdidas por choque y densidad del aire.

2.3.8 Pérdidas por choque

Factor que estima el efecto que tiene sobre el caudal un cambio de dirección o tamaño. Cualquiera de estos cambios incrementa la turbulencia en el caudal y causa pérdidas de energía que se pueden identificar como resistencias. Ventsim Visual utiliza las pérdidas por choque como una longitud extra que se agrega a la longitud original.

2.3.9 Flujo de aire

Realiza una simulación de caudal de aire constante en el modelo La versión Estándar solo realizará una simulación de caudal incomprensible, mientras que las versiones *advanced* y *premium*, opcionalmente realizarán simulaciones de masa de flujo equilibrada comprensible si se selecciona en los ajustes.

2.3.10 Factor de fricción

Factor de fricción de Atkinson que describe la rugosidad de una pared. Afecta directamente la resistencia en un conducto. Los factores de fricción se miden en una densidad de aire específica, comúnmente normalizada a $1,2 \text{ kg/m}^3$

2.3.11 Pérdidas por fricción

Un componente de la caída de presión a lo largo de un conducto causada por la resistencia del conducto.

2.3.12 Método Hardy Cross

El método de simulación que usa Ventsim Visual para realizar los cálculos de los caudales en un modelo. Utiliza un método de estimación iterativo que ajusta los caudales en el modelo hasta que los errores de estimación estén dentro de los límites aceptables. Ventsim Visual *advanced* utiliza un método modificado que toma en cuenta los cambios en la densidad del aire y el balance de flujo de masas.

2.3.13 Carga (presión)

Estimación de cuánta carga o peso desarrolla una pérdida de presión a lo largo de una resistencia. Normalmente se usa para determinar la carga en una puerta deslizante o

un mamparo y se calcula en base a las pérdidas de presión en el área cercana a la resistencia.

2.3.14 Humedad relativa

La humedad relativa describe la cantidad de vapor de agua presente en una mezcla gaseosa de aire y agua. Se define como la proporción de la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la cantidad que lo saturaría a una temperatura dada. Normalmente, la humedad relativa se expresa como un porcentaje.

2.3.15 Densidad

La densidad de un material se define como su masa por unidad de volumen. La densidad del aire influencia a varias propiedades psicométricas. La densidad de la roca influencia a la transferencia de calor y al comportamiento de la capacidad térmica.

2.3.16 Entalpía

Similar al calor Sigma, es la suma del contenido total de calor de una unidad de peso de aire (incluyendo el vapor de agua) a, típicamente, cero (0) grados Celsius o 32 grados Fahrenheit. A diferencia del calor sigma, no toma en cuenta el proceso de saturación adiabático y, por lo tanto, no es útil en términos psicométricos.

2.4 Marco legal

2.4.1 Legislación nacional

Las obligaciones legales impuestas por el gobierno peruano, en términos de ventilación en las minas, así como los elementos técnicos necesarios para optimar un sistema de ventilación en minas subterráneas. En Perú, las subterráneas se rigen bajo la ley Decreto Supremo 024-2016-E.M.

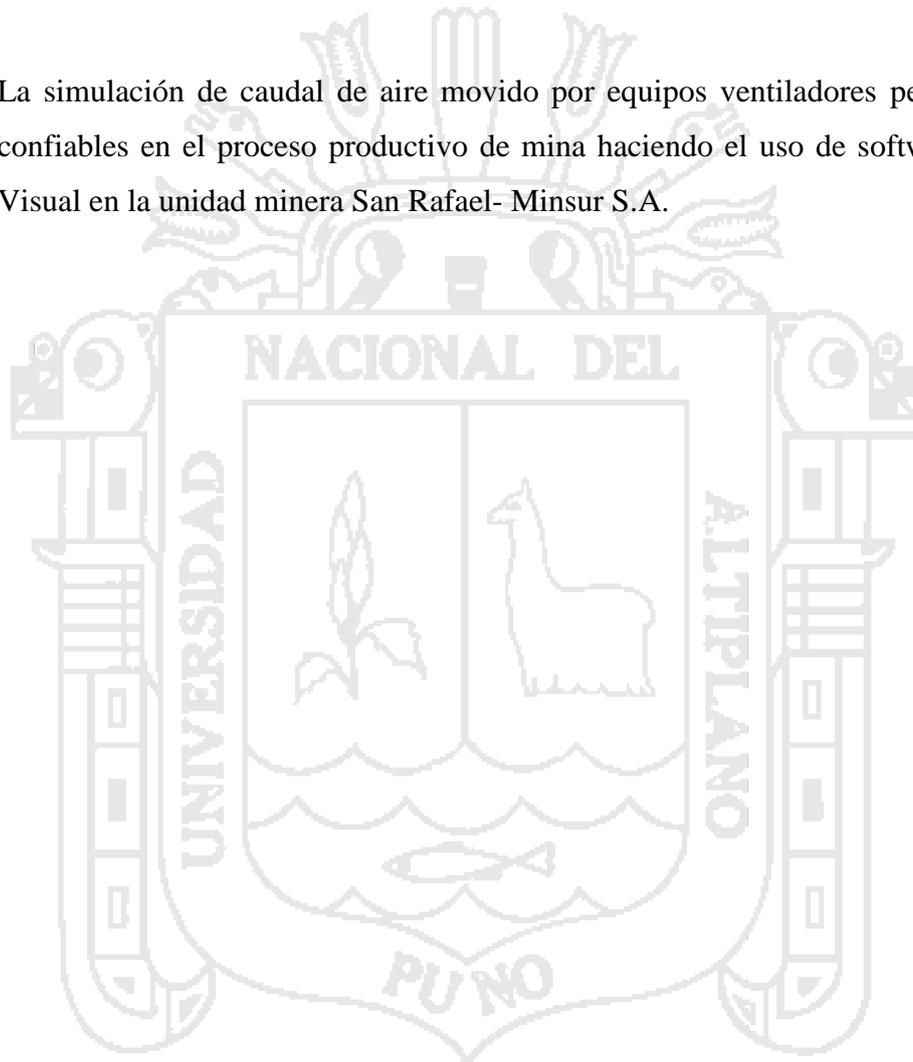
2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- El diseño y la simulación de red de ventilación efectiva cobertura el caudal de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso del software VentsimVisual la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.

2.5.2 Hipótesis específico

- El diseño de red ventilación cumplirá la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo de mina haciendo el uso de software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.
- La simulación de caudal de aire movido por equipos ventiladores permitirá datos confiables en el proceso productivo de mina haciendo el uso de software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuantitativo no experimental, transaccional, descriptiva y evaluativa, donde la investigación se desarrolla al estado que se encuentra la red de ventilación de la mina, por lo que necesitamos realizar una descripción de los variables dependiente e independiente para luego evaluarlo en el software Ventsim Visual realizando un diseño y simulación.

3.1.2 Método de investigación

El método de investigación es Analítico-Explicativo, durante el desarrollo de esta tesis, necesitamos analizar las variables independiente e dependiente como son: caudal de aire, temperatura, presiones de aire, dimensiones de labores y explicarlos los resultados de flujo de aire en base a resultado obtenido por el software Ventsim Visual.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población en nuestro trabajo de investigación en la zona alta y baja de la mina Minsur S.A.

3.2.2 Muestra

La parte más representativa en las labores de producción, desarrollo y exploración donde se realizaran la medición flujo de aire de la empresa minera Minsur S.A.

3.3 Técnica de muestreo

Probabilística:

Tamaño de Muestra

La fórmula para determinar el tamaño de muestra (n) es la siguiente:

$$n = S^2 / V^2$$

n = Tamaño de muestra

S² = varianza de la muestra = p(1-p).

p = probabilidad = 0.9(1-0.1)=0,0081.

V² = varianza de la población.

$$V^2 = (0,015)^2 = 0,000225.$$

N = 97 (Tamaño de población)

$$n = \frac{0,0081}{0,000225}$$

$$n = 36$$

Lo cual se ajusta si se conoce el tamaño de la población (N). Esto es:

$$n = \frac{36}{1 + \frac{36}{97}}$$

$$n = 26$$

El tamaño de muestra estadística se ajusta a 26 muestras donde nuestra muestra real es de 36 muestras de los niveles de desarrollo, producción y exploración.

3.4 Operacionalización de variables

Las variables independientes tienen indicadores como la dimensión de las labores, la temperatura de aire, humedad relativa, densidad de aire que varía según la altura y presión la variable dependiente tiene indicadores como la velocidad de aire, rugosidad de la labor, equipos y personal en mina (Ver tabla 3.1).

Tabla 3.1
Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
Variable Independiente.	Dimensión de las labores mineras	m ²
El diseño de la red de ventilación haciendo el uso del software Ventsim Visual en la empresa minera Minsur S.A.	Temperatura de aire	°C
	Humedad de aire	%
	Densidad de aire	m ³ /gr
	Presión de aire	Pa
Variable Dependiente.	Velocidad de aire	m/min
Simulación de red de ventilación con el uso de software Ventsim Visual en la empresa minera Minsur S.A.	Rugosidad de la labor	Ns ² /m ⁸ – Kg/m ⁷
	Equipo LHD en mina	m ³ /hp
	Personal mina	m ³ /hombre

3.5 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se hizo mediante la recopilación de datos de campo y de gabinete.

3.5.1 Datos de campo

- Calculo de flujo de aire (Ver Anexo 15)
- Se usó los tubos de humo para flujos de baja velocidad menores a 20m/min y el termoanemómetro para velocidades bajas y altas (Ver Figura del Anexo 6).
- Las mediciones de gases de mina (Ver Anexo 13).

Equipos de muestreo

- Anemómetro

El anemómetro es un molino de viento de cuatro a ocho paletas cuyo eje principal es conectada por medio de engranajes a un contador de revoluciones. Durante la medición, el eje de rotación de instrumento es alineado con la dirección del aire y desplazado lentamente para cubrir toda la sección transversal de la galería o ducto en un tiempo pre-establecido, generalmente de un minuto. La presión del aire, dependiendo de su intensidad, genera una fuerza sobre el motor del instrumento causando su rotación con una rapidez proporcional a la velocidad del aire. El número de revoluciones es registrado.

- Tubo de humo.

Este sencillo instrumento (ver figura del anexo 6); permite determinar en forma rápida y más o menos exacta la dirección y velocidad de flujos lentos de aire. El aparato consiste en tubo de vidrio de 10mm de diámetro y 14cm. De largo, lleno con piedra pómez granulada que han sido tratadas con cloruro es tanticum fumant. Al quebrar los extremos herméticamente sellados del tubo y al hacer pasar aire a través de él, por medio de una pera aspiradora, se forma un humo blanco de ácido estantico y clorhídrico, en presencia de la humedad de aire. El humo producido, sale del tubo y se mueve con la misma velocidad del aire.

- Tubo de Pitot

Es un instrumento elemental para la medición de velocidades y presiones de flujos de gases o de aire en canales. La ventaja del tubo de pitot frente a otros métodos de medición radica en que un pequeño orificio en la pared canal, en las zonas más importantes del recorrido, es suficiente para realizar en cualquier momento una medición de la velocidad del flujo.

3.5.2 Datos de gabinete

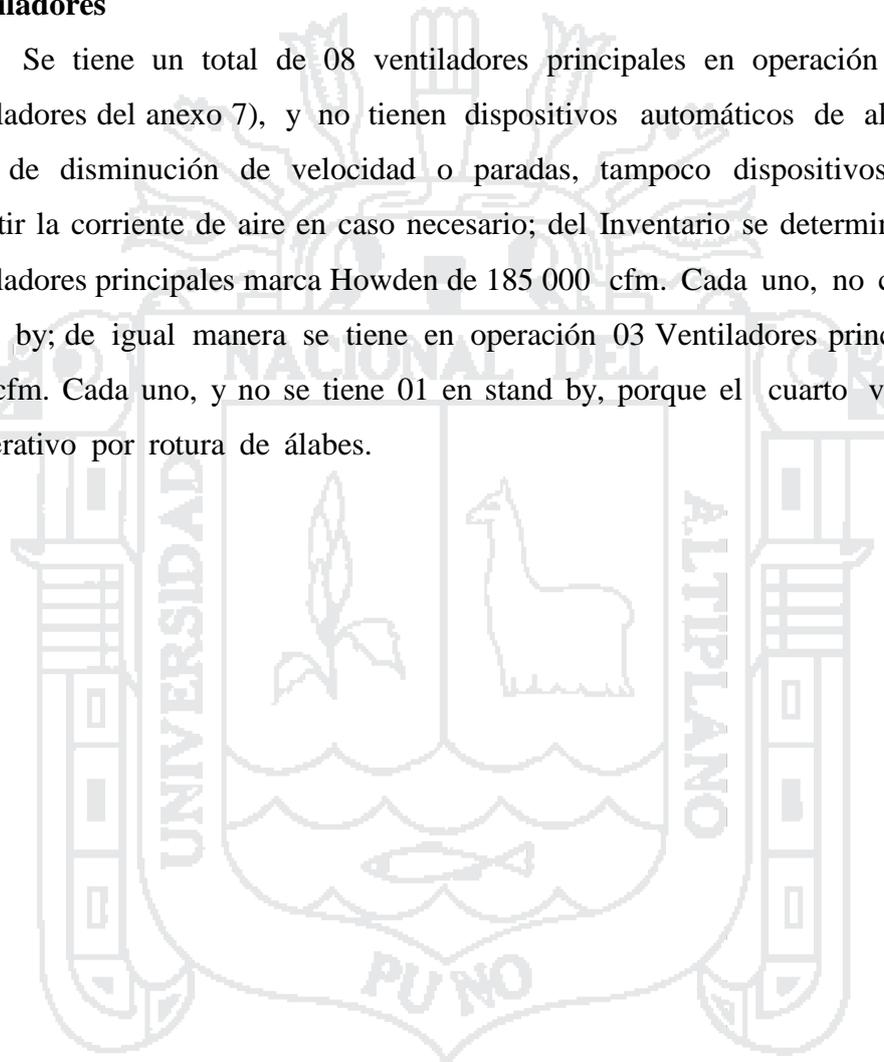
Los datos de gabinete se ha recurrido a la oficina de planeamiento de la empresa minera Minsur S.A. y obtuvieron los siguientes datos:

- Datos topográficos
- Las isoclinas de datamine y autocad (ver plano de isoclinas del Anexo 27)
- Los programas de avances (ver Tabla 4.3).

- Daros geológicos y planeamiento de minado (ver Tabla 4.4).
- Datos de operación mina
- Inventario de ventiladores (ver Tabla del Anexo 7).
- Inventario de equipos de mina

Ventiladores

Se tiene un total de 08 ventiladores principales en operación (Ver Tabla de ventiladores del anexo 7), y no tienen dispositivos automáticos de alarma para el caso de disminución de velocidad o paradas, tampoco dispositivos que permitan invertir la corriente de aire en caso necesario; del Inventario se determinó que, los 02 ventiladores principales marca Howden de 185 000 cfm. Cada uno, no cuenta con 01 stand by; de igual manera se tiene en operación 03 Ventiladores principales de 150 000 cfm. Cada uno, y no se tiene 01 en stand by, porque el cuarto ventilador está inoperativo por rotura de álabes.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Ubicación

La mina San Rafael, propiedad de Minsur S.A., está ubicada al suroeste del nevado Quenamari 5299 m, de la cordillera oriental del sur del Perú, políticamente está en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno, geográficamente en las coordenadas 70°19' longitud oeste y 14°14' latitud sur, con una altitud que varía entre los 4500 y 5200 m.s.n.m (ver Anexo 8).

4.2 Accesibilidad

Tabla 4.1
Accesibilidad mina San Rafael

VIA AEREA	
Lugar	Tiempo
Lima-Juliaca	Vuelo comercial
Juliaca-Antauta	4 horas
VIA TERRESTRE	
Lima-Arequipa	1000 km (20 horas)
Arequipa-Juliaca	280 km (5 horas)
Juliaca-Antauta	180 km (4 horas)

4.3 Clima y vegetación

El clima que predomina es frío y seco durante todo el año, es más frío en los meses del invierno austral, y es caluroso durante los días del verano. En los meses de heladas,

junio- agosto las temperaturas varían entre 2 - 15 °C. Asimismo está dividido en dos estaciones marcadamente diferentes durante el año; una seca y fría entre mayo y setiembre otra lluviosa húmeda entre octubre y abril.

4.4 Topografía y fisiografía

La mina San Rafael pertenece a la formación de la cordillera de Carabaya está caracterizada por picos y nevados sobre los 5000 m.s.n.m., constituyendo el nevado de Quenamari , el mismo que tiene una topografía empinado en la parte más alta y ondulada en la parte más baja. También hay formaciones de lagunas glaciares en forma escalonada esta glaciación morrena con los flancos tiene drenaje en forma radial, cuyas aguas fluyen a los ríos de Antauta y Ajoyani desembocando ambos ríos Carabaya siendo está afluyendo del lago Titicaca.

El nevado de Quenamari es la principal unidad geomorfológica, a partir de la cual se ha formado un valle glaciar en forma de “u”, este glaciar es típico con morrenas laterales hacia las colinas circundantes y con morrenas frontales hacia el campamento de Cumani, en el transcurso del valle glaciar se han formado lagunas escalonadas y en las inmediaciones de la laguna se han desarrollado bofedales. Al retornar al campamento de Cumani se aprecia un cambio diferencial de unidades geomorfológicas, ya que se presenta una llanura de peneplanización.

El yacimiento de San Rafael está en un ramal de la cordillera de Carabaya, esta cordillera está conformada por picos y nevados con cumbres que alcanzan más de 5 000 metros de altitud cubiertos en su mayoría por nieve perpetua. El nevado Quenamari tiene dos picos: san Bartolomé de Quenamari que está a 5 299 m.s.n.m. Y san francisco de Quenamari a 5 297 m.s.n.m.

En la región se extiende una gruesa secuencia marina del Paleozoico inferior tales como: pizarras, filitas y cuarcitas de la Formación Sandia de edad Ordovícico superior; y limo arcillitas intercaladas con cuarcitas del Grupo Ananea, del Devónico-Silúrico.

4.5 Reservas de mineral

Las Reservas de mineral son la parte económicamente explotable proveniente de los Recursos de mineral de las categorías Medidos e Indicados sustentados por lo menos con un estudio de pre factibilidad y evaluación económica de rentabilidad respectivos. El estudio debe incluir información adecuada y actualizada incluyendo factores de minado, procesamiento, economía y otros factores relevantes que demuestren, que a la fecha de la estimación, la extracción, procesamiento y comercialización económica puedan justificar económicamente su explotación. Los principios que rigen el funcionamiento y la aplicación del Código JORC 2012 son la transparencia, materialidad y competencia.

Para la estimación de reservas a diciembre del 2015, el área de geología reporto recursos minerales en 30 estructuras, y entrego 20 modelos de bloques, 10 estructuras fueron estimadas de forma clásica en 2D, por no tener sustento para realizar calculo geo estadísticos.

El presente informe de inventario de reservas al 31 de diciembre del 2015. Se ha elaborado acorde a los lineamientos de código JORC. El tonelaje de reservas totales probada probable de mina subterránea en el año 2015 es superior al del 2014 en 1,6 Ton, la ley a diciembre al de 2014 fue 1,84 % Sn y en el año 2015 1,81 % Sn. (ver Tabla 4.2).

4.6 Operaciones mineras

San Rafael es una mina subterránea dedicada principalmente a la exploración y explotación de yacimientos de minerales y a su beneficio teniendo una participación preponderante en el mercado internacional del estaño, del que uno de sus principales líderes. Desde 11 de enero de 2013, ha incursionado en el mercado del oro, con la puesta en operación de la mina “Pucamarca”, fecha en la que se otorga el título de la concesión de beneficio “Pucamarca” y se autoriza su operación.

Durante el año 2012, se extrajeron de la mina 945 319 toneladas métricas secas de mineral con una ley de 3,03 % de estaño, a diferencia de las 900 866 toneladas métricas secas con una ley de 3,53 % de estaño obtenidas el año 2011, en San Rafael se

cuenta con un plan de manejo ambiental con la finalidad de mitigar los impactos negativos cuidamos los ríos aledaños a nuestras operaciones.

El relave que se produce en la planta concentradora se trata con métodos de precipitación de metales y sedimentación de sólidos, lo que permite obtener agua de buena calidad para ser devuelta a su cauce, que es utilizada en ganadería y agricultura con excelentes resultados. Realizamos un control diario y contamos con 7 puntos de monitoreo para verificar su calidad.

Tabla 4.2

Inventario de reservas totales años 2014-2015

RESERVAS MINA	Al 31 de diciembre del 2015			Al 31 de diciembre del 2014		
	Ley de Corte: 0,77 % Sn			Ley de Corte: 0,85 % Sn		
Categoría	t(miles)	%Sn	TMF	t (miles)	%Sn	TMF
Probada	2 782	2,04	56 760	1 813	1,96	35 581
Probable	2 998	1,6	47 939	2 345	1,74	40 775
Total de Reservas*	5 780	1,81	104 698	4159	1,84	76356
RECURSOS MINA**	Al 31 de diciembre del 2015			Al 31 de diciembre del 2014		
	Ley de corte: 0,30 % Sn			Ley de Corte: 0,30 % Sn		
Categoría	t (miles)	% Sn	TMF	t (miles)	% Sn	TMF
Medidos	4 462	2,71	120 786	2 746	3,04	83 364
Indicados	4 058	1,49	60 474	4 272	1,85	78 966
Total de Recursos (M + I)***	8 521	2,13	181 260	7 019	2,31	162 330
Recursos Inferidos	1 662	1,65	27 454	2 160	1,83	39 598

Fuente: Minsur (2016)

4.6.1 Métodos de explotación

Los métodos de minado considerados para el planeamiento de minado en la unidad San Rafael son: “sublevel stoping” transversal, “sublevel stoping” longitudinal y “bench and fill stoping (avoca)”, basado en el estudio “trade off” de métodos de minado para la Unidad San Rafael, elaborado por la consultora AMEC; a continuación los comentarios de las condiciones de aplicación de cada método.

“Sub Level Stopping” transversal

Utilizado en estructuras calificadas como cuerpos con potencias mayores a 10 m, (ver Anexo 9). El minado se realiza en forma de paneles primarios y secundarios transversales al rumbo de la estructura mineralizada y se empleará relleno en pasta después del minado de cada panel. La muestra la aplicación del método en cuerpos o vetas de gran potencia.

Sub Level Stopping” longitudinal

Método que se utiliza en estructuras y rocas de caja con RMR de calidad regular a buena. Se utiliza principalmente en vetas y cuerpos de mediana a alta potencia; sin embargo, puede emplearse en vetas de baja potencia si hay marcadas sinuosidades, principalmente en altura. Se utiliza relleno en pasta para dar estabilidad a las zonas de explotación pero principalmente con el fin de generar paredes auto estable en la vecindad de las zonas de minado que permita recuperar la mayor cantidad del mineral existente y asegurar la continuidad de la explotación.

Las dimensiones del bloque consideradas para los costos operativos y de capital son 100 m de largo y 56 m de altura que incluyen los niveles inferior y superior. Su aplicación está recomendada en vetas con potencias menores a 10 m principalmente por sus características de secuencia y estabilidad. La muestra el cambio del método transversal al método longitudinal, lo que es importante en minas como San Rafael, en el que ocurren cambios de cuerpos o vetas de gran potencia a vetas angostas (ver Anexo 9).

Bench and fill stopping

Aplicable preferentemente en estructuras con potencias de 3 a 10 m y con buzamiento mayor a 65°. En potencias menores puede ser también aplicable, sin embargo su productividad sería muy pobre y se requeriría equipos de menor envergadura para no impactar con sobre dilución. La roca encajonante es generalmente de baja competencia y la roca mineralizada de baja a media. Es un método altamente selectivo y de baja productividad, por lo que permite explotar cuerpos de baja regularidad y continuidad espacial. Consideran la posibilidad de aplicación en estructuras con potencias mayores a 3 m principalmente, para potenciar la utilización de

la flota general de equipos, sin impactar la selectividad del método y para incrementar su productividad por disparo.

Las dimensiones conceptuales del bloque de minado son de 150 m de largo y 56 m de altura. Se considera la construcción de una rampa de acceso principal desde donde se inician cada 20 m de separación vertical, las rampas batientes tipo cortada con las cuales se interceptará la veta en el nivel de explotación base.

El avance del minado es horizontal con la perforación de taladros verticales y voladura vertical. La perforación se realiza con equipos tipo Simba. Luego de cada voladura, el equipo de limpieza saca el mineral fragmentado.

4.6.2 Programa de avances mina

El total de avance lineal programado para el año 2016 es de 24 000 m, descompuesto en exploraciones, desarrollos y preparaciones, tal como se resume, pueden verse el detalle del plan de avances lineales para el año 2016 (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3
Programa de avances - año 2016

Labor	Und.	Ene	Feb	Mar	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Total
Exploraciones	m	250	250	250	750	750	750	3 000
Desarrollos	m	113	181	151	479	492	633	2 049
Preparaciones	m	1 610	1 476	1 637	4 755	4 808	4665	18 951
Total	m	1 973	1 907	2 038	5 984	6 050	6,048	24 000

Fuente: (Minsur, 2016)

4.6.3 Programa de producción mina

El Programa de producción del año 2016 se basa en las reservas al 31 de diciembre del 2015 de la Unidad San Rafael. El plan considera producir 896 250 ton de mineral con ley de cabeza promedio de 2,04 % Sn. El total de producción planificada el

87 % será de los tajeos, el 11 % de labores de avances y el restante de la cancha 2 (Ver tabla 4.4).

Tabla 4.4
Resumen del programa de producción

Detalle	Unid.	Ene	Feb	Mar	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Total
Mineral de Tajo	Ton.	52894	64000	69000	193250	199500	204500	783144
Ley de Sn	%	1,83	2,27	2,34	2,27	2,14	2,04	2,16
Mineral de avances	Ton.	9 500	8 500	8 500	25 500	25 500	25 500	103 000
Ley de Sn	%	1,43	1,13	1,11	1,08	1,2	1,44	1,24
Cancha 2	Ton	10 106						10,106
Ley de Sn	%	1,5						1,5
Total mineral	Ton.	72 500	72 500	77 500	218 750	225 000	230 000	896 250
Ley de Sn	%	1,3	2,14	2,2	2,13	2,04	1,97	2,04

Fuente: Minsur (2016)

4.7 Operaciones unitarias

4.7.1 Perforación

La perforación es la primera operación, en la preparación de una voladura. En las labores de preparación y explotación se realiza equipos jumbos electrohidráulicos para optimizar la perforación de taladros en frentes de secciones mayores a 3 m x 3 m y elevar el rendimiento en el ciclo de perforación en minería subterránea por el método mecanizado. El ciclo de minado comprende varias etapas y uno de los más importantes es la perforación y en Minsur S.A. para lograr este objetivo, el área de operaciones mina cuenta con 8 equipos de perforación principales y 2 equipos que son alquilados por la contrata de Maquicen.

4.7.2 Voladura

La voladura, como se suele decir en mina es la actividad principal, que permite cumplir con las objetivos de producción trazados en Minsur S.A. Unidad minera San Rafael. Como ya es de conocimiento, en la unidad minera se utiliza el método de

explotación sub level stoping, el cual permite explotar el mineral a un bajo costo de producción.

El objetivo de la voladura es pues sin lugar a dudas producir mineral de una granulometría adecuada, para alimentar las tolvas, para cumplir con este objetivo se diseña una malla específica según el terreno y datos de geología y geomecánica. La operación unitaria de voladura de rocas ha sufrido varios cambios a raíz del cambio en la potencia de cuerpos a vetas, en primer lugar nos obligó a incrementar el número de personal e implementar así, controles operacionales más rigurosos de tal manera que nos permitiera un mejor manejo de la dilución, bajo el esquema de explotación de vetas se ha planteado un factor de potencia objetivo de 0,68 kg/ ton. A continuación se muestra un cuadro comparativo de la evolución de la cantidad de personal a utilizar en la voladura. Se dispara según necesidades de producción.

La cara libre se hace a partir de una chimenea VCR de 2m x 2m y se forma el slot (zanja) abriendo hacia las cajas de la estructura mineralizada. La voladura de producción se hace disparando secciones en cada subnivel en forma de gradines invertidos, y de acuerdo a la secuencia de minado. La voladura es controlada para evitar vibraciones excesivas, la carga es desacoplada para proteger la caja techo y en los demás taladros se usan “decks” para disminuir la masa explosiva. (ver figura del anexo 12).

4.7.3 Sostenimiento

La unidad San Rafael, cuenta con diferentes tipos de sostenimiento donde los Geomecánicos determinan el tipo de sostenimiento para cada labor.

Tipos de sostenimiento en la mina

En la unidad San Rafael vienen instalando los siguientes tipos de sostenimiento:

- Malla de 2.4m x 6.0m
- Pernos helicoidales de 7 pies y 10 pies
- “Split Sets” de 3 y 5 pies
- Cuadros de madera
- Cimbras de acero
-

- “Wood packs”
- “Shotcrete”
- “Cable bolting”

4.7.4 Acarreo y extracción

En la actualidad el acarreo de mineral de los tajos a los puntos de carguío (rampas directas u ore pass), se realiza con scooptram. Así mismo los rompe bancos que trabajan en la fragmentación de mineral en la parrilla de los orepass. El acarreo se realiza con equipos de LHD scoop de 6,5 yd³, los cuales desde los puntos de carguío de los tajos acarrear el mineral hasta la parrilla de los echaderos. Cuando el mineral se encuentre en un lugar donde no hay tajo vacío, el operador a la caída de mineral de las labores o por un ocasional planchoneo de mineral. El telemando de los scooptram tiene un alcance aproximadamente de 100 m. El mineral es extraído desde las tolvas, los cuales se encuentran a lo largo de la rampa principal haciendo uso de volquetes marca volvo modelo FMX de 25 ton de capacidad promedio.

CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Diagnóstico inicial de red de ventilación

El diagnóstico de red de ventilación se realizó con toma de datos de campo como los ingresos y salidas principales de aire; donde se ha llegado a determinar la cobertura de los subsistemas con sus respectivos requerimientos e ingreso de aire.

5.1.1 Ingreso principal de aire

Se tiene 4 ejes principales de ingreso de aire fresco como: Zapata, San Rafael, Carabaya y la rampa 523; donde el mayor caudal se ha determinado con un promedio de 267 76 cfm en los ejes Carabaya y rampa 523 (ver Tabla 5.1).

5.1.2 Salida de aire viciado

Se tiene 4 ejes principales de salida principal de aire viciado como: 370-36, alimak, umbral y 4820; donde el mayor caudal se ha determinado con un promedio de 267 176 cfm en los ejes Carabaya y rampa 523 (ver Tabla y Figura 5.2).

5.1.3 Aire en subsistemas

Se ha tomado en subsistemas la red de ventilación para su diagnóstico por la complejidad que compone un gran número de ramales. Por tanto en esta etapa se efectuó el levantamiento de zonas alta y baja con sus respectivos caudales de los ingresos y salida en cada una de los subsistemas (ver Tabla 5.4 y plano del Anexo 28).

Tabla 5.1
Ingreso de aire

Estación	Eje	Nivel	Labor	Sección		Caudal Aire	
				Transversal (m ²)	Velocidad Aire (m/min)	m ³ /min	pies ³ /min
E-ZAP 1	Zapata	4450	Gal 450-Sur	9,66	398	3 845	135 774
E-ZAP 2	Zapata	4533	Gal 4533 Norte J.	6,21	268	1 664	58 773
E-SR 1	San Rafael	4666	Gal 666	13,06	198,67	2 595	91 629
E-SR 2	San Rafael	4600	Gal 800	11,93	195,33	2 330	82 293
E-SR 3	San Rafael	4730	Gal 730	9,79	132,67	1 299	45 868
E-SR 4	San Rafael	4730	Chim-730	9,35	74	692	24 434
E-CAR 1	Carabaya	5000	RB-3B-1	10,18	673,33	6 855	242 064
E-CAR 2	Carabaya	5000	RB-3B-2	10,18	713,33	7 262	256 444
E-RPA 1	Rampa 523	Bocamina	Rp-523	24,8	346	8 581	303 028
TOTAL						1 240 309	

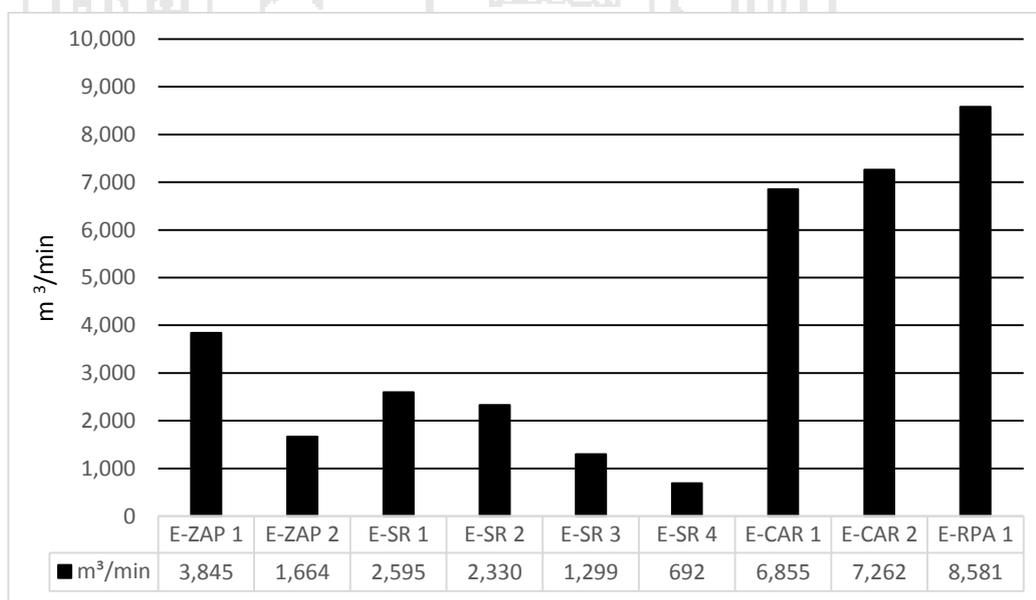


Figura 5.1: Ingreso principal de aire

Tabla 5.2
Salida de aire viciado

Estación	Eje	Nivel	Labor	Sección Transversal (m ²)	Velocidad Aire (m/min)	Caudal Aire	
						m ³ /min	pies ³ /min
EU1	370-36	Superficie	Chimenea	1,55	366	567	20 034
EU2	370-36	Superficie	Galería 4890	6,02	137	827	29 196
EU3	370-36	Superficie	Chimenea	7,7	84	647	22 842
E-ALIMAK	Alimak	Superficie	Chimenea Alimak	12,4	286	3 555	125 532
E-UMBRAL 1	Umbral	5070	Chimenea Umbral	11,34	981	11 133	393 100
	Umbral 2	Superficie	BP Extracción 4200 N	21,42	285	6 098	215 358
E-820 1	820	4820	Chimenea RB 4C-1	10,18	652	6 637	234 396
E-820 2	820	4820	Chimenea RB 4C-2	10,18	690	7 024	248 057
Total						36 488	1 288 516

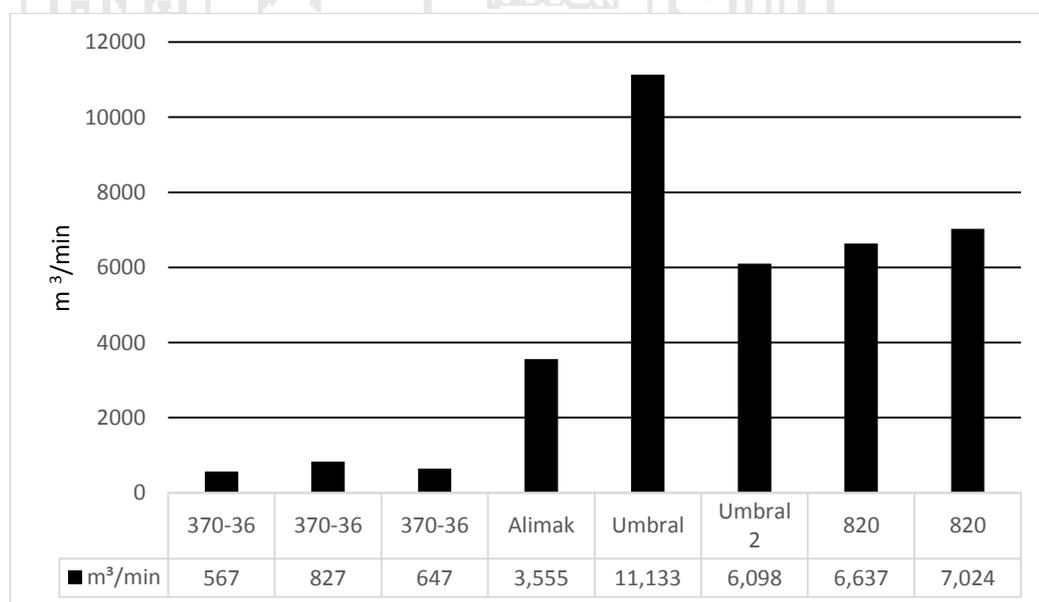


Figura 5.2: Salida principal de aire viciado

Cobertura de aire

En el diagnostico se ha efectuado la cobertura correspondiente en cada de los subsistemas; donde se ha llegado a un promedio de 90 % que nos es el adecuado cobertura. En el subsistema de la zona baja es la que tiene menor cobertura que llega a 86 % (Ver Tabla 5.3).

Tabla 5.3
Aire por subsistema

		Niveles en actividad	Ingreso (m ³ /s)	Salida (m ³ /s)	Ingreso pie ³ /min	Salida pie ³ /min
SUBSISTEMA I	ZONA ALTA	4533-4520-4502-4485-4450-4340-4424-4417	21,7	25,6	45 979	54 243
			2,90	25,6	6 144	5 424
			17,5	13,1	37 080	27 757
SUBSISTEMA II		4370-4364-4352-4340-4310-4302	24,5	41,5	51 912	87 933
			18	23,9	38 139	50 649
			19		40 258	0
SUBSISTEMA III		4239-4200-4224-4194-4185-4198-4170-4150-4120-4100	29	49,4	61 447	104 672
			19,1	52,9	40 470	112 088
			25		52 972	0
		27,7		58 692	0	
SUBSISTEMA IV	ZONA BAJA		36,4	45	77 127	95 349
			17,4	75	36 868	158 916
		4090-4080-4050-4030-4017-4000-3966-3950-3925-3900	37	98	78 398	207 650
			25,141	38,6	53 270	81 788
			32,5		68 863	
			69		68 863	
		43		146 202		
SUBSISTEMA V			36	38,7	91 111	82 000
		3800-3850-3750-3700-3766-3650	27,4	36,8	76 279	77 974
			15,1	40,6	58 057	86 026
			9,7		31 995	
		12,6		20 553		
TOTAL					1 240 691	1 281 295

Tabla 5.4
Cobertura de aire

SISTEMAS	INGRESO DE AIRE (cfm)	REQUERIMIENTO (cfm)	COBERTURA (%)
SUBSISTEMA I	119 293	130 130	92%
SUBSISTEMA II	133 913	148 659	90%
SUBSISTEMA III	220 999	234 659	94%
SUBSISTEMA IV	521 564	576 184	91%
SUBSISTEMA V	244 540	283 303	86%

5.2 Diseño de red de ventilación

El sistema de ventilación en mina san Rafael es grande y bastante complejo, que se compone de un gran número de circuitos.

5.2.1 Ingreso de aire

Los circuitos primarios incluyen cuatro entradas principales. Como vías principales de ingreso de aire fresco a la mina destacan la bocamina rampa 523, Carabaya 1 ,2 y 3, San Rafael y Zapata (ver Anexo N° 29). Los ingresos de caudales mayores Carabaya, rampa 523 y Zapata (ver Tabla y Figura 5.5).

5.2.2 Salida de aire viciado

Las chimeneas de ventilación Umbral, Umbral 2, RB 4820, y Alimak constituyen las vías principales de salida de aire usado de la mina (Ver Tabla y Figura 5.6). El mayor caudal registrado es en la rampa 523 con un caudal de 8696 m³/min equivalentes a 307 115 cfm después Carabaya con 7716 m³/min equivalente a 272 503 cfm.

5.2.3 Requerimiento de aire por subsistemas

El requerimiento se ha realizado para cada subsistema donde se ha tenido un requerimiento considerable en los subsistemas III y IV porque en estos subsistemas se encuentra mayores labores ya sea de producción, desarrollo y exploración.

Los equipos que cuenta la mina son como: jumbos, simba grúas, volquetes, scooptram, Scamec, Bolter y para el traslado de personal los camioncitos y camionetas; el conteo de todos estos equipos son de la diferentes contratistas mineras con diferente servicios.

Tabla 5.5
Ingreso de aire

Estación	Eje	Ubicación	Sección Transversal (m ²)	Velocidad Aire (m/min)	Caudal de aire	
					m ³ /min	pies ³ /min
E-ZAP 1	Zapata	Nv-4450 Zapata Galería 450 Sur	9,66	354	3 419	120 763
E-ZAP 2	Zapata	Nv-4533, Zapata, Galería 4533 Norte Jorge	6,21	271	1 684	59 504
E-SR 1	San Rafael	Nv-4666, San Rafael, Galería 666	13,06	142	1 854	65 491
E-SR 2	San Rafael	Nv-4600, San Rafael, Galería 600	11,93	164	1 956	69 093
E-SR 3	San Rafael	Nv-4730, San Rafael, Galería 730	9,79	61	600	21 204
E-SR 4	San Rafael	Nv-4730, San Rafael, Chimenea 730	9,35	63	592	20 912
E-CAR 1	Carabaya 1	Superficie Nv-5000, Carabaya, RB-3B-1	10,18	589	5992	211 627
E-CAR 2	Carabaya 2	Superficie Nv-5000, Carabaya, RB-3B-2	10,18	551	5 605	197 966
E-CAR 3	Carabaya 3	Superficie Nv-5000, Carabaya, RB-3B-3	10,18	758	7 716	272 503
E-RPA 1	Rampa 523	Bocamina 523, Rampa Principal	24,8	351	8 696	307 115
Total					38 119	1 346 183

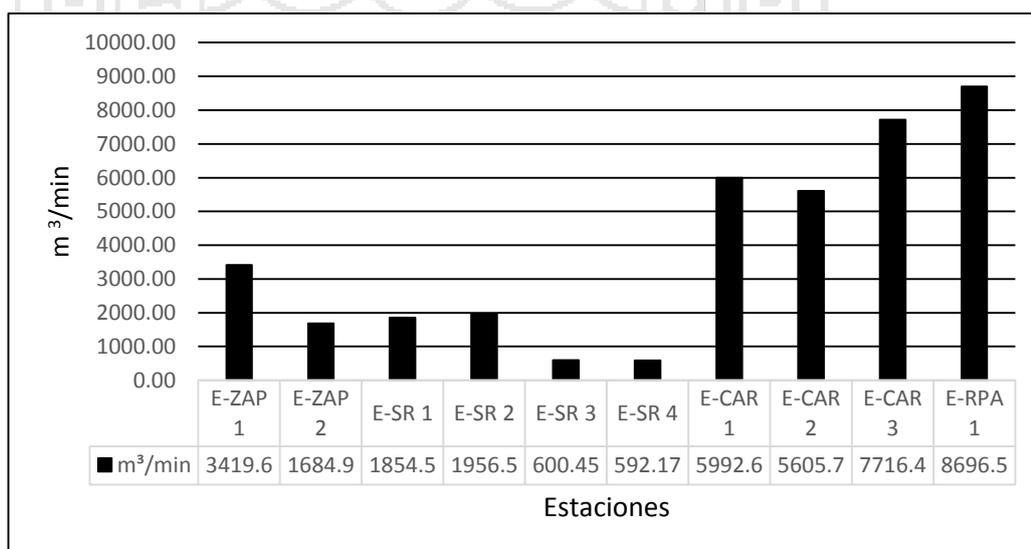


Figura 5.3: Ingreso de aire por estaciones.

Tabla 5.6
Salida de aire viciado

Estación	Ubicación	Sección Transversal (m ²)	Velocidad Aire (m/min)	Caudal Aire	
				m ³ /min	pies ³ /min
EU1	Superficie Chimenea 370-36	1,55	212,67	329	11 640
EU2	Nv-4890, Galería 4890	6,02	78	469	16 582
EU3	Superficie Chimenea 370-36	7,7	40,67	313	11 058
E-ALIMAK	Nv-4200, Galería San Rafael	10,54	356,67	3 758	132 717
E-UMBRAL	Superficie Nv-5070, Chimenea Umbral	11,34	840,87	9 536	336 731
E-UMBRAL 2	Nv-4200, By Pass 4200 N	19,44	328,67	6 389	225 638
E-820 1	Superficie Nv-4820, RB 4C-1	10,18	702,67	7 153	252 610
E-820 2	Superficie Nv-4820, RB 4C-2	10,18	732	7 451	263 156
E-VOLCAN 1	Galería 4533	11,78	422	4 970	139 000
Total				40 371	1 389 135

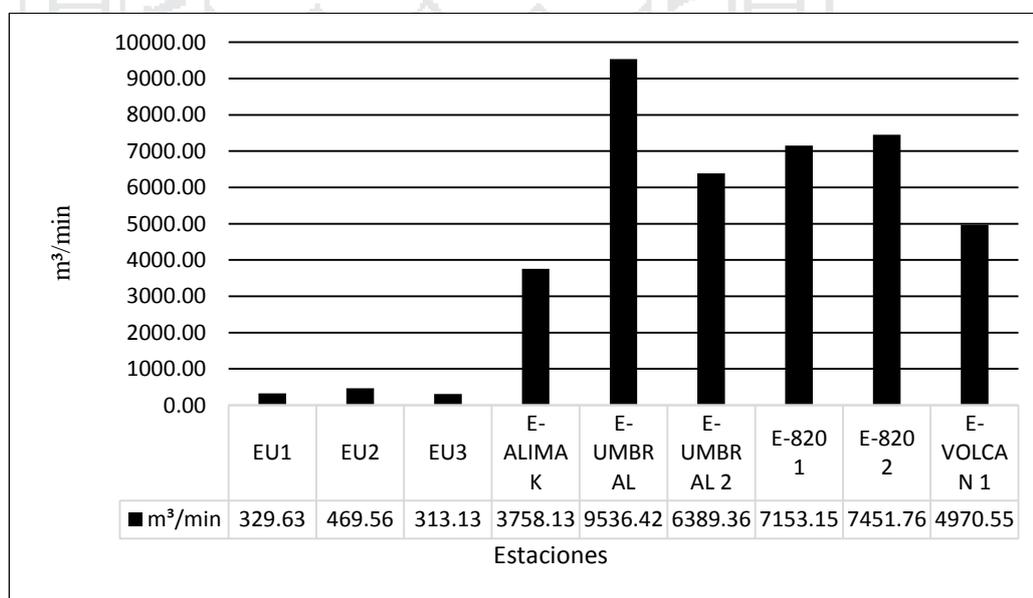


Figura 5.4: Salida de aire viciado por estaciones.

5.2.4 Resumen de requerimiento general de la mina

El requerimiento de aire fue menor en comparación con el diagnóstico en un 70 720 cfm por disminución de equipos como volquetes, scoop y camionetas; que son los que requieren la mayor parte de aire (ver tabla 5.7).

Tabla 5.7
Resumen de requerimiento de aire

Requerimiento de aire para la mina		
Descripción	m ³ /min	pies ³ /min
Equipos	34 852	1 230 798
Personal	2 022	71 417
Total	36 874	1 302 215

5.2.5 Distribución de aire por subsistemas

Se ha tomado los ingresos y salidas para cada subsistema donde se midieron las velocidades y sus áreas para calcular los caudales (ver Tabla 5.8 y plano del Anexo N°28) y así se ha determinado el aire para cada uno de los subsistemas.

5.3 Simulación de red de ventilación

La simulación se ha realizado una vez que ya se hizo el diseño de red de ventilación donde específicamente se simuló el flujo de aire que recorre los diferentes puntos de la mina.

5.3.1 Introducir o importar a Ventsim Visual

Se ha importado las líneas unifilares tomados de topografía (ver plano del Anexo 27) que luego se ha introducido la dimensión de las secciones en los diferentes labores que forman parte del circuito de ventilación (ver Figura 5.5).

5.3.2 Visualización previa a la simulación

Asegurarse de que se han introducido correctamente los datos geométricos y de dimensiones, que las entradas y salidas de aire están operativas y que las pérdidas de carga en puntos singulares han sido incluidas en las características de la correspondiente rama (ver Figura 5.6).

Tabla 5.8
Distribución de aire por subsistemas

Sistemas	Zona	Niveles	Ingreso (m ³ /s)	Salida (m ³ /min)	Ingreso pie ³ /min	Salida pie ³ /min
SISTEMA I	Zona alta	4533-4520-4502-4485-	19,7	1776	4 1741	62 718
		4450-4340-4424-4417	16,6	1056	3 5173	37 292
			12,4	816	26 274	28 816
SISTEMA III		4370-4364-	27,9	2490	59 116	87 933
		4352-4340-	17	1482	36 020	52 336
		4310-4302	19		40 258	0
SISTEMA II		4239-4200-4224-4194-	32,01	5160	67 825	182 223
		4185-4198-	18	1560	38 139	55 090
		4170-4150-	27,2		57 633	
		4120-4100	36,4		77 127	
SISTEMA IV	Zona baja		42,5	3774	90 052	133 277
		4090-4080-	38,4	5118	81 364	180 740
		4050-4030-	55,8	6642	118 233	234 560
		4017-4000-	30,8	2178	65 261	76 915
		3966-3950-	33,8		71 618	
		3925-3900	50,5		107 003	
			43,3		91 747	
SISTEMA V			36,5	2424	77 339	85 602
	3800-3850-	27,4	2880	58 057	101 706	
	3750-3700-	15,1	2099	31 995	74 158	
	3766-3650	13,5		28 604		
		21,5		45 555		
TOTAL						1 393 373

5.3.3 Introducir los ventiladores

Ingresar los ventiladores de acuerdo a la curva característica del tipo ventilador que el fabricante te facilita .Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva y para cada ángulo de regulación de los alabes 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. Cada ventilador tiene una curva característica para cada ángulo de los alabes (ver Figura 5.9).

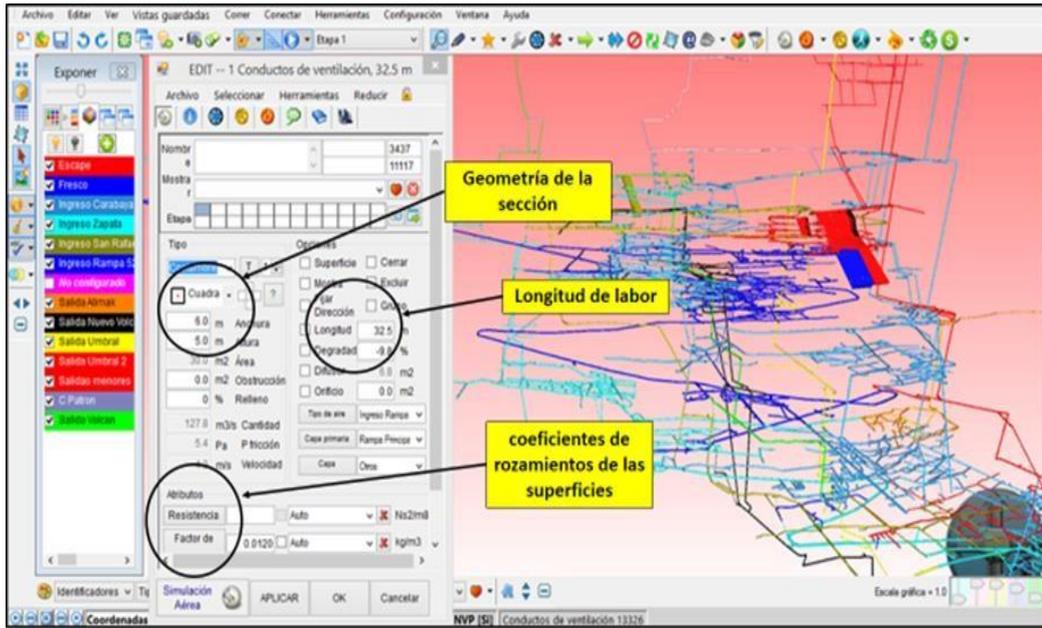


Figura 5.5: Ventana de herramientas de Software Ventsim Visual

Software de airtec

Este software de Airtec nos permite seleccionar los ventiladores axiales de acuerdo a las características requeridas de mina ; y en esta versión tiene una herramienta para exportar directamente al software Ventsim Visual la curva de ventilador que manualmente es tedioso ingresar; además nos muestra todos los ventiladores con diferentes característica que están disponibles en el mercado (ver figura 5.7-5.8).

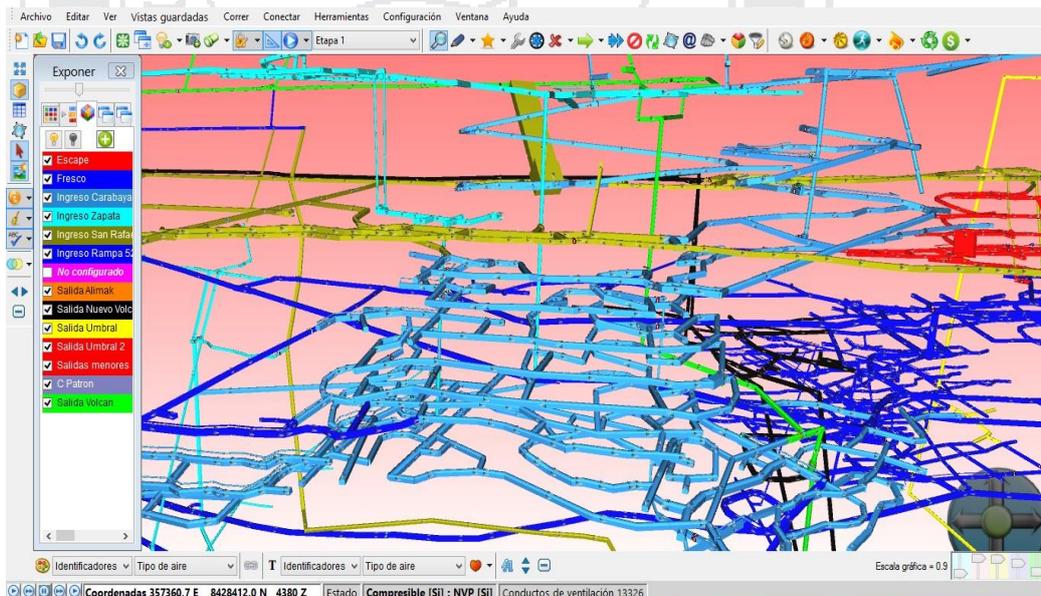


Figura 5.6: ventana de simulación de software Ventsim Visual



Figura 5.7: Software de Airtec 2011

FACTOR DE CORRECCION POR ALTITUD Y TEMPERATURA

Temp. (mm)	Sea	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
3400 m	0.713	0.712	0.687	0.663	0.642	0.621	0.602	0.584	0.567	11154.86	pies	
3500 m	0.705	0.705	0.680	0.657	0.635	0.615	0.596	0.578	0.561	11482.94	pies	
3600 m	0.697	0.698	0.673	0.650	0.629	0.609	0.590	0.572	0.556	11811.02	pies	
3700 m	0.689	0.691	0.667	0.644	0.623	0.603	0.584	0.567	0.550	12139.11	pies	
3800 m	0.682	0.685	0.660	0.638	0.617	0.597	0.579	0.561	0.545	12467.19	pies	
3900 m	0.676	0.678	0.654	0.632	0.611	0.592	0.573	0.556	0.540	12795.28	pies	
4000 m	0.670	0.672	0.648	0.626	0.605	0.586	0.568	0.551	0.535	13123.36	pies	
4100 m			0.642	0.620	0.600	0.581	0.563	0.546	0.530	13451.44	pies	
4200 m			0.636	0.614	0.594	0.575	0.557	0.541	0.525	13779.53	pies	
4300 m			0.630	0.609	0.589	0.570	0.552	0.536	0.520	14107.61	pies	
4400 m			0.624	0.603	0.583	0.565	0.547	0.531	0.515	14435.70	pies	
4500 m			0.619	0.598	0.578	0.560	0.542	0.526	0.511	14763.78	pies	
4600 m	0.629	0.636	0.613	0.592	0.573	0.555	0.538	0.521	0.506	15091.86	pies	
4700 m	0.623	0.630	0.618	0.597	0.578	0.560	0.543	0.526	0.511	15419.95	pies	
4800 m	0.617	0.625	0.615	0.594	0.575	0.557	0.540	0.523	0.508	15748.03	pies	
4900 m			0.612	0.591	0.572	0.554	0.537	0.520	0.505	16076.12	pies	
5000 m			0.607	0.586	0.567	0.549	0.532	0.515	0.500	16404.20	pies	
	50 °F	68 °F	86 °F	104 °F	122 °F	140 °F	158 °F					

Características del ventilador

- Tipo ventilador: Axial
- Diámetro de la masa: 26.5"
- Diámetro de la carcasa: 5"
- Número de polos: 4A
- Capacidad del ventilador: DOBLE ETAPA
- Características del Ducto: Sin Cono

Características del ventilador

VAV - 54 - 26.5 - 1750 - II - A

FACTOR: 0.603

Resultados por Eficiencia:

Ventilador	Eficiencia
VAV40254A	84.33 % SIN CONO
VAV40254B	79.83 % SIN CONO
VAV54264B	77.82 % SIN CONO
VAV40304B	73.10 % SIN CONO
VAV54304B	71.64 % SIN CONO
VAV48264B	69.89 % SIN CONO

Figura 5.8: Características del ventilador

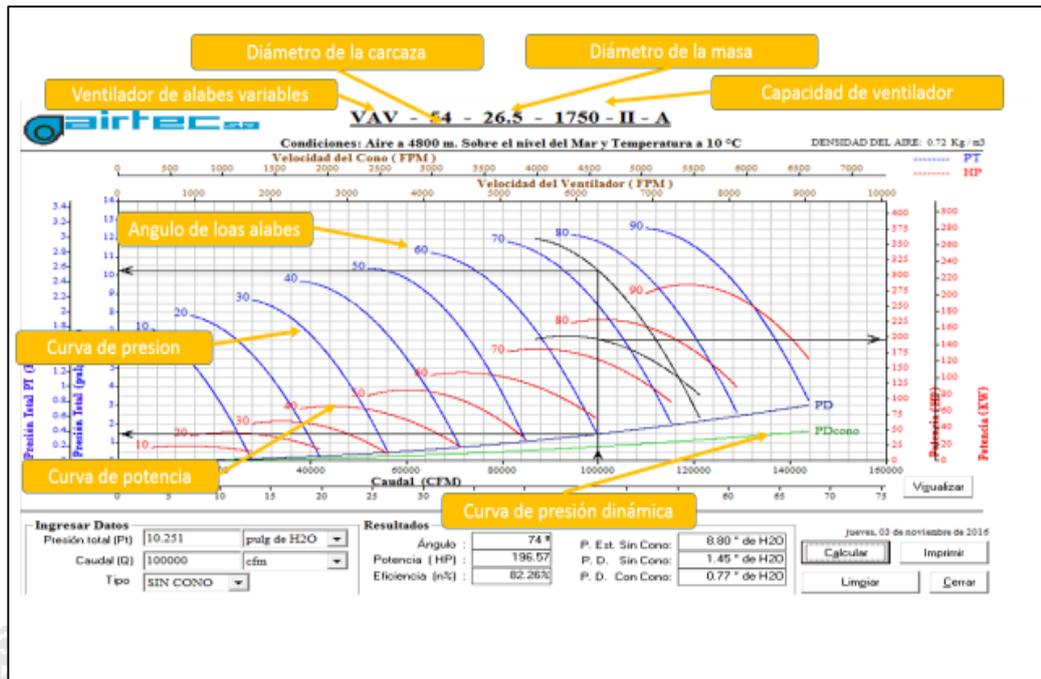


Figura 5.9: Curva del ventilador y todas sus partes

Además se tomó en consideración la curva del ventilador que cada fabricante lo facilita (ver figura 5.9-5.10).

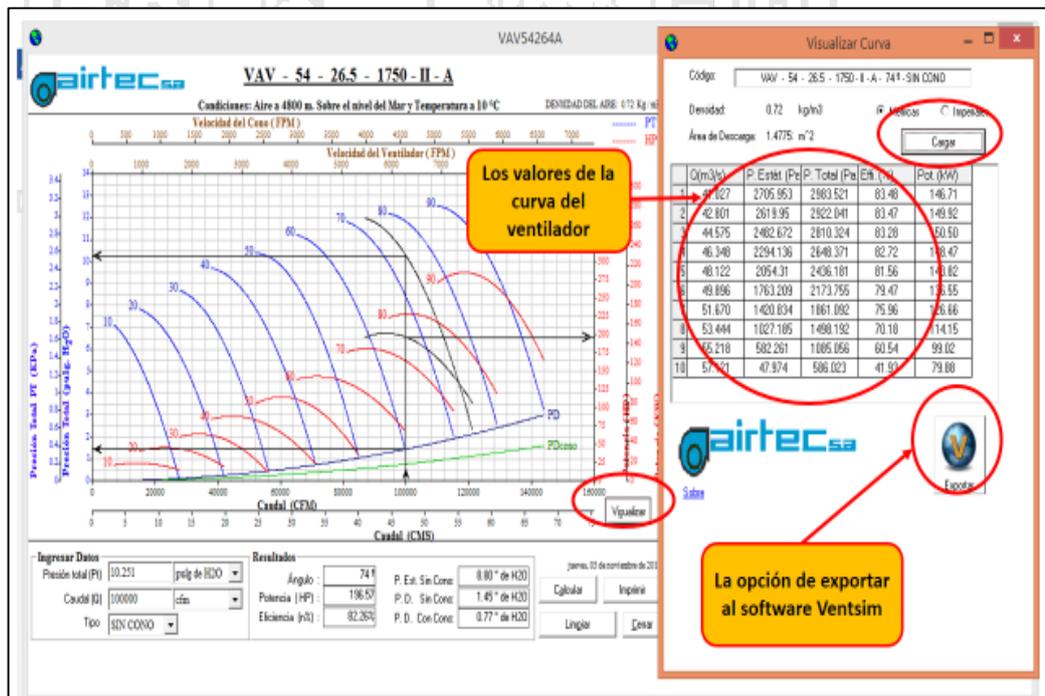


Figura 5.10: simulación de flujo de aire en software Ventsim

5.3.4 Simulación de los ventiladores

Características de ventiladores

Ventilador 100 000 cfm

Es un ventilador de alabes variable de 100 000 cfm con una presión de 2835,4 pa Equivalente a 11,3 pulg de H₂O con una potencia de 239,14 hp y con una eficiencia de 72 %.(Ver Figura 5.11-5.12).

Ventilador de 5 000 cfm

Se simulado ventiladores auxiliares de alabes variable de 5 000 cfm con una presión de 1 505.5 pa. Equivalente a 6 pulg. de H₂O con una potencia de 14,8 hp y con una eficiencia de 40,5 %.

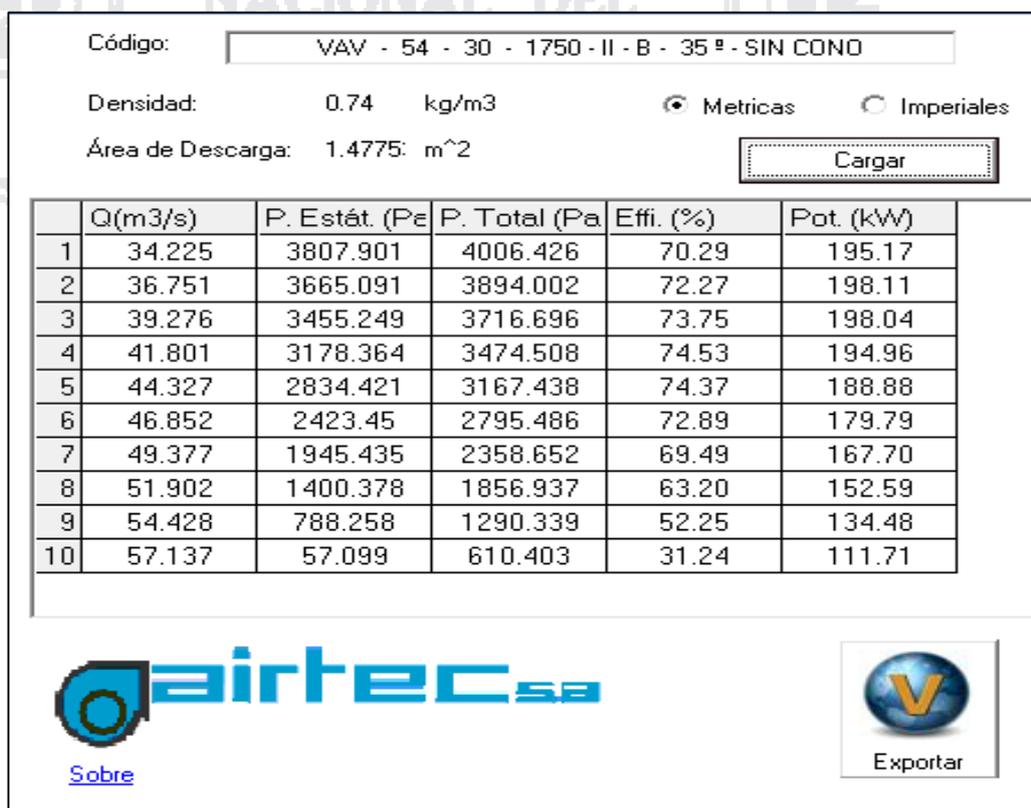


Figura 5.11: Características de ventilador de 100 000 cfm

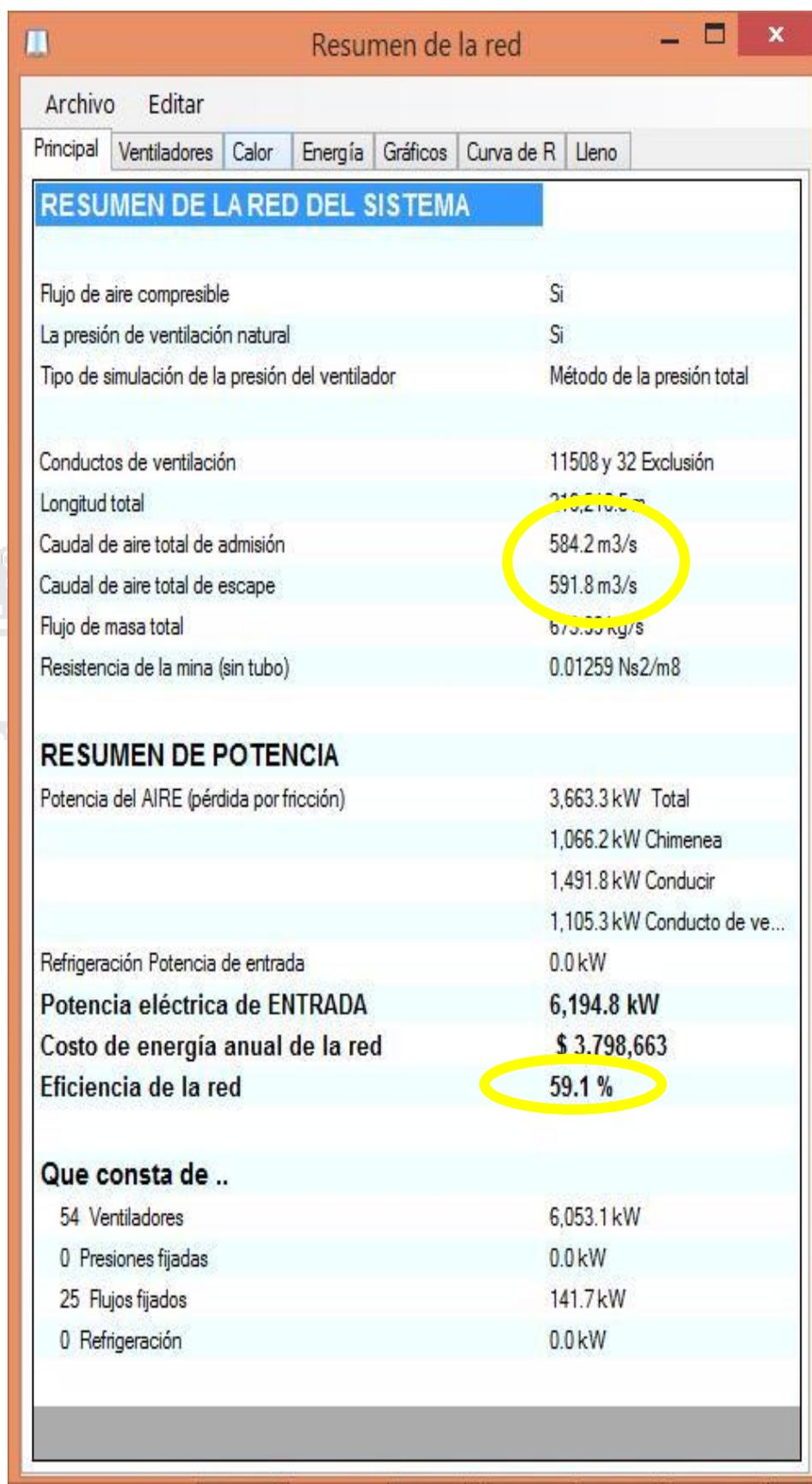


Figura 5.13: Ventana de resumen de red software Ventsim

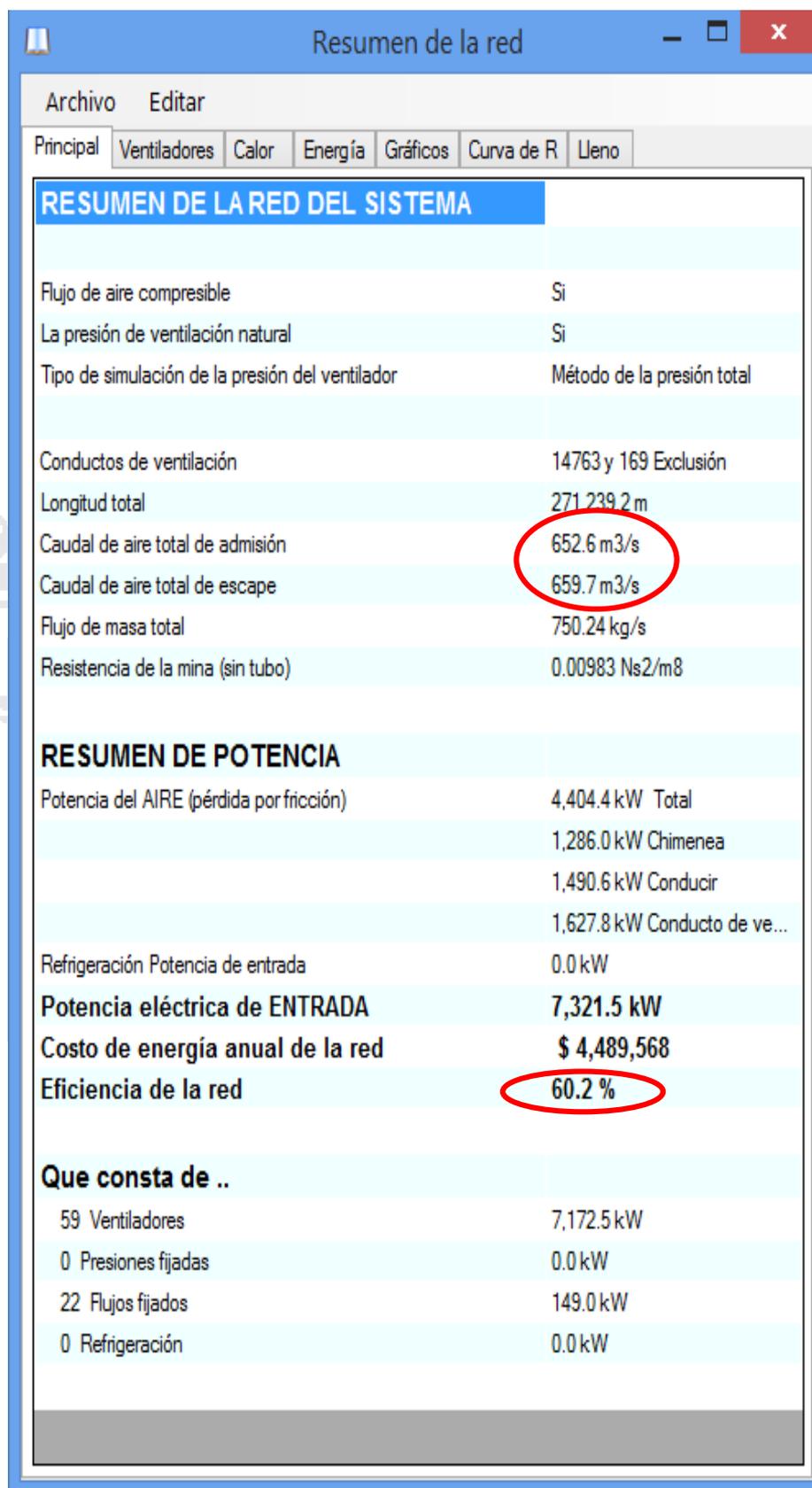


Figura 5.14: Ventana de resumen de red en software Ventsim

5.3.6 Recirculaciones y estancamiento de ventiladores

En el software Ventsim Visual se encontraron recirculaciones de aire viciado que inminente este problema ya que la red de ventilación es muy compleja y además hay constantes modificaciones de las direcciones de flujo por cambio planeamiento. Se ha encontrado en el nivel 4200,4328 y 4480 (ver Figura 5.15).

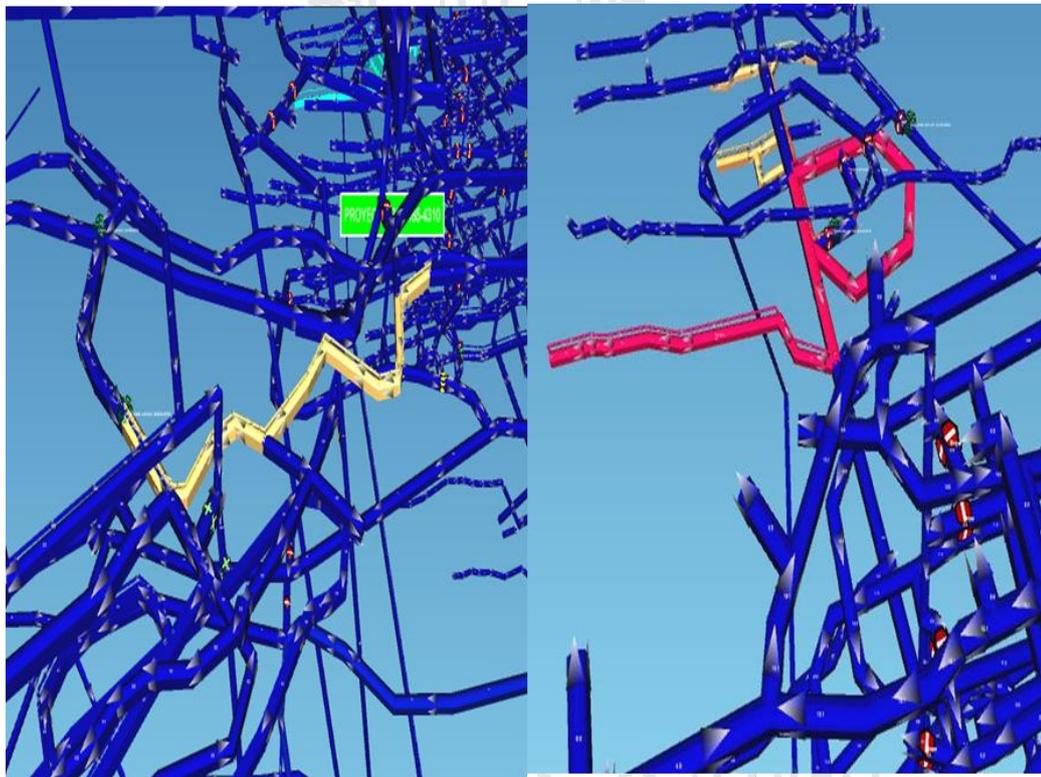


Figura 5.15: Recirculación de aire viciado

El software Ventsim Visual nos facilita también los problemas con los ventiladores ya no todos trabajan de acuerdo a sus características porque el sistema es variable y por eso es muy importante verificar el desarrollo de los ventiladores; se puede observar en 5 puntos de la mina que no están desarrollando eficientemente por ello tenemos que regular la curva del ventilador. Se puede observar en la siguiente figura (Ver Figura 5.16); las diferencias de un ventilador que está trabajando bien y deficiente.

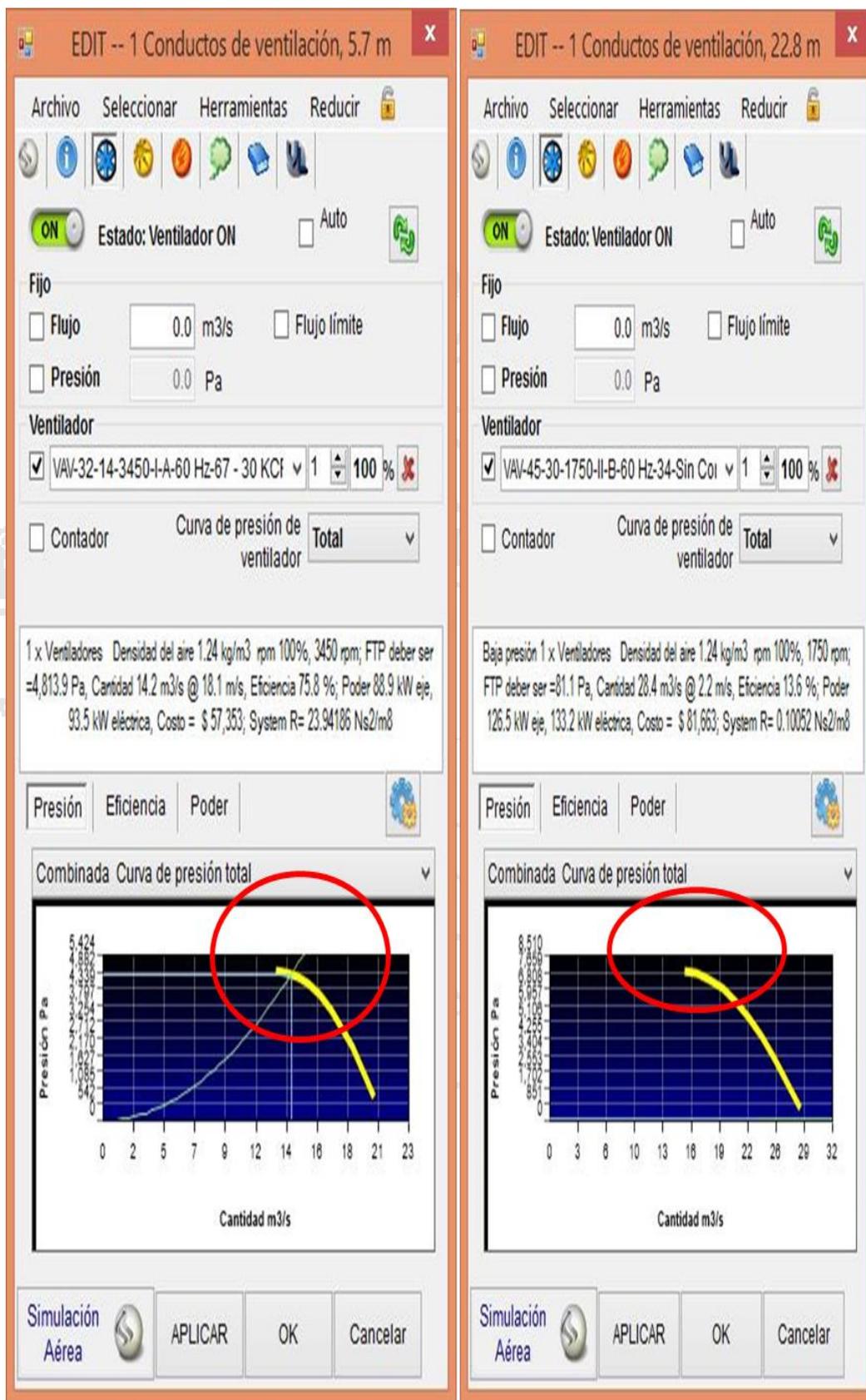


Figura 5.16: Ventana de curva de ventilador

5.3.7 Proyectos RB (Raise Boring) simulados

- RB 1 está ubicado de nivel 4340 al 4520 con un diámetro de 3.1 m que permite el flujo de 1230 m³/min (ver Figura del anexo 21); en condición de salida de aire viciado que ayudara a tener mejor distribución en el subsistema I y II.
- RB 2 está ubicado de nivel 4200 al 4302 con un diámetro de 2.4 m que permite el flujo de 1590 m³/min en condición de ingreso a 2 niveles 4285 y 4200 (Ver figura del Anexo 19); que ayudara a tener mejor distribución en el subsistema II y III.
- RB 3 está ubicado de nivel 3900 al 4450 con un diámetro de 2.4 m que permite el flujo de 1458 m³/min (ver Figura del Anexo 20); en condición de ingreso; que ayudara a tener mejor distribución en el subsistema III y IV.
- RB 4 está ubicado de nivel 3650 al 3750 con un diámetro de 3.1 m que permite el flujo de 396 m³/min (ver Figura del Anexo 17); en condición de ingreso; que ayudara a tener mejor distribución en el subsistema V.
- RB 4 está ubicado de nivel 3650 al 3700 con un diámetro de 3.6 m que permite el flujo de 396 m³/min (Ver Figura del Anexo 17); en condición de ingreso; que ayudara a tener mejor distribución en el subsistema V (Ver Tabla 5.9).

Tabla 5.9
Proyectos de RB (Raise Boring) ejecutados.

	Diámetro (m)	Longitud (m)	Niveles	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/min)	Condición
RB 1	3,1	164,8	4340-4520	20,5	1 230	SALIDA
RB 2	2,4	105,7	4200-4302	26,5	1 590	INGRESO
RB 3	2,4	304,3	3900-4200	24,3	1 458	SALIDA
RB 4	3,1	58,3	3700-3750	6,6	396	INGRESO
RB 5	3,6	50,3	3650-3700	6,6	396	INGRESO

5.4 Cobertura de aire

5.4.1 Campo

Cobertura de aire por subsistemas

En la cobertura efectuada se ha llegado a un promedio de 102.9 % en los 5 subsistemas con el aumento de caudal de aire. (ver Tabla 5.10).

Tabla 5.10
Cobertura de aire

Sistemas	Ingreso de aire (cfm)	Requerimiento (cfm)	Cobertura
SUBSISTEMA I	103 189	102 160	101%
SUBSISTEMA II	135 396	132 428	102%
SUBSISTEMA III	240 725	234 658	102%
SUBSISTEMA IV	625 281	602 388	103%
SUBSISTEMA V	241 552	230 577	104%

5.4.2 Software Ventsim Visual

Cobertura de aire por subsistemas

En la cobertura efectuada se ha llegado a un promedio de 103. % en los 5 subsistemas con el aumento de caudal de aire (ver Tabla 5.11).

Tabla 5.11
Cobertura de aire por subsistemas

Sistemas	Ingreso de aire (cfm)	Requerimiento (cfm)	Cobertura
SUBSISTEMA I	112 348	102 160	110 %
SUBSISTEMA II	143 456	132 428	108 %
SUBSISTEMA III	248 053	234 658	105 %
SUBSISTEMA IV	631 875	602 388	104 %
SUBSISTEMA V	247 047	230 577	107 %

5.5 Relación final de datos

5.5.1 Caudal de campo y software Ventsim Visual

Los datos obtenidos de campo y el software Ventsim no son exactas hay una diferencia de 36 635,44 cfm y para cada subsistema hay una variación relativa decreciente hasta llegar al subsistema IV. (ver Tabla 5.12).

Tabla 5.12
Caudal de campo y software

Sistemas	Campo	Software	Diferencia (pies ³ /min)
	Ingreso de aire	Ingreso de aire	
SUBSISTEMA I	103 189	112 348	9 158
SUBSISTEMA II	135 396	143 456	8 059
SUBSISTEMA III	240 725	248 053	7 327
SUBSISTEMA IV	625 281	631 875	6 094
SUBSISTEMA V	241 552	247 047	5 495
TOTAL	1 346 145	1 382 781	36 635

5.5.2 Cobertura de aire

La cobertura en el diagnostico se ha tenido un promedio de 90%; donde existe una ligera diferencia entre los datos de campo y el software Ventsim. La cobertura en el proyecto realizado se ha tenido un promedio 103 %; donde existe diferencia de 0.36 % entre los datos de campo y el software Ventsim (ver Tabla 5.13).

Tabla 5.13
Relación de cobertura de diagnóstico y proyecto.

		Ingreso	Requerimiento	Superávit/déficit	Cobertura	Diferencia
Diagnostico	Campo	1 240 309	1 372 935	-132 625	90 %	-0,18%
	Software	1 237 849	1 372 935	-135 085	90 %	
Proyecto	Campo	1 346 145	1 302 214	43 930	103 %	2,81%
	Software	1 382 781	1 302 214	80 566	106 %	

5.6 Calibración de red de ventilación

La calibración es indispensable en la red de ventilación ya que esto nos contrasta resultados verídicos y con menores errores; se ha realizado los ajustes de datos de campo como: Medición de caudales en los labores de producción, desarrollo y exploración; donde se puede guardar en el software (Ver figura del anexo 25), Calibrar los factores de fricción (k) de acuerdo a la rugosidad de superficie Ajustar las áreas de los ramales principales (ver Anexo 23) y Simulación de puertas, reguladores, tapones y otras resistencias que se hallen instalada en mina. (ver figura del Anexo 26).

5.6.1 Resultados de la calibración en software Ventsim Visual

Con el modelo logrado se procede a verificar la validez de la calibración mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Variacion} = \frac{\sum \text{flujo de campo} - \sum \text{flujo simulado}}{\sum \text{flujo de campo}} * 100$$

$$\text{Variacion} = \frac{1\ 346\ 145 - 1\ 382\ 781}{1\ 346\ 145} * 100$$

$$\text{Variacion} = \frac{1\ 346\ 145 - 1\ 382\ 781}{1\ 346\ 145} * 100$$

$$\text{Variacion} = -2,72\%$$

La calibración se encuentra dentro de los parámetro refrendada en un rango de ±10% según (OPSIVEN, 2015) para obtener datos confiable en magnitud y dirección de los caudales que nos permite hacer proyecciones con los diseños proyectados según las necesidades de ingeniería y planeamiento.

5.7 Antecedentes de cobertura de aire

La cobertura ha ido aumentando conforme pasaba los meses en 6 % esto debido a la disminución de requerimiento de aire ya que la unidad minera está disminuyendo el número de frentes y obviamente las reservas (ver Figura 5.17).

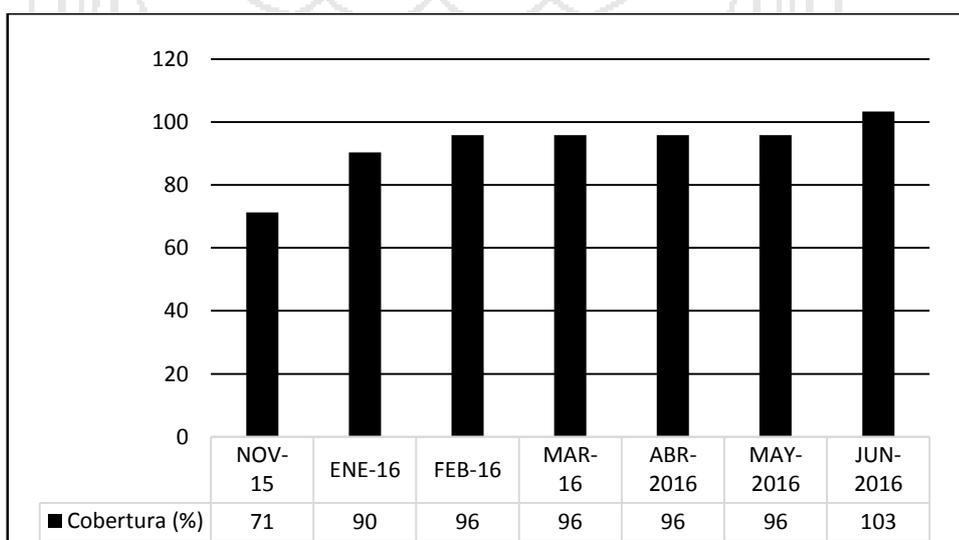


Figura 5.17: Antecedentes de aire

CONCLUSIONES

- En la unidad minera San Rafael se realizó satisfactoriamente el diseño de red de ventilación y simulación obteniéndose un ingreso de aire de los 4 circuitos principales 1 346 145 cfm en interior mina y 1 382 781 cfm en el software con un requerimiento 1 302 214 cfm inferior en comparación a los datos anteriores; logrando una cobertura de 106 % en software y 103 % en el campo de aire con un incremento de 105 835 cfm. y una eficiencia de red de 60,2 %.
- En el diseño se ha realizado 05 Raise Boring (RB) circulando 179 045 cfm y la implementación de 04 ventiladores de 100 000 y 5 000 cfm. Se cumplió con la cobertura de aire en los 5 subsistemas; donde en 02 subsistemas de la zona baja tenían 89,7 % y 82,3 % respectivamente; luego con el nuevo diseño se ha llegado obtener 103 % y 104 % en interior mina mientras que 104 % y 107 % aire fresco con el uso de software de y se ha instalado ventiladores de 100 000 cfm y 5 000 cfm.
- La simulación se realizó con éxito cumpliendo la cobertura de aire utilizándose 2 modelos: con el primero se hizo el diagnóstico con un ingreso 1 237 849 cfm de aire y con el segundo modelo del diseño se ha obtenido 1 389 135 cfm de aire fresco; luego se ha regulado y calibrado la red, teniendo 2,81 % de margen error que ha incrementado en 36 635 cfm al dato de campo debido a ajuste de calibración del software Ventsim; finalmente con las mediciones de temperaturas en los 5 subsistemas se ha logrado obtener un promedio de 22,8 °C y 84,57 % de humedad relativa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el diseño continuar con modelo actual de red ventilación evaluando constantemente y reduciendo el margen de error entre los datos de campo y software. También seguir con los futuros proyectos de Raise Boring (RB) en zonas deficientes de cobertura que inminentemente nos ayuda a tener mejor distribución de aire a todas las partes de la mina.
- Se recomienda continuar el avance de la simulación de red de ventilación de la unidad minera San Rafael que se ha llegado en un avance de 95 % y seguir con la calibración ajustando las rugosidades de las labores y reguladores de flujo de aire; que garantizara la simulación futura con datos ajustados al campo.
- Se recomienda utilizar el análisis financiero de software Ventsim Visual para realizar las comparaciones del diámetro óptimo de raise boring (RB) y además de sus otras herramientas como: *ventfire*, *livefire* y *ventlog* que están relacionados a la dinámica de gases mina; por tanto se necesita tener versiones actualizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguero Zarate, H. O., & Alvares Ticllasuca, H. (2012). *Influencia de ventilacion natural y mecanica en el diseño de sistema de ventilacion de las galerias del nivel 1950 mina- Calpa*. Arequipa.
- AIRTEC.(2006). *Catalogo de ventiladores axiales para mineria*. Lima.
- AMEC. (2016). *"Trade off" de metodos de minado*. Antauta.
- Apaza Frisancho , Y. (2014). *ventilacion de minmas subterranas y circuitos de ventilacion*. Puno.
- Arias Montalico, M. E. (2015). *Comparacion economica de tipos de ventilacion en mineria caso practico*. Puno.
- Begazo Manual, H. (2014). *Estudio y simulacion de las condiciones de mina central sociedad minera corona yauricocha*. Arequipa.
- Castro Meza, A. (2015). *Criterios de ventilacion minera (usando el software de ventilacion ventsim)*. Lima.
- Centeno Quispe, G. (2011). *Evaluacion de Ventilacion Puntual Y Mecanica que Influye En el Sistema de Ventilacion de Galeria 639 Nivel 1950 Mina Colpa*. Puno.
- Claverias Quicaña, J. S. (2014). *Evaluacion y Optimizacion del sistema de Ventilacion de la Compañia Minera Careveli Aplicando el Software visual 3*. Puno.
- Enrique Ramos, F. J. (2011). *Evaluacion del sistema de ventilacion de la mina san vicente-compañiaminera San Ignacio de Morococha*. Puno.
- Enrique Ramos, J. R. (2011). *Evaluacion de sistema de ventilacion de la mina san vicente - compañia san ignacio de morococha aplicando el software ventsim 3.9*. Puno.
- Gimenez, A. (1999). *Ventilacion de Minas Subterranea y Tuneles*. Lima.
- Hartman Howard, L. (2001). *Mine ventilation and air conditioning*. New York: Krieger publishing company.
- Hernandez Sampieri, C. R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2011). *Metodologia de la Investigacion*. Estados Unidos: MCGRAW-HILL.
- IIMP (Instituto de ingenieros de mina del peru), (1989). *Manual de ventilacion de Minas*. Lima.
- Investigacion, F. d.-c. (2010). *Reglamento de obtencion del titulo profesional de ingeniero de minas mediante la modalidad de tesis universitaria*. Puno.

- ISTEC (International Safety Training & Technology), (2000). *Ventilacion Avanzada*. Lima.
- Jimenes Ascanio, P. (1997). *Ventilacion de minas subterranea y tuneles* .
- Marin Paucara , E. (2015). *Ventilacion de minas* . Puno.
- McPherson , M. J. (1993). *Sursurface ventilation Engineering*. Berkeley - California.
- Minsur SA.. (2016). *planeamiento mina San Rafael*. Antauta.
- Muñoz, R. C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigacion de tesis*. Mexico: Pearson.
- Naira Arivilca, A. V. (2003). *ventilacion del desarrollo de la galeria 3858 santa ana - compania minera ananea*. Puno.
- Novitzky , A. (1962). *Ventilaciones de minas*. Buenos Aires .
- OPSIVEN. (2015). *Estudio de sistema de ventilacion de minera Chungar S.A.C*. Huayllay - Cerro de Pasco.
- PUCP (Pontifia universidad catolica del peru),(2011). *Apuntes de ventilacion*. Lima.
- Razo, C. M. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigacion de tesis* . Mexico: Pearson Educacion .
- Reinaldo, R. S. (2013). *Calculo de parametros y diseño de la red de ventilacion en labores de veta clara de acuerdo al D.S. 055-2010 EM. En mina San Juan de Churunga*. Arequipa.
- Sacsi Umasi , R. (2013). *Calculo de parametros y diseño de la red de ventilacion en labores de veta clara de acuerdo al D.S. 055-2010 EM. en mina san juan de churunga*. Arequipa.
- Sampieri, R. H. (2001). *Metodologia de la Investigacion*. EE.UU: MCGRAW HILL.
- Stewart, C. (2010). *Manual de usuario ventsim visual*. Australia.
- Sucapuca Chinoapaza, F. (2010). *Metodologia de Investigacion cientifica* . Puno.
- Universidad nacional del altiplano- Facultad de ingenieria de minas (2010). *Reglamento de obtencion del titulo profesional de ingeniero de minas mediante la modalidad de tesis universitaria*. Puno.
- Vejarano Sanchez, A. (2000). *Ventilacion Mina*. Lima.

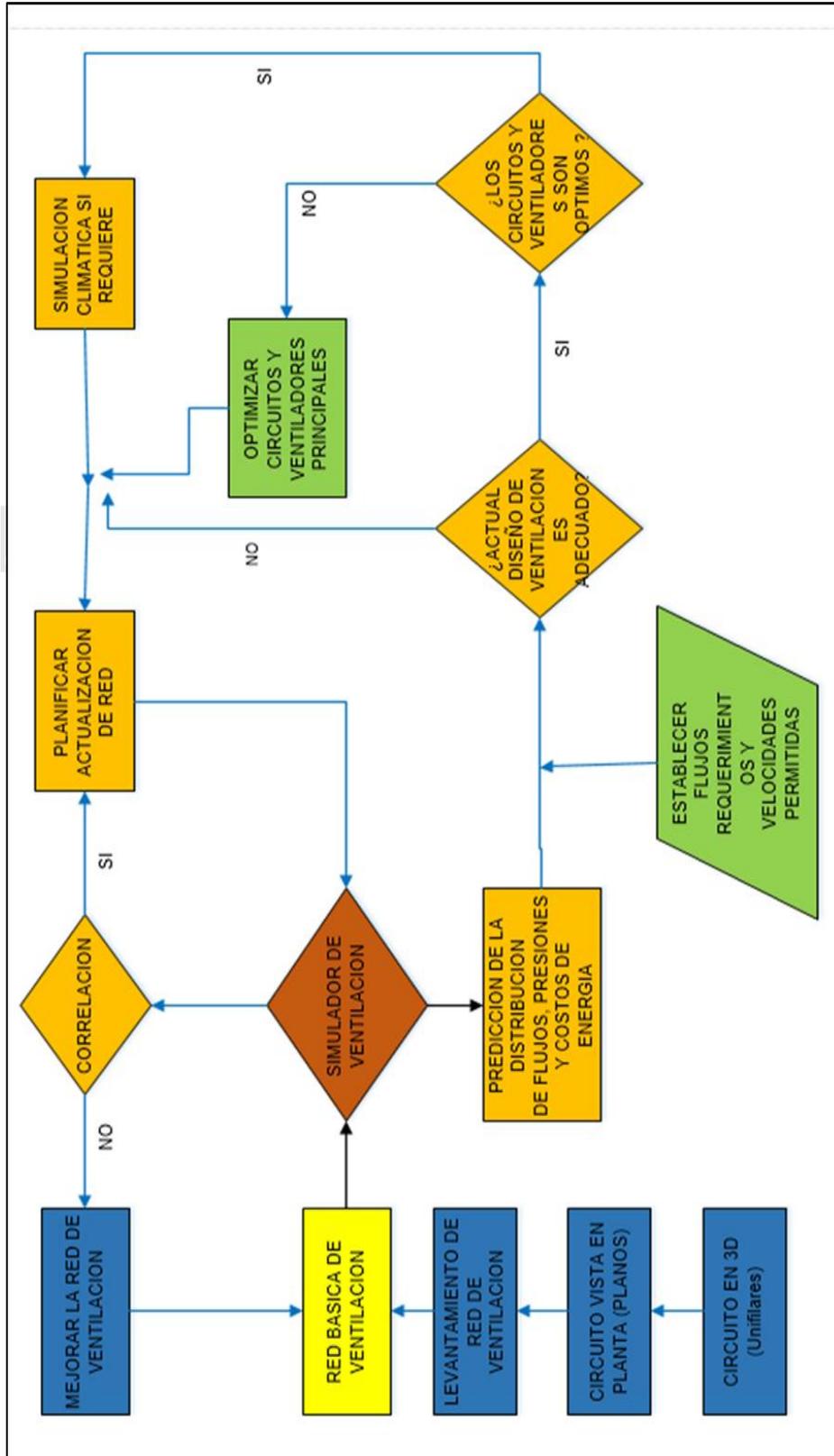


Anexo 1
Tabla de matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable dependiente	Diseño metodológico
¿Cuál es el Diseño y simulación red de ventilación efectiva cumplimiento de cobertura de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de la unidad minera San Rafael-Minsur S.A.?	Desarrollar el Diseño y simulación red de ventilación efectiva cumpliendo la cobertura de aire con los equipos ventiladores haciendo el uso del Software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael -Minsur S.A.	El diseño y la simulación de red de ventilación efectiva permitirá coberturar el caudal de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.	El diseño de la red de ventilación en la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.	Método de investigación Analítico y explicativo
Problema Especifico	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	Variable independiente	Población y muestra
¿Cómo es el diseño de red de ventilación para el cumplimiento de la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera san Rafael - Minsur S.A.?	Diseñar la red de ventilación cumpliendo la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo de mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael -Minsur S.A.	El diseño de red de ventilación cumplirá la cobertura de caudal de aire en el proceso productivo de mina haciendo el uso de software Ventsim Visual en la unidad minera san Rafael- Minsur S.A.	Simulación de red de ventilación efectiva con el uso de software	POBLACION La población en nuestro trabajo de investigación en las labores de la unidad minera san Rafael - Minsur S.A.
¿Cómo es la simulación de caudal de aire movido por equipos ventiladores en el proceso productivo mina haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael-Minsur S.A.?	Simular red de ventilación con el caudal de aire movido por los equipos ventiladores en el proceso productivo mina. Haciendo el uso del software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.	La simulación de caudal de aire movido por equipos ventiladores permitirá obtener datos confiables en el proceso productivo de mina haciendo el uso de software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael - Minsur S.A.	Ventsim visual en la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.	MUESTRA La parte representativa es los labores de producción desarrollo y exploración en la unidad minera San Rafael- Minsur S.A.

Anexo 2

Diagrama de diseño de ventilación



Fuente: Enríquez, J. (2011)

Anexo 3
Ventilador axial



Fuente: AIRTEC (2006)

Anexo 4
Ventilador centrífugo



Fuente: Apaza, Y. (2014)

Anexo 5
Anemómetro tenmars



Fuente: Castro, A. (2015)

Anexo 6
Lanza de humo



Anexo 7

Tabla de ventiladores en mina

Características del Ventilador			Ubicación	Situación	
Marca	Capacidad (Cfm)	Potencia Nominal (HP)	Labor	Estado	Silenciador
Howden	185 000	350	Umbral 5070	Operativo	NO
Howden	185 000	350	Umbral 5070	Operativo	NO
AIRTEC	150 000	350	By Pass 450 N	Operativo	SI
ZITRON	150 000	350	By Pass 450 N	Operativo	SI
ZITRON	150 000	350	Bodega de ventilación s	Inoperativo	NO
ZITRON	150 000	350	By Pass 450 N	Operativo	SI
AIRTEC	200 000	400	Umbral 4990	Operativo	SI
AIRTEC	200 000	400	Umbral 4990	Stand By	SI
JOY	100 000	300	By Pass 4450-926	Operativo	SI
AIRTEC	100 000	210	Bodega de ventilación Superficie	Inoperativo	NO
JOY	120 000	300	4200-36 Circuito Alimak	Operativo	SI
AIRTEC	100 000	250	Bodega de Ventilación del Nv-4450	Stand By	NO
JOY	50 000	150	By Pass 4150 Jorge	Operativo	NO
JOY	50 000	125	Bodega de ventilación	Stand By	NO
AIRTEC	50 000	125	Gal 200-06 N	Stand By	NO
JOY	50 000	150	Gal 3800 N Vicente, extracción de aire viciado de Quenamari	Operativo	NO
JOY	50 000	125	4100 N BLOCK 10	Stand By	NO
JOY	50 000	150	Galería norte 4050 al frente de Sub Estación	Stand By	NO
AIRTEC	30 000	63	Ventila al TJ 4390 Carmen	Operativo	SI
ZITRON	30 000	115	Parrilla Op. 304	Operativo	SI
ZITRON	30 000	115	Cámara de lubricación Atlas y Aesa	Operativo	SI
JOY	30 000	63	Bodega de ventilación Superficie, solo carcasa	Inoperativo	NO
ZITRON	30 000	115	Ventila al TJ - Recuperación de mineral	Operativo	SI
ZITRON	30 000	115	Sub nivel 3833 - Tj 3800-12	Operativo	SI
ZITRON	30 000	115	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
ZITRON	30 000	115	Sub nivel 3818 - Tj 3800-12	Operativo	SI
AIRTEC	30 000	63	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
ZITRON	30 000	115	Sub nivel 3638	Stand By	SI
ZITRON	30 000	115	Tj 3800-12 Katy	Operativo	SI

ZITRON	30 000	115	By Pass 3610 - Ventila al Sub Nivel 3624	Operativo	SI
AIRTEC	30 000	63	Rpa. Aux. (+) 4125	Operativo	SI
AIRTEC	30 000	63	Rpa. 523 – Polvorín	Operativo	SI
ZITRON	30 000	112	TJ. 3610 Segunda Rpa. Negativa del 3650	Operativo	SI
ZITRON	30 000	112	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
GIA	30 000	112	Bodega de Ventilación,	Inoperativo	NO
TOMOCORP	30 000	75	Ventila al sub nivel 4396	Operativo	SI
TOMOCORP	30 000	75	Sub Nivel Tj 4100 -35 BLOCK 10	Operativo	SI
ZITRON	30 000	112	Bodega de Ventilación Superficie	Inoperativo	NO
ZITRON	30 000	112	Tajo 3750-10 - Ventila al nv. 3731	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Sub nivel 4407 para el TJ 4356	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Para Muestreo	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	4200 Jorge para Explotación	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4370 Jorge - Rompe Banco	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	4310 Norte acceso a Jorge	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Bodega de Ventilación Superficie	Inoperativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4407 recuperación de mineral	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4370-06 Jorge	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al sub nivel 3950 para rehabilitación	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	3800 N acceso al circuito para sostenimiento	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Falta Ubicar (Última vez Febrero 2015 a	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Bodega de ventilación	Stand By	NO
ZITRON	15 000	50	Ventila al Sub nivel 4430 para la Recuperación de Pilar	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Ventila a la Tolva 280	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Sub Nivel 4424 TJ 4407 para la perforación de taladros	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
ZITRON	15 000	50	4050 S para la recuperación de rieles	Operativo	NO
ZITRON	30 000	115	By Pass 3610 - Ventila al Sub Nivel 3624	Operativo	SI
AIRTEC	30 000	63	Rpa. Aux. (+) 4125	Operativo	SI
AIRTEC	30 000	63	Rpa. 523 – Polvorín	Operativo	SI
ZITRON	30 000	112	TJ. 3610 Segunda Rpa. Negativa del 3650	Operativo	SI

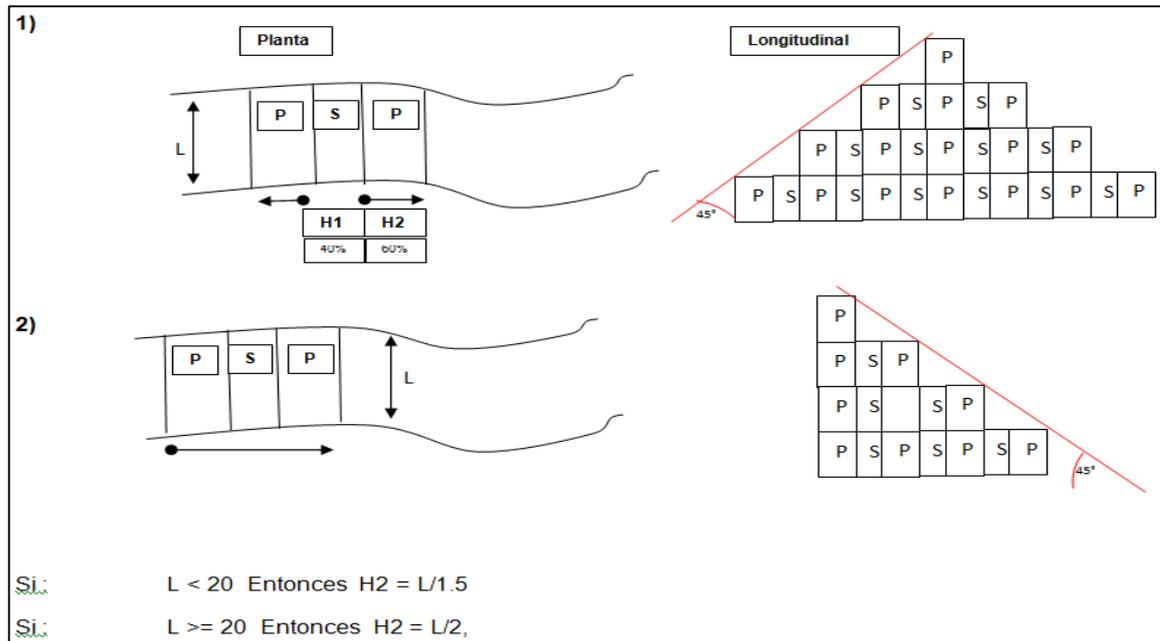
ZITRON	30 000	112	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
GIA	30 000	112	Bodega de Ventilación,	Inoperativo	NO
TOMOCORP	30 000	75	Ventila al sub nivel 4396	Operativo	SI
TOMOCORP	30 000	75	Sub Nivel Tj 4100 -35 BLOCK 10	Operativo	SI
ZITRON	30 000	112	Bodega de Ventilación Superficie	Inoperativo	NO
ZITRON	30 000	112	Tajo 3750-10 - Ventila al nv. 3731	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Sub nivel 4407 para el TJ 4356	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Para Muestreo	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	4200 Jorge para Explotación	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4370 Jorge - Rompe Banco	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	4310 Norte acceso a Jorge	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Bodega de Ventilación Superficie	Inoperativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4407 recuperación de mineral	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 4370-06 Jorge	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al sub nivel 3950 para rehabilitación	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	3800 N acceso al circuito para sostenimiento	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Falta Ubicar (Ultima vez Febrero 2015 a	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Bodega de ventilación	Stand By	NO
ZITRON	15 000	50	Ventila al Sub nivel 4430 para la Recuperación de Pilar	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Ventila a la Tolva 280	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Sub Nivel 4424 TJ 4407 para la perforación de taladros	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
ZITRON	15 000	50	4050 S para la recuperación de rieles	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Bodega de ventilación	Stand By	NO
ZITRON	15 000	50	Ventila al Sub nivel 4430 para la Recuperación de Pilar	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Ventila a la Tolva 280	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Sub Nivel 4424 TJ 4407 para la perforación de taladros	Operativo	SI
ZITRON	15 000	50	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
ZITRON	15 000	50	4050 S para la recuperación de rieles	Operativo	NO
ZITRON	15 000	50	Bodega Explomín	Inoperativo	NO

AIRTEC	15 000	25	Block 10 para Sosténimiento	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila Tajo 3800-09 sur, Prell	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al sub nivel 4194 perforación de taladros	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Sub nivel 4403 Tajo 4370-Carmen	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al Sub nivel 4430 TJ 4370 Carmen	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	4150 Jorge - Rompe Banco	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	4310 S para Muestro VT Victoria	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila al sub nivel 4444 para Explotación Carmen	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al Rompe Banco Op. 095	Operativo	SI
AIRTEC	15 000	25	Ventila al TJ 3650-23 Relleno	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	25	Ventila 4145 Block 10	Operativo	NO
AIRTEC	15 000	15	Circuito aire fresco Zapata, Comedor	Operativo	
JOY	11 000	24	3850 para la perforación de taladros Vicente	Operativo	SI
AIRTEC	11 000	25	4224 Jorge para la perforación de taladros	Operativo	NO
AIRTEC	11 000	50	Bodega de Ventilación Superficie, sin motor	Inoperativo	NO
AIRTEC	11 000	24	Ventila a la SSEE - Compresora	Operativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Bodega de Ventilación Superficie	Inoperativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Galería Vicente para Muestreo	Operativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Cx. Mariano	Stand By	NO
AIRTEC	5 000	12	Bodega de Explomin	Inoperativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Bodega de Ventilación	Inoperativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Cx. Carabaya, Ventila	Operativo	SI
AIRTEC	5 000	12	Bodega de ventilación	Stand By	NO
AIRTEC	5 000	12	Bodega de Ventilación	Inoperativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Ventila a la parrilla Op. 262	Operativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Para la Cámara de TUMI	Operativo	NO
AIRTEC	5 000	12	Bodega de Ventilación	Inoperativo	NO
AIRTEC	5 000	13	Bodega de compañía	Operativo	SI
AIRTEC	5 000	13	Ventila a Tableros de	Operativo	NO

Fuente: Minsur (2016)

Anexo 9

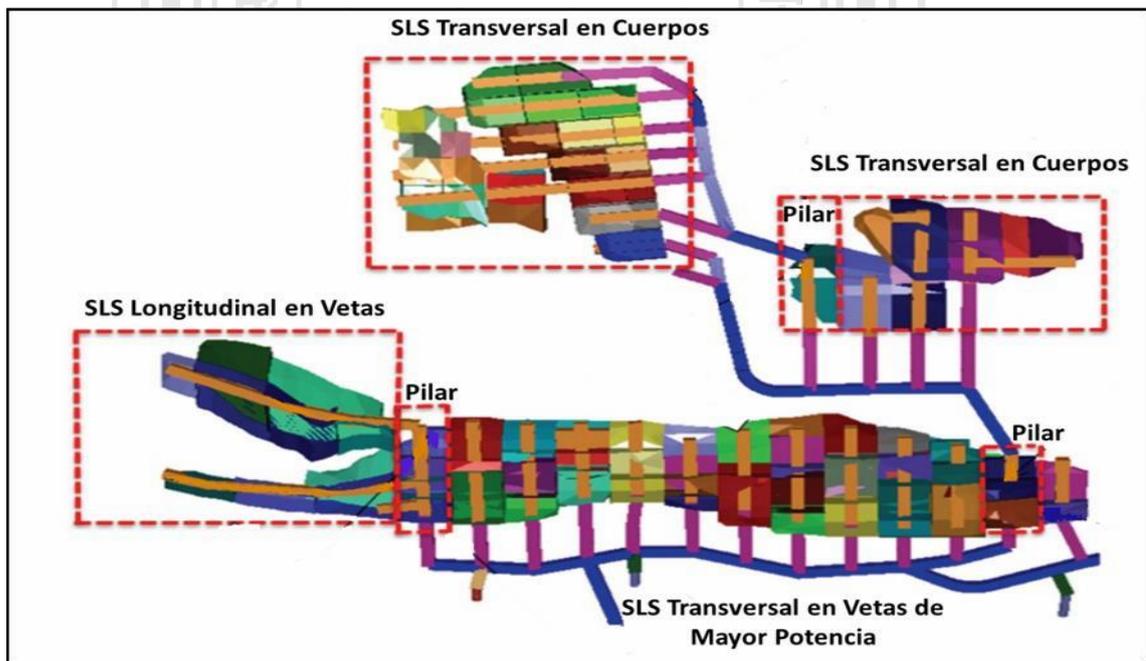
Figura esquema de “sub level stoping” transversal



Fuente: AMEC (2016)

Anexo 10

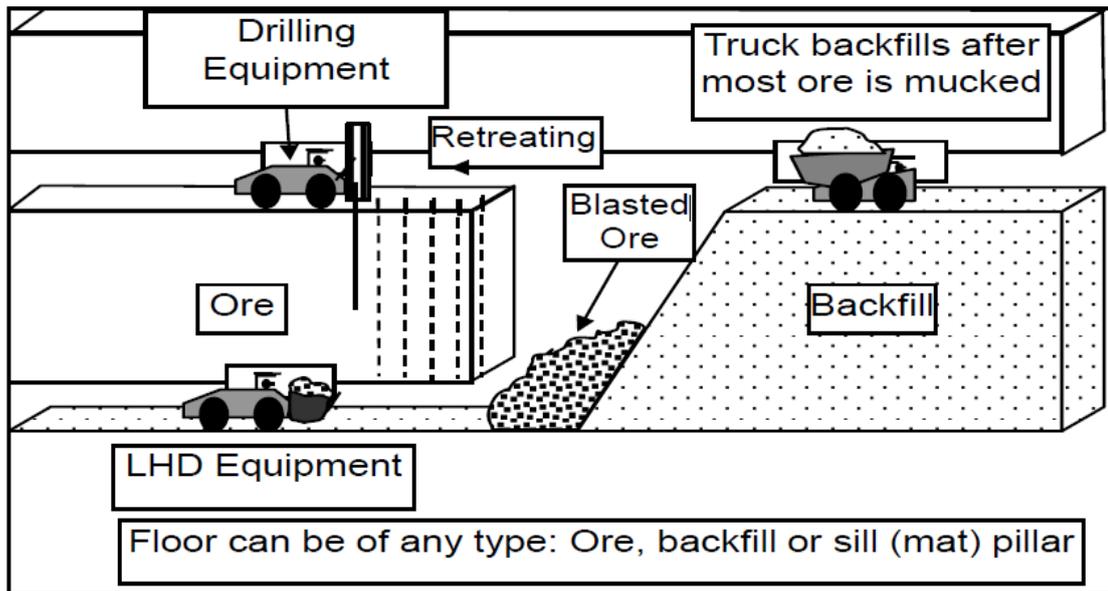
Sub level stoping (sls) longitudinal y transversal



Fuente: Minsur (2016)

Anexo 11

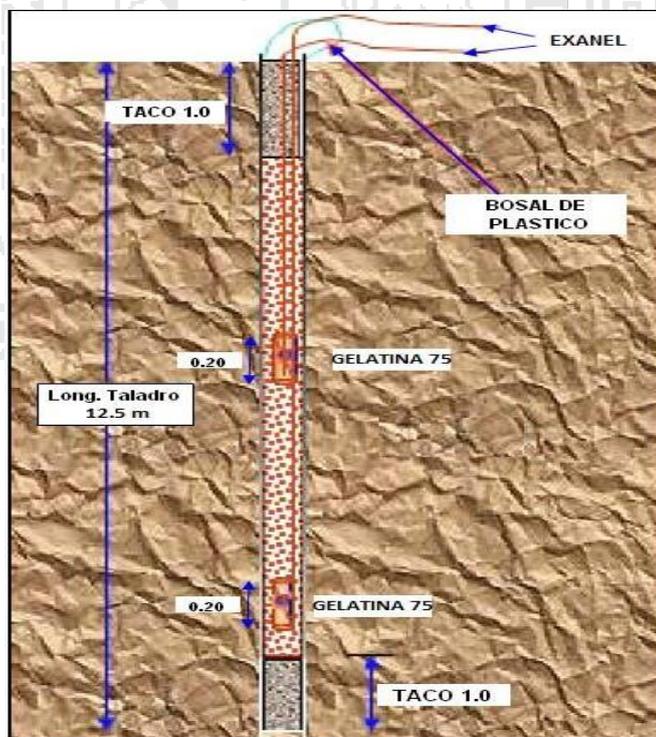
Esquema de método de minado “bench & fill stoping”



Fuente: AMEC (2016)

Anexo 12

Esquema de carguío



Fuente: Minsur (2016)

Anexo 13

Puntos de monitoreo de gases



Anexo 14

Tabla de registro de medición de gases

Fecha	Nivel	Labor	CO (ppm)	CO2 (%)	NO2 (ppm)	O2 (%)	Cumplimiento
01/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	3	0,01	0	20,8	SI
01/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	2	0	0	20,8	SI
01/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	1	0	0	20,8	SI
01/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	10	0,05	0	20,6	SI
01/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	1	0	0	20,8	SI
01/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,07	0,1	20,4	SI
01/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	10	0,05	0,2	20,4	SI
01/06/2016	4185	Tajo 4185-1900 Kimberly	6	0,07	0	20,8	SI
01/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	7	0	0	20,8	SI
01/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	12	0,03	0	20,8	SI
01/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	15	0,06	0	20,8	SI
02/06/2016	4310	RB de ventilación a 4200 N	2	0	0	20,8	SI
02/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	1	0	0	20,8	SI
02/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	1	0	0	20,8	SI
02/06/2016	4050	Galería 4050-461 NW	2	0,03	0	20,8	SI
02/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	6	0,02	0	20,8	SI
02/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	3	0,02	0	20,8	SI
02/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	6	0,03	0	20,8	SI
03/06/2016	3766	Tajo 3750-02 VRP	8	0,02	0	20,8	SI
03/06/2016	3750	Tajo 3750-02 VRP	6	0	0	20,6	SI
04/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	4	0,02	0	20,8	SI
04/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0	0	20,8	SI
04/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	12	0,03	0	20,8	SI
04/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	8	0	0	20,8	SI
04/06/2016	4170	Cámara de carguío Cyndhi	12	0,04	0	20,7	SI
04/06/2016	4185	Tajo 4185-1900 Kimberly	11	0	0	20,8	SI
04/06/2016	4185	Rpa. Negativa 4185-838 NE	7	0	0	20,8	SI
04/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,05	0	20,8	SI
05/06/2016	4200	Galería 4200-416 SE	5	0	0	20,6	SI
05/06/2016	4200	Desquinche 4200-464 SE	2	0	0	20,8	SI
05/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	11	0,05	0,1	20,7	SI
05/06/2016	4050	Galería 4050-461 NW	15	0,07	0,2	20,3	SI
05/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	16	0,07	0	20,8	SI
05/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	21	0	0	20,8	SI
05/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	26	0	0	20,8	NO
05/06/2016	3950	Proyecto Cortada Cyndhi	10	0	0	20,8	SI

09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,05	0	20,8	SI
09/06/2016	4310	Desquinche 4310 - 343 SE	12	0,07	0,2	20,8	SI
09/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0	20,8	SI
09/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	12	0,05	0	20,8	SI
09/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	16	0,05	0,4	20,8	SI
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	10	0,05	0,2	20,8	SI
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	4	0,05	0	20,8	SI
10/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,02	0,2	20,8	SI
10/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	3	0,05	0,3	20,8	SI
10/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,07	0,4	20,8	SI
10/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	9	0,02	0	20,8	SI
10/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	18	0,06	1,1	20,8	SI
10/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	13	0,03	0,1	20,8	SI
10/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	24	0,03	0,6	20,3	SI
10/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	15	0,03	0	20,8	SI
11/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	6	0,06	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,05	0,3	20,8	SI
11/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	2	0,05	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	8	0,06	0,5	20,8	SI
11/06/2016	4224	Estocada 4224 - 902 NE	12	0,04	0,5	20,8	SI
11/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	6	0,07	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4224	Parrilla 4224 OP - 185	8	0,05	0,2	20,8	SI
11/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	16	0,04	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	8	0,06	0,4	20,8	SI
11/06/2016	3950	Cortada 3950 - 045 Acceso a Cyndhi	10	0,04	0,2	20,8	SI
11/06/2016	3950	Galería 3950 - 666 SE	2	0,03	0	20,8	SI
11/06/2016	3950	Cortada 3950 Ingreso a Cyndhi	9	0,04	0	20,8	SI
12/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,05	0,1	20,8	SI
12/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	10	0,07	0,4	20,8	SI
12/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana	10	0,07	0,3	20,8	SI
12/06/2016	4000	Circuito de aire fresco	6	0,05	0,4	20,8	SI
12/06/2016	3950	Sub Nivel 3950 - 116 NW	7	0,03	0	20,8	SI
12/06/2016	3950	Desquinche 3950-053 SE	5	0,05	0,1	20,8	SI
12/06/2016	3950	Circuito de aire fresco. Atrás de camara atlas	2	0,02	0	20,8	SI
18/06/2016	4310	Desquinche 4310-343 SE	2	0	0	20,8	SI
18/06/2016	4200	Cortada acceso a Carabaya	14	0	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4200	By Pass 4200 acceso a Jorge	13	0	0,6	20,8	SI
18/06/2016	4200	By Pass 4200-330 NW	30	0,1	1,8	20,6	NO

18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 461 NW	4	0,07	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 463 SE	3	0,05	0,7	20,8	SI
18/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana 02	4	0,03	0,2	20,8	SI
18/06/2016	4200	Sub Nivel 4200 Cortada 21	8	0,02	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	2	0,02	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	4	0,05	0,6	20,8	SI
18/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	4	0,03	0,6	20,8	SI
18/06/2016	4224	Estocada 4224 - 756 NE	8	0,05	0,3	20,8	SI
18/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	8	0,05	0,4	20,8	SI
18/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	7	0,08	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	6	0,06	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	9	0,04	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4185	Circuito Umbral 4185	6	0,04	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4185	Circuito Umbral RB 4224	5	0,03	0,7	20,8	SI
19/06/2016	4200	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,02	0,4	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	6	0,04	0,8	20,8	SI
19/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	14	0,03	0,6	20,4	SI
19/06/2016	4185	Bypass 4185 - 880 SE	3	0,03	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	12	0,02	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	13	0,03	0,8	20,8	SI
19/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	6	0,04	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	5	0,05	0,8	20,8	SI
20/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	2	0,1	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4224	RB de Circuito Umbral	6	0,04	0	20,8	SI
20/06/2016	4050	Rampa Principal 4050	14	0,06	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	2	0,03	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	1	0,01	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4000	Rampa de acceso a 4017	2	0,02	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	10	0,07	0,6	20,8	SI
20/06/2016	4185	Pie de RB del 4224 Circuito	8	0,08	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4185	By Pass acceso a Circuito	12	0,1	0,9	20,7	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,04	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4185	Camara DDH - 4185 Veta P	5	0,03	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	24	0,19	1,5	20,3	SI
20/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	9	0,03	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 -756 NE	4	0,05	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	8	0,02	0	20,8	SI

Fecha	Nivel	Labor	CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	Cumplimiento
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,05	0	20,8	SI
09/06/2016	4310	Desquinche 4310 - 343 SE	12	0,07	0,2	20,8	SI
09/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0	20,8	SI
09/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	12	0,05	0	20,8	SI
09/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	16	0,05	0,4	20,8	SI
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	10	0,05	0,2	20,8	SI
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	4	0,05	0	20,8	SI
10/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,02	0,2	20,8	SI
10/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	3	0,05	0,3	20,8	SI
10/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,07	0,4	20,8	SI
10/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	9	0,02	0	20,8	SI
10/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	18	0,06	1,1	20,8	SI
10/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	13	0,03	0,1	20,8	SI
10/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	24	0,03	0,6	20,3	SI
10/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	15	0,03	0	20,8	SI
11/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	6	0,06	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,05	0,3	20,8	SI
11/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	2	0,05	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	8	0,06	0,5	20,8	SI
11/06/2016	4224	Estocada 4224 - 902 NE	12	0,04	0,5	20,8	SI
11/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	6	0,07	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4224	Parrilla 4224 OP - 185	8	0,05	0,2	20,8	SI
11/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	16	0,04	0,4	20,8	SI
11/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	8	0,06	0,4	20,8	SI
11/06/2016	3950	Cortada 3950 - 045 Acceso a Cyndhi	10	0,04	0,2	20,8	SI
11/06/2016	3950	Galería 3950 - 666 SE	2	0,03	0	20,8	SI
11/06/2016	3950	Cortada 3950 Ingreso a Cyndhi	9	0,04	0	20,8	SI
12/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	4	0,05	0,1	20,8	SI
12/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	10	0,07	0,4	20,8	SI
12/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana	10	0,07	0,3	20,8	SI
12/06/2016	4000	Circuito de aire fresco	6	0,05	0,4	20,8	SI
12/06/2016	3950	Sub Nivel 3950 - 116 NW	7	0,03	0	20,8	SI
12/06/2016	3950	Desquinche 3950-053 SE	5	0,05	0,1	20,8	SI

18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 461 NW	4	0,07	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 463 SE	3	0,05	0,7	20,8	SI
18/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana 02	4	0,03	0,2	20,8	SI
18/06/2016	4200	Sub Nivel 4200 Cortada 21	8	0,02	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	2	0,02	0,5	20,8	SI
18/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	4	0,05	0,6	20,8	SI
18/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	4	0,03	0,6	20,8	SI
18/06/2016	4224	Estocada 4224 - 756 NE	8	0,05	0,3	20,8	SI
18/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	8	0,05	0,4	20,8	SI
18/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	7	0,08	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	6	0,06	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	9	0,04	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4185	Circuito Umbral 4185	6	0,04	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4185	Circuito Umbral RB 4224	5	0,03	0,7	20,8	SI
19/06/2016	4200	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,02	0,4	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	6	0,04	0,8	20,8	SI
19/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	14	0,03	0,6	20,4	SI
19/06/2016	4185	Bypass 4185 - 880 SE	3	0,03	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	12	0,02	0,9	20,8	SI
19/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	13	0,03	0,8	20,8	SI
19/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	6	0,04	0,5	20,8	SI
19/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	5	0,05	0,8	20,8	SI
20/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	2	0,1	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4224	RB de Circuito Umbral	6	0,04	0	20,8	SI
20/06/2016	4050	Rampa Principal 4050	14	0,06	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	2	0,03	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	1	0,01	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4000	Rampa de acceso a 4017	2	0,02	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	10	0,07	0,6	20,8	SI
20/06/2016	4185	Pie de RB del 4224 Circuito	8	0,08	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4185	By Pass acceso a Circuito	12	0,1	0,9	20,7	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,04	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4185	Camara DDH - 4185 Veta P	5	0,03	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	24	0,19	1,5	20,3	SI
20/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	9	0,03	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 -756 NE	4	0,05	0,3	20,8	SI

21/06/2016	4450	Rampa de acceso a 4485-4533	10	0,03	0,7	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	4	0,06	0,9	20,8	SI
22/06/2016	4224	RB de ventilación Circuito Umbral	5	0,05	0,8	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4185-1900 kimberly	9	0,11	1,2	20,8	SI
22/06/2016	4185	Tajo 4185-1700 Mariano	10	0,08	1	20,3	SI
22/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	12	0,08	1,1	20,3	SI
22/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	17	0,07	1,5	20,3	SI
23/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,11	0,9	20,8	SI
23/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	8	0,06	0,5	20,8	SI
23/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	5	0,04	0,1	20,8	SI
23/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,07	0,1	20,8	SI
23/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,05	0,3	20,8	SI
23/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	1	0,06	0	20,8	SI
23/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	7	0,07	0,6	20,8	SI
23/06/2016	4224	Tajo 4185-1900 kimberly	5	0,09	0,8	20,8	SI
23/06/2016	4185	Tajo 4224-1700 Mariano	12	0,1	1	20,6	SI
24/06/2016	4050	Galería 4050-478 SE	7	0	1,8	20,8	SI
24/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	28	0,06	1,1	20,4	NO
24/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	4	0,1	0,4	20,8	SI
24/06/2016	3950	Galería 3950 Circuito Zapata	2	0	0,1	20,8	SI
24/06/2016	4000	Rpa. De acceso a 4050 Sur	6	0	0,8	20,8	SI
24/06/2016	4200	RB a 4050-4000-3925 Circuito Carabaya	2	0,05	0	20,8	SI
24/06/2016	4200	RB a 4000 Circuito Carabaya	1	0,08	0,8	20,8	SI
25/06/2016	4200	Circuito Alimak 4200	12	0,05	1,5	20,8	SI
25/06/2016	4200	By Pass extracción 4200 N	7	0,1	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,04	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4185	Camara DDH - 4185 Veta Pedro	5	0,03	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	24	0,19	1,5	20,3	SI
20/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	9	0,03	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 -756 NE	4	0,05	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	8	0,02	0	20,8	SI
21/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	3	0,06	0,4	20,8	SI
21/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	8	0,13	0,8	20,8	SI
21/06/2016	4450	Rampa de acceso a 4485-4533	10	0,03	0,7	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	4	0,06	0,9	20,8	SI
22/06/2016	4224	RB de ventilación Circuito Umbral	5	0,05	0,8	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4185-1900 kimberly	9	0,11	1,2	20,8	SI
22/06/2016	4185	Tajo 4185-1700 Mariano	10	0,08	1	20,3	SI

22/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	12	0,08	1,1	20,3	SI
22/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	17	0,07	1,5	20,3	SI
23/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,11	0,9	20,8	SI
23/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	8	0,06	0,5	20,8	SI
23/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	5	0,04	0,1	20,8	SI
23/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,07	0,1	20,8	SI
23/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,05	0,3	20,8	SI
23/06/2016	4239	Tajo 4224-1700 Mariano	1	0,06	0	20,8	SI
23/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	7	0,07	0,6	20,8	SI
23/06/2016	4224	Tajo 4185-1900 kimberly	5	0,09	0,8	20,8	SI
23/06/2016	4185	Tajo 4224-1700 Mariano	12	0,1	1	20,6	SI
24/06/2016	4050	Galería 4050-478 SE	7	0	1,8	20,8	SI
24/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	28	0,06	1,1	20,4	NO
24/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	4	0,1	0,4	20,8	SI
24/06/2016	3950	Galería 3950 Circuito Zapata	2	0	0,1	20,8	SI
24/06/2016	4000	Rpa. De acceso a 4050 Sur	6	0	0,8	20,8	SI
24/06/2016	4200	RB a 4050-4000-3925 Circuito Carabaya	2	0,05	0	20,8	SI
24/06/2016	4200	RB a 4000 Circuito Carabaya	1	0,08	0,8	20,8	SI
25/06/2016	4200	Circuito Alimak 4200	12	0,05	1,5	20,8	SI
25/06/2016	4200	By Pass extracción 4200 N	7	0,1	0,9	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	4	0,04	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4185	Camara DDH - 4185 Veta Pedro	5	0,03	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	24	0,19	1,5	20,3	SI
20/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	3	0,03	0,2	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 - 934 NE	9	0,03	0,4	20,8	SI
20/06/2016	4224	Estocada 4224 -756 NE	4	0,05	0,3	20,8	SI
20/06/2016	4239	Tajo 4224 - 1700 Mariano	8	0,02	0	20,8	SI
21/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	3	0,06	0,4	20,8	SI
21/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	8	0,13	0,8	20,8	SI
21/06/2016	4450	Rampa de acceso a 4485-4533	10	0,03	0,7	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	4	0,06	0,9	20,8	SI
22/06/2016	4224	RB de ventilación Circuito Umbral	5	0,05	0,8	20,8	SI
22/06/2016	4224	Tajo 4185-1900 kimberly	9	0,11	1,2	20,8	SI
22/06/2016	4185	Tajo 4185-1700 Mariano	10	0,08	1	20,3	SI
22/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	12	0,08	1,1	20,3	SI
22/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	17	0,07	1,5	20,3	SI
23/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	5	0,11	0,9	20,8	SI
23/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana	8	0,06	0,5	20,8	SI
23/06/2016	4000	Tajo 3975-02 Eliana	5	0,04	0,1	20,8	SI
23/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	7	0,07	0,1	20,8	SI

Anexo 15

Tabla de parámetros de ventilación

Fecha	Nivel	Labor	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Caudal Aire	
					m ³ /min	pies ³ /min
01/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,2	86,4	304	10 741
01/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,9	84,2	59	2 075
01/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	10,4	71,9	1 545	54 543
01/06/2016	4502	Tajo 4485-1600 Carmen	12	54,1	579	20 446
01/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	13,5	69,7	147	5 188
01/06/2016	4224	Tajo 4224-1224 Victoria	21,8	83,2	654	23 089
01/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	21,8	92,4	895	31 593
01/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,3	80,5	501	17 675
01/06/2016	4185	Tajo 4185-1900 Kimberly	24	84,4	642	22 671
01/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,1	90,2	665	23 467
01/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,9	96,4	366	12 909
01/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,5	96,5	502	17 739
01/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	25	92,4	1 509	53 290
02/06/2016	4310	RB de ventilación a 4200 N	16,4	98,2	446	15 748
02/06/2016	4224	Tajo 4224-1224 Victoria	21,9	84,1	783	27 638
02/06/2016	4050	Galería 4050-461 NW	24,6	91,8	65	2 295
02/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	25	92,6	114	4 042
02/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,6	87,6	290	10 238
02/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,8	82,4	0	-
02/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	11,9	80,1	1 439	50 803
02/06/2016	4502	Tajo 4485-1600 Carmen	12,4	66	537	18 950
02/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	13,8	70,6	251	8 880
03/06/2016	3766	Tajo 3750-02 VRP	26,8	98,4	566	19 989
03/06/2016	4090	Tajo 4050-16 San Rafael	25,1	76,7	0	-
03/06/2016	4075	Tajo 4050-16 San Rafael	24	89,6	0	-
04/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,5	87	310	10 950
04/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	12	84,1	366	12 934
04/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,5	78,9	378	13 340
04/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	13,2	71,6	298	10 508
04/06/2016	4224	Tajo 4224-1224 Victoria	21,8	84	811	28 624
04/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,5	87,5	563	19 882

07/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	15,4	74,6	0	-
07/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	21,3	96,6	180	6 349
07/06/2016	4185	Tajo 4185-1900 Kimberly	23,4	92,5	848	29 959
07/06/2016	4185	Rampa 4185 - 858 NE	22,6	84,3	397	14 018
07/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	24,6	82,3	363	12 806
07/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,9	84,3	295	10 433
07/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	25,7	90,4	191	6 751
07/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,9	81,3	322	11 387
07/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	23,6	83,6	202	7 124
07/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,9	92,3	266	9 400
07/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,6	90,3	1 190	42 036
07/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	23,4	84,3	508	17 939
07/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	24,8	86,3	966	34 101
08/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	24,7	72,30	624	22 035
08/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	24,8	79,3	253	8 918
08/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	25,6	87,3	133	4 689
08/06/2016	4050	Galería 4050-461 NW	25,4	85,6	259	9 135
08/06/2016	4050	Parrilla 4050 OP - 234B	25,7	84,8	1 230	43 425
08/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,6	89,4	1 026	36 232
08/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	23,2	90,4	1 176	41 542
08/06/2016	3966	Sub Nivel 3966 - 133 NW	29,4	82,6	134	4 730
08/06/2016	3950	Sub Nivel 3950 - 116 NW	25,7	90,2	384	13 554
08/06/2016	3950	Galería 3950 - 663 NWw	29,6	72,4	189	6 675
08/06/2016	3950	Galería 3950 - 666 SE	28,4	68,2	145	5 131
08/06/2016	3900	Estocada 3900 - 181 NE	31,2	81,6	668	23 600
08/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,2	86,6	78	2 756
08/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1224 Victoria	22,6	90,4	0	-
08/06/2016	4224	Bypass 4224 - 805 NW y	23,8	91,6	0	-
08/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Mariano	23,7	86,2	887	31 311
09/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	12	90,1	409	14 445
09/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,3	91,4	219	7 745
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,4	79,3	770	27 192
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,8	3,2	212	7 470
09/06/2016	4310	Desqinche 4310 - 343 SE	22,6	81,5	198	6 989
09/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,5	88,3	1 014	35 810
09/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	23,2	84,3	307	10 853
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	23,6	90,3	1 062	37 499
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	21,5	84,6	132	4 671
10/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	19,5	91,2	516	18 216

Fecha	Nivel	Labor	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Caudal Aire	
					m ³ /min	pies ³ /min
07/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	15,4	74,6	0	-
07/06/2016	4224	Tajo 4224-1700 Mariano	21,3	96,6	180	6 349
07/06/2016	4185	Tajo 4185-1900 Kimberly	23,4	92,5	848	29 959
07/06/2016	4185	Rampa 4185 - 858 NE	22,6	84,3	397	14 018
07/06/2016	4200	Tajo 4170-1800 Cyndhi	24,6	82,3	363	12 806
07/06/2016	4185	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,9	84,3	295	10 433
07/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	25,7	90,4	191	6 751
07/06/2016	4170	Tajo 4170-1800 Cyndhi	23,9	81,3	322	11 387
07/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	23,6	83,6	202	7 124
07/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,9	92,3	266	9 400
07/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,6	90,3	1 190	42 036
07/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	23,4	84,3	508	17 939
07/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	24,8	86,3	966	34 101
08/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	24,7	72,30	624	22 035
08/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	24,8	79,3	253	8 918
08/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	25,6	87,3	133	4 689
08/06/2016	4050	Galería 4050-461 NW	25,4	85,6	259	9 135
08/06/2016	4050	Parrilla 4050 OP - 234B	25,7	84,8	1 230	43 425
08/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,6	89,4	1 026	36 232
08/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	23,2	90,4	1 176	41 542
08/06/2016	3966	Sub Nivel 3966 - 133 NW	29,4	82,6	134	4 730
08/06/2016	3950	Sub Nivel 3950 - 116 NW	25,7	90,2	384	13 554
08/06/2016	3950	Galeria 3950 - 663 NW	29,6	72,4	189	6 675
08/06/2016	3950	Galeria 3950 - 666 SE	28,4	68,2	145	5 131
08/06/2016	3900	Estocada 3900 - 181 NE	31,2	81,6	668	23 600
08/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,2	86,6	78	2 756
08/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1224 Victoria	22,6	90,4	0	-
08/06/2016	4224	Bypass 4224 - 805 NW	23,8	91,6	0	-
08/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Mariano	23,7	86,2	887	31 311
09/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	12	90,1	409	14 445

10/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	22,4	89,5	1 026	36 242
10/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,1	85,3	337	11 904
10/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,3	84,6	129	4 573
10/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,9	85,4	1 076	38003
10/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	22,9	90,8	1 046	36 920
10/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	25,2	96,3	749	26 430
10/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,3	91,5	380	13 408
10/06/2016	4199	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,1	94,3	305	10 775
10/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	25,5	89	75	2 636
10/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	26,1	83,5	52	1 838
10/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	23,8	85,4	344	12 135
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	13,5	90,4	120	4 221
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	14,5	81,5	302	10 663
11/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	16,4	84,6	569	20 104
11/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	16,7	85,6	896	31 654
11/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	21,8	91,4	328	11 586
11/06/2016	4224	Estocada 4224 - 902 NE	22,6	89,6	303	10 686
11/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	22,8	85,4	231	8 146
11/06/2016	4224	Parrilla 4224 OP - 185	21,2	90,3	356	12 587
11/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,5	89,7	441	15 575
11/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	28,6	96,4	0	-
11/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,5	81,3	646	22 822
11/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,6	87,3	864	30 520
11/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	24,6	90,4	161	5 686
09/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,3	91,4	219	7 745
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,4	79,3	770	27 192
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,8	3,2	212	7 470
09/06/2016	4310	Desqinche 4310 - 343 SE	22,6	81,5	198	6 989
09/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,5	88,3	1 014	35 810
09/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	23,2	84,3	307	10 853
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	23,6	90,3	1 062	37 499
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	21,5	84,6	132	4 671
10/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	19,5	91,2	516	18 216
10/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	22,4	89,5	1 026	36 242
10/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,1	85,3	337	11 904
10/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,3	84,6	129	4 573
10/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,9	85,4	1 076	38003
10/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	22,9	90,8	1 046	36 920
10/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	25,2	96,3	749	26 430
10/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,3	91,5	380	13 408

10/06/2016	4199	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,1	94,3	305	10 775
10/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	25,5	89	75	2 636
10/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	26,1	83,5	52	1 838
10/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	23,8	85,4	344	12 135
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	13,5	90,4	120	4 221
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	14,5	81,5	302	10 663
11/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	16,4	84,6	569	20 104
11/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	16,7	85,6	896	31 654
11/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	21,8	91,4	328	11 586
11/06/2016	4224	Estocada 4224 - 902 NE	22,6	89,6	303	10 686
11/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	22,8	85,4	231	8 146
11/06/2016	4224	Parrilla 4224 OP - 185	21,2	90,3	356	12 587
11/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,5	89,7	441	15 575
11/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	28,6	96,4	0	-
11/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,5	81,3	646	22 822
11/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,6	87,3	864	30 520
11/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	24,6	90,4	161	5 686
09/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	11,3	91,4	219	7 745
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,4	79,3	770	27 192
09/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	12,8	3,2	212	7 470
09/06/2016	4310	Desqinche 4310 - 343 SE	22,6	81,5	198	6 989
09/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,5	88,3	1 014	35 810
09/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	23,2	84,3	307	10 853
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	23,6	90,3	1 062	37 499
09/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	21,5	84,6	132	4 671
10/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	19,5	91,2	516	18 216
10/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	22,4	89,5	1 026	36 242
10/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,1	85,3	337	11 904
10/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,3	84,6	129	4 573
10/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,9	85,4	1 076	38003
10/06/2016	4000	Tajo 3950-1900 Eliana	22,9	90,8	1 046	36 920
10/06/2016	3987	Tajo 3950-1900 Eliana	25,2	96,3	749	26 430
10/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,3	91,5	380	13 408
10/06/2016	4199	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,1	94,3	305	10 775
10/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	25,5	89	75	2 636
10/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	26,1	83,5	52	1 838
10/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	23,8	85,4	344	12 135
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	13,5	90,4	120	4 221
11/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	14,5	81,5	302	10 663
11/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	16,4	84,6	569	20 104

11/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	16,7	85,6	896	31 654
11/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	21,8	91,4	328	11 586
11/06/2016	4224	Estocada 4224 - 902 NE	22,6	89,6	303	10 686
11/06/2016	4224	By Pass 4224-805 NW	22,8	85,4	231	8 146
11/06/2016	4224	Parrilla 4224 OP - 185	21,2	90,3	356	12 587
11/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	24,5	89,7	441	15 575
11/06/2016	4175	Sub Nivel 4175 - 666 NW	28,6	96,4	0	-
11/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,5	81,3	646	22 822
11/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,6	87,3	864	30 520
11/06/2016	4050	Galería 4050-463 SE	24,6	90,4	161	5 686
11/06/2016	3950	Cortada 3950 - 045	28,6	85	131	4 629
11/06/2016	3950	Galeria 3950 - 666 SE	26	70,7	312	11 034
11/06/2016	3950	Cortada 3950 Ingreso	26,2	78,3	1 542	54 432
12/06/2016	4090	Sub Nivel 4090 - 161 NW	20,4	92	334	11 800
12/06/2016	4030	Tajo 4000-2050 Eliana 02	22,8	86,6	172	6085
12/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,4	90	116	4 084
12/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	24,3	86,4	911	32 167
12/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana	23,80	90,1	1,025	36 207
12/06/2016	4000	Circuito de aire fresco	24,3	91,4	430	15 193
12/06/2016	3987	Tajo 3975 - 1900 Eliana	24,3	86,3	386	13613
12/06/2016	3950	Sub Nivel 3950 - 116 NW	22,6	90,4	267	9 436
12/06/2016	3950	Desquinche 3950-053 SE	24,3	86,7	110	3 869
12/06/2016	3950	Circuito de aire fresco.	17,4	93,3	1 608	56 790
12/06/2016	3950	Galeria 3950 - 663 NW	29	71,3	207	7 324
12/06/2016	3950	Galeria 3950 - 666 SE	28,6	68,4	267	9 434
12/06/2016	3950	Camara Mantto Atlas	23,8	68,7	235	8 287
12/06/2016	3900	Rampa 3900 - 190 NE	30,8	76,2	544	19 192
12/06/2016	3900	Parrilla 3900 OP - 258	29,4	78,4	757	26 739
12/06/2016	4200	Galeria 4200 veta Rosario Sur	22	81,4	813	28 713
14/06/2016	4017	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,8	90,4	670	23 674
14/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	23,6	89,1	881	31 092
14/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana	23,8	91,4	911	32 176
14/06/2016	4050	Parrilla 4050 OP - 234B	22,6	91,3	1,4	49 427
14/06/2016	4050	Galeria 4050 - 463 SE	24,2	93,9	91	3 208
14/06/2016	4050	Galeria 4050 - 461 NW	24,7	94,3	199	7 011
14/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	22,5	88,5	995	35 149
14/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,8	79	1,007	35 555
14/06/2016	4242	Rampa 4242 - 274 NW	24,5	79	72	2 551
14/06/2016	4225	Sub Nivel 4225 - 327 Nw	23	75,3	40	1 428
14/06/2016	4225	Sub Nivel 4225 - 330 SE	23,1	74,8	145	5 126

14/06/2016	4225	Sub Nivel 4225 - 330 SE	23,1	74,8	145	5 126
14/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	23,4	87,4	1 266	44 707
14/06/2016	4224	By Pass 4224 - 805 NW	23,4	85,3	721	25 472
15/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eleiana	26,4	85,3	928	32 757
15/06/2016	4000	Tajo 4000-2050 Eliana 02	25,2	85,2	889	31399
15/06/2016	3987	Tajo 3975 - 1900 Eliana	27,3	78,4	375	13 244
15/06/2016	4200	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	23,7	81,7	644	22 725
15/06/2016	4199	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,1	87,2	613	21 646
15/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,2	79,1	342	12 073
15/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,6	88,2	495	17 483
15/06/2016	4185	Camara Diamantina 4185	26,2	86,45	315	11 113
15/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1900 Kimberly	23,6	84,6	311	10 966
15/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	21,5	89,4	202	7 142
15/06/2016	4224	Estocada 4224 - 913 NE	22,4	82,6	329	11 600
15/06/2016	4224	By Pass 4224 - 805 NW	22,7	79,3	543	19 174
16/06/2016	4310	Desquinche 4310 - 343 SE	14,5	72,5	0	-
16/06/2016	4242	Estocada 4242-218 NE	21,2	85,4	147	5 187
16/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	22,5	93,5	191	6 754
16/06/2016	4225	Sub nIvel 4225 - 327 NW	23,5	91,4	42	1 498
16/06/2016	4225	Sub Nivel 4225 -330 SE	20,2	89,4	213	7 522
16/06/2016	4225	Rampa 4225 - 274 NW	23,2	92,2	86	3 037
17/06/2016	4530	Tajo 4485-1600 Carmen	12	58,4	799	28 228
17/06/2016	4520	Tajo 4485-1600 Carmen	15,5	69,5	332	11 728
17/06/2016	4485	Tajo 4485-1600 Carmen	17,4	79,6	223	7 881
17/06/2016	4340	Galeria 4340 - 405 SE	21,4	86,3	172	6 059
17/06/2016	4224	Tajo 4224 - 1700 Mariano	20,4	85,6	132	4 670
17/06/2016	4185	Tajo 4170 - 1800 C	23,5	81,1	322	11 371
17/06/2016	4170	Tajo 4170 - 1800 CY	23,8	90,7	212	7 491
17/06/2016	4185	Tajo 4185 - 1700 Mariano	23,5	92,4	135	4 771
17/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	24,5	72,5	632	22 322
17/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Raf	23,8	75,3	1,329	46 944
17/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana 02	24,6	90,5	175	6 166
17/06/2016	3987	Tajo 3975 - 1900 Eliana	28,3	90,4	449	15 839
18/06/2016	4090	Tajo 4050 - 16 San Rafael	25,3	69,4	626	22 100
18/06/2016	4075	Tajo 4050 - 16 San Rafael	23,4	85,3	1,718	60 650
18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 461 NW	24,8	83,6	72	2 525
18/06/2016	4050	Galeria 4050 - 463 SE	24,2	87,4	164	5 786
18/06/2016	4000	Tajo 3975 - 1900 Eliana 02	23,3	83,3	141	4 978
18/06/2016	3987	Tajo 3975 - 1900 Eliana 02	25	87,4	348	12 285
18/06/2016	4200	Sub Nivel 4200 Cortada 21	21,5	84,3	772	27 269
19/06/2016	4199	Tajo 4170 - 1800 CYNDHI	24,3	88,9	300	10 601

Anexo 16

Tablas de requerimiento de aire de los subsistemas

	SUBSISTEMA I						
	Tipo	Cantidad	Tipo	HP	U.E.	m ³ /min	pies ³ /min
EQUIPO	1	Jumbo	93,83	20,00%	56,3	1988	
	1	Simba T1D - 1	74	20,00%	44,4	1567	
	1	scoop	117	22,39%	78,6	2774	
	1	volquete	440	60,00%	792	2 7969	
	1	Camioncito Lubricador	147	12,20%	53,8	1 900	
	1	Grua paus	100,4	81,09%	244,2	8 625	
	1	Scamec 1000	117	30,64%	107,6	3 798	
	1	Cisterna FM 8x4	440	14,39%	189,95	6 707	
	4	camioneta	145	60,00%	1044	36 868.	
	Subtotal					2610,8	92 200
PERSONAL	47				282	9 960	
TOTAL					2892,8	102 161	
SUBSISTEMA III							
TIPO	Cantidad	Tipo	HP	U.E.	m ³ /min	pies ³ /min	
EQUIPO	1	Jumbo	115	20,00%	69	2437	
	1	SCOOP-CAT	165	65,24%	322,94	11405	
	1	scooptram	165	46,82%	231,77	8185	
	1	SCOOP-CAT	165	74,65%	369,51	13049	
	1	Bolter	75.06	20,00%	45,04	1590	
	1	Raptor	74	20,00%	44,4	1567	
	1	Camioncito Lubricador	147	12,20%	53,8	1899	
	1	Rompe banco	101	24,24%	73,44	2593	
	1	Camioncito	148	0,66%	2,93	103	
	1	Cisterna FM 8x4	440	14,39%	189,95	6708	
	1	Grua	128	5,37%	20,62	728	
	7	camioneta	147.5	60,00%	1858,5	6 5632	
	Subtotal					3281,9	115 899
PERSONAL	78				468	16 529	
TOTAL					3749,89	132 429	

SUBSISTEMA II	TIPO	Cantidad	Tipo	HP	U.E.	m ³ /min	pies ³ /min	
	EQUIPO	1	1	Simba S7D-01	96	20,00 %	57,6	2034
		1	1	Simba T1D - 1	74	20,00 %	44,4	1568
		3	3	Jumbo	93,83	20,00 %	168,89	5964
		1	1	scooptram	165	27,00 %	133,65	4720
		1	1	SCOOP-CAT	165	74,74 %	369,97	13065
		1	1	SCOOP-CAT	165	68,24 %	337,79	11929
		3	3	volquetes	440	60,00 %	2376	83907
		1	1	Grua Normet	128,65	73,91 %	285,26	10074
		1	1	Camioncito Lubricador	147	12,20 %	53,8	1900
		1	1	Grua	128	52,83 %	202,87	7164
		3	3	camioneta	147,5	71,43 %	948,23	33486
		2	2	camioneta	147,5	60,00 %	531	18752
		1	1	camioneta	130	62,70 %	244,53	8636
		1	1	Cisterna FM 8x4	440	14,39 %	189,95	6708
		1	1	Camioncito	148	70,67 %	313,77	11081
		1	1	Bolter	75,06	20,00 %	45,04	1590
Subtotal						5509,46	222 579	
PERSONA L	57					342,00	1 2079	
TOTAL						5851,46	234 659	

SUBSISTEMA IV	TIPO	Cantidad	Tipo	HP	U.E.	m ³ /min	pies ³ /min	
	EQUIPO	1	1	Simba H - 157	74	20,00 %	44,4	1568
		1	1	Simba S7D-02	96	20,00 %	57,6	2034
		1	1	SCOOP-CAT	165	87,87 %	434,96	15360
		1	1	SCOOP-CAT	165	79,91 %	395,54	13968
		1	1	SCOOP-CAT	165	80,59 %	398,93	14088
		1	1	SCOOP-CAT	165	73,13 %	361,99	12783,44
		1	1	SCOOP-CAT	165	78,20 %	387,09	13670
		3	3	Jumbo	115	20,00 %	207	7310
		6	6	volquetes	440	60,00 %	4 752,00	167 815
1		1	volquetes	440	61,00 %	805,2	28 436	

	3	volquetes	440	59,00 %	2 336,40	82 509
	1	scooptram	250	49,00 %	367,5	12 978
	1	scooptram	193	55,66 %	322,27	11 380
	1	scooptram	193	50,00 %	289,5	10 223
	1	scooptram	193	49,97 %	289,34	10 217
	1	Rompe banco	101	26,23 %	79,48	2 806
	1	Camioncito Lubricador	147	12,20 %	53,8	1 900
	2	Bolter	75,06	20,00 %	90,07	3181
	1	Grua Normet	128,65	74,98 %	289,39	10 219
	1	Camioncito	148	68,84 %	305,65	10 793
	1	Camioncito	148	61,90 %	274,84	9 705
	1	Camioncito	148	55,18 %	245	8 652
	1	Camioncito	148	73,43 %	326,03	11 513
	1	Camion Grua	130	61,00 %	237,9	8 401
	1	Cisterna FM 8x4	440	14,39 %	189,95	6708
	2	Camioncito	147	61,00 %	538,02	19 000
	7	camioneta	145	60,00 %	1 827,00	64 520
	1	camioneta	145	60,00 %	261	9 217
	1	camioneta	130	62,00 %	241,8	8 539
	Subtotal				16 409,64	579 501
PERSONA L	108				648	22887
TOTAL					17057,64	602 388

	TIPO	Cantidad	Tipo	HP	U.E.	m ³ /min	pies ³ /min
	SUBSISTEMA V	EQUIPO	1	Simba S7D-03	96	20,00 %	57,60
1			SCOOP-CAT	193	83,30 %	482,29	17031,75
1			scooptram	165	59,00 %	292,05	10313,65
1			scooptram	193	72,00 %	416,88	14721,98
1			SCOOP-CAT	165	75,00 %	371,25	13110,57
2			volquetes	440	55,83 %	1473,91	52 050,71
1			Grua Paus	100,4	56,05 %	168,82	5 961,91
1			Bolter	75,06	20,00 %	45,04	1 590,43
1			Cisterna FM 8x4	440	14,39 %	189,95	6 707,95

	1	Grua	128	37,84 %	145,29	5 131,01
	1	Camioncito Lubricador	147	12,21 %	53,85	1 901,56
	3	Camioncito	147	61,00 %	807,03	28 500,00
	2	camioneta	147,5	59,66 %	527,99	18 645,83
	2	camioneta	174,3	60,00 %	627,48	22 159,25
	1	camioneta	147,5	73,43 %	324,93	11 474,72
	1	camioneta	147,5	59,40 %	262,85	9 282,28
	Subtotal				6 247,20	22 0617,72
PERSONAL	47				282,00	9960,24
	TOTAL				6 529,20	230 577,96

Fuente: Elaboración propia

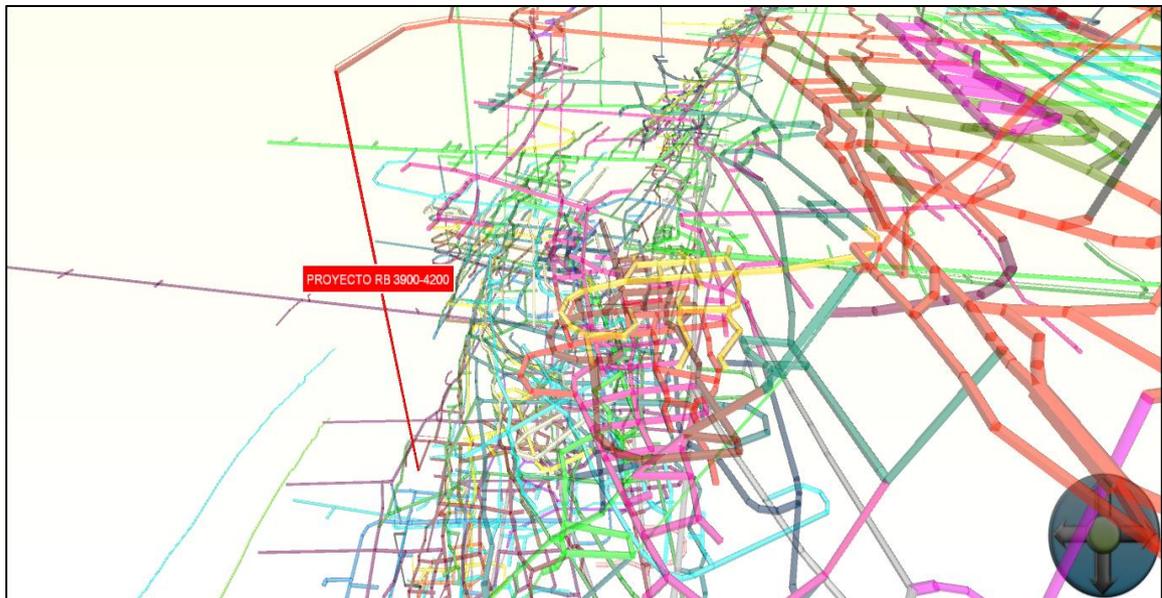
Anexo 17

Proyecto de RB 3650-3700 & 3650-3750



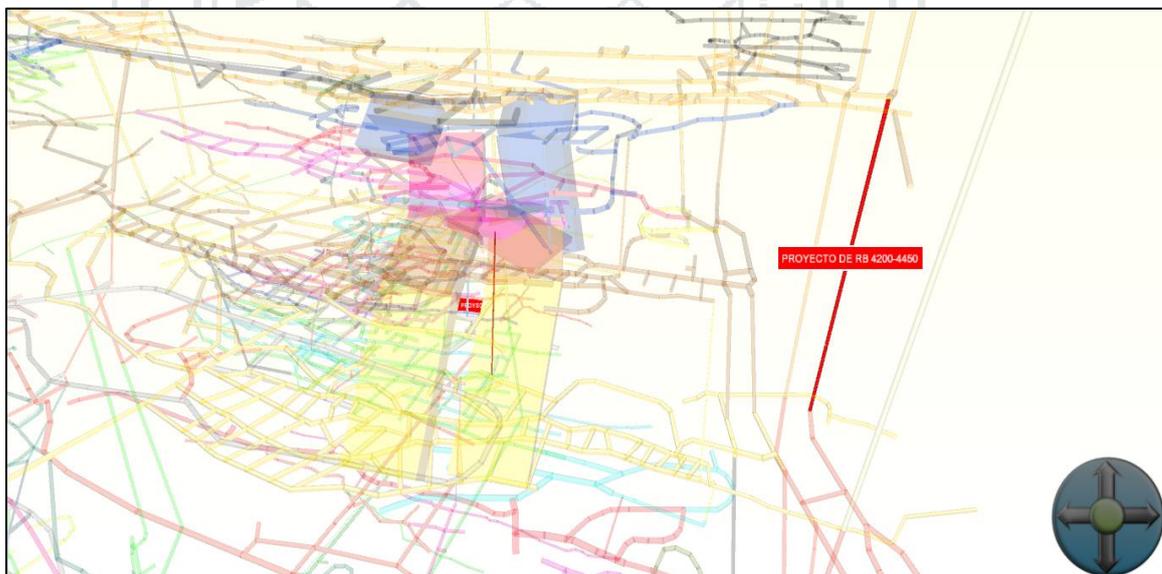
Anexo 18

Proyecto de RB 3900-4200

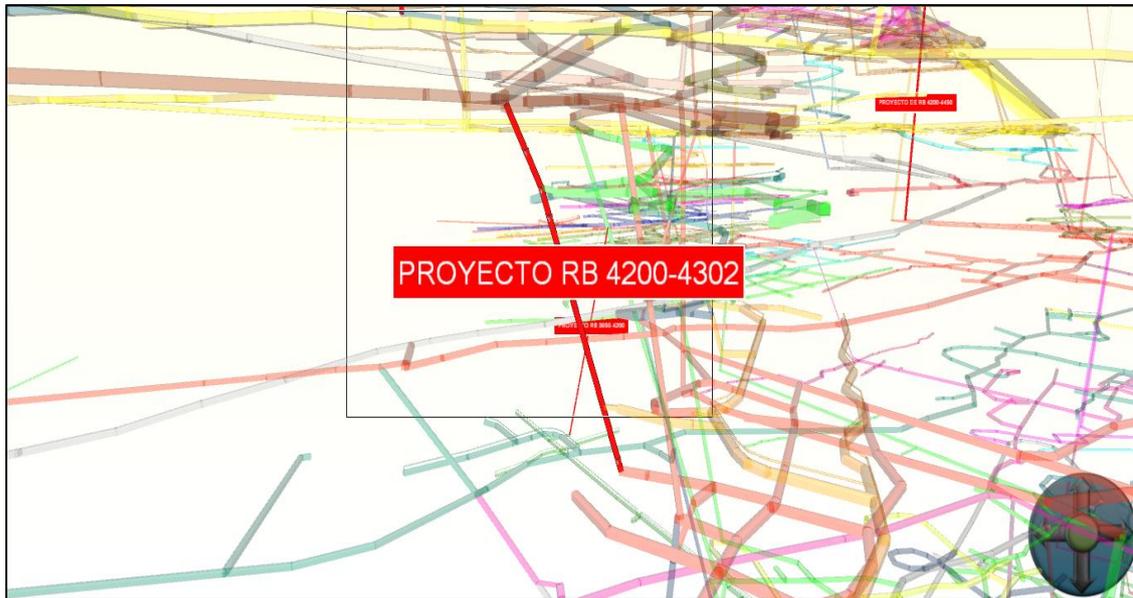


Anexo 19

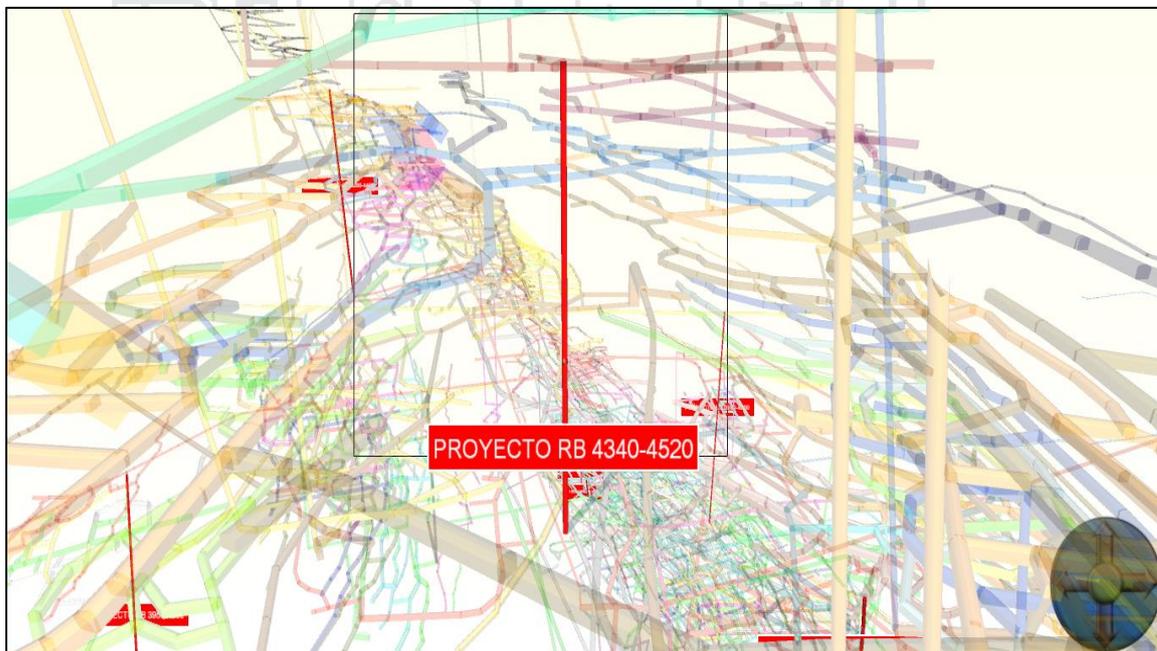
Proyecto de RB 4200-4302



Anexo 20
Proyecto de RB 4200-4450

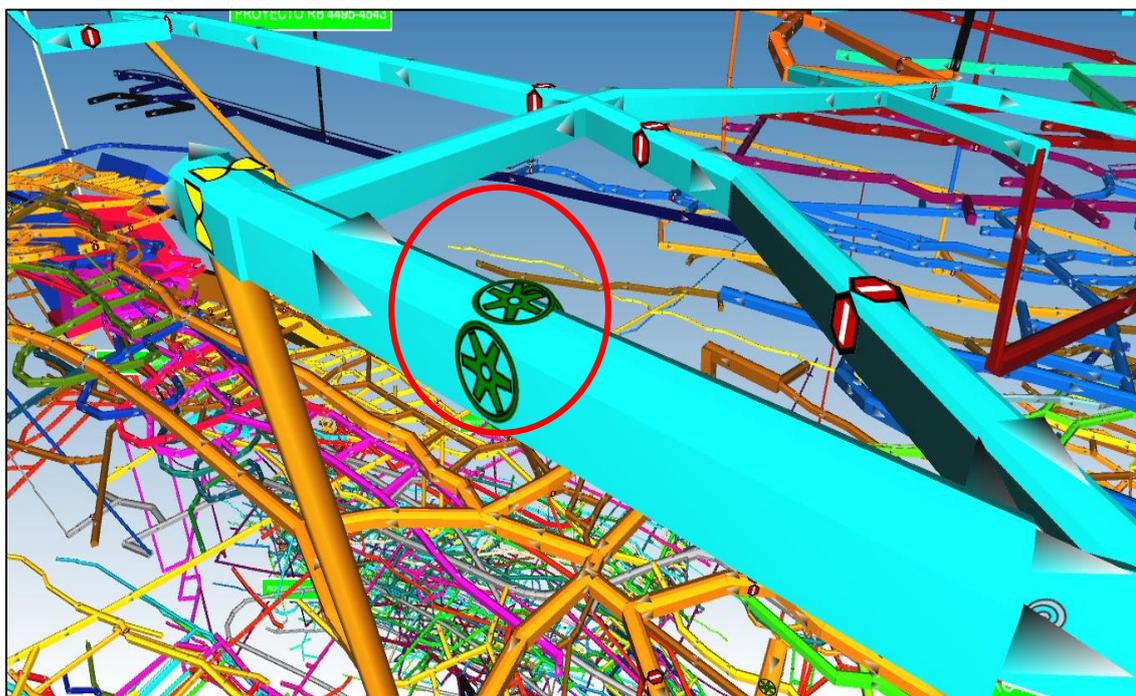


Anexo 21
Proyecto de RB 4340-4520



Anexo 22

Ventilador axial de 100 000 cfm



Anexo 23

Tabla de valores de factores de fricción

Ductos rectangular	Factor fricción (kg/m3)
Revestimiento de concreto	0,0037
Paredes de concreto o ladrillo con viguetas	0,0093
Paredes sin revestir (lisas)	0,0121
Paredes sin revestir (Irregulares)	0,0158
Marcos de madera	0,0186
Galerías con arcos metálicos	
Revestimiento de concreto	0,0037
Con losas de concreto o entablado total entre arcos	0,0074
Con losas de concreto o entablado parcial entre arcos	0,0093
Entablado parcial detrás de los arcos	0,0121
Superficie irregular entre arcos	0,0158
Pozos verticales de sección circular	
Revestimiento de concreto: sin obstrucciones	0,003

Revestimiento de ladrillo: sin obstrucciones	0,0037
Revestimiento de concreto: equipado	0,0065
Revestimiento de ladrillo: equipado	0,0074
Blindado: sin obstrucciones	0,0139
Enmaderado: sin divisores	0,0167
Revestimiento de ladrillo: con los divisores sin arriostre	0,0176
Revestimiento de ladrillo: con los divisores con arriostre	0,0223
Enmaderado con divisores arriostrados	0,0223

Fuente: McPherson (1993)

Anexo 24

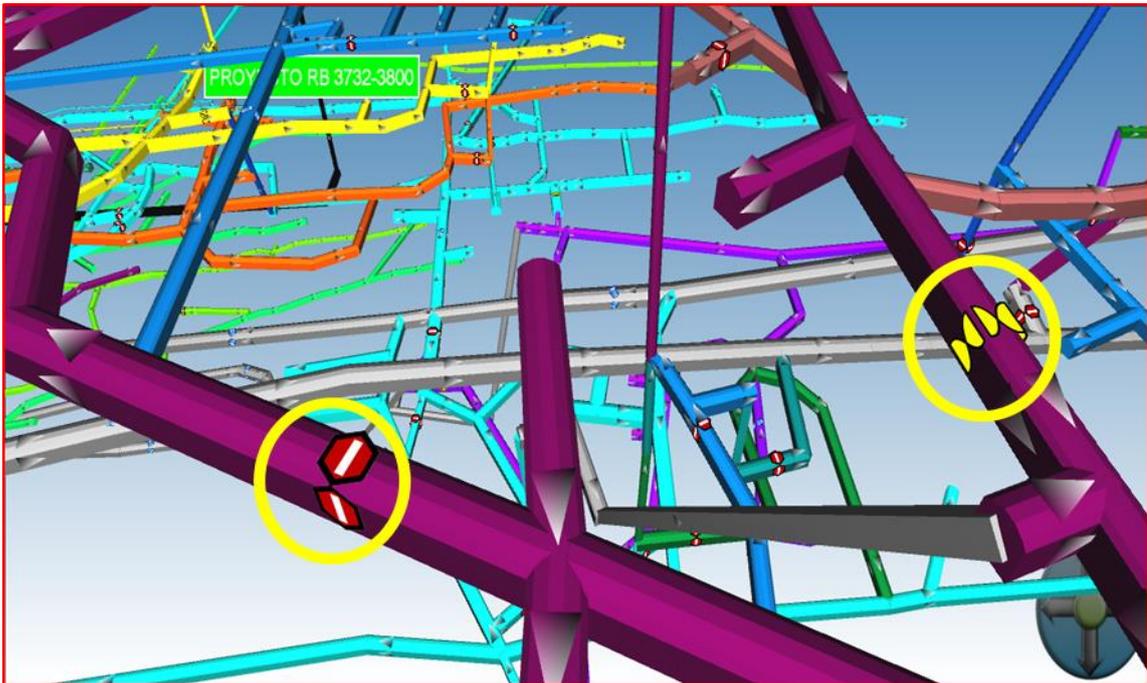
Tabla factores de pérdida de carga

Ejemplos de geometría de vías de Aire	Factor X
Curva 90° sección cuadrada $r/w = 1$	0,25
Curva 90° sección cuadrada $r/w = 0,5$	1,3
Curva 90° sección redonda $nd = 1$	0,2
Curva 90° sección Redondo $nd = 0,1$	1,1
Curva cerrada 45° sección cuadrada $r/w = 1$	0,15
Curva cerrada 45° sección cuadrada $r/w = 0,5$	0,78
Curva redondeada 45° sección cuadrada $r/w = 1$	0,05
Curva redondeada 45° sección redonda $r/w = 0,5$	0,26
Desviación 45° cerrada sección redonda $r/w = 0,1$	0,66
Curva cerrada 45° sección redonda $r/w = 1$	0,12
Desviación suave 45° sección redonda $r/w = 0,1$	0,22
Curva redondeada 45° sección redonda $r/w = 1$	0,04
Entrada con borde definido (ej. portal de inyección)	0,5
Estrada a ducto	1
Entrada de boca de campana	0,03
Intersecciones / expansions / contracciones	Formula

Fuente: McPherson (1993)

Anexo 25

Bloque y puertas simulados en Ventsim Visual



Anexo 26

Cuaderno de notas en Ventsim Visual

