



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON EL  
SOFTWARE VENTSIM-DESIGN EN LA ZONA CONSUELO I –  
NIVEL 2296 DE LA UNIDAD OPERATIVA ALPACAY – CIA  
MINERA YANAQUIHUA S.A.C.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. WILLY WILMER QUISPE ZAPATA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2021**



## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios por haber iluminado mi camino, para lograr mi profesión como Ingeniero de Minas.

A mi Madre, hermanos y sobrinos por mostrarme siempre su aprecio, cariño y apoyo incondicional para culminar mi vida estudiantil y obtener mi título profesional.

**Willy Wilmer Quispe Zapata**



## AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por guiar mis pasos diariamente, dejándome aprender de mis errores; a mi madre, por su apoyo incondicional que me brindaron en toda mi etapa universitaria enseñándome que con perseverancia y esfuerzo las metas trazadas tarde o temprano .se cumplen.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por brindar la oportunidad para realizar mis estudios universitarios., a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, al personal docente y administrativo por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

**Willy Wilmer Quispe Zapata**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**RESUMEN.....14**

**ABSTRACT.....15**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....16**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....17**

1.2.1 Problema general .....17

1.2.2 Problemas específicos.....17

**1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....17**

1.3.1 Hipótesis general .....17

1.3.2 Hipótesis específicas .....17

**1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....18**

1.4.1 Objetivo general..... 18

1.4.2 Objetivos específicos .....18

**1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....18**



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>23</b>
2.2.1 El minado subterráneo .....	23
2.2.2 Métodos del minado subterráneo.....	26
2.2.3 Método por corte y relleno ascendente .....	27
2.2.4 Ventilación de minas subterráneas.....	32
2.2.5 El polvo en las minas .....	35
2.2.6 Definición de ventilación de minas subterráneas .....	35
2.2.7 Mapeo de ventilación .....	50
2.2.8 Diseño de la red de ventilación de minas .....	59
2.2.9 Modelamiento de una red de ventilación de minas .....	82
<b>2.3 SOFTWARES UTILIZADOS .....</b>	<b>84</b>
2.3.1 Ventsim – Design 5.0 .....	84
2.3.2 Hexagon – Mine Plan 3D .....	85
2.3.3 Autocad .....	85
<b>2.4 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO.....</b>	<b>85</b>
2.4.1 Geología Regional .....	85
2.4.2 Geología Local .....	86
2.4.3 Tipo de yacimiento y mineralización .....	87
2.4.4 Control de la mineralización.....	87
2.4.5 Método de explotación subterránea de Alpacay.....	88
2.4.6 Ventilación en Alpacay.....	88



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1 UBICACIÓN .....</b>	<b>89</b>
<b>3.2 ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>89</b>
<b>3.3 DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>90</b>
3.3.1 Alcance .....	90
<b>3.4 POBLACIÓN .....</b>	<b>91</b>
<b>3.5 MUESTRA .....</b>	<b>91</b>
<b>3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>91</b>
3.6.1 Variable independiente .....	91
3.6.2 Variable dependiente .....	91
<b>3.7 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>92</b>
<b>3.8 MAPEO DEL FLUJO DEL CAUDAL DEL AIRE .....</b>	<b>96</b>
<b>3.9 MAPEO DE LOS GASES VICIADOS.....</b>	<b>109</b>
<b>3.10 MAPEO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN.....</b>	<b>112</b>
<b>3.11 MATERIAL PARA MODELAMIENTO DE LA RED DE VENTILACIÓN.....</b>	<b>116</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN ANTERIOR EN LA ZONA CONSUELO I DE LA MINA ALPACAY .....</b>	<b>119</b>
<b>4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>119</b>
4.2.1 Diseño de la red de ventilación anterior .....	119
4.2.2 La red isométrica de la zona Consuelo I.....	123
4.2.3 El diagrama unifilar .....	123



<b>4.3</b>	<b>CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DE LA ZONA CONSUELO I...</b>	<b>124</b>
<b>4.4</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED DE VENTILACIÓN DE LA ZONA CONSUELO I.....</b>	<b>129</b>
4.4.1	Cobertura del aire.....	129
4.4.2	Independizar circuitos.....	129
4.4.3	Ejecución de labores de ventilación.....	131
4.4.4	Adquisición de ventiladores.....	132
<b>4.5</b>	<b>NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM EN LA ZONA CONSUELO I DE LA MINA ALPACA.....</b>	<b>132</b>
4.5.1	Labores de ventilación construidas .....	133
4.5.2	Diseño una nueva red de ventilación.....	135
4.5.3	Selección de los ventiladores para la zona Consuelo I.....	141
4.5.4	Modelamiento de la red de ventilación de la zona Consuelo I.....	146
<b>4.6</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES.....</b>	<b>164</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>166</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>167</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>170</b>

**Área:** Ingeniería de Minas.

**Tema:** Servicios Auxiliares Mineros.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 02 de marzo 2021



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ley de los ventiladores.....	45
Tabla 2. Tramos de acceso desde Arequipa a la Mina Alpacay.....	89
Tabla 3. Operacionalización de las variables .....	92
Tabla 4. Labores del nivel 2 296 de la Mina Alpacay – Consuelo I.....	99
Tabla 5. Labores del nivel 2 220 y 2 360 de la mina Alpacay.....	100
Tabla 6. Labores en operación de la zona Consuelo I – Alpacay.....	101
Tabla 7. Ingreso de aire fresco a la zona Consuelo I sin ventilación auxiliar.....	103
Tabla 8. Salida del aire viciado de la zona Consuelo I sin ventilación auxiliar.....	103
Tabla 9. Ingreso de aire fresco a la zona Consuelo I con ventilación auxiliar .....	104
Tabla 10. Salida del aire viciado de la zona Consuelo I con ventilación auxiliar.....	105
Tabla 11. Labores que tienen una temperatura mayor a los 29° C.....	106
Tabla 12. Trabajadores del área de operaciones mina – operación mermada.....	107
Tabla 13. Supervisores y otros trabajadores.....	107
Tabla 14. Trabajadores del área de operaciones mina – operación óptima.....	108
Tabla 15. El total del personal de la zona Consuelo I – operación mermada.....	109
Tabla 16. El total del personal de la zona Consuelo I – operación óptima.....	109
Tabla 17. Promedio del mapeo de gases viciados del mes de setiembre y octubre.....	111
Tabla 18. Resumen para las labores del nivel 2 296.....	113
Tabla 19. Resumen para las labores del nivel 2 220 y 2 360.....	113
Tabla 20. Elementos de las labores del nivel 2 296 necesarios para el software.....	114
Tabla 21. Elementos de las labores del nivel 2220 y 2360 necesarios para el software...	115
Tabla 22. Elementos de las labores del nivel 2 220 y 2 360 para la forma manual.....	115
Tabla 23. Elementos de las labores del nivel 2 296 para la forma manual.....	116
Tabla 24. Ventiladores auxiliares utilizados en la zona Consuelo I - 2296.....	118
Tabla 25. Cálculo para diluir los gases viciados, labor por labor en LB.....	121
Tabla 26. Cálculo para dar confort, labor por labor en LB.....	122





Tabla 27. Aire total requerido para la zona Consuelo I en LB.....	122
Tabla 28. Promedio del mapeo de gases viciados del mes de setiembre y octubre.....	130
Tabla 29. Velocidad recomendable por acceso en la zona Consuelo I.....	131
Tabla 30. Cálculo para diluir los gases viciados, labor por labor en EXP.....	137
Tabla 31. Cálculo para dar confort labor por labor en EXP.....	138
Tabla 32. Aire total requerido para la zona Consuelo I en EXP – Óptimo.....	138
Tabla 33. Ventilador 3 para el circuito 1 de la zona Consuelo I.....	143
Tabla 34. Ventilador 5 para el circuito 2 de la zona Consuelo I.....	145
Tabla 35. Ventilador 4 para el circuito 2 de la zona Consuelo I.....	145
Tabla 36. Ventilador 6 para el circuito 1 de la zona Consuelo I.....	152
Tabla 37. Balance de la cobertura por labores operativas.....	155
Tabla 38. Balance de las velocidades en las labores operativas.....	156



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema gráfico del minado subterráneo. ....	25
Figura 2. Sección vertical del minado de un tajeo por corte y relleno. ....	29
Figura 3. Ventilación natural. ....	36
Figura 4. Ventilación mecánica o forzada. ....	38
Figura 5. Ventilación auxiliar en modo impelente o insuflando.....	40
Figura 6. Ventilación auxiliar en modo aspirante o succionando.....	41
Figura 7. Ventilación auxiliar combinado ambos modos. ....	41
Figura 8. Ventilador centrífugo. ....	42
Figura 9. Ventilador axial. ....	43
Figura 10. Curva característica de un ventilador axial a diferentes RPMs.....	44
Figura 11. Ducto espiral de plástico PVC con anillos del mismo material. ....	46
Figura 12. Accesorios de la manga de ventilación. ....	48
Figura 13. Ventana regulable.....	49
Figura 14. Cortina hermética. ....	49
Figura 15. El psicómetro.....	52
Figura 16. El manómetro electrónico, tubos Pitot de diferentes tamaños y mangueras..	56
Figura 17. El multigas Altair 5X que mide LEL, monóxido de carbono y otros más. ...	58
Figura 18. Diagrama de la ecuación de Bernoulli. ....	61
Figura 19 Formas de flujo de un ventilador.....	63
Figura 20. Red isométrica de una mina .....	65
Figura 21. Un grafo mixto para el trazo del diagrama unifilar. ....	66
Figura 22. El diagrama unifilar de una mina .....	66
Figura 23. Esquema de la primera ley de Kirchhoff.....	67
Figura 24. Esquema de la segunda ley de Kirchhoff. ....	68
Figura 25. Esquema de un circuito en serie.....	73
Figura 26. Curva característica para un ventilador en un circuito en serie.....	75



Figura 27. Esquema de un circuito en paralelo.....	75
Figura 28. Curva característica para un ventilador en un circuito en paralelo. ....	78
Figura 29. Cantidad mínima de aire por hombre y equipo. ....	79
Figura 30. Esquema del mapeo del flujo del caudal del aire parte I.....	93
Figura 31. Esquema del mapeo del flujo del caudal del aire parte II. ....	94
Figura 32. Esquema del mapeo de los gases viciados. ....	95
Figura 33. Esquema del mapeo de la caída de presión por elementos.....	95
Figura 34. Esquema para el modelamiento de la red de ventilación. ....	96
Figura 35. Plano general de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay. ....	98
Figura 36. Bocamina principal a la zona Consuelo I de la mina Alpacay.....	102
Figura 37. Bocamina principal de la zona 70 de la mina Alpacay. ....	102
Figura 38. Chimenea 871 del Tajo 858, que presenta vapor de agua. ....	106
Figura 39. Presencia de colchones de humo en la Galería 508 E. ....	110
Figura 40. Labores en 3D de la mina Alpacay, niveles 2 220, 2 296 y 2 360. ....	117
Figura 41. Red isométrica del circuito de ventilación de la zona Consuelo I en LB....	123
Figura 42. Diagrama unifilar de la zona Consuelo I en LB.....	124
Figura 43. Encauzamiento y distribución del aire en la zona Consuelo I en LB.....	125
Figura 44. La caída de presión en tramo 1 con el ramal 1 y 2.....	126
Figura 45. La caída de presión en tramo 2 con el ramal 3 y 4.....	127
Figura 46. La caída de presión de la zona Consuelo I – Mina Alpacay. ....	128
Figura 47. Recirculación de los gases viciados en la Zona Consuelo I.....	130
Figura 48. El Crucero V-02 del nivel 2 220. ....	134
Figura 49. Vista de la chimenea 920 cuando se construía la Galería V-03. ....	135
Figura 50. Red isométrica del circuito de ventilación de la zona Consuelo I en EXP. ....	139
Figura 51. Diagrama unifilar de la zona Consuelo I en EXP - actualizado.....	140
Figura 52. Puerta de ventilación utilizada para separar el circuito 1 y 2.....	141
Figura 53. Diagrama unifilar del circuito 1 de la zona Consuelo I.....	142



Figura 54. Diagrama unifilar del circuito 2 de la zona Consuelo I.....	144
Figura 55. Vista 3D de la zona Consuelo I – Mina Alpacay en Ventsim.....	147
Figura 56. Valores del factor K de la zona Consuelo I dentro de Ventsim. ....	148
Figura 57. Ventiladores configurados para la zona Consuelo I dentro de Ventsim. ....	149
Figura 58. Labores programadas para la zona Consuelo I dentro de Ventsim. ....	150
Figura 59. Simulación del circuito 1 de la zona Consuelo I dentro de Ventsim. ....	151
Figura 60. Otros cambios en el Circuito 1 de la zona Consuelo I dentro de Ventsim..	152
Figura 61. Simulación del Circuito 2 la zona Consuelo I dentro de Ventsim. ....	153
Figura 62. Cambio de posición del FAN 4 en la zona Consuelo I dentro de Ventsim.	154
Figura 63. Resumen del sistema de ventilación de la zona Consuelo I por Ventsim. ..	157
Figura 64. Instalación de mangas de 24” de diámetro Crucero 540 W. ....	158
Figura 65. Resumen del consumo de energía en la zona Consuelo I por Ventsim.....	159
Figura 66. Ambientes diáfanos de las labores: GL 508 E y CX 365W.....	161
Figura 67. Diagrama de las pérdidas de energía en la zona Consuelo I por Ventsim. .	163
Figura 68. Ventiladores Joy-S-1000: CX 545 – Circuito 1 y 2. ....	164



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 01. Plano de Ubicación de la Mina Alpacay – Yanaquihua. ....	171
Anexo N° 02. Cuadro para la elección del factor K .....	172
Anexo N° 03. Longitudes de Choque (Le). ....	173
Anexo N° 04. Formato para mapeo de los gases viciados y oxígeno en labores.....	174
Anexo N° 05. Mapeo de los Gases Viciados y Oxígeno en las Labores. ....	175
Anexo N° 06. Formato de evaluación para la elección del factor K .....	176
Anexo N° 07. Evaluación física de las labores para la elección del factor K.....	177



## RESUMEN

La Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C., se encuentra ubicado en la jurisdicción del distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos y departamento de Arequipa. Actualmente está explotando el oro filoneano aplicando el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional. La producción del mineral es 32 147 Tm por año con un Cut Off igual a 4.56 g/Tm. Mediante la evaluación del sistema de ventilación anterior en la zona Consuelo I, se tiene problemas de la distribución del aire fresco en los tramos 1 y 2, el mismo que es deficiente debido a una dilución defectuosa de los gases viciados que en promedio son de 1.8 horas y es 0.8 horas más de lo que indica el estándar. Además, las condiciones de muchas labores como el Crucero 365 W, no se regulan adecuadamente por la falta de aire fresco, lo cual hace que la humedad y el calor afecten en la operación diaria de muchos trabajadores, todas estas condiciones han permitido que la operación en la zona Consuelo I, sea deficiente, paralizando hasta 3 labores principales. El objetivo de la investigación es optimizar el sistema de ventilación en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay con el software Ventsim-Design. La metodología para desarrollar el trabajo de investigación ha sido en su primera etapa en realizar una evaluación integral del sistema de ventilación anterior en donde se ha encontrado un déficit de 41% para un requerimiento de aire fresco de 34 020 CFM. Asimismo, se pudo identificar un circuito único, muy amplio, donde existía recirculación de los gases viciados del tramo 1 al tramo 2, haciendo que el tiempo de ventilación de las labores: Galería 508 W, Crucero 365 y otras labores han requerido un tiempo promedio de 1.8 horas, debido a la mayor concentración de los gases viciados, a consecuencia de ello, se han paralizado 03 labores: Galería 508 E, Galería 540 E y el Tajeo 638. Posteriormente en el estudio de investigación se ha realizado un nuevo diseño del sistema ventilación con el software Ventsim- Design, en donde se separó el circuito único en dos circuitos independientes, construyendo 3 labores exclusivas de ventilación, el Crucero V-02 para el circuito 2; la Chimenea 920 y la Galería V-03 para el circuito 1. También se han adquirido 4 ventiladores, 2 de 15 000 CFM y 2 de 30 000 CFM, en donde la cobertura del aire fresco fue mayor en un 9.20% más que el aire requerido de 44 500 CFM para un escenario óptimo de operación. Todo ello, permitió optimizar el sistema de ventilación en la zona Consuelo I, de la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

**Palabras clave:** Sistema, ventilación, Ventsim, mecánica, optimización.



## ABSTRACT

The Alpacay Mining Unit of the CIA Minera Yanaquihua S.A.C., is located in the jurisdiction of the Yanaquihua district, Condesuyos province and Arequipa department. It is currently exploiting the Filonean gold applying the Conventional Ascending Cut and Fill method. The mineral production is 32 147 Tm per year with a Cut Off equal to 4.56 g / Tm. Through the evaluation of the previous ventilation system in the Consuelo zone I, there are problems of the distribution of fresh air in sections 1 and 2, which is deficient due to a defective dilution of the stale gases that on average are 1.8 hours and it is 0.8 hours longer than the standard indicates. In addition, the conditions of many jobs such as the Crucero 365 W, are not adequately regulated due to the lack of fresh air, which causes humidity and heat to affect the daily operation of many workers, all these conditions have allowed the operation in the Consuelo zone I, is deficient, paralyzing up to 3 main tasks. The objective of the research is to optimize the ventilation system in the Consuelo zone I of the Alpacay Mining Unit with the Ventsim-Design software. The methodology to develop the research work has been in its first stage to carry out an integral evaluation of the previous ventilation system, where a deficit of 41% has been found for a fresh air requirement of 34 020 CFM. Likewise, it was possible to identify a single, very wide circuit, where there was recirculation of the stale gases from section 1 to section 2, causing the ventilation time of the works: Gallery 508 W, Crucero 365 and other tasks have required an average time 1.8 hours, due to the higher concentration of stale gases, as a result, 03 works have been paralyzed: Gallery 508 E, Gallery 540 E and Tajeo 638. Later in the research study a new design of the ventilation system with the Ventsim-Design software, where the single circuit was separated into two independent circuits, building 3 exclusive ventilation tasks, the V-02 Cruise for circuit 2; Chimney 920 and Gallery V-03 for circuit 1, 4 fans have also been purchased, 2 of 15 000 CFM and 2 of 30 000 CFM, where the fresh air coverage was greater by 9.20% more than the required air of 44 500 CFM for an optimal operating scenario, all of which allowed optimizing the ventilation system in the Consuelo I area of the Alpacay Mineral Unit of the CIA Minera Yanaquihua SAC

**Keywords:** System, ventilation, Ventsim, mechanics, optimization.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La zona de minado Consuelo I, comprende el desarrollo de las Veta Alice y Katty en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua. La zona Consuelo I se encuentra en el nivel intermedio por encima de las operaciones en las Vetas Huáscar y Esperanza, denominado como la zona 70. El minado en la Unidad Minera Alpacay es por método convencional, con transporte en rieles y sostenimiento en cuadros de madera. La producción alcanza los 32 147 Tm por año. El mineral principal es el oro, el cual tiene una ley de corte de 4.56 g/Tm.

A diferencia de la buena ventilación natural de la zona 70, donde se está explotando la veta Huáscar, la zona Consuelo I que comprende los niveles 2 220, el 2 296 y el 2 360, no posee una buena ventilación natural por lo cual se utiliza una ventilación mecánica. Actualmente en la zona Consuelo I se cuenta con 3 ventiladores axiales (2 operativos y uno averiado) que suman en total una capacidad de 35 000 CFM. Con los cuales se realiza la ventilación de las labores de desarrollo y explotación como: Crucero 540 W, Nivel 240, Tajeo 607, Galería 508 W, entre otros. En muchas ocasiones la ventilación en la zona Consuelo I es deficiente, pues la extracción de los gases viciados no es suficiente después de la voladura, haciendo que después de esta operación muchos trabajadores muestren cansancio prematuro para realizar las demás tareas. Asimismo, la temperatura no se regula adecuadamente por la falta de aire fresco, lo cual hace que la humedad y el calor afecten la labor ordinaria de los trabajadores. En casos extremos, muy eventuales, es necesario parar las operaciones en la Galería 508 E. A pesar de la reubicación de los ventiladores y el uso de cortinas herméticas, es necesario realizar una mejora en el sistema de ventilación.

Para mejorar el sistema de ventilación en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay, ha sido necesario realizar una evaluación del sistema de ventilación y hacer un rediseño de la misma con el uso del software Ventsim - Design, con el





cual se ha medido las deficiencias del sistema de ventilación anterior, para luego incorporar soluciones mediante un diseño de un sistema de ventilación que cumpla los requerimientos de aire. Esto ha permitido optimizar la ventilación en la zona Consuelo I de modo que la labor en las tres galerías de desarrollo sea más continua y con mayor producción.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo optimizamos el sistema de ventilación en la zona Consuelo I, del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

- a) ¿Cuál es la evaluación del sistema ventilación anterior en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.?
- b) ¿Cómo mejoramos el sistema ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 mediante el nuevo diseño con el Software Ventsim Design en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.?

## **1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis general**

Mediante el nuevo diseño de la red de ventilación con el Software Ventsim Design se optimizará el sistema ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**

- a) Mediante la evaluación del sistema de ventilación anterior, se determinará las deficiencias en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.



- b) Mediante el nuevo diseño con el Software Ventsim Design se mejorará el sistema ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Optimizar el sistema de ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Evaluar el sistema de ventilación anterior para determinar las deficiencias en la Zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.
- b) Mejorar el sistema ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 mediante el nuevo diseño con el Software Ventsim Design en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación surge de los problemas que existen en el abastecimiento de aire fresco y limpio dentro de las labores de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay. Si bien las operaciones de sostenimiento, perforación, voladura, acarreo y transporte son ejecutadas día a día en la Unidad Minera Alpacay. Esto no significa que las operaciones se estén realizando con eficiencia. El cansancio prematuro de los trabajadores por el excesivo calor, la sensación de ahogo y la fatiga prematura, han sido problemas que han mermado la productividad de los trabajadores en las distintas operaciones realizadas, esto debido a que el oxígeno en algunas labores está por debajo del 19.5%. A esto agregar que la temperatura está por encima de los 28° C en un trabajo moderado, donde la temperatura debería ser menor. Asimismo, después de la voladura, la



dilución de los gases viciados y el polvo en suspensión, requiere entre 1 hora hasta 2 horas, ocasionando retrasos para la ejecución de posteriores labores.

La causa principal de estos problemas es el inadecuado abastecimiento de aire fresco proporcionado por el sistema de ventilación principal y auxiliar, el cual se realiza con tres ventiladores axiales de: 20 000 CFM; 10 000 CFM y 5 000 CFM de capacidad. La anterior red de ventilación no cubre la demanda de aire fresco suficiente para tener un oxígeno al 19.5% y ambientes bien ventilados con una velocidad del aire mayor a los 20 m/min. A pesar de la reubicación de estos, así como el uso de cortinas herméticas para el rebote del aire fresco, el sistema de ventilación de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay es bastante deficiente.

En consecuencia, el presente estudio de investigación tiene mucha importancia, puesto que se ha mejorado el sistema de ventilación en las distintas labores de la zona Consuelo I, realizando un nuevo diseño de la red de ventilación con el software Ventsim Design y se ha corregido las deficiencias y también ha cubierto la demanda del aire fresco al abastecer adecuadamente a cada labor desarrollada en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Caxi (2017), el objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación integral del sistema de ventilación de UEA Santa Filomena que conlleve al modelamiento de la red de ventilación mediante el uso del software Ventsim. Planteando las mejoras de ventilación de forma integral con la ejecución de las nuevas infraestructuras. Esta investigación fue de tipo aplicativo de diseño exploratorio - descriptivo; en el cual se hizo una evaluación integral del sistema de ventilación en la veta Santa Filomena y Santa Rosa, encontrándose falencias, las cuales se corrigieron diseñando y simulando la red de ventilación por cada zona en el software Ventsim. Este estudio concluye principalmente que, para la veta Santa Filomena se realizan dos labores más, así como la instalación de puertas herméticas y tapones en ciertas labores, con los cuales se mejoran la ventilación natural de la zona, lográndose una cobertura del 115%. En tanto, para la veta Santa Rosa, en el cruce 2170 se instala mangas paralelas de ventilación de 24", reemplazando así la manga de 18". Asimismo, se realiza la corrección de algunos ventiladores en funcionamiento. Con todo ello, se logró una cobertura del 333%.

Vergaray (2017), el objetivo de esta investigación fue determinar el diseño y método de ventilación adecuado, que permita optimizar el sistema de ventilación actual de mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A. Esta investigación fue de tipo aplicativo de diseño cuasi experimental; en el cual se hizo una evaluación tanto del flujo del caudal del aire, así como la presencia de gases viciados dentro de la labor CR-NW, en el cual se utilizaba un ventilador en modo impelente y otro aspirante. Asimismo, se identificó a varias otras labores que estaban detenidas. Este estudio concluye principalmente que, fue necesario instalar dos ventiladores en serie de 10 000 CFM, los cuales fueron puesto en la boca mina, asimismo, se cambiaron las mangas de ventilación anteriores por mangas de 24" x 100 m, esto permitió una cobertura de 8 697 CFM ante los 8 534 CFM requeridos. Esto también permitió la re-apertura de otras labores de exploración.



Castillo (2017), el objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación de las condiciones actuales de la ventilación en la mina El Roble. Esta investigación fue de tipo descriptivo - explicativo; en el cual se evaluó la cobertura de aire con el cual operaba la mina. Detectándose una falencia en la dilución de los gases viciados en varias labores que ocasionaban pares de hasta dos horas por día. Este estudio concluye principalmente que, una factibilidad de instalar un ventilador de 200 000 CFM, tipo aspirante, en una galería 2000 paralela a la boca mina 2000; asimismo, instalar cortinas herméticas en los niveles 1880 y 1860, y otros dos ventiladores, esto para extraer efectivamente los gases viciados y aprovechar el flujo de aire fresco entrante por una ventilación natural del nivel 1880. Con ello, se lograría una cobertura del 77% del aire requerido frente al 16% de la cobertura actual, con un incremento del 60% del consumo de energía, pero con el potencial de minimizar 10 00 000 de US\$ en pérdidas operacionales, frente a 40 000 US\$ en inversión.

Condori (2016), el objetivo de esta investigación fue optimizar el sistema de ventilación mediante la evaluación de la cobertura de aire en las labores mineras con el Software Ventsim Visual en la U.E.A. Heraldos Negros de la Compañía minera San Valentín S.A. – Huancavelica. Esta investigación fue de tipo explicativo de diseño cuasi-experimental; en el cual se exploró cinco alternativas para mejorar el sistema de ventilación teniendo la facilidad de realizar simulaciones usando el software Ventsim. Cada alternativa plantea realizar nuevas labores, agregación de ventiladores, taponear labores, entre otros. Asimismo, se plantean ventajas y desventajas, priorizándose que el requerimiento de aire sea al 100%. En este trabajo se concluye que, al realizar la evaluación del sistema de ventilación se ha detectado una deficiencia de 13.90%, el cual es sopesado con las simulaciones de las alternativas N° 1 y 3, lográndose una cobertura al 142%, es decir, de los 77 299 CFM requeridos contra los 109 885 CFM abastecidos en ingreso y 114 189 CFM en salida.

Chacha (2016), el objetivo de esta investigación fue implementar un sistema de ventilación para labores de interior mina. Esta investigación fue de tipo descriptivo de diseño básico experimental; en el cual se realizó un diagnóstico del estado de la ventilación no planificada, solo empírica, con dos ventiladores y ventilación



natural, el que había una baja dilución de los gases viciados y en muchos casos recirculación de estos. Este estudio concluye principalmente que, en base a una evaluación técnica – económica bien sustentada, se re-diseña la red de ventilación instalando 4 nuevos ventiladores de 8 000 CFM con sus respectivos accesorios. Ello permitió diluir en muchas labores los gases viciados, mejorando así el confort y rendimiento de los trabajadores, y también redujo la estadística de los accidentes por gaseamiento.

Choque (2016), el objetivo de esta investigación fue determinar el diseño de un sistema y método de ventilación adecuado, para Optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR. Esta investigación fue de tipo descriptiva y aplicativo; en el cual se hizo un cálculo para mejorar la ventilación de la Cortada 3800, la cual había sido abandonada por dos años, y después de ese lapso de tiempo, se habían retomado los trabajos de rehabilitación de la misma. Por el tiempo de abandono, la presencia de gases viciados era tático y estaba perjudicando la labor de los trabajadores. Este estudio concluye principalmente que, tras la evaluación y cálculo del sistema de ventilación, se instalaron 3 ventiladores de 30 000 CFM en serie y a una distancia apropiada, lo cual, sumado con las cortinas herméticas, proporcionó aire fresco y suficiente a lo largo de Cortada 3800 - Quenamari. Asimismo, la ubicación de los extractores de 15 000 y 25 000 CFM en el nivel 3800 y columnas RB, los cuales extraen los gases viciados, hicieron que el sistema de ventilación se optimice en el proyecto Cortada 3800 - Quenamari.

Viza (2016), el objetivo de esta investigación fue 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. Esta investigación fue de tipo descriptiva y evaluativa de diseño cuantitativo no experimental; en el cual se hizo una evaluación del sistema de ventilación, determinándose que la cobertura del requerimiento de aire solo era a un 90%. Presentándose, en el nivel inferior con una cobertura del 86% del requerimiento del aire. Luego, se realizó el diseño y simulación de la red del sistema de ventilación con el software Ventsim, lo cual permitió mejorar el sistema de ventilación realizando labores por RBs. Este



estudio concluye principalmente que, el diseño de la red de ventilación se realizó con éxito ya que la demanda de aire fresco de 1'302,214 CFM fue cubierta dentro de la simulación a un 106% y en el campo a un 103%. Para la consecución de este logro, el nuevo sistema requería instalar 4 ventiladores de 10,000 CFM y uno de 5,000 CFM. Asimismo, se debía ejecutar 5 raise boring (RB), los cuales daban soporte a la red de ventilación siendo 2 para entradas aire y 3 para la salida del aire.

Soncco (2016), el objetivo de esta investigación fue determinar un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la Unidad Minera Untuca, Sandia – Puno. Esta investigación fue de tipo descriptiva y aplicativa de diseño cuasi experimental; en el cual se inició con un mapeo general del sistema de ventilación con equipos especializados que medían, la velocidad, la temperatura, humedad, la concentración de gases nocivos. Esto permitió detectar las falencias del sistema de ventilación. Teniéndose esta evaluación, se realizó un nuevo diseño del sistema de ventilación con el software Ventsim, dividiendo el sistema en 3 subsistemas. Este estudio concluye principalmente que, con el nuevo diseño se logra una cobertura de 105.68% para el subsistema I, y una cobertura de 106.59% para el subsistema III, con ello se logró proporcionar oxígeno a un 20.80% y consecuentemente diluir la concentración de gases nocivos por debajo de los límites permisibles establecidos.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 El minado subterráneo**

De acuerdo a Llanque *et al.* (2012), el minado subterráneo es la extracción de minerales económicos (mena) que se realiza dentro del macizo rocoso mediante labores de explotación o minado. Estas labores de explotación se sub dividen de acuerdo al avance del proyecto de la mina subterránea, siendo agrupados de la siguiente manera:

#### **A) Labores de exploración**

Son labores que se realizan para conocer e identificar un yacimiento de mineral. Estas labores pueden ser simples, cuando comprenden realizar: trincheras, medias



barretas e inclinados. O también pueden desarrolladas - productivas, cuando comprenden labores de acceso y ventilación que se realizan en zonas mineralizadas.

## **B) Labores de desarrollo**

Son labores que se realizan después de evidenciar un yacimiento mineral con la finalidad de conocer las características geológicas y estructurales del yacimiento, delimitar su proyección horizontal y vertical; y estimar las reservas del yacimiento. Pudiendo ser estas labores productivas, cuando se realiza sobre el mineral, o improductivas, cuando se realiza sobre estéril.

Las labores de desarrollo se sub dividen en dos tipos.

- 1) Labores de acceso. – Las cuales se realizan para acceder al yacimiento en estudio. Estas labores pueden ser: Horizontales, como Galerías, niveles, cruceros y cortadas; inclinadas, como rampas; y verticales como: Piques en estéril (shaft) y piques en mineral (winze).
- 2) Labores de ventilación. – Las cuales se realizar para proveer de aire fresco a las labores de acceso. Estas labores pueden ser: Chimeneas que sirven tanto para conectar a las labores/superficie, delimitar el yacimiento y transporte de personal y material, Raise boring, que son exclusivos para ventilación.

## **C) Labores de preparación**

Son labores que se realizan para preparar un tajo o tajeo de modo que puedan ser extraídos. Las labores de preparación varían y dependen del tipo de método subterráneo, entre las múltiples labores de preparación se tiene: galerías, niveles, sub niveles, echaderos (inclinados/ore pass), instalación de chutes, chimeneas, cortadas de transporte (draw points), instalación de rieles, piques (winze), y otros.

El minado subterráneo se realiza en yacimiento profundos que superan la relación estéril/mineral de corte desarrollada por Dagdelen (2009). Asimismo, este método



es muy aplicado en yacimientos filoneanos, no necesariamente profundos, donde se requiere una alta selectividad del mineral por la baja potencia del mineral.

Entre sus desventajas más importantes esta: el alto costo operativo, el alto nivel de riesgo y una extrema dependencia del comportamiento del macizo rocoso (geomecánica) sobre el laboreo. Véase la siguiente figura 1.

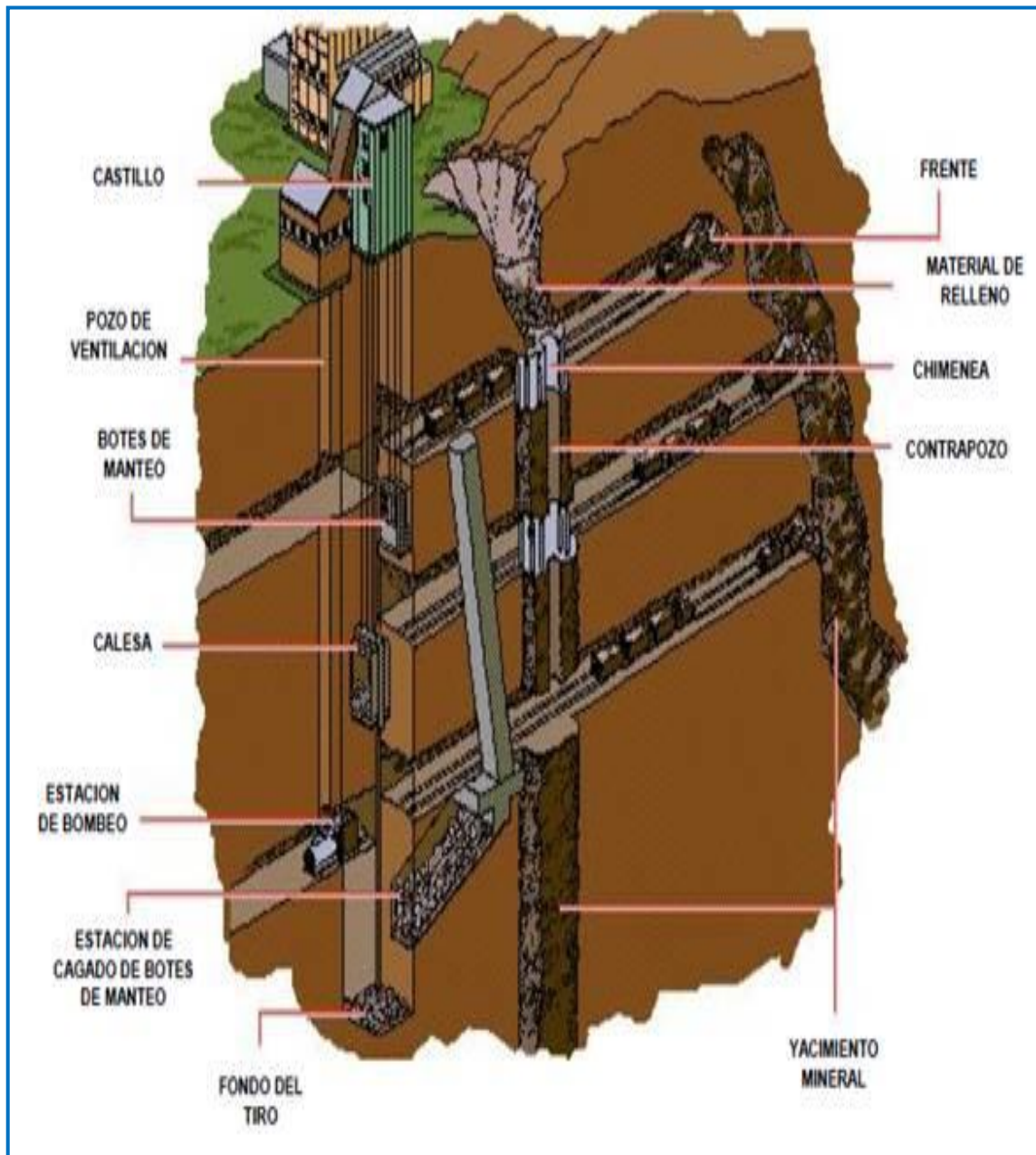


Figura 1: Esquema gráfico del minado subterráneo.

Fuente: (ETSIMM, 2007).



### 2.2.2 Métodos del minado subterráneo.

Según refieren Salas *et al.* (2017), la minería subterránea posee múltiples variantes operativas para extraer el mineral económico, lo cual comúnmente se le conoce como: métodos del minado subterráneo. La aplicación de determinado método de minado subterráneo depende de las características geológicas y estructurales del yacimiento y de la roca de caja.

- a) **El yacimiento.** Estas características geológicas y estructurales comprenden: el tipo de yacimiento, la potencia, la inclinación, el metal de interés, la distribución de leyes, la dureza de la roca, la alteración mineralógica, las juntas, entre otros más.
- b) **La roca encajonante.** El cual, generalmente, se separa en caja techo y caja piso, y en donde hay mayor relevancia de las características estructurales que comprenden: la dureza de la roca, la alteración de las diaclasas, las juntas, la filtración de agua, entre otros más.

Los métodos del minado subterráneo se dividen en 3 grandes grupos:

#### A) Con sostenimiento natural o soporte mínimo

Donde no es necesario un sostenimiento adicional ya que tanto la caja techo como la caja piso poseen buena resistencia. Asimismo, en la recuperación del mineral se tiene una dilución intermedia. Dentro de este grupo se tiene los siguientes métodos:

- Cámaras y pilares (room and pillar).
- Tajeo por subniveles (sublevel stoping), con dos variantes, el LHB, y los taladros en abanico.
- Cráteres verticales en retroceso con relleno (VCR and fill).
- Tajeo por chimeneas (raise stoping).



## **B) Con sostenimiento adicional o soporte artificial**

Donde es necesario un sostenimiento adicional ya que tanto la caja techo como la caja piso poseen de mala a regular resistencia. Asimismo, en la recuperación del mineral se tiene una baja dilución, y también se tiene un alto costo de minado. Dentro de este grupo se tiene los siguientes métodos:

- Cráteres verticales en retroceso (VCR stoping).
- Corte y relleno ascendente (over cut and fill).
- Corte y relleno descendente (down cut and fill).
- Almacenamiento provisional (shrinkage).
- Entibación con cuadros de madera (square set).

## **C) Por hundimiento o derrumbe, sin soporte.**

Se les denomina también “caving methods”, debido a que se basan en el fracturamiento total de mineral y la roca circundante del yacimiento bajo condiciones controlables. Son muy parecidos al método de shrinkage, ya que almacenen una gran cantidad de mineral que se utiliza como soporte. Asimismo, igual que el método de tajeo por subniveles, la mecanización es implícita. Dentro de este grupo se tiene los siguientes métodos:

- Hundimiento por subniveles (sublevel caving).
- Hundimiento por bloques (block caving).

### **2.2.3 Método por corte y relleno ascendente**

Según refiere Llanque et al. (2012), el método por corte y relleno consiste extraer el mineral económico del tajo a través de cortes secuenciales que luego de ser extraídos, se procede al relleno del espacio generado por el corte.

Para aplicar este método es necesario que el yacimiento posea un buzamiento mayor a los 60°. Asimismo, es factible cuando la caja techo y piso poseen de baja



a media resistencia. Y si la potencia del mineral es mayor a 3 m, es posible optar una mecanización que facilite una reducción de los costos de minado.

Entre sus ventajas más resaltantes, esta su alta selectividad y la gran seguridad que ofrece en las operaciones debido al sostenimiento por relleno de los tajeos. Entre sus desventajas más importantes, esta su elevado costo de minado, así como también el bajo rendimiento en la extracción del mineral a causa del asentamiento del relleno.

### **1) Labores construidas**

En el método de corte y relleno ascendente se tiene las siguientes labores:

#### **A) Labores de desarrollo.**

Comprende la construcción de galerías, niveles, cruceros, chimeneas, winzes y piques (si el yacimiento es profundo). Con estas labores se procede al acceso al yacimiento, delimitación de los tajeos, comunicación de niveles, y ventilación de las labores.

#### **B) Labores de preparación.**

Comprende la preparación de lo tajeo para su explotación. Para ello, se procede a delimitar los tajeos reconocidos con reservas minables, preparándose chimeneas utilitarias y de ventilación que parte de la galería de transporte, esto permite también dividir los tajeos; luego se preparan los subniveles dejando un puente de 3 a 4 m. Si el yacimiento posee una gran extensión vertical, debe haber puentes inferiores y superiores. Finalmente se instalan los chutes, los rieles y las chimeneas utilitarias (transporte de personal y del relleno. Véase la siguiente figura 2.

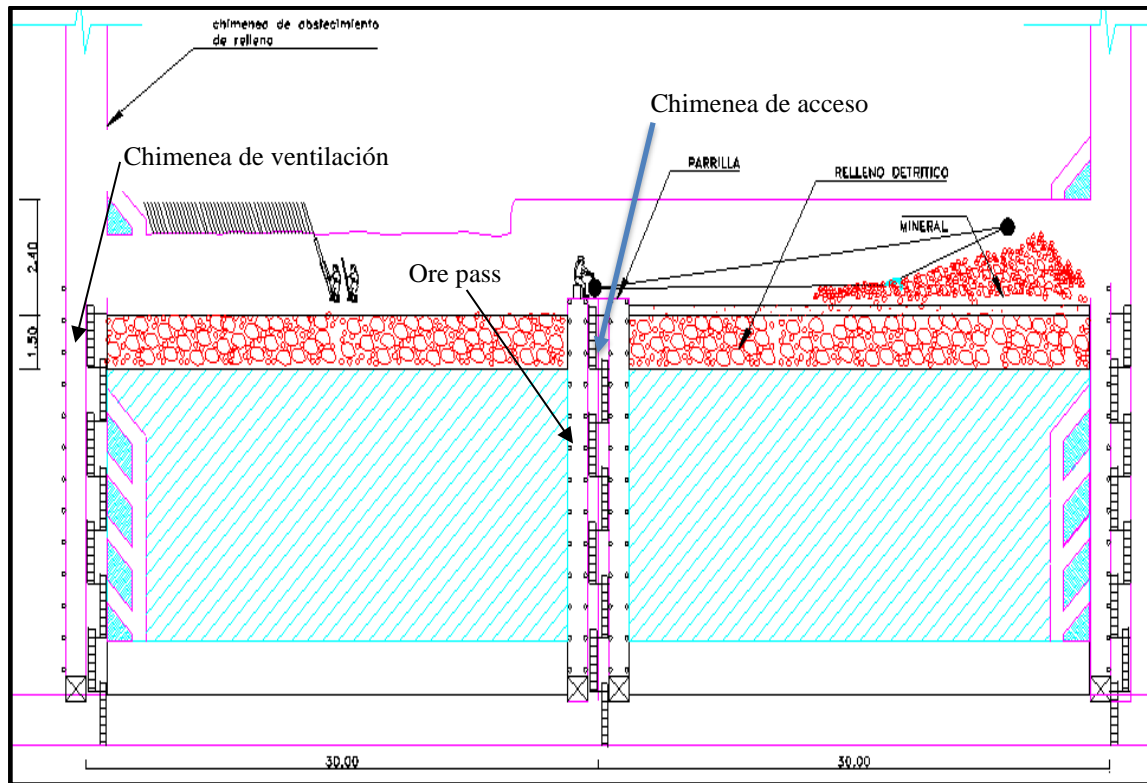


Figura 2: Sección vertical del minado de un tajeo por corte y relleno.

Fuente: (Salas, 2017).

## 2) Operaciones unitarias

Según refieren Cámac *et al.* (2015), en el método de corte y relleno ascendente se realizan las siguientes operaciones unitarias que comprenden operaciones productivas y de servicios auxiliares:

### a) Perforación y voladura

La perforación se realiza con equipos tipo roto-percusores como stoper y jackleg, los cuales perforan taladros con barrenos de hasta 8' (2.44 m). La forma de los taladros puede ser: horizontales en galerías, niveles, cruceros y subniveles con un avance promedio de 2.20 m; verticales en chimeneas y winches con un avance de 1.50 m, e inclinados en los tajeos de explotación lográndose cortes verticales de 2.10 m en promedio.



En tanto, la voladura es de tipo pirotécnico – Nonel, con secuencias variables, utilizando como accesorios: mecha de seguridad, fulminante simple, detonador armado tipo nonel con retardo/sin retardo, mecha rápida y conectores. Mientras que, como explosivos sensibles al fulminante N° 8 y agentes de voladura se emplean: dinamitas, gelatinas, emulsiones encartuchadas y Anfo.

#### **b) Ventilación:**

La ventilación de las labores se realiza de forma natural y mecánica para dos objetivos relacionados: diluir - encauzar los gases contaminantes de modo que puedan ser extraídos fuera de las labores, y proporcionar aire fresco de modo que se pueda trabajar en confort dentro de las labores.

La ventilación natural es aún muy utilizada en el corte y relleno convencional, no obstante, solamente debe ser un complemento. Siendo preferible la ventilación mecánica haciendo uso de ventiladores axiales, de forma primaria, secundaria, y en especial en la ventilación auxiliar en los tajeos, ya que en su mayoría de las minas pequeñas se comete el grave error de usar aire comprimido. Esto pues ha ocasionado, hoy por hoy, accidentes fatales por gaseamiento, no dentro del tajeo, pero si en labores circundantes.

#### **c) Desatado, limpieza y sostenimiento:**

Luego de haber ventilado la labor, se procede a la operación conjunta de desatado – limpieza – sostenimiento. El desato se realiza con un juego de barretillas de las rocas sueltas producto de la voladura. Asimismo, se hará la limpieza de la labor en cierta manera apilando el material desparramado. Finalmente se procede al sostenimiento con puntales de madera, cuadros y pernos de anclaje.

#### **d) Acarreo y carguío**

El acarreo del material se puede hacer de dos maneras:



- 1) Pala – mano. - Se hace en los frentes de avances y en los mismo tajeos de explotación. Requiere una gran cantidad de personal con bajos rendimientos.
- 2) Screaper. - Un mecanismo muy usado en los tajeos, el cual, por medio de un rastrillo, traslada el mineral fragmentado a los ore pass. Posee un alto rendimiento.

En tanto, el carguío se realiza mediante chutes (parrilla – inclinado/chimenea – compuerta) directamente a los vagones del tren.

**e) Transporte:**

Para el transporte de material se hace mediante rieles usando trenes con locomotoras de tipo trolley, de baterías y de diésel. Con este equipo complejo se transporte desmonte hacia los botaderos y mineral hacia la chancadora primaria.

**f) Relleno:**

El relleno se usa solamente en los tajeos como sostenimiento de las cajas, creando así plataformas artificiales para reanudar la perforación del tajeo.

El relleno puede ser hidráulico, usando el relave cicloneado combinado con arenas, otros materiales y/o cemento, los cuales se transportan por medio de bombas y tuberías hacia los tajeos de extracción.

Así también, el relleno puede ser en pasta, usando una masa pastosa compuesta de relave, cemento, agua y un floculante que ayuda a mantener la suspensión de las partículas. Este relleno en paste es transporta también por medio de bombas y tuberías, ofreciendo mayores ventajas que el relleno hidráulico en resistencia de la plataforma, fluidez del relleno y homogeneidad del relleno. Su mayor desventaja, es su elevado costo, sin embargo, es muy recomendable en el método mecanizado.



## 2.2.4 Ventilación de minas subterráneas.

### 1) El aire y su composición

De acuerdo a la definición de Wikipedia *et al.* (2020), el aire es una mezcla de diferentes tipos de gases y vapor de agua que generalmente se halla en la troposfera. El aire, al igual que el agua, es necesaria para la vida en el planeta tierra, pues los seres vivientes utilizan los gases del aire como oxígeno y dióxido de carbono para los ciclos metabólicos de su organismo.

El aire, en su estado natural o referente, está compuesto en volumen por los siguientes gases:

- 1) Nitrógeno ( $N_2$ ), el cual ocupa el mayor volumen con un 78.08%.
- 2) Oxígeno ( $O_2$ ), el segundo mayor componente con un 20.94%.
- 3) Argón (Ar), que compone el 0.93%.
- 4) Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), con un 0.035%.
- 5) Otros gases inertes como el Helio, Kriptón, neón, etc., representan el restante un 0.003%.

Cabe mencionar que, con el aumento de la altitud, el peso del aire disminuye, por ende: su densidad, lo cual repercute directamente sobre la presión atmosférica.

### 2) Los gases viciados

Según refieren Vargas *et al.* (2015), los gases viciados son gases nocivos que contaminan o alteran la composición del aire natural. Y si un ser viviente se expone a los gases viciados, puede perder la vida.

En la actividad minera subterránea, los gases viciados se producen por respiración de los trabajadores, combustión de los equipos trackless, detonación de agentes de voladura y explosivos, putrefacción de orgánicos, exposición de superficies minerales y otros procesos químicos.

Los gases viciados presentes en la actividad minera son los siguientes:





**A) El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):**

Forma parte de la composición del aire natural. Se produce por la respiración de las personas, combustión del petróleo, por la detonación de ANFO y otros explosivos, y por la combustión de material orgánico, así como el gas metano. El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 5 000 ppm.

**B) El monóxido de carbono (CO):**

Es un gas incoloro e inodoro. Se produce por la combustión incompleta/imperfecta del petróleo, por la detonación imperfecta de ANFO, y por la combustión incompleta de material orgánico. El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 25 ppm. En cantidades mayores a 400 ppm produce la muerte en 2 hr, ya que este gas se metaboliza fácilmente por el organismo.

**C) El monóxido de nitrógeno (NO):**

Es un gas incoloro y soluble en agua. Se genera en procesos de alta temperatura como en la combustión de petróleo y gasolina, por la reacción del nitrógeno y oxígeno presente en el aire en contacto con los arcos y chispas eléctricas, y por la detonación imperfecta de ANFO (desbalance del petróleo). El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 25 ppm. Este gas es altamente inestable, por lo que en ambientes húmedos puede formar ácido nítrico y en ambientes secos forma el dióxido de nitrógeno.

**D) El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>):**

En voladura se le conoce como “los humos naranjas”. Es un gas de color pardo-rojizo por encima de los 22° (294 °K), algo dulce y picante. Se produce por la combustión del petróleo y gasolina, por la detonación de imperfecta ANFO y



dinamita, y durante las operaciones de soldadura con arco y gas. El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 3 ppm. En cantidades mayores a 200 ppm es extremadamente fatal.

**E) El ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S):**

Es un gas incoloro, olor a huevo podrido e inflamable. Se produce por la descomposición de la piritita (FeS), por la descomposición de materia orgánica, y la detonación del explosivo en minerales que contiene azufre. El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 10 ppm. Sólo es fatal en cantidades mayores a 1 000 ppm, no obstante, mayor a los 10 ppm, es irritante y sofocante.

**F) El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>):**

Es un gas incoloro, picante, irritante, sabor ácido y acentuado olor a azufre quemado. Se produce por la combustión de azufre (piritas), por combustión de carbón rico en azufre, y por la detonación en minerales con alto contenido de azufre. El límite máximo permisible en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 2 ppm. En cantidades mayores a 400 ppm es fatal.

**H) El metano (CH<sub>4</sub>):**

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Se desprende a través de las fisuras en los mantos de carbón, por la descomposición de la madera bajo el agua y ambientes húmedos, y la descomposición de toda materia orgánica. El límite máximo permisible en un Nivel Techo de exposición (C) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 5 000 ppm. No obstante, es importante saber que en espacios cerrados desplaza al oxígeno produciendo asfixia, asimismo, es altamente inflamable en concentraciones mayores al 15% en combinación con el oxígeno, de acuerdo al NFPA, le corresponde la categoría 4 en el peligro de incendio.



### 2.2.5 El polvo en las minas

Conforme a BSGrupo *et al.* (2018), los polvos en suspensión que se forman dentro de las labores subterránea son una mezcla de varios tipos de partículas que se desprenden del macizo rocoso durante la faena de perforación, voladura, y otros. A diferencia del polvo urbano, el polvo en mina posee partículas filosas y desgajadas que fácilmente pueden incrustarse dentro de los pulmones.

El polvo en suspensión se forma por material particulado menor a las 10 micras y se le considera “Respirable”, ya que pueden permanecer suspendidos en el aire por varias horas. Si la velocidad del aire es menor a 20 m/min (65 Ft/min), es imposible tener un ambiente diáfano. Y si hay presencia de material particulado mayor a las 10 micras, es debido a la excesiva velocidad de aire.

Una de las enfermedades ocupacionales más comunes en los trabajadores mineros, ocasionados por el polvo de sílice, es la silicosis. Por ello, el límite máximo permisible para el polvo de sílice en una jornada ordinaria de 8 hr (TWA) de acuerdo a D.S. N° 024/023-EM (2017), es de 0.05 mg/m<sup>3</sup>.

### 2.2.6 Definición de ventilación de minas subterráneas

Según refiere Jiménez (2011), la ventilación de minas subterráneas es una ciencia y un arte cuyo objetivo es encauzar y distribuir determinado volumen aire limpio y fresco dentro de las labores mineras con el mínimo costo operativo. Esto se realiza con la finalidad de satisfacer con las necesidades del personal, de las maquinas, de las condiciones termo-ambientales, y para diluir – transportar los contaminantes sólidos y gaseosos fuera de las operaciones mineras subterráneas de modo que no se afecte la capacidad de trabajo y la salud del trabajador, sino que se mejoren las condiciones ambientales dentro de las labores subterráneas.

La ventilación es una ciencia porque se aplica principios físicos y matemáticos para analizar y resolver problemas acerca del transporte de aire dentro de las labores subterráneas con el costo operativo más bajo.

La ventilación es un arte porque en todo momento debe ser creativa y práctica, debido a que el método de explotación subterránea define el tipo y el número de labores de desarrollo y preparación conforme al yacimiento a minarse. Siendo necesario ajustar de forma creativa y práctica las labores que ayudarán a mejorar la ventilación. Asimismo, cada mina subterránea posee una realidad única, al cual también es necesario alinearse.

### 1) Tipos de ventilación de minas.

Conforme a Vargas *et al.* (2015), existe dos tipos de ventilación de minas: La natural y la mecánica.

#### A) La ventilación natural

Es la ventilación menos costosa, con un encausamiento de aire relativamente bueno y mala distribución. La ventilación natural es ocasionada por la diferencia de pesos entre el aire caliente y el aire frío. Siendo el aire frío el que tiene mayor densidad debido a su peso, el cual empuja o desplaza al aire caliente con menor densidad y peso. De este modo se produce el movimiento del aire que es aprovechado en la minería subterránea convencional para permitir el flujo de aire fresco por las labores de ingreso hacia las labores de salida. Véase la figura 3.



Figura 3: Ventilación natural.

Fuente: (Vargas, 2015).



Este tipo de ventilación de minas es poco confiable debido a que es irregular durante las 24 horas del día y está ceñido mucho a los cambios termo-ambientales de cada estación, produciéndose a larga muchos problemas de ventilación. Asimismo, su aplicación está solo dirigida a minas convencionales que tengan profundidad máxima de 600 m. Esto se debe a que la presión estática medida en las bocaminas, ya sea negativa o positiva dependiente de la forma del cauce del aire, es como máximo 1.50" H<sub>2</sub>O y varía mucho conforme a las densidades del aire interno y externo, así como por los cambios termo-ambientales, siendo casi imposible encauzar aire a una profundidad mayor a 600 m por este método.

Ahora, si bien es posible su encauzamiento con la ventilación natural, tiene una mala distribución hacia los tajeos, chimeneas y frontones (labores ciegas). Por consiguiente, se recomienda aplicarlo/usarlo sólo como un complemento.

#### **B) La ventilación mecánica:**

También se le conoce como ventilación forzada. Es un tipo de ventilación relativamente costosa, con mejor encausamiento y con una buena distribución. La ventilación mecánica es ocasionada por la presión que ejerce un ventilador sobre una masa de aire que envía o succiona. Este ventilador es accionado por un motor eléctrico que le permite ejercer una presión constante sobre el aire y así enviar un volumen fijo de aire en el sentido que uno ha planeado o diseñado de modo que se pueda asegurar el ritmo de las operaciones y de los ciclos de trabajo. Véase la siguiente figura 4.

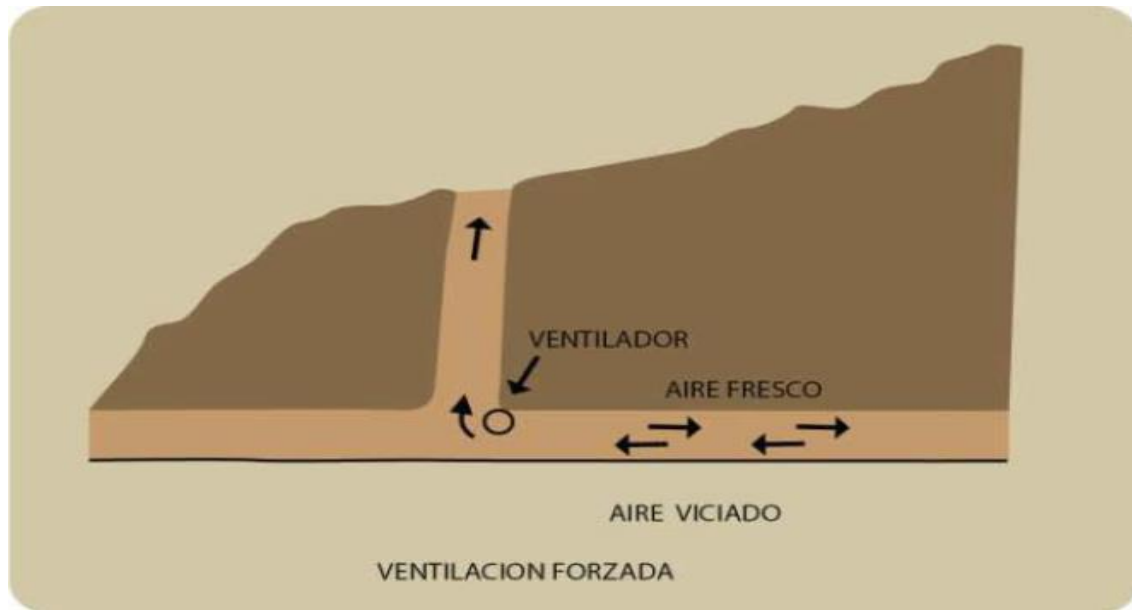


Figura 4: Ventilación mecánica o forzada.

Fuente: (Vargas, 2015).

La ventilación mecánica es mucho más confiable en comparación a la natural, debido a que es constante. Y si el volumen disminuye en algún punto del circuito, es posible reforzar con otro ventilador, lo cual permite un buen encausamiento del aire desde las labores de ingreso hacia las labores de salida. Asimismo, otorga la posibilidad de distribuir mejor el aire a las labores ciegas. No obstante, al usar un ventilador con un eléctrico, el cual consume energía eléctrica, representa un mayor costo por tonelada de mineral extraída. Siendo necesario reducir este costo con un eficiente diseño de la red de ventilación.

La ventilación mecánica se subdivide en tres clases de acuerdo a su relevancia y su función:

- a) **Ventilación principal.** - Es cuando el flujo principal de aire, que es enviada o succionada, atraviesa toda la sección o mina para distribuirse en ramales o juntarse de los ramales en una labor principal de ventilación. Puede ubicarse en superficie o dentro de la labor principal.
- b) **Ventilación secundaria.** - Es cuando releva el flujo de aire de la ventilación principal debido a una caída de presión que no puede ser vencida en su totalidad por la ventilación principal. Se ubica siempre en interior mina.



- c) **Ventilación auxiliar.** - Se utiliza para la ventilación lugares confinados o ciegos como chimeneas, frontones y tajeos donde la ventilación principal o secundaria no se distribuye bien. Por lo general, en este tipo de ventilación puede combinar las dos formas de ventilación: aspirante e impelente.

## 2) Formas de la ventilación de minas

En la ventilación de minas existen dos formas o modos para encauzar el aire: de forma impelente y de forma aspirante.

### A) Modo impelente:

También se le conoce como insuflar o insuflación. Es cuando se envía el aire dentro de las labores. Es análogo a la exhalación en la respiración humana.

Este modo de encauce del aire tiene una presión total positiva, expresado con la siguiente ecuación:

$$H_T = H_F + H_V$$

Donde:

$H_T$  = Presión total en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

$H_F$  = Presión estática en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

$H_V$  = Presión de la velocidad en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

En la ventilación auxiliar este modo de ventilación se puede apreciar en la siguiente figura 5.

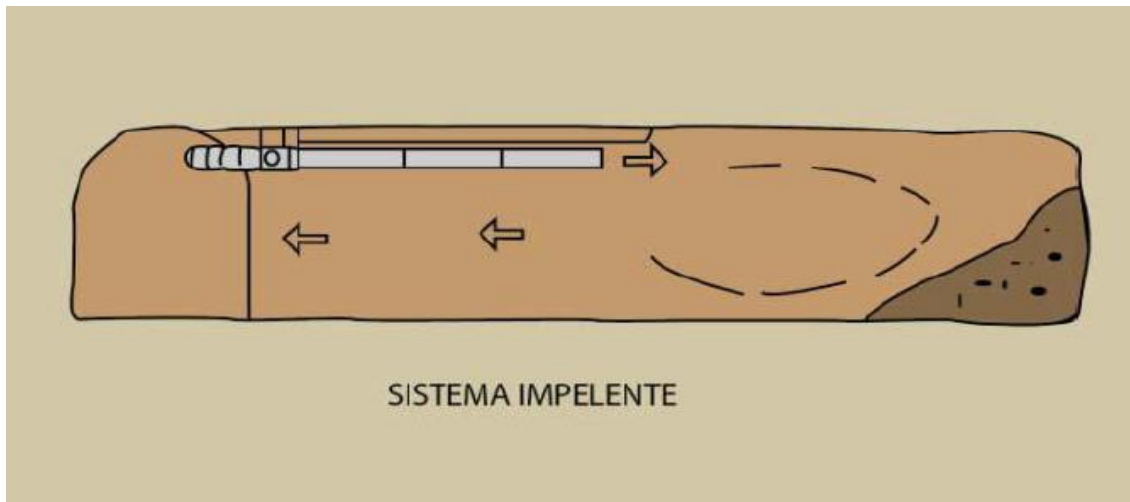


Figura 5: Ventilación auxiliar en modo impelente o insuflando.

Fuente: (Vargas, 2015).

### **B) Modo aspirante:**

También se le conoce como succionar. Es cuando se extrae el aire que está dentro de las labores. Es análogo a la inhalación en la respiración humana.

Este modo de encauce del aire tiene una presión total negativa, expresado con la siguiente ecuación:

$$H_T = -H_F + H_V$$

Donde:

$H_T$  = Presión total en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

$H_F$  = Presión estática en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

$H_V$  = Presión de la velocidad en pulgadas de  $H_2O$  o Pa.

En la ventilación auxiliar este modo de ventilación se puede apreciar en la siguiente figura 6.





Figura 6: Ventilación auxiliar en modo aspirante o succionando.

Fuente: (Vargas, 2015).

Cabe mencionar que, estos modos de ventilación se pueden combinar tanto en la ventilación principal y secundaria, así como en la ventilación auxiliar. Véase la siguiente figura 7.

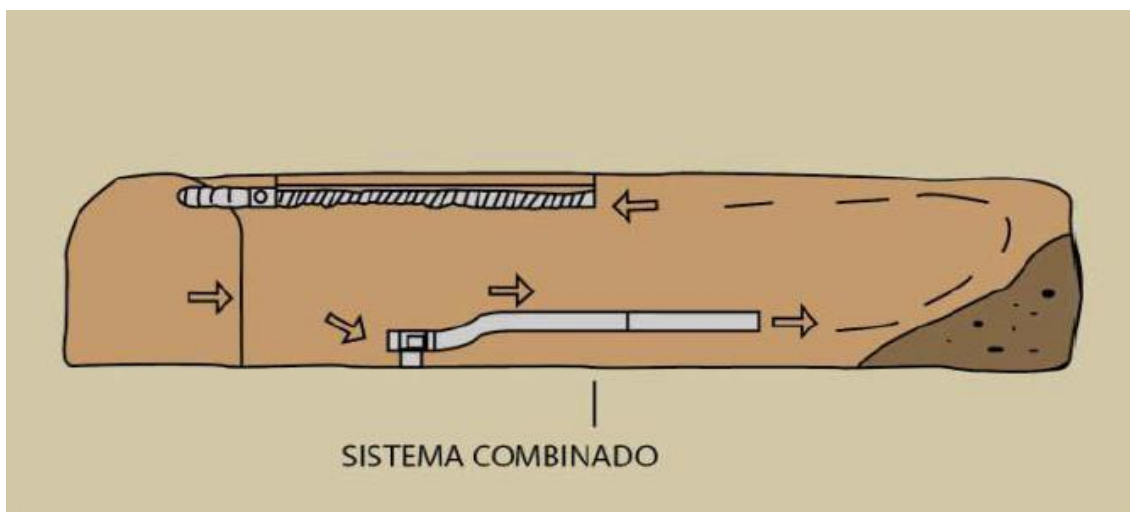


Figura 7: Ventilación auxiliar combinado ambos modos.

Fuente: (Vargas, 2015).

### 3) Equipos y accesorios de ventilación.

De acuerdo a BSGrupo y Jiménez (2018), los equipos y accesorios utilizados para realizar la ventilación de minas son los siguientes:

## A) Los ventiladores

Los ventiladores son equipos que son accionados por un motor eléctrico, el cual ejerce una presión constante sobre una masa de aire que es enviada y succionada de las labores mineras.

En la ventilación de minas se utilizan dos tipos de ventiladores:

- a) **El ventilador centrífugo.** En este tipo de ventilador el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor y es descargado en forma tangencial al rotor, cambiando su dirección a  $90^\circ$ . Véase la siguiente figura 8.



Figura 8: Ventilador centrífugo.

Fuente: Airtécnicos.com

- b) **El ventilador axial.** - En este tipo de ventilador el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor y es descargado conservando la dirección de ingreso. Véase la siguiente figura 9.



Figura 9: Ventilador axial.

Fuente: Macinser.com.pe

### 1) El ventilador axial

Según refiere Jiménez (2011), el ventilador axial es el más usado en las minas peruanas como ventilador principal, secundario y auxiliar, debido a su facilidad de instalación, transporte y mantenimiento. A diferencia del ventilador centrífugo, el ventilador axial se le puede instalar de forma vertical, horizontal, oblicua y suspendida de modo que se puede aplicar tanto en un circuito de ventilación de mina como en mangas de ventilación auxiliar.

Como equipo de ventilación, es el más importante ya que por medio de este equipo es posible enviar o succionar los gases viciados procedentes de las operaciones mineras subterráneas. Por ello mismo, es fundamental conocer la curva característica del ventilador para cotejarse con la resistencia de la mina en donde operará. Véase la siguiente figura 10.

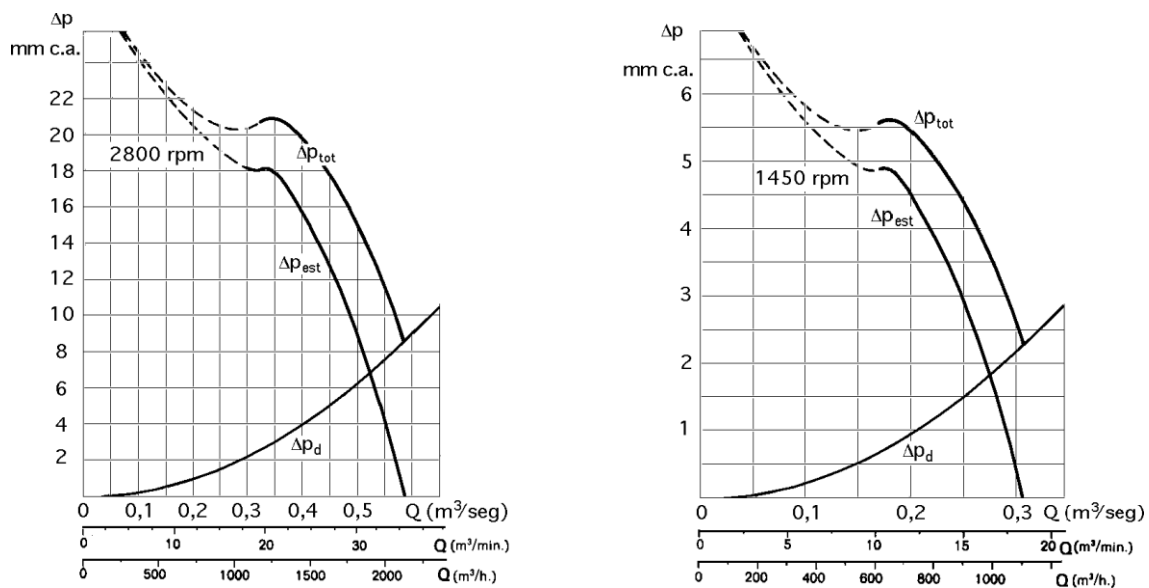


Figura 10: Curva característica de un ventilador axial a diferentes RPMs.

Fuente: (Fernandes, 2012).

La curva característica del ventilador vs la resistencia de la mina grafica que para una determinada caída de presión habrá un punto de trabajo del ventilador con cierto RPM que enviará un caudal establecido. Según se aprecia en la figura 10., en el marco verde, supóngase un punto de operación 2 que puede moverse al punto 1 o 3. Si por alguna razón la resistencia de la mina aumenta, el punto inicial 2 se moverá al punto 1 en donde el ventilador enviara menor volumen (Q1); y si la resistencia de la mina disminuye, el punto inicial 2 se moverá al punto en donde el ventilador enviara mayor volumen (Q3). Esto, en resumen, te permite calcular el consumo de energía con respecto a la remoción de los gases viciados. Siendo el punto 2 el que mayor consumo de energía representa con una ineficiente ventilación.

Cabe mencionar que, la construcción de la curva característica del ventilador esta ceñido a la ley de los ventiladores que se resumen en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1:** Ley de los ventiladores

Variación de parámetros	1ra Ley: Cambio del RPM, $\delta a$ y D constantes.	2da Ley: Cambio de la $\delta a$ aire, RPM, Q y D constantes.	3ra Ley: Cambio del D, $\delta a$ aire y RPM constantes.
	cambio directo:	constante:	cambio directo:
Caudal Q	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2}$	$Q_1 = Q_2$	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{(D_1)^2}{(D_2)^2}$
	cambio directo	cambio directo	cambio directo
Caída de presión $H_F$	$\frac{H_{F1}}{H_{F2}} = \frac{(RPM_1)^2}{(RPM_2)^2}$	$\frac{H_{F1}}{H_{F2}} = \frac{\delta a_1}{\delta a_2}$	$H_{F1} = H_{F2}$
	cambio directo:	cambio directo:	cambio directo:
Potencia de trabajo BHP	$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{(RPM_1)^3}{(RPM_2)^3}$	$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{\delta a_1}{\delta a_2}$	$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{(D_1)^2}{(D_2)^2}$
	cambio directo:	cambio directo:	cambio directo:
Eficiencia del ventilador $Ev\%$	$Ev\%_1 = Ev\%_2$	$Ev\%_1 = Ev\%_2$	$Ev\%_1 = Ev\%_2$

Fuente: (BSGrupo, 2018) y (Jiménez, 2011).

Donde:

Q = Caudal del aire en CFM o  $m^3/s$ .

RPM = Revoluciones por minuto del ventilador.

$H_F$  = Caída de presión, resistencia del ventilador o presión estática en pulgadas de H<sub>2</sub>O o Pa (pascales).

$\delta a$  = Densidad del aire en Lb/Ft<sup>3</sup> o Kg/m<sup>3</sup>.

BHP = Potencia de trabajo al freno del ventilador en Hp.

D = Diámetro del ventilador en pies o m.

Ev% = Eficiencia del ventilador en %.

## 2) Mangas de ventilación.

De acuerdo a Cidelsa (2020), la manga de ventilación, que también se le conoce como ducto de ventilación, es un accesorio utilizado para distribuir el aire fresco o viciado dirigiéndolo hacia las labores o fuera de estas. Por lo general se usa en ventilación auxiliar, no obstante, también puede ser usado en la ventilación secundaria.

Una manga de ventilación posee diversas dimensiones tanto en diámetro como en largo, y se construye de diferentes materiales tales como: lonas vulcanizadas, material metálico, fibra de vidrio y plásticos PVCs. Véase la siguiente figura 11.



Figura 11: Ducto espiral de plástico PVC con anillos del mismo material.

Fuente: (Cidelsa, 2020).

Según el tipo de material, cada manga de ventilación posee distintas propiedades que se pueden agrupar en:

#### **A) Capacidad de velocidad**

Dependiendo del material que se construye una manga de ventilación, este puede soportar una cierta velocidad que está también directamente relacionado con el diámetro mínimo y máximo característico del ducto.



## **B) Soporte de la presión**

Cada tipo de material con el que se construye una manga de ventilación, determina una presión máxima que puede soportar. Mientras más resistente y rígida el material de la manga, mayor es la presión que puede soportar.

## **C) Versatilidad**

O también flexibilidad de instalación y operación. Una manga metálica posee una rigidez que demanda un mayor alineamiento y por ende ocupa mayor espacio de la sección de la labor en comparación a una manga de plástico.

## **D) Acoplamiento:**

Lo cual determina las pérdidas del flujo o del aire ocasionado por el empalme o acople entre mangas. De acuerdo al tipo de material de la manga de ventilación, se pueden usar acoples tipo anillo, cremalleras, abrazaderas y otros.

## **E) Entereza:**

Tiene que ver con la duración en el tiempo de uso de una manga de ventilación. Una manga de ventilación construida de plástico PVC va dura menos tiempo que una manga de fibra de vidrio, ocasionando fugas que deben repararse y en caso de un deterioro notable, será necesario un reemplazo.

El desgaste una manga se da por contracción de esta, por la manipulación, por el transporte, la humedad y otros.

Ahora, para una mejor distribución del aire, las mangas de ventilación poseen otros accesorios que se pueden ver en la siguiente figura 12.

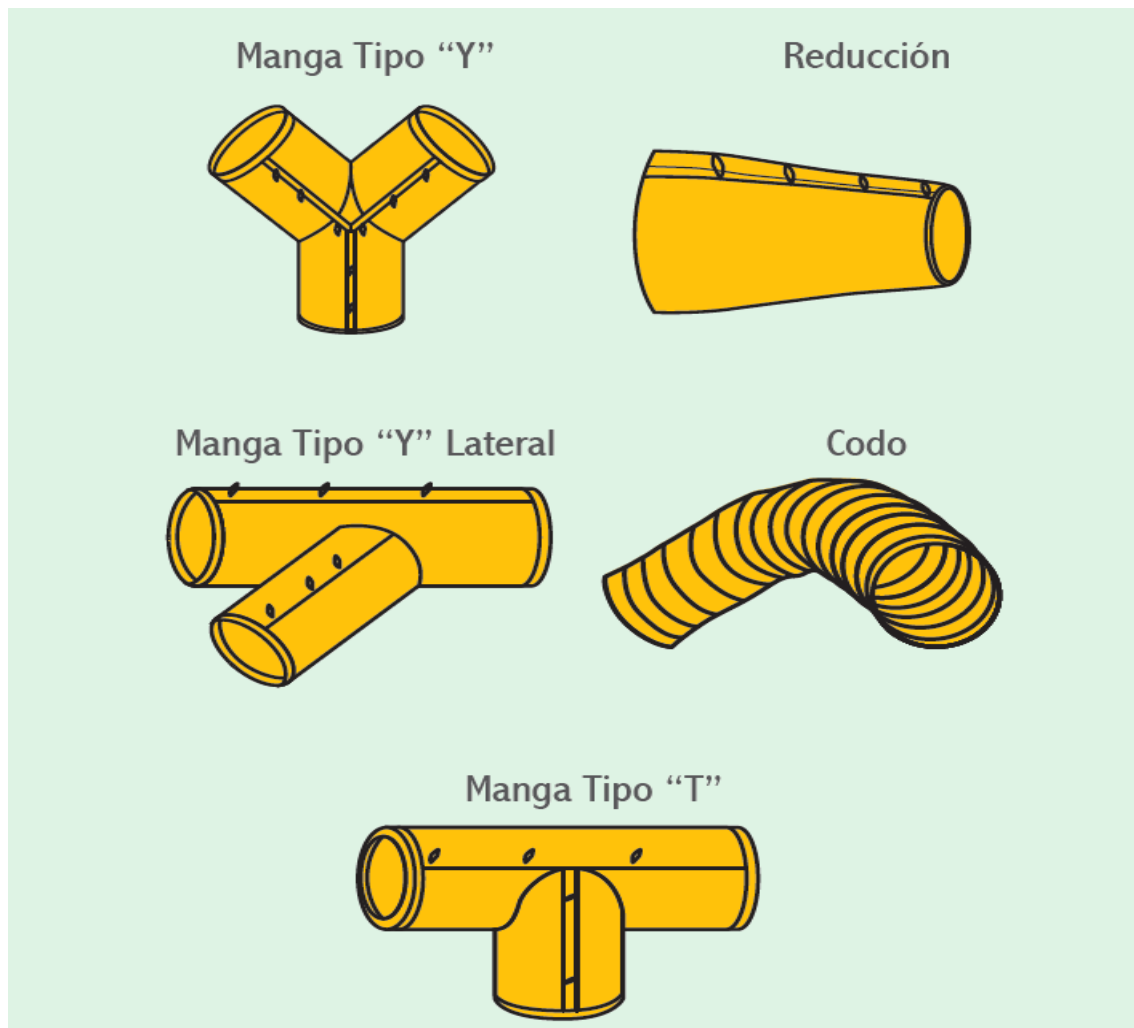


Figura 12: Accesorios de la manga de ventilación.

Fuente: (Cidelsa, 2020).

### 3) Reguladores de ventilación

Conforme a Vargas *et al.* (2015), los reguladores son accesorios utilizados en la ventilación para lograr un mejor encauzamiento del aire. Los reguladores permiten modificar el cauce del aire, ya sea obstruyendo totalmente el flujo de aire por una labor cuando son herméticas y/u obstruyendo parcialmente el flujo para reducir el caudal de una labor aumentando su caída de presión o la presión estática. Asimismo, ayudan a evitar la recirculación de gases viciados.

Los reguladores utilizados en la ventilación pueden ser: Puertas (herméticas o regulables), ventanas, cortinas y tapones. Véase las siguientes figuras.



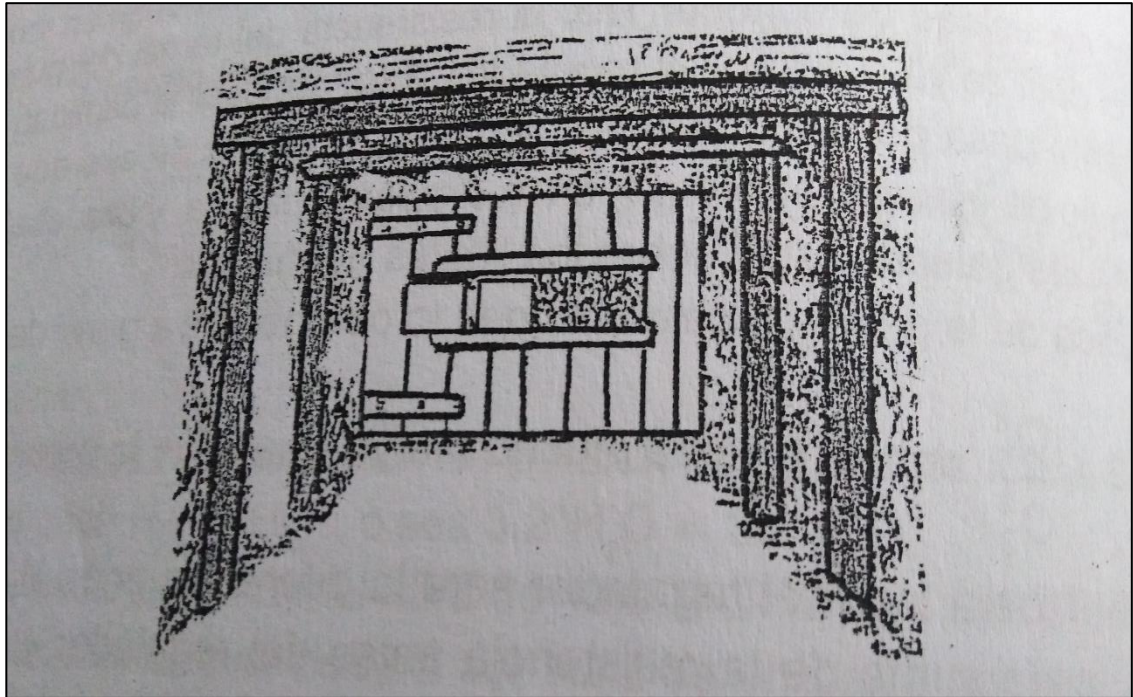


Figura 13: Ventana regulable.

Fuente: (Jiménez, 2011).



Figura 14: Cortina hermética.

Fuente: (Caxi, 2017).



### 2.2.7 Mapeo de ventilación

Según refiere Jiménez (2011), el mapeo de ventilación es la inspección, monitoreo y medición que se hace sobre la calidad del aire que circula dentro de las labores de una mina subterránea.

El mapeo de ventilación es una actividad compleja realizada por el ingeniero de ventilación (ingeniero de minas), el ingeniero de seguridad, el técnico de ventilación y los ayudantes. Por lo mismo, el mapeo de ventilación se realiza sobre dos aspectos:

- a) El flujo del aire.
- b) Los gases viciados.

#### 1) Mapeo del flujo del aire.

El mapeo del flujo del aire es relativamente más complejo ya que abarca a dos componentes principales como: El flujo del caudal del aire y la presión estática de las labores.

#### 2) El mapeo del flujo del caudal del aire.

Para realizar el mapeo del flujo del caudal del aire es necesario comprender y tener en cuenta tres factores:

##### A) Elementos de composición del flujo del caudal de aire

El flujo del caudal del aire se compone de varios elementos que se deben conocer, entender y tener presente para realizar un exitoso mapeo. Estos elementos son:

- a) **El caudal.** Que es una relación directa del área de la sección de la labor por la velocidad del aire que viaja en esa labor.
- b) **El área de la labor.** Es la base por la altura de la sección que puede ser tipo baúl, circular, cuadrada y rectangular.



- c) **La velocidad del aire.** Que esta normado por el reglamento de seguridad y salud ocupacional y es el movimiento del aire respecto a una determinada unidad de tiempo.
- d) **Encauzamiento del aire.** Deriva directamente del sentido y la forma de ventilación. Regido por el principio conservación de energía. Es decir, todo lo que entra tiene que salir. Si no hay uno de estos factores es imposible encauzar el aire.
- e) **Distribución del aire.** Puede existir un buen encauce del aire con una mala distribución. Por ello, en labores ciegas es necesario utilizar ventilación auxiliar para distribuir aire fresco esas labores.
- f) **La temperatura y la humedad.** Que también están normadas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional, y básicamente es la sensación de confort para laborar dentro de la mina.
- g) **Balance.** El balance se realiza entre el aire que entra y el aire que sale de la mina.

## **B) Equipos e instrumentos utilizados en el flujo de aire**

Los elementos del flujo del caudal del aire deben medirse y calcularse con ciertos equipos e instrumentos como:

- El anemómetro que mide velocidad del aire.
- El psicómetro que mide la temperatura y la humedad.
- El tubo de humo que también mide la velocidad.
- El flexómetro.
- Los planos de la mina, entre otros.

Véase la siguiente figura 15.

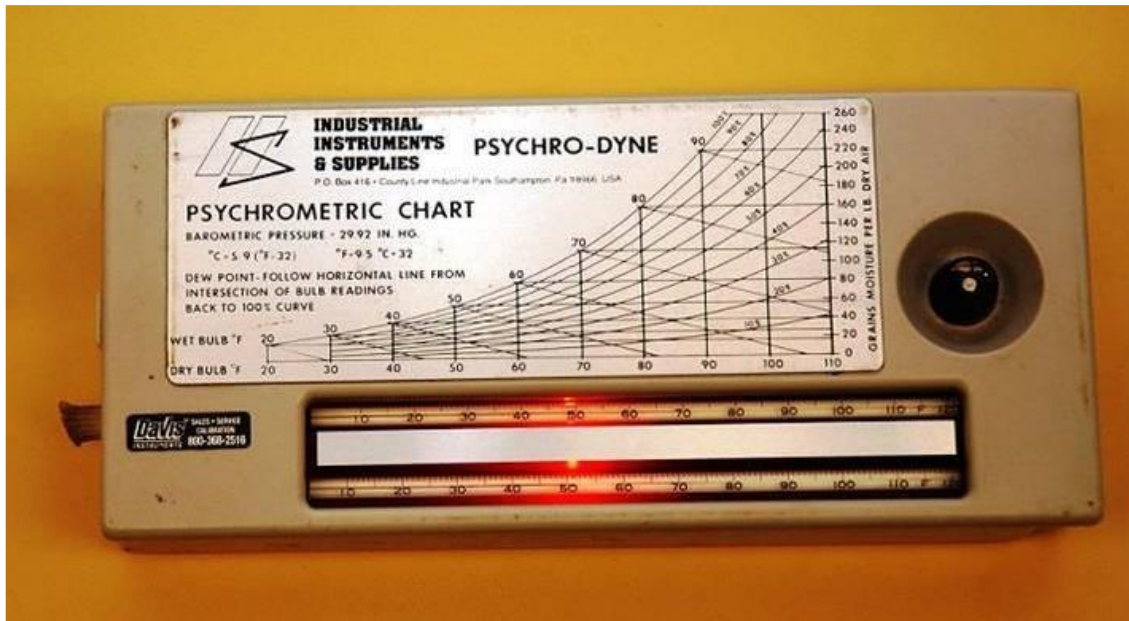


Figura 15: El psicómetro.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

### C) Proceso de mapeo del flujo de aire

El mapeo debe realizarse de manera sistemática siguiendo un orden aplicando debidamente las leyes de Kirchhoff. Este proceso se resume de la siguiente manera:

- 1) Contar con planos actuales de la mina y del levantamiento anterior a una escala adecuada para examinar las entradas de aire, las salidas y el circuito de ventilación. Asimismo, en el exterior se deben sondear, de forma panorámica, las labores que sirven de entrada de aire y las labores que sirven de salida. Si existiera algún inconveniente, estos se deben anotar.
- 2) Planear el levantamiento del mapeo de ventilación, verificando en los planos los estacionamientos de ventilación, la dirección del encauzamiento del aire, las redes de distribución y las redes independientes existentes. Asimismo, se debe asignar los equipos de ventilación a cargo del ingeniero de ventilación y el resto del personal. Un equipo debe estar compuesto por lo menos de 3



- integrantes. Finalmente, se debe trazar un calendario para el mapeo de ventilación.
- 3) Iniciar el mapeo de ventilación desde el nivel más bajo de la mina hacia el más alto, siguiendo el sentido de encauce del aire. Preliminarmente se debe reconocer in situ las entradas y salidas del aire para determinar el flujo máximo de aire fresco y de los gases viciados en base a sus áreas.
  - 4) La ejecución del mapeo comienza formalmente en las estaciones de ventilación. Midiendo la sección del estacionamiento, determinando el sentido del flujo del aire con el tubo o bombilla de humo, la velocidad del aire con el anemómetro y la concentración de gases viciados. El guía debe de realizar la medición de los gases viciados, mientras que el segundo hombre debe anotar en una libreta las anotaciones y registrar en el plano la ubicación del estacionamiento. El tercer hombre debe realizar las otras mediciones.
  - 5) El mapeo proseguirá por toda la red de ventilación, labor por labor. En chimeneas y piques esta información debe ser de lo más fidedigna posible para aplicar bien la primera ley de Kirchhoff, por ello, debe hacerse un gran esfuerzo para lograrlo. En frontones y los tajeos, también debe hacerse el mapeo de forma minuciosa, revisando también, el estado del ventilador auxiliar, las placas del ventilador, la velocidad del aire en la salida de las mangas, la distancia de ubicación de las mangas y el estado de estas. Asimismo, en otras labores y estacionamientos deben verificarse el estado de las puertas y las cortinas instaladas para la independización de circuitos y regulado.
  - 6) Si existiese más de un circuito o etapa de ventilación, se de seguir circuito por circuito. No olvide anotar observaciones puntuales como la presencia de polvos en suspensión o neblinas en galerías u otras labores, así como la presencia de colchones de humo. Asimismo, se debe anotar la presencia de embotellamiento del flujo del aire por la unión de dos o más labores que buscan salir de una sola labor, ya sea chimenea, galería, rampa o pique.
  - 7) Se anotan que labores están en construcción, su estado de avance y como se realiza su ventilación. Si hubiese inconvenientes, estos deben ser anotados para



- su posterior levantamiento. Asimismo, si existe tajeos con bastante humedad y calor, también deben ser registrados con alternativas de mejora.
- 8) Se anota, en gráficos verticales, el avance lento de los humos de los disparos que dificultan y retrasan el ingreso de la guardia de día o de noche. Este lapso no debe ser mayor a 1 h para que retrase la productividad de la operación. Se deben registrar las causas, así como las posibles mejoras para la salida eficiente y rápida de los gases viciados.
  - 9) Realizar el balance del flujo del aire: 1ro aplicando la segunda ley de Kirchhoff con la entrada de aire entre la salida de aire. De acuerdo al D.S. N° 024/023-EM (2017), este balance no debe ser mayor a 10% por el aumento de temperatura y por el ingreso de aire comprimido. 2do un balance entre la cantidad de aire que ingresa versus las necesidades de cantidad de aire por el personal que labora, los equipos utilizados, la dilución de contaminantes y el confort de laboreo; en este balance no debe tener un déficit sino al contrario, deber ser excedente en un 12% o más.
  - 10) Antes de presentar el informe del levantamiento de ventilación de la mina, y ya habiéndolo reconocido, es necesario ir al área de geología y planeamiento de mina para conocer los proyectos de diseño de avance de las exploración y desarrollo, así como verificar la geometría (extensión vertical – horizontal y buzamiento) del cuerpo mineralizado o de las vetas de modo que se pueda prever hacia donde se dirigen y consecuentemente hacia donde se debe extender los circuitos de ventilación. Más importante aún, exponer y plantear labores de ventilación para mejorar los circuitos existentes e independizar otros creando nuevos circuitos.
  - 11) Redactar el informe con los resultados de evaluación, las conclusiones y recomendaciones, que deben implementarse siguiendo el orden de: 1: Urgente, 2: prioritario, 3: importante. Los plazos de implementación deben seguir esa jerarquía. No debe escatimarse ni esfuerzos ni recursos en su cumplimiento por el bien de la mina.



### 3) El mapeo de la presión estática de las labores

El mapeo de la presión estática de las labores es más simple pero relativamente más compleja que el mapeo del flujo del caudal del aire. Generalmente no se realiza en las minas convencionales y solo se realiza de forma parcial en minas mecanizadas. No obstante, su medición es relevante y una oportunidad de mejora para el caudal del aire y la reducción de costos. Para realizar este tipo de mapeo también se debe tener en cuenta tres aspectos:

#### A) Elementos de composición de la presión estática

La presión estática de las labores también se compone de varios elementos que se deben conocer, entender y tener presente para realizar un exitoso mapeo. Estos elementos son:

- a) La presión estática. - También se le conoce como caída de presión o resistencia de la mina. La presión estática es la presión que ejerce un fluido perpendicularmente sobre las paredes del contenedor que lo contiene. Por lo mismo, esta presión es ejercida por igual en todas las direcciones.
- b) La presión de velocidad. - También se le conoce como presión dinámica. La presión de velocidad es la fuerza mediante el cual un fluido que se halla dentro de un contenedor adquiere movimiento para viajar dentro de ella. Por lo mismo, la presión dinámica es dimensional o siempre es positiva.
- c) La presión total. - Es la suma de la presión estática y la presión de velocidad.
- d) El factor de fricción (factor K). - Es la aspereza propia de cada tipo de roca o material de sostenimiento (revestimiento) que se halla en las labores subterráneas de una mina. Lo cual ocasiona la resistencia para el flujo del aire.
- e) La ecuación de Atkinson. - El cual te permite determinar la resistividad de una labor para después hallar la caída de presión.

- f) La presión atmosférica. - Que es la presión que ejerce el peso del aire sobre la superficie terrestre. A más altura, menor será la presión ya que el peso del aire disminuye.
- g) La temperatura y la humedad. - Que ocasionan la variación de la densidad del aire.

## B) Equipos e instrumentos utilizados en la presión estática.

Los elementos del flujo del caudal del aire deben medirse, calcularse y ajustarse con ciertos equipos e instrumentos como:

- El manómetro que mide la presión.
- El psicómetro que mide la temperatura y la humedad.
- El barómetro que mide la presión atmosférica.
- El tubo Pitot.
- Mangueras de arrastre.

Véase la siguiente figura 16.

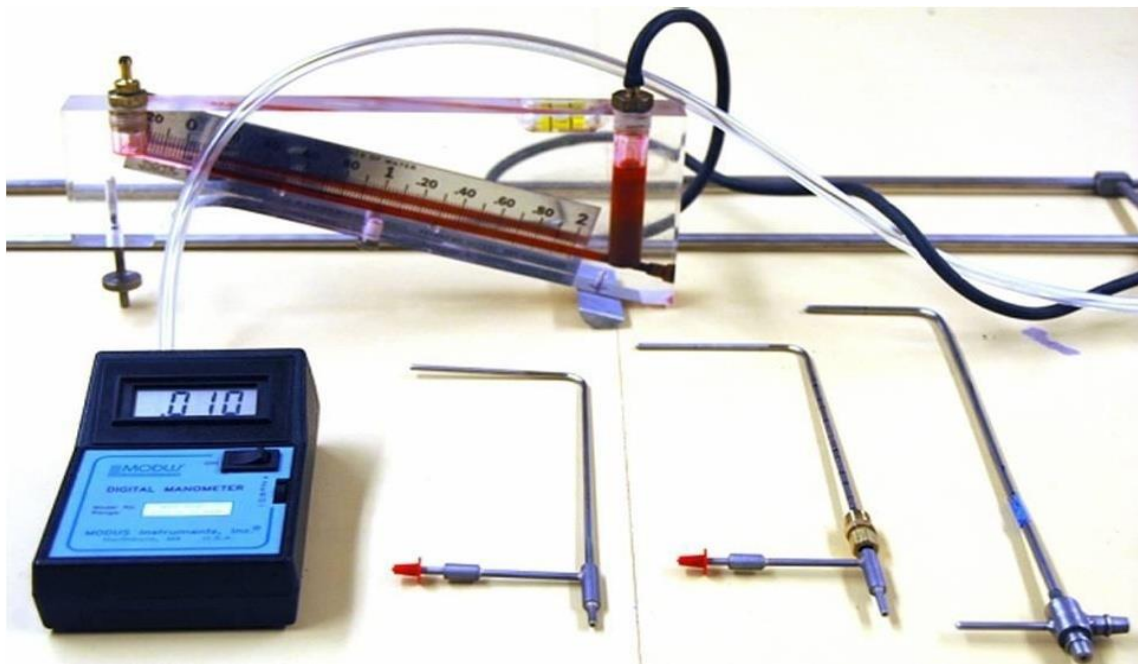


Figura 16: El manómetro electrónico, tubos Pitot de diferentes tamaños y mangueras.

Fuente: (BSGrupo, 2018).





### C) Proceso del mapeo de la presión estática.

El mapeo de la presión estática puede realizarse en conjunto con el flujo del caudal del aire; no obstante, es preferible y recomendable medirlo de forma separa para mejorar la calidad de medición y reducir el espectro de elementos en medición. Por lo mismo, el proceso de mapeo de la presión estática de las labores tiene el mismo procedimiento que el mapeo del flujo del caudal del aire.

#### Importancia de elegir del factor K:

Si bien parece ser somero y de poca relevancia elegir el facto K. Esto no es así. Ya que saber elegir el facto K es **fundamental**, que no solo depende de la aspereza de las labores, sino que también se debe identificar los choques en las labores, y la obstrucción por la operación de los equipos en las labores, ya que estos elementos también repercuten en la presión estática. De esto modo, se debe elegir un factor K representativo por cada labor que se usará en el formula de Atkinson. Y finalmente, este valor debe ser reemplazado o ajustado con la presión estática medida.

### 4) Mapeo de los gases viciados.

El mapeo de los gases viciados se hace en conjunto con el mapeo del flujo del aire. Este mapeo debe ser realizado tanto por el área de ventilación (planeamiento mina) y el departamento de seguridad, sin embargo, el uso de datos es distinto. En seguridad es más de registro y cumplimiento, mientras que en ventilación es más de eficacia y mejora. Para realizar este tipo de mapeo también se debe tener en cuenta los mismos tres aspectos:

#### A) Elementos de composición de los gases viciados

Que varían de acuerdo al tipo de método de explotación subterránea que es empleado en la mina y al yacimiento en extracción. De ello dependerá la presencia de los gases viciados ocasionados en la operación.

## B) Equipos utilizados para los gases viciados

Los gases viciados deben medirse con ciertos equipos como:

- El Multigas Altair 5X.
- El detector M40, etc.
- Un contador o medidor de partículas.

Véase la siguiente figura 17.



Figura 17: El multigas Altair 5X que mide LEL, monóxido de carbono y otros más.

Fuente: (Castillo, 2017).

## C) Proceso del mapeo de los gases viciados

El mapeo de los gases viciados, ya se mencionó que es en conjunto con el mapeo del flujo del caudal del aire; por consiguiente, tiene el mismo proceso de este mapeo.



## 2.2.8 Diseño de la red de ventilación de minas

Según refieren MVS *et al.* (2003), El diseño de redes de ventilación, que comprendan varios circuitos independientes, es un gran desafío para el ingeniero de minas, en el cual es imprescindible tanto su conocimiento (ciencia) y la creatividad (arte) para ajustar la red de ventilación al diseño de labores para determinado método de explotación de un yacimiento filoneano, stock u otro cuerpo mineral que sólo es explotable por minería subterránea.

Al diseñar una red de ventilación para una mina subterránea este puede tener dos escenarios distintos:

### A) Un proyecto nuevo

Este es el escenario ideal para el diseño de una red de ventilación, ya que las labores de desarrollo (acceso) y preparación pueden proyectarse atendiendo, no solo la tarea productiva, sino que también la labor de ventilación. Asimismo, las labores de ventilación pueden acoplarse con visión a las labores de acceso y preparación.

En este escenario el mapeo de ventilación se realiza de forma somera en base a: los sondajes diamantinos y labores de exploración para conocer el macizo rocoso, el método de explotación y su proyección en profundización, la ubicación de las labores de ventilación futuras conforme a la topografía del yacimiento y las condiciones termo – ambientales externas, entre otros. No obstante, cabe aclarar que una vez que la operación anda en marcha, el mapeo de ventilación debe ser detallado para ajustar y mejorar el sistema de ventilación.

### B) Un proyecto curso o marcha

Este es el escenario muy común en las minas convencionales del Perú donde solo es posible operar con un planeamiento a corto plazo y como máximo un mediano plazo. En este caso, las labores de desarrollo (acceso) y preparación han sido proyectadas atendiendo no solo la tarea productiva, dejando de lado la labor de ventilación. Asimismo, la ventilación que más se utiliza es la ventilación natural



que ciertamente es bastante efectiva al inicio de la operación manteniéndose unos dos años como máximo.

El diseño de una red de ventilación, en este escenario, debe realizarse con un mapeo de ventilación detallado de modo que se puedan realizar ajustes funcionales y profundos sobre el sistema de ventilación. Por lo mismo, de ahí en adelante para los nuevos proyectos de labores debe regir el punto A.

Para realizar el diseño de una red de ventilación se deben tener en cuenta los siguientes principios y parámetros, desarrollados por varios profesionales:

#### **A) Los principios del flujo de fluidos y su compresión.**

De acuerdo a Jiménez (2011), estos principios son:

- 1) Ley de conservación de energía. - la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Este principio se esquematiza en la 2da ley de Kirchhoff, y es fundamental entenderlo.
- 2) La energía o presión total en una sección cualquiera de un fluido en movimiento es la suma de:

La energía estática o presión estática:  $\frac{P}{W}$

La energía cinética o presión dinámica o de velocidad:  $\frac{V^2}{2g}$

La energía potencial o presión barométrica: Hz

- 3) La ecuación de Bernoulli, que es básica para todos los procesos del flujo de fluidos, expresa lo siguiente: La energía total de la sección A es igual a energía total de la sección B más la pérdida de energía del fluido al pasar del punto A al B. Véase la siguiente figura 18.

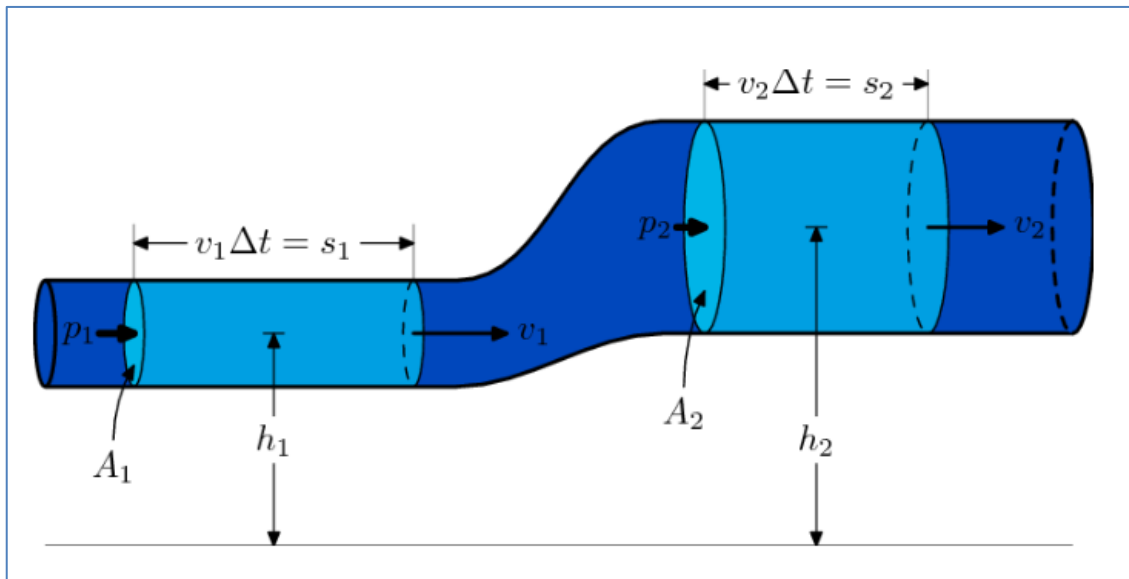


Figura 18: Diagrama de la ecuación de Bernoulli.

Fuente: [www.speedace.info](http://www.speedace.info).

El diagrama de la figura 2.18, se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{W_1} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{W_2} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + H_F$$

Que en términos más simples y conocidos se expresa así:

$$H_{S1} + H_{V1} + H_{Z1} = H_{S2} + H_{V2} + H_{Z2} + H_F$$

- 4) La ecuación de Bernoulli es aplicable sólo a fluidos incompresibles o en los que haya poco cambio de densidad. Asimismo, cabe mencionar que la ecuación de Bernoulli expresa matemáticamente la ley de conservación de energía en fluidos.
- 5) A una misma altitud o presión barométrica, solo se considera la presión estática, la dinámica y la caída de presión, por lo que la ecuación se reduciría a:

$$H_{S1} + H_{V1} = H_{S2} + H_{V2} + H_F$$



- 6) Si bien la presión estática y la dinámica se pueden determinar con un manómetro, la presión dinámica o de velocidad también se determina midiendo la velocidad del aire con el anemómetro o viceversa, en base a la siguiente ecuación.

$$H_v = w \frac{V^2}{2}$$

Donde:

$H_v$  = Presión de la velocidad en Pa.

$W$  = Peso específico del aire  $\text{Kg/m}^3$ .

$V$  = Velocidad del aire en m/s.

- 7) En las secciones estrechas, donde la velocidad es grande, la presión de velocidad será grande y la presión estática pequeña y viceversa. En los locales o sitios encerrados que tiene el aire en reposo, la presión dinámica es nula, y la presión estática será igual a la presión total.
- 8) La presión estática y la presión de velocidad son mutuamente convertibles. Esta conversión está acompañada de alguna pérdida de energía que dependerá de las piezas geométricas de transmisión del flujo y de la velocidad del aire, ya sea que esté acelerado o desacelerado. Esta pieza geométrica se le conoce como: Evase.
- 9) La presión total del ventilador a causa del rozamiento va creciendo positivamente a medida que el aire se acerca a la salida del ventilador, o lo que es lo mismo, va decreciendo a medida que se aleja de esta salida.
- 10) La estática del ventilador se puede determinar, midiendo con un manómetro y tubo Pitot las presiones de ingreso y salida, con la siguiente ecuación:

$$H_{fan} = H_{F-inlet} + H_{F-outlet} - H_{V-inlet}$$

Lo cual se esquematiza en la siguiente figura 19.

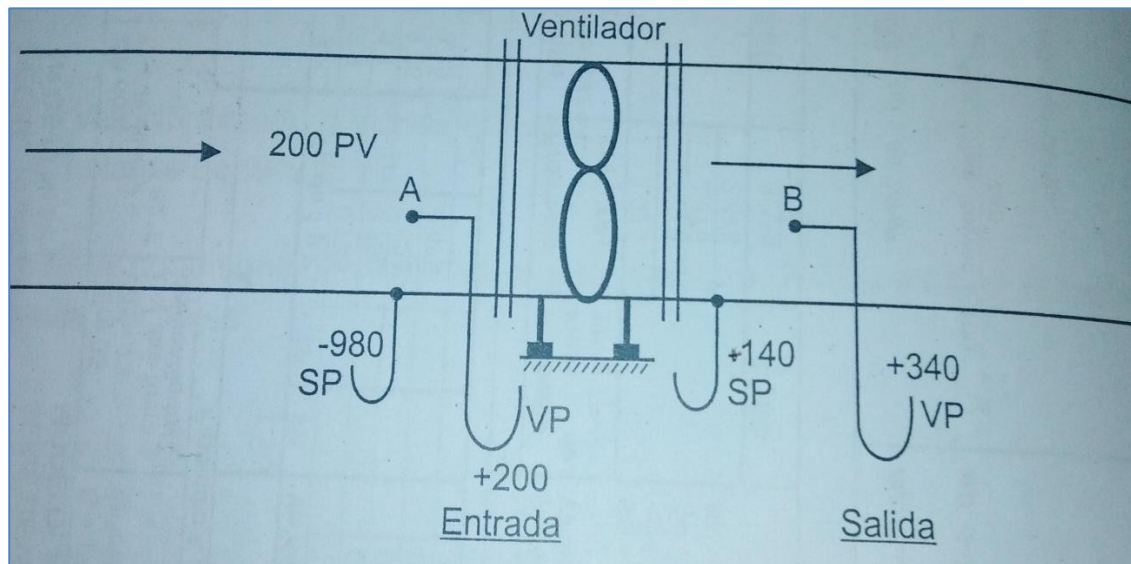


Figura 19: Formas de flujo de un ventilador.

Fuente: (Jiménez, 2011).

Según se aprecia en la Figura 19, en el ventilador se da las dos formas de ventilación, la aspirante y la impelente; por lo que se tendrá la presión estática y presión dinámica con distintos signos. Para determinar la presión estática del ventilador no deben tomarse en cuenta los signos de las presiones medidas.

## B) Circuitos de ventilación

Según refieren BSGrupo *et al.* (2018), un circuito de ventilación lleva en implícito la denominación de circuito cerrado; es decir, que el aire que entra por un determinado lugar, necesariamente debe salir por otro: de no ser así, no debe considerarse como: un circuito. Entonces, un circuito de ventilación posee una entrada por donde ingresa el aire, el cual se conecta a otros ramales interconectados por el cual se distribuye el aire, y culmina en una salida por donde sale el aire.

Para diseñar, determinar y evaluar un circuito de ventilación se debe seguir un proceso que consiste en esquematizar el circuito para luego poder aplicar un formulismo ya establecido en base a varios principios matemáticos propuestos por grandes profesionales.



## C) Esquematación de un circuito de ventilación

De acuerdo a BSGrupo *et al.* (2018), la esquematización de un circuito de ventilación consiste en simplificar el trazo que se realiza en planos de una mina subterránea en operación y/o proyecto de modo que se pueda aplicar el formulismo del circuito con mayor eficacia.

La esquematización de un circuito de ventilación se subdivide en dos partes:

### 1) La red isométrica del circuito

La red isométrica del circuito es el primer diseño de simplificación de los planos de la mina. Para ello, no es necesario seguir un tecnicismo basado en escalas, vistas, trazos perfectos y otras técnicas; sino que basta con dibujar isométricamente la forma de la mina teniendo en cuenta los accesos de aire, las salidas, las zonas de trabajo, la ubicación de los ventiladores, el caudal que viaja por cada labor y el sentido de esta, la presión estática medida y otros aspectos medidos en el mapeo de ventilación.

Esta red isométrica te permitirá entender en forma global (panorámica) como se comporta la red de ventilación de la mina en que has realizado el mapeo y al que deseas evaluar. Véase la siguiente figura 20.



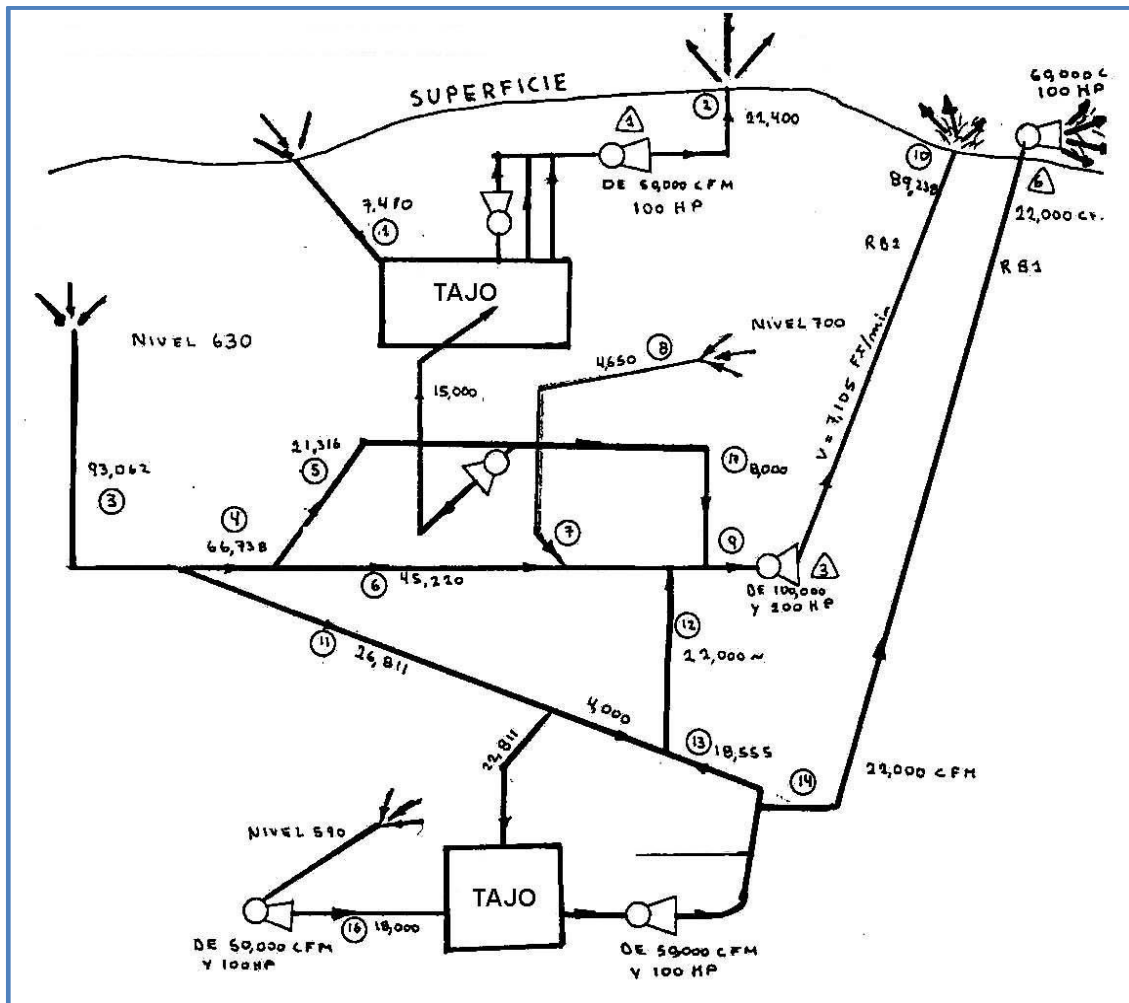


Figura 20: Red isométrica de una mina  
Fuente: (Jiménez, 2011).

## 2) El diagrama unifilar

El diagrama unifilar es la simplificación de la red isométrica del circuito y consiste en dibujar la red isométrica del circuito en un trazo simple de una sola dimensión. Si bien el diagrama unifilar es más sencillo, este debe ser mucho más preciso basando sus trazos en la teoría de grafos, siendo las aristas equivalentes a las labores subterráneas, los vértices o nodos al cruce de 2 o más labores, las direcciones de los vértices al sentido del flujo del aire, y las etiquetas a los valores del caudal y caída de presión. Véase la figura 21.

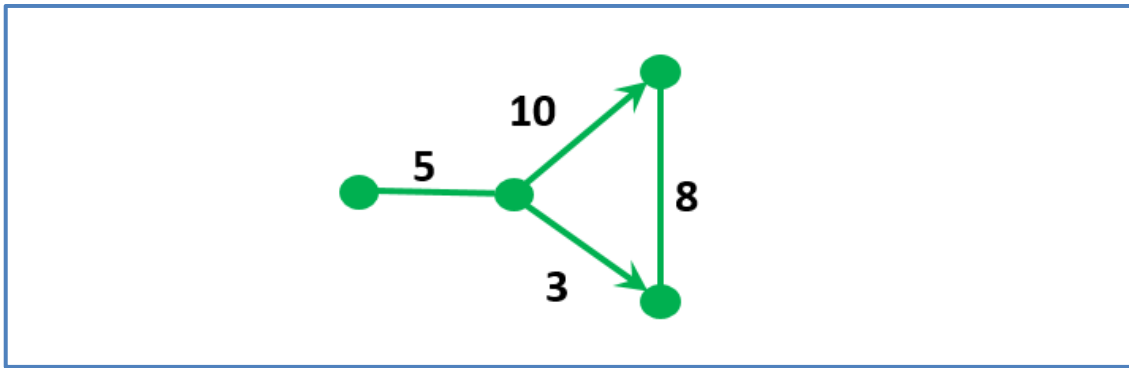


Figura 21: Un grafo mixto para el trazo del diagrama unifilar.

Fuente: (Benito y Chura, 2016).

Asimismo, el diagrama unifilar integra otros símbolos gráficos que representan a las puertas, cortinas, tapones, etc., además de etiquetas y abreviaturas. Véase la siguiente figura 22.

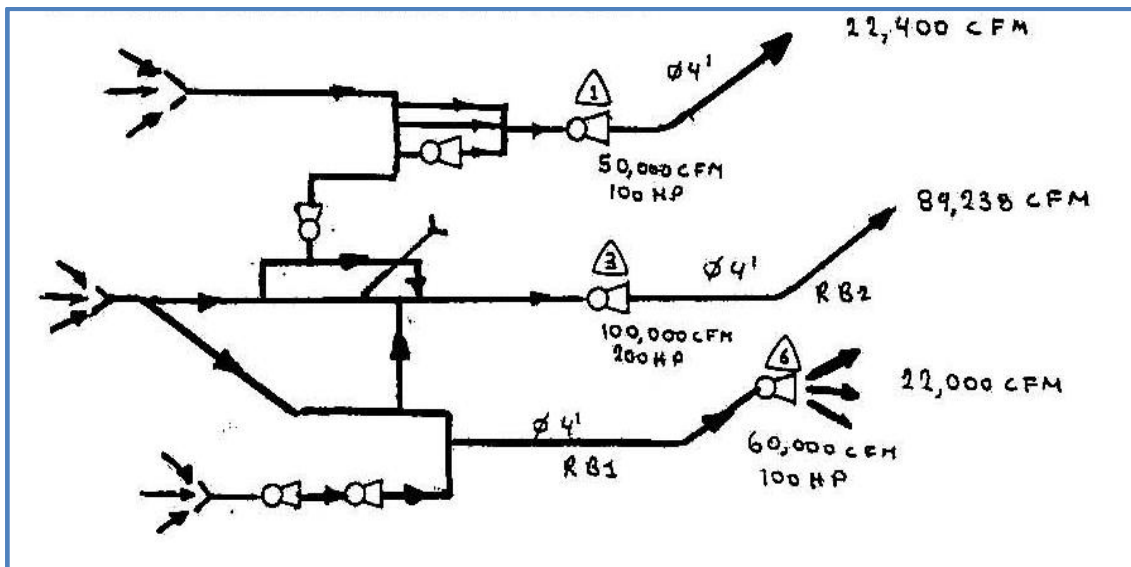


Figura 22: El diagrama unifilar de una mina

Fuente: (Jiménez, 2011).

### 3) Formulismo aplicado para un circuito de ventilación.

Conforme a BSGruPO *et al.* (2018), existen principios matemáticos, formulas y otras técnicas que se aplican a un esquema de ventilación para resolver circuitos de ventilación; y que se les puede denominar como: un formulismo de ventilación.

Debido a su complejidad, este formulismo se puede agrupar de la siguiente manera:

#### 4) Los principios de Kirchhoff.

Que originalmente fueron diseñados para los circuitos eléctricos, pero que se aplican de manera satisfactoria al flujo de fluidos.

Las leyes Kirchhoff están diseñadas como una esquematización del principio de conservación de energía. No están diseñadas para determinar el cambio de energía. Aclarado ello, es importante mencionar que es fundamental conocer ambas leyes:

##### A) Primera ley: Ley del nodo

Gustav Kirchhoff menciona que: “La suma de caudales que entran a un nodo es igual a la suma de los caudales que salen. De forma equivalente, la suma de todos los caudales que pasan por el mismo nodo es igual a cero”. Véase la siguiente figura 23.

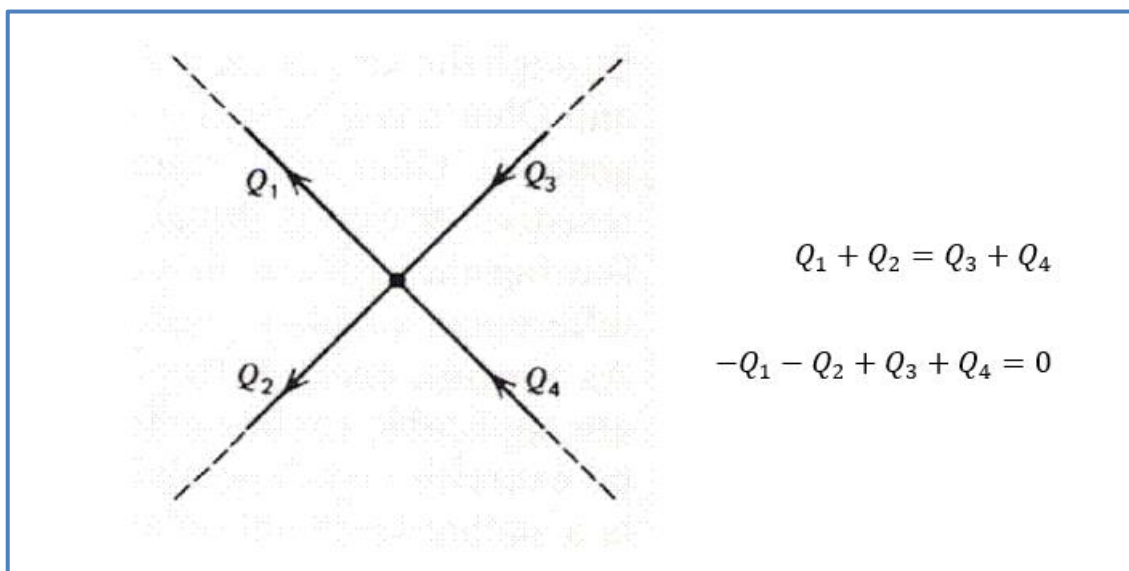


Figura 23: Esquema de la primera ley de Kirchhoff.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

## B) Segunda ley: Ley de mallas

Gustav Kirchhoff menciona también que: “En un circuito cerrado, la suma de todas las caídas de presión es igual a la presión total suministrada. De forma equivalente, la suma algebraica de todas las caídas de presión de un circuito o malla es igual a cero”. Véase la siguiente figura 24.

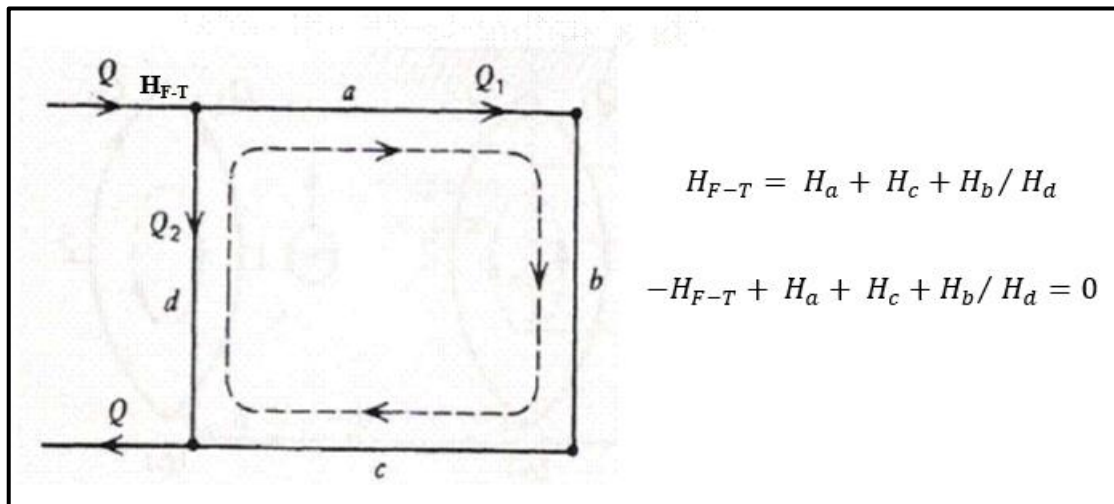


Figura 24: Esquema de la segunda ley de Kirchhoff.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

## 5) Ecuaciones múltiples

Que fueron establecidos por varios profesionales en aplicación al flujo de fluidos por un recipiente o conducto y que se basan en la ley de conservación de energía.

Estas ecuaciones son:

### A) Ecuación de continuidad del flujo:

El volumen de aire que viaja por una labor minera, ya sea de una galería, chimenea o tajo, está dado por el área transversal y por la velocidad del aire que atraviesa esta labor. De la misma manera, este principio se aplica en una manga de ventilación. Su expresión matemática es:

$$Q = A \times V$$



Donde:

$Q$  = Caudal del aire en  $m^3/s$  o CFM.

$A$  = Área de la sección transversal de la labor en  $m^2$  o  $Ft^2$ .

$V$  = Velocidad del aire en  $m/s$  o  $Ft/min$ .

## B) Ecuación para determinar la caída de presión

El cual se refiere en MVS (2003), y está establecido por Atkinson en base a la ley cuadrada, la cual se emplea para determinar la caída de presión que tendrá el paso del flujo del aire por las labores de una mina subterránea. La ecuación de Atkinson se establece mediante cuatro fórmulas:

**El factor de fricción (K).** Que es igual a la siguiente relación:

$$K = \frac{f \delta_a}{2}$$

Donde:

$K$  = El factor de fricción en  $Kg/m^3$ .

$\delta_a$  = Densidad del aire en  $Kg/m^3$ .

$f$  = El coeficiente de fricción Chezy-Darcy, el cual no tiene dimensiones.

Debido a que no es tan común utilizar el coeficiente de fricción Chezy-Darcy, sino que se emplea con mayor frecuencia valores establecidos de  $K$ .

Ahora, como en el Perú las minas subterráneas por lo general se ubican a los 3000 m.s.n.m., el factor  $K$  debe ser corregido con la siguiente fórmula:

$$K_r = K_s \times \frac{\delta_{ar}}{\delta_{as}}$$



Donde:

$K_r$  = El factor de fricción real o corregido en  $\text{Kg/m}^3$ .

$K_s$  = El factor de fricción seleccionado en  $\text{Kg/m}^3$ .

$\delta ar$  = Densidad del aire a la altura de la mina en  $\text{Kg/m}^3$ .

$\delta ar$  = Densidad del aire a nivel del mar con un valor de  $1.2 \text{ Kg/m}^3$ .

**La resistencia del aire (R).** Que se determina con la siguiente relación:

$$R = \frac{K_r \times P \times (L + L_e)}{A^3}$$

Donde:

R = La resistencia o resistividad en  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ .

$K_r$  = El factor de fricción real o corregido en  $\text{Kg/m}^3$ .

P = El perímetro de la labor en m.

L = Longitud de la labor en m.

$L_e$  = Longitud de choque en m (\*1).

A = Área de la sección de la labor en  $\text{m}^2$ .

(\*1): La longitud de choque es el incremento de la longitud normal de la labor debido a choques que generan una mayor resistencia, los cuales pueden ser curvaturas, bifurcaciones, uniones y obstrucciones continuas. Esta longitud de choque se puede ver a detalle en el Anexo N° 03 según refiere (BSGrupo, 2018).

**La ley cuadrada ( $H_F$ ).** Que está establecido con la siguiente ecuación:

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

Donde:



$H_F$  = Caída de presión de la mina en Pa.

$R$  = La resistencia o resistividad en  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ .

$Q$  = Caudal del aire en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Finalmente, con las cuatro formulas mencionada, se establece la famosa ecuación de Atkinson:

**En versión ordinaria:**

$$H_F = \frac{K_r \times P \times (L + L_e)}{A^3} \times Q^2$$

**Y en versión simplificada:**

$$H_F = \frac{K_r \times P \times (L + L_e)}{A} \times V^2$$

### C) Ecuación para determinar los HPs del ventilador

Para poder cumplir con la ley de conservación de energía, la caída de presión de la mina (la cual tuvo que ser medida o estimada previamente) debe ser vencida por el ventilador a utilizar, de no ser el caso, el requerimiento de aire para la mina jamás será cumplida. Es así que, más allá de la ley de los ventiladores, primero deben establecerse o determinarse las siguientes ecuaciones que se refieren en Zitron y Golu (2009):

Potencia nominal del motor del ventilador:

$$P = \frac{I \times E \times TIC \times PF \times EM}{746}$$

Donde:

$P$  = Potencia del motor en HP.

$I$  = Intensidad de la corriente en Amperios.



E = Voltaje de trabajo en Voltios.

TIC = Constante por tipo de corriente: 1 para corriente continua y monofásica,  
1, 732 para trifásica.

PF = Factor de potencia.

EM = Eficiencia mecánica del motor que oscila entre 85 a 90%.

Potencia necesaria para mover el caudal del aire:

$$AHP = \frac{H_F \times Q}{1000}$$

Donde:

AHP = Potencia para mover el aire en KW.

H<sub>F</sub> = Caída de presión de la mina en Pa.

Q = Caudal del aire en m<sup>3</sup>/s.

Potencia al freno para mover el caudal del aire:

$$BHP = \frac{H_T \times Q}{1000 \times Ev\%}$$

Donde:

BHP = Potencia al freno para mover el aire en KW.

H<sub>T</sub> = Caída de presión total de la mina en Pa.

Q = Caudal del aire en m<sup>3</sup>/s.

Ev% = Eficiencia del ventilador en %.

#### **D) Ecuación para la simulación de ventilación**

De acuerdo a MVS (2003), para la simulación de caudales en un circuito de ventilación por medio de un software se utiliza la técnica iterativa de Hardy Cross, el cual implica hacer un estimado inicial de la distribución del flujo de aire, calcular una corrección aproximada a aplicarse a cada ramal, y después



repetir el procedimiento de corrección de manera iterativa hasta que se obtenga un grado de exactitud aceptable. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta Q_m = -\frac{\sum(R_i Q_i |Q_i| - P_{Ti})}{\sum(2R_i |Q_i| + S_{Ti})}$$

## 6) Técnicas aplicadas por tipo de circuito

Que también fueron establecidos originalmente para los circuitos eléctricos. Pero de igual manera, puede ser aplicado al flujo de fluidos.

Existen dos tipos de circuito que poseen distintas técnicas de cálculo, estos circuitos son:

### A) Circuito en serie:

En el que, a pesar de las distribuciones de las labores dentro de la mina, el caudal del aire viaja secuencialmente pasando por cada labor desde el ingreso hasta la salida de la mina. Véase la siguiente figura 25.

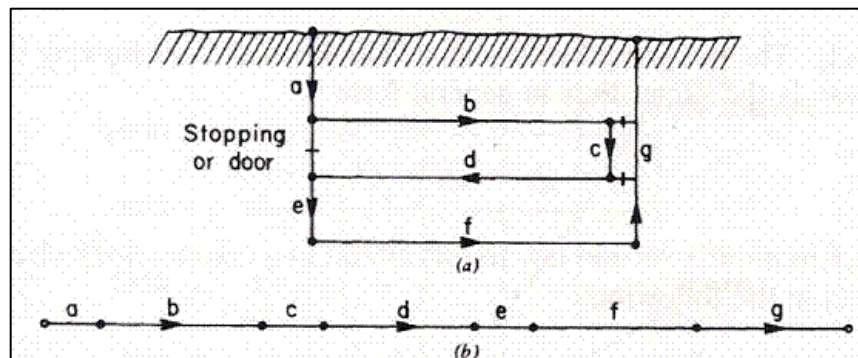


Figura 25: Esquema de un circuito en serie.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

En este tipo de circuito se tiene las siguientes relaciones:

1. El volumen total es el mismo a través de todo el circuito desde que ingresa el aire al conducto hasta que sale de este, es decir:



$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_n$$

2. La caída de presión total es igual a la suma de las pérdidas de presión de cada una de las labores por donde viaja el flujo de aire, por lo que:

$$H_T = H_{F1} + H_{F2} + \dots + H_{Fn}$$

3. De acuerdo a la ley cuadrada  $H_T$  es igual a  $R_T \times Q_T^2$ , por lo que:

$$R_T \times Q_T^2 = R_1 \times Q_1^2 + R_2 \times Q_2^2 + \dots + R_n \times Q_n^2$$

Y como todos los caudales son iguales, entonces se tiene que:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

4. En la figura 25, el diagrama unifilar del tipo (a) del circuito en serie, es equivalente a la secuencia en (b).
5. En un circuito en serie, los requerimientos de fuerza o energía eléctrica, son altos para un determinado volumen de aire debido a que los HP para trasladar el peso del aire son acumulativos; por lo mismo, la curva característica de un ventilador que trabaja en un circuito en serie, se puede ver como en la figura 26.

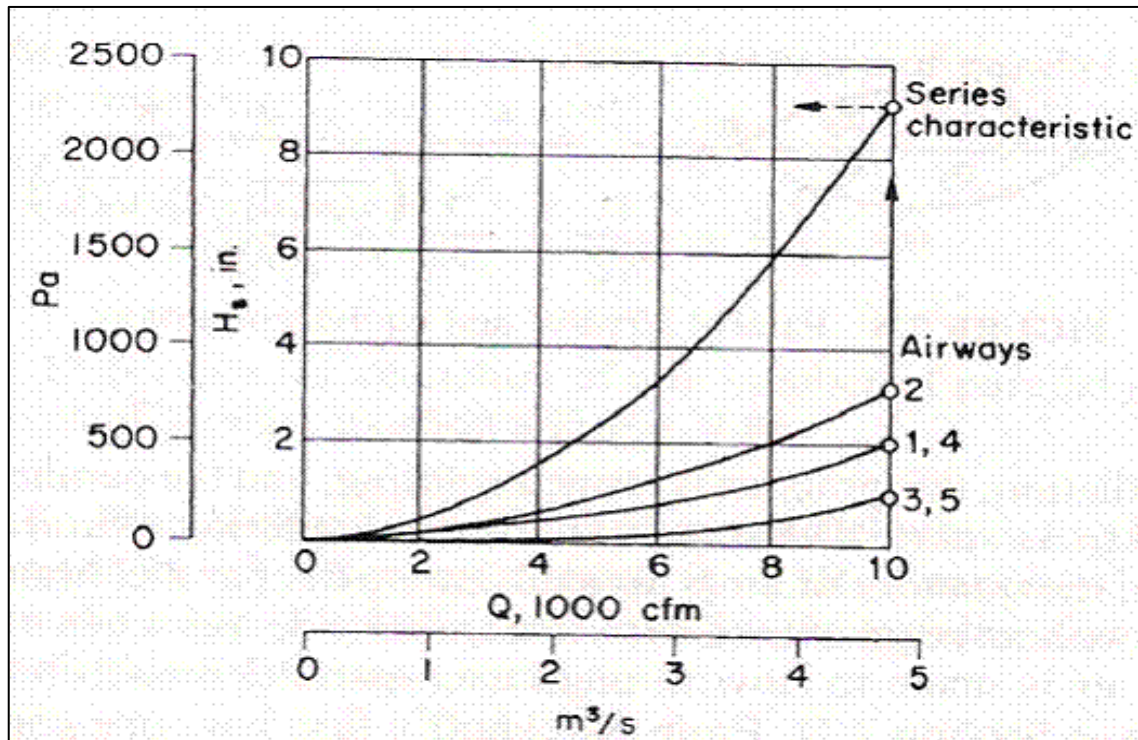


Figura 26: Curva característica para un ventilador en un circuito en serie.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

### B) Circuito en paralelo:

En el que, el volumen total del aire se distribuye o divide en varias las labores dentro de la mina. En un circuito en paralelo, cada labor en el cual se divide el aire, se considera como un ramal (Split) y el punto de división o unión se considera un nodo. Véase la siguiente figura 27.

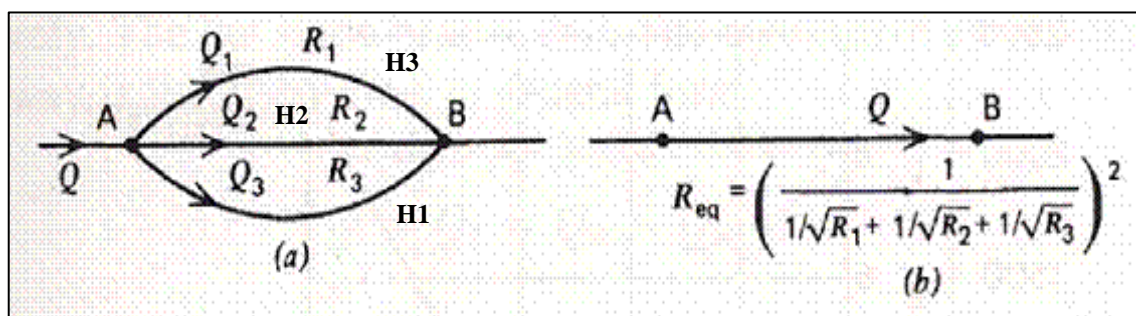


Figura 27: Esquema de un circuito en paralelo.

Fuente: (BSGrupo, 2018).



En este tipo de circuito se tiene las siguientes relaciones:

1. El volumen total es la suma de los volúmenes que pasan por cada ramal porque el volumen total que ingresa se bifurca por cada labor conectada, es decir:

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_n$$

2. La caída de presión es igual en todos los ramales en paralelo, por lo que:

$$H_{eq} = H_{F1} = H_{F2} = H_{Fn}$$

3. De acuerdo a la ley cuadrada  $H_T$  es igual a  $R_T \times Q_T^2$ , por lo que:

$$Q_{eq} = \sqrt[2]{\frac{H_{eq}}{R_{eq}}}$$

Entonces:

$$\sqrt[2]{\frac{H_{eq}}{R_{eq}}} = \sqrt[2]{\frac{H_1}{R_1}} + \sqrt[2]{\frac{H_2}{R_2}} + \dots + \sqrt[2]{\frac{H_n}{R_n}}$$

Y como todas las caídas de presión son iguales, entonces se tiene que:

$$\frac{1}{\sqrt{R_{eq}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$$

4. El caudal dividido expresa que, conocido las resistencias de cada ramal, la resistencia equivalente y el caudal total que se va a distribuir, entonces se puede determinar el caudal para cada ramal, por lo que:

$$Q_1 = Q_{eq} \times \sqrt{\frac{R_{eq}}{R_1}}$$



$$Q_2 = Q_{eq} \times \sqrt{\frac{R_{eq}}{R_2}}$$

$$Q_n = Q_{eq} \times \sqrt{\frac{R_{eq}}{n}}$$

5. En la figura 27, para el cálculo de caídas de presión o estáticas en un diagrama unifilar como del tipo (a) para un circuito en paralelo, se procede desde la parte inferior hacia la superior para hallar una caída de presión equivalente, es decir:

$$E_1 = al > \text{entre } H_1 \text{ y } H_2$$

$$E_2 = al > \text{entre } E_1 \text{ y } H_3$$

6. En un circuito en paralelo, los requerimientos de fuerza o energía eléctrica, son menores para un determinado volumen de aire debido a que el aire enviame se divide; por lo mismo, la curva característica de un ventilador que trabaja en un circuito en paralelo, se puede ver como en la figura 28.

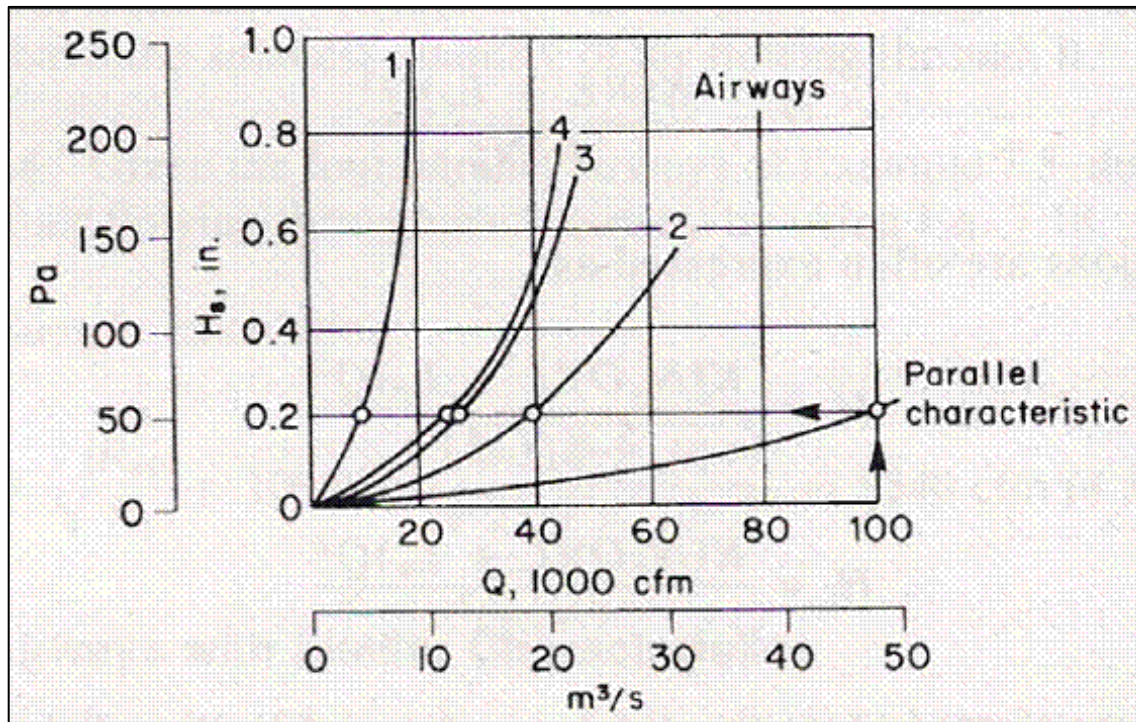


Figura 28: Curva característica para un ventilador en un circuito en paralelo.

Fuente: (BSGrupo, 2018).

## 7) Requerimiento de aire dentro de una mina subterránea

Según Jiménez (2011), el requerimiento de aire para el laboreo dentro de una mina subterránea está regulado por normas legales y a especificaciones técnicas, los cuales deben cumplirse para que el requerimiento de aire sea cumplido a satisfacción para el bien de los actuantes del proceso productivo.

### A) Normativa en la ventilación minas

El cual se detalla en el D.S. N° 024/023-EM (2017), en el título cuarto, subcapítulo VIII, del artículo 246 al 257; y que establece valores mínimos a cumplir en:

#### 1) El oxígeno:

En todas las labores subterráneas debe existir por lo menos un 19,5% de oxígeno.

## 2) Cantidad mínima de aire por hombre y por equipo diésel:

En caso de por hombre, difiere por la altura en que se halla la mina, y caso de equipos diésel, varía por cada HP. Véase la siguiente figura 29.

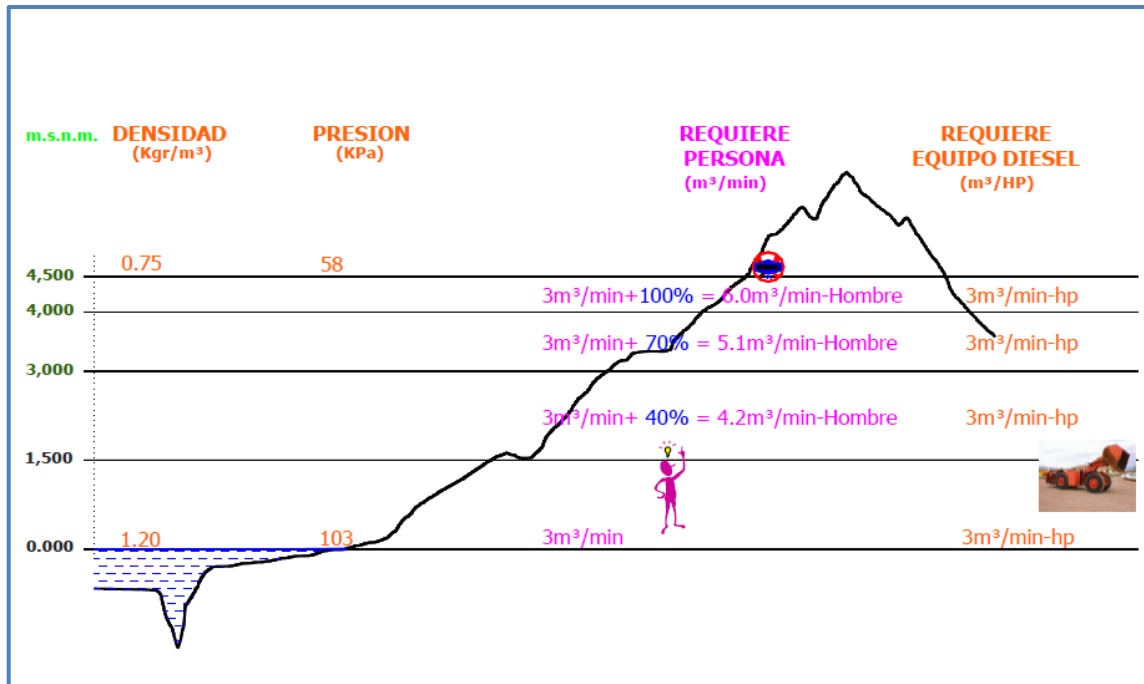


Figura 29: Cantidad mínima de aire por hombre y equipo.

Fuente: (Salas, 2017).

## 3) Velocidad del aire:

**En las labores.** La velocidad mínima será 20 m/min para una mina convencional que no usa Anfo, 25 m/min si emplea Anfo, y 34 m/min según especificaciones técnicas.

En tanto, la velocidad máxima será 250 m/min, de 395 m/min a 670 m/min en labores exclusivas para ventilación, y 762 m/min en raise boring (RB) de acuerdo a especificaciones técnicas.

**En mangas de ventilación.** La velocidad mínima será 762 m/min y la velocidad máxima será 915 m/min de acuerdo a especificaciones técnicas.



#### 4) La ventilación auxiliar

Si la labor tiene una sola vía de acceso y tiene un avance igual a mayor a 60 m deberá utilizar ventilación auxiliar.

En labores ciegas de avance horizontal, si la ventilación es impelente, la manga de ventilación deberá instalarse a una distancia no mayor a 15 m. Si es aspirante, esta distancia debe ser igual a una vez el diámetro del tubo o la manga de ventilación.

#### 5) Balance entre el aire que ingresa vs el que sale

Este no deberá ser mayor a 10% para validar la confiabilidad del mapeo de ventilación.

##### A) Parámetros del requerimiento de aire.

La cantidad de aire limpio para una mina subterránea se basa en la normativa de ventilación de minar, y se calcula en función a las diferentes necesidades que se establecen con los siguientes parámetros:

##### B) Para satisfacer las necesidades vitales del trabajador (Qh):

El cual obedece a la siguiente ecuación:

$$Qh = NM \times 3(1 + \%A)$$

Donde:

Qh = Cantidad de aire por cada trabajador en labor en m<sup>3</sup>/min.

NM = Número de trabajadores.

%A = Porcentaje de incremento por altitud.





**C) Para diluir y trasladar los gases viciados, humos y polvos en suspensión (Qd):**

El cual obedece a la siguiente ecuación:

$$Qd = A \times V \times NL$$

Donde:

Qd = Cantidad de aire para diluir y trasladar los contaminantes en m<sup>3</sup>/min.

A = Área de la sección transversal de la labor en m<sup>2</sup>.

V = Velocidad del aire en m/min.

NL = Número de labores o frentes de trabajo.

**D) Para satisfacer las necesidades operacionales de los equipos diésel (Qe):**

El cual obedece a la siguiente ecuación:

$$Qe = 3 \times HPE \times NE$$

Donde:

Qe = Cantidad de aire por cada equipo en operación en m<sup>3</sup>/min.

HPE = Número de HP por equipo.

NE = Número equipos diésel.

**E) Para dar confort a los trabajadores en lugares calurosos (Qc):**

El cual obedece a la siguiente ecuación:

$$Qc = A \times VP \times NLC$$

Donde:

Qd = Cantidad de aire para disminuir el calor de ambiente en m<sup>3</sup>/min.

A = Área de la sección transversal de la labor en m<sup>2</sup>.



VP = Velocidad promedio del aire a temperaturas mayores a 30° en m/min. Por ningún motivo este debe exceder 167 m/min (2.8 m/s).

NLC = Número de labores o tajos calientes.

#### **F) Cantidad de aire total para la mina (Qm):**

El cual, es la suma de todos los requerimientos establecidos:

$$Qm = Qh + Qd + Qe + Qc$$

**Teniendo presente que:**

Si no se utilizan equipos diésel,  $Qe = 0$ .

Si no se tienen labores con temperatura mayor a los 29° C,  $Qc = 0$ .

Reduciendo la expresión a:

$$Qm = Qh + Qd$$

#### **2.2.9 Modelamiento de una red de ventilación de minas**

Conforme a Zitron (2009), el modelamiento de una red se realiza para simular el sistema de ventilación de una mina de modo que se puedan encontrar errores en el sistema que el cálculo manual no pueda tener presente, ello, con la finalidad de poder corregirlos sin exponer al personal a riesgos por la inadecuada dilución de los gases viciados y/o estrés calorífico, ni a los equipos diésel a un rendimiento discorde a su diseño por falta de oxígeno.

Para poder realizar un modelamiento exitoso de una red de ventilación, es necesario canalizar la información procedente del mapeo de ventilación para que sea la fuente de información fidedigna de la mina. Esta canalización se resume de la siguiente manera:



1. **Preparar los planos de la mina.** En los softwares antiguos del año 2000, era necesario construir un diagrama unifilar en base a los planos de la mina, antes de poder utilizar el software. En esta época, ello no es necesario, no obstante, todas las labores deben estar en líneas eje de modo que pueda facilitar su importación dentro de Ventsim Design.
2. **Eliminar las labores innecesarias.** En una mina con varios años en operación es común encontrar labores abandonadas. Estas, muy aparte de estar clausuradas, deben estar bien taponeadas para evitar pérdidas en el caudal del aire, de preferencia deben usarse tapones herméticos o puertas herméticas. Asimismo, estas deben ser eliminadas de los planos de la mina que se trabajaran en el software de ventilación.
3. **Una data del estado físico-geométrico de las labores en operación.** La cual es una versión más simple de la data para el cálculo manual, en el que básicamente debe estar detallado, sección de las labores, tipo de roca encajonante, sostenimiento de la labor, estado de las paredes circundantes y el factor K seleccionado. De tener una medición de las caídas de presión, también deben anotarse.
4. **Labores de entrada y salida del aire.** En las cuales deben especificarse el sentido del encauzamiento del aire, la velocidad y por ende el caudal. Asimismo, se debe estimar el caudal máximo de cada una de estas labores.
5. **Estaciones de ventilación.** En coordenadas UTM y en el cual se ubican los ventiladores mecánicos utilizados.
6. **Un cálculo manual con un diagrama unifilar.** Ningún dato extraído de un software debe tomarse como sale, es necesario tener una idea clara del sistema de ventilación por medio de un cálculo manual, el cual debe ser realizado por el ingeniero de ventilación (ingeniero de minas).



## 2.3 SOFTWARES UTILIZADOS

Los softwares que se utilizaran en esta investigación son:

### 2.3.1 Ventsim – Design 5.0

De acuerdo a Stewart (2018), el software VentSim Classic™ fue lanzado en 1994 y se mantuvo durante muchos años como un software de ventilación simple pero popular para simular los caudales de aire y presiones dentro de una mina. A pesar de las limitaciones que tenía, como caudales incompresibles y la falta de simulación de calor, muchos cientos de minas adoptaron el uso de VentSim Classic. VentSim Classic™ fue mejorado a la versión 3.9, sin embargo, todo el desarrollo en este programa se detuvo en 2007. Después de este año se desarrolló VentSim Design™.

VentSim Design™ fue completamente re programado, desde cero. Es un programa completamente diferente a VentSim Classic 3.9, pues posee un enfoque completamente nuevo para el despliegue visual y la simulación de redes de ventilación. Este software busca hacer del diseño y simulación de una red de ventilación minera un proceso abordable por cualquier ingeniero en minas o funcionario de ventilación, incluso para personas sin vasta experiencia en el área. Por lo mismo, este software ofrece 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.



### **2.3.2 Hexagon – Mine Plan 3D**

El MineSight, ahora conocido como MinePlan 3D, es un software muy completo utilizado para el diseño de minas a tajo abierto y subterráneos. En el diseño subterráneo se utiliza en gran medida la herramienta “Point Editor” que en conjunto con las herramientas del menú “UG Tools”, los diseños de las labores subterráneas son provistas en 3D.

Este software será el puente entre el AutoCAD y el Ventsim.

### **2.3.3 Autocad**

Es el software de diseño básico utilizado en las minas subterráneas. El diseño puede ser hecho en 2D o 3D. No obstante, por lo general, el diseño de las labores subterráneas se realiza en 2D, pero manejando las vistas de planta (NE), en perfil (EW), y en transversal (NS).

Los planos originales de la Zona Consuelo I de la unidad minera Alpacay se encuentran diseñados en AutoCAD, por lo que deben ser pasados a vista 3D dentro MineSight.

## **2.4 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO.**

### **2.4.1 Geología regional**

La unidad de producción Alpacay se encuentra emplazado en yacimiento aurífero, mesotermal, tipo filoniano, el cual se relaciona con la mineralización aurífera en rocas intrusivas de las super unidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera de Nazca-Ocoña que alberga innumerables minas y depósitos en vetas angostas como Arirahua, San Juan de Chorunga, Chalhuane, Las Clavelinas, María Eugenia, entre otros.

Dentro del contexto geológico regional se exponen diferentes unidades litológicas, de naturaleza intrusiva y volcánica, cuyas edades van desde el precámbrico hasta



el cuaternario reciente. Las rocas más antiguas de la región la constituyen los metasedimentos y las secuencias anfíbolita y gneílica del Precámbrico. Sobre éstas, en inconformidad se emplaza una deposición sedimentaria de origen continental, correspondiente a la formación Moquegua del grupo Moquegua (Oligoceno-Mioceno).

Las rocas más antiguas de la región la constituyen las metasedimentos y la secuencia anfíbolita – gneis del precámbrico. Sobre estos, en discordancia angular se emplazan las rocas sedimentarias del Mesozoico y las secuencias marinas continentales del terciario. Intruyendo a las anteriores están las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la costa.

#### 2.4.2 Geología local

Localmente, el contexto geológico del yacimiento Alpacay (Yanaquihua), que abarca desde el litoral hasta la Cordillera Occidental, se caracteriza por presentar amplias exposiciones de rocas intrusivas y volcánicas, cuyas edades abarcan desde el paleozoico inferior hasta el cuaternario reciente. Así pues, el área circunscrita al yacimiento Yanaquihua está conformado por dos tipos de rocas ígneas intrusivas que son: las granodioríticas y las cuarzo-monzonitas. Estas rocas, principalmente conforman la roca encajonante del yacimiento Alpacay (Yanaquihua) y las cuales se describen a continuación:

- 1) La granodiorita. - está compuesta por plagioclasa (5mm) 40%, cuarzo de bordes corroídos (4mm) 30%, hornoblenda (6mm) 20%, biotita (2mm) 3% y epidota.
- 2) El cuarzo monzonita. - está compuesta por feldespato potásico (4mm) 30%, plagioclasa (3mm) 20%, cuarzo (4mm) 20%, biotita (3mm) 15%, hornoblenda (3mm) 10%, y epidota. Ambas rocas son de textura porfirítica, de formas euhedrales y subhedrales.

En estas rocas, cortando a los intrusivos, atraviesan diques de rocas volcánicas y aplitas (rocas ácidas). Los diques de rocas volcánicas predominantemente tienen



una orientación NW - SE, y algunas vetas están relacionadas a estos diques. Los intrusivos granodioríticos se emplazan zona sur y oeste del yacimiento, mientras que, los intrusivos cuarzos monzoníticos se exponen en la zona este y norte del yacimiento.

### **2.4.3 Tipo de yacimiento y mineralización**

El yacimiento Alpacay es de clase planar del tipo filoneo con un comportamiento lenticular y rosario que se aprecia tanto en la extensión horizontal como en la vertical. En la horizontal, se puede observar vetas que se extienden en centenares de metros y que están albergando clavos mineralizados de hasta 220 metros de longitud, mientras que, en la vertical, llegan a profundizar hasta los 300 metros, aunque todavía no se ha podido determinar la profundidad del nivel cuarzo-sulfuros.

Las potencias de las vetas oscilan entre 0.10 y 0.15 metros como la veta María y de 0.30 m hasta 2.50 m inclusive como las vetas Esperanza y Encarna. Se ha podido determinar que la mineralización es errática, se observa presencia de oro nativo con sulfuros tipo calcopirita-galena-esfalerita en forma subordinada, con relleno esencialmente de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) y pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

En el yacimiento Alpacay principalmente existe una treintena vetas que son de importancia y que han sido parcialmente trabajadas en el pasado, pero que encierran importantes reservas en profundidad. Actualmente en la Zona Consuelo I de la mina Alpacay se están minado las siguientes vetas: Alice, Katy, Huáscar, Araceli y Esperanza.

### **2.4.4 Control de la mineralización.**

El ensamble mineralógico es fundamental para la extensión de las labores de exploración y nuevos proyectos en la mina Alpacay. Dentro de los controles de mineralización se ha podido observar que el oro en el yacimiento Alpacay se asocia directamente con la pirita de textura fina y con el cuarzo blanquecino,



asimismo, en profundidad los ensambles pirita-calcopirita son indicadores de valores expectantes de oro.

Por otra parte, la presencia de alteración argílica cuyo ensamble es de cuarzo-sericita, constituye un buen indicador para la determinación de presencia de oro, mientras que, la alteración propilítica con su notoria tonalidad verdosa es un indicador de la presencia de una actividad hidrotermal cercana a las zonas de mineralización. La alteración supérgena está asociada fundamentalmente a la presencia de minerales oxidados de hematita, limonita y jarosita, constituyendo un indicador de la presencia de minerales de oro. Los cambios de rumbo y buzamiento de las estructuras favorecen en cierta medida la concentración de mineralización de oro, así como en los horizontes brechosos.

#### **2.4.5 Método de explotación subterránea de Alpacay**

El método de explotación subterránea empleado en la minera Alpacay es el corte y relleno ascendente convencional, con sostenimiento de cuadros de madera para labores horizontales y puntales de madera para los tajeos.

En el método de corte y relleno ascendente en la minera Alpacay, el mineral es arrancado por franjas horizontales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando ascendentemente, cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno), que sirve de piso de trabajo a los obreros y al mismo tiempo permite estabilizar las cajas.

#### **2.4.6 Ventilación en Alpacay**

La ventilación utilizada en la unidad minera Alpacay es natural y mecánica para ventilación auxiliar, se usan ventiladores axiales de distintas capacidades y de acuerdo al PETS de ventilación, después de cada disparo se debe ventilar un promedio de 1 hr, no obstante, este tiempo en la operación real es de 2 hr debido a que en muchos tajeos se ventila con aire comprimido por la falta de ventiladores auxiliares.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN

La Unidad de producción Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C., se encuentra ubicada en una zona delimitada geográficamente por los cerros Tiquimbro, San Antonio, Esperanza y Cerro Rico, en el extremo sur oriental del Perú, al noreste de la ciudad de Arequipa. Políticamente la Mina Alpacay se ubica en la costa sur del Perú, en el departamento de Arequipa, provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua.

En las coordenadas UTM

726 224 Este 8 257 476 Norte

A una altitud promedio de 2 100 m.s.n.m. (Véase el Anexo N° 01)

#### 3.2 ACCESIBILIDAD

El acceso a la Unidad de producción Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C., se realiza desde la ciudad de Arequipa recorriendo varias carreteras y rutas que se detallan en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2:** Tramos de acceso desde Arequipa a la Mina Alpacay.

Vía Terrestre					
Tramo	Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía
<b>Tramo 1</b>	Arequipa	Corire	267	5.00	Asfaltada
<b>Tramo 2</b>	Corire	Chuquibamba	154	3.00	Asfaltada
<b>Tramo 3</b>	Chuquibamba	Yanaquihua	73	2.00	Afirmada
<b>Tramo 4</b>	Yanaquihua	Mina	20	0.30	Afirmada

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.



### 3.3 DISEÑO METODOLÓGICO

Según las características del trabajo de investigación el estudio es de tipo descriptivo, se refiere a la optimización del sistema de ventilación con el Software Ventsim Design en la zona Consuelo I del nivel 2 296 de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

La metodología para desarrollar el trabajo de investigación ha consistido en su primera etapa en evaluar el sistema de ventilación anterior en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay, lo cual permitió diagnosticar y medir el sistema de ventilación. Esta evaluación comprendió en el mapeo del flujo del caudal del aire, así como de los gases viciados. Posteriormente en el estudio de investigación se realizó una evaluación íntegra del sistema de ventilación, para encontrar las deficiencias del sistema anterior y mediante el rediseño de la red de ventilación con el software Ventsim Design, teniendo presente los aspectos intrínsecos de las labores y los requerimientos de aire fresco en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay. Finalmente, este diseño fue implementado con cambios de la ubicación de los ventiladores, ajustes en el factor K, realización de nuevas labores de ventilación y creando protocolos para el mantenimiento de los ventiladores existentes y los nuevos, todo ello, con el objetivo de mejorar el sistema de ventilación en la zona Consuelo I, del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

#### 3.3.1 Alcance

El alcance de esta investigación fue correlacional, pues se midió la causa y el efecto; siendo la causa, el rediseño de la red de ventilación con asistencia del software Ventsim Design sobre el efecto, la cobertura de aire fresco del sistema de ventilación de la zona Consuelo I en la Unidad Minera Alpacay, para el mejor desempeño de los trabajadores en condiciones termo – ambientales normales.



### **3.4 POBLACIÓN**

La población considerada para el presente estudio de investigación está constituida por el sistema de ventilación en todas las labores de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

### **3.5 MUESTRA**

En el presente estudio de investigación la muestra está constituida por el sistema de ventilación en la zona Consuelo I, del nivel 2 296 de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

### **3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.6.1 Variable independiente**

Sistema de ventilación en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

#### **3.6.2 Variable dependiente**

Mejoramiento del sistema de ventilación mediante el nuevo diseño con el software Ventsim Design en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

**Tabla 3:** Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES
<b>Variable dependiente:</b>	Requerimiento de aire en las labores	Para las necesidades vitales del personal	m3/s
Mejoramiento del sistema de ventilación mediante el nuevo diseño con el software Ventsim Design en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.		Para la operación de equipos diésel	m3/s
		Para diluir los contaminantes	m3/s
		Para dar confort a los trabajadores	m3/s
<b>Variable independiente:</b>	Flujo del caudal del aire	Velocidad del aire	m/min
		Sección de las labores	m <sup>2</sup>
		Caudal del aire	m3/s
		Temperatura del ambiente	°C
Sistema de ventilación en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua S.A.C.	Presencia de gases viciados	Humedad presente	%
		Labores ejecutadas y proyectadas	Nº
	Balance de distribución	LMP de los contaminantes como: CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NO y NO <sub>2</sub> .	ppm
		Tiempo de dilución	hr
		El aire que ingresa vs el aire que sale	%
		El aire que ingresa vs la necesidad de la mina	%
		Correlación entre el modelo y el mapeo	%

Fuente: Elaboración propia

### 3.7 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se hizo de tal manera que se pueda realizar un modelamiento exitoso de la red de ventilación de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay utilizando el software Ventsim Design. Pues de no tener datos fidedignos de la operación, el proceso de modelamiento fallaría. Es por ello que, el proceso de

recolección de datos se basó en el esquema de Zitron y Jiménez (2009), y que para este estudio la recolección de datos se ha esquematizado en las siguientes figuras.



Figura 30: Esquema del mapeo del flujo del caudal del aire parte I.

Fuente: Zitron (2009), microimport.mx.

Según la figura 30, en la primera parte del mapeo del flujo del caudal aire, se ha medido el movimiento del aire que define el encausamiento del aire limpio y viciado por las labores de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay. Asimismo, se ha podido medir el cambio total del volumen del aire que es determinado por la velocidad de viaje del aire por las labores.

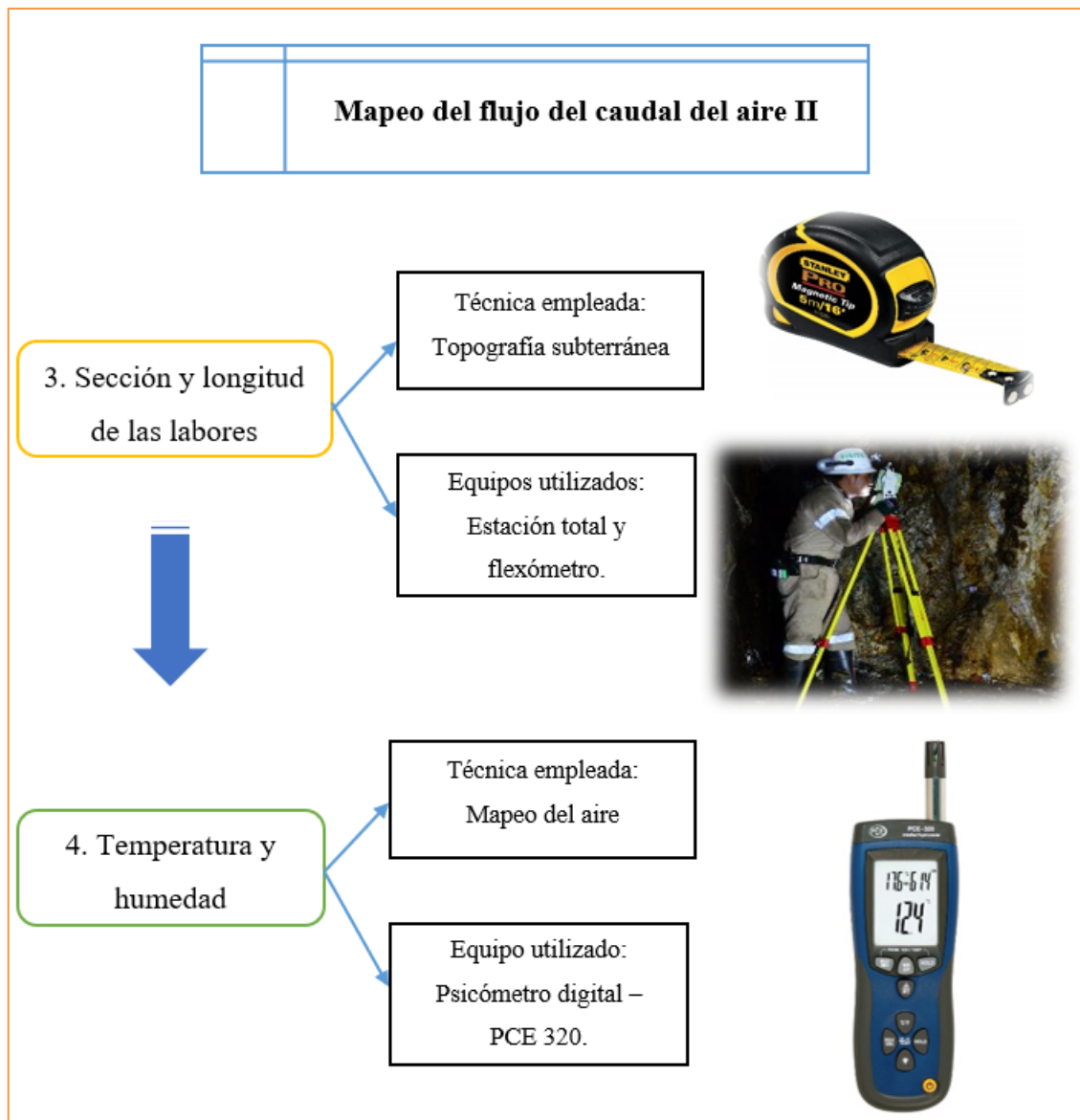


Figura 31: Esquema del mapeo del flujo del caudal del aire parte II.

Fuente: [www.gruasyaparejos.com](http://www.gruasyaparejos.com), [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es).

En el esquema de la figura 31, la segunda parte mapeo del flujo del caudal aire, se ha medido otros elementos que influirán en el caudal del aire, así como en la caída de presión. Del mismo, por medio del psicómetro digital se ha identificado las labores calientes que tenían temperaturas mayores a 29° C.

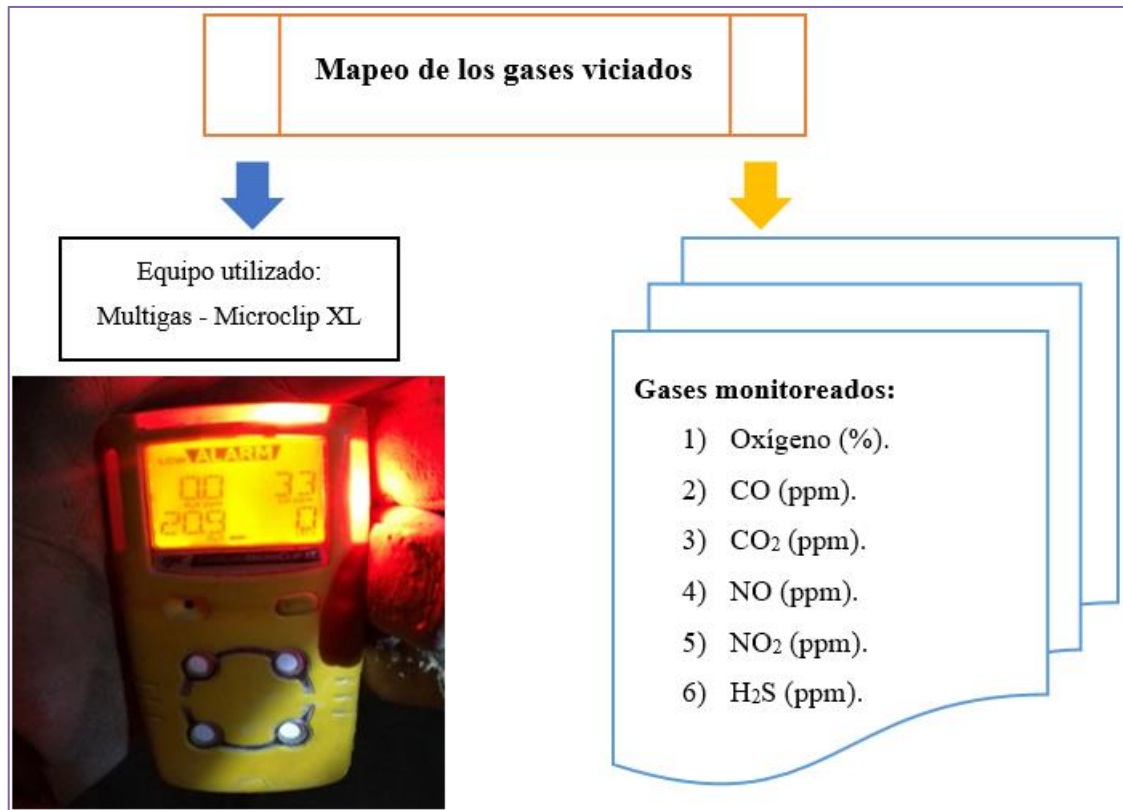


Figura 32: Esquema del mapeo de los gases viciados.

Fuente: Unidad minera Alpacay- Yanaquihua.

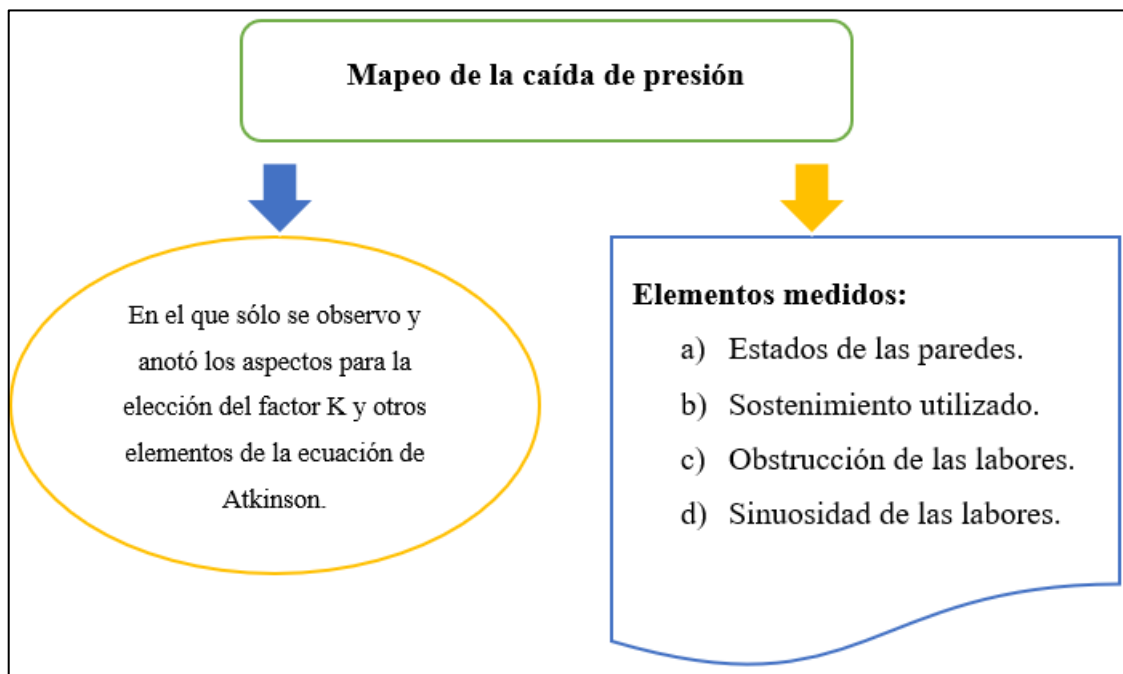


Figura 33: Esquema del mapeo de la caída de presión por elementos.

Fuente: Elaboración propia.

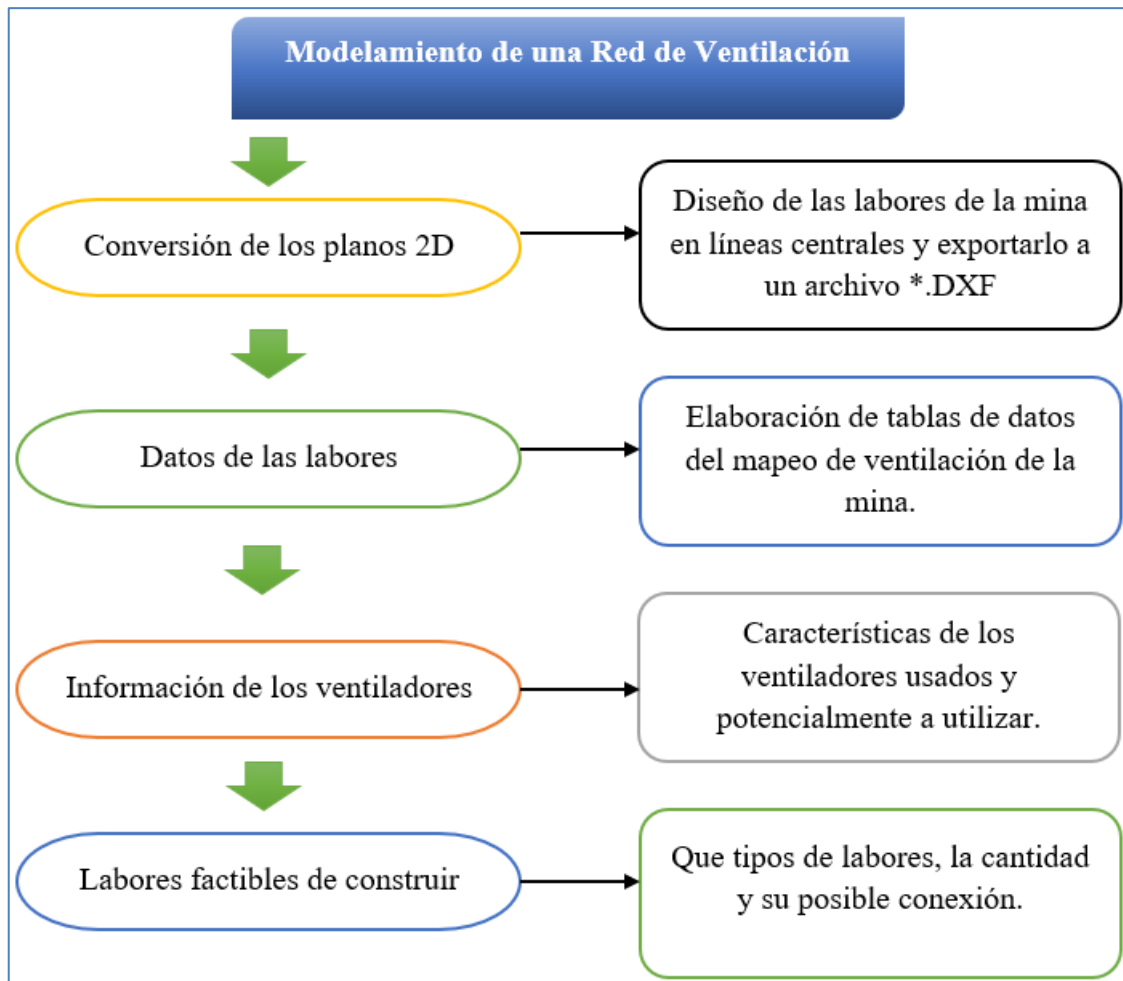


Figura 34: Esquema para el modelamiento de la red de ventilación.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8 MAPEO DEL FLUJO DEL CAUDAL DEL AIRE

El mapeo del flujo del caudal del aire lo realiza el área de Ingeniería (Planeamiento mina) de forma trimestral para una evaluación parcial, y semestral para una evaluación integral. Este mapeo ha sido de forma integral, siendo el más extenso y detallado ya que comprendió varios niveles como: el nivel 2 296, nivel 2 220 y el nivel 2 360. Esto se hizo así porque la red de ventilación de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay se extiende y comprende varias labores ubicadas en distintos niveles. Los datos recogidos se exponen a continuación en forma resumida:





### **A) El sistema de ventilación**

El tipo de ventilación que se utiliza en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay es mixto entre la ventilación natural y la ventilación mecánica. La ventilación natural es el principal, mientras que, la ventilación mecánica es un complemento a través de la ventilación auxiliar. Las formas de ventilación empleadas son combinadas entre la tipo impelente y aspirante.

Cabe mencionar que también se emplea el aire comprimido para ventilar los tajeos, un error que se desea corregir a partir de este estudio.

### **B) Plano general de la mina**

Este plano corresponde al elaborado por el área de topografía en el software AutoCAD, actualizado hasta el 31 de diciembre del 2019 para La zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua. Este plano es general, de un diseño básico estándar en 2D que se considera en estado bruto ya que no es posible trabajarlo como tal en el software MineSight ni en Ventsim. Este plano general se puede apreciar en la siguiente figura 35.

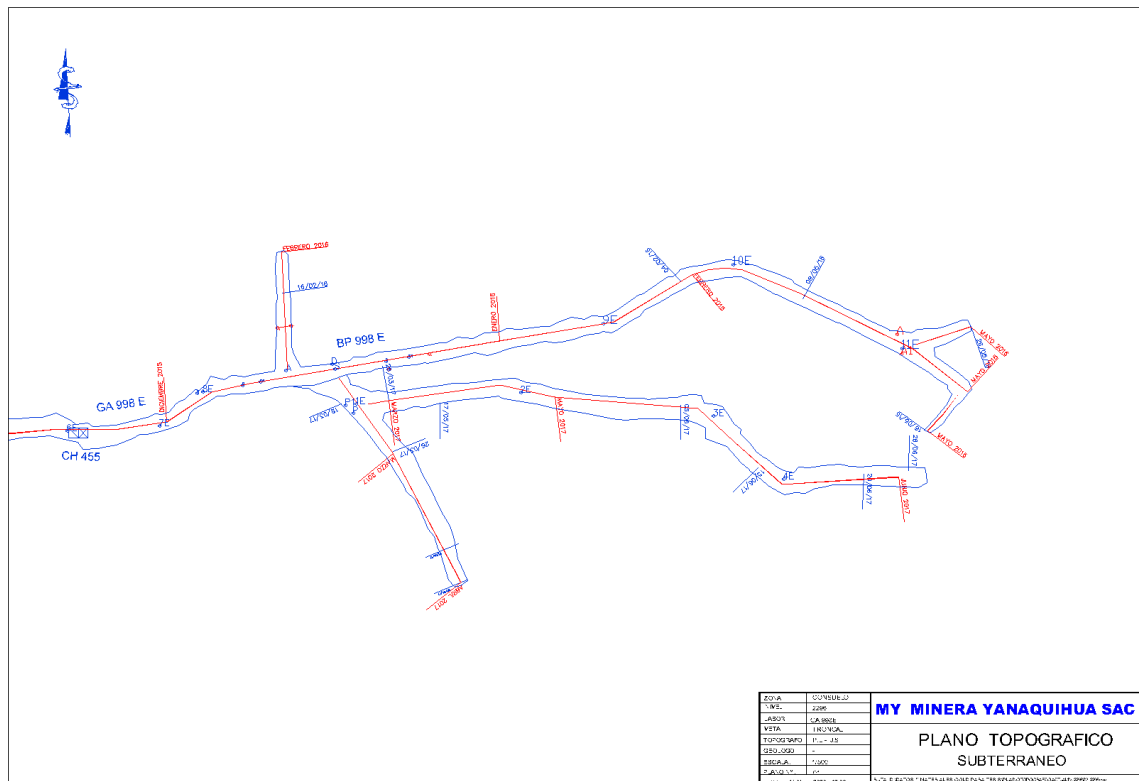


Figura 35: Plano general de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay.

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua.

### C) Plano de ventilación

No se tiene un plano de ventilación como tal, ya que solo se tiene un plano de control de avance en Autocad. Tampoco se posee estaciones de ventilación puesto que, la instalación de los ventiladores es más de forma empírica y varía su ubicación conforme a las necesidades de operación. Lo que sí se tiene presente son las labores de ingreso de aire y las labores de salida de los gases, así como el sentido de flujo del aire.

### D) Labores de la red de ventilación de Alpacay:

En la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – CIA Minera Yanaquihua existen distintas labores que forman parte de la red de ventilación, así como otras labores que han sido clausuradas y que ya no son parte de un circuito de ventilación. Las labores que forman parte de la red de ventilación se detallan en la siguiente Tabla 4.

**Tabla 4:** Labores del nivel 2 296 de la Mina Alpacay – Consuelo I.

Nombre	Labor	Tipo de labor	Sección m	Longitud de la labor (m)		
				Ejecutada (*2)	Proyectada	Restante
CX 626 NE	Crucero	Acceso	2.10 x 2.40	114.90	Construida y finalizada	
GL 545	Galería	Acceso	2.10 x 2.40	258.53	Construida y finalizada	
CX 540 W	Crucero	Exploración	1.80 x 2.10	58.51	90.00	31.49
GL 540 E	Galería	Desarrollo	2.10 x 2.40	168.99	200.00	31.01
CH 618	Chimenea	Preparación	2.40 x 1.20	6.53	49.15	Construida
CH 658	Chimenea	Ventilación	1.20 x 1.20	6.10	20.60	29.40
TJ 638	Tajo	Explotación	0.90 x 1.80	51.68	Minado de la veta Huáscar	
GL 538 W	Galería	Exploración	1.80 x 2.10	47.08	Construida y finalizada	
CR 502 S	Cortada	Exploración	1.80 x 2.10	4.64	Construida y finalizada	
PQ 607	Pique	Preparación	3.00 x 3.00	55.66	Construida y finalizada	
PQ 578	Pique	Ventilación	2.40 x 1.20	43.80	54.00	10.20
TJ 607	Tajo	Explotación	0.90 x 1.80	49.42	Minado de la veta Araceli	
NV 240	Nivel	Desarrollo	1.80 x 2.10	8.36	150.00	141.64
CX 545	Crucero	Acceso	2.10 x 2.40	346.00	Construida	
GL 508 E	Galería	Exploración	1.80 x 2.10	157.37	250.00	92.63
GL 508 W	Galería	Desarrollo	1.80 x 2.10	245.03	300.00	54.97
CX 365 W	Crucero	Desarrollo	1.80 x 2.10	37.43	100.00	62.57
CH 871	Chimenea	Preparación	2.40 x 1.20	19.17	19.17	12.00
CH 847	Chimenea	Preparación	2.40 x 1.20	9.42	42.20	Construida
CH 822	Chimenea	Preparación	2.40 x 1.20	15.83	43.25	Construida
CH 802	Chimenea	Preparación	2.40 x 1.20	25.20	42.42	Construida
CH 788	Chimenea	Preparación	1.20 x 1.20	33.99	42.05	Construida
TJ 858	Tajeo	Explotación	0.90 x 1.80	34.84	Minado de la veta Alice	
TJ 847	Tajeo	Explotación	0.90 x 1.80	33.73	Minado de la veta Alice	
TJ 812	Tajeo	Explotación	0.90 x 1.80	28.25	Minado de la veta Alice	
TJ 802	Tajeo	Explotación	0.90 x 1.80	23.45	Minado de la veta Alice	

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Según la Tabla 4, en el nivel 2 296 de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay existen 26 labores, entre accesos, salidas y ramales que comprenden la red de ventilación.

Estas labores del nivel 2 296 también se conectan a otros niveles como el 2 220 y 2 360, los cuales no son parte de la zona Consuelo I, pero que sí conforman, en conjunto, la red de ventilación de la zona Consuelo I. Véase la siguiente Tabla 5.



**Tabla 5:** Labores del nivel 2 220 y 2 360 de la mina Alpacay.

Nombre	Labor	Tipo de labor	Sección m	Longitud de la labor (m)		
				Ejecutada	Proyectada	Restante
GL 620	Galería	Acceso	2.10 x 2.40	723.66	Construida y finalizada	
CR 545 W	Cortada	Ventilación	1.80 x 2.10	3.00	Construida y finalizada	
CH 700	Chimenea	Ventilación	2.40 x 1.20	80.23	Construida y finalizada	
CR 620 E	Cortada	Ventilación	1.80 x 2.10	3.00	Construida y finalizada	
CH 885(*2)	Chimenea	Ventilación	3.00 x 1.50	50.29	Construida y finalizada	
CH 890(*2)	Chimenea	Ventilación	1.00 x 2.00	50.35	Construida y finalizada	
CR 509 S	Cortada	Ventilación	1.80 x 2.10	5.49	Construida y finalizada	
GL 509 W	Galería	Exploración	1.80 x 2.10	206.08	400.00	193.92

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

De acuerdo a la Tabla 5, las labores que comprenden a otros niveles suman en total 8.

(\*2): En caso de chimeneas, la longitud ejecutada es la longitud efectiva utilizada en ventilación, el cual, es muchos casos, es distinta a la longitud total construida de la chimenea.

#### **E) Labores en operación en la zona Consuelo I de la mina Alpacay**

En la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay existen 12 frentes de minado entre galerías, cruceros y tajeos, los cuales se ejecutan para explorar, desarrollar el mineral de diversas vetas por cubicar y extraer el mineral de diversas vetas ya cubicadas.

No obstante, no todos esos frentes de minado están en operación, ya que existen labores paralizadas temporalmente debido a problemas en ventilación. En consecuencia, los problemas en la ventilación, limita la real envergadura de la zona Consuelo I. Las labores en operación y paralizadas se pueden ver en la siguiente Tabla 6.

**Tabla 6:** Labores en operación de la zona Consuelo I - Alpacay

Estatus	Número	ID Labor	Tipo de labor	Clase de labor	Veta	Sección m
Operativos	1	NV 240	Desarrollo	Ciego	Araceli	1.80 x 2.10
	2	TJ 607	Explotación	Conectada	Araceli	0.90 x 1.80
	3	GL 508 W	Desarrollo	Ciego	Alice	1.80 x 2.10
	4	CX 365 W	Desarrollo	Ciego	Alice	1.80 x 2.10
	5	TJ 858	Explotación	Conectada	Alice	0.90 x 1.80
	6	TJ 847	Explotación	Conectada	Alice	0.90 x 1.80
	7	TJ 812	Explotación	Conectada	Alice	0.90 x 1.80
	8	TJ 802	Explotación	Conectada	Alice	0.90 x 1.80
	9	CX 540 W	Exploración	Ciego	Huáscar	1.80 x 2.10
Paralizados	10	GL 540 E	Desarrollo	Ciego	Huáscar	2.10 x 2.40
	11	GL 508 E	Exploración	Ciego	Katy	1.80 x 2.10
	12	TJ 638	Explotación	Conectada	Huáscar	0.90 x 1.80

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

**F) Labores de ingreso y salida del aire**

Para las operaciones del nivel 2 296 en que se ubica la zona Consuelo I, se tiene un ingreso principal que corresponde a la bocamina CX 626 NE. Este crucero sirve tanto para el transporte principal de mineral y desmonte, así como para el ingreso de aire fresco y limpio. Véase figura 36.

Asimismo, se ha identificado otra labor de ingreso de aire que corresponde a la Chimenea 700 que se bifurca de la galería principal 620 del nivel 2 220; con lo cual se tendría dos labores de ingreso principales. Véase la figura 37.



Figura 36: Bocamina principal a la zona Consuelo I de la mina Alpaca.

Fuente: Unidad Minera Alpaca - Yanaquihua



Figura 37: Bocamina principal de la zona 70 de la mina Alpaca.

Fuente: Unidad Minera Alpaca – Yanaquihua

### 1) Sólo con ventilación natural:

Para medir el ingreso de aire de la ventilación natural se procedió apagar los dos ventiladores en funcionamiento.

El ingreso de aire fresco total solamente con ventilación natural, se realiza a través del Crucero 626 NE y la Chimenea 700 que se bifurca de la Galería 620 del nivel 2 220, y se detalla en la siguiente Tabla 7.

**Tabla 7:** Ingreso de aire fresco a la zona Consuelo I sin ventilación auxiliar.

Cauce del aire	Labores	Área m <sup>2</sup>	Velocidad del aire			Caudal del aire		
			m/s	m/min	Pies/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
Ingreso	CX 626 NE	5.04	0.55	33.00	108.27	2.77	166.32	5,873.42
	CH 700	2.88	0.25	15.00	49.21	0.72	43.20	1,525.56
	GL 620 (*3)	5.04	0.60	36.00	118.11	3.02	181.44	6,407.37
<b>Total de aire fresco que ingresa al nivel 2296:</b>						<b>3.49</b>	<b>209.52</b>	<b>7,398.99</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Según se aprecia en la tabla 7, de estos dos ingresos principales de aire fresco del nivel 2 296 y 2 220, ingresa 7 398.99 CFM de aire fresco.

En tanto, para la salida del aire viciado, solamente se tiene dos chimeneas gemelas: la Chimenea 885 y la Chimenea 890 que se conectan a la Galería 590W del nivel 2 360, con lo cual se encauza la salida de los gases viciados a superficie. Véase la Tabla 8.

**Tabla 8:** Salida del aire viciado de la zona Consuelo I sin ventilación auxiliar.

Cauce del aire	Labores	Área m <sup>2</sup>	Velocidad del aire			Caudal del aire		
			m/s	m/min	Pies/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
Salida	CH 885 (*4)	4.50	0.64	38.40	125.98	2.88	172.80	6,102.26
	CH 890 (*4)	2.00	0.34	20.40	66.93	0.68	40.80	1,440.81
	GL 509 W	3.78	0.95	57.12	187.40	3.60	215.91	7,624.77
<b>Total de aire viciado que sale del nivel 2296:</b>						<b>3.60</b>	<b>215.91</b>	<b>7,624.77</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

De acuerdo a la Tabla 8, de la salida principal del aire viciado que se realiza a través del nivel 2 360; es de 7 624.77 CFM.



Realizando el balance entre el ingreso de aire fresco y la salida de aire viciado, se tiene un desfase de 3.05%, el cual está dentro del límite aceptable de 10% normado por el D.S. N° 024/023-EM (2017).

## 2) Ventilación natural en conjunto a la ventilación auxiliar:

Para medir el ingreso de aire de la ventilación natural más la ventilación auxiliar, se hizo posible en un horario de trabajo ordinario en que los dos ventiladores estaban en funcionamiento.

El ingreso de aire fresco total de la ventilación natural más la ventilación auxiliar, que también se realiza por las mismas labores, se detalla en la siguiente Tabla 9.

**Tabla 9:** Ingreso de aire fresco a la zona Consuelo I con ventilación auxiliar.

Cauce del aire	Labores	Área m <sup>2</sup>	Velocidad del aire			Caudal del aire		
			m/s	m/min	Pies/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
Ingreso	CX 626 NE	5.04	1.32	79.20	259.84	6.65	399.17	14,096.22
	CH 700	2.88	0.98	58.80	192.91	2.82	169.34	5,980.21
	GL 620 (*3)	5.04	1.72	103.20	338.58	8.67	520.13	18,367.80
<b>Total de aire fresco que ingresa al nivel 2296:</b>						<b>9.48</b>	<b>568.51</b>	<b>20,076.43</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Según se aprecia en la Tabla 9, de estos dos ingresos principales de aire fresco del nivel 2 296 y 2 220, utilizando la ventilación auxiliar, ingresa 20 076.43 CFM de aire fresco.

En tanto, para la salida del aire viciado, que también se realiza por la Galería 590 W del nivel 2 360, utilizando ventilación natural más la ventilación auxiliar se detalla en la siguiente Tabla 10.



**Tabla 10:** Salida del aire viciado de la zona Consuelo I con ventilación auxiliar.

Cauce del aire	Labores	Área m <sup>2</sup>	Velocidad del aire			Caudal del aire		
			m/s	m/min	Pies/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
Salida	CH 885 (*4)	4.50	1.75	105.00	344.49	7.88	472.50	16,685.87
	CH 890 (*4)	2.00	0.97	58.20	190.94	1.94	116.40	4,110.55
	GL 509 W	3.78	2.60	156.00	511.81	9.83	589.68	20,823.96
<b>Total de aire viciado que sale del nivel 2296:</b>						<b>9.83</b>	<b>589.68</b>	<b>20,823.96</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

De acuerdo a la Tabla 10, de la salida principal del aire viciado que se realiza a través del nivel 2 360; utilizando la ventilación auxiliar, es de 20 823.96 CFM.

Realizando el balance entre el ingreso de aire fresco y la salida de aire viciado, se tiene un desfase de 3.72%, el cual está dentro del límite aceptable de 10% normado por el D.S. N° 024/023-EM (2017).

(\*3) La Galería 620 es el ingreso principal, el cual se bifurca después en la Chimenea 700.

(\*4) Las chimeneas gemelas CH 885 y CH 890 que se unen a la Galería 509 W.

### G) Labores en caliente.

En la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay también se ha podido identificar labores en caliente que tienen una temperatura mayor a los 29° C y los cuales corresponde en su mayoría a los tajeos de la Galería 508 W. Véase la siguiente Figura 38.



Figura 38: Chimenea 871 del Tajo 858, que presenta vapor de agua.

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

En otras labores existe mayor presencia de humedad en el ambiente, lo cual genera incomodidad y fatiga prematura en los trabajadores que laboran en esas zonas. Todas estas labores en caliente, se han identificado con ayuda del psicómetro. Véase la siguiente Tabla 11.

**Tabla 11:** Labores que tienen una temperatura mayor a los 29° C.

Número	ID Labor	Labor	Tipo de labor	Clase de labor	Temperatura °C	Humedad %HR
1	GL 508 E	Galería	Exploración	Ciego	31.5	48.0%
2	GL 508 W	Galería	Desarrollo	Ciego	33.4	62.0%
3	CX 365 W	Crucero	Desarrollo	Ciego	33.4	61.5%
4	TJ 847	Tajeo	Explotación	Conectada	31.7	44.0%
5	TJ 812	Tajeo	Explotación	Conectada	31.9	56.7%
6	TJ 802	Tajeo	Explotación	Conectada	32.4	61.8%

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

## H) Trabajadores por guardia

Debido a la paralización de 4 frentes de minado, en la actualidad sólo laboran 20 trabajadores por guardia que pertenecen al área de operaciones mina. Asimismo, existen otro tipo de personal que también labora dentro del nivel 2 296, los cuales pertenecen a áreas como: Geología, Ingeniería y otros. Todo este personal, se listan en las siguientes Tablas 12 y 13.

**Tabla 12:** Trabajadores del área de operaciones mina – operación mermada.

Número	ID Labor	Trabajadores N°	Denominación Guardia B	
1	TJ 607	2	Maestro perforista	Ayudante
2	NV 240	2	Maestro perforista	Ayudante
3	GL 508 W	3	Operario A	Ayudante + peón
4	CX 365 W	2	Maestro perforista	Ayudante
5	TJ 858	2	Maestro perforista	Ayudante
6	TJ 847	2	Maestro perforista	Ayudante
7	TJ 812	2	Maestro perforista	Ayudante
8	TJ 802	2	Maestro perforista	Ayudante
9	CX 626 NE	3	Operario B + C	Peón
<b>Total:</b>		<b>20</b>	<b>Trabajadores</b>	

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

**Tabla 13:** Supervisores y otros trabajadores.

Número	Área	Trabajadores N°	Cargo de Supervisores y otros	
1	Mina	2	Operaciones 1	Operaciones 2
2	Geología	4	Geólogos	Muestreros
3	Seguridad	1		SSOMA
4	Ingeniería	3	Diseño	Topógrafo + peón
5	Manto	2	Electricista	Mecánicos
<b>Total:</b>		<b>12</b>		

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

El personal de las Tablas 12 y 13, pertenecen al estado anterior de la zona Consuelo I que esta mermada por un tema operativo y por un déficit en la distribución de la ventilación.

No obstante, también es necesario tener en cuenta el personal para una eventual expansión de la operación de la zona Consuelo I a su capacidad óptima, reaperturando varios frentes de minado realizando una evaluación del sistema de ventilación a una capacidad óptima. En este caso, la variación solo se daría en los trabajadores del área de operaciones mina, teniéndose el personal de la experimentación como se muestra en la siguiente Tabla 14.

**Tabla 14:** Trabajadores del área de operaciones mina – operación óptima.

Número	ID Labor	Trabajadores N°	Denominación Guardia B	
1	CX 540 W	2	Maestro perforista	Ayudante
2	GL 540 E	2	Maestro perforista	Ayudante
3	TJ 638	2	Maestro perforista	Ayudante
4	TJ 607	2	Maestro perforista	Ayudante
5	NV 240	2	Maestro perforista	Ayudante
6	GL 508 E	2	Maestro perforista	Ayudante
7	GL 508 W	3	Operario A	Ayudante + peón
8	CX 365 W	2	Maestro perforista	Ayudante
9	TJ 858	2	Maestro perforista	Ayudante
10	TJ 847	2	Maestro perforista	Ayudante
11	TJ 812	2	Maestro perforista	Ayudante
12	TJ 802	2	Maestro perforista	Ayudante
13	CX 626 NE	3	Operario B	Peón
<b>Total:</b>		<b>28</b>		

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Entonces, conforme a la Tabla 14, los trabajadores en una operación óptima para ejecutar labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación son en total 28, es decir, 8 más que el anterior.

Por lo que: el total de personal en la operación mermada de la zona Consuelo I se resume en la siguiente Tabla 15.

**Tabla 15:** El total del personal de la zona Consuelo I – operación mermada.

Área de trabajo	Trabajadores N°	Denominación de cargos
Operaciones mina	20	Trabajadores por guardia
Supervisión mina	2	Supervisores por guardia
Geología	4	Supervisores y muestreros
Seguridad	1	Supervisor de SSOMA
Ingeniería	3	Supervisor, topógrafo y peón
Manto	2	Técnicos electricistas y mecánicos
<b>Total de personal:</b>	<b>32</b>	

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Así también, el total de personal que laboraría en una capacidad óptima se resume en la siguiente Tabla 16.

**Tabla 16:** El total del personal de la zona Consuelo I – operación óptima.

Área de trabajo	Trabajadores N°	Denominación de cargos
Operaciones mina	28	Trabajadores por guardia
Supervisión mina	2	Supervisores por guardia
Geología	4	Supervisores y muestreros
Seguridad	1	Supervisor de SSOMA
Ingeniería	3	Supervisor, topógrafo y peón
Manto	2	Técnicos electricistas y mecánicos
<b>Total de personal:</b>	<b>40</b>	

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

### 3.9 MAPEO DE LOS GASES VICIADOS

El mapeo de los gases viciados está a cargo del área de seguridad y a diferencia del mapeo del flujo del caudal del aire, este se realiza a diario y en cada guardia. Para ello, el ingeniero de seguridad utiliza un formato predeterminado que se puede ver en el Anexo N° 04.

La corrección inmediata por parte de Seguridad no es la solución de fondo, sino que es más un tema de evaluación por parte de Ingeniería, ya que, si bien al ventilar los tajeos con aire comprimido se diluyen los gases viciados utilizando un mayor tiempo de ventilación, los gases se acumulan en otras labores generando:

“colchones de humo”, algo que en el tiempo puede generar gaseamiento. Véase la siguiente figura 39.



Figura 39: Presencia de colchones de humo en la Galería 508 E.

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Y si, no es posible mitigar estos colchones de humo que poseen gases viciados mayores a los LMP, entonces estas labores se paralizan. Esto no se debe a la insensatez por parte de la contratista, sino que es un tema de posibilidad o “poder” de acuerdo a la seguridad basada en el comportamiento, pues los 3 ventiladores disponibles se están utilizando en otros frentes de minado o peor aún, algunos de ellos esta averiado. En consecuencia, el frente de minado se paraliza como media de precaución, algo que repercute en la producción de la misma contratista.

El fin de la ventilación es diluir los gases viciados en el menor tiempo posible y evitar la ocurrencia de colchones de humo. Por lo mismo, el mapeo de los gases viciados funge como un parámetro de medición de la efectividad de la ventilación.

Entonces el monitoreo de los gases viciados, se presentan en promedio en la siguiente Tabla 17.

**Tabla 17:** Promedio del mapeo de gases viciados del mes de setiembre y octubre

N°	ID Labor	Estatus del frente	Motivo de Cese	Gases monitoreados						Tiempo de Ventilación
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO ppm	NO2 ppm	H2S ppm	Horas
1	CX 540 W	Operativo		20.9	10.3	385	18.6	1.2	3.2	1.2
2	GL 540 E	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.7	55.0	3,359	26.0	22.1	7.6	NT
3	TJ 638	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.9	51.7	2,264	18.6	26.3	5.4	NT
4	TJ 607	Operativo		20.8	17.4	498	27.7	1.4	6.8	1.2
5	NV 240	Operativo		20.9	13.5	619	24.1	1.8	6.2	1.3
6	GL 508 E	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.4	60.2	2,046	25.5	14.6	4.9	NT
7	GL 508 W	Operativo		20.2	45.4	816	26.5	2.1	2.1	1.7
8	CX 365 W	Operativo		20.2	58.3	1,129	18.7	1.9	2.5	1.8
9	TJ 858	Operativo		20.5	28.6	901	28.6	1.5	1.4	2.0
10	TJ 847	Operativo		20.5	36.5	1,012	30.1	2.3	4.3	2.5
11	TJ 812	Operativo		20.4	37.2	1,117	32.6	2.2	5.8	2.2
12	TJ 802	Operativo		20.1	45.9	1,289	30.1	2.6	7.3	2.2
<b>Promedio total:</b>				<b>20.3</b>	<b>38.3</b>	<b>1286.2</b>	<b>25.6</b>	<b>6.7</b>	<b>4.8</b>	<b>1.8</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Según se puede apreciar la Tabla 17, el promedio de gases viciados monitoreados son lo que se anotan después del tiempo estándar, el cual es 1 h de ventilación. Y como es evidente, muchos de los gases están por encima del LMP o muy cercano a él. Es por ello que, la corrección inmediata que generalmente observa y recomienda el ingeniero de seguridad es ventilar un mayor tiempo, llegando a ventilar hasta 2.5 h, es decir, 1.8 h de más. Esto se debe a que se ventila con aire comprimido después del disparo. Luego de haber ventilado un mayor tiempo, todos los gases viciados se hallan por debajo de los LMP continuando con la guardia.

Cabe mencionar que, las labores que tienen un tiempo de ventilación de 1.20 h son las que se hacen utilizando mangas y ventiladores auxiliares.

Finalmente, algunos de los monitoreos realizados con los que se elabora la tabla 17, se adjuntan en el Anexo N° 05.



### **3.10 MAPEO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN.**

El mapeo de la caída de presión también está a cargo por el área de Ingeniería (Planeamiento mina) y sólo se realiza para las nuevas labores ejecutas, puesto que, las que están construidas, ya poseen un valor predeterminado. Para ello, el ingeniero de planeamiento utiliza un formato predeterminado que se puede ver en el Anexo N° 06.

No obstante, para fines de este estudio, se ha vuelto a realizar un re-mapeo de toda la red de ventilación utilizando el formato del Anexo N° 06. Obteniéndose así, una nueva data para la elección del ansiado factor K.

#### **A) Estado físico-geométrico de las labores**

Para poder elegir un adecuado factor K, fue necesario ver y observar cada labor ejecutada en el nivel 2 296 de la zona Consuelo I, las cuales tienen su propia particularidad en cuanto al estado físico-geométrico de sus paredes y contorno. Asimismo, el alineamiento de cada labor, el cual se condiciona al propósito de su ejecución, es variable y muy pocas veces es recta.

La calidad del macizo rocoso también condiciona el estado físico-geométrico de las labores, ya que, dependiendo de su calidad, se hace uso o no del sostenimiento, así como también la construcción de by pass que cambian el alineamiento de la labor.

Todas las observaciones del mapeo de la caída de presión, en el que sólo se ha visto los elementos de la ecuación de Atkinson, se detallan en la Tabla 18.



**Tabla 18:** Resumen para las labores del nivel 2 296.

Nombre	Tipo de roca	Tipo de sostenimiento	Estado de las paredes		Forma de avance de la labor		
			ID	Clase	Tipo	N° Choques	Clase
CX 626 NE	Granodiorita	Sí	EC	Regular	SD-O	1	OM + LIG
GL 545	Granodiorita	Sí	EC	Regular	SD-O + SQ-R	6	OM
CX 540 W	Granodiorita	Sí	EI	Irregular	SD-O	1	OM
GL 540 E	Granodiorita	No	IR	Irregular	SD-O	2	OM+Bx3
CH 618	Granodiorita	Sí	EI	Irregular	RL	0	B
CH 658	Granodiorita	Sí	EI	Irregular	RL	0	U
TJ 638	Granodiorita	Sí	EM	Muy irregular	RL	0	OP
GL 538 W	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	U
CR 502 S	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	B
PQ 607	Granodiorita	Sí	EM	Muy irregular	SD-O	1	OM+Bx2
PQ 578	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	U
TJ 607	Granodiorita	No	IR	Irregular	SD-O	1	OP + B
NV 240	Granodiorita	Sí	EI	Irregular	RL	0	B
CX 545	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	Bx7 + OM
GL 508 E	Qz-Monzonita	No	IR	Irregular	SD-O	3	OP
GL 508 W	Qz-Monzonita	Sí	EI	Irregular	SD-O	2	OM + B
CX 365 W	Qz-Monzonita	No	IR	Irregular	SD-O	1	U
CH 871	Qz-Monzonita	Sí	EI	Irregular	RL	0	OP + B
CH 847	Qz-Monzonita	Sí	EI	Irregular	SD-O	1	OP + U
CH 822	Qz-Monzonita	Sí	EC	Regular	SD-O	1	OP + B
CH 802	Qz-Monzonita	Sí	EC	Regular	SD-O	1	OP + U
CH 788	Qz-Monzonita	Sí	EI	Irregular	SD-O	1	OP + B
TJ 858	Qz-Monzonita	No	MR	Muy irregular	RL	0	OP + B + U
TJ 847	Qz-Monzonita	No	MR	Muy irregular	RL	0	OP + B + U
TJ 812	Qz-Monzonita	No	MR	Muy irregular	RL	0	OP + B + U
TJ 802	Qz-Monzonita	No	MR	Muy irregular	RL	0	OP + B + U

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

**Tabla 19:** Resumen para las labores del nivel 2 220 y 2 360.

Nombre	Tipo de roca	Tipo de sostenimiento	Estado de las paredes		Forma de avance de la labor		
			ID	Clase	Tipo	N° Choques	Clase
GL 620	Granodiorita	Sí	EC	Regular	SD-O	4	OM + LIG
CR 545 W-1	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	U
CH 700	Granodiorita	Sí	EC	Regular	RL	0	U
CR 620 E-1	Granodiorita	No	IR	Irregular	RL	0	B
CH 885	Qz-Monzonita	Sí	EC	Regular	RL	0	B + U
CH 890	Qz-Monzonita	Sí	EC	Regular	RL	0	Ux2
CR 509 S	Qz-Monzonita	No	IR	Irregular	RL	0	U
GL 509 W	Qz-Monzonita	No	IR	Irregular	SD-O	5	LSA

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

Tanto la Tabla 18 y 19, se han obtenido como resumen de las observaciones del formato del Anexo N° 07, el cual basa sus observaciones conforme al Anexo N° 03.

**B) Elementos para calcular la caída de presión en software:**

Los elementos que son necesarios ingresar al software para calcular la caída de presión, son mucho más simples y sencillos, siendo el más difícil de elegir: el factor K. El factor K se ha elegido de acuerdo al Anexo N° 02. Los otros elementos son los observados en campo y proporcionados por el área de Ingeniería. Véase las siguientes Tablas 20 y 21.

**Tabla 20:** Elementos de las labores del nivel 2 296 necesarios para el software.

Nombre	Forma de la labor	Sección (m)		Factor K	Code	Perímetro m	Área m <sup>2</sup>
		Base	Altura				
CX 626 NE	Baúl	2.10	2.40	0.0194	G1	9.0	5.04
GL 545	Baúl	2.10	2.40	0.0204	G2	9.0	5.04
CX 540 W	Baúl	1.80	2.10	0.0222	G3	7.8	3.78
GL 540 E	Baúl	2.10	2.40	0.0306	G4	9.0	5.04
CH 618	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	G5	7.2	2.88
CH 658	Cuadrada	1.20	1.20	0.0176	G5	4.8	1.44
TJ 638	Rectangular	0.90	1.80	0.0204	G2	5.4	1.62
GL 538 W	Baúl	1.80	2.10	0.0269	G6	7.8	3.78
CR 502 S	Baúl	1.80	2.10	0.0269	G6	7.8	3.78
PQ 607	Cuadrada	3.00	3.00	0.0241	G7	12.0	9.00
PQ 578	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	G5	7.2	2.88
TJ 607	Rectangular	0.90	1.80	0.0296	G8	5.4	1.62
NV 240	Baúl	1.80	2.10	0.0176	G5	7.8	3.78
CX 545	Baúl	2.10	2.40	0.0296	G8	9.0	5.04
GL 508 E	Baúl	1.80	2.10	0.0296	G8	7.8	3.78
GL 508 W	Baúl	1.80	2.10	0.0222	G9	7.8	3.78
CX 365 W	Baúl	1.80	2.10	0.0287	G10	7.8	3.78
CH 871	Rectangular	2.40	1.20	0.0185	G11	7.2	2.88
CH 847	Rectangular	2.40	1.20	0.0204	G2	7.2	2.88
CH 822	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	G5	7.2	2.88
CH 802	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	G5	7.2	2.88
CH 788	Cuadrada	1.20	1.20	0.0204	G2	4.8	1.44
TJ 858	Rectangular	0.90	1.80	0.037	G12	5.4	1.62
TJ 847	Rectangular	0.90	1.80	0.037	G12	5.4	1.62
TJ 812	Rectangular	0.90	1.80	0.037	G12	5.4	1.62
TJ 802	Rectangular	0.90	1.80	0.037	G12	5.4	1.62

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

**Tabla 21:** Elementos de las labores del nivel 2 220 y 2 360 necesarios para el software.

Nombre	Forma de la labor	Sección (m)		Factor K	Code	Perímetro m	Área m <sup>2</sup>
		Base	Altura				
GL 620	Baúl	2.10	2.40	0.0194	G1	9.0	5.04
CR 545 W-1	Baúl	1.80	2.10	0.0269	G6	7.8	3.78
CH 700	Rectangular	2.40	1.20	0.0148	G13	7.2	2.88
CR 620 E-1	Baúl	1.80	2.10	0.0269	G6	7.8	3.78
CH 885	Rectangular	3.00	1.50	0.0148	G14	9.0	4.50
CH 890	Rectangular	1.00	2.00	0.0148	G14	6.0	2.00
CR 509 S	Baúl	1.80	2.10	0.0176	G5	7.8	3.78
GL 509 W	Baúl	1.80	2.10	0.0287	G10	7.8	3.78

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

### C) Elementos para calcular la caída de presión de forma manual

Los elementos que son necesarios para realizar un cálculo manual son mucho más complejos, ya que además el factor K, es primordial determinar las longitudes de choque de cada labor. En caso de la longitud de choque, se ha determinado de acuerdo al Anexo N° 03. Los otros elementos son los observados en campo y proporcionados por el área de Ingeniería. Véase las Tablas 22 y 23.

**Tabla 22:** Elementos de las labores del nivel 2 220 y 2 360 para la forma manual.

Nombre	Forma de la labor	Sección (m)		Factor K	Perímetro m	Área m <sup>2</sup>	Longitud de la labor (m)		
		Base	Altura				Real	Le	Ajustado
GL 620	Baúl	2.10	2.40	0.0194	9.0	5.04	723.66	154.51	878.17
CR 545 W-1	Baúl	1.80	2.10	0.0269	7.8	3.78	3.00	18.29	21.29
CH 700	Rectangular	2.40	1.20	0.0148	7.2	2.88	80.23	18.29	98.52
CR 620 E-1	Baúl	1.80	2.10	0.0269	7.8	3.78	3.00	60.96	63.96
CH 885	Rectangular	3.00	1.50	0.0148	9.0	4.5	50.29	79.25	129.54
CH 890	Rectangular	1.00	2.00	0.0148	6.0	2	50.35	36.58	86.93
CR 509 S	Baúl	1.80	2.10	0.0176	7.8	3.78	5.49	18.29	23.78
GL 509 W	Baúl	1.80	2.10	0.0287	7.8	3.78	206.08	21.31	227.39

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

**Tabla 23:** Elementos de las labores del nivel 2 296 para la forma manual.

Nombre	Forma de la labor	Sección (m)		Factor K	Perímetro m	Área m <sup>2</sup>	Longitud de la labor (m)		
		Base	Altura				Real	Le	Ajustado
CX 626 NE	Baúl	2.10	2.40	0.0194	9.0	5.04	114.90	153.61	268.51
GL 545	Baúl	2.10	2.40	0.0204	9.0	5.04	258.53	174.93	433.46
CX 540 W	Baúl	1.80	2.10	0.0222	7.8	3.78	58.51	152.70	211.21
GL 540 E	Baúl	2.10	2.40	0.0306	9.0	5.04	168.99	216.98	385.97
CH 618	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	7.2	2.88	6.53	60.96	67.49
CH 658	Cuadrada	1.20	1.20	0.0176	4.8	1.44	6.10	18.29	24.39
TJ 638	Rectangular	0.90	1.80	0.0204	5.4	1.62	51.68	30.48	82.16
GL 538 W	Baúl	1.80	2.10	0.0269	7.8	3.78	47.08	18.29	65.37
CR 502 S	Baúl	1.80	2.10	0.0269	7.8	3.78	4.64	30.48	35.12
PQ 607	Cuadrada	3.00	3.00	0.0241	12.0	9	55.66	170.98	226.64
PQ 578	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	7.2	2.88	43.80	18.29	62.09
TJ 607	Rectangular	0.90	1.80	0.0296	5.4	1.62	49.42	183.18	232.60
NV 240	Baúl	1.80	2.10	0.0176	7.8	3.78	8.36	152.40	160.76
CX 545	Baúl	2.10	2.40	0.0296	9.0	5.04	346.00	216.08	562.08
GL 508 E	Baúl	1.80	2.10	0.0296	7.8	3.78	157.37	31.38	188.75
GL 508 W	Baúl	1.80	2.10	0.0222	7.8	3.78	245.03	353.00	598.03
CX 365 W	Baúl	1.80	2.10	0.0287	7.8	3.78	37.43	18.59	56.02
CH 871	Rectangular	2.40	1.20	0.0185	7.2	2.88	19.17	91.44	110.61
CH 847	Rectangular	2.40	1.20	0.0204	7.2	2.88	9.42	48.77	58.19
CH 822	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	7.2	2.88	15.83	91.44	107.27
CH 802	Rectangular	2.40	1.20	0.0176	7.2	2.88	25.20	48.77	73.97
CH 788	Cuadrada	1.20	1.20	0.0204	4.8	1.44	33.99	91.44	125.43
TJ 858	Rectangular	0.90	1.80	0.037	5.4	1.62	34.84	109.73	144.57
TJ 847	Rectangular	0.90	1.80	0.037	5.4	1.62	33.73	109.73	143.46
TJ 812	Rectangular	0.90	1.80	0.037	5.4	1.62	28.25	109.73	137.98
TJ 802	Rectangular	0.90	1.80	0.037	5.4	1.62	23.45	109.73	133.18

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua

### 3.11 MATERIAL PARA MODELAMIENTO DE LA RED DE VENTILACION

El modelamiento de la red de ventilación zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay se hará en software Ventsim Design, para lo cual, ha sido conveniente agregar ciertos materiales a los datos obtenidos en el mapeo de ventilación de modo que se pueda realizar un modelamiento exitoso. Los materiales reunidos fueron:

#### A) Edición y conversión de los planos:

Los planos originales de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay del software Autocad se han exportado al software MinePlan para poder editarlos y convertirlos en líneas centrales.



## B) Ventiladores utilizados.

Los ventiladores reconocidos durante el mapeo de ventilación han sido 3, dos de ellos en excelente condición, mientras uno esta averiada y fuera de servicio. Estos ventiladores se pueden ver en la siguiente Tabla 24.

**Tabla 24:** Ventiladores auxiliares utilizados en la zona Consuelo I – 2 296.

Marca del Ventilador	Categoría de uso	Potencia	Características del ventilador			
		HP	Caudal CFM	Presión estática Pulg H2O	Caudal m3/s	Presión estática Kpa
Siva	Auxiliar	8	5,000	3	2.36	0.7457
Joy FP	Auxiliar	10	10,000	5	4.72	1.2429
VAV-26	Auxiliar	40	20,000	10	9.44	2.4857

Fuente: Unidad Minera Alpacay - Yanaquihua.

Según se aprecia en la Tabla 24, se posee tres ventiladores que en total suman 35 000 CFM, los cuales se distribuyen en distintos tajeos y frentes de minado para ventilar de forma aspirante. De estos 3, el ventilador Siva de 8 HP, es el que esta averiado debido a su antigüedad. Algo que también se tendrá en cuenta para el diagnóstico de la actual ventilación de la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN ANTERIOR EN LA ZONA CONSUELO I DE LA MINA ALPACAY

El primer objetivo del estudio de investigación es evaluar el sistema de ventilación anterior en la zona Consuelo I de la Unidad de Minera Alpacay. Para ello, se ha realizado un mapeo de ventilación de todo el nivel 2 296 y parte de los niveles 2 220 y 2 360 de la Mina Alpacay.

A partir de estos datos, se ha realizado la evaluación del actual sistema de ventilación de la zona Consuelo I que fungirá como la línea de base (LB) de este estudio. Esta evaluación se ha dividido en 3 secciones:

#### 4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

##### HIPÓTESIS I.

Mediante la evaluación del sistema de ventilación anterior, se determinará las deficiencias en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

##### 4.2.1 Diseño de la red de ventilación anterior

Antes que nada, es necesario diseñar la red de ventilación anterior, lo cual permita diagnosticar los aciertos que tiene, así como las falencias existentes.

Para ello, se empleará la técnica manual con diagramas unifilares y cálculos aplicados a los circuitos de ventilación. Véase a continuación este proceso:



## A) Cálculo del aire requerido en la zona Consuelo I - LB.

Este cálculo se ha realizado en base al escenario mermado con el cual ha estado operando en la zona Consuelo I de la Mina Alpacay. Para ello, se ha utilizado las ecuaciones correspondientes.

### 1) Satisfaciendo las necesidades vitales del trabajador (Qh):

En la Tabla 15, el total del personal de la zona Consuelo I de la operación es 32 personas, las cuales trabajan en el nivel 2 296 m.s.n.m.

Para determinar el aire que necesitan estas 32 personas se empleará la ecuación siguiente:

$$Qh = NM \times 3(1 + \%A) \quad 1)$$

Reemplazando:

$$Qh = 32 \times 3(1 + 0.40) = 134.4 \quad 2)$$

Por lo que, para satisfacer las necesidades del trabajador en la zona Consuelo I, se requiere:

$$Qh = 134.4 \text{ m}^3/\text{min} \quad 3)$$

## B) Para diluir y trasladar los gases viciados, humos y polvos en suspensión (Qd)

Sabiendo que no se emplea Anfo para los disparos en la zona Consuelo I, pero que, por precaución, se emplea una velocidad igual a 25 m/min para que las velocidades del 90% de las labores sean mayor a 20 m/min. Entonces, para su cálculo se hará uso de la ecuación siguiente.

$$Qd = A \times V \times NL \quad 4)$$

Los cálculos, al ser extensos, se aprecian en la siguiente Tabla 25



**Tabla 25:** Cálculo para diluir los gases viciados, labor por labor en línea base.

Número	ID Labor	Sección (m)		Área m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal m <sup>3</sup> /min
		Base	Altura			
1	CX 540 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
2	TJ 607	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
3	NV 240	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
4	GL 508 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
5	CX 365 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
6	TJ 858	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
7	TJ 847	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
8	TJ 812	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
9	TJ 802	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
<b>Total:</b>		<b>9 labores operativas</b>				<b>580.50</b>

Fuente: Unidad Mina Alpacay – Yanaquihua.

Por lo que, para diluir los gases viciados en la zona Consuelo I, se requiere:

$$Qd = 580.50 \text{ m}^3/\text{min} \quad 5)$$

### C) Para dar confort a los trabajadores en lugares calurosos (Qc):

En la zona Consuelo I hay presencia de lugares de trabajo que tienen temperaturas mayores a 29° C, y en los que bastaría tener velocidades de aire igual a 20 m/min para refrescar el ambiente.

Entonces, empleando la ecuación 6 se ha calculado la necesidad de este requerimiento:

$$Qc = A \times VP \times NLC \quad 6)$$

Los cálculos, para este caso, también se aprecian en la siguiente Tabla 26.

**Tabla 26:** Cálculo para dar confort, labor por labor en línea base.

Número	ID Labor	Sección (m)		Área m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal m <sup>3</sup> /min
		Base	Altura			
1	GL 508 W	1.80	2.10	3.78	20.00	75.60
2	CX 365 W	1.80	2.10	3.78	20.00	75.60
3	TJ 847	0.90	1.80	1.62	20.00	32.40
4	TJ 812	0.90	1.80	1.62	20.00	32.40
5	TJ 802	0.90	1.80	1.62	20.00	32.40
<b>Total:</b>		<b>5 labores en caliente</b>				<b>248.40</b>

Fuente: Elaboración propia

Por lo que, para dar confort a los trabajadores, se requiere:

$$Q_c = 248.40 \text{ m}^3/\text{min}$$

#### D) Cantidad de aire total para la mina (Q<sub>m</sub>):

Para lo cual, únicamente se suman todas las necesidades ya estimadas utilizando la ecuación 7.

$$Q_m = Q_h + Q_d + Q_e + Q_c \quad 7)$$

Los cálculos y equivalencias se resumen en la siguiente Tabla 27.

**Tabla 27:** Aire total requerido para la zona Consuelo I en línea base.

Necesidades a cubrir	Caudal Requerido en Aire Fresco		
	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	CFM
Para el personal que labora	134.40	2.24	4,746.20
Para Diluir los gases viciados	580.50	9.68	20,499.78
Para dar confort al personal	248.40	4.14	8,772.00
<b>Total:</b>	<b>963.30</b>	<b>16.06</b>	<b>34,017.98</b>
<b>Total EQ:</b>	<b>964</b>	<b>16.10</b>	<b>34,020.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces; según la Tabla 27, la zona Consuelo I de la Mina Alpacay en un escenario mermado de operación actual, necesita o requiere de 34 020 CFM de aire fresco.

Este requerimiento de 34 020 CFM de aire fresco es de forma global, sin embargo, es necesario distribuir y encauzar el aire en todo el circuito existente. Así que, fue necesario diseñar una red isométrica y el diagrama unifilar.

#### 4.2.2 La red isométrica de la zona Consuelo I

La zona Consuelo I de la mina Alpacay tiene operando varios años, por lo que, dentro del plano general de la mina, es posible encontrar muchas otras labores que están clausuradas y que ya no forman parte de la actual red de ventilación. En una forma de perspectiva, la red isométrica de la zona Consuelo I sirve para simplificar la vista del plano real y se aprecia en la siguiente figura 41.

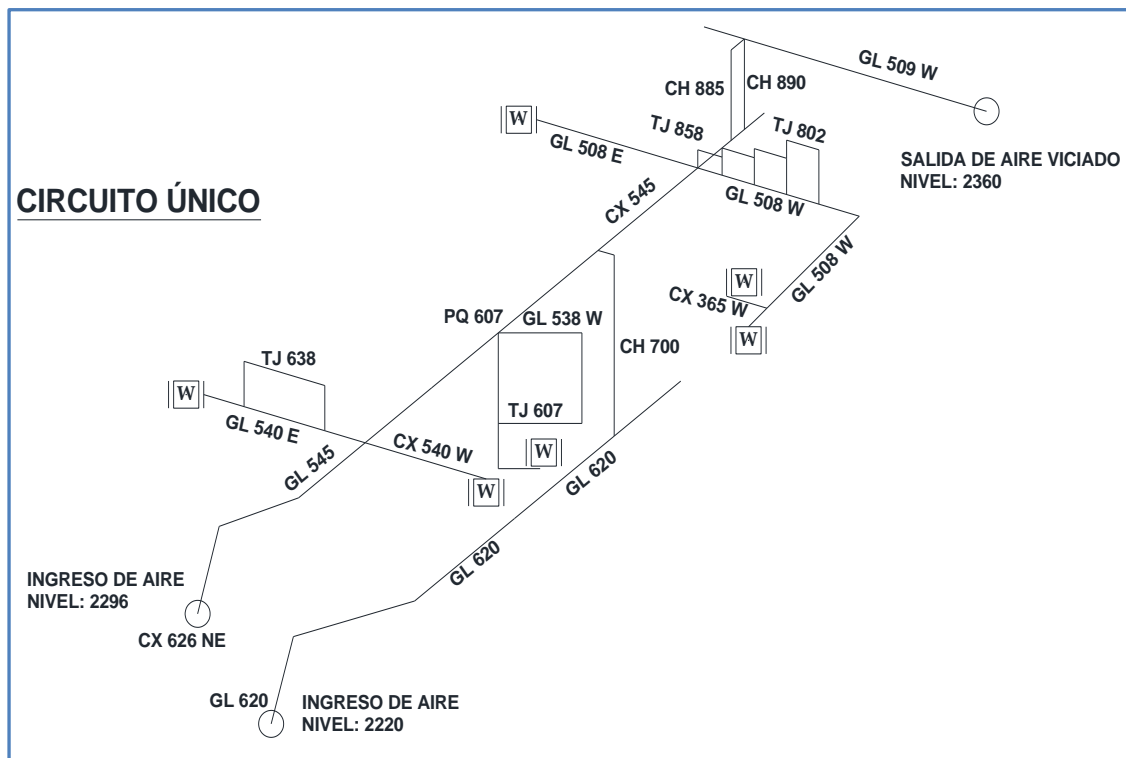


Figura 41: Red isométrica del circuito de ventilación de la zona Consuelo I en LB.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 El diagrama unifilar

El diagrama unifilar para la zona Consuelo I de la Mina Alpacay es un esquema simple derivado de la red isométrica y basada en los grafos. De ninguna manera

debe tomarse con un diseño a escala. El diagrama unifilar de la zona Consuelo I se aprecia en la siguiente figura 42

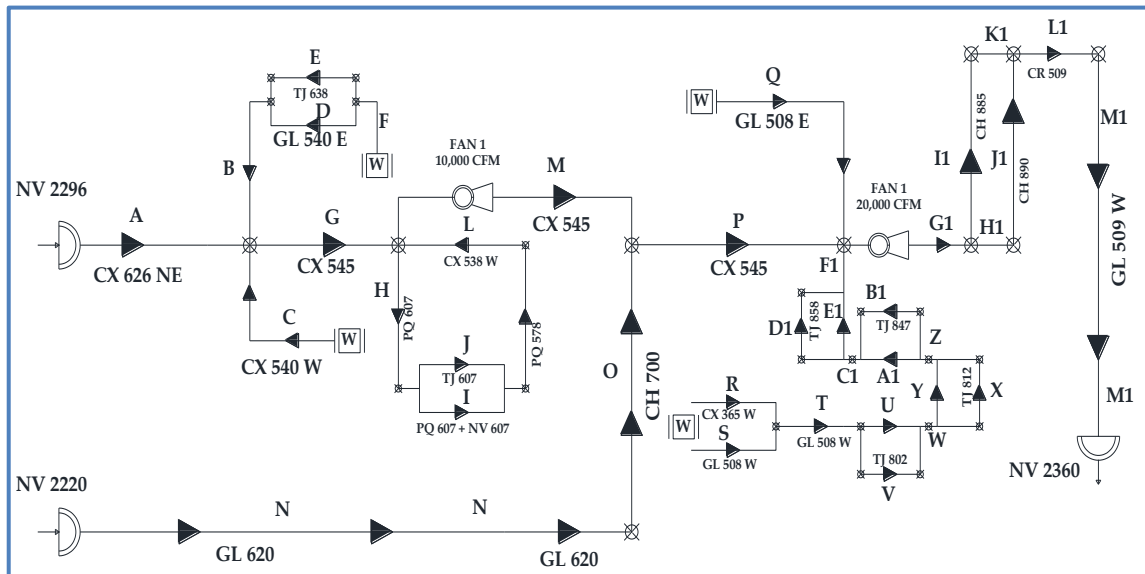


Figura 42: Diagrama unifilar de la zona Consuelo I en LB.

Fuente: Elaboración propia

Según se aprecia en la Figura 42, el diagrama unifilar construido por mi persona, se hizo desde mi perspectiva utilizando como base de diseño y nomenclatura a Chura y Jiménez (2020). Asimismo, este diagrama unifilar tiene como soporte hojas de cálculo amplias en MS Excel.

### 4.3 CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DE LA ZONA CONSUELO I

Para estimar la caída de presión de la zona Consuelo I de la mina Alpacay, ha sido necesario encauzar y distribuir el aire que ingresa por la bocamina Crucero 626 NE y la Chimenea 700, los cuales se distribuyen por varios ramales mediante ventiladores auxiliares de  $4.72 \text{ m}^3/\text{s}$  (10 HP) y  $9.44 \text{ m}^3/\text{s}$  (40 HP), y que finalmente encauzan los gases viciados para que salgan por la Galería 509 W.

Para realizar este cálculo, se ha empleado el diagrama unifilar previamente diseñado. Véase la siguiente figura 43.

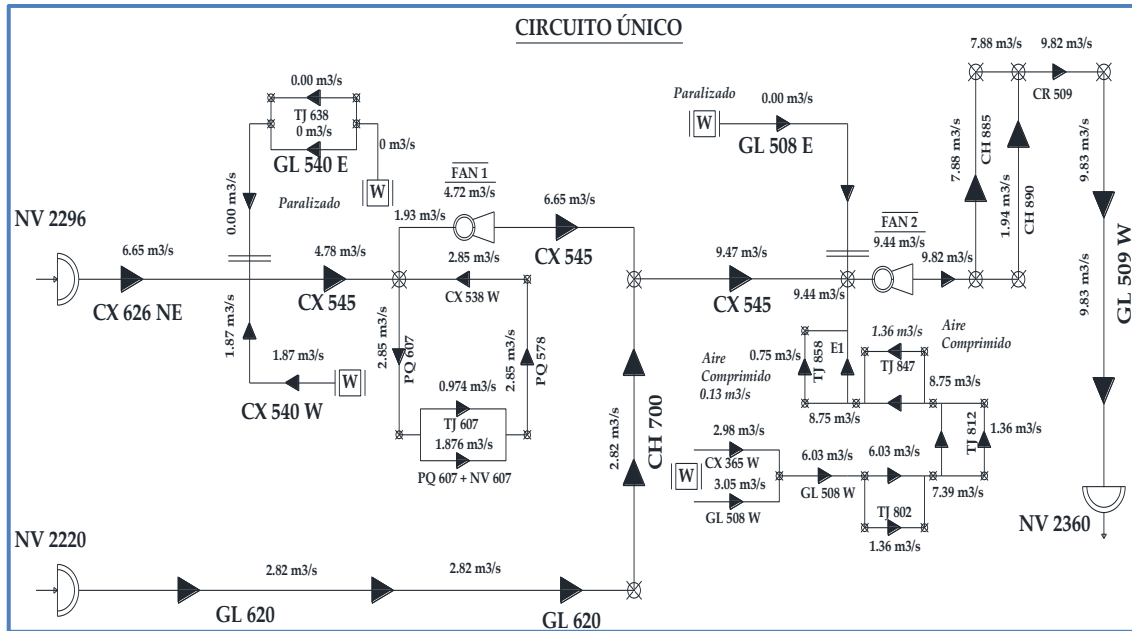


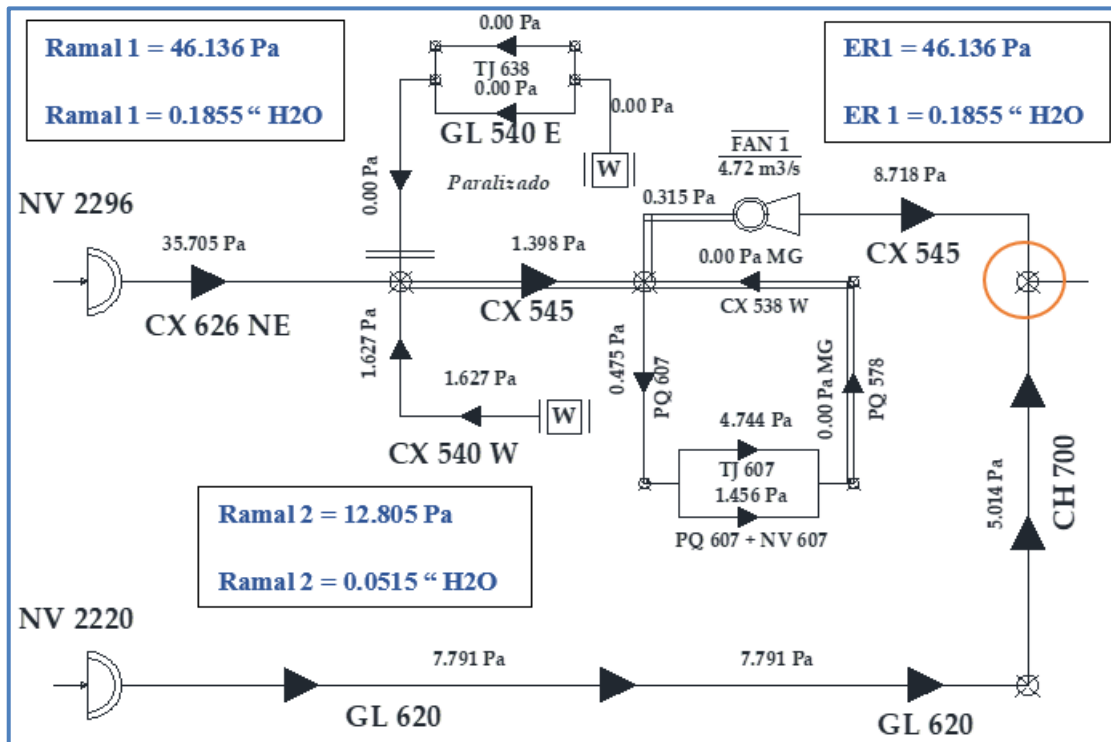
Figura 43: Encauzamiento y distribución del aire en la zona Consuelo I en LB.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 43, se puede notar que se ha hecho la distribución del aire desde su ingreso hasta su salida. Asimismo, se puede ver la ubicación de cada ventilador y como están trabajando en el anterior sistema de ventilación.

Este diagrama unifilar es fundamental, ya que en base a este diagrama ha sido posible calcular la caída de presión de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, el cual se resume a continuación en las siguientes figuras 44 y 45.

### A) Análisis en el Tramo 1



**Figura 44:** La caída de presión en tramo 1 con el ramal 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia

Según se aprecia en la figura 44, en el tramo 1 de la zona Consuelo I, se tiene dos ramales principales en paralelo, lo cual, aplicando la técnica de circuitos en paralelo, se tiene una caída de presión equivalente  $ER1 = 0.1855''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Asimismo, es preciso explicar que el ventilador 1 (FAN 1) solo puede cubrir las siguientes labores: CX 540W, TJ 607 y NV 607, no teniendo cobertura para la Galería 540 E y el Tajo 638. Por consiguiente, estas dos labores han sido paralizadas. La forma de ventilación utilizada por el FAN 1 Joy FP de 10 HP, es impelente utilizando mangas de ventilación de 20", 14" y 12" de diámetro, los cuales transportan en total de 10 000 CFM.

## B) Análisis en el Tramo 2.

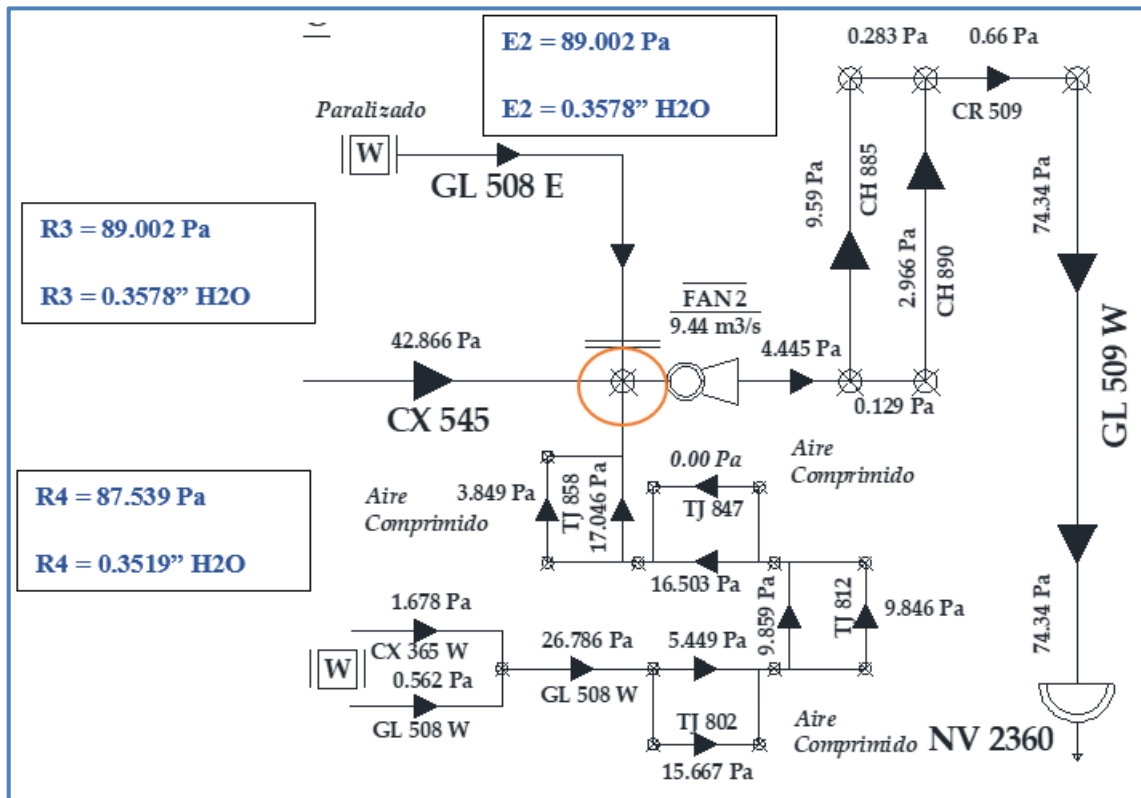


Figura 45: La caída de presión en tramo 2 con el ramal 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 45, en el tramo 2 de la zona Consuelo I, también se tienen dos ramales principales en paralelo, lo cual, aplicando la técnica de circuitos en paralelo, se tiene una caída de presión equivalente  $ER_2 = 0.3519''$  de  $H_2O$ .

Asimismo, es preciso explicar que el ventilador 2 (FAN 2) solo puede cubrir las siguientes labores: CX 365 W, GL 508 W, TJ 802, TJ 812, TJ 847 y TJ 858, no teniendo cobertura para la Galería 508 E y el Tajo 847. No obstante, solo la labor Galería 508 E ha sido paralizada, mientras que el tajo 847 se ventila con aire comprimido. La forma de ventilación utilizada por el FAN 2 VAV-26 de 40 HP, es impelente utilizando mangas de ventilación de 36'', 24'', 14'' y 12'' de diámetro, los cuales transportan en total de 20 000 CFM.

### C) Análisis en total

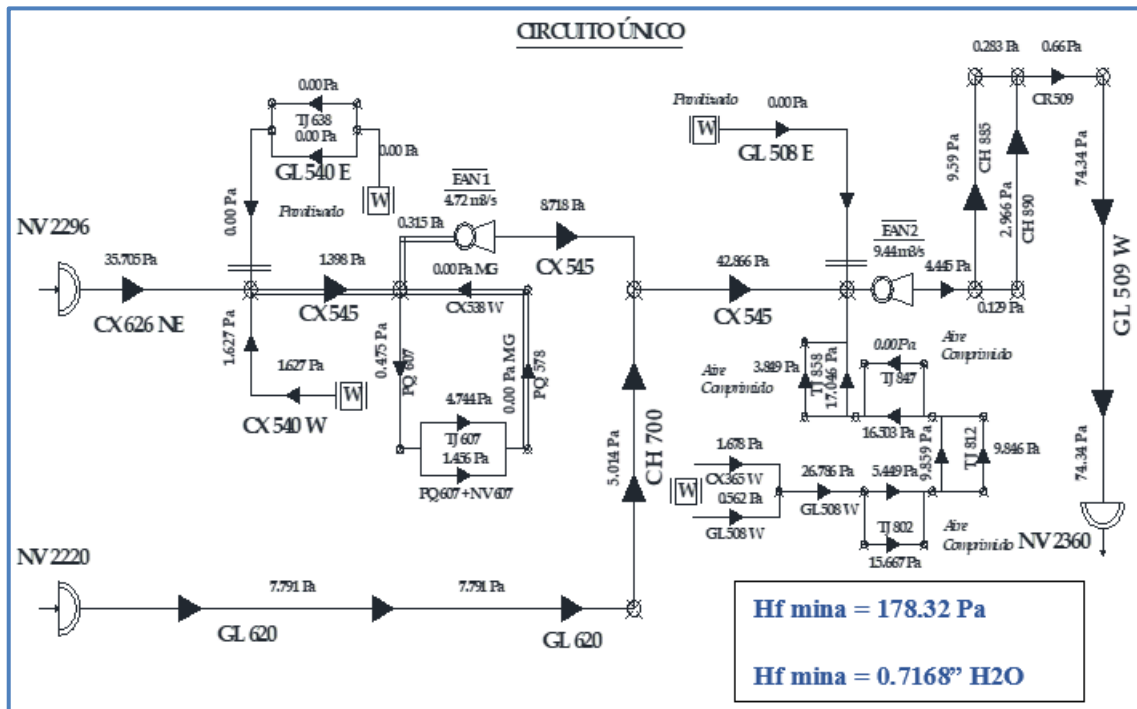


Figura 46: La caída de presión de la zona Consuelo I – Mina Alpacay.

Fuente: Elaboración propia

Entonces, completando el circuito único que se puede ver en la figura 46, la zona Consuelo I de la mina Alpacay, tiene una caída de presión total de  $H_F \text{ mina} = 0.7168''$  de  $H_2O$ .

Hasta este punto, se puede resumir que el  $H_F \text{ mina} = 0.7168''$  de  $H_2O$ , matemáticamente puede ser vencido sin ningún problema por la ventilación natural, la cual puede llegar hasta  $1''$  de  $H_2O$  según refiere (Jiménez, 2011), sin embargo, eso no significa que el caudal de aire sea el que necesita la mina. Asimismo, el circuito de ventilación de la zona Consuelo I es único y esto pues no es lo más conveniente.





## **4.4 DIAGNÓSTICO DE LA RED DE VENTILACIÓN DE LA ZONA CONSUELO I**

El diagnóstico de la red de ventilación de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, se realizará en base a los puntos precedentes a este punto, y el cual se dividirá en cuatro puntos esenciales:

### **4.4.1 Cobertura del aire**

El aire requerido por la zona Consuelo I de la Mina Alpacay en operación mermada es de 34 020 CFM de aire fresco, sin embargo, según el mapeo del flujo de caudal del aire, sólo ingresa 20 076.43 CFM de aire fresco.

Realizando un balance entre el aire requerido y el aire que ingresa, se tiene un déficit de 13 943.57 CFM, es decir, de -41%. En ese sentido, el aire que ingresa es insuficiente. Eso explica, de largo, porque la operación de la zona Consuelo I se ha mermado, y peor aún, estando mermada, hay un déficit que generalmente se cubre con aire comprimido sin buenos resultados.

### **4.4.2 Independizar circuitos**

Hay un problema entre el tramo 1 y tramo 2 del circuito único de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, hay una recirculación de gases viciados que va del tramo 1 hacia el tramo 2, esto se deduce sin la necesidad de utilizar el software Ventsim. Design. Véase la siguiente figura 47.

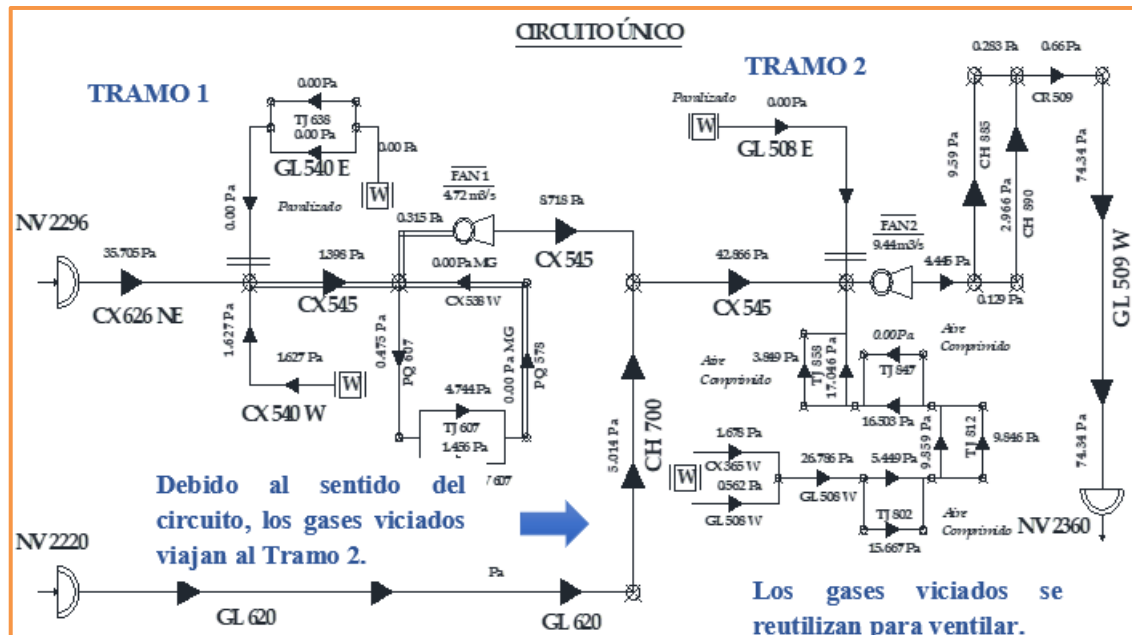


Figura 47: Recirculación de los gases viciados en la Zona Consuelo I.

Fuente: Elaboración propia.

Esta recirculación de los gases viciados, hace más deficiente el sistema de ventilación, ya que implica un mayor uso en el tiempo de ventilación, el cual, según el estándar debería ser 1 h, pero es 1.8 h en promedio. Asimismo, ello explica porque la concentración de los gases viciados es mayor en las labores del tramo 2.

**Tabla 28:** Promedio del mapeo de gases viciados del mes de setiembre y octubre.

N°	ID Labor	Estatus del frente	Motivo de Cese	Gases monitoreados						Tiempo de Ventilación Horas
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO ppm	NO2 ppm	H2S ppm	
1	CX 540 W	Operativo		20.9	10.3	385	18.6	1.2	3.2	1.2
2	GL 540 E	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.7	55.0	3,359	26.0	22.1	7.6	NT
3	TJ 638	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.9	51.7	2,264	18.6	26.3	5.4	NT
4	TJ 607	Operativo		20.8	17.4	498	27.7	1.4	6.8	1.2
5	NV 240	Operativo		20.9	13.5	619	24.1	1.8	6.2	1.3
6	GL 508 E	Paralizado	Déficit de Ventilación	19.4	60.2	2,046	25.5	14.6	4.9	NT
7	GL 508 W	Operativo		20.2	45.4	816	26.5	2.1	2.1	1.7
8	CX 365 W	Operativo		20.2	58.3	1,129	18.7	1.9	2.5	1.8
9	TJ 858	Operativo		20.5	28.6	901	28.6	1.5	1.4	2.0
10	TJ 847	Operativo		20.5	36.5	1,012	30.1	2.3	4.3	2.5
11	TJ 812	Operativo		20.4	37.2	1,117	32.6	2.2	5.8	2.2
12	TJ 802	Operativo		20.1	45.9	1,289	30.1	2.6	7.3	2.2
<b>Promedio total:</b>				<b>20.3</b>	<b>38.3</b>	<b>1286.2</b>	<b>25.6</b>	<b>6.7</b>	<b>4.8</b>	<b>1.8</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

### Por lo tanto:

Se hace imprescindible dividir o independizar el tramo 1 en un circuito I, y el tramo 2 en un circuito II, ello para eliminar esta recirculación de los gases viciados.

#### 4.4.3 Ejecución de labores de ventilación.

Construir labores de ventilación será clave para mejorar el actual sistema de ventilación de la zona Consuelo I. Esto será necesario en el tramo 1, en el cual se proyecta construir una chimenea y una galería que se conecte con labores de la zona este del nivel 2 360, en que existe chimeneas que conectan a superficie.

También se evalúa construir una chimenea gemela a la Chimenea 700 para lograr un mejor ingreso de aire fresco en forma natural; no obstante, la capacidad de la Chimenea 700 no está siendo bien utilizada. Véase la siguiente Tabla 29.

**Tabla 29:** Velocidad recomendable por acceso en la zona Consuelo I.

Cauce del aire	Labores	Área m <sup>2</sup>	Velocidad del aire aceptable		Caudal del aire aceptable	
			m/s	Pies/min	m <sup>3</sup> /s	CFM
Ingreso	CX 626 NE	5.04	1.78	350	8.96	18,987.18
	CH 700	2.88	10.16	2,000	29.26	61,998.95
	GL 620 (*3)	5.04	1.78	350	8.96	18,987.18
<b>Total de aire que debe ingresar al CX 626 NE y CH 700:</b>					<b>38.22</b>	<b>80,986.13</b>

Fuente: Elaboración propia.

(\*3) La Galería 620 es el ingreso principal, el cual se bifurca después en la Chimenea 700.

De acuerdo a la Tabla 29, la Chimenea 700 puede soportar un ingreso de 61 998.95 CFM de aire fresco, sin llegar al límite o velocidad máxima, en comparación de su ingreso actual de 5 980.21 CFM, tiene una capacidad restante de 937.69%.



Sin embargo, teniendo solo como ingreso la Galería 620 que reparte a otros ramales en operación del nivel 2 220 no es suficiente, por lo que también será necesario compartir la construcción de un crucero exclusivo para ventilación que proporcione aire fresco tanto al nivel 2 220 como al nivel 2 296 de la zona Consuelo I.

#### **4.4.4 Adquisición de ventiladores**

La adquisición de ventiladores es otro punto clave para mejorar el actual sistema de ventilación de la zona Consuelo I. Esto permitirá cubrir el requerimiento de la operación mermada y amplificar la cobertura hacia una operación óptima. Ya que reparar un ventilador averiado no es una solución viable, pues no se lograría cubrir la demanda de aire.

El cálculo de la presión que deben vencer estos ventiladores se hará en el objetivo siguiente, pero desde ya, es necesario contar con ventiladores que venzan una alta caída de presión.

### **HIPÓTESIS II.**

Mediante el nuevo diseño con el Software Ventsim Design se mejorará el sistema ventilación en la zona Consuelo I del nivel 2 296 en la Unidad Minera Alpacay de la CIA Minera Yanaquihua S.A.C.

#### **4.5 NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM EN LA ZONA CONSUELO I DE LA MINA ALPACAY**

El segundo objetivo de este estudio de investigación es diseñar un nuevo sistema de ventilación con el software Ventsim-Design para mejorar el actual sistema ventilación de la zona Consuelo I de la unidad minera Alpacay. Para ello, ha sido necesario esperar un tiempo prudente hasta que la construcción de labores propuestas y aprobadas para mejorar el ingreso de aire fresco y la salida de gases viciados, hayan sido finalizadas. Esto ha tenido lugar casi 4 meses después del proceso de evaluación, es decir, desde setiembre y octubre del año 2019 hasta febrero del año 2020.



El proceso de diseño de un nuevo sistema de ventilación con el software Ventsim-Design se ha dividido en 4 secciones:

#### **4.5.1 Labores de ventilación construidas**

Labores que fueron necesarias su construcción para la independización de circuitos, los cuales son.

##### **A) El Crucero V-02 en el nivel 2 220**

Si bien el nivel 2 220 brinda un acceso de aire natural por la Chimenea 700, este no es suficiente, ya que la bocamina Galería 620 alimenta de aire fresco a labores de la zona la 70, siendo insuficiente el ingreso por la Chimenea 700. Asimismo, como se concluyó en el diagnóstico del actual sistema de ventilación de la zona Consuelo I, no se está usando económicamente la Chimenea 700. Es por ello que, ha sido necesario construir un crucero V-02 en el nivel 2 220 exclusivo para ventilación que servirá de acceso de aire fresco hacia el futuro circuito II del nivel 2 296. Véase la siguiente figura 48.



Figura 48: El Crucero V-02 del nivel 2 220.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

### **B) La Chimenea 920 hacia el nivel 2 360**

La cual ha sido construida para independizar el circuito I del circuito II. Su construcción tiene la finalidad de ser una de las labores, por el cual se lleve los gases viciados del circuito I hacia superficie. Su construcción se ha llevado a cabo en el Crucero 545, después del Pique 607 y antes de la Chimenea 700.

### **C) La Galería V-03 E hacia el nivel 2 360**

Labor construida para conectar la Chimenea 920 del nivel 2 296 a la Chimenea 250 del nivel 2 360 zona Este, la cual está construida y sirve también para evacuar los gases viciados de esta zona. Véase la siguiente figura 49.



Figura 49: Vista de la Chimenea 920 cuando se construía la Galería V-03.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

#### **4.5.2 Diseño una nueva red de ventilación.**

La nueva red de ventilación, no solo debe lograr cubrir las falencias del sistema de ventilación con una operación mermada de la zona Consuelo I, sino que debe expandirse hacia su operación óptima – necesaria.

Para ello, todavía se ha empleado la técnica manual con diagramas unifilares y cálculos aplicados a los circuitos de ventilación, esto con la finalidad de poder seleccionar ventiladores que cumplan el caudal de aire necesario y venzan la caída de presión de cada circuito antes de entrar al modelamiento de la red de ventilación con sus respectivas curvas características. Véase este proceso a continuación:



## 1) Cálculo del aire requerido en la zona Consuelo I – EXP.

Este cálculo se ha realizado en base al escenario óptimo con el cual se tiene planeado operar en la zona Consuelo I de la Mina Alpacay. Para ello, se ha utilizado las ecuaciones del capítulo III.

### A) Satisfaciendo las necesidades vitales del trabajador ( $Q_h$ )

De acuerdo a la Tabla 16, el total del personal de la zona Consuelo I – operación óptima, es 40 personas, las cuales trabajan en el nivel 2 296 m.s.n.m.

Para determinar el aire que necesitan estas 40 personas se ha empleado la ecuación 8.

$$Q_h = NM \times 3(1 + \%A) \quad 8)$$

Reemplazando:

$$Q_h = 40 \times 3(1 + 0.40) = 168$$

Por lo que, para satisfacer las necesidades del trabajador en la zona Consuelo I, se requiere:

$$Q_h = 168 \text{ m}^3/\text{min}$$

### B) Para diluir y trasladar los gases viciados, humos y polvos en suspensión ( $Q_d$ ):

Sabiendo que no se emplea Anfo para los disparos en la zona Consuelo I, pero que, por precaución, se emplea una velocidad igual a 25 m/min para que las velocidades del 90% de las labores sean mayor a 20 m/min. Entonces, para su cálculo se hará uso de la ecuación 9.

$$Q_d = A \times V \times NL \quad 9)$$

Los cálculos, al ser extensos, se aprecian en la siguiente Tabla 30:



**Tabla 30:** Cálculo para diluir los gases viciados, labor por labor en EXP.

Número	ID Labor	Sección (m)		Área m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal m <sup>3</sup> /min
		Base	Altura			
1	CX 540 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
2	GL 540 E	2.10	2.40	5.04	25.00	126.00
3	TJ 638	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
4	TJ 607	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
5	NV 240	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
6	GL 508 E	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
7	GL 508 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
8	CX 365 W	1.80	2.10	3.78	25.00	94.50
9	TJ 858	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
10	TJ 847	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
11	TJ 812	0.90	1.80	1.62	25.00	40.50
<b>Total:</b>		<b>11 labores operativas</b>				<b>801.00</b>

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua..

Por lo que, para diluir los gases viciados en la zona Consuelo I, se requiere:

$$Qd = 801.00 \text{ m}^3/\text{min}$$

**C) Para dar confort a los trabajadores en lugares calurosos (Qc):**

En la zona Consuelo I hay presencia de lugares de trabajo que tienen temperaturas mayores a 29° C, y en los que bastaría tener velocidades de aire igual a 20 m/min para refrescar el ambiente.

Entonces, empleando la ecuación 10 se ha calculado la necesidad de este requerimiento:

$$Qc = A \times VP \times NLC \quad 10)$$

Los cálculos, para este caso, también se aprecian en la siguiente Tabla 31.

**Tabla 31:** Cálculo para dar confort, labor por labor en EXP.

Número	ID Labor	Sección (m)		Área m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal m <sup>3</sup> /min
		Base	Altura			
1	GL 508 E	1.80	2.10	3.78	20.00	75.60
2	GL 508 W	1.80	2.10	3.78	20.00	75.60
3	CX 365 W	1.80	2.10	3.78	20.00	75.60
4	TJ 847	0.90	1.80	1.62	20.00	32.40
5	TJ 812	0.90	1.80	1.62	20.00	32.40
<b>Total:</b>		<b>5 labores en caliente</b>				<b>291.60</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que, para dar confort a los trabajadores, se requiere:

$$Q_c = 291.60 \text{ m}^3/\text{min}$$

**D) Cantidad de aire total para la mina (Q<sub>m</sub>):**

Para lo cual, únicamente se suman todas las necesidades ya estimadas utilizando la ecuación 11.

$$Q_m = Q_h + Q_d + Q_e + Q_c \quad 11)$$

Los cálculos y equivalencias se resumen en la siguiente Tabla 33.

**Tabla 32:** Aire total requerido para la zona Consuelo I en EXP – Óptimo.

Necesidades a cubrir	Caudal Requerido en Aire Fresco		
	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	CFM
Para el personal que labora	168.00	2.80	5,932.75
Para Diluir los gases viciados	801.00	13.35	28,286.51
Para dar confort al personal	291.60	4.86	10,297.56
<b>Total:</b>	<b>1,260.60</b>	<b>21.01</b>	<b>44,516.83</b>
<b>Total EQ:</b>	<b>1,260</b>	<b>21.0</b>	<b>44,500</b>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces; según la Tabla 32, la zona Consuelo I de la Mina Alpacay en un escenario óptimo de operación, necesita o requiere 44 500 CFM de aire fresco.

Nuevamente, el requerimiento global de 44 500 CFM, debe distribuirse en toda la red de ventilación de la zona Consuelo I. Y para ello, se ha hecho uso, otra vez, de la red isométrica, así como del diagrama unifilar.

## 2) La red isométrica de la zona Consuelo I en operación óptima

Ya para este punto, se hará uso de una vista 3D de la zona Consuelo I de la mina Alpacay y de las demás labores que conforman el sistema de ventilación de esta zona de acuerdo a la vista del Software MinePlan. Véase la siguiente figura 50.

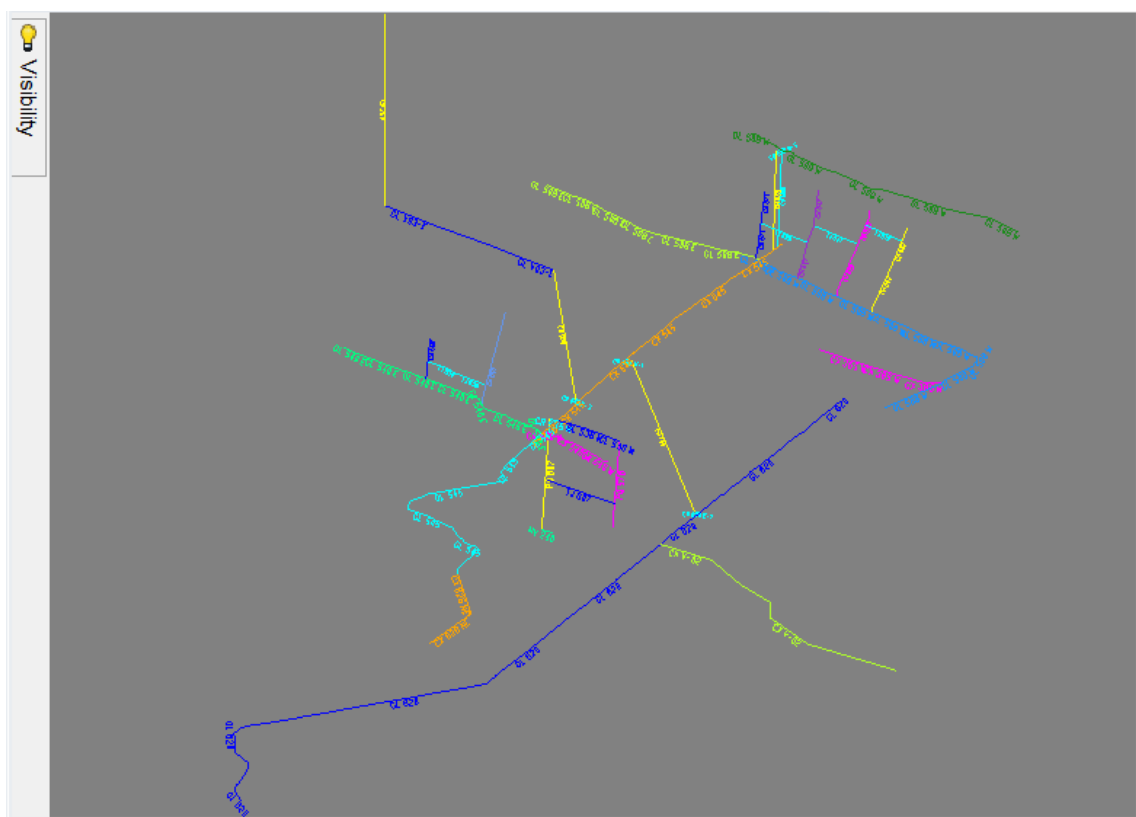


Figura 50: Red isométrica del circuito de ventilación de la zona Consuelo I en EXP.

Fuente: MinePlan.

## 3) El diagrama unifilar con el caudal distribuido por el sistema

Para resumir el proceso, en el diagrama unifilar para la zona Consuelo I de la Mina Alpacay ya se ha hecho la distribución del flujo del caudal del aire, según se requiere en cada frente de minado o tajeo. El diagrama unifilar de la zona Consuelo I actualizado se aprecia en la siguiente figura 51.

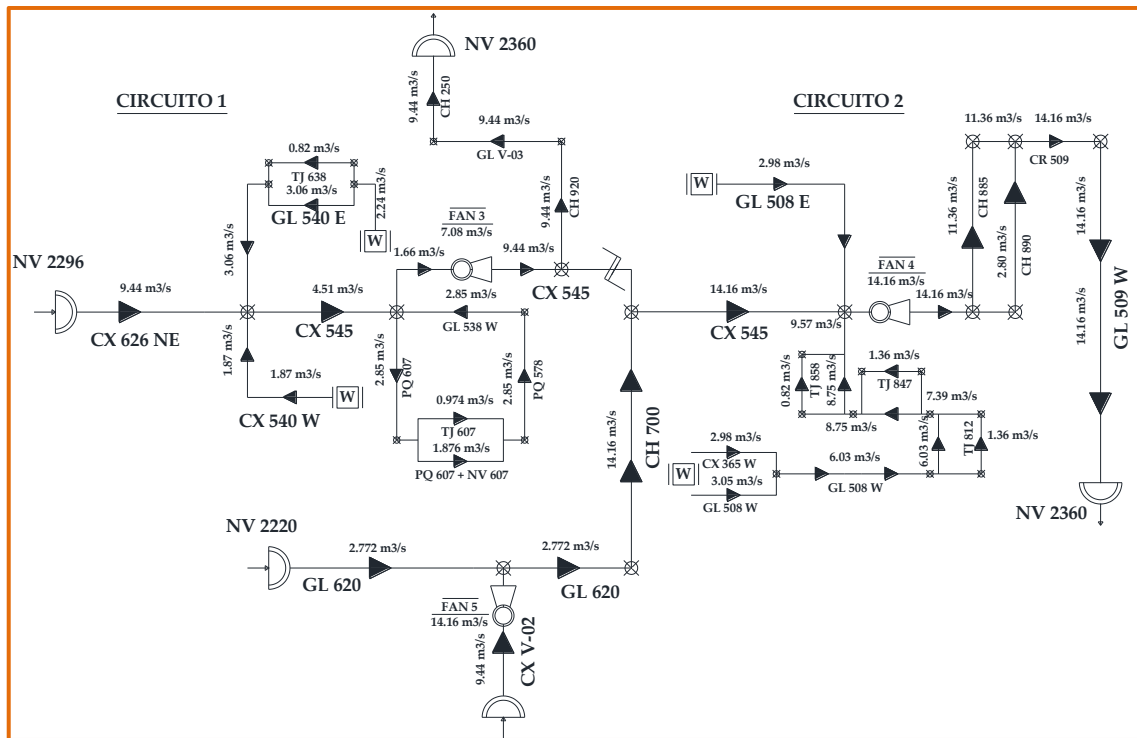


Figura 51: Diagrama unifilar de la zona Consuelo I en EXP - actualizado.

Fuente: Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua..

Según se aprecia en la Figura 51, el diagrama unifilar de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay ha pasado de tener un circuito único a poseer o independizarlo en dos circuitos. Esto se ha hecho posible gracias a la construcción de las labores de ventilación en un esfuerzo conjunto de la contrata y la compañía minera. Asimismo, para el funcionamiento de ambos circuitos ha sido necesario adquirir 3 nuevos ventiladores. Y para que sea más efectivo la separación del circuito 1 del circuito 2, ha sido también necesario la ubicación estratégica de una puerta de ventilación hermética de operación flexible, la cual se ubica entre la Chimenea 920 del circuito 1 y la Chimenea 700 del circuito 2. Véase la figura 52.



Figura 52: Puerta de ventilación utilizada para separar el circuito 1 y 2.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua..

En la Figura 52, se puede apreciar la puerta de ventilación instalada dentro del Crucero 545 y que en el diagrama unifilar se simboliza en forma de una puerta en vista de planta con dos aspas. (Chura y Jiménez 2020).

#### 4.5.3 Selección de los ventiladores para la zona Consuelo I.

La selección de los nuevos ventiladores se hizo calculando la caída de presión de cada circuito de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay. Se expresa como nuevos ventiladores, ya que las condiciones del sistema de ventilación han cambiado y los ventiladores anteriores como el FAN 1 y FAN 2 no se ajustan a los cambios en la caída de presión que se deben vencer en cada circuito. Si bien es posible instalarlos

por su caudal en CFM, no es recomendable ante un cambio de la caída de presión tan notorio.

Nuevamente, para el cálculo de la de presión de cada circuito de la zona Consuelo I, se ha hecho uso del diagrama unifilar diseñado. Véase este proceso a continuación:

### 1) Circuito I – Ventilador 3 (FAN 3).

El circuito I es el más simple. Posee solo una entrada principal de aire fresco que vendría ser el Crucero 626 N y una salida, el cual sería la Chimenea 250 ubicado en el nivel 2360. Véase la siguiente Figura 53.

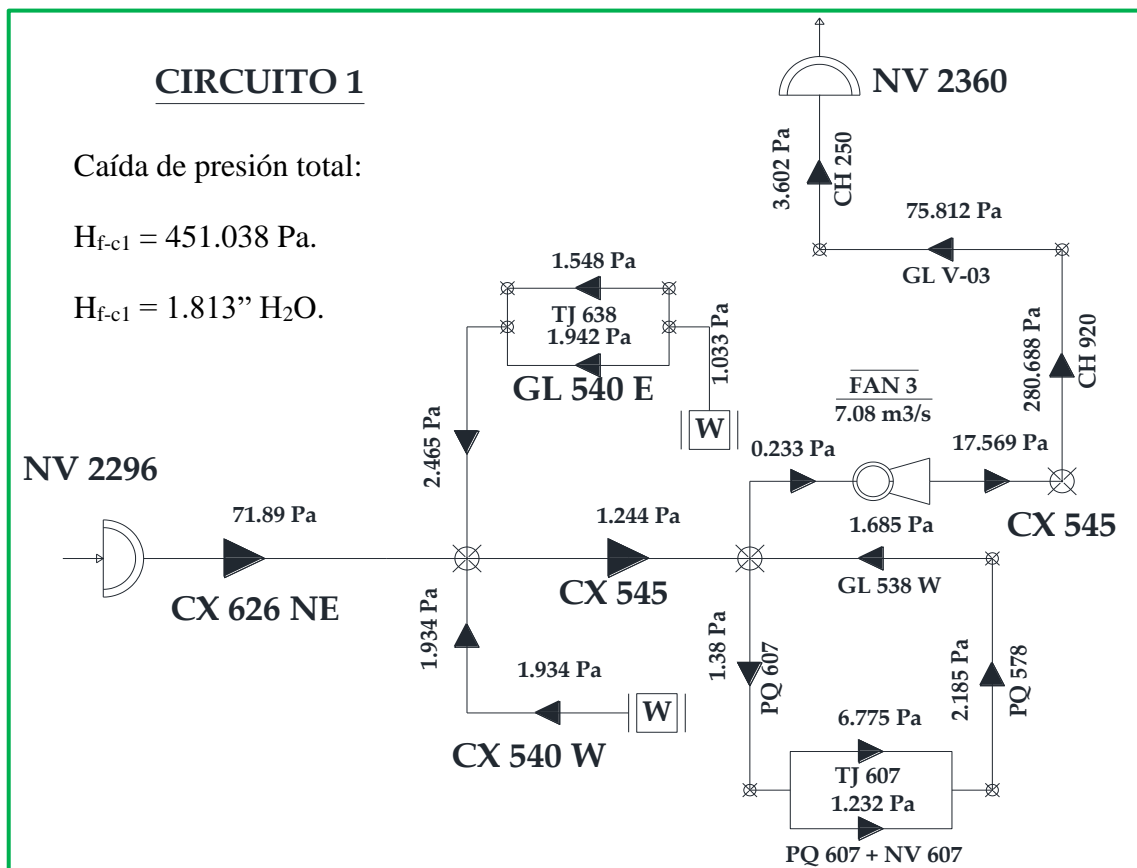


Figura 53: Diagrama unifilar del circuito 1 de la Zona Consuelo I.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua..

De acuerdo a la Figura 53, el circuito 1 tiene una caída de presión total de 1.813” H<sub>2</sub>O, el cual ya no puede ser vencido por la ventilación natural. Por consiguiente, se ha instalado un ventilador FAN 3 de 15 000 CFM que debe vencer el 70% de la caída de presión total del circuito 1 más su presión dinámica más la caída de presión de los ramales más la presión total de las mangas de ventilación de 30”, 24”, 18” 14” y 12”.

Esta presión total (H<sub>T</sub>) que debe vencer el FAN 3 se ha estimado en 5.80” H<sub>2</sub>O a nivel mina y 7.11” H<sub>2</sub>O a nivel del mar. Otras características del ventilador para poder adquirirla se resumen en la siguiente Tabla 33.

**Tabla 33:** Ventilador 3 para el circuito 1 de la zona Consuelo I.

<b>Marca:</b>	<b>Joy-S-1000</b>		<b>Modelo:</b>	<b>27.25-14-3450</b>		
<b>Flujo del aire</b>	<b>Caudal del aire</b>		<b>Alabe</b>	<b>Presión total</b>		<b>Potencia BHP</b>
	<b>CFM</b>	<b>m3/s</b>		<b>Pulg H2O</b>	<b>KPa</b>	
<b>FAN 3</b>	15,000.00	7.08	Variable	7.0	1,740.0	20
<b>Natural</b>	5,000.00	2.36				
<b>Requerido</b>	16,484.58	7.78				
<b>Diferencia</b>	11,484.58	5.42				

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 33 el FAN 3 ha de ser un Joy-S-1000 con alabe variable lo cual permita modificar su caudal y su caída de presión, esto con la visión de que abastezca otros labores que están en proyecto dentro del circuito 1. Asimismo, este ventilador será complementado con la ventilación natural en 5 000 CFM y el cual puede vencer un 30% de la caída de presión total. Finalmente, el HP al freno del ventilador 3 es de 20 HP.

## 2) Circuito II – Ventilador 4 y 5 (FAN 4 y 5).

El circuito II es más simple debido a su necesidad. Posee técnicamente dos entradas principales de aire fresco que vendrían a ser la Galería 620 y el Crucero V-02 ambos ubicados en el nivel 2 220, sin embargo, el ingreso de aire natural de la Galería 620 que se bifurca hacia la Chimenea 700, pues es bastante ínfimo respecto al requerimiento de circuito 2, por lo que es despreciable para el cálculo

del circuito 2, el cual tiene una sola salida que sería la Galería 509 W ubicado en el nivel 2 360. Véase la siguiente figura 54.

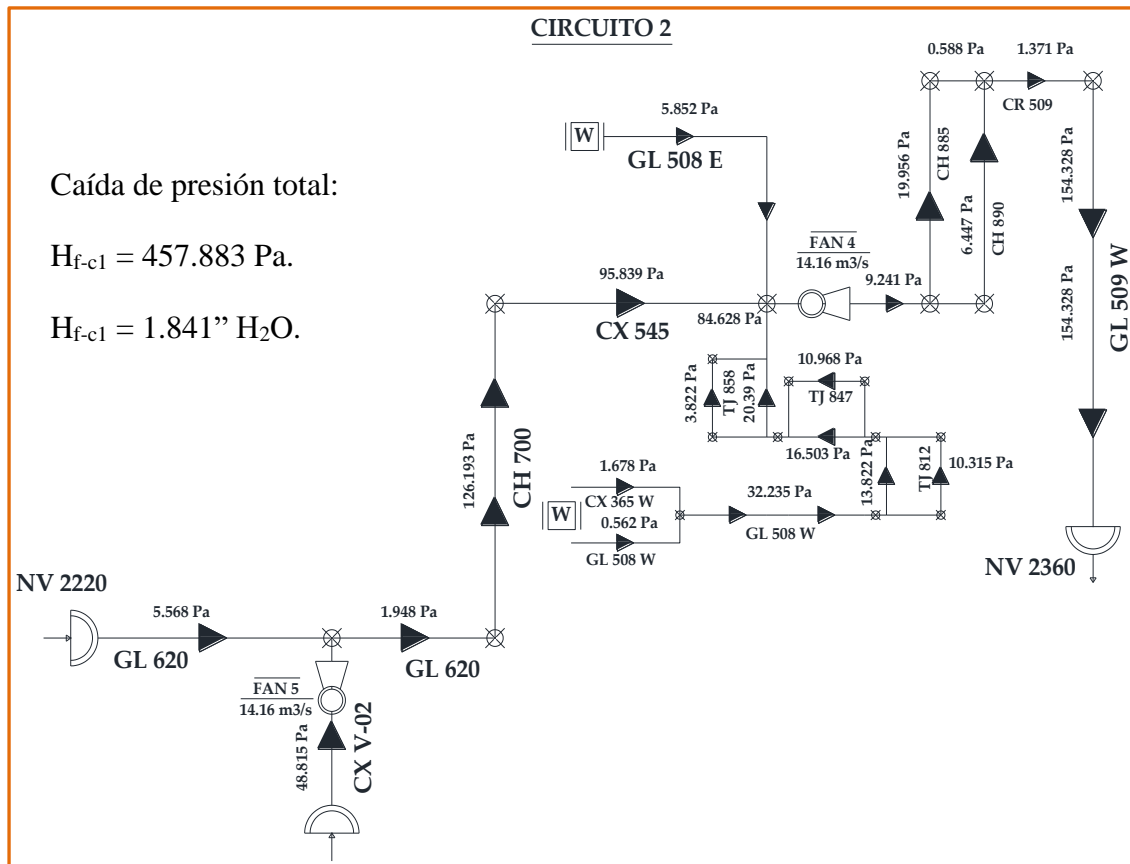


Figura 54: Diagrama unifilar del circuito 2 de la zona Consuelo I.

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la Figura 54, el circuito 2 tiene una caída de presión total de 1.841'' H<sub>2</sub>O, el cual tampoco puede ser vencido por la ventilación natural. Por consiguiente, se ha instalado dos ventiladores.

#### A) El Ventilador 5 (FAN 5):

El FAN 5 de 30 000 CFM, que debe vencer el 60% de la caída de presión total del circuito 2 + su presión dinámica + la presión total de la manga de ventilación de 36'' que ha de conectar el Crucero V-02 a la Chimenea 700.



Esta presión total ( $H_T$ ) que debe vencer el FAN 5 se ha estimado en 5.07” H<sub>2</sub>O a nivel mina y 6.21” H<sub>2</sub>O a nivel del mar. Otras características del ventilador para poder adquirirla se resumen en la siguiente Tabla 34.

**Tabla 34:** Ventilador 5 para el circuito 2 de la zona Consuelo I.

<b>Marca:</b>	<b>Joy-S-1000</b>		<b>Modelo:</b>	<b>27.25-14-3450</b>		
<b>Flujo del aire</b>	<b>Caudal del aire</b>		<b>Alabe</b>	<b>Presión total</b>		<b>Potencia</b>
	<b>CFM</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>Pulg H<sub>2</sub>O</b>	<b>KPa</b>	<b>BHP</b>
<b>FAN 5</b>	30,000.00	14.16				
<b>Natural</b>	0.00	0.00	Variable	6.5	2,734.3	40
<b>Requerido</b>	30,000.00	12.55				

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 34, el FAN 5, ha de ser también un Joy-S-1000 con alabe variable lo cual permita modificar su caudal y su caída de presión, no obstante, la variación va ser mínima ya que el ventilador está casi al tope. Asimismo, este ventilador no será complementado con la ventilación natural, ya que este va asistir a las labores del nivel 2 220 zona 70. Finalmente, el HP al freno del ventilador 5 es de 40 HP.

#### **B) El Ventilador 4 (FAN 4)**

El FAN 4 también de 30 000 CFM que debe vencer el 40% de la caída de presión total del circuito 2 + su presión dinámica+ la caída de presión de los ramales + la presión total de las mangas de ventilación de 36”, 30”, 24”, 14” y 12”.

Esta presión total ( $H_T$ ) que debe vencer el FAN 4 se ha estimado en 8.88” H<sub>2</sub>O a nivel mina y 10.89” H<sub>2</sub>O a nivel del mar. Otras características del ventilador para poder adquirirla se resumen en la siguiente Tabla 35.

**Tabla 35:** Ventilador 4 para el circuito 2 de la zona Consuelo I.

<b>Marca:</b>	<b>Tomocorp FT-VAV</b>		<b>Modelo:</b>	<b>32-18-3450</b>		
<b>Flujo del aire</b>	<b>Caudal del aire</b>		<b>Alabe</b>	<b>Presión total</b>		<b>Potencia</b>
	<b>CFM</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>Pulg H<sub>2</sub>O</b>	<b>KPa</b>	<b>BHP</b>
<b>FAN 4</b>	30,000.00	14.16				
<b>Natural</b>	1,200.00	0.57	Variable o			
<b>Requerido</b>	26,591.44	12.55	Fijo	11.0	2,734.3	70
<b>Diferencia</b>	25,391.44	11.98				

Fuente: Elaboración propia.



Según la Tabla 35, el FAN 4 ha de ser un Tomocorp FT-VAV con alabe variable o fijo, ya que el ventilador está casi al tope de su capacidad. Asimismo, este ventilador va vencer el ramal más fuerte del nivel 2 296, por lo que, su caída de presión es el más alto. Finalmente, el HP al freno del ventilador 4 es de 70 HP.

#### **4.5.4 Modelamiento de la red de ventilación de la zona Consuelo I.**

Habiendo establecido los circuitos de ventilación y seleccionado los ventiladores, se ha procedido al modelamiento de la nueva red de ventilación de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, ello para afinar el sistema en un proceso de prueba-error que te permite el uso del software Ventsim-Design. Este proceso, a grandes pasos, se resume a continuación en los siguientes puntos:

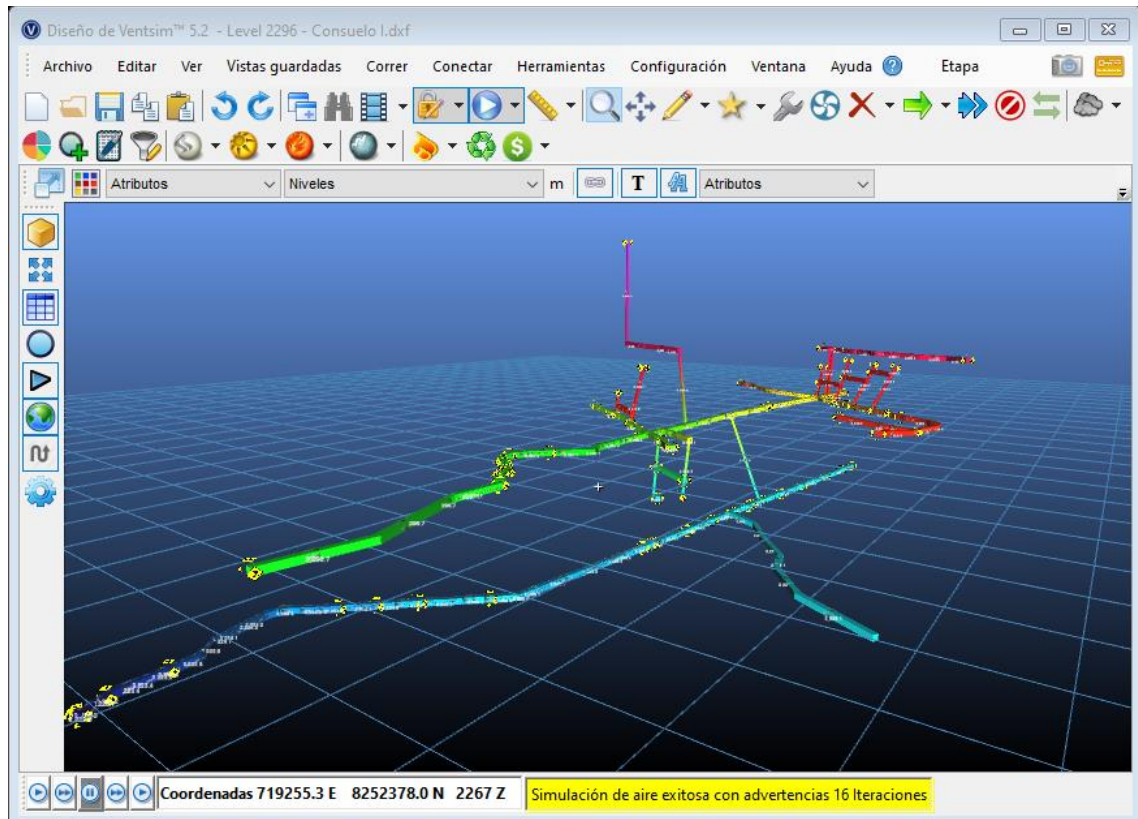
##### **1) Programación de los datos de la mina dentro del software.**

A diferencia de sus versiones antecesoras al Ventsim-Design 5.0, en esta versión actual es necesario programar todos los aspectos característicos de la mina. Si bien este proceso consume mayor tiempo, esta programación te permite configurar la mina de forma más ordenada y precisa de modo que se puede obtener un modelamiento más ajustado.

En el caso de la zona Consuelo I de la mina Alpacay este proceso de configuración se ha dividido de la siguiente manera:

##### **A) Importación de planos**

Para ello, los planos de la zona Consuelo I fueron previamente exportados a un archivo \*DXF en una versión de AutoCAD no mayor al 2018. Desde este recurso, las labores fueron importadas dentro de Ventsim. Véase la siguiente figura 55.



**Figura 55:** Vista 3D de la zona Consuelo I – Mina Alpacay en Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

## **B) El factor de fricción o factor K.**

Debido a que no se tiene equipos para medir la caída de presión, en la zona Consuelo I se optó por el factor K que se estableció para el software en valores de acuerdo a la tabla 20 elementos de las labores del nivel 2 296 necesarios para el software y tabla 21 resumen para las labores de los niveles 2 220 y 2 360, los cuales se ingresaron al menú “Programar” en el apartado “Factores de fricción”. Véase la siguiente figura 56.

# En Uso	Nombre de fricción	Valor	Rugosidad m	Densidad de referencia kg/m³	Comentario
916	Auto				
	roca lisa	0.0085	0	1.2	
	Roca Típica	0.012	0	1.2	
	Pared de roca dura	0.015	0	1.2	
	Pared de roca muy áspero	0.02	0	1.2	
	Eje alineado concreto	0.0033	0	1.2	
	Conjuntos eje concreto	0.0417	0	1.2	
	Eje enmaderado	0.0333	0	1.2	
	Eje RaiseBored	0.005	0	1.2	
	Conducto flexible	0.0029	0	1.2	
	G1	0.0194	0	1.2	
	G2	0.0204	0	1.2	
	G3	0.0222	0	1.2	
	G4	0.0306	0	1.2	
	G5	0.0176	0	1.2	
	G6	0.0269	0	1.2	
	G7	0.0241	0	1.2	
	G8	0.0296	0	1.2	
	G9	0.0287	0	1.2	
	G10	0.0185	0	1.2	
	G11	0.037	0	1.2	
	G12	0.0148	0	1.2	
	G13	0.033	0	1.2	

Figura 56: Valores del factor K de la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

### C) Los ventiladores seleccionados

La Mina Alpacay, no posee una asesoría directa por parte de un proveedor de ventilador. En ese sentido, no se cuenta con un software de ventiladores que te permitan seleccionar ventiladores de forma automática para luego exportarlos dentro de Ventsim. Ha sido necesario ingresar, de forma manual, todas las curvas características de cada ventilador seleccionado.

En el caso que se necesiten seleccionar otros ventiladores conforme exija la simulación, este proceso se hizo posible en el menú “Herramientas” en el apartado “Ventiladores”. Véase la siguiente figura 57.

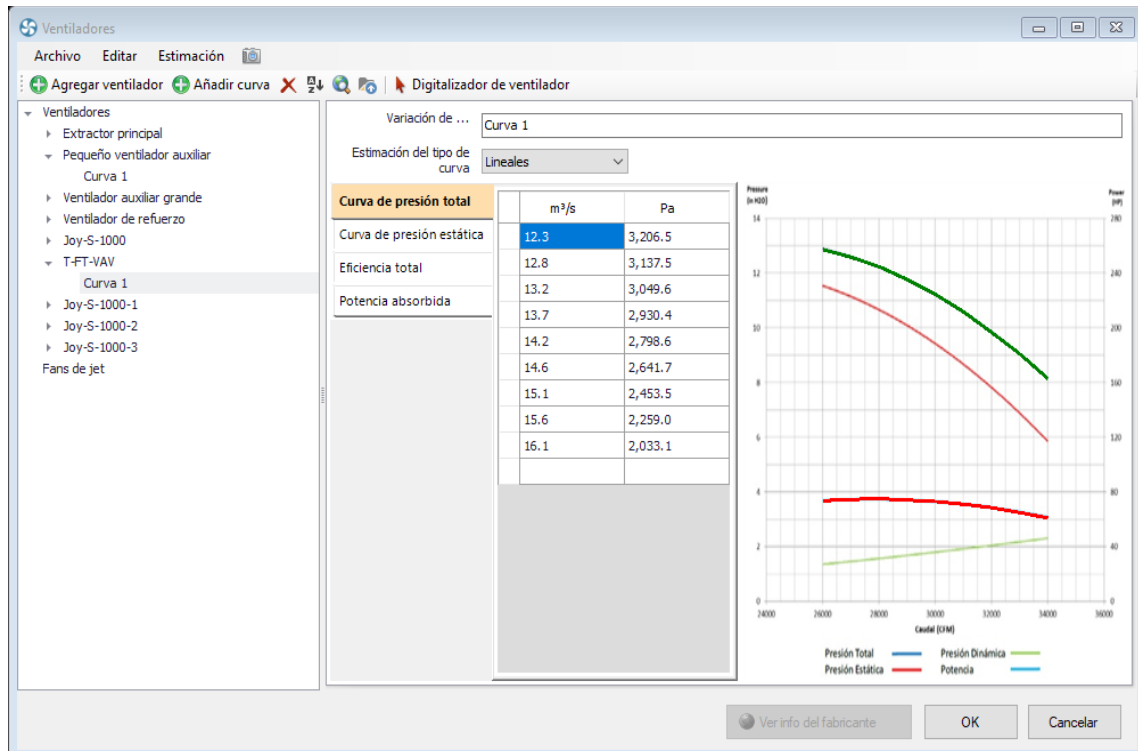


Figura 57: Ventiladores configurados para la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

#### D) Sección de las labores y su respectivo factor K.

Las labores de la zona Consuelo I poseen diferentes formas, secciones, así como distintos factores K. Esta configuración debe ser de la misma manera que el método manual, sino podría existir desfases en la selección de ventiladores. Por consiguiente, así existan varias labores con secciones similares, el factor K puede ser diferente, empero también pueden existir similitudes. Entonces todas estas variantes y similitudes deben ser configuradas.

Este proceso se hizo posible en el menú Programar” en el apartado “Tipos de conductos”. Véase la siguiente figura 58.

Valores Predeterminados de Ventsim DESIGN

# En Uso	Conducto de aire	Anchura (m)	Altura (m)	Perímetro (m)	Área (m)	Perfil	Tipo de factor de fricción	Max Velocity (m/s)	Anulación de perímetro de roca (m)
	CX-GL 2	2.1	2.4			Arqueado	G2	0	
	CX-GL 3	2.1	2.4			Arqueado	G4	0	
	CX-GL 4	2.1	2.4			Arqueado	G8	0	
	GL-CX 1	1.8	2.1			Arqueado	G3	0	
	GL-CX 2	1.8	2.1			Arqueado	G6	0	
	GL-CX 3	1.8	2.1			Arqueado	G5	0	
	GL-CX 4	1.8	2.1			Arqueado	G8	0	
	GL-CX 5	1.8	2.1			Arqueado	G9	0	
	GL-CX 6	1.8	2.1			Arqueado	G6	0	
	CH-R 1	2.4	2.1			Cuadrado	G5	0	
	CH-R 2	2.4	2.1			Cuadrado	G10	0	
	CH-R 3	2.4	2.1			Cuadrado	G2	0	
	CH-R 4	2.4	2.1			Cuadrado	G12	0	
	CH-R 5	3	1.5			Cuadrado	G12	0	
	CH-R 6	1	2			Cuadrado	G12	0	
	CH-C 1	1.2	1.2			Cuadrado	G5	0	
	CH-C 2	1.2	1.2			Cuadrado	G6	0	
	CH-C 3	3	3			Cuadrado	G5	0	
	PQ 1	3	3			Cuadrado	G7	0	
	CR 1	1.5	1.8			Arqueado	G6	0	
	TJ 1	0.9	1.8			Cuadrado	G2	0	
	TJ 2	0.9	1.8			Cuadrado	G8	0	
	TJ 3	0.9	1.8			Cuadrado	G11	0	

OK Cancelar

Figura 58: Labores programadas para la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

Con todo ello, se culminó con la programación de los valores característicos de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay.

## 2) Simulación de los circuitos de ventilación

La simulación de los circuitos de ventilación de la zona Consuelo I ha permitido probar los diseños establecidos en los diagramas unifilares, tanto para el circuito 1 como el circuito 2. Si bien el diseño de los diagramas unifilares ha otorgado obtener un porte mayor antes de realizar la simulación, es innegable que el análisis estático con el diagrama unifilar posee varios puntos ciegos que solo es posible sopesar mediante la simulación usando el software Ventsim-Design 5.0. Ha esta simulación se le conoce generalmente como el proceso de prueba-error.

## A) Implicancias en el Circuito 1.

A diferencia del análisis en el diagrama unifilar del circuito 1, dentro de la simulación no sucedió el encauzamiento y distribución que tenía que realizar el FAN 3 solo realizó la distribución circular sin un buen encauzamiento. Esto pues, conllevó a dividir el FAN 3 en donde ventiladores con igual caudal, pero con distinta función y con diferente caída de presión. El FAN 3 pasó a ser un ventilador principal el cual tenía que ubicarse en la bocamina CX 626 NE; mientras que un nuevo ventilador, en este caso el FAN 6 debía de ubicarse en la posición original del FAN 3 como un ventilador auxiliar. Véase la figura 59.

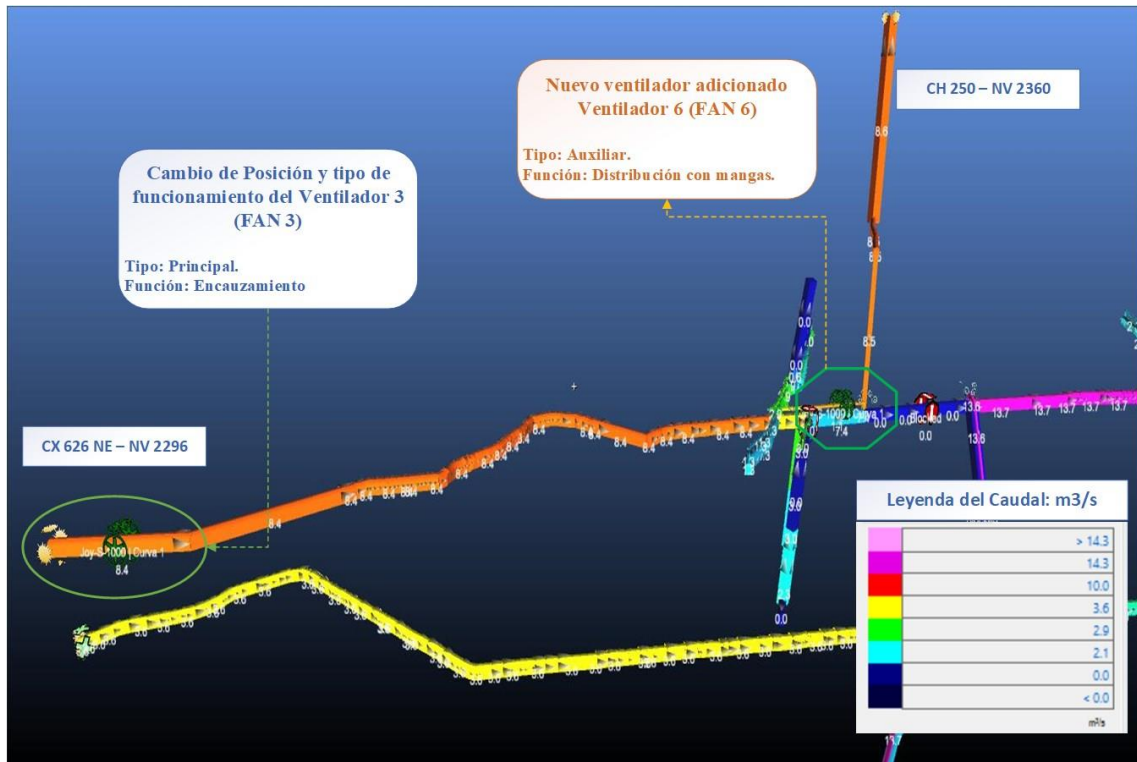


Figura 59: Simulación del circuito 1 de la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

Según la Figura 59, con los cambios realizados, la simulación fue exitosa, con una pequeña baja de presión en el FAN 3, empero, es buena; ya que no solo se encauza el aire fresco, sino que también se distribuye en la necesidad de cada ramal gracias al FAN 6, cuyas características se resumen en la Tabla 36. Prueba de la exitosa

simulación, es el rango de colores que sólo es bajo en labores donde no hay la necesidad de ventilar por no estarse realizando ningún trabajo.

**Tabla 36:** Ventilador 6 para el circuito 1 de la zona Consuelo I.

Marca:	Joy-S-1000-1		Modelo:	23.25-14-3450		
Flujo del aire	Caudal del aire		Alabe	Presión total		Potencia
	CFM	m3/s		Pulg H2O	KPa	BHP
<b>FAN 6</b>	15,000.00	7.08				
<b>Natural</b>	0.00	0.00	Variable	5.5	1,367.1	20
<b>Requerido</b>	15,000.00	12.55				

Fuente: Elaboración propia.

Otro cambio importante en el Circuito 1, es la adición de una cortina hermética (COR 03) en la Galería 538 W para que el flujo del circuito en el ramal del Tajo 607 y Nivel 607 sea mejor. Y si es necesario ventilar la Galería 538 W, solamente se debe replegar la cortina. Véase la siguiente figura 60.

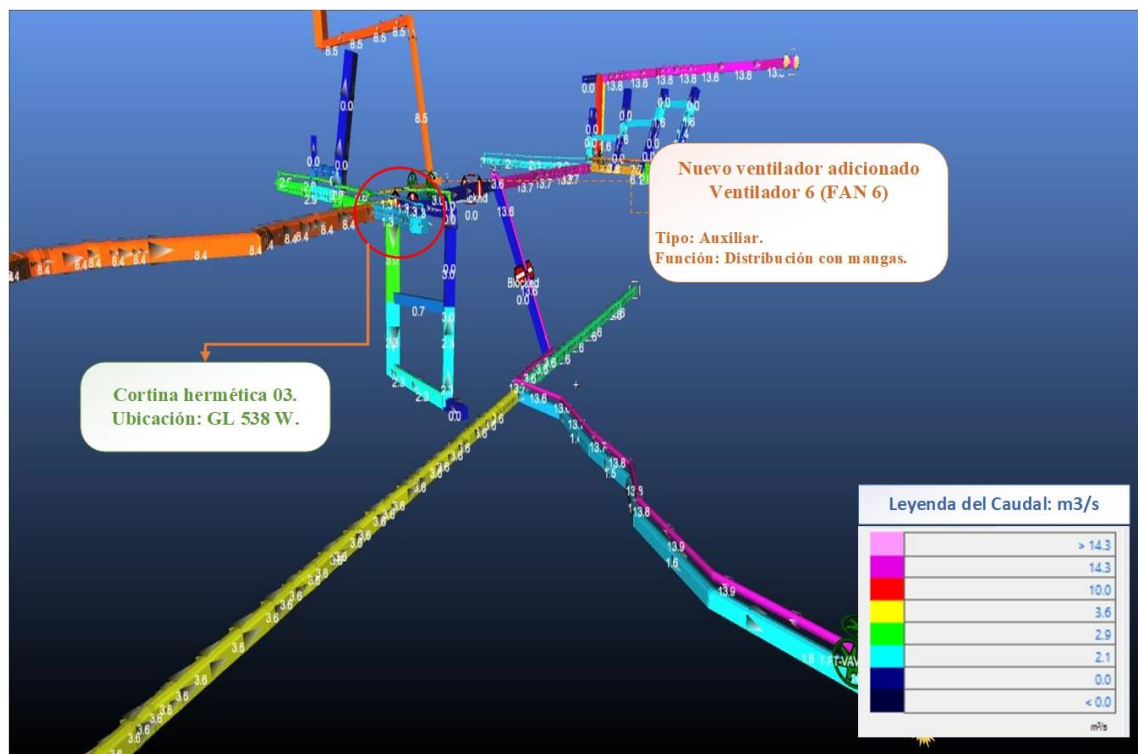


Figura 60: Otros cambios en el Circuito 1 de la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.



Finalmente, si es necesario proseguir con el avance del Nivel 240, entonces debe adicionarse una manga hasta el frente de avance.

## B) Implicancias en el Circuito 2.

En caso del Circuito 2, comparando con su del diagrama unifilar, dentro de la simulación también se han producido cambios. Primero, el FAN 5 no pudo realizar un buen encauzamiento por el circuito 2 debido a que existe una fuerte caída de presión por choque entre la conexión de la Chimenea 700 y el Crucero 545, aproximadamente un 12%. Esto pues, conlleva a cambiar la posición del FAN 5 por el FAN 4, el cual podía vencer una mayor caída de presión; asimismo, ha sido necesario adicionar una cortina hermética (COR 02) justo en el empalme del Chimenea 700 y Crucero 545. Véase la siguiente figura 61.

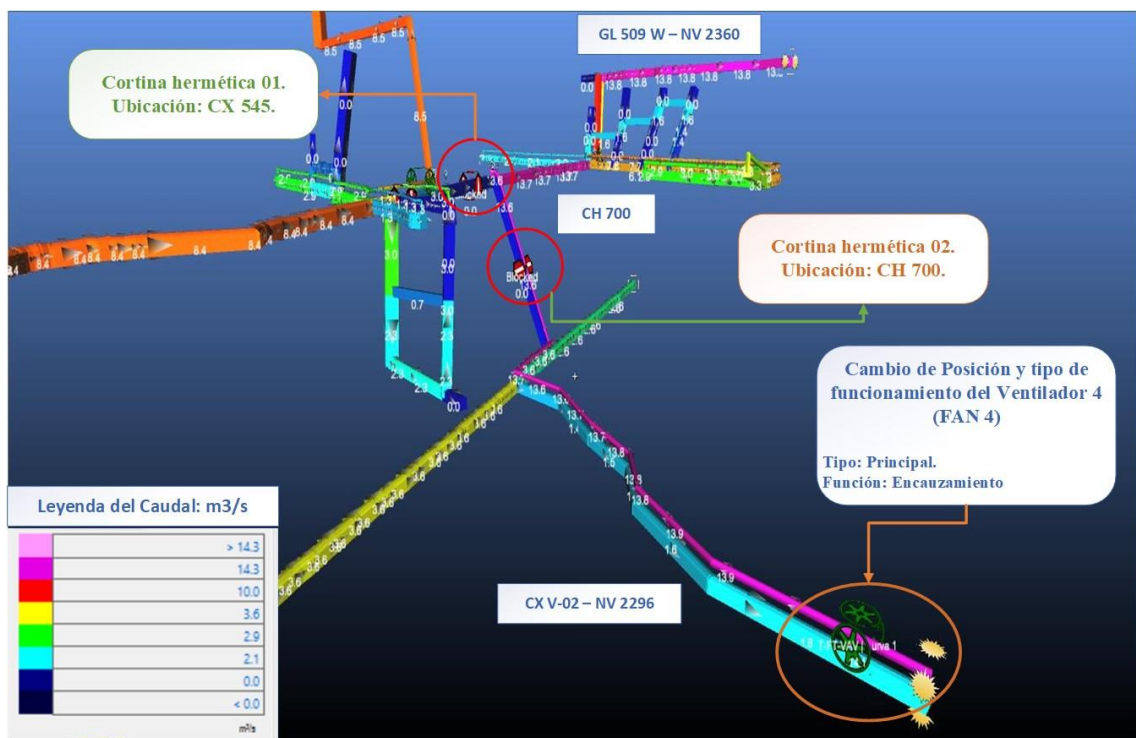


Figura 61: Simulación del Circuito 2 la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

Conforme a la Figura 61, con los cambios hechos la simulación fue exitosa, habiendo un buen encauzamiento por parte del FAN 4 por todo el Circuito 2.

Prueba de ello, es el rango de colores que sólo es bajo en labores donde no hay la necesidad de ventilar por no estarse realizando ningún trabajo.

En cuanto a la distribución, este se hizo mediante el FAN 5 que por sus características se ha adaptado sin ningún problema a la tarea de distribución. Véase la siguiente figura 62.

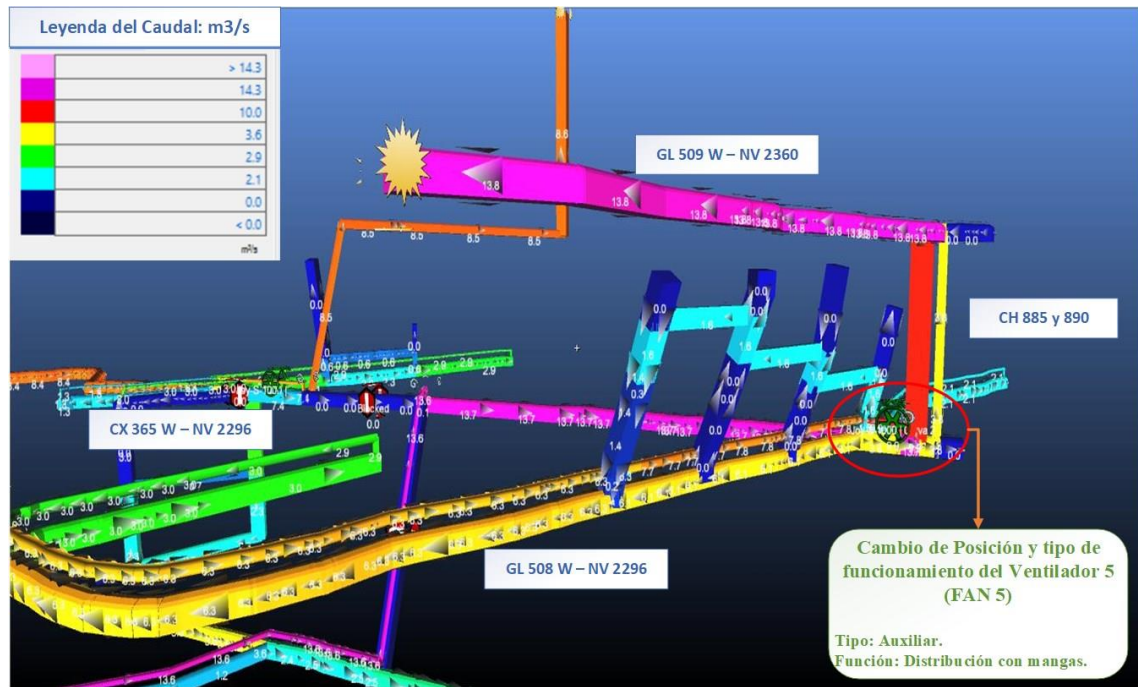


Figura 62: Cambio de posición del FAN 4 en la zona Consuelo I dentro de Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

### 3) Evaluación de los resultados de la simulación.

El software Ventsim resumió todos resultados finales obtenidos en la simulación del sistema de ventilación de la zona Consuelo I de la mina Alpacay, compuestos por dos circuitos, el cual ha tenido implicancias en su implementación:

#### A) Cobertura del sistema.

Realizando un balance entre la cobertura del aire planeado para el escenario óptimo versus el escenario real/operativo de la zona Consuelo I, en promedio se tiene un balance positivo en un 9.20%. Algo que habla del realce del sistema de

ventilación utilizando el software Ventsim, ya que, en el escenario mermado, con varias labores paralizadas, se tenía un déficit de 41%. Punto que se ha mejorado ampliamente.

Sin embargo, aun en la distribución existen algunos déficits de cobertura. Véase la siguiente Tabla 37.

**Tabla 37:** Balance de la cobertura por labores operativos en la zona Consuelo I.

Número	ID Labor	Caudal en m3/s		Caudal en CFM		%
		Planeado	Operativo	Planeado	Operativo	Varianza
1	CX 540 W	1.72	1.30	3,633.81	2,754.49	-24.2%
2	GL 540 E	2.24	2.90	4,746.20	6,144.64	29.5%
3	TJ 638	0.82	0.70	1,726.85	1,483.19	-14.1%
4	TJ 607	0.82	0.80	1,726.85	1,695.07	-1.8%
5	NV 240	1.72	2.30	3,633.81	4,873.33	34.1%
6	GL 508 E	2.98	2.10	6,303.55	4,449.56	-29.4%
7	GL 508 W	3.05	3.30	6,451.87	6,992.17	8.4%
8	CX 365 W	2.98	3.00	6,303.55	6,356.52	0.8%
9	TJ 858	0.82	1.60	1,726.85	3,390.14	96.3%
10	TJ 847	1.36	1.60	2,871.03	3,390.14	18.1%
11	TJ 812	1.36	1.60	2,871.03	3,390.14	18.1%
12	CX 626 NE	1.05	1.60	2,224.78	3,390.14	52.4%
<b>Total y Balance:</b>		<b>20.87</b>	<b>22.80</b>	<b>44,220.19</b>	<b>48,309.55</b>	<b>9.2%</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 37, hay 4 labores que tiene cierto déficit en su cobertura, si bien eso no implica un problema mayor como para paralizar las labores, sí es necesario tener en cuenta para ventilar más tiempo, y en ocasiones racionar los demás ramales.

Se declara que no hay un mayor problema, debido a que el 100% las velocidades monitoreadas (todas) superan sin problema la velocidad mínima de 20 m/min. Mientras que, en comparación a las velocidades recomendadas, se tiene un 95.8% del total de las velocidades operativas que superan al recomendable. Véase la Tabla 38.

**Tabla 38:** Balance de las velocidades en las labores operativas en la zona Consuelo I.

Número	ID Labor	Velocidad del aire en m/s			% Varianza	
		Mínimo	Recomendable	Operativo	Op/Min	Op/Rec
1	CX 540 W	0.33	0.42	0.40	21.2%	-4.1%
2	GL 540 E	0.33	0.42	0.50	51.5%	19.9%
3	TJ 638	0.33	0.42	0.40	21.2%	-4.1%
4	TJ 607	0.33	0.42	0.40	21.2%	-4.1%
5	NV 240	0.33	0.42	0.70	112.1%	67.9%
6	GL 508 E	0.33	0.42	0.60	81.8%	43.9%
7	GL 508 W	0.33	0.42	0.90	172.7%	115.8%
8	CX 365 W	0.33	0.42	0.80	142.4%	91.8%
9	TJ 858	0.33	0.42	1.00	203.0%	139.8%
10	TJ 847	0.33	0.42	1.00	203.0%	139.8%
11	TJ 812	0.33	0.42	1.00	203.0%	139.8%
12	CX 626 NE	0.33	0.42	2.10	536.4%	403.6%
<b>Total y Balance:</b>		<b>0.33</b>	<b>0.417</b>	<b>0.82</b>	<b>147.5%</b>	<b>95.8%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 39, no hay labor en la zona Consuelo I, el cual tenga una velocidad por debajo de la mínima requerida, empero, si hay 3 labores que tienen velocidades en -4.1% menos que el recomendable.

## B) Eficiencia del sistema de ventilación.

La eficiencia lograda con el software Ventsim para el nuevo sistema de ventilación de la zona Consuelo I de la mina Alpacay, compuesto de dos circuitos de ventilación, fue de 62.1%. Cabe resaltar, que esta eficiencia es un escenario óptimo de operación para la zona Consuelo I, donde no existen labores paralizadas, sino una operación continua con un incremento de la producción y avance en el desarrollo de las labores. Véase la siguiente figura 63.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	0:
Conductos de aire	1081
Longitud total	5,107.9 m
Caudal de aire total de admisión	28.0 m <sup>3</sup> /s
Caudal de aire total de escape	28.3 m <sup>3</sup> /s
Flujo de masa total	32.79 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.36925 Ns <sup>2</sup> /m8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	2.54610 Ns <sup>2</sup> /m8
<b>RESUMEN DE POTENCIA</b>	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	56.8 kW Total
	2.9 kW Chimenea
	5.4 kW Conducir
	48.5 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
<b>Potencia eléctrica de ENTRADA</b>	<b>91.4 kW</b>
<b>Costo de energía anual de la red</b>	<b>US\$ 144.154</b>
<b>Eficiencia de la red</b>	<b>62.1 R</b>

Figura 63: Resumen del sistema de ventilación de la zona Consuelo I por Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

Según refiere (Chura, 2020), un sistema de ventilación puede diseñarse junto al planeamiento de las labores de producción o simplemente acoplarse a labores ya construidas, solamente con un planeamiento a corto plazo.

En el caso de la zona Consuelo I de la mina Alpacay, se ha tenido el segundo escenario, donde fue necesario acoplar el nuevo sistema de ventilación a labores operativas ya construidas en la zona Consuelo I. Esto hizo muy complicado optimizar el sistema de ventilación, ya que las labores no fueron construidas con la visión de tener un buen sistema de ventilación debido a los siguientes puntos:

1. Las labores son muy pequeñas en sección en zonas de producción alta, como el Crucero 545, que hace difícil instalar mangas de ventilación.
2. Las labores tienen muchas salientes y sostenimiento irregular que hizo que el factor K elegido por labor, sea alto.
3. Existe muchas labores ciegas o muy poca conexión para independizar nuevos circuitos. Véase la siguiente figura 64.



Figura 64: Instalación de mangas de 24” de diámetro CX 540 W.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

Como se aprecia en la figura 64, la manga de 24” apenas se puede instalar para poner acoples que llegue al frente del Crucero 540 W. Ello genera, sea imposible instalar mangas mayores a 24”, por lo que, se ha visto por conveniente independizar circuitos y no utilizar en exceso la ventilación auxiliar compleja con varios ramales.

Todo esto, en suma, hizo que el sistema de ventilación no posee una gran eficiencia, empero ello, no implica que sea malo o desmerezca todos los esfuerzos que se hicieron para mejorar el sistema de ventilación. Todo lo contrario, se ha optimizado el sistema de ventilación, pero aun es necesario seguir mejorando.

### C) Costo operativo del nuevo sistema.

Si bien se ha mejorado el sistema de ventilación de la zona Consuelo I de la mina Alpacay, cuya eficiencia es de 62.1%, es innegable que se ha incrementado el costo operativo del sistema de ventilación debido a que se aumentó el consumo de kW por año. Véase la siguiente figura 65.

Resumen de pérdidas de presión	
Chimenea Fricción del muro	10.0 kW
Conducir Fricción del muro	39.0 kW
Conducto de ventilación Fricción del muro	48.5 kW
Regulador de Perdidas	0.0 kW
Pérdidas por Choque	7.7 kW
Pérdidas por el orificio	0.0 kW
Pérdidas en la salida	0.1 kW
Resumen de la Energía	
Pérdidas de presión	3.0 kW
Pérdidas por eficiencia del ventilador	34.5 kW
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
<b>Entrada eléctrica</b>	<b>91.4 kW</b>

Figura 65: Resumen del consumo de energía en la zona Consuelo I por Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

#### 1) En la línea de base – antes de la optimización

El consumo anual de kW se definía de la siguiente manera:

$$COA = PF \times CW \times HT \times DY$$

Donde:

COA = Costo total operativo por consumo de energía en US\$.

PF = Potencia total de los ventilados utilizados en kW.

CW = Costo por kW/h, siendo este 0.18 US\$/h.

HT = Horas trabajadas por día.

DY = Días trabajados por año.



Que, por dato se sabe que la potencia total instalada con los dos ventiladores, FAN 1 y FAN 2, era de 48.49 kW/h, y que se trabaja 20 horas al día, los 365 días, con una producción anual de 32 147 Tm/año de mineral.

Reemplazando:

$$COA = 48.49 \times 0.18 \times 20 \times 365 = 63,715.56$$

$$COA = 63,715.56 \text{ US\$/año}$$

Por lo tanto, en un costo por tonelada, se tenía 1.982 US\$/TM.

## 2) En experimentación – después de la optimización.

En este caso, el escenario de producción cambio, trabajándose 24 horas al día, los 365 días, con una producción anual de 36 500 TM/año de mineral, empero la potencia instalada, ahora es 91.42 kW/año.

Reemplazando:

$$COA = 91.42 \times 0.18 \times 24 \times 365 = 144,151.06$$

$$COA = 144,151.06 \text{ US\$/año}$$

Por lo tanto, en un costo por tonelada, se tiene 3.949 US\$/TM.

Entonces, el costo operativo incremento de 1.982 US\$/TM a 3.949 US\$/TM, es decir, en un 99.24%, ósea el doble.

## D) Relación entre el costo – beneficio.

Según refiere (Jiménez, 2011), los beneficios en una mejora del sistema de ventilación, por lo general, son intangibles; y en caso de la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, no es la excepción.



## 1) Beneficios.

- a) Se ha incrementado la producción de mineral y el avance de los desarrollos, activando dos frentes de minado como la Galería 508 E.
- b) Las condiciones termo-ambientales en los frentes de minado y tajeos son buenas, existiendo, en su mayoría ambiente diáfanos. Véase la siguiente figura 66.



Figura 66: Ambientes diáfanos de las labores: GL 508 E y CX 365W.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

- c) Lo confortabilidad de los trabajadores con el nuevo ambiente de trabajo, no tiene precio.
- d) Existe mayor eficiencia en el trabajo, ya que el tiempo de ventilación es menor, de 1.8 h en promedio a 1.2 h en promedio, es decir, hay una mejor de 0.6 h o el 33.33%.
- e) No hay incidentes, ni accidentes a causa del gaseamiento.



## 2) Beneficios.

- a) Mayor inversión requerida, tanto en la construcción de las labores de ventilación, así como en la adquisición de nuevos ventiladores. Empero la proyección del Crucero V-02 es altísima, para 5 años operativos, muy versátiles y adaptables, incluso para operaciones de la zona 70, nivel 2 220. Los ventiladores de igual manera, pueden vencer altas caídas de presión ya que son de alabe variable.
- b) Mayor costo operativo por el alto consumo de kW.

## E) Mejora continua.

Hay varias cosas que aún se pueden mejorar como:

### 1) Pérdidas por choque

La eficiencia del sistema de ventilación de la zona Consuelo I de la mina Alpacay de 62.1%, es un claro indicador que hay cosas que mejorar, ya que las pérdidas de energía, por el mas estado de las paredes de las labores de la zona Consuelo I, así como por el choque por la unión de labores; es considerable. Un proyecto de mantenimiento de las paredes, con desquinchados y shotcrete puede ayudar a reducir el factor K. Asimismo, proyectar las labores teniendo presente también a la ventilación y no solo a producción, puede ayudar en un futuro a mejorar la eficiencia del sistema de ventilación. Véase la siguiente figura 67.

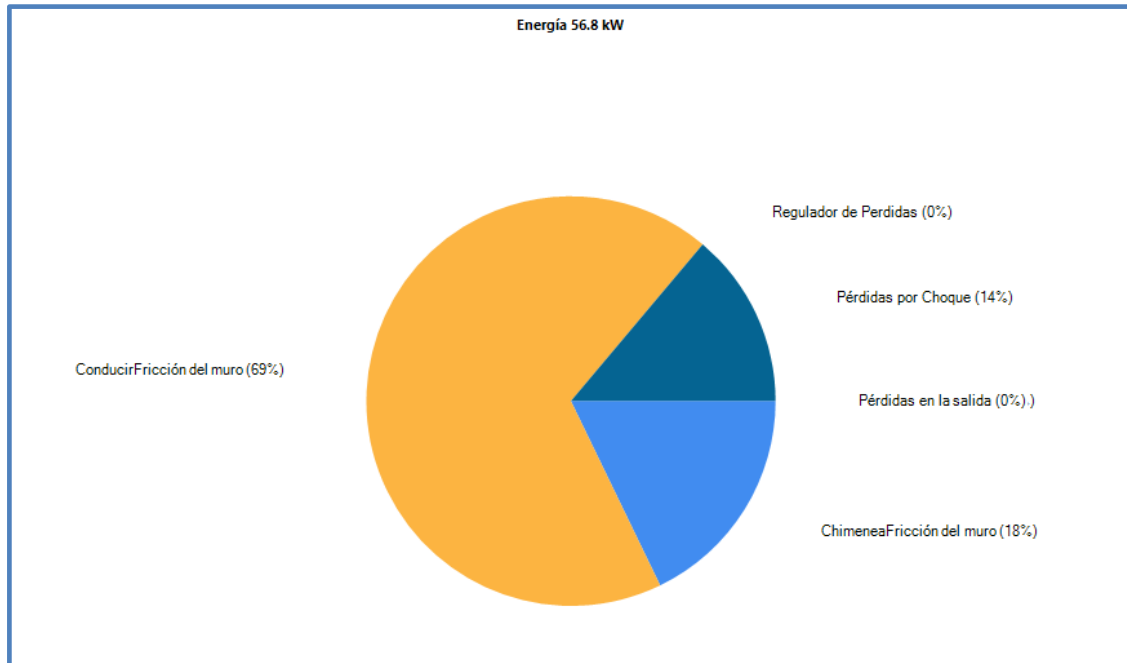


Figura 67: Diagrama de las pérdidas de energía en la zona Consuelo I por Ventsim.

Fuente: Ventsim-Design 5.0.

Conforme a la figura 67, las pérdidas de energía por fricción en el muro es 69%, siendo el mayor de todos, asimismo, por choque es igual a 14%. Puntos que aún se puede mejorar.

## 2) Mantenimiento preventivo de los ventiladores

El cual ayudará en la eficiencia del ventilador, su disponibilidad mecánica y su tiempo de vida. La falta de mantenimiento de los ventiladores es aún un problema que adolece la zona Consuelo I de la Mina Alpacay. Véase la siguiente figura 68.



Figura 68: Ventiladores Joy-S-1000: CX 545 – Circuito 1 y 2.

Fuente: Unidad Minera Alpacay – Yanaquihua.

#### 4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

Caxi (2017), el objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación integral del sistema de ventilación de UEA Santa Filomena que conlleve al modelamiento de la red de ventilación mediante el uso del software Ventsim. En donde se incrementó la cobertura del aire de 115% en la veta Santa Filomena y 333% para la veta Santa Rosa. En el presente trabajo de investigación se mejoró la cobertura de aire fresco, no solo cubriendo el déficit de 41%, sino que, reactivando las labores paralizadas, que en suma requerían de 44 500 CFM de aire fresco, el cual fue cubierto en un 9.20% más. Esto fue posible construyendo 3 labores exclusivas de ventilación. Asimismo, a la adquisición de 4 ventiladores, los cuales operan en forma impelente y aspirante, en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay.

Condori (2016), el objetivo de esta investigación fue optimizar el sistema de ventilación mediante la evaluación de la cobertura de aire en las labores mineras con el Software Ventsim Visual en la U.E.A. Heraldos Negros de la Compañía



minera San Valentín S.A. – Huancavelica. Esta investigación fue de tipo explicativo de diseño cuasi-experimental; en el cual se exploró cinco alternativas para mejorar el sistema de ventilación teniendo la facilidad de realizar simulaciones usando el software Ventsim. Cada alternativa plantea realizar nuevas labores, agregación de ventiladores, taponear labores, entre otros. Asimismo, se plantean ventajas y desventajas, priorizándose que el requerimiento de aire sea al 100%. En este trabajo se concluye que, al realizar la evaluación del sistema de ventilación se ha detectado una deficiencia de 13.90%, el cual es sopesado con las simulaciones de las alternativas N° 1 y 3, lográndose una cobertura al 142%, es decir, de los 77 299 CFM requeridos contra los 109 885 CFM abastecidos en ingreso y 114 189 CFM en salida. En el presente trabajo de investigación se mejoró la cobertura de aire fresco, no solo cubriendo el déficit de 41%, sino que, reactivando las labores paralizadas, que en suma requerían de 44 500 CFM de aire fresco, el cual fue cubierto en un 9,20% más. Esto fue posible al construir 3 labores exclusivas de ventilación, 1 de entrada de aire fresco para el Circuito 2, que fue el Crucero V-02, y 2 para la salida de los gases viciados del Circuito 1, que fueron: la Chimenea 920 y la Galería V-03. Asimismo, a la adquisición de 4 ventiladores, los cuales operan en forma impelente y aspirante; 2 de 15 000 CFM y 2 de 30 000 CFM, en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay.

Viza (2016), en donde se cubrió la demanda de aire fresco de 1 302 214 CFM, dentro de la simulación en un 106% y en el campo a un 103%. Para la consecución de este logro, el nuevo sistema requería instalar 4 ventiladores de 10 000 CFM y uno de 5 000 CFM, asimismo, se debía ejecutar 5 raise boring (RB). En el presente trabajo de investigación, fue necesario 4 ventiladores, en forma impelente y aspirante, 2 de 15 000 CFM y 2 de 30 000 CFM. Asimismo, fue necesario construir 3 labores de ventilación, 1 de entrada de aire fresco para el Circuito 2, el crucero Crucero V-02, y 2 para la salida de los gases viciados del Circuito 1, la chimenea 920 y la Galería V-03. Todo para que la demanda de aire fresco de 44 500 CFM o  $21.00 \text{ m}^3/\text{s}$  se cubra en un 9.20% más, en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay.



## V. CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación del sistema de ventilación anterior, se encontró que tenía un déficit de 41% para un requerimiento de aire fresco de 34 020 CFM y se identificó un circuito único muy amplio donde existía recirculación de los gases viciados del tramo 1 al tramo 2, para ello se ha separado el circuito único en dos circuitos independientes para eliminar la recirculación de los gases viciados, en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – Arequipa.

Mediante el nuevo diseño del sistema de ventilación con el software Ventsim Design se mejoró la cobertura de aire fresco, cubriendo el déficit de 41% y reactivando las labores paralizadas, que en suma requerían de 44 500 CFM de aire fresco, el cual fue cubierto en un 9.20% más, y se ha realizado la construcción de 3 labores exclusivas de ventilación, el Crucero V-02 para el circuito 2; la Chimenea 920 y la Galería V-03 para el circuito 1. También se ha adquirido 4 ventiladores, 2 de 15 000 CFM y 2 de 30 000 CFM en la zona Consuelo I de la Unidad Minera Alpacay – Arequipa.



## VI. RECOMENDACIONES

Realizar mapeos del flujo del caudal del aire cada 15 días, y una evaluación integral del sistema de ventilación cada 3 meses. Ello, permitirá tener una mejor visión de los cambios que se presentan y pensar en los medios para corregir las falencias que se presenten. Si bien la zona Consuelo I de la Mina Alpacay no posee un planeamiento a largo plazo definido, ver los cambios con antelación pueden otorgar la posibilidad de proyectar labores pensando también en la ventilación. Asimismo, adquirir equipos de medición de la caída de presión para fundamentar la importancia de este en el consumo de energía y la reducción de costos en ventilación.

El software Ventsim-Design tiene mucho potencial en uso para la zona Consuelo I de la Mina Alpacay, no solo por los resultados obtenidos en este estudio, sino en las mejoras que es posible implementar, aunque es válido y necesario el cálculo manual, la simulación como proceso de prueba-error, te permite obtener mayor versatilidad y una visión más amplia del sistema de ventilación. Sería muy tedioso con el cálculo manual por medio de diagramas unifilares. En consecuencia, se recomienda a la compañía para la adquisición de la licencia del software.



## VII. REFERENCIAS

- BSGrupo. (2018). *Fundamento de Planificación Minera Subterránea*. Lima: BSGrupo.
- Cámac, A. (2015). *Fundamentos Básicos sobre la Perforación de Rocas*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castillo, D. R. (2017). *Evaluación del Sistema de Ventilación de la Mina El Roble* (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Sagamoso, Colombia.
- Caxi, Y. (2017). *Estudio de Ventilación e Implementación de Mejoras en el Circuito de Ventilación de Minera SOTRAMI S.A. - UEA Santa Filomena - Aplicando el Software Ventsim* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú:.
- Chacha, D. (2016). *Sistema de Ventilación para Labores Subterráneas de la Empresa Produmin S.A.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Ecuador.
- Choque, O. (2016). *Optimización del Sistema de Ventilación para el Proyecto Cortada 3800 - Quenamari, U.M. San Rafael - Minsur* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Chura, H. (2020). *Ventilación de Minas: Fundamentos, Diseño, Cálculo y Modelamiento*. Juliaca: M&I Consultores.
- Chura, H., & Benito, R. (2016). *Método Tridimensional de Lerchs y Grossmann*. Puno: M&I Consultores.
- Cidelsa. (2020). *Mangas de Ventilación*. Lima: [www.cidelsa.com](http://www.cidelsa.com).
- Condori, V. H. (2016). *Optimización del Sistema de Ventilación con el Software Ventsim Visual en la U.E.A. Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- D.S. N° 024/023-EM. (2016). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Lima, Perú: MACRO.
- ETSIMM. (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- EXSA S.A. (2011). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: S.E.





- Fernandes, P. (2012). Ventiladores. En *Ventilación de Minas* (págs. 107-140). Catalonia: pfernandesdiez.es.
- Golu, J. D. (2017). *Cálculo de la Potencia de un Ventilador Principal en Mina Las Marías*. Bogotá: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Jiménez, P. (2011). *Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles*. Lima, Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- Llanque, O. E., & Chambi, P. E. (2012). *Texto Universitario del Curso de Minería Subterránea*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- MVS. (2003). *DuctSIM - Manual del Usuario*. Los Angeles: mvsengineering.com.
- Salas, F. (2017). *Minería Subterránea*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano - FIM.
- Soncco, C. F. (2016). *Diseño de un Nuevo Sistema de Ventilación para la Dilución de Gases Nocivos en la Unidad Minera Untuca, Sandia - Puno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Stewart, C. (2018). *Ventsim Design 5.0 - Guía del Usuario*. Capalaba: Howden.
- Vargas, E. (2015). *Ventilación de Minas*. Santiago de Chile, Chile: Sernageomin Zona Sur.
- Vergaray, R. (2017). *Optimización del Sistema de Ventilación de la Mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Viza, R. W. (2016). *Diseño y Simulación de Red de Ventilación con el Software Ventsim Visual en la Unidad Minera San Rafael - Minsur S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Wikipedia. (7 de Abril de 2020). *El Aire*. Obtenido de Wikipedia - La enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/wiki/Aire>
- Zitron. (2009). *Curso de Ventilación de Minas*. Santiago: Zitron S.A.



## ANEXOS

**Anexo N° 01:** Plano de Ubicación de la Mina Alpacay – Yanaquihua.



### Anexo N° 02: Cuadro para la elección del factor K

Tipo de conducto (labor)	Irregularidades de la superficie, áreas y alineamiento,	Valores de K en sistema Métrico (Kg/m <sup>3</sup> )											
		Recto			Sinuoso o curvado								
					Un poco			Moderadamente			Bastante		
		Limpio	Un poco obstruido	Obstrucción moderada	Limpio	Un poco obstruido	Obstrucción moderada	Limpio	Un poco obstruido	Obstrucción moderada	Limpio	Un poco obstruido	Obstrucción moderada
Recubierto o conducto liso	Mínimo	0.0019	0.0028	0.0046	0.0037	0.0046	0.0065	0.0046	0.0056	0.0074	0.0065	0.0074	0.0093
	Promedio	0.0028	0.0037	0.0056	0.0046	0.0056	0.0074	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102
	Máximo	0.0037	0.0046	0.0065	0.0056	0.0065	0.0083	0.0065	0.0074	0.0093	0.0083	0.0093	0.0111
Roca sedimentaria (o carbón)	Mínimo	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102	0.0083	0.0093	0.0111	0.0102	0.0111	0.0130
	Promedio	0.0102	0.0111	0.0130	0.0120	0.0130	0.0148	0.0130	0.0139	0.0157	0.0148	0.0157	0.0176
	Máximo	0.0130	0.0139	0.0157	0.0148	0.0157	0.0176	0.0157	0.0176	0.0185	0.0176	0.0185	0.0204
Con cuadros de madera	Mínimo	0.0148	0.0157	0.0176	0.0167	0.0176	0.0194	0.0176	0.0185	0.0204	0.0194	0.0204	0.0222
	Promedio	0.0176	0.0185	0.0204	0.0194	0.0204	0.0222	0.0204	0.0213	0.0231	0.0222	0.0231	0.0250
	Máximo	0.0194	0.0204	0.0222	0.0213	0.0222	0.0241	0.0222	0.0231	0.0250	0.0241	0.0250	0.0269
Roca Ígnea	Mínimo	0.0167	0.0176	0.0194	0.0185	0.0194	0.0213	0.0194	0.0204	0.0222	0.0213	0.0222	0.0241
	Promedio	0.0269	0.0278	0.0296	0.0287	0.0296	0.0306	0.0296	0.0306	0.0324	0.0315	0.0324	0.0361
	Máximo	0.0361	0.0370	0.0389	0.0380	0.0389	0.0407	0.0389	0.0398	0.0417	0.0407	0.0417	0.0435

Fuente: (Jiménez, 2011)

**Anexo N° 03:** Longitudes de Choque (Le).

La longitud de choque es la longitud que se debe adicionar a la longitud real debido al alineamiento no recto que sigue una determinada labor subterránea. Siendo la longitud real aquella que es medida en el terreno por medios y técnicas topográficas. De acuerdo a BSGrupo y Jiménez (2018), la Le y sus variantes se establecen en la siguiente figura:

Alineamiento de la labor		L (pies)	Le (m)	Formas visuales	
Curva obtusa	Redondeada	1	0.30		
	Quebrada	15	4.57		
Curva recta	Redondeada	1	0.30		
	Quebrada	69	21.03		
Curva aguda	Redondeada	3	0.91		
	Quebrada	150	45.72		
Contracción	Gradual	1	0.30		
	Abrupta	10	3.05		
Expansión	Gradual	1	0.30		
	Abrupta	20	6.10		
Bifurcación	Rama Lineal	30	9.14		
	Rama 90°	200	60.96		
Unión	Rama Lineal	30	9.14		
	Rama 90°	60	18.29		
Labor de acceso	Entrada	3	0.91		
	Salida	65	19.81		
Paso sobre nivel	Excelente	65	19.81		
	Malo	290	88.39		
Compuerta		70	21.34		
Obstrucción del área a un 20% de la sección		100	30.48		
Obstrucción del área a un 40% de la sección		500	152.40		



**Anexo N° 04:** Formato para el Mapeo de los Gases Viciados y Oxígeno en las Labores.

<b>COMERCIAL MINERA GOLD A&amp;C S.R.L.</b>	<b>MONITOREO DE GASES</b>  FP-ALP-SE-03.02-02	Area de Responsabilidad SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
		Version 02

Fecha: / /

LABOR	NIVEL	GUARDIA	HORA	CONCENTRADO DE GASES						OBSERVACIONES
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO2 ppm	H2S	% LEL	
<b>LABORES DE INTERIOR MINA</b>										
<b>SUPERFICIE</b>										

Oxigeno (O2): minimo 19.5 %  
 Monoxido de carbono (CO): maximo 29 mg/m3 o 25 ppm.  
 Dioxido de carbono (co2): maximo 9000 mg/m3 o 5000 ppm  
 Gases nitrosos (Nox): maximo 07 mg/m3 o 5 ppm  
 Hidrogeno sulfurado (h2s): maximo 14 mg/m3 o 10 ppm  
 Limite Inferior de Explosion de un gas (LEL%): concentracion minima requerida para que un gas se encienda

\_\_\_\_\_  
Firma del Monitoreador

Nombre: \_\_\_\_\_



### Anexo N° 05: Mapeo de los Gases Viciados y Oxígeno en las Labores.

<b>Unidad Minera ALPACAY - CIA MINERA YANAQUITHUA SAC</b>	<b>MONITOREO DE GASES</b>	Area de Responsabilidad SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
	FP-ALP-SE-03.02-02	Version 02

Fecha: 01/ 11 / 2019

LABOR	NIVEL	GUARDIA	HORA	CONCENTRADO DE GASES						OBSERVACIONES
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO2 ppm	H2S	% LEL	
<b>LABORES DE INTERIOR MINA</b>										
CX 540 W		Dia	08:15	20.9	10.3	385	1.2	3.2		
TJ 607		Dia	08:15	20.8	17.4	498	1.4	6.8		
NV 240		Dia	08:15	20.9	13.5	619	1.8	6.2		
<b>SUPERFICIE</b>										

Oxigeno (O2): minimo 19.5 %  
 Monoxido de carbono (CO): maximo 29 mg/m3 o 25 ppm.  
 Dioxido de carbono (co2): maximo 9000 mg/m3 o 5000 ppm  
 Gases nitrosos (Nox): maximo 07 mg/m3 o 5 ppm  
 Hidrogeno sulfurado (h2s): maximo 14 mg/m3 o 10 ppm  
 Limite Inferior de Explosion de un gas (LEL%): concentracion minima requerida para que un gas se encienda

Firma del Monitoreador

Nombre: WILLY WILMER, QUISPE ZAPATA

<b>Unidad Minera ALPACAY - CIA MINERA YANAQUITHUA SAC</b>	<b>MONITOREO DE GASES</b>	Area de Responsabilidad SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
	FP-ALP-SE-03.02-02	Version 02

Fecha: 02/ 11 / 2019

LABOR	NIVEL	GUARDIA	HORA	CONCENTRADO DE GASES						OBSERVACIONES
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO2 ppm	H2S	% LEL	
<b>LABORES DE INTERIOR MINA</b>										
GL 508 W	2220	Noche	20:15	20.2	45.4	816	2.1	2.1		
CX 365 W	2220	Noche	20:15	20.2	58.3	1129	1.9	2.5		
TJ 858	2220	Noche	20:15	20.5	28.6	901	1.5	1.4		
<b>SUPERFICIE</b>										

Oxigeno (O2): minimo 19.5 %  
 Monoxido de carbono (CO): maximo 29 mg/m3 o 25 ppm.  
 Dioxido de carbono (co2): maximo 9000 mg/m3 o 5000 ppm  
 Gases nitrosos (Nox): maximo 07 mg/m3 o 5 ppm  
 Hidrogeno sulfurado (h2s): maximo 14 mg/m3 o 10 ppm  
 Limite Inferior de Explosion de un gas (LEL%): concentracion minima requerida para que un gas se encienda

Firma del Monitoreador

Nombre: WILLY WILMER, QUISPE ZAPATA

<b>Unidad Minera ALPACAY - CIA MINERA YANAQUITHUA SAC</b>	<b>MONITOREO DE GASES</b>	Area de Responsabilidad SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
	FP-ALP-SE-03.02-02	Version 02

Fecha: 01/ 11 / 2019

LABOR	NIVEL	GUARDIA	HORA	CONCENTRADO DE GASES						OBSERVACIONES
				O2 %	CO ppm	CO2 ppm	NO2 ppm	H2S	% LEL	
<b>LABORES DE INTERIOR MINA</b>										
TJ 847	2360	Dia	08:15	20.5	36.5	1012	2.3	4.3		
TJ 842	2360	Dia	08:15	20.4	37.2	1117	2.2	5.8		
TJ 802	2360	Dia	08:15	20.1	45.9	1289	2.6	7.3		
<b>SUPERFICIE</b>										

Oxigeno (O2): minimo 19.5 %  
 Monoxido de carbono (CO): maximo 29 mg/m3 o 25 ppm.  
 Dioxido de carbono (co2): maximo 9000 mg/m3 o 5000 ppm  
 Gases nitrosos (Nox): maximo 07 mg/m3 o 5 ppm  
 Hidrogeno sulfurado (h2s): maximo 14 mg/m3 o 10 ppm  
 Limite Inferior de Explosion de un gas (LEL%): concentracion minima requerida para que un gas se encienda

Firma del Monitoreador

Nombre: WILLY WILMER, QUISPE ZAPATA





**Anexo N° 07:** Evaluación física de las labores para la elección del factor K.

		Departamentos de Planeamiento Mina					
		Formato para la Evaluación Visual del Estado de las Paredes					
Labor	ID Labor	Estado de las paredes		Plano de referencia	Forma de avance de la labor		
		ID	Clase		Tipo	N° Choques	Clase
		Nivel:	2220 y 2360	Fecha:	02/01/2019	Hora:	09:00 a.m.
2220	GL 620	EC	Regular	Zona Consuelo I	SD-O	4	OM + LIG
2220	CR 545 W-1	IR	Iregular	Zona Consuelo I	RL	0	U
2220	CH 700	EC	Regular	Zona Consuelo I	RL	0	U
2220	CR 620 E-1	IR	Iregular	Zona Consuelo I	RL	0	B
2360	CH 885	EC	Regular	Zona Consuelo I	RL	0	B + U
2360	CH 890	EC	Regular	Zona Consuelo I	RL	0	U x 2
2360	CR 509 S	IR	Irregular	Zona Consuelo I	RL	0	U
2360	GL 509 W	IR	Irregular	Zona Consuelo I	SD - O	5	LSA
<b>Descripción de la Calificación del Estado de las paredes</b>							
Sin o mínimo Sostentamiento	ID	Clase	Equivalente	<b>Estado mayoritario de las paredes &gt; 80% de la longitud total</b>			
	CS	Regular	Mínimo	Presenta revestimiento por shotcrete, desquinchado de las paredes y contornos regulares con muy pocas salientes.			
	IR	Irregular	Promedio	No hay revestimiento, desquinchado deficiente de las paredes, contornos irregulares con presencia de salientes.			
	MR	Muy irregular	Máximo	Desquinchado de las paredes pero con contornos muy irregulares, existe bastante presencia de salientes con varias sobreroturas.			
Con Sostentamiento	ID	Clase	Equivalente	<b>Estado mayoritario de las paredes &gt; 50% de la longitud total</b>			
	EC	Regular	Mínimo	Enmaderado completo y uniforme con cuadros de madera.			
	EI	Irregular	Promedio	Paredes de la labor entablado y relleno sin vacíos provenientes.			
	EM	Muy irregular	Máximo	Enmaderado parcial, medianamente uniforme. Paredes de la labor medianamente entablado y con/sin relleno.			
				Enmaderado irregular, intercalado y desalineado. Paredes con y sin entablado mínimo y sin relleno.			
<b>Descripción de la Forma de Avance de la Labor</b>							
Tipo	Variantes	ID	Detalle	Clase	Detalle		
Recto		RL	No posee variante en su dirección	OP	Obstrucción al 20%		
Sinuoso Quebrado	Agudo	SQ-A	Sí posee variante en su dirección	OM	Obstrucción al 40%		
	Recto	SQ-R		EXG	Expansión Gradual		
	Obtuso	SQ-O		EXA	Expansión Abrupta		
Sinuoso Redondeado	Agudo	SD-A	Sí posee variante en su dirección	B x n	Bifurcación en 90°		
	Recto	SD-R		U x n	Unión en 90°		
	Obtuso	SD-O		LSA	Labor de salida del aire		
				LIG	Labor de entrada del aire		

Nombre:	WILLY WILMER
Apellidos:	QUISPE ZAPATA
Cargo:	MONITOREADOR

Firma del Evaluador