

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex-Acopalca, Pasco 2018

Roly Walter Ricse Ramos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta investigación a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de ejecución de la tesis.

A mi madre quien con su amor, apoyo y comprensión incondicional estuvo siempre a lo largo de mi vida estudiantil; a ella que tuvo una palabra de aliento en los momentos más difíciles y que ha sido incentivo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A la Universidad Continental - Huancayo, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, que tanto me enorgullece y así también agradecer a los catedráticos quienes contribuyeron en mi formación profesional.

A mi madre, padre y profesores, que con su esfuerzo y sacrificio pudimos lograr el siguiente trabajo de investigación. Además, agradecer al ingeniero Julio Porras Mayta, que con su apoyo incondicional se logró dar inicio al presente proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice general.....	iv
Lista de tablas	viii
Lista de figuras	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.1 Formulación del problema	14
1.1.2 Problemas específicos	15
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.1 Objetivos específicos.....	15
1.3 Justificación	15
1.3.1 Justificación metodológica.....	15
1.3.2 Justificación social.....	16
1.4 Hipótesis y variables	16
1.4.1 Hipótesis general.....	16
1.4.2 Hipótesis específicas.....	16
1.4.3 Identificación de variables	16
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes del problema.....	17
2.2 Bases teóricas.....	19
2.2.1 La ventilación	19
2.2.2 Gases presentes en mina.....	20
2.2.3 Levantamiento de ventilación	25
2.2.4 Los trabajos de ventilación en interior de mina	26
2.2.5 Ventilación.....	27
2.2.6 Servicio de ventilación en la mina	28

2.2.7 Planos de ventilación.....	28
2.2.8 Registros de ventilación	29
2.2.9 Presión de ventilación	29
2.2.10 Ventilación en mina subterránea	29
2.2.11 Tipos de ventilación.....	30
2.2.12 Ventiladores en mina subterránea.....	31
2.2.13 Clasificación de ventiladores	31
2.2.14 Tipos de ventiladores	34
2.2.15 Leyes y reglas de los ventiladores.....	35
2.2.16 Reglas de los ventiladores	37
2.2.17 Selección de ventiladores.....	37
2.2.18 Redes de ventilación	39
2.2.19 Caída de presión o depresión del flujo de aire	45
2.2.20 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D. S. N.° 023-2017-em	48
2.2.21 Requerimiento de aire	51
2.3 Aspectos generales	54
2.3.1 Ubicación.....	54
2.3.2 Accesibilidad	54
2.3.3 Clima	54
2.3.4 Recursos hídricos.....	55
2.4 Geología.....	55
2.4.1 Geología regional	55
2.4.2 Geología histórica	56
2.4.3 Geomorfología.....	58
2.4.4 Estratigrafía	60
2.4.5 Geología estructural	73
2.4.6 Rocas ígneas	76
2.4.7 Geología económica.....	77
2.4.8 Mineralogía.....	79
2.4.9 Controles de mineralización	79
CAPÍTULO III	82
METODOLOGÍA	82
3.1 Métodos y alcances de la investigación	82

3.1.1 Método general.....	82
3.1.2 Tipo de investigación	82
3.1.3 Nivel de investigación	82
3.2 Diseño de investigación	82
3.3 Población y muestra.....	83
3.3.1 Población.....	83
3.3.2 Muestra	83
CAPÍTULO IV.....	84
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
4.1 Resultado del tratamiento y análisis de la información	84
4.1.1 Descripción general de la galería principal de la mina artesanal Aurex - Acopalca.....	84
4.1.2 Levantamiento de ventilación	84
4.1.3 Cálculo de las áreas de las estaciones	86
4.1.4 Cálculo del perímetro	87
4.1.5 Cálculo de la temperatura bulbo seco, bulbo húmedo, temperatura efectiva	88
4.1.6 Longitud de las labores entre estaciones	89
4.1.7 Longitud equivalente	89
4.1.8 Características de las labores	91
4.1.9 Tipos y concentración de contaminantes presentes en la mina	91
4.1.10 Caudal de aire requerido	93
4.1.11 Cálculo del caudal de aire en las diferentes estaciones	99
4.1.12 Balance de flujos	100
4.1.13 Caída de presión	100
4.1.14 Cálculo de la abertura u orificio equivalente.....	102
4.1.15 Cálculo del costo para la elaboración de chimeneas en la mina artesanal Aurex - Acopalca.....	102
4.1.16 Producción de mineral en la mina artesanal Aurex - Acopalca	105
4.1.17 . Producción de mineral durante la construcción de las chimeneas en la mina artesanal Aurex - Acopalca.....	105
4.1.18 Costos para la adquisición de ventiladores para los diferentes niveles de la mina artesanal Aurex - Acopalca	106
4.2 Discusión de resultados	111

4.2.1 De acuerdo al análisis de cálculo del caudal de aire para la ventilación de los niveles.....	111
Conclusiones.....	112
Lista de referencias.....	113
Anexos	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire seco	20
Tabla 2. Clasificación de gases.....	21
Tabla 3. Efectos del monóxido de carbono	21
Tabla 4. Efectos del sulfuro de hidrógeno	22
Tabla 5. Efectos del dióxido de nitrógeno	22
Tabla 6. Efectos del anhídrido sulfuroso	23
Tabla 7. Efectos del dióxido de carbono	24
Tabla 8. Tabla de factor de fricción de Hartman.....	46
Tabla 9. Accesibilidad a la mina artesanal Aurex	54
Tabla 10. Cálculo de las diferentes áreas	86
Tabla 11. Cálculo del perímetro	87
Tabla 12. Cálculo de la temperatura efectiva	89
Tabla 13. Longitud de las labores entre estaciones	89
Tabla 14. Cálculo de la longitud equivalente	91
Tabla 15. Características de las labores	91
Tabla 16. Nivel 4003.00	94
Tabla 17. Nivel 40015.00	94
Tabla 18. Nivel 40027.00	95
Tabla 19. Nivel 4043.00	95
Tabla 20. Requerimiento de aire total	99
Tabla 21. Cálculo del caudal de aire en las diferentes estaciones	100
Tabla 22. Balance de flujos	100
Tabla 23. K corregido	101
Tabla 24. Caída de presión	101
Tabla 25. Cálculo de la abertura	102
Tabla 26. Costo para la elaboración de las chimeneas.....	103
Tabla 27. Producción de mineral por guardia.....	105
Tabla 28. Producción de mineral por guardia en la construcción de chimeneas	105
Tabla 29. Programa de construcción de las chimeneas.....	105
Tabla 30. costo del ventilador axial nivel 4003.....	107
Tabla 31. Costo ventilador axial nivel 4015.....	108

Tabla 32. Costo mangas de ventilación nivel 4015	108
Tabla 33. Costo ventilador axial nivel 40027	108
Tabla 34. Costo mangas de ventilación nivel 40027	109
Tabla 35. Costo ventilador axial nivel 4043	109
Tabla 36. Costo mangas de ventilación nivel 4043	109
Tabla 37. Costo de energía eléctrica.....	110
Tabla 38. Tiempo efectivo de operación	110
Tabla 39. Costo energía eléctrica.....	110
Tabla 40. Costo horario del ventilador por niveles	111
Tabla 41. Costo por la construcción de chimenea.....	111
Tabla 42. Costo por año de la adquisición de ventiladores, accesorios y energía eléctrica	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Red de ventilación en serie.....	40
Figura 2. Red de ventilación en paralelo.....	41
Figura 3. Red de ventilación en diagonal.....	43
Figura 4. Red de ventilación central o bucle.....	43
Figura 5. Red de ventilación lateral.....	44
Figura 6. Red de ventilación ascendente-descendente.....	44
Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Chuchurras, Ulcumayo, Oxapampa y La Merced.....	62
Figura 8. Monograma para determinar la temperatura efectiva.....	88
Figura 9. Cargos equivalentes en pies.....	90

RESUMEN

La presente investigación se planteó para solucionar el problema general: ¿cuál es el diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018?, el objetivo consistió en: realizar el diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión de las labores de la galería principal, y la hipótesis a contrastar fue: el diseño del circuito de ventilación está en función de la cantidad de los gases, humo y polvo en suspensión para evacuar de las labores de la galería principal.

La investigación se desarrolló bajo el método científico de tipo aplicada, de nivel descriptivo correlacional, de diseño cuasiexperimental; la población de la investigación está conformada por labores pertenecientes a la mina artesanal Aurex y la muestra está constituida por la galería principal.

Como producto de la investigación se concluye que: para evacuar los gases se tienen dos alternativas: la primera consiste en integrar las labores mineras mediante chimeneas, y la segunda que cada labor adquiera un ventilador de 6000 CFM lo que involucra un costo horario en promedio de los cuatro niveles de 1.967 \$/h.

Palabras claves: circuito de ventilación, diseño de ventilación, evacuación de gases, humo, polvo

ABSTRACT

This research was proposed to solve the general problem: what is the design of the ventilation circuit to evacuate gases, smoke, and dust in suspension from the work of the main gallery in the Aurex - Acopalca artisanal mine, Pasco 2018? It consisted of designing the ventilation circuit to evacuate gases, smoke and dust in suspension from the work of the main gallery, and the hypothesis to be tested was: the design of the ventilation circuit is a function of the amount of gases, smoke and dust in suspension to evacuate from the work of the main gallery.

The research was developed under the applied scientific method, correlational descriptive level, quasi-experimental design; The research population is made up of works belonging to the Aurex artisanal mine and the sample is made up of the main gallery.

As a result of the research, it is concluded that: to evacuate the gases there are two alternatives: the first consists of integrating the mining tasks through chimneys, and the second that each task acquires a 6000 CFM fan, which involves an hourly cost on average of the four levels of \$ 1,967/h.

Keywords: dust, gas evacuation, smoke, ventilation circuit, ventilation design

INTRODUCCIÓN

La tesis “*Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018*” busca asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera permitiendo no solo la respiración de las personas que trabajan en su interior, sino también el funcionamiento de los equipos, ya que en ella se desprenden diferentes tipos de gases según el tipo de roca y la maquinaria utilizada. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes o explosivos, por lo que es necesario diluirlos rápida y eficazmente. El desarrollo de la investigación está plasmado en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

En el Capítulo I se expone al planteamiento del estudio, la formulación del problema, se plantean los objetivos, la justificación y las hipótesis.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico, a través de los antecedentes, las bases teóricas referidas al sustento de las leyes y su aplicación en la ventilación de minas y también se describe el aspecto general, así como la geología del lugar.

En el Capítulo III se describe la metodología, con los métodos y alcances de la investigación y el diseño, así como la población y muestra.

En el Capítulo IV se muestran los análisis y resultados de la investigación, los cuales se desarrollaron a través de diferentes procedimientos para concluir en resultados que benefician la investigación.

Finalmente, se detallan las conclusiones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

La meta, estrategias y acciones en las empresas mineras se basan en la identificación de los peligros, evaluación y control de riesgos, así como la introducción a los procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS), la mina Aurex - Acopalca, Pasco es considerada una mina subterránea artesanal, donde el sistema de ventilación utilizado es de modo natural, actualmente se tienen problemas de ventilación, y existe presencia de altas temperaturas en la galería principal debido a las operaciones que se vienen realizando, donde la ventilación no es adecuada para evacuar los gases, humo y polvos en suspensión, por lo tanto, el rendimiento de las operaciones no es el requerido, tampoco el desempeño de los trabajadores. En tal sentido, se hace necesario implementar un sistema de ventilación para abastecer un aire limpio en calidad y cantidad que vaya de acorde a las necesidades tomando en consideración al personal, equipos y tipo de explosivos que se viene utilizando.

1.1.1 Formulación del problema

¿Cuál es el diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los tipos de gases, humo y polvo en suspensión para evacuar de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018?
- b) ¿Cuál es caudal de aire limpio a suministrar para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018?
- c) ¿Cuál es el costo de la implementación del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar el diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Evaluar cuáles son los tipos de gases, humo y polvo en suspensión para evacuar de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.
- b) Calcular el caudal de aire fresco a suministrar para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.
- c) Estimar el costo de la implementación del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación metodológica

Para el desarrollo de la tesis se recopiló la información de muestreo de campo y gabinete en tablas elaboradas por el investigador, del mismo modo para el procesamiento se usó un software para diseñar el circuito que sirvió de base para otras investigaciones similares.

1.3.2 Justificación social

La tesis se justifica socialmente debido a que, por intermedio de esta investigación, se plantea una solución producto de la falta de un sistema de ventilación que afecta a la comunidad y empresa minera.

1.4 Hipótesis y variables

1.4.1 Hipótesis general

El diseño del circuito de ventilación está en función de la cantidad de los gases, humo y polvo en suspensión para evacuar de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.

1.4.2 Hipótesis específicas

- a) Los tipos de gases, humo y polvo en suspensión para evacuar de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018, está en función de las concentraciones.
- b) El caudal de aire limpio a suministrar para evacuar está en relación al volumen de gases, humo y polvo en suspensión de las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.
- c) Los costos de la implementación del circuito de ventilación influirán directamente en los costos de producción de la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco 2018.

1.4.3 Identificación de variables

1.4.3.1 Variable independiente

- ✓ **X₁**: Circuito de ventilación

Indicadores:

- Tipo y concentración de gases
- Caudal
- Costos

1.4.3.2 Variable dependiente

- ✓ **X₀**: Evacuar los gases, humo y polvo en suspensión

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En la tesis “*Modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera Cobriza zona norte (área Coris)*”, (1) se planteó el objetivo garantizar la continuidad operativa de la mina a largo plazo, modificando e implementando el diseño del sistema de ventilación. Llegando a las conclusiones que con el cambio de manga a mayor diámetro 40” se obtuvo mayor alcance del flujo de aire, a mayor diámetro de chimenea menor pérdida de presión, con el diámetro de 3 m se obtuvo menor capacidad de presión estática de ventilador 200,000 CFM, con ventiladores de mayor presión estática 10” H₂O a la altura de la mina cobriza se alcanzó mayor longitud de alcance del flujo de aire, los ventiladores principales como extractores determinan el circuito de ventilación principal, con el uso de mangas espiraladas de 48” de diámetro se evitó el enseriado de ventiladores auxiliares, con el cambio de reducción se evitó la pérdida de presión del ventilador, con el uso de cortina de faja se mejoró el flujo de aire hacia el Zig Zag 0-A5, se mejoró la ventilación de la cámara de mantenimiento mecánico niv. 10, con el uso de manga espiralada y ducto de manga de acuerdo al diámetro al ventilador. (1)

En la tesis “*Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas minera Hemco – Nicaragua*”, (2) se planteó el objetivo realizar una evaluación integral de la mina Hemco que conlleve al modelamiento del nuevo

diseño del sistema de ventilación, mediante el soporte del software Ventsim™, y permita mecanizar el sistema de extracción mediante el empleo de equipos diésel, sin que estos comprometan los niveles superiores de explotación. Revisar también los parámetros de minado, estandarizando las condiciones actuales y proyectadas, cumpliendo con las normas vigentes del estado de Nicaragua validado con las normas peruana y chilena. Las conclusiones obtenidas: diseñar un sistema de ventilación a través de un simulador es una técnica viable y confiable, evitando gastos innecesarios en equipos e infraestructura; observando que numerosas compañías realizan un planeamiento de minado sin tener en cuenta cómo van a ventilar sus operaciones, lo que ocasiona un elevado costo de reingeniería. Con el diseño propuesto Hemco deja de tener un sistema de ventilación a tiro natural con recirculación y déficit de aire, existiendo cambios de dirección del flujo durante el día y la noche; a un sistema de ventilación mecánico con flujos definidos, estableciendo dos ejes principales de extracción (zona convencional y mecanizada). (2)

En la tesis *“Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina ‘El Maracaibo’ municipio de Samacá, departamento de Boyacá”*, (3) se planteó el objetivo evaluar y proponer un nuevo flujo de aire, en la mina El Maracaibo. Llegando a las conclusiones de que se logró conocer e identificar las diferentes estructuras geológicas presentes en la zona de estudio; se logró evaluar la ventilación actual de la mina El Maracaibo, donde se encontraron algunos factores importantes que afectan la corriente de aire del circuito principal de ventilación, donde se registraron los caudales actuales de la mina y las condiciones climatológicas de esta. Lográndose detectar los diferentes puntos críticos del circuito de ventilación; la ventilación principal propuesta para la mina El Maracaibo busca diluir todos los gases que se generan en todos los procesos para llevarlos al valor límite permisible (VLP). Una adecuada ventilación mejora la calidad de la atmósfera minera y aumenta el rendimiento de los trabajadores; en una mina, el control de la atmósfera es el aspecto más vital de la operación, ya que influye en la salud de las personas y en la productividad, al entregar condiciones atmosféricas más confortables para el trabajo humano. En tal sentido con una adecuada ventilación se suministrará aire fresco y regulado a las labores subterráneas de la mina.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La ventilación

Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N.º 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya. Además, debe cumplir lo siguiente (1):

- a)** Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizar revisiones del nitrógeno, oxígeno y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento, al uso de explosivos y al uso de equipos con motores petroleros, las que deben ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor. (1)
- b)** En todas las labores subterráneas se debe mantener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de Hp de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5% de oxígeno. (1)
- c)** Las labores de entrada y salida de aire deben ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se debe dividir en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire fresco, evitando toda recirculación de aire. (1)
- d)** Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.
- e)** Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado. (1)
- f)** En labores que posean solo una vía de acceso y que tengan un avance de más de 60 m, es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a 60 m se deben emplear también ventiladores auxiliares

solo cuando las condiciones ambientales así lo exijan. En las labores de desarrollo y preparación se deben instalar mangas de ventilación a no más de 15 m del frente de disparo. (1)

- g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor con, por lo menos, 10 m de avance. (1)

2.2.2 Gases presentes en mina

a) Aire de mina

Durante su paso a través de la mina el aire atmosférico recoge los contaminantes producto de las operaciones mineras, entre ellos, algunos gases y vapores, el polvo en suspensión y el calor producido por las máquinas en funcionamiento, asimismo la presencia de personas, máquinas de combustión y materiales que se oxidan hace que el aire pierda parte de su oxígeno, al cual se denomina aire viciado. (2)

b) Composición del aire seco

Tabla 1.
Composición del aire seco

	% Volumen	% Peso
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Anhidrido carbónico	0.03	0.046
Argón y otros gases	0.93	1.284

Tomada de Sernageomin, zona sur, ventilación de minas, 2015. (5)

- ✓ **Oxígeno:** es un gas que en su estado normal es la fuente de la combustión y mantiene la vida. Es incoloro, inodoro e insípido. Es el elemento del aire que el hombre respira para poder subsistir. (2)
- ✓ **Deficiencia de oxígeno:** el hombre respira más fácilmente y trabaja mejor cuando el contenido de oxígeno se mantiene aproximadamente en 21%, cuando baja a 15%, los efectos serán respiración agitada, aceleración de los latidos del corazón, zumbido de los oídos y desvanecimiento. La pérdida de conocimiento vendrá cuando el contenido del oxígeno baja del 12%. (2)

c) Clasificación de gases

Tabla 2.

Clasificación de gases

Irritantes/Asfixiantes	sofocantes	explosivos/inflamables
Monóxido de carbono	nitrógeno	metano
Hidrógeno sulfurado	anhidrido carbónico	monóxido de carbono
Dióxido de hidrogeno (humos nitrosos)	metano	hidrógeno sulfurado
Anhidrido sulfuroso		

Tomada de Sernageomin, zona sur, ventilación de minas, 2015. (5)

- ✓ **Monóxido de carbono:** es el producto de la combustión incompleta de materiales orgánicos o carbonáceos. Se desprende del escape de motores de combustión interna. También se da por el uso de explosivos y tienen las siguientes características:

Fórmula: CO

Peso específico: 0.967

Límite explosivo: 12.5 a 74.2%

Límite máximo permisible: 25 ppm

Gas incoloro e inodoro (3)

Efectos en el organismo:

Tabla 3.

Efectos del monóxido de carbono

Ppm	Efectos en el organismo
50	Ningún efecto
100 a 300	Dolor de cabeza en 2 a 3 horas
500	Dolor de cabeza, vómitos, colapso (debilidad total en 45 minutos)
1000	Dolor de cabeza, dificultad para caminar
3000	Gran intoxicación, inmediatamente
10000	Síntomas anteriores en 3 minutos
20000	Muerte inmediata

Tomada de Ventilación de minas (6)

- ✓ **Hidrógeno sulfurado o sulfuro de hidrogeno:** se genera por la descomposición de la pirita, también por la descomposición de sustancias orgánicas y por realizar disparos en minerales que contienen azufre. Sus características son:

Fórmula: H₂S

Peso específico: 1.19

Límite explosivo: 4.3 a 45 %

Límites permisibles: 10 ppm

Gas incoloro, inflamable, olor a huevos podridos. (3)

Efectos en el organismo:

Tabla 4.

Efectos del sulfuro de hidrógeno

Ppm	Efectos en el Organismo
10	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición
500	Envenenamiento en 30 minutos
1000	Muerte inmediata

Tomada de Ventilación de minas (6)

- ✓ **Dióxido de nitrógeno (humos nitrosos):** se origina al detonar explosivos o dinamitas, se desprende del escape de equipos que funcionen a gasolina y diésel, y también se producen durante las operaciones de soldadura al arco y con gas.

Fórmula: NO₂ o N₂O₄

Peso específico: 1.54

Límites permisibles: 3 ppm

Gas color pardo rojizo a temperaturas sobre 23° C, picante y algo dulce.

Ordinariamente no presenta riesgo de incendio, pero puede hacerse inflamable en presencia de oxígeno puro. (3)

Efectos en el organismo:

Tabla 5.

Efectos del dióxido de nitrógeno

Ppm	Efectos en el Organismo
1 a 5	Ningún efecto
62	Inmediata irritación a la garganta y ojos
100	Cantidad mínima que causa tos inmediatamente
100 a 150	Peligro en 30 a 60 minutos
200 – 700	Fatal inmediatamente o en corta duración

Tomada de Ventilación de minas (6)

- ✓ **Anhídrido sulfuroso:** se genera por la combustión del azufre (pirita), por la combustión del carbono rico en azufre y también por realizar disparos en minerales con alto contenido de azufre de los que pueden desprenderse también H₂S Y CO.

Fórmula: SO₂

Peso específico: 2.2

Límites permisibles: 2 ppm

Gas incoloro, picante, irritante, sabor ácido y acentuado olor a azufre quemado.

(3)

Efectos en el organismo:

Tabla 6.
Efectos del anhídrido sulfuroso

Ppm	Efectos en el organismo
2	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición
10	Ataca a las mucosas
5000	Peligro de muerte inmediata

Tomada de Ventilación de minas (6)

- ✓ **Nitrógeno:** se encuentra en el aire en forma de amoníaco, y se genera por realizar disparos (debido a la ausencia del oxígeno del aire). En los lugares en que la ventilación es deficiente se produce una deficiencia de oxígeno.

Fórmula: N

Peso específico: 0.071

Gas incoloro, inodoro, físicamente inerte

Efectos en el organismo: fisiológicamente es un gas inerte a la presión atmosférica normal, pero puede producir efectos nocivos sobre el organismo al reducirse la presión parcial del oxígeno en los pulmones. Esto produce asfixia y causa la muerte por falta de oxígeno. En una proporción de (84%) en el aire denota la ausencia de oxígeno (16%) y se torna peligroso para la vida. (3)

- ✓ **Anhídrido carbónico o dióxido de carbono:** se produce por la respiración de las personas y animales (fundamentalmente en lugares confinados). Se genera producto de la combustión de sustancias carbonadas en presencia de

exceso de aire o de oxígeno. También se genera producto de los disparos que se realiza y por el escape de motores diésel que se usa en el interior de las minas.

Fórmula: CO₂

Peso específico: 1.529

Límites permisibles: 5000 ppm

Gas incoloro, inodoro, sabor ligeramente ácido

Forma parte del aire en una proporción de 0.03 a 0.06%. (3)

Efectos en el organismo:

Tabla 7.
Efectos del dióxido de carbono

Ppm	Efectos en el organismo
5000	Concentración máxima permisible para 8 horas de exposición
30000	Aumento de la cantidad de aire aspirado, fatiga, narcótico suave, disminución auditiva, aumento de presión arterial, irritante del sistema respiratorio y ojos.
50000	Asfixia en 30 minutos de exposición.
70000 a 100000	Inconciencia en pocos minutos. Paralización de la respiración, grave peligro de muerte

Tomada de Ventilación de minas (6)

✓ **Metano:** se desprende a través de las fisuras de los mantos de carbón. Se genera por la descomposición de la madera bajo el agua y también por la descomposición de materia orgánica.

Fórmula: CH₄

Peso específico: 0.555

Límite de explosividad: 5 al 15% en el aire

Gas incoloro, inodoro e insípido

Efectos en el organismo: es un asfixiante simple y actúa desplazando el oxígeno del aire. Cuando el aire contiene 25% de metano produce asfixia por deficiencia de oxígeno. (3)

2.2.3 Levantamiento de ventilación

Al realizar el levantamiento de ventilación se obtiene un diagnóstico de todos los circuitos de la mina, lo que está ligado muy estrechamente con el planeamiento de minado.

El sistema de ventilación involucra las mediciones de velocidad de aire, diferencia de presiones, temperaturas, dimensiones de los conductos en puntos estratégicos.

El estudio proporciona los datos para calcular cantidades de aire, diferencia de presión, densidad de aire y resistencia de los conductos, datos necesarios requeridos para cálculos numéricos. (3)

1. Elección del método de ventilación
2. Cálculo del volumen de aire necesario para satisfacer las necesidades de ventilación de la mina.
3. Distribución de aire por las diferentes secciones de la mina.
4. Cálculo de la depresión de ventilación natural y pueda actuar favorablemente con la ventilación mecánica.
5. Cálculo del costo de ventilación.

Al inicio del planeamiento de la ventilación está el trabajo de campo.

El trabajo de campo está de acuerdo al planeamiento de la ventilación llamado también mapeo de ventilación y el procedimiento que se sigue es:

- 1) Reconocimiento de la mina
- 2) Factores de ventilación
- 3) Mapeo del levantamiento de ventilación

Es un punto de inicio muy importante de conocimiento de la mina haciendo un recorrido por los diferentes conductos de aire, observando los lugares que necesitan ventilación, el sentido de flujo, los obstáculos que tiene que enfrentar

el aire en su recorrido, los lugares donde existen concentración de gases, polvos en la mina. (3)

Los factores de ventilación que se tienen en consideración son.

- El sentido del flujo de aire
- La velocidad del aire
- Área y perímetro de la sección
- Rugosidad de las paredes y los obstáculos que se presenten dentro del flujo
- Densidad del aire al nivel de la mina
- Temperatura
- Forma geométrica de las curvas, distancias de transporte de mineral, número de cortadas sin aire, número de equipos, calidad de la roca, longitud de labores, número de hombres trabajando.

El mapeo de ventilación es el levantamiento depresiométrico en toda la mina, las estaciones consideradas para realizar el mapeo es necesario mínimo con tres trabajadores, al final se realiza un balance de aire considerando un incremento del 25% para trabajos de ampliación de la mina y por factor de seguridad.

Se considera la cantidad de aire que ingresa con la cantidad de aire que necesita la mina y finalmente se evalúa el costo de ventilación para satisfacer los requerimientos actuales. (3)

2.2.4 Los trabajos de ventilación en interior de mina

- Aprovechamiento de los trabajos con suficiente cantidad de aire limpio.
- Dilución por aire y minimización de diversos gases explosivos y tóxicos de labores subterráneas.
- Disminución de la concentración y eliminación del polvo suspendido en el aire, considerando los límites permisibles.
- Disminución de la temperatura del aire en las labores profundas y húmedas en zonas calientes de la mina.

El cálculo del caudal del aire depende de:

- 1) La cantidad de gases que se desprenden por la voladura
- 2) La producción diaria de mineral en los tajos
- 3) El mayor número de personas que se encuentran simultáneamente en las labores subterráneas
- 4) El consumo de explosivos en los frentes de trabajo
- 5) La presencia del polvo

El volumen de aire calculado según el reglamento por obrero es casi siempre menor del volumen de aire, determinando según los gases y el polvo.

En resumen, la ventilación es dotar de aire limpio a todas las labores de trabajo en interior de mina, de acuerdo a las necesidades del personal, maquinarias y evacuar los gases, humos y polvos suspendidos que pudieran afectar la salud del trabajador. En todo sistema de ventilación la calidad de aire debe mantenerse dentro de los límites máximos permisibles (LMP). (4)

2.2.5 Ventilación

Ventilación es una ciencia de la ingeniería siendo sus objetivos fundamentales y propósito de proporcionar una calidad de aire óptimo para los equipos y trabajador en interior de mina. (5)

En una operación minera es importante la ventilación subterránea, porque se logra controlar monitoreando los agentes químicos, físicos presentes, reduciendo las concentraciones de acuerdo a los límites máximo-permisibles, cumpliendo el reglamento de minería. (5)

En una mina, el control de la atmósfera es el aspecto más vital de la operación, ya que influye en la salud de las personas y en la productividad, al entregar condiciones atmosféricas más confortables para el trabajo humano. En tal sentido con una adecuada ventilación se suministrará aire fresco y regulado a las labores subterráneas de la mina y deberá ajustarse para:

- a) Proveer de aire fresco a los trabajadores en interior de mina de acuerdo a los estándares enmarcados en las normativas vigentes.
- b) Suministrar y diluir los gases, humos y polvos en suspensión evacuando hacia la superficie para lograr un ambiente dentro de los límites permisibles para el trabajo.
- c) Disminuir las temperaturas altas en las labores de profundización de la mina.
- d) Proporcionar el volumen de aire para los equipos diésel e instalaciones subterráneas. (5)

2.2.6 Servicio de ventilación en la mina

La obligación básica del área de ventilación consiste en proveer a las labores un caudal de aire conforme a las exigencias de la producción y el reglamento de seguridad y salud ocupacional.

- 1) Control sistemático del estado de la ventilación de abastecimiento de todos los frentes de trabajo con la cantidad necesaria de aire.
- 2) Preparación y conservación al día de los planos 3D y proyectos de ventilación
- 3) Mantenimiento de un registro de ventilación
- 4) Construcción de las instalaciones de ventilación (puertas, tabiques, cortinas tapones, etc.), su control y reparación
- 5) Vigilancia constante de los ventiladores
- 6) Control sistemático en las pérdidas de aire
- 7) Abastecimiento oportuno de la mina con materiales y maquinarias de ventilación (3)

2.2.7 Planos de ventilación

Los planos de ventilación se elaboran en base a los planos topográficos de labores mineras en escala: 1/500, 1/1000, 1/2000 para cada nivel separado. En los planos de ventilación se colocan los caudales y la dirección de movimiento del aire, la posición de todas las construcciones de ventilación (puertas, tabique, etc.), la ubicación de ventiladores principales y auxiliares con sus características, la ubicación de las cámaras de refugio, la corriente entrante y saliente se indica con azul y rojo respectivamente. (3)

El plano de ventilación se actualiza cada vez que sea necesario o cuando existan cambios.

Cualquier cambio en el caudal y la dirección de la corriente de aire se marca en el plano de ventilación en forma inmediata al salir de la mina. (3)

2.2.8 Registros de ventilación

El área de ventilación es el responsable de los siguientes registros de ventilación:

- a) Libro de ventilación, donde se escriben los resultados de las mediciones y análisis del aire.
- b) Registro de monitoreo en forma diaria en las pizarras acrílicas ubicadas en el ingreso de los frentes de trabajo. (3)

2.2.9 Presión de ventilación

Es necesario algún tipo de presión para causar el flujo de aire de dos puntos en un circuito de aire en interior de mina.

El ventilador tiene como objetivo producir presión mecánica en algún punto del circuito y la presión atmosférica o barométrica ejerce influencia en el flujo de aire en interior mina. (3)

La suma algebraica de la presión mecánica y presión atmosférica normal de ventilación es la presión de ventilación de la mina.

Si la presión de la mina o ducto es inferior a la atmosférica u otra presión básica el sistema es negativo o extractora, si ocurre lo inverso el sistema es positivo o impelente. (3)

2.2.10 Ventilación en mina subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la mina el aire necesario que dependerá del número de trabajadores, la extensión y sección de las labores, el tipo de

maquinaria de combustión interna y la emanación de gases naturales de la mina.
(5)

Toda mina subterránea deberá disponer de circuitos de ventilación, natural o mecánica para mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado. (3)

2.2.11 Tipos de ventilación

Se clasifica en ventilación natural y ventilación mecánica:

a) Ventilación natural

Es el flujo natural de aire que ingresa al interior de una labor sin necesidad de alguna fuerza mecánica externa. Para que se dé este movimiento tiene que existir una diferencia de altura entre las bocaminas de entrada y salida. En realidad, más importante que la profundidad de la mina es el intercambio termodinámico que se produce entre la superficie y el interior. La energía térmica agregada al sistema se transforma a energía de presión, susceptible de producir un flujo de aire. (6)

Por tanto, la ventilación natural se debe a la diferencia del peso específico del aire entrante y saliente. Esto proviene principalmente de la diferencia de temperatura, en menor grado la diferencia de presión, y todavía tiene menor influencia la variación de humedad y su composición. (6)

En minas profundas, la dirección y el movimiento del flujo de aire se producen debido a la diferencia de presiones, entre la entrada y salida. Diferencia de temperaturas durante las estaciones. El calentamiento progresivo del aire origina que esta circule a través de las labores subterráneas. El fenómeno es análogo al que se produce en una chimenea donde el aire caliente desplaza al aire frío que se encuentra por encima de esta. (6)

✓ **El caudal del aire:** es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones. El movimiento de aire se produce cuando

existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (6)

b) Ventilación mecánica

La ventilación mecánica o ventilación forzada son aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general. (6)

La ventilación mecánica o ventilación forzada es la ventilación en la que las diferencias de presiones son creadas por dispositivos mecánicos accionados por energía eléctrica, aire comprimido, máquinas de combustión interna, etc.

En minería, cuando la ventilación natural no es capaz de cumplir con las exigencias de caudal y velocidad suficientes, se utiliza la ventilación mecánica sea con ventiladores principales, secundarios o auxiliares. (6)

2.2.12 Ventiladores en mina subterránea

Un ventilador es una máquina rotatoria que expulsa aire en forma continua. Las partes principales que componen un ventilador y que afectan sus propiedades aerodinámicas son:

- **Hélice:** el ángulo de las hélices es la parte más importante en el diseño.
- **Impulsor:** que es la parte del ventilador que al rotar imparte energía cinética al aire, este es el diámetro del ventilador.
- **Carcaza:** que es estacionaria y que guía el aire hacia y desde el impulsor transformando energía cinética a estática.

2.2.13 Clasificación de ventiladores

Se clasifica en ventiladores centrífugos y ventiladores axiales.

a) Ventiladores centrífugos

Características: el aire ingresa por un canal de aspiración concéntrico con el eje que gira a gran velocidad denominado rotor, que está provisto de álabes solidarios con el mismo. El fluido circula entre los álabes hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que la entrada y gira 90° para ser evacuado por un difusor. (3)

La salida del fluido se recoge en una carcasa en espiral denominada voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a dicha voluta.

El rendimiento de estos ventiladores es limitado debido a la rotación en 90° de dirección, no importando el sentido de giro del rotor; este cambio provoca pérdidas de energía debido al choque y a los remolinos que se forman.

En estos ventiladores se generan mayores flujos de aire y por lo mismo altas presiones que en otro tipo, por lo que son designados también como turbopropulsores.

Los ventiladores centrífugos pueden trabajar con tres tipos de álabes (paletas perfiladas):

- Curvados hacia delante
- Radiales
- Curvados hacia atrás

Existiendo álabes de doble curvatura para grandes potencias (sobre 100 Hp). A velocidad y RPM iguales, las ruedas con álabes curvados hacia delante producen mayor presión del flujo de aire.

Las ruedas con álabes curvados hacia atrás son de mejor rendimiento y por ello se usan mayormente en minas “estrechas”.

Las paletas radiales tienen la ventaja de no ser influidas por el sentido de la rotación.

Existen ventiladores de una a más ruedas de paletas (múltiples etapas).
(3)

Componentes: consta de una rueda de álabes (rotor o impulsor) que gira alrededor de su eje por acción de un motor y toma el aire del canal de aspiración que se encuentra a lo largo de su eje girando 90°, todos ellos ubicados dentro de una caja o carcasa.

Este aire sale por el difusor (que reduce la alta velocidad del aire saliente disminuyendo las pérdidas de presión por choque). (3)

b) Ventiladores axiales

Características: en estos ventiladores axiales, el aire ingresa y sigue la dirección del eje del rotor para luego ser descargado en dirección axial (a lo largo del eje). El rotor tiene dos o más álabes instalados en ángulo hacia el eje. En este tipo de ventiladores el sentido del flujo de aire se invierte al invertir el sentido de rotación de los álabes.

La energía rotacional impartida al aire por la rueda de álabes deberá ser convertida en energía axial mediante las paletas directrices, ya sea a la entrada o a la salida del ventilador.

El volumen de aire es función del ángulo de incidencia de las paletas; por tal razón, la mayoría de los ventiladores axiales tienen álabes de giro graduable para cubrir diferentes requerimientos de volumen y presión con un mismo modelo.

Su montaje es sencillo, sea en el piso sobre una base de concreto, o en altura a través de taladros, alambre o cable de acero y cuñas.

Existen de varios tipos, como el axial de propela (hélice) o aspas que se usa con descarga libre, generalmente en oficinas; de aspas con aplicaciones industriales, con descarga libre, especialmente utilizados en planta concentradoras como extractores y el axial tubular que es apropiado para

conectar a conductos donde hay limitaciones de espacio y usado mayormente en minería. (3)

Componentes: cuentan con un tubo cilíndrico (carcasa), un eje en el centro (rueda) donde van montadas las hélices o alabes o paletas; también cuentan con una corona directriz con aletas directrices y difusor.

Para aminorar la resistencia al flujo de aire cuenta con un casco o carenado. (3)

Pérdidas: las pérdidas en ventiladores axiales se producen:

- 1) En la rueda, por resistencia de los perfiles de las paletas, y en el espacio anular
- 2) A la salida de la rueda por desviación
- 3) En el difusor, por transformación de la energía
- 4) Por pérdidas mecánicas (3)

Regulación del régimen de trabajo de ventiladores axiales: la regulación puede realizarse mediante:

- 1) Rotación de las paletas de la rueda
- 2) Rotación de las paletas de la corona directriz
- 3) Cambio de RPM
- 4) Cambio de número de paletas de la rueda
- 5) Cambio de número de ruedas (3)

2.2.14 Tipos de ventiladores

Los ventiladores pueden trabajar como aspirante o como impelente por su utilización, los ventiladores se dividen en:

a) Ventiladores principales: aquellos que introducen o extraen el aire que circula por interior de mina; son de gran capacidad y potencia y trabajan las 24 horas. Se encuentran instalados en los conductos principales (uno o más) y son accionados por corriente eléctrica. (3)

b) Ventiladores secundarios: aquellos que refuerzan el trabajo de los ventiladores principales haciendo circular el íntegro del aire en el circuito. Son ventiladores de capacidad y potencia media y trabajan en forma permanente, instalados sobre base de concreto o colgados en el techo y con ductos acoplados. Estos ventiladores suplementan la presión del sistema principal, venciendo la resistencia de algunos ramales críticos; es aspirante/impelente. (3)

c) Ventiladores auxiliares: son aquellos que toman el aire de la red principal de ventilación introduciendo a las labores que cuentan con una sola vía de acceso. Son de pequeña capacidad y pequeño diámetro y de instalación sencilla, accionados por aire comprimido o electricidad y requieren el uso de conductos de lona enjebada, entre otros. Recircula el aire si no es instalado convenientemente. (3)

2.2.15 Leyes y reglas de los ventiladores

Los ventiladores se rigen por leyes que relacionan: volumen, presión, potencia, y eficiencia con los cambios en los siguientes factores:

La velocidad del ventilador (RPM)

El tamaño del ventilador (diámetro)

Densidad del aire (3)

a) Primera ley: si cambiamos la velocidad del ventilador y permanecen constante su tamaño y la densidad del aire:

1. Los volúmenes del aire son directamente proporcionales a las velocidades.

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{RPM1}{RPM2}$$

2. Las presiones (h) son directamente proporcional al cuadrado de las velocidades.

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{V1^2}{V2^2}$$

3. Las potencias (Hp) son proporcionales al cubo de las velocidades.

$$\frac{BHP1}{BHP2} = \frac{V1^3}{V2^3}$$

4. Las eficiencias mecánicas (n) son independientes de las velocidades. (3)

$$n1 = n2$$

b) Segunda ley: si cambiamos el tamaño del ventilador (diámetro) y permanecen constante su velocidad y la densidad del aire.

1. Los volúmenes (Q) de aire son proporcionales al cuadrado de sus diámetros.

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{D1^2}{D2^2}$$

2. Las presiones son independientes de los diámetros.

$$H1 = H2$$

3. Las potencias son proporcionales al cuadrado de sus diámetros.

$$\frac{BHP1}{BHP2} = \frac{D1^2}{D2^2}$$

4. Las eficiencias son independientes de los diámetros. (3)

$$n_1 = n_2$$

c) **Tercera ley:** si cambiamos la densidad del aire y permanecen constante las velocidades y los diámetros. Los volúmenes del aire son independientes.

$$Q_1 = Q_2$$

1. Las presiones son directamente proporcionales a las densidades.

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

2. Las potencias son directamente proporcionales a las densidades.

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

3.- Las eficiencias son independientes de las densidades. (3)

$$n_1 = n_2$$

2.2.16 Reglas de los ventiladores

Las reglas más importantes son:

1. La presión es directamente proporcional al perímetro.
2. La presión requerida es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y el volumen.
3. La presión requerida es directamente proporcional a la longitud.
4. La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o el volumen. (3)

2.2.17 Selección de ventiladores

Para seleccionar un ventilador y sus mangas de ventilación que se ajusten a los requerimientos reales es necesario efectuar los siguientes cálculos:

- a) **Requerimientos de aire fresco en la labor:** se considera el personal, equipos diésel autorizados y de ser necesario, dilución de contaminantes. (3)
- b) **Sección del ventilador:** la relación de área ducto/área labor, empíricamente oscila en 1:20. (3)
- c) **Presión de fricción:** la presión requerida para circular un determinado volumen de aire a través de una manga de ventilación, basado en un coeficiente de fricción $k = 20 * 10^{-10}$. Se halla utilizando el nomograma gráfico de presión de fricción para mangas de ventilación. (3)
- d) **Velocidad del flujo de aire:** la velocidad requerida para hacer circular un determinado volumen de aire a través de la manga. Se halla utilizando el nomograma anterior. (3)
- e) **Potencia efectiva:** la potencia efectiva (BHP) requerida por el ventilador se halla en base a la fórmula:

$$\text{BHP} = (\text{HL} * \text{Q}) / (6350 * e)$$

Donde:

BHP = potencia efectiva del ventilador; caballos de fuerza

HL = caída de presión total del flujo de aire; pulgadas de agua

Q = caudal de aire circulante; pie³/min

6350 = constante

e = eficiencia mecánica del ventilador; oscila entre 0.7 a 0.95

Normalmente se considera 0.90

Esta potencia efectiva hallada para la cota de trabajo deberá ser corregida al nivel del mar, que será la potencia de placa requerida por el ventilador. Para el caso, se incrementará 10% por cada 1,000 metros de altura con respecto al nivel del mar. (3)

- f) **Consumo de energía eléctrica:** es muy importante conocer el consumo de energía eléctrica de los ventiladores. Se halla aplicando la siguiente fórmula eléctrica:

$$\text{E} = \text{Potencia} * \text{Tiempo}$$

Donde:

E = consumo de energía eléctrica por hora; kWh

Potencia = fuerza eléctrica absorbida por el motor; kW

$$P = (\sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi * e) / 1000$$

V = voltaje o tensión; V (viene inscrita en la placa del motor)

I = amperaje, intensidad de electricidad que pasa por el conductor, dividida por el tiempo; Amperaje (viene inscrita en la placa del motor) (3)

Cos φ = parámetro eléctrico; generalmente es igual a 0.87

e = eficiencia del motor; 0.75 a 0.95; generalmente es 0.8

Tiempo = relacionado a una hora de trabajo (3)

2.2.18 Redes de ventilación

Se clasifican en:

a) En serie

Aquellas en las que las labores mineras no se bifurcan o ramifican, conformando un ramal (uno a continuación de otro) por donde la corriente de aire recorre progresivamente, o cuando el aire de retorno de uno de los ramales (conducto) circula hacia la toma de otro ramal (conducto) contiguo. (3)

Las leyes que gobiernan este tipo de red en serie son:

- La presión total (P_t) del circuito está dada por la suma de las presiones parciales de cada ramal o galería.

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

- La resistencia total (R_t) del circuito está dada por la suma de las resistencias parciales de los ramales o galerías. $R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- El caudal total (Q_t) de aire es igual al caudal parcial de cada ramal.

$$Q_t = Q_1 = Q_2$$

- La depresión total o caída de presión total (H_t) del circuito conectado en serie será igual a la suma de las depresiones de cada galería.

$$H_t = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Cuantas más galerías se hallen conectadas en serie, tanto más difícil es su ventilación. (3)

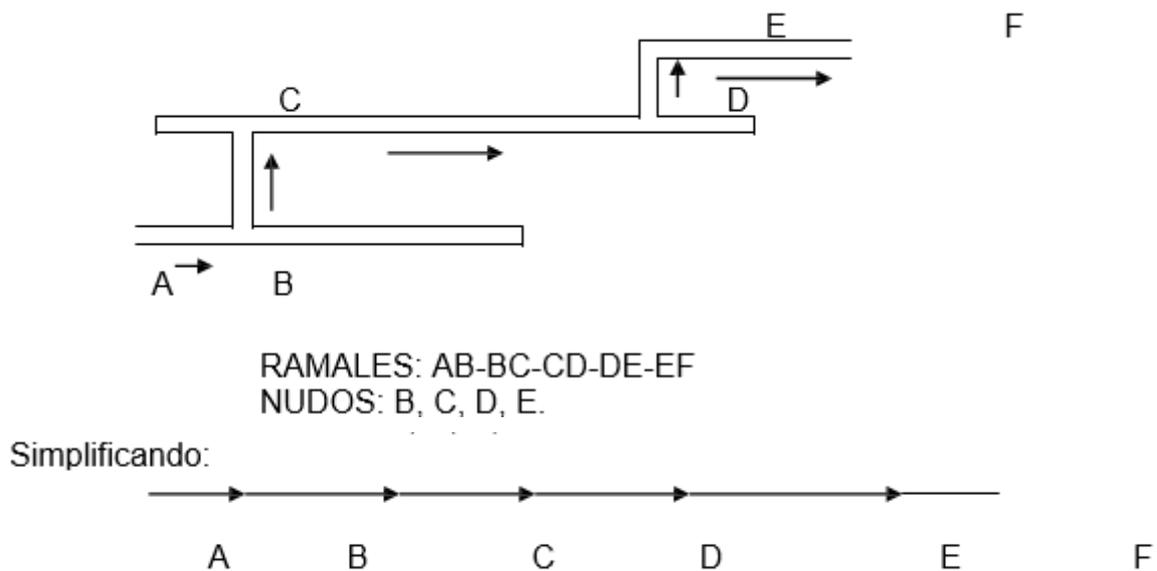
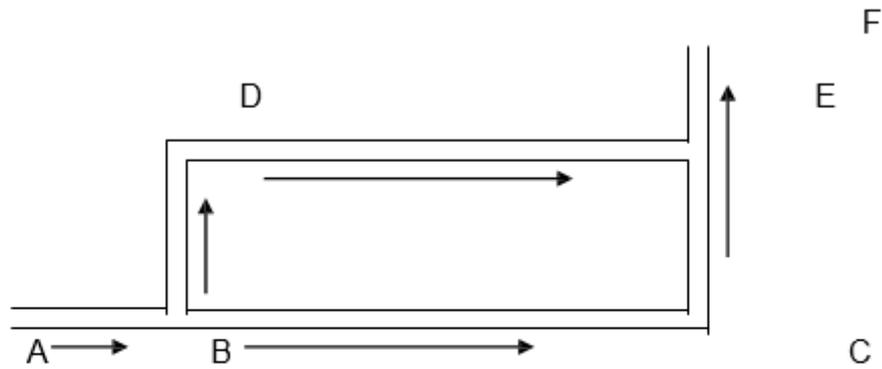


Figura 1. Red de ventilación en serie. Tomada de Ventilación de minas (3)

b) En paralelo

Se dice que un conducto de ventilación está verdaderamente en paralelo cuando cuentan con la misma entrada (suministro de aire a una misma área) y con el mismo retorno (extrae aire de la misma fuente). (3)

Las galerías o ramales se ramifican en un punto y se juntan en otro punto común, ramificándose y volviéndose a unir la corriente de aire. (3)



RAMALES: AB, BC, CE, BD, DE y EF.
 NUDOS: B, D, C y E

Simplificando:

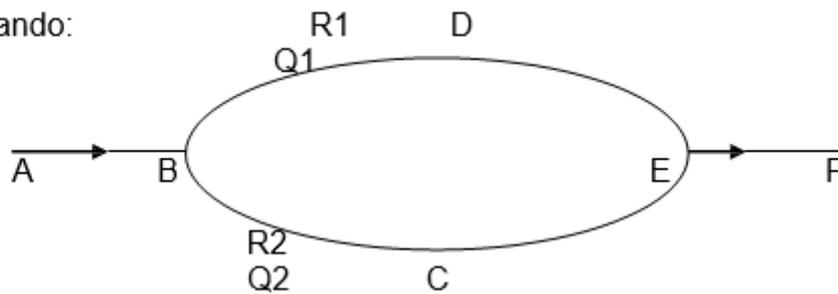


Figura 2. Red de ventilación en paralelo. Tomada de Ventilación de minas (3)

La propiedad de las corrientes paralelas es la igualdad de depresiones de cada ramal independientemente de su longitud, resistencia y caudal de aire.

$$P_t = P_1 = P_2 = \dots = P_n$$

$$HL = HL_1 = HL_2 = \dots = HL_n$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

$$(1/\sqrt{R_t}) = (1/\sqrt{R_1}) + (1/\sqrt{R_2}) + \dots + (1/\sqrt{R_n})$$

R_t es siempre menor que cualquiera de las resistencias individuales que contenga el circuito.

Cuanto mayor sea el número de ramales conectados en paralelo entre dos nudos, menor será la resistencia equivalente (la que tiene que vencer el aire para circular a través de los ramales) que existirá entre ellos. (3)

c) Combinada o mixta

Es el nombre que se da a todo circuito, desde que el aire fresco ingresa hasta que es evacuado. Esto significa que puede estar constituido por diferentes circuitos independientes y cada circuito por diferentes tipos.

La depresión total de la mina (HL) se determina después de haberse calculado el caudal de aire necesario y su distribución por las labores.

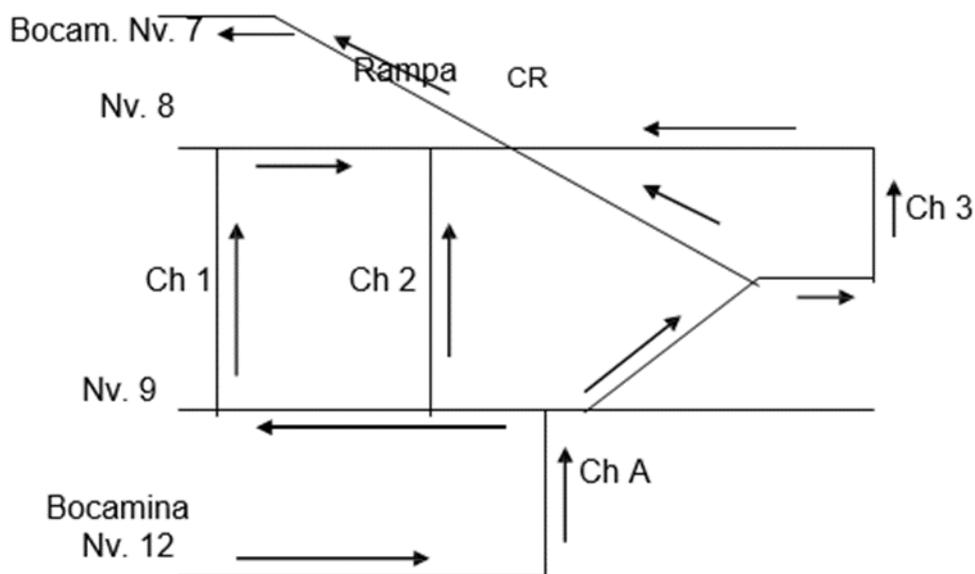
La máxima depresión hallada en uno de los ramales se adopta como la depresión de la mina. (3)

d) En diagonal

Aquella en que dos ramales conectados en paralelo están unidos entre sí por una o varias labores complementarias denominadas diagonales.

Sus propiedades son:

- Igualdad de depresiones de las corrientes principales entre los puntos de bifurcación y de unión.
- Reversibilidad de la corriente en la diagonal. (3)



Simplificando:

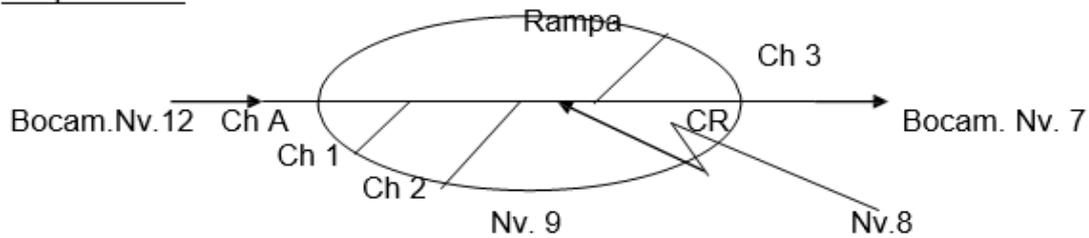


Figura 3. Red de ventilación en diagonal. Tomada de Ventilación de minas (3)

De acuerdo a las resistencias de las galerías, el aire puede moverse por la galería diagonal en una dirección u opuestamente o no ingresar por ella. La resistencia de la diagonal no influye sobre el sentido del movimiento del aire. (3)

e) Central o bucle

De acuerdo a la ubicación de los conductos de ingreso y salida del aire, en este caso, se hallan situados en el punto medio y a poca distancia uno del otro. Existe mayor depresión por el extenso recorrido del aire por los ramales. (3)

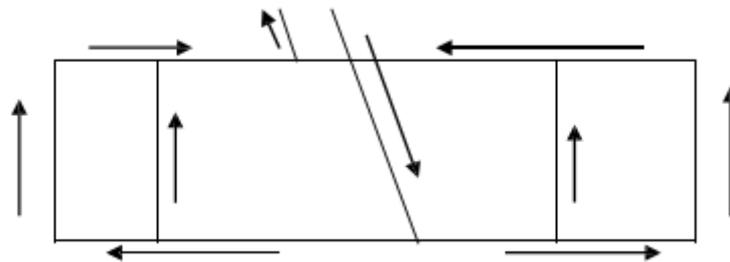


Figura 4. Red de ventilación central o bucle. Tomada de Ventilación de minas (3)

Un derrumbe producirá serios problemas de ventilación. Es propio de minas pequeñas.

f) Lateral

El ducto de ingreso de aire fresco está ubicado en el punto medio de las evacuaciones en los flancos. La depresión es menor por el corto recorrido del flujo de aire. Es propio de minas grandes. (3)

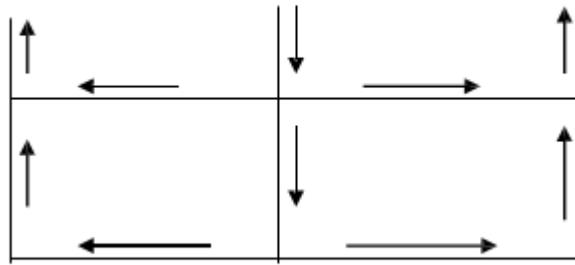


Figura 5. Red de ventilación lateral. Tomada de Ventilación de minas (3)

g) Ascendente - descendente

La ventilación ascendente es favorecida por la tendencia natural del aire que al conectarse o cargarse de gases ligeros, trata de subir por las labores debido al tiro natural. Normalmente la corriente de aire es dirigida de modo que en las labores se mueva de abajo hacia arriba; sin embargo, se utiliza la ventilación descendente para introducir aire fresco, transformándose finalmente en ascendente. (3)

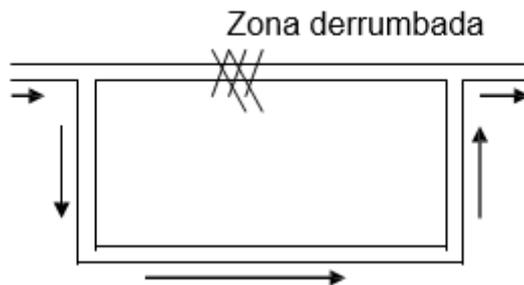


Figura 6. Red de ventilación ascendente-descendente. Tomada de Ventilación de minas (3)

h) Aspirante - impelente (o soplante)

Dado que la mayor parte de las minas en el país son de gran longitud y las labores de explotación se encuentran distanciadas unas de otras y cuentan con numerosas comunicaciones a superficie, requieren de gran volumen de aire, se aplica este tipo combinado y simultáneo. El ingreso y evacuación es gracias a ventiladores principales o por tipo natural, y el movimiento en interior de mina es gracias a ventiladores secundarios y auxiliares y aún por tipo natural. Requiere de puertas, cortinas, *bypass*, compuertas, tapones, ductos, etc. (3)

2.2.19 Caída de presión o depresión del flujo de aire

La pérdida de energía que experimenta el flujo de aire al circular por estas labores se debe principalmente a las siguientes causas.

- 1) La fricción de las partículas de aire con las paredes de los ductos, siendo mayor cuanto más irregular sea la superficie.
- 2) El choque de aire contra los obstáculos existentes en los conductos (curvas, contracciones, expansiones, uniones, bifurcaciones, obstáculos, etc.) (3)

a) Fórmula de Atkinson

Para calcular la caída de presión se utilizó la fórmula de Atkinson:

$$HL = (K * p * (L + Le) * Q^2) / 5.2 * A^3; \text{pulgadas de agua}$$

Donde:

HL= caída de presión

K= coeficiente de fricción

P= perímetro; pie

L= longitud; pie

Le= longitud equivalente; pie

Q= caudal de aire; pie³/min

A= área transversal del ducto; pie²

Para calcular la constante K se utiliza la Tabla Factor de Fricción de Hartman. (3)

Tabla 8. Tabla de factor de fricción de Hartman

FACTOR DE FRICCIÓN K PARA LABORES MINERAS HOWARD L. HARTAMN

TIPO DE LABOR	IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE DE ALIMENTACION	RECTA			LEVE			SINUOSIDAD O CURVATURA					
		LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	MODERADA			EN ALTO GRADO		
								LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA
Revestida, Superficie Suave	Minimo	10	15	25	20	25	35	20	25	40	35	40	50
	Promedio	15	20	30	25	30	40	25	30	45	40	45	55
	Maximo	20	25	35	30	35	45	30	45	50	45	50	60
Roca Sedimentaria	Minimo	30	35	45	40	45	55	40	45	60	55	60	70
	Promedio	55	60	70	65	70	80	65	70	85	80	85	95
	Maximo	70	75	85	80	85	95	80	85	100	95	100	110
Enmaderada Cuadros de 5 Pies	Minimo	80	85	95	90	95	105	90	95	110	105	110	120
	Promedio	95	100	110	105	110	120	105	110	125	120	125	135
	Maximo	105	110	120	115	120	130	115	120	135	130	135	145
Roca Ignea	Minimo	90	95	105	100	105	115	100	105	120	115	120	130
	Promedio	145	150	160	155	160	165	155	160	175	170	175	195
	Maximo	195	200	210	205	210	220	205	210	225	220	225	235

Fuente: Hartman H., L (1991), Mine Ventilation and Air Conditioning, Editorial A Wiley Interscience Publication, New York, USA.

Para Tuberías de Ventilación:

	Nueva	Usada
Acero	15	20
Yute, lona y PVC	20	25
Lona revestida de jebe	23	28

Factor de Fricción:

$$K \cdot 10^{-10}$$

Tomada de Ventilación de minas (6)

b) Resistencia equivalente

Cualquiera sea la forma como estén conectados los diversos ramales que constituyen la red de ventilación en una mina, siempre será posible reducir todo el circuito a una resistencia equivalente, que será la que tiene que vencer el aire para circular a través de todas las labores existentes. (3)

Si el caudal de aire circula a través de la mina es Q y la pérdida de presión que experimenta entre el punto de ingreso y el de salida es HL, la resistencia equivalente R de la mina será:

$$R = HL/Q^2$$

c) Abertura u orificio equivalente

Se llama así a un orificio redondo imaginario "Am" practicado en una pared delgada que cubre un conducto, a través del cual puede pasar el mismo caudal de aire que circula por el conducto debido a la diferencia de presiones existentes a ambos lados de dicha pared. La abertura equivalente caracteriza claramente las minas respecto al grado de dificultad (estrecha) o facilidad (abierta) de su ventilación. Cuanto menor sea la resistencia equivalente de la mina, mayor será su orificio equivalente y, por lo tanto, será más fácil de ventilarla. Cuanto más amplias sean las excavaciones que constituyen el circuito de ventilación y cuantas más conexiones en paralelo se tenga, mayor será la abertura equivalente de la mina y menor su resistencia equivalente. (3)

Esta abertura equivalente permanece invariable para los volúmenes y depresiones existentes en tanto no varíen ni el circuito de ventilación ni las labores. Se halla según Daniel Murgue:

$$Am = 0.0004 * \frac{Q}{\sqrt{HL}}; \text{pie}^2$$

Donde:

Q = caudal de aire, CFM

HL = caída de presión; pulgadas de agua (3)

2.2.20 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D. S. N.° 023-2017-em

Título cuarto. Subcapítulo VIII- Ventilación

Artículos: 246, 247, 248, 252, 253, 254, 255, 256.

Artículo 248. En ningún caso la velocidad del aire será menor de 20 m/min ni superior a 250 m/min en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25 m/min. (1)

Artículo 252. Se deben efectuar evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan conexiones de labores y cambios en los circuitos de aire. Dichas evaluaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia de ventilación. Asimismo, se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. La evaluación integral de ventilación debe considerar:

- a) Ubicación de estaciones de control de ventilación
- b) Circuitos de aire de la mina
- c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el 10%.
- d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero, debe considerarse el aire requerido para diluir los gases de las voladuras de acuerdo al Anexo 38. (1)

La madera empleada al interior de la mina para labores de sostenimiento, entre otras, genera emisiones de gases de CO₂ y CH₄, factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina. Este factor se determina de manera proporcional a la producción. Para el cálculo debe considerarse la siguiente escala:

- Si el consumo de madera es del 20% hasta el 40% del total de la producción, el factor de producción debe ser de 0.60 m³/min.
- Si el consumo de madera es del 41% hasta el 70% del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.00 m³/min.
- Si el consumo de madera es mayor al 70% del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.25 m³/min.

Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24 °C hasta 29 °C como máximo. (1)

- e) El requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de tres m³/min, por la capacidad efectiva de potencia (Hp) y en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo a la evaluación realizada por la titular de actividad minera que considere también la altitud, el calor de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión.
- f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.
- g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.
- h) Mediciones de oxígeno, dióxido de carbono, gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.
- i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.
- j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.
- k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, tapones y otros.

Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se deben hacer con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad. (1)

Artículo 253. Está terminantemente prohibido el ingreso de vehículos con motores de combustión a gasolina a minas subterráneas. (1)

Artículo 254. En las labores mineras subterráneas donde operan equipos con motores petroleros deben adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- a)** Los equipos deben estar diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo sean las mínimas técnicamente posibles y las concentraciones en el ambiente de trabajo se encuentren siempre por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos los que se encuentran detallados en el Anexo 15 del presente reglamento. Para la toma de muestras debe darse cumplimiento a las disposiciones aprobadas por la autoridad de salud, Decreto Supremo N.º 015-2005-SA, sus normas complementarias y sustitutorias. (1)
- b)** La cantidad de aire circulante debe asegurar que las emisiones de gases en sus escapes no superen las concentraciones indicadas en los literales c), d) y e) subsiguientes. (1)
- c)** Monitorear y registrar semanalmente las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el escape de los equipos operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de quinientos (500) partes por millón (ppm) de CO. (1)
- d)** Monitorear y registrar semanalmente concentraciones de dióxido de nitrógeno en el escape de las máquinas operando en interior de mina, no debiendo superar cien partes por millón (ppm) de NO₂. (1)
- e)** Las operaciones de los equipos petroleros se deben suspender, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea, en los siguientes casos:
 - 1.** Cuando las concentraciones de monóxido de carbono (CO) o gases de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el ambiente de trabajo se encuentren por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos establecidos en el Anexo 15 del presente reglamento. (1)
 - 2.** Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de 500 ppm de monóxido de carbono o de 100 ppm de dióxido de nitrógeno, medidos en las labores subterráneas donde desarrollen sus actividades. (1)
- f)** Establecer y ejecutar programas mensuales de mantenimiento preventivo de los equipos, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, para reducir las emisiones de gases y material particulado (hollín) de los motores petroleros. (1)

Artículo 255. En toda mina subterránea, donde se utilicen explosivos y equipos con motores petroleros, el titular de actividad minera debe proveer a sus trabajadores el respirador de autorrescate para su protección contra gases de monóxido de carbono, en función a la evaluación de riesgo de los trabajos a realizarse. Estos respiradores son utilizados por los trabajadores solo en casos de emergencia individual o colectiva cuando estos gases pongan en riesgo inminente su vida, para salir de la mina o para ubicarse en una zona de aire fresco. Estos respiradores deben estar fabricados para una protección mínima de 30 minutos. (1)

Artículo 256. En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- a) Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.
- b) Clausurar las labores por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases y señalarlos para evitar el ingreso de personas. (1)

2.2.21 Requerimiento de aire

Quando en la operación se utilice equipos con motor petrolero, debe ser calculada de acuerdo al artículo 252 del reglamento literal d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. (1)

a) Caudal requerido por el número de trabajadores

Según el artículo 247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, Decreto Supremo N.º 023-2017-em. Se tiene que:

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 m s. n. m., la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³ /min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

1. De 1500 a 3000 m s. n. m. aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min
2. De 3000 a 4000 m s. n. m. aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
3. Sobre los 4000 m s. n. m. aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min

Fórmula:

$$Q_{tr} = F * N \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

Q_{tr} = caudal total para “n” trabajadores (m³/min);

F = caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;

N = número de trabajadores de la guardia más numerosa. (1)

b) Caudal requerido por el consumo de madera

$$Q_{tr} = T * U(m^3/min)$$

Donde:

Q_{tr} = caudal requerido por toneladas de producción (m³/min)

U = factor de producción, de acuerdo a la escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

T = producción en toneladas métricas húmedas por guardia. (1)

c) Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo

$$Q_{te} = Vm * A * N \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

Q_{te} = caudal por temperatura (m³/min)

A = área promedio de labores (m²);

Vm = velocidad mínima (m/min);

N = número de niveles con temperatura mayor a 23 °C, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento. (1)

d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero

$$Q_{eq} = 3 * HP * Dm * Fu \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

Q_{eq} = volumen necesario para la ventilación (m^3/min)

HP = capacidad efectiva de potencia (Hp);

Dm = disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%).

Fu = factor de utilización promedio de los equipos. (%) (1)

e) Caudal requerido por fugas

$$Q_{fu} = 15\% * Q_{t1} \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

$$Q_{t1} = Q_{tr} + Q_{te} + Q_{ma} + Q_{eq}$$

f) Requerimiento de aire total

$$Q_{to} = Q_{t1} + Q_{fu}$$

Donde:

Q_{to} = caudal total para la operación

Q_{t1} = la sumatoria de caudal requerido por a) el número de trabajadores, b) el consumo de madera, c) temperatura en las labores de trabajo, d) equipos con motor petrolero

Q_{fu} = 15% del Q_{t1} (1)

2.3 Aspectos generales

2.3.1 Ubicación

La mina artesanal Aurex se encuentra ubicada en la parte oriental de la provincia de Pasco; en el centro poblado de Acopalca, distrito de Paucartambo, departamento de Cerro de Pasco (se encuentra dentro del cuadrángulo 22-I, Ulcumayo), a 96 km de Cerro de Pasco, con una altura de 4,003 m s. n. m., sus coordenadas geográficas son:

Latitud sur 10°00' – 11°00'

Longitud oeste 75°00' – 76°00'

2.3.2 Accesibilidad

Es accesible mediante la carretera Lima - La Oroya, La Oroya - Carhuamayo, Carhuamayo - Paucartambo, Paucartambo - centro poblado Acopalca, centro poblado Acopalca - mina artesanal Aurex, con el siguiente itinerario:

Tabla 9.
Accesibilidad a la mina artesanal Aurex

Ciudad	Longitud	Tipo de vía
Lima - La Oroya	183.5 km	Carretera asfaltada
La Oroya - Carhuamayo	85.4 km	Carretera asfaltada
Carhuamayo - Paucartambo	59 km	Trocha carrozable
Paucartambo- centro poblado Acopalca	9 km	Trocha carrozable
Centro Poblado Acopalca - mina artesanal Aurex	3 km	Trocha carrozable

2.3.3 Clima

De acuerdo a la clasificación climática realizada por Koopen, los tipos de climas que se reconocen dentro del área tenemos un clima frío boreal -seco en invierno (DWb), con temperatura media superior a 10 °C, por lo menos durante 4 meses, con un período de sequía bien marcado. Como este tipo climático depende de la altura, aparece en el mapa no en una forma cerrada, sino siguiendo las ramificaciones orográficas, reconocidas en las hojas de Ulcumayo.
(7)

A pesar del tipo de clima de esta región se desarrolla la agricultura mediante el cultivo del maíz, papas y otros tubérculos, así como también la presencia de especies más significativas que son el quinal (*Polylepis*

racemosa), sauce (*Sambucus Peruviana*), taure silvestre (*Luyinus Sp*), taure cultivado (*Lupinus mutabilis*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y la cañihua (*Chempodium Paledicaule*). También se da la actividad de la crianza de llamas y alpacas para las cuales encuentra aquí óptimas condiciones, también la fauna lo conforman roedores como la vizcacha. (7)

2.3.4 Recursos hídricos

La red hidrográfica que discurre en el cuadrángulo de Ulcumayo forma parte de las cuencas hidrográficas del río Perené y a su vez conforma al sistema hidrográfico de la cuenca del Amazonas y se tienen los siguientes ríos:

- a) Río Paucartambo:** tiene sus nacientes en el flanco occidental de los nevados de Huaguruncho, Tarata, etc. y lagunas como Huangush, Pachapata, Luychococha, Chalhua, Jaico, etc. Sus aguas discurren sobre el relieve cordillerano, llegando a fluir con pendiente pronunciada por la ladera cordillerana para formar posteriormente el río Huachón que recorre con dirección Este - Oeste y desemboca en el río Quiparacra. Este río confluye con el Paucartambo, desembocando este último sus aguas en el río Perené (hoja de Oxapampa). (7)
- b) Río Ulcumayo:** el río Ulcumayo tiene sus nacientes en la parte SO del cuadrángulo de Ulcumayo correspondientes a las lagunas: Garbanzo Cancha, Yanacocha, Ahauscancha, Pucacocha, Cimacocha, etc., que parte del distrito del mismo nombre siguiendo una dirección de Oeste a Este. Tiene pendiente pronunciada las que forma caídas de agua y valles simétricos encañonados con intensa erosión de fondo. Este río ingresa por la parte SO del cuadrángulo de Oxapampa y continúa por la parte NE de la hoja de La Merced, tomando el nombre de río Oxabamba a partir de la desembocadura del río Casca. El río Oxabamba se une con el río Palea y Tulumayo formando el río Chanchamayo. (7)

2.4 Geología

2.4.1 Geología regional

En su estructura se expone una variedad de unidades litológicas, tanto sedimentarias, ígneas, metamórficas y depósitos superficiales, con una edad

que varía desde el Neoproterozoico hasta el cuaternario reciente. Estratigráficamente se han diferenciado unidades geológicas cuyas edades comprenden rocas del Neoproterozoico (rocas metamórficas del complejo Marañón y Maraynioc), Paleozoico (familia Contaya, grupo Excélsior, grupo Ambo, grupo Tarma, grupo Copacabana, grupo Mitú), Mesozoico (triásico jurásico-superior: grupo Pucará, grupo Gollarisquizga), cenozoico (grupo Huayabamba y los depósitos del cuaternario). (7)

Los principales rasgos estructurales, se describen como zonas estructurales que representan en conjunto bloques levantados y hundidos, acortamiento de la cobertura sedimentaria (fallas inversas), deformación y plegamiento; disminuyendo de intensidad este último hacia el oriente, observándose sus rasgos mejor definidos y completos en las rocas mesozoicas, cuyas estructuras se han formado durante las fases incaica y quechua. (7)

2.4.2 Geología histórica

En el presente capítulo se resumen los eventos geológicos que se produjeron en el cuadrángulo de Ulcumayo, desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario reciente. (7)

A fines del Neoproterozoico, 600 ±50 m. a. Dalmayrac et al. (1988) se produce un evento orogénico continental con características de metamorfismo policíclico; que afectó a secuencias pelítico- samíticas y vulcanoclásticas que dieron lugar a micaesquistos y génesis del complejo de Maraynioc. (7)

Durante los cambios, los terrenos formados en el Proterozoico terminal fueron erosionados intensamente, formándose extensas planicies. Se asume que en el Eo-Ordoviciano se formaron cuencas con características de geosinclinales; sedimentándose litofacies de lutitas y pizarras negras con contenido de graptolites (formación Contaya). Del Neo-Ordoviciano hasta el Siluro - Devoniano continuó la sedimentación con facies clástico-pelíticas (grupo Excélsior). Con la fase Eoherciniana las rocas del Eopaleozoico fueron deformadas, metamorizadas, levantadas y erosionadas, produciéndose un evento de regresión en el Eocarbonífero. (7)

En el intervalo del Neocarbonífero al Paleopermiano se producen esfuerzos distintivos, formándose cuencas epicontinentales marinas donde se acumularon las areniscas y calizas de los grupos Tarma y Copacabana. Seguidamente hubo una etapa importante de magmatismo alcalino, en la cual se emplazaron plutones en la Cordillera Oriental y Faja Subandina. La secuencia litológica formada en el Paleozoico fue afectada por la fase Tardiherciniana, ocasionando deformación y levantamiento; dando lugar a la sedimentación de las capas rojas continentales del grupo Mitú que duró del Neopermiano al Paleotriásico. Con la fase Tardiherciniana se produce la configuración morfoestructural de la Cordillera Oriental, desarrollándose los prototipos de las "Cuencas Andinas". (7)

En el Neotriásico se produce la subsidencia asimétrica del continente, originando un mar abierto con facies sedimentarias de plataforma, lagos y barras; formándose en dicho mar las calizas del grupo Pucará; continuando la sedimentación hasta el Paleojurásico. La sedimentación marina carbonatada se extendió desde el domo de Yauli hasta la zona Subandina, cambiando a litofacies elásticas hacia la proximidad del cratón brasileño (llano Amazónico). (7)

Durante el Mesoneojurásico, el ciclo sedimentario marino fue interrumpido por una fase tectónica mayormente epirogénica (fase Nevadiana), seguida por la erosión de rocas preexistentes, acumulándose los sedimentos continentales de la formación Sarayaquillo.

La configuración paleogeográfica que controló la sedimentación en el Cretáceo; corresponde a bloques hundidos y levantados que individualizaron las cuencas, siendo para Myers (1980) paralelo al Cratón Brasileño; no debiéndose descartar la orientación opuesta, si se analiza desde el punto de vista de la evolución de los fallamientos transversales en el territorio. Sobre estas cuencas se sedimentaron secuencias silíceo-elásticas (grupo Oriente), las calizas de la formación Chonta y las areniscas cuarzosas de la formación Vivian. (7)

Durante el Neocretáceo y Paleocenoico se produjo el levantamiento relacionado al ciclo andino; que dio como resultado el retiro de los mares, erosión

y sedimentación de las "Capas Rojas" del grupo Huayabamba. En el Eoceno, se desarrolló la mayor deformación compresiva de la Tectónica Andina (fase incaica) deformándose cada una de las cuencas; teniendo como controlados los paleorrelieves originalmente formados. (7)

Durante el Neógeno se produce un evento vulcano-clástico (formación Lantorache) rellorando el relieve plutónico que aflora en la Cordillera Oriental. En la faja Subandina culminaba la sedimentación de las pelitas rojas de la formación Chambira en mares residuales a lacustrinos. En este lapso se desarrolló la fase Quechua de la Tectónica Andina. Existen pequeños afloramientos de rocas plutónicas que se han emplazado como consecuencia postectónica de las fases de deformación incaica y quechua. (7)

En el intervalo Pliopleistoceno prosiguió la fase de compresión (fase Pliocénica) reactivando fallas antiguas, levantando considerablemente la Cordillera Oriental y produciendo, además, un acortamiento en la cobertura terrestre (fallas inversas). Esta tectónica se encuentra representada por los depósitos de pie de monte de la formación La Merced. Durante el Cuaternario se desarrollan procesos erosivos de glaciación en la región cordillerana, disectación de los valles con acumulación de depósitos aluvionales, glaciofluviales y fluviales. En la actualidad continúa el proceso de surgencia de la cordillera de los Andes. (7)

2.4.3 Geomorfología

En el área materia del presente estudio se han diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas tomando como base los criterios geográficos y morfaestructurales. (7)

1) Relieve cordillerano

Morfología que se halla distribuida en la Cordillera Oriental; ubicada en la parte Oeste del cuadrángulo de Ulcumayo con una extensión aproximada de 1200 km² y hacia los vértices SO y SE del cuadrángulo de La Merced, abarcando un área aproximada de 750 km². Sus altitudes se encuentran comprendidas sobre los 4,000 m s. n. m., llegando hasta los 5723 m en el área de los nevados.

La característica principal de esta unidad es presentar una morfología bastante abrupta afectada por una intensa erosión glaciaria, con presencia de lagunas y valles glaciales cuyo fondo amplio es en forma de U; sobre la cual se acumulan depósitos morrénicos y glaciofluviales. (7)

2) Ladera cordillerana

Unidad geomorfológica que se encuentra al pie del relieve cordillerano, formando parte de las estribaciones de la Cordillera Oriental. Sus desniveles se encuentran desde los 2500 m hasta los 4000 m s. n. m. Conforman la ruptura de pendiente entre la cordillera y el fondo de valle, con flancos pronunciados a moderados (pendiente 25°- 30°) cortado por valles encañonados que ocasionan una intensa erosión de fondo. Estas laderas comúnmente se encuentran disectadas y sus ríos llegan a tener pendientes de 40-50 m/km hacia las proximidades de la cordillera, descendiendo a 10 m/km hacia la zona Subandina. (7)

3) Ladera de valle subandino

Se encuentra ubicada paralela a los ríos Tulumayo, Chanchamayo, Paucartambo y Perené; con desniveles comprendidos entre los 2500 a 500 m s. n. m. Morfológicamente se caracteriza por presentar pendientes moderadas a pronunciadas. En el río Perené se observan laderas de pendiente suave circundado por colinas bajas. Las laderas de los ríos Paucartambo, Tulumayo y Chanchamayo son de pendiente pronunciada, siendo en algunos casos sus flancos subverticales y escarpados. Se encuentra interrumpido por numerosas quebradas pequeñas de régimen hidráulico elevado. (7)

4) Valles

Unidad geomorfológica que se ha desarrollado a través de los ríos que recorren el relieve cordillerano y Subandino, con desniveles que se encuentran comprendidos entre los 600 y 3900 m s. n. m. Morfológicamente tenemos dos tipos de valles: glaciales y fluviales. Los valles glaciales (nacientes de los ríos Ulcumayo, Paucartambo y Huachón) poseen una ladera con pendiente suave y fondo cóncavo, presentando acumulaciones de depósitos fluvio-glaciales. Sus nacientes se dan en los nevados y pequeñas lagunas, drenando sus aguas hacia

los valles fluviales. Los valles fluviales presentan relieves con pendientes fuertes, generando en algunas zonas valles encañonados (río Paucartambo), simétricos (río Tulumayo) y de fondo amplio con presencia de meandros como los ríos Perené y Palcazu. (7)

Otras geoformas

Nevados: geoforma formada por la acumulación de nieves perpetuas en las cumbres cordilleranas, cuyas altitudes sobrepasan los 4800 m s. n. m. Los principales nevados se agrupan en la hoja de Ulcumayo, destacándose los nevados de Ulcumayo (4800 m), Añilcocha (5073 m), Yanacocha (5138 m), Huaguruncho (5304 m) y Tarata (5723 m). (7)

2.4.4 Estratigrafía

En el presente estudio se han cartografiado y descrito las unidades antes mencionadas; tomando como base la nomenclatura estratigráfica empleada por la Carta Geológica Nacional, fundamentada en la Guía Estratigráfica Internacional (1982), el Código Estratigráfico de Norteamérica (1983) y otras variantes de clasificación litoestratigráfica. (7)

La unidad más antigua que aflora en el área corresponde al Complejo Metamórfico de Maraynioc; constituido por micaesquistos y gneis que se han formado durante el Neoproterozoico. Sobre el complejo metamórfico se encuentran las pizarras con gran presencia de fauna de la Formación Contaya (Ordoviciano), y las filitas, pizarras y cuarcitas del grupo Excélsior (Siluro-Devoniano). El Paleozoico superior se encuentra representado por la secuencia continental del grupo Ambo y las rocas elásticas – carbonatadas de los grupos Tarma y Copacabana. Las molasas del grupo Mitú pasan en transición gradacional a calizas y dolomías del grupo Pucará. (7)

La cobertura sedimentaria mesozoica se inicia con la secuencia carbonatada del grupo Pucará que se ha sedimentado durante el Noriano a Pliensbachiano; la cual infrayace a rocas continentales de la formación Sarayaquillo. El paso de las areniscas arcósicas de la formación Sarayaquillo a las areniscas cuarzosas del grupo Oriente (Cretáceo inferior) corresponde

también a una transición gradacional. Sobre la secuencia silíceo-elástica sobreyacen las calizas de la formación Chonta (Cretáceo inferior- superior), encontrándose cubierta por las areniscas de la formación Vivían. (7)

El grupo Huayabamba conformado por sedimentitas continentales, representa el paso cronoestratigráfico del Cretáceo al Cenozoico. Hacia el borde de la Cordillera Oriental afloran rocas vulcanoclásticas que han sido cartografiadas como la formación Lantorache (Neógeno). En la zona Subandina las sedimentitas del Cretáceo superior- Paleógeno, se hallan cubiertas en discordancia por las pelitas rojas de la formación Chambira (Neógeno) y los depósitos fluvio-aluvionales de la formación La Merced (Plioceno-Pleistoceno). (7)

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	COLUMNA	GRUOSOR EN M.	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Fluviales		± 250	Conglomerados de bordura redondeadas con horizontes de gravas y arenas.	
			Dep. Lacustrinos			Limos y arcillas con abundante contenido de materia orgánica.	
			Dep. Aluviales			Gravas y conglomerados polimicticos mal clasificados en una matriz arcillo-arenosa.	
			Dep. Glaciofluviales			Conglomerados subredondeados, gravas subángulosas de fraccionometría variada.	
	NEOGENO	PLOCENO	MIOCENO	Fm. La Merced		± 260	Gravas subangulosas litológicamente heterogenea envuelta en una matriz limo arenosa.
				Fm. Lantorache			Conglomerados polimicticos con niveles de areniscas de grano grueso y lodolitas
	PALEOGENO	EOCENO	PALOCENO	Fm. Huayabamba		± 200	Limoarcillitas rojas intercaladas con lodolitas y delgadas capas de calizas. (Fm. Chambira)
				Fm. Vivian			Traquitas porfiriticas gris violáceo, riocacitas porfiriticas y sedimentos volcánicos. (Fm. Lantorache)
	MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Huayabamba		± 1200	Areniscas arcósicas rojizas, calcarenitas moradas, calizas gris, lodolitas y limoarcillitas de coloración a morado a verdoso.
				Fm. Chonta			Areniscas cuarzosas blanquesinas de grano grueso a conglomerádico y areniscas cuarzosas de grano fino.
Gpo. Oriente					calizas silicificadas con restos fósiles intercalados con limoarcillitas carbonosas, calizas micriticas gris claras a amarillentas, limoarcillitas verdes y niveles de areniscas rojizas.		
JURASICO		SUPERIOR	Fm. Sarayaquillo		± 600	Conglomerados, areniscas cuarzosas conglomerádicas, a grano grueso de color violeta a morado claro y gris verdoso en estratos tabulares con estratificación sesgada; intercalado con areniscas cuarzosas blanquesinas.	
				Fm. Condorsinga			Areniscas conglomerádicas rojizas, areniscas arcósicas de grano medio a grueso y lodolitas rojas con limoarcillitas finamente estratificadas de color marrón rojizo con niveles de evaporitas.
TRIASICO		SUPERIOR	Gpo. Pucará	Fm. Aramachay		± 300 ± 700	Intercalaciones de calizas dolomíticas con presencia de macrofósiles, calizas bioturbadas, areniscas y limolitas calcáreas.
				Fm. Chamberá			Calizas negras bituminosas y arcillosa con intercalaciones de peilitas negras que abundante contienen materia organica.
				Fm. Chamberá			Dolomias y calizas intracásticas laminares, limolitas calcáreas, dolomicritas, calizas onérricas y micriticas gris oscuras.
PALEOZOICO		PERMIANO	SUPERIOR	Gpo. Mitu		± 1300 ± 2500	Conglomerados, areniscas y limoarcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclástitas de color verde violado.
				Gpo. Copacabana			Calizas micriticas gris oscuras en capas tabulares recristalizadas y silicificadas, intercaladas con niveles pelíticos pizarrosos y calcarenitas gris parduzca.
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Gpo. Tarma		± 150	Lulitas y areniscas gris oscuras, intercalandose cuarcitas, areniscas glauconíticas y calizas de color gris.	
				Gpo. Ambo			Areniscas de grano fino gris verdosa, areniscas conglomerádicas y limoarcillitas negras pizarrosas con restos de plantas mal conservadas y algunos horizontes de carbón.
	DEVONIANO	SUPERIOR	Gpo. Excelsior		± 700	Pizarras con disyunción tipo "lápicos" intercalada con areniscas pizarrosas y cuarcitas de grano fino gris en estratos tabulares.	
				Fm. Contaya			Pizarras negras foliadas con abundantes contenido de graptolites.
	NEOPROTEROZOICO			Complejo de Maraynioc		± 500	Micasquistos gris claros, de textura granoblástica a lepidoblástica, gneis y esquistos micáceos con abundantes cristales de cuarzo a manera de cristales helicíticos.

Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Chuchurras, Ulicumayo, Oxapampa y La Merced. Tomada del Boletín N.º 78-Ingemet (7)

Los depósitos de cobertura reciente se encuentran conformados por sedimentos morrénicos, fluvio-glaciares, aluvionales, lacustrinos y fluviales.

1) Complejo de Maraynioc

Corresponden a las rocas más antiguas que afloran en el área estudiada, constituidas por esquistos, micaesquistos y en menor proporción gneis, anfibolitas y migmatitas las cuales forman parte de un gran complejo estructural, inicialmente descritas por Harrison (1951) y Heim (1956) llamándola "Complejo de Comas". Posteriormente, Paredes (1972) y Megard (1973) la consideran como rocas preordovicianas. El Complejo Maraynioc corresponde a un macizo estructural que se encuentra a manera de una franja continua con dirección NO-SE, encontrándose afectada y limitada por fallas normales (fallamientos en bloques) que han condicionado la morfoestructura de la Cordillera Oriental. (7)

Los afloramientos del complejo de Maraynioc-Marañón recorren transversalmente el cuadrángulo de La Merced (NO-SE), reconociéndolo a través de los ríos Tambillo, Surichaca y Curimarca; comunidades de Maraynioc, Luichos y Palea, prolongándose hacia las hojas de Jauja y Tarma. En el río Curimarca camino a Uchubamba (La Merced), afloran micaesquistos de color gris a gris claro, de textura granoblástica a lepidoblástica. Vista una muestra al microscopio se observa metamorfismo en los minerales de cuarzo y muscovita, quedando relictos de biotita y presentando el cuarzo de extinción ondulante. La composición mineralógica señala que contiene cuarzo (35%), sericita (38%), muscovita (8%), cloritas (6%), ortopiroxenos (1 %) y plagioclasas (2%). Afloramientos similares se reconocen en el río Tambillo, próximo al caserío Pensamiento, las que han sido descritas como esquistos de cuarzo-biotita, con composición mineralógica semejante a la anterior. (7)

Entre las comunidades andinas de Maraynioc y Luichos afloran gneis y esquistos micáceos con abundantes lentejuelas de cuarzo a manera de cristales helicíticos involucrados en una superficie plegada, a la vez afectada por una foliación posterior. (7)

En el río Huachón, a 10 km al NO del pueblo del mismo nombre, afloran metamorfitas correspondientes a esquistos de color gris con tonalidad verdosa, observándose ausencia de gneis. Una muestra tomada en el río Huachón ha sido descrita como milonita de cuarzo-mica-plagioclasas (laboratorio de

Ingemmet), cuya composición mineralógica señala plagioclasas 15%, micas 22%, cuarzo 40%, cloritas 10%, epidota 8% y sericita 5%, caracterizándose porque las plagioclasas se presentan como porfidoblastos rodeados por granos de micas.

Las relaciones estratigráficas del complejo Metamórfico se encuentran caracterizadas por encontrarse en contacto fallado con rocas paleozoicas y mesozoicas. Solo en la comunidad La Victoria (Ulcumayo), ubicada en el tramo de carretera Carhuamayo - Paucartambo, es posible apreciar el contacto para ser concordante entre los esquistos micáceos del complejo Maraynioc y las pizarras del grupo Excélsior. (7)

2) Grupo Excélsior

McLaughlin (1925) describió como grupo Excélsior a un conjunto de lutitas intercaladas con areniscas pizarrosas, que se encuentran intensamente replegadas y fracturadas; que afloran en la mina Excélsior en el distrito de Cerro de Paseo. El grupo Excélsior aflora a manera de una franja continua en el extremo Oeste del cuadrángulo de Ulcumayo. Los mejores afloramientos de esta unidad se observan en las comunidades La Victoria, Huicusmachay y Cerro Suyrupata, ubicadas en las nacientes del río Paucartambo. Similares afloramientos se observan en el río Tingo Esquina. (7)

La descripción litológica típica para el grupo Excélsior es uno de los mayores problemas para esta unidad, dado que diversos autores han agrupado dentro de ella rocas metamórficas y metasedimentitas que no han podido establecer su relación con el complejo Metamórfico; siendo en realidad rocas más antiguas que el grupo Excélsior. (7)

Ante esta problemática es necesario redefinir su localidad típica para evitar el caos litoestratigráfico de la unidad respectiva. En el área estudiada, el grupo Excélsior se encuentra conformado por pizarras grises oscuras foliada con disyunción tipo "lápices" intercalada con areniscas pizarrosas de color gris. En el cerro Suyrupata y río Bellavista se reconocen cuarcitas de grano fino y color gris que se encuentran en estratos tabulares. En áreas adyacentes a los intrusivos

permianos, afloran pizarras metamorfizadas (hornfels) y cuarcitas recristalizadas. Se reconocen, además, filitas micáceas con esquistosidad polidireccional y presencia de cristales de cuarzo deformados. Estructuralmente, la secuencia pelita-samítica del grupo Excélsior se encuentra replegada y fracturada intensamente, encontrándose las fracturas rellenas por venillas de cuarzo. El tipo de pliegue más común que se presenta en la unidad es el "chevron". Debido a que el grupo Excélsior se encuentra fuertemente replegado, es difícil realizar mediciones del grosor de la unidad, estimándose aproximadamente en ± 700 m. (7)

3) Grupo Ambo

Terminología empleada por Newell (1949) para describir a una secuencia de areniscas, lutitas carbonosas intercaladas con niveles de carbón y tobas redepositadas, que afloran en la quebrada de Chaupihuaranga cerca de la ciudad de Ambo. En el sureste del Perú ha sido reconocida por Audebaud (1973) y Laubacher (1978) encontrándose sobre la formación Ananea. En el altiplano ha sido estudiada por Palacios et al. (1991). Similares afloramientos han sido puestos en evidencia en la península de Paracas. Al Este del valle del Marañón, entre Bolívar y Leymebamba ha sido cartografiada y estudiada por Sánchez (1995). Debe señalarse que en todas estas áreas donde ha sido reconocido, se le ha cartografiado como grupo; no habiéndose realizado divisiones. (7)

El grupo Ambo aflora en la esquina SO del cuadrángulo de Ulcumayo, reconociéndola en el río Chacpas y los cerros Muchaicancha, Quimagalán y Algupamarcan, prolongándose de manera continua hacia los cuadrantes de Tarma y Cerro de Pasco siguiendo una dirección NO-SE. En el corte del río Chacpas, el grupo Ambo se encuentra conformado por areniscas cuarzosas de grano fino, gris oscuro a gris verdoso, con componentes feldespáticos y micáceos; areniscas conglomerádicas con líticos de vulcanitas mal clasificadas; areniscas conglomerádicas tobáceas gris plumizas y limoarcilitas negras pizarrosas que contienen restos de planta mal conservadas. Los niveles pelíticos en ciertas partes de la unidad son reemplazadas por carbón. Dentro de la secuencia se intercalan niveles conglomerados, los cuales contienen litoclastos de cuarzo, metamorfitas, cuarcitas y en menor proporción plutonitas. (7)

El grupo Ambo mayormente presenta estratificación tabular a laminar y figuras sedimentarias correspondientes a ondulitas. Las relaciones estratigráficas del grupo Ambo en la hoja de Ulcumayo están dadas por encontrarse sobre el complejo Metamórfico en discordancia angular e infrayacer en posición concordante al grupo Tarma, relación que se observa en la quebrada Chacpas. En el río Chacpas el grupo Ambo se encuentra plegado y fallado, por lo que su grosor se observa de manera incompleta, estimándose en ± 600 m. (7)

4) Grupo Tarma

Término introducido por Dumbar y Newell (1946) para describir a una secuencia de limoarcilitas oscuras, con intercalaciones de areniscas y calizas; tomando como localidad típica los afloramientos que se encuentran en los alrededores de la ciudad de Tarma. Posteriormente el grupo Tarma ha sido estudiado en el Perú central por Megard (1968-1969 y 1979). En el Sureste del territorio ha sido puesto en evidencia por Audebaud (1973), Laubacher (1978); siendo, además, cartografiada y descrita en los cuadrángulos de Nuñoa, Macusani y Limbani (Lopez, de la Cruz, León y Monge). En la selva oriental ha sido reconocido por Ruegg (1956) y por Koch et al. (1962). (7)

El área donde aflora el grupo Tarma es de extensión reducida, reconociéndola solo en el río Chacpas en los alrededores del caserío Tingoragra (Ulcumayo). Forman parte de los afloramientos que se encuentran en la hoja de Tarma y se prolonga a manera de una franja angosta hacia la hoja de Cerro de Pasco con dirección NO-SE. Petrográficamente se encuentra constituida por una alternancia de lutitas oscuras y areniscas gris oscuras, intercalándose cuarcitas, areniscas glauconitas y calizas de color gris. En el río Chacpas hacia la base aflora una alternancia de areniscas silicificadas, areniscas conglomerádicas, intercaladas con lutitas negras con estratificación rítmica. (7)

Hacia la parte intermedia se reconoce una secuencia molásica monótona, donde se intercalan lutitas y cuarcitas de grano fino. Hacia la parte superior la aparición de calizas grises y calcarenitas se hace conspicua. La secuencia litológica del grupo Tarma en la hoja de Ulcumayo se encuentra sobre el grupo Ambo en posición concordante e infrayace en ligera discordancia angular a los

conglomerados rojos del grupo Mitú. El grosor aproximado del grupo Tarma que se observa a orillas del río Chacpas es de ± 150 m. Al parecer el ambiente de sedimentación del grupo Tarma corresponde a ambientes epicontinentales, que lentamente fue pasando a facies de plataforma carbonatada, evidenciado por la presencia de areniscas glauconíticas, pelitas y niveles calcáreos. (7)

5) Grupo Mitú

McLaughlin (1924) describió en el Perú central como grupo Mitú a una secuencia de areniscas y conglomerados rojizos que cubren en discordancia al grupo Copacabana y cubiertos en discordancia por el grupo Pucará. En el Sureste del Perú, Newell (1953) emplea el mismo término para describir a los sedimentos molásicos postgrupo Copacabana y se encuentran cubiertas por las areniscas de la formación Huancané. En la cordillera de Vilcabamba, Marocco (1978) distingue dos facies: una sedimentaria y otra volcánica, pero no divide al grupo Mitú; solamente Gregory (1916), Zalafato y Vich (1967), Gabelmam y Jordan, (1964), Mendivil y Dávila (1994) efectúan divisiones formaciones al grupo Mitú. En la costa pacífica aflora hacia los 16° (Bellido y Narváez, 1960; Mendivil y Castillo, 1960; Pecho y Morales 1969). Finalmente, el Nororiente peruano ha sido cartografiado como grupo Mitú por Sánchez (1995) y de la Cruz y Leon (1995). (7)

Dentro de los límites del área estudiada, el grupo Mitú aflora en el río Ulcumayo camino al caserío Ucurán, Cerros Yarcohacán, Patugashia y Husguranca; y en los alrededores de las lagunas Calcacocha, Pantacocha y la central hidroeléctrica de Yaupi, todas ellas ubicadas en la hoja de Ulcumayo. En el cuadrángulo de Oxapampa se le reconoce en la quebrada Yungul y en la montaña Yanachaga. Hacia la hoja de La Merced, el Grupo Mitú se encuentra aflorando en las laderas de los ríos Oxabamba y Casca; prolongándose sus afloramientos hacia la margen izquierda del río Tulumayo (aguas abajo), reconociéndola en San Vicente, Rondayacu, Parcopampa, quebrada Ichayacu y el río Curimarca (cerca de Uchubamba). (7)

Morfológicamente, el grupo Mitú ha generado relieves suaves conformando cerros con crestas subredondeadas y flancos moderados, excepto

en la montaña Yanachaga que presenta una topografía abrupta debido a encontrarse afectada por fallas normales que han dejado trazas subverticales en los flancos de la montaña. El grupo Mitú conforma mayormente una secuencia elástica de origen continental, asociada a eventos vulcanoclásticas desarrollada en ambientes epicontinentales. (7)

Existe variabilidad en la composición litológica del grupo Mitú, encontrándose constituida por conglomerados, areniscas y limoarcilitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclásticas de color verdoso a violáceo. En el cuadrángulo de La Merced, la base del grupo Mitú se encuentra conformada principalmente por conglomerados polimícticos mal clasificados que contienen clastos de plutonitas y en menor proporción sedimentitas. Similar afloramiento se reconoce en la montaña Yanachaga (quebrada San Alberto) cuyos clastos de los conglomerados corresponden a sienogranitos rojos, granodioritas, esquistos, intrusivos genesificados y vulcanitas, cuyo diámetro varía entre 0.5 cm a 15 cm y se encuentran envueltas en una matriz limo-arenosa de color marrón rojizo. Se reconocen fragmentos líticos de cuarzo, plagioclasas y feldespato dentro de los conglomerados. (7)

La parte superior del grupo Mitú en el área de La Merced se encuentra constituida por areniscas líticas y arcósicas de grano grueso a medio, brechas arcósicas gris blanquecina y rojiza con niveles yesíferos lenticulares, intercalado con lodolitas rojas. Hacia la zona de Yaupi y Yungul existe una predominancia de lavas andesíticas y horizontes tobáceos de coloración rojiza a verdosa, las cuales se intercalan con niveles conglomerados y se encuentran cubiertas por las calizas del grupo Pucará. (7)

El grupo Mitú sobreyace en relación no muy clara al grupo Copacabana (quebrada Ichayacu-Uchubamba) y el cambio de unidad con el grupo Pucará corresponde a una transición gradacional (secuencia de límite), relación que se observa claramente en Uyupan y en el río Casca. (7)

El grosor del Grupo Mitú es variable hacia la parte del cuadrángulo de Ulcumayo. Su grosor se estima en $\pm 1,300$ m y en la montaña de Yanachaga \pm

2,500 m. Los conglomerados polimícticos que afloran en la montaña Yanachaga, corresponden a depósitos de pie de monte provenientes de la erosión de bloques levantados que poseían pendientes pronunciadas. En el área de San Ramón se producía una sedimentación fluvio-aluvial sobre terrenos granitoides y sedimentitas paleozoicas, con influencia de llanuras de inundación; evidenciada por los conglomerados plutoclasticos y lodolitas rojas. En relieves hundidos tipo "horst" se dieron actividades volcánicas asociada a fases distensivas, dando como resultado la formación de andesitas y tobas que luego sirvieron de material de aporte. Ambos procesos se dieron en ambientes netamente continentales, pasando finalmente a ambientes transgresivos con el avance del mar Pucará. (7)

6) Grupo Pucará

El grupo Pucará fue establecido por McLaughlin (1925) en el túnel Pucará, ubicado en el distrito Goyllarisquizga, Pasco. Bajo esta jerarquía estratigráfica la estudió Steimman (1929) y Harrison (1940). La primera división litoestratigráfica del grupo Pucará la realizó Wea (1942) en el valle del Utcubamba, dividiéndola en las formaciones Utcubamba, Chillingote y Suta. En la sierra central Megard (1968) la divide en tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga; división litoestratigráfica empleada en el cartografiado del grupo Pucará en la sierra central y el Nororiente peruano. Posteriormente Palacios (1980) en la Selva Central la divide agrupándola en seis formaciones: San Vicente, Paucartambo, Tambo María, Ulcumayo, Oxapampa y Chorobamba. (7)

Las calizas del grupo Pucará se extienden a manera de franjas plegadas con recorrido plurikilométrico, abarcando parte de los cuadrángulos de Ulcumayo, Oxapampa y La Merced. Sus afloramientos se ubican en ambos márgenes del macizo estructural conformado por los bloques de Maraynioc y Paucartambo. Hacia la parte Occidental del área estudiada (Ulcumayo) el grupo Pucará tiene una dirección NO-SE, prolongándose de manera continua a la hoja de Cerro de Pasco. Entre la parte Sur de San Vicente y San Ramón, conforma una franja monoclinial con rumbo N-S buzando hacia el Oeste; encontrándose limitada por la falla inversa de la granodiorita de Tarma. Al Norte del río Casca, las calizas del grupo Pucará flexionan de N-S a NO-SE. En el área de Oxapampa tiene una dirección N-S y se encuentra limitada por fallamientos en bloques. (7)

La morfología que se ha desarrollado en los terrenos que aflora el grupo Pucará; se encuentra representada por relieves cársticos, dolinas y escarpas pronunciadas que la caracterizan en su conjunto. De acuerdo a las observaciones y controles de campo realizadas en el área estudiada, se ha podido reconocer las tres formaciones del grupo Pucará (formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga) con cierta variabilidad en litofacies y grosor, pero que, en conjunto, poseen casi las mismas características petrográficas y cronoestratigráficas que han sido descritas por Megard (1968) en el Perú central; por lo que se mantiene en dicha división formaciones para el grupo Pucará. (7)

7) Formación Chambará

Conforma la base de la secuencia carbonatada del grupo Pucará, aflorando en el área de Shalipayco, cerros Jacan Punta, Huallamarca, Tucto, nevado Ulcumayo y en la hacienda Matamayo (Ulcumayo). Entre San Ramón y Oxapampa se la reconoce en los alrededores de la mina San Vicente, margen izquierda del río Tulumayo; prolongándose hacia el Norte a los ríos Casca, Ulcumayo, Paucartambo, caserío Tambo María y las partes altas del valle de Pusagno.

La formación Chambará entre el nevado Ulcumayo y Shalipayco se observa que se encuentra conformado por dolomitas, calizas dolomíticas, calizas gris oscuras con abundancia de nódulos de chert, fosfatos, encrinetas, calizas oolíticas y bioclásticas con estratificación sesgada. Se reconocen, además, niveles evaporíticos de yeso y anhidrita. (7)

En San Vicente, ríos Palea y Casca se observan dolomías y calizas intraclásticas laminares con abundante contenido de cuarzo detrítico, limolitas calcáreas, dolomicritas, calizas chérticas y micríticas gris oscuras; dolomías gris plomizas ferruginosas con presencia de relleno de pseudomorfos de calcita y dolomita; brechas calcáreas, dolomías oides, grainstone gris oscuro, dolomías porosas y dolomías finas carstificadas. (7)

En el río Paucartambo y los caseríos Tambo María y Pusagno (parte alta), existe un incremento de calizas oscuras a carbonosas. El cambio de unidad entre la formación Chambará y el grupo Mitu, corresponde a una transición gradacional, como se puede apreciar en Uyupan, Shalipayco (Ulcumayo) y en el río Casca (La Merced), reconociéndose la secuencia de límite que se encuentra conformada por areniscas y limolitas calcáreas rojas, intercaladas con dolomitas, infrayace en posición concordante a la formación Aramachay. Existe variabilidad de grosor en la formación Chambará. En Shalipayco, Rosas y Fontbote (1995) reportan un grosor de 622 m y en San Vicente 1170 m. En la hoja de Oxapampa de acuerdo a los estudios de Ingemmet - Misión Japonesa (1979) y Palacios (1980) se estima un grosor de ± 1600 m. (7)

8) Formación Aramachay

Corresponde a la secuencia de calizas negras bituminosas y arcillosas, intercalada con pelitas negras que presentan abundante contenido de materia orgánica. Conforman la parte intermedia del grupo Pucará y sirve como nivel guía para separar a las formaciones Chambará y Condorsinga. Sus afloramientos se encuentran pobremente expuestos por la erosión, pero constituye la unidad con mayor alcance regional habiendo sido descrita en el Sur, Centro y Nororiente peruano. Sus afloramientos se encuentran distribuidos en áreas similares para la formación Chambará, siendo sus mejores zonas expuestas en Shalipayco (Ulcumayo), cerro Uncush (La Merced) y en el cerro Ulcumano (Oxapampa). La litología característica de la formación Aramachay, consiste mayormente de calizas negras bituminosas laminares intraclásticas con abundante contenido de ammonites, ostrácodos, bivalvos y calcarenitas negras carbonosas, intercalándose en la secuencia limoarcilitas negras con contenido de materia orgánica. Análisis químicos realizados por Spangenberg et al. (1995) por carbón orgánico total en calizas negras bituminosas dieron resultados de 0.28 a 4.1 wt% (humedad). (7)

La Formación Aramachay se encuentra sobre la formación Chambará en posición concordante, relación observada en Shalipayco, San Vicente y Ulcumano. Se encuentra encubierta en similar posición por la formación Condorsinga, existiendo en la parte superior de la formación Aramachay

predominancia de dolomitas. En Shalipayco, Rosas y Fontboté (1995) reportan un grosor de 40 m. En San Vicente 105 m y en Vilcapoma \pm 10 m. En el cerro Ulcumano, Palacios (1980) señala un grosor de \pm 350 m.

9) Formación Condorsinga

A la formación Condorsinga se la reconoce en los alrededores de la laguna Yanacocha, cerro Llamajulana y en los caseríos de Quilcacta y Cañap, pertenecientes a la hoja de Ulcumayo, encontrándose incompleta la unidad por fallamiento. En San Vicente, solo aflora la parte basal de la unidad, encontrándose limitada por la falla inversa de la granodiorita de Tarma. En la hoja de Oxapampa, aflora en los alrededores de la ciudad del mismo nombre, en el río Chorobamba y en las partes altas de Pusagno y Tambo María. En las áreas que aflora la formación Condorsinga resalta su morfología resistente a la erosión, formando farallones y escarpas pronunciadas de calizas las que, en algunos casos, se encuentra sobre superficies suaves (formación Aramachay). (7)

En la columna de Shalipayco, Rosas y Fontboté (1995) reportan en la base de la formación Condorsinga una secuencia litológica compuesta esencialmente por calizas con algunas intercalaciones de calizas dolomíticas, presencia de microfósiles, calizas bioturbadas y carbonatos seudomórficos según nódulos de anhidrita. En San Vicente se reconocen dolomías ooides, "grainstone" de grano grueso a medio con intercalaciones de dolomicritas laminares con seudomorfos de evaporitas y presencia de mantos mineralizados, brechas calcáreas de disolución, "packstone-grainstone" y calizas "mudstone" laminares chérticas. En la hoja de Oxapampa afloran brechas calcáreas, calizas gris oscuras silicificadas, calcarenitas, niveles dolomíticos; terminando la formación Condorsinga con rocas elásticas carbonatadas, conformada por areniscas calcáreas, areniscas gris amarillentas, limolitas calcáreas intercaladas con calizas que contienen fauna fósil. (7)

La formación Condorsinga se encuentra en posición concordante sobre la formación Aramachay y la parte superior en su gran mayoría se encuentra afectada por fallamiento. Solo en el río Chorobamba a 3 km del pueblo de Grapanazú, la formación Condorsinga se encuentra en relación concordante

debajo del grupo Oriente y en el río Santa Cruz se la observa debajo de la formación Sarayaquillo en relación no muy clara. Existen mediciones parciales del grosor de la formación Condorsinga en el área estudiada. En la columna de Shalipayco, Rosas y Fontbote (1995), reportan un grosor de 430 m, en San Vicente aproximadamente 300 m y en el área de Oxapampa los autores estiman un grosor de ± 700 m. (7)

10) Depósitos cuaternarios

Los depósitos de cobertura formados durante el Cuaternario corresponden a procesos glaciares, aluviales y coluviales; erosionando rocas preexistentes de la vertiente oriental. Las morrenas se encuentran sobre el relieve cordillerano de los cuadrángulos de Ulcumayo y La Merced. Se encuentran conformadas por gravas angulosas de composición litológica heterogénea que se hallan envueltas en una matriz limo-arenosa. Los depósitos glaciofluviales originados por procesos glaciares en la Cordillera Oriental, corresponden a una mezcla de sedimentos conglomerádicos subredondeados de gravas subangulosas con fraccionometría variada. Los materiales aluvionales se encuentran distribuidos en los valles y quebradas tributarias, depositándose material de escombros de gravas y conglomerados polimícticos mal clasificados unidos por una matriz arcillosa a arenosa. En la zona de Sogorno (Oxapampa) se ha cartografiado depósitos aluvionales generados por efecto de deslizamientos. Se reconocen sedimentos lacustrinos en los alrededores de la ciudad de Villa Rica (laguna Oconal), conformado por limos y arcillas con abundante contenido de materia orgánica. (7)

En los ríos con recorrido meandriforme como el Perené y Palcazu se han acumulado depósitos fluviales acarreados por la corriente hidráulica, sedimentándose conglomerados de bordura redondeada y arena; conformando terrazas e islotes. (7)

2.4.5 Geología estructural

Se reconocen estructuras regionales que se han desarrollado por eventos tectónicos polifásicos desde tiempos del Neoproterozoico hasta el Cuaternario; radicando su importancia en haber configurado la paleogeografía antigua y haber

controlado la sedimentación especialmente durante el Mesozoico; debido a los fallamientos en bloques y deformación del sustrato.

Zonas estructurales

En el cuadrángulo de Ulcumayo se reconocen zonas estructurales, las cuales se diferencian en conjuntos de acuerdo a los procesos de metamorfismo, plutonismo, fallamiento y deformación que han sufrido. Estas zonas corresponden a: zona de bloques, fallas, pie de monte subandino. (7)

1) Zona de bloques

Corresponde a macizos estructurales que han influido en el modelado y deformación de la cordillera de los Andes (sector Oriental y Subandino); habiendo controlado los esfuerzos y el grado de acortamiento de la cobertura terrestre. Se reconocen los siguientes bloques:

a) Bloque Maraynioc: forma parte del núcleo de la Cordillera Oriental abarcando la parte Occidental de los cuadrángulos de Ulcumayo y La Merced, corresponde a un bloque metamórfico levantado, individualizado por fallamientos regionales con desplazamiento vertical e intrusiones de plutonitas permo-triásicas. Dentro del bloque aflora un anticlinorio con rumbo NO - SE, encontrándose constituido por el complejo de Maraynioc, la formación Contaya y el grupo Excélsior; presentando metamorfismo regional de moderado a bajo, habiéndose formado micaesquistos, filitas, pizarras y cuarcitas con foliación y esquistosidad polidireccional.

En el cuadrángulo de Ulcumayo, el bloque metamórfico se encuentra como un sustrato preexistente sobre el cual sobreyacen en discordancia rocas paleozoicas. A través del río Ulcumayo el complejo Metamórfico se pone en contacto con las calizas del grupo Pucará por una falla normal con desplazamiento vertical y rumbo NO-SE. (7)

b) Bloque Paucartambo: comprende el relieve cordillerano de la hoja de Ulcumayo y las laderas de los ríos Palea, Pusagno, Paucartambo, Ulcumayo y Chontabamba. Corresponde a una agrupación de rocas plutónicas que se han emplazado a lo largo de la Cordillera Oriental formando plutones de

contornos irregulares; encontrándose afectados por fallamientos de longitud kilométrica y con desplazamiento de alto ángulo, que siguen la tendencia de la dirección andina (NNO-SSE) presentando ligeras inflexiones.

El macizo intrusivo conformado por la granodiorita de Tarma ha condicionado la paleogeografía para la sedimentación de las calizas del grupo Pucará, controlado, además, por la subsidencia asimétrica que en ella se producía. (7)

c) Bloque Carhuamayo - San Vicente – Oxapampa: conforma un conjunto de bloques hundidos que se encuentran constituidos por sedimentitas paleozoicas y las calizas del grupo Pucará; ubicadas adyacentemente al bloque de Maraynioc y Paucartambo. Abarca la esquina SE de la hoja de Ulcumayo, la margen izquierda del río Tulumayo, pasando por Uchubamba y San Vicente; prolongándose hacia Oxapampa (río Chorobamba), siguiendo una dirección NNO - SSE.

Las rocas paleozoicas presentan una mayor deformación y buzamiento fuerte (45° - 75°), formando pliegues incompletos truncados por fallamiento y poco definidos. (7)

Las calizas del grupo Pucará se encuentran moderadamente plegadas, formando monoclinales con buzamientos entre 30° - 45° como lo observado en el área de San Ramón y al Este del río Ulcumayo. Existen pliegues echados con replegamiento disarmónico que se reconocen en los ríos Oxabamba y Casca. Entre Pusagno y Oxapampa el grupo Pucará se encuentra replegado con respecto al área de Ulcumayo y San Vicente, debido posiblemente al acortamiento de la faja sedimentaria, que tuvo como barrera rígida al macizo plutónico de Paucartambo. Entre los ríos Palea y Tambillo la faja plegada se encuentra debajo del macizo plutónico debido a la falla inversa de la granodiorita de Tarma. (7)

2) Fallas

Se reconocen dos sistemas de fallamiento regionales; la primera de tipo "longitudinal" (paralelo al eje andino) y la segunda de tipo "transversal" (oblicuo al eje andino). Las fallas del sistema longitudinal son de recorrido plurikilométrico, siguiendo una dirección preferencial NO-SE. Se comportan durante su recorrido como fallas normales o inversas; delimitando bloques (levantados y hundidos) con desplazamiento vertical y ocasionando acortamiento de la corteza terrestre; afectando mayormente en la cobertura sedimentaria.

Se encuentran menos desarrolladas las fallas "transversales", agrupándose en el sistema NE-SO, que desplazan el primer sistema de fallamiento. Las principales fallas que se describen en el área estudiada, corresponden a las de alcance regional y que han influido en la evolución morfotectónica de la cordillera de los Andes. (7)

a) Falla Ulcumayo: se ubica siguiendo el curso del río Ulcumayo, prolongándose hacia las hojas de Tarma y Cerro de Pasco con una dirección NO-SE. Se describe como una falla normal con desplazamiento vertical que pone en contacto al complejo de Maraynioc (Neoproterozoico) con el grupo Pucará (Triásico-Jurásico), relación observada en el cerro Tactapata, próximo al caserío de Yupac Marca. En la quebrada Pitaracha se pone en evidencia por el desplazamiento que ha ocasionado al grupo Mitú, habiéndola puesto en contacto con las calizas del grupo Pucará. (7)

b) Falla Paucartambo: recorre diagonalmente la hoja de Ulcumayo con rumbo N 25 °O, desplazando el bloque Paucartambo en posición subvertical, afectando a rocas graníticas. Al NO de Huachón ha ocasionado el descenso del grupo Pucará, que se pone en contacto con el bloque metamórfico de Maraynioc. El trazo de la falla en el cuadrángulo de Paucartambo tiene una longitud superior a los 40 km. (7)

2.4.6 Rocas ígneas

Las rocas ígneas tanto intrusivas como volcánicas que afloran en el área de estudio, están distribuidas en dirección NE- SO a lo largo de los Andes

orientales particularmente en las hojas de Ulcumayo, Oxapampa y La Merced. Estas rocas están asociadas espacialmente al complejo Metamórfico en el lado Occidental y las secuencias mesozoicas al Oriente de esta faja intrusiva.

Estas rocas corresponden a intrusivos permotriásicos y cuerpos recientes del Meso-Cenozoico (Ulcumayo, La merced, Oxapampa), algunos cuerpos a manera de "Stocks" de microdioritas están aflorantes a lo largo de un alineamiento N 30 °O, emplazados en el Paleozoico superior y aparentemente recrystaliza a las calizas del Triásico, por otro lado, se ha cartografiado un evento volcánico atribuido al Neógeno que aflora solamente al NE de la hoja de Ulcumayo. (7)

En general las rocas intrusivas ocupan espacialmente más del 90% del magmatismo permotriásico en el área de estudio, un 5% correspondería a génesis del Neoproterozoico tardío y lo restante a "Stocks" esparcidos particularmente en la hoja de Oxapampa. (7)

2.4.7 Geología económica

1) Generalidades

Dentro del área de estudio existen yacimientos metálicos y no metálicos, destacando preponderantemente el yacimiento de Zn-Pb de San Vicente. Estos depósitos metálicos observados en el área de estudio y considerando el tipo de génesis y ensambles mineralógicos, pueden clasificarse en:

- Depósitos tipo Mississippi Valley, con mineralización de Zn-Pb, asociados al grupo Pucará.
- Depósitos tipo skarn, formados por el reemplazamiento de intrusivos en rocas carbonatadas del grupo Copacabana, con mineralización de Cu-Pb-Zn.
- Depósitos de relleno de fractura, mayormente vetiformes, emplazados en las granodioritas paleozoicas y en las calizas del grupo Pucará con mineralización de Cu-Pb-Zn.

La mayoría de los depósitos metálicos en el área de estudio se distribuyen en el flanco Subandino Oriental de los Andes del Perú central.

La intensificación de las exploraciones de yacimientos tipo "Mississippi Valley" ha permitido determinar el modelo de exploración, y establecer los principales controles de litofacies y reconstrucción de paleoambientes sedimentarios, constituyendo ambos, una guía para ubicar zonas potenciales que contengan o alberguen sulfuros de Zn-Pb. (7)

a) Prospecto Shalipavco (cuadrángulo de Ulcumayo)

Se ubica a 22 km al NO de la localidad de Ulcumayo. El área se caracteriza por presentar una secuencia completa del grupo Pucará, debiendo indicar que la mineralización es en mantos (tipo Mississippi Valley) y se presenta exclusivamente dentro de la formación Chambará. En Shalipayco se aprecian tres horizontes de mineralización:

1° En la base de la formación Chambará

2° Entre los 140 y 200 m de la base de la columna estratigráfica, (Fm. Chambará)

3° Entre los 460 y 480 m de la base de dicha columna (Fm. Chambará)

La mineralización consiste de marmatita-galena-dolomita-especularita, la cual también tiene controles estructurales determinados por fallamientos en la secuencia estratigráfica. (7)

b) Prospecto Puquiopata (cuadrángulo de Ulcumayo)

Se ubica a 10 km al NO de Ulcumayo, en la jurisdicción del caserío de Uyupán. En las coordenadas UTM 8, 794,465 N y 399,530 E, y cota 4320 m s. n. m.

El depósito de Puquiopata se caracteriza por estar en la base de la Formación Chambará (grupo Pucará). Tiene un rumbo N 40 °0 y buzamiento 20° al SO. Cabe indicar que el tope del grupo Mitú es conglomerádico y que la mineralización es de esfalerita, galena (argentífera) y pirita. (7)

c) Yacimientos Vetiformes, mina Tarata (cuadrángulo de Ulcumayo)

Ubicado a 8 km con rumbo N 15° E en línea recta de la localidad de Huachón, a una cota de 4,750 m s. n. m. dentro de la jurisdicción de

Tingocancha. La estructura mineralizada de rumbo S 40 °0 y buzamiento 75° al SE es una fractura rellena de cuarzo, y hacia el techo tiene mineralización de pirita aurífera. Actualmente, la mina está abandonada. (7)

2.4.8 Mineralogía

Los minerales que se encuentran presentes en el área de estudio son principalmente los siguientes:

- a) Galena.** Se encuentra bien cristalizada, principalmente en las zonas de mármol, en cristales cúbicos de clivaje perfecto, también compacta y masiva. Se presenta en buenas cantidades después de la esfalerita con la que se está asociada.
- b) Pirita.** Se encuentra formando grandes masas, normalmente cristalizadas, casi siempre en cubos y piritoedos. Comúnmente se encuentra en la roca intrusiva relleno de fracturas y como cristales de impregnación. También en estado masivo asociada a la esfalerita. La pirita se encuentra en casi todo el yacimiento, pero en mayor cantidad en la aureola de contacto caliza intrusivo (endoskarn).
- c) Chalcopirita.** Ocurre en muy pequeña cantidad en forma de impregnaciones y venillas dentro del intrusivo, normalmente en el contacto caliza-intrusivo y a profundidad.

2.4.9 Controles de mineralización

Los controles de mineralización a los cuales ha sido sometido el yacimiento son los siguientes:

a) Control litológico

La sustitución está restringida únicamente a las calizas Pucará, reflejan ordinariamente un evidente control biológico, desde el punto de vista de la presencia del intrusivo a través de la falla de Atacocha, entre dichas calizas Pucará al este y las areniscas Goyllarisquisga hacia el oeste, notándose reemplazamiento y formación de cuerpos irregulares en las calizas y rellenos en fracturas de poca importancia en las areniscas con someras impregnaciones de sulfuros en areniscas gruesas.

b) Control mineralógico

La frecuente distribución de las concentraciones de pirita, zinc-pirita-zinc-plomo, plata, dentro de la asociación mineralógica de los contactos, es una evidencia concreta de la influencia de los controles mineralógicos durante el proceso de mineralización.

La distribución de la pirita cerca del endoskarn (skarn desarrollado dentro del intrusivo) sugiere un interno reemplazamiento de los calcosilicatos por dicho mineral en la distribución horizontal, predominando así en profundidad.

La poca asociación del plomo y la plata en las masas de pirita es claramente definida en los cuerpos, la presencia de fluorita y venillas de galena es un control mineralógico importante para la determinación de cuerpos o lentes en la zona de mármol dentro de la aureola de contacto.

El mineral de cobre se encuentra en proporciones insignificantes, en los niveles es más notoria y siempre relacionadas a las masas de pirita.

c) Control estructural

Es uno de los principales controles geológicos de la mineralización, sin cuya presencia no habría sido posible el reemplazamiento de la magnitud del yacimiento, ya que la distribución de los silicatos y sulfuros tiene una relación estrecha con las diversas estructuras.

Además de la sustitución por los silicatos de la parte afectada del calcáreo pucara, existen halos de estos, en las paredes de las diversas fracturas y fallas localmente desarrolladas en las calizas.

A pesar del reemplazamiento parcial del skarn por los sulfuros (pirita, esfalerita, galena), se observa en algunos sitios de la mina, un control por fallas y diques.

d) Control por contacto

Las soluciones hidrotermales portadoras de los sulfuros metálicos aprovechan el contacto y el fracturamiento existente como zonas de debilidad para circular y depositar su contenido metálico en un proceso de solución y deposición esencialmente simultáneo. De esta forma se encuentra mineral como lentes de reemplazamiento en la zona de contacto, principalmente en el mármol y el skarn, también como filones de pequeña corrida que cruzan el contacto a ambos lados y a lo largo de él.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

El método de investigación corresponde al método científico debido que, para su desarrollo, se siguieron procedimientos ordenados, de igual manera se empleó el método específico inductivo – deductivo.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación corresponde al tipo aplicado ya que con el desarrollo de esta investigación se pretende solucionar el problema que se tiene en la unidad minera debido a la falta de aire, el cual se ve reflejado en la generación de tiempos muertos excesivos.

3.1.3 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es el descriptivo correlacional, cuyo propósito es describir y buscar la relación de la variable dependiente con la variable independiente para establecer su relación directa.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación corresponde al cuasiexperimental ya que para su desarrollo se ha realizado muestreo de concentraciones de gases y otros.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

- La población está constituida por las labores pertenecientes a la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco.

3.3.2 Muestra

- La muestra censal está constituida por las labores pertenecientes a la mina artesanal Aurex - Acopalca, Pasco.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Descripción general de la galería principal de la mina artesanal Aurex - Acopalca

Actualmente la contrata viene realizando labores de explotación en la mina artesanal Aurex - Acopalca. La ventilación en las labores de la galería principal se realiza en forma natural para abastecer de aire limpio y fresco a la galería principal, tomando en cuenta que el caudal del aire requerido que ingresa a las labores de galería principal no es el óptimo, ya que después de realizar la voladura se esperan dos horas en promedio para que la siguiente guardia pueda hacer su ingreso, toda vez que no se cuenta con un adecuado circuito de ventilación, por tal motivo, se pierde horas de trabajo en ventilar las labores de la mina; así como un bajo rendimiento de los trabajadores y equipos al no contar con un caudal de aire requerido para las diferentes labores. Por lo cual, se están realizando los análisis para poder abastecer con el caudal requerido para el personal, equipos y para la dilución de contaminantes.

4.1.2 Levantamiento de ventilación

a) Introducción

Los días 15 a 27 de setiembre de 2020 se efectuaron los trabajos de campo y de gabinete en la mina artesanal Aurex - Acopalca, con el objetivo de determinar las velocidades y caudales de aire fresco, el balance de flujos, las

caídas de presión, las aberturas equivalentes y finalmente actualizar el plano de ventilación de dicha mina.

Fue necesaria la participación del siguiente personal:

- Ingeniero de minas
- Cronometrista
- Anotador de características físicas
- Medidor de temperatura
- Dibujante/digitador

Se requirieron además los siguientes y materiales:

- Anemómetro
- Libretas de campo y accesorios
- Cronómetro
- Materiales de dibujo
- Materiales de oficina

b) Generalidades

Ubicación de la mina

La mina artesanal Aurex se encuentra ubicada en la parte Oriental de la provincia de Pasco; en el centro poblado de Acopalca, distrito de Paucartambo, departamento de Cerro de Pasco (se encuentra dentro del cuadrángulo 22-I, Ulcumayo), a 96 km de Cerro de Pasco, con una altura de 4,003 m s. n. m., sus coordenadas geográficas son:

Latitud sur 10°00' – 11°00'

Longitud oeste 75°00' – 76°00'

Actividad básica

La mina artesanal extrae y beneficia minerales de oro.

El personal de la mina artesanal Aurex – Acopalca trabaja en los siguientes niveles:

- Nivel 4003: 12

- Nivel 4015: 08
- Nivel 4027: 07
- Nivel 4043: 11
- Total: 38 personas

c) Cálculos

Pautas

Se efectuaron los cálculos requeridos en el presente levantamiento, cuyos resultados se encuentran en las hojas de cálculos respectivas.

Operaciones

Con el apoyo de formatos y tablas correspondientes se efectuaron los cálculos requeridos, cuyos resultados se encuentran contenidos en la hoja de cálculos.

4.1.3 Cálculo de las áreas de las estaciones

Para realizar los diferentes cálculos de las áreas de las estaciones se utiliza el distanciómetro para obtener las mediciones del ancho y la altura de las estaciones. La fórmula para aplicar es la siguiente:

$$A = \left(\frac{a * h}{12} \right) * (\pi + 8)$$

Donde:

A = área

a = ancho de la labor (metros)

h = altura de la labor (metros)

Tabla 10.

Cálculo de las diferentes áreas

Estación N.º	Ubicación	Cota (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Área (pie ²)
E1	Bocamina	4003.00	1.74	1.82	2.94	31.65
E2	A 116	4003.00	1.61	1.71	2.55	27.45
E3	A 205	4003.00	1.70	1.93	3.00	32.29
E4	A276	4043.00	1.68	1.83	2.85	30.68
E5	Bocamina	4015.00	1.60	1.78	2.64	28.42
E6	A 80	4015.00	1.50	1.87	2.60	27.99
E7	A 130	4015.00	1.68	1.90	2.96	31.86
E8	Bocamina	4027.00	1.57	1.76	2.57	27.66
E9	A100	4027.00	1.70	1.89	2.98	32.08
E10	A178	4027.00	1.65	1.80	2.76	29.71
E11	Bocamina	4043.00	1.54	1.83	2.62	28.20
E12	A60	4043.00	1.60	1.90	2.82	30.35
E13	A140	4043.00	1.65	1.85	2.83	30.46
E14	A220	4043.00	1.58	1.76	2.58	27.77

4.1.4 Cálculo del perímetro

Para realizar el cálculo del perímetro se obtuvo la altura y el ancho en las estaciones de las siguientes labores. La fórmula que se aplicó es la siguiente:

$$P = (\sqrt{A} * 4)$$

Donde:

P = perímetro (m)

A = área de la labor (m²)

Tabla 11.

Cálculo del perímetro

Estación N.º	Ubicación	Cota (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Perímetro (m)	Perímetro (pie)
E1	Bocamina	4003.00	1.74	1.82	6.86	22.51
E2	A 116	4003.00	1.61	1.71	6.39	20.97
E3	A 205	4003.00	1.70	1.93	6.93	22.74
E4	A276	4043.00	1.68	1.83	6.75	22.15
E5	Bocamina	4015.00	1.60	1.78	6.50	21.33
E6	A 80	4015.00	1.50	1.87	6.45	21.16
E7	A 130	4015.00	1.68	1.90	6.88	22.57
E8	Bocamina	4027.00	1.57	1.76	6.41	21.03
E9	A100	4027.00	1.70	1.89	6.91	22.67
E10	A178	4027.00	1.65	1.80	6.64	21.79
E11	Bocamina	4043.00	1.54	1.83	6.47	21.23
E12	A60	4043.00	1.60	1.90	6.72	22.05
E13	A140	4043.00	1.65	1.85	6.73	22.08
E14	A220	4043.00	1.58	1.76	6.42	21.06

4.1.5 Cálculo de la temperatura bulbo seco, bulbo húmedo, temperatura efectiva

Para calcular la temperatura efectiva se utilizó el monograma adjunto, que se relaciona con el bulbo seco, el bulbo húmedo y la velocidad del flujo de aire muestreado.

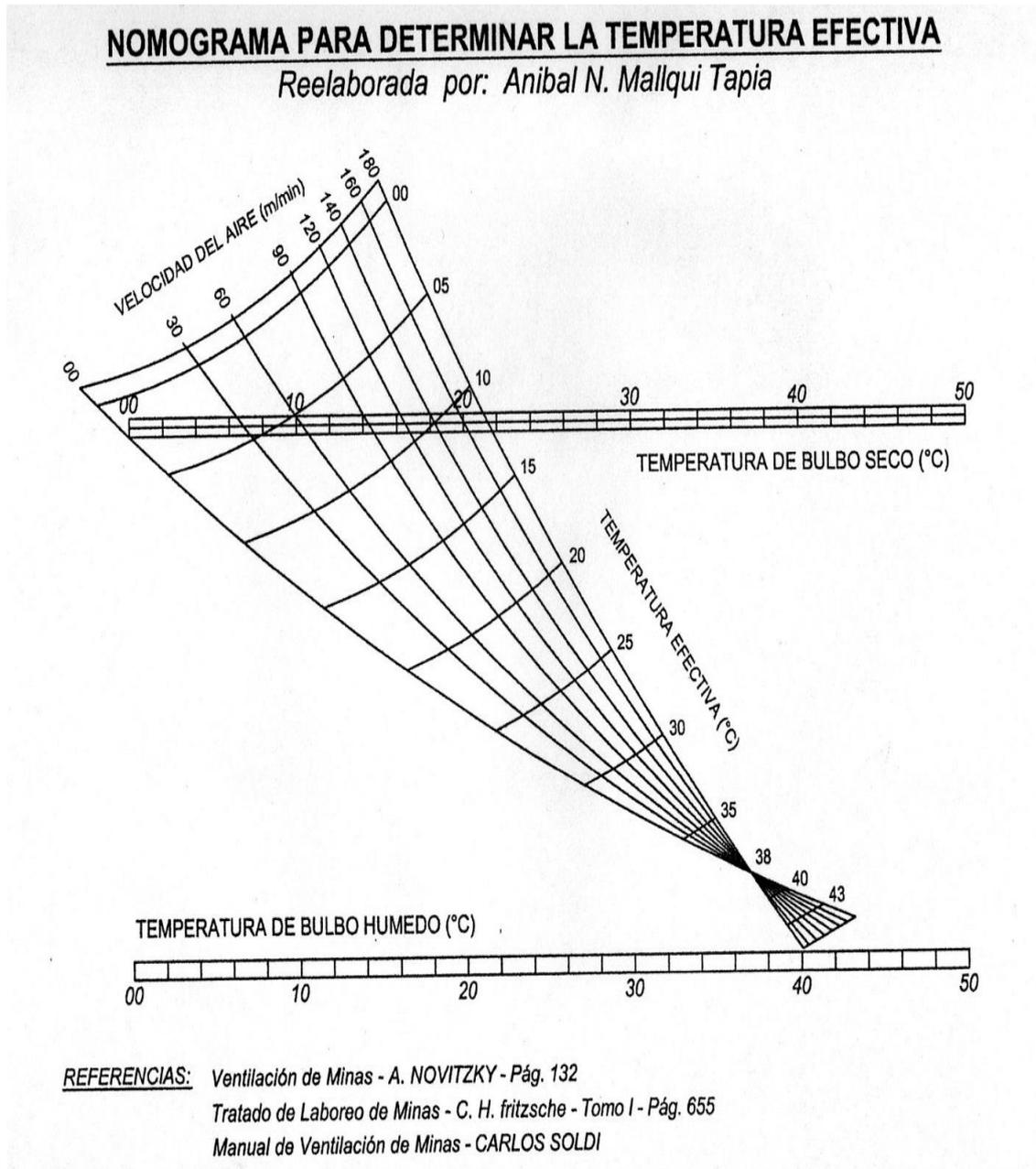


Figura 8. Monograma para determinar la temperatura efectiva. Tomada de Ventilación de minas (3)

Tabla 12.

Cálculo de la temperatura efectiva

Estación N.º	Cota (m)	Bulbo húmedo °C	Bulbo seco °C	Velocidad del aire m/min	Temperatura efectiva °C
E1	4003.00	16	13	34.8	12.5
E2	4003.00	17	15	18	16.8
E3	4003.00	17	14	12.6	16
E4	4003.00	19	16	11.4	20
E5	4015.00	16	13	31.2	13
E6	4015.00	17	14	14.4	16.2
E7	4015.00	17	14	13.2	16.4
E8	4027.00	16	13	30	13.8
E9	4027.00	17	14	15.6	16
E10	4027.00	19	17	12.6	20.2
E11	4043.00	15	13	32.4	12.8
E12	4043.00	16	14	16.8	16
E13	4043.00	17	14	15	16.6
E14	4043.00	20	17	12	21

4.1.6 Longitud de las labores entre estaciones

La longitud se obtuvo en las estaciones de las siguientes labores utilizando el distanciómetro.

Tabla 13.

Longitud de las labores entre estaciones

Estación	Cota (m)	Longitud (m)	Longitud (pies)
E1	4003.00	Bocamina	Bocamina
E2	4003.00	116	380.58
E3	4003.00	89	292
E4	4003.00	71	232.94
E5	4015.00	Bocamina	Bocamina
E6	4015.00	80	262.47
E7	4015.00	50	164.04
E8	4027.00	Bocamina	Bocamina
E9	4027.00	100	328.08
E10	4027.00	78	255.90
E11	4043.00	Bocamina	Bocamina
E12	4043.00	60	196.85
E13	4043.00	80	262.47
E14	4043.00	80	262.47

4.1.7 Longitud equivalente

Es la sumatoria de las características físicas existentes en la longitud de la influencia de la estación de ventilación (curvas, contracciones, bifurcaciones, etc.).

Se utiliza la tabla de cargos equivalentes para varias fuentes de pérdidas por choque en pies, esta tabla se utiliza para labores horizontales, verticales e

inclinadas, teniendo en cuenta siempre la dirección del flujo de aire. Deben evitarse las duplicidades de lectura con las estaciones vecinas.

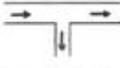
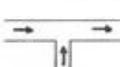
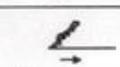
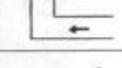
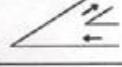
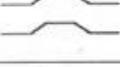
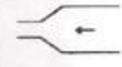
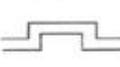
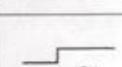
CARGOS EQUIVALENTES EN PIES (Le) PARA VARIAS FUENTES DE PERDIDAS DE CHOQUE O IMPACTO (Le en pies)					
FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	90
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (BUENO)	85
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	290
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JALILA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JALILA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500

Figura 9. Cargos equivalentes en pies. Tomada de Ventilación de minas (3)

El cuadro muestra la longitud equivalente (LE), esta se sacó en las estaciones de las siguientes labores

Tabla 14.**Cálculo de la longitud equivalente****Gráfico de longitudes y longitudes equivalentes basado en la lectura del plano**

Estación N.º	Longitud Pies	Características físicas de la mina	Le Pies
1	16.4	1 Entrada	3
2	380.58	1 Bifurcación	230
3	292	2 Curvas obtusas quebradas	30
		1 Bifurcación	230
4	232.94	1 Curva obtusa quebrada	15
5	16.4	1 Entrada	3
6	262.47	1 Bifurcación	230
		1 Curva obtusa quebrada	15
7	164.04	3 Curvas obtusas quebradas	45
		1 Bifurcación	230
8	16.4	1 Entrada	3
9	328.08	2 Curvas obtusas quebradas	30
		1 Bifurcación	230
10	255.91	1 Curva obtusa quebrada	15
11	16.4	1 Entrada	3
12	196.85	3 Curvas obtusas quebradas	45
13	262.47	1 Curva obtusa quebrada	15
		2 Bifurcaciones	460
14	262.47	1 Bifurcación	230

4.1.8 Características de las labores

En el siguiente cuadro se describen las características de las diferentes labores.

Tabla 15.**Características de las labores**

Estación	Cota (m)	Descripción
E1	4003.00	Es la bocamina (galería principal) con una dimensión 1.74 x 1.82 de donde se extrae mineral.
E2	4015.00	Es la bocamina con una dimensión 1.60 x 1.78 de donde se extrae mineral.
E3	4027.00	Es la bocamina con una dimensión 1.57 x 1.76 de donde se extrae mineral.
E4	4043.00	Es la bocamina con una dimensión 1.54 x 1.83 de donde se extrae mineral.

4.1.9 Tipos y concentración de contaminantes presentes en la mina

El aire en interior de mina es una mezcla de varios gases, teniendo la presencia de agentes químicos (polvos, vapores, gases, humos metálicos,

neblinas entre otros), agentes físicos (temperaturas extremas, presión barométrica, humedad extrema, entre otros) y biológicos (mohos, hongos, bacterias) que se puedan encontrar en las labores e instalaciones de la mina artesanal Aurex - Acopalca, algunos gases se van a originar por el uso de explosivos durante la voladura de los frentes, así como por la utilización de diferentes equipos con motores diésel.

4.1.9.1 Gases producidos por explosivos

a) Óxidos nitrosos

El óxido nitroso o dióxido de nitrógeno se genera por el uso del ANFO en la voladura de los frentes, chimeneas, etc. Es un gas tóxico que puede producir hasta la muerte por un edema pulmonar.

b) Sulfuro de hidrogeno

Se genera por la descomposición de la pirita, también por la descomposición de sustancias orgánicas y por realizar disparos en minerales que contienen azufre.

c) Hidrógeno

Se encuentra en el aire en forma de amoníaco y se genera por realizar disparos (debido a la ausencia del oxígeno del aire).

d) Anhídrido carbónico o dióxido de carbono

Se produce por la respiración de los trabajadores que se encuentran en interior de mina (fundamentalmente en lugares confinados). Se genera producto de la combustión de sustancias carbonadas en presencia de exceso de aire o de oxígeno. También se genera producto de los disparos que se realiza en las diferentes labores de la mina.

e) Anhídrido sulfuroso

Se genera por la combustión del azufre (pirita), por la combustión del carbono rico en azufre y también por realizar disparos en minerales con alto contenido de azufre.

4.1.9.2 Gases producidos por motores diésel

a) Monóxido de carbono

Se origina por la combustión incompleta del petróleo, se desprende del escape de motores de combustión interna.

4.1.9.3 Polvo en suspensión

Los polvos que se presentan en los diferentes ciclos del minado son partículas sólidas, finalmente divididas, que se generan por acción mecánica en las operaciones de perforación, voladura y transporte. El polvo generado en las operaciones mineras es un serio problema ya que su inhalación ha dado lugar a la neumoconiosis y otras afecciones a la salud de los trabajadores.

4.1.10 Caudal de aire requerido

Para calcular el caudal de aire fresco y limpio requerido en las minas subterráneas se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) Caudal requerido según el número de trabajadores
- b) Caudal requerido por el consumo de madera
- c) Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo
- d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero
- e) Caudal requerido por fugas

a) Caudal requerido según el número de trabajadores

Para el cálculo según el número de trabajadores se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_{tr} = F * N \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

Q_{tr} = caudal total para "n" trabajadores (m^3/min)

F = caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento

N = número de trabajadores de la guardia más numerosa

La mina artesanal Aurex - Acopalca se encuentra a 4003 m s. n. m., por lo cual se trabaja con el caudal mínimo por persona de acuerdo a la escala establecida en el artículo 247 del D.S. N.º 023-2017. ($F=6 \text{ m}^3/\text{min}$)

En la mina artesanal de acuerdo a los niveles se detalla la cantidad de trabajadores/guardia.

Tabla 16.
Nivel 4003.00

Cargo	# de trabajadores
Capataz	01
Operador de la compresora 400 CFM	01
Maestros perforistas	02
Ayudantes perforistas	04
Personal de servicios	02
Vigilante	01
Personal de servicios	01
Total/Guardia	12

Calculando:

$$Q_{tr} = 6 \text{ m}^3/\text{min} * 12$$

$$Q_{tr} = 72 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 2542.66 \text{ CFM}$$

Tabla 17.
Nivel 40015.00

Cargo	# de trabajadores
Capataz	01
Operador de la compresora 400 CFM	01
Maestros perforistas	02
Ayudantes perforistas	02
Personal de servicios	01
Vigilante	01
Total/Guardia	08

Calculando:

$$Q_{tr} = 6 \text{ m}^3/\text{min} * 8$$

$$Q_{tr} = 48 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 1695.10 \text{ CFM}$$

Tabla 18.
Nivel 40027.00

Cargo	# de trabajadores
Capataz	01
Operador de la compresora 400 CFM	01
Maestros perforistas	01
Ayudantes perforistas	02
Vigilante	01
Personal de servicios	01
Total/Guardia	07

Calculando:

$$Q_{tr} = 6 \text{ m}^3/\text{min} * 7$$

$$Q_{tr} = 42 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 1483.22 \text{ CFM}$$

Tabla 19.
Nivel 4043.00

Cargo	# de trabajadores
Capataz	01
Operador de la compresora 400 CFM	01
Maestros perforistas	02
Ayudantes perforistas	04
Personal de servicios	02
Vigilante	01
Total/Guardia	11

Calculando:

$$Q_{tr} = 6 \text{ m}^3/\text{min} * 11$$

$$Q_{tr} = 66 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 2330.77 \text{ CFM}$$

b) Caudal requerido por el consumo de madera

$$Q_{tr} = T * U(\text{m}^3/\text{min})$$

Donde:

Q_{tr} = caudal requerido por toneladas de producción (m^3/min)

T = producción en toneladas métricas húmedas por guardia

U = factor de producción, de acuerdo a la escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento

Nivel 4003.00

$$Q_{tr} = 2.50 * 0.60(\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 1.5 (\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 59.97 \text{ CFM}$$

Nivel 4015.00

$$Q_{tr} = 2.49 * 0.60(\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 1.49 (\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 52.62 \text{ CFM}$$

Nivel 4027.00

$$Q_{tr} = 2.53 * 0.60(\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 1.52 (\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 53.68 \text{ CFM}$$

Nivel 4043.00

$$Q_{tr} = 2.48 * 0.60(\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 1.49 (\text{m}^3/\text{min})$$

$$Q_{tr} = 52.62 \text{ CFM}$$

c) Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo

$$Q_{te} = V_m * A * N \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

Donde:

Q_{te} = caudal por temperatura (m^3/min)

A = área promedio de labores (m^2)

V_m = velocidad mínima (m/min)

N = número de niveles con temperatura mayor a 23 °C, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

Nivel 4003.00

No cuenta con temperaturas superiores a los 23 °C

Nivel 4015.00

No cuenta con temperaturas superiores a los 23 °C

Nivel 4027.00

No cuenta con temperaturas superiores a los 23 °C

Nivel 4043.00

No cuenta con temperaturas superiores a los 23 °C

d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero

$$Q_{eq} = 3 * HP * D_m * F_u \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

Q_{eq} = volumen necesario para la ventilación (m^3/min)

HP = capacidad efectiva de potencia (HPs)

D_m = disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%)

F_u = factor de utilización promedio de los equipos (%)

En los diferentes niveles se cuenta con una compresora de 113 Hp, y se encuentran ubicados al exterior de interior de mina por lo cual no se considera para los cálculos del requerimiento de aire, así como los equipos Jack Leeg que funcionan con aire comprimido.

e) Caudal requerido por fugas

$$Q_{fu} = 15\% * Q_{t1} \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Donde:

$Q_{t1} = Q_{tr} + Q_{ma} + Q_{eq}$

Nivel 4003.00

$$Qt1 = 72 + 1.5$$

$$Qt1 = 73.5\text{m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 11.03\text{m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 389.51 \text{ CFM}$$

Nivel 4015.00

$$Qt1 = 48 + 1.49$$

$$Qt1 = 49.49 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 7.42 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 262.03 \text{ CFM}$$

Nivel 4027.00

$$Qt1 = 42 + 1.52$$

$$Qt1 = 43.52 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 6.53 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 230.60 \text{ CFM}$$

Nivel 4043.00

$$Qt1 = 66 + 1.49$$

$$Qt1 = 67.49 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 10.12 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qfu = 357.38 \text{ CFM}$$

f) Requerimiento de aire total

$$Qto = Qt1 + Qfu$$

Donde:

Qto = caudal total para la operación

$Qt1$ = la sumatoria de caudal requerido por a) el número de trabajadores, b) el consumo de madera, c) temperatura en las labores de trabajo, d) equipos con motor petrolero.

$$Q_{fu} = 15\% \text{ del } Q_{t1}$$

Tabla 20.
Requerimiento de aire total

	Nivel 4003.00	Nivel 4015.00	Nivel 4027.00	Nivel 4043.00
Caudal requerido según el número de trabajadores	2542.66 CFM	1695.10 CFM	1483.22 CFM	2330.77 CFM
Caudal requerido por el consumo de madera.	59.97 CFM	52.62 CFM	53.68 CFM	52.62 CFM
Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo	-----	-----	-----	-----
Caudal requerido por equipo con motor petrolero	-----	-----	-----	-----
Caudal requerido por fugas	389.51 CFM	262.16 CFM	230.54 CFM	357.51 CFM
Requerimiento de aire total	2992.14 CFM	2009.88 CFM	1767.44 CFM	2740.9 CFM

4.1.11 Cálculo del caudal de aire en las diferentes estaciones

Se utilizó el anemómetro para poder medir las velocidades en diferentes puntos, el instrumento es desplazado por la sección transversal de la galería, procurando cubrir toda el área del conducto. La sección de una galería es dividida en varias subsecciones de acuerdo al área de trabajo y la velocidad del aire medido en el centro de cada subsección, la velocidad actual es determinada promediando las velocidades individuales. Este método es bastante preciso, pero requiere de muchas mediciones. Para la toma de mediciones se consideraron tres puntos en diferentes ubicaciones para poder realizar el monitoreo del caudal de aire limpio que ingresa a cada nivel de la mina.

Tabla 21.
Cálculo del caudal de aire en las diferentes estaciones

Estación	Cota (m)	Área (m ²)	Velocidad m/min	Velocidad m/s	Total caudal m ³ /min	Total, caudal CFM
E1	4003.00	2.53	24	0.40	60.72	2144.33
E2	4003.00	2.55	18	0.30	45.9	1620.94
E3	4003.00	3.00	12.6	0.21	37.8	1334.89
E4	4003.00	2.85	11.4	0.19	32.49	1147.37
E5	4015.00	2.64	20.4	0.34	53.86	1901.92
E6	4015.00	2.60	14.4	0.24	37.44	1322.18
E7	4015.00	2.96	13.2	0.22	39.07	1379.74
E8	4027.00	2.57	18.6	0.31	47.80	1688.13
E9	4027.00	2.98	15.6	0.26	46.49	1641.78
E10	4027.00	2.76	12.6	0.21	34.78	1228.24
E11	4043.00	2.62	22.8	0.38	59.74	2109.58
E12	4043.00	2.82	16.8	0.28	47.38	1673.21
E13	4043.00	2.83	15	0.25	42.45	1499.11
E14	4043.00	2.58	12	0.20	30.96	1093.34

4.1.12 Balance de flujos

Tabla 22.
Balance de flujos

Balance de flujos					
Entrada			Salida		
Boca mina 4003	88.04	m³/min	Bc.4003	85	m³/min
Boca mina 4015	82.37	m³/min	Bc.4015	80.5	m³/min
Boca mina 4027	77.01	m³/min	Bc.4027	77	m³/min
Boca mina 4043	84.89	m³/min	Bc.4043	84	m³/min
Total	332.31	m³/min	Total	326.5	m³/min

4.1.13 Caída de presión

Para calcular la caída de presión se utilizó la fórmula de Atkinson:

$$HL = (K * p * (L + Le) * Q^2) / 5.2 * A^3; \text{pulgadas de agua}$$

Para realizar el cálculo de la caída de presión el tipo de labor es roca ígnea; irregularidades de las superficies de alimentación, promedio; sinuosidad o curvatura, moderada; obstrucción, moderada. K=225. Calculando K al nivel del mar.

La mina artesanal Aurex - Acopalca considera tres niveles para el cálculo del peso específico del aire.

Niv. 4003=0.608 (P. barométrica)

Niv. 4015=0.607 (P. barométrica)

Niv. 4027=0.606 (P. barométrica)

Niv. 4043=0.605 (P. barométrica)

Calculando el peso específico del aire de acuerdo a cada estación de la mina Aurex - Acopalca

$$p.e = (1.327 * P_{\text{barométrica}} / T); \text{ lb/pie}^3$$

$$K \text{ corregido} = (K * p.e. \text{ aire cota} / 0.0751) * 10^{-10}$$

Tabla 23.
K corregido

Estación	Peso específico del aire	K corregido
E1	0.065	$1.95 * 10^{-8}$
E2	0.048	$1.44 * 10^{-8}$
E3	0.050	$1.50 * 10^{-8}$
E4	0.040	$1.20 * 10^{-8}$
E5	0.062	$1.86 * 10^{-8}$
E6	0.050	$1.50 * 10^{-8}$
E7	0.049	$1.47 * 10^{-8}$
E8	0.058	$1.74 * 10^{-8}$
E9	0.050	$1.50 * 10^{-8}$
E10	0.040	$1.20 * 10^{-8}$
E11	0.063	$1.89 * 10^{-8}$
E12	0.050	$1.50 * 10^{-8}$
E13	0.048	$1.44 * 10^{-8}$
E14	0.038	$1.14 * 10^{-8}$

$$HL = ((K * p * (L + Le) * Q^2)) / 5.2 * A^3; \text{ pulgadas de agua}$$

Tabla 24.
Caída de presión

Estaciones	K	P	L	Le	Q	A	HL
E1	$1.95 * 10^{-8}$	22.51	Bocamina	3	2144.33	31.65	$3.67 * 10^{-5}$
E2	$1.44 * 10^{-8}$	20.97	380.58	230	1620.94	27.45	$4.50 * 10^{-3}$
E3	$1.50 * 10^{-8}$	22.74	292	260	1334.89	32.29	$1.92 * 10^{-3}$
E4	$1.20 * 10^{-8}$	22.15	232.94	15	1147.37	30.68	$0.58 * 10^{-3}$
E5	$1.86 * 10^{-8}$	21.33	Bocamina	3	1901.92	28.42	$3.61 * 10^{-5}$
E6	$1.50 * 10^{-8}$	21.16	262.47	245	1322.18	27.99	$2.45 * 10^{-3}$
E7	$1.47 * 10^{-8}$	22.57	164.04	275	1379.74	31.86	$1.67 * 10^{-3}$
E8	$1.74 * 10^{-8}$	21.03	Bocamina	3	1688.13	27.66	$2.84 * 10^{-5}$
E9	$1.50 * 10^{-8}$	22.67	328.08	260	1641.78	32.08	$3.14 * 10^{-3}$
E10	$1.20 * 10^{-8}$	21.79	255.90	15	1228.24	29.71	$0.78 * 10^{-3}$
E11	$1.89 * 10^{-8}$	21.23	Bocamina	3	2109.58	28.20	$4.59 * 10^{-5}$
E12	$1.50 * 10^{-8}$	22.05	196.85	45	1673.21	30.35	$1.54 * 10^{-3}$
E13	$1.44 * 10^{-8}$	22.08	262.47	475	1499.11	30.46	$3.59 * 10^{-3}$
E14	$1.14 * 10^{-8}$	21.06	262.47	230	1093.34	27.77	$1.27 * 10^{-3}$

4.1.14 Cálculo de la abertura u orificio equivalente

$$A_m = \frac{0.0004 * Q}{\sqrt{HL}}; \text{pie}^2$$

Tabla 25.
Cálculo de la abertura

Nivel	Estación	Q que circula	Diferencia de HL	Abertura
Nv.4003	E1	2144.33	$3.67*10^{-5}$	141.59
Nv.4003	E2	1620.94	$4.50*10^{-3}$	9.67
Nv.4003	E3	1334.89	$1.92*10^{-3}$	12.19
Nv.4003	E4	1147.37	$0.58*10^{-3}$	19.06
Nv.4015	E5	1901.92	$3.61*10^{-5}$	126.62
Nv.4015	E6	1322.18	$2.45*10^{-3}$	10.68
Nv.4015	E7	1379.74	$1.67*10^{-3}$	13.51
Nv.4027	E8	1688.13	$2.84*10^{-5}$	126.71
Nv.4027	E9	1641.78	$3.14*10^{-3}$	11.72
Nv.4027	E10	1228.24	$0.78*10^{-3}$	17.59
Nv.4043	E11	2109.58	$4.59*10^{-5}$	124.55
Nv.4043	E12	1673.21	$1.54*10^{-3}$	17.05
Nv.4043	E13	1499.11	$3.59*10^{-3}$	10.01
Nv.4043	E14	1093.34	$1.27*10^{-3}$	12.27

4.1.15 Cálculo del costo para la elaboración de chimeneas en la mina artesanal Aurex - Acopalca

Para evacuar los gases, humos y polvos en suspensión de la mina artesanal Aurex - Acopalca se propone la construcción de chimeneas para poder llevar aire limpio a las labores y la cantidad necesaria para los trabajadores y equipos.

Tabla 26.

Costo para la elaboración de las chimeneas

Chimenea - 1.50 x 1.10 m							
N.º taladros perforad.	16			Eficiencia perforación		80%	
N.º taladros cargados	15			Eficiencia voladura		80%	
Long. de barreno (ft.)	4			Avance efectivo/disparo		0.98 m.	
Peso especif. (tm/m³)	2.65			Sección	1.5	1.2	1.80 m²
1	Mano de obra	Unid.	Cant.	Incid.	P. Unit.	Parcial	US \$/disp.
	1.1 Obreros						
	Perforista	HH	8	1.00	2.53	20.24	
	Ayde. perforista	HH	8	1.00	2.02	16.16	
	Operador pala cavo	HH	8	0.25	2.74	5.48	
	1.2 Supervisión y personal de apoyo						
	Ing. de Guardia	HH	8	0.250	5.46	10.92	
	Administrador	HH	8	0.250	3.15	6.30	
	Capataz	HH	8	0.333	3.15	8.40	
	Bodeguero	HH	8	0.333	2.16	5.76	73.26
2	Perforación						
	Barreno de 2'	pp	51.20	0.25	0.04	0.51	
	Barreno de 4'	pp	51.20	0.75	0.05	1.92	
	Manguera de agua Ø 1/2"	m.	50.00	1.00	0.02	1.00	
	Manguera de aire Ø 1"	m.	50.00	1.00	0.03	1.50	
	Piedra esmeril	pp	1.00	1.00	0.01	0.01	
	Accesorios de perforación			mang.	10%	2.60	0.26
3	Voladura						
	Anfo	Kg.	9.6	1.00	0.58	5.57	
	Anfo de 25 Kg.	Unid.	15.00	1.00	0.13	1.95	
	Cordón detonant. 3Px1500m./caja	m.	13.50	1.00	0.12	1.62	
	Dinamita Semexsa 65% (7/8" x 7")	Unid.	15.00	1.00	0.12	1.80	

Fanel	Unid.	15.00	1.00	1.12	16.80	
Fulminante N° 6, 45 mm./millar	Unid.	15.00	1.00	0.08	1.20	
Guía de Seguridad	m.	10.00	1.00	0.09	0.90	29.84
4 Equipos y herramientas						
Afiladora de barrenos	pp	51.20	1.00	0.03	1.54	
Máquina perforadora Stoper	pp	51.20	1.00	0.09	4.61	
Pala Cavo LHD 310 Dumpers	hm	0.33	1.00	5.63	1.86	
Herramientas y otros	Global	3.42	1.00	0.83	2.84	10.84
5 Armado de Puntales y Andamios						
Puntales (Ø 4" x 5')	Pie3	1.99	100%	1.40	2.786	
Tablas (1 ½" x 10" x 4.6')	Pie2	3.89	100%	0.57	2.217	
Clavos (3")	Kg.	1.50	100%	0.72	1.080	5.93
6 Implementos de seguridad						
Completo	Global	3.42	1.00	1.41	4.82	4.82
Costo Total por disparo (US \$/disp.)						129.89
Costo Total por metro de avance (US \$/m.)						133.17

4.1.16 Producción de mineral en la mina artesanal Aurex - Acopalca

Tabla 27.

Producción de mineral por guardia

Labor	A. (M)	L.D. (M)	P.V. (M)	P.E.	E.F (80%)	V(M 3)	(TM/Gd.)
Niv. 4003.20	1.62	1.82	0.40	2.65	0.80	1.18	2.50
Niv. 4015.20	1.59	1.85	0.40	2.65	0.80	1.18	2.49
Niv. 4027.20	1.64	1.82	0.40	2.65	0.80	1.19	2.53
Niv. 4043.20	1.59	1.84	0.40	2.65	0.80	1.17	2.48
Total							10.01

Donde:

- A. Ancho de la labor
- L.D. Longitud de disparo
- P.V. Potencia de veta
- P.E. Peso específico del mineral
- V. Volumen
- E.F. Eficiencia de voladura

4.1.17 Producción de mineral durante la construcción de las chimeneas en la mina artesanal Aurex - Acopalca

Tabla 28.

Producción de mineral por guardia en la construcción de chimeneas

Labor	A. (M)	L.D. (M)	P.V. (M)	P.E.	E.F (80%)	V. (M 3)	(tm/Gd.)
Chimenea 4003.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4003.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4015.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4027.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4027.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4043.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Chimenea 4043.20	1.50	1.10	0.40	2.65	0.80	0.66	1.40
Total							9.79

Tabla 29.

Programa de construcción de las chimeneas

Nivel	Labor	Días trabajo	Producción de mineral			
			tm/día	gd./día	tm/gd	tm/mes
Chimenea 4003.20	Ch. 01	12	1.40	2	2.80	33.58
Chimenea 4003.20	Ch. 02	22	1.40	2	2.80	61.56
Chimenea 4015.20	Ch. 01	9	1.40	2	2.80	25.19
Chimenea 4027.20	Ch. 01	13	1.40	2	2.80	36.38
Chimenea 4027.20	Ch. 02	13	1.40	2	2.80	36.38
Chimenea 4043.20	Ch. 01	16	1.40	2	2.80	44.77
Chimenea 4043.20	Ch. 02	42	1.40	2	2.80	117.53
Total de mineral producido por la construcción de chimeneas						355.40
<i>Producción mensual (tm/mes)</i>			355.40			
<i>Días trabajados</i>			42			
<i>Producción por día (tm/día)</i>			8.46			

4.1.18 Costos para la adquisición de ventiladores para los diferentes niveles de la mina artesanal Aurex - Acopalca

Costos

Es la sumatoria de valores gastados durante la producción de un bien o la prestación de un servicio y durante un periodo determinado.

a) Costos de propiedad

Amortización

Es el pago o monto periódicos de devolución de un financiamiento o la recuperación del capital invertido en la adquisición de bienes.

$$a = A \left(\frac{(1+i)^N - 1}{(1+i)^N} \right)$$

Donde:

a = amortización

A = monto invertido, monto del préstamo

i = tasa de interés

N = vida útil del bien, número de cuotas de devolución.

Depreciación

Es la disminución del valor del bien adquirido por obsolescencia o por desgaste operacional o fondo de reposición.

Se considera el valor de rescate o de recuperación al final de su vida útil, el mismo que oscila entre el 10% y 25% del costo de adquisición, siendo el más usual el 20%. Se halla aplicando la siguiente fórmula.

$$D = 80\% \text{ del precio de adquisición} / \text{vida útil.}$$

b) Costos de operación

Costos de mantenimiento

Constituidos por los costos de mano de obra, materiales, instalaciones, herramientas, etc. que se utilizan durante la vida útil del bien.

Son aplicados a ventiladores, ductos metálicos, cables eléctricos, equipos de medición de flujos y de contaminantes ambientales y winchas de acero.

Se calcula mediante la siguiente fórmula empírica:

$$M = \text{precio de adquisición/vida útil.}$$

Costos de accesorios de ventilación

Los costos de los ductos plastificados, mangueras de aire, puertas, compuertas, tubos colorimétricos, cemento, arena/grava, ladrillos, bloquetas, fierro corrugado, madera, clavos, alambre negro, barrenos usados, etc. se obtienen dividiendo el precio de adquisición entre la vida útil de los mismos, al ser considerados materiales consumibles.

Tabla 30.
Costo del ventilador axial nivel 4003

Precio del equipo (\$)		2000	
Interés (%)		18	
Seguro (%)		2	
Valor de rescate (%)	10	200	360.00
Interés anual		216	216.00
Vida útil (años)	5		
Seguro anual		24	24.00
Vida útil (horas)	15600		
Costo mantenimiento anual (%)	20	80.00	80.00
Costo anual de la unidad			680.00
Costo total de la unidad			3400
Costo horario (\$)			0.218
Costo horario de accesorios (\$)			0.283
Total			0.501

Tabla 31.
Costo ventilador axial nivel 4015

Precio del equipo (\$)		2000	
Interés (%)		18	
Seguro (%)		2	
Valor de rescate (%)	10	200	360.00
Interés anual		216	216.00
Vida útil (años)	5		
Seguro anual		24	24.00
Vida útil (horas)	15600		
Costo mantenimiento anual (%)	20	80.00	80.00
COSTO anual de la unidad			680.00
costo total de la unidad			3400
Costo horario (\$)			0.218
Costo horario de accesorios (\$)			0.124
Total			0.342

Tabla 32.
Costo mangas de ventilación nivel 4015

	Precio unitario	Unidades (m)	Subtotal
Mangas de V. (\$)	5	116	580
Alcayatas (\$)	5	39	195
		Total	775
Vida útil		6240	
Costo horario de accesorios			0.124

Tabla 33.
Costo ventilador axial nivel 40027

Precio del equipo (\$)		2000	
Interés (%)		18	
Seguro (%)		2	
Valor de rescate (%)	10	200	360.00
Interés anual		216	216.00
Vida útil (años)	5		
Seguro anual		24	24.00
Vida útil (horas)	15600		
Costo mantenimiento anual (%)	20	80.00	80.00
Costo anual de la unidad			680.00
Costo total de la unidad			3400
Costo horario (\$)			0.218
Costo horario de accesorios (\$)			0.165
Total			0.383

Tabla 34.
Costo mangas de ventilación nivel 40027

	Precio unitario	Unidades (m)	Subtotal
Mangas de V. (\$)	5	154	770
Alcayatas (\$)	5	52	260
		Total	1030
Vida útil		6240	
Costo horario de accesorios			0.165

Tabla 35.
Costo ventilador axial nivel 4043

Precio del equipo (\$)		2000	
Interés (%)		18	
Seguro (%)		2	
Valor de rescate (%)	10	200	360.00
Interés anual		216	216.00
Vida útil (años)	5		
Seguro anual		24	24.00
Vida útil (horas)	15600		
Costo mantenimiento anual (%)	20	80.00	80.00
Costo anual de la unidad			680.00
Costo total de la unidad			3400
Costo horario (\$)			0.218
Costo horario de accesorios (\$)			0.119
Total			0.337

Tabla 36.
Costo mangas de ventilación nivel 4043

	Precio unitario	Unidades (m)	Subtotal
Mangas de V. (\$)	5	220	1100
Alcayatas (\$)	5	88	440
		Total	1540
Vida útil		6240	
Costo horario de accesorios			0.247

Costos de energía eléctrica (E)

Se obtiene el costo de cada ventilador eléctrico en operación, en base a la fórmula:

$$E = P * TE * \text{costo/kW}$$

Donde:

E = energía

$$P = (\sqrt{(3 * V * I * \text{COS}\phi * e)}/1000)$$

P = potencia; kW

TE = horas de trabajo consideradas durante un periodo establecido

Costo/kW = es el precio fijado por cada kW producido o adquirido

TE = tiempo efectivo de operación de cada ventilador durante el periodo considerado; los ventiladores principales y secundarios trabajan normalmente las 24 horas, 26 días/mes y 12 meses/año.

Costo/KW = costo de cada kW consumido por cada ventilador; este dato lo proporciona generalmente Casa de Fuerza.

V= voltaje; voltios, que viene grabado en la placa del motor

I = amperaje; amperios, que viene grabado en la placa del motor

Cos ϕ = parámetro eléctrico, 0.87

E = eficiencia del motor, normalmente es 0.98, pudiendo ser menor a más tiempo de trabajo del ventilador

Tabla 37.

Costo de energía eléctrica

Ventilador	Voltaje (V)	Amperaje (I)	Parámetro eléctrico (cos ϕ)	Eficiencia de motor	Potencia (P) kW
Axial 6000 CFM	180	28	0.87	0.80	7.5

Tabla 38.

Tiempo efectivo de operación

Horas/día	10
Días/mes	26
Meses	12
Horas/año	3120

Tabla 39.

Costo energía eléctrica

Costo energía eléctrica (energía eléctrica trifásica) (\$/kWh)	0.21
Costo total por consumo de energía eléctrica del ventilador de 6000 CFM (US\$/año)	4914.00

Tomada de (BCR) Cotización promedio dólar = S/. 3.298 fecha 3/04/2019

c) Costo horario del ventilador por niveles

Tabla 40.

Costo horario del ventilador por niveles

Nivel 4003.00	Subtotal/hora
Ventiladores, accesorios	0.501
Energía eléctrica	1.575
Costo horario (US\$/h)	2.076
Nivel 4015.00	Subtotal/hora
Ventiladores, accesorios	0.342
Energía eléctrica	1.575
Costo horario (US\$/h)	1.917
Nivel 4027.00	Subtotal/hora
Ventiladores, accesorios	0.383
Energía eléctrica	1.575
Costo horario (US\$/h)	1.958
Nivel 4043.00	Subtotal/hora
Ventiladores, accesorios	0.337
Energía eléctrica	1.575
Costo horario (US\$/h)	1.912

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 De acuerdo al análisis de cálculo del caudal de aire para la ventilación de los niveles

Tabla 41.

Costo por la construcción de chimenea

Costo por la construcción de chimenea 1	
Metros de construcción de las chimeneas	50 metros
Costo \$/metro de avance	US\$/m 133.17
Costo total construcción de chimeneas	US\$ 6, 658.50
Costo por la construcción de chimenea 2	
Metros de construcción de las chimeneas	77 metros
Costo \$/metro de avance	US\$/m 133.17
Costo total construcción de chimeneas	US\$ 10, 254.09
Costo chimenea 1	US\$ 6, 658.50
Costo chimenea 2	US\$ 10, 254.09
Costo total chimenea 1 y 2	US\$ 16,912.59

Tabla 42.

Costo por año de la adquisición de ventiladores, accesorios y energía eléctrica

Nivel	Costo total/año
Nivel 4003.00	US\$ 5,073.12
Nivel 4015.00	US\$ 4,577.04
Nivel 4027.00	US\$ 4,704.96
Nivel 4043.00	US\$ 4,561.44
Costo total de los cuatro niveles/año	US\$18,916.56

CONCLUSIONES

1. Se concluye que para evacuar los gases se tienen dos alternativas: la primera consiste en integrar las labores mineras mediante chimeneas, y la segunda, que cada labor adquiera un ventilador de 6000 CFM lo que involucra un costo horario de los cuatro niveles de 7.863 \$/h.
2. Los gases presentes en las labores mineras son: monóxido de carbono, gases nitrosos y polvo debido a la voladura.
3. El circuito, en caso se decida por el uso de ventilador, la evacuación de los gases consiste en el ingreso del aire limpio por la parte superior y la evacuación de los gases viciados por la parte inferior, como otra alternativa sería la integración de las chimeneas y para evacuar los gases en forma natural.
4. El costo de ventilación mediante los ventiladores en los cuatro niveles es de 7.863 US\$/h, el costo de adquisición de los ventiladores, accesorios y el consumo de energía eléctrica anual es de US\$ 18,916.56 y si se emplea la ventilación natural el costo de la construcción de la chimenea es cubierto por la recuperación del mineral; el costo de la construcción de las chimeneas por metro de avance es de US\$/m 133.17, el costo total de la construcción de las dos chimeneas es de US\$ 16, 912.59.
5. El ingreso del aire deberá vencer las resistencias que ofrecen a su movimiento (fricción choque) lo cual se traduce en una pérdida de energía en movimiento, viendo que poco a poco va disminuyendo el flujo de caudal a medida que va ingresando a las labores para lo cual se necesita forzar el flujo de aire a través de chimeneas o con ventiladores axiales.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **APONTE ESPINOZA, Elber.** *Modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera Cobriza zona Norte (área Coris).* Lima : UNI.
2. **GUILLÉN CARBAJAL, César.** *optimizacion del sistema de ventilacion aplicando tecnologias informaticas minera hemco- nicaragua.* lima : s.n., 2016.
3. **CARRASCAL BUELVAS, Alfonso Andrés y MANZUR ÁMEL, Camilo Andrés.** *Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina “El Maracaibo” municipio de Samacá, departamento de Boyacá.* s.l. : Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
4. **PERÚ, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL.** *Decreto Supremo 023-2017 e.m.* Lima : El Peruano, 2017.
5. **VARGAS ALEGRÍA, Erick.** *Ventilación de minas.* Chile : Sernageomin zona Sur, 2015.
6. **MALLQUI, Aníbal, OCHOA, J. y MALLQUI, I.** *Ventilación de minas.* Huancayo : s.n., 2016.
7. **IBAÑEZ ZAMUDIO, Vicencio.** *Implementación de sistema de ventilación en el niv. 4050, veta don Ernesto, unidad minera El Porvenir-Milpo.* Huancayo : s.n., 2017.
8. **SEGURIDAD MINERA.** *Operaciones mineras, métodos y planeación de ventilación de minas subterráneas.* 2019.
[https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/métodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas.](https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/métodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas)
9. **JIMÉNEZ ASCANIO, Pablo.** *Ventilación de minas y túneles.* Lima : Instituto de Ingenieros del Perú, 2011.
10. **LEÓN, W., MONGE, R. y CHACÓN , N.** *Geología de los cuadrángulos de Chuchurras (21-m), Ulcumayo (22-l), Oxapampa (22-m), La Merced (23-m).* Lima : s.n., 1996.
11. **PERÚ, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL.** *Decreto Supremo 023-2017 e.m.* Lima : El Peruano, 2017. 1.
12. —. *Decreto Supremo 023-2017 e.m.* Lima : El Peruano, 2017.
13. —. *Decreto Supremo 023-2017 e.m.* Lima : El Peruano, 2017.