

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN
MECÁNICA, EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE
VENTILACIÓN DEL NIVEL 4955 MINA URANO**

SAC – PUNO”

TESIS

PRESENTADA POR:

JESÚS ALBERTO SUTTY VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

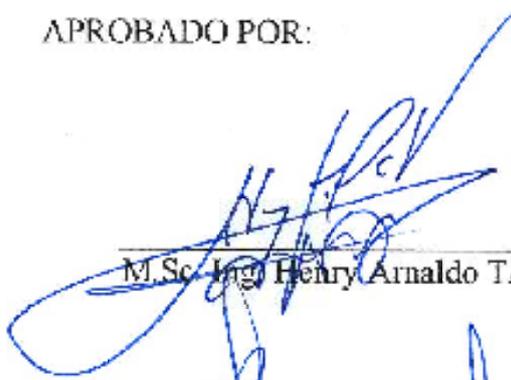
“INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL NIVEL 4955 MINA URANO SAC – PUNO”

PRESENTADA POR EL BACHILLER

JESÚS ALBERTO SUTTY VILCA.

APROBADO POR:

PRESIDENTE


M.Sc. Ing. Henry Arnaldo TAPIA VALENCIA.

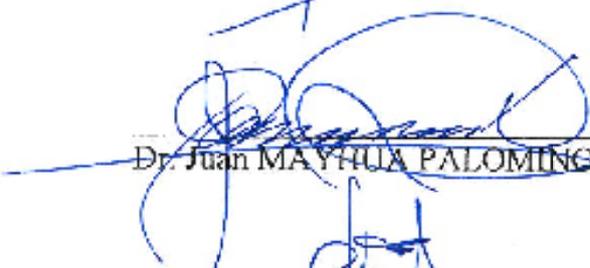
PRIMER MIEMBRO


Ing. Esteban AQUINO ALANOCA.

SEGUNDO MIEMBRO


Dr. Fernando Benigno SALAS URVIOLA.

DIRECTOR DE TESIS


Dr. Juan MA YHUA PALOMINO.

ASESOR DE TESIS


Ing. Lucio QUESA GUTIERREZ

Área: Ingeniería de Minas.

Tema: Servicios auxiliares requeridos en operaciones mineras.

DEDICATORIA.

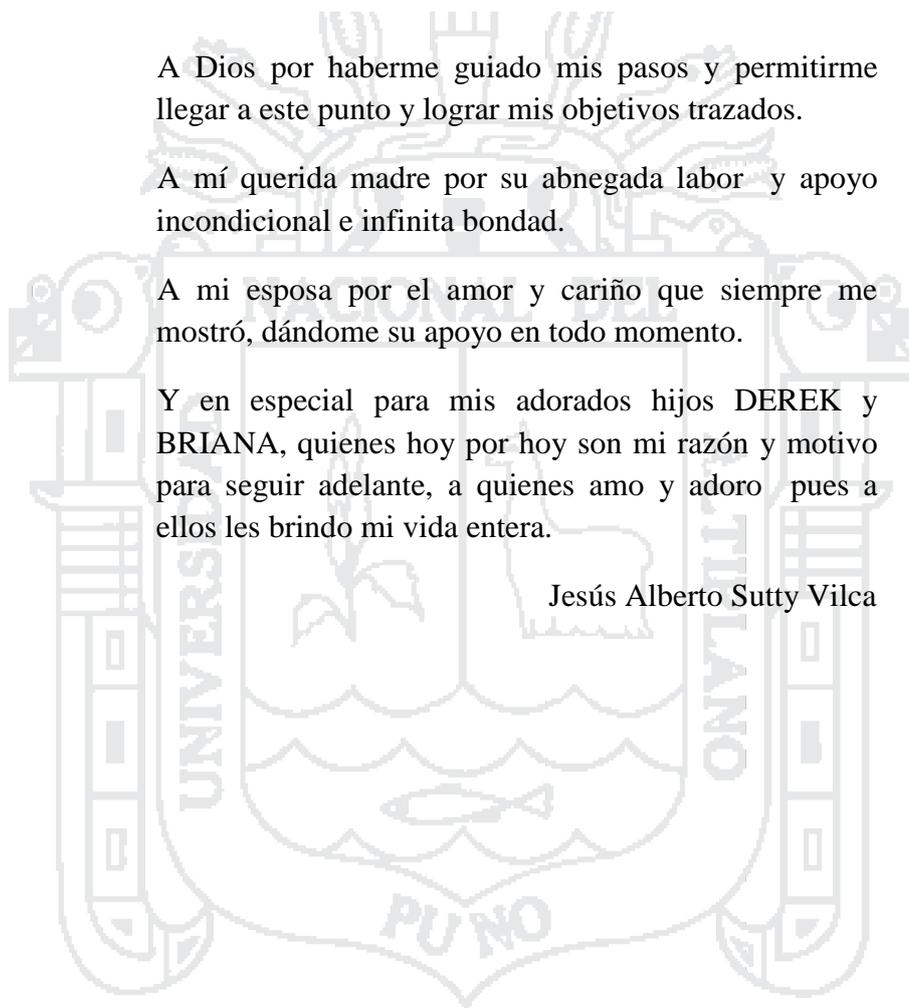
A Dios por haberme guiado mis pasos y permitirme llegar a este punto y lograr mis objetivos trazados.

A mí querida madre por su abnegada labor y apoyo incondicional e infinita bondad.

A mi esposa por el amor y cariño que siempre me mostró, dándome su apoyo en todo momento.

Y en especial para mis adorados hijos DEREK y BRIANA, quienes hoy por hoy son mi razón y motivo para seguir adelante, a quienes amo y adoro pues a ellos les brindo mi vida entera.

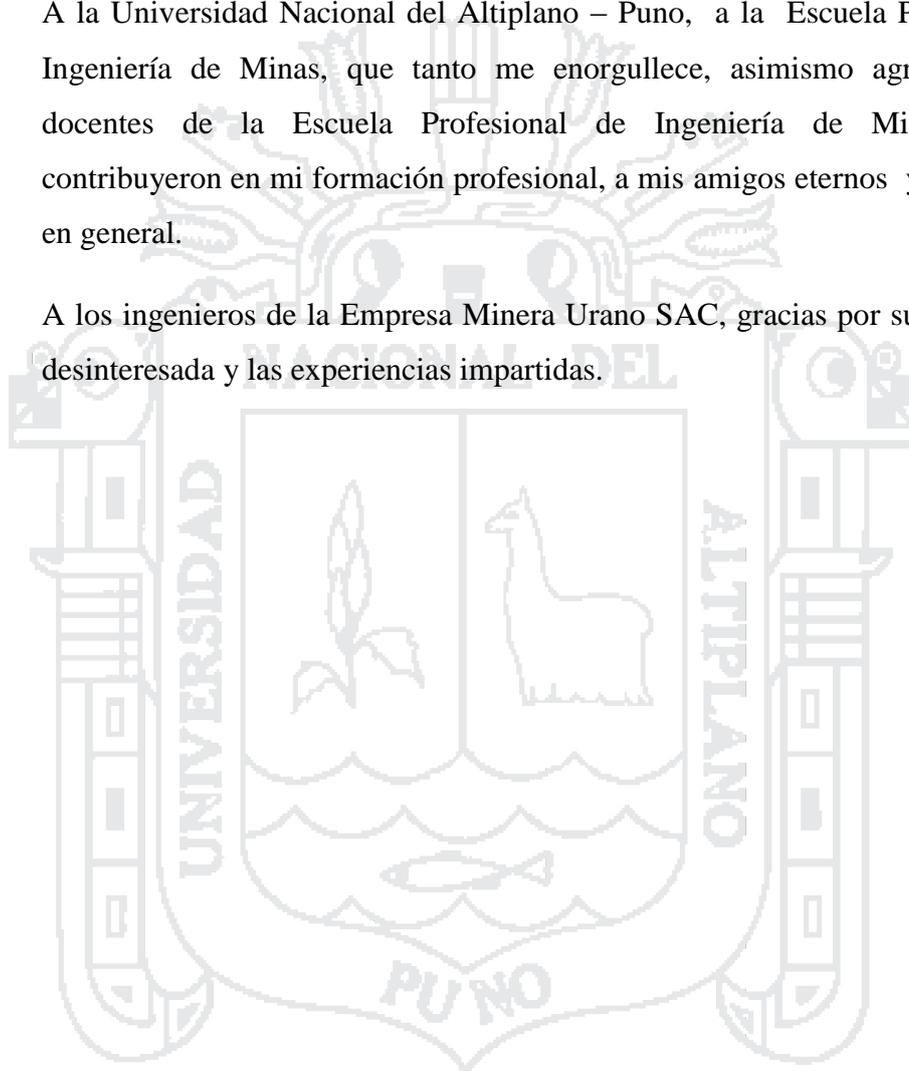
Jesús Alberto Suty Vilca



AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que tanto me enorgullece, asimismo agradecer a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes contribuyeron en mi formación profesional, a mis amigos eternos y a mi familia en general.

A los ingenieros de la Empresa Minera Urano SAC, gracias por su cooperación desinteresada y las experiencias impartidas.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 Descripción de la realidad problemática	19
1.2 Antecedentes teóricos del sistema	20
1.3 Formulación del problema	22
1.3.1 Problema general	22
1.3.2 Problemas específico	22
1.4 Objetivos de la investigación	22
1.4.1 Objetivo general	22
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 Justificación de la investigación	23
1.6 Limitaciones del estudio	24
1.7 Viabilidad del estudio	24

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes de la investigación	25
2.2 Bases teóricas	28
2.2.1 Ventilación	28
2.2.2 Ventilación subterránea	30
2.2.3 Tipos de ventilación	31
2.2.3.1 Ventilación natural	32
2.2.3.2 Ventilación mecánica	33
2.2.4 Requerimiento de aire	35
2.2.4.1 Requerimiento de acuerdo al número de personas	35
2.2.4.2 Requerimiento de acuerdo al uso de equipo diésel	35
2.2.4.3 Requerimiento de acuerdo al uso de explosivo	35
2.2.4.4 Requerimiento para mantener óptimas condiciones ambientales	36
2.2.4.5 Cálculo de cantidad total del aire	36
2.2.5 Sistemas de ventilación	36
2.2.5.1 Ventilación impelente	36
2.2.5.2 Ventilación aspirante	37
2.2.5.3 Ventilación mixta (Aspirante – impelente)	38

2.2.6 Métodos de ventilación secundaria	39
2.2.6.1 Difusión	39
2.2.6.2 Mediante tabiques	40
2.2.6.3 Mediante labores paralelas	40
2.2.6.4 Mediante ductos	40
2.2.7 Circuitos de ventilación	41
2.2.7.1 Unión en serie	41
2.2.7.2 Unión en paralelo	42
2.2.7.3 Unión en diagonal	43
2.2.7.4 Circuitos complejos	44
2.2.8 Método Hardy Cross	45
2.2.9 Ley básica de la ventilación de minas	45
2.2.10 Pérdidas de presión	46
2.2.11 Presiones de una mina	47
2.2.11.1 Presión estática	47
2.2.11.2 Presión de velocidad	48
2.2.11.3 Perdida de presión por fricción	48
2.2.12 Formula de Atkinson	49
2.2.13 Factor de fricción	50
2.2.14 Pérdida por choque	51
2.3 Marco conceptual	52

2.3.1 Aspectos generales	52
2.3.1.1 Ubicación y acceso	52
2.3.1.2 Relieve	52
2.3.1.3 Clima	53
2.3.1.4 Historia	53
2.3.2 Aspectos geológicos y desarrollo	54
2.3.2.1 Geología general	54
2.3.2.2 Geología estructural	55
2.3.2.3 Estratigrafía	55
2.3.2.4 Afloramiento	56
2.3.2.5 Geología económica	56
2.4 Definiciones conceptuales de la ventilación de minas	58
2.4.1 Aire atmosférico	58
2.4.2 Aire de mina	59
2.4.3 Propiedades físicas del aire	60
2.4.3.1 Densidad del aire	60
2.4.3.2 Peso específico	61
2.4.3.3 Volumen específico	61
2.4.3.4 Peso del aire	61
2.4.3.5 Calor específico	62
2.4.3.6 Viscosidad	62

2.4.3.7 Presión	62
2.4.3.8 Temperatura	63
2.4.3.9 Humedad del aire	63
2.4.4 Gases presentes en mina	63
2.4.4.1 Nitrógeno (N ₂)	63
2.4.4.2 Oxígeno (O ₂)	64
2.4.4.3 Anhídrido carbónico (CO ₂)	65
2.4.4.4 Monóxido de carbono (CO)	65
2.4.4.5 Óxidos de nitrógeno (NO _x)	66
2.4.4.6 Anhídrido sulfuroso (SO ₂)	67
2.4.4.7 Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	68
2.4.4.8 Metano y otros hidrocarburos	69
2.4.5 Polvos de mina	69
2.4.5.1 Efectos ocasionados por el polvo	70
2.4.6 Efectos por deficiencia de oxígeno	72
2.4.7 Clasificación de los ventiladores	73
2.4.7.1 Ventilador centrífugo	74
2.4.7.2 Ventilador axial	75
2.5 Formulación de hipótesis	77
2.5.1 Hipótesis general	77
2.5.2 Hipótesis específicos	77

CAPÍTULO III

3	METODOLOGÍA	78
3.1	Tipo de investigación	78
3.2	Nivel de investigación	78
3.3	Diseño de investigación	78
3.4	Población y muestra	78
3.5	Identificación de variables	79
3.5.1	Variable independiente	79
3.5.2	Variable dependiente	79
3.6	Técnicas de recolección de datos. Descripción de los instrumentos	80
3.6.1	Técnicas para el procesamiento de la información	80

CAPÍTULO IV

4.1	ANÁLISIS Y RESULTADOS	81
4.1.1	Requerimiento de aire	81
4.1.2	Caudal de aire requerido	82
4.1.2.1	Por el número de personas/guardia	82
4.1.2.2	Por el uso de equipos diésel	83
4.1.2.3	Por la dilución de contaminantes de explosivo	84
4.1.2.4	Caudal de aire total	86
4.1.3	Cálculo de flujo de aire natural en diferentes profundidades	

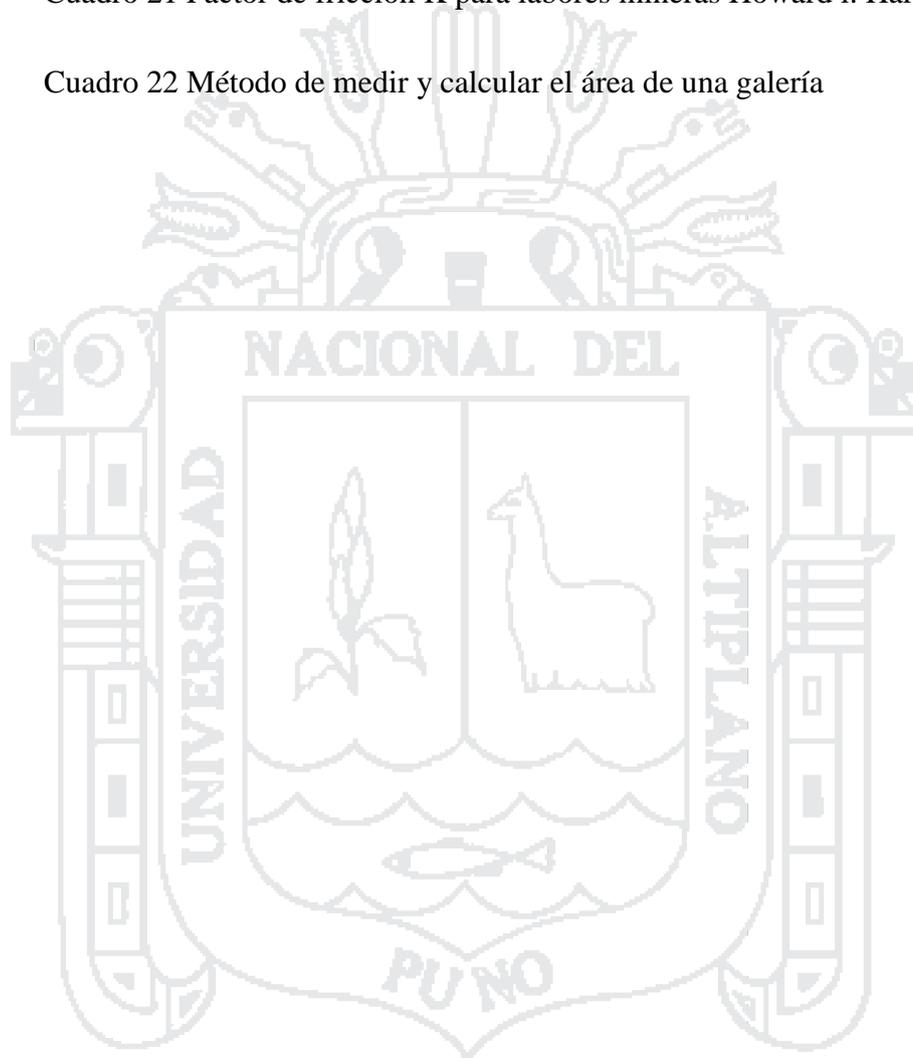
lineales	87
4.1.4 Parámetros para el dimensionamiento del ventilador	89
4.1.5 Evaluación del sistema de ventilación	94
4.1.6 Requerimiento de aire vs caudal de ingreso	94
4.2 Calculo del rendimiento del personal	95
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 01 Ventilación impelente	37
Figura 02 Ventilación aspirante	38
Figura 03 Ventilación mixta	39
Figura 04 Sistema de ventilación en serie	42
Figura 05 Sistema de ventilación en paralelo	43
Figura 06 Sistema de ventilación en diagonal	44
Figura 07 Gradiente de presiones	48
Figura 08 Proceso de la silicosis por tiempo de exposición	71
Figura 09 Retención del polvo en la región alveolar del pulmón	71

Figura 10 Ventilador centrífugo	74
Figura 11 Ventilador axial	76
Figura 12 Rendimiento antes y después de la instalación	97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01 Límites máximos permisibles	29
Cuadro 02 Cargos equivalentes pérdidas por choque	51
Cuadro 03 Composición de aire atmosférico	59
Cuadro 04 Consumo de oxígeno	60
Cuadro 05 Efectos fisiológicos de humos nitrosos	66
Cuadro 06 Efectos fisiológicos del SO ₂	67
Cuadro 07 Efectos fisiológicos del H ₂ S	68
Cuadro 08 Efectos fisiológicos por deficiencia de oxígeno	73
Cuadro 09 Operacionalización de variables	79
Cuadro 10 Cantidad de aire requerido por equipo diésel	84
Cuadro 11 Cantidad de aire requerido por uso de explosivo	85
Cuadro 12 Resumen total de aire requerido mina Urano SAC	86
Cuadro 13 Cálculo de caudal de aire natural en la galería	88
Cuadro 14 Cálculo de caudal de aire natural en la cortada	89
Cuadro 15 Resumen de parámetros	91
Cuadro 16 Valores de diferentes parámetros en función de la altura	92
Cuadro 17 Requerimiento de aire vs caudal de ingreso natural	94

Cuadro 18 Antes de la instalación	95
Cuadro 19 Después de la instalación	96
Cuadro 20 Rendimiento antes vs después de la instalación	96
Cuadro 21 Factor de fricción K para labores mineras Howard I. Hartman	103
Cuadro 22 Método de medir y calcular el área de una galería	105



RESUMEN

Trabajo titulado “Influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC. – Puno”, su objetivo general es, “Determinar la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno”, y sus objetivos específicos son, determinar la efectividad del trabajador en las labores subterráneas, después de la instalación del diseño de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno, reducir la recirculación de aire viciado en el nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno, como hipótesis general es la evaluación de ventilación mecánica influye en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno”, como hipótesis específicos, La ventilación mecánica que satisface las necesidades requeridas de aire, mejora el rendimiento del trabajador minero del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno, Con la instalación de un sistema ventilación mecánica y un diseño de ventilación se minimiza la recirculación de aire viciado del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno, con metodología de estudio el cual pertenece al tipo básico experimental, con un nivel de investigación que es totalmente descriptiva,

Como conclusión, que la ventilación mecánica si influye notablemente en nuestra operación el cual fue necesaria la colocación de dos ventiladores: uno con capacidad de 25000 cfm y el otro de 15000 cfm para cubrir la necesidad de aire, se instaló en la misma galería; uno en BM y otro a 800 metros de profundidad permitiendo enseriarlo, mediante una cámara de acumulación de aire con capacidad de 75 m³.

Palabras claves: Diseño de ventilación de minas, recirculación de aire viciado, efectividad del trabajo, requerimiento de aire.

ABSTRACT

Work titled "Influence of mechanical ventilation on the design of ventilation system of level 4955 Mina Urano SAC. - Puno ", its general objective is " To determine the influence of mechanical ventilation on the design of the ventilation system of level 4955 Mina Urano SAC - Puno ", and its specific objectives are to determine the effectiveness of the worker in underground work, After installation of the ventilation design of level 4955 Mine Urano SAC - Puno, reduce recirculation of air vitiated in level 4955 Mine Urano SAC - Puno, as a general hypothesis is the evaluation of mechanical ventilation influences the design of ventilation system of the level 4955 Mina Urano SAC - Puno ", as specific hypotheses, The mechanical ventilation that satisfies the required air needs, improves the performance of the mining worker of level 4955 Mine Urano SAC - Puno, With the installation of a mechanical ventilation system and a Ventilation design minimizes air recirculation of level 4955 Mina Urano SAC - Puno, with study methodology which belongs to the basic experimental type, with a level of research that is fully descriptive,

As a conclusion, that mechanical ventilation has a significant influence on our operation which required the placement of two fans: one with a capacity of 25,000 cfm and the other of 15,000 cfm to cover the need for air, was installed in the same gallery; One in BM and the other 800 meters in depth, allowing it to be built up by means of an air accumulation chamber with a capacity of 75 m³.

Keywords: Mine ventilation design, vicious air recirculation, worker effectiveness, air requirement.

INTRODUCCIÓN

La ventilación en minas y túneles subterráneos es necesaria para asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera permitiendo no solo la respiración de las personas que trabajan en su interior si no también el funcionamiento de sus 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 y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos rápida y eficazmente, las condiciones óptimas de una atmosfera subterránea solo se logrará cuando el sistema de ventilación, permita un aumento de la productividad de la mano de obra y garantice una máxima protección de la salud y seguridad del personal que labora en nuestra empresa.

La ventilación de minas tiene como objetivo central el suministro de aire fresco para la respiración de las personas y dilución- extracción de los contaminantes (polvo y gases) producto de las operaciones subterráneas basadas en perforación y voladura, extracción, carga y transporte. En estos últimos años, han aumentado fuertemente los requerimientos de aire con el objeto de poder de diluir y extraer fuera de la mina las fuertes concentraciones de gases tóxicos emitidos por los equipos diésel de alto tonelaje incorporados en forma masiva a las operaciones subterráneas involucrados en los diversos métodos de explotación, En la actualidad los requerimientos de aire son mayores que en el pasado con tanta intensidad ya que entonces los ritmos de trabajo en las minas no eran como los actuales y por lo tanto no podemos perder de vista los niveles de salud y seguridad adoptados, en la actualidad son mucho más exigentes, porque cada vez más las empresas del sector de la industria minera están comprometidos con la seguridad, toda labor subterránea deberá estar dotada de

aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, el número de equipos diésel, para evacuar los gases presentes en mina y el polvo suspendido que pudiera afectar la salud de los trabajadores, todo sistema de ventilación en la actividad minera en cuanto se refiere a la calidad de aire, deberá mantenerse dentro de los límites máximos permisibles desde sus inicios hasta la actualidad.

La ventilación subterránea consiste en hacer circular por el interior de la mina el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura, mediante el uso de ventiladores, el presente trabajo de investigación está constituido por los siguientes capítulos.

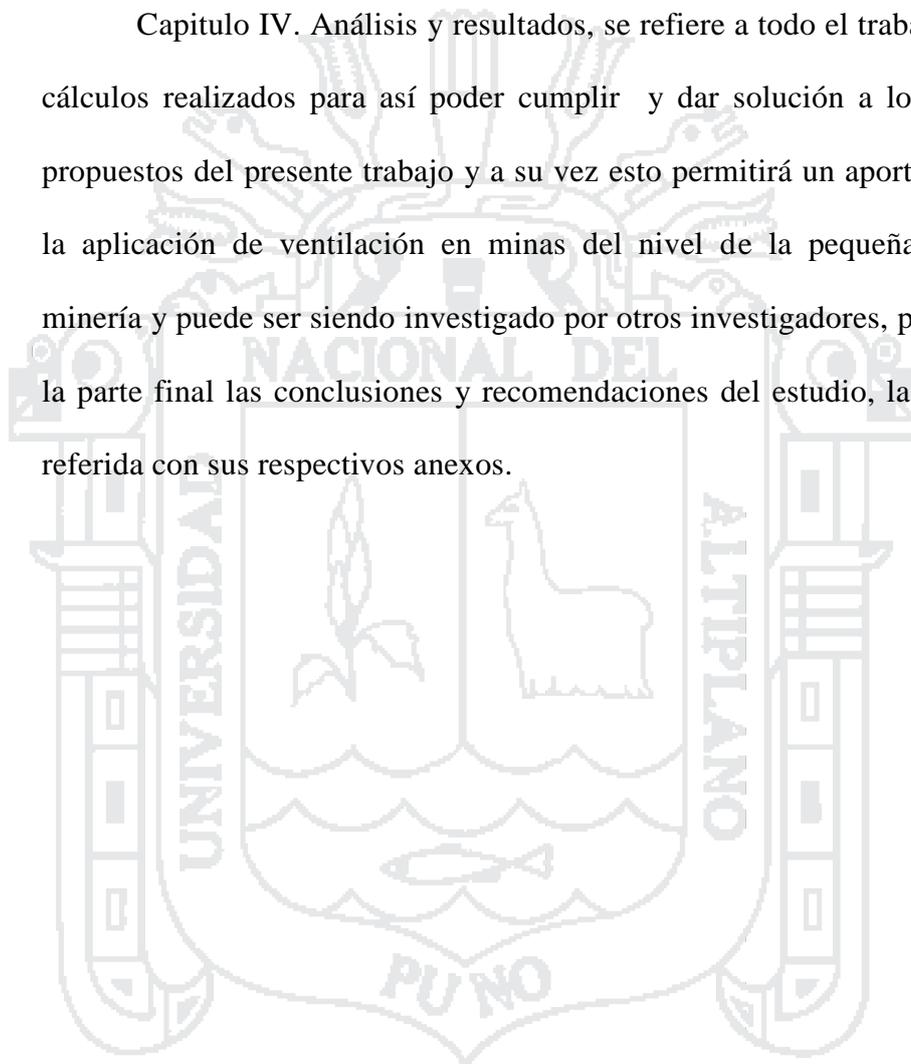
Capítulo I. El problema de investigación constituido por el planteamiento del problema, relacionado con la descripción de la realidad problemática sobre los efectos que causa la adopción que debe implicar la mejora de la calidad de aire de la empresa minera, así mismo ubicamos los antecedentes teóricos relacionado con la temática, la formulación del problema, la delimitación de la investigación, los objetivos que persigue el estudio y su justificación.

Capítulo II. Marco teórico, a través del marco histórico, bases teóricas que describen cada una de las variables en estudio, marco conceptual referido al sustento de las leyes de los gases perfectos y principios relacionados sobre el conocimiento y aplicación de la ventilación de minas para mejorar la calidad de aire en las labores mineras. Además se desarrolla la definición de términos básicos, y la formulación de hipótesis del presente trabajo de investigación.

Capítulo III. Diseño metodológico, la metodología empleada para la ejecución de este trabajo donde se consideró variables de investigación como,

el tipo, nivel, diseño, población y muestra, también se identificaron variables tanto dependientes e independientes, técnicas de recolección de datos: métodos, técnicas instrumentos utilizados y se describe la experiencia de campo en el procesamiento de la información.

Capítulo IV. Análisis y resultados, se refiere a todo el trabajo en sí, los cálculos realizados para así poder cumplir y dar solución a los problemas propuestos del presente trabajo y a su vez esto permitirá un aporte al tema de la aplicación de ventilación en minas del nivel de la pequeña y mediana minería y puede ser siendo investigado por otros investigadores, por último en la parte final las conclusiones y recomendaciones del estudio, la bibliografía referida con sus respectivos anexos.



CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

La ventilación de minas es el trabajo que se realiza para lograr el acondicionamiento del aire que circula a través de las labores subterráneas siendo su objetivo principal asegurar un ambiente libre de riesgo, saludable y cómodo para los trabajadores, el cual debe de ser aumentado de manera más eficiente y de menor costo.

Por lo tanto, existen varias razones que justifican lograr que el aire que entre a una mina subterránea asegure la renovación de este vital elemento durante el laboreo minero. Para luego garantizar la preservación del oxígeno necesario para la vida de los trabajadores, suprimir los gases tóxicos producidos en las voladuras con explosivos, eliminar la concentración nociva de polvo en suspensión, reducir la temperatura en lugares muy calurosos y aumentarla, si es muy baja, y proporcionar el aire suficiente para el trabajo seguro de los trabajadores por el creciente aumento equipos diésel dentro de las minas.

En la actualidad existen muchas minas subterráneas en producción que se ventilan solo usando ventilación natural. En ellas existen, entonces, la

posibilidad de que no se controle adecuadamente la atmósfera de la mina, y se presente, por el contrario, un ambiente contaminado y peligroso para los trabajadores que deben laborar diariamente en sus labores poniendo en peligro su seguridad y salud.

En la Corporación Minera Ananea S.A, Mina Urano SAC. A donde se pretende ejecutar la investigación se busca analizar todas las variables que afectan la atmósfera subterránea y determinar los parámetros que intervienen en la contaminación del aire.

La problemática de este yacimiento minero es la informalidad; consecuentemente la explotación es en forma semi mecanizada y artesanalmente, siendo su limitante la profundización de sus galerías, chimeneas y trabajos de explotación debido a que no cuentan con sistemas de ventilación adecuadas.

En la Mina Urano SAC. En las labores de operación de la galería del Nv. 4955 existe aire viciado que no permiten a los trabajadores desempeñarse con eficiencia en los trabajos que realizan debido a la profundidad de la mina, a la falta de circuito de ventilación por carencia de puertas de ventilación para su direccionamiento correcto del flujo de aire, alta concentración de gases nocivos, el desconocimiento de los reglamentos, normas y consignas establecidas específicamente por los trabajadores mineros.

1.2 Antecedentes teóricos del sistema

Según Yáñez G. (1993). Ventilación de Minas.

Establece que los problemas de ventilación ya estaban siendo abordados antes del siglo XVI, se empleaban sistemas bastante ingeniosos para ventilar las minas: se aprovechaba la ventilación natural producida por la diferencia de nivel y cambios de temperatura posteriormente aprovechaban las caídas de agua en los piques para introducir aire y el fuego para levantarlo: deflectora montados en piques cogían el viento y lo desviaban hacia interior mina.

En la segunda mitad del siglo XIX se comenzaron a desarrollar los ventiladores mecánicos. Estos ventiladores primitivos eran exclusivamente del tipo centrífugo, de grandes diámetros y de velocidad reducida, movidos por molinos de viento o rueda hidráulica.

Después de la segunda guerra mundial y debido al rápido avance de la aviación y el consiguiente progreso de la ciencia aerodinámica, comenzaron a desarrollarse los ventiladores de flujo axial. En la actualidad los dos tipos de ventiladores han sido mejorados sustancialmente.

No obstante los avances obtenidos en la tecnología de fabricación de ventiladores, en la actualidad existen muchas minas en producción que se ventilan usando los medios primitivos antes nombrados. En ellas existe la probabilidad de que no se controle adecuadamente la atmosfera de la mina, presentando un ambiente contaminado para los trabajadores.

Por otra parte podemos encontrar minas, donde existiendo un buen ingreso y salida de aire, forzada por medio de ventiladores en su interior el aire no es distribuido adecuadamente, perdiéndose la energía consumida, la posibilidad de mantener en buenas condiciones ambientales, necesarias para la protección de quienes trabajan en ellas y también de los equipos que se utilizan .

La causa normal de este despilfarro se debe a una inadecuada distribución del aire limpio dentro de la mina o a una regulación de los circuitos mal efectuados.

1.3. Definición y formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo influye la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno?

1.3.2 Problemas específicos

¿Cuál es la efectividad del trabajador en las labores subterráneas, después de la instalación del diseño del sistema de ventilación, en los ambientes de trabajo del nivel 4955?

¿Existe recirculación de aire viciado?

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Determinar la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la efectividad del trabajador en las labores subterráneas, después de la instalación del diseño de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

Reducir la recirculación de aire viciado en el nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación ejecutado en la Corporación Minera Ananea S.A, sobre la **influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno**, surge ante la necesidad de dar un aporte muy importante para el mejoramiento de ventilación y así lograr un ambiente seguro para los trabajadores en interior mina.

Al profundizar nuestras labores se constata la deficiencia de ventilación, puesto que los ventiladores que se está usando no cumplen con lo requerido de acuerdo al número de personas, de equipos diésel, gases de voladura y a las altas temperaturas que existe en el lugar de trabajo.

Hay cuatro razones principales por las que se debe proveer ventilación en las labores en la mina:

Proveer oxígeno para propósitos de respiración.

Para diluir y remover gases nocivos presentes en mina.

Para diluir y remover las concentraciones de polvo suspendido.

Reducir las temperaturas en las labores presentes en la empresa.

De acuerdo a la reglamentación vigente del Perú, basado en la Ley General de Minería y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS-024-2016-EM establece:

Artículo 246°.- El titular de la actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos diésel y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en

cuanto se refiera la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos.

1.6. Limitaciones del estudio

Existen limitaciones, así como limitaciones económicas, carencia de equipos y la falta de implementación de software referente a ventilación.

Limitaciones que se tuvo en la ejecución de la toma de datos en horarios de operación de equipos.

Poco interés de parte del titular minero y del personal en la implementación del sistema de ventilación en la mina.

1.7. Viabilidad del estudio

El presente estudio es viable porque permitió la evaluación del sistema de ventilación y las condiciones medio ambientales de las labores subterráneas.

Teniendo un sistema de ventilación adecuado se optimiza las operaciones mineras y una buena ventilación después de las voladuras realizadas en las labores mineras.

También se puede precisar que en la actualidad sigue habiendo problemas en el tope de las labores ciegas por falta de caudal de aire de acuerdo a lo establecido en el reglamento para el personal que labora en nuestra empresa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Ventilación natural se ha empleado desde el inicio para la explotación de minerales por métodos subterráneos.

En la mitad del siglo XIX se comenzaron a desarrollar los ventiladores mecánicos, estos ventiladores primitivos eran exclusivamente del tipo centrífugo de grandes diámetros y de velocidades reducidas, movidos por molinos de viento o rueda hidráulica.

Después de la segunda guerra mundial y debido al rápido avance de la aviación y el consiguiente progreso de la ciencia aerodinámica, comenzaron a desarrollarse los ventiladores de flujo axial.

En la actualidad los dos tipos de ventiladores han sido mejorados sustancialmente de acuerdo al aumento de la producción de las minas y de la profundidad de ellas, los caudales de aire necesarios han crecido enormemente, llegando a sobrepasar con creces los 1000 m³/s de aire en circulación.

Por otra parte podemos encontrar minas donde, existiendo una buena entrada y salida de aire por medio de ventiladores, en su interior, el aire no es aprovechado adecuadamente perdiéndose la energía consumida, la posibilidad de mantener buenas condiciones ambientales necesarias para la protección de quienes trabajan en ellas y también de los equipos que se utilizan, la causa normal de este despilfarro se debe a una inadecuada distribución de aire dentro de la mina o a una regulación de los circuitos mal efectuados.

A nivel internacional:

NOVITZKY, A. Ingeniero de Minas e Ingeniero Geólogo, ex Profesor de explotación de Minas de la Universidad de Chile – 1962. Tesis, “Ventilación de Minas – Ventiladores para minas, acondicionamiento del aire subterráneo y salvamento”.

Cuyas consideraciones principales son:

Se considera lo fundamental las propiedades físicas del aire y aerodinámica minera, dentro de ello tenemos las propiedades físicas del aire y parámetros básicos del aire, en lo cual se considera que en la ventilación de minas se utiliza el peso específico estándar P.E. = 1.2 kg./m^3 ; que es el peso de 1 m^3 de aire, con la presión de 1 atm; temperatura de 15° y la humedad de 60 %, las resistencias de las labores mineras al movimiento de aire se divide en arbitrariamente en 3 tipos como resistencia de rozamiento de aire contra las paredes de la labor y de las partículas entre sí, resistencias locales y resistencias frontales.

A nivel nacional:

Dentro de las principales tesis relacionadas con las variables de estudio tenemos

Ingeniero Aníbal Mallqui Tapia – 2006. Tesis: “Ventilación de Minas”

Cuyas características establece:

El trabajo de ventilación de minas tiene por objeto suministrar a las labores en operación suficiente aire fresco en función a las necesidades de la persona, equipo diésel autorizado y dilución de contaminantes, de modo que la atmosfera en dichas zonas mantenga sus condiciones termo – ambientales en compatibilidad con la seguridad, la salud y el rendimiento del personal. En base a lo expresado, me complace brindar el presente proyecto, desarrollando técnicamente y acorde a la reglamentación vigente, producto de una variada recopilación de obras de la especialidad y de conocimientos y experiencia adquiridos en el ejercicio de la profesión en diferentes empresas mineras y las universidades.

Giménez, P. Ingeniero de Minas, ex Ingeniero de Ventilación de Minas, Fundiciones y refinerías de la Cía. Cerro de Cooper Corporation, ex profesor de Ventilación Minera y de Seguridad Minera de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú y ex Consultor de Ventilación de Minas.

Tesis de aplicación en minería clásica: “Ventilación de minas subterráneas y túneles”.

Práctica aplicada, avanzada en minería clásica y minería por trackles.

Cuyas consideraciones establece:

Ejecución del mapeo de ventilación de una mina para determinación del volumen del aire que circula y la evaluación de la mina, la ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de ventilación pre establecidos y determinar el sentido de avance del aire mediante bombilla de humos.

Según Mallqui T. A. (1981), en la tesis titulada “Proyecto Optimización del sistema de ventilación” en su conclusión indica, se acepta que el incremento de la temperatura del aire debido al auto compresión es el orden de 1°C por cada 100 metros de profundidad, el incremento de la temperatura es como resultado de la oxidación del carbón, de la pirita, putrefacción de la madera, velocidad de flujo de aire, el trabajo de equipos motorizados que influyen en el incremento de la temperatura, al movimiento de aire es originado en interior mina por la diferencia de presiones entre dos puntos del aire creados en forma natural o artificial.

Según Naira V. Ángel, (1999), realizo un informe sobre ventilación del desarrollo de la galería 385-e. Santa Ana – Compañía Minera Ananea – nivel 4945, dando a conocer las cantidades necesarias de aire para un óptimo desempeño de los trabajadores a una altitud de 4945 m. s. n. m.

Según Salas, P. realizo un cálculo y diseño de ventilacion y la evaluación económica en la mina Comuni 21, a una altitud de 4510 m. s. n. m.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Ventilación

Es una rama de la Ingeniería de Minas, la cual mediante un fuerte apoyo de las leyes físicas y termodinámicas respalda o potenciada con análisis de

sistemas, tiene por misión atender los requerimientos de Higiene Ambiental en labores subterráneas en operaciones, (Ver: Cuadro 01)

Cuadro 01**Límites máximos permisibles**

Polvo inhalable	10 mg/m ³ (*)
Polvo respirable	3 mg/m ³ (*)
Oxígeno (O ₂)	Mínimo 19.5% y máximo 22.5%
Monóxido de carbono (CO)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Máximo 9000 mg/m ³ o 5000 ppm. 3000 por un lapso no superior de 15 min.
Metano (CH ₄)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm.
Hidrogeno sulfurado (H ₂ S)	Máximo 14 mg/m ³ o 10 ppm.
Gases nitrosos (NO _x)	Máximo 0.7 mg/m ³ o 5 ppm.
Anhídrido sulfurosos (SO ₂)	2 ppm mínimo a 5 ppm. máximo
Aldehídos	Máximo 5 ppm.
Hidrogeno (H)	Máximo 5000 ppm.
Ozono	Máximo 0.1 ppm.

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. Decreto Supremo 024-2016-EM.

La ventilación de minas es el trabajo que se realiza para lograr el acondicionamiento del aire que circula a través de las labores subterráneas siendo su objetivo principal asegurar un ambiente libre de riesgo, saludable y cómodo para que los trabajadores dicho objetivo debe de ser alcanzado de

manera más eficiente y de menos costo posible, debiendo de tener en cuenta que la ventilación es un proceso íntimamente ligado a la dinámica de la mina, en cuanto se refiere a la calidad de aire deberá mantenerse dentro de los límites máximos permisibles, teniendo en consideración lo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional aprobado por el MEM. En el D. S. N° 024-2016-EM.

2.2.2 Ventilación subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que solo tienen un acceso por ejemplo (una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie.

(De la Cuadra I.L. (1974), Curso de Laboreo de Minas, Madrid; Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 8460062546).

Obtenido de “http://es.wikipedia.org/wiki/ventilaci%C3%B3n_de_minas”

Principios de la ventilación es por:

Dos puntos de diferente presión ($>P_2$ a $<P_1$).

Diferencia de temperaturas ($> T^{\circ}2$ a $< T^{\circ}1$).

(Novitzky A. (1962); “Ventilación de Minas” Ventiladores para Minas, Acondicionamiento del aire incendios subterráneos y salvamento, Buenos Aires).

Se puede definir como ventilación de una mina, al conjunto de trabajos que se realizan para suministrar aire que debe circular por las diferentes labores subterráneas, ya sea por medios naturales o mecánicos, con la finalidad de obtener un ambiente seguro, saludable y cómodo para los trabajadores durante su jornada de trabajo.

2.2.3 Tipos de ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Ventilación natural

Ventilación mecánica

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada como es impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa aire hacia interior mina, en el caso del aspirante el ventilador aspira el aire del interior mina por la tubería y lo expulsa hacia el exterior, el caudal requerido para ambos casos será calculado:

De acuerdo al número de personas.

De acuerdo a la concentración de polvo en suspensión.

De acuerdo al aumento de temperatura.

De acuerdo al consumo de explosivos.

De acuerdo al número de equipos diésel.

2.2.3.1 Ventilación natural

La ventilación natural se produce cuando existe una energía natural capaz de lograr la creación de una corriente natural de aire, que está influenciada por la gradiente térmica entre diferentes puntos del circuito de ventilación.

Para que exista un flujo de aire a través de la mina, es necesario que exista alguna fuente de energía que ponga al aire en movimiento.

La única fuente de energía capaz de lograr este efecto es la gradiente térmica que existe entre distintos puntos del circuito de ventilación, cuya existencia se puede comprobar fácilmente midiendo la temperatura en diferentes lugares de la mina y observando que el aire fluye de las áreas donde la temperatura es mayor (donde hay mayor energía térmica) hacia las áreas de menor temperatura. El fenómeno es igual al que ocurre en una chimenea, en la que el aire caliente desplaza al aire frío que se encuentra por encima de este.

Se trata de un fenómeno termodinámico análogo al que ocurre en un motor térmico; en calor proveniente de la roca constituye una fuente permanente de energía térmica, obligando al aire incrementar su volumen a presión constante. Esta expansión del aire viene acompañada de una reducción en su densidad, lo que le permite desplazarse a zonas de menor energía (más frías). En la medida en que existan en la mina zonas de menor energía térmica y la roca emita calor en forma continua, se producirá un flujo permanente de aire a través de las labores subterráneas que se conoce como ventilación natural.

Este aire se introduce por la bocamina principal de ingreso, recorriendo el flujo del aire por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida del aire

por la otra bocamina. Para que funcione la ventilación natural tiene que existir una diferencia de alturas 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 (el aire caliente desplaza al aire frío produciendo circulación).

La ventilación natural es muy cambiante, depende de la época del año, incluso, en algunos casos, de la noche y el día.

Dado que, la ventilación natural es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna faena subterránea moderna debe utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones.

El caudal de 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.

2.2.3.2 Ventilación mecánica

La ventilación mecánica es ocasionada por la presión que ejerce un ventilador sobre una masa de aire que envía o succiona aire y el cual es accionado por un motor eléctrico que le permite una constante presión sobre el aire que transporta y en una cantidad fija. Esta ventilación requiere energía eléctrica, que puede ser producida a base del petróleo o de hidroeléctricas y en

esto que la ventilación minera sea más cara o más económica respectivamente por tonelada de mineral extraído.

(Zitron, 2007)

Es la ventilación secundaria y 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 fresco y de evaluación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

El caudal de 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 de equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos.

(Ramírez H.J (2005) ventilación de minas, “Módulo de Capacitación Técnico Ambiental”. Chaparra Perú.

Reglas de ventiladores:

La presión requerida es directamente proporcional a la longitud

La presión es directamente proporcional a perímetro.

La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o volumen.

La presión requerida es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad o volumen.

(Mallqui T. A. (1981), ventilación de minas. Pág. 61. Huancayo Perú)

2.2.4 Requerimiento de aire

2.2.4.1 Requerimiento de acuerdo al número de personas

$$Q_1 = q \times n$$

Q_1 = Cantidad de aire necesario para el personal ($m^3/min.$)

q = Cantidad de aire mínimo por persona ($m^3/min.$) (R.S.S.O)

n = Número de personas presente en la mina por guardia

Necesidades de aire a diferentes altitudes mineras:

Para respiración del personal:

De 1500 msnm a 3000 msnm, aumentara en 40 % que será igual a 4.0 $m^3/min.$

De 3000 msnm a 4000 msnm, aumentara en 70 % que será igual a 5.0 $m^3/min.$

Sobre los 4000 msnm, se aumentara en un 100 % que será igual a 6.0 $m^3/min.$

2.2.4.2 Requerimiento de acuerdo al uso de equipo diésel

$$Q_2 = K \times N$$

Q_2 = Cantidad de aire para el uso de equipos diésel ($m^3/min.$)

K = 3.0 ($m^3/min.$) cantidad de aire necesario por cada HP

N = Número de HP de los equipos que trabajan en la mina

2.2.4.3 Requerimiento de acuerdo al uso de explosivos

$$Q_3 = V * n * A$$

Q_3 = Cantidad de aire para diluir contaminantes por explosivo

V = Velocidad de aire 20 m/min (Dinamita), 25 m/min. (ANFO)

n = Número de niveles de la mina en trabajo

A = Área promedio de la sección de las labores, niveles en trabajo
(m^2)

2.2.4.4 Requerimiento para mantener óptimas condiciones ambientales

$$Q_4 = V \cdot n \cdot A$$

Q_4 = Cantidad de aire para mantener condiciones ambientales ideales
($m^3/\text{min.}$)

V = Velocidad de aire

n = Número de niveles en trabajo, con temperaturas elevadas

A = Área promedio de la sección de la labor (m^2)

2.2.4.5 Cálculo de cantidad total del aire

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

2.2.5. Sistemas de ventilación

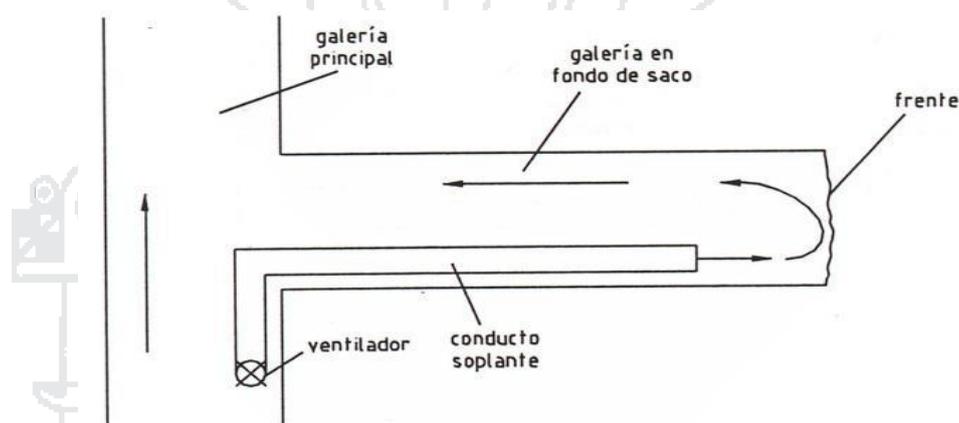
2.2.5.1 Ventilación impelente

El aire es impulsado por el ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado, en este sistema de ventilación es aire se proporciona mediante mangas, tuberías hasta cierta distancia del frente de trabajo, el aire contaminado que se llega a mezclar con este aire puro sale por la misma labor.

La mayor efectividad en la dilución de los gases tóxicos queda determinada por la distancia que está comprendida entre el extremo de la tubería/manga y el frente de trabajo, la que no debe ser muy grande para que tenga las características de turbulencia de chorro libre, (Ver: Figura 01)

Figura 01

Ventilación impelente



Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

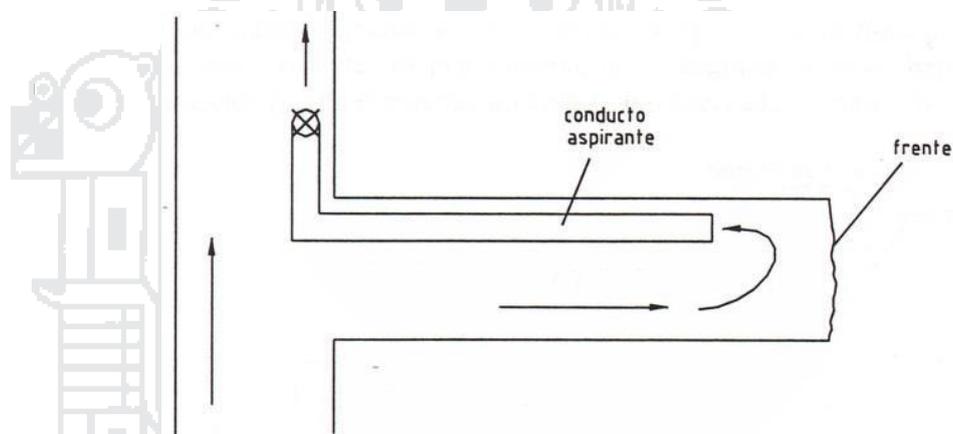
2.2.5.2 Ventilación aspirante

El aire fresco ingresa al frente por la galería y el contaminado es extraído por la ductería.

La ventilación aspirante necesita un elevado volumen de aire, lo que conduce a la instalación de ventiladores de gran caudal, además que la distancia entre el frente de trabajo y el extremo de la tubería son en función del tiempo de ventilación.

Una extracción continua mediante un extractor principal por lo general se considera menos efectivo que mediante un sistema de sopladura.

Si la tubería de extracción se coloca distante al frente de trabajo una gran proporción de aire puro de la galería será absorbido sin llegar al frente de trabajo, dejando sin remover los gases y el polvo, en instalaciones para este tipo de ventilación debe usarse tubería de acero, ya que los de lona se chupan, a menos que estas se refuercen, considerando no recomendables, (Ver: Figura 02)

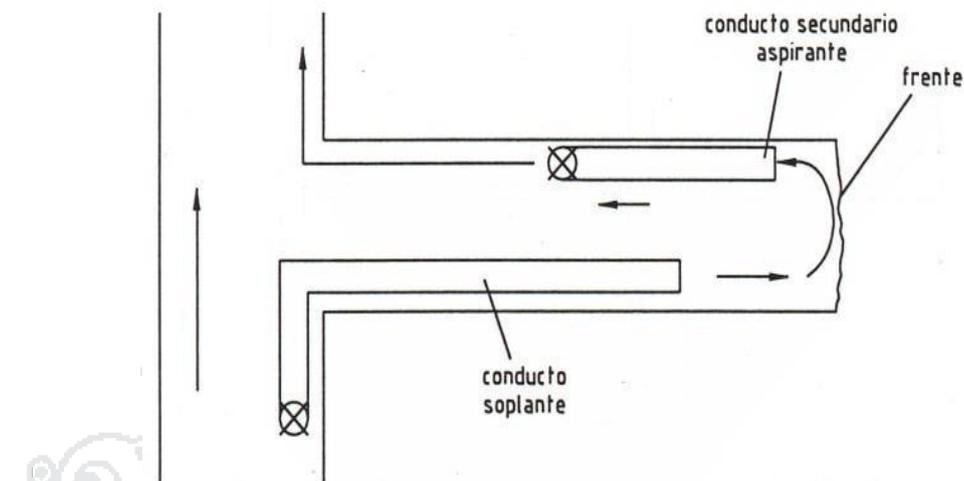
Figura 02**Ventilación aspirante**

Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.5.3 Ventilación mixta (aspirante - impelente)

En este sistema se emplean dos tendidos de ductería, una para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio al frente de trabajo, este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con una sola desventaja, su mayor costo de instalación y su mantenimiento, (Ver: Figura 03)

Figura 03
Ventilación mixta



Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.6 Métodos de ventilación secundaria

Empleando la corriente de aire producida por el circuito principal de ventilación.

Difusión.

Mediante tabiques longitudinales.

Mediante labores paralelos.

Mediante ductos.

2.2.6.1 Difusión

Este es un proceso lento y poco seguro como método de ventilación. Los factores que influyen en que entre aire o no a la labor son:

Área de la labor.

Orientación.

Caudal, etc.

Como dato práctico, se puede mencionar que para distancias de 25 – 30 metros a lo más, aceptable que la labor se ventile por difusión.

2.2.6.2. Mediante tabiques

Consiste en instalar un tabique longitudinal e impermeable que divida en dos partes la labor a ventilar, para lo cual se puede utilizar materiales como madera, concreto, lona, etc. Dado que es un método bastante caro y poco operacional sobre todo en minas metálicas casi no se usa.

2.2.6.3. Mediante labores paralelas

Este método consiste en avanzar simultáneamente con dos galerías dirigidas paralelamente, que se van comunicando periódicamente mediante estocadas que se usan para entrada y entorno del aire.

Con este sistema el aire no llega directamente hasta los mismos frentes de avance de las galerías.

Este método conviene utilizarlo cuando no nos interesa una gran velocidad de avance y cuando la segunda galería pueda tener aplicaciones para las necesidades posteriores de la explotación (alto costo).

NOTA: Una variable del método es comunicar las galerías paralelas mediante perforaciones de 20 a más cm. de diámetro.

2.2.6.4. Mediante ductos

Consiste en cortar la corriente de ventilación principal por medio de reguladores atravesados por la boca del ducto, de modo que el aire se vea obligado a ingresar al interior del ducto, llegando así al frente de trabajo.

2.2.7 Circuitos de ventilación

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

(Jiménez, 2003), pag.89

Las formas como se encuentran interconectadas las galerías dentro de un circuito de ventilación deciden la manera como se distribuirá el caudal del aire de ellas y la depresión del circuito. Y son:

2.2.7.1 Unión en series

Este circuito tiene las siguientes relaciones.

El volumen total del aire es el mismo de todo el circuito desde que ingresa el aire a la mina hasta que sale de ella, es decir:

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

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

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

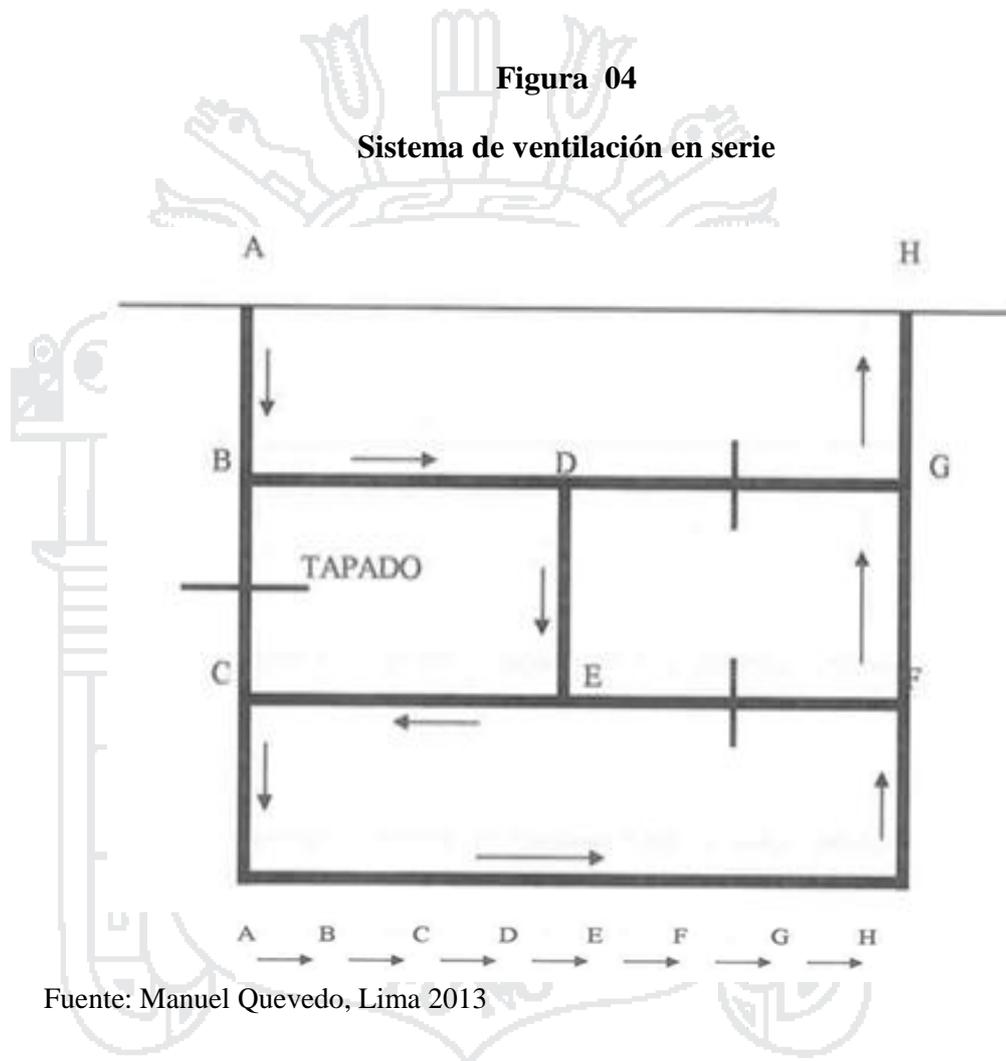
La relación que hay en (P_T) y el volumen Q_T del flujo que viaja es igual

$$P_T = RQ^2$$

(Jiménez, 2003) pág. 89

Se caracteriza por que la corriente de aire se mueve sin ramificaciones, vale decir, si no existen pérdidas, el caudal de aire permanece constante, (Ver: Figura 04)

Figura 04
Sistema de ventilación en serie



Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

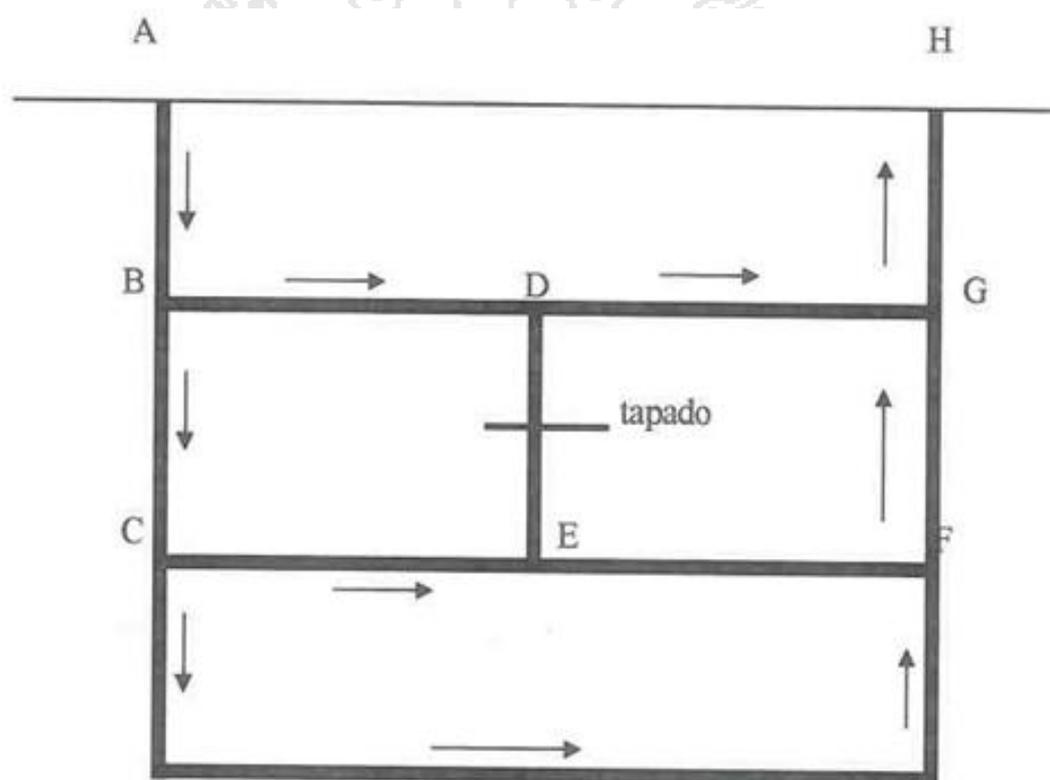
2.2.7.2. Unión en paralelo

En este tipo de unión, las galerías se ramifican en un punto, en dos o más circuitos que se unen en otro punto, en dos o más circuitos que se unen en otro punto.

Cuando dos o más galerías parten de un punto y en el otro extremo se comunican con la atmósfera, también están en paralelo, ya que los extremos que

a la superficie tienen igual precisión, en este caso la unión en paralelo es abierta, siendo cerrada los dos puntos de reunión se encuentran en el interior de la mina, (Ver: Figura 05).

Figura 05
Sistema de ventilación en paralelo.



Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.7.3. Unión en diagonal

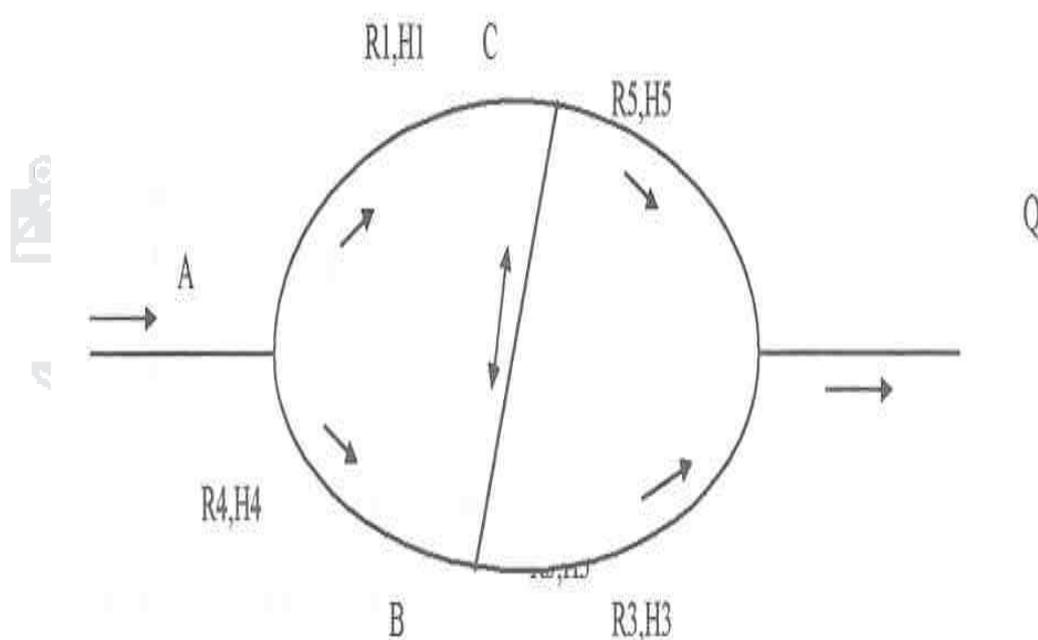
Es una unión en paralelos de labores en la que, además, los ramales están unidos entre sí por una o varias labores complementarias, denominadas diagonales.

En la minería las uniones diagonales se encuentran frecuentemente. Se divide en uniones simples, con una diagonal, y complejas, con dos o más. Por

ejemplo en minas fuertemente grisutas, el frente se hace escalonado; todo el aire no entra por la galería del nivel interior, sino también por las galerías intermedias (Ver: Figura 06)

Figura 06

Sistema de ventilación en diagonal:



Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.7.4. Circuitos completos

Cuando la conexión entre las galerías se hace más complicada, no pudiendo reconocer en el circuito conexiones en paralelo, serie o diagonal, se debe recurrir a otros métodos de cálculo más completos que, generalmente, requieren ayuda de instrumentos y/o computadoras.

2.2.8. Método de Hardy Cross

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

$$P = RQ^2$$

Para determinar el valor verdadero del flujo Q , el valor Q_a inicial es estimado tal que:

$$Q = Q_a + \Delta Q$$

Donde ΔQ es el error existente en el Q_a asumido. El problema ahora es encontrar el valor ΔQ a ser aplicado al valor asumido por Q_a . Si consideramos la representación real de los conductos de aire en una mina, estos no se encuentran aislados, sino integrados a una red de conductos, cuya magnitud también dependen de la extensión de la red.

2.2.9 Ley básica de la ventilación de minas

Las leyes del estado del flujo de aire indican que por una cantidad de aire que circule entre dos puntos, debe de existir una diferencia de presión entre estos puntos. La relación entre la diferencia de presión (P) y la cantidad de flujo (Q).

Si no existe una diferencia de presión no existe una cantidad de flujo, es decir si

$P = 0$, $Q = 0$, mientras mayor sea P , mayor será Q , en el caso de aquel aire de mina que circula subterráneamente en donde el patrón del flujo es turbulento (es

decir, como un río que fluye en los rápidos), la relación entre las dos cantidades puede expresarse en la ley cuadrática:

$$P = RQ^2$$

P : Pérdida de presión (Pa)

R : Resistencia (Ns²/m⁸)

Q : Flujo de volumen (m³/s)

El término R de la ecuación se denomina como la resistencia del conducto de ventilación o el ducto al cual se aplica.

Si es necesario duplicar el volumen del aire que circula a través del ducto o del conducto de ventilación, la presión requerida no es el doble de la presión original sino el cuádruple, es decir 2² x la presión original

(ISTEC, 2000) pág. 28

2.2.10 Pérdidas de presión

La energía suministrada a un fluido en movimiento, por medios naturales y mecánicos, es suministrada íntegramente para vencer las pérdidas de presión.

P_p = En el flujo de fluidos por ductos se distinguen dos clases de pérdidas:

P_f = pérdidas debido a la fricción.

P_x = pérdidas debido al choque

Y están relacionadas en la siguiente relación

$$P_p = P_f + P_x$$

P_f, representa la pérdida de energía debido al paso del aire por ductos de sección uniforme y **P_x**, representa la pérdida de energía por cambios de dirección en la corriente de aire, cambios en la sección del ducto, admisiones, descargas finalmente debidas a uniones y acoples de un sistema de ventilación. Las pérdidas anteriores causan la disminución de la presión estática (**P_s**) y en muchos casos, especialmente la **P_x**, la transformación de la presión de velocidad (**P_v**) a presión estática (**P_s**) o viceversa.

(Hartman, 1991) pág. 138

2.2.11 Presiones de una mina

Para determinar la magnitud de la presión artificial es necesario sumar algebraicamente las presiones componentes de los elementos de un circuito y balancear las mismas para todos los circuitos de una red de ventilación. Esta presión se denomina generalmente presión total de la mina y se representa.

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

(Calisaya, 1980), pág. 37

2.2.11.1 Presión estática (**P_s**)

La presión estática es la presión ejercida por el aire en las paredes del ducto, la cual tiende a forzarlas a expandirse.

Es la cantidad total de energía necesaria para vencer las pérdidas de presión de un ducto:

$$P_s = P_p = P_f + P_x$$

(Calisaya, 1980), pág. 37

2.2.11.2 Presión de velocidad (Pv)

La presión de velocidad se define como la presión resultante del movimiento del aire. Mientras más rápido se mueve el aire, o mientras mayor sea la velocidad del aire, mayor será la presión de la velocidad del aire y viceversa.

Es la cantidad de energía necesaria para vencer las pérdidas por cambio en el diámetro del ducto expresada en términos de velocidad del aire en la descarga.

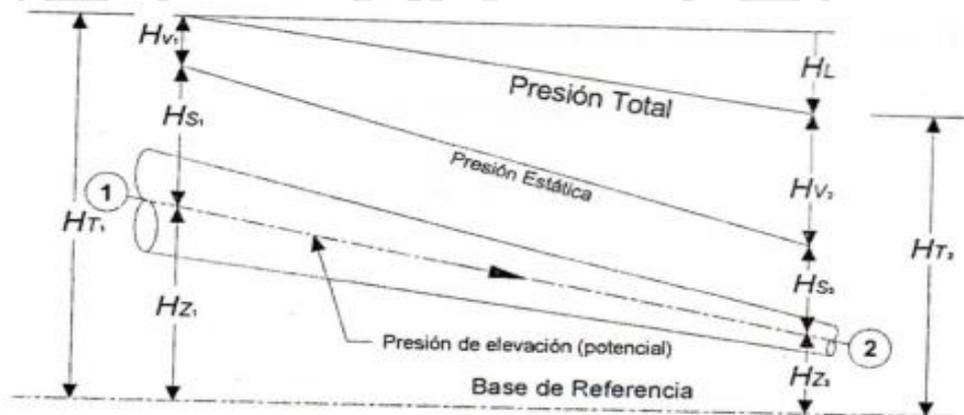
$$P_v = V^2 / 2g$$

(Calisaya, 1980), pág. 37

2.2.11.3 Perdida de presión por fricción

En la ventilación de minas la pérdida de presión por fricción representa del 70 % al 90% de la presión total de la mina, consiguientemente será muy útil determinar con la suficiente precisión utilizando los coeficientes apropiados, (Ver: Figura 07)

Figura 07
Gradiente de presiones



Fuente: Hartman 1991

2.2.12. Fórmula de Atkinson

El valor de la resistencia (R) depende de ciertas características del conducto de ventilación o del ducto; por ejemplo, si uno de los conductos de aire cuenta con un área pequeña y otra grande todos los factores son constantes, el aire circula con mayor facilidad a través del segundo conducto de ventilación. En otras palabras mientras el conducto de ventilación sea de mayor tamaño, más baja será la resistencia (R) del conducto.

Si en un conducto el aire debe friccionar contra un área o superficie de mayor tamaño, la resistencia será mayor en el conducto con la superficie de fricción de mayor tamaño. La superficie de fricción se calcula multiplicando la circunferencia por la longitud.

Finalmente si las paredes de un conducto son lisas y las del otro son ásperas y el resto de los factores son iguales, la resistencia del conducto liso será menor que la del conducto áspero, es decir, el factor de fricción depende de la naturaleza de la superficie del conducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson considera estos factores y expresa:

$$p = \frac{K C L Q^2}{A^3} \times w \quad 1, 2$$

$$P = \frac{K C L V^2}{A} \times w \quad 1, 2$$

P = pérdida de presión (Pa)

- C = perímetro (m)
- L = longitud (m)
- A = área (m²)
- K = factor de fricción (Ns²/m⁴)
- Q = flujo de cantidad (m³/s)
- w = densidad del aire (kg/m³)
- V = velocidad (m/s).

Cualquiera de las ecuaciones es correcta puesto que:

$$Q = V * A$$

$$V = Q/A \quad \text{y} \quad V^2 = Q^2 / A^2$$

El término $w/1.2$ está incluido en la fórmula Atkinson para expresar que los requisitos de presión dependen de la densidad del aire.

Obviamente, se requerirá de mayor presión para hacer circular aire más pesado (de mayor densidad) a través del sistema. De hecho, los requisitos de presión son directamente proporcionales con la densidad del aire ($p \propto w$).

(ISTEC, 2000), pág. 29-30

2.2.13 Factor de fricción

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

$$K \text{ corregido} = K (w/1.2)$$

(Jiménez, 2003), pág. 80

2.2.14 Pérdidas por choque

Las pérdidas por choques son de origen local, producidas por turbulencias, remolinos, frenadas del aire al enfrentar diversos accidentes dentro del circuito. Los accidentes son cambios de dirección, entradas, contracciones, etc. También dependen de la velocidad y del peso específico del aire, (Ver: Cuadro 02)

Cuadro 02

Cargos equivalentes en pies (le) para varias fuentes de pérdidas por choque

(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)	65
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	290
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JALIA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JALIA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500

Fuente: Hartman 1991

2.3. Marco conceptual

2.3.1 Aspectos generales

2.3.1.1. Ubicación y acceso

El paraje la Rinconada, políticamente se ubica en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, a una altura promedio de 5 200 m.s.n.m.

Geográficamente queda delimitado por las coordenadas siguientes:

14° 30' – 15° 00' Latitud Sur

69° 00' – 70° 00' Longitud Oeste

Es accesible por vía terrestre desde:

Lima – Arequipa – Juliaca – La Rinconada : 1 435,50 km.

Puno – Juliaca – La Rinconada : 199,50 km.

La accesibilidad desde la ciudad de Juliaca se efectúa mediante carretera afirmada:

Juliaca – La Rinconada 157,50 km.

2.3.1.2 Relieve

La zona está comprendida en la parte sur meridional de los Andes entre el flanco Oeste y las altas cumbres de la cordillera oriental, que tiene una dirección NW–SE cuyas elevaciones pasan de los 5 000 m.s.n.m. conformando parte de la cordillera de los andes, siendo su característica la presencia de los

glaciares como el nevado de Ananea de 5 900 m.s.n.m. Los nevados más importantes de la zona son el Jacaria, Ritipata, Lasoccocha, Ananea, etc.

La topografía es muy abrupta, de laderas muy paradas e inaccesibles por efecto de la desglaciación; por este fenómeno ocurren los derrumbes de hielo y material rocoso de pizarras fracturadas.

2.3.1.3 Clima

El clima de abril a noviembre es frígido con descensos de hasta -10°C de diciembre a marzo, con fuertes precipitaciones pluviales acompañadas de tempestades, nevadas y granizadas, entre 300 a 1 000 mm.

El centro poblado de La Rinconada se encuentra sobre las faldas del nevado Ananea – San Francisco y alberga a más o menos a 50 000 habitantes.

2.3.1.4 Historia

Se estima que los yacimientos auríferos del paraje La Rinconada ya se conocían desde la época incaica. Durante el Virreinato (1553) los sacerdotes de la Compañía de Jesús explotaron el yacimiento, al inicio de la época republicana (1830) los yacimiento auríferos eran concedidos a la familia Irigoyen, luego en 1860 el coronel Moya prefecto del departamento de Puno se hizo cargo de dicho yacimiento. En 1864 el sabio Antonio Raimondi visitó La Rinconada llegando en busca del origen del río Inambari, afirmando luego que la procedencia del oro era de La Rinconada así como de las morrenas de San Antonio de Poto.

Durante la guerra del Pacífico (1880) las fuerzas invasoras trabajaron la zona, luego en 1890 Rinconada Mining Company trabaja estas zonas.

De 1924 hasta 1937 la Sociedad Aurífera de San Antonio de Poto, explotó los bancos auríferos de La Rinconada, siendo trabajadas por laboreros de la zona.

En el año de 1952; Tomás Cenzano Cáceres, denuncia los depósitos, de oro filoniano de La Rinconada, por escritura pública en 1979 don Tomás Cenzano Cáceres dio en sesión de derechos mineros para la exploración, preparación y explotación de los denuncios Ana María, a la Compañía Minera Aurífera Ana María S.A.

Actualmente la compañía aurífera Ana María S.A., a razón de formar un consorcio con la compañía minera Condestable y Metalfin cambia de razón social, la misma que se denomina Compañía Minera Ananea la que se encuentra realizando todos los trabajos de operación en forma convencional.

2.3.2 Aspectos geológicos y desarrollo

2.3.2.1. Geología general

Los mantos auríferos del paraje La Rinconada, son yacimientos del tipo Filoniano, en donde la mineralización del oro se presenta en mantos de cuarzo ahumado, estratificados en los esquistos y cuarcitas del Paleozoico Inferior; estando en gran parte cubiertas por hielo glaciar, el mismo que ha experimentado un trabajo muy activo de erosión meteórica, la acción de estos elementos han venido destruyendo por largas edades geológicas las crestas más salientes de la cordillera, reduciéndolas probablemente por centenares de metros y transportando a las partes bajas.

La desglaciación ha dejado grandes depósitos de morrenas y arcillas a lo largo de la quebrada de Ccorhuari y La Rinconada que concurren hacia la laguna La Rinconada producto de este fenómeno existen dos zonas; la zona de San Francisco al SE y Lunar al NE.

En el área de La Rinconada afloran una sucesión de lutitas y pizarras negras, con intercalación de cuarcitas en su parte inferior, que generalmente tiene como rumbo NW–SE y con buzamientos de 15° a 20° al Sur, estos estratos pertenecen a la formación Ananea.

2.3.2.2 Geología estructural

Estructuralmente se observa una sucesión de stock de intrusivo que consiste en granitos, granodioritas y dioritas a lo largo del eje de la cordillera de Carabaya. En el área de La Rinconada se distinguen dos unidades estructurales, una de flanco normal y otra de flanco inverso. La primera está compuesta por un conjunto casi homoclinal de capas, con repliegues y ondulaciones decamétricas que buza en promedio de 20° – 25° al Sur, la potencia de los estratos oscila entre 20 – 100 m. como promedio. La unidad de flanco inverso se compone por estratos que forman plegamientos potentes de una a varias decenas de metros y separados entre sí por contactos tectónicos cizallantes de buzamiento leve.

2.3.2.3. Estratigrafía

Las rocas más antiguas la constituyen las pizarras, lutitas, areniscas, calizas del cretáceo y cubriendo estas formaciones se encuentran un conjunto de ignimbritas del terciario, depósitos aluviales y glaciares del cuaternario.

Las rocas paleozoicas ocupan toda la cordillera de Carabaya y las rocas mesozoicas aparecen en la cuenca del Titicaca ininterrumpida por formaciones del Cenozoico.

2.3.2.4 Afloramiento

Los mantos auríferos tienen una potencia que varían entre 2 a 40 cm. y de longitud variable limitada por fallas subverticales, formando bloques estructurales sin continuidad estructural.

El intemperismo y la meteorización como procesos supérgenos ha generado una manifestación superficial del encape lixiviado y la zona de óxidos compuestos por limonita y hematita, los mismos que contienen valores diferenciales y erráticos. Los mantos reconocidos se distribuyen en siete zonas.

Zona Llactapata – Compuerta	17 mantos
Zona San Francisco	15 mantos
Zona Cerro Lunar	6 manto
Zona Riticucho	4 manto
Zona Comuni	4 mantos
Zona Callejón	3 mantos
Zona San Jorge	3 mantos

2.3.2.5 Geología Económica

Las zonas de interés para la empresa son:

Comuni I, Comuni II.

En San Francisco: Santa Ana.

En San Jorge: Balcón I y Balcón II.

En Riticucho: Santa María y

En Cerro Lunar: proyecto Cóndor.

Los mantos constan de cuarzo ahumado a gris azulado, con brillo grasoso, accesoriamente contiene pirita, arsenopirita, clorita y oro, sin embargo su distribución es muy errática, ocurriendo bolsonadas de oro macizo o nativo, la roca encajonante esta débilmente alterada.

El yacimiento es el resultado de una manifestación hidrotermal por procesos de reemplazamiento y relleno de fisuras e intersticios, como manifestaciones de la ocurrencia del oro primario. Los constituyentes minerales son:

Elemento nativo : oro

Sulfuro : blenda, galena, pirrotita, pirita, calcopirita, molibdenita y marcasita

Sulfosales : arsenopirita y tetraedrita

Óxidos : limonita y hematita

Silicatos : titanita

No metálico : cuarzo y clorita.

Teniéndose como secuencia paragenética generalizada los minerales de la forma siguiente:

Cuarzo.

Clorita.

Oro nativo.

Titanita.

Pirita.

Arsenopirita.

Pirrotita.

Molibdenita.

Chalcopirita.

Blenda.

Galena.

2.4 Definiciones conceptuales de la ventilación de minas

2.4.1 Aire atmosférico

El aire atmosférico es una muestra de una serie de gases, cada uno de los cuales tiene propiedades físicas y químicas propias.

Los componentes principales del aire atmosférico puro son oxígeno y nitrógeno, existiendo además porcentajes pequeños de gases raros (argón, neón y helio) así como un porcentaje variable de dióxido de carbono.

La composición del aire puro seco es, (Ver: Cuadro 03)

Cuadro 03
Composición de aire atmosférico

Gases componentes	Análisis cuantitativo	
	Volumen (%)	Peso (%)
Nitrógeno	78,09	75,53
Oxígeno	20,95	23,14
Anhídrido carbónico	0,03	0,05
Argón y otros gases	0,93	1,28
Total	100,00	100,00

Fuente: Ventilación de minas – Alejandro Novitzky.

2.4.2 Aire de Mina

El aire de mina es una mezcla de gases y vapores, generalmente con polvo en suspensión que ocupa el espacio creado por las labores subterráneas. Se trata de aire atmosférico, que al ingresar a la mina sufre una serie de alteraciones en su composición. Si las alteraciones son tan pequeñas que el aire puede ser considerado como atmosférico, nos referimos a él como el aire fresco o de ingreso, mientras que el aire contaminado será descrito como aire viciado o de retorno.

Durante su paso a través de la mina, el aire recoge algunos gases, calor y el polvo producido por las operaciones mineras. Simultáneamente debido a la

presencia de los trabajadores y de materiales en el interior de la mina, el aire pierde parte de su oxígeno.

Durante el invierno, cuando el aire en el exterior de la mina es relativamente seco, absorberá además la humedad de la atmósfera de la mina. Durante el verano el proceso se invertirá, razón por la cual la mayoría de las minas tienden a secarse durante el invierno y volverse húmedas durante el verano, (Ver: Cuadro 04)

Cuadro 04

Consumo de oxígeno

Grado de actividad del hombre	Velocidad de respiración/min	Aire inhalado cada vez que respira (pulg ³)	Aire total inhalado (pulg ³ /min)	Oxígeno consumido (pie ³ /min)	Cociente de respiración
En reposo	12 – 18	24 – 43	300 – 800	0,01	0,75
Moderada	30	90 – 120	2 800 – 3 600	0,07	0,90
Intensa	40	150	6 000	0,10	1,00

Fuente: Informe técnico – GEOEX

2.4.3 Propiedades físicas del aire

2.4.3.1 Densidad del aire

Se define como la cantidad de masa de aire contenida en unidad de volumen.

$$\rho = M/V; \text{ kg/m}^3$$

Donde:

ρ = densidad del aire (kg/m³)

M = masa (kg)

V = volumen (m³)

G = peso (kg)

La densidad del aire a condiciones normales es de 1.295 kg/m³ a una presión barométrica de 760 mm de Hg y una temperatura de 15°C y humedad relativa de 60%.

2.4.3.2 Peso específico

Es el peso (G) del aire en unidad de volumen

$$\gamma = G/V; \quad \text{kg/m}^3$$

En la ventilación de minas se utiliza el peso específico (γ) estándar 1.2 kg/m³, que es el peso de 1 m³ de aire, con la presión de 1 atmosfera, temperatura de 15°C y humedad de 60%.

El p.e. (C) indica también cuantas veces un gas es más pesado o liviano que el aire.

2.4.3.3 Volumen específico

El volumen específico del aire es el volumen (V) en m³ ocupado por 1 kg de aire a presión y temperaturas dadas.

$$V = 1/\gamma; \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

2.4.3.4. Peso del aire (G)

$$G = v * \gamma$$

Donde:

G = Peso del aire (kg)

V = Volumen del aire (m³)

γ = Volumen específico (m³/kg).

2.4.3.5 Calor específico

Se entiende como calor específico a la cantidad de calor (medido en calorías) que necesita para aumentar a 1°C 1kg de una masa de aire.

2.4.3.6 Viscosidad

La viscosidad es la resistencia del aire a los esfuerzos tangenciales. En los cálculos de ventilación se utiliza el coeficiente cinemático de viscosidad.

$$\nu = \text{m}^2/\text{s}$$

Para el aire a temperatura de 15°C, $\nu = 1.44 \times 10^{-5}$

2.4.3.7 Presión

La presión es una propiedad física del aire que intervienen los diferentes procesos de ventilación de una mina. La presión atmosférica es el peso del aire que rodea la tierra a causa de la presión y que disminuye a medida que aumenta la altura de la superficie de la tierra. La presión expresada en pulgadas de mercurio se llama presión barométrica. Al nivel del mar la presión atmosférica es capaz de soportar una columna de 30 pulgadas de alto, es decir la presión barométrica al nivel del mar es 30 pulg. de Hg. Una pulgada de mercurio a 32 °F

de temperatura pesa 49 lb, una presión barométrica de 30 pulg equivaldrá 0.49 x
 $30 = 14.7 \text{ lb/pulg}^2$.

2.4.3.8 Temperatura

La temperatura se expresa en grados centígrados o grados fahrenheit, como también se expresa en grados absolutos. Por temperatura normal en la ventilación de minas se toma 15°C .

2.4.3.9 Humedad del aire

Es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire. Se llama aire saturado cuando el aire contiene el máximo vapor de agua para cualquier temperatura y se expresa en porcentaje (%). En la práctica para medir la humedad relativa del aire se realiza a través del psicrómetro.

Según la ley de Dalton:

$$P_T = P_a + P_v$$

P_a = presión parcial del aire seco

P_v = presión parcial del vapor.

La humedad absoluta es el contenido de vapor de agua, en gramos en 1 m^3 de aire. Cuanto mayor es la temperatura del aire, tanto más vapor de agua puede contener.

2.4.4 Gases presentes en mina

2.4.4.1 Nitrógeno (N_2)

Peso específico = 0.97 kg/m^3

El nitrógeno presente en el aire y en algunas rocas es un gas químicamente inerte, incoloro, inodoro, insípido y más liviano que el aire. Es a la vez el principal diluyente del oxígeno en el aire, sin embargo cuando se agrega nitrógeno al aire se produce una atmósfera con deficiencia de oxígeno, es decir el agregar nitrógeno al aire es equivalente a quitarle oxígeno. En todo caso, una cantidad excesiva de nitrógeno creará una atmósfera asfixiante en la que un ser humano no puede mantenerse vivo.

Fuentes de aumento del contenido de N, en el aire de mina son: putrefacción de sustancias orgánicas y trabajos con explosivos.

2.4.4.2. Oxígeno (O₂).

Peso específico = 1.11 kg/m³.

El oxígeno es un gas muy activo, se necesita para la respiración y la combustión. Es incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más pesado que el aire.

Aunque estamos acostumbrados a respirar aire que contiene 21% de oxígeno, el cuerpo humano puede funcionar en atmósferas mayores o menores de este gas. Sin embargo, cuando el contenido de oxígeno baja hasta 16% (1 atm de presión), muchas personas tienen dificultades para respirar.

Cuando el contenido de oxígeno baja hasta 10% muchas personas pierden el conocimiento.

Las principales causas de la disminución de oxígeno en el aire de mina son: procesos de oxidación lenta de materiales orgánicos (madera, combustibles, rocas) desprendimiento de gases por los carbones y las rocas.

2.4.4.3 Anhídrido carbónico (CO₂)

Peso específico = 1.53 kg/m³.

Gas incoloro, inodoro con sabor ligeramente ácido cuando se encuentra en concentraciones altas. Normalmente se considera que el CO₂ es un gas inerte ya que no mantiene la combustión, razón por la cual se le emplea como extinguidor para combatir incendios.

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

Es generado por los seres vivos, los incendios y las explosiones.

El anhídrido carbónico tiene una serie de propiedades interesantes, es más pesado que el aire y tiende a circular por las zonas bajas (niveles más profundos o en el piso de las galerías).

2.4.4.4 Monóxido de carbono (CO)

Peso específico = 0.97 kg/m³

Se trata de un gas incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más liviano que el aire, su presencia en las minas se debe a las voladuras, los incendios subterráneos y al empleo de motores de combustión interna mal regulados. El peligro de monóxido de carbono para la salud se debe a que la hemoglobina de la sangre se combina con el gas con mucha más facilidad que con el oxígeno, lo cual limita la capacidad de absorción de oxígeno por parte de la sangre. Esto hace que una concentración volumétrica de 500 ppm de CO en el aire pueda

producir la muerte en 3 horas, ya que bloquea la absorción de oxígeno al 50% de la hemoglobina contenida en la sangre. Explota cuando se encuentra en el aire en un porcentaje de 13% a 75%.

2.4.4.5 Óxidos de nitrógeno (NOx)

Peso específico NO = 1.04 kg/m³

Peso específico NO₂ = 1.58 kg/m³

Se trata de gases más pesados que el aire, incoloros cuando la concentración es baja (pero tóxica) y pardos rojizos cuando la concentración es alta. Se detecta con relativa facilidad por el olor característico que se percibe en un frente de trabajo inmediatamente después de una voladura con explosivos.

Gases formados por efecto del empleo de explosivos y de equipos de combustión interna, la toxicidad de estos gases se debe a que al disolverse en la humedad contenida en los pulmones, dan la formación de ácido nítrico y nitroso cuya corrosividad es conocida, (Ver: Cuadro 05)

Cuadro 05

Efectos fisiológicos de los humos nitrosos

Efectos fisiológicos	Porcentaje por volumen de concentración	Concentración (ppm)
• Concentración máxima que se permite para exposiciones cortas	0,001 – 0,004	10 – 40
• Cantidad mínima que produce irritación de la garganta	0,0062	62
• Produce tos, en cantidades mínimas	0,01	100
• Peligroso, aún en exposiciones cortas (media a una hora)	0,01 – 0,015	100 – 150
• Fatal aún para exposiciones cortas	0,02 – 0,07	200 – 700

Fuente: Apuntes de ventilación de minas – UNI.

2.4.4.6 Anhídrido sulfuroso (SO₂)

Peso específico = 2.26 kg/m³

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

Se forma por la combustión de minerales con alto contenido de azufre en incendios subterráneos y por las voladuras en minas que contienen sulfuros.

Su efecto extremadamente irritante lo hace fácil de detectar y es difícil que una persona pueda permanecer más de unos minutos en una atmósfera que contiene este gas, (Ver: Cuadro 06)

Cuadro 06
Efectos fisiológicos del SO₂

Concentración (ppm)	Efectos fisiológicos del SO ₂
0,3 – 0,1	Detectable por la mayoría de las personas por el sentido del gusto más que por el olor.
3,0 – 5,0	Olor característico.
10,0	Concentración máxima permisible, para una exposición prolongada.
20,0	En cantidades mínimas produce tos e irritación inmediata de los ojos.
50,0	Pronunciada irritación de los ojos, garganta y pulmones, pero que puede llegar a soportarse por espacio de varios minutos.
50,0 – 100,0	Concentración máxima permisible, para una corta exposición (media a una hora).
150,0	Extremadamente desagradable, puede soportarse varios minutos.
400,0 – 500,0	Peligrosa, inclusive para una exposición corta; imposible respirar.

Fuente: Apuntes de ventilación de Minas – UNI

2.4.4.7 Ácido sulfhídrico (H₂S)

Peso específico = 1.19 kg/m³

Gas incoloro de gusto azucarado y olor a huevo podrido, arde y forma una mezcla explosiva cuando su concentración llega a 6% es fácilmente soluble en agua.

Es más venenoso que el monóxido de carbono, pero su característico olor lo hace menos peligroso, irrita las mucosas de los ojos y de los conductos respiratorios y ataca el sistema nervioso.

Las fuentes de formación del ácido sulfhídrico en las minas son:

Putrefacción de sustancias orgánicas, descomposición de minerales, desprendimiento de las grietas (minas de sal, de asphaltitas), (Ver: Cuadro 07)

Cuadro 07

Efectos fisiológicos del H₂S

Porcentaje por volumen de concentración	Efectos fisiológicos del H ₂ S
0,005 – 0,010	Intoxicación sub-aguda Síntomas ligeros tales como: Conjuntivitis leve (irritación de los ojos) e irritación del conducto respiratorio después de una hora de exposición.
0,020 – 0,030	Intoxicación sub-aguda Conjuntivitis e irritación del conducto respiratorio después de una hora de exposición.
0,050 – 0,070	Intoxicación sub-aguda Peligrosa entre media hora y una hora de exposición.
0,070 – 0,100	Posible intoxicación aguda Pérdida rápida del conocimiento, cese de la respiración y muerte.
0,100 – 0,200 o más	Intoxicación aguda Pérdida del conocimiento, cese de la respiración y muerte a los pocos minutos.

Fuente: Apuntes de ventilación de minas – UNI.

2.4.4.8 Metano (CH₄) y otros hidrocarburos

Peso específico = 0.554 kg/m³.

Gas incoloro, inodoro, insípido y más liviano que el aire, se concentra en las partes altas de las labores mineras de atmosfera tranquila.

El metano es una de las impurezas más peligrosas de la atmosfera de las minas, por su propiedad de formar mezclas explosivas con el aire. Las explosiones de metano han sido la causa de muerte de centenares de mineros en minas de carbón.

2.4.5 Polvos de mina

El polvo de las minas es un conjunto de partículas que se encuentran presentes en el aire, paredes, techos y pisos de las labores mineras. Cuando el polvo se encuentra en el aire, forma un sistema disperso llamado aerosol.

El polvo puede permanecer en el aire durante largo tiempo, dependiendo de varios factores, entre las cuales están: tamaño, figura, forma, peso específico, velocidad del movimiento del aire, humedad y temperatura ambiental.

El polvo de tamaño mayor a **10 μs** no se mantiene en suspensión por mucho tiempo en las corrientes de aire, por lo tanto se deposita fácilmente.

El polvo de tamaño menor **10 μs** se mantiene en el aire por un prolongado tiempo.

Si la partícula es ultramicroscópica, de diámetro menor a 0.1μ , al igual que las moléculas de aire, no se depositan, encontrándose en un movimiento Browniano.

(Yanes Garín, 1993), pag.28

2.4.5.1 Efectos ocasionados por el polvo

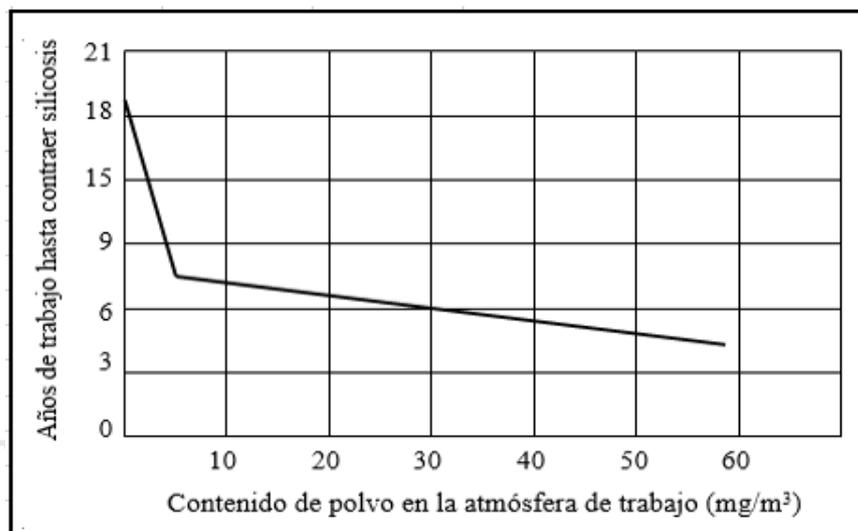
Las concentraciones de polvo que llegan a producirse como resultado de las diferentes operaciones mineras, en el desarrollo de una galería. Son un factor determinante cuando el contenido de sílice libre de la roca llega a sobrepasar los límites permisibles.

Las concentraciones elevadas son perjudiciales para la salud del hombre dando origen a una enfermedad que se le conoce como "Neumoconiosis". En nuestro caso el polvo que nos preocupa es el que contiene sílice, por lo tanto la enfermedad se le conoce con el nombre de "Silicosis" esta es una de las peores enfermedades a que están expuestos los trabajadores que realizan labores subterráneas.

El proceso de acción patológica de este tipo de polvo que se inhala, es muy complejo, pero su acción nociva queda manifiesto al originarse en los pulmones un tejido fibroso que sin los capilares sanguíneos, es muy similar al tejido posterior a las heridas ordinarias; por tal razón se denomina a este primer proceso de iniciación de la enfermedad como "Fibrosis". El proceso de silicosis se realiza de acuerdo a la extensión del período de exposición, como se muestra en las figuras 08 y 09.

Figura 08

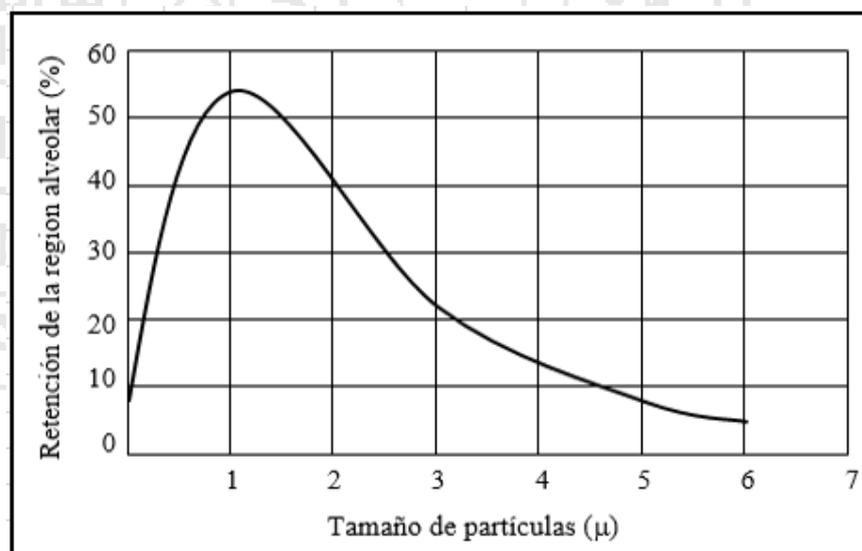
Proceso de la silicosis por tiempo de exposición



Fuente: Apuntes de ventilación de minas – UNI

Figura 09

Retención de polvo en la región alveolar del pulmón



Fuente: Apuntes de ventilación de minas – UNI

El polvo que llega a considerarse como nocivo, es aquel formado por partículas inferiores a 5 micrones (5μ) particularmente entre 1 y 2 micrones.

Los factores que pueden producir la silicosis son variadas y aún desconocidas, puesto que las partículas de polvo una vez que han sido aspirados y transportados a los pulmones pueden llegar a eliminarse nuevamente mediante los vasos linfáticos.

Norvit establece, que la capacidad de los pulmones sanos para esta depuración automática de partículas de polvo es muy grande, pero disminuyen cuando se presenta alteraciones patológicas del sistema linfático en los pulmones.

En esta forma una tuberculosis incipiente o primaria tiene un efecto negativo en la gente minera, haciéndolos más propensos a la silicosis.

2.4.6 Efectos por deficiencia de oxígeno

Una persona respira fácilmente y sin dificultades desarrollándose mejor en su trabajo, cuando el contenido del oxígeno en el ambiente de trabajo se mantiene en más o menos 21%, cualquier disminución de su contenido considerado normal de oxígeno en la atmósfera se denomina “deficiencia de oxígeno”. Las causas que originan esta deficiencia ya fueron expuestas anteriormente.

En el Cuadro 08, se muestra los efectos fisiológicos en una atmósfera con deficiencia de oxígeno.

Debemos indicar que los efectos pueden ser diferentes en cada persona dependiendo del tiempo de exposición y de su inmunidad.

Cuadro 08

Efectos fisiológicos por deficiencia de oxígeno

Contenido de O ₂ (%)	Efectos
17	Síntomas de respiración rápida y profunda
15	Desvanecimiento, zumbido de los oídos, latidos rápidos del corazón
13	Pérdida del conocimiento si la exposición es prolongada
9	Desmayos e inconsciencia
7	Pone en peligro la vida (equivalente a 8 850 m.s.n.m.
6	Movimientos convulsivos que llegan a causar la muerte.

Fuente: Manual de ventilación de minas – UNI.

2.4.7 Clasificación de los ventiladores

Con el desarrollo de la tecnología aerodinámica, en los años posteriores a la segunda guerra mundial se desarrollaron los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores axiales los cuales son los más utilizados, en la actualidad y a nivel global, para mover grandes cantidades de aire en los trabajos subterráneos, operando dichas unidades tanto en interior mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en sistemas de ventilación industrial dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos.

Los ventiladores se dividen en el sentido más general en dos tipos; ventiladores axiales y centrífugos, para cada uno de estos tipos se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y distintos tipos de accionamiento del rodete.

(Zitron, 2007), pag.6

2.4.7.1 Ventilador centrífugo

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

En un ventilador de entrada doble, el aire entra por ambos lados de la envolvente succionado por un rotor doble o por dos rotores sencillos montados lado a lado. Los rotores se pueden clasificar; en general, en aquellos cuyas aspas son radiales o inclinadas hacia adelante o inclinadas hacia atrás del sentido de la rotación, (Ver: Figura 10).

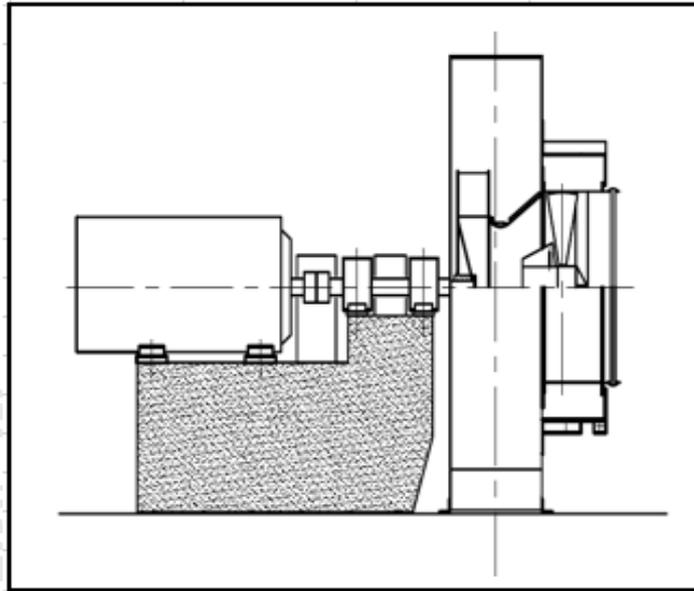
(Zitron, 2007), pag.6 – 7

Figura 10

Ventilador Centrífugo



Fuente: Zitron, 2007



Fuente: Zitron, 2007

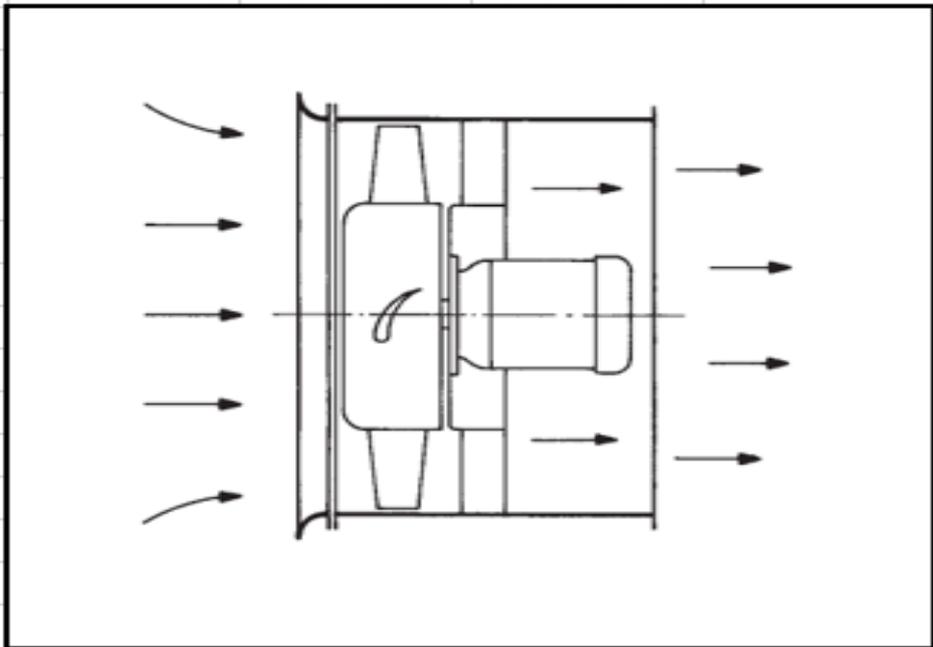
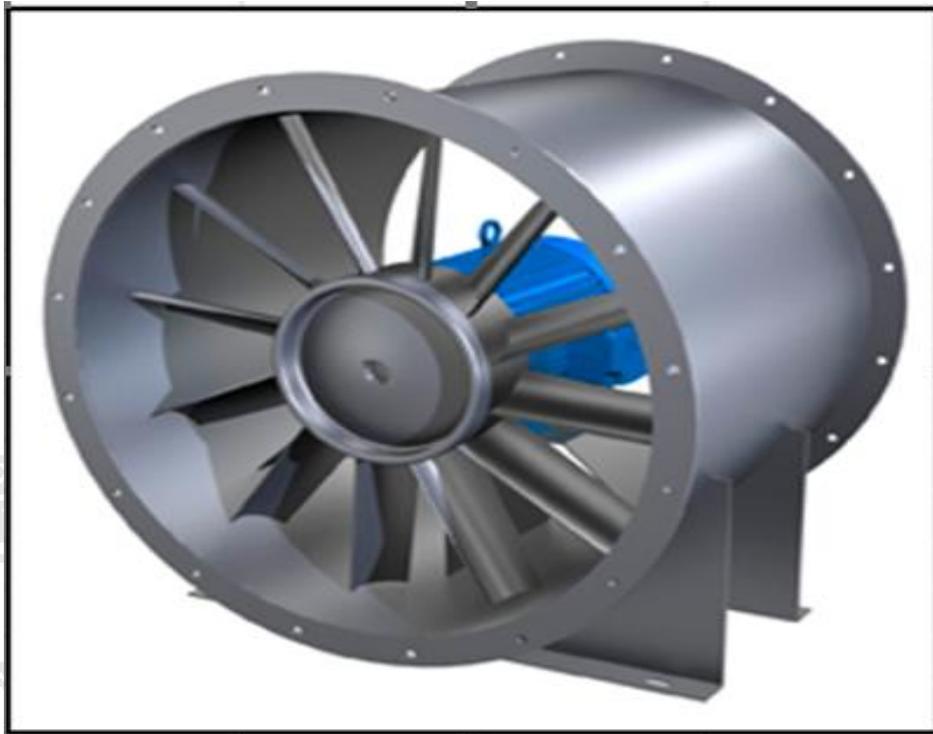
2.4.7.2 Ventilador axial

El ventilador axial es de diseño aerodinámico, este tipo de ventilador consiste esencialmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa. La adición de alaves-guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turboaxial en un ventilador axial con aletas guía.

Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo, a la vez que es mucho más eficiente. Los alaves-guía en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo de aire fuera de la unidad la vez que sirven de apoyo en el diseño, (Ver: Figura 11).

(Zitron, 2007), pág. 8-9.

Figura 11
Ventilador axial



Fuente: Zitron, 2007

2.5 Formulación de hipótesis

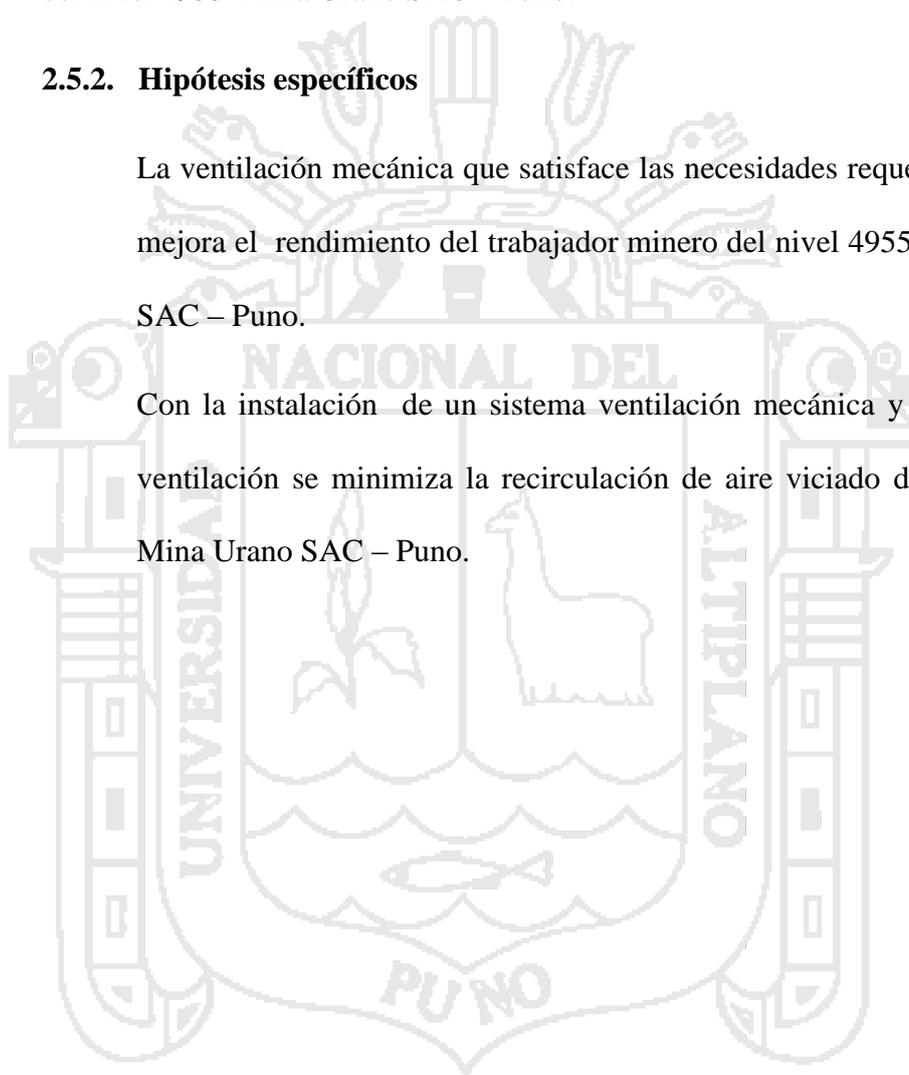
2.5.1 Hipótesis general

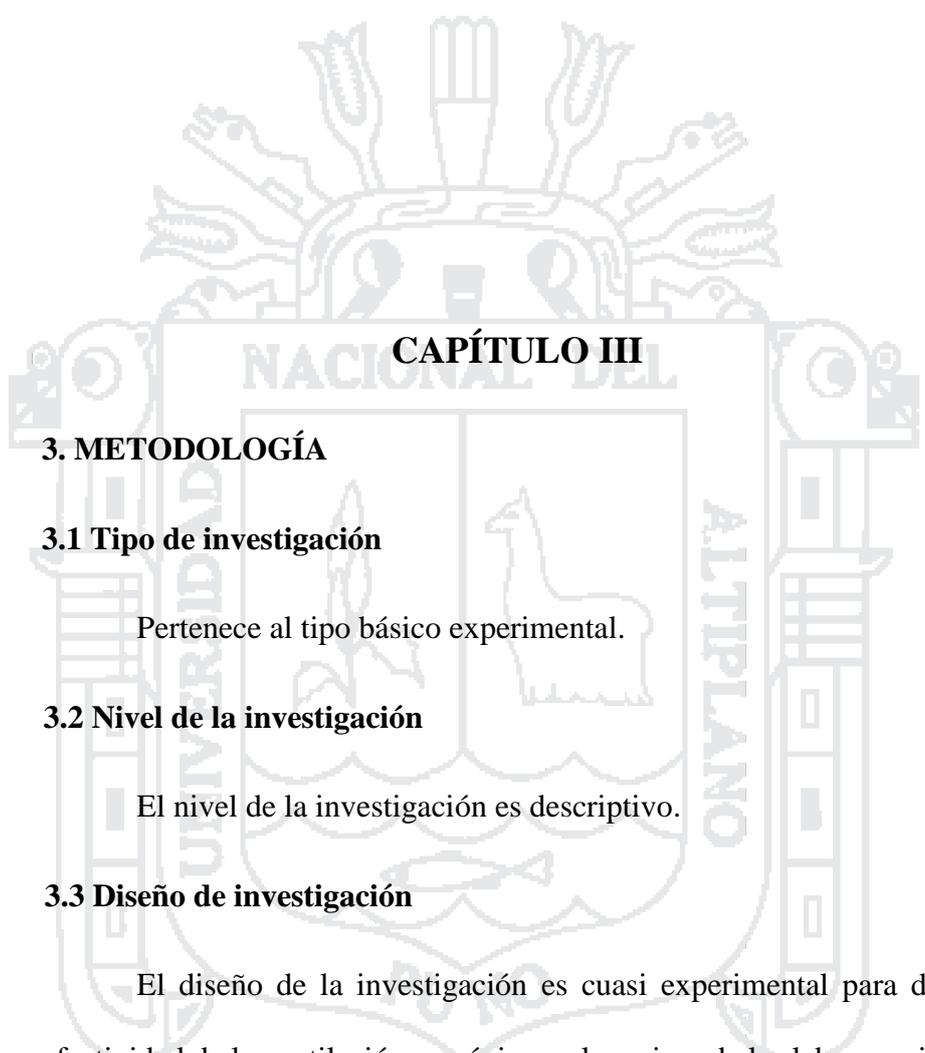
La ventilación mecánica influye en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

2.5.2. Hipótesis específicos

La ventilación mecánica que satisface las necesidades requeridas de aire, mejora el rendimiento del trabajador minero del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

Con la instalación de un sistema ventilación mecánica y un diseño de ventilación se minimiza la recirculación de aire viciado del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.





CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Pertenece al tipo básico experimental.

3.2 Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo.

3.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental para determinar la efectividad de la ventilación mecánica en la mejora de las labores mineras

3.4 Población y muestra

Población

La población está constituida por las labores de desarrollo y el número de trabajadores que vienen trabajando, del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

Muestra

La muestra está conformada por el nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.

3.5 Identificación de variables

3.5.1 Variable independiente

Influencia de la ventilación mecánica.

3.5.2 Variable dependiente

Diseño del sistema de ventilación.

En resumen todo esto se detalla en: Cuadro 09

Cuadro 09

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE Influencia de la ventilación mecánica	Galería principal de extracción	Diferencia de presión	Pulgadas de agua
		Diferencia de temperatura	Grados centígrados
	Cortada de extracción	Velocidad de aire	Metros por segundo
VARIABLE DEPENDIENTE Diseño del sistema de ventilación	Mangas de ventilación	Capacidad de ventiladores	Metros cúbicos por minuto o por (cfm)
		Diámetro de las mangas	Pulgadas
	Ventiladores aspirantes o impelentes		

Fuente: Elaboración propia

3.6 Técnicas de recolección de datos, descripción de los instrumentos

Métodos

Observación directa de los instrumentos al aire de mina en las labores desarrollados en la Mina Urano.

Técnicas

Observación consiste en percibir las condiciones ambientales de la mina y registro de datos en el campo.

Instrumentos

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

Anemómetro marca Kestrel 4300.

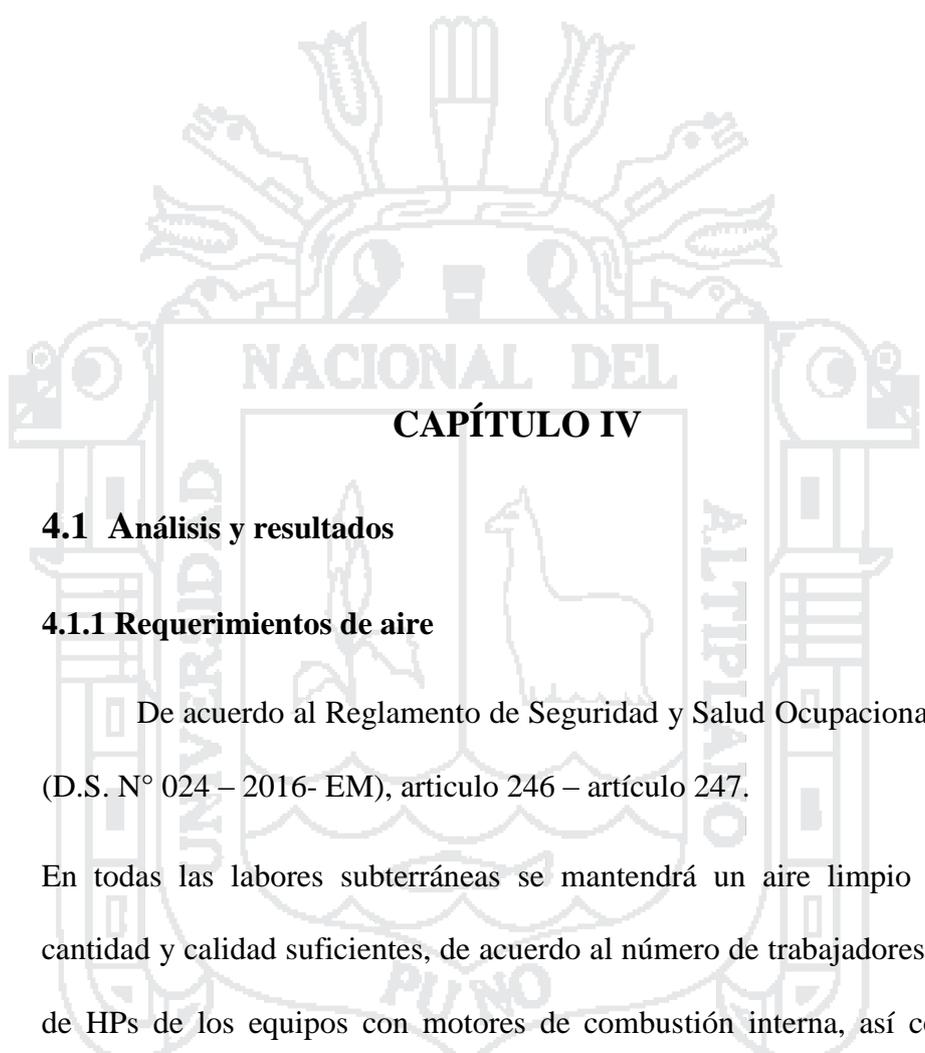
Instrumento utilizado para medir directamente la velocidad, del aire circulante en una galería (pies/min; m/s); tal velocidad registrada, más la sección transversal de la galería (pies²; m²), nos permite el cálculo del caudal de aire circulante en dicha galería.

Tubos de humo.

Este instrumento de sencilla fabricación, permite determinar el sentido y velocidad de pequeños flujos de aire en galerías.

3.6.1 Técnicas para el procesamiento de la información.

La información recolectada será representada en cuadros.



CAPÍTULO IV

4.1 Análisis y resultados

4.1.1 Requerimientos de aire

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024 – 2016- EM), artículo 246 – artículo 247.

En todas las labores subterráneas se mantendrá un aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes, de acuerdo al número de trabajadores, con el total de HPs 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.

Las labores de entrada y salida de aire deberán ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se dividirá en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire limpio y fresco.

Cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1500) msnm, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 metros cúbicos por minuto.

En otras altitudes la cantidad de aire será con la siguiente escala.

1500 m. a 3000 m. se aumenta en 40 %, que será igual a 4 m³/min

3000 m. a 4000 m. se aumenta en 70 %, que será igual a 5 m³/min

Sobre los 4000 m. se aumenta en 100%, que será igual a 6 m³/min.

Para los equipos diésel la cantidad de aire circulante no será menor de 3 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos. En ningún caso la velocidad del aire será menor a 20 metros por minuto en las labores de explotación.

4.1.2 Caudal de aire requerido

La demanda de aire que se requiere en la mina Urano para los trabajos en interior mina depende únicamente de 04 factores como son:

De la cantidad de hombres que trabajan por guardia.

Del número de equipos diésel que trabajan por guardia.

De la cantidad de explosivos utilizados en cada disparo.

Mantener condiciones ambientales.

4.1.2.1 Por el número de personas/guardia (Q₁):

En la empresa vienen laborando 14 personas/guardia.

$$Q_1 = q \times n \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

Donde:

N :Número de personal (14 hombres: 03 personal de servicios, operador de scoop, chofer de volquete, perforista, ayudante perforista 1, ayudante perforista 2, capataz de perforación 02 vigilantes, inspector de seguridad, capataz general y jefe de guardia).

Q : consumo de aire por persona a más de 4000 m. (6 m³/min).

Según el artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería se tiene que:

De: 1500 m. a 3000 m. se aumenta en 40 %, que será igual a 4 m³/min

3000 m. a 4000 m. se aumenta en 70 %, que será igual a 5 m³/min

Sobre los 4000 m. se aumenta en 100%, que será igual a 6 m³/min

Reemplazando.

$$Q_1 = 6.0 \times 14$$

$$Q_1 = 84 \text{ (m}^3\text{/min)}$$

4.1.2.2 Por el uso de equipos diésel (Q₂):

La empresa cuenta con 02 equipos diésel

Conforme el artículo 254, inciso b, del reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, la cantidad de aire circulante será no menor de 3 m³/min. Por cada HP que desarrollan los equipos diésel, siendo esta:

$$Q_2 = N \times q \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

N : Número de equipos diésel (Scoop y volquete)

Q : Aire requerido por HP (3 m³/min.)

Luego:

$$Q_2 = 3 \text{ (m}^3\text{/min)} \times 330 \text{ HP}$$

$$Q_2 = 990 \text{ m}^3\text{/min}$$

En resumen se detalla en: Cuadro 10

Cuadro 10
Cantidad de aire requerido por equipos diésel

Cantidad	Equipo	HP/ Equipo	Total HP	Vol. aire m ³ /min.	Factor Utilización (%)	Vol. aire m ³ /min.	Caudal CFM
1	Scoop	190	190	570	50	285	10064.8
1	Volquete	140	140	420	70	294	10382.61
TOTAL						579	20447.41

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3 Caudal de aire por la dilución de contaminantes de explosivos

(Q₃):

Para definir las necesidades de aire por consumo de explosivo se consideran las actividades de desarrollo de cortada y galería, cuya necesidad resulta de la aplicación de las fórmulas establecidas, que se detallan como

sigue:

$$Q_3 = A \times V \times n$$

Dónde:

A : Área de sección promedio de la galería. (3.0 m. x 2.5 m. = 7.5 m²)

V : Velocidad del aire (según el artículo 248, del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minera, se tendrá como mínimo una velocidad de 20 m. / min.

N : Números de niveles.

$$Q_3 = 7.5 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m/min} \times 1$$

$$Q_3 = 150 \text{ m}^3/\text{min.}$$

En resumen se detalla en: Cuadro 11

Cuadro 11

Cantidad de aire requerido por uso de explosivo

Nivel	Labor	Base m.	Altura m.	Área (m ²)	Caudal m ³ /min.	Caudal CFM
4955	Galería	3.0	2.5	7.5	150	5297.3
4955	Cortada	3.0	1.70	5.1	104	3672.8
TOTAL					254	8970.1

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4 Caudal de aire total

El caudal de aire total es el resultado de la suma del aire requerido, por tanto el aire total requerido para la Mina Urano es de:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 84 + 579 + 254$$

$$Q_t = 917 \text{ m}^3/\text{min.} \times 35.315 \text{ cfm}$$

$$Q_t = 32383.9 \text{ cfm} \approx 33000.0 \text{ cfm.}$$

En resumen se detalla en: Cuadro 12

Cuadro 12

Resumen total de aire requerido Mina Urano

	Flujo de aire en (m ³ /min). requerido	Factor de conversión	Flujo de aire en cfm
Por el número de personas	84	35.315	2966.5
Por el uso de equipos diésel	579	35.315	20447.4
Por la dilución de contaminantes	254	35.315	8970
TOTAL	917	35.315	32383.9

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Cálculo de flujo de aire natural en diferentes profundidades lineales

Hay dos métodos para medir la velocidad del aire utilizando anemómetros; medición continua de punto fijo.

Con el primer método, el instrumento es desplazado lentamente por la sección transversal de la galería, procurando cubrir toda el área del conducto en un periodo de un minuto. Dependiendo de la forma de la excavación, el instrumento puede ser desplazado en una trayectoria en S o en W, la trayectoria en S es usada en galerías de sección alta y una trayectoria en W en galerías anchas.

Con el segundo método, la sección de una galería es dividida en varias sub secciones de áreas iguales y la velocidad del aire medido en el centro de cada sub sección, la velocidad actual es determinada promediando las velocidades individuales. Este método es bastante preciso pero requiere de muchas mediciones.

Para la toma de mediciones en los puntos de monitoreo se hizo uso de un anemómetro digital marca Kestrel 4300, se consideró 9 sub secciones para cada punto de monitoreo y se considera el promedio de las muestras tomadas, (Ver: Cuadro 13)

Longitud de galería = 1500 m

Sección = 3.0 m x 2.5 m = 7.5 m².

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q = Flujo de Aire (m³/min).

V = Velocidad de flujo de aire (m/min).

A = Área de la sección (m²); 3.0 m x 2.5 m = **7.5** m².

Cuadro 13

Cálculo de flujos mina Urano a 4955 m.s.n.m.

Metros de profundidad lineal	Velocidades de aire en (m/min).	Flujo de aire en (m ³ /min).	Flujo de aire en cfm
BM	60	450	15891.75
0+100	28.8	216	7628.04
0+200	22.2	166.5	4114.2
0+300	20.4	153	5403.2
0+400	18	135	4767.53
0+500	15.6	117	4131.86
0+600	13.2	99	3496.2
0+700	11.4	85.5	3019.43
0+800	10.2	76.5	2701.6
0+900	8.4	63	2224.8
0+1000	6.0	45	1589.2
1+100	5.4	40.5	1430.3
1+200	3.6	27	953.5
1+300	1.8	13.5	476.7
1+400	0.6	4.5	158.91
1+500	0	0	0

Fuente. Elaboración propia.

Para la cortada.

Longitud de 250 m.

Sección 3.0 m. x 1.70 m. = 5.1 m²

En resumen se detalla en: Cuadro 14

Cuadro 14

Cálculo de flujos para la cortada

Metros de profundidad lineal	Velocidades de aire (m/min).	Flujo de aire (m³/min).	Flujo de aire cfm
9-100 W	6.0	28.8	1017.1
9-200 W	5.5	26.4	932.3
9-250 W	0.6	2.88	101.7

Fuente. Elaboración propia.

Como en los cálculos realizados sobre el requerimiento de aire de la mina que es igual a 33000.0 cfm a comparación del caudal natural que ingresa a la mina es relativamente menor, en la mina anteriormente se instaló un ventilador de 15000 cfm lo cual en el aumento de la profundidad de nuestras operaciones ha sido necesario el requerimiento de un nuevo ventilador que satisfaga las necesidades de aire en nuestra operación.

4.1.4 Parámetros para el dimensionamiento del ventilador

Velocidad de aire en la galería

La velocidad de aire en la galería principal 955 N y cortada 900 W en la Mina Urano SAC. Será:

$$V = 32383.9 \text{ cfm} / 80.73 \text{ pies}^2$$

$$V = 401.14 \text{ pies} / \text{min}$$

$$V = 122.3 \text{ m} / \text{min}$$

Sección de la manga

La sección de la manga de ventilación deberá por norma 20 veces menor que la sección de la galería, fórmula aplicada para la determinación del área de una galería, a partir de esta fórmula se calcula el diámetro de la manga.

$$A = 3.1416 * D^2 / 4,$$

Donde:

$$A = \text{Área del diámetro de la manga.}$$

$$D = \text{Diámetro de la manga.}$$

$$S = 80.73 \text{ pies}^2 / 20 = 4.04 \text{ pies}^2.$$

$$\pi * D^2 / 4 = 4.04 \text{ pies}^2.$$

$$D = 2.27 \text{ pies} * 12 \text{ pulg.}$$

$$D = 27.2 \text{ pulg.} \approx \mathbf{27 \text{ pulg.}}$$

Velocidad en la manga

La velocidad en la manga será:

$$V = 32383.9 \text{ cfm} / 4.04 \text{ pies}^2.$$

$$V = 8015.8 \text{ pies} / \text{min.}$$

$$V = \mathbf{2443 \text{ m} / \text{min.}}$$

Una vez realizado los cálculos pertinentes se lograron determinar los siguientes datos, (Ver: Cuadro 15)

Cuadro 15

Resumen de parámetros

CFM requeridos	33000.00 cfm
Diámetro de la manga	27 pulg.
Velocidad de aire en galería	122.3 m / min
Velocidad de aire en la manga	2443 m / min.

Fuente, Elaboración Propia.

Determinando la capacidad del ventilador

Para ventilar una mina se necesitan ciertas cantidades de flujo de aire, con una presión determinada a cierta cantidad del aire. Conocida la pérdida de presión y el caudal de la mina, en este caso se hace los cálculos tomando los datos de la densidad, temperatura, presión y la altura a partir del nivel del mar, donde se utilizó el Cuadro 16, para realizar algunos cálculos.

Datos:

- $^{\circ}\text{T} = 17.2$
- $^{\circ}\text{F} = 5/9 (17.2) + 32$
- $^{\circ}\text{T} = \mathbf{41.56} \text{ }^{\circ}\text{F}$
- $\text{H} = 4955 \text{ msnm.}$
- $\mathbf{H} = 16256.4 \text{ pies}$

Tenemos:

$$\text{Log P2} = \text{Log P1} - \text{H} / 122.4 ({}^{\circ}\text{F} + 460)$$

Reemplazando tenemos:

$$\text{Log P2} = \text{Log (15.8)} - 16256.4 / 122.4 (41.56 + 460)$$

$$\text{Log P2} = 1.1987 - 16256.4 / 61390.9$$

$$\text{Log P2} = 1.46$$

$$\text{P2} = 10^{(1.46)}$$

$$\text{P2} = 28.8 \text{ pulg. de Hg.}$$

Cuadro 16

Valores de diferentes parámetros en función de la altura

Altitud (m.s.n.m.)	Presión Atmosférica (mm Hg)	Presión de O2 en el aire (Mm Hg)	Temperatura (°C)
0	760.0	159.2	15.0
1000	674.1	141.2	8.5
2000	596.3	124.9	2.0
3000	526.0	110.2	-4.5
3500	493.4	103.4	-7.7
4000	462.5	96.9	-11.0
4200	450.6	94.4	-12.3
4400	438.9	91.9	-13.6
4600	427.5	89.6	-14.9
4800	416.3	87.2	-16.2
5000	405.4	84.9	-17.5
6000	354.2	74.2	-24.0
7000	308.3	64.6	-30.5
8000	267.4	56.0	-36.9
8848	236.3	49.5	-42.4

Fuente: Estándares de la organización de aviación civil internacional, 1996. Salud, minería y altura, centro de estudios de medicina ergonomía en faenas de altura

Calculo de la densidad

$$D = 1.325 * 28.8 / 460 + 41.56$$

$$D = 38.16 / 501.56$$

$$D = 0.076 \text{ lb / pie}^3$$

Determinación de las pérdidas de carga**Resistencia de la galería**

Consideramos $K = 175 \times 10^{-10}$, que corresponde a un desarrollo moderadamente obstruido en roca sedimentaria – metamórfica, de acuerdo a la tabla

Aplicando la fórmula de Atkinson tendremos:

$$H_f = \frac{K \times P \times L \times Q^2}{5.2 \times A^3}$$

$$H_f = (175 \times 10^{-10}) \times (36) \times (4921) \times (33000)^2 / 5.2 \times (24)^3$$

$$H_f = 49.9 \text{ pulg. de H}_2\text{O}$$

Capacidad del ventilador

$$= Q (D / N)^{1/2}$$

$$= 32383.9 (0.076 / 0.075)^{1/2}$$

$$= 32599.1 \text{ cfm} \approx 33000 \text{ cfm}$$

4.1.5 Evaluación del sistema de ventilación

El sistema de ventilación en la Mina Urano en términos de distribución de flujos es aceptable no podemos decir lo mismo de la capacidad de la ventilación natural que presenta una deficiencia.

Para lograr que las labores tengan la cantidad de aire que necesitan según los cálculos de requerimiento de aire, se han instalado ventiladores en serie los cuales incrementan el flujo de aire

4.1.6 Requerimiento de aire vs caudal de ingreso

De la evaluación del sistema de ventilación se tiene una deficiencia de 843 m³/min de aire limpio para cubrir con los requerimientos mínimos de caudal de aire limpio, (Ver: Cuadro 17)

Cuadro 17

Requerimiento de aire VS caudal de ingreso natural

	Caudal (m ³ /min)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (cfm)
Caudal de aire requerido	917	15.3	32383.9
Ingreso de aire	450	7.5	15891.75
Deficiencia	467	7.8	16492.15

Fuente: Elaboración propia

4.2 Cálculo del rendimiento del personal

Para el siguiente cálculo se tomó en consideración, el número de personas que trabajan en el frente, tiempos de carguío manual y tiempos de acarreo del volquete, antes de (Ver: Cuadro 18), después de (Ver: Cuadro 19)

Antes de realizar la instalación

Datos generales:

Número de personas = 12

Capacidad de volquete = 5 TM

Cantidad de toneladas rotas = 13.77 ≈ 14 TM

Distancia de recorrido del volquete = 1000 m.

Distancia de carguío de personal = 200 m.

Cuadro 18

Datos antes de la instalación

Tiempo de carguío del personal (min)	Tiempo de transporte del volquete ida y vuelta (min)	Distancia de recorrido por personal (m)	Distancia de transporte del volquete (m)
55	30	200	1000

Fuente: Elaboración propia

Después de la instalación

Datos generales:

Número de personas = 12

Cantidad de toneladas rotas = $13.77 \approx 14$ TM

Capacidad de volquete = 5 TM

Distancia de recorrido del volquete = 1000 m.

Distancia de carguío de personal = 200 m.

Cuadro 19

Datos después de la instalación

Tiempo de carguío del personal (min.)	Tiempo de transporte del volquete ida y vuelta (min)	Distancia de recorrido por personal (m)	Distancia de transporte del volquete (m)
40	30	200	1000

Fuente Elaboración propia

Rendimiento antes y después de la instalación

Haciendo un análisis de lo calculado sobre el rendimiento del personal con la mejora de la ventilación se puede notar en el siguiente cuadro, donde se ve claramente que la limpieza del frente se realizó en menos tiempo, (Ver Cuadro 20) y (Ver: Figura 12)

Cuadro 20

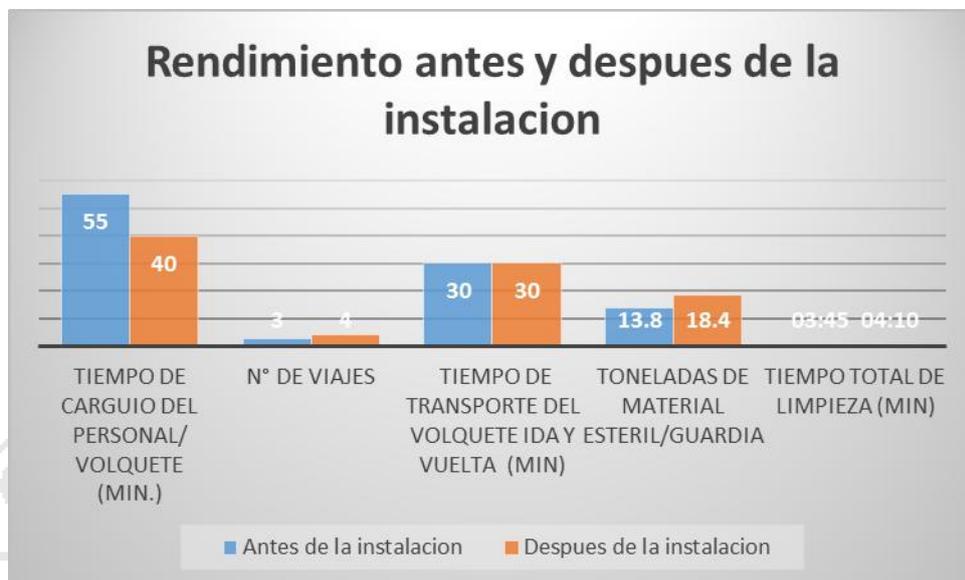
Rendimiento antes VS después de la instalación

	Tiempo de carguío del personal/ volquete (Min.)	Nº de Viajes	Tiempo de transporte del volquete ida y vuelta (Min)	Toneladas de material estéril/viaje	Tiempo total de limpieza (Hrs)
Antes de la instalación	55	3	30	13.77	03:45
Después de la instalación	40	4	30	18.4	4:10

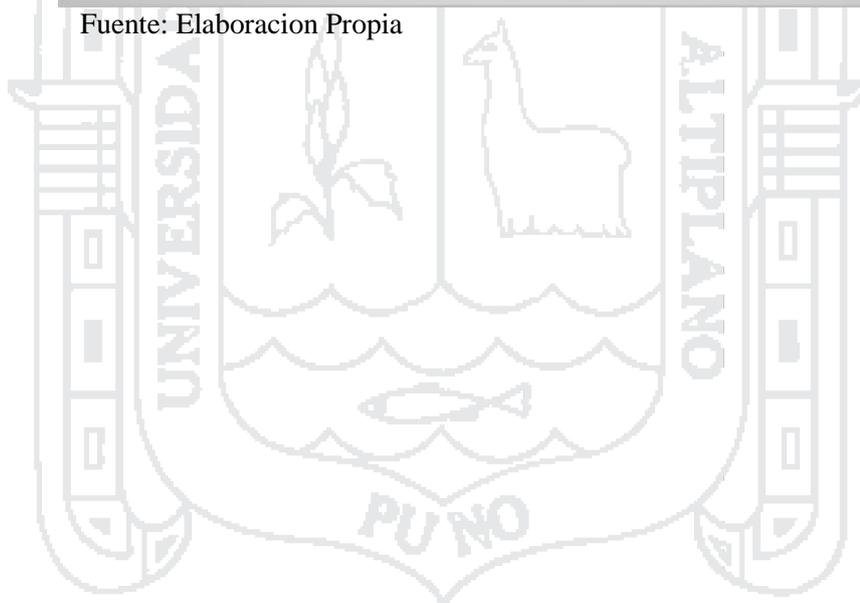
Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Rendimiento antes y después de la instalación



Fuente: Elaboracion Propia

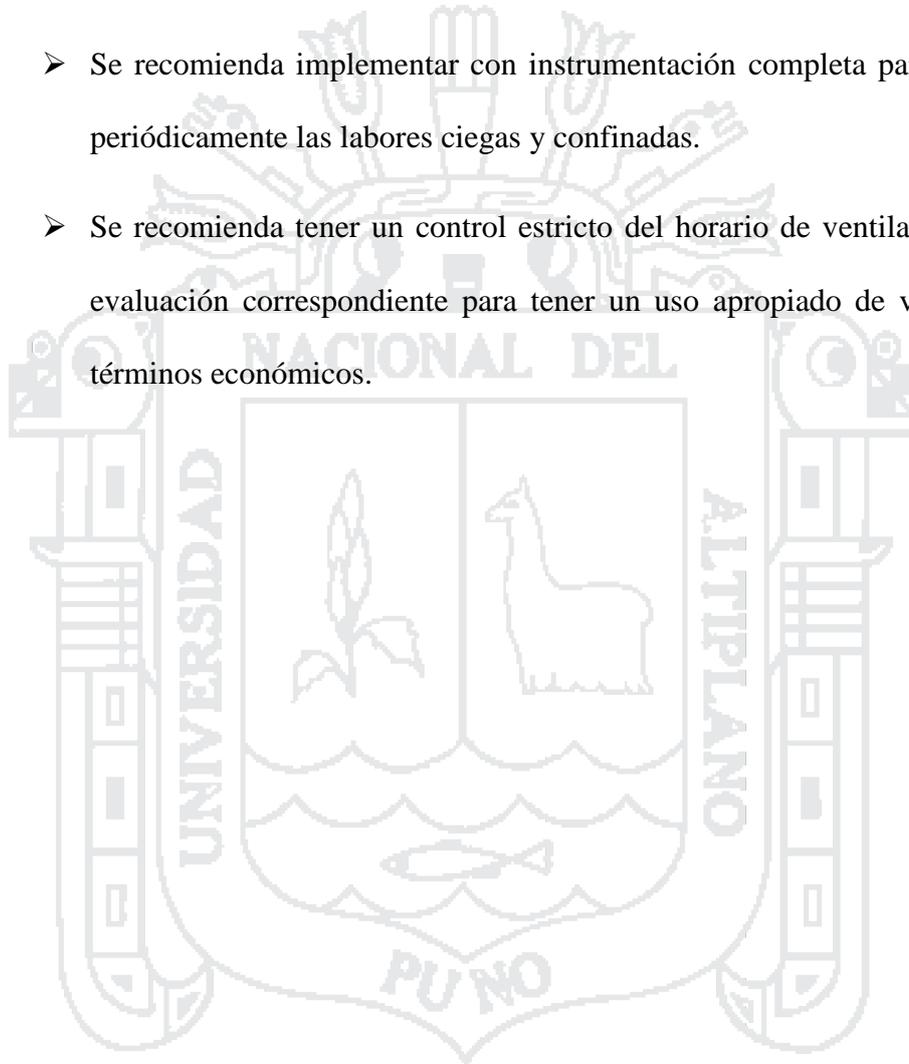


CONCLUSIONES

- El caudal requerido de acuerdo a los parámetros es de 33000 cfm, pero en esta oportunidad se instaló dos ventiladores que suman ambos 40000 CFM, cumpliendo así el requerimiento de aire; se mejoró notablemente la ventilación tanto en la galería proyectada, como en la cortada de producción.
- En nuestra operación fue necesaria la colocación de dos ventiladores: uno con capacidad de 25000 cfm y el Otro de 15000 cfm para cubrir la necesidad de aire, lo cual se instaló en la misma galería; uno en BM y otro a 800 metros de profundidad permitiendo enseriarlo, mediante una cámara de acumulación de aire con capacidad de 75 m³.
- En cuanto al rendimiento del personal antes de la instalación se realizaba 3 viajes en un tiempo de 3:45 min. Acarreando 13.8 TM, después de la instalación se realiza 4 viajes en un tiempo de 4:10 min, acarreando así 18.4 TM. Aumentando su rendimiento en 4.6 TM/guardia.
- Con el diseño y la instalación de un circuito de ventilación se minimizó la recirculación de aire viciado en nuestras operaciones.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere el uso del software de ventilación para realizar la evaluación del sistema de ventilación de la mina, considerando el uso de ventiladores y costo de energía.
- Se recomienda implementar con instrumentación completa para monitorear periódicamente las labores ciegas y confinadas.
- Se recomienda tener un control estricto del horario de ventilación y con la evaluación correspondiente para tener un uso apropiado de ventilación en términos económicos.



BIBLIOGRAFIA

- Calisaya, Felipe. (1980). Ventilación de minas, Oruro.
- Campillos, Alberto. (2015). Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea.
- Centeno, Gil. (2011) Evaluación de ventilación natural y mecánica que influye en el diseño de ventilación de galería 635W nivel 1950 Mina Calpa – Arequipa.
- Centro de formación técnica minera – UNI. (2000), Ventilación de minas.
- Cisternas, Raúl. Monitoreo, control y automatización de sistemas de ventilación minería subterránea, consultor principal VDM LTDA, Chile.
- De la Cuadra, Luis. (1974). Laboreo de minas, Universidad Politécnica de Madrid – España.
- D.S. 024 – 2016 – EM, Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, Lima ISEM.
- Enrique, Jorge F. (2011). Evaluación del sistema de ventilación de la Mina San Ignacio de Morococha, aplicando el software Ventsin 3.9.
- Hartman, Howard L. (1991) Mine Ventilation and air conditioning. New York. Krieger Publishing Company.
- ISTECS, (2000). Ventilación avanzada.
- Giménez, Pablo. (2003). Ventilación de minas subterráneas y túneles.
- Luque, Vicente. Manual de Ventilación de minas.
- Nayra, Ángel V. (1999). Ventilación del desarrollo de la galería 385-E Santana-Cía. Minera Ananea – nivel 4945, Ananea, Puno, Perú.
- Mallqui, Aníbal. (1981). Proyecto de optimización del sistema de ventilación.

- Mallqui, Aníbal. (2006). Ventilación de minas.
- Novitzky, Alejandro. (1962). Ventilación de minas, Buenos Aires.
- Quevedo, Carlos M. (2013). Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la Central hidroeléctrica Huanza.
- Quinteros, Pedro G. (1992). Evaluación de la ventilación en una mina convencional, sección la Lima, Compañía Minera Poderosa S.A.
- Ramírez, Julio. (2005). Ventilación de minas, Módulo de capacitación técnico ambiental, Chaparra - Perú
- Salas, Percy. (2007). Evaluación económica de la ventilación en una mina en el Perú.
- Vejarano, ANGEL. (1996). Ventilación de minas, Edit. SERVENMICAA S.A., Lima Perú.
- Yáñez G. (1993). Ventilación de minas.
- Zitron, (2007). Conferencia de ventilación de Minas, Lima Perú.

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL NIVEL 4955 MINA URANO SAC – PUNO”

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2. OBJETIVOS	3. HIPOTESIS	4. VARIABLES	5. METODOLOGIA
<p>Problema general.</p> <p>¿Cómo influye la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del Nivel 4955 en la Mina Urano SAC.?</p> <p>Problemas específicos.</p> <p>a) ¿Cuál es la efectividad del trabajador en las labores subterráneas, después de la instalación del diseño del sistema de ventilación, en los ambientes de trabajo del nivel 4955?</p> <p>b) ¿Existe recirculación de aire viciado?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>a) Determinar la efectividad del trabajador en las labores subterráneas, después de la instalación del diseño de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.</p> <p>b) Reducir la recirculación de aire viciado en el nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno</p>	<p>Hipótesis general.</p> <p>La ventilación mecánica influye en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.</p> <p>Hipótesis específicos</p> <p>a) La ventilación mecánica que satisface las necesidades requeridas de aire, mejora el rendimiento del trabajador minero del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.</p> <p>b) Con la instalación de un sistema ventilación mecánica y un diseño de ventilación se minimiza la recirculación de aire viciado del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Influencia de la ventilación mecánica</p> <p>Variables dependiente</p> <p>Diseño del sistema de ventilación</p>	<p>Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experimental <p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Galería principal 955 • N • Cortada 900 W <p>Diseño metodológico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuasi experimental

ANEXO 02

FACTOR DE FRICCIÓN K PARA LABORES MINERAS HOWARD L. HARTAMN

TIPO DE LABOR	IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE DE ALIMENTACION	RECTA			SINUOSIDAD O CURVATURA								
					LEVE			MODERADA			EN ALTO GRADO		
		LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUENA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUENA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUENA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUENA	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	35	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 Tuberias de Ventilacion:

	Nueva	Usada	Factor de Friccion:
Acero	15	20	K*10 ⁻⁴ -10
Yute, Iona y PVC	20	25	
Lona revestida de jebe	23	28	

ANEXO 03

MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 04

MÉTODO DE MEDIR Y CALCULAR EL ÁREA DE UNA GALERÍA

AREA (pies ²)	FIGURA	PERIMETRO (pies)
<p><u>CIRCULO</u></p> $A = \pi R^2$ $A = 3,1416 \times 4 = 4$ $A = 50,27 \text{ pies}^2$ $A = D^2 \times 0,7854$ $A = 64 \times 0,7854 = 50,27 \text{ p}^2$	<p>$R = 4'$</p>	$P = 2 \times \pi \times R$ $P = 2 \times 3,1416 \times 4$ $P = 25,13 \text{ pies}$
<p><u>CUADRADO</u></p> $A = a^2$ $A = 7 \times 7$ $A = 49 \text{ pies}^2$	<p>$a = 7'$</p>	$P = 4a$ $P = 4 \times 7$ $P = 28 \text{ pies}$
<p><u>RECTANGULO</u></p> $A = a \times b$ $A = 6 \times 8$ $A = 48 \text{ pies}^2$	<p>$a = 6'$ $b = 8'$</p>	$P = 2(a + b)$ $P = 2(6 + 8)$ $P = 28 \text{ pies}$
<p><u>TRAPECIO</u></p> $A = h \times \frac{1}{2}(a + b)$ $A = 7 \times \frac{1}{2}(6 + 8)$ $A = 7 \times 7$ $A = 49 \text{ pies}^2$	<p>$a = 6'$ $b = 8'$ $h = 7'$</p>	$P = 2 \times \sqrt{h^2 + \left(\frac{b-a}{2}\right)^2} + (a + b)$ $P = 2 \times \sqrt{49 + \left(\frac{8-6}{2}\right)^2} + (6 + 8)$ $P = 28,14 \text{ pies}$
<p><u>COMBINADO</u></p> $A = a^2 + \frac{1}{2} \pi \times R^2$ $A = 36 + \frac{1}{2} \times 3,1416 \times 9$ $A = 50,13 \text{ pies}^2$	<p>$a = 6'$ $R = 3'$</p>	$P = 3a + \pi \times R$ $P = 3 \times 6 + 3,1416 \times 3$ $P = 27,42 \text{ pies}$
<p><u>ELIPSE</u></p> $A = \frac{\pi}{4} ab$ $A = 0,7854 \times 6 \times 11$ $A = 51,84 \text{ pies}^2$	<p>$a = 6'$ $b = 11'$</p>	$P = \pi \times \frac{1}{2} \times (a + b)$ $P = 3,1416 \times \frac{1}{2} (6 + 11)$ $P = 26,70 \text{ pies}$

ANEXO 05

ANEMÓMETRO KESTREL 4300



ANEXO 06
CÁLCULO DE VELOCIDADES MINA URANO SAC.

Estación	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	Velocidad m/min	Velocidad pies/min
BM	1.1	1.3	1	1.2	1	1	0.9	0.8	0.7	60	196.85
0+100	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	28.8	94.49
0+200	0.041	0.042	0.039	0.042	0.04	0.042	0.04	0.041	0.043	22.2	72.83
0+300	0.037	0.039	0.036	0.037	0.039	0.038	0.039	0.038	0.037	20.4	66.93
0+400	0.03	0.032	0.034	0.035	0.033	0.033	0.033	0.03	0.04	18	59.05
0+500	0.028	0.03	0.029	0.03	0.028	0.029	0.028	0.03	0.028	15.6	51.18
0+600	0.024	0.025	0.023	0.024	0.025	0.027	0.023	0.024	0.025	13.2	43.31
0+700	0.021	0.022	0.019	0.020	0.022	0.020	0.021	0.023	0.022	11.4	37.40
0+800	0.018	0.019	0.019	0.020	0.019	0.018	0.018	0.020	0.019	10.2	33.46
0+900	0.015	0.016	0.015	0.016	0.016	0.014	0.017	0.016	0.015	8.4	27.56

0+1000	0.01	0.013	0.01	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	6.0	19.68
1+100	0.009	0.01	0.009	0.01	0.012	0.009	0.011	0.01	0.01	5.4	17.72
1+200	0.006	0.007	0.009	0.008	0.006	0.006	0.005	0.006	0.007	3.6	11.81
1+300	0.003	0.004	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	1.8	5.91
1+400	0.001	0	0.002	0	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.6	1.97
1+500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Para la Cortada

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Velocidad m/min	Velocidad pies/min
9-100 W	0.01	0.01	0.013	0.012	0.011	0.012	0.011	0.010	0.011	6.0	19.68
9- 200 W	0.009	0.01	0.009	0.012	0.01	0.011	0.009	0.01	0.01	5.5	18.04
9- 250 W	0.001	0	0	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.6	1.97

Fuente Elaboración Propia

ANEXO 07

Cálculo de Caudales de la Mina Urano SAC

Estación	Nivel	Labor	Base	Altura	Área	Área	Velocidad	velocidad	caudal	caudal	caudal
			m	m	m ²	pies ²	m/min	pies/min	m ³ /min	m ³ /s	pies ³ /min
BM	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	60	196.85	450	7.5	15892
0+100	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	28.8	94.49	216	3.6	7628
0+200	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	22.2	72.83	166.5	2.8	5862
0+300	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	20.4	66.93	153	2.6	5403
0+400	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	18	59.05	135	2.3	4768
0+500	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	15.6	51.18	117	2	4132
0+600	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	13.2	43.31	99	1.7	3496
0+700	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	11.4	37.4	85.5	1.4	3019
0+800	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	10.2	33.46	76.5	1.3	2702
0+900	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	8.4	27.56	63	1.1	2225

0+1000	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	6	19.68	45	0.8	1589
1+100	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	5.4	17.72	40.5	0.7	1430
1+200	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	3.6	11.81	27	0.5	954
1+300	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	1.8	5.91	13.5	0.2	477
1+400	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	0.6	1.97	4.5	0.1	159
1+500	4955	Galería 955	3	2.5	7.5	81	0	0	0	0	0
9-100 W	4955	Cortada 900	3	1.7	5.1	55	6	19.68	28.8	0.5	1017
9- 200 W	4955	Cortada 900	3	1.7	5.1	55	5.5	18.04	26.4	0.4	932
9- 250 W	4955	Cortada 900	3	1.7	5.1	55	0.6	1.97	2.88	0.05	102

Fuente: Elaboración propia

INDICE DE PLANOS

- | | | |
|----|-----------------|-----|
| 1. | Vista en planta | P-1 |
| 2. | Isométrico | P-2 |

