



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**UNS**

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA



**“INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN NATURAL Y  
FORZADA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL  
SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA LIMPE  
CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ-  
PROVINCIA DE OYON-LIMA”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

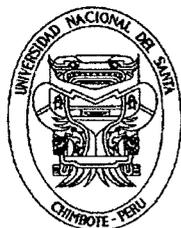
**AUTORES:**

**Bach. WALTER ORLANDO NIÑO CASTRO**  
**Bach. FRAN QUIME CUSTODIO ESPINOZA**

**ASESOR:**

**MG. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN**

**NUEVO CHIMBOTE - 2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R. D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGIA**

**“INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA EN EL  
DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA  
LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ-PROVINCIA DE  
OYON-LIMA.”**

**AUTORES**

Bach. WALTER ORLANDO NIÑO CASTRO

Bach. FRAN QUIME CUSTODIO ESPINOZA

.....  
**MG. ROBERT GUEVARA CHINCHAYAN**  
**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS**

Damos la conformidad del presente Informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.Nº 471-2002-CU-R-UNS); intitulado:

**TESIS PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGIA**

**Título: "INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA  
EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA  
MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ-PROVINCIA DE  
OYON-LIMA."**

**TESISTAS:**

Bach. WALTER ORLANDO NIÑO CASTRO  
Bach. FRAN QUIME CUSTODIO ESPINOZA

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

  
.....  
Mg. Amancio Rojas Flores  
Presidente

  
.....  
Mg. Gilmer Lujan Guevara  
Secretario

  
.....  
Mg. Robert Guevara Chinchayán  
Integrante

## **DEDICATORIA: WALTER NIÑO**

*En pleno desarrollo de mi vida profesional, dedico este informe a,*

*Mis queridos Padres, por haberme guiado  
en el camino de la vida y enseñarme lo valioso de ello.*

*A mi Querida esposa, por su compañía y comprensión,  
Por su amor y apoyo en nuestro proyecto de vida.*

*A mis queridos hijos, para  
Que este documento les sirva de ejemplo.*

*A Dios por su apoyo infinito, su bondad y por ser nuestro guía  
En nuestra carrera y por ser la luz en nuestra vida.*

## INDICE

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado el estudio	6
1.4 Justificación	8
1.5 Hipótesis	9
1.6 Objetivos	8
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b>	<b>10</b>
2.1 Actividades Mineras	11
2.2 Reglamento de Seguridad e Higiene Minera	15
2.3 Sistemas de Ventilación	24
2.4 Estado del Arte del Sistema de Ventilación	38
2.5 Equipamiento del Sistema de Ventilación	45
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS</b>	<b>62</b>
3.1 Materiales	63
3.2 Método de Investigación	70
<b>CAPITULO IV: CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	<b>74</b>
4.1 Diagnóstico de los sistemas de ventilación antes de la implementación	75
4.2 Calculo del caudal requerido por niveles.	77
4.3 Determinación de las pérdidas de presión en mangas de ventilación.	84

<b>4.4</b>	<b>Determinación de la potencia del ventilador.</b>	<b>90</b>
<b>4.5</b>	<b>Distribución de la carga de ventilación</b>	<b>90</b>
<b>4.6</b>	<b>Discusión de resultados</b>	<b>91</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>94</b>
	<b>Conclusiones</b>	<b>95</b>
	<b>Recomendaciones</b>	<b>97</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>102</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación Geográfica Unidad Minera Iscaycruz	7
Figura N° 2 Galerías Mina Limpe Centro	8
Figura N° 3 Minería de Tajo Abierto	12
Figura N° 4 Entrada a la Mina Limpe Centro.	13
Figura N° 5 Niveles y Galerías de la Minería Subterránea	14
Figura N° 6 Chimenea de Ventilación Nivel 18: Mina Limpe Centro	19
Figura N° 7 Velocidad de Aire permitida en minas	22
Figura N° 8 Niveles de flujo Minería Subterránea	24
Figura N° 9 Método Block Caving o hundimiento por bloques	27
Figura N° 10 Subniveles de ventilación	28
Figura N° 11 Palas LHD	29
Figura N° 12 Método Block Caving	30
Figura N° 13 Sistema de ventilación en bucle	31
Figura N° 14 Sistema de ventilación en diagonal	31
Figura N° 15 Sistema de ventilación ascendente	32
Figura N° 16 Sistema de ventilación descendente	33
Figura N° 17 Ventilación natural en minería	35
Figura N°18 Ventilación forzada en minería	36
Figura N°19 Ventilación forzada por sobre- presión	36
Figura N°20 Ventilación forzada por depresión	37
Figura N° 21 Tipos de Rodetes de Ventiladores Centrífugos	47
Figura N° 22 Ventilador Axial	48
Figura N° 23 Configuración de un ventilador	49
Figura N° 24 Configuración de un ventilador de 2 Etapas	50
Figura N° 25 Configuración de un ventilador robusto de una mina	51
Figura N° 26 Componentes de un ventilador axial	52
Figura N° 27 Curva característica de un ventilador	53

<b>Figura N° 28 Configuración en serie</b>	<b>54</b>
<b>Figura N° 29 Arreglos de la configuración en serie</b>	<b>55</b>
<b>Figura N° 30: Configuración en paralelo</b>	<b>56</b>
<b>Figura N° 31 Manga para ventilación minera</b>	<b>58</b>
<b>Figura N°32 Manga para ventilación minera MINEVENT</b>	<b>59</b>
<b>Figura N° 33 : Manga para ventilación minera MINE DUCT</b>	<b>59</b>
<b>Figura N° 34 : Manga para ventilación minera TWIN DUCT</b>	<b>60</b>
<b>Figura N°35 Maquina Scoop Tram</b>	<b>64</b>
<b>Figura N° 36 Máquina Perforadora</b>	<b>64</b>
<b>Figura N° 37 Maquina Hormigonera</b>	<b>65</b>
<b>Figura N° 38 Número de niveles mina Limpe Centro</b>	<b>66</b>
<b>Figura N° 39 Sección recta promedio galerías mina Limpe Centro</b>	<b>67</b>
<b>Figura N° 40 Detalles de ruta en niveles mina Limpe Centro</b>	<b>67</b>

### **LISTA DE CUADROS**

Cuadro N° 1	Límites permisibles para la actividad minera en el Perú	17
Cuadro N° 2:	Velocidad necesaria para un ambiente ventilado	41
Cuadro N°3	Ubicación de Chimeneas por niveles	69
Cuadro N° 4	Caracterización de la carga de ventilación por personas/nivel	71
Cuadro N°5	Temperaturas promedio de infiltración de aire en chimenea de servicio	72
Cuadro N° 6	Factor de corrección por altitud y temperatura	78
Cuadro N° 7	Cargas Totales de Ventilación por Niveles	84
Cuadro N°8	Resumen de pérdidas de carga y caudales requeridos	87
Cuadro N°9	Resumen de pérdidas de presión en Mina Limpe Centro	89

### **LISTA DE GRAFICOS**

Grafico N° 1	Porcentaje de Distribución del Tipo de Ventilación con 7 Niveles	77
Grafico N° 2	Porcentaje de Distribución del Tipo de Ventilación con 10 Niveles	91

## RESUMEN

La Mina Limpe Centro de la Unidad Minera Iscaycruz perteneciente a la Empresa Los Quenuales S.A ubicada en las serranías del departamento de Lima desarrolla sus actividades productivas en 31 niveles con galerías a más de 4,200 m.s.n.m.

Se cuenta con un sistema de ventilación mixta, compuesta por ventilación natural producida por la infiltración del aire a través de las chimeneas de servicio a una velocidad de 3.5 m/seg, as mismo se cuenta con un sistema de ventilación mecánica o forzada compuesta por dos ventiladores (impulsión y extracción) de 250 HP en total.

La empresa al tomar la decisión de incrementar el ritmo productivo en 10 niveles de trabajo , plantea la necesidad de redimensionar el sistema de ventilación mixta, con lo cual se incrementa la Potencia de los ventiladores . Por lo tanto se determina el caudal total suministrado en condiciones máximas de requerimiento de ventilación, el cual es función de la carga de ventilación según el número de personas operando en cada nivel y la carga de ventilación de los motores diesel que accionan a la maquinaria pesada dentro de la misma., teniendo así mismo en cuenta lo requerido según el D.S N° 055-2010-EM. Determinándose un porcentaje de participación de la ventilación natural en 18%, mientras que el porcentaje de participación de la ventilación forzada es del 82 %, con lo cual se concluye que existe una influencia de ambos tipos de ventilación en el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta.

**PALABRA CLAVE:** Ventilación Mixta en Minas del tipo Socavón

## ABSTRACT

La Mina Limpe Center Iscaycruz Mining Business Unit located in Los Quenuales SA located in the highlands of the department of Lima develops its production activities in 31 levels with galleries to more than 4,200 m

It has a hybrid ventilation system , composed of natural ventilation caused by air infiltration through the chimneys of service at a speed of 3.5 m / sec, same as it has a mechanical or forced ventilation consists of two fans ( supply and exhaust ) 250 HP in total.

The company making the decision to increase the production rate in 10 working levels , raises the need to resize the hybrid ventilation system , whereby the power of the fans increases. Thus the total maximum flow conditions supplied ventilation requirement , which is a function of the load of ventilation as the number of people in each level and operating the ventilation load is determined diesel engines that power the heavy machinery within the same . , thereby taking into account the requirements same as the DS No. 055-2010 -EM . Determining an ownership of natural ventilation in 18 % , while the percentage share of the forced ventilation is 82% , which concludes that there is an influence of both types of ventilation in the sizing of hybrid ventilation system .

**KEYWORD:** Mixed Mine Ventilation of the Tunnel type

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Las minería constituye, en el caso del Perú, el sector productivo más relevante desde un punto de vista de capacidad para la generación de recursos económicos, al contribuir de manera significativa a la obtención de divisas como consecuencia de un proceso sostenido de inversiones extranjeras y de un consecuente desarrollo de las exportaciones.

Al mismo tiempo, las actividades mineras muchas veces ponen a los trabajadores en condiciones y en situaciones de trabajo que pondrían considerarse de alto riesgo. Esta calificación puede ser tanto consecuencias de los procesos tecnológicos que se utilizan, como por las características geográficas y el medio ambiente en el que se ubican los emplazamientos de los yacimientos, los modos operativos en que se planifica y ejecuta el trabajo (tales como la duración y forma en que se organizan las jornadas o los turnos laborales) o aun por factores de carácter biológico y psicosociales concomitantes. Por unas u otras razones, la vida, la seguridad y la salud de los mineros requieren medidas preventivas especiales destinadas a protegerlos. Por ello la especificidad de las actividades mineras y la necesidad de esa protección ha quedado recogida en la legislación peruana ya desde principios del siglo XX.

La ventilación es un aspecto crítico en la minería subterránea, el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera Capítulo I relacionado sobre estándares en operaciones mineras y en sus Artículos 204° a 208°, establece normas específicas para este caso. El punto de partida es la obligación de todo titular de actividad minera de dotar de aire limpio a las labores de trabajo, de acuerdo con el número y las necesidades del personal, las maquinarias y labores de trabajo, evacuando los gases, los humos y el polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador. Todo sistema de ventilación en la actividad minera debe mantener el ambiente dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Artículo 86° del Reglamento de seguridad minera sobre agentes químicos.

Esta situación se complica con el uso de equipos pesados que funcionan con motores de combustión interna, utilizados por la gran y mediana minería que trabajan en galerías. Por ello se adopta una ventilación mecánica o forzada. Las normas técnicas intentan eliminar la contaminación del aire en el interior de la mina, logrando la

circulación por las chimeneas de salida, previo estudio de un diseño de ventilación, así como el uso de ventiladores para satisfacer los requerimientos exigidos.

Así tenemos que en todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de personas, 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. Cuando las minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (3) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.

De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.

Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6 m<sup>3</sup>/min

Además cuando la ventilación natural no fuera capaz de cumplir con los artículos precedentes, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ya sea ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.

Los trabajos desarrollados dentro de las minas del tipo socavón revisten condiciones de trabajo, salud y seguridad que permitan al personal que labora dentro de estas instalaciones un óptimo desarrollo en sus actividades. Para esto teniendo en cuenta las dimensiones de la Mina (37 Niveles y cada nivel con galerías de 500 metros cada una de ellas) , las características del trabajo de extracción , los disparos por voladura de roca inciden en que las condiciones de ventilación sean diseñadas teniendo en cuenta factores tal como : flujo de aire de recirculación, diferencial de presiones , gradientes de temperaturas , número de personas laborando , operación de motores de combustión interna de la maquinaria pesada operando en las galerías lo que conlleva a toma de decisiones en el dimensionamiento del sistema de ventilación. Para esto formulamos el siguiente problema:

**¿CUAL ES LA INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ-PROVINCIA DE OYON-LIMA?**

## 1.2 ANTECEDENTES :

Se tienen los siguientes antecedentes:

AGÜERO ZARATE, Henry. (2012). en su tesis para optar el título de Ingeniero de Minas de la Universidad nacional de Huancavelica, concluye: Las variables según los análisis de datos obtenidos como oxígeno, temperatura, humedad relativa presentan notablemente la mejora en los procesos operativos del personal a trabajar en las galerías del nivel 1950, por tanto es una ventilación apropiada y confortable para el colaborador que trabajar en dichas áreas de la mina. Se ha efectuado cálculos de requerimiento de caudales para la colocación de ventiladores de capacidad de 12,000 cfm, ventiladores de esa misma capacidad, uno como aportante y otro como impelente que se encuentra en la galería 800 y CX 933, las incrementan la ventilación en dichas galerías. Así mismo la ventilación natural aportante con una velocidad de 6 m/sg permite un aporte de esta en el orden 22 %.

GUTIERREZ ARAVENA, Claudio. (2010). en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil en minas de la Universidad de Chile concluye : Se logró identificar que una mejor eficiencia de filtrado que la eficiencia crítica, no mejora sustancialmente la calidad del aire en cuanto a polvo, sino más bien, hace que se pueda alcanzar el mismo ahorro de caudal que se tendría con un sistema con esa eficiencia de filtrado, pero a una fracción recirculada menor, logrando una leve mejora en la concentración de monóxido de carbono y contribuyendo a bajar los costos de filtrado, en la medida que se trata menos caudal, siempre que el costo de operación y mantención de esta alternativa de alta eficiencia, no supere el ahorro generado. Utilizando esta serie de pasos, se cumplió el objetivo de comparar la ventilación tradicional versus distintas alternativas de recirculación controlada. A partir de una distancia de 4000 metros a la superficie, o lo que es equivalente a un consumo de 16,53 kWh-año/cfm, se encontró una alternativa de recirculación controlada que es más conveniente económicamente que la ventilación tradicional. Dicha alternativa corresponde al circuito que usa cámara decantadora como pre-filtrado, y filtros de cartuchos auto-limpiantes como filtro final.

MENA SALAS, Alejandro. (2012). En su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye lo siguiente: Tener un ambiente laboral agradable con buenos estándares en ventilación es de suma importancia para llevar a cabo trabajos en este tipo de minería, es por ello que el diseño del laboreo minero considera la ejecución de chimeneas cada 60 metros con la finalidad de tener un flujo adecuado de aire natural. El diseño del sistema de ventilación estará calculado de acuerdo a la cantidad de trabajadores que desarrollaran las actividades para permitir un flujo adecuado de aire al interior de la mina.

QUEVEDO CHANAME; Carlos (2013) . En su Tesis para optar el título de Ingeniero en mecánica de Fluidos en la Universidad Mayor de San Marcos, concluye lo siguiente : todos los parámetros obtenidos del sistema de ventilación del frente 3, tales como Presión total=12.72" c.a.,  $Q=34,136.94$  CFM (a la salida del ventilador), son los adecuados para el sistema propuesto, ya que estos cálculos se basan tanto en ecuaciones utilizadas bajo las normas de ventilación subterránea, así como en el DS N° 055-2010-EM.

SANCHEZ DOMINGUEZ, Cesar. (2010). En su tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad nacional del Santa, concluye lo siguiente: El consumo diario de energía por ventilación asciende a 23,600 KWh lo que significa un costo diario de 2,836 US\$. Para la optimización técnico-económica del consumo energético del sistema de ventilación; se aplicaron dos técnicas; la primera consistió en el reemplazo de cinco motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia, la segunda técnica aplicada fue la optimización del tiempo efectivo de operación de 18 ventiladores. El reemplazo de motores estándar por motores de alta eficiencia significó una inversión de 38,412 US\$, con un periodo de recuperación de 1.66 años. Se estima un ahorro energético anual de 192,369 KWh equivalente a 23,084 US\$ al año. En la optimización del tiempo de operación de los ventiladores, se realizó una inversión de 6,030 US\$, cuyo periodo de recuperación fue de un mes. El ahorro en consumo de energía al año será 650,458 KWh igual a 78,055 US\$.

### **1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DONDE SE HA REALIZADO EL ESTUDIO**

#### **a. DATOS MARCO DE LA EMPRESA :**

La Empresa Minera Iscaycruz S.A es titular de las concesiones mineras Iscaycruz y Cochaquillo, ubicadas en el distrito de Pachangara , provincia de Oyon , departamento de Lima.

La mina, planta concentradora y campamentos están ubicados a una altitud promedio de 4,600 metros sobre el nivel del mar.

La planta de filtrado para el concentrado de zinc se localiza en el distrito de Lagsaura , provincia de Huaura a 2,200 metros sobre el nivel del mar a unos 900 km de la operación minera.

El acceso a través de la carretera Panamericana Norte hasta la zona de Huacho, desde donde se comienza a ascender por una carretera afirmada que bordea el rio Huaura siguiendo la ruta a Rio Seco-Sayan-Churin-Oyon-Isicaycruz.

La zona de las concesiones fueron exploradas entre 1979 y 1984 por el INGEMMET junto con la agencia de cooperación internacional de Japón JICA y la Agencia Minera Metálica de Japón. Como resultado del programa de exploraciones identificaron 3.2 millones de TM de recursos con una ley combinada de 21 % de zinc y plomo.

A partir de su constitución la Empresa Minera Iscaycruz inicia un programa de exploraciones destinada a verificar un mínimo de 1.5 millones de TM de reservas probadas y probables con una ley promedio de 12 % de zinc.

La Empresa es titular de 51 concesiones minera que cubren una extensión de 51,680 Ha que incluyen las concesiones de Iscaycruz de 12,000 Ha y 4,800 Ha de Cochaquillo.

La operación minera está conformada por cuatro zonas de explotación:

- ✓ **Limpe Centro** : Es una mina subterránea ubicada en la parte central e la concesión Iscaycruz a 1.8 km de la planta concentradora, esta conformada por dos cuerpos principales.
- ✓ **Tinyag 1**, denominada **Limpe Sur**, ubicada a dos kilómetros al sur de Limpe Centro. Esta mina inicia su explotación con un tajo abierto, la explotación esta diseñada para explotación como minería subterránea.
- ✓ **Chupa**, inicio su explotación desde el año 2001, ubicada a l extremo sur de la concesión de Iscaycruz.

✓ Tinyag 2.

Desde el año 2003 la Empresa Minera Los Quenuales conformante del Consorcio Minero GLENCORE asume el control de las operaciones en el Perú, con la fusión de las Unidades Mineras Iscaycruz y Yauliyacu, con un total del 76.89 % del accionariado.

Las Oficinas administrativas de la Unidad Minera se ubican en Pj. Los Delfines Nro. 159 Urb. Las Gardenias (8Vo Piso Alt Cdra. 51 Av Benavides); Lima; Lima; LIMA

RUC: 20137514983



Figura N° 1 Ubicación Geográfica Unidad Minera Iscaycruz

Fuente : Unidad Minera Iscaycruz



Figura N° 2 Galerías Mina Limpe Centro.

Fuente : Unidad Minera Iscaycruz

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La importancia de este estudio radica en lo siguiente:

- Es importante porque nos permitirá determinar la influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz .
- Los esquemas de ventilación en minas juegan un papel muy importante para su correcto funcionamiento, pues son los responsables de mantener con vida a los trabajadores, optimizar su desempeño y la operación de las máquinas y equipos, además de brindar las condiciones apropiadas en situaciones extraordinarias o cuando se presente algún imprevisto.
- Se dimensionaran los componentes del sistema incluyendo la componente de uso eficiente de la energía.
- Permitirá mantener condiciones de trabajo, salud y seguridad adecuados y dentro de las características de trabajo en el interior de una mina.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

En función a la problema planteada se enuncia la siguiente hipótesis : LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA TIENEN UNA INFLUENCIA SIGNIFICATIVA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ –PROVINCIA DE OYON-LIMA

#### **1.5 OBJETIVOS:**

##### **OBJETIVO GENERAL.**

- Determinar la influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.

##### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro antes de incrementar su capacidad de producción.
- Caracterizar la carga de ventilación y renovación del aire interior en niveles y galerías el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.
- Caracterizar las variables del dimensionamiento del sistema de ventilación en el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.
- Determinar las características de los componentes del sistema de ventilación natural y forzada del sistema de ventilación de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.

**CAPITULO II:**  
**MARCO TEORICO**

## **2.1 ACTIVIDADES MINERAS :**

### **2.1.1 DEFINICION:**

La minería es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos, También la minería es considerada como el conjunto de individuos que se dedican a esta actividad o el conjunto de minas de una nación o región.

Existe una gran variedad de minerales a explotar, se tiene a los minerales metálicos, tales como hierro, cobre, plomo, oro, plata, cromo, mercurio, aluminio, entre otros, los cuales son empleados hoy en día como materias primas básicas para la fabricación de toda clase de productos industriales.

Los minerales no metálicos como granito, mármol, arena, arcilla, sal, mica, cuarzo, esmeralda, zafiro, etc.; son usados como materiales de construcción y materia prima de joyería, entre otros usos. Y los de mayor significación en la actualidad son los minerales energéticos o combustibles, empleados principalmente para generar energía, tenemos al petróleo, gas natural y carbón o hulla. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. En las épocas prehistóricas ya el hombre utilizaba los minerales para la fabricación de sus herramientas. La minería siempre ha constituido en ser uno de los indicadores básicos de las posibilidades de desarrollo económico de un país, los minerales descubiertos por el hombre, se la da un valor económico sobresaliente debido a la utilidad que prestan a la humanidad.

### **2.1.2 CLASIFICACION:**

#### **a. DE TAJO ABIERTO:**

Se llaman minas a cielo abierto, y también minas a tajo (o rajo) abierto, a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno.

El minado (explotación) a Tajo Abierto o cielo abierto se realiza cuando los yacimientos son de gran tamaño, presentan una forma regular, y están ubicados en la superficie o cerca de ésta. Este es un proceso eficiente en la medida en la que el costo de extraer el mineral (incluyendo la movilización de material no comercial que los cubre), sea menor que el precio de comercialización del mineral a extraer.

El tajo abierto se ve como un gran tazón y este se va construyendo en la medida en que la operación va avanzando, tanto lateralmente como en profundidad. A medida que se va trabando, se genera una especie de anfiteatro (por su forma escalonada) cuya forma puede ir cambiando en la medida en que avanza la operación.

Si bien el concepto de una mina de tajo abierto es sumamente básico, su concepción y desarrollo involucra un planeamiento complejo y costoso. Cabe indicar, además, que frecuentemente muchas operaciones mineras empiezan como tajo abierto y, cuando llegan a un punto en que el costo de extraer el mineral no cubre el costo de extracción de las rocas aledañas empiezan a utilizar métodos de minería de socavón.



Figura N° 3 Minería de Tajo Abierto.

Fuente: Compañía Minera Antamina

**b. MINERIA SUBTERRANEA:**

Una mina subterránea es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno.

Para la minería subterránea se hace necesario la realización de túneles, pozos, chimeneas y galerías, así como cámaras. Los métodos más empleados son mediante

túneles y pilares, hundimientos, corte y relleno (cut and fill mining), realce por subniveles (Sublevel Stopping) y cámaras-almacén (Shrinkage)

Las minas subterráneas se pueden dividir en dos tipos, según la posición de las mismas con respecto al nivel del fondo del valle:

Las que se encuentran por encima se denominan minas de montaña. En ellas el acceso es más fácil, al poder realizarse mediante galerías horizontales excavadas en las laderas del valle. Así mismo, el desagüe de las mismas se realiza por gravedad, a través de las labores de acceso.

En las minas que se encuentran por debajo del nivel del fondo del valle es necesario excavar pozos (verticales o inclinados), labores de acceso que desciendan al nivel del yacimiento. En este caso el desagüe tiene que realizarse mediante bombas que impulsen el agua desde del interior de la mina a la superficie.

Pero también hay un posible derrumbe, por ello se utiliza gran maquinaria para evitarlo y buena comunicación (Factores económicos condicionantes). Factores económicos condicionantes: Disponibilidad de buena mano de obra y de bajo costo, buenas vías comunicativas, todas las maquinarias en condiciones y el apoyo político. Factores naturales condicionantes: La localización del yacimiento, pues depende de la estructura geológica del territorio y de la facilidad de extracción. Y mejora el trabajo de la gente para que no tenga paro y sea una inversión redituable.

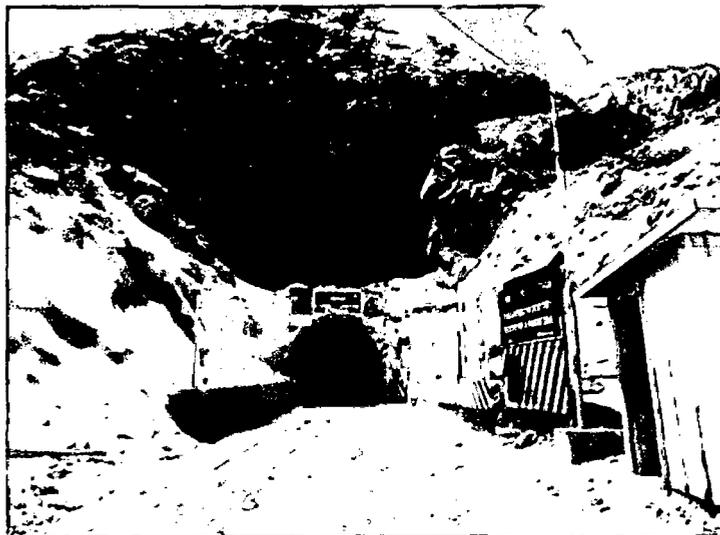


Figura N° 4 Entrada a la Mina Limpe Centro.

Fuente: Unidad Minera Iscaycruz

Si la explotación se va a realizar a cotas inferiores del terreno base, entonces el acceso a las labores se realizará por un pozo (shaft) o una rampa (decline spiral, decline). Los pozos cumplen diversas funciones, entre otras permitir el acceso y salida del personal de mina, la ventilación de las labores mediante inyección de aire desde la superficie, y por supuesto, el transporte del material extraído a la superficie. Las rampas por su parte han ido ganando adeptos con gran velocidad en la minería moderna. Estas permiten el acceso directo a la mina de material rodado, lo que facilita las labores de transporte de mineral.

Dentro de la mina tenemos las galerías, que pueden ser en dirección (de la masa mineralizada; drifts) o perpendiculares a ésta, esto es, transversales (cross-cuts).

La conexión entre los distintos niveles de una mina se realiza por pozos inclinados (raise, hacia arriba; winze, hacia abajo), que sirven para el trasvase de mineral y movimiento del personal.

Tendremos niveles de producción, y por debajo de éstos, de transporte de mineral.

Entre los equipos más comunes están los minadores (miners), las perforadoras tipo Jumbo, los equipos de transporte tipo LHD (load-haul-dump: carga-transporte-descarga), etc.

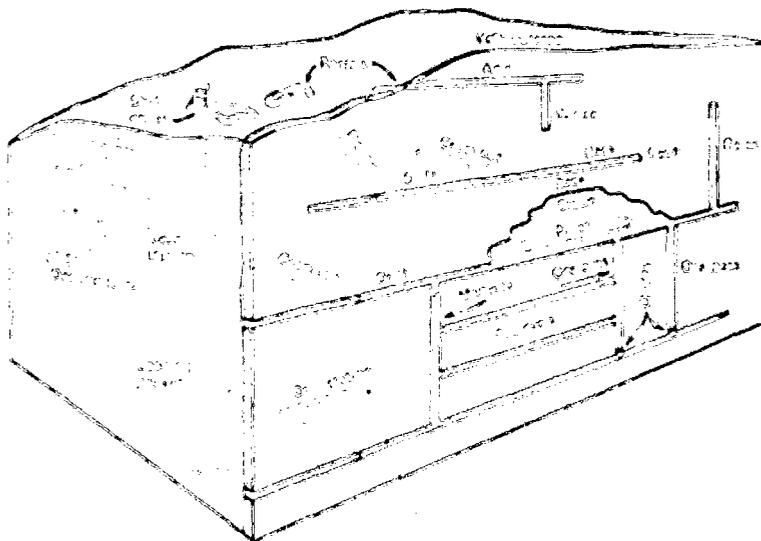


Figura N° 5 Niveles y Galerías de la Minería Subterránea.

Fuente: SNMPE

### **2.1.3 MINERIA EN EL PERU:**

El Perú es un país de antigua tradición minera, tradición que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes a nivel internacional. Contamos con un enorme potencial geológico, la presencia de la Cordillera de los Andes a lo largo del territorio, constituye nuestra principal fuente de recursos minerales.

A nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país.

El Perú es una de las economías con mayor crecimiento en América Latina (7.6% en el 2006, 9% en el 2007, 9,84% en el 2008, 1% en 2009, 8.8% en 2010 y 6.8% en 2011), lo cual es complementado con solidez macroeconómica: bajas tasas de inflación, superávit fiscal y comercial, y fuertes reservas internacionales netas.

Perú es el primer productor de plata a nivel mundial, segundo productor mundial de cobre. Asimismo, es el primer productor de oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina. La Cordillera de los Andes es la columna vertebral de Perú y la principal fuente de depósitos minerales del mundo.

El Perú tiene un importante potencial geológico. Es el tercer país en el mundo en reservas de oro, plata, cobre y zinc (US Geological Survey - USGS figures).

El número y área de proyectos de prospección minera se incrementa cada año, es por ello que la Bolsa de Valores de Lima (BVL) ha creado un segmento de Riesgo de Capital o de Cartera de Proyectos donde cotizan alrededor de 12 mineras junior y 39 empresas de la gran minería peruana.

## **2.2 REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA:**

### **2.2.1 ANTECEDENTES:**

Con fecha 22 de agosto del 2010 se aprobó el Decreto Supremo N° 055-2010-EM que contiene el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, el mismo que consta de(4) Títulos, cincuenta y dos (52) Capítulos, trescientos noventa y seis (356)Artículos y dos (2) Disposiciones Complementarias y catorce (19) Anexos. Se entiende por Reglamento

de Seguridad e Higiene Minera, al conjunto de normas de orden técnico, legal y social, cuyo fin es la protección de la vida humana, la promoción de la salud y la seguridad, así como la prevención de accidentes e incidentes, relacionados a las actividades mineras.

El presente Reglamento tiene por objeto fijar normas para:

- ✓ El desarrollo de una cultura preventiva de seguridad y salud combinando el comportamiento humano con la preparación teórico práctica de sistemas y métodos de trabajo.
- ✓ Practicar la explotación racional de los recursos minerales, cuidando la vida, salud de los trabajadores y el ambiente.
- ✓ Fomentar el liderazgo, compromiso, participación y trabajo en equipo de toda la organización en la seguridad.
- ✓ Lograr entre los trabajadores una moral elevada que permita identificarse con sus compañeros, el trabajo y la propia empresa.
- ✓ Promover el conocimiento y fácil entendimiento de los estándares, procedimientos y prácticas para realizar trabajos bien hechos mediante la capacitación.
- ✓ Promover el cumplimiento de las normas de Seguridad e Higiene Minera aplicando las disposiciones vigentes y los conocimientos técnicos profesionales de la prevención.
- ✓ La adecuada fiscalización integral de la seguridad en las operaciones mineras.

### **2.2.2 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES:**

El Límite Máximo Permissible (LMP) es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción son establecidos por dicho Ministerio. Los LMP sirven para el control y fiscalización de los agentes que producen efluentes y emisiones, a efectos de establecer si se encuentran dentro de los parámetros considerados inocuos para la salud, el bienestar humano y el ambiente. Excederlos acarrea responsabilidad administrativa, civil o penal, según el caso.

Se tienen los siguientes límites permisibles para la actividad minera:

Cuadro N° 1 Límites permisibles para la actividad minera en el Perú

N°	Agente	LMP
1	Polvo inhalable	10 mg/m <sup>3</sup>
2	Polvo respirable	3 mg/m <sup>3</sup>
3	Oxígeno mínimo	19.5%
4	Dióxido de carbono	máximo 9000 mg/m <sup>3</sup> ó 5000 ppm
5	Monóxido de Carbono (CO)	máximo 29 mg/m <sup>3</sup> ó 25 ppm
6	Metano (NH <sub>4</sub> )	máximo 5000 ppm
7	Hidrógeno Sulfurado (H <sub>2</sub> S)	máximo 14 mg/m <sup>3</sup> ó 10 ppm.
8	Gases nitrosos (NO <sub>x</sub> )	máximo 07 mg/m <sup>3</sup> ó 5 ppm
9	Anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	máximo 5 ppm
10	Aldehídos	máximo 5 ppm
11	Hidrógeno (H)	máximo 5000 ppm
12	Ozono	máximo 0.1 ppm

Fuente : D.S N° 046-2001-EM (DGN)

El Titular de la actividad minera, efectuará mediciones periódicas de acuerdo al Plan de Monitoreo, sobre todo en los lugares susceptibles de mayor concentración, verificando que se encuentren por debajo del límite máximo permisible (LMP) para garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores.

Todo Sistema de Gestión de Seguridad e Higiene Minera deberá tomar en cuenta la interacción hombre-máquina-ambiente, de manera que la zona de trabajo sea tan segura, eficiente y cómoda como sea posible, considerando los siguientes aspectos: diseño del lugar de trabajo, posición en el lugar de trabajo, manejo manual de materiales, movimiento repetitivo ciclos de trabajo-descanso, sobrecarga perceptual y mental.

### **2.2.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN**

En las minas subterráneas donde se operan equipos con motores petroleros, deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- a. Deberán estar provistos de equipos diseñados para controlar que las concentraciones de emisión de gases estén por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP).
- b. Monitorear y registrar en el escape de las máquinas:
  - ✓ Diariamente las concentraciones de monóxido de carbono.
  - ✓ Mensualmente, óxidos nitrosos y aldehídos.
- c. Las operaciones de las máquinas diesel se suspenderán, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea:
  - ✓ Cuando las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), Monóxido de Nitrógeno (NO)<sub>x</sub> o aldehídos en el ambiente de trabajo estén por encima del Límite Máximo Permisible (LMP)
  - ✓ Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de mil (1000) ppm de monóxido de carbono y de vapores nitrosos, medidos en las labores subterráneas.
- d. Cuando la producción de gases, ofrezcan peligro a otras labores de la mina, deberán:
  - ✓ Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP).
  - ✓ Si las labores están gaseadas o abandonadas serán clausuradas por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases.

### **2.2.4 SISTEMAS DE VENTILACION:**

Todos los titulares de la actividad minera dotarán de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del personal, las maquinarias y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los Límites Máximos Permisibles y además de cumplir con lo siguiente:

- a. Al inicio de cada jornada se deberá verificar la ventilación y la condición de seguridad del área de trabajo.

- b. En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de personas, 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.
- c. 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.
- d. Cuando las minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (3) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:
- ✓ De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.
  - ✓ De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.
  - ✓ Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6 m<sup>3</sup>/min.
  - ✓ En el caso de emplearse equipo diesel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres (3) metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos.



Figura N° 6 Chimenea de Ventilación Nivel 18. Mina Limpe Centro.  
Fuente: Unidad Minera Iscaycruz

- e. En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.
- f. Cuando la ventilación natural no fuera capaz de cumplir con los artículos precedentes, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ya sea ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.
- g. Se tomarán todas las providencias del caso para evitar la destrucción y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deberán cumplir las siguientes condiciones:
- ✓ Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños.
  - ✓ Tener por lo menos dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deberán llegar por vías diferentes.
  - ✓ Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para el caso de disminución de velocidad o paradas.
  - ✓ Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.
- h. Los ventiladores principales estarán provistos de dispositivos que permitan invertir la corriente de aire en caso necesario, cuyos controles estarán ubicados en lugares adecuados y protegidos, alejados del ventilador y preferentemente en la superficie. El cambio de la inversión será ejecutado sólo por el personal autorizado.
- i. Se colocarán dispositivos que eviten la recirculación de aire en los ventiladores secundarios.
- j. Es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares en labores que no posean sino una vía de acceso y desde que tenga un avance de más de sesenta (60) metros. Se prohíbe el empleo de sopladores para este objeto. En longitudes inferiores se empleará también ventiladores auxiliares cuando las condiciones ambientales así lo exijan. Los ductos empleados en ventilación auxiliar serán de material resistente de acuerdo con las características propias del lugar y actividades que se realicen. Cuando las condiciones del trabajo lo requieran, los ventiladores auxiliares estarán provistos de

- dispositivos que permitan la inversión de la corriente de aire en el sector respectivo, evitando cualquier posible recirculación.
- k. Se contará con el equipo necesario para las evaluaciones de ventilación la que se hará con la periodicidad que determinen las características de la explotación. Asimismo, se llevarán a cabo evaluaciones cada vez que se originen cambios en el circuito y que afecten significativamente el esquema de ventilación.
  - l. Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se efectuarán taladros paralelos al eje de la labor y oblicuos, con por lo menos diez (10) metros de avance.
  - m. La evaluación integral del sistema de ventilación de una mina subterránea se hará cada semestre y evaluaciones locales toda vez que se produzcan nuevas comunicaciones de chimeneas, cruceros, tajeos y otras labores considerando primordialmente que la cantidad y calidad del aire establecido en los artículos precedentes deben ser en las labores donde haya personal trabajando, como son los frentes de los tajeos, subniveles, galerías, chimeneas, inclinados, piques, entre otros.
  - n. La concentración promedio de polvo respirable en la atmósfera de la mina, a la cual cada trabajador está expuesto, no será mayor de 3 miligramos por metro cúbico de aire.
  - o. En el monitoreo, incluir el número de partículas por m<sup>3</sup> de aire, su tamaño y el porcentaje de sílice por m<sup>3</sup>.
  - p. La medición de la calidad del aire se hará con instrumentos adecuados para cada necesidad.
  - q. La concentración promedio se determinará midiendo durante un período de seis (6) meses en cada una de las áreas de trabajo. El contenido de polvo por m<sup>3</sup> de aire existente en las labores de actividad minera debe ser puesta en conocimiento de los trabajadores.

**VELOCIDAD DEL AIRE (en metros por minuto)**

**NECESARIA PARA OBTENER UNA TEMPERATURA EFECTIVA DE 30°C**

Temperatura de aire °C	Humedad Relativa (%) del Aire										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30°	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
31°	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	30
32°	*	*	*	*	*	*	*	*	30	60	90
33°	*	*	*	*	*	*	25	50	90	140	**
34°	*	*	*	*	*	30	50	100	150	**	**
35°	*	*	*	*	45	90	140	**	**	**	**
36°	*	*	35	95	140	**	**	**	**	**	**
37°	*	50	105	**	**	**	**	**	**	**	**
38°	55	100	150	**	**	**	**	**	**	**	**
39°	150	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
40°	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Figura N° 7 Velocidad de Aire permitida en minas.

Fuente: D.S N° 055-2010 EM

Significa que es muy difícil obtener una temperatura efectiva de 30° C por medio de Ventilación convencional o natural. Es recomendable el empleo de sistemas de refrigeración.

La Temperatura efectiva: Es el resultado de la combinación de tres factores: temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del aire. En un solo valor expresa el grado de confort termo-ambiental, en la sensación y efecto de calor o frío del cuerpo humano.

**2.2.5 MINAS DE CARBON:**

En las minas de carbón en materia de ventilación se cumplirá lo siguiente:

- a. La cantidad mínima de aire por hombre deberá ser de cuatro y medio (4.5) metros cúbicos por minuto hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar. Esta proporción será aumentada de acuerdo al ascenso sobre el nivel del mar.
- b. Los ventiladores de presión negativa o ventiladores aspirantes para la extracción del aire de mina, deberán ser a prueba de presencia de gases o atmósfera explosiva, así como los tableros, controles y el sistema eléctrico.
- c. Los ventiladores principales deberán operar continuamente, en caso de falla, todos los trabajadores deberán ser retirados de la mina y sólo podrán volver después de verificar que la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales.

- d. Queda prohibido el empleo de ventiladores secundarios así como ventilación auxiliar aspirante.
- e. Los ventiladores auxiliares impelentes para una mina de carbón deberán tener un motor eléctrico o un motor de aire comprimido apropiado. En el caso que el motor sea eléctrico, éste deberá ser colocado en corriente de aire fresco.
- f. Todas las puertas de ventilación deben ser de cierre automático y a prueba de fuga de aire, prohibiéndose terminantemente el empleo del espacio entre un par de puertas como depósito de madera u otros materiales, aunque sea en forma transitoria.

#### **2.2.6 ZONA GASEADA:**

Toda zona de trabajo será clasificada como "gaseada" en el caso que el gas metano de dicha zona se encuentre en concentración superior a 0.5%. En zonas "gaseadas" la cantidad de aire por persona deberá ser de 6 m<sup>3</sup>/minuto hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar . De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 8 m<sup>3</sup>/min. De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70% y será igual a 10 m<sup>3</sup>/min. Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 12 m<sup>3</sup>/min.

Diariamente se analizará el aire de retorno de las zonas "gaseadas" y se determinará en forma horaria el contenido de metano en el ambiente de las labores correspondientes a dichas zonas. En caso de descubrirse condiciones que representen un peligro potencial de explosión o incendio, el personal autorizado de la mina tomará de inmediato las medidas necesarias para hacer desaparecer dicha situación, lo recomendable es retirar a todo el personal de las labores comprendidas como zona peligrosa, hasta recuperar las condiciones normales de seguridad.



Figura N° 8 Niveles de flujo Minería Subterránea.

Fuente: Revista frio y calor.

## 2.3 SISTEMAS DE VENTILACION:

### 2.3.1 GENERALIDADES:

#### a. DEFINICION:

La ventilación puede definirse como la técnica de sustituir el aire ambiente interior de un recinto, el cual se considera indeseable por falta de temperatura adecuada, pureza o humedad, por otro que aporta una mejora. Esto es logrado mediante un sistema de inyección de aire y otro de extracción, provocando a su paso un barrido o flujo de aire constante, el cual se llevará todas las partículas contaminadas o no deseadas.

Entre las funciones básicas para los seres vivos, humanos o animales, la ventilación provee de oxígeno para su respiración. También puede proporcionar condiciones de confort afectando la temperatura del aire, la velocidad, la renovación, la humedad y/o la dilución de olores indeseables. Entre las funciones básicas para las máquinas, instalaciones o procesos industriales, la ventilación permite controlar el calor, la transportación neumática de productos, la toxicidad del aire o el riesgo potencial de explosión.

En arquitectura se denomina ventilación a la renovación del aire del interior de una edificación mediante extracción o inyección de aire. La finalidad de la ventilación es:

- ✓ Asegurar la limpieza del aire respirable.
- ✓ Asegurar la salubridad del aire, tanto el control de la humedad, concentraciones de gases o partículas en suspensión.
- ✓ Colaborar en el acondicionamiento térmico del edificio o instalación.
- ✓ Luchar contra los humos en caso de incendio.
- ✓ Disminuir las concentraciones de gases o partículas a niveles adecuados para el funcionamiento de maquinaria o instalaciones.
- ✓ Proteger determinadas áreas de patógenos que puedan penetrar vía aire.

Se realiza mediante el estudio de las características arquitectónicas, uso y necesidades de cada área.

**b. VENTILACION EN MINERIA SUBTERRANEA:**

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, etc.

En las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería. La 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.

La distribución de aire en un sistema de ventilación de minas, es la asignación de caudales de aire, en cantidad y calidad, al interior de los diversos sectores de la mina, demandantes del recurso, de manera tal de lograr: medioambientes subterráneos aptos para el normal desempeño de los trabajadores, y, una óptima operación de las instalaciones y equipos.

**c. NECESIDAD DE VENTILACION EN MINERIA SUBTERRANEA:**

Es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea por las siguientes razones:

- ✓ Es necesario asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para permitir la respiración de las personas que trabajan en su interior.
- ✓ En el interior se desprenden diferentes tipos de gases, según el mineral a explotar y la maquinaria utilizada. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos por debajo de los límites legales establecidos en cada país.
- ✓ A medida que aumenta la profundidad de la mina la temperatura aumenta. El gradiente geotérmico medio es de 1º cada 33 m. Adicionalmente, los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire. En este caso la ventilación es necesaria para la climatización de la mina.

**d. RESEÑA EVOLUTIVA:**

La distribución efectiva del recurso aire hacia los diferentes sectores de una mina a ventilar, es función del uso y buen grado de utilización de los diversos dispositivos de control de flujos, tales como puertas de ventilación, tapados, reguladores y ventiladores reforzadores, instalados para este fin (distribución) al interior de los circuitos, principales y secundarios, de ventilación.

En las últimas décadas, se han producido fuertes cambios en cuanto a inyección, distribución y extracción de aire de ventilación en minas subterráneas explotadas por métodos de hundimiento. Dichos cambios, se han generado debido a diferentes factores, tales como cambios desarrollados en métodos de explotación, lejanía entre los portales de ventilación y los puntos finales de consumo del vital elemento en interior de la mina. Lo cual ha ido acompañado de una masiva incorporación y operación de equipos diesel, implicando, esto último, un incremento de contaminantes y de las correspondientes concentraciones ambientales de dichos contaminantes, altamente tóxicos para la vida humana.

En los inicios de la explotación minero-subterránea mediante método Block Caving, la inyección y distribución de aire fresco hasta el nivel de producción, se lograba mediante chimeneas de inyección principal conectadas directamente al nivel de producción. Tal

distribución, aun cuando permitía la inyección directa a dicho nivel (de alto consumo), no permitía el uso de ventiladores de alta capacidad dado las altas velocidades de aire que ésto implicaba. Por otro lado, no resultaba fácil el buen manejo y distribución del aire, en el mismo nivel, de producción, demandante del recurso, dado el alto tráfico de personas, operación de equipos y otros, que prácticamente taponeaban el normal paso del aire por el nivel.

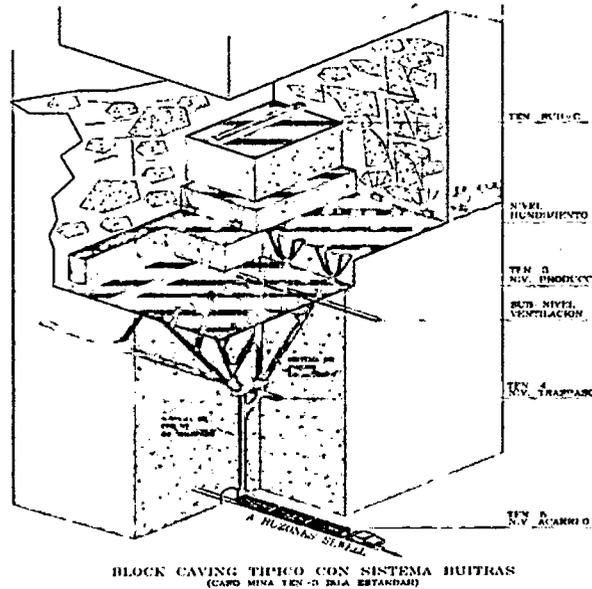


Figura N° 9 Método Block Caving o hundimiento por bloques  
Fuente: Revista Mundo minero. Chile.

A mediados de los años '50, se introdujo el concepto de Subnivel de Ventilación (SNV), el cual está conformado por galerías de INY y EXT, desarrolladas para el manejo exclusivo de aire fresco de ventilación y aire contaminado de extracción. Desde el SNV, se distribuía el aire fresco (XC's de inyección), por medio de chimeneas de inyección, hacia los niveles demandantes, y, a su vez, se extraía aire contaminado, por medio de chimeneas de extracción, desde los diferentes niveles atendidos, hacia los XC's de extracción del SNV.

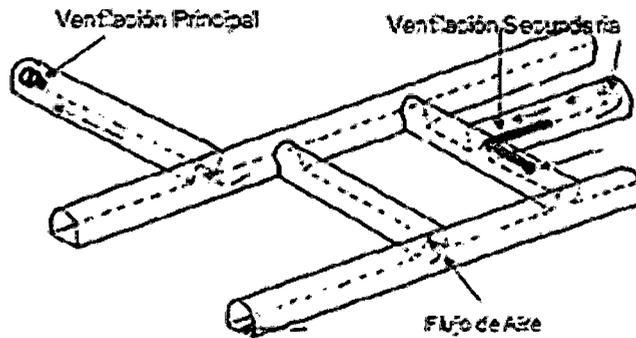


Figura N° 10 Subniveles de ventilación

Fuente: Revista Gran minería.Chile.

Es interesante destacar que, la implementación de SNV, conformado por galerías (conectadas a chimeneas exclusivas de ventilación), dentro de las cuales se incorporó puertas y tapados, se constituyó, por esos años, en el inicio de circuitos de ventilación y distribución de aire controlado hacia los diversos lugares de consumo.

La incorporación de SNV dentro de la explotación subterránea según método Block Caving, mejoró, sin duda alguna, la distribución del recurso aire al interior de los sectores. El aire inyectado se distribuía desde galerías independientes (SNV), conectadas sólo por chimeneas a los niveles demandantes de aire; al interior, del SNV no existían obstrucciones por tránsito de personal, tránsito de equipos, ni problemas de corto circuito por mal manejo de puertas.

Dentro de los años '70, se incorporó, en forma masiva, palas LHD accionadas por motores diesel, en niveles de producción (período de transición desde explotación Block Caving, a Panel Caving), lo cual implicó un fuerte aumento de los requerimientos de ventilación subterránea en términos de mayor caudal de aire movido para diluir-extraer gases tóxicos emitidos por la operación de dichas palas.



Figura N° 11 Palas LHD

Fuente: Enrique Ferreyros-CAT

Dentro de los años '70, se incorporó, como herramienta de apoyo a los proyectos de ventilación, el uso de modelos computacionales de equilibrio de redes de ventilación, basados éstos en el algoritmo original desarrollado por Hardy Cross (U.S.A.). Como es bien conocido, tales modelos permitían, ya en esos tiempos, predecir los movimientos y distribución de aire al interior de minas simuladas, como también conocer qué equipo y/o dispositivo de control de flujo era necesario instalar (ventilador(es) y/o regulador(es), y en qué ramas dentro del circuito general, representado por un diagrama equivalente de ventilación), de manera tal de lograr los caudales requeridos en mina real (previamente definidos como caudal impuesto dentro de la base de datos del modelo). En la misma década, se utilizó ventiladores auxiliares (de 40 y 50 HP), como ventiladores reforzadores en chimeneas de ventilación, en sectores de mineral primario.

Desde el año 2000, se usa el método Panel Caving o hundimiento por paneles, se está utilizando como dispositivos de distribución de flujos de aire de ventilación, ventiladores auxiliares reforzadores y reguladores (controlados de forma manual y telecomandados); los primeros (ventiladores) actúan ya sea como ventiladores reforzadores de inyección de aire, por chimeneas, desde subniveles de ventilación (SNV-16½ ; SNV-17), hasta los diferentes niveles demandantes del recurso (por ejemplo: Nivel de producción), ó como ventiladores reforzadores de extracción de aire, por chimeneas, desde los respectivos niveles (por ejemplo: nivel 17-Transporte), hasta los respectivos subniveles de

ventilación (SNV-16½ ; SNV-17). Por otro lado, los reguladores operan en circuitos de inyección de alta presión (en área cercanas a ventiladores principales de inyección), desde dónde se distribuye aire fresco, en forma controlada (por medio de una abertura predefinida en el regulador), hacia diferentes puntos de consumo.

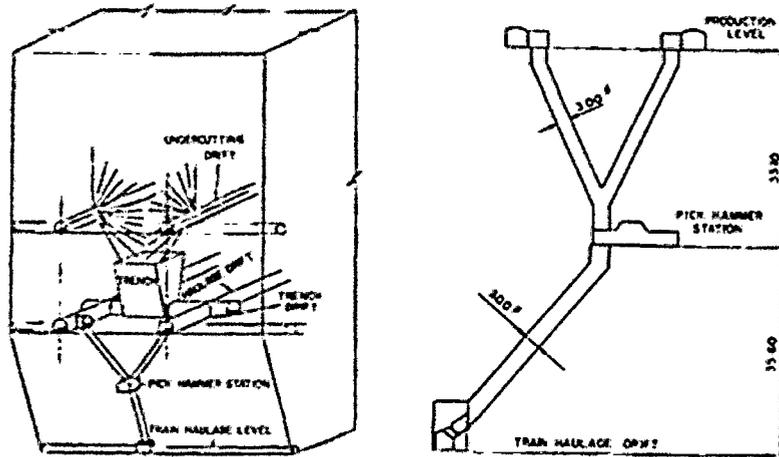


Figura N° 12 Método Block Caving

Fuente: Fuente: Revista Gran mineria.Chile

De acuerdo a lo consignado en páginas anteriores, es posible concluir que, efectivamente la distribución de aire de ventilación en minas explotadas por métodos Block y Panel Caving ha evolucionado notablemente en lo que respecta a infraestructura, como también al equipamiento requerido de implementar, es decir ventiladores principales + ventiladores auxiliares reforzadores + dispositivos de control de flujos, tales como: puertas, reguladores, tapados, otros.

e. **SISTEMAS DE VENTILACION:**

- ✓ **VENTILACION EN BUCLE :** Consiste cuando las minas tienen el pozo de salida junto o cerca del pozo de entrada. El circuito de ventilación describe un bucle o una U alrededor de la explotación.

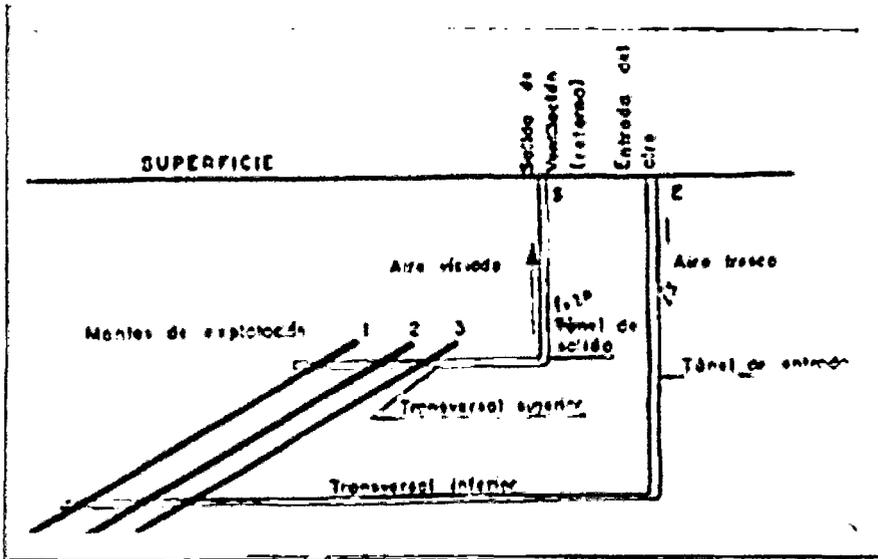


Figura N° 13 Sistema de ventilación en bucle  
 Fuente: Fuente: Revista Gran mineria.Chile

✓ **VENTILACION DIAGONAL:** Consiste cuando los posos de entrada y salida se encuentran alejados el uno del otro y las explotaciones se escalonan entre si.

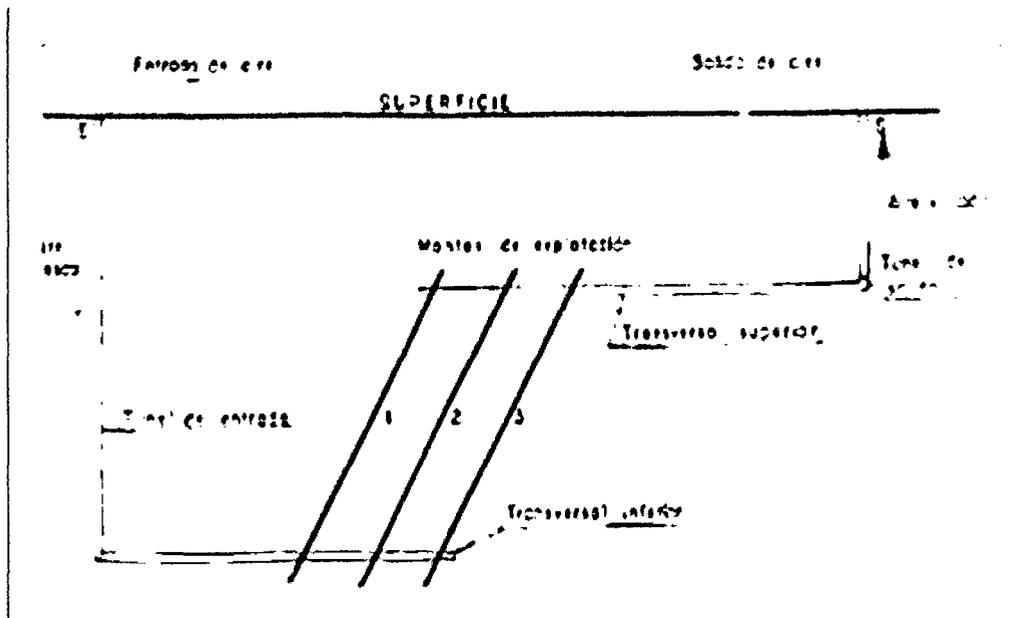


Figura N° 14 Sistema de ventilación en diagonal  
 Fuente: Fuente: Revista Gran mineria.Chile

- ✓ **VENTILACION ASCENDENTE:** Es la ventilación principal más apropiada . En ella se aprovecha la depresión natural, aumentando la desgasificación en especial del metano debido a la disminución de presiones. en Colombia se recomienda en minas de carbón una ventilación aspirante-ascendente en donde el ventilador se coloque en un pequeño túnel conectado al tambor de ventilación en el nivel superior aprovechando con ello la fuerza ascensional del aire por la diferencia de peso específico y temperaturas entre la entra y la salida de ventilación.

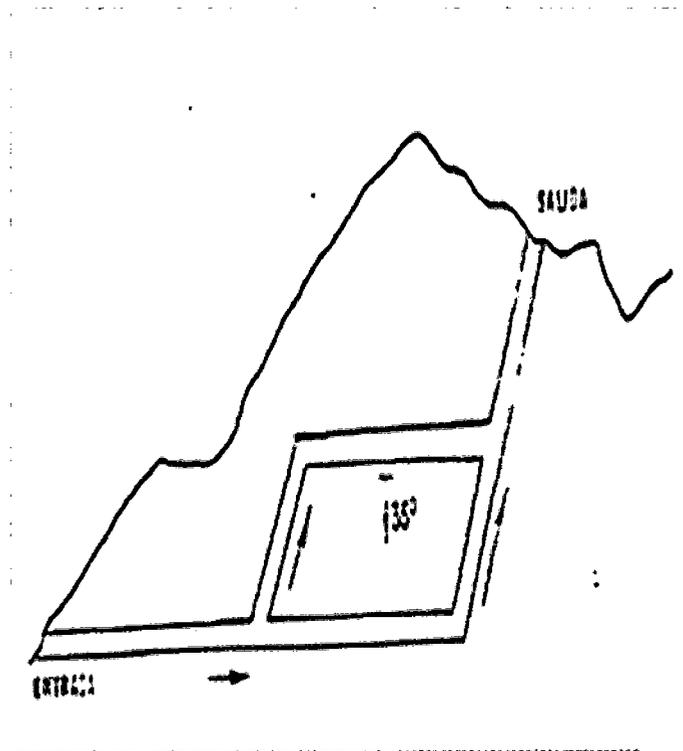


Figura N° 15 Sistema de ventilación ascendente

Fuente: Fuente: Revista Gran minería.Chile

- ✓ **VENTILACION DESCENDENTE:** Desde el punto de vista del polvo presenta ventajas sus entradas estarían exentas de depósitos de polvo, lo cual a los frentes de explotación llegaría el flujo de aire menos contaminado; ya que los puntos de cargue y transporte estarían localizados a la salida de la corriente, también el aire esta menos húmedo y caliente, y los ductos llevaran el mismo sentido de la corriente de aire. El problema radica en que la ventilación descendente de las presiones están invertidas y cualquier

interrupción de la ventilación aumentaría la desgasificación por la disminución de la presión.

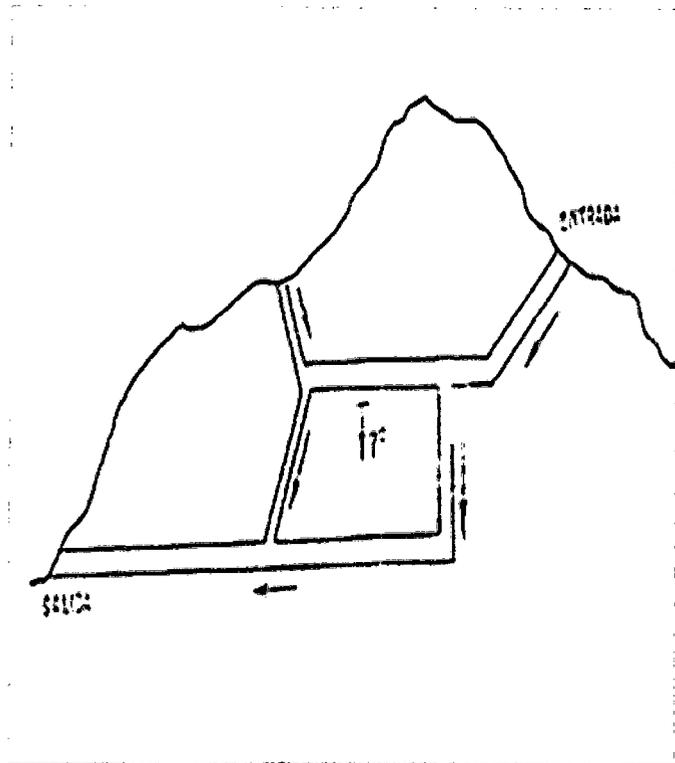


Figura N° 16 Sistema de ventilación descendente  
Fuente: Fuente: Revista Gran minería.Chile

### 2.3.2 VENTILACION NATURAL:

La ventilación natural es sin duda la estrategia de enfriamiento pasivo más eficiente y de uso más extendido. Obviamente su aplicación cobra mayor relevancia en los lugares en los que durante todo el año, o parte de él, se tienen temperaturas elevadas.

En su forma más simple la ventilación natural implica permitir el ingreso y la salida del viento en los espacios interiores de los edificios, una estrategia que se conoce como ventilación cruzada. Sin embargo esta condición no siempre es factible, ya sea porque el viento es demasiado débil o porque la configuración de los edificios y/o su entorno reducen significativamente su fuerza. Por otro lado las condiciones del aire exterior, como la temperatura, la humedad relativa y el nivel de pureza no son siempre las más

adecuadas. Ante ello diversas culturas han desarrollado técnicas para hacer más eficiente la ventilación natural como medio de enfriamiento. Algunas estrategias buscan amplificar las tasas de ventilación mientras que otras se enfocan en cambiar las condiciones del aire que ingresa a los edificios. Desde luego es posible combinar ambos objetivos.

El movimiento del aire obedece casi siempre a fenómenos convectivos, los cuales a su vez se derivan de desequilibrios térmicos provocados por la distribución desigual de la energía calorífica, principalmente relacionada con la radiación solar. Los vientos dominantes en el sitio son flujos de aire generados a gran escala por estos fenómenos. Ya en la escala del edificio, podemos afirmar que la ventilación natural suele basarse en dos estrategias básicas: la captación y el aprovechamiento de los vientos del sitio, y la generación de fenómenos convectivos en pequeña escala (algo así como vientos interiores). Existen sistemas de ventilación natural que emplean ambas estrategias de manera simultánea o alternada.

Es el flujo de aire que se presenta en una mina en ausencia de medios mecánicos, es debido a factores naturales.

Para que funcione la ventilación tiene que existir una diferencia de alturas entre la bocamina principal de entrada y la bocamina de salida. El ingreso y la salida de aire de toda la mina, es por galerías, chimeneas, piques, etc. Siendo la velocidad de aire no menor de 20 mt./min. La entrada y salida de aire deberán ser en forma independiente.

Las causas del movimiento de aire son:

- ✓ En una mina que cuente con galerías y niveles, existirá una diferencia de peso entre el aire superficial y del interior de la mina, equivalente a la una Altura  $H$  de presión o de carga.
- ✓ En verano el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en la superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de las galerías. Durante las noches es difícil predecir su naturaleza.
- ✓ En estaciones de invierno se invierte el proceso.

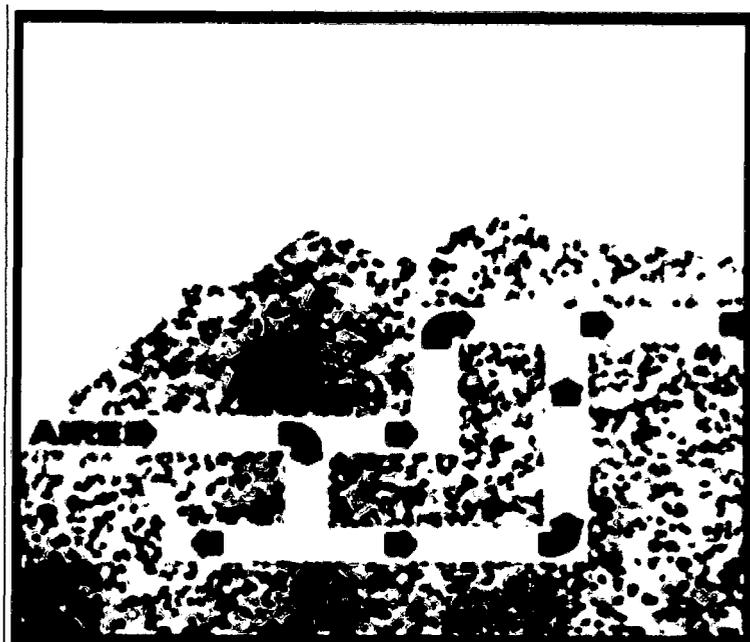


Figura N° 17 Ventilación natural en minería  
Fuente: Fuente: Revista Gran minería.Chile

### **2.3.3 VENTILACION FORZADA O MECANICA:**

La ventilación forzada, también conocida como ventilación mecánica, es el proceso mediante el cual se suministra o extrae aire de un determinado espacio, utilizando dispositivos mecánicos (ventiladores) con el objeto de controlar los niveles de calor, extraer gases contaminantes, diluir partículas y polvillo producto de procesos industriales y proveer oxígeno necesario para el personal o habitantes del recinto. La ventilación forzada es utilizada cuando la ventilación natural es insuficiente o no tiene la capacidad de mantener un espacio determinado en condiciones confortables.

Para el sector minero subterráneo, la depresión forzada la producen los ventiladores bien sean auxiliares principales. Se hace por medio de ventiladores que introducen aire fresco a través de mangas.

Es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares en labores que sólo tengan una vía de acceso teniendo un avance no superior a 60 mt.

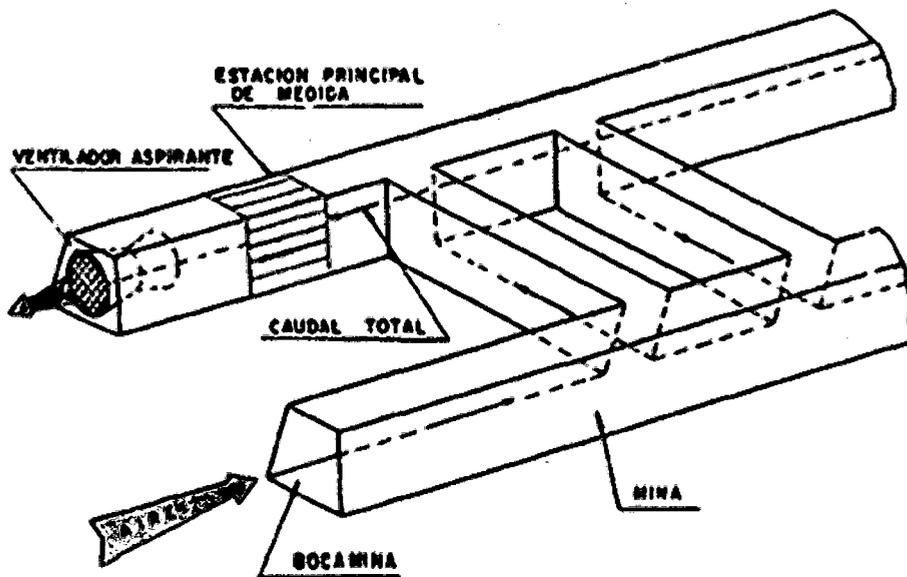


Figura N° 18 Ventilación forzada en minería  
Fuente: Fuente: Revista Gran minería.Chile

Se clasifican en :

✓ Ventilación por Sobre-Presión

Este tipo de ventilación consiste en suministrar aire a un local determinado aumentando la presión interna con respecto a la presión atmosférica. Generalmente cuando se requiere de sobre presión en un local, se inyecta una cierta cantidad de aire y se calcula un volumen de presurización con la finalidad de extraer menos aire que se inyecta y así poder mantener las condiciones internas de sobre presión. Un esquema puede observarse en la figura.

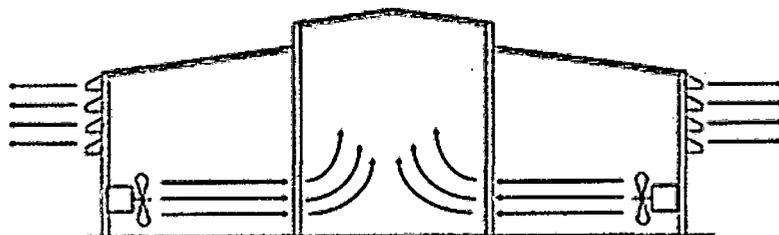


Figura N° 19 Ventilación forzada por sobre-presión  
Fuente: Fission Energy Ltda

✓ Ventilación por Depresión

En este tipo se colocan extractores en el local sacando el aire del interior provocando una caída de presión dentro de este respecto a la atmosférica. De esta manera el aire penetra por el diferencial de presión a través de las distintas aberturas dispuestas para ello, logrando lo mismos resultados que en la ventilación por sobre-presión. Un esquema puede observarse en la figura.

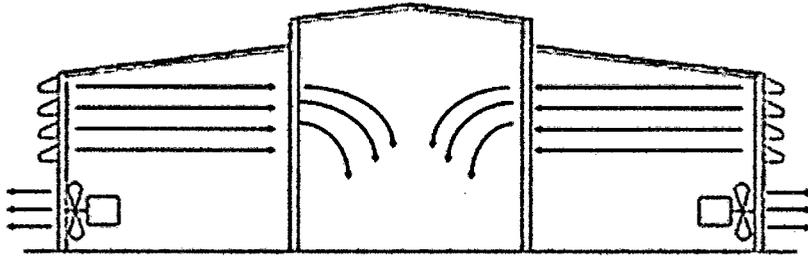


Figura N° 20 Ventilación forzada por depresión  
Fuente : Fission Energy Ltda

**2.3.4 VENTILACION PRINCIPAL:**

Consiste en la corriente de aire que recorre por los túneles de entrada y los túneles de retorno de aire pasando por las secciones que tenga una entrada y una salida, esta ventilación puede ser aspirante o soplante.

✓ Ventilación principal soplante:

Es aquella cuando el ventilador inyecta aire a la mina ya sea por los túneles de entrada o salida. Tiene desventaja cuando el sentido de extracción de los minerales es contrario a la corriente de ventilación.

✓ Ventilación principal aspirante:

Consiste cuando el ventilador aspira aire de la mina bien sea por los túneles de entrada o salida. Este tipo de ventilación es la más utilizada en las minas.

### **2.3.5 VENTILACION AUXILIAR:**

Consiste en la instalación de un ventilador en la corriente principal de ventilación y este mediante un ducto plástico envía su corriente de aire hasta una vía en avance o frente ciego. En Europa lo más habitual es que la ventilación principal sea aspirante. El aire limpio entra por una (o varias) de las entradas de la mina y el aire viciado tras recorrer la mina es aspirado por el ventilador principal.

✓ **Ventilación auxiliar aspirante:**

Consiste en instalar el ventilador en la corriente principal de ventilación este mediante tubería metálica o reforzada en espiral aspira aire del frente ciego provocando una depresión. Esta ventilación se puede complementar con la instalación de un inyector o soplete o un pequeño ventilador de aire comprimido con el objetivo de ventilar la esquina del frente no limpiada mediante la aspiración del ventilador. Los ventiladores empleados pueden ser a base de aire comprimido o eléctricos o electro neumáticos.

✓ **Ventilación aspirante soplante:**

Se presenta cuando se instala el ventilado bajo tierra en el sentido de unión de las vías principales horizontales y el tambor de ventilación

✓ **Ventilación soplante aspirante:**

Es un complemento auxiliar a la ventilación auxiliar aspirante el canal soplante es corto y es un ventilador de poca potencia. Es suficiente que el canal soplante aspire el aire a unos 3 a 5 metros de la zona anterior al extremo del aspirante. El objetivo de este ventilador pequeño es poner en movimiento y renovar el aire en el fondo de la vía.

## **2.4 ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA DE VENTILACION:**

### **2.4.1 LEYES DE LOS VENTILADORES:**

Mediante el uso de un conjunto de ecuaciones conocidas como LEYES DE LOS VENTILADORES es posible determinar, con buena precisión, los nuevos parámetros de funcionamiento a partir de los ensayos efectuados en condiciones normalizadas. Al mismo tiempo, estas leyes permiten determinar los parámetros de una serie de

ventiladores geoméricamente semejantes a partir de las características del ventilador ensayado. Las leyes de los ventiladores están indicadas, bajo forma de relación de magnitudes, en ecuaciones que se basan en la teoría de la mecánica de fluidos y su exactitud es suficiente para la mayoría de las aplicaciones, siempre que el diferencial de presión sea inferior a 3 kPa, por encima del cual se debe tener en cuenta la compresibilidad del gas.

La norma UNE 100-230-95 se puede decir que cuando un mismo ventilador se somete a regímenes distintos de marcha o bien se varían las condiciones del fluido, pueden calcularse por anticipado los resultados que se obtendrán a partir de los conocidos, por medio de unas leyes o relaciones sencillas que también son de aplicación cuando se trata de una serie de ventiladores homólogos, esto es, de dimensiones y características semejantes que se mantienen al variar el tamaño al pasar de unos de ellos a cualquier otro de su misma familia.

Estas leyes se basan en el hecho que dos ventiladores de una serie homóloga tienen homólogas sus curvas características y para puntos de trabajo semejantes tienen el mismo rendimiento, manteniéndose entonces interrelacionadas todas las razones de las demás variables.

Las variables que involucran las leyes de ventiladores son: la velocidad de rotación, el diámetro de la hélice o rodete, las presiones totales estática y dinámica, el caudal, la densidad del gas, la potencia absorbida, el rendimiento y el nivel sonoro.

Son las siguientes:

- ✓ Un determinado caudal (Q) es directamente proporcional a la velocidad de giro del ventilador (n), por semejanza para un mismo ventilador diferentes regímenes de velocidad se tiene:

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{n_a}{n_b} \dots \dots (1)$$

- ✓ La presión estática varía con el cuadrado de la velocidad de giro del ventilador, por lo tanto para dos velocidades de régimen distintas para un mismo ventilador se tiene:

$$\frac{H_a}{H_b} = \left(\frac{n_a}{n_b}\right)^2 \dots \dots \dots (2)$$

- ✓ La Potencia(P) absorbida por un ventilador es directamente proporcional al cubo de la velocidad de giro, por semejanza para dos velocidades de régimen distinto para un mismo ventilador se tiene:

$$\frac{P_a}{P_b} = \left(\frac{n_a}{n_b}\right)^3 \dots \dots \dots (3)$$

Sin importar el tamaño o tipo de ventilador o el flujo de volumen a través del sistema, la relación entre Q y H<sub>b</sub> no cambiará a menos que el sistema se altere de alguna forma. La presión estática siempre varía con el cuadrado del cambio en Q . La excepción a esta regla se encontraría solo en un flujo laminar característico donde la presión de velocidad es mucho más importante que SP, tales circunstancias no son típicas de los sistemas de ventiladores.

**2.4.2 CRITERIOS DE CALCULO DE CAUDALES:**

La estimación de la cantidad necesaria de aire en una zona de trabajo todavía es un aspecto empírico en la planificación y diseño de un sistema de ventilación. Según la experiencia de otras minas se recomienda empezar a cuantificar las necesidades de caudal en los propios puntos de trabajo, en los fondos de saco.

**a. CAUDAL REQUERIDO POR EL NUMERO DE PERSONAS: Q1**

El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM, norma que cuando los túneles o minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 m<sup>3</sup>/minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.

De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.

Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6 m<sup>3</sup>/min. Este último valor corresponde a la Mina Limpe Centro de la Unidad Minera Iscaycruz.

**b. CAUDAL REQUERIDO POR GRADIENTE DE TEMPERATURAS: Q2**

Como norma para el cálculo del aire respecto a la temperatura, se dan los siguientes valores:

Cuadro N° 2 Velocidad necesaria para un ambiente ventilado

HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA SECA	VELOCIDAD MINIMA	Para una labor de 20 m <sup>2</sup> (5 X 4 m.)
< ó = 85 %	24 a 30 °C	30 m./min.	600 m <sup>3</sup> /min.
> 85 %	> 30 °C	120 m./min.	2240 m <sup>3</sup> /min.

Fuente : OMS

**c. CAUDAL REQUERIDO POR MOTORES DIESEL:**

El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM, exige para el uso de equipo diesel, la cantidad de aire circulante no será menor de 3 m<sup>3</sup>/minuto por cada HP que desarrollen los equipos. Para el cálculo del caudal de equipos diesel se aplicara la siguiente formula:

$$Q3 = K * N \left( \frac{m^3}{sg} \right) \dots \dots (4)$$

Q = Caudal total para "n" equipos diesel que trabajen en interior del túnel (m<sup>3</sup>/s)

K = Caudal mínimo por equipo diesel.

N = Cantidad de HP de los equipos diesel.

Para determinar el caudal de aire por maquinaria diesel se considera la simultaneidad de los equipos presentes en el interior de la mina cuya asignación representa la flota operativa, y por tanto el caudal de aire real requerido, se estima entre un 40% a 60%.

**d. CAUDAL REQUERIDO POR EXPLOSIVOS:**

$$Q4 = n * v * A \left( \frac{m^3}{sg} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

Q = Caudal total para diluir contaminantes por explosivos (m<sup>3</sup>/s)

n = Numero de niveles del túnel.

V = Velocidad de aire según norma en el Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010, indica que cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.

A = Área de la sección de labores ( m<sup>2</sup>)

**e. CAUDAL REQUERIDO POR DESPRENDIMIENTO DE GASES Y POLVO EN SUSPENSION:**

Para determinar este caudal de aire se toma como criterio la fijación de velocidad en las labores, que según el Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010 indica que en ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando, con esta apreciación es suficiente para asegurar las áreas despejada.

**2.4.3 PERDIDAS DE CARGA.**

Las pérdidas de carga de un circuito de ventilación auxiliar pueden dividirse en pérdidas por fricción, pérdidas singulares y pérdidas por presión dinámica:

✓ Perdidas por fricción :

Cuando el aire fluye a través de un ducto o galería minera, la presión requerida para mover el aire a través de él depende no sólo de la fricción interna, sino también del tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad y densidad del aire. Todos estos factores son considerados en la ecuación de J. Atkinson, la cual se enuncia :

$$\Delta P = \frac{k * C * L * V^2}{A} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

ΔP: Caída de presión (Pa).

K: Factor de fricción de la tubería.

C: Perímetro del ducto (m).

L: Longitud del túnel (m).

V: Velocidad (m/s).

A: Área del ducto (m<sup>2</sup>).

Sabiendo que: por la ecuación de continuidad se tiene que : Q = V/A

La fórmula anterior se puede expresar como:

$$\Delta P = \frac{k * C * L * Q^2}{A^3} \dots \dots \dots (7)$$

En un circuito de ventilación auxiliar, las pérdidas por fricción de importancia de cara al diseño de la instalación son las de la tubería, siendo las de las galerías del túnel o mina despreciables frente a estas (suponen en general menos de un 1% en relación a las de las tuberías).

✓ **Perdidas singulares:**

Las pérdidas singulares son aquellas que se producen cuando el flujo de aire cambia de dirección o el conducto cambia de sección. Estas pérdidas se calculan como un porcentaje sobre la presión dinámica del fluido calculada en el punto singular:

$$\Delta P_{sing} = \xi * \frac{\rho * v^2}{2} \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

$\Delta P_{sin}$ , es la pérdida de carga del aire [Pa].

$\zeta$ , es el coeficiente de pérdida del elemento, obtenido experimentalmente.

$\rho$ , es la densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>].

$v$ , es la velocidad del aire en el conducto [m/s].

En un circuito de ventilación auxiliar, esto ocurre en elementos como codos, cambios de diámetro de la tubería, puntos de bifurcación de la tubería, rejillas de protección de tubería o ventilador, etc.

La única dificultad del cálculo de estas pérdidas está en usar una correcta estimación del factor  $\zeta$ . Es mucha la literatura, basada principalmente en ensayos experimentales, que se ocupan de esta labor.

La suma de estas dos pérdidas, la de fricción y singulares nos da como resultado la Presión estática.

$$\Delta P_{est} = \Delta P_{sing} + \Delta P \dots \dots \dots (9)$$

✓ Perdidas por presión dinámica:

Al final del circuito, usualmente a la salida de la tubería (sistemas soplantes) o la salida del ventilador (sistemas aspirantes) se ha de tener en cuenta la presión dinámica con la que el aire sale, ya que ésta es una pérdida más. Estas pérdidas no tienen mayor complicación y se calculan por la fórmula general de la presión dinámica:

$$\Delta P_{din} = \frac{\rho * v^2}{2} \dots \dots (10)$$

**2.4.4 FACTORES DE FUGA:**

Estas fugas, inicialmente, dependen de las propias características de la tubería, pero ha de tenerse en cuenta que estas tuberías están instaladas en un sistema dinámico, es decir, al mismo tiempo que se aporta aire están trabajando en el frente, por lo que es muy frecuente que las tuberías se vean deterioradas con el paso del tiempo.

El caudal final total considerando las fugas se calculan con la siguiente formula empírica:

$$Q_{FINAL} = Q * \left(1 - \frac{F}{100}\right)^{\frac{L}{100}} \dots \dots (11)$$

Dónde:

$Q_{FINAL}$ , caudal final en cada galería (m3/s).

Q, caudal requerido en el frente de trabajo (m3/s).

L, longitud equivalente del túnel (m).

F, factor de fuga de la tubería otorgada por el fabricante (%).

Estas consideraciones se deben tener muy en cuenta tanto en el diseño como en las labores de mantenimiento, y por tanto, hacemos hincapié en que cada proyecto es diferente y debe ser estudiado en profundidad. No obstante, la experiencia dice que la formula anterior, si es usada considerando las particularidades del proyecto, es una buena aproximación a la realidad.

#### 2.4.5 CIRCUITO DE VENTILACION EN SERIE:

El circuito de ventilación en serie se caracteriza porque la corriente de aire se mueve sin ramificación, por lo que el caudal permanece constante, en este caso todas las galerías se conectan de extremo a extremo.

##### PROPIEDADES:

El caudal que pasa por todos los niveles es la suma de los caudales finales en cada nivel o galería.

#### 2.4.6 POTENCIA INSTALADA:

Las consideraciones que deben hacerse para calcular la potencia del motor son:

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

H = Depresión del circuito en Pa (presión estática en Pascales)

η = Eficiencia del ventilador, la cual varía entre 70 a 85% (dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo).

AHP = Potencia necesaria para mover el caudal Q de aire en un circuito cuya depresión es H, en Kw.

BHP = Potencia del ventilador en Kw.

DE = Eficiencia de la transmisión, la cual varía entre 90% para transmisión por poleas y correas, y 100% para transmisión directa.

$$AHP = \frac{Q * H}{6350} \dots \dots \dots (12)$$

$$BHP = \frac{Q * H * DE}{6350 * \eta} \dots \dots \dots (13)$$

### 2.5 EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION:

#### 2.5.1 VENTILADOR:

##### a. GENERALIDADES:

Un ventilador es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo un incremento de presión suficiente (Presión Total) con la cual mantiene un flujo continuo de dicho fluido.

En su versión más corriente, un ventilador es una máquina que absorbe energía mecánica y la transfiere a un gas, proporcionándole un incremento de presión no mayor de 10 kPa (1.000 mm.c.a. aproximadamente), por lo que da lugar a una variación muy pequeña del volumen específico y suele ser considerada una máquina hidráulica (más propiamente, una máquina neumática).

Para realizar este trabajo el ventilador requiere de una potencia en el eje del motor que lo acciona y que viene dada por la expresión:

$$Potencia(KW) = \frac{Caudal \left( \frac{m^3}{sg} \right) * Presion\ Total(Pa)}{\eta_{motor\ electrico}(\%) \eta_{ventilador}(\%) * 1000} \dots \dots (14)$$

Cada ventilador vendrá definido por su curva característica, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo para cada ángulo de regulación de los álabes. Por tanto, tendremos una curva característica distinta para cada ángulo. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de operación del ventilador.

**b CLASIFICACION:**

Con el desarrollo de la ciencia 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 por mover grandes caudales de aire tanto en interior de mina, túneles 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 3 tipos:

- Ventilador Centrifugo.- El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente, el cual descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; pueden ser de entrada sencilla o de entrada doble. Son ventiladores de flujo radial.

Son aquellos ventiladores en donde se modifica la dirección del aire en un ángulo de  $90^\circ$ , es decir, el aire entra en el ventilador con un determinado ángulo (normalmente entre  $80^\circ$  y  $90^\circ$ ) con dirección axial al plano de giro de las aspas y sale al exterior con un desfase de  $90^\circ$  grados (entre  $0^\circ$  y  $10^\circ$ ) en dirección radial.

Así mismo, se debe tener en cuenta diversas consideraciones con respecto a la velocidad angular o de giro del ventilador: está directamente relacionado con la corriente de aire que proporciona, varía con el cuadrado de la presión y al cubo con respecto a la potencia absorbida por el ventilador.

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodets:

- ✓ Alabes curvados hacia adelante, se trata de un ventilador ideal para trabajar a bajas presiones y con altos caudales. Es más silencioso que los demás tipos por ello se utiliza en ventilación y aire acondicionado.
- ✓ Alabes rectos, se trata del ventilador de configuración más simple y, debido a esto, con un rendimiento menor.
- ✓ Alabes inclinados hacia atrás/curvados hacia atrás. de alto rendimiento y alta presión. Tiene aplicaciones en la industria sobre todo en ambientes corrosivos

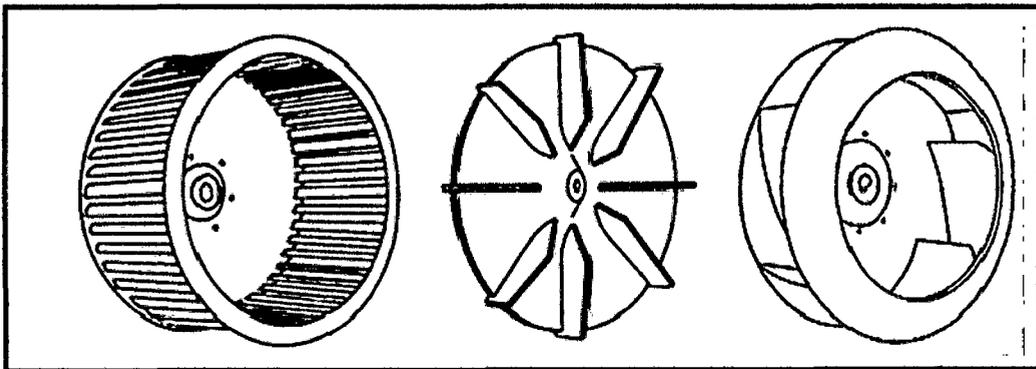


Figura N° 21 Tipos de Rodetes de Ventiladores Centrífugos

Fuente: UNET.edu.ve

- Ventilador de Hélice.- Este ventilador está formado por un rodete dentro de un anillo o carcasa de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para movilizar en circuitos de resistencia muy pequeña. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja.

- **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 álabes-guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turbo-axial 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 álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que sirven de apoyo en el diseño. Los ventiladores axiales se utilizan normalmente en Unidades de Tratamiento de Aire (UTA) y en relación con las bobinas de ventilador para refrigeración o calefacción. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones que van, desde pequeños ventiladores de refrigeración a la electrónica de los ventiladores gigantes utilizados en los túneles del viento.

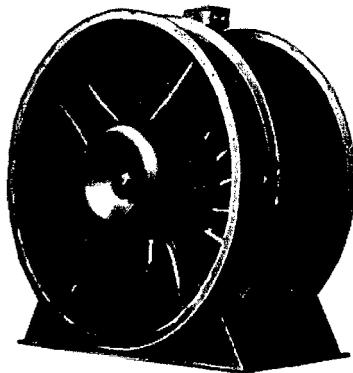


Figura N°22 Ventilador Axial

Fuente: Howden Ltda

**c. COMPARATIVO ENTRE VENTILADORES AXIALES Y VENTILADORES CENTRIFUGOS:**

Las diferencias que se tiene al utilizar un ventilador axial frente a un centrífugo son:

Los ventiladores axiales ofrecen mejor eficiencia en un amplio rango de puntos de funcionamiento, mientras que los ventiladores centrífugos pueden tener un rendimiento muy alto, pero solamente sobre un rango muy reducido, y sólo sobre una curva característica.

Este parámetro es muy importante ya que el coste de la energía es un factor que se tiene muy en cuenta. Si un ventilador centrífugo diseñado para un punto de funcionamiento determinado ha de trabajar en otras condiciones, debido, por ejemplo, a un cambio en las condiciones resistentes de la mina, tendrá presumiblemente una disminución de rendimiento considerable.

Mayor rendimiento mecánico de los ventiladores axiales, ya que los ventiladores centrífugos transmiten el movimiento desde motor al rodete con transmisión por correas o mediante otros tipos transmisiones. Esto implica una serie de complicaciones adicionales frente a un ventilador axial, ya que además de la pérdida de rendimiento por transmisión, podrían aparecer más frecuentemente fenómenos de vibraciones debido a que es un sistema mecánico más complejo.

Un ventilador axial tiene más versatilidad en la regulación que un ventilador centrífugo, ya que podemos actuar sobre el ángulo de posición de los álabes y sobre la velocidad de rotación con un variador de frecuencia, mientras que el ventilador centrífugo tiene regulación por velocidad, y si queremos conseguir otro punto de funcionamiento, será a base de aumentar la resistencia del circuito (con un dámper de regulación, p.e.), lo que significaría un incremento de potencia debido a la regulación.

**d. TIPO DE CONFIGURACIONES DE UN VENTILADOR:**

Un ventilador puede ser, según su forma constructiva, horizontal o vertical. Los ventiladores horizontales son los más usuales, pero los verticales son más aconsejables para ciertos tipos de aplicaciones. Es este el caso en los ventiladores exteriores de minería profunda, donde la configuración vertical reduce las pérdidas de carga del circuito, al evitarse el tener que construir un codo para dirigir el flujo.

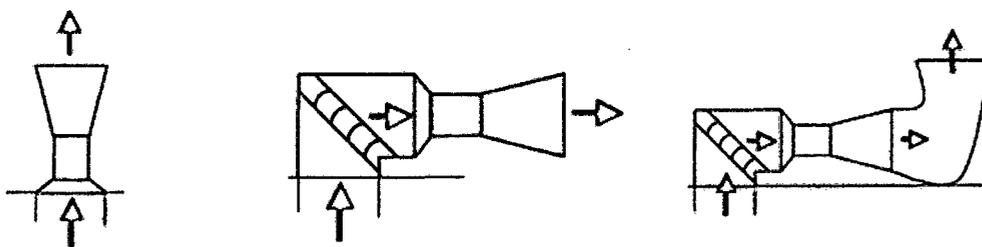


Figura N°23 Configuración de un ventilador

Fuente: Quevedo Chaname(UMSM)

Otro tipo de clasificación podría hacerse en función del número de etapas o escalones. La mayoría de las aplicaciones requieren una sola etapa. Sin embargo, aplicaciones con presiones muy elevadas (más de 5000 Pa) no se consiguen con un ventilador de un solo escalón. En estos casos es cuando se usan los ventiladores de dos escalones, que son capaces de conseguir presiones mayores.



Figura N°24 Configuración de un ventilador de 2 Etapas

Fuente: Metal industrias

Otra clasificación podría establecerse en base a la función que va a realizar el ventilador. Efectivamente, un ventilador puede ser de extracción de aire viciado o de impulsión de aire fresco. Los ventiladores de impulsión de aire generalmente son más sencillos que los de extracción. Estos últimos han de estar preparados, según la aplicación, para extraer aire abrasivo, humos calientes o gases explosivos. En estos casos la protección del ventilador en su conjunto es más rigurosa. Además, los motores pueden ser encapsulados para evitar que se dañen por la abrasión o la atmósfera corrosiva (casos típicos de minería), o resistentes a la temperatura durante un cierto intervalo de tiempo (caso de ventiladores de extracción de humos para emergencias en túneles). En la figura siguiente se puede observar un ventilador extractor vertical de construcción robusta para aplicaciones mineras.

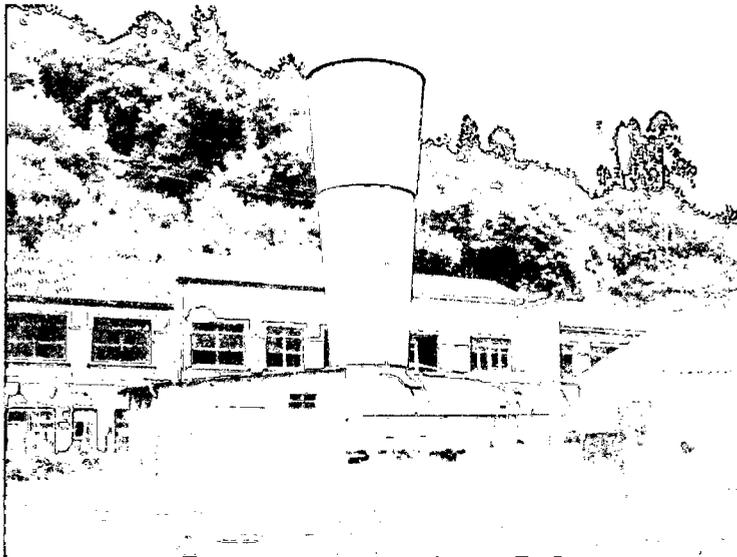


Figura N°25 Configuración de un ventilador robusto de una mina  
Fuente: Minera Pozo Barreros (España)

**e. COMPONENTES DE UN VENTILADOR AXIAL:**

Las partes importantes que componen un ventilador y que afectan sus propiedades aerodinámicas son:

Impulsor (Hélice). Es la parte del ventilador que al rotar imparte movimiento al aire.

Carcasa o cilindro base, es estacionaria y guía el aire hacia y desde el impulsor. Otras partes en su rendimiento son la campana aerodinámica de succión, alabes guías o rueda directriz y los difusores o evasoras.

- Rodete o impulsor: El rodete del ventilador es la parte móvil del mismo que se compone de álabes y cubo o soporte de los álabes. En función de las necesidades, el rodete puede ser de álabes regulables o no regulables. En el caso de álabes regulables, pueden ser:

Álabes regulables manualmente por regulación individual, álabe a álabe.

Álabes regulables manualmente por regulación central.

Álabes regulables hidráulicamente. En este caso existe la posibilidad de que dicha regulación se haga con el ventilador en marcha.



**f. CURVA CARACTERISTICA DE UN VENTILADOR:**

Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo. Para cada ángulo de regulación de los álabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador ( $P_o, Q_o$ )

La curva característica de un ventilador, es la unión gráfica, en unos ejes de coordenadas de todos los valores resultantes de los ensayos. Esta curva representará la totalidad de posibles puntos de trabajo del ventilador. Sobre cualquier curva característica reflejada en este catálogo, podremos observar como el Caudal  $Q$ , representado en el eje de abscisas, disminuye a medida que aumenta la presión estática ( $P_e$ ), en el eje de ordenadas siendo el caudal máximo cuando la presión estática es 0, lo que llamamos caudal a descarga libre. De esta forma observamos que la curva del ventilador nos proporciona de forma gráfica los caudales que puede desarrollar el ventilador en función de la presión que le exijamos

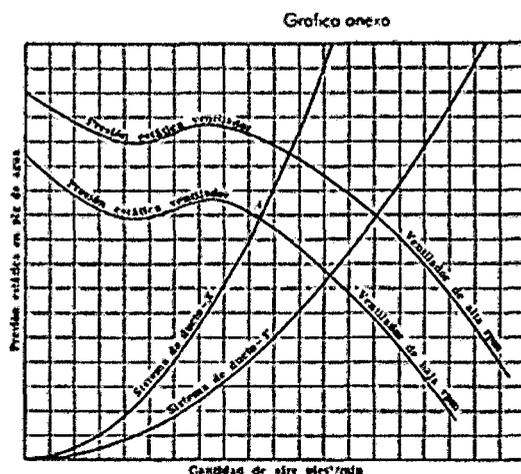


Figura N° 27 Curva característica de un ventilador  
Fuente: Turbomaquinas hidráulicas(Mataix)

**g. ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES:**

En instalaciones importantes de ventilación, cuando es necesario disponer de caudales o presiones con grandes variaciones, puede resultar conveniente de dotarlas de equipos acoplados de forma que trabajando en conjunto o bien separados proporcionen la

prestación exigida en cada momento. Si las variaciones necesarias son discretas puede bastar un único aparato con un sistema de regulación, pero cuando sean precisas capacidades muy elevadas, hay que recurrir a un sistema de acoplamiento de equipos, tanto en serie como en paralelo.

Trabajo en serie de 2 ventiladores :Con el trabajo en serie de dos ventiladores, el caudal de aire que pasa por ambos ventiladores debe ser igual, de valor  $Q_1$  y la depresión total es igual a la suma de las depresiones producidas por cada ventilador  $P_T = P_1/2 + P_1/2$ .

En consecuencia, la curva característica totalizada de ambos ventiladores se construye sumando las ordenadas de sus curvas características individuales.

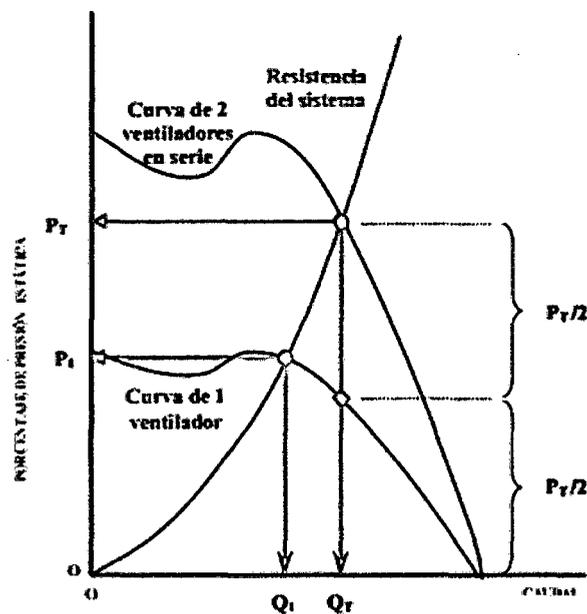


Figura N°28 Configuración en serie

Fuente: Quevedo Chaname(UMSM)

El caudal total de dos ventiladores iguales, instalados en serie y que giran con igual número de revoluciones, es mayor que cada caudal parcial, pero, siempre inferior a la suma de los caudales del trabajo individual.

Es decir,  $Q_1 < Q_T < Q_1 + Q_2 = 2 \times Q_1$

Para una resistencia dada, como se observa en la figura anterior, un solo ventilador podría trabajar en un punto próximo al bombeo, en cambio, al acoplarle otro

ventilador, se puede observar que (PT, QT), está bastante alejado del régimen inestable.

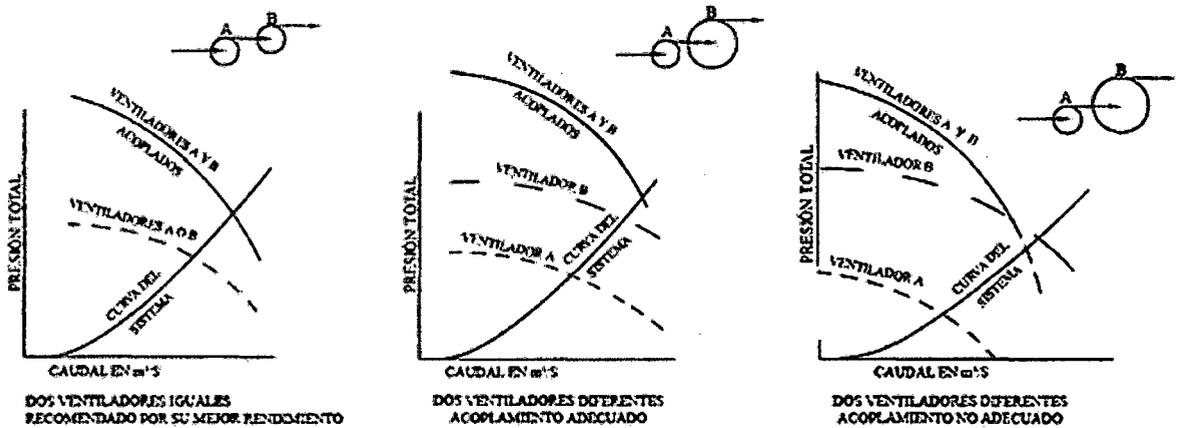


Figura N°29 Arreglos de la configuración en serie

Fuente: SODECO

Trabajo en paralelo de 2 ventiladores: En un sistema de trabajo de dos ventiladores en paralelo, cada ventilador es concebido para la mitad del caudal de diseño. Cuando dos ventiladores trabajan en paralelo, forman un sistema que estará caracterizado por la curva resultante de la suma las abscisas de sus curvas características individuales.

La resistencia del circuito corta la curva del sistema en un punto (PT, QT). El punto de funcionamiento de cada ventilador, como se puede ver la figura siguiente, corresponde a (PT,  $Q_1=Q_2$ ), tal que  $Q_1+Q_2=QT$  para el caso de dos ventiladores idénticos.

Si sólo uno de los ventiladores trabajase, su punto de funcionamiento sería distinto, con una presión más baja y con un caudal de aire mayor, (PT1,QT1).

Al contrario del trabajo en serie de 2 ventiladores, si la resistencia del circuito de ventilación es importante, si se arrancan 2 ventiladores en paralelo, estos pueden entrar en régimen inestable a pesar de que individualmente trabajen bien

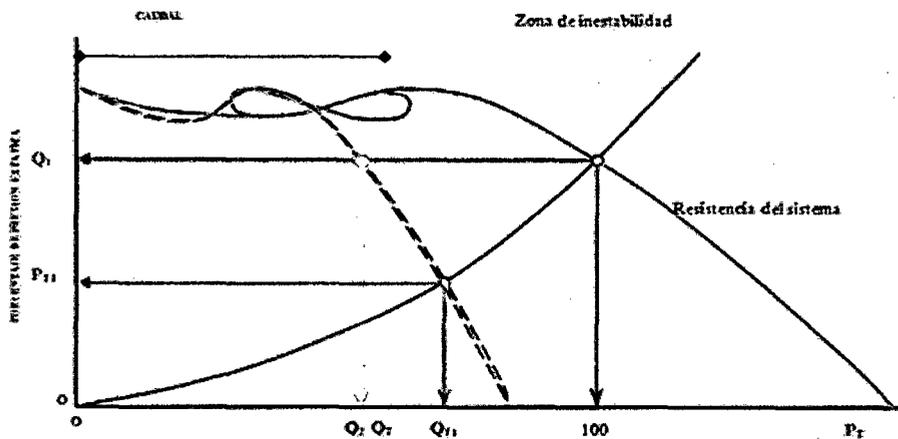


Figura N° 30 Configuración en paralelo

Fuente: Quevedo Chaname(UMSM)

### 2.5.2 MANGAS DE VENTILACION:

Las mangas de ventilación es un ducto fabricado para evacuar aire, gases y polvo en las diferentes labores propias de la minería. Así como también es utilizado para insuflar aire (presión positiva). Por su estructura reforzada con aros de metal o sintéticos a lo largo de la manga, las hace un sistema resistente y liviano. Para realizar un sistema de ventilación apropiado se usan diferentes tipos de acoples (Yes, Tees, reductores, derivaciones, etc.).

Para ventilar una mina se necesitan ciertas cantidades de flujo de aire, con una caída de presión determinada, a cierta densidad del aire. Conocidas la caída y el caudal de lámina (punto de operación del sistema), existen casi un número infinito de ventiladores en el mundo que satisfacen el punto operacional adecuado. Se deberá especificar el punto de operación del ventilador requerido para que los proveedores coticen la unidad ventiladora con la potencia de motor eléctrico correspondiente, de manera que satisfaga dicho punto. La especificación debe incluir, además, la altura geográfica en donde se instalará el equipo.

Las curvas de funcionamiento vienen trazadas en función de las variables operacionales principales: caídas de presión, caudal, potencia y eficiencia a densidad de aire normal, que a nivel del mar es de  $1.2 \text{ Kg./m}^3$  (W). A una altura de 3.600 metros sobre el nivel del

mar, por ejemplo, la densidad del aire es de 0.866 Kg. /m<sup>3</sup>, razón por la que la densidad debe corregirse por aquella en donde se desempeñará la unidad. La forma habitual del trazado de curvas se grafica con el caudal versus las demás variables: caída estática, caída total, potencia al freno, eficiencia estática y eficiencia total. Normalmente, se logra una ventilación efectiva cuando se emplean varios ventiladores principales, los que se ubican de preferencia en las galerías más importantes de ventilación o en piques en la superficie y se distribuyen de manera que la carga o caída de presión del sistema esté dividido en forma equitativa entre los ventiladores.

a. Deltavent DVS y DVI

Ducto fabricado especialmente para succionar aire con contenidos de polvo y gases nocivos producidos por laboreos propios de la minería, construcciones tuneleras y obras civiles. Soportan altas presiones negativas y resisten desgarros por laboreo.

El Deltavent DVI es un ducto especialmente diseñado para insuflar aire a túneles y galerías en grandes volúmenes. Soporta fuertes presiones efectivas de trabajo, siendo su estructura y material resistente al desgarro por laboreo y manipulación.

La suspensión con la que cuentan estos ductos se realiza a través de ganchos galvanizados colocado en una línea externa y superior, de basta continua o alternada, y de acuerdo al requerimiento del usuario.

El tapón presostático delta es un dispositivo neumático fabricado con una membrana reforzada de PVC con uniones selladas por alta frecuencia. Permite bloquear galerías, evitando así la entrada o salida de aire, gases, polvos, desde o hacia una determinada zona de trabajo. Su uso se orienta al sector minero. Su montaje y desmontaje se hace rápidamente.

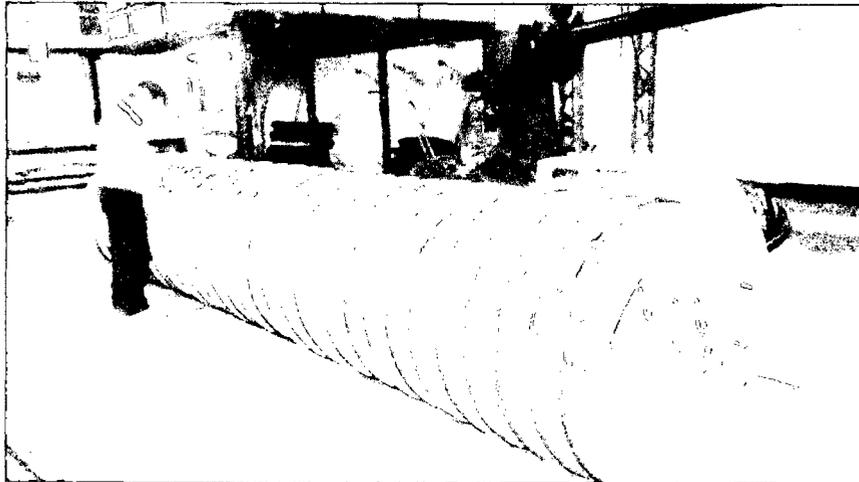


Figura N° 31 Manga para ventilación minera

Fuente : Revista Tecnología Minera

b. MineVent.

Usado para presiones positivas de ventilación en minas y túneles. Se produce el MineVent™ en diámetros estándares desde 300 mm (12") hasta 3050 mm (120") y secciones de hasta 500 metros de largo. La línea de materia prima de telas recubiertas con PVC, ofrece importantes características de resistencia a la tensión y al rasgado, que cumplen con estándares internacionales.

Las telas tienen certificación de resistencia al fuego (ignífugas) y ofrecen un rango de materiales antiestáticos que cumplen las normas americanas e internacionales para resistividad superficial.

Los diseños de rebordes de sujeción son una de la clave de la durabilidad del producto. Ofrece un reborde de suspensión longitudinal continuo de 3 capas soldadas para ventilación de túneles y uno especial de 4 capas para las aplicaciones más severas en los mismos.

Los rebordes de suspensión longitudinales continuos siendo hasta 50% más fuertes que los de la competencia que tienen 2 capas, o de aquellos sistemas que no son continuos y solo tienen algunos puntos de suspensión.

Los ductos de suspensión vienen completos con ganchos de suspensión diseñados y los ojales para un óptimo funcionamiento bajo tierra. También ofrecemos rebordes de suspensión Dual completos con los accesorios necesarios para instalaciones verticales.



Figura N° 32 Manga para ventilación minera MINEVENT

Fuente: Revista Tecnología Minera

c. MineDuct.

La línea de ductos con espiral MineDuct, es de un producto flexible de extrema durabilidad, que es usado comúnmente con presiones de ventilación negativas o como codos en los ductos MineVent™, con presiones de ventilación positiva.

MineDuct, es fabricado en diámetros que van desde 300 mm (12") hasta 2000 mm (80") en secciones estándar de 7,5 metros (25"). El diámetro de la espiral y su paso (distancia entre espirales) determinan la capacidad de presión negativa del MineDuct™.

Los rangos de paso, para los MineDuct™ van desde 50 mm (2") hasta 150 mm (6"). Contacte a nuestros profesionales de ventas para una recomendación sobre su aplicación.

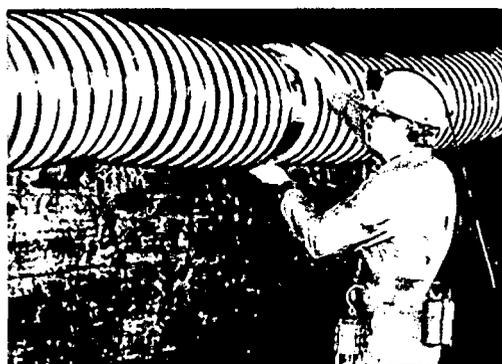


Figura N° 33 Manga para ventilación minera MINE DUCT

Fuente: Vent plus Ltda

d. TwinDuct™

Ducto Oval de presentación aplanada, para cumplir los requerimientos de la industria minera, para alto flujo de aire y máximo espacio disponible para los equipos bajo tierra.

TwinDuct™, está diseñado para reemplazar al ducto de ventilación redondo en las galerías de avance que requieren espacio adicional con flujos de aire similares.

TwinDuct™ ofrece un 25% de mejora con su diseño único que disminuye la posibilidad de daño a los ductos de ventilación y permite a la mina maximizar el tamaño de los equipos mineros sin disminuir la sección del ducto de ventilación.

TwinDuct™, se encuentra en diámetros que van desde 450 mm (18") hasta 1500 mm (60") y secciones estándar de 15 metros.



Figura N° 34 Manga para ventilación minera TWIN DUCT

Fuente : ABC Gallery

e. Ductos Twin

En funciones impelentes de 1422x 800 mm, hasta las medidas en combinación necesaria para conformar las caídas de presión similares a las entregadas por la ventilación circular.

Estos ductos son de características ovaladas permitiendo aumentar el área del túnel para el paso de vehículos de gran tamaño, sin variar la entrega de ventilación en los estándares y medidas necesarias. Presentan refuerzo de doble alambrado para su sustentación.

Fabricado en tejido de rafia de polietileno recubierto con PVC. Es antiestática retardante a la llama. Tiene tratamiento anti UV. Es resistente a medios alcalinos acidulantes, hidrocarburos, grasas, aceites, etc. El rango de temperatura es entre -30°C y 60°C.

f. **Ductos aspirantes**

Reforzado con alambre de acero, sellado dentro de un perfil de PVC. El acero utilizado en el espiral helicoidal es de alta resistencia a la fricción. El paso de la espiral helicoidal de refuerzo, será de acuerdo a la presión de trabajo requerida.

g. **Impelentes**

Ductos circulares de tela de poliéster recubierta con PVC por ambas caras. Se utiliza para inyectar aire al frente de trabajo. Su diámetro va desde los 300 mm a 2000 mm. La calidad de la tela IN-2000, IN-2500 y IN-3000 todas con filtro UV y retardante de llama. La longitud de tramos 5, 10, 15,20 y 25 metros. La unión de los tramos es mediante el sistema por faldón FSA o con anillos metálicos en los extremos.

**CAPITULO III:**  
**MATERIALES Y METODO**

### **3.1 MATERIALES:**

#### **3.1.1 SUSTANCIAS:**

##### **a. AIRE :**

Se denomina aire a la mezcla homogénea de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor del planeta Tierra por acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta y transparente en distancias cortas y medias.

Es la combinación en proporciones ligeramente variable. Está compuesto por nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %), vapor de agua (0-7 %), y otras sustancias (1 %), como ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y gases nobles (como kriptón y argón).

Gas incoloro, inodoro e insípido.

Según la altitud, la temperatura y la composición del aire, la atmósfera terrestre se divide en cuatro capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera. A mayor altitud disminuyen la presión y el peso del aire.

El aire atmosférico con que se ventila una mina subterránea, mediante cualquier sistema de ventilación, se contamina en su recorrido por:

- La presencia de gases de flagrantos, asfixiantes, tóxicos y explosivos.
- Polvos nocivos o inflamables.
- Incendios, utilización de explosivos.
- Respiración de las personas.
- Calor y gases producidos por la maquinaria y equipos utilizados en las labores.
- Oxidación de los materiales.
- Descomposición de sustancias o materias minerales u orgánicas.
- Presencia de aguas estancadas.
- Operaciones básicas de la explotación.
- Emanaciones de gases propios del yacimiento.

#### **3.1.2 EQUIPAMIENTO:**

##### **a. SCOOP TRAM:**

La Scoop tram es una cargadora de interior de 4 toneladas métricas para operaciones de pequeño tamaño que abarcan desde aplicaciones de construcción hasta la explotación de vetas angostas en altitudes extremas. Las características estándar de esta LHD se combinan para crear el vehículo más fiable y productivo de su clase.

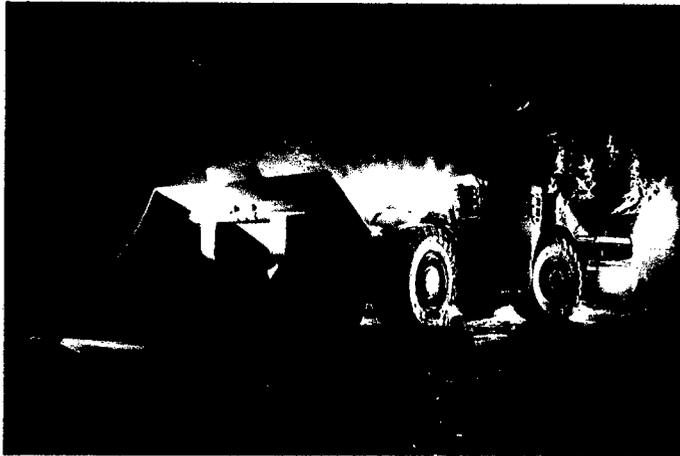


Figura N° 35 Maquina Scoop Tram

Fuente: Enrique Ferreyros S.A

**b. PERFORADOR JUMBOS :**

El equipo de perforación del jumbo está compuesto por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de los trabajos de perforación por el frente.

El chasis sobre el que se montan los brazos puede ser automotor o remolcable.

Este equipo se emplea para practicar agujeros para introducir la carga de explosivos para excavar un túnel.

El Jumbo posee un sistema operativo computarizado, con sus mandos a través de un ordenador.



Figura N° 36 Máquina Perforadora

Fuente: Enrique Ferreyros S.A

**c. HORMIGONERA:**

El camión mixer (conocido también como camión-hormigonera, camión mezclador y/o agitador, entre otros), consiste en un camión equipado con una hormigonera. Debido a esta disposición, le es posible transportar hormigón premezclado al mismo tiempo que procede a su amasado. Es el método más seguro y utilizado para transportar hormigón en trayectos largos y es poco vulnerable en caso de un retraso.

El camión mixer u hormigonera responde a las necesidades de operaciones mineras con mayor demanda de producción, ofreciendo un equipo muy compacto equipado con un potente motor Caterpillar de seis cilindros y 75 kW (100 hp) con el que se consigue una excelente relación peso/potencia que a su vez se traduce en gran agilidad y capacidad de trasladado y ascenso.



Figura N° 37 Maquina Hormigonera

Fuente: Enrique Ferreyros S.A

### 3.1.3 DETALLES DE LA MINA LIMPE CENTRO:

#### a. NUMERO DE NIVELES SEGÚN ALTURA:

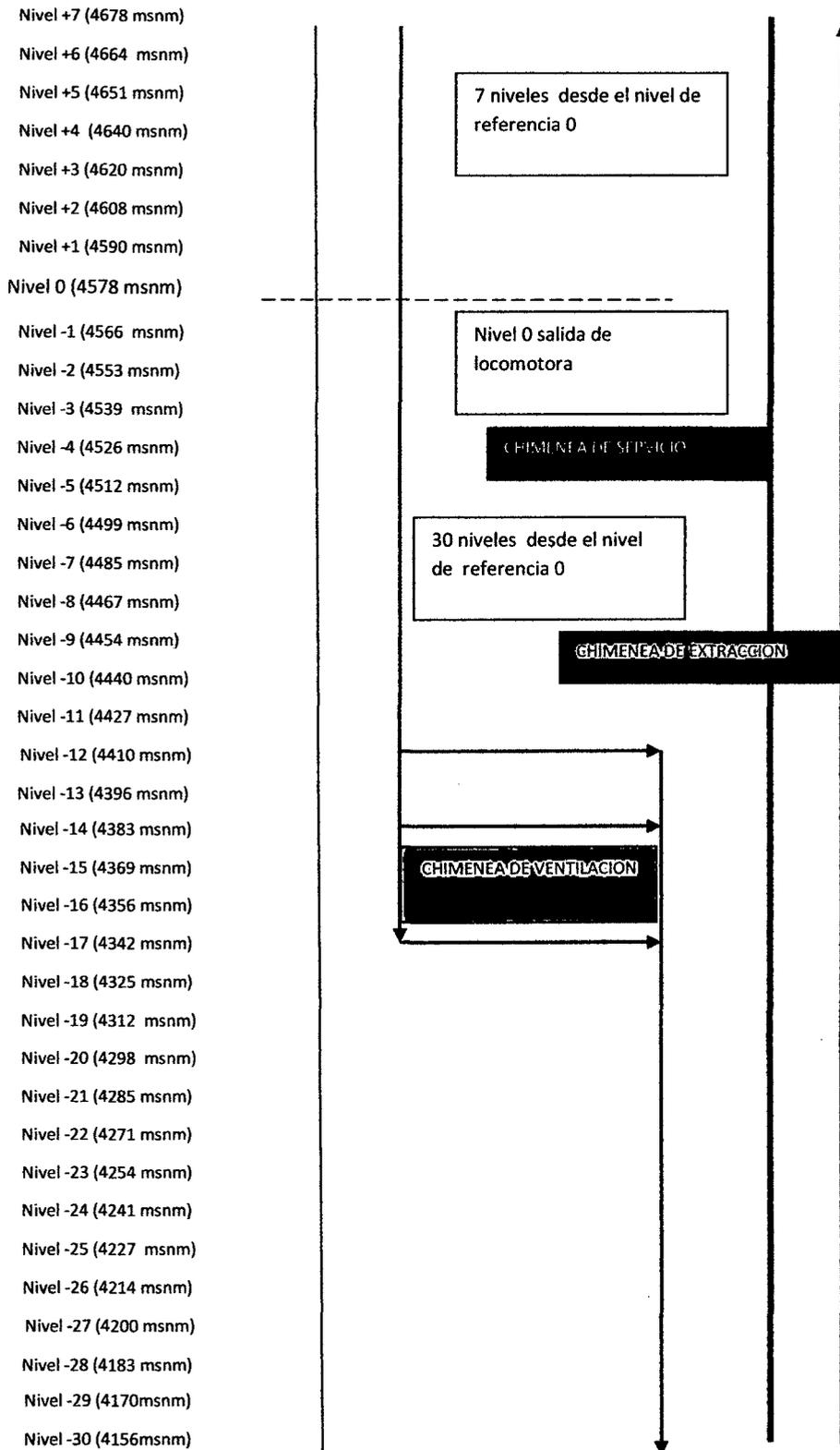


Figura N° 38 Número de niveles mina Limpe Centro

Fuente: Elaboración propia

**b. DIMENSIONES DE CADA NIVEL EN PROMEDIO:**

Para las dimensiones de cada nivel se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Sección recta promedio:

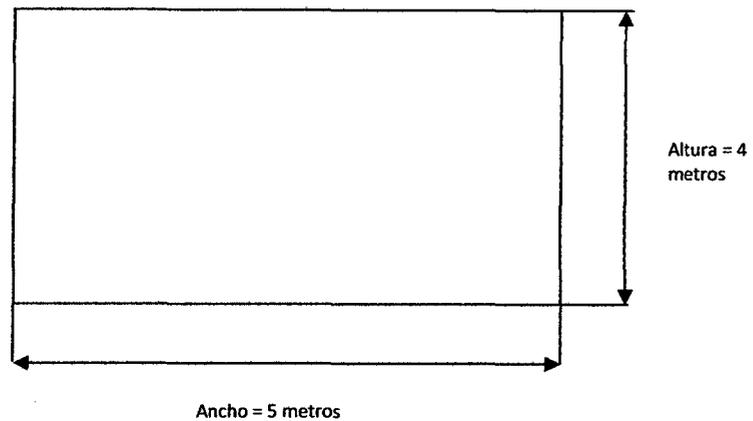


Figura N° 39 Sección recta promedio galerías mina Limpe Centro

Fuente: Elaboración propia

- Ruta de tránsito promedio:

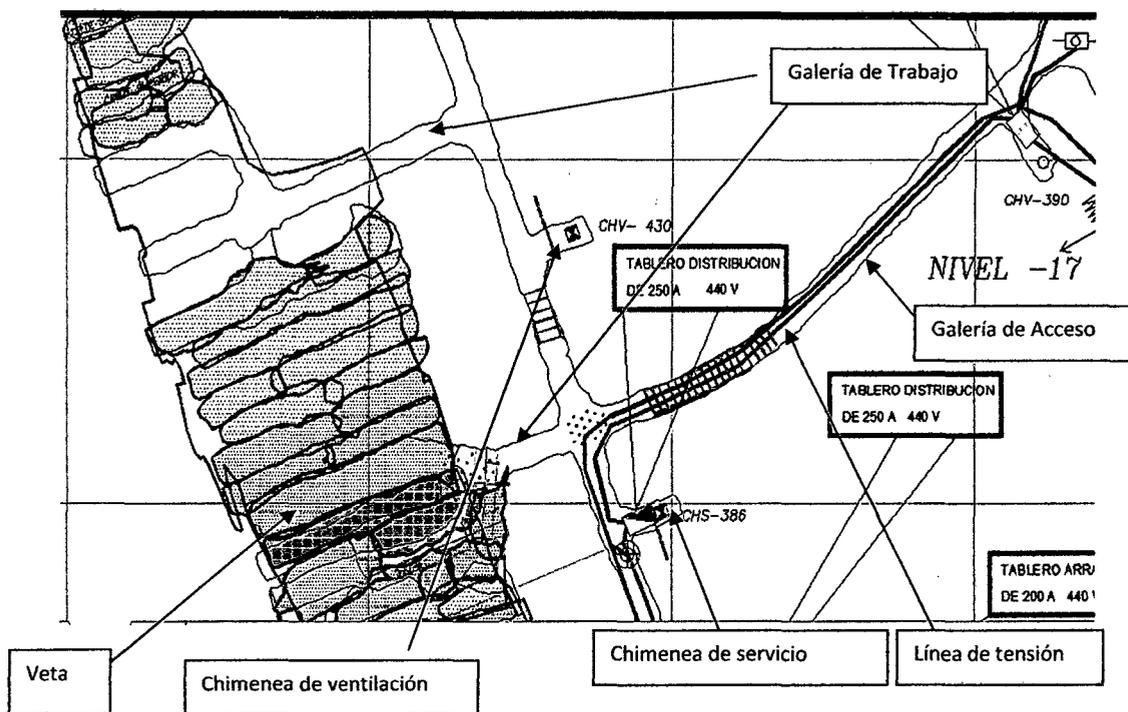


Figura N° 40 Detalles de ruta en niveles mina Limpe Centro

Fuente: Elaboración propia

**c. TIPOS DE CHIMENEAS:**

- Chimenea de Ventilación: Utilizadas para la impulsión de aire de ventilación.

Equipo Actual:

Ventilador de Tiro forzado

Potencia : 250 HP  
Caudal : 160,000 cfm  
Ubicación : Sobre el Nivel +7

- Chimenea de Extracción: Utilizadas para la extracción de gases contaminantes.

Equipo Actual:

Ventilador de Tiro inducido

Potencia : 250 HP  
Caudal : 160,000 cfm  
Ubicación : Sobre el Nivel +7

- Chimenea de Servicios: Utilizadas para el suministro de agua , aire comprimido y energía eléctrica.

Ubicación : Nivel 0

d. Ubicación de Chimeneas por niveles

Cuadro N° 3 Ubicación de Chimeneas por niveles

NIVEL	CHV	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHR																
7	830																							810
6	840																							810
5	840																							810
4	840																							810
3	840																							810
2	830																							810
1	830																							810
0	600								578															610
-1	598								578															610
-2	594								578															610
-3	594	554							578															610
-4		554							578															610
-5		554							578															590
-6		554							578															590
-7		554							578	502														590
-8		554							502	502								430	486	480	522			
-9		554							502	502								430	486	480	522			
-10		554							502	502								430	486					
-11		554							502	502								430	486					
-12		554			350				502	388								430	486					
-13		542	470	430	350					388								430						
-14			470	430	350					388						322	338							
-15			470	430	350					388						322	338							
-16			470	430	350					388						322	338							
-17			470	430	350					388	250					322	338							
-18					350						250													
-19					350						250	234												
-20					354						250	234												
-21					354						250	234				230	322							
-22					354	214					250		148			230								
-23					350	214					250		148	202	230									
-24						214	148	142					148	202	230									
-25							148	142			250		148	202										
-26							148	142				202	148	202										
-27								142				202	148	202										
-28								142					148	202										
-29								142					148	202										
-30								142					148	202										
-31								142					148	202										

Fuente : Elaboración Propia

### **3.2 METODO DE INVESTIGACION:**

#### **3.2.1 NIVELES CONSIDERADOS EN EL CÁLCULO:**

Se tendrá en cuenta los niveles de trabajo siguientes:

- Nivel 14 (Ver Plano de Nivel 14) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 15 (Ver Plano de Nivel 15)
- Nivel 16 (ver Plano de Nivel 16) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 17 (Ver Plano de Nivel 17)
- Nivel 18 (Ver Plano de Nivel 18 ) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 19 (Ver Plano de Nivel 19 )
- Nivel 20 (Ver Plano de Nivel 20) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 21 (Ver Plano de Nivel 21 ) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 22 (Ver Plano de Nivel 22 ) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 23 (Ver Plano de Nivel 23 )
- Nivel 24 (Ver Plano de Nivel 24 ) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 25 (Ver Plano de Nivel 25 )
- Nivel 26 (Ver Plano de Nivel 26 ) Grupo de Operación + Grupo de Mantenimiento
- Nivel 27 (Construcción) (Ver Plano de Nivel 27 )
- Nivel 28 (Construcción (Ver Plano de Nivel 28 )) Grupo de Construcción
- Nivel 29 (Construcción) (Ver Plano de Nivel 29 )
- Nivel 30 (Construcción (Ver Plano de Nivel 30 )) Grupo de Construcción

#### **3.2.2 CARACTERISTICAS GRUPOS DE TRABAJO:**

Los grupos de trabajo dentro de cada nivel toman en cuenta el factor de coincidencia de los grupos de tareas de operación, mantenimiento y supervisión. Con el criterio de máxima carga de ventilación requerida.

**Cuadro N° 4 Caracterización de la carga de ventilación por personas/nivel**

GRUPO DE OPERACION			
N°	MAQUINA	POTENCIA (HP)	PERSONAL
1	Scoop tram	160	2
2	Perforador Jumbo	100	1
3	Hormigonera	100	3
	<b>SUBTOTAL</b>		
GRUPO DE MANTENIMIENTO Y SUPERVISION			
N°	EQUIPO		
1	1 Electricista + 1 Mecánico + 1 Supervisor + 1 Jefe de Mina		4
	<b>TOTAL 10 personas con un factor de simultaneidad de 0.5</b>		

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 CONDICIONES DE VENTILACION NATURAL:

La ventilación natural en la mina Limpe Centro está referida a la determinación del caudal de aire circulante que de manera natural ingresa al interior de la mina.

En una mina que cuente con niveles verticales y galerías horizontales siempre existirá una diferencia de temperatura entre el aire superficial y del interior, en épocas de verano el aire en las chimeneas ( en este caso de servicio) se encuentra a menor temperatura que en la superficie y por lo tanto ejerce presión sobre el aire de la galería obligando a que el flujo ingrese por las chimeneas de servicio y fluya a través de las galerías de cada nivel.

Esto se evalúa en función a la ecuación de continuidad. El volumen de aire que viaja por las galerías , chimeneas está dado por la velocidad con la cual el aire se infiltra por la chimenea , pero de manera efectiva en las galerías de los niveles a través de la siguiente ecuación :

$$Q_{natural} = A * v \dots \dots \dots (15)$$

Donde :

A = Área transversal de cada galería de nivel.

V = velocidad con el cual fluye el aire.

Para nuestro caso

Se tiene los siguientes valores de velocidad de infiltración de aire evaluadas en los diferentes niveles de la Unidad Minera:

Cuadro N° 5 Temperaturas promedio de infiltración de aire en chimenea de servicio

VALOR	Velocidad aire (m/sg)	% Humedad	O2 (%)	CO ppm	CO2 (%)	Temperatura (°C)
1	3.5	84	19.2	27	0	20
2	3.6	81	18.9	27	0	18
3	3.5	83	19.3	29	0	17
4	3.5	80	19.2	28	0	18
5	3.6	81	19.2	28	0	18
6	3.4	83	19.1	27	0	18
7	3.5	81	19	28	0	18
8	3.6	81	19	28	0	17
Promedio	3.5	81.8	19.1	27.8	0.0	18.0

Fuente : Elaboración Propia

### 3.2.4 CONDICIONES DE VENTILACION MECANICA O FORZADA:

La Mina cuenta con 02 Ventiladores uno de tiro forzado para el suministro de aire fresco y otro de tiro inducido para la extracción de los gases, polvo, etc.

El Sistema de ventilación actual es deficiente para el sistema de trabajo y expansión que se realiza, estaba planificado para los trabajos en mina cuando se operaba hasta un máximo de 7 niveles, las necesidades de extracción se han incrementado por la presencia de vetas de minerales encontradas y por la creciente demanda de zinc y cobre en el mercado internacional. Encontrándose 4 niveles en proceso de construcción (Nivel -27, -28,-29 y -30) para lo cual urge la necesidad de replantear las características del sistema de ventilación actual, tal que permita el cumplimiento de lo dispuesto en el D.S N° 055-2010 EM.

### 3.2.5 METODOLOGIA DE CÁLCULO:

- a. Se realiza un diagnostico referente a la carga de ventilación actual en la mina teniendo en cuenta los porcentajes de aportación de la ventilación natural y forzada o mecánica.
- b. Se determinan los caudales necesario por niveles y la carga máxima de ventilación, para lo cual se tiene en cuenta los requerimientos de carga de ventilación planteados en el D.S N° 055-2010 EM, en lo referente a :

CAUDAL REQUERIDO POR EL NUMERO DE PERSONAS.

CAUDAL REQUERIDO POR GRADIENTE DE TEMPERATURAS

CAUDAL REQUERIDO POR MOTORES DIESEL

CAUDAL REQUERIDO POR EXPLOSIVOS

- c.** Seguidamente se determina por simultaneidad el Caudal máximo requerido por las labores que se desarrollan en la Mina.

Para la suma de caudales solo consideraremos los caudal requerido por personal y por uso de equipos diesel, ya que el momento más crítico de las labores es el de carguío y retiro de mineral, ya que cuando se ventila el túnel producto de la tronadura no se realiza ninguna labor dentro del túnel.
- d.** Se determina la caída de presión en las galerías de los niveles (10) de trabajo y construcción, para la estimación de la presión estática del ventilador.
- e.** Se determina la potencia del ventilador, y se dimensiona las características del ventilador de impulsión y extracción de aire que abastezca los nuevos requerimientos de ventilación.
- f.** Se estable las características del nuevo se sistema de ventilación mixta con las nuevas proporciones de ventilación natural y ventilación forzada.

**CAPITULO IV:**  
**CALCULOS**  
**Y**  
**DISCUSION DE RESULTADOS**

#### 4.1 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE VENTILACION ANTES DE LA IMPLEMENTACION

##### a. VENTILACION REQUERIDA:

Se cuenta inicialmente con 7 niveles de trabajo con un requerimiento de 10 m<sup>3</sup>/sg por nivel.

Factor de conversión de 1 m<sup>3</sup>/sg = 2118.88 CFM

$$\text{Caudal necesario} = 7 * 11 = 77 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$\text{Caudal necesario} = 77 * 2118.88 = 163,153.7 \text{ CFM}$$

##### b. VENTILACION FORZADA:

Se cuenta con un ventilador de tiro forzado el cual suministra aire fresco al ambiente, con las siguientes características:

Caudal del ventilador: 160,000 CFM (75.51 m<sup>3</sup>/sg)

Presión estática 2.3 kPa (0.23 m.c.a)

Eficiencia del motor eléctrico: 90 %

Eficiencia mecánica del ventilador: 80 %

Utilizando la ecuación N° 14 se verifica la Potencia del Ventilador:

$$\text{Potencia(KW)} = \frac{Q \text{ real} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{sg}} \right) * 2,300(\text{Pa})}{0.9 * 0.8 * 1000} = 186.25 \text{ KW} = 250 \text{ HP}$$

El ventilador trabaja suministrando realmente:

$$Q \text{ real forzado} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{sg}} \right) = 67.25 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}} = 142,500 \text{ CFM}$$

**c. VENTILACION NATURAL:**

La velocidad del aire que se infiltra por las chimeneas de servicio es función de la velocidad (ver Cuadro N° 4 , velocidad promedio es 2.5 m/sg) , y el área de la chimenea de servicios es de 2.5 x 2.5 m y la ecuación N° 15

$$Q_{natural} = (2.5 * 2.5)m^2 * 3.5 \frac{m}{sg} = 21.825 \frac{m^3}{sg} = 46,350.5 CFM$$

**d. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE VENTILACION:**

Situación del Estado de Ventilación:

$$Caudal Total = Q_{natural real} + Q_{real forzado}$$

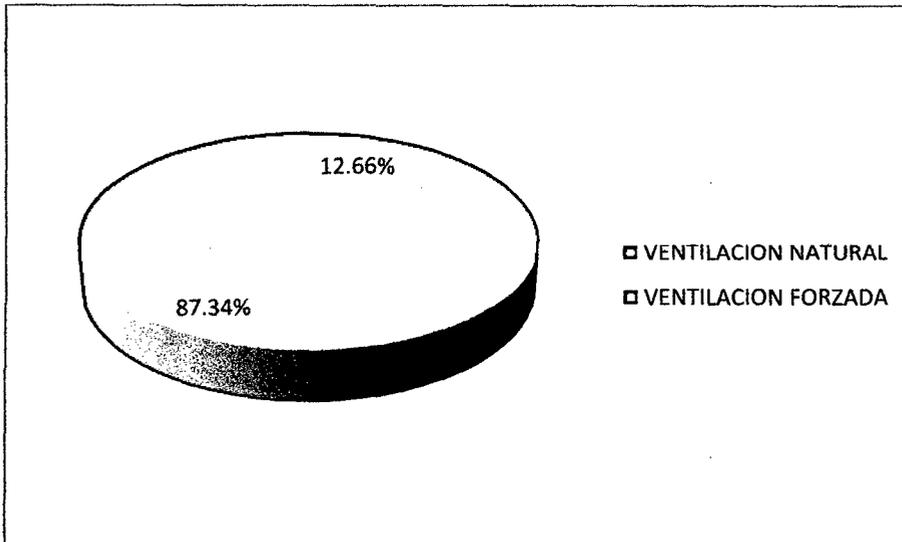
$$77 = Q_{natural real} + 67.25 = 9.75 \frac{m^3}{sg} = 19,599.6 CFM$$

$$Q_{natural real reserva} = 21.825 - 9.75 = 12.075 \frac{m^3}{sg} = 25,585.6 CFM$$

$$Reserva de Ventilacion = \frac{12.075}{77} * 100 \% = 15.68 \%$$

La contribución de los tipos de ventilación al servicio actual es el siguiente:

Grafico N° 1 Porcentaje de Distribución del Tipo de Ventilación con 7 Niveles



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.2 CALCULO DEL CAUDAL REQUERIDO POR NIVELES:**

##### **4.2.1 CALCULO DE CAUDAL DEL NIVEL 21**

###### **a. CONSIDERACIONES TECNICAS**

Según el ítem 3.2.1 tenemos 8 frentes de operación (extracción de minerales : Niveles 14,16,18,20,21,22,24 y 26 ) y 2 frente de trabajo en proceso de habilitación de las galerías de los niveles para (Nivel 28 y 30) , además en el Nivel 21 se ubica el Comedor con un máximo de 100 comensales entre las 12.00 a 13.00 horas , hora en donde se realiza la máxima demanda de carga de ventilación.

El cálculo de la carga térmica se realiza tomando como ejemplo el Nivel 21 , mientras que el procedimiento para el resto de niveles es distinto según las características de la carga de ventilación.

Para la Altitud del nivel 21 que es de 4,285 m.s.n.m y una temperatura de 20°C el factor de corrección es 0.6089 ( Ver cuadro N° dentro de las galerías de la Mina , debido a paro lo cual la densidad del aire varia teniendo en cuenta los valores del Cuadro N° 6

Cuadro N° 6 Factor de corrección por altitud y temperatura

**FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTITUD Y TEMPERATURA**

Temp msnm	Std	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	
2600 m	0.774	0.785	0.758	0.732	0.708	0.685	0.664	0.644	0.625	8530.18 pies
2700 m	0.768	0.774	0.747	0.721	0.698	0.675	0.655	0.635	0.616	8858.27 pies
2800 m	0.760	0.763	0.736	0.711	0.688	0.666	0.645	0.626	0.608	9186.35 pies
2900 m	0.750	0.753	0.726	0.702	0.678	0.657	0.637	0.617	0.600	9514.44 pies
3000 m	0.740	0.743	0.716	0.692	0.669	0.648	0.628	0.609	0.592	9842.52 pies
3100 m	0.734	0.734	0.708	0.684	0.661	0.640	0.620	0.602	0.584	10170.60 pies
3200 m	0.728	0.726	0.701	0.677	0.655	0.634	0.614	0.596	0.578	10498.69 pies
3300 m	0.721	0.719	0.694	0.670	0.648	0.627	0.608	0.590	0.573	10826.77 pies
3400 m	0.713	0.712	0.687	0.663	0.642	0.621	0.602	0.584	0.567	11154.86 pies
3500 m	0.705	0.705	0.680	0.657	0.635	0.615	0.596	0.578	0.561	11482.94 pies
3600 m	0.697	0.698	0.673	0.650	0.629	0.609	0.590	0.572	0.556	11811.02 pies
3700 m	0.689	0.691	0.667	0.644	0.623	0.603	0.584	0.567	0.550	12139.11 pies
3800 m	0.682	0.685	0.660	0.638	0.617	0.597	0.579	0.561	0.545	12467.19 pies
3900 m	0.676	0.678	0.654	0.632	0.611	0.592	0.573	0.556	0.540	12795.28 pies
4000 m	0.670	0.672	0.648	0.626	0.605	0.586	0.568	0.551	0.535	13123.36 pies
4100 m	0.662	0.665	0.642	0.620	0.600	0.581	0.563	0.546	0.530	13451.44 pies
4200 m	0.654	0.659	0.636	0.614	0.594	0.575	0.557	0.541	0.525	13779.53 pies
	Std	32 °F	50 °F	68 °F	86 °F	104 °F	122 °F	140 °F	158 °F	Temp. msnm

Fuente: OMS

**b. CAUDAL REQUERIDO POR EL NÚMERO DE PERSONAS**

Teniendo en cuenta Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010 que para alturas mayores de 4,000 m.s.n.m el caudal requerido mínimo por persona es 6 m<sup>3</sup>/min y que el número de personas es 100 tenemos:

$$Q_1 = 6 * 100 \left( \frac{m^3}{min} \right) = 600 \frac{m^3}{min} = 10 \frac{m^3}{sg}$$

Se tiene una equivalencia de : 1 m<sup>3</sup>/sg = 2, 118.88 CFM, tenemos:

$$Q_1 = 10 * 2,118.88 = 21,188.8 CFM$$

**c. CAUDAL REQUERIDO POR EQUIPOS POR TEMPERATURA**

Del Cuadro N° 2 tenemos que para una temperatura de 24-30 °C se requiere una velocidad mínima de 30 m/min.

El Área del túnel según el ítem 3.1.3-b es de:

$$\text{Area del tunel} = 4 * 5 = 20 \text{ m}^2$$

El valor del caudal requerido por equipos por temperatura es :

$$Q2 = \text{Area del Tunel} * \text{Velocidad minima}$$

$$Q2 = 20 * 30 = 600 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

Se tiene una equivalencia de :  $1 \text{ m}^3/\text{sg} = 2,118.88 \text{ CFM}$ , tenemos:

$$Q2 = 10 * 2,118.88 = 21,188.8 \text{ CFM}$$

**d. CAUDAL REQUERIDO POR EQUIPOS DIESEL**

De los datos iniciales del Cuadro N° 4 tenemos 3 Motores que suman una potencia de 360 HP . y tomando un factor de simultaneidad de 0.5. El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM, exige para el uso de equipo diesel, la cantidad de aire circulante no será menor de  $3 \text{ m}^3/\text{minuto}$  por cada HP que desarrollen los equipos.

Total en HP =  $360 * 0.5 = 180 \text{ HP}$

$$Q3 \text{ equipo diesel} = 180 * 3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = 540 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 9 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

Además la Flota de carros de la Empresa es :

2 Camionetas de 40 HP

2 Transporte de personal 60 HP

4 Volquetes de 120 HP

Aplicando un factor de simultaneidad de 40 % debido a que constantemente están en movimiento se tiene una Potencia de:

Total Flota HP =  $(80+120+480)*0.4= 272 \text{ HP}$

$$Q3 \text{ flota} = 272 * 3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = 816 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 13.6 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

Finalmente se tiene un valor total de:

$$Q3 = (9 + 13.6) * 2,118.88 = 47,886.7 \text{ CFM}$$

**e. CAUDAL REQUERIDO POR EXPLOSIVOS:**

De la ecuación N° 5 y teniendo en cuenta Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010, que indica que cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto.

En este caso consideraremos  $n = 1$ , la velocidad  $25 \text{ m}^3/\text{min}$  y el área que ya fue calculada  $20 \text{ m}^2$ , reemplazando tenemos:

$$Q4 = 1 * 25 * 20 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 8.33 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q4 = 8.33 * 2,118.88 = 18,240.7 \text{ CFM}$$

**f. TOTAL DE CAUDAL REQUERIDO NIVEL 21**

Finalmente tenemos el caudal requerido para el Nivel 21 el cual estará tan solo en función de la carga por personas y la carga por motores diesel. Ya que la carga por explosión se realiza en las mañanas y es inferior a la suma de las cargas por personas y motores diesel, así como la carga por temperatura.

$$Q \text{ nivel 21} = 21,188.8 + 47,886.7$$

$$Q \text{ nivel 21} = 69,075.5 \text{ CFM}$$

**4.2.2 CAUDAL REQUERIDO EN NIVELES 14, 16, 18, 20,22 ,24 , 26, 28 y 30**

**a. CAUDAL REQUERIDO POR EL NÚMERO DE PERSONAS**

Teniendo en cuenta Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010 que para alturas mayores de 4000 m.s.n.m el caudal requerido mínimo por persona es  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  y según el Cuadro N° 4 se cuenta con 6 operarios al 100 % de su tiempo y 4 personas

(jefe , supervisor, mecánico y electricista) al 50 % de su tiempo , con lo cual el número de personas es 100 tenemos:

$$Q1 = 6 * 8 \left( \frac{m^3}{min} \right) = 48 \frac{m^3}{min} = 0.8 \frac{m^3}{sg}$$

Se tiene una equivalencia de :  $1 \text{ m}^3/\text{sg} = 2, 118.88 \text{ CFM}$ , tenemos:

$$Q1 = 0.8 * 2,118.88 = 1,695.1 \text{ CFM}$$

**b. CAUDAL REQUERIDO POR EQUIPOS POR TEMPERATURA**

Del Cuadro N° 2 tenemos que para una temperatura de 24-30 °C se requiere una velocidad mínima de 30 m/min.

El Área del túnel según el ítem 3.1.3-b es de:

$$\text{Area del tunel} = 4 * 5 = 20 \text{ m}^2$$

El valor del caudal requerido por equipos por temperatura es :

$$Q2 = \text{Area del Tunel} * \text{Velocidad minima}$$

$$Q2 = 20 * 30 = 600 \frac{m^3}{min} = 10 \frac{m^3}{sg}$$

Se tiene una equivalencia de :  $1 \text{ m}^3/\text{sg} = 2, 118.88 \text{ CFM}$ , tenemos:

$$Q2 = 10 * 2,118.88 = 21,188.8 \text{ CFM}$$

**d. CAUDAL REQUERIDO POR EQUIPOS DIESEL**

De los datos iniciales del Cuadro N° 4 tenemos 3 Motores que suman una potencia de 360 HP . y tomando un factor de simultaneidad de 0.5. El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM, exige para el uso de equipo diesel, la cantidad de aire circulante no será menor de  $3 \text{ m}^3/\text{minuto}$  por cada HP que desarrollen los equipos.

Total en HP = 360\*0.5 = 180 HP

$$Q_3 \text{ equipo diesel} = 180 * 3 \left( \frac{m^3}{min} \right) = 540 \frac{m^3}{min} = 9 \frac{m^3}{sg}$$

Finalmente se tiene un valor total de:

$$Q_3 = 9 * 2,118.88 = 19,069.9 \text{ CFM}$$

**e. CAUDAL REQUERIDO POR EXPLOSIVOS:**

De la ecuación N° 5 y teniendo en cuenta Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010, que indica que cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto.

En este caso consideraremos  $n = 1$ , la velocidad  $25 \text{ m}^3/\text{min}$  y el área que ya fue calculada  $20 \text{ m}^2$ , reemplazando tenemos:

$$Q_4 = 1 * 25 * 20 \left( \frac{m^3}{min} \right) = 500 \frac{m^3}{min} = 8.33 \frac{m^3}{seg}$$

$$Q_4 = 8.33 * 2,118.88 = 18,240.7 \text{ CFM}$$

**f. TOTAL DE CAUDAL REQUERIDO POR NIVEL**

Finalmente tenemos el caudal requerido para cada nivel es igual a la suma de los caudales en los cuales se necesite renovación de aire constante:

Caudal requerido por el número de personas.

Caudal requerido por equipos diesel

$$Q \text{ nivel } i = 1,695.1 + 19,069.9$$

$$Q \text{ nivel } i = 20,765 \text{ CFM}$$

**g. CAUDAL TOTAL REQUERIDO EN MINA:**

Para la determinación del caudal total requerido en la mina se debe realizar una sumatoria de los caudales por nivel y así mismo agregar los siguientes caudales:

Caudal requerido por equipo diesel flota (calculado en el ítem 4.1.2) igual a

$$13.6 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 28,816.8 \text{ CFM}$$

Caudal requerido por personal en el Nivel 22, según el siguiente calculo:

Personal laborando adicional en Nivel 22:

Jefatura y Supervisión:	05
Almacén y abastos:	03
Mantenimiento:	10
Servicios Auxiliares:	12
TOTAL:	30

Teniendo en cuenta Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010 que para alturas mayores de 4000 m.s.n.m el caudal requerido mínimo por persona es 6 m<sup>3</sup>/min.

Tenemos el siguiente calculo :

$$Q_1 = 6 * 30 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = 240 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

Se tiene una equivalencia de : 1 m<sup>3</sup>/sg = 2, 118.88 CFM, tenemos:

$$Q_1 = 0.8 * 2,118.88 = 12,713.3 \text{ CFM}$$

El caudal total requerido en la mina es igual a :

$$Q = (10 * 20,765 ) + 28,816.8 + 12,713.3 = 249,180.1 \text{ CFM} = 117.6 \text{ m}^3/\text{sg}$$

#### 4.2.3 RESUMEN DE CAUDALES TOTALES REQUERIDOS:

Se tiene que la carga de ventilación en instante de labores (4.13) es mayor a la cargas de ventilación en reposo (4.1.2), por lo tanto se presenta el siguiente cuadro resumen de las cargas intervinientes:

Cuadro N° 7 Cargas Totales de Ventilación por Niveles

		Q1 CFM	Q2 CFM	Q3 CFM	Q4 CFM	Q flota CFM	Q ad.(22) CFM	
NIVEL	14	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	16	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	18	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	20	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	21	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	22	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7	28816.8	12713.3	
NIVEL	24	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	26	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	28	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
NIVEL	30	1695.1	21188.8	19069.9	18240.7			
		16951.0		190699.0		28816.8	12713.3	
<b>TOTAL CARGA DE VENTILACION</b>								<b>249180.1</b>

Fuente : Elaboración propia

#### 4.3 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE PRESION EN MANGAS DE VENTILACION:

##### a. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO:

Se determina la configuración del Nivel según el Plano correspondiente, ubicando:

Longitud de manga

Accesorios o cambios de dirección de la manga.

Para las pérdidas equivalentes de carga se hace uso del Anexo 2.(Tabla de pérdidas de carga en sistemas de ventilación)

##### b. CALCULO DEL NIVEL -14:

Según Plano del Nivel -14 se tiene las siguientes características:

- ✓ Cuenta con 3 mangas de ventilación.
- ✓ Longitud total : 298 metros
- ✓ Curva obtusa redonda : 06 (6\*0.5 = 3 pies = 0.91 metros)
- ✓ Entrada : 03 ( 3\*3 = 9 pies =2.7 metros)
- ✓ Descarga : 03 ( 3\* 65 = 195 pies = 59.4 metros )
- ✓ Longitud equivalente total:

*Longitud equivalente total = 298 + 0.91 + 2.7 + 59.4 = 361.01 metros*

- ✓ Caudal Nivel 14 : 20,765 CFM = 9.8 m<sup>3</sup>/sg

- ✓ La ductería flexible a utilizar tiene las siguientes características:

Poliéster revestido con PVC Son 100 % Selladas por Alta Frecuencia con ancho de 6 cm. cumpliendo con el Factor de Seguridad 5 (ver Anexo) y Normas Internacionales de Ductos Flexibles de Ventilación para Minería y Tunelería.

El material con el cual es fabricado estos ductos de ventilación para minería subterránea y tunelera, cumple con las normas NFPA 70 y CPAI 84 de la MSHA de E.U.A. y la MSHA de Canadá.

Se fabricaran en tramos de 25 metros cada uno y el sistema de acople es tipo ZIP JOINT (UNION CIERRE CREMALLERA) con Faja de Ajuste . Adicionalmente se entrega una faja del mismo material que es colocada exteriormente en la zona acoplada de la MANGA para un ajuste extra del acople (por presión de la faja con el ducto), el fabricante nos proporciona que su factor de fugas por cada 100m es de 1%.(F=1 )

- ✓ Aplicando la ecuación N° 11

$$Q_{FINAL\ NIVEL-14} = 9.8 * \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{\frac{361.01}{100}} = 10.16\ m^3/sg$$

La velocidad recomendada dentro de la manga varía entre 12.5 m/s y 30 m/s, para nuestro cálculo de acuerdo a la experiencia en ventilación consideraremos una velocidad promedio dentro de la manga o ducto de  $v=12.5$  m/s.(con la finalidad de obtener una circulación lenta y aprovechable.

Entonces el diámetro de la manga la calcularemos con la siguiente formula modificada de la ecuación de continuidad:

$$d = 2 * \sqrt{\frac{Q_{FINAL NIVEL-14}}{v * \pi}}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{10.16}{15 * \pi}} = 1.01 \text{ m} = 1 \text{ metro de diámetro}$$

**Cuadro N° 8 RESUMEN DE PERDIDAS DE CARGA Y CAUDALES REQUERIDOS**

NIVEL	Longitud (metros)	ACCESORIOS						Longitud Eq (metros)	Q final (m3/sg)	Diametro (m)	
		Entrada		Salida		Curva obtusa redonda					
		Cantidad	(metros)	Cantidad	(metros)	Cantidad	(metros)				
-14	298	3	2.7	3	59.4	6	0.91	361.0	10.16	1.0	
-16	270	3	2.7	3	59.4	6	0.91	333.0	10.13	1.0	
-18	270	1	0.9	1	19.8	3	0.45	291.1	10.09	1.0	
-20	260	1	0.9	1	19.8	3	0.45	281.1	10.08	1.0	
-21	360	2	1.8	2	39.6	4	0.61	402.0	10.20	1.0	
-22	360	2	1.8	2	39.6	4	0.61	402.0	15.31	1.2	
-24	210	3	2.7	3	59.4	6	0.91	273.0	10.07	1.0	
-26	300	2	1.8	2	39.6	4	0.61	342.0	10.14	1.0	
-28	200	1	0.9	1	19.8	3	0.45	221.1	10.02	1.0	
-30	200	1	0.9	1	19.8	3	0.45	221.1	10.02	1.0	
									Q final	121.54	

Para el Nivel N° -22 se está considerando doble ducto.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 DETERMINACION DE LA PRESION REQUERIDA Y TIPO DE VENTILACION.

Se toma como base de cálculo el Nivel -14.

##### a. PERDIDAS POR FRICCION:

Aplicando la ecuación N° 6 se tiene el siguiente cálculo:

El factor de fricción K de la ductería, proporcionado por el fabricante es  $2 \times 10^{-6}$ .

El valor del perímetro C de la manga de ventilación es para un diámetro de 1 metro:

$$C = \pi * 1 = 3.14 \text{ metros}$$

Longitud del túnel (Ver Plano Nivel -14 ) 360 metros.

El valor de la velocidad es 12.5 m/sg.

El Área del ducto es :

$$Area (A) = \frac{\pi * 1^2}{4} = 0.786 \text{ m}^2$$

La caída de presión por fricción es :

$$\Delta P(m) = \frac{1 * 10^{-6} * 3.14 * 360 * 12.5^2}{0.786 * 9.81} = 0.0238 \text{ m. c. a}$$

Se sugiere incrementar un margen del 5 % a la entrada y 5 % a la salida. Por lo tanto:

$$\Delta P(m) = 0.0238 + (0.05 * 0.0238) + (0.05 * 0.0238) = 0.025 \text{ m. c. a}$$

##### b. PÉRDIDAS SINGULARES:

Se hace uso de la Tabla de Anexo (Coeficiente de Perdidas de carga en codos)

Tomando el valor del más pronunciado  $R/D = 1.25$  y por tanto la perdida  $\zeta = 0.55$ .

Para el valor de la densidad del aire se toma en cuenta el valor de  $1.2 \text{ kg/m}^3$

Se determinan las pérdidas singulares con la ecuación N° 8:

$$\Delta P_{sing} = 0.55 * \frac{1.2 * 12.5^2}{2 * 9.81} = 8.07 Pa = 0.00008 m. c. a$$

**c. PÉRDIDAS POR PRESION DINAMICA:**

Según la siguiente ecuación N° 10:

$$\Delta P_{din} = \frac{1.2 * 12.5^2}{2} = 93.75 Pa = 0.0009 m. c. a$$

**d. CALCULO DE LA PERDIDA DE PRESION TOTAL EN EL NIVEL -14**

$$\Delta P = 0.025 + 0.00008 + 0.0009 = 0.025 m. c. a = 245.0 Pa$$

**e. CAIDA DE PRESION TOTAL EN LOS NIVELES DE TRABAJO.**

Se tiene el siguiente cuadro resumen de las pérdidas de presión en los Niveles analizados:

**Cuadro N°9 Resumen de pérdidas de presión en Mina Limpe Centro**

	Longitud (metros)	Perdidas por fricción m.c.a	Perdidas singulares m.c.a	Perdidas dinamicas m.c.a
NIVEL	298	0.025	8.08E-05	0.0009
-14	270	0.019	6.00E-05	0.0007
-16	270	0.019	6.00E-05	0.0007
-18	260	0.018	5.78E-05	0.0007
-20	360	0.025	8.00E-05	0.0009
-21	360	0.025	8.00E-05	0.0009
-22	360	0.025	8.00E-05	0.0009
-24	300	0.021	6.67E-05	0.0008
-26	200	0.014	4.44E-05	0.0005
-28	200	0.014	4.44E-05	0.0005
-30	200	0.014	4.44E-05	0.0005
SUBTOTAL		0.2181	6.99E-04	0.0079
TOTAL(m.c.a)			2.27E-01	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR.

Aplicando la ecuación N° 14 para la determinación de la Potencia del Ventilador, con los siguientes datos :

Caudal : 121.54 m<sup>3</sup>/sg

Se tiene un caudal natural disponible de 21.875 m<sup>3</sup>/sg

El Caudal que debe suministrar el ventilador es de : 121.54-21.875 = 99.665 m<sup>3</sup>/sg

Presión Total : 0.227 m.c.a = 2225 Pa

Eficiencia del Motor Eléctrico : 0.9

Eficiencia del ventilador : 0.8

$$Potencia(KW) = \frac{99.665 \left(\frac{m^3}{sg}\right) * 2225(Pa)}{0.8 * 0.9 * 1000} = 307.9 KW = 413 HP$$

Incremento de la Potencia de Ventiladores = 413 – 250 = 163 HP

$$\% \text{ Incremento de la Potencia de Ventiladores} = \frac{163}{250} * 100 \% = 65.2\%$$

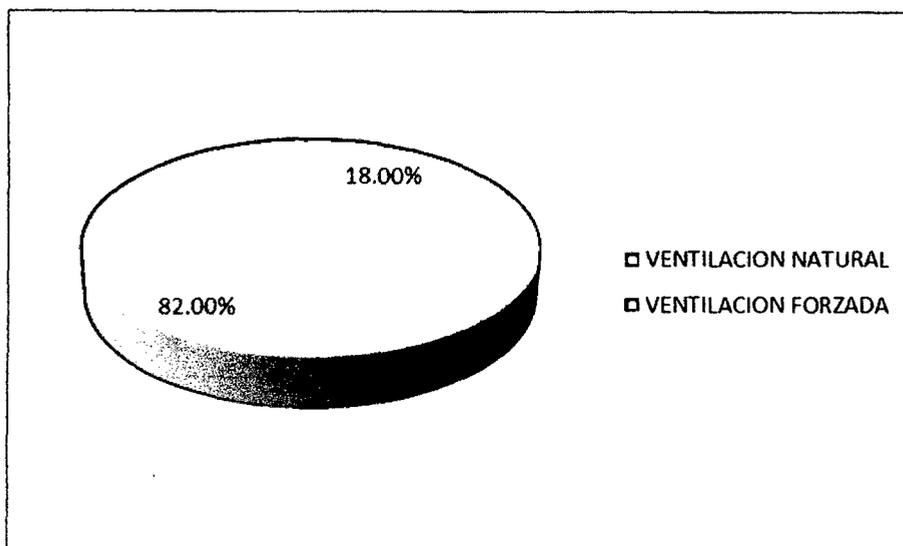
#### 4.5 DISTRIBUCION DE LA CARGA DE VENTILACION:

Se tiene la nueva distribución porcentual de aportes de la ventilación natural y ventilación mecánica o forzada a la ventilación mixta:

Ventilación Natural: 21.875 m<sup>3</sup>/sg

Ventilación Forzada: 99.665 m<sup>3</sup>/sg

Grafico N° 2 Porcentaje de Distribución del Tipo de Ventilación con 10 Niveles



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.6 DISCUSION DE RESULTADOS.

Con relación a los antecedentes se tiene la siguiente discusión de resultados:

- a. Con referencia a la Tesis de Agüero Zarate nuestro informe se planteó un análisis total a una unidad minera, a diferencia del mencionado, en la cual se ha realizado para un solo nivel dentro de una mina subterránea elaborando un trabajo con ventilación mixta y trabajando con una velocidad de  $6 \text{ m}^3/\text{sg}$ , se tiene una ventilación mixta con un 22% con ventilación natural, mientras que el 78 % es por aporte de ventilación forzada. Para nuestro caso, el trabajo se ha realizado para una mina subterránea con 10 niveles en operación, en el cual la velocidad con el cual fluye el aire por la chimenea e servicio es de  $3.5 \text{ m}/\text{sg}$ , con lo cual se logró tener un aporte de 18.0 % de ventilación natural y 82 % de ventilación forzada.
  
- b. En el informe de tesis de Gutiérrez Aravena se planteó un trabajo de minería subterránea para instalaciones con ubicación a más de 4,000 m,s.n.m alcanzando un factor de  $16,53 \text{ kWh-año}/\text{cfm}$ , a través de un proceso de aire

recirculado ,con un porcentaje de ventilación natural. Para nuestro caso se obtuvo un valor de 12.77 kWh-año/cfm (en función a 99.668 m<sup>3</sup>/sg y una Potencia de 307.9 KW para el motor del ventilador), con la diferencia de que el sistema de ventilación mixta del tipo descendente y expulsión ascendente, no tiene en cuenta la recirculación del aire ya utilizada, más bien utiliza un sistema mixto de ventilación natural y ventilación forzada, con lo cual se ha obtenido un mejor indicador Potencia /Caudal de aire suministrado por el ventilador.

- c. La presente tesis se complementa con lo planteado por Mena Salas en su informe de tesis , en la cual plantea el uso adecuado de las chimeneas y su disposición los niveles y galerías que posea la unidad minera. Mientras que en nuestro presente informe referente a la Mina Limpe Centro, se plantea un adecuado uso de la chimenea de servicios para poder la usar como punto de suministro del aire fresco de la ventilación natural, con el cual se da utilidad y valor agregado a cada instalación de la mina. Así mismo tal como concluye el tesista Mena Salas , se ha determinado la carga de ventilación a función a dos componentes muy importantes , como son la carga de ventilación por número de personas trabajando y la carga de ventilación por motores diesel.
- d. La presente tesis toma como base académica la normativa vigente en el Sector Minero , en este caso el D. S N° 055-2010 , en donde se plantean las condiciones de trabajo en una mina , de la misma manera Quevedo Chaname también planteo el uso de la normativa para el desarrollo de su tesis , la cual en si se ha desarrollado para una sola galería ha utilizado lo dispuesto por la normatividad., complementando nuestro trabajo de tesis en la ejecución de una tesis con 31 niveles , aplicando los contenidos dispuestos en la ley para un adecuado desempeño laboral del trabajador.
- e. A diferencia de la Tesis de Cesar Sánchez Domínguez en la cual se optimizo el consumo de energía en el sistema de ventilación sin incrementar la producción obtenido significativos ahorros económicos , para nuestro caso se optó por

incrementar la capacidad productiva de la mina la cual creció de 7 niveles a 10 niveles de trabajo. Queda como trabajo pendiente la optimización del dimensionamiento de las instalaciones planteadas en la presente tesis.

**CONCLUSIONES**  
**Y**  
**RESULTADOS**

## CONCLUSIONES

1. Inicialmente Mina Limpe Centro trabaja con un máximo de 7 niveles de producción de un total de 31 niveles , utilizando para ello un sistema de ventilación mixta con 2 ventiladores de 250 HP cada uno de ellos (uno impelente y el otro extractor , con un suministro de 142,500 CFM de aire a través de un sistema de ventilación forzada y 19.59 CFM como ventilación natural a través de una chimenea de servicio , los porcentajes de participación de cada tipo de ventilación es de 87.34% y 12.66 % respectivamente.
2. Se ha planteado la caracterización de la carga de ventilación de Mina Limpe Centro al ampliarse las actividades hasta 10 niveles ( entre los niveles -14 a -31) , determinándose que la máxima carga de ventilación se consigue durante las horas de faena ,donde la carga por número de personas , la carga por motores diesel , más una carga adicional por flota diesel y por personal de planta en el nivel 22 , con un valor de  $117.6 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$  o 249,180.1 CFM .
3. Los parámetros que permiten un adecuado dimensionamiento del sistema de ventilación mixta son el Caudal total de aire y la presión estática , los cuales son : Para el caudal final se tiene un valor de  $121.54 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$  , el cual fluye a través de una manga de ventilación de 1 metro de diámetro un caudal de  $99.665 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$  a una velocidad de 12.5 m/sg cuando la ventilación es forzada , y un caudal de  $21.875 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$  a una velocidad de 3.5 m/sg a través de la chimenea de servicio cuando la ventilación es natural; así mismo la presión total que necesita el ventilador para suministrar el aire a las galerías de los niveles es de 0.227 m.c.a o 2,225 Pascales.
4. Se necesita ampliar la capacidad de aire de ventilación forzada, para lo cual es necesario instalar dos motores eléctricos de 400 (413 HP) es reemplazo de los electro ventiladores de 250 HP , con un incremento de la capacidad en 65.2 % . Así mismo existe una influencia del tipo de ventilación en la configuración de un sistema de

ventilación mixta , la cual en proporción es de la siguiente manera : ventilación forzada 82 % y ventilación natural 18 % , para esto se ha tenido en consideración lo normado por el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera D.S N° 055-2010 EM.

## RECOMENDACIONES

1. Con referencia al informe de Tesis, queda pendiente la posibilidad de plantear la construcción de una chimenea para el suministro de aire fresco mediante ventilación natural, y a través de esto mejorar la ventilación mixta.
2. Sería recomendable la elaboración de un software para aquellos casos en los cuales la tesis para la complejidad de sus instalaciones lo requiera, esto permitiría optimizar los procesos y cálculos de mejora de instalaciones.
3. Se recomienda una inspección periódica del impulsor del ventilador, por cualquier desgaste, erosión o corrosión, ya que cualquiera de estos, puede causar fallas catastróficas al ventilador. Verifique también la acumulación de materiales, lo que puede causar un desbalanceo que resulte en vibración, desgaste del rodamiento y serios riesgos de seguridad.
4. Al momento de instalar la ductería esta debe ser lo más recto posible, evitando tanto curvaturas como desniveles muy bruscos, lo que origina que la presión estática de la manga de ventilación incrementa las pérdidas de fricción con el consiguiente pérdidas de carga y aumento de la presión estática y la potencia del ventilador.
5. La instalaciones de variadores de frecuencia permiten un adecuado control y regulación del caudal suministrado por el ventilador, con lo cual se asegura una adecuada operación del sistema de ventilación.

**REFERENCIAS  
BIBLIOGRAFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### TEXTOS

- BERMÚDEZ, Vicente. TECNOLOGIA ENERGETICA. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. España. 2000.303 p.  
ISBN 8477218684
- CAMACHO GARCIA, Hernando. "Fundamentos de la ventilación mecánica". Editorial Universidad nacional de Colombia. 1° Edición. España. 2012 62 p.  
ISBN 8496018187
- GOBIERNO DEL PERU. "Decreto Supremo N° 055-2010 EM Reglamento de Seguridad e Higiene Minera. Edicion Única. Perú. 2010.312 p.
- JUTGLAR, Luis. "Bombas, ventiladores y compresores" . Editorial CEAC. México. 2005.247 p  
ISBN : 843291200X,
- MATAIX, Claudio. "Turbomaquinas hidráulicas". Editorial Universidad católica de Comillas. 3° Edicion. España. 2009. 1720 p.  
ISBN 8484682528
- MOTT, Robert. "Mecánica de Fluidos aplicada". Editorial Pearson Education. 4°Edicion. Mexico.2006. 596 p.  
ISBN 9688805424
- NOVITZKY, Alejandro. "Ventilación en Minas". Editorial Mc Graw Hill. 1° Edicion. Argentina.1992, 320 p.
- SERRANO, Jorge. "Manual de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial Tomo I-II". Editorial Mc Graw Hill. 2° Edicion. España. 2013. 998 p.  
ISBN 0988629836

- YARKE, Eduardo. "Ventilación natural en edificios: Fundamentos y métodos de cálculo". Ediciones Nobuko. España. 2005. 193 p.

ISBN : 987584036X

#### CITAS WEB

- **DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD MINERA. GECO MINERIA.** "Ventilación en Minas subterráneas". Lima. Perú. 2006. [Consulta: 14 de setiembre del 2014]. Disponible en: [http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=637](http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=637)
- **GONZALES MARTINEZ , Victor.** "CALCULO DE PARÁMETROS DETERMINANTES EN LA PREPARACIÓN DE UN CIRCUITO DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE CARBÓN USANDO PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA". Universidad Nacional de Colombia.2013. . [Consulta: 14 de octubre del 2014].Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n33/n33a12.pdf>
- **SERNA.** GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS. Chile . 2012. <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
- **SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA.** "GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE". Chile. 2008. [Consulta: 14 de setiembre del 2014].Disponible en: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
- **OSINERGMIN.** "Fiscalización Minera en la Gran y Mediana Minería". Perú. 2012.[Consulta: 12 de setiembre del 2014].Disponible en: [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro\\_Regional\\_Apurimac\\_2011/8.Fiscalizacion%20minera.pdf](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro_Regional_Apurimac_2011/8.Fiscalizacion%20minera.pdf)
- **HESPERIAN,** "La Minería y la salud". Perú .2011.. [Consulta: 12 de setiembre del 2014].Disponible en: [http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es\\_cgeh\\_2011/es\\_cgeh\\_2011\\_cap21.pdf](http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap21.pdf)

## TESIS

- AGÜERO ZARATE , Henry . “Influencia de la Ventilación mecánica en el Diseño del Sistema de Ventilación mixta de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa-Arequipa”. Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Universidad de Huancavelica. Peru.2012.82 p.
- GUTIERREZ ARAVENA, Claudio Alejandro. “Recirculación controlada en minería subterránea” . Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil en Minas. Universidad de Chile.2010. 120 p
- MENA SALAS, Alejandro. “Planeado de mineras subterráneas para vetas angostas. Caso Minera Esperanza de Caraveli”. Tesis para optar el título de Ingeniero mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. 91 p.
- QUEVEDO CHANAME, Carlos. “ Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Huanza”.Tesis para optar el título de Mecánico de Fluidos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. . Peru.2013. 130 p.
- SANCHEZ DOMINGUEZ, Cesar . “Optimización técnico económica del consumo energético en el sistema de ventilación del interior Minas en la Unidad Minera Parcoy”. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad nacional del Santa. Perú. 2009. 140 p.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1 : Tabla para cálculo de longitud equivalente**

**ANEXO 2 : Coeficiente de pérdidas en codos**

**ANEXO 3 : Diferencias operativas entre ventilación en serie y ventilación en paralelo**

**ANEXO 4 : Plano Nivel -14**

**ANEXO 5 : Plano Nivel -16**

**ANEXO 6 : Plano Nivel -18**

**ANEXO 7 : Plano Nivel -20**

**ANEXO 8 : Plano Nivel -21**

**ANEXO 9 : Plano Nivel -22**

**ANEXO 10 : Plano Nivel -24**

**ANEXO 11 : Plano Nivel -26**

**ANEXO 12 : Plano Nivel -28**

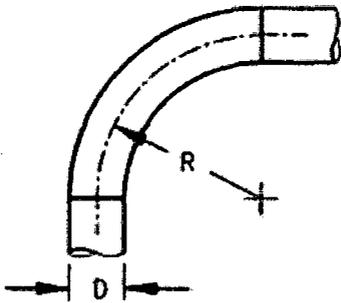
**ANEXO 13 : Plano Nivel -30**

ANEXO 1 : Tabla para cálculo de longitud equivalente

No	FORMAS	L (Long. Equiv.)	Unid.	A considerar en el Túnel	L (Long. Equiv.)
1	Curva obtusa redonda	0.5	Pies	0	0
2	Angulo recto redondeado	1	Pies	0	0
3	Curva aguda redondeada	3	Pies	0	0
4	Curva obtusa curvada	15	Pies	0	0
5	Angulo Recto quebrado	150	Pies	0	0
6	Curva aguda curvada	150	Pies	0.5	75
7	Contracción gradual	1	Pies	0	0
8	Contracción abrupta	10	Pies	0	0
9	Expiación gradual	1	Pies	0	0
10	Expansión abrupta	20	Pies	1	20
11	Paso sobre nivel (optimo)	1	Pies	0	0
12	Paso sobre nivel (bueno)	65	Pies	0	0
13	Paso sobre nivel (malo)	290	Pies	0.5	145
14	Marco para puerta	70	Pies	0	0
15	Carro o jaula 20% de área de la galería	100	Pies	0	0
16	Carro o jaula 40% de área de la galería	500	Pies	0	0
17	Entrada	3	Pies	1	3
18	Descarga	65	Pies	1	65
19	Bifurcación :				
	- Derivación recta	60	Pies	0	0
	- Derivación a 90°	30	Pies	1	30
20	Junturas:				
	- Derivación recta	60	Pies	0	0
	- Derivación a 90°	30	Pies	1	30

Fuente : Novizki

## COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN CODOS

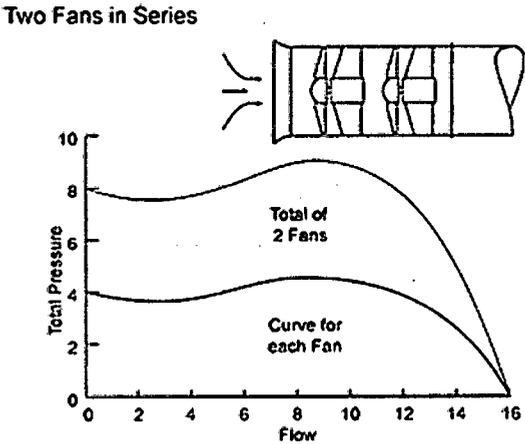
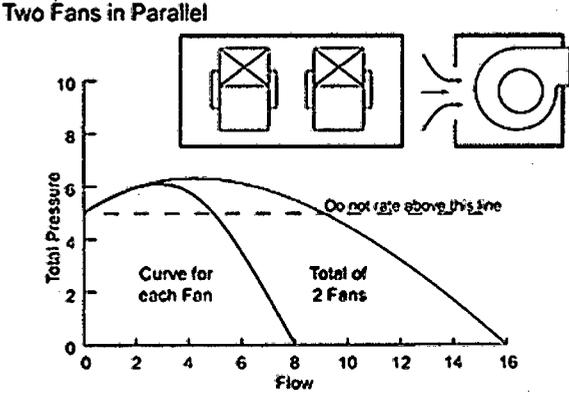


R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR

Fuente : Novizki

ANEXO 3 : Diferencias operativas entre ventilación en serie y ventilación en paralelo





*“Año de la Integración Nacional y el  
Reconocimiento de nuestra Diversidad”*



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

**“CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN - TIPRO”**

**RESOLUCIÓN N° 1562 – 2006 – ANR**

## REGISTRO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

- Universidad: **“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**
- Escuela o Carrera Profesional: **INGENIERÍA EN ENERGÍA**
- Título del Trabajo: **“INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ-PROVINCIA DE OYON-LIMA.”**
- Área de Investigación: **APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.**
- Autor(es):

DNI	Apellidos y Nombres
	Walter Orlando Niño Castro
	Fran Quime Custodio Espinoza

- Título profesional a que conduce: **INGENIERO EN ENERGÍA**
- Año de aprobación de la sustentación: **2014**

## **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

**¿CUAL ES LA INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCruz-PROVINCIA DE OYON-LIMA?**

- **OBJETIVOS.**

**OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar las características de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro antes de incrementar su capacidad de producción.
- Caracterizar la carga de ventilación y renovación del aire interior en niveles y galerías el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.
- Caracterizar las variables del dimensionamiento del sistema de ventilación en el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.
- Determinar las características de los componentes del sistema de ventilación natural y forzada del sistema de ventilación de la Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz-Provincia de Oyon-Lima.

- **HIPÓTESIS.**

**LA VENTILACION NATURAL Y FORZADA TIENEN UNA INFLUENCIA SIGNIFICATIVA EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACION DE LA MINA LIMPE CENTRO-UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ –PROVINCIA DE OYON-LIMA**

- **BREVE REFERENCIAL AL MARCO TEÓRICO (10 A 20 LÍNEAS).**

Se cuenta con un sistema de ventilación mixta, compuesta por ventilación natural producida por la infiltración del aire a través de las chimeneas de servicio a una velocidad de 3.5 m/seg, as mismo se cuenta con un sistema de ventilación mecánica o forzada compuesta por dos ventiladores (impulsión y extracción) de 250 HP en total.

La empresa al tomar la decisión de incrementar el ritmo productivo en 10 niveles de trabajo , plantea la necesidad de redimensionar el sistema de ventilación mixta, con lo cual se incrementa la Potencia de los ventiladores . Por lo tanto se determina el caudal total suministrado en condiciones máximas de requerimiento de ventilación, el cual es función de la carga de ventilación según el número de personas operando en cada nivel y la carga de ventilación de los motores diesel que accionan a la maquinaria pesada dentro de la misma., teniendo así mismo en cuenta lo requerido según el D.S N° 055-2010-EM. Determinándose un porcentaje de participación de la ventilación natural en 18%, mientras que el porcentaje de participación de la ventilación forzada es del 82 %, con lo cual se concluye que existe una influencia de ambos tipos de ventilación en el dimensionamiento del sistema de ventilación mixta.

- **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.**

**CONCLUSIONES**

- Inicialmente Mina Limpe Centro trabaja con un máximo de 7 niveles de producción de un total de 31 niveles , utilizando para ello un sistema de ventilación mixta con 2 ventiladores de 250 HP cada uno de ellos (uno impelente y el otro extractor , con un suministro de 142,500 CFM de aire a través de un sistema de ventilación forzada y 19.59 CFM como ventilación natural a través

de una chimenea de servicio , los porcentajes de participación de cada tipo de ventilación es de 87.34% y 12.66 % respectivamente.

- Se ha planteado la caracterización de la carga de ventilación de Mina Limpe Centro al ampliarse las actividades hasta 10 niveles ( entre los niveles -14 a -31) , determinándose que la máxima carga de ventilación se consigue durante las horas de faena , donde la carga por número de personas , la carga por motores diesel , más una carga adicional por flota diesel y por personal de planta en el nivel 22 , con un valor de  $117.6 \text{ m}^3/\text{sg}$  o 249,180.1 CFM .
- Los parámetros que permiten un adecuado dimensionamiento del sistema de ventilación mixta son el Caudal total de aire y la presión estática , los cuales son : Para el caudal final se tiene un valor de  $121.54 \text{ m}^3/\text{sg}$  , el cual fluye a través de una manga de ventilación de 1 metro de diámetro un caudal de  $99.665 \text{ m}^3/\text{sg}$  a una velocidad de 12.5 m/sg cuando la ventilación es forzada , y un caudal de  $21.875 \text{ m}^3/\text{sg}$  a una velocidad de 3.5 m/sg a través de la chimenea de servicio cuando la ventilación es natural; así mismo la presión total que necesita el ventilador para suministrar el aire a las galerías de los niveles es de 0.227 m.c.a o 2,225 Pascales.
- Se necesita ampliar la capacidad de aire de ventilación forzada, para lo cual es necesario instalar dos motores eléctricos de 400 (413 HP) es reemplazo de los electro ventiladores de 250 HP , con un incremento de la capacidad en 65.2 % . Así mismo existe una influencia del tipo de ventilación en la configuración de un sistema de ventilación mixta , la cual en proporción es de la siguiente manera : ventilación forzada 82 % y ventilación natural 18 % , para esto se ha tenido en consideración lo normado por el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera D.S N° 055-2010 EM.

## **RECOMENDACIONES**

- Con referencia al informe de Tesis, queda pendiente la posibilidad de plantear la construcción de una chimenea para el suministro e aire fresco mediante ventilación natural, y a través de esto mejorar la ventilación mixta.
- Sería recomendable la elaboración de un software para aquellos casos en los cuales la tesis para la complejidad de sus instalaciones lo requiera, esto permitiría optimizar los procesos y cálculos de mejora de instalaciones.

- Se recomienda una inspección periódica del impulsor del ventilador, por cualquier desgaste, erosión o corrosión, ya que cualquiera de estos, puede causar fallas catastróficas al ventilador. Verifique también la acumulación de materiales, lo que puede causar un desbalanceo que resulte en vibración, desgaste del rodamiento y serios riesgos de seguridad.
- Al momento de instalar la ductería esta debe ser lo más recto posible, evitando tanto curvaturas como desniveles muy bruscos, lo que origina que la presión estática de la manga de ventilación incrementa las pérdidas de fricción con el consiguiente perdidas de carga y aumento de la presión estática y la potencia del ventilador.
- La instalaciones de variadores de frecuencia permiten un adecuado control y regulación del caudal suministrado por el ventilador, con lo cual se asegura una adecuada operación del sistema de ventilación.

- **BIBLIOGRAFÍA.**

BERMÚDEZ, Vicente. TECNOLOGIA ENERGETICA. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. España. 2000.303 p. ISBN 8477218684

CAMACHO GARCIA, Hernando. “Fundamentos de la ventilación mecánica”. Editorial Universidad nacional de Colombia. 1º Edición. España. 2012 62 p. ISBN 8496018187

GOBIERNO DEL PERU. “Decreto Supremo N° 055-2010 EM Reglamento de Seguridad e Higiene Minera. Edicion Única. Perú. 2010.312 p.

JUTGLAR, Luis. “Bombas, ventiladores y compresores” . Editorial CEAC. México. 2005.247 p ISBN : 843291200X,

MATAIX, Claudio. “Turbomaquinas hidráulicas”. Editorial Universidad católica de Comillas. 3º Edicion. España. 2009. 1720 p. ISBN 8484682528

MOTT, Robert. “Mecánica de Fluidos aplicada”. Editorial Pearson Education. 4ºEdicion. Mexico.2006. 596 p. ISBN 9688805424

NOVITZKY, Alejandro. "Ventilación en Minas". Editorial Mc Graw Hill. 1° Edición. Argentina. 1992, 320 p.

SERRANO, Jorge. "Manual de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial Tomo I-II". Editorial Mc Graw Hill. 2° Edición. España. 2013. 998 p ISBN 0988629836

YARKE, Eduardo. "Ventilación natural en edificios: Fundamentos y métodos de cálculo". Ediciones Nobuko. España. 2005. 193 p ISBN : 987584036X