

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**



## **PROYECTO Y ADECUACION DE LA RED DE VENTILACION DE LA COMPAÑÍA MINERA SIMSA**

**PERIODO 2007 - 2013**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**HUAMAN LEANDRO ROBERTH GIL**

**Lima - Perú**

**2011**

## **INDICE**

	Página
FORMULACION DEL PROBLEMA.....	01
OBJETIVOS GENERALES.....	02
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	03
METODOLOGIA DE TRABAJO.....	04
HIPOTESIS.....	05
RECONOCIMIENTO.....	06
INTRODUCCION.....	07

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

<b>1.1) RAZON SOCIAL.....</b>	<b>08</b>
<b>1.2) UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>08</b>
1.2.1) UBICACIÓN.....	08
1.2.2) ACCESO.....	08
1.2.3) PLANO DE UBICACIÓN DE LA MINA.....	09
<b>1.3) CLIMA Y VEGETACION.....</b>	<b>10</b>

<b>1.4)</b>	<b>TOPOGRAFIA Y RELIEVE</b> .....	10
<b>1.5)</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b> .....	10
	1.5.1) UBICACIÓN REGIONAL.....	10
	1.5.2) UNIDADES GEOMORFOLÓGICOS.....	11
	1.5.2.1) Medio Fluvial.....	11
	1.5.2.2) Medio Aluvial.....	11
	1.5.2.3) Depresión Colinosa.....	11
	1.5.2.4) Cordilleras Centrales.....	11
<b>1.6)</b>	<b>HIDROGRAFÍA</b> .....	12
	1.6.1) Hidrografía Regional.....	12
	1.6.2) Hidrografía Local.....	12
<b>1.7)</b>	<b>FLORA Y FAUNA</b> .....	12
<b>1.8)</b>	<b>GEOLOGÍA</b> .....	13
	1.8.1) Aspectos Generales.....	13
	1.8.2) Granito San Ramón.....	13
	1.8.3) Granodiorita Tarma.....	13
	1.8.4) Grupo Mitú.....	14
	1.8.5) Grupo Pucará.....	14
	1.8.6) Intrusivos Menores .....	15
	1.8.7) Formación La Merced.....	15
<b>1.9)</b>	<b>OPERACIONES MINERAS</b> .....	19
	1.9.1) Métodos de Explotación.....	19

## CAPITULO II

<b>2.0) MARCO TEORICO.....</b>	<b>21</b>
2.1) Definición de Ventilación de Mina.....	21
2.1.1) Importancia de la Ventilación de Mina.....	21
2.1.2) Objetivos de la Ventilación de Minas.....	21
<b>2.2) NATURALEZA DE LA ATMOSFERICA DE MINA.....</b>	<b>22</b>
2.2.1) Mezcla de Aire de Mina.....	22
2.2.2) Gases de la Atmosfera de Mina y Contaminantes	
Aertransportados .....	23
<b>2.3) ANALISIS PSICROMETRICOS.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4) RELACION ENTRE RESISTENCIA, CAUDAL Y PRESION.....</b>	<b>31</b>
2.4.1) Conceptos de Dinámica de Fluidos .....	32
2.4.2) Leyes de los Ventiladores.....	41
Primera Ley.....	41
Segunda Ley.....	41
Tercera Ley.....	42
2.4.3) Resistencia en Serie y Paralela.....	45
2.4.4) Instalación de Ventiladores en Serie y Paralelo.....	46
A) Instalación en Serie .....	48
B) Instalación en Paralelo.....	48
<b>2.5) CONCEPTOS DE ANALISIS DE COSTOS.....</b>	<b>51</b>
Factores que Intervienen en el Costo.....	51
Costos Fijos.....	52
Costos Variables.....	52

### CAPITULO III

#### **LEVANTAMIENTO DE VENTILACION DE LA MINA**

<b>3.1) INSTRUMENTACIÓN.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2) BALANCE DE INGRESO Y SALIDA DE AIRE PARA LA MINA</b> <b>.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3) REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA LA MINA AÑO 2007.....</b>	<b>58</b>
<b>3.4) COBERTURA DE NECESIDAD DE AIRE PARA LA MINA.....</b>	<b>58</b>
<b>3.5) CIRCUITOS DE VENTILACIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>3.6) RECIRCULACIÓN DE AIRE MINA CENTRAL JULIO 2007.....</b>	<b>61</b>
<b>3.7) DIÁMETRO ÓPTIMO DE RBs PARA SIMSA:</b> <b>RB 7 PIES VS RB 5 PIES.....</b>	<b>61</b>

### CAPITULO IV

#### **EVOLUCION DEL CIRCUITO DE VENTILACION MINA CENTRAL SIMSA DESDE 07/2007 AL 09/2008**

<b>4.1) BALANCE DE INGRESOS Y SALIDAS DE AIRE.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2) ESTUDIO DEL CIRCUITO DE VENTILACION SIMSA MINA</b> <b>CENTRAL DESDE 07/2007 AL 09/200.....</b>	<b>65</b>
<b>4.3) PREPARANDO LA RED PRINCIPAL PARA AUMENTAR EL CAUDAL</b> <b>EN LA PROFUNDIZACION Y MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD</b> <b>.....</b>	<b>68</b>
<b>4.4) INSTALACION DE PUNTOS DE MONITOREO.....</b>	<b>73</b>

## CAPITULO V

### **PROYECTO DE VENTILACION DE LA PROFUNDIZACION DE LAS RAMPAS 1010 Y RAMPA 1150, PERIODO 2009 - 2013**

<b>5.1) PLANEAMIENTO DE MINA.....</b>	<b>76</b>
5.1.1) Profundización de la Mina.....	76
5.1.2) Programa de Producción de Tajos.....	77
5.1.3) Requerimiento Total de Equipos Diesel.....	77
<b>5.2) REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA LA MINA.....</b>	<b>78</b>
<b>5.3) DISTRIBUCIÓN DE AIRE POR ZONAS.....</b>	<b>79</b>
<b>5.4) CIRCUITOS DE VENTILACIÓN.....</b>	<b>79</b>

## CAPITULO VI

### **ANALISIS DE COSTOS**

<b>6.1) COSTO DE ENERGÍA.....</b>	<b>86</b>
6.1.1) Distribución de Costos Durante el Periodo de un Año (estiaje, avenida).....	86
6.1.2 Costos Marginales de Energía.....	87
<b>6.2) ANÁLISIS ECONÓMICO DE RBS CON DIFERENTES DIÁMETROS</b> .....	<b>88</b>
<b>6.3) ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO DEL DIAGRAMA</b> <b>ESQUEMÁTICO DEL VENTILACIÓN.....</b>	<b>89</b>
<b>6.4) SIMULACION UTILIZANDO EL SOFTWARE VnetPc 2000.....</b>	<b>90</b>

<b>6.5) ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS USANDO EL SOFTWARE</b>	
<b>VnetPc 2000</b> .....	94
6.5.1) Análisis de las Alternativa “A”.....	94
Alternativa “A1” .....	94
Alternativa “A2”.....	99
Alternativa “A3” .....	103
6.5.2) alternativa ‘B’ .....	110
6.5.3) alternativa ‘C’ .....	115
<b>6.6) CUADRO RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>120</b>
<b>6.7) ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>121</b>
<b>6.8) CUADRO RESUMEN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>125</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>126</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>133</b>
<b>ISOMETRICO DE VENTILACION</b>	
<b>ANEXO 01: PLANOS DE EVOLUCION DEL SISTEMA DE VENTILACION</b>	
<b>Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS</b>	
<b>ANEXO 02: CURVAS DE LOS VENTILADORES</b>	
<b>ANEXO 03: DATOS INGRESADOS AL VnetPc 2000</b>	
<b>ANEXO 04: RESULTADOS DEL INGRESO DE DATOS AL VnetPc 2000</b>	

## **FORMULACION DEL PROBLEMA**

Compañía Minera SIMSA, tiene problemas actualmente en la Red principal de ventilación, por detectarse en ciertos puntos de monitoreo de la red principal concentraciones de CO cercanos a 55 ppm por encima de su máximo permisible de 25 ppm sobre todo en la profundización de la Rampa 1150 y Rampa 1010, manifestándose quejas como dolor de cabeza de los obreros y en puntos cercanos al tope de la Rampa 1150 con concentraciones detectadas de 20 ppm de H<sub>2</sub>S por encima de su máximo permisible de 10 ppm, la cual trae como queja recurrente de los trabajadores de bombeo encargados del tope de la Rampa 1150, presentándose síntomas de ardor a los ojos, garganta, tos y siendo motivo de ausentismo laboral recurrente por dicha causa.

El problema se debe a una baja dilución de los gases contaminantes debido:

- Un caudal insuficiente para aumentar la dilución de los gases contaminantes para la zona baja, comprendido por la Rampa 1010 y Rampa 1150.
- Una distribución no adecuada (encauzamiento) del flujo de aire por la red de ventilación principal, sirviéndose a la zona alta con un caudal mayor, siendo en la zona baja la mayor distribución de equipos y por lo tanto la zona que mueve más tonelaje total ( estéril + mineral).



## **OBJETIVOS GENERALES**

- Al corto plazo:  
Resolver los problemas asociados con los gases contaminantes en la profundización. Encauzando el flujo de circulación global de la Red de ventilación, es decir mejorando la distribución, ello se logrará a expensas de la zona alta donde aun no se detecta concentraciones más allá de sus límites permisibles.
- Incrementar el caudal total de la Red Principal, disminuyendo el actual déficit de caudal, acortando la brecha entre lo requerido y lo aportado a las operaciones.
- Presentar un plan de obras para la Red Principal de Ventilación considerando la profundización dentro del primer año y con un horizonte de 5 años, al menor costo posible para SIMSA.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Incrementar el caudal de extracción de la mina, con el By Pass del Nivel 1652 hacia la salida de Orcopunco (realizado al 100%).

Se incremento el caudal total de 200,000 cfm hasta 235,000 cfm, se hizo una reducción en la energía consumida.

- Presentar proyectos para incrementar de un caudal total de 235, 000 cfm con cobertura de 63.75% al 22/09/2008 hasta un caudal total de 290,000 cfm con cobertura de 72.5% antes de un año.

Con un caudal mínimo 70,000 cfm en la Galería 1135 en el Nivel 1190, con áreas de producción A61, A62 y A63

- Presentar proyectos para incrementar de un caudal total de 290, 000 cfm con cobertura de 72.5% al 22/09/2009 (estimado a futuro de un año) hasta un caudal total de 341,000 cfm con cobertura de 85.3% estimado dentro de 5 años.

Con un caudal mínimo 100,000 cfm en el Nivel 1070, con áreas de producción A71; A72 y A73.

## **METODOLOGIA DE TRABAJO**

### **EN EL CAMPO**

- Mediciones de Temperatura
- Levantamiento de Caudales
- Ubicación de Estaciones de Ventilación
- Medición de Gases en Labores y Equipo
- Recolección de Información Relevante Otorgado por Taller Eléctrico (costo de energía, mantenimiento de ventiladores, etc.)

### **EN EL GABINETE**

- Análisis de los Parámetros de Ventilación de Mina
- Análisis de Datos Aplicando el Software VnetPc 2000
- Conclusiones del Análisis
- Desarrollo e Implementación
- Conclusiones de la Ejecución

## **HIPOTESIS**

Existen diversas formas de clasificar las hipótesis, las que se presentan a continuación:

- a) Hipótesis de investigación
- b) Hipótesis nulas
- c) Hipótesis alternativas
- d) Hipótesis estadísticas.

Para el caso de nuestro trabajo se utilizará las **hipótesis alternativas**, ello es así puesto que analizaremos varias posibles opciones que cumplan con los requisitos de caudal mínimo admisible y lo constataremos con su costo y para luego tomar la decisión de la alternativa que representa el menor costo.

En nuestro caso analizaremos las alternativas: A1, A2, A3, B y C de la cuales recomendaremos la alternativa que implica menor costo total.

## **RECONOCIMIENTO**

Debo mencionar el interés activo del Gerente de Operaciones Manuel Deza y el Superintendente de Mina John Ayarza, Jefe de Ingeniería Marco Benites y especial mención del Ing. Alex Meza Castro asesor especialista en ventilación contratado por la empresa sin los cuales los logros obtenidos no hubieran sido los esperados.

No debo olvidarme mi agradecimiento al Ing. José Corimanya y al Ing. Julio Hidalgo por su paciencia y orientación para darle el formato académico que sea útil a los futuros ingenieros de minas y otros interesados en el tema de ventilación de mina.

Por último agradecer a mis padres y hermanos que me brindaron su apoyo e infinita paciencia.

## INTRODUCCION

Las directivas dadas por gerencia eran:

- Resolver los problemas de ventilación actuales
- Presentar el proyecto de ventilación para los próximos años optimizado.
- Reducir los costos de energía (muy alto para SIMSA).

Para lograr la solución del problema el estudio de ingeniería comprendió 3 etapas:

- Levantamiento general de la red de ventilación
- Proyecto de la red principal
- Adecuación de la red actual al proyecto presentado.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE LA EMPRESA

#### 1.1) RAZÓN SOCIAL

Esta compañía opera con el nombre de Compañía Minera San Ignacio de Morococha, N° R.U.C 20100177421.

#### 1.2) UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

##### 1.2.1) UBICACIÓN:

La Compañía Minera San Ignacio de Morococha, Unidad San Vicente está ubicada en el Distrito de Vitoc, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, Región Andrés Avelino Cáceres, a 17 Km. al sur de la ciudad de San Ramón y a una altura de 1400 a 2000 m.s.n.m.

Sus coordenadas geográficas son: 11°13'45'' Latitud Sur y 75°23'00'' Longitud Oeste

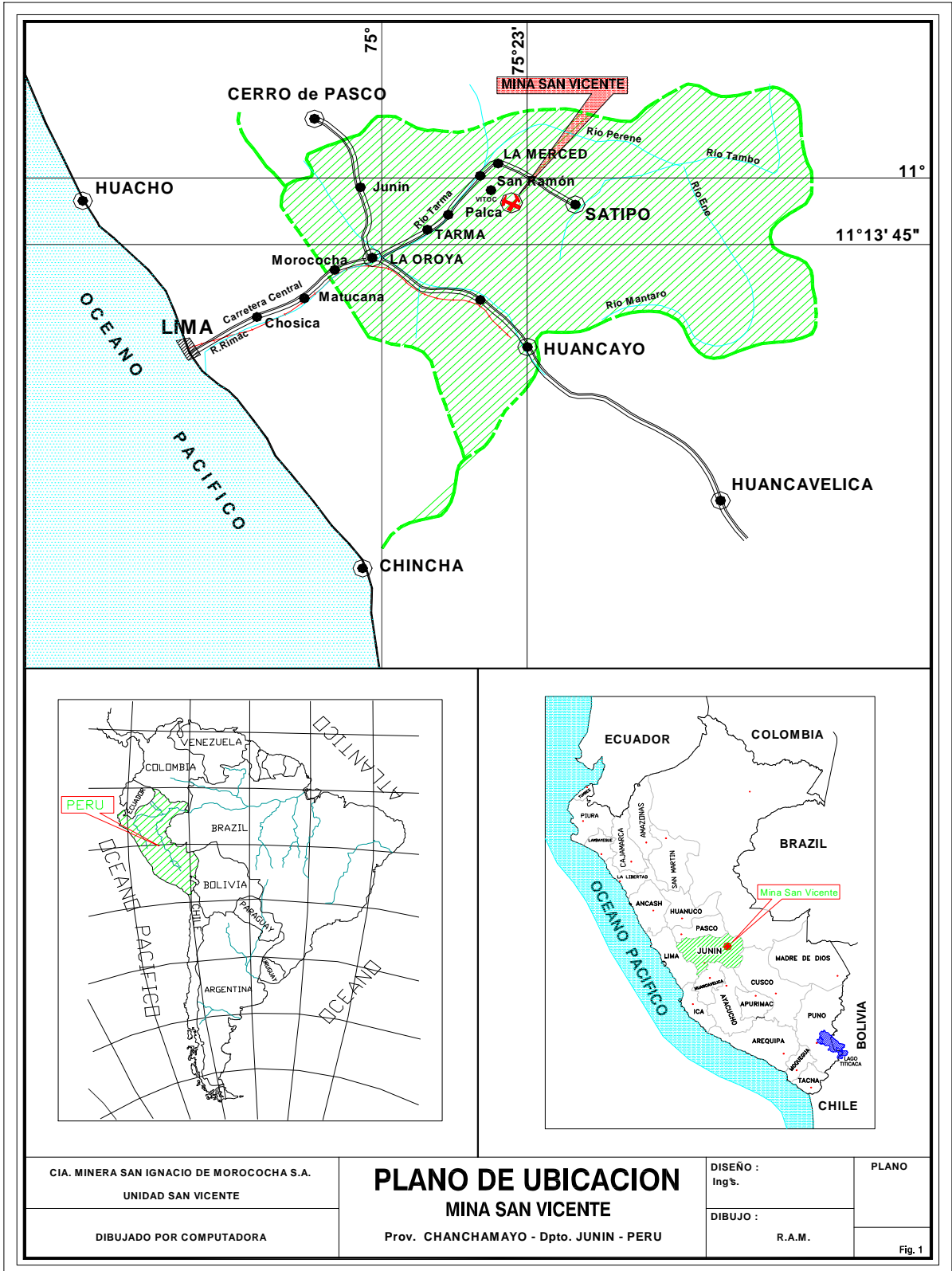
##### 1.2.2) ACCESO:

El acceso es desde Lima a través de la Carretera Central de penetración Lima - La Oroya - Tarma - San Ramón, en el kilómetro 293 (antes de San Ramón) se sigue un desvío hacia el sur.

En resumen se tiene:

Lima - La Oroya	188 Km
La Oroya - San Ramón	105 Km
San Ramón - San Vicente	17 Km
<b>TOTAL</b>	<b>300 Km</b>

1.2.3) PLANO DE UBICACIÓN DE LA MINA SAN VICENTE





### 1.3) CLIMA Y VEGETACIÓN

La afluencia de los vientos cálidos húmedos procedentes del Océano Atlántico, favorece la ocurrencia de lluvias que sobrepasan en algunos casos los 2000mm<sup>3</sup> de precipitación anual.

ITEM	VALOR
Temperatura Promedio Mínima	23,67 °C
Temperatura Promedio Máxima	31,65 °C
Precipitación Anual	2000 mm <sup>3</sup>
Precipitación Máxima Diaria	111 mm <sup>3</sup>
Humedad Relativa Mínima	80%
Humedad Relativa Máxima	100 % (lluvia)

Fuente: SIMSA,, Departamento de Medio Ambiente

### 1.4) TOPOGRAFÍA Y RELIEVE

La topografía principalmente está representada por el valle de Tulumayo, en el que desemboca el río Puntayacu y en este el río Aynamayo, dando lugar a la formación de quebradas bastante profundas en forma de “V” que en algunos lugares pasan a ser encañadas.

### 1.5) GEOMORFOLOGÍA

#### 1.5.1) UBICACIÓN REGIONAL

Los componentes geomorfológicos regionales en la selva central están constituidos por la Cordillera Oriental de los Andes y el Sistema de Cordilleras Subandinas

Orientales, originadas por el sistema de fallamiento subandino, en formación asociada a la tectónica actual, por lo que geomorfológicamente es joven y activa.

### **1.5.2) UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

El área de la Mina San Vicente y sus alrededores comprende cuatro unidades y trece sub-unidades geomorfológicas que a continuación se procede a describir:

#### **1.5.2.1) MEDIO FLUVIAL**

Comprende el nivel de base geomorfológico local entre 905 m.s.n.m y 1475 m.s.n.m siguiendo el perfil de los ríos Tulumayo-Chilpes-Puntayacu, desde la desembocadura de la Quebrada Yanayacu, hasta la Planta Concentradora de la Mina San Vicente.

#### **1.5.2.2) MEDIO ALUVIAL**

Esta Unidad se formó por la acumulación de materiales aluviales durante la época geotectónica y climática anterior en el Holoceno.

Se han identificado cuatro unidades aluviales comprendidas entre los 500 m.s.n.m y 900 m.s.n.m.

#### **1.5.2.3) DEPRESIÓN COLINOSA**

Comprendido entre los 1475 m.s.n.m y 2000 m.s.n.m

#### **1.5.2.4) CORDILLERAS CENTRALES**

Comprendidas entre los 2000 m.s.n.m y 3500 m.s.n.m

#### **A) Macizo Intrusivo Montañoso**

Comprende parte de la cordillera montañosa granítica que separa los valles Tulumayo y Perene, formado por rocas intrusivas graníticas alteradas y cubiertas por la exuberante vegetación de la selva alta y ceja de la selva.

## **B) Macizo Calcáreo Montañoso**

Comprende a la Cordillera Oriental entre el Río Mantaro, formada por formaciones de calizas, esquistos y conglomerados.

### **1.6) HIDROGRAFÍA**

Dentro de la gama de los recursos naturales, el agua es sin lugar a dudas uno de los principales elementos, no solo por ser vital, sino también por su presencia indispensable en la formación de ecosistemas.

En el desarrollo de diversas actividades el agua está presente en forma directa e indirecta.

#### **1.6.1) HIDROGRAFÍA REGIONAL**

El ámbito de estudio está ubicado desde el punto de vista hídrico en la vertiente del Atlántico y forma parte la cuenca del Río Ucayali.

#### **1.6.2) HIDROGRAFÍA LOCAL**

Corresponde a este ámbito la cuenca del Río Tulumayo, cuenca en el cual se desarrollan las actividades de la mina San Vicente. Este río tiene sus nacientes sobre los 5300 m.s.n.m cuyo cauce principal es alimentado progresivamente por los deshielos de los nevados y las descargas de las lagunas existentes en las partes altas de sus afluentes principales.

### **1.7) FLORA Y FAUNA**

En el área de estudio se encuentran dos formaciones naturales boscosas primarias y secundarias. El bosque primario localizado en las montañas y plataforma de moldeado suave de terrenos empinados está conformado por especies de árboles, estos árboles son grandes formando en su extremo superior una superficie aplanada.

El bosque secundario se encuentra en terrenos llanos expuestos a inundaciones y colinas y terrazas del área en estudio, los bosques suelen ser sustituidos por formaciones denominadas purmas y/o matorrales.

## **1.8) GEOLOGÍA**

### **1.8.1) ASPECTOS GENERALES**

La zona contiene rocas sedimentarias encajonadas de rocas ígneas. Las secuencias sedimentarias forman una banda en la superficie con un sentido norte-sur y las rocas ígneas se encuentran en los lados este y oeste. Las rocas sedimentarias consisten en dos grupos, uno de sedimentos marinos carbonatados (caliza, dolomita) y el otro de sedimentos continentales elásticos (arenisca, conglomerado). La Tabla No. 1 (Geología Regional) cataloga según la edad a las formaciones geológicas que se describen a continuación.

### **1.8.2) GRANITO SAN RAMÓN**

Las rocas ígneas en el lado este del "Sector" forman parte del Granito San Ramón. Este intrusivo batolítico está constituido de granodioritas de color blanco grisáceo y de grano grueso. De acuerdo a la experiencia conseguida en el proyecto hidroeléctrico Chimay, la roca de este intrusivo es de buena calidad para hacer excavaciones subterráneas salvo en una zona cerca de la superficie donde ha experimentado alteración. Su edad es del período Paleozoico.

### **1.8.3) GRANODIORITA TARMA**

Las otras rocas ígneas en el lado oeste del "Sector" forman parte de la Granodiorita Tarma. Este intrusivo plutónico consiste en granito masivo y de grano grueso. Una

importante falla de escurrimiento ha empujado este cuerpo intrusivo sobre los sedimentos marinos carbonatados. Igual al Granito San Ramón, esta roca es favorable para realiza excavaciones mineras salvo cerca de la superficie. La Granodiorita Tarma es relativamente impermeable, sin embargo la zona de fracturamiento asociada con la falla podría tener una permeabilidad alta. En cuanto a su edad, es del período Triásico Inferior.

#### **1.8.4) GRUPO MITÚ**

El Grupo Mitú es una de las dos secuencias sedimentarlas que forman la banda nort-sur en el medio del "Sector". Está ubicado entre el Granito San Ramón en el lado este y los sedimentos marinos carbonatados en el lado oeste. Consiste en sedimentos continentales tales como arenisca, limolita, yeso y conglomerado. La experiencia con el Grupo Mitú, por ejemplo la entrada del Túnel Uncush, indica que esta roca es altamente incompetente. La formación tiene una baja permeabilidad, y su edad es del período Triásico o Pérmico.

#### **1.8.5) GRUPO PUCARÁ**

La secuencia sedimentarla carbonatada se llama el Grupo Pucará y consiste en sedimentos marinos tales como caliza y dolomita. Se encuentra en el medio del "Sector" cercado en el lado oeste por la Granodiorita Tarma y en el lado este por el Grupo Mitú. El Grupo Pucará tiene un contacto directo con el Mitú y yace sobre éste. Las secuencias del grupo tienen un rumbo norte-sur y un buzamiento de 5' a 50' hacia el este. Respecto a su edad, es de los períodos geológicos Triásico Superior y Jurásico Inferior.

La Tabla No. 2 muestra las unidades y formaciones del Grupo Pucará. Sus formaciones son las siguientes:

- Chambará
- Aramachay
- Condorsinga

#### **1.8.6) INTRUSIVOS MENORES**

En el medio del "Sector", se encuentra un stock volcánico de reciente edad consistiendo en tonalitas granodioritas. Aunque no hay mucha información sobre la calidad de la roca, se piensa que podría ser de buena calidad para labores mineras siempre que no haya muchas fallas o fracturas. Es uno de una serie de pequeños intrusivos que se han formado en ciertos puntos a lo largo del contacto entre el Pucará y el Mitú. En la mayoría de los casos, se ha producido un ligero metamorfismo de tipo marmolización en el contacto.

#### **1.8.7) FORMACIÓN LA MERCED**

La Formación La Merced se encuentra hacia la ciudad de San Ramón en el norte del "Sector" y en el oeste sobre el contacto entre el Mitú y el Granito San Ramón. Es una secuencia de sedimentos continentales recientes que consiste en conglomerados y areniscas formados de los antiguos cursos de ríos. La roca de la formación es ligeramente consolidada y sería altamente incompetente para excavaciones subterráneas. De todas maneras, se encuentra cerca de la superficie y no en las cotas de los posibles túneles. Su edad es de los períodos Pliocena y Pleistocena.

<b>Tabla N° 1</b>				
<b>GEOLOGIA REGIONAL</b>				
<b>EDAD</b>		<b>UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS Y ROCAS INGEAS</b>		<b>LITOLOGIA</b>
<b>C E N O Z O I C O</b>		Depósitos de superficie		Aluvial y coluvial
		Formación La Merced		Conglomerado con matriz limo-arenosa, ligeramente cementado con material calcáreo. Los elementos gruesos son redondeados y comprenden calizas, granitos, areniscos y rocas metamórficas.
<b>M E S O Z O I C O</b>	Jurásico Inferior	Grupo Pucará	Fm. Condorsinga	Calizas, dolomitas, dolomitas ooides y limolitas calcáreas.
			Fm. Aramachay	Calizas negras bituminosas y arcillosas con estructuras laminares; en la parte superior predominan dolomitas.
			Fm. Chambará	Dolomitas, calizas dolomíticas, brechas calcáreas, dolomitas ooides, de color gris oscuro.
	Triásico Superior	Granodiorita Tarma		Granito de color rojo por alteración, masivo y de grano grueso. Los minerales presentes son feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas.
<b>PALEOZOICO (Pérmico)</b>		Monzogranito y Sienogranito		Granodioritas de color blanco grisáceo, de grano grueso. La composición mineralógica consiste de cuarzo, feldespatos, biotita, hornblende, etc.
		Grupo Mitú		Conglomerados, areniscas y limoarcillitas de color marrón rojizo, intercaladas con vulcanitas de color verdoso.

Fuente: Informe Final, Estudio Hidrogeológico, Klohn Crippen – SVS S.A

<b>Tabla N° 2</b> <b>UNIDADES DEL GRUPO PUCARA</b>			
<b>UNIDAD</b>	<b>FORMACION</b>	<b>ESPESOR (m)</b>	<b>LITOLOGIA</b>
Unidades Superiores	CONDORSINGA	80	Calizas dolomíticas laminares, chérticas y nodulares.
Dolomita Colca		30 - 50	Dolomitas finas con niveles de dolomitas ooides. Escasos indicios de mineralización.
Caliza Arcopunco		100 - 280	Caliza porosa gris y deleznable, brecha calcárea con niveles limolíticos, dolomitas calcáreas ooides.
Dolomita Alfonso		20 - 70	Dolomitas ooides, estructura de cebrá definida y mantos de zinc incipientes.
Caliza Uncush	ARAMACHAY	25 - 150	Calizas bituminosas gris, oscura y negra, laminar a masiva.
Dolomita San Vicente	CHAMBARA	30 - 300	hidráulica y dolomita bituminosa. Estructura de cebrá definida a incipiente y mantos de zinc.
Caliza Neptuno		20 - 170	Calizas dolomíticas porosas con niveles de brecha calcárea, calizas oolíticas y dolomitas micríticas.
Dolomita San Judas		200 - 390	Dolomitas ooides con niveles de dolomicritas y sills volcánicos, brecha hidráulica con abundantes ooides en la base. Mantos de zinc.
Caliza Porosa Basal		60 - 180	Calizas dolomíticas porosas deleznales, brechas calcáreas, limolitas calcáreas y niveles oolíticos.
Unidades Basal		160 - 380	laminares y chérticas, dolomitas micríticas, limolitas calcáreas, calizas intraclásticas. Las rocas tienen alto porcentaje de cuarzo.

Fuente: Informe Final, Estudio Hidrogeológico, Klohn Crippen – SVS S.A



<b>Tabla N° 3</b> <b>UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS</b> <b>Del Basamento Rocoso en la Zona de la Mina San Vicente</b>				
Unidad Hidroestratigráfica	Coefficiente de infiltración estimado (%)	Escala estimada de conductividad hidráulica (m/s)	Potencia (m)	Clasificación de la formación acuífera
Granodioritas	5 - 15	$10^{-6}$ a $10^{-9}$	0 a >500	Acuitardo
Karst superior (sobre caliza Uncush)	30 - 60	$10^{-1}$ a $10^{-4}$	0 a 200	Acuífero libre
Caliza Uncush y fallas asociadas	Exposición limitada	$10^{-4}$ a $10^{-6}$	2 a 50	Acuitardo
Dolomitas San Vicente y San Judas	No expuestas	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	0 a 600	Acuífero a Acuitardo (confinado a libre)
Formación de caliza Neptuno y Basal	30 - 60	$10^{-2}$ a $10^{-5}$	0 a 600	Acuífero libre (al Este de la Mina). Acuífero confinado (debajo de la mina)
Formación Mitú	10 - 20	$10^{-4}$ a $10^{-8}$	100 a 150	Acuífero a Acuitardo

Fuente: Informe Final, Estudio Hidrogeológico Preliminar, Klohn Crippen - SVS S.A.

Fuente: Informe Final, Estudio Hidrogeológico, Klohn Crippen – SVS S.A

## **1.9) OPERACIONES MINERAS**

En la mina SIMSA se extrae mineral de Zn y Pb por medio de un minado subterráneo, y mediante equipos mecánicos para la limpieza, perforación y transporte.

La producción promedio es de 1800TMH/día y con una capacidad instalada de la Planta Concentradora de 3000TMH/día, y una producción de 300TMS/día de concentrado.

### **1.9.1) METODOS DE EXPLOTACION**

#### **A) STEP ROOM & PILLAR:**

Este método es una variación de cámaras y pilares tradicional adaptada para mantos inclinados permitiendo la operación de los equipos mecanizados por la caja piso y se aplica en mantos con buzamiento de 10° y 30° y con una potencia reducida, permitiendo la explotación completa del mineral desde la caja piso hasta la caja techo.

Una de las ventajas de este método es que el acceso a los diferentes niveles del tajo es por el mismo manto, de esta manera ahorrando desarrollo en desmonte.

#### **B) POST ROOM & PILLAR:**

Este método es un híbrido entre cámaras y pilares tradicional y corte y relleno, tal como el método de cámaras y pilares tradicional se deja post pilares para sostener el techo del tajo, y tal como corte y relleno se explota el manto de

abajo hacia arriba en cortes horizontales y luego de cada corte se rellena el tajo con relleno hidráulico y detrítico.

**C) CORTE Y RELLENO:**

De los varios tipos de corte y relleno mecanizado, se recomienda el sistema en Breasting (tight fill), es decir relleno hidráulico casi ciego, hasta el techo y acceso permanente con rampas de ataque.

La explotación se empieza con el primer corte del tajo en la parte inferior, abriéndolo con galerías y desquinces, luego el corte se rellena primero con relleno detrítico y luego relleno hidráulico, dejando una cara libre de 0.5 m entre el techo y el piso final de relleno y luego de eso se procede a explotar el segundo corte con Breasting, trabajando sobre el piso de relleno anterior.

Dependiendo de la longitud del manto, esta se puede dividir en dos o más paneles, teniendo en cada panel dos frentes de explotación que avanzan en direcciones opuestas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 DEFINICION DE VENTILACION DE MINA SUBTERRANEA**

Tratado sobre el control de la cantidad y calidad del flujo de aire en el interior de una mina.

##### **2.1.1) IMPORTANCIA DE LA VENTILACION DE MINA**

Sin un adecuado control de la ventilación de minas las labores mineras serian inseguras para la vida generando un alto costo, impidiendo el laboreo, la actividad propiamente. Una mejora en la ventilación también actúa sobre el trabajador para mantenerse más concentrado sobre otros riesgos potenciales no asociados a ventilación

Ejemplo: Tránsitos de vehículos, desate de rocas, perforación, etc, por ello una mala ventilación puede ser un elemento que contribuya en cierto grado a algún otro accidente no asociado directamente.

##### **2.1.2) OBJETIVOS DE LA VENTILACION DE MINAS.**

El objetivo principal es proporcionar un ambiente seguro, saludable, lo más cómodo dentro de lo razonable, cumpliendo las disposiciones reglamentarias sobre el particular.

Se plantea los siguientes objetivos:

- Diluir los gases dentro de los márgenes permisibles.
- Mantener una temperatura efectiva adecuada para la disipación del calor corporal.
- Mantener un control de polvo, que permita el laboreo seguro.

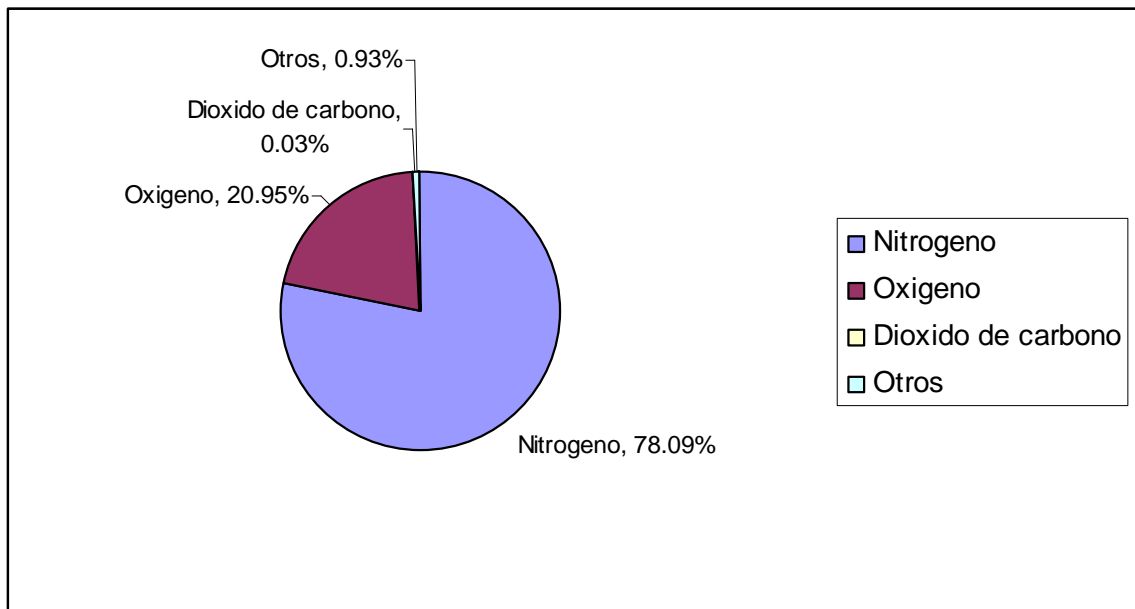
## 2.2) NATURALEZA DE LA ATMOSFERICA DE MINA

El aire de mina es una mezcla de una serie de gases, cada uno de los cuales tiene sus particularidades físicas y químicas propias.

### 2.2.1) MEZCLA DE AIRE DE MINA

Es aproximadamente la misma composición volumétrica que el aire atmosférico seco tomado al nivel del mar y a 21°C, adicionándole el vapor de agua.

Mezcla de aire seco al nivel de mar y 21°C (Condición Estándar)



Al aire atmosférico seco se le debe incluir el vapor de agua que suele estar presente en diversas cantidades y puede variar entre 0.1% y 4 % de su masa total de la mezcla, ello es importante para hallar la densidad del aire.

La densidad del aire seco en condición estándar es 1.2 Kg/m<sup>3</sup>

Al referirnos a la atmósfera de mina nos referimos a la **mezcla de aire seco + vapor de agua + polvo en suspensión + partículas de carbono de combustión (hollín) + los gases contaminantes de mina.**

## **2.2.2) GASES DE LA ATMOSFERA DE MINA Y CONTAMINANTES AEROTRANSPORTADOS**

### **Nitrógeno (N<sub>2</sub>)**

El nitrógeno presente en el aire y en algunas rocas es un gas inerte, incoloro, inodoro, insípido y más liviano que el aire, tiene una densidad de 0.97 kg/m<sup>3</sup> con respecto al aire. Es el principal diluyente del oxígeno en el aire, de esta manera cuando se agrega más nitrógeno en el aire este desplaza al oxígeno y se produce una deficiencia de oxígeno, así que una cantidad excesiva de nitrógeno creará una atmósfera asfixiante. Se le considera un gas inerte que no mantiene la combustión.

Sus fuentes de aumento son, la putrefacción de sustancias orgánicas y trabajos con explosivos.

### **Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

Es un gas muy activo se le necesita para la respiración y combustión. Es incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más pesado que el aire tiene una densidad de 1.11 kg/m<sup>3</sup>.

El ser humano está acostumbrado respirar 21% de O<sub>2</sub> y espirar 17%, así que una concertación de 17% genera disnea y palpitaciones y 14% provocar la muerte.

### **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Se encuentra presente en el aire que respiramos. Es incoloro, inodoro, con sabor ligeramente ácido. Tiene densidad de 1.53 kg/m<sup>3</sup>, se disuelve muy bien en agua. También se le considera un gas inerte puesto que no mantiene la combustión. Desplaza al oxígeno en la mezcla de aire.

Así que una mezcla de 0.5% o 5000 ppm de CO<sub>2</sub> ocasiona que la respiración se acelere y sea más profunda, una mezcla de 3% hace que la ventilación se duplique, con 5% la lámpara se apaga y la ventilación se cuadruplica, una concentración de 10% solo se tolera unos minutos antes de entrar en coma y la muerte.

El ser humano exhala aproximadamente 16% de O<sub>2</sub> y 4 % de CO<sub>2</sub>.

Los mineros experimentados reconocen la presencia de CO<sub>2</sub> por la dificultad de respirar, el calentamiento de las piernas y de la piel que se enrojece.

Se forma en las minas subterráneas durante la putrefacción de la madera de minas, la oxidación lenta del carbón (minas de carbón), descomposición de rocas carbonatadas por agua acidas, incendio subterráneo, explosivos y respiración de las personas.

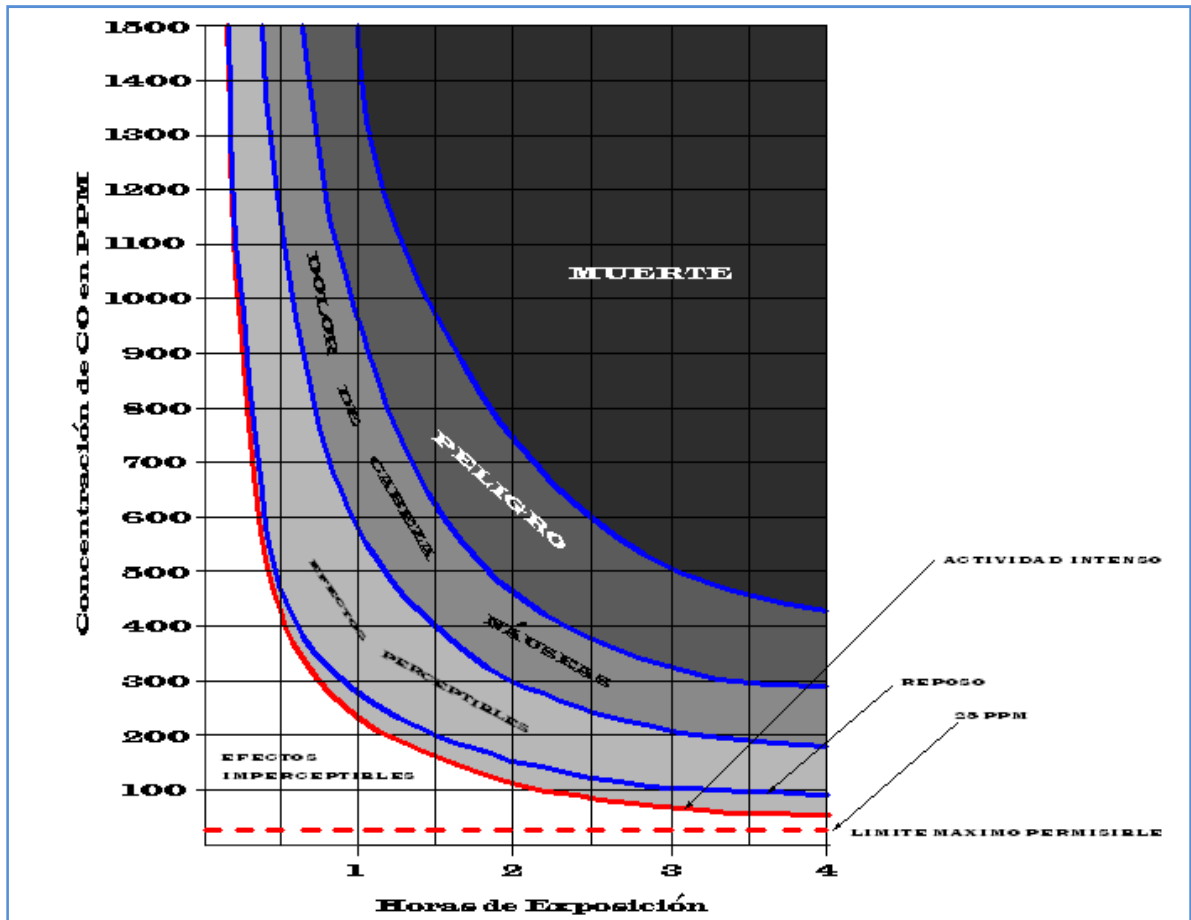
Por ser más pesado que el aire se acumula en el piso de las labores y parte baja de las labores inclinadas.

Tanto el Nitrógeno como el Dióxido de Carbono son considerados gases inertes y su mezcla entre 5-15% de CO<sub>2</sub> y 95-85% de N<sub>2</sub> es conocido como aire inerte, no puede sostener la vida y la combustión.

### **Monóxido de Carbono (CO)**

Gas incoloro, inodoro, insípido, débilmente soluble en agua, tóxico, tiene una densidad con respecto al aire de 0.97 kg/m<sup>3</sup>, combustible y explota cuando su contenido en el aire es de 13% a 75%.

Es tóxico porque tiene una afinidad de 300 veces mayor que el oxígeno de unirse a la hemoglobina de la sangre, así neutraliza la capacidad de esta para absorber el oxígeno.



**Gráfico 01**

Fuente: Ventilación Minera, MEGRO CERNUZO

En el gráfico 01 se puede observar que los efectos se acentúan por una actividad física más intensa. En un trabajo prolongado en una atmósfera que contiene un 0.01% ó 100 ppm, provoca una enfermedad crónica grave. Una concentración de 500 pm es mortalmente en 3 horas y 10000 ppm (1%) en dos minutos.

Se forman por los disparos, los incendios subterráneos y el empleo de combustión interna mal regulado, explosión y/o combustión con bajo déficit de oxígeno produce CO, por ejemplo si a la combustión de la madera se le restringe un poco el oxígeno desprenderá más CO.

Los automóviles de combustibles desprenden cerca de 4% a 7% de CO.



### **Óxidos de Nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>)**

Se forman por el empleo de explosivos, particularmente explosiones incompletas y también por motores de combustión interna a diesel o gasolina.

La composición del gas dependerá de las condiciones de su formación, temperatura, humedad, concentración de oxígeno, etc.

Comúnmente se forma óxido nítrico NO, un gas incoloro, con densidad 1.04 kg/m<sup>3</sup> con respecto al aire, que se oxida con el oxígeno del aire y pasa a óxido nítrico NO<sub>2</sub>. El óxido nítrico NO<sub>2</sub> es un gas pardo rojizo, bastante más pesado que el aire con una densidad de 1.58 kg/m<sup>3</sup> y se disuelve activamente en el agua.

Los óxidos de nitrógeno son altamente tóxicos debido a que reaccionan con la humedad de los pulmones, mucosas de los ojos, formando ácidos nitrosos muy corrosivos. Una respiración de corta duración provoca una tos irritante que se prolonga algunas horas luego de la exposición. La respiración de cantidades mayores provoca inmediatamente tos irritante, dolor de cabeza, vómitos. El envenenamiento mortal se produce rápidamente con concentraciones de 0.02% ó 200 ppm.

### **Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>)**

Gas incoloro, sofocante, inflamable, con fuerte olor sulfuroso y densidad con respecto al aire de 2.26 kg/m<sup>3</sup> y se disuelve fácilmente en el agua. Muy venenoso ya en concentraciones de 0.001% ó 10 ppm ataca las mucosas, es altamente irritante y con 0.05% ó 500 ppm es peligroso para la vida.

**Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S):** Es un gas incoloro, con olor característico a huevo podrido y gusto azucarado, con densidad 1.19 kg/m<sup>3</sup> con respecto al aire. Arde cuando su concentración alcanza 6%, forma mezcla explosiva y es fácilmente soluble en agua.

Fuertemente venenoso, irrita las mucosas de los ojos y de los conductos respiratorios y ataca al sistema nervioso. El envenenamiento peligroso se produce en ½ hora con el contenido de 0.05% ó 500 ppm, y con 0.1% rápidamente viene la muerte.

No obstante que a primera vista el H<sub>2</sub>S es mucho mas tóxico que el CO, dos de sus propiedades lo hacen menos peligroso y los accidentes con H<sub>2</sub>S se presenta muy raramente. La primera es su característico olor, inmediatamente reconocible. La segunda, que la victima retirada a tiempo se repone luego de algunas horas, sin conservar rastros del agente toxico, a diferencia del CO, que perdura en el cuerpo enlazado a la hemoglobina mientras dure el ciclo de vida de las plaquetas en la sangre.

Mientras que las personas intoxicadas por CO presentan un enrojecimiento de la piel, en el caso de H<sub>2</sub>S se observa una pigmentación ligeramente verdosa.

Las fuentes de formación de H<sub>2</sub>S, son la putrefacción de sustancias orgánicas, descomposición de minerales sulfurosos, desprendimientos a través de grietas y combustión incompleta de explosivo.

### **Metano (CH<sub>4</sub>) y otros Hidrocarburos**

El metano es uno de los gases más inflamables y peligrosos encontrados en las minas de carbón y en rocas que contiene materias combustibles.

Es un gas incoloro, inodoro, insípido y con densidad de 0.554 kg/m<sup>3</sup> con respecto al aire. El grisú es una mezcla con 95 % de metano aproximadamente, y el metano como el grisú se mezcla fácilmente en el aire y no se le separa mas, para sanear las labores solo se puede usar la dilución por medio de la ventilación.

A pesar que el metano no es tóxico, el metano reduce la concentración de oxigeno por dilución al mezclarse con el aire, produciendo asfixia.

Una mezcla de 1 m<sup>3</sup> de aire con 1 m<sup>3</sup> de metano en un espacio cerrado producirá una mezcla de aire de 10.5%.

Es el gas que ha causado más muertes en el mundo, la razón es que una mezcla entre solo 5%-15% es explosiva. La combustión explosiva ó las llamas inflamables suelen producir también CO.

Ello se explica por la siguiente ecuación:



En toda combustión se suele presentar ambas ecuaciones con oxígeno y con déficit de oxígeno. En algunas minas se encuentran otros hidrocarburos gaseosos como el etano y propano, los cuales pueden provenir de algún depósito de petróleo o del mismo carbón.

### 2.3) ANALISIS PSICROMETRICOS

En el proceso de la ventilación de una mina, el aire ingresa a esta en condiciones atmosféricas y a su paso va incorporando humedad y calor del ambiente, lo cual significa que su densidad, contenido de humedad y presión varían constantemente, será necesario conocer estas características para los cálculos necesarios en ventilación.

Para hallar la presión de un punto del aire de mina al no contar con un barómetro atmosférico, se aplicara la siguiente fórmula que aproxima los valores.

La presión barométrica (Pa) por fórmula es la siguiente:

$\text{Presión} = \text{Po} \times e^{(9.81 \times \text{H} / (\text{R} \times \text{T}))}$
---

Donde:

$P_o$  : Presión a nivel de mar (Pa)  
 $H$  : Diferencia de cotas (mts)  
 $R$  : Constante para aire  
 $= 290 \text{ J}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K})$   
 $T$  : Temperatura ( $^\circ\text{K}$ )

Para conocer la densidad del aire de la mina será necesario hallar la densidad del aire seco y la densidad del vapor de agua, la suma de ambas densidades será la densidad del aire de mina.

**Densidad del aire de mina = Densidad del aire seco + Densidad del vapor de agua.**

La densidad del aire seco se obtiene de la siguiente ecuación: La ecuación de la Ley de General de los Gases.

$$PV = RT \Rightarrow \rho = \frac{1}{V} = \frac{P}{(RT)}$$

Donde:

- $\rho$  : Densidad del aire seco ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )
- $P$  : Presión del aire seco (Pa)
- $R$  : Constante para aire seco  
 $= 287.1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K})$
- $T$  : Temperatura ( $^\circ\text{K}$ )

No olvidar que la presión del aire seco es igual a la presión barométrica menos la presión de vapor del agua, por lo tanto primero se deberá hallar la presión de vapor del agua.

Para hallar la densidad y presión del vapor de agua se utilizara un psicrómetro que mide la temperatura seca y húmeda. Al no contar con una tabla psicrométrica, se aplicará las siguientes formulas (formulas del Mining Engineering Handbook):

La fórmula para la presión de saturación del vapor de agua (en pascales) con la temperatura del bulbo húmedo es:

$$\text{Presión de saturación (vapor)} = p_{vs}^* = 611.2 \times \text{Exp}(17.502 \times th / (240.97 + th))$$

Donde:  $th$ : Temperatura a Bulbo Húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$\text{Presión de vapor} = p_{vs}^* - 9(P - p_{vs}^*)(ts - th) / (13792 - 11.7th)$$

Donde  $ts$  = Temperatura del bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $th$  = Temperatura del bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $p_{vs}^*$  = Presión del vapor saturado con  $th$  (Pa)  
 $P$  = Presión barométrica (Pa)

Conociendo la presión de vapor de agua en el ambiente se podrá conocer la cantidad de la densidad del vapor de agua y del aire seco en el ambiente por la Ley general de gases.

$$\text{Densidad del aire seco} = \frac{(P - pv)}{(R.T)}$$

Donde  $P$  : Presión barométrica (Pa)  
 $pv$  : Presión del vapor de agua (Pa)  
 $R$  : Constante para aire seco  
 $= 287.1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{K})$   
 $T$  : Temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

$$\text{Densidad del aire vapor de agua} = \frac{pv}{(R.T)}$$

Donde  $pv$  : Presión del vapor de agua (Pa)  
 $R$  : Constante para aire seco  
 $= 461.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{K})$   
 $T$  : Temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

La humedad relativa =  $P_v / (P_{vs} \text{ con la temperatura del bulbo seco}) \times 100$ .

La temperatura del punto de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ ) =

$$= \frac{5}{9} \left( \frac{-395.14 \ln(p_v / 3386.3882) - 1228.495}{\ln(p_v / 3386.3882) - 15.5596} \right) - 32$$

De esa manera para el caso de SIMSA para tener una densidad característica se tomará el nivel 1570 punto medio de nivel de las operaciones de mina central.

Altitud (mts)	Temperatura Promedio atmosférico ( $^{\circ}\text{C}$ )	Presión atmosférica (Pa)
1455	23	85788.91

Temp. Bulbo Seco ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temp. Bulbo Húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )	Pvs del bulbo húmedo (Pa)	Presión de vapor (Pa)
22	19	2196.37	2030.05

Densidad aire seco ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Densidad aire vapor de agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Densidad del aire de mina ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0.9884	0.01490	1.0033

Se puede considerar la densidad característica de mina central =  $1.04 \text{ kg}/\text{m}^3$

#### 2.4) RELACION ENTRE RESISTENCIA, CAUDALES Y PRESIONES.

Para que el aire fluya a través de una mina, es necesario que exista una diferencia de presión entre la entrada y salida de la mina. Esta diferencia de presión puede ser a causas naturales (gradiente térmica) o ser inducida artificialmente por

medios mecánicos (mediante ventiladores), precisamente esta diferencia de presión la que permitirá vencer las pérdidas por las fricciones y pérdidas locales que forman la resistencia al flujo y superarlo para mantener una velocidad.

La fórmula siguiente describe la relación entre la pérdida de presión entre dos puntos del caudal que fluye por un circuito y su caudal, que más adelante se describirá como se halla la relación siguiente:

$$P = R * Q^2 \quad \text{donde: } P = \text{Pérdida de presión (N/m}^2\text{)}$$

$$R = \text{Resistencia (kg/m}^7\text{)}$$

$$Q = \text{Caudal (m}^3\text{/s)}$$

Es de suma importancia entender esta relación porque de ella se desprende toda todas los cálculos numéricos para un diseño óptimo del circuito de ventilación.

Independientemente de las causas que originan la circulación del aire a través de las labores subterráneas, este deberá vencer las resistencias que encuentre en su paso, lo cual se traducirá en una pérdida de energía del aire en circulación.

Para que el aire circule a través de una mina, la energía de la que dispone deberá ser necesariamente mayor que la energía requerida para vencer la resistencia del conjunto de excavaciones.

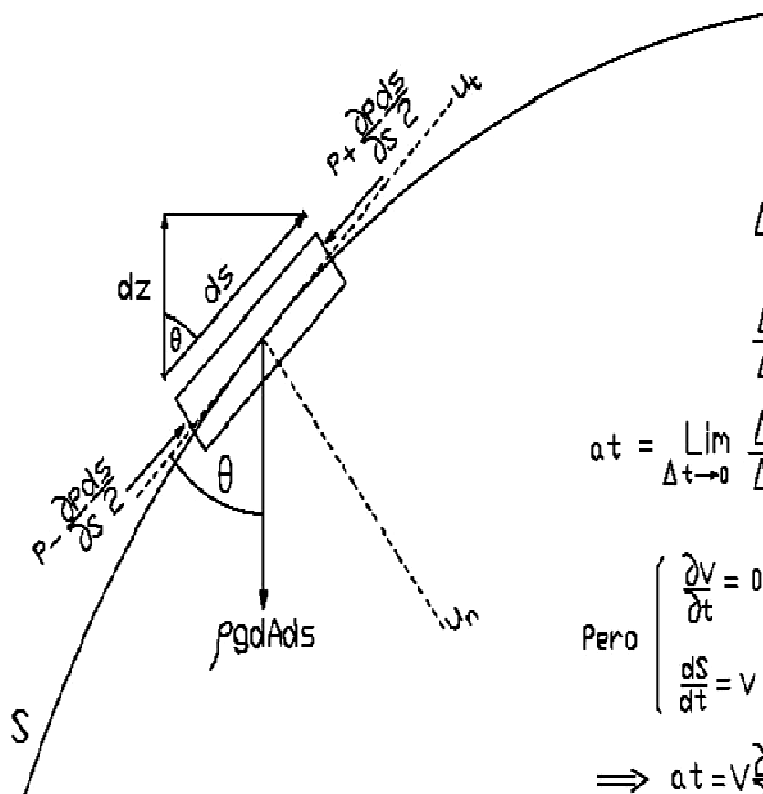
#### **2.4.1) CONCEPTOS DE DINAMICA DE FLUIDOS.**

Para poder calcular es preciso entender ciertos conceptos de mecánica de fluidos relevantes para poder hallar las relaciones entre las variables que gobiernan el comportamiento dinámico del fluido a través del circuito.

Para un flujo ideal con viscosidad = 0, irrotacional, densidad constante, permanente

$u_t$  = unitario tangencial ;  $u_n$  = unitario normal.

$ds$  = diferencial de  $S$  ( curva de trayectoria)



$$V = V(s,t)$$

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial s} \Delta s + \frac{\partial V}{\partial t} \Delta t \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\partial V}{\partial s} \frac{\Delta s}{\Delta t} + \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$\text{Pero } \begin{cases} \frac{\partial V}{\partial t} = 0, \text{ por ser flujo permanente} \\ \frac{ds}{dt} = v \end{cases}$$

$$\Rightarrow a_t = v \frac{\partial v}{\partial s}$$

Donde:  $\rho$  = densidad,  $g$  = gravedad y  $p$  = presión.

A continuación deduciremos la formula de Bernoulli

$$\Sigma F_t = m \cdot a_t$$





$$\left(P - \frac{\partial P ds}{\partial s} \frac{1}{2}\right) dA - \left(P + \frac{\partial P ds}{\partial s} \frac{1}{2}\right) dA - \rho g \cdot dA \cdot ds \cdot \cos \theta = \rho \cdot dA \cdot ds \left(V \frac{\partial V}{\partial s}\right)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial s} ds - \rho g \cdot ds \cdot \cos \theta = \rho \cdot ds \left(V \frac{\partial V}{\partial s}\right)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial s} - \rho g \cdot \cos \theta - \rho \left(V \frac{\partial V}{\partial s}\right) = 0 \implies \frac{dP}{ds} + \rho g \cdot \cos \theta + \rho \left(V \frac{dV}{ds}\right) = 0$$

$$dP + \rho g \cdot ds \cdot \cos \theta + \rho \cdot V \cdot dV = 0 ; \text{ pero } ds \cdot \cos \theta = dz$$

$$\implies dP + \rho g \cdot dz + \rho \cdot V \cdot dV = 0$$

$$\implies P + \rho g Z + \rho \cdot \frac{V^2}{2} = \text{Const.}$$

$$\implies P_1 + \rho g Z_1 + \rho \cdot \frac{V_1^2}{2} = P_2 + \rho g Z_2 + \rho \cdot \frac{V_2^2}{2}$$

$$\implies \boxed{\Delta P + \rho g \Delta Z + \rho \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) = 0}$$

Para un flujo real con viscosidad, rotacional, densidad constante, y permanente.

$$\implies \boxed{\Delta P + \rho g \Delta Z + \rho \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) = \text{PERDIDAS}}$$

Esta última es la fórmula fundamental en el cálculo de la dinámica de fluidos es conocido como la fórmula de Bernoulli.

Para el cálculo de las pérdidas se distinguen 4 tipos de flujos.

- a) **Flujo laminar:** Es aquel flujo donde las velocidades de cualquier partícula del flujo sigue trayectorias paralelas. Las direcciones de las velocidades son constantes, y es posible hallar analíticamente su distribución y también sus pérdidas. Las pérdidas en flujo laminar son linealmente proporcionales a su velocidad y dependen de su viscosidad.

Las pérdidas en flujo laminar en una tubería:

La ecuación de Hagen – Poiseuille

$$\text{Pérdidas (presión)} = \frac{128 \cdot \mu \cdot LQ}{\pi \cdot D^4} \quad \text{donde}$$

*$\mu$  : viscosidad(kg/(m.s))*  
*L : Longitud*  
*Q : Caudal*  
*D : Diametro de la tubería*

- b) **Flujo Crítico:** Es aquel flujo donde no se puede hallar un factor de fricción, la dirección de la velocidad es aleatoria. Es una zona inestable para los cálculos. No se puede hallar una relación tanto sea analítica ni empírica.
- c) **Flujo de Transición:** Es aquel flujo, como en el Crítico en donde las partículas se mueven con velocidad y dirección aleatorias, aumentando las pérdidas enormemente, no puede hallarse una distribución analítica de la velocidad y por lo tanto tampoco la pérdida de energía, se requiere pruebas empíricas para determinar las pérdidas de energía. En este caso el factor de fricción (adimensional) es una variable que depende de la velocidad. Se puede hallar una relación empírica.

**Las pérdidas en flujo de Transición:**

La ecuación de Darcy – Weisbach

$$\text{Pérdidas (presión)} = \rho \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2}$$

$\rho$  : densidad;

$f$  : factor de fricción =  $\phi(V)$

Donde  $V$  : velocidad

$D$  : Diametro de tuberia

$L$  : Longitud de latubera

- d) **Flujo Turbulento:** Es aquel flujo, como el de Transición, pero con la diferencia que el factor de fricción es una constante.

La ecuación de Darcy – Weisbach

$$\text{Pérdidas (presión)} = \rho \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \quad \text{donde}$$

$\rho$  : densidad  
 $f$  : factor de fricción = constante  
 $V$  : velocidad  
 $D$  : Diametro de tuberia  
 $L$  : Longitud de latubera

Para determinar si un flujo es laminar, turbulento o de transición, se utiliza como parámetro adimensional el numero de Reynolds y el diagrama de Moody

$$\text{El número de Reynolds} = \text{Re} = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad \text{donde}$$

$\rho$  : Densidad  
 $\mu$  : Viscosidad  
 $V$  : Velocidad  
 $D$  : Diametro de latuberia

Este parámetro es importante porque gracias a pruebas de laboratorios se determina el tipo de flujo, para ello se utiliza el diagrama de Moddy.

En ventilación de minas se considera la siguiente fórmula (otra forma de presentación de la ecuación de Darcy – Weisbach) para pérdidas del flujo medidos en presión para un tramo "L" de sección y caudal constante:

$$\text{Pérdidas} = \frac{\rho}{\rho_*} \cdot k_* \cdot \frac{PL}{A^3} \cdot Q^2 \quad \text{donde}$$

$\rho$  : Densidad  
 $\rho_*$  : Densidad standard (1.2 kg / m<sup>3</sup>)  
 $k_*$  : Coeficiente de Atkinson standard (kg / m<sup>3</sup>)  
 $L$  : Longitud del tramo  
 $P$  : Perimetro de la seccion  
 $A$  : Area de la seccion  
 $Q$  : Caudal

Igualando la formulas de perdidas en flujo turbulento y en ventilación minera

$$\rho \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} = \frac{\rho}{\rho_*} \cdot k_* \cdot \frac{PL}{A^3} \cdot Q^2 \Rightarrow f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{Q^2}{2A^2} = \frac{1}{\rho_*} \cdot k_* \cdot \frac{P}{A^3} \cdot Q^2 \Rightarrow$$

$$f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{\rho_*} \cdot k_* \cdot \frac{P}{A} \Rightarrow f = 2 \cdot \frac{k_*}{\rho_*} \cdot \frac{P \cdot D}{A}$$

Pero:  $D = \text{Diámetro equivalente de la sección} = \Phi(A) = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

$$\Rightarrow f = 4 \cdot \frac{k_*}{\rho_*} \cdot \frac{P}{\sqrt{\pi \cdot A}}$$

Como ejemplo analizando la estación E-49 (Salida a Orcopunco) con sección = 17.13 m<sup>2</sup>, perímetro = 17.01 m y caudal aproximado de 123,000 cfm (datos hallados

por Autocad en sección transversal) y considerando un coeficiente de Atkinson (coeficiente de fricción para aire con densidad  $1.2 \text{ kg/m}^3$  a nivel del mar y  $20^\circ\text{C}$ ) de la tabla N° 01, se obtiene un  $k_* = 0.0158$  y con una densidad de  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , reemplazando:

$$f = 4 \cdot \frac{0.0158}{1.2} \cdot \frac{17.01}{\sqrt{\pi(17.13)}} = 0.1221 \rightarrow \text{se considera } f = 0.10 \text{ como cota superior.}$$

superior.

$$\text{Caudal} = 123,000 \text{ cfm} = 58 \text{ m}^3/\text{seg} \Rightarrow V = Q/A = 58/17.13 = 3.38 \text{ m/seg.}$$

$$D_{\text{eq}} = \Phi(A) = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 4.67 \text{ m}$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Kg/(m.s) a } 20^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1.0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{3.38 \times 4.67 \times 1.0}{1.81 \times 10^{-5}} = 8.72 \times 10^5 \text{ (vea el gráfico de la pag. siguiente)}$$

Interceptando  $\text{Re} = 8.72 \times 10^5$  y  $f = 0.10$  (vea gráfico siguiente), este punto se ubicará en la región turbulenta, lo cual confirma la hipótesis de pérdidas en flujo turbulento.

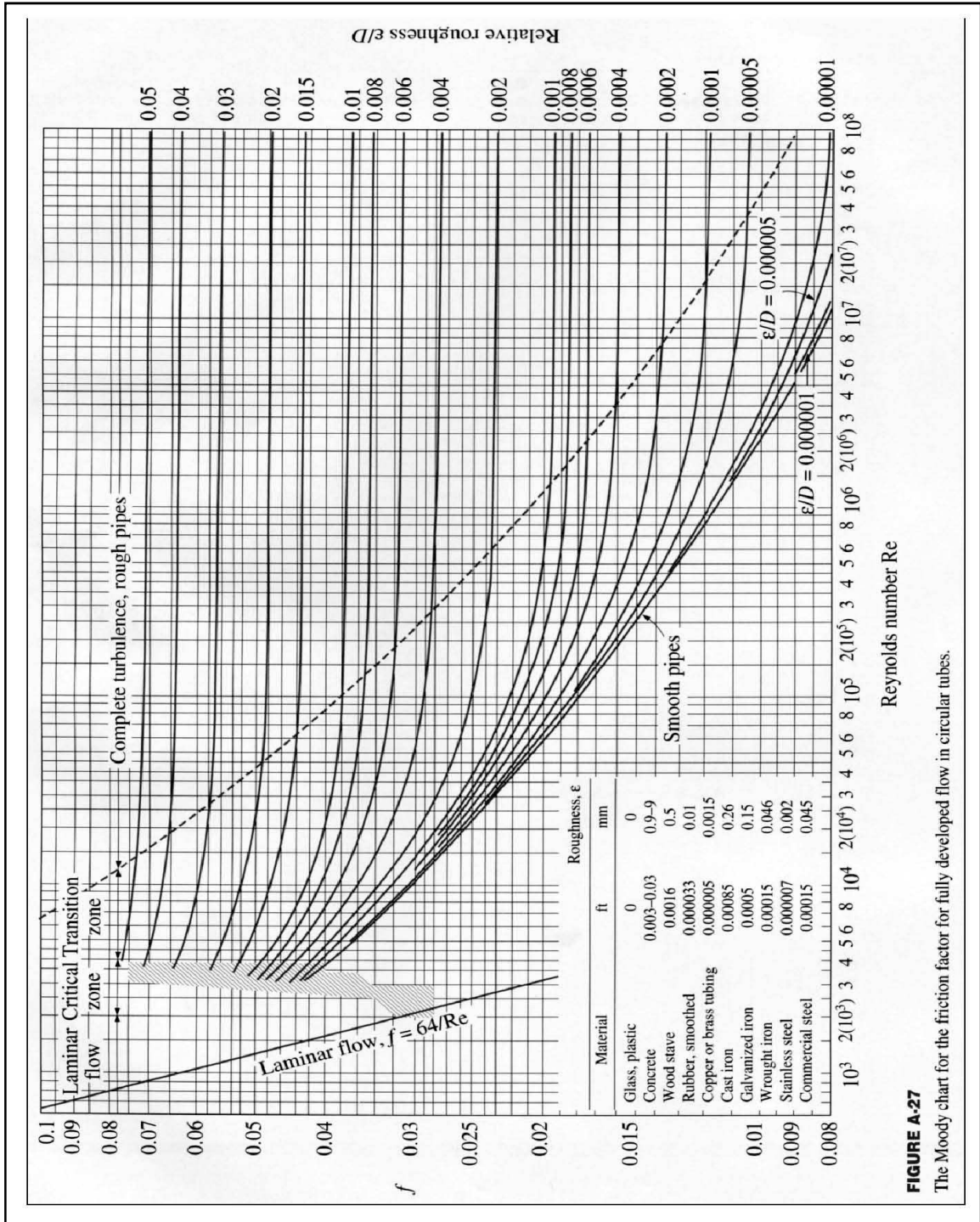
La velocidad mínima para que el flujo sea considerado turbulento será en el pto

$$\text{“B”}, \text{ Con } \text{Re} = 7.1 \times 10^3 \Rightarrow V_{\text{min}} = \frac{\text{Re} \cdot \mu}{D \cdot \rho} = \frac{7.1 \times 10^3 \times 1.81 \times 10^{-5}}{4.67 \times 1.0} = 2.7518 \times 10^{-2}$$

$\text{m}^2/\text{seg}$

$$\rightarrow \text{Caudal M\u00ednimo} = V_{\text{min}} \times \text{Secci\u00f3n} = 2.7518 \times 10^{-2} \times 17.13 = 0.47138 \text{ m}^3/\text{seg}$$

= 1000 cfm, una cantidad muy rid\u00edcula, lo que confirma la validez de considerar el flujo turbulento.



**FIGURE A.27**

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

**VALORES DEL FACTOR DE FRICCION (K)**

<b>POZOS VERTICALES DE SECCION CIRCULAR</b>	<b>K (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Revestimiento de Concreto, sin obstrucciones	0,003
Revestimiento de Ladrillo, sin obstrucciones	0,0037
Revestimiento de Concreto, equipado	0,0065
Revestimiento de Ladrillo, equipado	0,0074
Blindado sin Obstrucciones	0,0139
Enmaderado, sin divisores	0,0167
Revestimiento de Ladrillo, con dos Divisores, sin arriostre	0,0176
Revestimiento de Ladrillo, con dos Divisores, con arriostre	0,0223
<b>GALERIAS CON ARCOS METALICOS</b>	<b>K (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Revestimiento con Concreto	0,0037
Con Losas de Concreto o Enablado Total entre Arcos	0,0074
Con Losas de Concreto o Enablado Parcial entre Arcos	0,0093
Enablado Parcial detrás de los Arcos	0,0121
Superficie Irregular entre Arcos	0,0158
<b>GALERIAS RECTANGULARES</b>	<b>K (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Revestimiento de Concreto	0,0037
Paredes de Concreto o Ladrillo con Viguetas	0,0093
Paredes sin Revestir (lisas)	0,0121
Paredes sin Revestir (irregulares)	0,0158
Marcos de Madera	0,0186

**TABLA N° 01**

Fuente: VENTILACION MINERA I, EDITORIAL PUCP, POR CARLOS SOLDI

## 2.4.2) LEYES DE LOS VENTILADORES:

Los ventiladores se comportan guardando relación con ciertos parámetros relevantes de sí mismo y en ciertas circunstancias será útil conocer estas relaciones como se verá más adelante.

### A) Primera Ley:

#### Para un mismo diámetro del rotor (Diámetro constante):

- a) Caudal Inducido  $\propto$  Velocidad de Rotación.
- b) Presión Desarrollada  $\propto$  (Velocidad de Rotación)<sup>2</sup>
- c) Potencia Absorbida  $\propto$  (Velocidad de Rotación)<sup>3</sup>

Se puede observar que si multiplicamos el caudal inducido por la presión desarrollada se obtiene una potencia mecánica linealmente proporcional al cubo de la velocidad de rotación entonces:

- d) Potencia Mecánica  $\propto$  (velocidad de rotación)<sup>3</sup>

A su vez la eficiencia ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\text{Potencia Mecánica}}{\text{Potencia Absorbida}} = \eta \times \frac{(\text{Velocidad de Rotación})^3}{(\text{Velocidad de Rotación})^3}$$

Por lo tanto la eficiencia no cambia con la variación de la velocidad de rotación para un mismo diámetro de rotor.

### B) Segunda Ley:

#### Para una misma velocidad de rotación (rpm = constante):

- a) Caudal Inducido  $\propto$  (Diámetro de la Hélice)<sup>3</sup>
- b) Presión Desarrollada  $\propto$  (Diámetro de la Hélice)<sup>2</sup>
- c) Potencia Absorbida  $\propto$  (Diámetro de la Hélice)<sup>5</sup>



Se puede observar que si multiplicamos el caudal inducido por la presión desarrollada se obtiene una potencia mecánica linealmente proporcional a la quinta del diámetro de la hélice:

$$d) \quad \text{Potencia Mecánica} \propto (\text{Diámetro de la Hélice})^5$$

A su vez la eficiencia ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia adsorbida}} = \eta \times \frac{(\text{diámetro de la helice})^5}{(\text{diámetro de la helice})^5}$$

Por lo tanto la eficiencia no cambia con la variación del diámetro de la hélice para una misma velocidad de rotación.

### C) Tercera Ley:

#### Para una densidad del aire variable:

- a) Caudal inducido = Constante.
- b) Presión Desarrollada  $\propto$  Densidad del Aire
- c) Potencia Absorbida  $\propto$  Densidad del Aire

Se puede observar que si multiplicamos el caudal inducido por la presión desarrollada se obtiene una potencia mecánica linealmente proporcional a la densidad del aire entonces:

$$d) \quad \text{Potencia Mecánica} \propto \text{Densidad del Aire.}$$

A su vez la eficiencia ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\text{Potencia Mecánica}}{\text{Potencia Absorbida}} = \eta \times \frac{\text{Densidad del Aire}}{\text{Densidad del Aire}}$$

Por lo tanto la eficiencia no cambia con la variación de la densidad del aire.

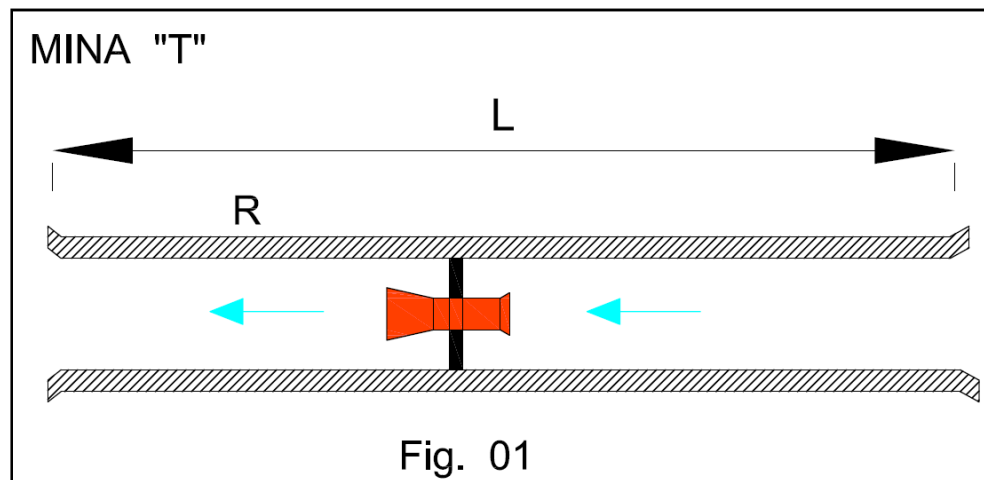
**Esta tercera ley es muy útil para comparar el trabajo de un mismo ventilador a diferentes densidades y por lo tanto altitudes.**

Como veremos a continuación, imaginemos que se tiene una mina que denominaremos mina "T" (ver figura de la siguiente página) que representaremos como una sola galería de longitud "L" y coeficiente de fricción de Atkinson "k", como sabemos por la teoría anterior que:  $k = (f * \rho) / 8$

Donde:

$f$  = coeficiente adimensional de fricción de Darcy- Weisbach

$\rho$  = densidad del aire



Por lo tanto:

$$k \text{ (estándar) } = f * \rho \text{ (densidad al nivel del mar = } 1.2 \text{ kg/m}^3\text{)}/8$$

$$k = f * \rho \text{ (densidad variable)}/8$$

Aplicando regla de tres simple se tiene:

$$\rightarrow k = k \text{ (standard) } * \rho \text{ (densidad variable)}/ 1.2$$

Sabemos que la pérdida de presión estática a lo largo de una labor es:

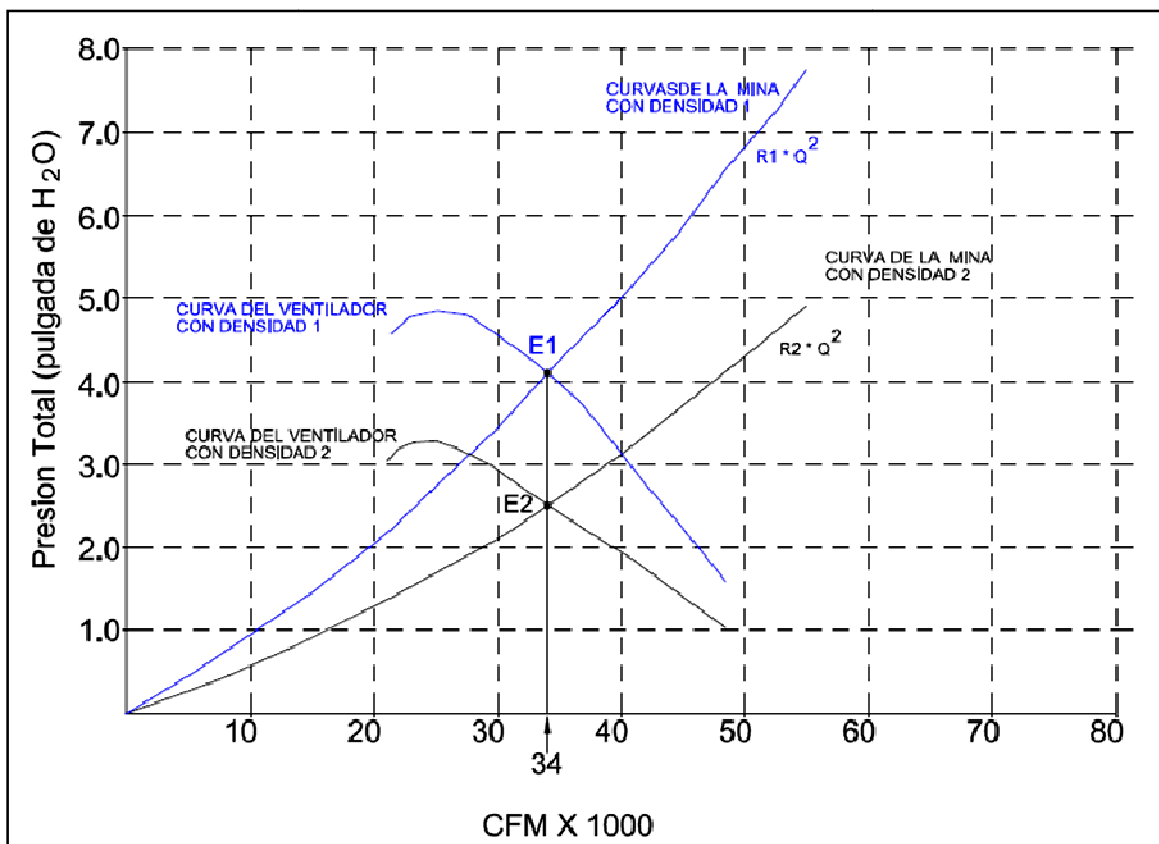
$$\text{Pérdidas} = k \cdot \frac{PL}{A^3} \cdot Q^2, \text{ y el coeficiente de Atkinson varia directa y linealmente con}$$

la densidad entonces se deduce que las pérdidas estáticas de las labores también variarían directa y linealmente con la densidad.

Ahora falta ver la pérdida de presión local, su fórmula es:

$$\text{Pérdida local (shock)} = X \cdot \dots ; \text{ Donde "X" es un valor adimensional hallado}$$

experimentalmente, **analizando la ecuación de pérdida local** se comprueba que varía linealmente y directamente con respecto a la densidad de la misma manera que las pérdidas de las presiones estáticas. Siendo la suma de las pérdidas de una mina la suma de estáticas y dinámicas (shocks) podemos deducir que las pérdidas son linealmente proporcionales a la densidad de la mina.



**Gráfico 02**

Si a la mina “T”, imaginariamente lo elevamos de altitud y por lo tanto baja su densidad, de densidad 1 hasta densidad 2, me generará una variación proporcional en las curvas del gráfico 02 (gráfico página anterior) con respecto a sus densidades, curva de color azul al negro, el punto de operación E1 bajará hasta E2, en la siguiente relación:

$$\frac{\textit{Presion Total (E1)}}{\textit{Presion Total (E2)}} = \frac{\textit{Densidad 1}}{\textit{Densidad 2}}$$

Por lo tanto la curva de los ventiladores como la curva de resistencia de la mina, ambos son directamente y linealmente proporcionales a la densidad.

Lo mismo se puede decir sobre la potencia, el análisis es similar.

Es importante notar que la variación de punto de operación de E1 hasta E2, no varía el caudal, **esta propiedad es importante para comparar gráficas de curvas de los ventiladores para diferentes densidades, pero las presiones como las potencias si variaran.**

### 2.4.3) RESISTENCIA EN SERIE Y PARALELA

**La Resistencia en Serie:** Es la suma de las resistencias de sus diferentes tramos siempre que todo el caudal de un tramo circule por el tramo consecutivo.

Las pérdidas de presiones por tramo se suman, se representa con la siguiente fórmula:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

**La Resistencia en Paralelo:** En este caso el caudal que circula se divide y/o bifurca en 2 o más tramos para que luego todos los caudales vuelvan a reunirse corriente arriba. La pérdida de presión en cada tramo desde que se bifurcan hasta volverse a reunir es igual.

Se representa con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{R_i}}$$

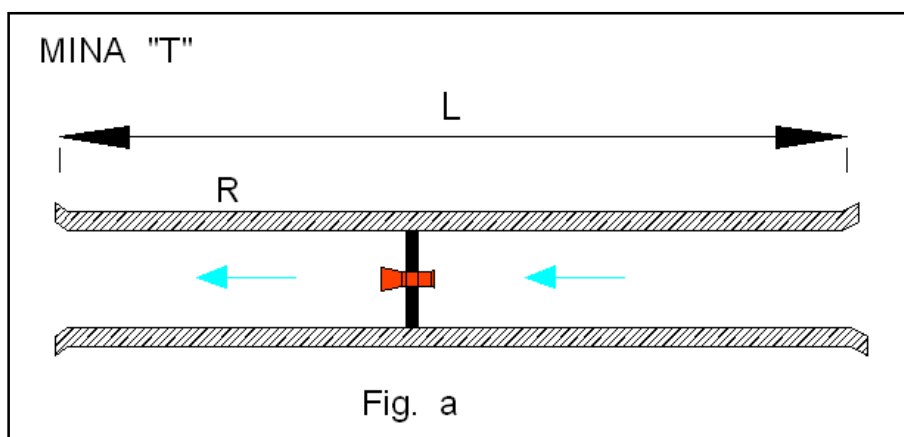
#### 2.4.4) INSTALACIÓN DE VENTILADORES EN SERIE Y PARALELO

Muchas veces se deberá colocar los ventiladores en serie y otras veces en paralelo.

Muchas veces he escuchado a los ingenieros del departamento de ingeniería decir que si se ponen dos ventiladores de iguales características en paralelo se puede casi duplicar el caudal, ello demuestra la falta de concepto de los principios de las leyes de la dinámica de la ventilación.

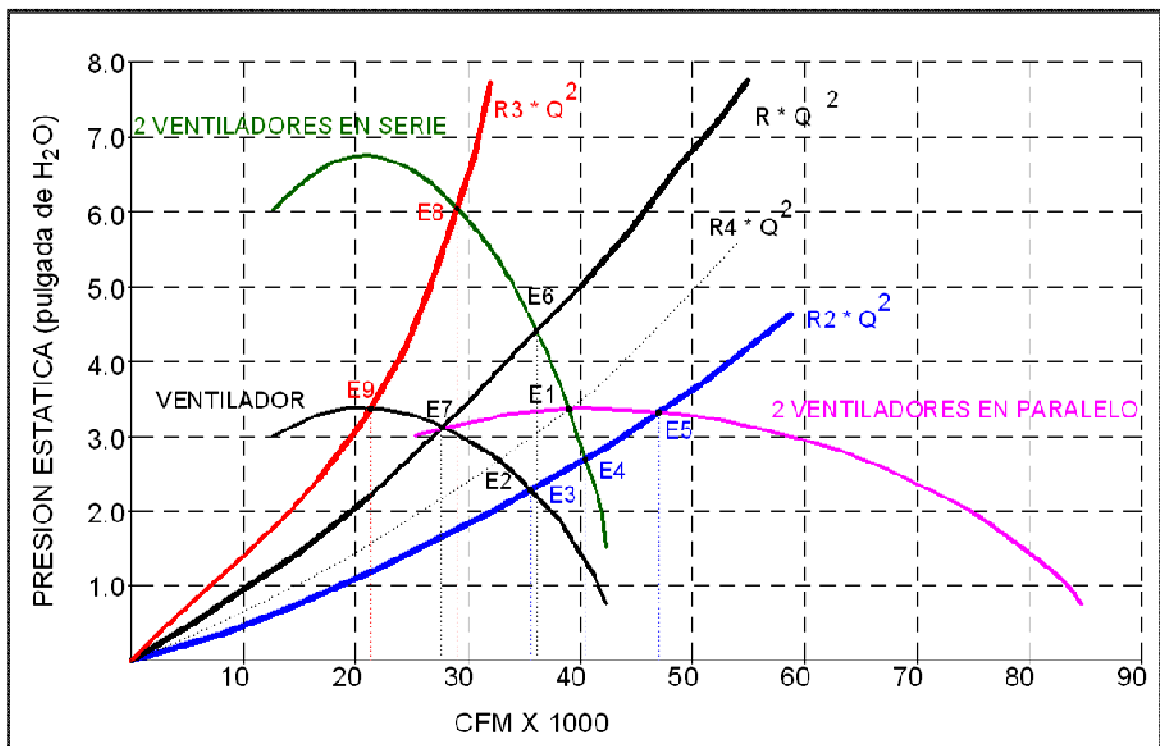
Por esta razón explicaré que es lo que sucede y el por qué con el caudal.

Veamos la figura (a), como en el acápite anterior, representará a una mina que denominaremos Mina "T", con longitud "L" y resistencia "R".



La pregunta que nos formularemos será ¿Cuál será el caudal inducido por el ventilador?, para poder responder deberemos conocer la curva característica del ventilador a un ángulo constante de su **presión total o estática vs caudal**.

En nuestro análisis trabajaremos con la presión estática, para ello presento su curva característica del ventilador de color negro como se muestra en el gráfico N° 03 inferior.

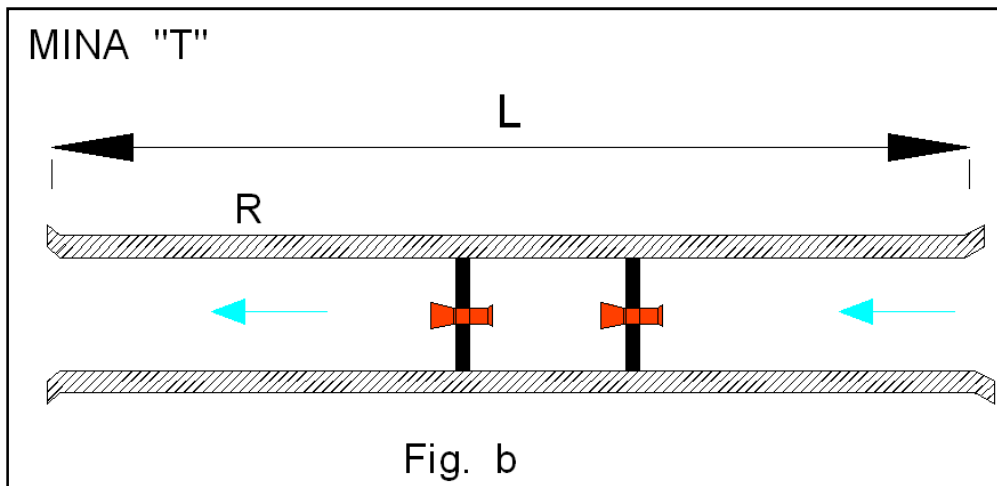


**Gráfica N° 03: Gráfico de Curvas de Ventiladores**

Como se puede observar en el gráfico de curvas características de los ventiladores (gráfica 03), las curvas de color negro representarán: la curva característica del ventilador y la curva de resistencia de la mina con resistencia ( $R \cdot Q^2$ ) y el punto E7 representa la intersección entre ambas curvas y por lo tanto este será el punto de operación si colocamos un ventilador como en la figura (a) de la página anterior, de esa manera conocemos el caudal inducido.

Ahora, si queremos usar dos ventiladores iguales al anterior, ¿Cual conviene más para incrementar el caudal, colocarlo en serie o en paralelo?, lo cual se analiza a continuación:

**a) Instalación en Serie:**

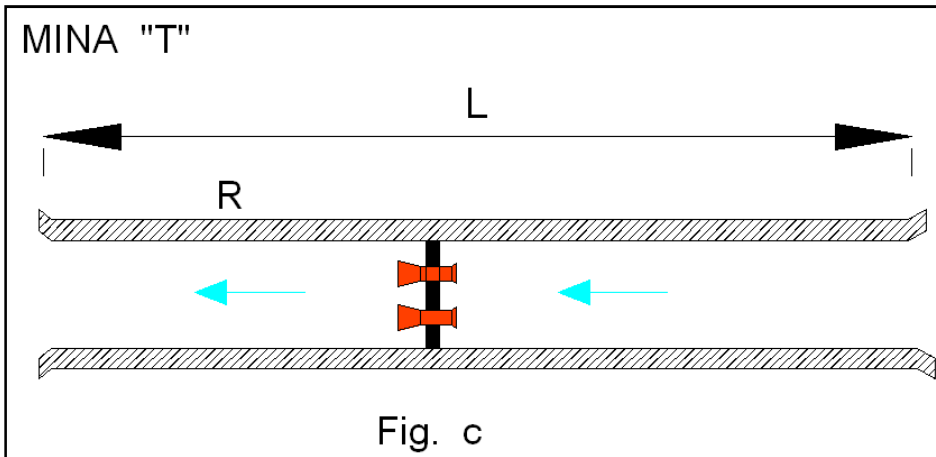


Para ello debemos hallar la curva característica equivalente de los dos ventiladores en serie, instalados como se muestra en figura (b), en el gráfico 03 la curva del ventilador obtenida cuando instalamos en serie estará representada por el color verde, y esta curva se halla sumando las presiones estáticas (no las dinámicas) y permaneciendo el caudal constante.

La intersección de la curva del ventilador con la curva característica de la mina será el punto de operación E6 y como se observa en el gráfico 03, para este punto operación (E6) el caudal se incrementó.

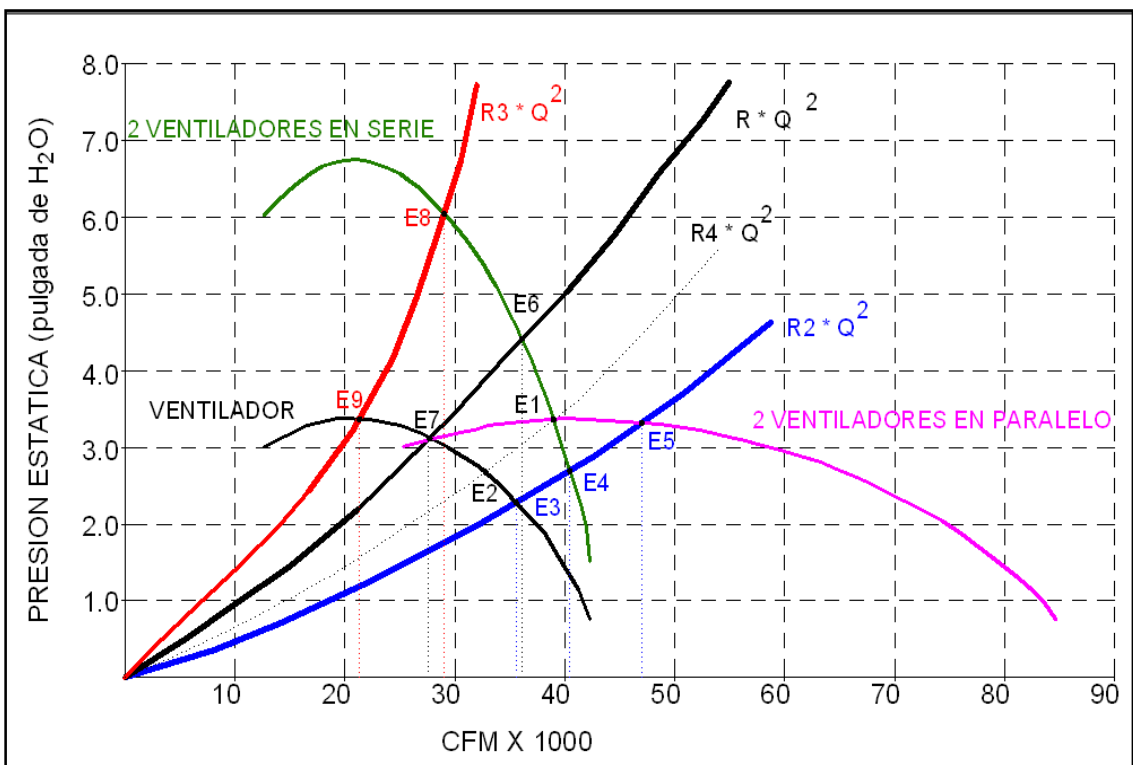
**b) Instalación en Paralelo:**

Ahora y si colocamos los dos ventiladores en paralelo, se deberá proceder análogamente, hallando la curva características equivalente de los dos ventiladores en paralelo, instalado como se muestra en figura (c) de la página siguiente.



En el gráfico siguiente de curvas de ventiladores (gráfico N° 04) la curva obtenida para este tipo de instalación está representado por el color rosa, y se halla sumando solamente los caudales y permaneciendo constante las presiones.

El punto de intersección es casi el punto E7, coincide con el punto alcanzado con la instalación de un sólo ventilador, es decir prácticamente no hay incremento de caudal, es decir no es útil poner dos ventiladores en paralelo en este caso. Mucho mejor es colocarlo en serie.



**Gráfica N° 04: Gráfico de Curvas de Ventiladores**



Ahora podríamos cometer un error al suponer que colocar dos ventiladores en serie es mucho mejor que colocarlo en paralelo. ¿Cómo así?

Veamos la intersección de las curvas características en serie y las curvas características en paralelo (vea grafico N° 04 de la página anterior), esta intersección se da en el punto E1, ahora imaginemos una curva de resistencia de la mina “T” que pase por este punto E1 así entonces la resistencia de la mina será “R4”, y la curva característica será,  $R4 * Q^2$ , significa que con esta resistencia aumenta el caudal pero para ambos casos ya sea instalación en paralelo o en serie, son iguales en caudales, puesto que coinciden en el punto de operación E1.

Este valor de R4, lo podemos considerar como un indicador, si la mina “T” tiene una resistencia menor a R4, entonces conviene más colocarlo en paralelo, como se observa en el grafico N° 04, la curva en azul con resistencia de mina R2 donde R2 es menor a R4, el punto de operación es E5, como se observa hay un incremento de caudal sobre E3 ( un solo ventilador) y también un mayor caudal sobre el punto de operación E4 (dos ventiladores en serie), concluimos si la resistencia es menor a R4, entonces conviene instalar los ventiladores en paralelo para ganar más caudal.

En caso contrario, si la resistencia de la mina “T” es mayor que R4 entonces conviene colocarlo en serie, como observamos en el grafico N° 04, tanto la resistencia “R” como la resistencia “R3” ( curva roja), son mayores a R4, en el caso de la curva de resistencia  $R3 * Q^2$  ( color rojo), la curva característica de los ventiladores en paralelos (color rosa) caen fuera del rango, no intercepta a la curva roja, hay que tener mayor cuidado de colocar ventiladores en paralelo, solo en el caso que la resistencia R sea menos a la R4. Además de considerar que deberá haber una cierta holgura, no se deberá hacer operar una ventiladora cerca de su zona de máximo esfuerzo (cerca a la cima de su curva característica).

## 2.5) CONCEPTOS DE ANALISIS DE COSTOS

En toda operación minera moderna, la ventilación de las labores subterráneas es una de las múltiples tareas que debe afrontar el Ingeniero de Minas.

Un ambiente de trabajo bien ventilado garantiza el bienestar del personal empleado en la operación y por lo tanto un adecuado rendimiento del mismo, lo que evidentemente reportará un beneficio económico a la empresa.

El diseño del sistema de ventilación para una mina se inicia con una evaluación detallada de las condiciones ambientales existentes en las labores subterráneas. Una vez realizado esta evaluación, es necesario plantear una o más alternativas que permitan mejorar las condiciones, hasta lograr niveles adecuados que garanticen un ambiente de trabajo sano y seguro para el personal.

El sistema de ventilación de una mina estará constituido por las plantas de ventiladores, equipo mecánico que suministra el aire a las labores mineras subterráneas y un circuito a través del cual fluye el mismo en el interior de la mina.

El costo de instalar y operar un sistema de ventilación deberá ser incluido en los costos de operación de la mina y es por esta razón que es importante definir los parámetros económicos que será necesario tener en cuenta para su evaluación.

Independientemente del sistema económico en el que se opere, la solución técnica más adecuada para la ventilación de una mina será aquella que, cumpliendo su función de manera eficiente, signifique el menor costo posible.

### **Factores que Intervienen en el Costo**

Como en toda instalación de una planta mecánica, será necesario considerar dos tipos de costos: El costo de posesión y el costo de operación. El primero será el precio que es necesario pagar por el sistema (costo fijo), es decir todos los costos incurridos sin

que el sistema se use, mientras el segundo dependerá de los costos incurridos directamente por el uso del sistema (costos variables). Es usual adoptar el criterio de determinar un monto anual que refleje tanto la inversión inicial efectuada como incurrido en operar el sistema.

### **Costos Fijos**

Los costos fijos de un sistema de ventilación no se refieren únicamente al precio pagado por el equipo, sino también al gasto efectuado por construir el circuito a través del cual fluye el aire. Aunque en general el aire circula a través de excavaciones practicadas con fines de explotación, es necesario a veces excavar piques, galerías o chimeneas destinados para ventilar labores subterráneas, si se tiene en cuenta este hecho, será posible adoptar un criterio racional para determinar la sección transversal óptima para dichas excavaciones. Evidentemente, el costo del equipo mecánico con todos sus sistemas de control y regulación así como la instalación del mismo y la construcción del circuito, constituirán parte de los llamados costos fijos.

### **Costos Variables**

Una vez instalado el equipo y conectado al circuito de ventilación, los costos en que se incurra para hacer circular el aire a través de la mina constituirán los denominados costos variables. Estos costos no serán únicamente aquellos derivados del consumo de energía, sino que habrá que incurrir aquí el mantenimiento del equipo mecánico y de los ramales que integran la red de ventilación. Es necesario tener en cuenta que las decisiones que se adopten al seleccionar una alternativa determinada pueden incidir en forma significativa en el monto de los costos variables y por lo tanto en el costo total del sistema seleccionado, tal como se verá más adelante.

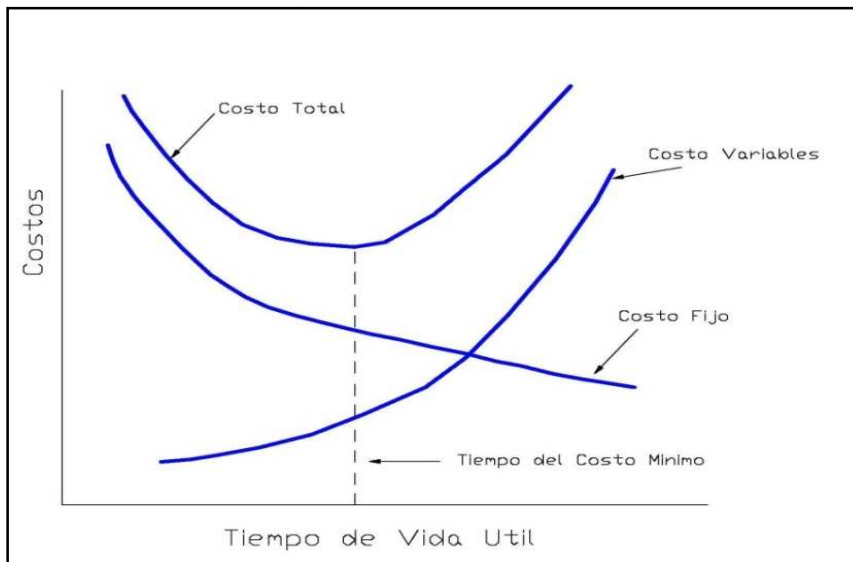
Los Costos Totales son la suma de los Costos fijos y los Costos Variables, así la curva de costos son funciones de varias variables.

Fijando un nivel de producción por periodo de tiempo, se obtiene un tiempo de vida útil.

$$\begin{aligned} \text{Costos Totales} &= \text{Costos Variables} + \text{Costos Fijos} \\ &= \text{Costos de Inversión} + \text{Costos de Operación} \end{aligned}$$

Cuando se trabaja con costos variable se trata sobre la función de variabilidad que dependerá de las cantidades de las unidades producidas, tonelaje de mineral, número de manzanas producidas. En el caso de ventilación de minas el valor dependerá del caudal requerido (costo de energía es casi el 95% del costo total de operación, en ventilación), la misma que se puede asumir constante para comparar diferentes alternativas de ventilación, por ello utilizaremos la relación siguiente:

$$\text{Costos Totales} = \text{Costos de Inversión} + \text{Costos de Operación}$$



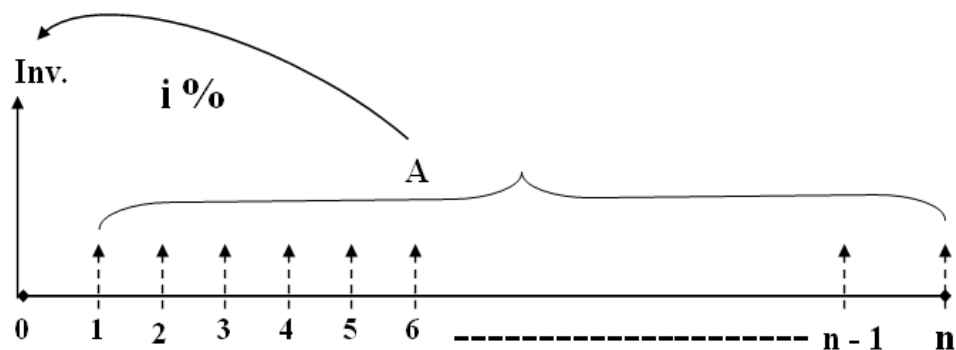
Así, podemos prorratear la inversión, durante todo su vida, considerando el costo de capital de la inversión. Los costos de Inversión se prorratean a lo largo de la vida útil del proyecto, en nuestro caso de RB, crucero, estocada, ventilador, etc.

¿Cómo hacer el prorrateo?, se hará considerando una tasa de descuento igual al WAYY de la empresa (el costo ponderado del capital de la empresa), el mismo que se me informo era 13% para SIMSA en el año 2007.

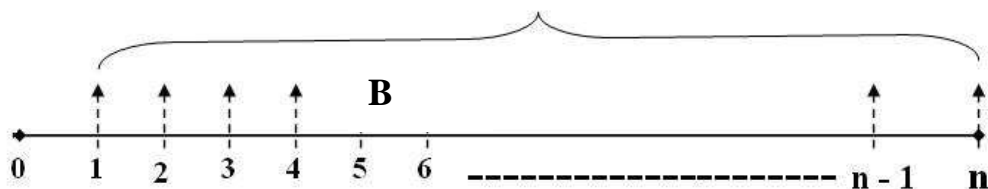
### A: COSTO ANUALIZADO DE LA INVERSION

$$A = \text{Inv.} \left[ \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

### Representación Gráfica :



### B: LOS COSTOS DE OPERACION



Donde:  $\text{Costo Total} = A + B$

La suma de ambos costos nos dará como resultado el costo total, así podemos comparar dos o más proyectos.

## CAPITULO III

### 3.1) INSTRUMENTACIÓN

Para ejecutar el levantamiento de la Red Principal de Ventilación se utilizaron:

- **Un Termo anemómetro:** Modelo TE-AVMO7, con brazo telescópico para ampliar la amplitud de medición( medir cerca al techo a veces casi 4 mt)
- **Smoke Tube :** Para bajas velocidades
- Cronómetro y cinta métrica de 7 mt ( para medir la dimensiones)
- Y para los trabajos de gabinete se uso el software VnetPc 2000.

#### TERMO ANEMOMETRO DIGITAL

Nº de Catalogo: TE-AVMO7

Descripción General: Termo Anemometro Digital-despliega en la pantalla los valores de flujo de aire expresado en  $\text{ft}^3/\text{min}$ .



#### CARACTERISTICAS

Varios Modos de Recolección de Datos

- Instantáneo
- Promedio
- Medición de 2/3 Flujo Máximo

Expresa Los Valores de Velocidad en:

- Metros por segundo (m/s)
- Pies por minuto (ft/min)
- Kilómetros por hora (km/hr)
- Millas por hora (mph)

Pantalla dual de LCD

Mide la temperatura en dos escalas °C y °F

### ESPECIFICACIONES GENERALES

UNIDADES	RANGO	RESOLUCION	UMBRAL	PRECISION
m/s	0,3 - 45	0,1	0,3	± 3% ± 0,1 m/s
ft/min	60 - 8800	0,1/1	60	± 3% ± 10 ft/min
knots	0,6 - 88	0,1	0,6	± 3% ± 0,1 knots
km/hr	1 - 140	0,1	1	± 3% ± 0,1 km/hr
mph	0,7 - 100	0,1	0,7	± 3% ± 0 mph
Rango de Área	(CMM) : 0,01 - 9999 m <sup>2</sup> (CFM) : 0,01 - 9999 x 100			
Rango Flujo Viento	(CMM) : 0,01 - 9999 x 100 (CFM) : 0,01 - 9999 ft <sup>2</sup>			

UNIDADES	RANGO	RESOLUCION	PRECISION
°C	0,0 - 45	0,2	± 1,0 °C
°F	22 - 112	0,36	± 1,8 °F

Pantalla	Pantalla LCD con dos filas de 4 dígitos
Cojinete del Zafiro	Cojinete de joya
Temperatura	Termocople tipo K
Temperaturas de Operación	
Instrumento	0 °C - 50 °C (32 °F - 122 °F)
Vena	0 °C - 60 °C (32 °F - 140 °F)
Humedad de Operación	Menor a 80 % RH
Temperatura de Almacenaje	-40 °C – 60 °C (35 °F -140 °F)
Consumo de Poder	01 Batería de 9 V, Aproximadamente 3mA
Dimensiones	Medidor : 3,46" x 6,61" x 1,03" (88 x 168 x 26,2mm)
	Vena : 2,60" x 5,22" x 1,15" (66 x 132 x 29,2mm)
Peso	350 gr / 12,34 onzas (batería incluida)
Accesorios	Maletín de Transporte
Manual de Usuario	01 Pieza

### 3.2) BALANCE DE INGRESO Y SALIDA DE AIRE PARA LA MINA

El balance general del flujo de aire para Mina Central, y sus distribuciones se puede chequear detalladamente en el plano N° 04 del anexo 01 (esquemático de ventilación con fecha 26/07/2007).

Esta fecha (26/07/2007) es muy importante porque será y marcará nuestra línea base de comparación.

Presenta un caudal de ingreso y salida de aproximadamente 200,000 cfm. Como se muestra en el siguiente cuadro.

#### INGRESO DE AIRE LIMPIO A MINA EN JULIO 2007

Lugar	Ventilador, cfm, HP	Caudal (cfm)
Nivel 1709, Ch 710	JOY, 30,000, 75 Hp	26,000
Nivel 1570	INGRESO NATURAL	120,000
Nivel 1455	INGRESO NATURAL	50,000
	<b>Total de Ingreso</b>	<b>196,000</b>

#### SALIDA DE AIRE VICIADO DE MINA JULIO 2007

Lugar	Ventilador, cfm, HP	Caudal (cfm)
Nivel 1870 →RB1 y RB2	-----	60,000
Nivel 1870	-----	70,000
Nivel 1652	Airtec, 105 000 , 150 Hp	75,000
	<b>Total de Salidas</b>	<b>205,000</b>



### **3.3) REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA LA MINA AÑO 2007**

Los requerimientos de aire para cubrir las necesidades de la mina al 26/ 07 /2007, se efectuaron en función del personal y equipos diesel, teniendo en consideración lo establecido en el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera D.S. 046-2001-EM.

Para el balance requeridos de los equipos se utilizaron los ratios de horas operativas/no operativas, y su tiempo operativo interior mina/ exterior mina (factor de simultaneidad), esto es importante puesto que conformaran una reducción nominal de los requerimientos de aire, para no sobredimensionarla.

Los cálculos determinados son para una necesidad de 380,000 cfm. Como se puede apreciar en el plano N° 04 del anexo 01 (esquemático de ventilación 26/06/2007).

### **3.4) COBERTURA DE NECESIDADES DE AIRE PARA LA MINA**

De la relación del caudal requerido para la mina sobre el caudal desplazado, se obtiene una cobertura de sólo 53% para SIMSA.

### **3.5) CIRCUITOS DE VENTILACIÓN**

La ventilación de la mina es mecánica, los circuitos de aire existentes son generados por la operación de ventiladores eléctricos, para SIMSA Mina Central, tiene un requerimiento legal de aire de casi 400,000 cfm, lográndose hasta el presente un caudal de 205,000 cfm, ello sugiere ir incrementando el caudal de extracción, y hacerlo con la mayor eficiencia que sea posible. Para SIMSA en lo sucesivo se puede considerar que un circuito principal, debe ser lo suficientemente

estable, para durar por lo menos de 2 a 3 años, sin grandes cambios, regularmente se debe hacer regulaciones una vez cada año para adaptarlas a las operaciones. Esta es una característica de una buena red principal de ventilación.

Mina central, presenta 4 circuitos bien diferenciados de distribución de caudal, gobernado por ventiladores principales, secundarios y puertas.

### **CIRCUITO PARA LA ZONA ALTA E INTERMEDIA:**

- **Circuito A:**

Este circuito ventila la Rampa 350, Rampa 160, labores del área A1, A4, A5, A6 y maestranza (Nivel 1652), su extracción principal es por el Nivel 1709 y sus ventiladores de extracción son: Un ventilador de 80,000 cfm en el Nivel 1709 y otro de 80,000 cfm en el by pass del Nivel 1652.

Este circuito tiene como elemento crítico aparte de los ventiladores, una puerta en el Nivel 1652, de vital importancia.

- **Circuito B:**

Posee dos subcircuitos:

**El Primero:** Crucero 510, Rampa 1040, Rampa 1300, labores 1105, 1390, 1339 y 1420 y su extracción principal son por los RBs 1360 y 1420 al Nivel 1652. Cuenta con dos boosters de 30,000 cfm y 20,000 cfm.

**El Segundo:** Recorre la Rampa 1010 hasta llegar a maestranza( Rampa 1010) y su extracción principal es por el Nivel 1370 - Gal 1210, por el RB 1390 hacia el Nivel 1750 por un ventilador de 55,000 cfm.

## **CIRCUITO DE ZONA BAJA Y EXTRACCIÓN DE AIRE:**

- **Circuito C:**

Es el más extenso y recorre desde el Nivel 1570, (Bocamina) y Nivel 1455, hacia la profundización de la mina, atravesando los diferentes RBs a lo largo de la Rampa 1010 sean de ventilación o de bombeo, este es **un circuito inducido**, no tiene fuerza propia, puesto que no posee ventiladores, finalizando en tres puntos extremos, el Nivel 1180, Rampa 1150 y Galería 1135.

- **Circuito D:**

Es el circuito extractor de la profundización, consta de tres canales de extracción:

### **Raise Bore 1030:**

Extracción hasta el Nivel 1455 - Cx 1150, siguiendo hasta el Nivel 1750, descargando en el RB 1140 y RB 1150 (conocido como pulpo), es de alta presión, por la poca abertura de estos RBs. Por medio de un ventilador de 105,000 cfm ubicado en la cabeza del RB 1150: Se extrae aire precisamente de los niveles 1240 y 1170 (Poza 5 y Poza 10).

Por medio de un ventilador de 30,000 cfm - Nivel 1240 - Gal 1070, por los RBs 1495 y 1640 se evacua hacia el Nivel 1370 - Galería 1240 luego para ser extraído por una RB 1495, y luego hacia el Nivel 1652 por medio de un ventilador de 105,000 cfm.

### 3.6) RECIRCULACIÓN DE AIRE MINA CENTRAL JULIO 2007

Labor	Descripción de Flujo	Caudal ( cfm)	Observaciones
Nivel 1709	Viciado	10 000	Flujo viciado sube por Rampa 1150 del Nivel 1652 y ingresa a la galería principal del sub nivel 1709 por mala hermetización de puerta, finalmente es reabsorbido por el ventilador de la CH 710, contaminando maestranza.
Nivel 1750	Viciado	20 000	Flujo viciado proveniente de Área 16 , Nivel 1455 que asciende por el Rb 1390, hasta el Nivel 1750 ingresando por una puerta mal hermetizado hacia la Rampa 1150 y el Nivel 1652.
Nivel 1652	Viciado	15 000	Flujo viciado proveniente de la zona baja, a través de Rb 1735, este flujo era reabsorbido por una puerta mal hermetizado en el Nivel 1652.
Nive1455, Gal 1150S	Viciado	10 000	Flujo viciado que asciende por el Rb 1150 del Nivel 1240, que vuelve a ser reabsorbido en la Galería 1150S hacia los RBs 840 (Sistema de bombeo).
Rp. Anexo a la Rp 920	Viciado	6 000	Flujo viciado del Nivel 1240 que asciende por el Rb 1240, que es reabsorbido por una Rampa anexo a la Rampa 920.

#### **Nota:**

Para mayores detalles observar el plano N° 04 (esquemático de ventilación 26/06/2007). Uno de los objetivos será disminuir esta recirculación en la mina, realizando una buena hermetización en puertas y tapones existentes.

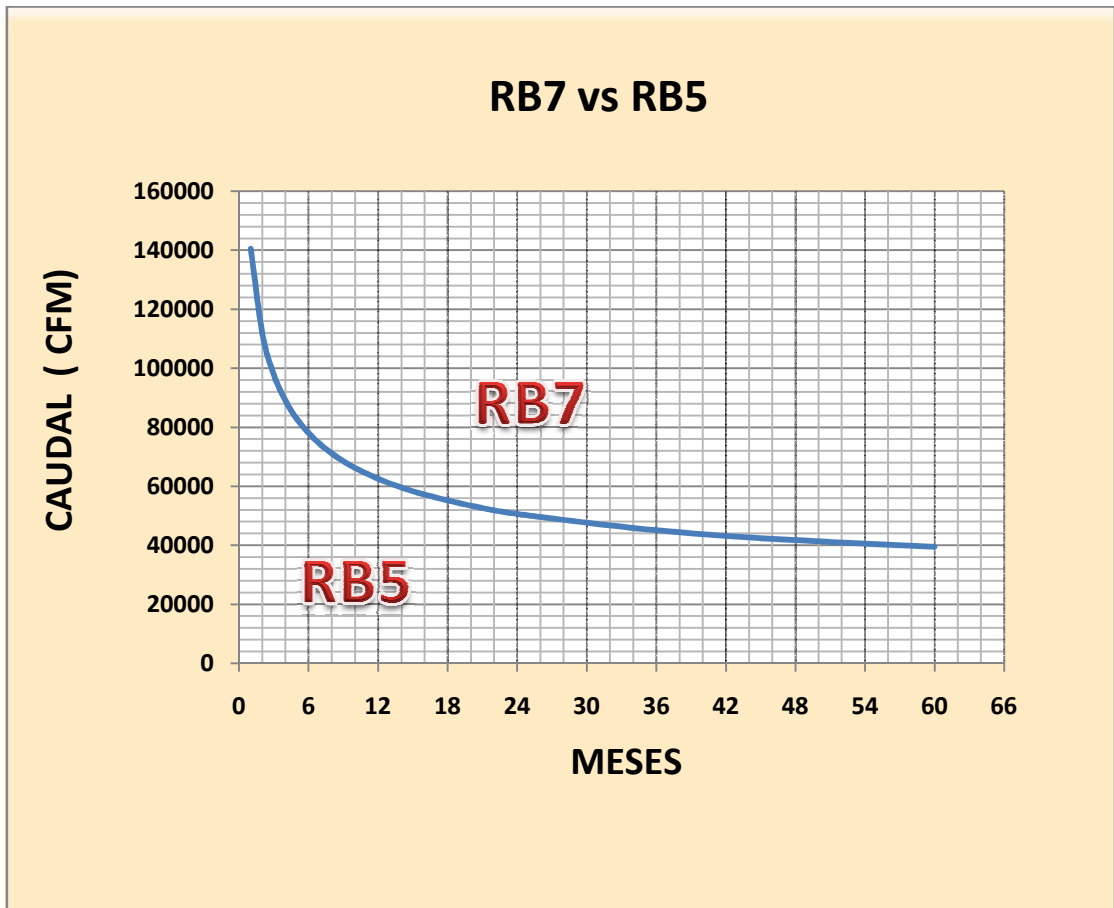
### 3.7) DIÁMETRO ÓPTIMO DE RBs PARA SIMSA: RB 7 PIES VS RB 5 PIES

Cuando se elige el diámetro de un raise bore, esta debería cumplir la condición de ser la más económica en su vida útil y que permita cumplir los objetivos de la ventilación, para ello se elaboró un diagrama gráfico que permita comparar en términos, de caudal, diámetro, costo de RBs, costo de energía y vida útil (solo se considera para uso de ventilación), cuál sería el más económico, no se considera en

costo de inversión del ventilador (los precios de los ventiladores varían entre proveedores y diseños), solo vemos la diferencia entre el costo totales de los RBs y su costo de energía para un determinado caudal.

Es de suma importancia contar con un diagrama para que ingeniería haga una correcta decisión en el diámetro del RB.

La gráfica a continuación representa el lugar de indiferencia donde ambos costos de inversión y de operación se igualan, así un punto por encima de la curva significa que el RB de 7 pies es más económico que el RB de 5 pies.



Como puede observarse para un RB que tenga una vida útil en ventilación de 4 años con un caudal de 50,000 cfm será más económico un Raise Bore de 7 pies a otro Raise Bore de 5 pies.

## CAPITULO IV

### EVOLUCION DEL CIRCUITO DE VENTILACION MINA CENTRAL SIMSA DESDE 07/2007 AL 09/2008

#### 4.1) BALANCE DE INGRESOS Y SALIDAS DE AIRE

##### INGRESOS

LUGAR	VENTILADOR ( CFM)	POTENCIA NOMINAL (HP)	CAUDAL CFM
NIV. 1570	-----	-----	190 870
Rp SAN JUDAS	-----	-----	34 000
NIV. 1455	-----	-----	35 500
<b>INGRESO DE AIRE TOTAL (CFM)</b>			<b>260 000</b>

##### SALIDAS

CIRCUITO	LUGAR	VENTILADOR ( CFM)	POTENCIA NOMINAL (HP)	CAUDAL CFM
A2	RB 1	-----	-----	48 740
	RB2	-----	-----	48 330
B4	NIV. 1870	-----	-----	39 000
A1	NIV. 1652			125 340
<b>SALIDA DE AIRE TOTAL (CFM)</b>				<b>261 400</b>

Para mayor detalle chequear el Plano N° 01 del anexo 01.

A lo largo de este periodo sobre ventilación de SIMSA (en el periodo de julio del 2007 hasta setiembre del 2008), se fue modificándose gradualmente la red principal de ventilación mediante la fuerte inversión de RBs, como el RB 1030 y del RB 1640, que le permitió y permitirá mantener la tendencia decreciente de energía y mejorará simultáneamente la ventilación de las labores.

Por ello, más adelante se presentará una tabla de balance general de los últimos 9 meses y la relación de costos ahorrados por energía, si lo comparamos con el sistema de

hace más de 14 meses encontrado, y la evolución de la red de ventilación principal de mina central, que estuvo regido por dos conceptos importantes y llevados simultáneamente en acción efectivamente y eficientemente.

- El incremento del caudal puesto que SIMSA en Mina central era deficitario de aire al 50%, incrementándose el caudal a 62.75% y con lo proyectado en los próximos 4 meses al 75%.
- La reducción drástica de energía consumida desde un potencial de 1206 HP solo para Mina Central, en ventilación principal, hasta reducirlo al día de hoy (Setiembre 2008) a una potencia instalada de ventilación principal de 780 HP. Ello representa un fuerte ahorro de energía.

Se ha logrado ambos resultados muy importantes para SIMSA mas aun conociendo su alto costo de energía. Recomiendo ver detenidamente los diagramas Esquemáticos de los diferentes periodos para comprender como fue la evolución del circuito principal (Chequear anexo 01\_planos N° 04, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08, N° 09).

Y no puedo omitir una recomendación para Servicios Auxiliares, no debe perder la eficiencia en el circuito principal de ventilación de SIMSA, esta eficiencia se manifiesta con un indicador, que se denomina resistencia “R” y que hago mención en el balance general.

Finalmente, puesto que el circuito principal es una concepción de mi diseño y por lo tanto responsable del mismo, me encontraré siempre a disposición y con toda actitud de servirles a cualquier observación presente y futura que surga del mismo.

#### **4.2) ESTUDIO DEL CIRCUITO DE VENTILACION SIMSA MINA CENTRAL DESDE 07/2007 AL 09/2008**

Mina central presenta un requerimiento de aire de 400,000 cfm, pero su caudal movido es solo de 255,000 cfm, chequear anexo 01 \_ plano N° 04.

El circuito principal consiste de 4 subcircuitos bien diferenciados, dos para la zona alta y dos para la baja.

La Zona Alta y Área 20, se ventila mediante el By Pass y los ventiladores del Nv 1750.

La Zona Baja, se extrae mediante dos ventiladores de 105,000 cfm del Nv 1455.

Para incrementar el caudal de la zona alta se requiere un ventilador de mayor caudal en el By Pass la misma que ya fue aprobada su adquisición.

Es importante destacar que Mina Central, en los últimos 12 meses (Setiembre 2007 - Setiembre 2008), ha ido aumentando su caudal de extracción, se mostrará una tabla resumen del aumento de caudal y disminución de consumo de energía.

Las mejoras se han debido a un diseño en conjunción a una distribución optima de los ventiladores principales y puertas, a lo largo de 2008 (Enero- Setiembre).

La ventilación del mina central solo extraía un caudal de 200,000 cfm en julio del 2007 , para setiembre del 2008 se incrementó hasta llegar a 255,000 cfm, más aun , a julio del 2007 se consumía en energía para ventilación principal la potencia instalada de 1206 HP ahora se llega a solo 780 HP, es decir casi 400 HP menos de consumo de energía, esto equivale a un ahorro mayor a \$ 116,000 dólares en solo 9 meses ( Enero-Setiembre), solo por ventilación principal, mas no así la ventilación auxiliar, puesto que esta última ha aumentado por mayores labores ciegas, podríamos resumirlo en un cuadro.



El ahorro correspondiente al periodo Enero - Setiembre 2008

	CONSUMO ENERGIA		Costo (\$ 0,06 Kw-Hr)	SUBTOTAL (\$)
	HP	KW		
MINA CENTRAL	400	298	9 meses	115 862
<b>TOTAL</b>	<b>400</b>	<b>298</b>	<b>9 meses</b>	<b>115 862</b>

Estos datos son fácilmente corroborables, con el personal de ventilación y taller eléctrico.

Los 400 HP para Mina Central, representan el ahorro logrado y mantenido, en una progresión continua de reducción de energía en el circuito principal.

Las recomendaciones para proyectar la red de ventilación principal para los próximos 12 meses son las siguientes:

**ZONA ALTA:**

- Incrementar el aire extraído por Orcopunco y mejorar la ventilación zona alta del Nivel 1709 con la inversión de un ventilador de 115,000 cfm en el By Pass.
- Terminar con la puerta de la Rampa 980, para regular el flujo que baje desde el Nv 1709, máximo 30,000 cfm.
- Extraer los ventiladores de 30,000 cfm del RB 1360 y RB 1420, en la galería 1330. Es importante puesto que con el nuevo ventilador ya no será necesario.
- Mantener el RB 1360 de 7 pies, comunicado con la Rampa 1300N.

**ZONA BAJA:**

- Reubicar un ventilador de 105,000 cfm en el Nv 1455 para mejorar la extracción de la profundización, de esta manera se podría incrementar la extracción de Orcopunco de 122,000 cfm hasta casi 179,000 cfm, por

simulación de VnetPc.

- Colocar el ventilador del By Pass en la Gal. 1070 - Nv 1240, para incrementar el caudal de extracción, esto es de suma importancia.
- Colocar una puerta reguladora en la gal 1210, Nv 1370, entre la comunicación del RB 1240 y RB1420, permitiendo solo el paso de 5,000 cfm hacia el Norte.
- Para ventilar el área 61 con las rampas 1315(+) y (-), construir dos Chimeneas 1250 y 1285, para ventilar el acceso al Tajo 61.
- Reubicar la puerta de la galería 1070 10 mt más al norte, en el inicio de las Rps 1315.
- Tener un RB 1350 de 5 pies de diámetro, de la Rampa 1330 hacia la galería 1070.
- Para la profundización: como extractores de los tajos 800, 900, 1000 y de la Rp 1010 se requerirá los RBs, 875 y 1005, hacia el acceso 880NE con ventilador de 50,000 cfm.
- Para la profundización: tener un Rb 1070 desde la Pz 8 hasta el sureste del tope del acceso 1070, colocar una puerta hermetizada e inyectar aire fresco desde la Rampa 940, con un ventilador de 30,000 cfm.
- Es preciso que el aire de los accesos de la Rp 1150(-) descienda por la rampa y sea extraído por un RB que nos permita comunicar con el pie del RB 1030 de 7 pies:

Para ello presento dos RBs posibles, el Rb 1000 y el Rb 1010, ambos casi de la misma longitud, prefiriendo el RB 1010, por tener mayor vida útil asociada a la Rampa 1150(-), por toda su posterior profundización.

### **4.3) PREPARANDO LA RED PRINCIPAL PARA AUMENTAR EL CAUDAL EN LA PROFUNDIZACION Y MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD.**

Desde 07/2007 hasta 09/ 2008, fue necesario rediseñar el circuito de ventilación, puesto que presentaba serias deficiencias tanto de caudal (siendo el requerimiento 400,000 cfm solo se lograba 200,000 cfm) y también un gran consumo de energía, por hallarse con alta resistencia.

Por lo tanto, era urgente incrementar el caudal y bajar la resistencia (R), como deberá saber:

**ENERGIA CONSUMIDA = RESISTENCIA X CAUDAL<sup>3</sup>**, es por esta razón que al bajar la resistencia se logra una combinación de aumentar el caudal y bajar la energía.

Expondré muy brevemente los hechos:

**Ello podrá corroborarse con los planos esquemáticos, chequear anexo 01\_planos N° 04, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08 y N° 09.**

#### **Los hechos más saltantes para la red principal de ventilación de SIMSA:**

- Julio 2007, En la cabeza del RB 1420, había un ventilador principal de 30,000 cfm y 50 HP, sin una función útil, puesto que si se apagaba subía casi la misma cantidad de aire, se procedió a retirarla
- Setiembre 2007. Se hizo un By Pass, en el Nv 1652, (Aumento el caudal y bajo la energía).

- Octubre-Noviembre 2007. Se termino de construir el Rb 1030 de al Nv 1180 (Aumento el caudal de la rampa 1010 y disminuyo la energía necesaria por los boosters).
- Diciembre - Enero 2007. Se empezó a construir el Rb 1640, al norte de la gal.1070 de 7 pies (No se usa aun en su totalidad).
- Febrero 2008.Se empieza a aumentar los requerimientos de extracción de aire para el área 1, 5.y 4, no habiendo, problemas por no tener en stock ventiladores.
- Febrero 2008, se encuentra que el ventilador de 30,000 cfm en la cabeza del Rb710 en el Nv 1709 (sobre Maestranza, Nv 1652), no es util, en esa posición, con la puerta cerrada bajaría aire fresco desde el Nv 1750 (vea el plano esquemático 26/12/2007), se reubica el ventilador en el Nv 1750, extrayendo aire al Norte.
- Febrero 2008.Se construye el Rb de 1285 de 5 pies, desde el la Rampa 1330 hasta la galería 1070, sirvió para darle salida de aire a la rampa 1150(-).
- Marzo 2008. Se retiro el ventilador de 30,000 cfm en la Rampa 940.
- Se retiro el ventilador de 105,000 cfm de 150 HP de la cabeza del RB 1125, en el Cx 1150, Nv 1455, en reemplazo de ese ventilador se coloca en la Pz 90, un ventilador de 30,000 cfm y 50 HP.
- Abril, Se rediseña un sistema de ventilación para USA, que hasta ese momento presentaba una gran deficiencia de ventilación para los tajos del 620, de allí se obtendría los ventiladores auxiliares para Mina Central.
- Abril 2008, ocurre que la rampa que comunica el Nivel 1709 con el Nivel 1750 al Sur, donde bajaba aire fresco para Maestranza, Nv 1652, se derrumba, impidiendo el aire hacia Maestranza, es así que de inmediato se

dispone a cambiar el ventilador de 30,000 cfm en el Nv 1750 por uno de 80,000 cfm, así se daría más aire a la rampa 350 y a maestranza Nv 1652.

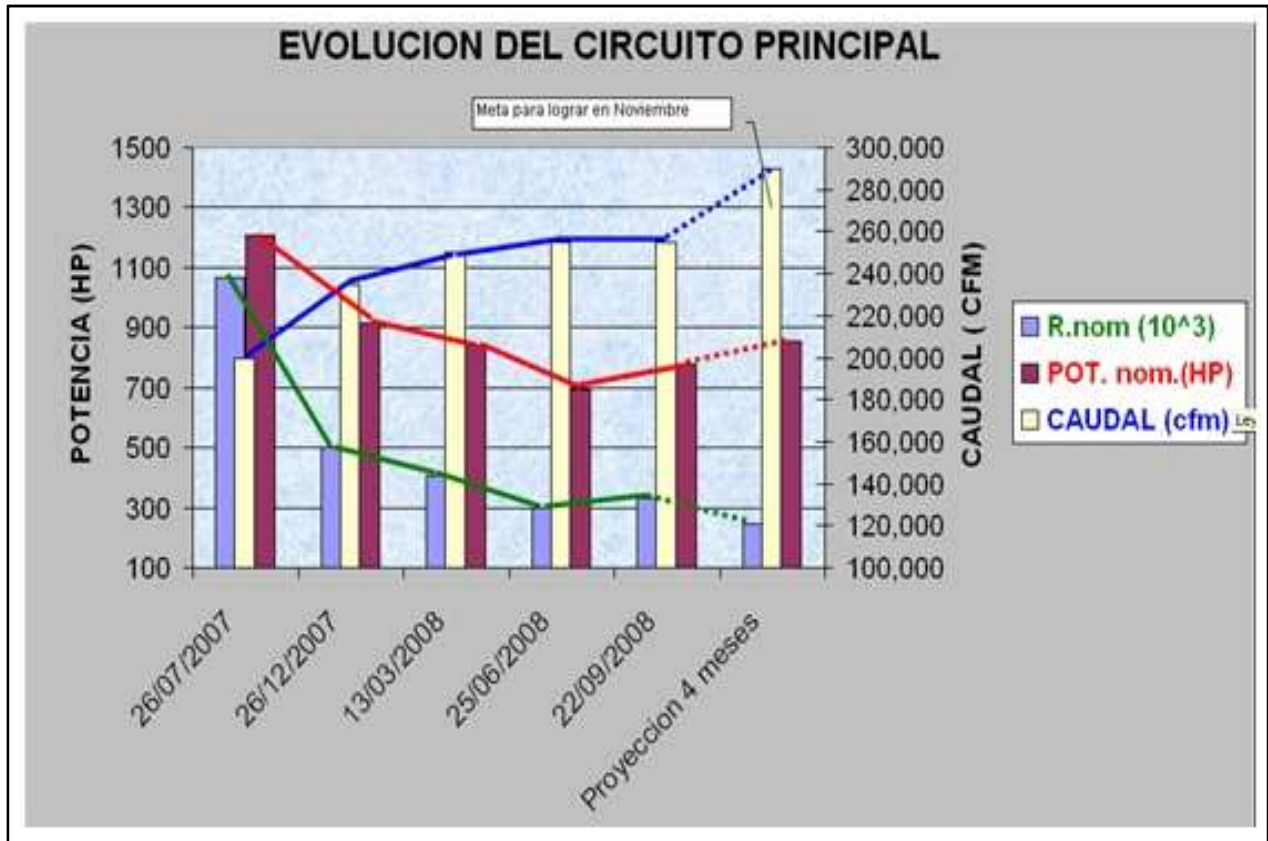
- Se construye la Ch 395, para ventilar la labor 385 y la rampa 500, extrayendo aire hacia el Nv 1709.
- De inmediato se rediseña el circuito para invertir el flujo de aire (en vez de bajar por el Nv 1709 el aire subiría por el Nv 1709). Este sería el sistema macro Final de la zona alta. Para se coloca una puerta principal de ventilación en el Nv 1652. Diseñado para ventilar toda la zona alta, área 1, 4,5.
- Se obtiene un ahorro de energía de USA por casi 100 HP, y sobre todo un ahorro de 4 ventiladores, que servirán para mina central, no olvidar, que por aquel entonces se empezaba a dar con fuerza la preparación de la zona alta, se necesitaban esos ventiladores. Así es que el ahorro que se lograba en USA, era rápidamente consumido por la ventilación auxiliar.
- Mayo 2008, se recupera el ventilador del Rb 805, Cx 830, y se lo lleva a mantenimiento.
- Mayo 2008, se reubica el ventilador de 80,000 cfm y 60 Hp, que inyectaba aire, por el Rb 710 hacia el Nv 1270 en el Nv 1750, para extraer mas aire de la zona alta, en reemplazo de un ventilador de 30,000 cfm y 75 HP, se le entrego a taller eléctrico para su mantenimiento.
- Mayo 2008, Se construye el Rb 255, extrayendo aire hacia el Nv 1709.
- Junio 2008, Se instalo un ventilador de 105,000 cfm en l By Pass Nv 1652, solo trabajo 2 días, presentando una rotura en la base, no hay garantías sobre ese ventilador por lo que será necesario otro, no contándose con ello se presento, una solicitud para un nuevo ventilador en Julio.

- Julio, 2008, se construye el Rb 1420, que comunica la Rampa 1300 con la gal 1330 Nv 1652. Por el problema de la recirculación fue necesario colocarle otro ventilador de 20,000 cfm y 50 HP. Incrementando la energía del sistema principal de ventilación. Nos vimos obligado a ello puesto que por la rampa 1300 no había buena visibilidad. Mejorando el flujo.
- Agosto 2008, por problemas de gases en la profundidad de la Rp 1150, más exactamente en la Pz 10 por altas concentraciones de ácido sulfhídrico, se hace necesario aumentar la extracción de aire por las gemelas, para ello decido colocar un ventilador de 20,000 cfm y 50 Hp, en la Pz 5 hermetizándolo. Resultado se logro bajar las altas concentraciones de sulfhídricos.

### **BALANCE GENERAL**

Haciendo un balance se obtiene el siguiente resultado a nivel macro del circuito principal de Mina Central después del rediseño del circuito de ventilación.

<b>FECHA</b>	<b>HP</b>	<b>KW</b>	<b>CAUDAL (CFM)</b>	<b>R X 1000</b>
26/07/2007	1206	898,47	200 000	1068
26/12/2007	917	683,16	235 000	500
13/03/2008	842	627,29	245 000	405
25/06/2008	695	517,77	255 000	297
22/09/2008	780	581,10	255 000	333
<b>PROYECCION A MESES</b>	<b>855</b>	<b>636,975</b>	<b>290 000</b>	<b>248</b>



Como se observará en los planos esquemáticos del anexo 01 \_ planos N° 04, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08 y N° 09, en orden de fechas, la ubicación de los ventiladores principales y secundarios por aquellas fechas fácilmente se puede corroborar con los cuadernos de reporte, de taller eléctrico y servicios.

En el gráfico superior se puede observar como se ha ido incrementando el caudal de aire hasta alcanzar los 255,000 cfm vs lo encontrado a mediados del año 2007 con 200,000 cfm, pero lo más notable es la reducción de energía, gracias a la reducción de la resistencia de la mina, **de haberlo encontrado en 1206 HP ahora se encuentra en 780 HP en el circuito principal.**

Dentro de los 4 meses el circuito podrá extraer 290,000 cfm, incrementando el caudal, la energía subirá un poco, pero la eficiencia de la red de ventilación mejorará sustancialmente, si se mantienen ejecutando las recomendaciones.

**RECUERDEN:**

Potencia nominal (Kw)= Sumatoria de todos los ventiladores principales y secundarios.

Ventiladores auxiliares= ventiladores que direccionan su flujo a frentes ciegos. Deben saber todo ello para poder determinar su R:

$$\mathbf{R \text{ (nominal)} = \text{Potencia Nominal (Kw)} / \text{Caudal}^3}$$

Una buena gestión de ventilación siempre trabaja sobre dos aspectos generales:

- Otorgar el caudal suficiente a las labores.
- Reducir la resistencia “R”, este es un indicador de mayor eficiencia del circuito.

Para mayor detalle chequear los planos en el anexo 01 \_ plano N° 04, plano N° 05, plano N° 06, plano N° 07, plano N° 08 y plano N° 09.

**4.4) INSTALACION DE PUNTOS DE MONITOREO**

Antes del 09/2008 SIMSA no tenia bien identificado sus puntos de monitoreo, para lo cual se hizo el levantamiento del circuito de ventilación y luego se procedió a ubicar los puntos de monitoreo, para mayor información chequear el anexo 01 \_ plano N° 07.

En la siguiente página se mostrará el punto de convergencia principal para monitorear la extracción de aire de la mina (E – 49).





En el gráfico anterior se puede observar que la extracción por Orcopunco Nivel 1652, en la estación E - 49 es de 122,000 cfm, por la estación E - 48 , Cx 1730 W es casi 64,000 cfm y finalmente por la estación E - 47 , en la galería principal del Nivel 1652, es de casi 62,000 cfm.

Como puede verse por el gráfico, se presenta la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal (E—49)} = \text{Caudal (E —48)} + \text{Caudal (E—47)}.$$

Como suele suceder con las tomas de campo, los datos de campo casi nunca coinciden por lo que hay que aplicar una corrección, en este caso la media de la diferencia es decir 2500 cfm, por lo tanto se tiene los valores corregidos de las estaciones son las siguientes:

$$\text{Caudal (E - 49)} = 124,500 \text{ cfm}$$

$$\text{Caudal (E - 48)} = 62, 500 \text{ cfm}$$

$$\text{Caudal (E - 47)} = 62,000 \text{ cfm}$$

Según el software VnetPc, tengo calibrado con una buena aproximación el circuito principal.

**Por ejemplo:**

En el software VnetPc, se tiene un caudal de 125,000 cfm, medido se tiene 122,288 cfm y corregido se tiene 124,500 cfm, es decir entre el medido y el VnetPc, se tiene un error de:  $(125,000 - 122,288)/122,288 = 2.21\%$ .

Así con los tres valores de las tres estaciones:

ESTACION	CAUDAL MEDIO	CAUDAL CORREGIDO	CAUDAL VnetPc	ERROR %
E - 49	122 288	124 500	125 000	2,21
E - 48	64 722	62 500	62 000	4,20
E - 47	61 823	62 000	63 000	1,90

Los tres valores están por debajo del 10% de error, por lo tanto, podemos usar el software como una tendencia de simulación con un muy buen nivel de confiabilidad.



### 5.1.2) PROGRAMA DE PRODUCCIÓN DE TAJOS

ZONA PRODUCCION	TONELAJE PROGRAMADO					TOTAL
	2009	2010	2011	2012	2013	
ZONA ALTA	89400	89400	80000	75000	75000	408800
ZONA BAJA	286800	286800	250000	250000	250000	1323600
SAN JUDAS	34400	20000	---	----	----	54400
<b>TOTAL</b>	<b>410600</b>	<b>396200</b>	<b>330000</b>	<b>325000</b>	<b>325000</b>	<b>1786800</b>

### 5.1.3) REQUERIMIENTO TOTAL DE EQUIPOS DIESEL

El requerimiento de equipos en SIMSA para el siguiente quinquenio es como se muestra en el siguiente cuadro:

#### a) Requerimiento de flota de equipos

FLOTA DE EQUIPO	2009	2010	2011	2012	2013
SCOOP ST 2,2 Yd3	2	2	2	2	2
SCOOP ST 3,5 Yd3	2	2	2	2	2
SCOOP ST 6.0 Yd3	5	5	6	6	6
DUMPER 20 TM	2	2	2	2	2
CAMION VOLVO 20 TM	6	8	9	9	9
JUMBO AVANCE	4	4	5	5	5
JUMBO SOSTENIMIENTO	2	2	2	2	2

#### b) Especificaciones de la flota de equipos

FLOTA DE EQUIPO	HP	% USO de EQUIPO	M3/Min por HP
SCOOP ST 2,2 Yd3	84	50%	3
SCOOP ST 3,5 Yd3	185	65%	3
SCOOP ST 6.0 Yd3	280	65%	3
DUMPER 20 TM	300	55%	3
CAMION VOLVO 20 TM	420	57%	3
JUMBO AVANCE	71	30%	3
JUMBO SOSTENIMIENTO	57	40%	3

## 5.2) REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA LA MINA

Con los datos anteriores calculamos el requerimiento de aire para la mina, como se muestra en el siguiente cuadro:

FLOTA DE EQUIPO	CAUDAL DE AIRE REQUERIDO (CFM)				
	2009	2010	2011	2012	2013
SCOOP ST 2,2 Yd3	8 896	8 896	8 896	8 896	8 896
SCOOP ST 3,5 Yd3	24 825	24 825	24 825	24 825	24 825
SCOOP ST 6.0 Yd3	96 369	96 369	115 643	115 643	115 643
DUMPER 20 TM	34 947	34 947	34 947	34 947	34 947
CAMION VOLVO 20 TM	177 467	202 820	228 172	228 172	228 172
JUMBO AVANCE	7 519	7 519	9 399	9 399	9 399
JUMBO SOSTENIMIENTO	4 829	4 829	4 829	4 829	4 829
<b>TOTAL CFM</b>	<b>354 852</b>	<b>380 204</b>	<b>426 710</b>	<b>426 710</b>	<b>426 710</b>

ITEM	DESCRIPCION	Nº DE PERSONAS/ GUARDIA	M3/Min. Por cada Persona	Caudal Requerido (CFM)
PERSONAL	PERSONAL EN GENERAL	125	3	13 238
<b>SUBTOTAL PERSONAL</b>		<b>125</b>	<b>3</b>	<b>13 238</b>

<b>REQUERIMIENTO TOTAL DE AIRE (CFM)</b>	<b>429 774</b>
--	----------------

Es decir para los siguientes 5 años se requerirá un caudal promedio de 429 774 cfm como mínimo para satisfacer las necesidades de la mina, para lo cual se tendrá que optimizar el circuito existente y para luego realizar el proyecto para este requerimiento ultimo.

### **5.3) DISTRIBUCIÓN DE AIRE POR ZONAS**

La distribución de aire estará dado por la distribución de la flota de equipos, en SIMSA se distribuirán en dos zonas principales: **Zona Alta** y **Zona Baja**, en Zona Alta se tienen labores de recuperación de pilares y algunas labores de exploración y preparación y en la Zona Baja se tienen la mayor cantidad de tajos y labores de exploración y preparación y por ende la mayor concentración de la flota de equipos, por lo cual en la Zona Baja el requerimiento de aire será mayor.

### **5.4) CIRCUITOS DE VENTILACIÓN**

#### **CIRCUITO DE VENTILACION MINA CENTRAL AL 22/09/2008**

La red principal de ventilación de la Mina Central (ver el esquemático unifical de Mina Central 22/09/2008, en el anexo 01 \_ Plano N° 01) presenta como vía de ingreso de aire fresco los niveles 1455 ,1570 y Rampa 2525, con los siguientes caudales:

- Nivel 1570 = 150,000 cfm
- Rampa 2525 = 20,000 cfm
- Nivel 1455 = 70,000 cfm.

Como se puede observar en el diagrama los ingresos se dan por la zona Sur de Mina Central, a diferencia de la extracción de aire contaminado que se da por el Norte.

Las vías de extracción principal se dan por los siguientes niveles:

- Nivel 1652 = 124,000 cfm
- Nivel 1870 = 50,000 cfm
- RB 1 y RB 2 (Raise Bores en el norte del Nivel 1870) = 80,000 cfm.

El balance de aire es de aproximadamente 250,000 cfm, así en resumen el aire ingresa por el Sur y egresa por el Norte.

El caudal que ingresa se distribuye de la siguiente manera para las diferentes áreas, vea el diagrama adjunto.

Los circuitos principales de ventilación se presentan en los dos planos, chequear el anexo 01 \_ plano N° 02 y plano N° 03

Para la Mina Central se han diferenciado 4 circuitos principales.

- La zona alta e intermedia será ventilado con los circuitos principales A y B.
- La zona baja y la profundización serán ventilados con los circuitos C y D.

### **El circuito principal A:**

(Ver el circuito de color marron en el anexo 01 \_ Plano N° 02).

Toma su ingreso de aire fresco del Nivel 1570, aproximadamente 150,000 cfm, este caudal circula a lo largo de la galería principal del Nivel 1570 y se bifurca en dos por el Crucero 045, el mismo que se vuelve a dividir para alimentar a la galería 105, es por esta ruta donde se obtiene su definición de ventilar la zona alta, niveles superiores, correspondientes a las áreas 1, 4 y 5 por la galería 105 antes de su descarga por el RB 180 hacia el Nivel 1455, se obtiene de para la Rampa 160, un caudal de 20,000 cfm, servirá de fuente de aire a las diferentes labores. Por la galería 105 recorre un caudal de 40,000 cfm el mismo que llega a la Rampa 350.

Aquí se debe mencionar que el circuito A, tiene cuatro puntos de descarga, tres

hacia el Nivel 1709 y uno hacia la galería principal del Nivel 1652, este último punto es regulado con una puerta para que pase como máximo 10,000 cfm.

Centremos la atención en los tres primeros puntos de descarga del circuito A, correspondiente a los RB 250, Ch 395 y RB 710, ( el diagrama de la letra, A3), ventilan las áreas mencionadas incluyendo Maestranza.

Todas ellas descargan al Nivel 1709, no es necesario colocar ningún ventilador principal en las cabezas de ellas, incluso si se colocasen ventiladores principales sería en desmedros de las otras, en cambio es mucho más fácil de controlar el caudal que circula por cada área, esta sería regulando en la misma cabeza del punto de descarga.

El nivel 1709 sirve de acopio de estos tres puntos de descarga, descargando en la Rampa 980, que asciende comunicándose con la Rampa 1000 ( ver el diagrama de la letra, A2) que finalmente descarga en el Nivel 1750, en la misma galería principal de este nivel hacia el norte se colocaron puertas que anulan el circuito hacia el sur, quedando únicamente el circuito del Nivel 1750 hacia el norte, es aquí donde se ubica un ventilador principal de 80,000 cfm y 60 Hp, por donde circula un promedio de 60,000 cfm, es importante mencionar que estos 60,000 cfm no son solo del Nivel 1709, también circula de la Rampa 980 en su comunicación con el Nivel 1652, ello afecta la ventilación de la zona alta como se verá más adelante.

Parte del circuito A, también descarga por la galería principal del Nivel 1652, este caudal proviene más de la Rampa 350, Crucero 1150 y del área 17, esta último zona de descarga del área 16 y 20. Sirviendo también como ruta de descarga del circuito principal B. Para lograr ello se cuenta con un ventilador de 80,000 cfm en el By Pass del Nivel 1652. Finalmente por el circuito A, se descarga en dos puntos 60,000 cfm



hacia el Nivel 1870 y 60,000 cfm hacia Orcopunco en el Nivel 1652 (ver en el diagrama la letra, A1), dando 122,000 cfm de un total de 250,000 cfm.

### **El circuito B:**

(Ver el circuito color verde en el anexo 01 \_ Plano N° 02).

Este circuito toma su ingreso de la misma manera que el circuito A, desde el Nivel 1570, pero en lugar de ascender desciende por la Rampa 670, ventilando el área 5, la labor 510 ( ver el diagrama la letra, B1), por esta rampa circula un caudal aproximado de 80,000 cfm, este ventila el comedor de la 710, el echadero 710 y 700, hacia la Rampa 920, llegando a la Rampa 1010, para luego dividirse en dos ramales, la primera ( ver el diagrama la letra, B3) circula por la Rampa 1040 y ventila las labores del área 16 y área 20 , para finalmente descargar su caudal viciado hacia el área 17, por medio de dos RBs, con ventiladores en la cabeza de 30,000 cfm cada uno.

El segundo sigue su trayecto hacia la Poza de bombeo N° 9, ventilando el desarenador 1380 y maestranza, descargando finalmente a la Galería 1210 – Nivel 1370, para ser descargado por un crucero al RB 1240, hacia el Nivel 1455, para luego ser succionado por el RB 1390, actualmente este RB no cumple su función por que se encuentra comunicado con la Rampa 1300, área 16. El caudal aspirado por un ventilador de 55,000 cfm en la cabeza del RB 1390, hacia el Nivel 1750, sigue su recorrido de extracción por el Nivel 1750 subiendo por una rampa hacia el Nivel 1870, para descargar 50,000 cfm a superficie parte sur del Nivel 1870 ( ver el diagrama la letra, B4). Cabe mencionar que de los 60,000 cfm que bajan hacia la Poza de bombeo N° 9, solo 30,000 ingresan a la galería 1210 el resto sigue su

descenso formando un ramal principal de la profundización formando otro circuito, el circuito C ( Ver el circuito de color rojo en el anexo 01 \_ Plano N° 03).

### **El circuito C:**

(Ver el circuito de color rojo en el anexo 01 \_ Plano N° 03).

Este circuito es la que alimenta a la profundización de toda la mina central, tiene varias entradas de aire, pero los principales son la Rampa 1010 y la formada por un subcircuito al Sur, formado por el RB 530 , 680, que toma aire limpio del Nivel 1455 en su comunicación a superficie, San Judas y RB 180 ( ver el diagrama, letra C1), hacia el Crucero 800 hacia Rampa 1015, para seguir bajando por RB 710 ( letra C3), pero este no es el único ingreso de aire también ingresa por el Nivel 1570, entremezclándose con el circuito B, en su trayecto hacia la Poza de bombeo N° 9 ( letra C2) para seguir solo bajando por toda la Rampa 1010 un caudal de casi 30,000 cfm, en su recorrido hacia la Rampa 940, recibe el caudal tributario de las gemelas del RB 920 y RB 860, este ultimo descarga en la nueva maestranza por terminar.

Este fluye hacia la Rampa 940 para que una parte baje por la RB 1060 hacia la Poza de bombeo N° 8, con un caudal de 13,000 cfm (letra C4), el resto baja por la Rampa 940 hacia la Rampa 1150. Simultáneamente el flujo de aire baja al Sur por la Rampa 1010, por esta se comunica a los tajos por el acceso 905, con ventilación auxiliar, para el área 60, luego prosigue su descenso para reunirse con el flujo de aire limpio del RB 805 ( letra, C5), y finalmente terminar en el Nivel 1180.

Por el Norte, el circuito rojo baja con un caudal aproximado de 25,000 cfm por la Rampa 1150(-), ventilando las labores ubicadas a lo largo de la rampa, con

ventilación auxiliar, esta sigue bajando para comunicarse con el flujo de aire del acceso 880 NE comunicado a la Rampa 1010, esta comunicación tendrá muchísima importancia para ventilar la profundización, el aire sigue bajando para ser descargado hacia el Frente 1135, hacia el norte hacia otro circuito de extracción

### **El circuito D:**

(Ver el circuito color verde en el anexo 01 \_ Plano N° 03).

Este circuito es el motor de la ventilación de toda la profundización y de mitad del circuito de ventilación de B.

Posee tres ramales importantes.

- **El ramal del RB 1030:** con extracción de 70,000 cfm y ventilador de 105,000 cfm (ver letra, D1).
- **El ramal del RB 1150:** con extracción de 20,000 cfm y ventilador de 30,000 cfm (ver letra, D2).
- **El ramal del RB 1285:** con extracción de 40,000 cfm y ventilador de 50,000 cfm (ver letra, D3).

Empecemos por describir el ramal del RB 1030, este RB es de suma importancia porque ventila la Rampa 1010, y será de capital importancia para ventilar la Rampa 1150 en su profundización, este ramal tiene una muy elevada resistencia, por que al llegar al nivel 1455, posee solo dos salidas de 5 pies ( RBs 1150), pero es mucho más resistente al llegar al nivel 1652, también posee solo dos RBs de 5 pies, uno de los cuales es usado para captar el agua para operaciones del Nivel 1750 y se encuentra cubierto por tuberías ( más conocido como el pulpo) generando mucha resistencia, quedando un solo RB 1120 ( ver la letra D6), la resistencia es tan alta

que incrementar el caudal por esta vía es muy oneroso. El otro ramal el RB 1150 de la poza de bombeo N° 10 hacia la poza de bombeo N° 5 (hermetizado), y de la Poza de bombeo N° 5 hacia la Poza N° 9, también es de alta resistencia, a pesar que se posee un ventilador de 30,000 cfm, sólo extrae un caudal de casi 20,000 cfm.

Y finalmente más al norte se tiene el RB 1285, que extrae casi 40,000 cfm, este último ramal es de suma importancia porque permite extraer mucho más caudal con menor energía que las anteriores.

Este último ramal posee dos RBs hacia la Galería 1210 - Nv 1370, los RBs 1690( 7 pies) y el 1495B (5 pies), por estos RBs en conjunto solo circulan 40,000 cfm, pudiendo fácilmente llegar a los 110,000 cfm, es aquí donde incrementaremos el caudal de la profundización, estos 40,000 cfm se unen al caudal del ramal del RB 1150, y se extrae por el RB 1495, donde se tiene en la cabeza de dicho RB un ventilador de 105,000 cfm, se debe hacer notar que la posición donde se encuentra este ventilador se tuvo que cerrar con puerta, para que no recircule el aire viciado, como se verá más adelante esta ubicación no es la mejor.

Finalmente se extrae el aire por dos descargas por el extremo norte del nivel 1455 y por el Crucero 1150 del mismo nivel hacia el Nivel 1652 (ver letras D5 y D6), con un caudal aproximado de 60,000 cfm por cada uno de los dos ramales.

## CAPITULO VI

### ANALISIS DE COSTOS

#### 6.1) COSTO DE ENERGÍA

##### 6.1.1) DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DURANTE EL PERIODO DE UN AÑO (ESTIAJE, AVENIDA)

Posee tres fuentes de abastecimiento de energía:

A) **HIDRO:** Central Hidroeléctrica ubicada en el distrito de Monobamba, el cual pertenece al grupo SIMSA, su costo promedio es de 0.02 \$/Kwatt-Hr, la energía que genera no es suficiente para abastecer a todo el complejo Minero y a los pueblos circundantes.

En épocas de avenidas esta potencia puede cubrir las necesidades de SIMSA al 60 % en horas punta, pero en épocas de estiaje sólo puede cubrir al 25% en horas punta.

B) **LA RED INTERCONETADA DE JUNIN:** Red nacional, esta abastece a la empresa con una potencia contante durante todo el año, cubre solo el 40% de las necesidades de energía, lograr un incremento de la potencia de energía de esta fuente solo se puede lograr previa negociación con el Ministerio de Energía, la misma que se encuentra reacea a incrementarla debido a que se encuentra a la máxima capacidad por los requerimientos de otras industrias.

Es así que todo requerimiento adicional de energía en el corto plazo no podrá ser cubierto por la RED INTERCONETADA.

Su costo promedio es de 0.04 \$/Kwatt-Hr.

C) **TERMICA**: Generada por grupos electrógenos de SIMSA, la cual es usada en épocas de estiajes para cubrir el 35% de los requerimientos de SIMSA, también es activada en cortes intempestivos de energía.

Esta fuente es la más costosa de la tres, siendo su costo casi de 0.28 \$/Kwatt-Hr.

**El costo promedio de SIMSA es de 0.06 \$/kwatt-Hr**

### 6.1.2 COSTOS MARGINALES DE ENERGÍA

Para un análisis correcto de los costos se deberá considerar el valor real del incremento o reducción de la energía a partir de un consumo anual estimado promedio, ello sugiere usar los costos marginales como parámetro, no así los costos promedios. Los costos promedios no reflejan el valor real del valor de un incremento de energía a partir de un consumo dado.

$$\text{Costo Marginal} = \frac{0.28 \times \text{meses de estiaje} + 0.04 \times \text{meses de avenida}}{\text{meses totales}}$$

$$\text{Costo Marginal} = \frac{0.28 \times 4 + 0.04 \times 8}{12} = 0.12 \text{ \$ / Kwatt-h}$$

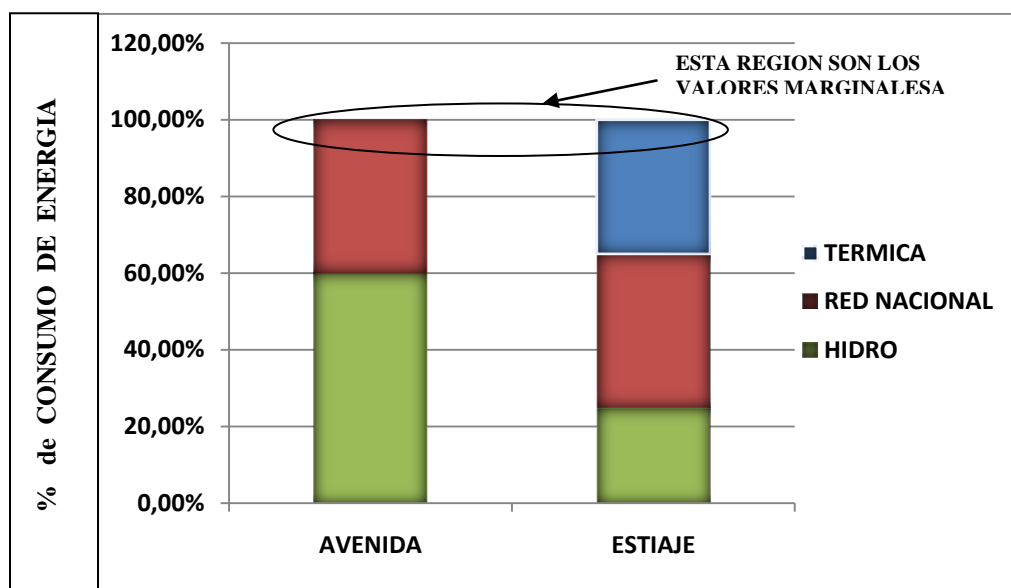


GRAFICO 01

La razón por la que no consideramos el costo de la energía proporcionada por la Hidro, es porque según puede observarse del cuadro superior, la energía de la Hidro no se la puede considerar marginal, solo es marginal la interconectada y la térmica.

Como puede ser observado se trabajo con un costo marginal 0.12 \$/Kwatt-Hr, este dato se uso para el análisis de los costos.

## 6.2) ANÁLISIS ECONÓMICO DE RBS CON DIFERENTES DIÁMETROS

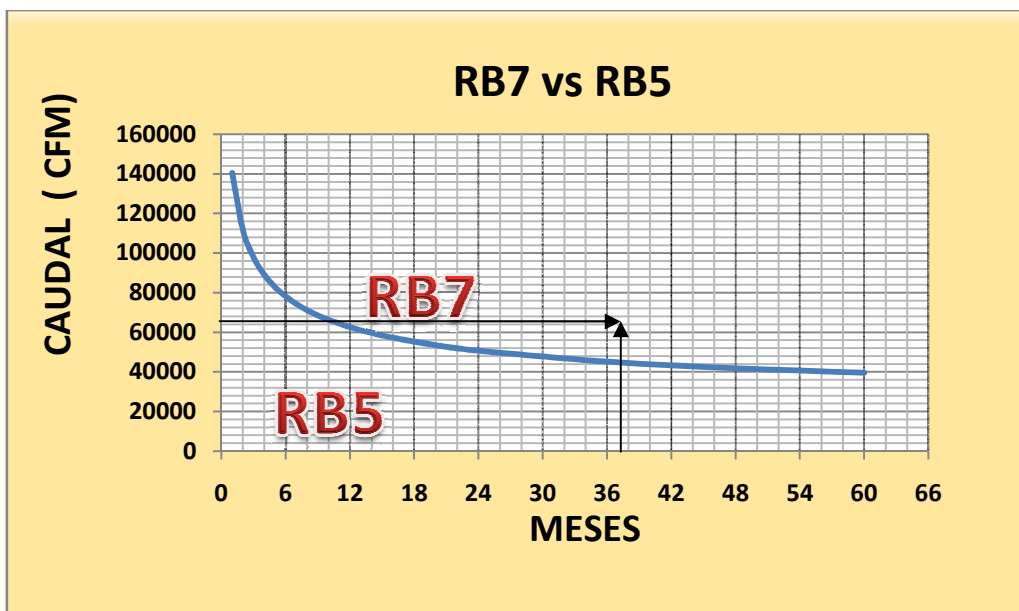


GRAFICO 02

Para una vida útil de 3 años (36 meses) y un caudal de 60,000 cfm, el punto de intersección se ubica en la parte superior de la curva como puede observarse en el grafico superior, por lo tanto esto nos indica que la elección más económica será el RB de 7 pies de diámetro.

Es importante entender la utilidad de este grafico, mas aun por la persistencia de muchos ingenieros del departamento de ingeniería y mina, por seguir desarrollando RBs de 5 pies de diámetro, y que no consideran la alternativa de los RBs de 7 pies que podrían ser mucho más económicas para un diseño optimo del la red de ventilación como lo demuestra el grafico de análisis económico entre dichos RBs.

### **6.3) ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL VENTILACIÓN**

El camino más fácil y menos costoso es incrementando el caudal de extracción de la profundización por el Nivel 1652 de ORCOPUNCO, tomando en cuenta que la extracción por este nivel será la suma de la mayor parte de caudal de profundización y el caudal del área 16 o parte del caudal también de la profundización, en este último caso solo es posible si se deja de operar el Norte del área 16.

Ahora para ubicarnos en el análisis espacial, veamos la página siguiente (grafico N° 03), en este gráfico esquemático se presenta una área de recuadro, en ella se centrará nuestro análisis para evaluar en el VnetPc 2000, en donde será necesario un caudal de 150,000 cfm en el Nivel 1455 que proviene exclusivo de la profundización como puede verse en todo el esquemático global y simultáneamente lograr un caudal de 65,000 en el By Pass del Nivel 1652.

Para que ello sea posible se recurrirá a dos ventiladores, un ventilador que denominaremos V1 en el Nivel 1455 (también se podría ubicar corriente arriba en el Crucero del Nivel 1652) y el otro ventilador que denominaremos V2 en el by pass del Nivel 1652.

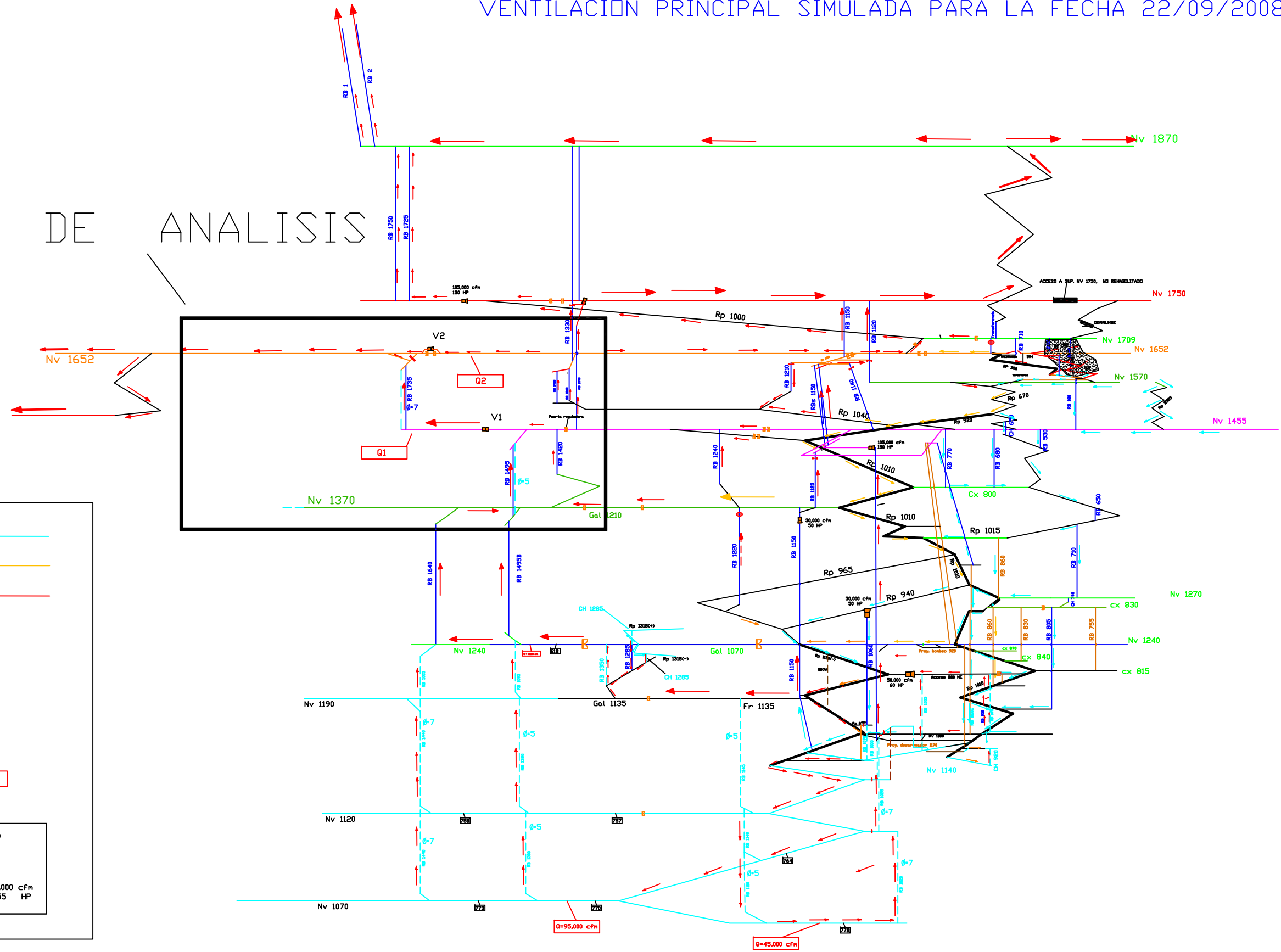
Los dos ventiladores V1 y V2 son antagónicos en decir compiten entre si, el incremento del caudal de uno disminuye al otro, es por eso que usando el VnetPc, se debe determinar varias combinaciones posibles de presiones estáticas entre ambos ventiladores, para tener un aproximado del rango de presión estática que deben tener ambos para un cálculo más fino. Así el ventilador V2, puede contar con una presión estática de 5 pulgadas de H<sub>2</sub>O, para lograr un caudal cercano a los 65,000 cfm en el Nivel 1652. Así fijamos la presión estática en el ventilador V2, para calcular la resistencia de circuito para el ventilador V1.

En el siguiente ítem, fijaremos las combinaciones razonablemente posibles para lograr el caudal objetivo de 150,000 cfm en la profundización.



VENTILACION PRINCIPAL SIMULADA PARA LA FECHA 22/09/2008

AREA DE ANALISIS



- Flujo limpio
- Flujo medio
- Flujo contaminado
- Ventilador
- Puertas
- Muros
- Caudales simulado Q = 125,000 cfm

Q = 290,000 cfm  
 Q. req. = 400,000 cfm  
 R.nom. = 0.248  
 R.soft = 0.1843  
 Cobertura = 72.5 %  
 Q. Profundizacion intensa = 161,000 cfm  
 Poten. Inst. = 855 HP



COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.  
UNIDAD SAN VICENTE-SUPERINTENDENCIA DE PLANEAMIENTO

DISEÑO : ING. A.MEZA-R.HUAMAN  
 DIBUJÓ : ING. ALEX MEZA C.  
 REVISÓ : ING. R. HUAMAN  
 REVISÓ : DEPTO INGENIERIA

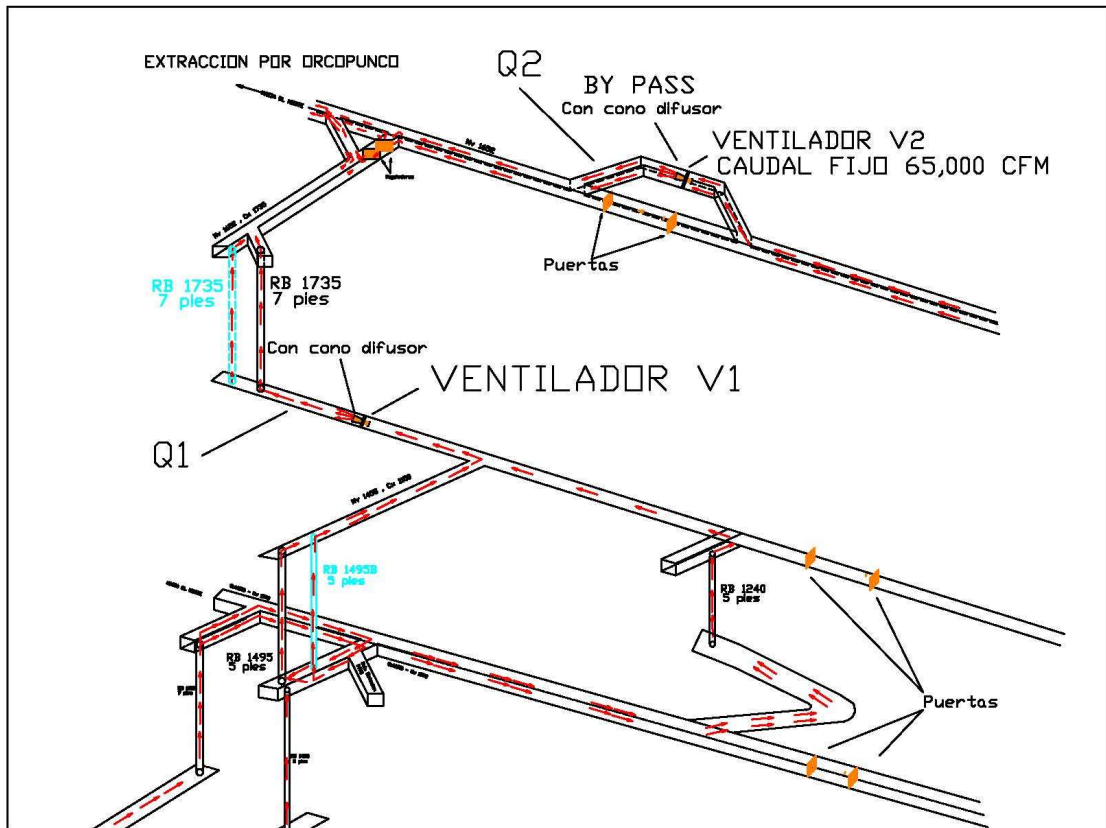
REVISÓ :  
 REVISÓ :  
 REVISÓ :  
 APROBÓ :

ESCALA :  
 S/N  
 FECHA :  
 22/09/08

LÁMINA N°:  
 GRAFICO N° 03  
 FILE:

PLANO :  
 PROYECCION DEL CIRCUITO  
 GRAFICO N° 03

**EL DIAGRAMA 3D DEL RECUADRO DEL ESQUEMATICO DE LA  
PAGINA ANTERIOR (GRAFICO N°03)**



**GRAFICO 04**

En la grafica superior el caudal de Q1 deberá ser igual a 150,000 cfm para lograr satisfacer los requerimientos de aire de la profundización.

**6.4) SIMULACION UTILIZANDO EL SOFTWARE VnetPc 200**

Se presenta diferentes combinaciones de caudal y presión de ventilador, según requerimientos, utilizando el software VnetPc 2000 (combinación de presiones estáticas con respecto a caudales).

Se establecerá como el caudal objetivo, lograr un caudal de extracción en el Nivel 1070 de 90,000 cfm requeridos, para lo cual será necesario un caudal de extracción de

150,000 cfm del Nivel 1455 hacia Nivel 1652 por el o los RBs 1735, según las alternativas que se presentará a continuación:

- a) Un RB 1735 de 7 pies ( ya construida)
- b) Dos RBs 1735 de 7 pies: uno de 7 pies (ya construida) y más otro RB 1735 de 7 pies que se construiría paralela a la existente.
- c) Dos RBs 1735, uno de 7 pies (ya construida) y más otro RB 1735 de 8 pies que se construiría paralela a la existente.

A continuación se grafica las **curvas de caudal versus presión estática** de las tres alternativas mencionadas anteriormente (ver gráfica N° 05, página 94).

Las curvas en la gráfica N° 05 se elaboraron tomando como referencia que en el By Pass del Nv 1652 el ventilador que denominamos V2 debe mover un caudal de 65,000 cfm, para garantizar la ventilación sobre el área 16 y demás áreas de la zona alta o aliviar en el futuro la descarga del RB 1150 que extrae aire de la profundización. El caudal y la presión a la que se hace referencia en la gráfica es el caudal (Q1) que mueve el ventilador V1 y la presión estática que entregará el mismo ventilador V1.

En nuestro análisis se consideran 3 alternativas fundamentales, como se describieron líneas arriba, se deberá tomar nota que de la alternativa “A” se desprenderá otras sub-alternativas, cuya diferencia entre ellas es sólo en el equipamiento de ventiladores.

Más adelante analizaremos con detalle cada alternativa.

Las presiones del gráfico siguiente (grafico N° 05), son las presiones estáticas, no confundir con las totales y además con coeficientes de fricción estándares al nivel del mar, es decir con densidad =  $1.2 \text{ kg/ m}^3$ , es decir se tendrá que hacer la conversión para una densidad de  $1.05 \text{ kg/ m}^3$  que tomaremos como media para toda la mina central y su profundización.

En la gráfica se observará las presiones estáticas de ventilador V1 para las alternativas “A”, “B” y “C”:

Por lo tanto:

ALTERNATIVA	VENTILADOR	CAUDAL	PRESION ESTATICA
A	V1	150,000 CFM	17.232” H <sub>2</sub> O
B	V1	150,000 CFM	12.705” H <sub>2</sub> O
C	V1	150,000 CFM	12.282” H <sub>2</sub> O

La gráfica N° 05 también hace referencia a la presión estática para el ventilador V2 en el By Pass que es de 5.468” H<sub>2</sub>O.

Por lo tanto ya tenemos identificado del ventilador V2 en el By Pass, su caudal de 65,000 cfm y su presión estática 5.468” de H<sub>2</sub>O, como también del ventilador V1 caudal 150,000 cfm y su presión estática dependerá de las alternativas propuestas, tal como se verá en el ítem siguiente.

GRAFICAS DE LAS CURVAS DE PRESION ESTATICA CONSIDERANDO  
 CAUDAL FIJO DE 65,000CFM EN EL BY PASS  
 SEGUN ALTERNATIVAS " A " , " B " , " C "

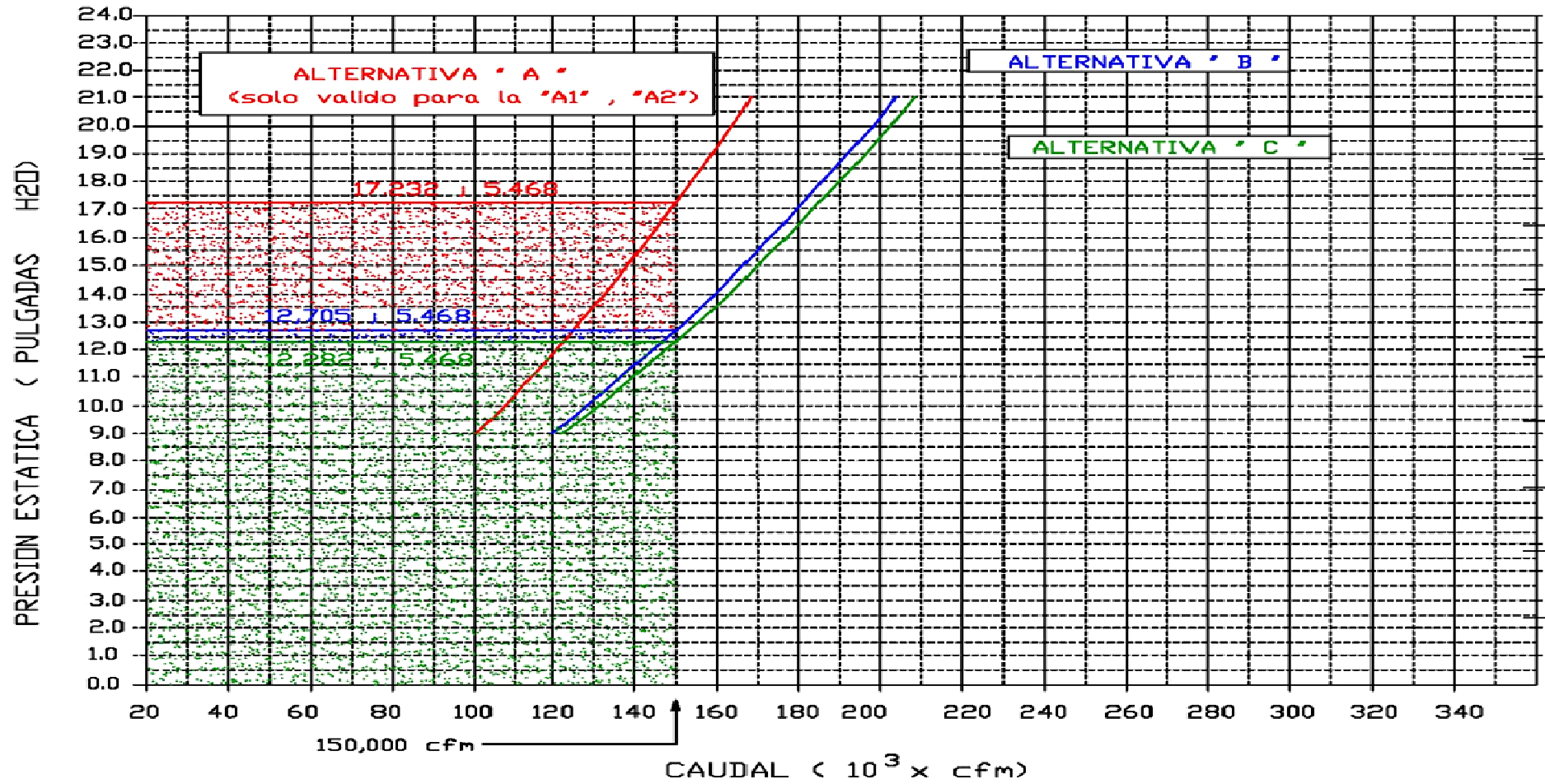


GRAFICO 05

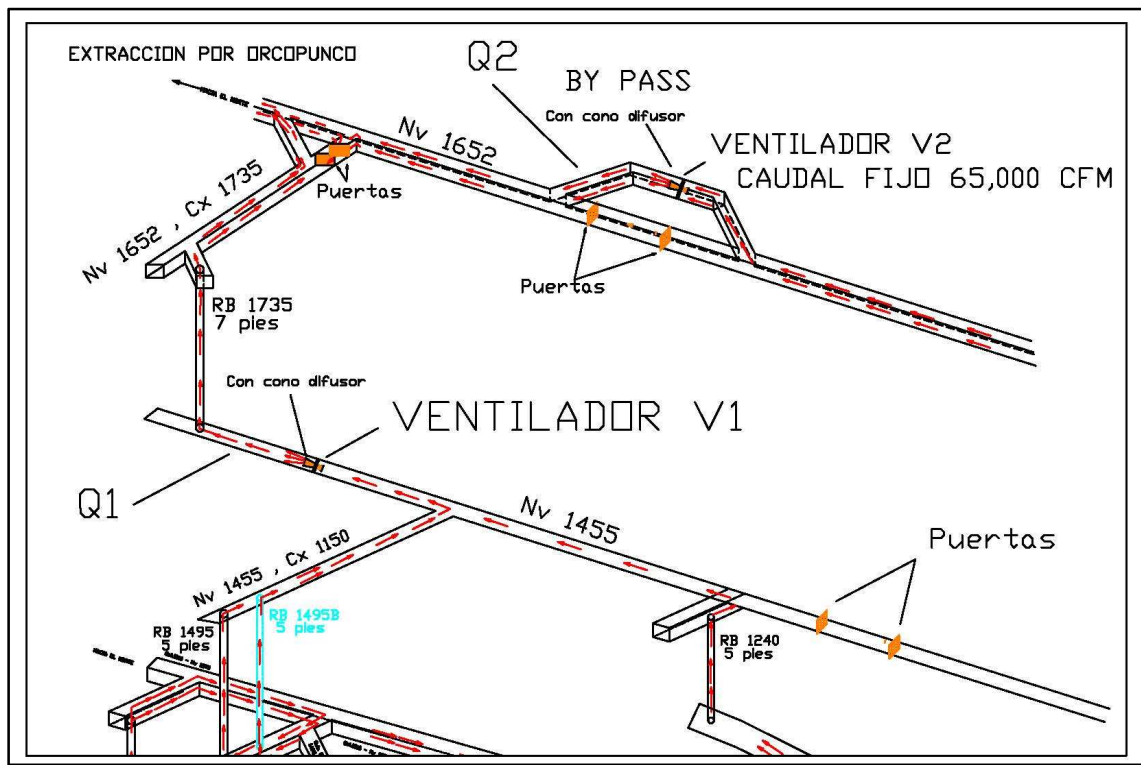
## 6.5) ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS

### 6.5.1) ANALISIS DE LA ALTERNATIVA "A"

El análisis de esta alternativa comprenderá tres sub-alternativas (alternativa A1, A2 y A3), las cuales variaran solamente en las características y equipamiento de ventiladores y más no de las labores mineras (la misma cantidad y ubicación de RBs, chimeneas, galerías, etc), a diferencia de las alternativas "B" y "C".

Para mayor detalle, chequear el plano N° 10 del anexo 01.

### ALTERNATIVA "A1"



**GRAFICO N° 06**

Como se observa en este gráfico N° 06, por el By Pass del Nv 1652 circulará 65,000 cfm con una presión estática 5.468" de H<sub>2</sub>O (página 96, cuadro 02), la cual será suficiente para ventilar la zona Sur de la parte alta y parte de la profundización

proveniente del RB 1150 (este valor se mantendrá constante para toda las alternativas), según el VnetPc 2000 para lograr un caudal de 150,000 cfm en el ventilador V1 será necesario una presión estática de 17.232” de H<sub>2</sub>O.

E:\12\_60\_meses\A1\COMBINACIONES DE PRESION ESTATICA\_A\_con caudal fijo 65000 cfm en by pass.vnw

Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Fan Curve	Fan Configuration	Air Power (hp)	Operating Cost (\$/yr)	Fan Description
1	1140	461	7.315	58.44	On	1 in Parallel	67.36	81272	VEN105_150HP
2	716	714	7.239	49.37	On	1 in Parallel	56.31	67937	ven50_70HP
3	711	725	6.158	87.85	On	1 in Parallel	85.24	102841	VEN105_150HP
4	210	348	3.011	29.83	On	1 in Parallel	14.16	17077	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.323	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3614	VEN50_40HP
7	437	438	17.232	150.00	On	1 in Parallel	407.31	491397	V1

**Presión Estática del Ventilador V1**

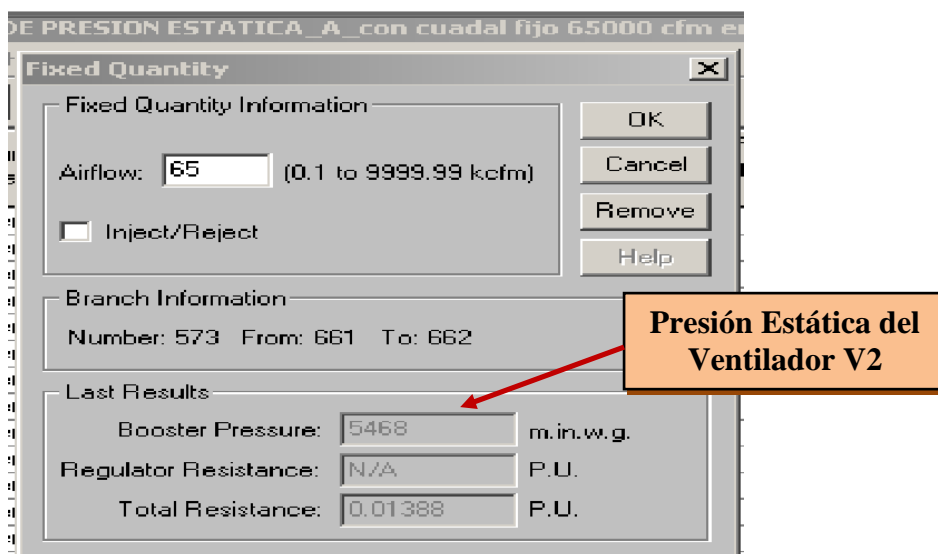
**CUADRO 01**

Fuente: Software VnetPc 2000

La alternativa “A1 “, como se observa en el gráfico N° 06 de la página superior, solamente cuenta con un sólo RB 1735 de 7 pies de diámetro y 204 mts de longitud que va desde el Nivel 1455 hasta el Nivel 1652.

Se colocaron para simulación del VnetPc 2000 dos ventiladores de V1 y V2, respectivamente, con los resultados obtenidos que se muestran en el cuadro superior (cuadro 01), el ventilador V1 deberá contar con una presión estática de 17.232” de H<sub>2</sub>O para un caudal de 150,000 cfm, mientras que el ventilador V2 con un caudal de 65,000 cfm deberá contar con una presión estática de 5.468” de H<sub>2</sub>O, vea el cuadro N° 02 a continuación.

Es muy importante notar y/o recordar que las presiones estáticas de VnetPc 2000 son presiones estáticas al nivel del mar, es decir con una densidad de  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , ello es así que colocamos los factores de fricción con sus valores estándares al nivel del mar en el VnetPc 2000, pero ello no será problema alguno, puesto que por las leyes de los ventiladores la presión estática y dinámica, así como la resistencia de fricción son linealmente y directamente proporcionales a su densidad.



**CUADRO 02**

Fuente: Software VnetPc 2000

Ahora sabemos cuáles son las características de presión estática y caudal de los ventiladores necesarios para lograr los caudales requeridos en la mina.

Para el ventilador V2 no hay problema los proveedores cuentan con ventiladores de esa característica como se verá más adelante, pero no en caso del ventilador V1, no se cuenta con ventiladores de esas características, veamos el gráfico de las curvas características del ventilador más grande presentado por el proveedor principal de SIMSA, Airtec, de la página siguiente, el **ventilador VAA-72-36-1750-I-B**, es el que podría cumplir mejor con las características pedidas.

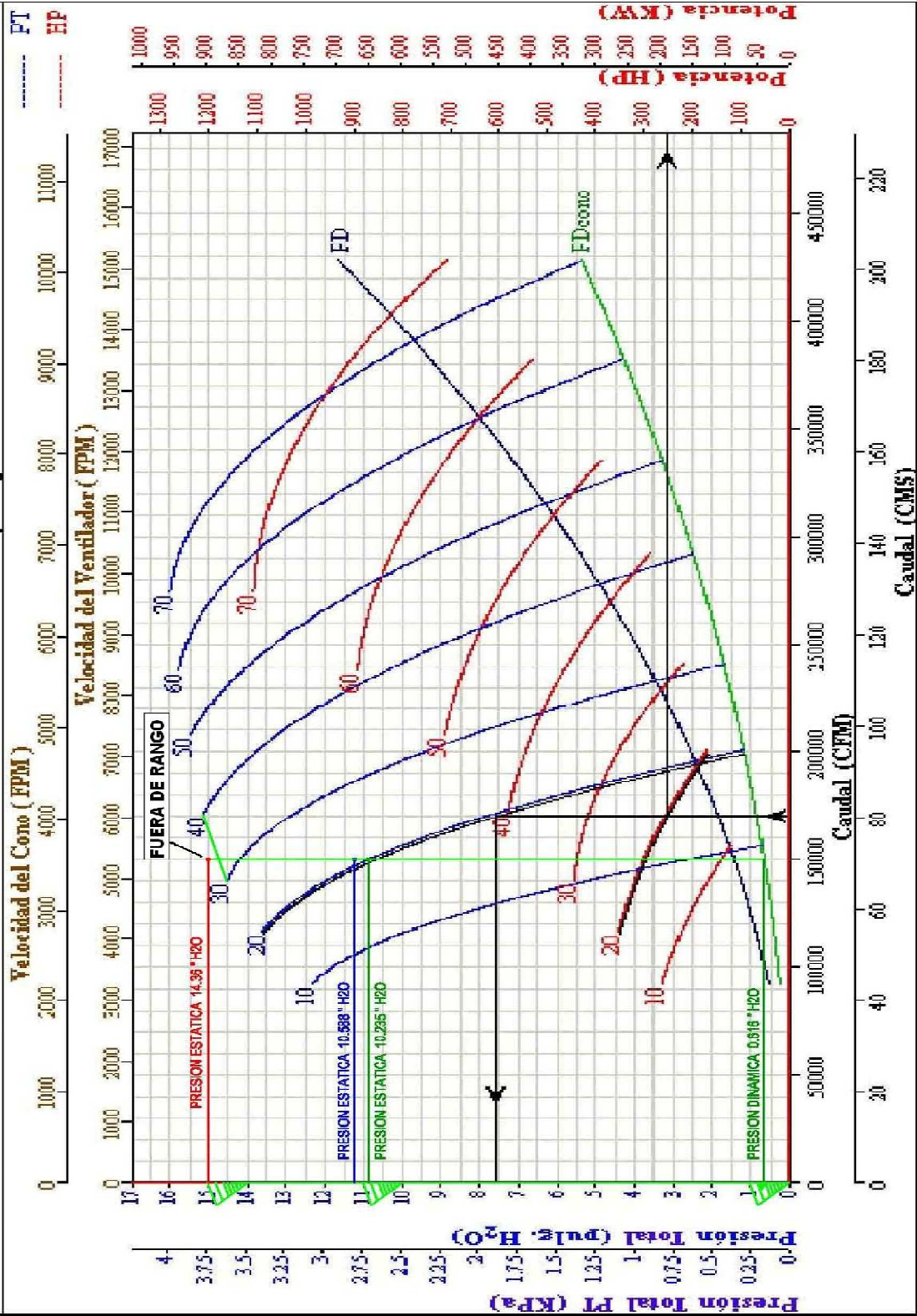




# VAV - 72 - 36 - 1750 - I - B

DENSIDAD DEL AIRE: 1.00 Kg/m<sup>3</sup>

Condiciones: Aire a 1900 m. Sobre el nivel del Mar y Temperatura Standar



Fuente: AIRTEC S.A

Las curvas características son tomadas para una altitud de 1900 m.s.n.m con una densidad de  $1.00 \text{ kg/m}^3$ , por lo tanto para poder compararlo con el gráfico de sus curvas (GRAFICO N° 05), será necesario hacer la conversión por densidad (altitud), entonces aplicamos la regla de tres simple:

$$1900 \text{ mts} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

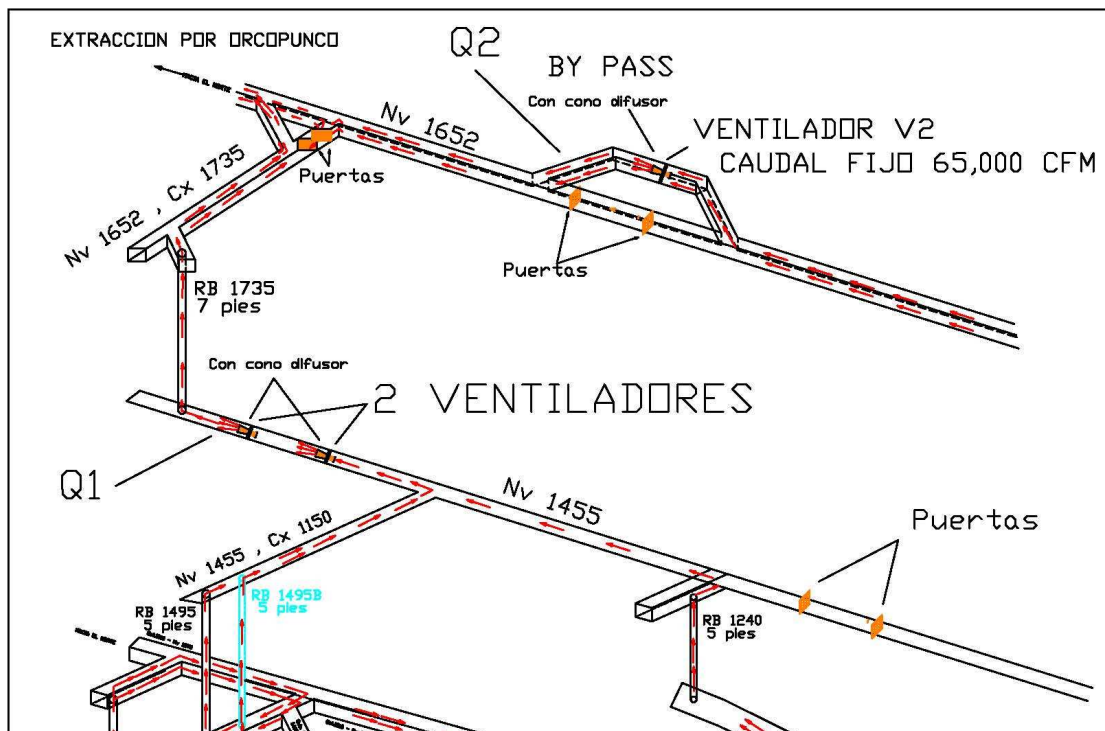
$$0 \text{ mts} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 17.232'' \text{ H}_2\text{O}$$

**Entonces  $X = 17.232/1.2 = 14.36'' \text{ H}_2\text{O}$**

La presión estática equivalente en el gráfico de sus curvas del ventilador será  $14.36''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , si le sumamos la presión dinámica con cono difusor, dispositivo importante para disminuir pérdidas, se obtiene de la suma siguiente:  $0.616$  (presión dinámica) +  $14.36$  (presión estática) =  $14.976''$  de  $\text{H}_2\text{O}$  de presión total como se puede observar en el gráfico de curvas de ventilador (página 98), sale fuera del rango de operación del ventilador, así que no es técnicamente factible utilizar este ventilador.

**Por tal motivo se descartará la alternativa “A1”, por no hallarse un ventilador que pueda cumplir con los requerimientos solicitados.**

Para poder superar esta limitación del ventilador se podría considerar trabajar con 2 ventiladores para ello se dividirá la presión estática entre 2 ventiladores colocados en serie de este modo se desarrollará la alternativa siguiente, como veremos a continuación.

**ALTERNATIVA "A2"****GRAFICO N° 07**

Como se observa en el gráfico N° 07, por el By Pass circulará 65,000 cfm con una presión estática 5.468" de H<sub>2</sub>O (este valor es constante para todas las alternativas como se puede ver en el grafico N° 05), la cual será suficiente para ventilar la zona Sur de la parte alta y parte de la profundización proveniente del RB 1150, en esta alternativa para lograr un caudal de 150,000 cfm en vez de colocar un sólo ventilador V1 con una presión estática de 17.232" de H<sub>2</sub>O, se colocará 2 ventiladores de 8.66" de H<sub>2</sub>O ( 17.232/ 2) de presión estática cada uno, procediendo con la conversión por altitud, se tiene que cada ventilador para colocarlo en curva característica del ventilador VAV-72-36-1750-I-B presenta una presión estática de 7.217" de H<sub>2</sub>O, que sumado con la presión dinámica de 0.616" H<sub>2</sub>O, se obtiene una presión total = 7.833" de H<sub>2</sub>O (ver el grafico N° 01 del anexo 05), como se observa en su plano de

curvas, si existe una solución técnica ofrecida por el modelo del ventilador a diferencia del caso anterior.

Extrapolando se obtiene una curva de ventilador con alabes a  $15.5^\circ$  y con potencia de consumo efectivo de 230 HP, por lo tanto las características de los ventiladores a la altitud de 1900 m.s.n.m con densidad  $1.00 \text{ kg/m}^3$  serán:

**Dos ventiladores modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo  $15.5^\circ$  y con presión estática =  $7.217''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , presión total de  $7.833''$  de  $\text{H}_2\text{O}$  y con una potencia de 230 HP cada ventilador.**

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de  $1.04 \text{ kg/m}^3$ , entonces las características del ventilador luego de la conversión por densidad serán:

**Dos ventiladores modelo VAV-72-36-1750-B, con ángulo  $15.5^\circ$ , presión estática =  $7.506''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , presión total de  $8.146''$  de  $\text{H}_2\text{O}$  y con potencia efectiva de 240 HP y motor nominal de 300 HP cada uno.**

Ahora se evaluará el ventilador V2, se considerará el modelo VAV 54-26.5-1750-I-A.

Con una presión estática de  $5.468''$   $\text{H}_2\text{O}$  y un caudal de 65,000 cfm con densidad  $1.2 \text{ Kg/m}^3$ , vea la gráfica N° 02 del anexo 02, con densidad 1.00 se hace la conversión obteniéndose de ello una presión estática de  $4.557''$   $\text{H}_2\text{O}$  con caudal de 65,000 cfm.

La presión estática equivalente en el gráfico de sus curvas del ventilador será  $4.557''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , si le sumamos la presión dinámica con cono difusor, dispositivo importante para disminuir pérdidas, se obtiene de la suma siguiente:  $0.50$  (presión dinámica) +  $4.557$ (presión estática) =  $5.057''$  de  $\text{H}_2\text{O}$  de presión total.

En el punto de operación extrapolando se obtiene un ángulo de  $47^\circ$  con una potencia efectiva de 66 HP.

Pero para hallarlo a 1300 m.s.n.m con densidad  $1.04 \text{ kg/m}^3$ , se procede a la conversión por densidad. Logrando el siguiente resultado.

**Un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo  $47^\circ$  con presión estática = 4.740" de  $\text{H}_2\text{O}$ , presión total de 5.260" de  $\text{H}_2\text{O}$  y con potencia efectiva de 69 HP y motor nominal de 100 HP cada uno.**

Ahora si podemos ver la inversión inicial y la potencia requerida de energía.

La inversión en labores será la suma de todos los RBs necesarios para ventilación, no se consideran cruceros y labores de desarrollo puesto que ellos estarán en la cuenta de exploraciones, mayor detalle chequear el plano N° 10 del anexo 01, este es un plano sin considerar el Rb 1735 gemela.

En el siguiente cuadro se muestra el laboreo a realizar para la alternativa "A2"

RB de 5 pies = \$ 850/ metro

RB de 7 pies = \$ 1050/metro

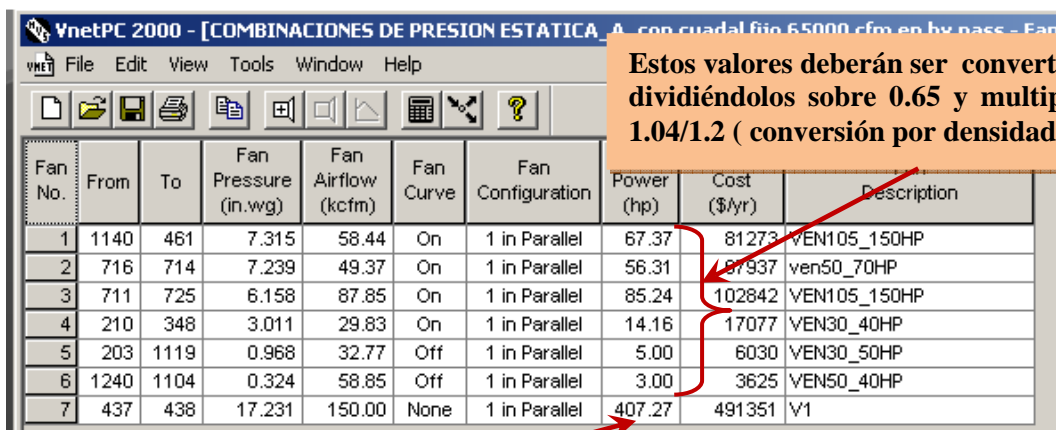
TOTAL	LONGITUD ( MT)	DIÁMETRO ( PIES)	INVERSIÓN ( \$)
RB 1735 (paralela)	0	7	0
RB1495 (paralela)	95	5	80750
RB 1465	49	5	41650
RB 1390	76	5	64600
RB 1300	56	5	47600
RB 1440	179	7	187950
RB 1140	43	5	36550
RB 1110	31	5	26350
RB 1020	55	7	46750
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>532200</b>

Como se observa en este recuadro, no se considera un Rb 1735 paralelo al que ya existe. Los ventiladores **modelo VAV 72-36-1750-I-B** cada uno está cotizado en \$/ 80,000 y cada cono difusor \$/ 8,000, así que por ambos tenemos una inversión de

\$/ 176,000 + el ventilador **modelo VAV 54-26.5-1750-I-A** cotizado en \$/ 60,000 y con su cono difusor \$/ 6,000 y resulta un valor de inversión de \$/ 242,000 solo en ventiladores. La energía global lo estimaremos con el VnetPc 2000 más la curva de potencia de los ventiladores determinados y/o conocidos su punto de operación.

Pero antes se debe hacer la conversión, no olvidar que se calculó el VnetPc 2000 con las potencias estáticas y al nivel del mar con densidad  $1.2 \text{ kg/m}^3$  y eficiencia 65%, considerando la eficiencia normal de 75% mas la pérdida de presión dinámica (10%).

### RECUADRO DE SALIDAS DE LOS VENTILADORES



Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Fan Curve	Fan Configuration	Power (hp)	Cost (\$/yr)	Description
1	1140	461	7.315	58.44	On	1 in Parallel	67.37	81273	VEN105_150HP
2	716	714	7.239	49.37	On	1 in Parallel	56.31	87937	ven50_70HP
3	711	725	6.158	87.85	On	1 in Parallel	85.24	102842	VEN105_150HP
4	210	348	3.011	29.83	On	1 in Parallel	14.16	17077	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.324	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3625	VEN50_40HP
7	437	438	17.231	150.00	None	1 in Parallel	407.27	491351	V1

**Este valor debe ser reemplazado por el valor hallado de la suma de los dos ventiladores en serie  $2 \times 240 \text{ HP} = 480 \text{ HP}$**

Fuente: VnetPc 2000

Ejecutando las operaciones indicadas en el recuadro superior sobre las potencias se obtiene: 308.11 HP (todos los ventiladores sin incluir los dos enseriados y del By Pass) + 480 HP (los dos ventiladores VAV-72-36-1750-I-B enseriados) + 69 HP (VAV-54-26.5-1750-I-A en el By Pass, ver nota) = 857.11 HP de potencia efectiva, no confundir con la nominal dada por la capacidad del motor.

### RESUMEN DE LA ALTERNATIVA “A2”:

Inv. Labores(\$)	Inv. Ventiladores (\$)	Total Inversión	Potencia( HP)
532,222	242,000	784,222	857.11

**NOTA:** Es importante no olvidar que en recuadro de salidas de los ventiladores no figura la potencia del ventilador del By Pass superior, puesto que solamente considero como flujo fijo para el software VnetPc 2000 en el By Pass, por ello se le adiciona posteriormente.

Ello será así en todas las alternativas que se estudiarán a continuación, puesto que la presión estática es igual en el By Pass para todas las alternativas y el mismo caudal.

### ALTERNATIVA “A3”

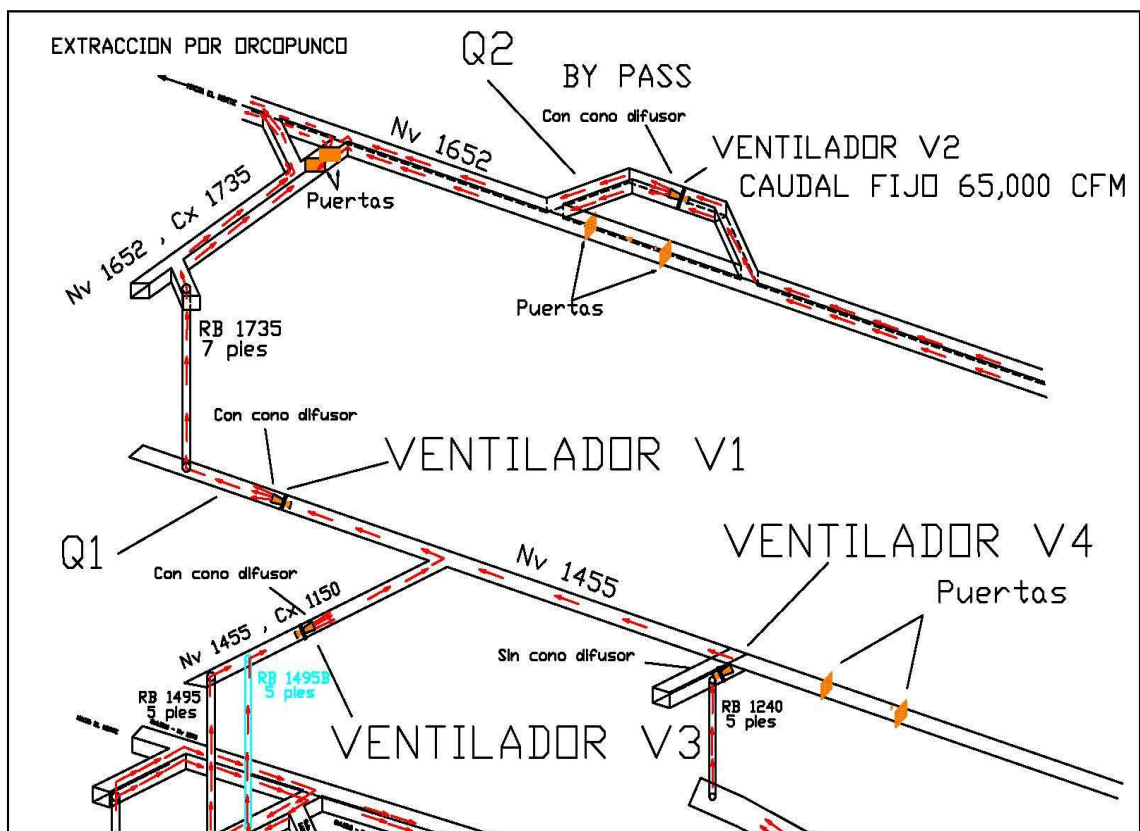


GRAFICO N° 07

Como se observa en el grafico N° 07, por el By Pass circulará 65,000 cfm con una presión estática 5.468" de H<sub>2</sub>O, la cual será suficiente para ventilar la zona Sur de la parte alta y parte de la profundización proveniente del RB 1150, según el VnetPc para lograr un caudal de 150,000 cfm se colocará un ventilador V1, pero ayudado con dos ventiladores en paralelo como se muestra en el grafico N° 07, un ventilador V3 y otro ventilador V4.

Como puede observarse del grafico N° 07 superior, se adicionan dos ventiladores en el Nivel 1455, el ventilador V3 colocado en el Crucero 1150 extrae aire por los dos RBs 1455 de 5 pies y el ventilador V4 se colocará en la cabeza del RB 1240 de 5 pies, ambos ventiladores V3 y V4 utilizarán una presión estática de 5" de H<sub>2</sub>O.

Este adicional de 5" de H<sub>2</sub>O de presión estática, valor que se escogió por ser una presión estática muy común de los ventiladores y ayudarán a disminuir los requerimientos de presión estática del ventilador V1, permitiéndose encontrar un ventilador que cumpla las características solicitadas a diferencia de la alternativa A1 donde no se encontró ventilador que pudiera cumplirlas. Utilizaremos el VnetPc 2000, para hallar los puntos de operación de los ventiladores.

Según el cuadro N° 03 de la página siguiente, el VnetPc 2000 determinó que para lograr un caudal objetivo de 150,000 cfm por el ventilador V1 será necesario una presión estática de 12.231" de H<sub>2</sub>O y los ventiladores V3 y V4 ambos con presión estática de 5" de H<sub>2</sub>O lograrán un caudal de 85,580 cfm y 64,410 cfm respectivamente.

Por lo tanto se conocen los puntos de operación en la cual deberán trabajar los mencionados ventiladores.



A continuación se analizará sus puntos de operación con sus respectivas graficas de curvas para cada ventilador. Empezaremos con el ventilador V1.

VnetPC 2000 - [COMBINACIONES DE PRESION ESTATICA\_A3\_con cuadal fijo 65000 cfm en by pass - F

File Edit View Tools Window Hel

Estos valores deberán ser convertidos dividiéndolos sobre 0.65 y multiplicando por 1.04/1.2 ( conversión por densidad)

Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Curve	Configuration	Power (hp)	Cost (\$/yr)	Description
1	1140	461	7.315	58.44	On	1 in Parallel	67.36	81268	VEN105_150HP
2	716	714	7.238	49.37	On	1 in Parallel	56.31	67932	ven50_70HP
3	711	725	6.158	87.85	On	1 in Parallel	85.25	102844	VEN105_150HP
4	210	348	3.011	29.83	On	1 in Parallel	14.15	17075	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.323	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3614	VEN50_40HP
7	437	438	12.231	150.00	None	1 in Parallel	289.10	348778	V1
8	479	437	5.000	85.58	None	1 in Parallel	67.43	81346	V3
9	1162	437	5.000	64.41	None	1 in Parallel	50.75	61224	V4

Estos valores de potencia deberán ser reemplazados por los valores que se hallaran de su gráfica de curvas de ventiladores.

CUADRO N° 03

Fuente: VnetPc 2000

El ventilador **V1** será modelo **VAV-72-36-1750-I-B**, ver anexo 02 - grafico 03, se recordará que los puntos de operación hallados por el VnetPc 2000 son puntos de operación con densidad estándar del aire con valor de  $1.2 \text{ Kg/m}^3$ , la curva de este modelo de ventilador están con densidad de  $1.0 \text{ kg/m}^3$ .

$$1900 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

$$0 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 12.231'' \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } X = 12.231/1.2 = 10.193'' \text{ de H}_2\text{O}$$

Por lo tanto  $150,000 \text{ cfm}$  con presión estática de  $12.231''$  de  $\text{H}_2\text{O}$  por VnetPc 2000 con densidad de  $1.2 \text{ Kg/m}^3$  equivale por conversión a la curvas del modelo con densidad de aire  $1.0 \text{ Kg/ m}^3$  a  $150,000 \text{ cfm}$  con presión estática de  $10.193''$  de  $\text{H}_2\text{O}$ .

La presión estática equivalente será: 10.193” de H<sub>2</sub>O (vea anexo 02- grafico 03), mas la suma de la presión dinámica con cono difusor, dispositivo importante para disminuir pérdidas, se obtiene la suma siguiente: 0.616 (presión dinámica) + 10.19 (presión estática) = 10.809” de H<sub>2</sub>O de presión total, en ese punto de operación el ventilador tendrá un consumo de 300 HP potencia efectiva.

Por lo tanto las características de los ventiladores a la altitud de 1900 m.s.n.m y densidad 1.00 kg/m<sup>3</sup> serán:

Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo de 20°, presión estática = 10.193” de H<sub>2</sub>O, presión total de 10.809” de H<sub>2</sub>O y con potencia de 300 HP.

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de 1.04 kg/m<sup>3</sup>, entonces las características del ventilador luego de la conversión por densidad, será:

**Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 20°, presión estática = 10.601” de H<sub>2</sub>O, presión total de 11.241” de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 312 HP y motor nominal de 350 HP.**

### **CONTINUAREMOS CON EL VENTILADOR V3**

El ventilador V3 será modelo VAV-60-26.5-1750-I-A, ver anexo 02 - grafico 04, se recordará que los puntos de operación hallados por el VnetPc son puntos de operación con densidad estándar del aire con valor de 1.2 Kg/m<sup>3</sup>, las curva de este modelo de ventilador están con densidad de 1.0 kg/m<sup>3</sup>.

$$1900 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

$$0 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 5.00” \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } X = 5.00/1.2 = 4.167” \text{ de H}_2\text{O}$$

Por lo tanto 85,580 cfm con presión estática de 5.00" de H<sub>2</sub>O por VnetPc 2000 con densidad de 1.2 Kg/m<sup>3</sup> equivale por conversión a la curvas del modelo con densidad de aire 1.0 Kg/ m<sup>3</sup> a 85,580 cfm con presión estática de 4.167" de H<sub>2</sub>O.

La presión estática equivalente será 4.167" de H<sub>2</sub>O (vea anexo 02 - grafico 04) y le sumamos la presión dinámica con cono difusor, dispositivo importante para disminuir pérdidas, se obtiene de la suma siguiente: 0.575 (presión dinámica) + 4.167 (presión estática) = 4.742" de H<sub>2</sub>O de presión total en ese punto de operación, extrapolando en ese punto se tiene un ángulo 46° y el ventilador tendrá un consumo de 81.6 HP potencia efectiva.

Por lo tanto las características del ventilador a la altitud de 1900 m.s.n.m y densidad 1.00 kg/m<sup>3</sup> serán:

Un ventilador modelo VAV-60-26.5-1750-I-A, con ángulo 46° con presión estática = 4.167" de H<sub>2</sub>O, presión total de 4.742" de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de de 81.6 HP.

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de 1.04kg/m<sup>3</sup>, luego de la conversión por densidad las características del ventilador, será:

**Un ventilador modelo VAV-60-26.5-1750-I-A, con ángulo 46°, presión estática = 4.334" de H<sub>2</sub>O, presión total de 4.932" de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 85 HP y motor nominal de 110 HP.**

#### **CONTINUAREMOS CON EL VENTILADOR V4**

Y por último evaluaremos el ventilador V4, se procederá análogamente a los ventiladores anteriores.

El ventilador V4 será modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, ver anexo 02 - grafico 05, se recordará que los puntos de operación hallados por el VnetPc 2000 son puntos

de operación con densidad estándar del aire con valor de  $1.2 \text{ Kg/m}^3$ , y la curva de este modelo de ventilador está con densidad de  $1.0 \text{ kg/m}^3$  y una altitud de 1900 m.s.n.m.

$$1900 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

$$0 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 5.00'' \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } X = 5.00/1.2 = 4.167'' \text{ de H}_2\text{O}$$

Por lo tanto 64,410 cfm con presión estática de 5.00'' de H<sub>2</sub>O por VnetPc 2000 con densidad de  $1.2 \text{ Kg/m}^3$  equivale por conversión a la curvas del modelo con densidad de aire  $1.0 \text{ Kg/m}^3$  a 64,410 cfm con presión estática de 4.167'' de H<sub>2</sub>O.

La presión estática equivalente será 4.167'' de H<sub>2</sub>O (vea anexo 02 - grafico 05) si le sumamos la presión dinámica sin cono difusor (no hay espacio para el cono), para disminuir pérdidas, se obtiene de la suma siguiente: 0.813 (presión dinámica) + 4.167 (presión estática) = 4.98'' de H<sub>2</sub>O de presión total en ese punto de operación, extrapolando en ese punto se tiene un ángulo 46° y el ventilador tendrá un consumo de 63.8 HP de potencia efectiva. Por lo tanto las características del ventilador a la altitud de 1900 m.s.n.m y densidad  $1.00 \text{ kg/m}^3$  serán:

Un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo 46°, presión estática = 4.167'' de H<sub>2</sub>O, presión total de 4.98'' de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de de 63.8 HP.

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de  $1.04 \text{ kg/m}^3$ , entonces las características del ventilador luego de la conversión por densidad, será:

**Un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo 46°, presión estática = 4.334'' de H<sub>2</sub>O, presión total de 5.172'' de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 67 HP y motor nominal de 100 HP.**

Ahora determinado la potencia efectiva de los ventiladores V1, V3, V4, procederemos hallar los costos de inversión y potencia requerida para la alternativa “A3”.

Para ello regresemos al recuadro de salidas de los ventiladores dado por el VnetPc, cuadro 03 de la página 70, efectuando las operaciones sobre los valores señalados, luego de ello reemplazamos los ventiladores V1, V2, y V3 para finalizar adicionando el valor de la potencia efectiva del ventilador del By Pass y finalmente sumamos todos esos valores para obtener una potencia efectiva final.

**Suma:** 308.1 HP (de los valores inferidos por VnetPc 2000) + 312 HP (el ventilador V1, VAV-72-36-1750-I-B, ángulo 20°) + 69 HP (el ventilador V2 del By Pass, ver nota 1, VAV-54-26.5-1750-I-A, ángulo 46°) + 85 HP (el ventilador V3, VAV-60-26.5-1750-I-A, ángulo 46°) + 67 HP (el ventilador V4, VAV-54-26.5-1750-I-A, ángulo 46°) = 841.1 HP.

La inversión en ventiladores:

V1 = VAV-72-36-1750-I-B será \$/ 85,000 + \$/ 8,000 del cono difusor = \$/ 93,000

V2 = VAV-54-26.5-1750-I-A será \$/ 60,000 + \$/ 6,000 del cono difusor = \$/ 66,000

V3 = VAV-60-26.5-1750-I-A será \$/ 70,000 + \$/ 7,000 del cono difusor = \$/ 77,000

V4 = VAV-54-26.5-1750-I-A será \$/ 60,000 sin cono difusor = \$/ 60,000

**Resumen de la alternativa “A3”:**

<b>Inversión Labores (\$)</b>	<b>Inversión Ventiladores (\$)</b>	<b>Total Inversión (\$)</b>	<b>Potencia (HP)</b>
532,222	296,000	828,222	841.1

**NOTA:**

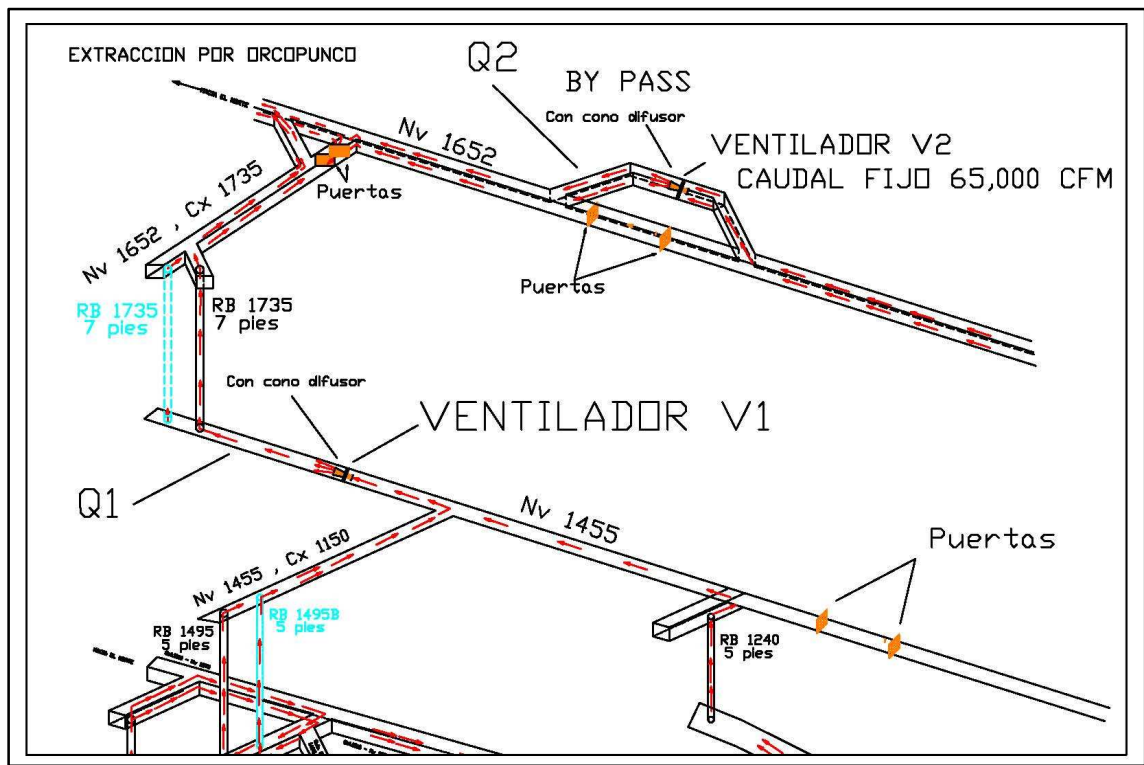
Como se anotó en el caso de la alternativa “A2”, siempre se le sumará el ventilador V2 del By Pass, puesto que no se halla en el listado de salida del VnetPc y

el punto de operación es el mismo para todas las alternativas a evaluar y su potencia efectiva es 69 HP.

Las inversiones por labores para ventilación son las mismas para la alternativa “A2” y para la alternativa “A3”, a continuación se presentaran dos alternativas más en las cuales se presentaran diferentes valores de inversión en labores.

Siendo este precisamente el motivo del presente informe para evaluar si se justifica un RB paralelo al RB 1735 de 7 pies de 204 mts de longitud, ya existente.

### 6.5.2) ALTERNATIVA ‘B’



**GRAFICO N° 08**

Como se observa el grafico N° 08, por el By Pass circulará 65,000 cfm con una presión estática 5.468” de H<sub>2</sub>O, la cual será suficiente para ventilar la zona Sur de la parte alta y parte de la profundización proveniente del RB 1150, y para lograr un caudal de 150,000 cfm por Q1 se colocará un ventilador V1, como se muestra en el

grafico N° 08, también se puede notar la construcción de un RB 1735 de 7 pies paralelo al Rb 1735 ya existente.

Para mayor detalle chequear el plano N° 11 del anexo 01.

Según el VnetPc 2000 para lograr un caudal de 150,000 cfm en el ventilador V1 será necesario una presión estática de 12.705" de H<sub>2</sub>O, ver cuadro N° 04.

Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Fan Curve	Fan Configuration	Air Power (hp)	Operating Cost (\$/Yr)	Fan Description
1	1140	461	7.315	58.44	On	1 in Parallel	67.36	81268	VEN105_150HP
2	716	714	7.239	49.37	On	1 in Parallel	56.32	67942	ven50_70HP
3	711	725	6.158	87.85	On	1 in Parallel	85.25	102844	VEN105_150HP
4	210	348	3.011	29.83	On	1 in Parallel	14.15	17075	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.323	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3614	VEN50_40HP
7	437	438	12.705	150.00	None	1 in Parallel	300.30	362294	V1

**CUADRO N° 04**

Fuente: VnetPc 2000

Por el VnetPc 2000 se conoce los puntos de operación de ventilador V1 y el punto de operación de ventilador V2, para una densidad de 1.2 Kg/m<sup>3</sup>.

Punto de operación del ventilador V1:

El ventilador V1 será modelo VAV-72-36-1750-I-B, ver anexo 02 - grafico 06, se recordará que los puntos de operación hallados por el VnetPc 2000 son puntos de operación con densidad estándar del aire con valor de 1.2 Kg/m<sup>3</sup> y altitud de 0 m.s.n.m, y la curva de este modelo de ventilador esta con densidad de 1.0 kg/m<sup>3</sup>.

$$1900 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

$$0 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 12.705'' \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } X = 12.705/1.2 = 10.588'' \text{ de H}_2\text{O}$$

Por lo tanto 150,000 cfm con presión estática de 12.705" de H<sub>2</sub>O por VnetPc 2000 con densidad de 1.2 Kg/m<sup>3</sup> equivale por conversión a la curvas del modelo con densidad de aire 1.0 Kg/ m<sup>3</sup> a 150,000 cfm con presión estática de 10.588" de H<sub>2</sub>O.

La presión estática equivalente será 10.588" de H<sub>2</sub>O (vea anexo 05 - grafico 06) y le sumamos la presión dinámica con cono difusor, para disminuir pérdidas, se obtiene de la suma siguiente: 0.616 (presión dinámica) + 10.588 (presión estática) = 11.204" de H<sub>2</sub>O de presión total en ese punto de operación, extrapolando en ese punto se tiene un ángulo 21° y el ventilador tendrá un consumo de 310 HP potencia efectiva.

Por lo tanto las características del ventilador a la altitud de 1900 m.s.n.m y densidad 1.00 kg/m<sup>3</sup> serán:

Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 21°, presión estática = 10.588" de H<sub>2</sub>O, presión total de 11.204" de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de de 310 HP.

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de 1.04 kg/m<sup>3</sup>, entonces las características del ventilador serán luego de la conversión por densidad.

**Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 21°, presión estática = 11.012" de H<sub>2</sub>O, presión total de 11.652" de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 322.4 HP y motor nominal de 370 HP.**

Como se explicó en las alternativas anteriores el ventilador V2, del By Pass, tiene un punto de operación constante para todas las alternativas, estando ya definido el modelo del ventilador y a una densidad de 1.04 kg/m<sup>3</sup>.



**Un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo 47°, presión estática = 4.740” de H<sub>2</sub>O, presión total de 5.260” de H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 69 HP y motor nominal de 100 HP cada uno.**

Ahora si podemos calcular la inversión inicial y la potencia requerida de energía.

La inversión en labores será la suma de todos los RBs necesarios para ventilación según Esquemático de 12 a 60 meses, no se consideran cruceros y labores de desarrollo puesto que ellos estarán en la cuenta de exploraciones, para mayor detalle vea plano N° 11 del anexo 01.

RB de 5 pies = \$ 850/ metro

RB de 7 pies = \$ 1050/metro

<b>LABORES TOTALES</b>	<b>LONGITUD ( MTS)</b>	<b>DIÁMETRO ( PIES)</b>	<b>INVERSIÓN ( \$)</b>
RB 1735 (paralela)	204	7	214200
RB1495 (paralela)	95	5	80750
RB 1465	49	5	41650
RB 1390	76	5	64600
RB 1300	56	5	47600
RB 1440	179	7	187950
RB 1140	43	5	36550
RB 1110	31	5	26350
RB 1020	55	7	46750
<b>COSTO TOTAL (\$)</b>			<b>746400</b>

Como se observa en este cuadro, se considera un RB 1735 paralelo al que ya existe.

Los ventiladores modelo VAV 72-36-1750-I-B cada uno está cotizado en \$/ 90,000 y su cono difusor \$/ 8,000 + el ventilador modelo VAV 54-26.5-1750-I-A cotizado en \$/ 60,000 y con su cono difusor \$/ 6,000 y resulta un valor de inversión de \$/ 164,000 sólo en ventiladores.

La energía global lo estimaremos con el VnetPc 2000, más la curva de potencia de los ventiladores determinados y/o conocidos su punto de operación.

Pero antes se debe hacer la conversión, no olvidar que se calculo el VnetPc 2000 con las potencias estáticas y al nivel del mar con densidad  $1.2 \text{ kg/m}^3$  y eficiencia 65%, considerando la eficiencia normal de 75% más la pérdida de presión dinámica (10%).

### RECUADRO DE SALIDAS DE LOS VENTILADORES

Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Fan Curve	Fan Configuration	Power (hp)	Cost (\$/Yr)	Description
1	114					1 in Parallel	67.36	81268	VEN105_150HP
2	71					1 in Parallel	56.32	67942	ven50_70HP
3	71					1 in Parallel	85.25	102844	VEN105_150HP
4	21					1 in Parallel	14.15	17075	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.323	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3614	VEN50_40HP
7	437	438	12.705	150.00	None	1 in Parallel	300.30	362294	V1

Estos valores deberán ser convertidos dividiéndolos sobre 0.65 y multiplicando por 1.04/1.2 (conversión por densidad)

Este valor del V1 debe ser reemplazado por 322.1 HP

Fuente: VnetPc 2000

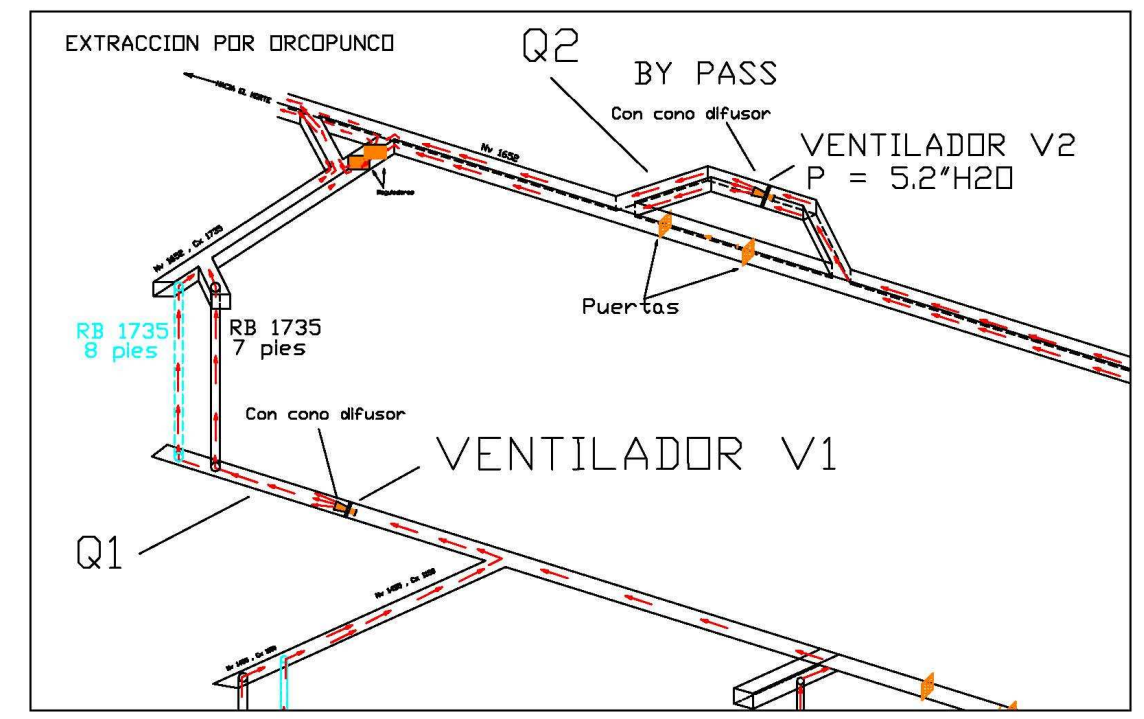
Ejecutando las operaciones indicadas en este recuadro sobre las potencias se obtiene: 308.11 HP (todos los ventiladores sin incluir V1 y V2) + 322.1 HP (el ventilador V1, VAV-72-36-1750-I-B) + 69 HP (VAV-54-26.5-1750-I-A en el By Pass, ver nota) = 699.21 HP de potencia efectiva, no confundir con la nominal dada por la capacidad del motor.

### RESUMEN DE LA ALTERNATIVA "B":

Costo Inversión Labores (\$)	Costo Inversión Ventiladores (\$)	Costo Total Inversión (\$)	Potencia (HP)
746,400	164,000	910,400	699.21

**NOTA:** Es importante no olvidar que en recuadro de salidas de los ventiladores no figura la potencia del ventilador del By Pass superior, puesto que solo considero como flujo fijo para el software VnetPc 2000 en el By Pass, por ello se le adiciona posteriormente. Ello será así en todas las alternativas que se estudiarán a continuación, puesto que la presión estática es igual en el By Pass para todas las alternativas y el mismo caudal.

### 6.5.3) ALTERNATIVA 'C'



**GRAFICO N° 09**

Como se observa en el grafico N° 09, por el By Pass circulará 65,000 cfm con una presión estática 5.468" de  $H_2O$ , la cual será suficiente para ventilar la zona Sur de la parte alta y parte de la profundización proveniente del RB 1150, y para lograr un caudal de 150,000 cfm por Q1 se colocará un ventilador V1, como se muestra en el grafico N° 09, también se puede notar la construcción de un RB 1735 de 8 pies

paralelo al RB 1735 ya existente, pero la diferencia de esta alternativa con respecto a la alternativa “B” es que este RB 1735 es de 8 pies y no de 7 pies.

Para mayor detalle chequear plano N° 12 del anexo 01.

Según el VnetPc 2000 para lograr un caudal de 150,000 cfm en el ventilador V1 será necesario una presión estática de 12.282” de H<sub>2</sub>O, ver el siguiente cuadro.

Fan No.	From	To	Fan Pressure (in.wg)	Fan Airflow (kcfm)	Fan Curve	Fan Configuration	Air Power (hp)	Operating Cost (\$/yr)	Fan Description
1	1140	461	7.315	58.44	On	1 in Parallel	67.37	81272	VEN105_150HP
2	716	714	7.239	49.37	On	1 in Parallel	56.31	67937	ven50_70HP
3	711	725	6.158	87.85	On	1 in Parallel	85.24	102841	VEN105_150HP
4	210	348	3.011	29.83	On	1 in Parallel	14.16	17077	VEN30_40HP
5	203	1119	0.968	32.77	Off	1 in Parallel	5.00	6030	VEN30_50HP
6	1240	1104	0.323	58.85	Off	1 in Parallel	3.00	3614	VEN50_40HP
7	437	438	12.282	150.00	None	1 in Parallel	290.30	350231	V1

**CUADRO N° 05**

Fuente: VnetPc 2000

Por el VnetPc 2000 se conoce los puntos de operación de ventilador V1 y el punto de operación de ventilador V2, para una densidad de 1.2 Kg/m<sup>3</sup>.

**Punto de operación del ventilador V1:**

El ventilador V1 será modelo VAV-72-36-1750-I-B, ver anexo 02 \_ grafico 07, recordar que los puntos de operación hallados por el VnetPc 2000 son puntos de operación con densidad estándar del aire con valor de 1.2 Kg/m<sup>3</sup>, la curva de este modelo de ventilador esta con densidad de 1.0 kg/m<sup>3</sup>.

$$1900 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.00 \text{ kg/m}^3 \rightarrow X$$

$$0 \text{ m.s.n.m} \rightarrow 1.20 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 12.282'' \text{ H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } X = 12.282/1.2 = 10.235'' \text{ H}_2\text{O}$$

Por lo tanto 150,000 cfm con presión estática de 12.282'' H<sub>2</sub>O por VnetPc 2000 con densidad de 1.2 Kg/m<sup>3</sup> equivale por conversión a la curvas del modelo con densidad de aire 1.0 Kg/ m<sup>3</sup> a 150,000 cfm con presión estática de 10.235'' H<sub>2</sub>O.

La presión estática equivalente será 10.235'' H<sub>2</sub>O (vea anexo 02\_ grafico 07) si le sumamos la presión dinámica con cono difusor, para disminuir perdidas, se obtiene de la suma siguiente: 0.616 (presión dinámica) + 10.235 (presión estática) = 10.851'' H<sub>2</sub>O de presión total en ese punto de operación, extrapolando en ese punto se tiene un ángulo 20° y el ventilador tendrá un consumo de 300 HP potencia efectiva, como se puede observar el gráfico 07 del anexo 02.

Por lo tanto las características del ventilador a la altitud de 1900 mts y densidad 1.00 kg/m<sup>3</sup> serán:

Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 20° con presión estática = 10.235'' H<sub>2</sub>O, presión total de 10.851'' H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 300 HP.

Hallaremos su conversión a una altitud promedio de 1300 m.s.n.m como estará la mina central con densidad de 1.04 kg/m<sup>3</sup>, entonces las características del ventilador serán luego de la conversión por densidad.

**Un ventilador modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 20° con presión estática = 10.645'' H<sub>2</sub>O, presión total de 11.285'' H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 312 HP y motor nominal de 360 HP.**

Como se explicó en las alternativas anteriores el ventilador V2, del By Pass, tiene un punto de operación constante para todas las alternativas, estando ya definido el modelo del ventilador y a una densidad de  $1.04 \text{ kg/m}^3$ .

**Un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo  $47^\circ$  con presión estática =  $4.740'' \text{ H}_2\text{O}$ , presión total de  $5.260'' \text{ H}_2\text{O}$  y con potencia efectiva de 69 HP y motor nominal de 100 HP cada uno.**

Ahora si podemos ver la inversión inicial y la potencia requerida de energía.

La inversión en labores será la suma de todos los RBs necesarios para ventilación según Esquemático de 12 a 60 meses, no se consideran cruceros y labores de desarrollo puesto que ellos estarán en la cuenta de exploraciones, vea plano N° 12 del anexo 01, sólo se diferencia que el Rb 1735 gemela es de 8 pies.

Rb de 5 pies = \$/ 850/ metro

Rb de 7 pies = \$/ 1050/metro

Rb de 8 pies = \$/ 1250/metro

LABORES A DESARROLLARSE	LONGITUD ( mts)	DIAMETRO ( pies)	COSTO (\$)
RB 1735 (paralela)	204.00	8.00	255000
RB1495 (paralela)	95.00	5.00	80750
RB 1465	49.00	5.00	41650
RB 1390	76.00	5.00	64600
RB 1300	56.00	5.00	47600
RB 1440	179.00	7.00	187950
RB 1140	43.00	5.00	36550
RB 1110	31.00	5.00	26350
RB 1020	55.00	7.00	46750
<b>COSTO TOTAL (\$)</b>			<b>787200</b>

Como se observa en este cuadro, se considera un RB 1735 de 8 pies de diámetro paralela al RB de 7 pies que ya existe.

Los ventiladores modelo VAV 72-36-1750-I-B cada uno está cotizado en \$/ 88 000 y su cono difusor \$/ 8 000 + el ventilador modelo VAV 54-26.5-1750-I-A cotizado en \$/ 60 000 y con su cono difusor \$/ 6 000, resulta un valor de inversión de \$/ 162,000 sólo en ventiladores.

La energía global lo estimaremos con el VnetPc 2000 más la curva de potencia de los ventiladores determinados y/o conocidos su punto de operación.

Pero antes se debe hacer la conversión, no olvidar que se calculo el VnetPc con las potencias estáticas y al nivel del mar con densidad  $1.2 \text{ kg/m}^3$  y eficiencia 65%, considerando la eficiencia normal de 75% más la pérdida de presión dinámica (10%).

### RECUADRO DE SALIDAS DE LOS VENTILADORES

Fan No.	Fan Power (hp)	Operating Cost (\$/yr)	Fan Description
1	114	81272	VEN105_150HP
2	71	57937	ven50_70HP
3	711	102841	VEN105_150HP
4	210	17077	VEN30_40HP
5	203	6030	VEN30_50HP
6	1240	3614	VEN50_40HP
7	437	350231	V1

Estos valores deberán ser convertidos dividiéndolos sobre 0.65 y multiplicando por 1.04/1.2 ( conversión por densidad)

Este valor del V1 debe ser reemplazado por 312 HP

Fuente: VnetPc 2000

Ejecutando las operaciones indicadas en el recuadro superior sobre las potencias se obtiene: 308.11 HP (todos los ventiladores sin incluir V1 y V2) + 312 HP (el ventilador V1, VAV-72-36-1750-I-B) + 69 HP (VAV-54-26.5-1750-I-A en el By Pass, ver nota) = 689.11 HP de potencia efectiva, no confundir con la nominal dada por la capacidad del motor.

**Resumen de la alternativa “C”:**

<b>Inv. Labores (\$)</b>	<b>Inv. Ventiladores (\$)</b>	<b>Total Inversión</b>	<b>Potencia ( HP)</b>
787,200	162,000	949,200	689.11

**NOTA:**

Es importante no olvidar que en recuadro de salidas de los ventiladores no figura la potencia del ventilador del By Pass superior, puesto que solo se considero como flujo fijo para el software VnetPc en el By Pass, por ello se le adiciona posteriormente.

Ello será así en todas las alternativas que se estudiaran a continuación, puesto que la presión estática es igual en el By Pass para todas las alternativas y lo mismo el caudal.

A continuación se presenta un resumen de todas las alternativas expuestas:

**6.6) CUADRO RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS**

<b>Alternativa</b>	<b>Inversiones Labores (\$)</b>	<b>Inversiones Ventiladores (\$)</b>	<b>Total Inversión (\$)</b>	<b>Potencia ( HP)</b>
A1		<b>No Factible</b>		
A2	532,222	242,000	784,222	857.11
A3	532,222	296,000	828,222	841.1
B	746,400	164,000	910,400	699.21
C	787,200	162,000	949,200	689.11

En este cuadro se observa el costo total de inversión y el consumo de energía que implica cada alternativa, cuales están detalladamente explicadas en los puntos anteriores.



## **6.7) ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS**

Se evaluará en base al flujo económico de las alternativas.

Para el análisis económico de las diferentes alternativas se considerará ciertos parámetros previamente y consideraciones:

- 1) La vida del útil de red se considerará de 5 años (este valor es arbitrario y dependerá del horizonte proyectado con ciertos márgenes de certidumbre por Geología e Ingeniería).
- 2) La tasa de descuento para SIMSA es 13% anual, será por lo tanto su tasa de retorno ponderado o promedio para su inversión.
- 3) Se considerara para las inversiones por labores de ventilación (chimeneas, RBs, etc).
- 4) Los siguientes costos no serán considerados por ser fijos o no significativo, por ejemplo, tapones, cortinas, puertas, etc.
- 5) Los costos de ventilación auxiliar no serán considerados para la red de ventilación principal.

6) La inversión por las labores de ventilación serán tramitadas como gasto de operación en los dos primeros años y se prorratarea homogéneamente en dos años (podría también considerarse prorratarese a homogéneamente en 5 años), ello fue sugerido por ingeniería, para calcular el escudo fiscal.

A continuación se muestran los cuadros de análisis de costos de cada alternativa, para lo cual se tendrán las siguientes consideraciones:

01 HP	0,745701	Kw
Costo promedio de energía	0,06	\$/Kw-h
Costo promedio marginal de energía	0,12	\$/Kw-h
Horas/día	24	horas/día
Días laborables /año	365	días/año
Tasa de Impuesto	30,0%	anual
Costo Ponderado de Capital	13,0%	anual
Periodo de estimado del horizonte	5,0	años

Con estas consideraciones se elaboran los cuadros siguientes:

<b>ALTERNATIVA A2</b>			Energía ( HP)					
			-857,11					
			Promedio (HP)	Marginal (HP)	Escudo Fiscal de Inversión		Escudo Fiscal de Operación	
	Inversión Labores	Inversión Ventilador	-857,11	0	Inversión Labores	Inversión Ventilador	Promedio	Marginal
<b>COSTO (\$)</b>	-532 222	-242 000	-335 936	0	79 833	14 520	100 781	0
<b>VALOR PRESENTE</b>	-532 222	-242 000	-1 181 565	0	133 170	51 070	354 469	0
<b>VALOR PRESENTE (\$)</b>			<b>-1 417 077</b>					
<b>VALOR ANUAL (\$)</b>			<b>-402 896</b>					

<b>ALTERNATIVA A3</b>			Energía ( HP)					
			-841,1					
			Promedio (HP)	Marginal (HP)	Escudo Fiscal de Inversión		Escudo Fiscal de Operación	
	Inversión Labores	Inversión Ventilador	-857,11	16,01	Inversión Labores	Inversión Ventilador	Promedio	Marginal
<b>COSTO (\$)</b>	-532 222	-296 000	-335 936	12 550	79 833	17 760	100 781	-3 765
<b>VALOR PRESENTE</b>	-532 222	-296 000	-1 181 565	44 141	133 170	62 466	354 469	-13 242
<b>VALOR PRESENTE (\$)</b>			<b>- 1 428 783</b>					
<b>VALOR ANUAL (\$)</b>			<b>-406 224</b>					



### 6.8) CUADRO RESUMEN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	VALOR PRESENTE (\$)	COSTO ANUAL (\$)
A1	NO HAY FACTIBILIDAD TECNICA	
A2	- 1 417 077	- 402 896
A3	- 1 428 783	- 406 224
<b>B</b>	<b>- 1 211 384</b>	<b>- 344 414</b>
C	- 1 220 905	- 347 121

Como se observa en este cuadro, **la alternativa B** es la que menos costos presenta para su Red Principal de Ventilación para un horizonte de 5 años.

La alternativa C se encuentra muy cerca, y podríamos estar tentado a considerarlo iguales pero en realidad se preferirá la alternativa B, no solo por ser más económico sino por ser también más estable un RB de 7 pies que uno de 8 pies para una longitud de 204 mts, si consideramos que en SIMSA existe alta probabilidad de la presencia de agua en la excavación de las labores de cualquier tipo aumentando la inestabilidad en dichas labores, por lo tanto en los RBs, irrumpirá un caudal de agua muy apreciable, como en el RBs ya construido, esto consolidará **la ventaja de la alternativa B sobre la alternativa C.**

**POR LO TANTO SE RECOMIENDA LA ALTERNATIVA B**

**Chequear el esquemático final de ventilación en el anexo 01 \_ plano N° 11**

## CONCLUSIONES

- Se detecto un déficit de aire con fecha 26/07/2007, la cual se origina por un requerimiento de 380,000 cfm y solo presenta una cobertura de caudal de 200,000 cfm de aire para la red principal de mina central.
  
- Se presenta recirculación de aire viciado por 61,000 cfm (ver anexo 01 - plano 04) la cual representa un 30.5%, por ello es totalmente ineficiente la red principal.
  
- La salida natural más económico se ubica en el Nivel 1652, la cual se encuentra semi utilizada sólo se extrae 75,000 cfm por una sección de 17.13 m<sup>2</sup>, pudiéndose incrementar el caudal significativamente.
  
- Las compuertas de encauzamiento no están operando eficientemente permitiendo una alta recirculación.
  
- En la profundización de la Rampa 1010 y Rampa 1150, los trabajadores presentaron problemas como, dolor de cabeza, irritación de ojos, garraspera de garganta. La evaluación con detectores de gases mostró que a lo largo de la Rampa 1010 y 1150 desde su inicio del Nivel 1240, se encontró CO en una concentración de 55 ppm muy por encima de 25 ppm permisible, ello está asociado **a una insuficiencia de caudal de la red principal**, por ello es crítico elevar el caudal de la profundización.

- Cerca al tope de ambas rampas, se presentan problemas de alta concentración de H<sub>2</sub>S detectándose hasta 20 ppm siendo su límite permisible de 10 ppm, este problema está asociado mas al efecto de la alta exposición y manipulación de los líquidos subterráneos, ello es notorio en el personal de bombeo más que en el personal de avance de ambas rampas.
- Se observa que no hay suficientes ramales para la extracción del aire viciado de la profundización, además la única que existía era la Raise Bore 1150 de solo 5 pies de diámetro y cuyo pie se encuentra ubicado al inicio de la rampa 1150, y por lo tanto, dejaba sin circuito de ventilación a la profundización de la Rampa 1150, y qué decir de la Rampa 1010 de igual forma se extrae aire por la Raise Bore 860 de 5 pies y con dos ventiladores con una suma de potencia de 100 Hp para mover solo 30,000 cfm, **totalmente ineficiente.**

## RECOMENDACIONES

### DESDE EL 26/07/2007 HASTA 26/12/2007:

- Hacer un By Pass en el Nivel 1652, de 20 m para extraer el caudal viciado del Nivel 1455 y del área 16. La ejecución del By Pass fue al 100% y tuvo un **costo cercano a los \$/ 20,000**. Gracias a ello, se incrementó el caudal extraído por Orcopunco de 75,000 cfm hasta 125,000 cfm.
- Desmontaje y extracción del ventilador de 80,000 cfm y 60 HP del Raise Bore 1330 del Nivel 1750 y llevar a taller para mantenimiento (se ejecutó al 100%)
- Ubicación en el nuevo By Pass del Nivel 1652, un ventilador de 60,000 cfm y 80 HP, el ventilador se encuentra en stock (se ejecutó al 100%).
- Desmontar el ventilador de 105,000 cfm y 150 HP del Crucero 1730 Nivel 1652, y trasladarlo a taller eléctrico para su mantenimiento y colocarlo en stand by, ello generará un ahorro de 150 HP de energía (se ejecutó al 100 %).
- Ejecutar la Raise Bore 1010 de 225 m y 7 pies de diámetro (\$/ 1050/m), costo de inversión de \$/ 236 250. Posteriormente colocar el ventilador de 105,000 cfm en Stand By debidamente revisado y operativo en la cabeza de esta Raise Bore, hermetizándolo correctamente (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 105,000 cfm y 150 HP del Raise Bore 1125 del Nivel 1455 y trasladarlo a taller eléctrico para su mantenimiento y colocarlo en stand by, ello generará un ahorro de 150 HP de energía (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 30,000 cfm y 50 HP del Raise Bore 1420 Nivel 1455, luego reubicar este ventilador en la cabeza del Rb 1360 para ventilar el área 16 (se ejecutó al 100%).



- Instalar dos puertas reguladoras en la galería principal del Nivel 1455, hermetizando previamente la cabeza del Raise Bore 1240 (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 55,000 cfm y 75 HP del Raise Bore 1240 del Nivel 1455 y reubicar en la Raise Bore 1125 para ventilar la rampa 1150(-), también instalar dos puertas reguladoras en la galería principal del Nivel 1455, antes del la cabeza del Raise Bore (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 30,000 cfm y 50 HP de la cabeza del Raise Bore 860 y del ventilador de 20,000 cfm y 50 HP del Raise Bore 850, ambos trabajan en serie y debido a que se instaló un ventilador en la cabeza del Raise Bore 1010 del Nivel 1455, estos dos ventiladores ya no son necesarios, deberán ser llevados a taller eléctrico para su mantenimiento y colocarlo en stand by (se ejecutó al 100%).

**DESDE EL 26/12/2007 HASTA 13/03/2008:**

- Eliminar el muro del Nivel 1750 y colocar un ventilador del stand by de 30,000 cfm y 75 HP, para extraer caudal por la Raise Bore 1 y Raise Bore 2, con este ventilador se evitará la recirculación del aire viciado por la galería principal del Nivel 1652 (Se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 105,000 cfm y 150 HP de la cabeza del Raise Bore 1390 y deberá ser llevado a taller eléctrico para su mantenimiento y colocarlo en stand by, en su reemplazo se instalará un ventilador de 55,000 y 75 HP (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje y extracción del ventilador de 30,000 cfm y 75 HP de la cabeza de la Chimenea 710 de maestranza, el caudal que baja es prácticamente el mismo

con ventilador o sin ventilador y deberá ser llevado a taller eléctrico para su mantenimiento y colocarlo en stand by (se ejecutó al 100%).

**DESDE EL 13/03/2008 HASTA 25/06/2008:**

- Colocar una puerta hermetizada cerca de la cabeza de la Raise Bore 350 Galería Principal del Nivel 1652, que conduce a maestranza, ello es de suma importancia para independizar el circuito e invertir el flujo de aire por maestranza debido al derrumbe ocurrido en junio no permite obtener para maestranza flujo limpio de aire del Nivel 1750, por lo tanto ahora será alimentado por medio de la rampa 350 (se ejecutó al 100%).
- Colocar un ventilador de 30,000 cfm y 50 HP en la cabeza del Raise Bore 1150, para dar más fuerza a la extracción de la profundización de la Rampa 1150, adicionalmente, desmontar y extraer el ventilador del Raise Bore 1125, y hermetizar en la cabeza de este Raise Bore (se ejecutó al 100%).
- Ejecutar el Raise Bore 1635 de 137 m y 7 pies de diámetro (\$/ 1050/m), costo de inversión de \$/ 142,800.00. Este unirá el Nivel 1370 y el Nivel 1240. Posteriormente colocar un ventilador de 50,000 cfm y 60 HP en Stand By debidamente revisado y operativo en la cabeza del Raise Bore 1285, luego hermetizar correctamente, para ventilar la galería 1135 (se ejecutó al 100%).
- Desmontaje del ventilador de 30,000 cfm y 75 HP de la Rampa 940, ya no es necesario por el ítem anterior. De la misma manera el ventilador de 30,000 cfm y 36 HP en la cabeza del Raise Bore 805, ya no será necesario (se ejecutaron ambos al 100%).

**DESDE EL 25/06/2008 HASTA 22/09/2008:**

- Colocar un ventilador principal de 20,000 cfm y 50 HP de stand by en la cabeza del Raise Bore 1420 para ventilar el área 16, el mismo que va incrementado su requerimiento de aire por el aumento de las operaciones.

**A PARTIR DEL 22/09/2008:****Por aprobarse por gerencia**

1) Proyección de la Red Principal de Ventilación a 60 meses

a) Construir un Raise Bore 1735 de 7 pies gemelo desde el Nivel 1652 a Nivel 1455, (ver el anexo 01 – plano N° 11). Este Raise Bore es de vital importancia para ventilar la profundización, de no realizarlo el costo de energía será muy alto y será más costoso para la empresa.

**Costo de inversión \$/214,200.**

b) Adquirir dos ventiladores:

**b.1) Un ventilador de 65,000 cfm,** se recomienda un ventilador modelo VAV-54-26.5-1750-I-A, con ángulo 47° con presión estática = 4.740” H<sub>2</sub>O, presión total de 5.260” H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 69 HP y motor nominal de 100 HP cada uno., ver anexo 02\_grafico 02.

**Costo de inversión: \$/ 60,000 (ventilador) + \$/ 6,000(cono difusor)**

**: \$/ 66 000**

**b.2) Un ventilador de 150,000 cfm**, se recomienda el modelo VAV-72-36-1750-I-B, con ángulo 21° con presión estática = 11.012” H<sub>2</sub>O, presión total de 11.65” H<sub>2</sub>O y con potencia efectiva de 322.4 HP y motor nominal de 370 HP, ver e; anexo 02\_ gráfico 06.

**Costo de inversión: \$/ 88,000(ventilador) + \$/8,000 (cono difusor)**

**: \$/ 96 000**

c) Establecer la Red Principal de Ventilación de la alternativa “B”, la cual esta detalladamente explicada en el capítulo VI (punto 6.5.2) y para mayor detalle chequear el Esquemático del anexo 01 – plano N° 11. Lo cual implica un costo total de :

**COSTO TOTAL DE INVERSIÓN ES DE \$/ 1 211 384**

La alternativa “B”, es una de las alternativas que implican menor costo para los siguientes 10 años de operación de la mina, por lo cual se recomienda implementar esta alternativa, claro que durante la ejecución se puede realizar pequeñas modificaciones, pero los aspectos principales son las descritas en esta alternativa.

## **BIBLIOGRAFIA**

- VENTILACION DE MINAS, ALEJANDRO NOVIITZSKY
  
- MINE VENTILATION AND AIR CONDITIONS, H.L HARTMAN
  
- MINE VENTILATION ENGINEERING, C.J HALL
  
- SEMINARIO DE TUNELERIA, INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DE PERU
  
- INGENIERIA EN LA VENTILACION MINERA, ALPHAIR-JOY
  
- VENTILACION MINERA, AIRTEC
  
- VENTILACION DE MINAS, CARLOS SOLDI