

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“VENTILACION DE MINAS SUBTERRANEAS NATURAL Y
MECANICA”**

PRESENTADO POR:

Bach. PRUDENCIO QUISPE CACERES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERU

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS
EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL



**“VENTILACION DE MINAS SUBTERRANEAS NATURAL Y
MECANICA”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PRUDENCIO QUISPE CACERES

A LA DIRECCION DE COORDINACION DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE
INGEIERIA DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO, COMO
REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE MINAS.

APROBADO POR:


PRESIDENTE DEL JURADO:


.....
Ing. Henry A. Tapia Valencia

PRIMER MIEMBRO DEL JURADO:


.....
Ing. Esteban Aquino Alanoca

SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO:


.....
Ing. Amilcar Terán Dianderas

DIRECTOR:


.....
Ing. Braulio Velásquez Ari

**“VENTILACION DE MINAS SUBTERRANEAS NATURAL Y
MECANICA”**

FECHA DE SUSTENTACION: 20 de Enero del 2009

DEDICATORIA

Dedico a la memoria de Alejandro Quispe Luna y Eleuteria Cáceres Pacco mis queridos padres por su abnegada labor y su infinita bondad, que alcanzaron la mortalidad en el cumplimiento de su deber, así mismo dedico a mis pequeñas hijas Nikol Danitza y Linda Gaul Génesis como también a mi Querida esposa Edith Mita Pacheco, mi nueva y linda familia.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por iluminar mi camino y hacer realidad mis sueños que tanto deseo en mi vida.

Así mismo deseo expresar mis agradecimientos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas quienes contribuyeron en mi formación profesional y volcaron sus conocimientos en mí.

Al mismo tiempo agradezco a mi linda familia por brindarme con su apoyo moral y económico el cual por confiar en mi persona.

RESUMEN

La Ventilación de una mina, es al conjunto de trabajos que se realizan para suministrar aire que debe circular por las diferentes labores subterráneas, ya sea por medios naturales o mecánicas, con la finalidad de obtener un ambiente seguro, saludable y cómodo para los trabajadores, durante su jornada de trabajo en interior mina.

La ventilación natural, la cual consiste básicamente en el movimiento de masas de aire al interior de las minas producto de diferencias de temperaturas entre las labores y la Superficie y de la diferencia de altitud entre las galerías conectadas con superficie.

La Ventilación mecánica es la ventilación auxiliar o secundaria y son aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, se ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación de aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

Este trabajo ha sido dividido o consta como sigue:

Capítulos I, (Generalidades y conceptos de la Ventilación)

Capitulo II (Caso práctico o aplicativo de la Ventilación)

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

Los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina o en la superficie.

Los tipos de ventiladores definidos en la ventilación son:

- Axiales o de hélice
- Radiales o centrífugos

INDICE GENERAL

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

CAPITULO I

	Pág.
MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. VENTILACION MINERA	2
1.1.1. OBJETIVOS DE LA VENTILACION	2
1.2. TIPOS DE VENTILACION.....	3
1.2.1. VENTILACION IMPELENTE.....	3
1.2.2. VENTILACION ASPIRANTE	4
1.3. PLANOS DE VENTILACION	4
1.3. PLANOS DE VENTILACION	4
PRINCIPIOS BASICOS DE VENTILACION DE MINAS	4
1.4. AIRE DE MINA.....	4
1.4.1. GASES PRESENTES EN LA MINA	5
1.4.2. FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE PELIGROSIDAD DEL AMBIENTE SUBTERRANEO	5
1.4.3. CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AIRE INTERIOR.....	5
1.4.4. CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UNA VENTILACION ADECUADA	5
1.4.5. CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE	6
1.4.6. CALCULO DE FLUJO DE AIRE EN UNA GALERIA	6
EL AIRE DE MINA Y SUS CONTAMINANTES.....	7
1.5. EL AIRE.....	7
1.5.1. EL AIRE DE MINAS	7
1.5.2. LA RESPIRACION HUMANA.....	7
1.5.3. CUOCIENTE RESPIRATORIO.....	7
1.5.4. DETERMINACION DE LA PRESION REQUERIDA.....	8
1.5.5. CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO.....	8
1.6. DEFICIENCIA DE OXIGENO.....	9
1.6.1. CARACTERISTICA DEL OXIGENO	10
1.6.2. CLASIFICACION DE LOS GASES SEGÚN SUS EFECTOS BIOLOGICOS.....	10
1.6.3. POLVO DE MINAS.....	11
1.6.4. SUSPENSION DE LA PARTICULA DE POLVO EN EL AIRE	11
PROPIEDADES FISICAS DEL AIRE	11
1.7. DENSIDAD DEL AIRE.....	11
1.7.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA	12
1.7.2. VOLUMEN ESPECÍFICO.....	12
1.7.3. PESO DEL AIRE (G).....	12
1.7.4. PRESION	12
1.7.5. HUMEDAD DEL AIRE.....	13
1.8. CAMBIOS FISICOS EN EL AIRE.....	13
1.8.1. PROCESO ISOMETRICO.....	13
1.8.2. PROCESO ISOTERMICO.....	14
1.8.3. PROCESO ADIABATICO	14
1.8.4. PROCESO POLITROPICO	14
1.9. LEY CUADRATICA DE VENTILACION	14
1.9.1. EL CAUDAL DE AIRE O FLUJO	14
1.10. TIPOS DE MOVIMIENTO DEL AIRE.....	14
1.11. FLUJO DE AIRE (Q).....	15
1.12. PERDIDAS DE ENERGIA EN CONDUCTOS DE AIRE.....	15
1.12.1.PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCIÓN (Hf).....	16
1.12.2.PERDIDAD DE ENERGIA POR CHOQUE (Hx)	16

1.12.3. PERDIDA DE ENERGIA TOTAL	16
1.13. CLASES DE PRESION	16
1.13.1. PODER DEL AIRE	17
1.13.2. METODOS PARA MEDIR LA PRESION	17
1.14. VENTILACION NATURAL	17
1.15. DIRECCION DEL FLUJO	18
1.16. CALCULO DE LA PRESION NATURAL	19
1.16.1. METODO N° 1 DIFERENCIA DE PRESIONES	19
1.17. DETERMINACION DE VOLUMEN DEL FLUJO DE VENTILACION NATURA	21
1.17.1. CURVA CARACTERISTICA DE LA VENTILACION NATURAL	21
1.18. VENTILACION MECANICA	22
1.18.1 VENTILACION GENERAL	23
1.18.2 VENTILACION LOCALIZADA	23
1.19. CLASIFICACION DE LOS VENTILADORES	23
1.19.1. VENTILADORES CENTRIFUGOS	24
1.19.2. CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS VENTILADORES CENTRIFUGOS	25
1.19.3. VENTILADORES AXIALES	26
1.19.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	27
1.19.5. CURVA CARACTERISTICA DE LOS VENTILADORES AXIALES	27
1.19.6. FACTORES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES	28
1.19.7. SELECCIÓN DE VENTILADORES PARA MINAS	29
1.19.8. RAMIFICACION CONTROLADA – REGULADORES	29
1.19.9. DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LOS REGULADORES	29
1.20. CIRCUITOS BASICOS EN VENTILACION DE MINAS	30
1.20.1. DIAGNOSTICO INTEGRAL DE CIRCUITOS DE VENTILACION	25
1.20.2. TERMINOLOGIA	36
1.20.3. RESOLUCION DE CIRCUITOS COMPLEJOS	36
1.21. MONITOREO, CONTROL Y AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE VENTILACION MINERIA SUBTERRANEA	38
1.21.1. PROPOSICION (VDM LTDA)	39

CAPITULO II

CASO PRÁCTICO DE LA VENTILACION EN LA MINA COMUNI 21.TAJO715E	42
2.1. GENERALIDADES	42
2.1.1. UBICACIÓN	42
2.1.2. ACCESO	42
2.1.3. RELIEVE	43
2.1.4. CLIMA	43
2.1.5. GEOLOGIA GENERAL	43
2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	44
2.3. ESTRATIGRAFIA	44
2.4. AFLORAMIENTO	44
2.5. GEOLOGIA ECONOMICA	45
2.6. CALCULO DE DISEÑO DE VENTILACIONES EN COMUNI 21	46
2.7. CAUDAL DE AIRE REQUERIDO	47
2.7.1. SEGÚN EL NÚMERO DEL PERSONAL (Q1)	47
2.7.2. SEGÚN EL NUMERO DE EQUIPOS DIESEL (Q2)	48
2.7.3. ATENDIENDO A LA DILUCION DE GASES (Q3)	48
DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA VENTILACION MECANICA	49
2.8. VENTILADORES	49
2.8.1. CURVA CARACTERISTICA	50
2.8.2. CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL VENTILADOR	50
2.8.3. EFICIENCIA MECANICA DEL VENTILADOR	50
EVALUACION ECONOMICA DE VENTILACION EN COMUNI 21	51
2.9. DETERMINACION DE LOS COSTOS	51
2.9.1. COSTOS	51

CAPITULO III

SEGURIDAD EN VENTILACION DE MINAS	52
3.1. SEGURIDAD EN VENTILACION DE MINAS	52
3.1.1. RESPIRACION HUMANA	52

3.2. REGLAMENTO DE SEGURIDAD E FINIENE MINERA (R.S.H.M.) DECRETO SUPREMO 046-2001-EM.....	52
3.3. RECONOCIMIENTO Y EVALUACION DEL PELIGRO.....	52
3.4. CONSUMO DE OXIGENO.....	53
3.5. AIRE ATMOSFERICO.....	53
3.6. MEDIDAS DE PREVENCION PARA EVITAR INTOXICACIONES.....	54
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXOS.....	58

CAPITULO I

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

1. GENERALIDADES

Actualmente la ventilación de una mina como el control ambiental, es cada día más complejo debido a las condiciones ambientales desfavorables que ocurre en cada momento, debido principalmente al consumo de explosivos, al uso de equipos diesel.

- A la presencia del material particulado (polvo).
- Por el manipuleo de material roto (mineral y desmonte).
- A la diversidad de labores (galerías, piques, chimeneas, cruceros, tajeos, etc.).
- A la profundidad de las minas.
- A la cantidad de personal que labora en cada una de ellas, etc.
- Proveer a estas minas de aire fresco y de buena calidad, libre de contaminantes que circule por los ductos hasta llegar a los lugares donde el personal trabaja.

Es cada vez mas difícil y costoso por cuanto se tiene que utilizar ventiladores (principales, secundarios, auxiliares, etc.), para impulsar grandes flujos de aire y vencer altas resistencias que presentan los diferentes ductos o conductos por donde circula el aire.

La ventilación natural por si sola no es capaz de satisfacer las necesidades requeridas de aire, ayuda en ciertos momentos siempre y cuando se le utilice adecuadamente en las corrientes de aire, por esta razón el uso de ventiladores en las minas es fundamental y necesarios para crear altas y bajas presiones, las que nos permitirán mover los flujos de aire de acuerdo a las necesidades requeridas.

1.1. VENTILACION MINERA

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

Se puede definir como la distribución de aire en un sistema de ventilación de minas a la asignación de caudales de aire en cantidad y calidad al interior de los diversos sectores de la mina, demandantes de recurso de manera tal de lograr medioambientales subterráneos aptos para el normal desempeño de los trabajadores y una óptima operación de las instalaciones y equipos.

1.1.1. OBJETIVOS DE LA VENTILACION

1. Dotar la cantidad de aire fresco necesario para la respiración de los trabajadores que trabajan en interior mina.
2. evacuar el aire viciado que contiene gases y polvos que se producen en interior mina, diluyendo su concentración debajo de los límites máximo permisibles.
3. Es el control del movimiento del aire, tanto en calidad y cantidad como en dirección del flujo.
4. La distribución racional de la corriente de aire puro dentro de la mina, a fin de suministrar a los trabajadores aire limpio y fresco en cantidades suficientes para su respiración normal.
5. Reducir las concentraciones de los contaminantes ambientales a niveles tolerables y permisibles.
6. Ubicación, dimensionamiento y determinación de las propiedades aerodinámicas de los conductos de aire.
7. regular las condiciones termo-ambientales manteniéndolos en un grado comfortable.
8. Ubicación y determinación de las características que deben tener los ventiladores, principales, secundarios y auxiliares.
9. Ubicación y determinación de las propiedades que deben tener los reguladores y puertas de ventilación.

1.2. TIPOS DE VENTILACION

Existen dos tipos o métodos básicos que se utilizan en la ventilación de una galería durante su desarrollo:

- . Aspirante
- . Impelente.

Una combinación de estos dos métodos básicos de lugar a la formación de otros métodos; que en muchas operaciones ofrecen garantía y eficiencia, así podemos citar.

- . Impelente durante la perforación y extracción después de los disparos.
- . Extracción con un ventilador principal, acoplado a tuberías permanentes e Impelente con un ventilador acoplado a tuberías temporales ubicadas cerca del Frente de trabajo.
- . Impelente de un ventilador principal, acoplado a tubería permanentes y su Extracción se utiliza con un ventilador auxiliar acoplado a una tubería temporal y ubicado próximo al frente de trabajo.

La selección del sistema de ventilación la deciden fundamentalmente las diversas circunstancias legales, y la disponibilidad económica de la empresa.

El sistema de extracción suele ser el más favorable en comparación al sistema por sopladura, pero en algunas ocasiones resulta práctico utilizar en forma alternada, sistemas extractores y sistema por sopladura, el primero de ellos para extraer los gases y el segundo para el buen confort de los trabajadores fundamentalmente para diluir el polvo.

En los siguientes valores que nos proporcionan el departamento de seguridad de la compañía minera ANANEA, se muestran las variaciones de la velocidad de aire a diferentes distancias, desde el extremo de una tubería de ventilación.

Si suponemos un sistema extractor con una tubería de 12"Ø a una distancia de 1 m. del extremo de la tubería, la velocidad será solo de un 7%. Con una disposición por sopladura la velocidad es de 60% a una distancia de 10 m. de la descarga.

1.2.1. VENTILACION IMPELENTE.

En este sistema de ventilación donde el aire se proporciona mediante mangas, tuberías hasta cierta distancia del frente de trabajo. el aire contaminado que se llega a mezclar con este aire puro, sale por la misma labor.

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

1.2.2. VENTILACION ASPIRANTE

En caso de ventilación por extracción, el aire entra por el extremo abierto de la tubería instalada a una distancia considera adecuada, por cuando la zona de acción del extremo aspirante que llega a propagar a una distancia pequeña del extremo de la tubería.

CUADRO N° 1
VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

Impelente		Aspirante	
Distancia (m)	Velocidad (v) (%de V en descarga)	Distancia (m.)	Velocidad (v) (% de V en entrada)
5	95	0,25	60
10	60	0,50	27
25	15	0,75	14
35	5	1,00	7

1.3. PLANOS DE VENTILACION

En toda mina deberá de llevarse al día planos de ventilación de las labores subterráneas, en escala de 1 en 500 a 1 en 2000, en los que se indicaran las corrientes de ventilación, la situación de los ventiladores, puertas, cortinas, mamparas, ductos, reguladores, etc.

Así mismo se indicaran las zonas mal ventiladas o de producción de gases, señalándose en este caso el tipo de estos.

PRINCIPIOS BASICOS DE VENTILACION DE MINAS

1.4. AIRE DE MINA

Denominamos aire de mina a una mezcla de gases y vapores, generalmente con material particulado (polvo ambiental en suspensión) que ocupa el espacio creado por las labores subterráneas.

Se trata de aire atmosférico, que al ingresar a la mina sufre una serie de alteraciones en su composición.

Si las alteraciones son pequeñas puede considerarse como aire atmosférico y lo denominamos aire fresco o de ingreso, y si las alteraciones son considerables, lo describimos como aire viciado o de retorno.

Cuando el aire recorre las labores mineras, va recogiendo algunos gases, calor y material particulado producido por las diferentes operaciones mineras.

La presencia de seres humanos y de algunos materiales influyen también en la disminución del oxígeno en el aire, de acuerdo a la siguiente escala.

CUADRO N°2

Grado de actividad	Respiraciones por minuto	Aire inhalado por respiración (litros)	Aire inhalado por minuto (litros)	Oxígeno consumido por minuto (litros)
En reposo	16	0.50	8.00	0.33
Actividad Moderada.	30	1.60	48.00	1.98
Actividad Intensa	40	2.50	100.00	3.96

El aire seco inhalado, contiene normalmente 20.95 % de oxígeno, mientras que el aire exhalado contiene aproximadamente 16.00 % de oxígeno y 4.00 % de anhídrido carbónico (CO₂).

1.4.1. GASES PRESENTES EN LA MINA

- Gases de estratos: anhídrido sulfuroso (SO₂).
- Gases de explosivos: monóxido de carbono (CO), gases nitrosos (NO, NO₂).
- Gases de combustión interna: Monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Gases de respiración humana: Dióxido de carbono (CO₂).

1.4.2. FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE PELIGROSIDAD DEL AMBIENTE SUBTERRANEO

1. Tamaño de partícula: Cuanto más pequeño es más peligroso.
2. Humedad relativa: Cuanto mayor es la humedad relativa en el ambiente de trabajo menor es la concentración de partículas.
3. Tiempo de exposición.
4. El sistema de ventilación.

1.4.3. CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AIRE INTERIOR

1. La estrategia de control más efectiva es controlar a los contaminantes en la fuente.
2. La segunda opción más efectiva es una adecuada ventilación (natural o mecánica).

1.4.4. CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UNA VENTILACION ADECUADA

1. Flujo de aire: En todas las labores subterráneas deberá mantenerse un flujo de aire limpio y fresco suficiente en relación con el número de personas y las operaciones que se efectúan en su interior.
2. Acceso y salida de aire: En toda mina subterránea las instalaciones y demás dispositivos de entrada y salida de aire deben ser absolutamente independientes.
3. Gases tóxicos: Son gases producidos por la voladura y trabajos en mina.

1.4.5. CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE

La minería subterránea crea espacios bajo tierra en los cuales trabajan seres humanos, las condiciones de trabajo incluyen la humedad ambiental, la temperatura del aire, la presencia de radiaciones nocivas o de gases explosivos, la presencia de agua, la formación de polvo y la emisión de ruido que dependen tanto del mineral como de la roca encajante, de la profundidad de la mina y del uso de maquinaria.

El sistema de ventilación, esta constituido por la presencia de “aire fresco” que ingresa a la mina por factores de presión y temperatura en el aspecto natural y por influencia directa de la fuerza de ventiladores aspirantes o impelentes que introducen aire fresco al interior de las minas subterráneas a través de mangas.

1.4.6. CALCULO DE FLUJO DE AIRE EN UNA GALERIA

$$Q = S V \quad \text{donde: } S: \text{sección}$$

$$V: \text{velocidad}$$

$$V = \frac{(V_p + 0.8V_c)}{2}$$

Donde: V_p : velocidad promedio del perímetro

V_c : velocidad promedio de los centros

V : velocidad general (m/s)

S : área de la sección (m^2)

Q : caudal (m^3/s)

$$S = \frac{AxB(\pi + 8)}{12}$$

Donde: A : ancho
 B : altura

Ejemplo. Calcular el caudal de aire en una mina con las siguientes características:

$A = 2.10$ m, $B = 2.40$ m, $V_p = 5$ m/s, $V_c = 4$ m/s

Solucion

$$S = \frac{2.10 \times 2.40 (3.1416 + 8)}{12}$$

$$S = 4,6794 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{5 + 0.8(4)}{2}$$

$$V = 4,1 \text{ m/s}$$

$$Q = S V$$

$$Q = 4,6794 \times 4,1$$

$$Q = 19,1855 \text{ m}^3/\text{s}$$

EL AIRE DE MINA Y SUS CONTAMINANTES

1.5. EL AIRE

Siendo el aire un fluido básico de la vida, el cual al pasar por una mina se altera. Su composición cambia, se define como una mezcla mecánica de gases que en su estado puro y seco tiene la siguiente composición.

CUADRO N°3
Composición del aire seco

Elementos	% en volumen	% en peso
Nitrógeno N ₂	78.09	75.53
Oxígeno O ₂	20.95	23.14
Anhídrido carbónico CO ₂	0.03	0.046
Argon y otros gases	0.93	1.284

Debe tenerse presente que el aire seco no existe en atmósferas normales; el aire normal es aire húmedo, con contenidos de vapor de agua que varían de 0.1 a 3 % en volumen (en las minas generalmente excede de 1 %).

El aire es incoloro, inodoro, sin sabor y sustenta las combustiones y la vida.

1.5.1. EL AIRE DE MINAS

El aire sufre cambios en el interior de una mina, la cantidad de oxígeno disminuye, el anhídrido carbónico aumenta, como también la cantidad de nitrógeno y vapor de agua. Además se agregan al aire diversos gases y polvos.

Se considera que el aire de mina se compone de aire atmosférico, gases activos (gases de explosivos) y aire muerto (mezcla de CO₂ 5 al 15 % y N₂ 95 a 85 %) que puede estar presente en el aire de las minas en unas décimas hasta algunas unidades de por ciento, llamado “soroche”.

1.5.2. LA RESPIRACION HUMANA

La razón primordial para proveer aire limpio y con adecuado contenido de oxígeno, es la sustentación de la vida humana.

El ritmo y el volumen de la respiración y por consiguiente el consumo de oxígeno se incrementa con la actividad física del sujeto. La capacidad respiratoria de un individuo (volumen de aire inhalado) es varias veces superior al oxígeno consumido.

Veamos la composición general del aire exhalado.

N₂ = 79 %

O₂ = 16 %

CO₂ = 5 %

1.5.3. CUECIENTE RESPIRATORIO

Es la razón entre CO₂ expelido con el oxígeno consumido en volúmenes:

$$CR = \frac{\text{anhidridocarbonico expelido}}{\text{Oxigenoconsumido}}$$

Cuando CR aproxima a la unidad (1), significa una persona que esta realizando un esfuerzo.

Cuando CR se aleja mucho menos de la unidad (1), establece a una persona en reposo.

CUADRO N°4
 INHALACION DE OXIGENO Y AIRE EN LA RESPIRACION

ACTIVIDAD	REPOSO	MODERADO	MUY VIGOROSO
Ritmo respiratorio por minuto	12 – 1	30	40
Aire inhalado por respiración m ³ /s x 10 ³	5 – 3	46 – 59	98
Oxigeno consumido en m ³ /s x 10 ⁻⁶	4,70	33,04	47,20
Cuociente respiratorio “CR”	0,75	0.90	1,00

1.5.4. DETERMINACION DE LA PRESION REQUERIDA

El aire que fluye a través de conductos , sean estas galerías o tuberías , encuentra resistencia al movimiento de la corriente originada por las paredes de estos conductos, en consecuencia hay transformación de energía cinética en energía calorífica, por lo que es necesario para mantener el movimiento, entregar mayor cantidad de energía cinética,

Para valorizar estas perdidas o caídas de presión, generalmente se dividen en dos grupos:

- a. Las caídas o pérdidas de presión originadas por la fricción o resistencia que Ofrecen las paredes de los conductos al flujo de la corriente de aire, que depende De su rugosidad y de la dirección de la corriente.
- b. Las perdidas de presión causadas por cambios bruscos en la velocidad de la Corriente de aire, originadas por cambios de dirección y obstrucción.

Las formulas utilizadas para determinar las perdidas de presión incluyen un factor empirico “k” que se denomina “coeficiente de fricción”. Seguidamente realizamos un estudio de las expresiones que influyen en el movimiento de las corrientes de aire en los conductos o tuberías o en la galería misma.

1.5.5. CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO

Con los datos de la tabla puede calcularse la cantidad mínima de aire requerida para el proceso respiratorio. Puede tomarse como punto de partida una u otra de las siguientes condiciones:

- 1. El contenido de oxigeno será diluido por debajo del limite recomendado de seguridad.
- 2. El contenido de dióxido de carbono se elevara por encima del umbral limite, considerando cada paso por separado.

Problema N°1.-Se tiene el contenido mínimo permisible de oxígeno de 19.5 % (según el servicio de minas de EE.UU. de América). Se pide calcular el caudal de aire requerido Q en m³/s, para una actividad vigorosa.

Solución

La demanda de oxígeno en actividad vigorosa es de 47,20 x 10⁻⁶ m³/s, se establece el siguiente balance del flujo de oxígeno.

Contenido de O ₂ en el aire de entrada	(menos)	O ₂ gastado en respiración m ³ /s	(igual)	Contenido de O ₂ en el aire de salida
0,2095 Q	-	47,20 x 10 ⁻⁶	=	0,195 Q

$$Q = \frac{(47,20 \times 10^{-6})}{(0,2095 - 0,195)}$$

$$Q = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

Problema N°2.-Dado el contenido máximo de CO₂ igual a 0,5 %, se pide caudal en m³/s para una actividad vigorosa.

Solución

Para una actividad vigorosa se acepta CR = 1,00

Por tanto CO₂ = 1 x 47,20 x 10⁻⁶ (m³/s)

$$\text{CO}_2 = 47,20 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

El balance del CO₂

Cantidad de CO ₂ en el aire de entrada	(mas)	Cantidad de CO ₂ expelido en la respiración	(igual)	Cantidad de CO ₂ en el aire a la salida
0,0003 Q	+	47,20 x 10 ⁻⁶ m ³ /s	=	0,005 Q

$$Q = \frac{47,20 \times 10^{-6}}{(0,005 - 0,0003)}$$

$$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.6. DEFICIENCIA DE OXIGENO

El control de calidad de los gases de mina, se relaciona también con el problema de la deficiencia de oxígeno. Esta puede ser causada por:

- 1.- Introducción de un gas diluyente.
- 2.- Desplazamiento del oxígeno.
- 3.- Una combinación de ambos procesos.

La causa mas grave de deficiencia de oxígeno es la dilución, que ocurre cuando un gas ajeno se introduce en la atmósfera de la mina, reduciendo así el % del oxígeno en el aire

y crea de por sí un riesgo. Estos gases ajenos provienen de los estratos del depósito o de las formaciones adyacentes.

1.6.1. CARACTERISTICA DEL OXIGENO

Es un gas que no tiene olor, color ni sabor, su peso específico es de 1,11 con respecto al aire.

Es el gas presente en el aire que sustenta la vida y la combustión.

El hombre respira mejor y trabaja más fácilmente cuando el aire contiene alrededor de 21 % de oxígeno, que es la cantidad normal que contiene la atmósfera al nivel del mar.

CUADRO N°5

EFFECTOS DE LA DEFICIENCIA DE OXIGENO

Contenido de O ₂	Efecto
17 %	Respiración rápida y profunda equivalente a 2500 m.s.n.m.
15 %	Vértigo, vahído, zumbido en oídos, aceleración de latidos
13 %	Perdida de conocimiento en exposición prolongada
9 %	Desmayos, inconsciencia
7 %	Peligro de muerte, (equivale. A 8.800 m.s.n.m.)
6 %	Movimientos convulsivos, muerte.

El oxígeno puro a la presión atmosférica (1,054 Kg. /cm² al nivel del mar) puede inhalarse sin que surtan efectos perjudiciales entre 7 a 70 horas. La inhalación de oxígeno a presiones más elevadas causa síntomas en el sistema nervioso central llegando a producir a veces cesación momentánea total de la respiración.

Las principales causas de la disminución del oxígeno del aire de minas son: proceso de oxidación lenta de materias orgánicas (madera de minas, combustibles, etc.); desprendimiento de gases por las rocas, incendios, respiración de personas, combustión de lámparas y motores, etc.

1.6.2. CLASIFICACION DE LOS GASES SEGÚN SUS EFECTOS BIOLÓGICOS

Los gases a presión y temperatura normal, como también los vapores provenientes de líquidos, se clasifican como siguen:

Gases asfixiantes.

- Simples (hidrocarburo, gases nobles, CO₂, H₂, N₂)
- Químicos (CO, HCN)

Gases irritantes.

- Primarios (HCl, NH₃, SO₂, Cl₂, O₃, NO₂)
- Secundarios (H₂S)

Gases anestésicos.

- Primarios (parafinas, olefinas, ésteres acetilénicos, aldehídos, cetonas).
- De efecto sobre las vísceras (H.C. clorados).
- De efecto sobre el sistema hematopoyético (H.C. aromáticos).
- De efecto sobre sistema nervioso (alcoholes, ésteres, CS₂).
- De efecto en la sangre y sistema circulatorio (nitro y amino compuestos orgánicos).

1.6.3. POLVO DE MINAS

El polvo de minas es un conjunto de partículas que se encuentran en el aire, paredes, techos y piso de las labores mineras.

Cuando el polvo se encuentra en el aire, forma un sistema disperso llamado “aerosol”, puede permanecer en el un largo tiempo, dependiendo esto de varios factores a saber: finura del polvo, de su forma, peso específico, velocidad del movimiento del aire, de su humedad y temperatura.

1.6.4. SUSPENSION DE LA PARTICULA DE POLVO EN EL AIRE.

Para determinar la duración de la suspensión de una partícula de polvo en el aire sin movimiento, se deben tomar en cuenta la interacción de dos fuerzas; la gravedad de la partícula y la fuerza de resistencia del aire, mientras mayor sea la fuerza de gravedad, la velocidad de caída de la partícula será mas grande, al mismo tiempo, la fuerza de resistencia del aire crece. Cuando se trata de partícula menores de 10 micrones estas caerán, desde cierto instante con velocidad constante determinada por ley de STOKES.

$$V = \frac{[2xr^2x(d - d')xg]}{9xv}$$

Donde:

V = velocidad de las partículas en cm./s

r = radio de la partícula en cm.

d = peso específico de la partícula, gr. /cm³

d' = peso específico del aire, gr./cm³

g = aceleración de gravedad en cm./s²

v = viscosidad de aire inmóvil, poises.

Debido que el peso específico del aire es muy pequeño respecto al de la partícula, este puede omitirse y colocando en la formula $g = 981 \text{ cm./s}^2$ y $V = 1,181 \times 10^{-4}$ poises, entonces tendremos.

$$V = 1,8 \times 10^6 \times r^2 \times d$$

PROPIEDADES FISICAS DEL AIRE

1.7. DENSIDAD DEL AIRE

Se define como la cantidad de la masa de aire contenida en la unidad de volumen, también se expresa en: lb./pie³ o Kg./m³,

$$\delta = \frac{1,325 \times P_b}{460 + T}$$

Donde:

δ = densidad del aire (lb./pie³)

P_b = presión barométrica (pulgadas de mercurio)

T = temperatura del aire (°F)

La densidad del aire a condiciones normales es:
0,075 lb/pie³ a una presión barométrica de P= 14,69 psi y T= 70 °F o 1,295 Kg./m³ a una presión barométrica de 760 mmHg y T= 15 °C y humedad relativa 60 %.

1.7.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA.

La gravedad específica de un gas es el peso por unidad de volumen.
No se dispone de instrumentos que puedan medir directamente la gravedad específica del aire, por lo que es necesario calcular a partir de las medidas de presión y temperatura.

$$\gamma = \frac{0,465P - 0,0176QP_s}{T} \quad (\text{Kg./m}^3)$$

Donde:

- P = presión barométrica en mmHg.
- Ps = presión del aire saturado en mmHg.
- Q = humedad relativa en fracción (%)
- T = temperatura en °K.

1.7.2. VOLUMEN ESPECÍFICO.

El volumen específico del aire se entiende como la relación del volumen Vp (m³) del aire que ocupa por unidad de peso.

$$V_p = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{m}^3/\text{Kg}).$$

1.7.3. PESO DEL AIRE (G)

$$G = V \times \gamma \quad \text{Donde: } G = \text{peso del aire (Kg.)}$$

$$V = \text{volumen del aire (m}^3)$$

$$\gamma = \text{gravedad específica (Kg./m}^3)$$

1.7.4. PRESION

La presión es una propiedad física del aire que interviene en los diferentes procesos de ventilación de una mina. Se define como el empuje que ejerce un fluido sobre las paredes que lo contiene.

La presión atmosférica es el peso del aire que rodea la tierra, a causa de la presión, y que disminuye a medida que aumenta la altura de la superficie de la tierra.

La presión expresada en pulgadas de mercurio se llama presión barométrica.

Al nivel del mar la presión atmosférica es capaz de soportar una columna de mercurio de 30 pulgadas de alto, es decir la presión barométrica al nivel del mar es 30 pulgadas de mercurio.

Una pulgada de mercurio a 32 °F de temperatura, pesa 0.49 libras.

Una presión barométrica de 30 pulgadas equivaldrá:

$$0.49 \times 30 = 14.7 \text{ Libras/pulgada cuadrada.}$$

La presión que ejerce una columna de aire sobre una superficie dada, se expresa en la siguiente formula.

$$P = (P_o + \delta H)S$$

Donde:

- P: presión atmosférica
- Po: presión atmosférica normal
- δ : Densidad del aire
- H: altura de la columna de aire
- S: superficie.

1.7.5. HUMEDAD DEL AIRE

Es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire.

Se llama aire saturado cuando el aire contiene el máximo vapor de agua para cualquier temperatura y se expresa en porcentaje. En la práctica para medir la humedad relativa del aire se realiza a través del PSICROMETRO.

Según la ley de Dalton: $P_m = P_a + P_v$

- Donde: Pm: presión de la mezcla
 Pa: presión del aire seco
 Pv: presión del vapor de agua
 Ps. Presión de saturación.

Para el aire saturado, la presión de la mezcla es igual a la presión de saturación ($P_m = P_s$) y será máxima.

Humedad absoluta, es el contenido de vapor de agua en gramos en un metro cúbico de aire.

Humedad relativa, es la relación del contenido de vapor de agua en gramos por metro cúbico de aire.

La humedad relativa también puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{p_v}{P_s} = \frac{0.5(T_p - T_w)}{P_s} \times \frac{p_o}{755}$$

- Done. Q: humedad relativa
 Po: presión barométrica del lugar, en mmHg
 Ps: presión del aire saturado, en mmHg
 Tp: temperatura del bulbo seco en °C
 Tw: temperatura del bulbo húmedo en °C.

1.8. CAMBIOS FISICOS EN EL AIRE

Los cambios físicos de presión y temperatura en el aire a través de las labores mineras son extremadamente variables, estos cambios se realizan siguiendo los procesos termodinámicos.

1.8.1. PROCESO ISOMETRICO.

En este proceso el volumen y la gravedad específica permanecen constantes cambiando la temperatura y presión.

1.8.2. PROCESO ISOTERMICO

Durante este proceso la temperatura permanece constante, la ecuación que relaciona

P, V es :**PV= constante.**

1.8.3. PROCESO ADIABATICO

Cuando el proceso se realiza sin transferencia de calor, esto es:

$\Delta Q = 0$, siendo Q= cantidad de calor.

La ecuación que relaciona P y V es 1.41; $PV = \text{constante}$

1.8.4. PROCESO POLITROPICO

En este proceso la relación entre la presión y el volumen esta expresado por la ecuación:

$PV^n = \text{constante}$, donde: $1 < n < 1.41$

1.9. LEY CUADRATICA DE VENTILACION

$H = RQ^2$ Donde: H: presión del aire

R: resistencia practica ($\text{Kg xs}^2 / \text{m}^8$)

Q: flujo de aire ($\text{m}^3 / \text{min uto}$)

1.9.1. EL CAUDAL DE AIRE O FLUJO

- Es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones.
- El movimiento del aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos (ventiladores).

$Q = VA$ donde: Q: flujo de aire (metros cúbicos por minuto)

V: velocidad del flujo de aire (m/minuto)

A: área de la sección del ducto Cm^2).

1.10. TIPOS DE MOVIMIENTO DEL AIRE

En mecánica de los fluidos empleamos un coeficiente (coeficiente de Reynolds) para caracterizar el movimiento circulatorio.

Se ha observado dos clases de movimiento circulatorio que se diferencian fundamentalmente tanto en su apariencia como en su regularidad mecánica, estos son:

- a) Circulación laminar.
- b) Circulación turbulenta.

-El movimiento laminar, en el que las distintas partículas del fluido se mueven paralelamente en trayectorias separadas o capas bien ordenadas que resbalan unas sobre otras sin mezclarse.

-El movimiento turbulento, en el que las partículas del fluido se mezclan continuamente formando remolinos, dando una apariencia totalmente irregular.

El movimiento laminar se presenta rara vez en las minas, solo donde la velocidad de circulación es bastante baja, si la velocidad de circulación va aumentando gradualmente hasta rebasar una velocidad completamente determinada llamada velocidad crítica, el movimiento laminar se torna turbulento.

1.11. FLUJO DE AIRE (Q)

Para que el aire fluya a través de la mina, es necesario que exista una diferencia de presión entre la entrada y salida.

La diferencia de presiones se debe a causas naturales, gradiente térmica o inducida artificialmente por medios mecánicos mediante el uso de ventiladores.

La diferencia de presiones se debe a la imposición de alguna forma de presión en un punto, o en una serie de puntos en el sistema de ventilación.

Para que circule el aire debe proporcionarse galerías para la entrada y salida del aire. Para que circule el aire a través de la mina es necesario que la energía que dispone la corriente de aire deberá ser mayor que la energía requerida para vencer la resistencia del conjunto de labores que constituye la mina y que definen los circuitos de ventilación.

Las presiones de la ventilación de minas, con respecto a la presión atmosférica, puede ser positiva (impelente) o negativa (extractora).

La pérdida de energía que experimenta el aire al circular por las diferentes labores de la mina, se debe a las siguientes causas:

1.- Pérdida por fricción, son aquellas causadas por la resistencia de las cajas al flujo del aire. Por lo tanto estas dependen de las condiciones y asperezas de las cajas individuales y de la velocidad del aire.

2.- Pérdidas por choque, son las causadas por los abruptos cambios de la velocidad del flujo del aire. Por lo tanto, estas son el resultado de alteración en la dirección del aire o del área de la galería, obstrucciones y regulaciones.

1.12. PERDIDAS DE ENERGIA EN CONDUCTOS DE AIRE

En los conductos de la mina (galerías, chimeneas, tajeos, etc.), ofrece resistencia al paso del aire originando pérdidas de energía, estas pérdidas llamadas también caídas de presión o pérdidas de presión son ocasionadas principalmente por fricción y choques del aire a su paso por estos conductos.

La pérdida total (H) de energía en una labor de una mina es la resultante de la sumatoria de las pérdidas por fricción (Hf) y pérdida por choque (Hx), esto es:

$$H = Hf + Hx$$

1.12.1. PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCION (Hf)

Este tipo de pérdidas de energía en las minas, constituye el más importante como lo describen los postulados de Darcy-Weisbach, para fluidos turbulentos, como es el caso de los flujos de aire para cualquier conducto circular y a condiciones estándar de densidad de aire de 0,075 lb./pie³, se cumple la siguiente relación.

$$H_f = f \cdot \frac{LV^2}{2gD}$$

Donde Hf: pérdida de energía (pies)
f: coeficiente de fricción
L: longitud del conducto (pies)
D: diámetro del conducto (pies)
V: velocidad del aire (pies/s)
g: gravedad (pies/s²)

1.12.2. PERDIDA DE ENERGIA POR CHOQUE (Hx)

Las pérdidas de energía se producen por los cambios en la dirección de los flujos de aire o cambios en la sección transversal de los conductos.

Estas pérdidas se pueden determinar mediante ecuaciones matemáticas, pero con fines prácticos y rapidez de cálculo se puede utilizar el método de longitudes equivalentes (Le), como se muestra en el cuadro n° 2.

También se puede utilizar la ecuación de Atkinson:

$$h_x = \frac{KPLe}{5,2A^3} \times Q^2$$

1.12.3. PERDIDA DE ENERGIA TOTAL

Es el resultado de la suma de las dos ecuaciones anteriores que nos dará en pulgadas de agua.

$$H = H_f + H_x$$

$$H = \frac{KP(L + Le)}{5,2A^3} \times Q^2$$

PRESION

$$H = R Q^2$$

1.13. CLASES DE PRESION

a- PRESION DE VELOCIDAD

$$P_v = \frac{V^2 \delta}{2} \quad \text{Donde } P_v: \text{ presión de velocidad (pa)}$$

V: velocidad del aire (m/s)
 δ : Densidad del aire (Kg./m³)

b- PRESION ESTATICA

Es la presión ejercida por el aire en las paredes del ducto, la cual tiende a forzarlas a expandirse. Se le denomina estática, por que así no haya movimiento del aire, esta presión siempre va a existir.

c- PRESION TOTAL

Se define como la suma de las presiones de velocidad y de la presión estática.

$$P_t = P_s + P_v$$

1.13.1. PODER DEL AIRE

Para que una cantidad conocida de aire circule a través de un sistema, requiere cierta presión, el poder de este flujo se conoce como poder del aire:

$$W_a = \frac{PQ}{1000} \quad \text{Donde } W_a: \text{ poder del aire (Kw.)}$$

P: presión (pa)

Q: cantidad de aire (m³/s)

1.13.2. METODOS PARA MEDIR LA PRESION

Se pueden utilizar diferentes métodos para medir la presión.

- 1.- Medición de las presiones a través de las exclusas.
- 2.- Método de manguera arrastrada.
- 3.- Método de densidad (conocido también con el nombre de barometro⁹)
- 4.- El de volumen completo- volumen reducido.

1.14. VENTILACION NATURAL

La ventilación natural ha sido y sigue siendo utilizada en minería, en muchos casos como sistema único.

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

Puede ser por el calentamiento o el enfriamiento del aire a su paso, a través de la mina, debido a la temperatura de los terrenos, la oxidación, el enfriamiento de las sustancias arrancadas, el consumo de energía de las maquinas y la absorción de la humedad, también puede causar un tiro natural la absorción de gases específicamente ligeros, especialmente vapor de agua y el efecto de choque del agua al caer.

En la mayoría de los casos intervienen varios de estos factores en la reacción de un tiro natural, la variación de temperatura y la absorción de humedad critica paralelamente a sus efectos sobre los cambios de volumen y densidad del aire de la mina, se refuerzan mutuamente siendo los principales factores que originan el tiro natural.

Las gotas de agua resultan favorables en los pozos de entrada y resultan perjudiciales en los pozos de retorno, ya que en los pozos de entrada se aprovecha para reforzar la corriente de aire de 12-16 % de l trabajo desarrollado por el agua al caer.

Pero en los pozos de retorno, en los que el agua se mueve en dirección contraria al viento y choca con el, con mayor velocidad, el efecto retardador puede llegar hasta el 58 % del trabajo de caída de agua, lo que tiene mucha importancia para la inversión de ventilación.

1.15. DIRECCION DEL FLUJO

La dirección del flujo del aire producido por ventilación natural, en circuitos simples se debe observar el siguiente procedimiento.

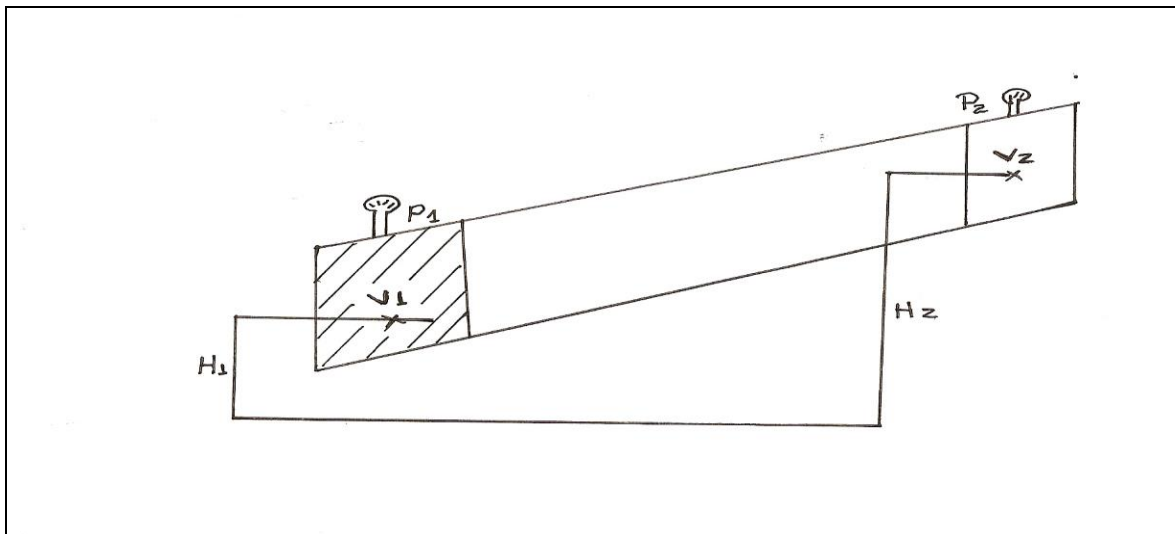
1.- Visualizar las columnas de aire de igual altura entre dos líneas horizontales de referencia, comparando la diferencia de presión entre los puntos en el circuito. Esto balancea el cambio de elevación entre la entrada y la descarga y elimina la necesidad de considerar el término de elevación (H2) de la ecuación de Bernoulli.

Las columnas deberían extenderse entre las elevaciones de los puntos más altos a los mas bajos en la mina.

$$P_1 + \gamma_1 H_1 + \gamma_1 \frac{V_1^2}{2g} = P_2 + \gamma_2 H_2 + \gamma_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

GRAFICO N°1

Dirección De Flujo De Aire



De Acuerdo a la Ecuación de Bernoulli.

Esta ecuación aplicada a los gases reales, en este caso el aire que se mueve por la mina o por un ducto cualquiera vence una serie de resistencias ha debido al roce contra las paredes de las labores o el ducto, o al roce mutuo entre las partículas del aire, debido también a los cambios de dirección o a los cambios de velocidad en su movimiento.

Por lo tanto la ecuación de Bernoulli aplicado a los gases reales (aire de mina) se escribe.

$$(P_1 - P_2) + (\gamma_1 H_1 - \gamma_2 H_2) + \left(k_1 \frac{v_1^2}{2g} \gamma_1 - K_2 \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 \right) = hr$$

Donde K: es el coeficiente de energía cinética.

La diferencia de presiones $P_1 - P_2 = hf$ es lo creado por un ventilador.

La diferencia de presiones $\gamma_1 H_1 - \gamma_2 H_2 = hn$ es lo creado por tiro natural.

La diferencia de presiones $k_1 \frac{V_1^2}{2g} \gamma_1 - k_2 \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 = hv$ es lo creado por velocidad del flujo.

En forma reducida: $hf \pm hn \pm hv = hr$

1.16. CALCULO DE LA PRESION NATURAL

Aunque visualmente la ventilación natural como el resultado de la diferencia de densidad de dos columnas de aire, es técnicamente incorrecto hacerlo, forma las bases para la mayoría de los métodos usados para calcular la presión en la ventilación natural.

1.16.1. METODO N° 1 DIFERENCIA DE PRESIONES

Debido al principio de que la densidad del aire se incrementa progresivamente y no linealmente hacia el fondo de la columna se puede emplear esta formula.

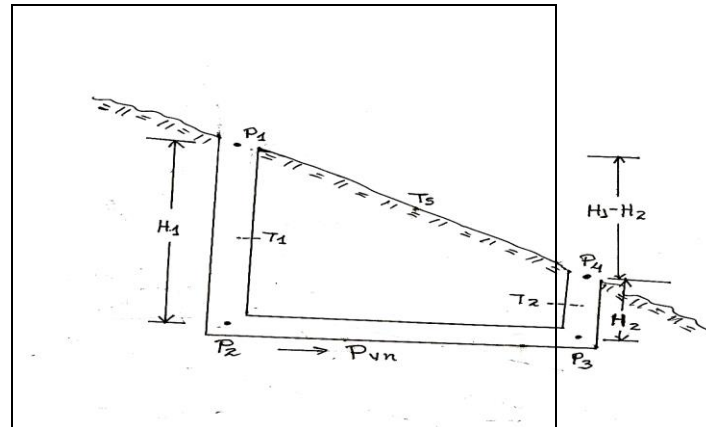
$$W = \frac{PV}{RT} = \frac{PAdL}{RT} = Adp$$

Arreglando por integración:
$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{P} = \int_0^L \frac{dl}{RT}$$

$$Ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \frac{L}{RT}$$

Donde: L: altura de la columna
 P1 y P2: presiones absolutas en el tope y fondo de la columna
 T: es el promedio de la temperatura absoluta.

GRAFICA N° 2



$$P_{vn} = P_1 \left[\ell^{\frac{g}{R} \left(\frac{H_1 - H_2}{T_2} + \frac{H_2}{T_1} \right)} - \frac{gH_1}{RT_1} \right]$$

Donde. P1: presión barométrica en el nivel de la salida mas alta de la mina.

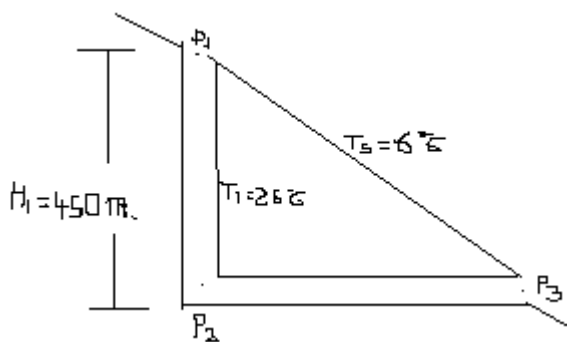
H: diferencia de nivel (m).

T: temperatura absoluta (°K).

R: constante del aire 290 j/Kg. °K

g: aceleración de la gravedad 9,81 m/s².

PROBLEMA: Hallar la presión de ventilación natural de una mina ubicada a 3800 m.s.n.m.



SOLUCION

La presión barométrica en el punto más alto será:

$$P_1 = P_o \cdot \ell^{-\frac{gH}{RTS}} \quad P_1 = 101,3 \times \ell^{-\frac{9,81 \cdot 3800}{290 \cdot 279}}$$

$$P1 = 101,3 * (2,7182810)^{-0,46073}$$

$$T1 = 26+273 = 299 \text{ °K}$$

$$TS = 6+273 = 279 \text{ °K}$$

$$P1 = 101,3 * 0,63082$$

$$P1 = 63,902 \text{ Kpa}$$

La presión de ventilación natural será.

$$P_{vn} = P1 \left[\ell^{\frac{g}{R} \left(\frac{H1-H2}{TS} + \frac{H2}{T2} \right)} - \ell^{\frac{gH1}{RT1}} \right]$$

$$P_{vn} = 63,902 \left[\ell^{\frac{9,81}{290} \left(\frac{450-0}{279} + 0 \right)} - \ell^{\frac{9,81*450}{290*299}} \right]$$

$$P_{vn} = 63,902 \left[\ell^{0,05456} - \ell^{0,050911} \right]$$

$$P_{vn} = 63,902 (1,0560765 - 1,0522293)$$

$$P_{vn} = 0,245843 \text{ Kpa} \times 1000$$

$$P_{vn} = 245,843 \text{ pa} \text{ equivalente a } 25 \text{ mm. de agua o } 1 \text{ pulg. de agua}$$

1.17. DETERMINACION DE VOLUMEN DEL FLUJO DE VENTILACION NATURAL

La cantidad de aire que fluye, la cual resultara de la presión de ventilación natural en una mina puede ser calculada o encontrada gráficamente, sin tomar en cuenta la presión de velocidad, la ecuación para la caída de presión estática de mina (o pérdida de presión), se le considera igual a la caída de presión de ventilación natural y se resuelve por volumen.

$$Q = \sqrt{\frac{5,2HnA^3}{Kp(L+Le)}} \quad \text{mmH}_2\text{O}$$

$$Q = \sqrt{\frac{HnA^3}{Kp(L+Le)}} \quad \text{en Pa}$$

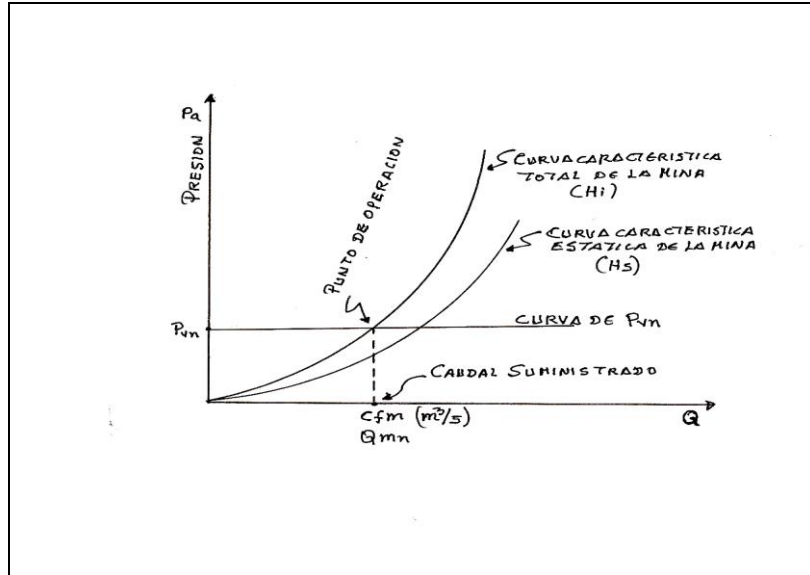
Donde:

- Hn: presión natural
- K: factor de fricción
- P: perímetro de ducto o galería
- L: longitud de ducto o galería
- Le: longitud equivalente.

1.17.1. CURVA CARACTERISTICA DE LA VENTILACION NATURAL

Siendo la presión de ventilación natural un fenómeno estacional que depende de la diferencia de temperatura existente en el interior de la mina con el exterior, en los cálculos de ventilación de minas se acostumbra representar la curva de la mina mediante una línea recta horizontal.

GRAFICO N°3



En la practica la recta que representa a Pvn se desplaza verticalmente durante el año y esto explica las variaciones que ocurre en el flujo de aire que circula a través de una mina en la que existe ventilación natural.

1.18. VENTILACION MECANICA

Los ventiladores comenzaron a usarse en la ventilación de minas en la segunda mitad del siglo XIX. Estos eran exclusivos del tipo centrífugo de gran diámetro y velocidad lenta, constantemente fueron evolucionando hasta llegar a los que actualmente se usan, incluso aun quedan en uso algunos ventiladores cuyos modelos datan de principio de este siglo.

Con el nacimiento de la aviación y el rápido avance de la ciencia aerodinámica aparece el ventilador axial, los que han resultado eficientes y por lo tanto cuentan con un gran prestigio en la industria minera. Después de la segunda guerra mundial, los ventiladores centrífugos han sido mejorados enormemente de sustentación, lo que ha hecho recuperar gran parte del terreno perdido.

DEFINICION

Se entiende como ventilación mecánica a la utilización de ventiladores para inducir el flujo del aire en las labores mineras, con el objeto de remover el aire contaminado que se genera en las minas subterráneas.

La ventaja notable sobre la ventilación natural es que se puede regular fácilmente y se puede obtener la cantidad de aire deseada.

Se define un ventilador como una turbo maquina con una relación de compresión (presión absoluta de descarga/presión absoluta de admisión), de 1,1 o menos.

Cualquier otra turbo maquina que incremente la presión de tal forma que $P_d/P_a > 1,1$, se denomina soplador o compresor, dependiendo del valor de P_d/P_a que se tenga.

Para relaciones de compresión del orden 1,1, la reducción de volumen que experimenta el aire es del orden del 7 % lo cual permite asumir que el volumen de descarga es igual al volumen de admisión.

Los ventiladores mecánicos generan directamente la corriente de aire por cuanto producen cierta depresión (compresión), según actúen como aspirantes o impelentes.

Entre los diferentes tipos de instalaciones que pueden realizarse en una mina es preciso distinguir:

1.18.1. VENTILACION GENERAL

En las instalaciones de ventilación general se crea un barrido general del aire viciado, por ello pueden utilizarse extractores, inyectores o la combinación de ambos.

1.18.2. VENTILACION LOCALIZADA

Esta es siempre necesaria en los casos de evacuar productos peligrosos, cuyas fuentes de producción están localizadas.

1.19. CLASIFICACION DE LOS VENTILADORES

Desde el punto de vista de su construcción, los ventiladores empleados en minas pueden ser centrífugos y axiales, estos últimos son los más modernos y más empleados.

Las leyes generales para los ventiladores son igualmente aplicables tanto para un tipo como para el otro. Solo existe diferencia en cuanto a características de potencia, eficiencia y volumen de aire.

Los ventiladores se clasifican en ventiladores:

1.- Según su tipo.

Para el propósito de ventilación de minas, los ventiladores pueden clasificarse en dos categorías principales.

- **Radiales o centrífugos.-** el aire abandona el impulsor en una dirección en 90° respecto al eje del impulsor.
- **Axial.-** la forma como el aire es obligado a pasar a través del ventilador se asemeja al principio de acción de un par tornillo-tuerca; el impulsor tiene el papel de tornillo y la corriente de aire hace las veces de la tuerca, al girar el impulsor tiene movimiento de avance y de rotación.

2.- Según su función.

Según su función los ventiladores se clasifican en:

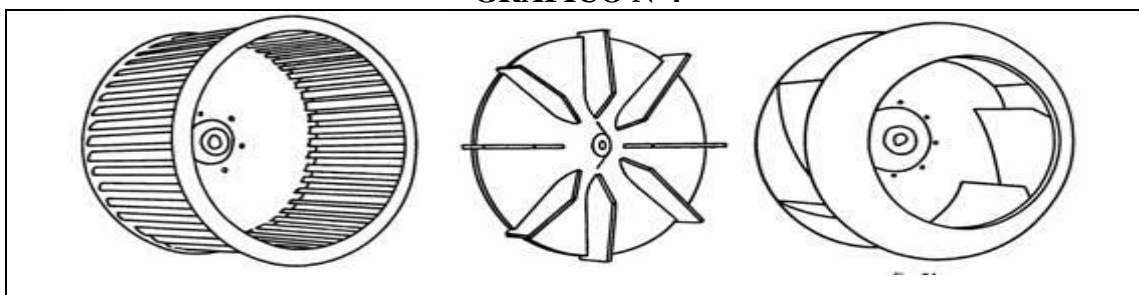
- V ventilador principal o de superficie. Instalado normalmente en la superficie para ventilar toda la mina.

- Ventilador reforzador. Instalado en un paso principal subterráneo para ayudar al ventilador principal a ventilar un circuito de alta resistencia.
- Ventilador auxiliar. Instalado en trabajos subterráneos en conjunto con ductos para ventilar una galería de avance o Terminal ciego.

1.19.1. VENTILADORES CENTRIFUGOS

El ventilador centrífugo es una turbo maquina de flujo radial, en que el aire ingresa a un impulsor provisto de aletas y es descargado racialmente a una carcasa en forma de voluta.

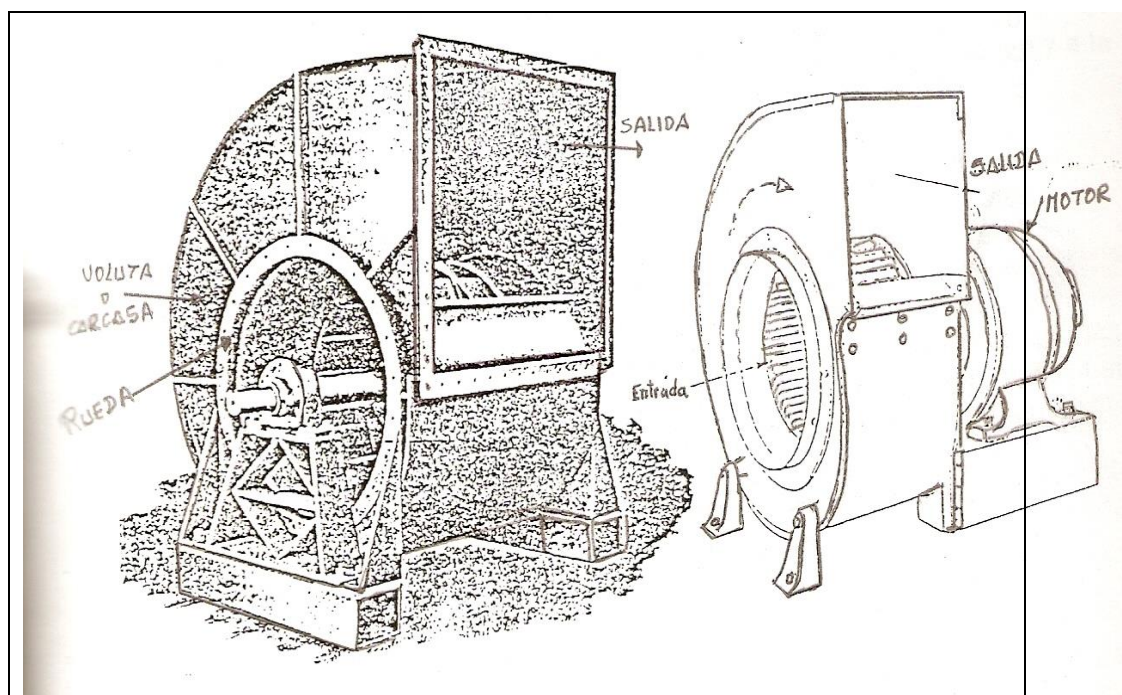
GRAFICO N°4



Los ventiladores centrífugos constan de las siguientes partes.

- a. Rotor con un eje.
- b. Alabes
- c. Caja
- d. Difusor
- e. Motor del ventilador

GRAFICO N°5



Cuando el aire es admitido al ventilador por ambos extremos de la rueda, se tendrá un ventilador de doble entrada.

El impulsor o rueda incluye un número variable de aletas o alabes cuya profundidad medida en la dirección radial varía entre 5 % y 35 % del diámetro de la rueda.

Los alabes pueden ser radiales, curvados hacia delante o curvados hacia atrás.

Las variables de diseño de los cuales dependen las características del ventilador son:

1. Curvatura de los alabes
2. Número de alabes
3. Forma de los alabes
4. Profundidad radial de los alabes
5. Longitud axial de los alabes
6. Admisión (por uno o dos lados)
7. Diámetro del rotor
8. Dimensiones del ventilador
9. Forma de la caja y difusor
10. Paleta directrices
11. Luz entre el rotor y la caja.

Además en estos ventiladores el aire entra por el canal de aspiración que se encuentra a lo largo de su eje, cogido por la rotación de una rueda con alabes.

- Ofrece la más alta presión estática.
- Ofrece un flujo mediano.
- Su eficiencia varía entre 60 % a 80 %.
- Pueden trabajar a altas velocidades.

Son ventiladores que pueden considerarse “quietos” si se observa su curva característica.

- Produce menos ruido que las axiales.
- Son ventiladores rígidos
- Son más serviciales.
- Son más costosos.

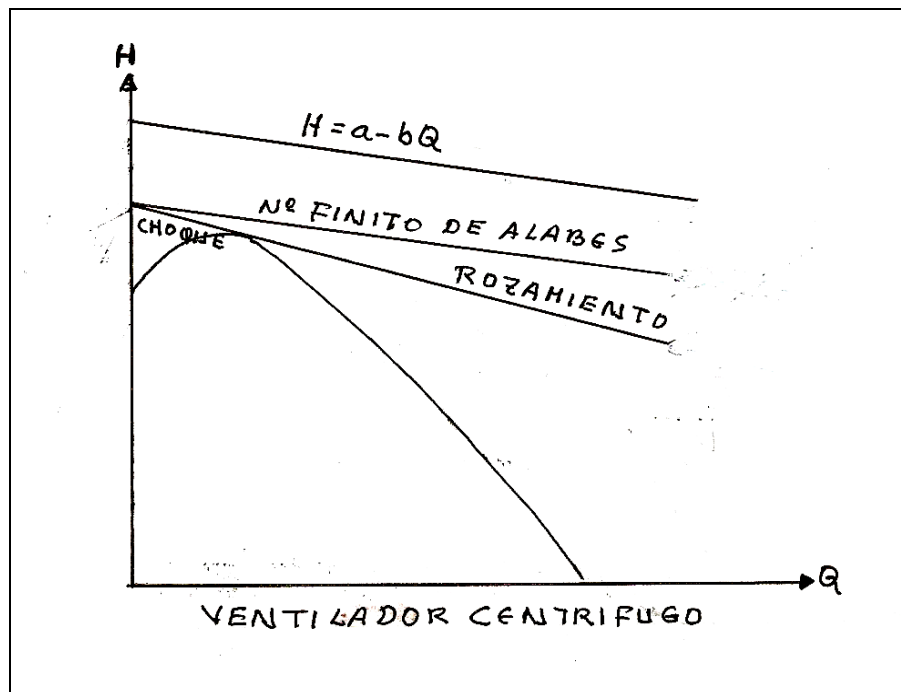
1.19.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES CENTRIFUGOS

Al igual que las galerías de ventilación de una mina, los ventiladores también pueden ser representados en un sistema de coordenadas H-Q mediante una curva llamada curva característica del ventilador, al denominarla característica se refiere a una máquina determinada, con dimensiones geométricas y velocidades de rotación propias.

Por construcción el ventilador centrífugo tiene una relación matemática, entre el caudal y la presión, que obedece a la fórmula: $H = a - b Q$; representando entonces a una recta donde “a” es función de la velocidad tangencial del peso específico del aire y de la fuerza de gravedad y “b” depende de la velocidad tangencial, de la velocidad radial, del diámetro, ancho, del ángulo de curvatura de los alabes, del peso específico del aire y por último de la fuerza de gravedad. Cualquier variación de estos parámetros, significa un cambio en la curva.

Además debe considerarse que también se producirán pérdidas por rozamiento del aire con la carcasa y el impulsor o rotor y pérdidas por choque, las pérdidas por rozamiento aumentan a medida que la velocidad del aire es mayor o que es lo mismo, que aumenta el caudal, en cuanto a las pérdidas por choque se hacen mayores en los dos extremos, con poco y mucho caudal.

GRAFICO N°6



1.19.3. VENTILADORES AXIALES

En este tipo de ventiladores, el aire ingresa a lo largo del eje del rotor y luego de pasar a través de las aletas del impulsor o hélice es descargado en dirección axial. También se les llama ventiladores de hélice.

La energía rotacional impartida al aire por el impulsor, deberá ser convertida en energía axial y presión estática tan pronto como sea posible y esto se logra generalmente mediante la inclusión de aletas directrices, ya sea a la entrada o a la salida del ventilador axial.

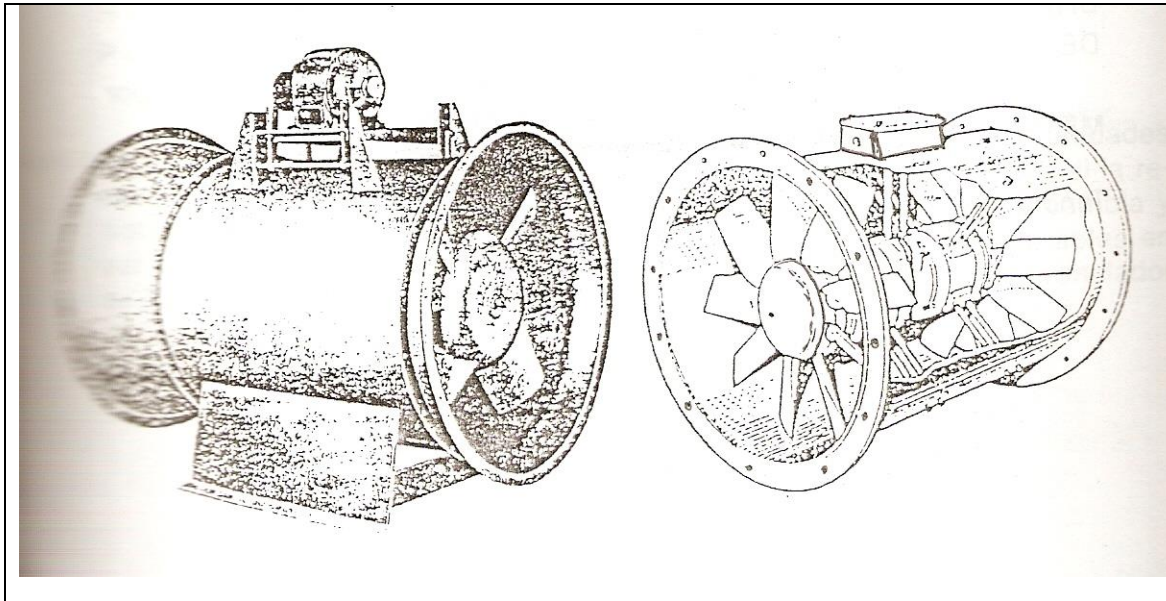
Otra forma de lograr esta conversión de energía rotacional en energía axial es mediante la conexión en serie de dos impulsores, diseñados de tal manera que impriman al aire una rotación en direcciones contrarias.

Los ventiladores axiales constan de las siguientes partes.

- a. Rotor
- b. Alabes
- c. Paletas directrices
- d. Carema
- e. Caja
- f. Difusor
- g. Motor

GRAFICO N° 7

Ventilador Axial



FUENTE DE INFORMACION = INTERNET

1.19.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- Presión estática media
- Ofrece el mas alto flujo de aire
- Eficiencia entre 70 % a 80 %
- Son capaces de trabajar a las velocidades (rpm) mas altas.
- Presentan una gama de fuerte inflexión e inestabilidad
- Producen los niveles de ruido mas altos
- Son más flexibles, es decir versátiles.
- Son más baratos y compactos.

1.19.5. CURVA CARACTERISTICA DE LOS VENTILADORES AXIALES

La curva característica de un ventilador expresa la relación entre la presión y caudal que produce a una velocidad de rotación (RPM) constante.

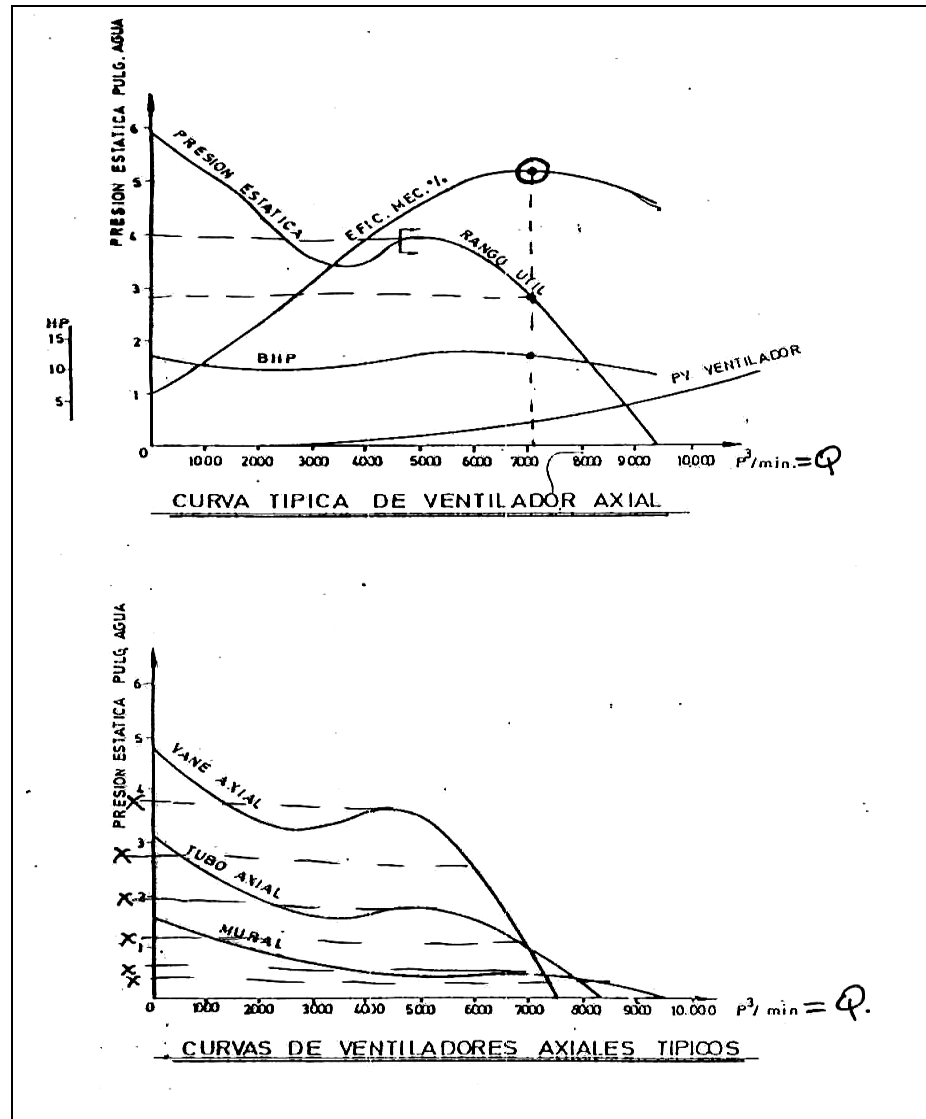
Si en un sistema de ejes coordenados se toman como abscisas los volúmenes de aire u como ordenadas las presiones y se miden los volúmenes para diferentes presiones obtendremos los puntos de la curva que se denomina curva característica del ventilador.

Cada ventilador tiene su propia curva, la que puede variar cuando se cambian los siguientes factores.

- a. Velocidad de rotación.
- b. Numero y posición de sus alabes.
- c. Grado de inclinación de los alabes en los ventiladores axiales.
- d. Numero de etapas.
- e. Potencia del motor.

GRAFICO N°8

Curvas características



FUENTE DE SEGÚN LA INFORMACION DE KIRCHHOFF

1.19.6. FACTORES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES

Entre los factores que afectan la operación de los ventiladores podemos mencionar los siguientes:

- a) El diámetro del impulsor y su velocidad de rotación.
- b) El orificio equivalente del sistema al que se conecta el ventilador.
- c) La región de la curva característica en la que debe operar el ventilador, recomendándose que sea siempre la zona con pendiente negativa.
- d) La eficiencia del ventilador, ya que esta define la forma como se esta aprovechando la energía mecánica consumida. De otro modo seleccionar el ventilador adecuado para las necesidades de la mina.

- e) La resistencia de la instalación del ventilador. Este factor es de suma importancia sobre todo cuando se tiene minas de baja resistencia y se instala ventiladores con resistencias mayores al del sistema que esta conectado, lo que ocurre es que se consume la energía disponible antes de ingresar al sistema que se pretende ventilar.
- f) El corto circuito en la instalación de superficie constituye un problema serio en los sistemas de ventilación de minas, pudiendo reducirse hasta en un 10 % la cantidad de aire que ingresa a la mina.

1.19.7. SELECCIÓN DE VENTILADORES PARA MINAS

Existen dos elementos básicos a conocer para la selección de un ventilador:

- 1.- La necesidad de aire para inyectar o extraer.
- 2.- La caída de presión de la mina.

Las necesidades de aire de la mina deben calcularse previamente, cuando se realiza un levantamiento de ventilación.

La caída de presión de la mina también se determina después de haber efectuado la distribución de las corrientes de aire a través de los conductos existentes, donde interviene la resistencia de cada uno de las labores.

1.19.8. RAMIFICACION CONTROLADA – REGULADORES

Cuando se quiere trabajar con circuitos en paralelo para conducir el aire y se desea disponer que cierta cantidad fluya o circule a través de cada ramal, se utiliza la ramificación controlada. Esto implica elegir un “ramal libre”, donde la caída de presión es mayor y el flujo de aire es controlado, para ello se utiliza reguladores.

Se utiliza ramificaciones controladas en ramales paralelas, para obtener el paso de la cantidad de aire deseado hacia los lugares en trabajo.

La cantidad de aire es regulada a voluntad del usuario, esto implica un cierto costo, por cuanto la resistencia artificial creada (perdida por choque), por los reguladores consume fuerza que se refleja en el uso de los ventiladores apropiados y necesarios.

La metodología utilizada para este proceso, consiste en elegir el ramal libre, asignándole una cantidad de flujo de aire, luego se asigna los flujos d aire para los diferentes ramales posteriormente se calcula la pérdida de carga para cada ramal.

1.19.9. DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LOS REGULADORES

Un regulador es un orificio que causa contracción alterada y expansión del flujo de aire en un ducto, es construido con una abertura de tamaño variable en una puerta de ventilación.

La abertura más grande producirá la pérdida por choque más pequeña.

Se puede calcular el tamaño del regulador mediante la fórmula teórica siguiente:

$$A = 40xQ \frac{1}{\sqrt{Hn}}$$

DONDE:

A = área de abertura del regulador en pies².

Q = volumen de aire, expresado en unidades de 100000 pies³/min.

Hn = caída de presión a través de l regulador en pulg. de H₂O.

PROBLEMA:

Que tamaño de regulador se necesita para pasar 20000 pies³/min. Con una caída de presión de 2 pulgadas de agua.

Solución

$$A = 40xQ \frac{1}{\sqrt{Hn}}$$

$$A = 40x \frac{20000 \text{ pies}^3/\text{min.}}{100000 \text{ pies}^3/\text{min}} x \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$A = 5,6568 \text{ pies}^2$$

$$A = 5,66 \text{ pies}^2. \text{ de abertura.}$$

1.20. CIRCUITOS BASICOS EN VENTILACION DE MINAS

Los circuitos para cada mina dan lugar a dos tipos de circuitos para aire:

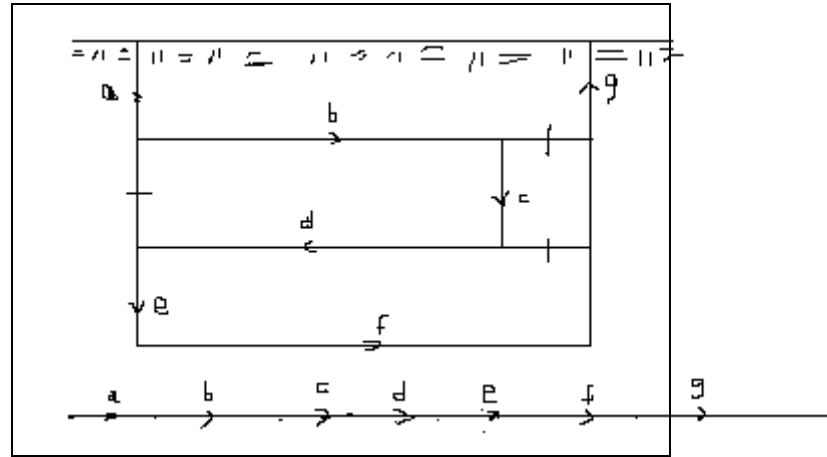
- En serie
- En paralelo

El conocimiento de estos circuitos es básico para determinar las pérdidas de energía y resistencias equivalentes en una red de labores de mina.

a) - CIRCUITO EN SERIE

En todo circuito en serie como en las leyes de electricidad de KIRCHHOFF, la pérdida de energía total es a la suma de las pérdidas de energía en cada conducto, siempre y cuando no haya pérdidas o fugas de aire.

GRAFICO N° 9



El caudal es constante: $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$

Según ley de KIRCHHOFF circuito en una sola dirección es $H_{n1} + H_{n2} + H_{n3} - H_m = 0$

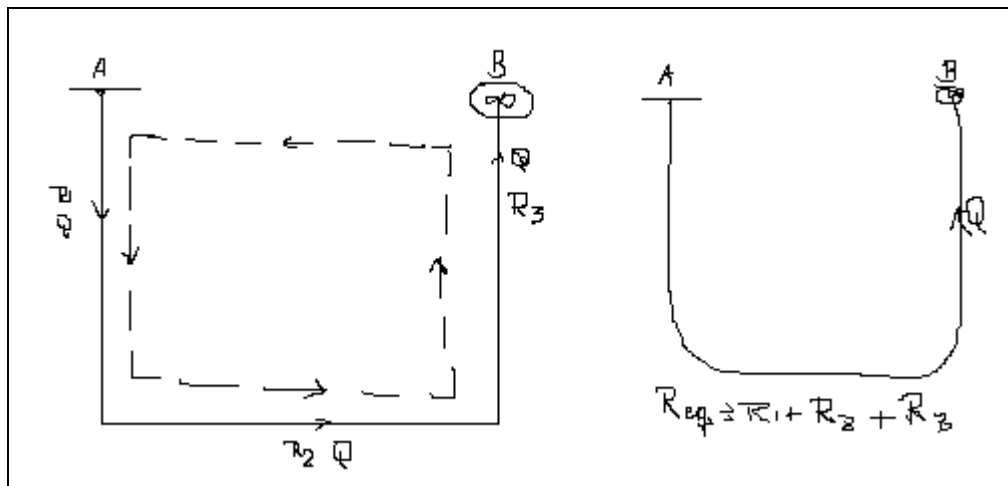
La depresión total del sistema será igual a la suma de las depresiones que conforman el sistema en serie.

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n$$

La resistencia total aerodinámica resulta igual a la suma de cada una de las resistencias aerodinámicas de las labores que constituyen el sistema.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad \text{Entonces} \quad H_t = R \times Q^2$$

GRAFICO N° 10



$$H_n = R_1 Q^2 + R_2 Q^2 + R_3 Q^2 + \dots$$

$$H_n = (R_1 + R_2 + R_3) Q^2$$

$$H_n = R_{eq} \times Q^2$$

Por otra parte se tiene que: $Re q = \frac{Hn}{Q^2}$

$$Re q = R1 + R2 + R3 + \dots$$

PROBLEMA: Se tiene cinco resistencias en serie, en unidades de 10^{-10} pulg. x min²/pies⁶, R1 = 200, R2 = 300, R3 = 100, R4 = 200 y R5 = 100. Calcular la caída de presión total para un caudal de aire de 10000 cfm.

Solución

$$Re q = (r1 + R2 + R3 + R4 + R5) \times 10^{-10}$$

$$Re q = (200 + 300 + 100 + 200 + 100) \times 10^{-10}$$

$$Re q = 900 \times 10^{-10}$$

$$Hn = Re q \times Q^2$$

$$Hn = 900 \times 10^{-10} \text{ pulg} \cdot \text{min}^2 / \text{pie}^6 (10000 \cdot \text{pies}^3 / \text{min})^2$$

$$Hn = 9,0 \text{ Pulg.H20.}$$

Además la abertura equivalente total será igual a la suma de las inversas de las áreas equivalentes del sistema.

$$\frac{1}{At^2} = \frac{1}{A1^2} + \frac{1}{A2^2} + \frac{1}{A3^2} + \dots + \frac{1}{An^2}$$

b)- CIRCUITOS EN PARALELO

En este tipo de circuitos la cantidad de aire circulante que se distribuye por cada uno de los ramales componentes, se distribuyen de la siguiente manera:

1. En un circuito en paralelo las depresiones de cada ramal son iguales entre si e iguales a la depresión total comportándose independientemente de la longitud de la resistencia y de la cantidad de caudal.

$$Ht = H1 = H2 = H3 = \dots = Hn$$

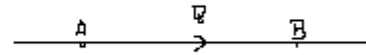
2. El caudal total de la corriente en paralelo es igual a la suma del caudal de cada uno de los ramales.

$$Qt = Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn$$

3. La resistencia aerodinámica total se puede deducir de la siguiente formula.

$$\frac{1}{\sqrt{Rt}} = \frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}} + \frac{1}{\sqrt{R3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{m}}$$

4. La resistencia equivalente para un circuito en paralelo es.



$$Req = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}} + \frac{1}{\sqrt{R3}}} \right)^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{Ht}{R1}} + \sqrt{\frac{Ht}{R2}} + \sqrt{\frac{Ht}{R3}}$$

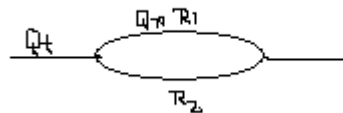
$$Q = \sqrt{Ht} \left(\frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}} + \frac{1}{\sqrt{R3}} \right) = \sqrt{Ht} \left(\frac{1}{\sqrt{Req}} \right)$$

Entonces: $\frac{1}{\sqrt{req}} = \frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}} + \frac{1}{\sqrt{R3}} + \dots +$

Además: $Ht = H1 = H2 = H3 = \dots = Hn$

$$Ht = Qt^2 Rt = Qn^2 Rn$$

$$\frac{Qt^2}{Qn^2} = \frac{Rn}{Rt}$$



$$\left(\frac{Qt}{Qn} \right)^2 = \frac{Rn}{Rt}$$

$$\frac{Qt}{Qn} = \sqrt{\frac{Rn}{Rt}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{Rt}} = \frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}}$$

Reducción.

$$\frac{Qt}{Qn} = \sqrt{\frac{Rn}{Rt}}$$

Ahora

$$\sqrt{\frac{Rt}{Rn}} = \frac{Qn}{Qt}$$

$$\sqrt{\frac{Rt}{R1}} + \sqrt{\frac{Rt}{R2}} + \sqrt{\frac{Rt}{R3}} = \frac{Q1}{Qt} + \frac{Q2}{Qt} + \frac{Q3}{Qt}$$

NOTA: La resistencia total del sistema paralelo siempre es menor que cada una de las labores del sistema, la abertura equivalente total será iguala de las aberturas equivalentes del sistema.

$$A = a1 + a2 + a3 + * * * + an$$

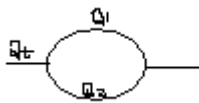
$$Q1 = \frac{Qt}{\sqrt{\frac{R1}{R2} + 1}}$$

$$Q2 = \frac{Qt}{\sqrt{\frac{R2}{R1} + 1}}$$

Ejemplo N° 1.

El caudal de aire de ingreso de una mina es de 25 m³/s, si en el interior se forman dos ramales, que posteriormente se unen. ¿Calcular el caudal de cada uno de ellos?. Si sus resistencias son 250 y 100.

Solución



$$Q1 = \frac{Qt}{\sqrt{\frac{R1}{R2} + 1}} = \frac{25}{\sqrt{\frac{250}{100} + 1}} = 9,6856m^3/s$$

$$Q2 = \frac{Qt}{\sqrt{\frac{R2}{R1} + 1}} = \frac{25}{\sqrt{\frac{100}{250} + 1}} = 15,3143m^3/s$$

Comprobación:

$$9,6856 + 15,3143 = 24,9999 \text{ m}^3/s.$$

$$Q2 = \sqrt{\frac{Rt}{R2}} \times Qt = \sqrt{\frac{38,7229}{450}} \times 30m^3/s = 8,8003m^3/s.$$

Ejemplo N° 2.

El caudal total de un circuito en paralelo es de 100000 cfm. Con resistencias conocidas que se muestra en la tabla. ¿Calcular la caída de presión?

Ramal de aire	R(pulg.min ² /pies ⁶ x 10 ⁻¹⁰)	Q (cfm)
1	23,50	9540
2	1,35	39810
3	3,12	26190
4	3,55	24550

Solución

$$Re q = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{23.50}} + \frac{1}{\sqrt{1.35}} + \frac{1}{\sqrt{3.12}} + \frac{1}{\sqrt{3.55}}} \right) \times 10^{-10}$$

$$Re q = 0,2136 \times 10^{-10} \text{ Pulg.min}^2/\text{pie}^6$$

$$Ht = Re q \times Q^2$$

$$Ht = 0,2136 \times 10^{-10} (100000 \text{ cfm})^2$$

$$Ht = 0,2136 \text{ pulg.H}_2\text{O}$$

$$\text{Comprobación: } Q1 = \sqrt{\frac{Ht}{R1}} = \sqrt{\frac{0,2136}{23,50 \times 10^{-10}}} = 9540 \text{ cfm}$$

1.20.1. DIAGNOSTICO INTEGRAL DE CIRCUITOS DE VENTILACION

Una red de ventilación es una representación matemática de todo circuito de aire existente en una mina, similar a una red de circuitos eléctricos.

Para resolver redes de ventilación debe conocerse básicamente las dimensiones, factores de fricción y densidad del aire de cada uno de los conductos o ramales que conforman la red, necesidades de aire para la mina y presiones por ventilación natural, así como la ubicación y curvas de performance de los ventiladores si lo hubiere.

El problema radica en determinar la distribución de las cantidades de aire a través de cada uno de los ramales de la mina, caídas de presión de los mismos y puntos de trabajo de los ventiladores.

La solución de pequeños circuitos de ventilación se pueden efectuar manualmente, utilizando técnicas iterativas. Inicialmente se determina una distribución de flujos de aire para cada ramal, luego se calcula una corrección aproximada basada en la resistencia de cada uno de ellos para ser aplicados en los flujos asumidos. Este procedimiento se ejecuta hasta conseguir un grado de precisión de flujos deseados en cada ramal.

Para circuitos complejos reales deben ser analizados mediante programas computarizados basados en el mismo principio, es necesario el uso de software especializado.

1.20.2. TERMINOLOGIAS

➤ **RAMAL**

Es un simple conducto de aire (galerías, chimeneas, piques, etc.), que conecta dos nudos o uniones.

➤ **NUDO**

Es el punto donde se unen tres o más ramales aunque de ser necesario, puede considerarse como un nudo, la unión de dos ramales para el caso de una expansión o reducción de un mismo conducto de aire.

➤ **MALLA O MESH (LOOP)**

Se denomina a toda vía cerrada compuesta por ramales conectados dentro del sistema de la red.

➤ **RED DE VENTILACION**

Es un sistema de ramales cerrados e interconectados entre si, a través de los cuales pueden pasar cantidades de aire.

1.20.3. RESOLUCION DE CIRCUITOS COMPLEJOS

En casos reales todas las minas presentan redes complejas de conducto de aire, que hacen muy difícil y tediosa la aplicación de los métodos anteriores.

Para la solución de circuitos complejos se han desarrollado muchos programas para computadoras.

La información básica requerida por el programa es la siguiente:

1. Dimensionamiento de cada conducto: longitud, perímetro y sección transversal.
2. factores de fricción para cada conducto.
3. Densidad del aire.
4. caídas de presión por choque de cada conducto.
5. numero de ramales y puntos de unión de estos.
6. distribución de flujos de aire en cada ramal.
7. numero de ramales con caudal de aire especificado.
8. Numero de mallas o mesh de circuito de aire.
9. presión por ventilación natural en cada ramal.
10. numero de ventiladores a ser utilizados, especificando el punto de trabajo.

PROBLEMA: se desea ventilar un frente de 2000 pies de longitud, con una sección de 8'x10', situado a 10000 pies de altura a una temperatura ambiente de 70 °F donde trabajan 12 personas. Se pide calcular las características del ventilador a instalar.

Solución

$$L = 2000 \text{ pies} = 609,6 \text{ m.}$$

$$S = 8' \times 10' = 80 \text{ ft}^2$$

$$H = 10000 \text{ pies} = 3048 \text{ m.s.n.m.}$$

$$T = 70 \text{ °f} = 21,111 \text{ °C}$$

$$N^\circ \text{ de personas} = 12$$

1) Calculo de la cantidad de aire necesario

$$Q1 = (105,94 \text{ pies}^3 / \text{min} + 70) \times 12 \quad \text{Réglame. 0 - 1500 msnm} = 3 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$3000 - 4000 = 70 \%$$

$$Q1 = 2161,176 \text{ pies}^3 / \text{min.} \quad \frac{3 \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{(3,2808 \text{ pie})^3}{1 \text{ m}^3} = 105,94 \text{ pies}^3 / \text{min}$$

$$Q2 = 65,616 \text{ pie}^3 / \text{min.} \times (8' \times 10') \quad \text{velocidad del aire mínimo}$$

$$Q2 = 5249,28 \text{ pie}^3 / \text{min} \quad 3 \text{ m}^3 / \text{min} \times 3,2808 / \text{m} = 65,616 \text{ pie}^3 / \text{min}$$

$$Qt = 2161,176 + 5249,28$$

$$Qt = 7410,456 \text{ pie}^3 / \text{min.}$$

2) Calculo de la densidad del aire, bajo las condiciones de la mina

$$\delta_{\text{aire}} = \frac{1,325 \times P_b}{460 + T} \quad \text{Donde: } \delta = \text{Lb} / \text{pie}^3$$

$$P_b = \text{pulg.Hg}$$

$$T = \text{°F}$$

$$\log P_2 = \log p_1 - \frac{H}{122.4(\text{°F} + 460)}$$

$$\log P_2 = \log 29,92 \text{ pulg.Hg} - \frac{10000 \text{ ft}}{122.4(70 + 460)}$$

$$P_2 = 20,980309 \text{ pulg.Hg}$$

$$\delta = \frac{1,325 \times 20,980309}{460 + 70}$$

$$\delta = 0,05245 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

3) Cálculo de la capacidad del ventilador

$$C_{\text{ven}} = Q(\delta)^{1/2}$$

$$C_{\text{vent.}} = 7410,456 \text{ pie}^3 / \text{min} \times \left(\frac{0,05245}{0,075} \right)^{1/2}$$

$$C = 6197,079 \text{ pies}^3 / \text{min.}$$

$$C = 6200 \text{ cfm.}$$

1.21. MONITOREO, CONTROL Y AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE VENTILACION – MINERIA SUBTERRANEA

La introducción de tecnologías ligadas al desarrollo de la microelectrónica, tales como técnicas de monitoreo, automatización, control y telecomando, dentro de las operaciones mineras en general, se ha transformado en una real necesidad.

La introducción de monitoreo y control permite satisfacer, sin duda alguna cuatro objetivos claves, estos son.

- Aumento de la productividad del personal, equipos e instalaciones.
- Aumento de la seguridad en las diversas operaciones.
- Mejoramiento de las condiciones ambientales.
- Uso eficiente de la energía eléctrica.

En lo que respecta a sistemas de ventilación principal, que atienden los requerimientos de aire en operaciones minero subterráneo, también se vislumbra como una real necesidad la incorporación de tales tecnologías dentro de la operación de dicho sistema.

Antes de avanzar en los requerimientos puntuales de monitoreo y control que se perfilan como mínimos para una operación eficiente de un sistema de ventilación principal, se desglosa las siguientes definiciones de interés.

- **MONITOREO.** Inspección o vigilancia de un sistema para conocer su estado.
- **CONTROL.** Análisis, síntesis y acciones necesarias para modificar un proceso o mantenerlo dentro de un estado predeterminado.
- **c)- AUTOMATIZACION.** Realización de actividades específicas sin intervención directa del ser humano.
- **TELECOMANDO.** Operación a distancia de un equipo.

El state-of-the-art, en lo que respecta a monitoreo, control y automatización de sistemas de ventilación en operaciones mineras a nivel global se circunscribe fuertemente a **MONITOREO**, es decir inspección y vigilancia de diversa información, tomada por medio de sensores durante la operación del sistema.

La información habitualmente monitoreada es la siguiente:

- ✓ Estado on/off de equipos (ventiladores, funcionando o detenido).
- ✓ Caudal de aire.
- ✓ Caída de presión.
- ✓ Consumo de energía eléctrica.
- ✓ Temperatura ambiente.
- ✓ Temperatura en descansos.
- ✓ Nivel de vibraciones.

La implementación de sistemas de monitoreo, control y automatización en la operación de ventiladores y sistemas de ventilación en general, reportan los siguientes beneficios:

- Información continua del estado on/off (operando o detenido) de cada uno de los ventiladores principales instalados al interior del sistema.
- Información continua de la operación global de ventiladores (monitoreo de diversas variables de operación de los equipos, tales como caudal de aire, caída de presión, consumo de energía eléctrica, otros), lo cual permite actuar sobre los ventiladores o sobre los circuitos según corresponda en forma inmediata.
- Detención inmediata en forma telecomandada de las unidades ventiladores frente a ocurrencia de alguna emergencia, por ejemplo. Incendio en mina subterránea.
- Rápido cierre de puertas contra incendio al ocurrir un incendio, con lo cual se logra el confinamiento y control del fuego, permitiendo además una evacuación mas controlada y segura de personas desde interior mina a superficie o refugios contra incendio instalados en interior mina.
- Reposición del servicio en corto tiempo luego de una detención.
- Rápida modificación del caudal de aire ante siniestros o requerimientos operacionales, vía variación de ángulo de aspas en operación, o cambio de las RPM motor, vía variador de frecuencia (VDF).
- Eliminación del riesgo personal por accionamiento de ventiladores ubicados en áreas siniestradas u otros dispositivos de control de flujo, tales como puertas de ventilación y reguladores.

En lo que respecta a monitoreo y control de ambiente subterráneo, a la fecha se ha desarrollado e implementado un alto numero de sensores de contaminantes ambientales, tales como gases de combustión de equipos diesel, gases de voladura y polvo ambiental, en cuanto a desarrollo de sistemas de detección, alarma y extinción automática de incendio, instalados al interior de recintos previamente definidos como de alto potencial de riesgo de incendio, también se ha avanzado considerablemente, existiendo faenas en una empresa, que ya cuentan con estas tecnologías, ya sea en vías de implementación o en plena operación.

1.21.1. PROPOSICION (VDM LTDA)

Para una operación eficiente y económica del sistema de ventilación principal de una faena subterránea típica, se propone implementar, dentro de una primera etapa, un sistema de monitoreo y control, no excesivamente automatizado (denominado como sistema semi-inteligente), el cual permita que personal, previamente capacitado controle la operación de los ventiladores principales del sistema de ventilación y pueda en forma absolutamente

remota, administrar los estados on/off de ventiladores (ventilador operando v/s ventilador detenido y estados de puertas batientes de ventiladores (puerta abierta v/s puerta cerrada), logrando con esto un control eficiente de la operación global del sistema sin incurrir en alta automatización y por ende, en altos costos de operación y manutención de tecnologías de mas alta sofisticación.

a)- MONITOREO

El monitoreo de diferentes variables al interior del sistema de ventilación en plena operación, deberá lograrse por medio de la instalación de diversos sensores, mas tendida de cables telefónicas u otras que permitan transmitir las señales de las diferentes estados monitoreados hasta una sala de recepción y control centralizada, la cual denominaremos, sala de control centralizado (SCC).

En cada uno de los ventiladores principales que operen en nuestra mina modelo, se propone monitorear la siguiente información.

- Estado on/off (funcionando o detenido) de las unidades ventiladores
Se deberá instalar sensores en cada ventilador principal, los cuales transmitirán el estado monitoreado hacia un tablero con señal lumínica de estado on/off de cada ventilador instalado al interior de sala de control centralizado (SCC).
- Estado de puertas batientes en ventiladores (abiertas o cerradas)
Se deberá implementar un sistema de similares características a monitoreo de estado on/off de ventiladores (sensores+señal lumínica).
- Caudal de aire
Se deberá instalar sensores de velocidad del aire, tal velocidad monitoreada deberá ser corregida a una velocidad media (V) y, posteriormente, multiplicada por el área transversal de la sección (A) en que monitoree dicha variable, para obtener finalmente el caudal ($Q = V \times A$).

Los sensores de velocidad instalados en las galerías de operación de ventiladores, deberán ser capaces de operar en velocidades de aire fluctuantes y en velocidades mínimas (desde 0,5 m/s) y además no deberán requerir calibraciones frecuentes.
- Caída de presión
Se deberá instalar sensores de caída de presión en ventiladores.
- Consumo de energía eléctrica motor.
Se deberá instalar sensores para monitorear el consumo de energía eléctrica del motor de cada ventilador.
- Temperatura ambiente
Se deberá instalar sensores de temperatura ambiental en área ventiladores.

La totalidad de sensores a instalar en interior mina, deberá ser de fabricación robusta para operar en condiciones subterráneas severas con alta concentración de polvo, gases y alto nivel de humedad ambiental.

b)- CONTROL

Se deberá implementar los sistemas necesarios para controlar las siguientes operaciones:

- Operación de partida y detención vía telecomando, de cada uno de los ventiladores principales de acuerdo a requerimientos operacionales, realizada íntegramente por personal de sala de control centralizado (SCC), tal control permitirá manejar el estado on/off de los ventiladores en forma totalmente remota, frente a las siguientes situaciones: cortes, previstos e imprevistos, de suministro de energía eléctrica, detección vía monitoreo de alto nivel de vibraciones, altas temperaturas en descansos, bajo caudal de aire, alta caída de presión v/s valores preestablecidos, situaciones de siniestro, otros.
- Operación de apertura y cierre, vía telecomando de las puertas batientes conectadas al difusor de cada ventilador, las cuales deberán estar abiertas en la condición de operación de la unidad ventiladora y cerradas en la condición de detención del ventilador, tal operación (de apertura y cierre), deberá realizarla personal de sala de control centralizado (SCC) en forma coordinada con el control del estado de partida o detención (on/off) del ventilador, es decir, el operador solamente cerrara las puertas batientes vía telecomando, si el ventilador esta detenido, en caso contrario si se requiere poner en operación el ventilador, el operador deberá activar previamente en forma remota el mecanismo de apertura de dichas puertas.

El sistema de monitoreo y control de ventilación propuesto acá por VDM LTDA, solo constituye una primera etapa dentro de un gran sistema de monitoreo y control con un mayor grado de automatización, el que debería tenderse definitivamente en toda faena subterránea de cierta envergadura.

CAPITULO II

CASO PRÁCTICO DE LA VENTILACION EN LA MINA COMUNI

21.TAJO715E

2.1. GENERALIDADES.

La Unidad Minera COMUNI 21, se encuentra ubicado políticamente; en el distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, ah una altitud de 5050 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

Esta mina exactamente se encuentra en el centro poblado da la Rinconada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Poto, en la Región de Puno-Perú.

Así mismo esta mina alberga a más de cincuenta mil 50,000 habitantes aproximadamente esto entre hombres y mujeres.

2.1.1. UBICACIÓN

La concesión Ana Maria se encuentra al norte del Lago Titicaca, en los centros poblados mineros de la Rinconada y Cerro Lunar, distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno.

2.1.2. ACCESO

Esta mina es accesible desde la ciudad de Juliaca por carretera afirmada de 157,50km. Que une las localidades de Juliaca, Taraco, Huatasani, San Antonio de Putina, Pampilla (desfío a la provincia de Sandia), Ananea y Ana María. (La Rinconada)

Por otro lado también es accesible desde la ciudad de Juliaca por la nueva pista de aproximadamente de 175 Km. que une las localidades de Juliaca, Taraco, Huancané, Vilquechico, Cojata, Trapiche y finalmente el centro poblado de la Rinconada.

Geográficamente queda delimitado por las coordenadas siguientes:

14° 30` - 15° 00` Latitud Sur.

69° 00` - 70° 00` Longitud Oeste.

Es accesible por vía terrestre desde:

Lima- Arequipa-Juliaca- San Antonio de Putina-Ananea-La Rinconada: 1435,50 Km.

Puno-Juliaca- San Antonio de Putina-Ananea-La Rinconada: 199,50 Km.

Lima – Juliaca: Por vía aérea aproximadamente de 2 horas.

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

Juliaca- La Rinconada 157,50 Km. De aproximadamente 6 horas.

2.1.3. RELIEVE

La zona está comprendida en la parte sur meridional de los Andes entre el flanco Oeste y las altas cumbres de la cordillera oriental, que tiene una dirección NW-SE cuyas elevaciones pasan de los 5000 m.s.n.m. conformando parte de la cordillera de los Andes, siendo su característica la presencia de los glaciares como el nevado de Ananea de 5900 m.s.n.m. Los nevados más importantes de la zona son el Jacari, Ritipata, Lasoccocha, Ananea, etc.

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

2.1.4. CLIMA

El clima de Abril a noviembre es frígido con descensos de hasta -10°C de Diciembre a Marzo, con fuertes precipitaciones pluviales acompañadas de tempestades, nevadas y granizadas, entre 300 a 1000 mm.

El centro poblado de la Rinconada se encuentra sobre las faldas del nevado Ananea _ San Francisco y alberga a más o menos de 25,000 habitantes.

2.1.5. GEOLOGIA GENERAL

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

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

La formación Ananea se extiende a lo largo de la línea de cumbres de la cordillera de Carabaya, cubriendo una superficie aproximadamente de 80 km. De largo por 12 Km. de ancho, prolongándose hacia Bolivia.

2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Estructuralmente se observa una sucesión de stock de intrusito que consisten en granitos, granodioritas y dioritas a lo largo del eje de la cordillera de carabaya. En el área de la rinconada se distinguen dos unidades estructurales, una de flanco normal y otra de flanco inverso.

La primera esta compuesta por un conjunto casi homoclinal de capas, con repliegues y ondulaciones decamétricas que buza en promedio de 20°- 25° al sur, la potencia de los estratos oscila entre 20-100m. Como promedio.

La unidad de flanco inverso se compone por estratos que forman plegamientos potentes de una a varias decenas de metros y separados entre si por contactos tectónicos cizallantes de buzamiento leve.

2.3. ESTRATIGRAFIA.

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

Las rocas paleozoicas ocupan toda la cordillera de carabaya y las rocas mesozoicas aparecen en la cuenca del titicaca ininterrumpidas por formaciones del cenozoico.

2.4. AFLORAMIENTO

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

El intemperismo y la meteorización como procesos supergenos ha generado una manifestación superficial del escape lixiviado la zona de óxidos compuestos por: limonita y hematita, los mismos que contienen valores diferenciales y erráticos.

Los mantos reconocidos se distribuyen en siete zonas.

➤ Zona Lactapata - Compuerta	17 mantos
➤ Zona San Francisco	15 mantos
➤ Zona Cerro Lunar	6 mantos
➤ Zona Riticucho	4 mantos
➤ Zona Comuni	4 mantos
➤ Zona Callejón	3 mantos
➤ Zona San Jorge	3 mantos

2.5 GEOLOGIA ECONOMICA

Las zonas de interés para la empresa son :

Comuni | , Comuni 21||; en San Francisco: Santa Ana ; en San Jorge : Balcón | y Balcón || ; en Riti Cucho : Santa Maria y en Cerro Lunar el proyecto cóndor.

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

El yacimiento es el resultado de una manifestación hidrotermal por procesos de emplazamiento y relleno de fisuras e insterticios, como manifestaciones de la ocurrencia del oro primario.

Los constituyentes minerales son:

- ❖ Elemento Nativo : Oro
- ❖ Sulfuro : Blenda, Galena, Pirrotita, Pirita, Chalcopirita, Molibdenita y Marcasita
- ❖ Sulfosales : Arsenopirita y Tetrahedrita
- ❖ Óxidos : Limonita y Hematita
- ❖ Silicatos : Titanita
- ❖ No Metálico : Cuarzo y Clorita

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

- Cuarzo
- Clorita
- Oro nativo
- Titanita
- Pirita
- Arsenopirita
- Pirrotita
- Molibdenita

- Calcopirita
- Blenda
- Galena
- Entre otros.

Respecto al callamiento se han identificado fallas pre y post minerales que cortan a toda la secuencia de rocas, algunas de estas (Carmen y Tentadora) han sido posteriormente rellenadas con mineral. Entre las principales fallas podemos mencionar.

CUADRO N° 6

FALLAS REGIONALES Y LOCALES

Falla	Tipo	Rumbo	Buzamiento
- Carmen	Pre- Mineral	N 20° W	80° SW
- Tentadora	Pre- Mineral	N 20° W	45° NE
- San Francisco	Pre- Mineral	N 80° E	Subvertical
- Norma	Pre- Mineral	N 70° E	Subvertical
- San Andrés	Pre -Mineral	N 13° W	35° NE
- Noreste	Pre-Mineral	N 70° E	Subvertical
- Santa Ana 1,2	Pre-Mineral	N 45° W	Subvertical

PLANO GEOLOGICO DE LA COPORRACION MINERA ANANEA

2.6. CALCULO DE DISEÑO DE VENTILACIONES EN COMUNI 21

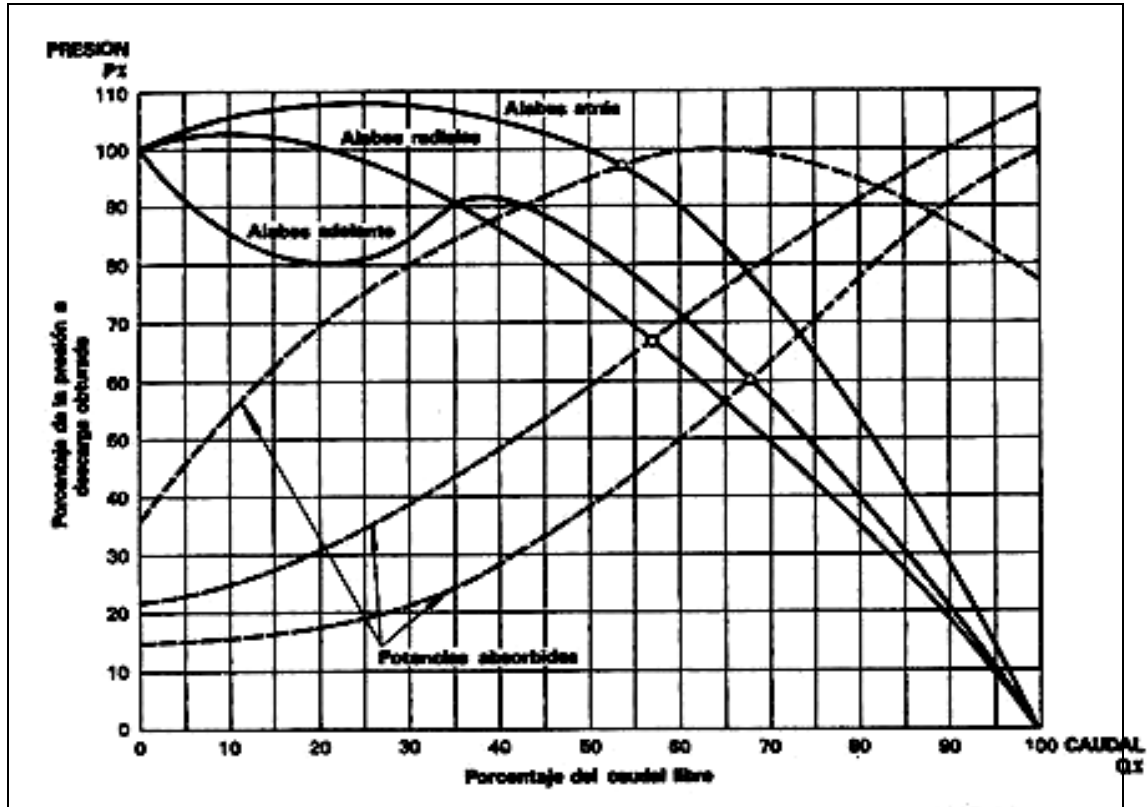
El objetivo principal de la ventilación es mantener un circuito de aire limpio y fresco suficiente en todas las labores de trabajo, un volumen de aire tal que permita lograr un nivel aceptable de condiciones termo ambiental y una adecuada dilución de los gases tóxicos, establecidos que estos deben estar por debajo de los límites permisibles.

2.7. CAUDAL DE AIRE REQUERIDO

La demanda de aire que se requiere en la mina COMUNI 21 para los trabajos en interior mina depende únicamente de 3 factores como son:

- ✓ De la cantidad de hombres que trabajan por guardia.
- ✓ Del numero de equipos diesel que trabajan por guardia.
- ✓ De la cantidad de explosivos utilizados en cada disparo.

GRAFICO N° 11



2.7.1. SEGÚN EL NÚMERO DEL PERSONAL (Q1)

De acuerdo a la distribución del personal que labora por guardia en interior mina incluyendo supervisión es:

$$Q1 = N * q * (1 + \%)$$

Donde:

N=Numero de personal (09 hombres: perforista, ayudante de perforista, winchero, motorista, ayudante de motorista, carrilano, enmaderador, capataz, jefe de guardia).
 Q: consumo de aire por persona a nivel del mar (3m³/min.=106pies³/min.).
 %: factor de corrección por altura (100%); Las mina se encuentra ubicada a 5050 m.s.n.m.

Según el artículo 204 del reglamento de seguridad e higiene minera se tiene que:

De:
 1500m. a 3000m. Se aumenta en 40%
 3000m. a 4000m. Se aumenta en 70%
 Sobre los 4000m. Se aumenta en 100%

Luego:

$$Q1 = 9 * 106 \text{ pies}^3/\text{min.} * (1 + 1.00)$$

$$Q1 = 1908 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

2.7.2. SEGÚN EL NUMERO DE EQUIPOS DIESEL (Q2)

Conforme el artículo 204 del reglamento de seguridad e higiene minera, la cantidad de aire circulante será no menor de 3m³/min. Por cada HP que desarrollan los equipos diesel, siendo esta:

$$Q_2 = N * q * HP$$

Donde:

N: número de equipos diesel (ningún equipo diesel)

Q: aire requerido por HP (3m³/min.=106pies³/min.)

HP: números de HP's por equipo (0 HP)

Luego:

$$Q_2 = 0 * 106 * 0$$

$$Q_2 = 0 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

2.7.3. ATENDIENDO A LA DILUCION DE GASES (Q3)

Para remover los gases producidos por los disparos, el caudal necesario se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_3 = A * V * n$$

Donde:

A: sección promedio de la labor minera (subnivel = 1.20m x 3,00m. =3.6 m² =39.13pies²)

V: Velocidad del aire (según el artículo 204 del Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, se tendrá como mínimo una velocidad de 20m./min.=65.6 pies /min.)

n : Números de niveles (01 inclinado; uno inferior y otro superior).

Luego:

$$Q_3 = 39.13 \text{ pies}^2 * 65.6 \text{ pies}/\text{min.} * 1$$

$$Q_3 = 2566.92 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

$$\text{Caudal total: } Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 1044.4 + 0 + 2566.92$$

$$Q_T = 3616.32 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

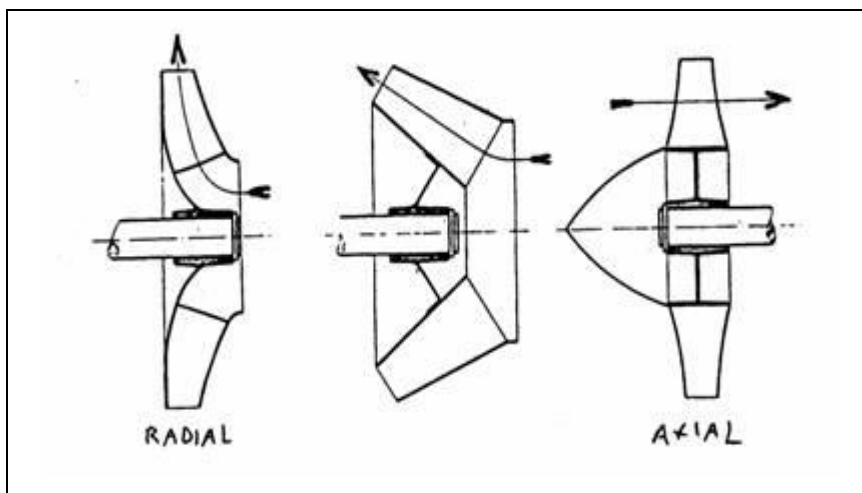
$$Q_T = 3616.32 \text{ pies}^3/\text{min. Caudal requerido.}$$

En función de la trayectoria del fluido, todos estos ventiladores se pueden clasificar en

1. de flujo radial (centrífugos)
2. de flujo semiaxial (helico-centrífugos)
3. de flujo axial

GRAFICO N° 12

TIPOS DE VENTILACION



FUENTE DE INFORMACION – INTERNET (Modelos y tipos de Ventiladoras)

DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA VENTILACION MECANICA

2.8. VENTILADORES

El diseño y la construcción de los ventiladores mecánicos han tenido bastante éxito mejorando la eficiencia en la ventilación de labores subterráneas.

Las características operacionales son un factor básico para seleccionar un tipo determinado de ventilador y que llega a ofrecer todas las garantías, a un mínimo costo y una alta eficiencia. Los que son proporcionados por los fabricantes, entre los cuales podemos indicar los siguientes:

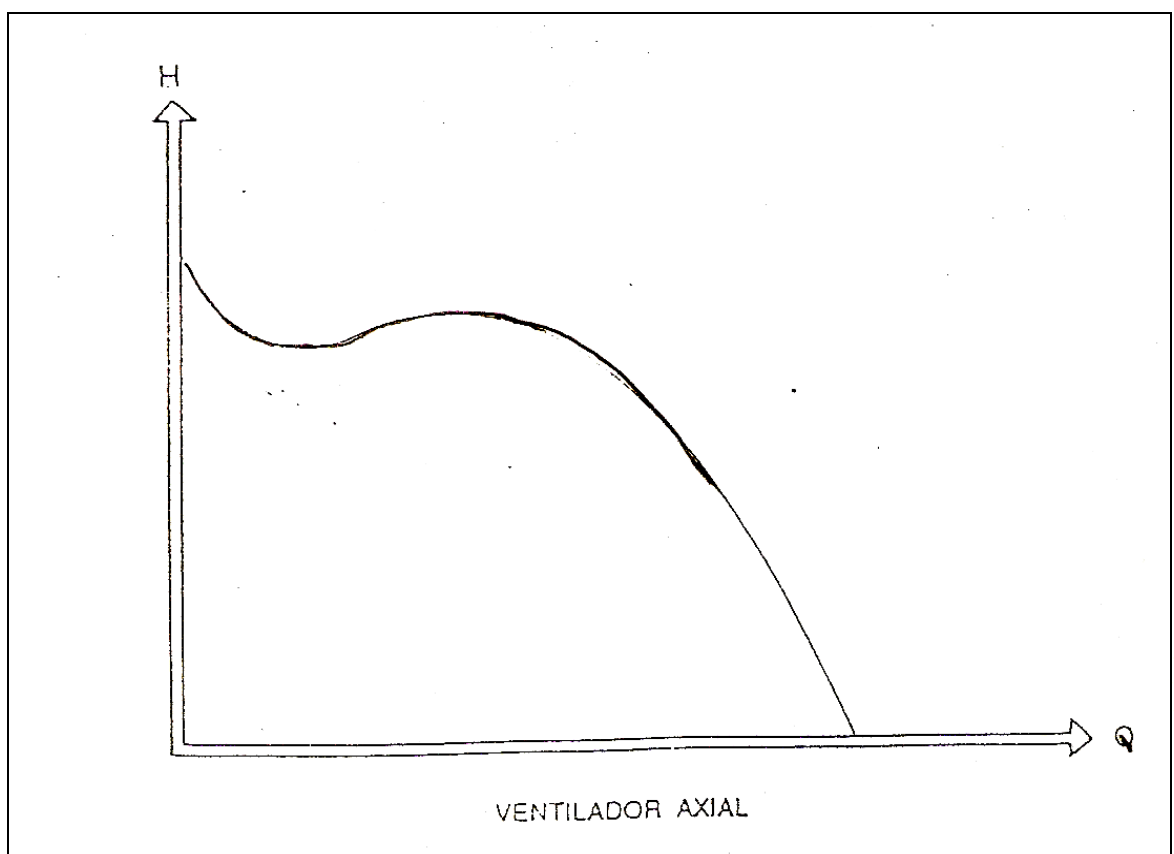
- Curva característica.
- Capacidad volumétrica del ventilador.
- Cantidad de energía y consumo de potencia.
- Eficiencia mecánica

2.8.1. CURVA CARACTERISTICA

La relación que existe entre la presión estática del ventilador y el volumen del aire que llega a entregar, se denomina “curva característica del ventilador”. generalmente estas curvas se encuentran en los catálogos que proporcionan los fabricantes además se consideran otras dos variables de operación que son de importancia: Potencia y eficiencia de los ventiladores.

GRAFICO N° 13

Curva de Ventilador Axial



2.8.2. CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL VENTILADOR

Si se analiza una curva característica, en ella se aprecia que permite infinita combinación de presión y volumen.

La capacidad volumétrica a una velocidad determinada será aquella en que el ventilador opera a un máximo de eficiencia mecánica.

2.8.3. EFICIENCIA MECANICA DEL VENTILADOR

La eficiencia mecánica de un ventilador se mide por la relación existente entre la potencia aprovechable o útil y la aplicada o indicada del ventilador.

EVALUACION ECONOMICA DE VENTILACION EN COMUNI 21**2.9. DETERMINACION DE LOS COSTOS****2.9.1. COSTOS**

Para este ejemplo práctico a tomar solo en cuenta. El círculo de ventilación del tajo 715W, en el cual se cuenta con una ventiladora “JOY” con motor de 30 HP.

30 HP : 11.20 Kwh.

Consumo de energía:

- 1- El tiempo encendido de ventilación es de: 03 horas
- 2- El costo de energía por hora encendido en: 0.14 \$

Costo de energía:

Costo= 11.20 Kw./hx3hx 0.14/Kw.

Costo= 4.704\$/por guardia.

Como en la mina Comuni se trabaja en dos turnos, esto quiere decir que se duplicara el consumo de energía del ventilador por día:

Costo= 4.704*2

Costo= 408\$/día

Por lo tanto el consumo de un mes será:

Costo=9.408\$*27.

Costo=254.01\$/mes.

➤ **costos fijos:**

- . Interés sobre el capital invertido.
- . Amortización.
- . Costos de mantenimiento y conservación de la maquina.

➤ **Costos variables por operación:**

- Costos de energía, lubricantes, reparaciones menores, etc.
- costos de servicio, jornales y leyes sociales.

SEGURIDAD EN VENTILACION DE MINAS

2.10. RESPIRACION HUMANA

Básicamente la función respiratoria permite al organismo tomar el oxígeno del medio ambiente, utilizando para diversos procesos químicos indispensables para la vida misma finalmente emitir dióxidos de carbono desecho producido en los mencionados procesos.

La función respiratoria se inicia con la inhalación de aire para la nariz y boca, pasa por la traquea y finalmente llega a los pulmones en donde se realiza el intercambio de oxígeno por dióxido de carbono.

2.11. REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA (R.S.H.M.) DECRETO SUPREMO 046-2001-EM.

➤ ARTICULO 204:

“Todos los titulares de la actividad minera deberán proporcionar de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del personal, las maquinas y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador.

Todo sistema de ventilación en la actividad minera en cuanto de refiere a la cantidad de aire, deberá mantener dentro de los límites máximos permisibles.”

2.12. RECONOCIMIENTO Y EVALUACION DEL PELIGRO

El reconocer y evaluar los diferentes gases de mina y contaminantes son procedimientos que deben cumplirse en toda mina subterránea.

Los límites permisibles son fijados para los diferentes tipos de gases y contaminates (D.S. 046-2001- EM, ART. 86).

CUADRO N° 7

Polvo inhalable	10mg/m ³ (*)
Polvo respirable	3mg/m ³ (*)
Oxígeno (O ₂)	Mínimo 19.5%
Monóxido de carbono (CO)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	Máximo 9000 mg/m ³ o 5000ppm.
Metano (CH ₄)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm.
Hidrogeno sulfurado (H ₂ S)	Máximo 14 mg/m ³ o 10 ppm.
Gases nitrosos (NO _X)	Máximo 0.7 mg/m ³ o ppm.
Anhídrido sulfuroso (SO ₂)	Máximo 5 ppm.
Aldehídos	Máximo 5 ppm.
Hidrogeno (H)	Máximo 5000 ppm.
Ozono	Máximo 0.1 ppm.

(*)Este valor es para la materia particulada inhalable (total) que no tenga amianto y con menos de % de sílice cristalino.

➤ **ARTICULO 87 (R.S.H.M.)**

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

- Provistos de equipos diseñados para controlar las concentraciones de emisión de gases.
- Monitorear y registrar en el escape de las maquinas.
- Prohibición del ingreso a las labores mineras de las maquinarias.
- Cuando la producción de gases ofrezcan peligro a otras labores de mina deberán usar ventilación forzada o serán clausuradas.

2.13. CONSUMO DE OXIGENO

Es importante notar como se incrementa el consumo de oxígeno de acuerdo con la actividad que se realiza.

CUADRO N° 8
OXIGENO (AIRE) CONSUMIDO POR MINUTO

Grado de actividad	Respiraciones por minuto	Aire inhalado (lts./respiración)	Oxígeno consumido (lts./minuto)
MODERADA	16	0.5	0.3
MEDIA	30	1.6	2.0
ENTENSA	40	2.5	4.0

(R.S.H.M)

2.14. AIRE ATMOSFERICO

El aire atmosférico es una mezcla de gases incoloro, insípido e imprescindible para la subsistencia de todo ser vivo los componentes principales del aire atmosférico puro son el oxígeno y el nitrógeno existiendo porcentajes ínfimos de gases raros (Argon, Neon y Helio) así como un porcentaje variable de anhídrido carbónico la composición de aire puro seco se observa en el grafico.

❖ NITROGENO	78 %
❖ OXIGENO	21 %
❖ OTROS GASES	1 %

2.15. MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR INTOXICACIONES

Es importante difundir estas recomendaciones para evitar intoxicaciones por gases en interior de mina.

Para ventilar el lugar de trabajo, no confié en la cantidad de aire comprimido que fluye de la manguera cerca de lugar donde se hizo un disparo. Adicionalmente debe haber cerca una corriente de aire constante proveniente del sistema principal de ventilación el aire comprimido solo se puede desplazar el enorme volumen de gases provenientes del disparo.

En los piques ciegos, las galerías y/o tajos abandonados donde no hay movimiento de aire especialmente en las depresiones del piso es frecuente encontrar deficiencia de oxígeno por la acumulación de los gases mas pesados que el aire como el anhídrido carbónico.

La guardia que hace el disparo en una chimenea siempre debe dejar abierta la válvula de la tubería de ventilación.

Siempre que se dirija a trabajar a una labor ciega o antigua verifique la cantidad de aire utilizando los detectores de gases y si no contase con dicho equipo utilizar un fósforo para ventilar la presencia la cantidad de aire.

En cuanto a los supervisores deben informar sobre los disparos en chimeneas efectuadas durante sus respectivas guardias.

Mantenga siempre cerradas las puertas de ventilación y los tapones de circuitos en serie.

En mina Comuni 21 se tiene siempre en cuenta que el problema mas critico es la ventilación debido a que no se cuenta con un sistema de ventilación optimo principalmente por los problemas que se tiene con el método de explotación y las dificultades que se tiene con el yacimiento es por ello que el tiempo de ventilación se alarga a tres horas después de cada disparo haciendo el uso de ventiladores por mas tiempo y por ende incrementando mucho mas el consumo de energía teniendo que priorizar **LA SEGURIDAD SIEMPRE ANTES QUE LA PRODUCCION.**

CONCLUSIONES

- 1 El sistema de ventilación indudablemente en mina es muy necesario para poder realizar trabajos y/o operación mina, de modo que su instalación requiere un análisis completo de los beneficios que esté reportado en mina o Ciclo de operación mina.
- 2 Para nuestro caso es importante instalar un sistema de ventilación adecuado de acuerdo a nuestros frentes de trabajo, dado que los programas de operaciones en la explotación de mantos son muy complicados con respecto a los yacimientos en vetas etc.
- 3 El rendimiento del personal es muy bajo cuando las condiciones del flujo ventilación no son favorables porque el cual es muy importante en interior mina.
- 4 Se enfoca el tema con el propósito de poner en evidencia el problema de la Ventilación y erradamente muchas veces considera de poca importancia en la actividad minera.
- 5 El empleo de ANFO muestran un índice económico mínimo en lo referente a costos pero aumenta el índice de contaminación y gases tóxicos y su rendimiento apropiado a comparación de la dinamita por ser crítica, en las labores mineras no se utiliza este producto, salvo que la empresa tenga algún permiso del Ministerio previa Evaluación.
- 6 Ventilar una labor subterránea es muy necesario y así lograr el flujo de aire necesario que pueda que fluir de modo continuo en los frentes de trabajo, la que debe de tener por lo menos una salida y una entrada de aire, comunicados con el exterior de mina (chimeneas) y así poder lograr una circulación de la corriente de ventilación de aire en interior mina (Galerías Principales, Frentes de Desarrollo, Tajos, etc., etc.)
- 7 La frecuencia de los disparos, si se trabajan en cuatro guardias/día es una de las razones para establecer un sistema de ventilación ya que el personal solo cuenta con una hora para la ventilación de su frente de trabajo o galería.
- 8 Podemos concluir que para un mejor control de costos se debe emplear ventiladores eléctricos adecuados y con fuerza y/o HP de mayor capacidad de acuerdo al frente de trabajo y así poder lograr un avance eficiente y óptimo en el ciclo de operación mina (Guardia).

RECOMENDACIONES

- 1 Si la ventilación de una galería subterránea con el objeto, de proporcionar un determinado aire, con ventiladores de un tamaño adecuado y económico, la instalación que mas se acerca a estas condiciones es la disposición de ventiladores en serie, cualquiera que sea el sistema de ventilación empleado.
- 2 Se debe instalar en departamento de seguridad en forma definitiva, a fin de garantizar nuestras operaciones.
- 3 Es recomendable para la elección mas económica y favorable, hacer un estudio de los siguientes factores determinantes en los costos:
- 4
 - la topografía del terreno, de acuerdo al trazado que ha sido seleccionado.
 - Análisis de los desarrollos auxiliares que permitan comunicarse con la superficie, mediante cortes laterales, chimeneas, perforaciones diamantinas.
 - Los programas anuales o mensuales de los desarrollos, exploraciones y explotación.
- 5 Se sugiere la colocación constante de letreros de seguridad en zonas criticas Y de moderado riesgo de concentración de gases nocivos.
- 6 En la ventilación de tajos y demás labores mineras con el objeto de proporcionar un determinado volumen de aire con ventiladores de un tamaño adecuado y económico, la instalación que mas se acerca a estas condiciones es la disposición de ventiladores en serie, mostrándose el circuito de ventilación en el plano de trabajo.
- 7 Se seguirá rediseñando toda la red de ventilación a medida que va avanzando el proyecto puesto que los rumbos y potencias a veces cambian de acuerdo al planeamiento a corto y mediano plazo.
- 8 Se efectuaran cambios en el sistema de ventilación optimizando el flujo de Aire fresco alienando hacia los tajos, bajo estas condiciones la reducción de costos será obvio y aun es posible utilizar explosivos mas baratos como el ANFO, previa autorización del Misniterio.

BIBLIOGRAFIA

1. HARTMAN, HOWARD L. "Mine Ventilation and Air Conditioning", editorial A Wiley-Interscience Publication New York-USA: 1991.
2. INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERU "Manual de ventilación de minas", Edit. Instituto de ingenieros de minas del Perú, Lima: 1998.
3. VEJARANO SANCHEZ, ANGEL, "Ventilación de minas", Edit. SERVENMICA S.A., Lima Perú: 1996.
4. YAÑEZ GARIN, EXEQUIEL, "Ventilación de minas", Edit. ENAMI, Chile.
5. CISTERNAS YAÑEZ, RAUL, "Monitoreo, control y automatización de sistemas de ventilación minería subterránea"; Consultor Principal VDM LTDA, Chile.
6. ATLAS COOPCO ; " Manual on Rock Blasting " -1961
7. CUEVA IÑIGO, Cecilio;" Explotación de mantos auríferos en la cordillera sur oriental"
Compañía minera PERUBAR S.A.
8. GEOEX;"Informe técnico del yacimiento la Rinconada"

Anexos

FORMA	Le	FORMA	Le	FORMA	Le	FORMA	Le
	0,5		10	Contracción abrupta	10		50
	1		1	Expansión gradual	1		65
	3		20	Expansión abrupta	20		290
	15		30 200	BIFURCACION Derivación recta Derivación a 90°	30 200		70
	70		60 30	JUNTURAS Derivación recta Derivación a 90°	60 30		100
	150		3	Entrada	3		500
	1		65	Descarga	65		

CUADRO-2