

**IMPLEMENTACIÓN DEL DECRETO 1886 DE 2015 Y SU APLICACIÓN EN
PROYECTOS AURÍFEROS.**

CRISTIAN CAMILO CÓRDOBA QUICENO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS
MAESTRIA EN INGENIERIA- RECURSOS MINERALES
2017**

**IMPLEMENTACIÓN DEL DECRETO 1886 DE 2015 Y SU APLICACIÓN EN
PROYECTOS AURÍFEROS.**

CRISTIAN CAMILO CÓRDOBA QUICENO

Trabajo final para Optar al Título de Magister en Ingeniería - Recursos Minerales

Director

Oscar Jaime Restrepo Baena

Ingeniero de Minas y Metalurgia, MSc., Ph.D.

Profesor Titular

Departamento de Materiales y Minerales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA

2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 JUSTIFICACION	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 ANTECEDENTES	7
2. MARCO TEORICO:.....	10
2.1 PLAN DE VENTILACION	10
2.2 CIRCUITO DE VENTILACION	10
2.2.1 Medición de las variables y características aerodinámicas	11
2.2.1.1 Medición de la velocidad promedio	11
2.2.1.2 Medición de la sección transversal de la galería	12
2.2.1.3 Cálculo de Caudal	13
2.3 CAUDAL DE AIRE MÍNIMOS REQUERIDOS	13
2.3.1 Caudal de aire mínimo por trabajadores	13
2.3.2 Caudal de aire mínimo por explosivos	13
2.4 CLIMATOLOGÍA	14
2.4.1 Temperatura	15
2.4.2 Humedad	16
2.4.3 Densidad del aire	16
2.5 PLANO DE VENTILACION	17
2.6 VENTILADOR DE MINA	17
2.7 EQUIPOS DE MEDICION	17
2.8 CONTROL DE LABORES ANTIGUAS	17

2.9 PUNTOS DE AFORO.....	17
2.10 DISPOSITIVOS DE VENTILACION	18
2.11 TABLEROS DE MEDICIÓN	18
2.12 CAPACITACION VENTILACION	18
2.13 CONCENTRACION DE GASES:	18
2.13.1 Monóxido de carbono (CO):.....	18
2.13.2 Dióxido de carbono (CO ₂):.....	18
2.13.3 Ácido sulfhídrico (H ₂ S):.....	19
2.13.4 Anhídrido sulfuroso (SO ₂).....	19
2.13.5 Gases nitrosos (NO y NO ₂):	19
3. CÁLCULO DE RESISTENCIAS	24
3.1 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AERODINÁMICA	24
3.2 CARACTERIZACIÓN DE VENTILADORES	27
3.2.1 Presión	28
3.2.2 Caudal	29
3.2.3 Instrumentos utilizados para la medición de la presión	29
3.2.4 Procedimiento de medición.....	31
3.2.5 Notas sobre los errores a tener en cuenta en la caracterización de ventiladores	33
4. GUIA METODOLOGICA	35
5. CASO PRÁCTICO	38
5.1 CÁLCULO TEÓRICO DE CAUDALES REQUERIDOS:	38
5.1.1 Calculo de caudal por personal en la mina	38
5.1.2 En función de los gases producidos por voladuras.	39
5.2 CALCULO DE PRESIONES EN CIRCUITOS COMPLEJOS:	41

5.2.1 Software de equilibrio de redes de ventilación.....	41
5.2.2 Ejemplo Práctico	42
6 PROCEDIMIENTOS.....	47
6.1 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE GASES:.....	47
6.2 Procedimiento para los aforos de ventilación:	57

1. INTRODUCCIÓN

El 21 de Septiembre de 2015 el ministerio de Minas y Energía de Colombia publicó el Decreto 1886, documento que establece el reglamento de seguridad en las labores Mineras Subterráneas, donde se enmarcan las normas mínimas para la prevención de los riesgos en dichas labores, así mismo se adoptan los procedimientos para efectuar la inspección, vigilancia y control de todas labores mineras subterráneas y de superficie que estén relacionadas con éstas, para la preservación de las condiciones seguridad y salud en los lugares trabajo en que se desarrollan tales labores.

Ante este escenario las compañías deben adoptar cambios en la gestión del modelo de ventilación; ya que se hacen exigencias que no se tenían contempladas en el decreto 1335 de 1987; por lo cual este trabajo final estará enfocado a brindar una guía metodológica a las empresas del sector aurífero subterráneo con el fin de dar cumplimiento a lo exigido por la ley.

Como estudiante de la Maestría en Ingeniería y como profesional de Minería considero que el conocimiento y las buenas prácticas deben ser compartidas y conocidas tanto en la industria como en la academia y más aún en un tema tan importante como es la ventilación de las minas; se espera que este documento no solo sirva como base a futuros estudios enfocados a la ventilación minera sino que sea la punta de lanza de escritos hechos por personas con experiencia en las labores diarias de la mina y quieran aportar sus experiencias en la academia, sitio donde las futuras generaciones se preparan para un campo que día a día no solo tiene retos técnicos, ambientales y sociales sino también una exigencia de ser minería responsable, minería bien hecha; es importante una sinergia entre las universidades y la industria para un crecimiento en conjunto de una actividad que está siendo satanizada en gran parte por el desconocimiento de la sociedad de la industria y de la falta de unión de todos los entes que conforman el sector minero del país.

1.1 JUSTIFICACION

Desde el año 1987 Colombia no actualizaba su reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas, tras más de 1000 muertes en la última década y con fuertes críticas del sector minero por lo obsoleto del decreto 1335; se presentó el decreto 1886 de 2015; quien a partir de septiembre del mismo año empezó a regular las actividades subterráneas; pese a ello durante los meses de enero a Julio de 2016 se presentaron 53

muerdes en minas bajo tierra; de estas 53, 12 se dieron en minería aurífera subterránea (ANM, 2016), lo que demuestra el riesgo asociado a este tipo de actividad, que obviamente es calificada como una de las más riesgosas por el sistema de riesgos profesionales de Colombia. (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 2002).

El decreto 1886 brinda a los titulares mineros todas las herramientas para la implementación de este reglamento; pese a ello su aplicación no se ha visto reflejada en las distintas minas del país ya que desde su implementación se han presentado 17 emergencias mineras en lo que va ocurrido en el año, lo que evidencia la necesidad de generar acciones en las minas para la prevención de estos sucesos.

En marco de la búsqueda de generación de buenas prácticas que conlleven a labores más seguras, se realiza esta propuesta de construcción de una guía metodológica para la ventilación de minas auríferas; dando total cumplimiento al decreto 1886 de 2015.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Crear una guía metodológica que sirva para la implementación y cumplimiento del decreto 1886 en cuanto a los requerimientos en ventilación se refiere, enfatizando en la minería aurífera.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los distintos factores a controlar en la atmosfera minera para condiciones óptimas de trabajo.
- Elaborar procedimientos que definan políticas claras en función de la seguridad del personal que ingresa a laborar en minas subterráneas.
- Generar material de apoyo para la industria colombiana, con el fin que tengan un documento base para sus buenas prácticas en pos de una minería segura.

1.3 ANTECEDENTES

En 1987 y tras la publicación del decreto 1335 el ministerio de Minas y Energía estableció las normas sobre ventilación y control de polvos en las explotaciones mineras; estas deberían servir de guía a empresarios y trabajadores mineros para el desarrollo de la actividad extractiva en todas las regiones del país. Estas normas brindaron las bases para la conservación del ambiente de trabajo en condiciones aceptables minimizando los riesgos en las labores subterráneas.

En este mismo año el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en su Centro Nacional Minero en Boyacá elaboro módulos para la formación profesional en Minería; siendo el módulo de ventilación uno de los más reconocidos por la comunidad minera y adoptados por muchas industrias en la gestión de la ventilación subterránea.

A partir de dicha fecha no se elaboraron guías metodológicas por parte de los entes regulatorios; pese a ello de manera descentralizada se han ejecutado proyectos interesantes en el país que han aportado en el campo de ventilación:

En 2001 los ministerios de Medio Ambiente y Minas inician la elaboración de las Guías Minero Ambientales, como herramientas fundamentales en los procesos de evaluación y seguimiento de los contratos de concesión, dentro de una visión prospectiva en beneficio del sector y la preservación del medio ambiente.

En 2002 las guías se adoptaron para adelantar la gestión técnica en los proyectos del sector, con el fin de facilitar y agilizar las actuaciones de las autoridades y los particulares; pese a ello las operaciones unitarias son tocadas de manera superficial en el documento.

En la academia se han hecho tesis y monografías enfocadas en la gestión de sistemas de ventilación para casos puntuales que han servido para mejoras en algunas industrias del sector.

1.4 METODOLOGIA A UTILIZAR

Para alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo final, se plantearon 3 fases:

Fase	Objetivo	Actividades
Recolección de información	Identificar las exigencias planteadas en el decreto 1886 para las minas auríferas subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica sobre los cambios en la legislación minera en los últimos años • Visita de campo a unidad minera con el fin de establecer el cumplimiento de la norma. • Elaboración y realización de documentos de control. • Aplicación de documentos de control a una unidad minera.
Tratamiento de información	Caracterizar las variables técnicas y económicas que generan mayor impacto en el cumplimiento de la norma	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis y jerarquización de las variables técnicas • Análisis y jerarquización de las variables económicas. • Análisis del cumplimiento de la norma
	Asociar las variables anteriores a índices de cumplimiento de la operación minera	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica de índices de cumplimiento aplicados a la minería. • Selección de índices de cumplimiento que puedan ser aplicados a la mina según sus características.
Conclusiones	Plantear una guía metodológica que sirva a la minería aurífera subterránea	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de toda la información recolectada y planteamiento de la guía metodológica.

1.5 ALCANCES DEL TRABAJO

Este trabajo servirá de apoyo a las compañías mineras en cuanto a la gestión de sus sistemas de ventilación, y más aún establecerá procedimientos que conllevaran al control de la atmosfera minera subterránea a través de:

1. Configuración del escenario técnico y económico actual de unidades mineras frente al cumplimiento del decreto 1886.
2. Propuesta de documentos de seguimiento para las explotaciones subterráneas de oro.
3. Propuesta de guía metodológica para cumplimiento del decreto 1886 en cuanto a ventilación se refiere.
4. Implementación práctica de la guía en una mina en particular.

2. MARCO TEORICO:

A continuación, se describirán cada uno de los elementos a tener en cuenta al momento de realizar la planeación del sistema de ventilación de cualquier mina subterránea aurífera; este marco teórico se convertirá en el soporte técnico de la propuesta de guía práctica, motivo de este trabajo.

2.1 PLAN DE VENTILACION

El plan de ventilación es la base para la gestión del proceso, ya que en este se reúnen los diversos elementos que debe cumplir una explotación minera para tener un óptimo circuito de ventilación.

Este plan debe contar con una persona responsable del mismo, que sea el encargado no solo de su elaboración sino de su seguimiento y control.

Pese a que el plan de ventilación cuenta con un responsable esto no exime al resto del personal de responsabilidades frente al circuito de ventilación, ejemplo de ello son las personas autorizadas para suspender la ventilación en caso de ser necesario; obviamente este listado debe estar incluido dentro del documento del plan de gestión.

Es importante que se tengan los procedimientos por escrito de los planes de mantenimiento preventivo de ventiladores, así como cada una de las hojas de vida de los equipos donde se registren no solo las características del mismo sino cada una de las intervenciones que se le hagan tanto preventivas como correctivas.

2.2 CIRCUITO DE VENTILACION

Debe garantizarse que en la explotación subterránea circule un caudal de ventilación tal que permita cumplir con los distintos requerimientos para personas, explosivos y maquinaria diésel; todo esto se logra mediante el cálculo de un circuito de ventilación que satisfaga las exigencias anteriormente planteadas. Cabe destacar que el aire que se ingrese a la actividad subterránea debe estar exento de gases, humos, vapores o polvos nocivos o inflamables; la entrada de aire debe ser independiente de la salida, a una distancia mayor de 50 metros entre ellas.

Este circuito debe ser calculado por un tecnólogo en minas, ingeniero de minas, ingeniero en minas, un ingeniero de minas y metalurgia o por un especialista en ventilación de labores subterráneas.

2.2.1 Medición de las variables y características aerodinámicas

El caudal de aire es el principal factor en la caracterización de un sistema de ventilación, ya que establece las condiciones ambientales de la mina, tales como temperatura y humedad, las cuales les brindan a los trabajadores un confort en sus labores. El caudal se ve afectado por las resistencias generadas por las galerías y la capacidad de los ventiladores.

2.2.1.1 Medición de la velocidad promedio

La velocidad promedio se utiliza para el cálculo de los caudales. Esta se mide usando un anemómetro digital o de paletas, dependiendo de la sensibilidad del equipo. En una galería se deben ubicar los puntos de medición de una manera uniforme; con el fin de abarcar toda la longitud de dicha galería e identificar zonas en donde existan fugas y cambios de sección, muy comunes en la explotación. La forma de utilizar los equipos de medición de velocidad promedio es la siguiente:

La medición usando anemómetros de barrido es sencilla, se debe realizar un recorrido uniforme a través de la galería para abarcar completamente la sección transversal de la misma, lo más recomendable es hacer dicho movimiento en forma de ocho durante un minuto. Para realizar estas medidas se debe tener en cuenta el sentido de la dirección del aire para la ubicación del equipo, éste debe encontrarse siempre perpendicular al flujo del aire; la persona que está realizando la medida debe ubicarse de tal forma que ofrezca la menor resistencia posible (se recomienda que se encuentre de lado).

Si se está trabajando con un anemómetro de paletas se debe realizar una corrección a la velocidad medida, este tipo de anemómetros viene acompañado por una tabla de corrección suministrada por el fabricante del equipo. Las velocidades medidas se deben promediar por galería para calcular la velocidad promedio en dicho sitio.



A



B



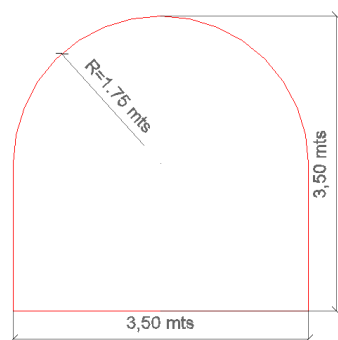
C

Figura 1. (A) Anemómetro de paletas. Fuente: [www.vdmconsultores.cl, 10 de Mayo de 2017] **(B)** Anemómetro digital de Hilo Caliente **(C)** Anemómetro de Paletas (Elaboración propia)

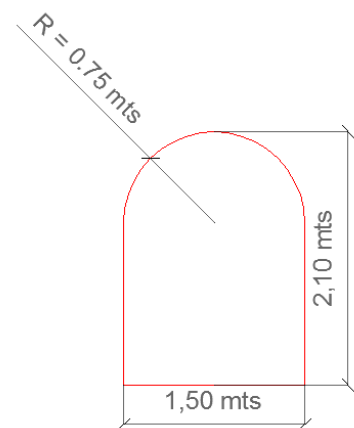
2.2.1.2 Medición de la sección transversal de la galería

Esta medición debe realizar en cada estación de aforo de caudal y se debe tomar dependiendo de la forma que presente la galería.

Los parámetros medidos son anotados en campo, para posteriormente ser usados en un software, tipo CAD, quien suministrara las áreas requeridas



SECCION 3.5 X 3.5
MINERIA MECANIZADA



SECCION 2.1 X 1.5
MINERIA CONVENCIONAL

Figura 2. Áreas promedio de trabajo en minería subterránea

2.2.1.3 Cálculo de Caudal

Los caudales se calculan a partir de la velocidad promedio medida y el área transversal de la galería. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Q = V \times S \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

V = velocidad promedio (m/s)

S = Área de la sección transversal (m^2)

2.3 CAUDAL DE AIRE MÍNIMOS REQUERIDOS

El caudal de aire en una mina depende de los siguientes factores:

2.3.1 Caudal de aire mínimo por trabajadores

El volumen mínimo de aire que circule en las labores subterráneas, debe calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de éstas sobre el nivel del mar, gases o vapores nocivos y gases explosivos e inflamables, cumpliéndose lo siguiente:

Excavaciones mineras hasta 1.500 metros sobre el nivel del mar:

3 m³/min. por cada trabajador.

Excavaciones mineras con cotas superiores a los 1500 m.s.n.m

6 m³/min por cada trabajador

2.3.2 Caudal de aire mínimo por explosivos

Para el cálculo de la cantidad de aire requerido para diluir los gases producto de la voladura se hace uso de la ecuación diferencial para la dilución de gases mostrada a continuación:

$$\frac{dk}{dt} = [\text{Rapidez con que entra el gas}] - [\text{Rapidez con que sale el gas}]$$

$$\frac{dk}{dt} = Q_1 \cdot c_1 - Q_2 \cdot c_2; c = \frac{K(t)}{V_0}$$

Donde:

c = Concentración de los gases de la explosión (%)

$k(t)$ = Volumen del gas en el tiempo.

V_0 = Volumen inicial de la galería (m^3)

Suponiendo que la concentración inicial de gases nocivos y tóxicos c_1 en el aire es cero nos queda que:

$$\frac{dk}{dt} = -Q \cdot \frac{K(t)}{V_0}$$

Integrando, se obtiene que:

$$\ln k_{K_1}^{K_2 = VLP \cdot V_0} = -\frac{Q}{V_0} \cdot t_{t_1=0}^{t_2}$$

Donde:

K_1 = Concentración inicial.

K_2 = Concentración deseada.

VLP: Valor límite permisible según la norma

2.4 CLIMATOLOGÍA

Al conocer y analizar los parámetros climatológicos presentes en la mina, se podrá evaluar las condiciones en las cuales se encuentra operando la explotación. Los parámetros a considerar son:

2.4.1 Temperatura

Se medirán en los nodos definidos, dicha selección se hizo con base a los puntos críticos donde había división de caudales o puntos calientes. Se considerará temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo y temperatura efectiva. Las dos primeras serán medidas con un termo higo anemómetro y la temperatura efectiva será calculada. Estas temperaturas se explican a continuación:

Temperatura de bulbo seco (T_{bs})

Es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia solo se le denomina temperatura del aire. Esta temperatura se midió usando la función de medición la temperatura que posee un anemómetro digital.

Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh})

Es la temperatura que da un termómetro con el bulbo envuelto en algodón húmedo bajo una corriente de aire. La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar. Al evaporarse el agua, absorbe calor, rebajando la temperatura, efecto que reflejará el termómetro. Cuanto menor sea la humedad relativa del ambiente, más rápidamente se evapora el agua que empapa el paño. Se utiliza para calcular la humedad relativa, esto se hace usando una carta.

Temperatura efectiva (T_e)

Es un criterio que permite medir el nivel de bienestar a que está sometida una persona al momento de desempeñar su trabajo en un ambiente determinado. A su vez la permanencia de una persona en labores subterráneas, está limitada por este indicador. La ecuación para calcular la temperatura efectiva es:

$$T_e = 0.3T_{bs} + 0.7T_{bh} - V \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Donde:

T_e = Temperatura efectiva ($^{\circ}\text{C}$)

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$)

V = Velocidad del viento (m/s)

Tabla 1. Tiempos de permanencia vs temperaturas efectivas

te (°C)	Tiempo de permanencia (horas)
28	Sin limitaciones
29	Seis (6)
30	Cuatro (4)
31	Dos (2)
32	Cero (0)

2.4.2 Humedad

El aire atmosférico es húmedo y contiene vapor de agua. Esto hace necesario definir la concentración de agua en el aire húmedo.

$$P_v = P_{vs} - 0.66 \cdot 10^3 \cdot P \cdot (T - T_{bh}) \cdot (1 + 1.146 \cdot 10^3 \cdot T_{bh})$$

Donde:

P es la presión atmosférica en Hpa

PVs es la presión de vapor de saturación para T en Hpa

T y Tbh son la temperatura y la temperatura de bulbo húmedo en °C.

Las minas deben contar con un termohigroanemometro, con el cual se midió la humedad relativa, cabe recordar que dicho término corresponde a la presión parcial de vapor de agua en el sitio.

2.4.3 Densidad del aire

Para el cálculo de la masa específica del aire, se utiliza la siguiente expresión empírica que ha sido verificada en repetidas oportunidades, válida si la temperatura ambiental se encuentra entre 10°C a 50°C y el estado del aire es de saturación o casi saturación. (Luque, 1988)

$$\rho = 0.462 \frac{P}{T} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Donde:

P = Presión absoluta, (mm Hg).

T = Temperatura absoluta, (K).

$$[T = T_{bs} + 273,15]$$

2.5 PLANO DE VENTILACION

La mina debe contar con un plano que sea claro y donde se evidencien los principales elementos de ventilación como son: ventiladores con sus características principales, caudales circulantes en la mina, puntos de aforo, identificación de las corrientes de aire fresco y las de aire viciado con su respectivas direcciones y distribuciones, reguladores de caudal como puertas y tabiques, entradas, salidas. Este plano debe actualizarse cada mes.

2.6 VENTILADOR DE MINA

Los ventiladores que se instalen en la mina deben cumplir con los requerimientos que se identifiquen para cada operación; sus características deben ser claras, datos como caudal y presión deben estar identificados por la curva característica del ventilador y deben estar reflejados en el plano de ventilación.

2.7 EQUIPOS DE MEDICION

Se debe contar con equipos de medición como anemómetros, termómetros, higrómetros y medidores de concentración de gases, que permitan tener un registro de las condiciones del aire de la mina. Se debe contar con procedimientos y formato de registros.

2.8 CONTROL DE LABORES ANTIGUAS

Se debe contar con un procedimiento para sellar labores antiguas, a su vez contar con un control de dichas zonas donde se verifique que no se están presentando fugas ni pérdidas en el circuito; cada sello que se construya debe ser ubicado en los planos de ventilación.

2.9 PUNTOS DE AFORO

Se debe contar con puntos de aforo fijos, cuya ubicación este incluida en los planos de ventilación; estas estaciones de aforos deben tener unas secciones fijas que permitan tener un área constante donde se pueda realizar un seguimiento permanente de los caudales que por allí circulan.

2.10 DISPOSITIVOS DE VENTILACION

Para controlar los circuitos de ventilación se deben contar con puertas, cortinas y/o reguladores de ventilación que dirijan el flujo de aire acorde al diseño del circuito de ventilación.

2.11 TABLEROS DE MEDICIÓN

En todas las labores activas se deben contar con tableros donde se registren las concentraciones de los gases que se controlan en la explotación, como lo son: Oxígeno (O₂), CO (monóxido de Carbono), CO₂ (Dióxido de Carbono), NO₂ (Óxidos nitrosos), deben contar con fecha y hora, frente de trabajo, concentraciones, persona que realiza la medición y las conclusiones a las que se lleguen luego de la inspección.

2.12 CAPACITACION VENTILACION

Se deben realizar capacitaciones de manera continua sobre la ventilación que regula la mina; esto con el fin de que el personal tanto operativo como administrativo de la compañía conozcan el estado actual del circuito así como las posibles modificaciones a realizarse a futuro; temas fundamentales a tocar son el cuidado de los ductos de ventilación, el estado de trabajo de los ventiladores, el paso por las puertas de ventilación entre otros que sean identificados por parte de la persona encargada del plan de ventilación.

2.13 CONCENTRACION DE GASES:

2.13.1 Monóxido de carbono (CO): Gas sin color, sin sabor, ni olor. Tóxico y combustible; combustible cuando su contenido es de 13 a 75%. Es un gas bastante venenoso que tiene mucha más afinidad por la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, formando la carboxihemoglobina, reduciendo en esta forma el aporte de oxígeno a los tejidos.

El efecto inmediato del CO es comparable con el de un anestésico suave; el peligro del CO radica principalmente en que el individuo aun consciente puede notar en su organismo un cierto estado general de intoxicación, pero la debilidad que se presente le impide retirarse de la zona de peligro, por sus propios medios.

2.13.2 Dióxido de carbono (CO₂): Gas sin color, inodoro con un sabor ligeramente ácido. Existe en trazas (0.03%) en el aire natural, cuando su concentración alcanza el 0.5% ocasional el aumento del ritmo y la profundidad de la respiración, con 2% de CO₂ la respiración aumenta en 50%, con 5% la

respiración se hace más penosa, con 10% no se puede resistir unos pocos minutos.

2.13.3 Ácido sulfhídrico (H₂S): Gas incoloro de olor característico a huevos podridos, sofocantes, tóxicos, inflamables, irritantes y venenosos. Es más venenoso que el monóxido de carbono, pero su característico olor lo hace menos peligroso.

Irrita las mucosas de los ojos, de los conductos respiratorios y ataca el sistema nervioso. Con un contenido de 0,05% se produce un envenenamiento peligroso en media hora y con 0,1% rápidamente sobreviene la muerte.

Las fuentes de formación en las minas son putrefacción de sustancias orgánicas, descomposición de minerales sulfurosos, emanación de gases de las grietas y combustión incompleta de explosivos.

2.13.4 Anhídrido sulfuroso (SO₂): Gas incoloro sofocante, con fuerte olor sulfuroso, es 2,2 veces más pesado que el aire y se disuelve fácilmente en el agua. Es fuertemente irritante de los ojos, nariz y la garganta, incluso en concentraciones bajas, y puede causar graves daños a los pulmones si se inhala en altas concentraciones.

En concentraciones superiores a 0,001 % ataca a las mucosas y con 0,05 % es mortal. Se forma por la combustión de piritas, de minerales con alto contenido de azufre y por voladuras en rocas que contienen sulfuros.

2.13.5 Gases nitrosos (NO y NO₂): Gases incoloros en concentraciones bajas y de color pardo rojizo cuando la concentración es alta. Es un gas tóxico e irritante que se forma en las minas por efecto del empleo de explosivos, especialmente cuando se utiliza anfo y por la combustión de motores diésel.

Su acción tóxica la ejerce en las vías respiratorias, especialmente en los pulmones, al disolverse con el agua formando el ácido nítrico y nitroso los que corroen los tejidos. Una concentración de 0,002% produce un envenenamiento mortal.

Los óxidos de nitrógeno tienen un comportamiento engañoso respecto a su toxicidad, pues una persona que lo respira puede rehacerse aparentemente y después de varias horas o días morir repentinamente.

Volumen de oxígeno. Ningún lugar de trabajo bajo tierra puede ser considerado apropiado para trabajar o transitar, si su atmósfera contiene menos del

diecinueve coma cinco por ciento (19,5%), o más del veintitrés coma cinco por ciento (23,5%) en volumen de oxígeno.

A raíz de lo anteriormente expuesto se establecieron en Colombia los siguientes Valores Límites Permisibles (VLP) en la atmósfera de cualquier labor subterránea, para los siguientes gases contaminantes:

Tabla 2. Valores límites permisibles según decreto 1886.

GASES	FÓRMULA	TLV -TWA (ppm)	TLV - STEL (ppm)
Dióxido de Carbono	CO ₂	5.000	30.000
Monóxido de Carbono	CO	25	-
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	1	5
Anhídrido Sulfuroso	SO ₂	-	0.25
Óxido Nítrico	NO	25	-
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	0.2	-

Estos valores están basados en los estándares internacionales establecidos por la ACGIH –Conferencia Americana de Higienistas Industriales; cada año estos valores deben ser actualizados de acuerdo a las exigencias que implemente la ACGIH, esta labor de actualización debe realizarse de la mano con la ARL con la que cuente cada empresa minera.

El VLP - TWA corresponde al Valor Límite Permissible de Tiempo Promedio Ponderado para una jornada de ocho (8) horas diarias y cuarenta (40) horas a la semana de trabajo. Cuando la jornada laboral sea superior a lo establecido en este párrafo, los Valores Límites Permisibles VLP - TWA deben ser corregidos aplicando el modelo matemático desarrollado por Brief & Scala (2003) así

Cómputo diario:

$$Fc = (8/hd) \times [(24 - hd) / 16]$$

Cómputo semanal:

$$Fc = (40/hs) \times [(168 - hs) / 128] (1)$$

Siendo:

Fc = Factor de corrección

hd = horas / día de trabajo

hs = horas /semana de trabajo

Para conocer el valor del VLP corregido, se multiplica el Fc calculado por el VLP propuesto:

$$VLP_c = F_c \times VLP.$$

Ejemplo para turnos extendidos:

Se tomará como ejemplo un turno que comience a las 6 a.m y culmine a las 5 p.m; es decir jornadas de 11 horas:

Cómputo semanal:

$$F_c = (40/hs) \times [(168 - hs) / 128] \quad (1)$$

Siendo:

Fc = Factor de corrección

hs = horas /semana de trabajo = 11

Reemplazando en (1) se obtiene:

$$F_c = (40/11) \times [(168 - 11) / 128]$$

$$F_c = 0,37$$

De esta manera la nueva tabla de labores permisibles para esta operación es:

Tabla 3. TLV para turnos de 11 horas de trabajo.

GASES	FORMULA	TLV – TWA (ppm)	TLV – Turnos 11 horas
Dióxido de Carbono	CO ₂	5000	1850
Monóxido de Carbono	CO	25	9,3
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	1	0,4
Óxido Nítrico	NO	25	9,3
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	0,2	0,07

El STEL corresponde al Valor Límite Permisible para un corto tiempo de exposición, el cual no debe exceder quince (15) minutos; debe existir por lo menos un lapso de sesenta (60) minutos entre dos exposiciones sucesivas a este nivel, y no más de cuatro (4) veces en la jornada de trabajo. Para aquellos componentes que no presenten un valor, se utilizarán los límites de excursión propuestos por la ACGIH.

2.14 SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO

En minería subterránea moderna es muy común el uso de equipos con motor de combustión interna, por lo cual es necesario tener un control en tiempo real del impacto de sus emisiones de monóxido de carbono en el circuito y su posible afectación en la concentración de oxígeno de la explotación; por lo cual es necesario la instalación de un sistema de monitoreo continuo que permita intervenir en tiempo real en caso de presentarse alguna anomalía en los caudales que recorren la mina.

2.15 CONCENTRACIONES DE POLVO EN EL AIRE

El empleador deberá realizar mediciones constantes de las concentraciones de polvo en suspensión en la labor minera, para ello debe apoyarse con su ARL con el fin de adelantar estudios que permitan determinar si la mina se encuentra dentro de los valores límites permisibles establecidos en la Ley. Para las evaluaciones de material particulado se siguió la metodología recomendada por la NIOSH (National Institute for Occupational Safety Health), las cuales son las de mayor aceptación a nivel mundial para la cuantificación de las exposiciones

ocupacionales. De acuerdo con lo anterior, la metodología para la medición de partículas respirables es la NIOSH 0600 y para sílice con clasificación es la NIOSH 7500. Este método indica entre otros aspectos, el medio de captura a utilizar, volumen de aire a muestrear, el caudal de muestreo, tipo de filtro y la forma analítica a utilizar una vez recolectadas las muestras.

3. CÁLCULO DE RESISTENCIAS

3.1 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AERODINÁMICA

Se considera resistencia a cualquier obstáculo o superficie que impida que el aire pueda fluir libremente por las galerías de una mina. Esta se puede caracterizar en:

Resistencia regulada

La resistencia regulada, representa la oposición que las paredes, pisos y techos ejercen en el movimiento de aire a través de ellas. Esta depende de variables como la sección transversal, longitud y perímetro de la galería, coeficiente de frotamiento, aceleración de la gravedad y densidad del aire (que a su vez es función de la temperatura y presión atmosférica), de la siguiente manera:

$$R = \left(\frac{10^3}{8g} \right) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot B \cdot \left(\frac{L}{S^3} \right)$$

Donde:

R = Resistencia, Murges (μ)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

λ = Coeficiente de frotamiento

ρ = Densidad específica del aire (Kg/m_3)

B = Perímetro de la sección de la galería (m)

L = Longitud de la galería (m)

S = Sección transversal de la galería (m^2)

Resistencia singular

Existe una resistencia adicional al paso de aire debido a puntos singulares tales como estrechamientos o ensanchamientos bruscos, cambios de dirección pronunciados, etc; la cual se calcula de la siguiente manera:

$$R = 62,487 \cdot \frac{\varepsilon}{S^2}$$

Donde

R = Resistencia, Murges (μ)

ε = Coeficiente de pérdida de carga singular

S = Sección transversal de la galería (m^2)

Tipos de resistencias

Las minas cuentan con diferentes tipos de resistencias, instaladas en algunas zonas para clausurar trabajos antiguos, y en otros lugares para direccionar el flujo de aire, dichos tipos de resistencias son:

Tapones

Los tapones son resistencias o artificios para incrementar la oposición al paso del aire por una galería en la cual no se quiere que cruce el flujo de aire. Hay dos formas de crear tapones, estos son:

- *Tapones de adobe:* Este tipo de resistencia hace referencia a un muro de ladrillos que hermetiza por completo una galería, se usa comúnmente en labores de producción ya explotadas como tambores de producción o en zonas que antiguamente comunicaban, por ejemplo, travesías que comunicaban una clavada con una vía paralela.



Figura 4. Tapón en adobe Mina.

- *Tapones de plástico o costal:* Hace referencia a cortinas plásticas o en costal, generalmente se usan en trabajos que aún se están realizando o en lugares

de corta duración. Posee gran utilidad debido a su bajo costo, pero a su vez la desventaja por ser muy delgadas, lo que facilita su rompimiento, requiriendo un mantenimiento muy continuo.



Figura 5. Tapón de costal Mina.

Cortinas de bandas

Corresponde a una cortina de lona o caucho, rígido en sus extremos y flexible en su parte media, comúnmente se usa con el fin de permitir la movilidad de los sistemas de transporte como los coches o trabajadores que desean acceder a un frente productivo. Este tipo de resistencia requiere que por lo general se realice en pares y se encuentren distanciadas, es decir, mínimo dos cortinas separadas una distancia aproximada de 5 m; esto se debe a su naturaleza flexible y poca hermeticidad deja fluir el aire con facilidad.



Figura 6. Cortinas de bandas

Puertas Metálicas:

Usadas principalmente en los niveles, en aquellos lugares donde debe transitar personal y maquinaria, pero que se desea que el aire tenga gran resistencia aerodinámica en aquel lugar.



Figura 7. Puerta Metálica

En la Tabla 4, se muestran los valores usados para distintos tipos de resistencia en la mina.

Tabla 4. Valores de Resistencia para diferentes tipos.

Tipo de Resistencia				
	Tapón de adobe y cemento	Tapón de Costal	Cortinas de banda	Puerta Metálica
Resistencia (μ)	Infinita	50	200	3000

Fuente: Luque (1988)

3.2 CARACTERIZACIÓN DE VENTILADORES

Si se encuentra que el flujo de aire necesario Q , debe vencer en el interior de la mina una pérdida de carga ΔP , será necesario tener un ventilador que hará parte del circuito, y que proporcionara al movimiento del aire un aumento de carga $H = \Delta P$ en el momento que lo atravesase un flujo igual a Q . Las características del ventilador Q y H se encuentran determinadas por el estudio de la red de ventilación.

La caracterización de los ventiladores u obtención de las curvas características (ΔH_s vs. Q), es un procedimiento indispensable para conocer el comportamiento

del ventilador al variar algunos de sus parámetros (ángulo de paletas, velocidades de motor, etc.)

A continuación, se describe la manera de caracterizar un ventilador según lo estipulado en las normas AMCA y ASRHAE.

3.2.1 Presión

Es necesaria su medición para la obtención de los puntos de operación del ventilador, las presiones que se medirán son presión total, dinámica y estática. La relación existente entre las presiones, se muestra en la siguiente ecuación (Ventiladores):

$$P_e = P_t - P_d$$

Donde,

Pe: Presión estática

Pt: Presión total

Pd: Presión dinámica

Medición de la presión total

La presión total en un punto de operación será medida con un manómetro, con una extremidad abierta a la atmósfera y la otra conectada al punto donde se va a medir la presión total, es decir al tubo central o interior del tubo de Pitot.

Medición de la presión dinámica o presión de velocidad

La medición de la presión dinámica se hará con un manómetro, con un extremo conectado al tubo interior del Pitot (presión total), y el otro conectado al tubo exterior del Pitot (presión estática), lo que hace que se produzca una diferencia de presiones entre estas dos medidas de presión dando como resultado la presión dinámica.

Medición de la presión estática

La presión estática de un punto puede ser leída en el manómetro, conectando el tubo exterior del Pitot a una de las extremidades del manómetro y la otra dejándola abierta a la atmósfera (presión atmosférica).

3.2.2 Caudal

Para la toma de caudal se realiza la lectura de la presión dinámica (Pd), y luego usando la ecuación de energía en donde la cabeza de velocidad está dada por:

$$Pd = \frac{\rho V^2}{2g} \quad \text{ó} \quad V = \sqrt{\frac{2g \cdot Pd}{\rho}}$$

Donde:

Pd: Presión dinámica (mmca)

ρ : Densidad del aire (kg/m³)

V: Velocidad del aire (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

La velocidad obtenida por la medición de la presión dinámica se halló en el ducto, hay que calcular la velocidad en el ventilador; ésta se calcula por un balance de caudales o como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_v \times A_v = V_d \times A_d$$

Donde:

A_d: área del ducto (m²)

A_v: área del ventilador (m²)

V_d: velocidad en el ducto (m/s)

V_v: velocidad en el ventilador (m/s)

3.2.3 Instrumentos utilizados para la medición de la presión

Los instrumentos utilizados para la medición de presión son los mencionados a continuación:

Tubo de Pitot

Este instrumento consta de tubos concéntricos. El tubo interno se utiliza para conducir la presión total y en el externo la presión estática, mediante unos ocho orificios, los cuales se hallan perforados en forma circular en su pared con especificaciones ya estandarizadas. El tubo de Pitot será de suficiente tamaño y resistente a las fuerzas que actúan sobre él, su diámetro exterior no excederá una 1/30 parte del ducto y como mínimo será de 6,35 mm. El diámetro del tubo

interior será 0,4 veces el diámetro del tubo externo del Pitot y de 1,27 mm como mínimo. Los orificios laterales del tubo externo tendrán un diámetro de 0,13 veces el diámetro del tubo externo del Pitot y no deben exceder de 1,016 mm. El acabado superficial de las paredes será de $8 \mu\text{m}$ (micras). Los orificios laterales se hallan a una distancia de ocho veces el diámetro externo del Pitot y se medirá a partir de la boca de entrada del Pitot.

El caudal se calculará a partir de la presión dinámica o de velocidad (Monsalve, 1989), ya que la velocidad se obtiene a partir de esta, este procedimiento es válido cuando la velocidad de flujo a través del ducto sea menor de 12.19 m/s^3 (según normas AMCA y ASRHAE), cuando se usa un tubo de Pitot. La manera de utilizar el tubo de Pitot es sencilla, lo primero es garantizar que la boquilla de toma de datos este completamente paralela al flujo y perpendicular a la sección transversal del ducto o túnel de viento, luego se conecta una manguera a la toma de presión estática o total según lo que se quiera medir y esta a su vez conectarla al manómetro inclinado o en U.

Manómetro

Para la medición de las presiones se utiliza un manómetro en U (Ver Figura 8) o un manómetro inclinado (Ver Figura 8) dependiendo del rango de variación de las presiones.

Para medir las presiones generadas por el ventilador se debe registrar la variación del nivel del agua, la manguera que va a comunicar el Pitot con el manómetro se debe:

- Conectar un extremo del manómetro al tubo de Pitot (sea para la medición de presión total o estática) y el otro extremo a la atmósfera.
- Cuando se va a medir la presión dinámica se conectar los dos extremos del manómetro inclinado al tubo de Pitot.



Figura 8. Manómetro en U.



Figura 9. Manómetro inclinado.

3.2.4 Procedimiento de medición

El procedimiento para caracterizar un ventilador es:

- a)** Se fija el motor del ventilador a una velocidad determinada para mantener el caudal constante.
- b)** Se instala el conjunto (ventilador – ducto) de acuerdo al sistema descrito. (Figura 10)

- c) Se introduce el tubo de Pitot y se mide la presión en un punto, luego se desplaza sobre la línea de movimiento una cierta distancia.



Figura 10. Montaje ventilador ducto

Para tomar un promedio de las presiones del flujo en el ducto, se divide este en cuatro áreas concéntricas y se hacen lecturas colocando el Pitot a intervalos de $60^\circ + 1^\circ$ en el centro de las divisiones, En esta se ven todas las posibilidades variaciones según las normas. Es de anotar que los puntos de medición se hallan en áreas no equivalentes y que además las lecturas de la medición no se efectúan en el centro del ducto. Se han tomado estos puntos de medida según lo establecen las normas AMCA y ASRHAE para pruebas de ventiladores, las cuales no están de acuerdo con el criterio de que las áreas barridas sean proporcionales.

Acorde con las normas AMCA (esto según la experiencia de quienes trabajan con ventiladores) para la medición existen unas reglas prácticas para definir el túnel de viento y los puntos longitudinales para la toma de datos, los cuales se basan en el diámetro del ventilador.

Para el diseño del túnel, se tiene que la longitud mínima del ducto es entre 10 a $12\varnothing$; la ubicación de medida debe ser a $8.5\varnothing + 1/4\varnothing$ a partir del ventilador, como se muestra en la figura a continuación:

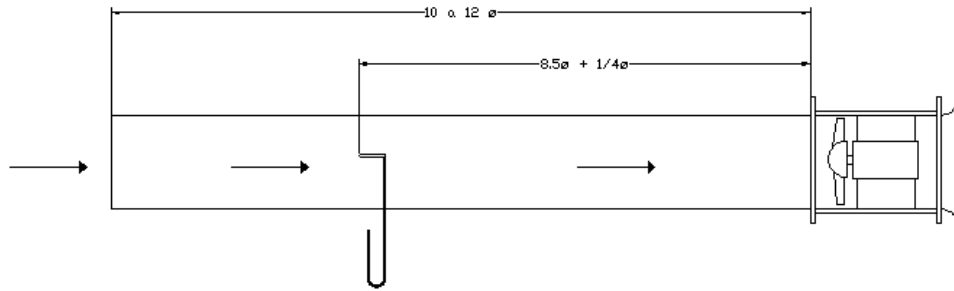


Figura 11. Túnel de viento. Fuente: Gómez G. (2007).

3.2.5 Notas sobre los errores a tener en cuenta en la caracterización de ventiladores

En el transcurso de la ejecución de este proyecto, se han tomado algunos apuntes de los errores más comunes en la medición o caracterización de los ventiladores. A continuación, se nombran los errores más comunes:

- Se debe asegurar que los equipos de medida estén correctamente calibrados o que no existen objetos extraños que interrumpan la medida, por ejemplo, para la lectura de presión en los manómetros, se debe asegurar que no existan burbujas de aire dentro de los tubos, esto genera lecturas falsas.
- Se debe tener especial cuidado con la ubicación de la cabeza del tubo de Pitot con respecto al flujo de aire (paralelo al flujo y perpendicular a la sección del ducto), esto se debe a que una inclinación de más de 12° no reporta las lecturas verdaderas en los manómetros.
- Con respecto al túnel de viento o ducto de pruebas, en lo posible garantizar la menor rugosidad de sus paredes, esto debido a que estas generan pequeños regímenes de turbulencias y mala lectura de los datos.
- Garantizar la hermeticidad de la unión entre el ventilador y el túnel de viento.
- Tener cuidado con que las resistencias se mantengan fijas durante la ejecución de la prueba.
- Se debe tener especial cuidado con el aumento en la resistencia, debido a que el ventilador entra en el punto de bombeo o punto inestable, esto se evidencia cuando se produce un ruido grave y aumenta el nivel de vibraciones.



Figura 12. Ventilador principal mina.



Figura 13. Ventiladores Principales Mina, a la izquierda 40 HP y a la derecha 25 HP.

4. GUIA METODOLOGICA

En los capítulos anteriores se establecieron las bases teóricas que soportan la propuesta práctica de implementación del decreto 1886 en cuanto al título de ventilación se refiere; en este capítulo se establecerá el paso a paso a seguir por parte de cada unidad minera y/o entes regulatorios para la verificación del cumplimiento del reglamento de seguridad de las labores subterráneas.

Inicialmente se deben definir cuales criterios se deben cumplir, para ello se ha hecho un análisis en detalle del reglamento y que dio como resultado una matriz en formato de lista de chequeo que permitirá identificar de manera clara y rápida que se debe cumplir en toda labor subterránea.

Tabla 5. Matriz técnica Decreto 1886

MATRIZ TECNICA DECRETO 1886 APLICADA A VENTILACION DE MINAS SUBTERRANEAS	SI	NO
La empresa cuenta con un responsable del plan de ventilación de la mina	x	
Se cuenta con cálculos teóricos de ventilación	x	
Se cuenta con un circuito de ventilación establecido	x	
La mina cuenta con ventilador principal	x	
Se conocen todas las características de los ventiladores instalados en la mina	x	
Se cuenta con entradas y salidas independientes de aire, separadas 50 metros la una de la otra	x	
Se ha hecho corrección a los VLP de los gases de acuerdo a las jornadas de trabajo realizadas por la compañía	x	
Se cuenta con medidor de gases, material particulado, temperatura y aire y se almacenan los datos tomados	x	

En cada turno de trabajo se cuenta con un responsable de la ventilación	x	
Se realizan mediciones preturno de la atmosfera minera	x	
Se cuenta con tableros de medición de gases en los distintos frentes de trabajo	x	
Se cuenta con un libro de gases donde se registren y firmen las distintas mediciones	x	
Se realizan aforos semanales de ventilación	x	
Los caudales circulantes en la mina cumplen con el caudal critico establecido en el calculo	x	
Se realiza medición a los gases emitidos por la maquinaria diesel	x	
Se tiene un sistema de monitoreo permanente y continuo de CO y O2 en la zona de influencia de la maquinaria diesel	x	
Se realizan mediciones de polvo respirable	x	
Se toman medidas para el control de polvo	x	
Se han realizado mediciones de temperatura húmeda y seca en la mina	x	
Se realiza el cálculo de temperatura efectiva	x	
Se cuenta con plano de ventilación	x	
Todos los planos están firmados por ingenieros de minas con matricula profesional	x	

Se tiene un protocolo de mantenimiento preventivo de ventiladores	x	
Se tiene registro de las capacitaciones en los temas de ventilación dictados a los miembros de la compañía	x	
En caso de tener polvorines al interior de la mina, están estos dentro del circuito principal de ventilación	x	
Inspecciones planeadas de puntos críticos de ductos y sistemas mecánicos de inyección y ventilación.	x	

Fuente: Elaboración propia.

El orden establecido en la tabla surge de la identificación de elementos que debe realizar el titular minero al establecer el cumplimiento o no del decreto.

La figura del responsable del plan de ventilación es realmente importante ya que este es el encargado de planear, ejecutar, verificar y actuar frente al sistema de ventilación, esta persona debe velar por la seguridad en la atmosfera minera y que esta cumpla con los requerimientos exigidos por la ley; es ideal que esta persona tenga una formación comprobada en ventilación subterránea y tenga un grupo de trabajo que apoye las distintas labores a realizar en la mina.

En el próximo capítulo se abordará un caso práctico donde se continuaran abordando los temas establecidos en la matriz técnica.

5. CASO PRÁCTICO

Con este caso práctico se busca que el lector tenga un ejemplo claro de cómo aplicar el decreto 1886 en su actividad minera en cuanto a ventilación se refiere:

La mina a analizar estará ubicada entre los 1600 y 2200 m.s.n.m, con una plantilla de personal en subterráneo de 65 personas por turno, con tres turnos cada uno de ellos de 8 horas, con un consumo mensual promedio de explosivos de 23,8 Kg. de Indugel y 10,8 kg de ANFO; para un promedio turno de 11,5 kg de explosivos por voladura por turno.

La flotilla de equipo Diésel de la mina estaría conformado por:

- Jumbo: 83 hp.
- Bolter 83 hp.
- Cargador: 201 hp.
- Volqueta: 220 hp.
- Mini cargador: 60 hp.

5.1 CÁLCULO TEÓRICO DE CAUDALES REQUERIDOS:

Comenzaremos calculando la cantidad de aire necesaria en la mina, este es uno de los principales datos a tener en cuenta al momento de calcular un circuito de ventilación

5.1.1 Calculo de caudal por personal en la mina

Según la legislación colombiana en el Artículo 54 del Decreto N° 1886 de 2015 (Reglamento de Seguridad en las labores subterráneas), el requerimiento por cada persona es de 6m³/min por cada trabajador, ya que la ubicación de la mina supera los 1500 m.s.n.m, a su vez tenemos que en el turno ingresan un total de 65 Personas en su interior

$$Q \text{ trabajadores} = 65 \text{ trabajadores} \times 6\text{m}^3/\text{min}/\text{trabajador.} = 390 \text{ m}^3/\text{min.}$$

5.1.2 En función de los gases producidos por voladuras.

Debido a que se requiere disponer del máximo número de horas de ocupación al día, los gases de las voladuras deben ser evacuados en el menor tiempo posible, para que así el personal pueda volver nuevamente a los frentes de trabajo.

Caudal por uso de explosivos: La determinación del caudal por explosivos está dada por:

$$Q = \frac{100 * a * A}{0.008 * td} \text{ [m}^3\text{/min]}$$

Donde

a: Volumen de gases tóxicos generados por la explosión de un kilogramo de sustancia explosiva, para el indugel

$$a = 0.04 \text{ m}^3\text{/kg}$$

A: Cantidad de explosivo detonado. (kg)

Td: tiempo de dilución de los gases (30 min)

Se determina la cantidad de explosivos usados con base a la información suministrada el cual es de 11,5 kg de explosivos por voladura por turno.

Al aplicar la fórmula anteriormente enunciada se obtiene un caudal crítico de:

$$Q = 192 \text{ m}^3\text{/min}$$

5.1.3 En función de la maquinaria Diésel.

El uso de los equipos Diésel está reglamentado bajo el Decreto 1886 de 2015, en su artículo 54 párrafo 2, donde se reglamenta que:

Se debe suministrar seis metros cúbicos 6 m³ por minuto por cada H.P de la máquina.

El caso de mayor presencia de equipos diésel en la mina sería cuando cargador, volqueta y mini operen de manera simultánea:

Tabla 5. Potencia de equipos usados en el caso práctico.

EQUIPO	POTENCIA MOTOR
Cargador	201
Volqueta	220
Mini cargador	60
TOTAL POTENCIA	481

$$Q \text{ Diesel} = 481 \text{ HP} \times 6\text{m}^3/\text{min}/\text{HP}. = 2886 \text{ m}^3/\text{min}.$$

Para determinar el caudal crítico se usará el caudal requerido por la maquinaria diésel más el caudal requerido por el personal; ya que con este se cubren totalmente los caudales requeridos explosivos.

Cabe recordar que el caudal de los explosivos se maneja de forma particular ya que al momento de la voladura no debe haber equipos ni personal en la zona de influencia de la voladura.

Por ende, el caudal crítico para el momento actual de la operación es de:

$$\begin{aligned} \text{Total Q requerido (equipos + trabajadores)} &= [390 + 2886] \text{ m}^3/\text{min} \\ &= 3276 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

A este caudal debe agregársele, como mínimo, 15% del Q requerido por concepto de fugas/filtraciones, obteniéndose:

$$Q \text{ filtraciones} = (0.15 \times 3276) \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 491,4 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (aprox.)}$$

lo que da, finalmente, como caudal total de ventilación, un valor igual a:

$$Q \text{ TOTAL} = (Q \text{ requerido} + Q \text{ filtraciones}) \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= (3276 + 491) \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 3767 \text{ m}^3/\text{min} = 133030 \text{ cfm}$$

Ya se cuenta con el caudal necesario en la operación, ahora se debe calcular la presión requerida para mover el aire a través de la mina. En el capítulo 3.2.1 se establecieron los conceptos de presión total; ahora veremos su aplicación en un ejemplo práctico dado para circuitos complejos:

5.2 CALCULO DE PRESIONES EN CIRCUITOS COMPLEJOS:

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

5.2.1 Software de equilibrio de redes de ventilación:

Una vez resuelto el caudal resultante, se puede realizar una simulación de la malla definitiva del proyecto, imponiendo en la rama que representa la estocada en que se instalará el ventilador principal, el caudal de aire de diseño y la presión estática del punto. El trazado estará compuesto además por la vía principal de aire fresco y la chimenea de extracción general conectada con la superficie.

Para imputar los datos de cada una de las ramas, se define una malla equivalente tomando como soporte, por ejemplo, el dibujo en AutoCad del circuito asociado al Proyecto. Se carga el software con la malla real del circuito, asignando las cotas y largos reales a cada tramo.

Para la simulación, se requieren los siguientes parámetros generales:

- ◆ Densidad del aire: 1,2 Kg. / m³ (sin factor de corrección)
- ◆ Eficiencia del Ventilador: 75% (por defecto)
- ◆ Coeficientes de fricción: K

Para abordar las distintas situaciones a las que se verá enfrentada la explotación del proyecto, se generan varios escenarios representativos. Cuando se desea evitar que el caudal de aire aumente en demasía en una dirección, se deberá adecuar un regulador cuya dimensión variará de acuerdo a cada escenario.

El escenario más desfavorable o de mayor resistencia debe sensibilizarse con los valores del consumo de energía y de la construcción. Entre dos alternativas que presenten un gasto combinado energético y de construcción similar, se preferirá aquélla que acepte mayor caudal de aire, por si las condiciones de explotación de otro sector así lo necesitan.

De acuerdo al resultado de esta simulación, que entrega como producto final el “punto de operación del sistema” (ejemplo: Caudal $Q = 1.600 \text{ m}^3/\text{min.}$ y Caída de presión $P_s = 127 \text{ mm.}$ de columna de agua), se seleccionarán los ventiladores de la instalación.

5.2.2 Ejemplo Práctico

Para este ejemplo práctico será usado el software *Ventsim*, desarrollado por Chasm Consulting de Australia. Inicialmente se digitaliza el circuito de la mina en el programa:

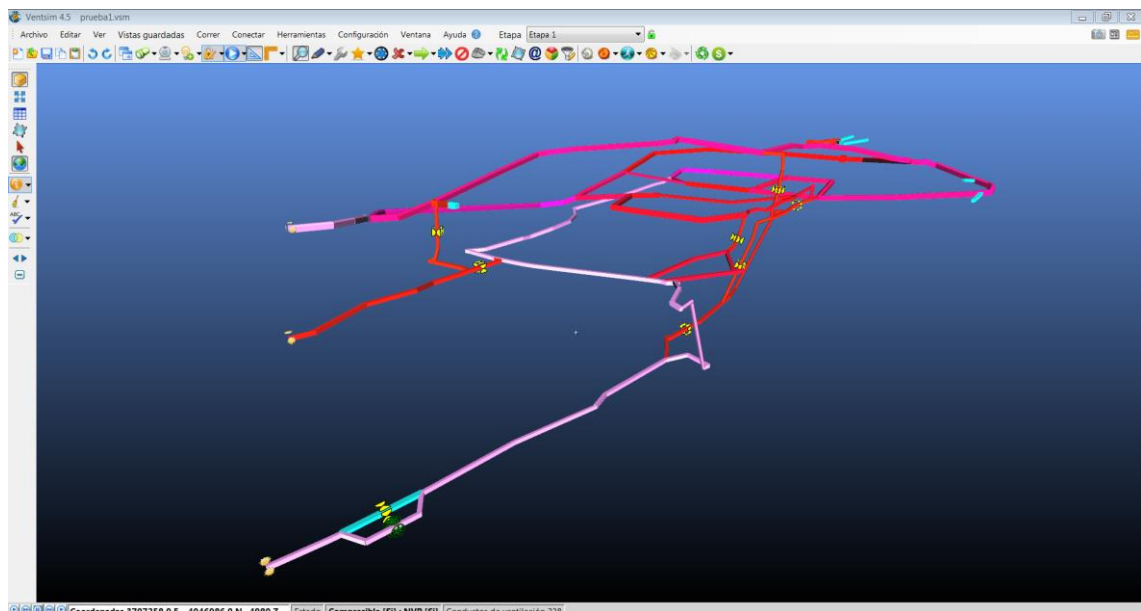


Figura 14. Interfaz Software Ventsim

Cuando ya se encuentre la mina modelada se fijará el caudal crítico requerido a través de ventiladores que cumplan con ese flujo de aire determinado:

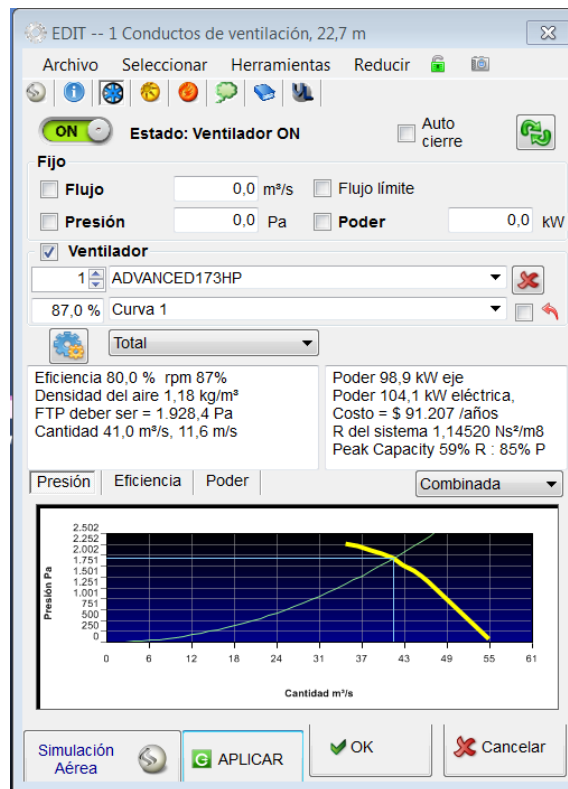


Figura 15. Datos de ventilador en Software Ventsim

La línea de color amarillo de la anterior grafica corresponde a la curva característica del ventilador, dicha curva es suministrada por cada uno de los fabricantes, ejemplo:

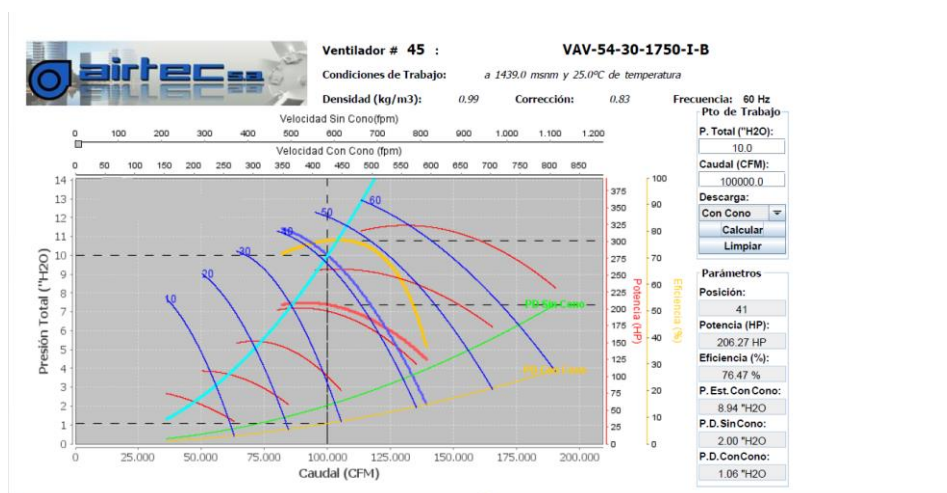


Figura 16. Curvas de un ventilador

La interacción entre la curva característica de la mina y la curva característica del ventilador brindaran el punto de operación que no es más que el caudal y la presión que generara el ventilador en cuestión:

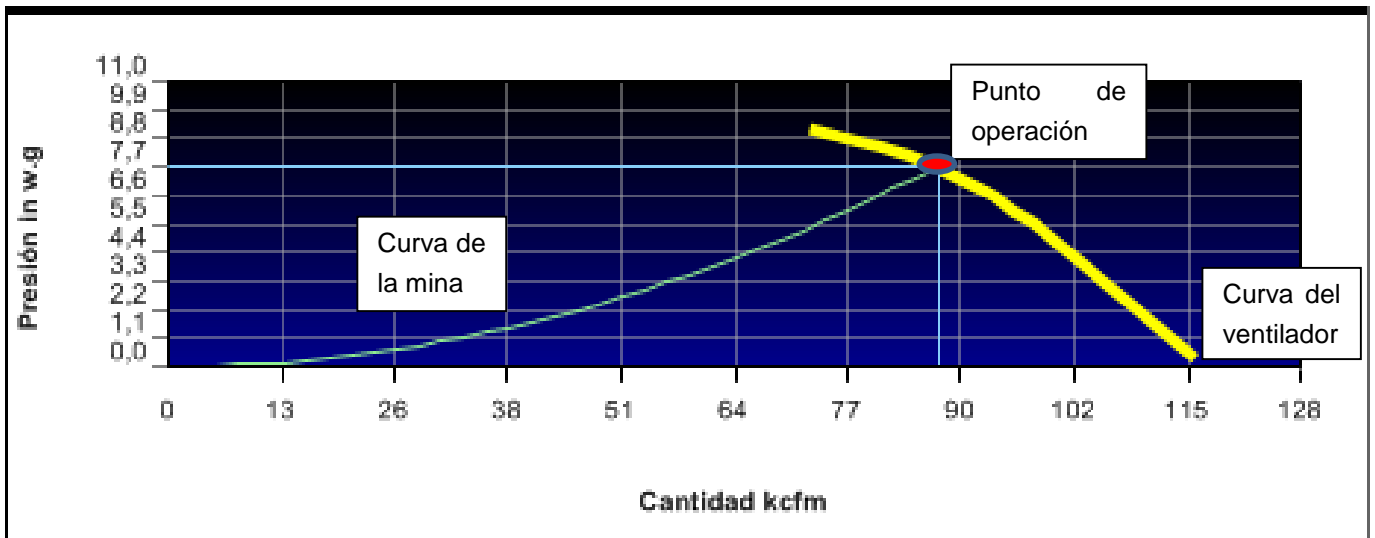


Figura 17. Punto de Operación de un ventilador

De la figura podemos obtener que el punto de operación de este esquema es de aproximadamente 85000 cfm (pies cúbicos por minuto) y una presión generada cercana a los 7,7 in w.g (Pulgadas de columna de agua).

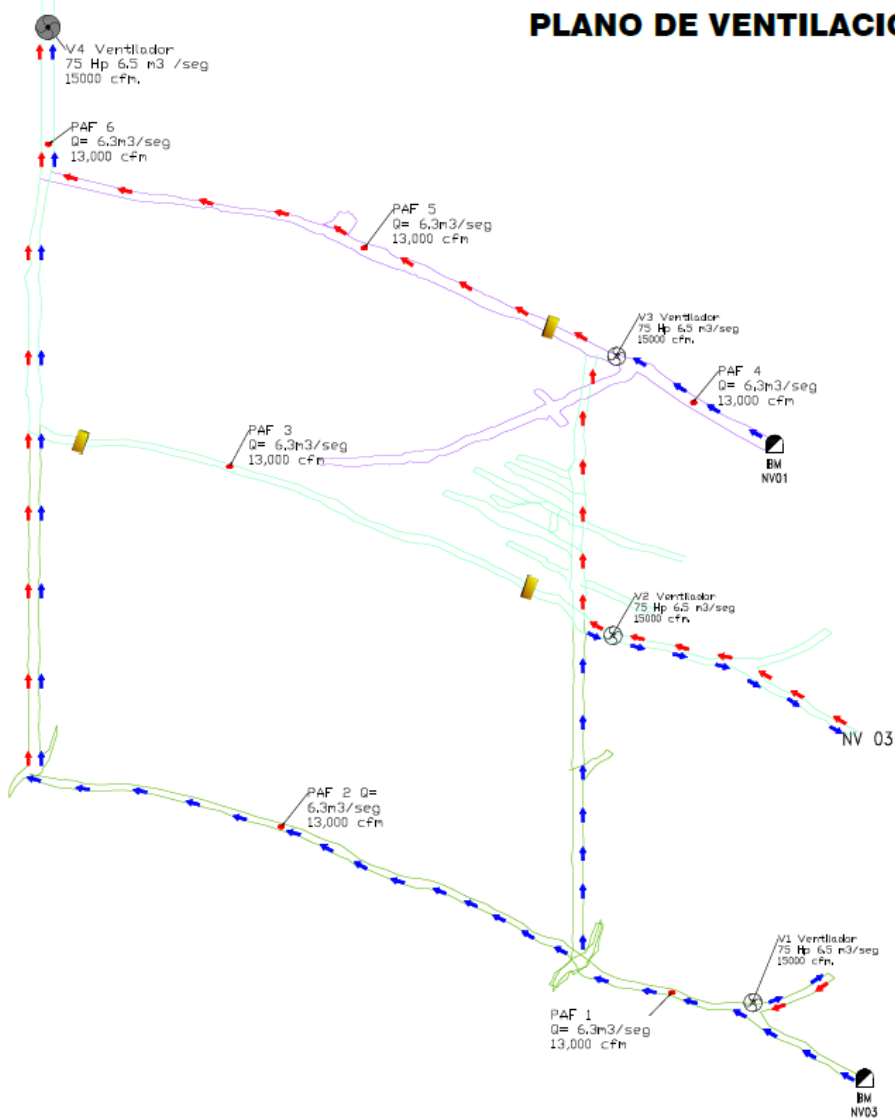
Si tomáramos este ejemplo para el caso práctico que veníamos trabajando veríamos que el caudal que suministra este ventilador no es suficiente, ya que hablábamos de 133000 cfm requeridos y este ventilador solo puede suministrar 85000 cfm, por lo cual no sería capaz de suministrar el flujo que requiere el sistema.

5.3 PLANOS Y CIRCUITOS DE VENTILACIÓN.

Los planos de ventilación son de vital importancia en las labores subterráneas ya que en ellos se plasma el circuito de ventilación que ha sido caracterizado a través de los distintos aforos; de este hacen parte caudales, ubicación y características de ventiladores, puntos de aforo, puertas de ventilación y los demás elementos que el responsable del plan de ventilación determine.

A continuación, se muestra un ejemplo de plano de ventilación:

PLANO DE VENTILACIÓN



CUADRO DE VENTILADORES				
PUNTO	ESTE	NORTE	ELEV.	CAUDAL PAF. CFM
V1	2345436292	2239201111	14392031	40,000
V2	2345436121	2239201111	14392031	24,000
V3	2345436121	2239201111	14392031	24,000
V4	1074201134	1234711482	12452825	24,000

CUADRO DE COORDENADAS				
PUNTO	ESTE	NORTE	ELEV.	CAUDAL (CFM)
PM1	2948293,3111	900000,2222	1234,9821	2,309
PM2	2345436,1211	2239201,1111	1439,2031	5,903
PM3	2345693,1211	1238431,1948	1231,2311	4,000
PM4	2348282,1311	1215934,9451	1235,2944	9,237
PM5	11134255,1134	1234711,4821	1239,3451	5,355
PM6	1134553,2231	1348192,1123	1245,2825	2,309

CONVENCIONES

- NIVEL 01
- NIVEL 02
- NIVEL 03
- AIRE VIEJO
- AIRE FRESCO
- ◆ PUERTA DE VENTILACION
- X VENTILADOR AUXILIAR
- X VENTILADOR PRINCIPAL
- PUNTO DE AFORO

NOMBRE DEL MAPA:		ESCALA GRAFICA:	PLANCHA IGAC:	ESCALA:
NUMERO DEL TITULO:				VEREDA:
TIPO DE TITULO:		TIPO DE MINERAL:	DEPARTAMENTO:	MUNICIPIO:
NOMBRE DEL TITULAR:		ELABOR:	NOMBRE DE LA MINA:	
FECHA:	PLANO:	OBSERVACIONES:		

6 PROCEDIMIENTOS

Como parte de sistema de gestión de cada compañía, deben existir procedimientos e instructivos que sirvan como base de la cultura empresarial de autocuidado

6.1 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE GASES:

Es uno de los más importantes en la actividad minera, ya que es vital comprobar la calidad de la atmosfera antes, durante y posterior a cada turno en la mina; a continuación, se ilustra en detalle este procedimiento:

Tabla 6. Procedimiento de medición de gases

1. GENERALIDADES	
Código y Nombre	Medición de Gases
Objetivo Cuál es la misión y el fin del proceso/procedimiento.	Determinar los criterios tenidos en cuenta para la medición de la concentración de los gases tóxicos que se generan en las labores subterráneas desarrolladas, con el fin de prevenir situaciones que conlleven a una intoxicación o accidente.
Alcance Límites del proceso/procedimiento: Dónde empieza y dónde termina.	<p>Este procedimiento aplica para todas las personas que laboran en todas las actividades subterráneas.</p> <p>Los gases que se miden dentro de la mina son: O₂ (oxígeno), NO₂ (óxido nitroso) H₂S (ácido sulfhídrico) CO (monóxido de carbono) CO₂ (dióxido de carbono).</p> <p>Se acoge la siguiente tabla de límites permisibles para gases en los frentes de trabajo, de acuerdo con la normatividad vigente:</p>

	GASES	FORMULA	LTEL(ppm) 8 horas	STEL (ppm) 15min
	OXIGENO	O ₂		19.5
	DIOXIDO DE CARBONO	CO ₂	5000	30000
	ACIDO SULFHIDRICO	H ₂ S	10	15
	MONOXIDO DE CARBONO	CO	25	200
	DIOXIDO DE NITROGENO	NO ₂	3	5

GLOSARIO

Término	Definición
CIRCUITO DE VENTILACIÓN	Es la vía o vías de la mina por donde circula una corriente de aire y es la representación de cómo se encuentran interconectadas las labores horizontales, inclinadas y verticales que componen una labor subterránea o mina; su objetivo es proporcionar a ésta un flujo de aire en cantidad y calidad suficiente para diluir contaminantes, a valores límites seguros en todos los lugares donde el personal esté laborando.
FRENTE:	1. Lugar donde se explotan los minerales de interés económico. 2. Superficie expuesta por la extracción. 3. Superficie al final de una labor minera (túnel, galería, cruzada, entre otras). 4. Lugares donde se ejecutan las tareas de avance y desarrollo de la mina.
FRENTE CIEGO	Frente de trabajo al que sólo se puede tener acceso mediante una vía o galería principal (vías que comunican

	con los túneles o galerías de acceso, utilizadas para transporte y movilización de material y personal).
GAS	Como en la minería de oro no se generan gases por el yacimiento mismo, para efectos de este procedimiento se considera "GAS" los que se presentan como producto de una voladura o por el uso de maquinaria diesel. Para prevenir los riesgos por la exposición a los gases se han establecido unos topes para cada uno de ellos, los VLP (valores límites permisibles) que al momento de superarlos pueden causar situación de peligro.
GASES TÓXICOS	Para efectos de este procedimiento son los gases que al ingresar al cuerpo humano en cierta cantidad pueden causar la muerte o graves trastornos a las personas. Los gases tóxicos más comunes son: monóxido de carbono (CO), humos nitrosos (olor y sabor ácidos), sulfuro de hidrógeno -ácido sulfhídrico H ₂ S (olor a huevos podridos) y anhídrido sulfuroso SO ₂ (cuando la concentración es mayor a 15% en volumen es mortal). Estos gases son medidos en partes por millón, ppm. Cada uno de estos gases tiene un valor límite permisible de exposición. Pueden ser letales a muy bajas concentraciones sin importar que el nivel de oxígeno de la atmósfera sea el óptimo (21%).
LEYES DE VENTILACIÓN	Conjunto de leyes que rigen el diseño de un circuito eficiente de ventilación: 1. Por cada 30 metros verticales que se desciende desde el suelo, la temperatura aumenta un grado centígrado; 2. Para obtener una corriente de aire se precisa una entrada, una salida y una diferencia de presión (depresión); 3. En un circuito, cuanto mayor es la depresión mayor será la cantidad de aire que pasa por él; 4. El porcentaje de gas será menor cuanto mayor sea la cantidad de aire respirable; 5. Entre menos fugas haya en el circuito, mayor será la cantidad de aire que pasa por él.

PLANO DE VENTILACIÓN	Esquemas de ventilación de una labor subterránea, compuesto por los nudos y vías que forman la red de ventilación.
STEL	(Valor Limite Permissible – Limite de Exposición de Corta Duración): Es la concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un corto periodo (15 minutos, no más de 4 veces por día y con un periodo de, por lo menos, 60 minutos entre exposiciones sucesivas a este valor), sin sufrir irritación, daños crónicos o irreversibles en los tejidos o narcosis en grados suficientes para aumentar las probabilidad de lesiones, accidentales, menoscabar la auto recuperación o reducir sustancialmente la eficacia en el trabajo y siempre que no se sobrepase el TLV, diario.
SUPERVISOR	Persona con la capacidad y calificación necesarias para planear dirigir y controlar diversas tareas de desarrollo, preparación y explotación de la labor subterránea, según el alcance establecido por la empresa. La designación del supervisor no significa la creación de un nuevo cargo, ni aumento en la nómina de la mina o empresa, esta función puede ser llevada a cabo por un trabajador idóneo designado por el empleador.
VENTILACIÓN	Operación encargada de llevar aire fresco y puro a los frentes de explotación y evacuar de ellos el aire viciado o enrarecido, por medio de recorridos definidos en las diferentes secciones de la labor subterránea.
VENTILACIÓN FORZADA	Es la presión de ventilación que se establece como resultado de un efecto mecánico, en particular un ventilador, el cual suministra la energía de ventilación para el flujo de un volumen de aire.
VÍA DE VENTILACIÓN	Elemento de una red de ventilación: Túnel, galería transversal, tambor, entre otros, compuesto por un punto

	inicial (nudo inicial) y un punto final (nudo final), a través del cual circula un determinado caudal de ventilación.
VLP. VALOR LÍMITE PERMISIBLE:	También conocidos como TLV - Threshold Limit Values, son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree que basándose en los conocimientos actuales, la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. En Colombia rigen los TLV establecidos por la ACGIH - Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, conforme a lo establecido en el Artículo 154 de la Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
VOLADURA	Acción y efecto de la utilización de explosivos y accesorios de voladura para romper, arrancar y fracturar rocas, minerales u otro material, o generar ondas sísmicas.

2. DESCRIPCIÓN POR CAPAS

2.1 CAPA DE NEGOCIO

2.1.1 Roles y Actores

2.1.1 Roles y Actores	
Roles del Procedimiento	
Nombre de los Cargos de los Líderes de las Áreas que participan en el proceso/procedimiento.	Jefe Mina Coordinador SST

Actores del Procedimiento Nombre de los Cargos de las personas que participan ejecutando tareas del proceso/procedimiento.	Coordinador Mina Coordinador SST
---	---

2.1.2 Tareas				
No	Nombre de la Tarea	Descripción de la Tarea	Rol responsable de la Tarea	Actor(es) responsable (s)
1	Constatar que los equipos de medición estén aptos para su uso.	Diligenciando el formato de inspección diaria de equipos, verificando que los equipos se encuentren cargados de manera completa para cubrir el turno de trabajo, lo mismo que en buen estado de calibración. El registro de la inspección queda bajo control de la división de la mina.	Supervisor o jefe inmediato asignado	-
2	Disponer la ventilación en los frentes donde se	Verificando las condiciones de ventilación (sistema de aire conectado y disponible) en el frente de trabajo antes de	Grupo de Perforistas	-

	realizan quemas.	hacer una quema o voladura. Dejando la ventilación con aire comprimido o con el ventilador secundario en funcionamiento, cuando se trate de un frente ciego.		
3	Efectuar la medición de gases	Con no más de una hora de antelación al inicio de labores, realizando la medición de gases en los frentes activos y constatando que las mediciones realizadas de estos gases estén dentro de los límites permisibles, antes de autorizar el ingreso de los trabajadores al frente de trabajo asignado. Ver tabla de límites permisibles en el punto e) de las condiciones generales de este procedimiento.	Supervisor o jefe inmediato asignado	-
4	Ventilar en caso de resultados de mediciones por encima de los límites permisibles.	Si el jefe inmediato encargado de la medición encuentra que la concentración de gases está por encima de los límites permisibles, deberá proceder con la ventilación respectiva y el personal que requiera	Supervisor o jefe inmediato asignado	-

		ingresar deberá esperar a que la atmosfera de trabajo cumpla con los límites establecidos para desarrollar el trabajo, para lo cual deberá repetir la medición para constatarlo.		
5	Registrar las mediciones	Después de hacer las mediciones de gases en los frentes activos, asentando dicha información en el formato y escribiendo su nombre y firma en los espacios correspondientes del formato.	Supervisor o jefe inmediato asignado	-
6	Publicar los resultados de las mediciones del respectivo turno	Una vez haya diligenciado completamente el formato, también debe consignar esta información en el tablero de registro de mediciones que se tendrá en cada frente de trabajo, con el fin de que sea conocido por las personas que requieran ingresar a una de estos frentes.	Supervisor o jefe inmediato asignado	-
7	Leer las mediciones	Verificando la información consignada	Toda persona que ingrese a	-

	registradas en el tablero de registro	en el tablero de registro de mediciones de gases en cada frente de trabajo. Si esta información no está publicada y actualizada no se debe ingresar al frente de trabajo, recurriendo inmediatamente al jefe inmediato.	la mina (Trabajador, visitante, contratista.)	
8	Descargar datos de medición de gases	Descargando la información guardada en los equipos de medición de gases mensualmente. Llevando los datos medidos por fechas de medición en un archivo de consulta.	Supervisor o jefe inmediato asignado	-

2.1.3 Puntos de Verificación y Control

No	Tarea en la que se realiza el Control	Descripción del Control
1.		El área de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) velará por el cumplimiento del proceso de calibración y mantenimiento de estos equipos, y mantendrá los respectivos certificados actualizados.

2.		El Director de la Mina ejercerá control especial sobre los equipos de medición de gases y vigilará que se haga un manejo apropiado de los mismos.
3.		El área de Seguridad y Salud en el trabajo auditará la información almacenada en el formato, de igual forma realizará mediciones esporádicas complementarias en los diversos frentes de trabajo, tales como las guías, paneles y tambores.
4.		Se mantendrán los registros de las mediciones de gases en la oficina de la mina, y dispuestos según la matriz documental de cada empresa

2.1.4 Políticas

Conjunto de lineamientos de carácter interno – de la empresa- que se deben cumplir en la ejecución del proceso/procedimiento que se está caracterizando.

No	Nombre Corto para la Política	Descripción de la Política
1.	Niveles de servicio	Este procedimiento es de ejecución obligatoria y diaria durante la operación de la mina
2.		
3.		

6.2 Procedimiento para los aforos de ventilación:

Después de la medición de gases, los aforos de ventilación se convierten en el proceso más importante para la seguridad en cuanto a atmosfera minera se refiere, ya que en él se evalúa si los caudales que circulan en la mina cumplen con los criterios de diseño que se calcularon para satisfacer los requerimientos de aire exigidos por el decreto 1886; a continuación, se propone un modelo de gestión para los aforos de ventilación.

1. GENERALIDADES	
Código y Nombre	Aforo de ventilación
Objetivo Cuál es la misión y el fin del proceso/procedimiento.	Medir el caudal de aire circulante al interior de la mina, para garantizar el ambiente apropiado para realización de los trabajos dentro de la misma. Los principales criterios a cubrir son: <ul style="list-style-type: none">• Suministro adecuado de Oxígeno.• Regulación de temperatura.• Dilución de gases nocivos.
Alcance Límites del proceso/procedimiento: Dónde empieza y dónde termina.	Este documento está dirigido al personal de las áreas de Producción, Mantenimiento y Seguridad y Salud en el trabajo y toda aquella persona que realice actividades dentro de las minas.

GLOSARIO	
Término	Definición
Anemómetro	Es un aparato de medición que se usa para medir la velocidad y temperatura seca del aire.
Caudal	Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo, se denomina también "Caudal volumétrico" o "Índice de flujo fluido".

Estación de medida	Es una instalación dentro de la mina destinada a medir y registrar regularmente diversas variables del ambiente dentro de la mina. Estos datos se utilizan para vigilar regularmente que las condiciones dentro de la mina sean las aptas para laborar.
Tambor	Es una vía inclinada que comunica dos niveles.
Temperatura	Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío.
Temperatura Seca	Se llama Temperatura seca del aire, o más sencillamente temperatura seca, a la del aire, prescindiendo de la radiación calorífica de los objetos que rodean ese ambiente y de los efectos de la humedad relativa y de la velocidad del aire.
Temperatura Húmeda	Temperatura obtenida por un termómetro que consta de un bulbo que está rodeado de una camisa de algodón húmedo.
Temperatura efectiva	<p>Temperatura representada por el efecto combinado de la temperatura ambiente, la humedad relativa y el movimiento del aire, en la sensación de calor o frío que percibe el cuerpo humano, equivalente a la temperatura del aire en reposo que produce un efecto idéntico.</p> <p>Temperatura Efectiva = 70%*(Temperatura Húmeda)+ 30%*(Temperatura Seca) – La Velocidad del Aire (m/seg)</p>
Termopsicroanemometro	Es un aparato de medición de velocidad y temperatura húmeda y seca del aire.

Velocidad	Es una magnitud física que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.
------------------	---

2. DESCRIPCIÓN POR CAPAS

2.1 CAPA DE NEGOCIO

2.1.1 Roles y Actores

Roles del Procedimiento	
Nombre de los Cargos de los <u>Líderes</u> de las Áreas que participan en el proceso/procedimiento.	Coordinador Mina
Actores del Procedimiento	
Nombre de los Cargos de las personas que <u>participan ejecutando tareas</u> del proceso/procedimiento.	Coordinador Mina

2.1.3 Tareas

No	Nombre de la Tarea	Descripción de la Tarea	Rol responsable de la Tarea	Actor(es) responsable (s)

1	Revisión de condiciones de trabajo	<p>Una vez situados en las estaciones de medida y antes de realizar los aforos, se deben garantizar las siguientes condiciones de trabajo:</p> <p>La estación de medida debe estar libre de obstáculos en su recorrido, 50 metros antes y después de esta.</p> <p>El techo y el costado de la vía en los 100 metros longitudinales seleccionados no deben presentar vacíos.</p> <p>No debe existir circulación de personal por esta zona.</p> <p>Nota: Si se cumplen las tres condiciones anteriores, se procede a realizar las medidas de la velocidad del aire con un anemómetro, el cual debe ser ajustado en la unidad de m/s. Estas medidas se deben hacer en no menos de 10 registros que cobijen toda la sección de la vía, se anotan en la libreta, registrando el día,</p>	-	-

		la hora y el mes en que se realizaron.		
2	Calculo de caudales de aire	<p>Con las velocidades anotadas se calcula una velocidad promedio que multiplicada por el área ya conocida, nos da el caudal que circula por esta estación. Los datos se registran en el "Formato de caudales"</p> <p>Caudal de aire (m³/sg): Velocidad Promedio (m/s) * Área (m²).</p>	-	-

2.1.7 Políticas

Conjunto de lineamientos de carácter interno – de la empresa- que se deben cumplir en la ejecución del proceso/procedimiento que se está caracterizando.

No	Nombre Corto para la Política	Descripción de la Política
1.		Para realizar los aforos de ventilación en la mina se determinan estaciones de ventilación cuya sección sea conocida y medible, en tramos totalmente rectos y libres de estorbos o de secciones deformes que comprometan las medidas. En este lugar se deben tomar las velocidades alrededor del perímetro con un anemómetro digital para medir el caudal de aire que circula por esta estación, y con

		Termopsicroanemometro para medir la temperatura efectiva de trabajo y el caudal que circula por esta estación.
--	--	--

2.2 CAPA DE DATOS

2.2.1 Indicadores							
No	Nombre	Descripción Cualitativa	Formula	Meta	Responsable	Frecuencia	
						Medición	Análisis
1.	Número de Aforos realizados	Cuantifica el número de aforos realizados en un periodo de medición.	Cantidad de aforos realizados en un periodo de medición	Pendiente	Coordinador de Mina	Diaria/ Mensual	

2.2.2 Riesgos y controles				
Riesgo	Causa	Control	Registro	Responsable
Muerte	Intoxicación			

7 CONCLUSIONES

Se ha dado cumplimiento a todos los objetivos planteados a través de la elaboración de este documento, ya que se ha abordado la gestión del sistema de ventilación desde un punto de vista práctico, teórico y procedimental; servirá como base de futuros documentos que complementen lo aquí escrito con base a las experiencias diarias de los profesionales en campo y a través de la investigación que desde la academia surja.

El tener una óptima gestión del sistema de ventilación debe ser una de las políticas que las compañías mineras deben tener, esto va de la mano con el cumplimiento del decreto 1886, que permite tener el control sobre qué actividades deben ser medidas y cuantificadas durante el desarrollo de las labores mineras.

Se establecen criterios claves como la medición de caudales de aire y concentración de gases como elementos de control de la atmosfera minera, convirtiéndose en las dos principales fuentes de análisis para determinar las condiciones de trabajo al interior de las explotaciones subterráneas.

Es indispensable que cada mina tenga un responsable del sistema de ventilación quien conozca en detalle los circuitos de ventilación, que establezca las necesidades del mismo, que identifique todos los elementos de ventilación (ventiladores, ductos, anemómetros, puertas, muros, reguladores) y que trabaje de la mano con las áreas de planeamiento y operaciones con el fin de tener el conocimiento previo de aquellas nuevas labores que puedan afectar el sistema de ventilación.

Cada una de las personas que ingresen a las minas debe conocer el circuito de ventilación, esto con el fin de que conozcan la importancia de no afectar el funcionamiento del mismo, a través de malas prácticas como lo son: dejar las puertas de ventilación abierta, apagar los ventiladores, dañar los ductos de ventilación, golpear las puertas de ventilación entre otras; se debe fomentar el sentido de pertenencia entre todos los trabajadores para que sean los primeros en reportar cualquier cambio en todos los elementos del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA. (Junio de 2017). Estadísticas 2005 -2016. Obtenido de https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras

B. BELLE, Real-time air velocity monitoring in mines - a quintessential design parameter for managing major mine health and safety hazards, 13th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 2013, 184-198.

BRIEF RS; SCALA RA: Occupational health aspects of unusual work schedules: a review of Exxon's experiences. Am Ind Hyg Assoc J 47(4):199-202 (1986).

CASTRO, William. Determinación del punto de operación y de la curva característica de un ventilador en funcionamiento. En Revista: Avances en recursos hidráulicos, Numero 1 1993, Medellín, pag 97-102.

GÓMEZ ESCOBAR, Gabriel Alberto. Caracterización del sistema principal de ventilación de la mina el Bloque, c.i cardinales. Trabajo de grado. Ingeniero de Minas. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Escuela de Materiales, 2007. 69 pp.

LEAL PÉREZ, Ricardo Javier y RUIZ CORONADO, Alexis José. Caracterización y sistematización de la ventilación de la mina de caliza, cementos el Cairo S.A. Trabajo de grado. Ingenieros de Minas. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Escuela de Materiales, 2003. 189 pp.

LUQUE, V. C., Manual de ventilación de minas. Pedeca S. Coop. Ltda, España. 1988

MCPHERSON, M J, 2009. Subsurface Ventilation Engineering, Publicado por Mine Ventilation Services, Inc., USA.

MONSALVE, J. y LEMA, M.. Construcción y prueba de un ventilador vanoaxial, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Medellín. 1989

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento de seguridad en las labores subterráneas, Decreto 1886 (2015).

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Republica de Colombia., 1987, Normas sobre ventilación y control de polvos en las explotaciones mineras. Ministerio de

Minas y Energía. 1987 Reglamento de seguridad en las labores subterráneas, Decreto 1335.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Republica de Colombia. Explosión en Carbones San Fernando Mina San Joaquín, 2010, <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/6305.pdf>

MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL 2002. Clasificación de Actividades Económicas para el Sistema General de Riesgos Profesionales y se dictan otras disposiciones. Decreto 1607.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA 2001. Guías Minero Ambientales.

PAUSTENBACH DJ: Pharmacokinetics and Unusual Work Schedules. In: Patty's Industrial Hygiene, 5th ed., Vol. 3, Part VI, Law, Regulation, and Management, Chap. 40, pp. 1787-1901. RL Harris, Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York (2000).

SENA. (1987). Módulos para la formación profesional en Minería: Ventilación. Sogamoso.