

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN
PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ,
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.**

ALFONSO ANDRÉS CARRASCAL BUELVAS

CAMILO ANDRÉS MANZUR ÁMEL



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

ESCUELA INGENIERÍA DE MINAS

SECCIONAL SOGAMOSO

2014- II

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN
PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ,
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.**

ALFONSO ANDRÉS CARRASCAL BUELVAS

CAMILO ANDRÉS MANZUR ÁMEL

**Proyecto de grado, modalidad Monografía, presentado como requisito para
optar el título de ingeniero en minas**

DIRECTOR DEL PROYECTO:

SEGUNDO MANUEL ROMERO BALAGUERA

**INGENIERO EN MINA. Esp. GERENCIA DE TALENTO HUMANO,
ESPECIALIZADO EN SALUD OCUPACIONAL Y PREVENCION DE RIESGOS
LABORALES Y AMBIENTE DE SEGURIDAD DE MINAS DE ALES FRANCIA.**



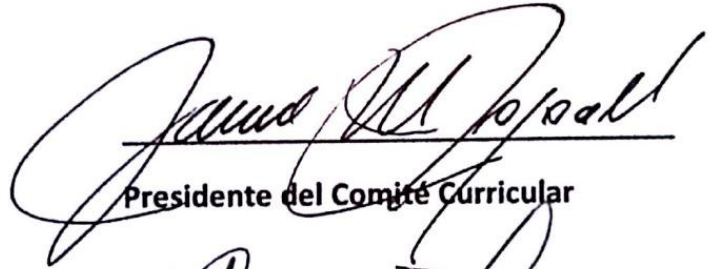
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

ESCUELA INGENIERÍA DE MINAS

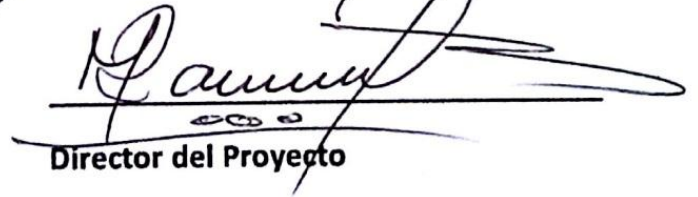
SECCIONAL SOGAMOSO

2014- II

NOTA DE ACEPTACION



Presidente del Comité Curricular



Director del Proyecto



Jurado



Jurado

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA SEDE SECCIONAL SOGAMOSO, RESIDE
EN LA MISMA, POR LO TANO NO RESPONDE DE LAS OPINIONES
EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN.

*Ante todo enorme gracias a Dios por
permitirme llegar hasta este punto de
nuestras vidas con salud, infinitas gracias a
el quien fue el que me guio en cada uno de los
pasos hacia este camino.*

*A mi familia Manzur Amel, a mi papa
Carlos Manzur quien me ha enseñado a
triunfar a pesar de los inconvenientes que se
tengan, a mi madre Lania Amel que me ha
enseñado a mantener la frente en alto a pesar
de las circunstancias, a cada uno de mis
hermanos Carlos, Felipe e Iván Manzur,
por su apoyo y compañía, a mis chiquitinas
que son la gran bendición de las dos familias
Lanna y Natalia.*

*A esa mujer incondicional (Yunibeth) que
se encuentra actualmente a mi lado que ha
sido de gran apoyo en cada una de mis
decisiones le agradezco enormemente toda su
colaboración y amor durante tanto tiempo.*

*y por ultimo a todas mis amistades que me
apoyaron y depositaron su confianza en mí,
penche, Wendy, jca, miguel, orla, mi yoyo,
jee, el indie, clau, mauric, tere, sikkyn, nuñez
y los que falten no se olvidan no los nombro
por espacio un abrazo a todos ellos.*

Gracias...

CARLOS MANZUR

A **Dios** ante todo por sus bendiciones de dejarme alcanzar una meta tan grande.

A mi madre **Elsa Buevas** pilar fundamental en la construcción de un sueño, por sus consejos llenos de verdad y firmeza.

A mi padre **Geovanny Carrascal** que con su confianza me brindo la seguridad en un camino desconocido. A mis hermano **Jorge rojas, Johana Carrascal y demás familiares.**

A mi amiga **Wendy Muñoz** con una amistad firme, a compañeros que hicieron posible esto como **Yunibeth, Freddy, Rene** y todos.

A mi novia **Yusne Guerra** que con su amor fue mi motor fundamental en el logro de esta meta que es tuya mi amor.

A mi primo **John Silva** que desde el cielo me guio a seguir avanzando que desde el inicio de mi carrera siempre me apoyo.

A todos aquellos que siempre me han apoyado **GRACIAS.**

AGRADECIMIENTOS A:

Los autores expresan sus agradecimientos:

EMPRESA COOPCARBON

ESTRELLA MOLINA, Ingeniera en minas. Gerente Coopcarbon

SEGUNDO ROMERO, Ingeniero en minas. Director del proyecto.

TOMAS CHARRIS, Ingeniero en minas. Asesor metodológico del proyecto.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Por permitirnos la realización del proyecto en sus instalaciones y el cuerpo de docentes.

A compañeros y amigos que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

RESUMEN

Para dar cumplimiento a las mejoras de este servicio, es necesario evaluar aspectos como el peso del aire, área de diferentes labores, obstáculos y sostenimientos que se encuentran en las vías para el flujo del aire, abertura equivalente de la mina y un factor importante, la pérdida de carga de la mina. Una eficiencia de estos lleva a tener una atmosfera de la mina en óptimas condiciones para los trabajadores. Implementando equipos que nos permitan utilizar los conocimientos técnicos racional y mejoren el desempeño de la mina en cuanto a ventilación se refiere, para esto el manejo de las presiones se hace necesario aumentar el área de las vías donde circula la corriente de aire.

En cuanto a las mejoras que se le quiera realizar a uno de los servicios principales en una mina como lo es la ventilación hay que tener en cuenta el comportamiento tanto del aire como de los gases que se presentan en los distintos tipos de minería bajo tierra y en nuestro caso las de carbón que tienen un gas para tener mucha precaución que es el metano (CH_4) o la combinación con el aire y polvo de carbón que forma el grisú. Estos gases mencionados por medio de mediciones se le realizó un estudio de emanación para de esta manera reducirlo a su menor presencia posible, en las labores donde se concentran las operaciones de extracción, vías de retorno y circuito principal.

El proyecto finaliza con una serie de recomendaciones las cuales tienen como finalidad solucionar los inconvenientes que pueden presentarse en el proceso de la elección de la ventilación en un proyecto de explotación de carbón subterránea y evitar de esta manera inconvenientes económicos, ambientales y sociales.

INTRODUCCIÓN

Debido que la ventilación es el servicio principal para mantener seguro el sitio de trabajo y los trabajadores; la mina "EL MARACAIBO" ha buscado evaluar y mejorar, para cumplir con las normas técnicas adecuadas y establecidas en el presente código de minas.

Por medio del proyecto queremos brindar seguridad y beneficiar a los mineros empleados en esta mina, debido a que esta se considera medianamente grisutosa, donde se presentan serias anomalías en cuanto a la ventilación se refiere, por tal razón se busca mejorar la ventilación y hacer recomendaciones que estén en nuestras capacidades, para así reducir los riesgos a los cuales están presentes las personas que laboran dentro de ella.

Para una buena evaluación de la mina es importante calcular e identificar, cantidad de aire requerido en la mina, pérdida de cargas de las vías, producción abertura equivalente y personal dentro de la mina para realizar los cálculos requeridos en las mejoras de la ventilación. Establecer una red adecuada para mantener un circuito principal de ventilación definido que cumpla con las necesidades de la mina.

El objetivo fundamental de la ventilación es el de proporcionar un ambiente seguro, saludable y en lo posible cómodo para los mineros esto se puede lograr con un acondicionamiento del aire que circula a través de las diferentes labores subterráneas.

Tener un ambiente limpio y en óptimas condiciones como lo exige la norma de seguridad, brinda eficiencia a la empresa y por ende a los trabajadores. Para cumplir con esto fue primordial tomar datos de la temperatura, velocidad del aire, área de las labores y observaciones de características de la mina, posterior a esto se realizaron los respectivos cálculos y análisis necesarios para la interpretación del comportamiento del aire.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	17
1 GENERALIDADES	18
1.1 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO	18
1.2 RASGOS FISIOGRAFICOS.	20
1.2.1 Hidrografía y Fisiografía.	19
1.2.2 Clima y Vegetación	19
1.3 GEOLOGÍA	20
1.3.1 Geomorfología.	19
1.3.2 Estratigrafía.	20
1.3.3 Geología estructural.	20
1.3.4 Fallas.	21
1.3.5 Geología del yacimiento.	23
1.4 ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES DE LA MINA.	25
1.4.1 Infraestructura en superficie.	24
1.4.2 Infraestructura en Bajo Tierra.	25
2 EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EXISTENTE.	28
2.1 OBJETIVO DE LA VENTILACIÓN.	28
2.2 TIPO DE VENTILACIÓN EMPLEADA.	28
2.2.1 Ventilación principal.	27
2.2.2 Ventilación auxiliar.	27
2.3 CAUDALES ACTUALES DEL CIRCUITO PRINCIPAL DE VENTILACION.	28
2.4 ATMOSFERA DE LA MINA.	29
2.4.1 Temperatura.	33
2.4.2 Humedad.	33
2.4.3 Clima.	33
2.4.4 Polvo de carbón.	40
2.5 INDICE DE RESISTENCIA DE LA MINA.	42
2.6 DESGASIFICACIÓN DE LA MINA	41
2.6.1 El grisú (Metano)	42
2.6.2 Efectos fisiológicos	42
2.6.3 Límites de inflamabilidad en mezclas con el aire.	42
2.6.4 Presencia del grisú en el carbón	43
2.6.5 Tipos de desprendimientos del grisú.	43
2.6.6 Distribución de los puntos de desprendimiento del Grisú	43
2.6.7 Influencia de la ventilación.	44
2.6.8 Método aproximado para calcular la desgasificación del metano.	44
3 PROPUESTA DE LA RED PRINCIPAL DE VENTILACIÓN	47
3.1 LABORES MINERAS PROYECTADAS PARA EL CIRCUITO DE VENTILACIÓN.	47

3.1.1 Labores de desarrollo.	46
3.1.2 Labores de preparación.	46
3.1.3 Análisis comparativo de los métodos de explotación.	46
3.1.4 Selección del método de explotación.	48
3.2 CÁLCULO DE LA RED DE VENTILACIÓN.	51
3.2.1 Cálculo del caudal requerido de aire de la mina.	50
3.2.1.1 Cálculo del caudal de aire necesario según desprendimiento de metano (Q_{ch4}).	50
3.2.1.2 Cálculo para respiración del personal.	51
3.2.1.3 Cálculo para consumo de explosivo.	51
3.2.1.4 Cálculo por maquinaria.	52
3.2.1.5 Caudal total que debe ingresar a la mina.	52
3.2.2 Cálculo de la resistencia total del circuito de la mina.	53
3.2.3 Perdida de la carga del circuito de ventilación.	54
3.2.4 Cálculo de la abertura equivalente de la mina.	54
3.2.5 Cálculo y selección del ventilador principal.	55
3.2.5.1 Cálculo de la potencia útil de la ventilación.	55
3.2.5.2 Selección del ventilador principal.	55
3.2.5.3 Eficiencia del ventilador.	57
3.2.5.4 Instalación del ventilador principal.	58
3.3 MODIFICACIÓN DE LA REPARTICIÓN DEL AIRE.	61
3.3.1 Aspectos complementarios relativos a la distribución del aire.	60
3.3.2 Puertas de ventilación.	60
3.3.2.1 Ubicación de las puertas de ventilación.	61
3.4 TABLERO DE CONTROL DE GASES Y VENTILACIÓN.	62
3.4.1 Tablero de control de gases.	61
3.4.1.1 Ubicación de los tableros de control de gases.	62
3.4.2 Tableros de ventilación	62
3.4.2.1 Ubicación de los tableros de ventilación.	63
4 INVERSIONES Y COSTOS DE LA VENTILACIÓN	65
4.1 INVERSIONES.	65
4.1.1 INVERSIÓN DE EQUIPOS.	65
4.1.2 INVERSIÓN DE INSTALACIONES.	65
4.2 CONSUMO DE ENERGÍA	66
4.3 SUPERVISIÓN	66
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFIA	69
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
CUADRO 1: COORDENADAS DEL POLÍGONO DEL CONTRATO HFD - 082.	18
CUADRO 2: SÍNTESIS CLIMATOLÓGICA.....	20
CUADRO 3: INFRAESTRUCTURA EXTERIOR DE LA MINA.....	26
CUADRO 4: INTERIOR DE LA MINA	27
CUADRO 5: TURNO DE TRABAJO	27
CUADRO 6: SÍNTOMAS EN PERSONA SEGÚN LA PROPORCIÓN DE OXÍGENO.	30
CUADRO 7: SÍNTOMAS EN PERSONAS SEGÚN LA PROPORCIÓN DE CO ₂ DEL AIRE.	31
CUADRO 8: CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMITIDAS DEL METANO.	32
CUADRO 9: UBICACIÓN DE LOS GASES EN LA ATMÓSFERA DE LA MINA.	34
CUADRO 10: EFECTOS EN EL CUERPO POR LA HÚMEDA.....	34
CUADRO 11: TEMPERATURA EFECTIVA EN LOS AFOROS.	36
CUADRO 12: CONDICIONES AMBIENTALES DE LA MINA.	38
CUADRO 13: CLASIFICACIÓN DE LA MINA SEGÚN LA HUMEDAD RELATIVA.	39
CUADRO 14: PRESIÓN BAROMÉTRICA	40
CUADRO 15: PESO ESPECÍFICO DEL AIRE	41
CUADRO 16: RESISTENCIAS DE LA MINA.	42
CUADRO 17: PRODUCCIÓN POR TURNOS EN EL TAJO.....	51
CUADRO 18: TURNO DE MAYOR PERSONAL.	52
CUADRO 19: CAUDALES REQUERIDOS POR CADA PARÁMETRO.....	53
CUADRO 20: PRESIÓN ESTÁTICA DE LA MINA.	57
CUADRO 21: ESPECIFICACIONES DEL VENTILADOR PRINCIPAL.....	58
CUADRO 22: EFICIENCIA DE LOS VENTILADORES PRINCIPALES.	59
CUADRO 23: AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN ANUAL POR EQUIPOS DE MEDICIÓN.	65
CUADRO 24: AMORTIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES POR ANUALIDAD DE LA VENTILACIÓN.....	65
CUADRO 25: CONSUMO DE ENERGÍA DEL VENTILADOR PRINCIPAL.....	66
CUADRO 26: COSTO DE LA SUPERVISIÓN POR TONELADA.....	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Localización de la mina.	18
Figura 2: Multidetector de gases.	32
Figura 3: Psicrómetro de aspiración.	34
Figura 4: Anemómetro	38
Figura 5: Desgasificación del metano de un día	45
Figura 6: Conducción de la corriente de ventilación para tajo largo.	47
Figura 7: Conducción de la corriente de ventilación	48
Figura 8: Conducción del aire a los tajos por el sistema de Ventilación “U en avance”.	49
Figura 9: Cálculo de la resistencia de la vía.	53
Figura 10: Instalación del ventilador principal.	59
Figura 11: Puerta de ventilación.	61
Figura 12: Tablero de control de gases	62
Figura 13: Tablero de control de ventilación.	63

LISTA DE PLANOS

Plano 1: Geología.

Plano 2: Perfiles.

Plano 3: Labores actuales.

Plano 4: Circuito principal de ventilación.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

ANEXO B: AFOROS DE VENTILACIÓN

ANEXO C: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TEMPERATURA EFECTIVA

ANEXO D: NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE PESO ESPECIFICO DEL AIRE.

ANEXO E: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA

ANEXO F: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS VIAS.

ANEXO G: SECCIONES DE LAS VÍAS

ANEXO H: GRAFICO PSICROMETRO

ANEXO I: CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR

ANEXO J: CD EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

Carpetas contenidas en el ANEXO J CD.

2.1 Carrascal y Manzur. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. (doc en Word).

Portadas, complementarios, capítulos.

2.2 Carrascal y Manzur. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. (doc en PDF).

Presentación de la sustentación.

Artículo publindex. EMANACIÓN DEL GRISU Y PROPAGACIÓN DE POLVO DE CARBON.

Cartulina. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

Anuario. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

Anexos. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA VENTILACIÓN PARA LA MINA “EL MARACAIBO” MUNICIPIO DE SAMACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

Figuras, planos, cuadros, otros.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y proponer un nuevo flujo de aire, en la mina EL MARACAIBO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer las condiciones físicas de la mina en cuanto a su estructura geológica, fisiografía y las labores presentes en esta.
- Evaluar y diagnosticar una solución para los sitios que presenten mucha turbulencia de polvo de carbón y presencia de metano.
- Proponer y calcular el circuito de ventilación y caudales que deben suministrarse, para diluir gases, flujo de aire por cada hombre presente en las labores subterráneas, selección del ventilador y ubicación de los tableros de control.
- Estimar los costos de la inversión y consumo de energía del ventilador.

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

La zona de estudio se encuentra ubicada a 10 Km al suroeste del Municipio de Samacá en la vereda Salamanca, distante 30 Km de Tunja y 160 Km de Santa Fe de Bogotá y comprende un área de 80 Has y 1.908 m² (ver Figura 1).

Samacá se comunica con Tunja por una vía pavimentada; de Samacá parte una vía sin pavimentar en buenas condiciones que se dirige a los municipios de Guachetá, Lenguaque y Uvate. En el Km 4 vía Samacá-Guachetá hay un carretable en buen estado que desvía a la Vereda Salamanca donde se localiza el área de estudio y la mina de Acerías Paz de Río; de esta vía se desprenden carretables en buen estado que conducen a las diferentes bocaminas.

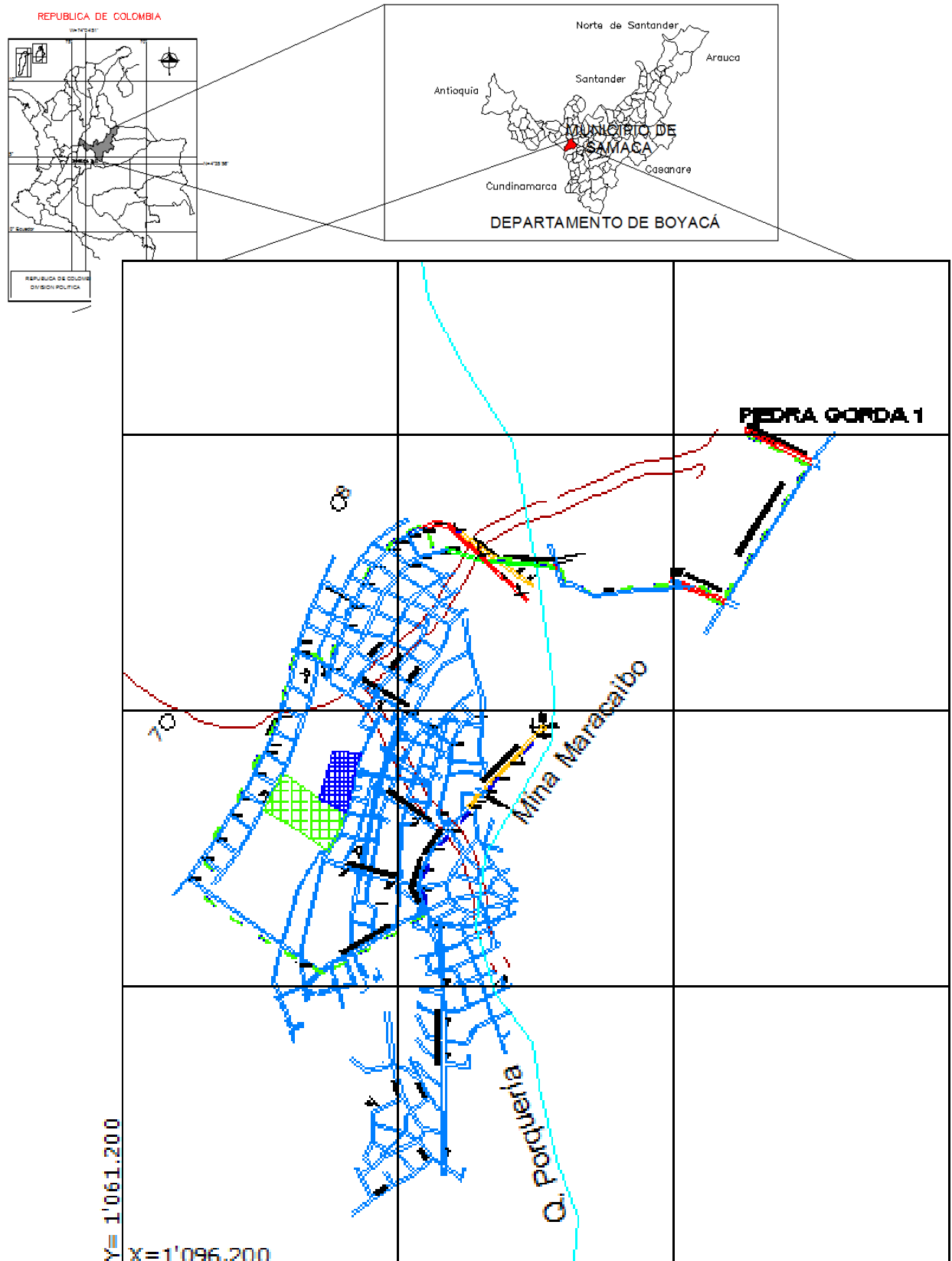
El área del contrato HFD - 082 de la Cooperativa Carbonera de Samacá, se encuentra enmarcada dentro del polígono descrito (ver cuadro 1).

Cuadro 1: Coordenadas del Polígono del Contrato HFD - 082.

PUNTO	NORTE	ESTE
1	1'097.077,000	1'061.923,000
2	1'096.750,000	1'061.668,000
3	1'096.745,000	1'061.664,000
4	1'096.316,000	1'062.215,000
5	1'095.921,000	1'061.907,000
6	1'096.351,000	1'061.356,000
7	1'096.192,000	1'061.232,000
8	1'095.633,000	1'061.947,000
9	1'095.603,000	1'061.985,000
10	1'096.663,000	1'062.812,000
11	1'096.880,000	1'062.534,000
12	1'096.707,000	1'062.398,000

Fuente: COOPCARBÓN.

Figura 1: Localización de la mina.



1.2 RASGOS FISIOGRAFICOS.

1.2.1 Hidrografía y Fisiografía. La red hidrográfica del sector pertenece a la cuenca del río Magdalena, el principal río del área de estudio es el Gachaneca, el cual recorre la región de sur a norte, los principales afluentes son la quebrada Tintoque, tres chorros y la Puerquera, que se localiza cerca al sitio de estudio. La fisiografía presente es semiabrupta y está compuesta por intercalaciones de areniscas y arcillolitas cuyas alturas oscilan entre los 2700 y 3400 m.s.n.m.

1.2.2 Clima y Vegetación. El municipio de Samacá se encuentra a una altura de 2600 m.s.n.m. en la parte plana y alcanza en las laderas una altura de 3000 m.s.n.m., la mina El Maracaibo se encuentra a una cota de 2766,953 m.s.n.m. presentando un clima frío, y una temperatura de 12,8 grados centígrados según el Himat.

La textura de los suelos varía de arcilloso a franco-arcillo arenoso y son aptos para cultivos de clima frío, como la papa, trigo, la cebada, la arveja, hortalizas como cebolla cabezona, remolacha y repollo. Otras plantaciones que se encuentran en el área son pinos y eucaliptos, utilizados en los trabajos mineros para la entibación, tolvas, carrileras, etc.

A continuación se muestra una síntesis climatológica del área de estudio tomadas por el Himat (ver cuadro 2).

Cuadro 2: Síntesis climatológica.

Factor	Valor
Precipitación	726 mm
Temperatura	12,8 °C
Brillo solar	5,8 h/día
Velocidad del viento	2,2 m/seg
Humedad relativa	78 %
Evaporación	1423 mm
Evapotranspiración	1071 mm

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial de SAMACÁ. Boyacá. 2000.

1.3 GEOLOGÍA¹

1.3.1 Geomorfología. La composición litológica y la acción de algunos agentes erosivos determinan las geoformas presentes en el área estudiada.

Las mayores pendientes se desarrollan sobre las areniscas presentes hacia el sur y sobre las arcillolitas compactas intercaladas con bancos de arenisca cuarzosa

¹ LOPEZ, julio. Geología Samacá. 1991.

representando una zona de resistencia media.

Otra zona diferenciada muestra una topografía suavemente ondulada destacando valles y laderas poco inclinadas cuya erosión es facilitada por los cursos de aguas superficiales. Litológicamente predominan arcillolitas y mantos de carbón constituyendo una zona de resistencia baja; por lo cual se reconocen algunos carcavamientos.

Como evidencia de la caída de bloques debido al fracturamiento de las rocas, aparece un considerable número de estos esparcidos a lo largo y ancho de las zonas más bajas.

Dentro de los factores que ayudan al proceso activo de la erosión manifestados por escurrimientos, deslizamientos y cárcavas debido a la susceptibilidad de los miembros de la Formación Guaduas a desarrollar subsidencias se pueden incluir los agentes tectónicos, hídricos y la actividad antrópica.

1.3.2 Estratigrafía. Estratigráficamente en la región afloran rocas sedimentarias, correspondientes a las formaciones: Grupo Guadalupe Superior, Formación Guaduas, Formación Cacho y depósitos cuaternarios.

En este informe se describe la litología de la Formación Guaduas que se encuentra dividida en cinco niveles del Ktg 1 al Ktg 5, de los cuales se hará una descripción detallada del nivel Ktg 3 en el cual se encuentran los mantos que se explotan en la zona de estudio.

- **Nivel Ktg 3.** Este nivel es el de mayor importancia en el presente estudio ya que contiene los mantos de carbón que se explotan en el área. Se encontraron cuatro mantos y aunque estos no afloran se localizaron con base en los trabajos mineros que se llevan en la zona. Básicamente este nivel está constituido por arcillolitas y lodolitas grises a grises oscuras muy compactas y resistentes, con estratificación plana paralela, a veces laminar; también se presentan esporádicos niveles de arcillolitas carbonosas y cintas de carbón con espesores inferiores a 0,4 m. Dentro de este nivel se encontraron dos paquetes de areniscas: la superior que se tomó como límite superior de este nivel, presenta un espesor total de 8,0 m. aproximadamente; es una arenisca de grano medio a fino de color blanco amarillento con estratificación cruzada, en partes con pequeños niveles arcillosos. El otro paquete de areniscas se localiza hacia la parte media del nivel con un espesor de aproximadamente 6,0 m. constituido por areniscas compactas de grano medio de color blancuzco a gris amarillento, con estructuras sedimentarias en forma de celdas. Estos dos niveles de areniscas sirven como guías estratigráficas para el seguimiento y correlación de los mantos de carbón presentes en la zona.

Este nivel tiene un espesor total de 200 m aproximadamente, según las líneas de los cortes geológicos, y suprayace normalmente al nivel Ktg 2 e infrayace al nivel Ktg 4.

1.3.3 Geología Estructural. La situación estructural de la zona de estudio es

relativamente compleja ya que se encuentra ubicada en el cierre del Sinclinal de Checua-Lenguazaque-Samacá, el cual es afectado por fallas de tipo normal, inversas y transversales.

Estructuras Regionales. Las estructuras involucradas en este estudio a nivel regional corresponden a una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes tienen dirección NE-SW, desde la Sabana de Bogotá hasta la frontera con Venezuela.

Sinclinal de Checua-Lenguazaque-Samacá. Es la principal estructura regional, su eje tiene una dirección NE-SW y se desarrolla por más de 40 Km desde el borde norte de la Sabana de Bogotá hasta el valle de Samacá donde pierde su continuidad por acción de diversas fallas.

Sus flancos son asimétricos presentando buzamientos promedios en el flanco oeste de 40° y en el este de 55° a 60°; sin embargo sobre el cierre del sinclinal cerca de Samacá los estratos presentan buzamientos menores, en partes prácticamente son horizontales. Su núcleo está conformado por los estratos de las formaciones Cacho, Bogotá y al parecer remanentes de la Regadera mientras que los flancos lo conforman las formaciones Guaduas y los estratos del grupo Guadalupe.

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre el cierre del sinclinal donde se presentan subpliegues y diversas fallas que distorsionan la formación Guaduas y por lo tanto los carbones de dicha formación.

Sinclinal de Salamanca. Es una estructura local cuyo eje tiene una dirección predominante NE-SW. Los flancos están constituidos por rocas de la formación Guaduas y los buzamientos de estos varían entre 25° y 55°NW. Esta estructura hacia la parte sur es amplia mientras que al norte se va cerrando y se determinó con base en los datos estructurales tomados en las labores mineras del área; la parte axial del sinclinal se encuentra afectada por la Falla Tres Chorros, mientras que el flanco oriental se ve afectado por la Falla El Triunfo. El flanco occidental forma parte del anticlinal de Salamanca.

Anticlinal de Salamanca. Esta estructura tiene una dirección NE-SW y es de tipo simétrico; sin embargo hacia el sur la estructura se presenta más amplia, es decir buzamientos bajos (25° a 30°), mientras que al norte sufre un apretamiento como consecuencia del acúñamiento que muestran las fallas Tres Chorros y Salamanca. El flanco occidental de esta estructura en la parte norte está afectado por una serie de fallas que interrumpen la continuidad de los carbones en este sector.

1.3.4 Fallas. La zona de estudio se encuentra afectada por fallas regionales en su mayoría de tipo inverso con rumbo predominante al NE. Estas fallas originan otras dislocaciones múltiples complejas a nivel local. Las cuales afectan directamente los mantos de carbón variando su espesor e interponiendo la continuidad de estos.

- **Falla Gachaneca-Tintoque-Cucunubá.** Es un evento tectónico de tipo regional inverso con ángulo alto; esta falla disloca el flanco oriental del sinclinal Checua -

Lenguazaque - Samacá. En el área de estudio tiene un rumbo nordeste colocando en contacto la formación Guadalupe superior con los niveles inferiores del Guaduas, es decir que el bloque sudeste se levanta con respecto al bloque noroeste.

- **Falla Quebrada Grande.** Es una falla de cabalgamiento tiene una dirección regional SW-NE con una longitud aproximada de 6 Km su desplazamiento vertical es bastante amplio. El bloque oriental levantado afecta principalmente los estratos superiores de la formación Guaduas y parte de la formación Cacho.

La situación estructural de la zona de estudio a nivel local nos indica una tectónica típicamente compresiva donde los eventos dominantes son la Falla Quebrada Grande y la Falla Cucunubá-Tintoque las cuales son regionales y dan origen a fallas menores y plegamientos de tipo sinclinal-anticlinal.

La formación Guaduas es la más afectada por el tectonismo debido a su carácter esencialmente arcilloso. Las estructuras y eventos tectónicos se determinaron mediante observación directa en el campo y con los datos tomados en las labores subterráneas que se adelantan en la zona.

Fallas Locales. Los eventos tectónicos locales en general son de tipo inverso y normal los cuales tienen una dirección predominante N-NE. Estas fallas afectan directamente los mantos de carbón explotables de la zona variando su espesor e interrumpiendo la continuidad de estos en profundidad.

- **Falla Tres Chorros.** Es una falla de tipo inverso con una dirección preferencial NE y buzando al NW. Esta afecta en la zona de estudio a las rocas de la formación Guaduas; en la parte sur disloca el flanco oriental del sinclinal de Salamanca mientras que al norte afecta el flanco occidental. Esta falla se observó en los trabajos subterráneos de las minas La Playa, Las Acacias y San Cayetano, la cual afecta la continuidad de los mantos de carbón presentes en la zona.

- **Falla de Salamanca.** Esta falla se localiza en la parte occidental de la zona estudiada y es de tipo inverso; en la parte sur tiene una dirección N-S y hacia el norte se encuentra enmascarada por un depósito cuaternario. Sin embargo se asume que la dirección cambia a NE y buza al noroeste. Este evento está evidenciado por la dislocación que sufre la arenisca del límite superior del nivel KTg3. Esta falla afecta las rocas de la formación Guaduas y el extremo occidental del anticlinal de Salamanca.

- **Falla La Quebrada.** Es una falla satélite de la falla Cucunubá-Tintoque y tiene una dirección predominante Norte-Sur con buzamiento hacia el oeste. Esta falla afecta los carbones en la parte norte del área de estudio.

Esta se determinó con base en el lineamiento de la Quebrada Tintoque y con base en información de una mina abandonada propiedad del Señor Clímaco Fonseca.

- **Falla La Puerquera.** Este es un evento tectónico de tipo normal con un rumbo N-S

y buzamiento hacia el oeste. Esta falla afecta los carbones del bloque 3 y va a cerrar en la falla Salamanca. Fue determinada por observación directa en las minas Maracaibo y El Moral, además coincide con el lineamiento de la Quebrada La Puerquera.

- **Falla El Triunfo.** Es un evento tectónico localizado entre la falla Tres Chorros y la falla La Quebrada. Es una falla de tipo normal con dirección NE y buzamiento al SE, la cual interrumpe la continuidad de los carbones en las minas La Playa, Buenavista, Las Acacias (Inactiva), y El Triunfo. Esta falla separa el bloque 1 del bloque 2; además se evidenció por la interrupción de la arenisca inferior del nivel Ktg 3.

- **Falla La Tolva.** Es un evento tectónico de tipo normal con una dirección NW buzando al NE al parecer es de gran desplazamiento y se encuentra delimitada al oeste por la falla de Salamanca y al este por la falla Tres Chorros. La falla La Tolva limita al bloque 3 en la parte norte; de igual manera afecta la continuidad de los carbones en este bloque. Esta falla se determinó con base en los datos tomados en la mina La Pintada y en la mina San Francisco de los señores Pamplona.

- **Falla El Cerrito.** Es una falla inversa con dirección predominante NW y buza al SW, se encuentra limitada por las fallas La Tolva y Salamanca. Esta se determinó por información obtenida en la mina El Cerrito, además por la repetición de las areniscas guías las cuales se observan sobre la carretera que de Samacá conduce a la escuela de Salamanca.

- **Falla La Pintada.** Es una falla de acomodamiento de tipo inverso, aunque su longitud es pequeña el desplazamiento parece ser alto. Esta se encuentra entre la falla La Tolva y la falla El Cerrito, tiene una dirección NE y buza al NW.

1.3.5 Geología del Yacimiento. Las actividades de campo se orientaron principalmente a la cartografía geológica y a la definición de los diferentes mantos de carbón los cuales pertenecen al nivel Ktg 3 de la formación Guaduas. Estos mantos fueron localizados por medio de inclinados en roca y cruzadas que cortan los mantos (Siete Bancos, Veta Grande, La Tercera y la Segunda); la determinación de la continuidad lateral se apoyó en la información obtenida a partir de la actividad minera relacionándola con los intervalos estratigráficos, lo cual permitió ubicar tanto en los mapas como en las columnas estratigráficas las diferentes capas de carbón.

Los mantos de carbón definidos en el área de estudio son cuatro, descritos de base a techo de la siguiente manera:

- **Manto La Segunda,** es un manto de aspecto brillante de un espesor total de 1,0 m. distribuido de base a techo así: 0,5 m. Carbón; 0,15 m. intercalación de arcillolitas gris; 0,35 m. Carbón.

- **Manto La Tercera,** se localiza por encima del anterior a unos 30 metros, presenta aspecto brillante a semibrillante con alternancia de bandas brillantes y opacas, tiene

un espesor total de 1,15 m. distribuidos de base a techo así: 0,65 m. Carbón; 0,05 m. arcillolitas laminar y 0,45 m. Carbón.

- **Manto Veta Grande**, se encuentra a 50 metros estratigráficos de la anterior, es un manto de aspecto semibrillante, tiene un espesor que varía entre 1,90 m. y 2,30 m; en general se presenta limpio y de carácter semiduro.

- **Manto Siete Bancos**, se ubica 32 metros por encima del anterior, es un manto semibrillante a opaco con presencia de intercalaciones arcillosas; el espesor total de este manto varía entre 0,95 m. y 1,2 m. distribuidos de base a techo así: 0,5 m. Carbón; 0,35 m. arcillolitas laminar y 0,35 m. Carbón.

1.4 ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES DE LA MINA.

En la mina **El Maracaibo** cuenta con un área de estudio donde se tiene el inclinado principal de transporte con una inclinación de 60°, en algunos sectores su pendiente varía entre 65° y 70°. La actividad en el área se ha enfocado a la extracción del carbón, las labores se desarrollan en el manto la grande, donde esta cuenta con un ventilador principal (Extractor) de 2.5 Hp y es utilizado como vía principal de transporte y retorno de la ventilación. También se cuenta con un inclinado de ventilación donde actualmente esta labor no se encuentra en servicio de transporte de material o personal y es utilizada principalmente como entrada de la ventilación.

1.4.1 Infraestructura en Superficie. La evaluación de las labores en el exterior de la mina la gran mayoría se encuentran en buen estado (ver cuadro 3).

Zona de Almacenamiento de Madera. Tiene un área superficial de 4m² aquí se almacenan transitoriamente las cantidades adecuadas para el sostenimiento de la mina El Maracaibo. Son llevadas a bocamina donde la cargan en la vagoneta la cual esta cumple con el servicio de llevarlas a bajo tierra y de ahí son llevadas al frente de trabajo.

Caseta del Malacate. Es una caseta de madera donde se encuentra ubicado el malacate que se conecta con una vagoneta mediante un cable de acero para transportar la carga producida bajo tierra en los frentes de explotación.

Tolva de Almacenamiento. Es el sitio donde se almacenan los carbones correspondientes a la producción diaria que la vagoneta transporta del interior de la mina la cual tiene un capacidad de 200 toneladas, esta tolva se encuentra recubierta con saco para lograr mitigar la emanación de material particulado.

Señalización. Las aéreas de trabajo deben contar con la señalización de rutas, operaciones agentes de riesgos y de peligro tanto en superficie como bajo tierra, en esta mina se encuentra gran parte de la señalización.

Cuadro 3: Infraestructura exterior de la mina.

Labor	Estado
Vías de acceso	En buen estado
Campamento	En buen estado
Baños	En buen estado
Duchas	En buen estado
Manejo de basura	Almacenamiento en tanques
Taller	No tienen
Equipos	En buen estado
Centro de acopio	En buen estado
Tolva	En buen estado
Malacate	En buen estado

Fuente: Investigación del proyecto.

1.4.2 Infraestructura en Bajo Tierra. La evaluación de este se muestra posteriormente (ver cuadro 4).

Labores De Desarrollo

Inclinado principal de transporte: Esta labor cuenta actualmente con una longitud de 180 metros desde bocamina, se avanza en roca hasta encontrar el manto con rumbo SurOeste (SW), con inclinación de 70°, la vía cuenta con tramos de secciones variadas, ya que esta es por donde retorna la ventilación.

Inclinado principal de ventilación: Esta vía cuenta con una longitud de 100 metros con rumbo EsteOeste (EW), con inclinación 45°, donde la labor fue avanzada en roca, comunica con los niveles de preparación.

En la evaluación de la ventilación se observó que esta labor cumple con las condiciones adecuadas para el ingreso del aire.

Ventana: Esta labor también es en roca a diferencia de los inclinados es de menor sección y longitud, esta comunica con el nivel 6 de preparación; en la evaluación de la ventilación se observa que su área es muy pequeña para cumplir con los servicios de ventilación y descargue.

Inclinado interno de transporte: Este inclinado es en roca tiene una longitud total de 170 metros y una inclinación de 27°, comunica desde el nivel 1, hasta el nivel 9. Esta labor es utilizada como transporte interno, su sección es uniforme; en la evaluación de la ventilación se observó que presenta temperaturas estables, con óptimos caudales.

Labores de preparación. Estas labores tienen como objetivo principal dividir el yacimiento en bloques, sectores y niveles de explotación.

Tambores: Estos llevan una secuencia paralela cada 20 metros, estas labores van sobre el buzamiento de los mantos.

Nivel: Los encontramos perpendicularmente a los tambores cada 20 metros, para de esta manera formar los bloques de explotación, van en dirección del rumbo.

Cuadro 4: Interior de la mina

Puntos Críticos De Gases	Estado
Puntos críticos de polvo	Normal
Puntos crítico de Humedad	Normal
Alumbrado	No tiene
Maquinaria	No tiene
Transporte	Vagoneta en buen estado
Manejo de explosivo	No hacen
Señalización	En buen estado
Herramienta de mano	En buen estado
Ventilación	Circuito principal de ventilación natural, auxiliar
Extintores	En buen estado
Elementos de protección personal	Existen, cada trabajador los usa

Fuente: Investigación del proyecto.

Labores de explotación. Se realizan por medio del método de ensanche de tambores en el buzamiento donde se dejan machones de dos metros para la protección hacia el tambor de preparación. Se avanza esta explotación en forma ascendente para lograr tener mayor recuperación. La distribución del personal en un turno de trabajo, se muestra a continuación (ver cuadro 5).

Cuadro 5: Turno de Trabajo

Actividad	N° de personal
Picador	5
Cochero	3
Malacatero	2
Jefe de Mina	1
Trabajos varios	4

Fuente: Coopcarbón.

Iluminación. Existe una red eléctrica de 440 voltios, sobre la cual se colocan bombillos antiexplosión cada vez que se requiera en las labores avanzadas o realizadas. La iluminación de las personas que entran a la mina para utilizar en los respectivos frentes es personal utilizan lámparas WISDOM de nacionalidad China.

Sostenimiento. Este es muy variado en el transcurso de las vías ya que se implementa entibación y sectores donde la roca es resistente se deja sin refuerzo. Se trata de secciones variadas pero predomina la trapezoidal cuyas dimensiones varían dependiendo de la labor en que se esté trabajando.

2 EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EXISTENTE.

2.1 OBJETIVO DE LA VENTILACIÓN.

El principal motivo por el cual se ventilan las labores subterráneas, es para llevar aire limpio a los mineros, diluir los gases perjudiciales para la salud y en minas de carbón o con producción de metano, es el de diluir este para evitar combinaciones en concentraciones en la cual es explosivo e inflamable.

2.2 TIPO DE VENTILACIÓN EMPLEADA.

La ventilación principal de la mina MARACAIBO es de tipo natural, cumple con el reglamento donde se dice que se debe tener una entrada de aire fresco (bocamina piedra gorda) y una salida de aire viciado (bocamina Maracaibo), en los frentes ciegos se emplea ventilación auxiliar mecanizada. (Ver plano 3).

2.2.1 Ventilación Principal. Esta es la que provee el caudal necesario para la mina y las necesidades del personal. Puede ser por diferencia de presiones (Difusión) o mecanizada con ventiladores principales que puedan suplir la necesidad del caudal requerido para el personal.

2.2.2 Ventilación Auxiliar. Este tipo de ventilación es utilizada para llevar el aire fresco de manera mecanizada a aquellos frentes ciegos, llamando a estos, los que superan una longitud mayor a los 10 metros.

2.3 CAUDALES ACTUALES DEL CIRCUITO PRINCIPAL DE VENTILACION.

La toma de mediciones en los puntos de aforos se realizó con el fin de obtener un informe veraz del comportamiento del aire en cada una de las vías del circuito principal.

Estas mediciones se realizaron en 2 etapas:

1. Aforos con el personal dentro de la mina:
 - 1.1 Periodo mañana (primer turno)
 - 1.2 Periodo tarde (segundo turno)

Diagnóstico de la ventilación actual de la mina. La mina **El Maracaibo** actualmente se presentan altos caudales en su primera estación de medida es decir, a 10m de la entrada, teniendo en cuenta la depresión que tenemos con respecto a la salida, la dificultad de la ventilación de la mina se enfoca en el manejo de estos caudales hacia los frentes de explotación.

Al realizar la toma de datos para los caudales en cada una de las vías del circuito principal de ventilación se logró observar que:

El caudal que ingresa de aire fresco debe realizar un recorrido en serie de 2016 m desde la bocamina principal de ventilación hasta la bocamina de retorno del aire, en este recorrido existen 21 tramos con diferente longitud y secciones, causando pérdidas de caudal por resistencia.

Esta mina se logró encontrar que el circuito de ventilación no presenta ningún tipo de bifurcación en las vías, ya que se genera un sistema en serie para lograr llevar el flujo de aire adecuado a sus frentes de explotación.

2.4 ATMOSFERA DE LA MINA.

Es el ambiente de trabajo donde se determinan características físico – químicas como lo son la temperatura y el grado de humedad que están relacionados con el rendimiento, la seguridad y bienestar del personal. En la mina un excelente ambiente de trabajo está compuesto por una buena calidad del aire que entra bajo tierra.

Si al recorrer la mina el oxígeno llega a sufrir un empobrecimiento por debajo del Valor Limite Permisible (VLP), se dice que es causa de la respiración del personal, funcionamiento de motores, putrefacción de la madera, y/o presencia de metano.

La composición de una atmosfera segura a nivel del mar es la siguiente:

Nitrógeno.....	78,08% en volumen
Oxigeno.....	20,95%
Anhídrido carbónico.....	0,03%
Argón.....	0,93%
Otros gases.....	0,01%

En el momento que estos gases aparezcan en la mina solo puede ser por debajo del Valor Limite Permisible (VLP), cuando se trata de un gas inflamable e inmediatamente evacuar el personal y ventilar para mantener la mina en las mejores condiciones según el reglamento de seguridad.

Entre menor sea la diferencia de composición de aire seco de superficie con el aire húmedo de la mina es de carbón se presentan los siguientes gases:

Gases necesarios para la respiración

OXIGENO (O₂, densidad= 1,429 Kg/m³N): El contenido de este en el ambiente de la mina no debe ser menor al 20%, es llevado desde superficie de forma mecanizada o por diferencia de presiones (difusión). Este es un gas incoloro, inodoro e insípido, su peso específico con respecto al del aire es 1,11, es

absolutamente necesario para la conservación de la vida de personas, animales y plantas y para la combustión.

La falta de este o disminución de su porcentaje causa molestia en la respiración por debajo de 17% y si baja a porcentajes entre 12 – 14% puede causar asfixia y probablemente la muerte (ver cuadro 6).

Cuadro 6: Síntomas en persona según la proporción de oxígeno.

Concentración del O ₂ (% Volumen)	Síntomas
21-18	Ningún trastorno en la respiración del personal
18-14	Aumento del volumen de respiración, elevación del pulso, afectan los músculos
14-10	Aceleración notoria del pulso, vómitos desmayo y cianosis
10-06	Se produce la cianosis intensiva ataques de pérdida del conocimiento hasta llegar al coma, muerte lenta
<6	Muerte en corto tiempo

Fuente: LUQUE, Vicente. Manual de ventilación de minas. Asociación de investigación tecnológica de equipos mineros.

Gases Anoxicos.

NITROGENO (N₂, densidad= 1,251 Kg/m³N): Este se encuentra en un gran porcentaje en el aire de 78,08%, es un gas incombustible, incoloro, inodoro e insípido, a pesar que no es nocivo, no posee ni efecto irritante, ni venenoso, si su concentración aumenta en el aire puede ser perjudicial para el hombre ya que estaría desplazando al oxígeno y causaría asfixia.

Gases Asfixiantes.

GAS CARBONICO (CO₂, densidad= 1,976 Kg/m³N): Es un gas que se puede detectar por su sabor acido, soluble en agua, sin olor, sin color, de peso específico 1,53, es producido principalmente por la respiración del personal, por la combustión de la maquinaria diésel y por la oxidación de la madera de entibación y del carbón.

En concentraciones mayores al 10% es muy fácil de detectarlo y con 20 – 25% causa la muerte en minutos. Pero con pequeños movimientos de aire es fácil de diluirlo (ver cuadro 7).

Cuadro 7: Síntomas en personas según la proporción de CO₂ del aire.

Concentración de CO ₂ del aire de aspiración(% en Volumen)	Síntomas
1	Aumento de la cantidad de aire aspirada sin quebrantos de salud
02 – 04	Más del doble de la cantidad de aire de respiración, por ello rápida fatiga
04 – 08	Respiración se triplica y se hace difícil, fuerte necesidad de respiración y fenómeno de agotamiento
08 – 10	Perdida del conocimiento y paralización de la respiración
	Parálisis del centro de respiración, grave peligro de muerte
	Con 20 al 25% muerte en algunos segundos

Fuente: LUQUE, Vicente. Manual de ventilación de minas. Asociación de investigación tecnológica de equipos mineros.

Gases Tóxicos Químicos.

MONOXIDO DE CARBONO (CO, densidad= 1,25 Kg/m³N): Es un gas que aproximadamente es igual de pesado al aire, es originado por sustancias que contienen carbón, como madera, hulla, goma, plásticos y aceite, hasta en algunos casos las cintas transportadoras. El monóxido u oxido de carbono presenta características por ser inodoro, incoloro e insípido.

Además su peligrosidad al mezclarse con el aire forma parte de los gases explosivos dentro de los límites de explosión del 12,5 al 74% en volumen.

La venenosidad del gas se debe a que la hemoglobina posee la propiedad de unirse con él, de 250 – 300 veces, causando que la sangre pierda su propiedad de absorber oxígeno.

ACIDO SULFHIDRICO (H₂S, densidad= 1,5 Kg/m³N): Este es identificado por su olor característico a putrefacción (huevo podrido), se origina al momento de la

descomposición del azufre del carbón y de las piritas por el agua. Es un gas incoloro, soluble en agua y más pesado que el aire.

Arde y es explosivo en concentraciones del 6%, su Valor Limite Permisible (VLP) según la norma es 20 p.p.m. y 0,002%, el peso específico es de 1,1, es un gas venenoso en acumulaciones entre 0,07% - 0,1% causa efectos como perdida del conocimiento, parálisis respiratoria y muerte.

Gases Inflamables.

METANO (CH₄, densidad= 0,7168 Kg/m³N): Este gas no es venenoso, es combustible y explosivo al momento de combinarse con el aire en concentraciones entre el 5 – 14% por su peso específico tan bajo se le encuentra en la parte superior de las vías, es un gas incoloro, inodoro e insípido.

Este es emanado y producido directamente por los yacimientos de carbón; si se llega a prever una llama en combinación con el aire con menos de 5%, el metano que entra en contacto con la llama se va quemando y se rodea de un color azul.

Las concentraciones de metano en algunas labores donde se presenta este y hay que tener un control estricto se muestra a continuación (ver cuadro 8).

Cuadro 8: Concentraciones máximas permitidas del metano.

Sitio	Porcentaje(%) máximo permisible de metano
En las labores o frentes de explotación	1,0
En los retornos principales de aire	1,0
En los retornos de aire de los tajos	1,5
En el retorno de aire de los frentes de preparación y desarrollo	1,5
Concentración para la cual debe evacuarse el personal bajo tierra	2

Fuente: Decreto 1335 de seguridad en las labores subterráneas.

Control de gases. De acuerdo al reglamento de seguridad en labores subterráneas (decreto 1335 de 1987), la mina Maracaibo está clasificada como categoría 2 (minas fuertemente grisutuosas).

Es necesario realizar los controles de gases diariamente ya que de estos depende la seguridad de quienes laboran en la mina, su registro debe llevarse de forma ordenada como un historial de cada frente que permita el ingeniero o a la dirección de la mina observar la evolución de los gases en los frentes.

- ✓ **Aparatos para la medición de gases.** En las minas de carbón se emplea el multidetector de gases (ver figura 2), ya que mide los niveles de oxígeno (%), metano (%), ácido sulfhídrico (ppm) y monóxido de carbono (ppm), se debe calibrar antes de ingresar a la mina en un ambiente libre de contaminantes, recomendables en zonas boscosas.

Figura 2: Multidetector de gases.



Fuente: Investigación del proyecto.

- ✓ **Ubicación de los posibles gases presentes.** Es necesario saber en qué parte se ubican los gases más frecuentes en las minas de carbón, para realizar una buena medición de estos se debe de seguir los parámetros recomendados en la siguiente tabla para vías por donde no circula la corriente principal de aire (ver cuadro 9).

Para la medición de los gases en las vías por donde circula la corriente principal de aire se recomienda efectuar las mediciones en la parte media de estas debido a que la corriente, en estos casos, se presenta de forma turbulenta.

Cuadro 9: Ubicación de los gases en la atmósfera de la mina.

Gas	Peso Especifico (Kg/m ³)	Observaciones
O ₂	1,105	Debe de medirse a la mitad de la labor minera
N ₂	0,967	Debe de medirse a la mitad de la labor minera
CO ₂	1,5291	debe de medirse en la parte inferior de la vía
CO	0,967	Debe medirse a la mitad de la labor minera
CH ₄	0,555	Debe medirse en la parte superior de la vía
H ₂ S	1,191	Debe de medirse a la mitad de la labor minera

Fuente: CHARRIS, Tomas. Fundamentos de ventilación en labores subterráneas. 2006. Libro inédito.

2.4.1 Temperatura. La temperatura es una noción del ser humano de frío, tibio o caliente, conocer esto puede dar conocimientos del comportamiento del clima en ciertas épocas del año.

De esta depende si las rocas dentro de la mina se calientan para que de esta manera se afecte el flujo del aire.

2.4.2 Humedad. En la atmosfera se encuentra cierto porcentaje de vapor de agua, que es evaporado de los mares, océanos, ríos, lagos y plantas. Esta cantidad de vapor que es absorbido por el aire va directamente proporcional a la temperatura. Debido a que la temperatura alta permite que el aire admita más vapor (ver cuadro 10).

Cuadro 10: Efectos en el cuerpo por la húmeda.

Humedad R %	Estado Del Cuerpo	Efecto
<25	Estado normal del cuerpo, molestias respiratoria	Peligro de silicosis (ambiente seco polvos perjudiciales a la salud)
25-70	Confort	Plena capacidad de trabajo
70>	Aumento de la temperatura corporal	Trastornos fisiológico

Fuente: Wikipedia, Enciclopedia libre. Pág. 42.

2.4.3 Clima. Se define como la influencia de la temperatura ambiente, de la radiación térmica y de la velocidad del aire sobre el bienestar y la capacidad de rendimiento del personal según Joachim Voss.

La corriente de ventilación debe ser capaz de suministrar el aire suficiente para impedir la elevación de la temperatura de las labores en las que regularmente trabaje el personal y mantener la temperatura efectiva por debajo de 28°C para que no existan limitaciones de tiempo en la permanencia de los trabajadores en las labores.

Aparatos para medir las condiciones que determinan el clima de la mina.

PSICRÓMETRO DE ASPIRACIÓN: Este cuenta con dos termómetros de bulbo, ventilador, llave para accionar la cuerda que coloca en funcionamiento el ventilador.

Un termómetro sirve para medir la temperatura seca (t_s) y el otro para medir la temperatura húmeda (t_h) el cual este se encuentra cubierto con algodón o muselina empapada con agua cada vez que se vaya a realizar una nueva medición (ver figura 3).

Figura 3: Psicrómetro de aspiración.



Fuente: Investigación del proyecto.

Para lograr colocar a funcionamiento este aparato se deben tener en cuenta los siguientes pasos.

1. Proporcionar al bulbo húmedo la cantidad de agua suficiente.
 2. Girar la llave de accionamiento del resorte hacia la dirección adecuada.
 3. Colocar el psicrómetro por el gancho
 4. Deben realizarse las mediciones teniendo en cuenta la escala de mercurio y que la temperatura seca es mayor que la temperatura húmeda.
 5. No se deben colocar los dedos en los termómetros porque tras toman la medición y puede dar un error.
- **Temperatura efectiva.** En forma resumida y simple, no existe una relación exacta entre la temperatura efectiva (resultante) de un frente, con las otras variables de clima bajo tierra que la ayudan a determinar.

Una forma no muy técnica es decir: con un grado de aproximación aceptable, en las minas calientes, cuando la temperatura media de las paredes de las vías no exceda en forma notable la temperatura del aire, recomendamos el empleo de la siguiente expresión, para definir la temperatura efectiva de un lugar, o grado de confort:

$$t_e = 0.7t_h + 0.3t_s - V \quad (1)$$

Dónde:

V= Velocidad de la corriente del aire m/seg.

t_h= Temperatura húmeda en °C

t_s= Temperatura seca °C

t_e= Temperatura efectiva °C

Resolviendo la expresión 1 tenemos que la temperatura efectiva de los frentes es, (ver cuadro 11):

Cuadro 11: Temperatura efectiva en los aforos.

Estación	Temperatura Húmeda t _h (°C)	Temperatura Seca t _s (°C)	Velocidad V(m/seg)	Temperatura Efectiva t _e (°C)
1	12,3	17	0,583333	13,1266667
2	14,6	15,1	0,583333	14,1666667
3	15,7	15,8	0,383333	15,3466667
4	17,2	18,2	0,333333	17,1666667
5	17,8	18	0,1	17,76
6	17,2	18,2	0,233333	17,2666667
7	16,1	18,4	1,3	15,49
8	18,6	19	0,833333	17,8866667
9	18	18,6	0,2975	17,8825
10	18,3	18	0,541667	17,6683333
11	21,8	22,8	0,083333	22,0166667
12	21,4	21,2	0,016667	21,3233333
13	25,1	24,1	0,75	24,05
14	24,4	25,5	0,141667	24,5883333
15	25,4	27	0,318333	25,5616667
16	26,3	26,5	0,233333	26,1266667
17	24,1	24,2	0,341667	23,7883333
18	22,2	22,3	0,654167	21,5758333
Promedio	19,8	20,55		19,599537

Fuente: Resultados de la investigación.

Analizando los resultados de t_e según el decreto 1335 de las labores subterráneas el tiempo de permanencia de los trabajadores no posee limitaciones.

- **Humedad relativa.** Se define como la relación entre el peso de vapor de agua en la mezcla y la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura (ver cuadro 12 y 13).

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sh}} * 100 \quad (2)$$

Dónde:

φ = Humedad relativa o grado higrométrico (%)

P_{sh} = Presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura (mm Hg).

P_v = Peso de vapor de agua en la mezcla (mm Hg)

Calculando el peso de vapor de agua en la mezcla por la fórmula de Sprung tenemos:

$$P_v = P_{sh} - 0.5(t_s - t_h) * \frac{P_b}{755} \quad (3)$$

Dónde:

P_b = Presión barométrica.

t_s = Temperatura seca (°C).

t_h = Temperatura húmeda (°C).

P_{sh} = Presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura (mm Hg).

Reemplazando en las fórmulas (2) y (3) tenemos la siguiente tabla:

Cuadro 12: Condiciones ambientales de la mina.

Medición	Presión Barométrica Pb(mm Hg)	Peso Específico ω (kg/m ³)	Temperatura Húmeda °C(t_h)	Temperatura Seca °C(t_s)	Presión de saturación a temperatura húmeda Psh(mm.c.a)	Presión de vapor Pva (mm.c.a)	Presión de vapor de saturación Pvs (mm.c.a)	HUMEDAD RELATIVA φ %
1	546,8623	0,858008091	12,3	17	10,705	10,688	14,5188	73,61
2	544,3645	0,859721789	14,6	15,1	12,4434	12,4416	12,8528	96,8006
3	545,2326	0,859005654	15,7	15,8	13,3597	13,3593	13,4459	99,3559
4	546,7913	0,854361406	17,2	18,2	14,7048	14,7011	15,6663	93,839
5	546,6637	0,854749084	17,8	18	15,2753	15,2745	15,4697	98,7381
6	546,7913	0,854361406	17,2	18,2	14,7048	14,7011	15,6663	93,839
7	546,9189	0,85397426	16,1	18,4	13,7073	13,6989	15,8657	86,3461
8	550,4873	0,857779868	18,6	19	15,469	15,4666	16,4744	97,511
9	550,4735	0,858934988	18	18,6	16,0666	16,0644	16,066	99,98
10	550,4097	0,860606232	18	18,3	15,4697	15,4686	15,7654	98,1173
11	556,006	0,855249256	21,8	22,8	19,596	19,592	20,8333	94,043
12	553,9766	0,856179868	21	21,4	18,6575	18,656	19,1231	97,5574
13	555,6797	0,851007282	24,1	25,1	22,5384	22,5347	23,931	94,1653
14	554,54	0,845278727	24,4	25,5	22,948	22,943	24,5088	93,61
15	555,168	0,8420048	25,4	27	24,36	24,35	26,78	90,92
16	552,9417	0,840028292	26,3	26,5	25,699	25,698	26,0444	98,82
17	551,3777	0,84413477	24,1	24,2	22,5384	22,538	22,6744	99,3984
18	554,2925	0,854057188	22,2	22,3	20,0835	20,0831	20,2064	99,3897
Promedio	550,4987389	0,853302387	19,71111111	20,63333333	17,6848	17,68105	18,66070556	94,78004444

Fuente: Investigación del proyecto.

Cuadro 13: Clasificación de la mina según la humedad relativa.

Grado bajo	Grado medio	Grado superior
$\phi < 40\%$	$40\% < \phi < 60\%$	$60\% < \phi < 100\%$
Mina Seca	Mina Medio Húmeda	Minas Húmedas

Fuente: Investigación del proyecto.

Aparatos usados para medir la velocidad del aire.

ANEMÓMETRO: Su funcionamiento consta de dejar fluir aire a través de las hélices y de esta manera giren un contador que se encarga de mostrar la velocidad a la cual se está desplazando por la vía y multiplicando este por la sección obtenemos el caudal, que está circulando, El tiempo es medido por este por medio de un medidor incorporado, para una buena medición se debe hacer un barrido con el anemómetro por toda la sección durante un minuto (ver figura 4).

Figura 4: Anemómetro



Fuente: Investigación del proyecto.

Para calcular el caudal en los distintos puntos de medición es necesario conocer la presión barométrica, el peso específico, la sección de la vía y la velocidad de la corriente de aire en cada uno de los puntos, por lo tanto tenemos:

- ✓ **Presión barométrica aproximada**². Para el cálculo de la presión barométrica aproximada se obtuvo la temperatura seca en campo (ver cuadro 14).

$$P_b = 760 * \left[1 - \frac{0.0065 * h}{273 + t_s} \right]^{5.255} \quad (4)$$

Dónde:

h: Altura sobre el nivel del mar (m).

t_s: Temperatura seca (°C).

P_b: Presión barométrica (mm de Hg).

Resolviendo la ecuación 4 para cada punto tenemos:

Cuadro 14: Presión barométrica

Estación	Cota (m.s.n.m)	Temperatura Seca t _s (°C)	Presión Barométrica Pb(mm Hg)
1	2709	17	546,83238
2	2727,07	15,1	544,36455
3	2721,05	15,8	545,23269
4	2720,81	18,2	546,79139
5	2720,81	18	546,66371
6	2720,81	18,2	546,79139
7	2720,81	18,4	546,91892
8	2674,16	19	550,48733
9	2670,7	18,6	550,4736
10	2666,13	18	550,40976
11	2627,64	22,8	556,00607
12	2644,89	21,4	553,97665
13	2644	24,1	555,67971
14	2673,36	25,5	554,54
15	2677,43	27	555,16807
16	2706,14	26,5	552,9418
17	2708,55	24,2	551,37779
18	2796,3	22,3	544,29257
Promedio	2696,09	20,56111111	549,94158

Fuente: Investigación del proyecto.

² CHARRIS Tomas, fundamento de ventilación en labores subterráneas. 2006, pág. 26

- ✓ **Peso específico**³: Teniendo el dato calculado de la presión barométrica se realiza el procedimiento para obtener el peso específico del aire. (ω) (ver cuadro 15).

$$\omega = \frac{0.455 * P_b}{273 + t_s} \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación 5 tenemos que:

Cuadro 15: Peso específico del aire

Estación	Temperatura Seca t_s (°C)	Presión Barométrica P_b (mm Hg)	Peso Específico ω (Kg/m ³)
1	17	546,8623	0,85800809
2	15,1	544,3645	0,85972179
3	15,8	545,2326	0,85900565
4	18,2	546,7913	0,85436141
5	18	546,6637	0,85474908
6	18,2	546,7913	0,85436141
7	18,4	546,9189	0,85397426
8	19	550,4873	0,85777987
9	18,6	550,4735	0,85893499
10	18	550,4097	0,86060623
11	22,8	556,006	0,85524926
12	21,4	553,9766	0,85617987
13	24,1	555,6797	0,85100728
14	25,5	554,54	0,84527873
15	27	555,168	0,8420048
16	26,5	552,9417	0,84002829
17	24,2	551,3777	0,84413477
18	22,3	554,2925	0,85405719
Promedio	20,5611111	550,498739	0,85330239

Fuente: Investigación del proyecto.

2.4.4 Polvo de Carbón. Los polvos que se presentan en las minas es un contaminante del ambiente de trabajo y representan un riesgo de explosividad. El

³ CHARRIS, Op. Cit. Pág. 248

decreto 1335 de las labores subterráneas establece parámetros para las velocidades medias optadas para reducir la suspensión.

2.5 INDICE DE RESISTENCIA DE LA MINA.

La resistencia es la dificultad que tiene el aire en circular por un espacio, por diferentes obstáculos que se tengan en nuestro caso la minería encontramos, el tipo de entibación (madera, acero, tacos, sostenimiento natural), accesorios encontrados en la vía (vagonetas, cinta transportadora, malacate, ductos, cables, entre otros.), choques con las paredes ya sea por ángulos horizontales y verticales en las labores.

En nuestro caso realizamos mediciones de secciones, longitudes y se observó tanto entibación como obstáculos presentes en los puntos de medición para realizar los respectivos cálculos de la resistencias para cada tramo del circuito (ver cuadro 16).

Cuadro 16: Resistencias de la mina.

Tramo	Longitud (m)	Sección (m ²)	Clase de vía	Forma	Resistencia
Inclinado Principal	6	2,6425	madera	trapezoidal	0,00381
Inclinado Principal	80	1,586	roca	trapezoidal	0,1306
Inclinado Principal	23	2,3646	roca	trapezoidal	0,01397
Labor de desarrollo manto la limpia	115	4,5705	roca	trapezoidal	0,1356
Labor de desarrollo manto la limpia	50	4,0971	roca	trapezoidal	0,0179
Labor de desarrollo manto la limpia	182	2,5572	roca	arco recto	0,08627
Ventana	9	0,9589	roca	circular	0,05242
Nivel 5 (Norte)	200	1,326	roca	trapezoidal	0,5072
Tambor de entrada(entre nivel 5 y 6)	28	1,506	roca	trapezoidal	0,0556
Nivel entre 5 y 6	79	1,4982	madera	trapezoidal	0,21086
Nivel 9 (Avance)	92	3,075	madera	trapezoidal	0,04092
Nivel 7	89	2,025	madera	trapezoidal	0,10523
Tambor de retorno (entre nivel 5 y 6)	370	0,72	madera	trapezoidal	4,92077
Nivel 2	50	2,5608	madera	irregular	0,03585
Nivel 1	113	2,7808	madera	trapezoidal	0,07279
Nivel Principal de transporte	350	2,2649	madera	trapezoidal	0,24804
Al final del inclinado de transporte	80	2,7416	roca	trapezoidal	0,0413
Inicio del inclinado principal de transporte	100	2,1924	madera	trapezoidal	0,12172

Fuente: Investigación del proyecto.

2.6 DESGASIFICACIÓN DE LA MINA.

Es el volumen de metano que transfiere la mina a la superficie y es tomado en la boca mina de retorno del aire.

2.6.1 El grisú (Metano). Es una combinación de gases, donde el predominante es el Metano (CH₄) con una concentración del 95%, donde se pueden encontrar impurezas de anhídrido carbónico, nitrógeno y a veces de hidrógeno, etano, ácido sulfhídrico y oxido de carbono.

Este combustible se desprende de algunos yacimientos de origen orgánico como el carbón, la potasa y las pizarras bituminosas.

2.6.2 Efectos fisiológicos. Es un gas incoloro, inodoro e insípido. No es venenoso pero si llega a aumentar mucho su concentración empobrece el oxígeno y puede ser incómodo para la respiración e incluso ha ocasionado la muerte por asfixia.

La mezcla de un 80% de Metano y de 20% de oxígeno provoca un leve dolor de cabeza.

Límite máximo permisible

De acuerdo al decreto 1335

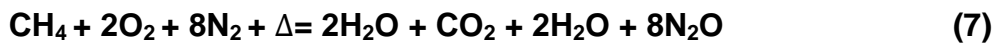
En labores de explotación	1,0%	10000 p.p.m.
En retornos principales de aire	1,0%	10000 p.p.m.
En el retorno de aire en los tajos	1,0%	15000 p.p.m.
En el retorno de labores de desarrollo y preparación	1,5%	15000 p.p.m.

Donde se detecte una concentración mayor al 2%, deben ser evacuados de inmediato las personas laborando en dicho entorno.

2.6.3 Límites de inflamabilidad en mezclas con el aire. A este gas se le debe dedicar mucha atención y precaución ya que es de gran peligrosidad pero en condiciones normales el Metano es inerte.

Su principal característica es la de ser altamente combustible con el aire al mezclarse, por combustión con el aire se origina:





La anterior formula muestra que necesitaron 2 veces más oxígeno que metano para que este pueda arder explosivamente. La combustión perfecta corresponde al 9% de CH₄ y 91% de aire.

El índice de explosividad oscila entre el 5% - 14%, dependiendo ella de la temperatura, presión, mezcla con otros gases, forma de la labor.

2.6.4 Presencia del grisú en el carbón. Se encuentra regularmente en la superficie de la masa porosa del carbón como lo es en esta libre en las grietas y poros y en estado combinado.

El gas adsorbido por el yacimiento puede ser fácilmente emanado cuando la presión desciende y en algunos casos con el aumento de la temperatura. El volumen de gas emanado por el volumen de carbón es inversamente proporcional ya que en ocasiones la cantidad de volumen de metano es mayor que la del otro.

2.6.5 Tipos de desprendimientos del grisú. Son 3 tipos de desprendimientos:

1. **Desprendimiento normal:** Este es uniformemente repartido por medio de poros donde el ojo humano no los puede detectar, grietas en el carbón y en las rocas vecinas, el cual es un flujo continuo, lento y duradero.
2. **Desprendimiento por flujos:** Estos son de duración variable casi siempre muy rápida ya que proceden de fallas o diaclasamientos de la roca detectable por el ojo humano.
3. **Desprendimiento instantáneo:** Este es característico por su brusquedad y violencia al desprender grandes masas.

En minas de una misma cuenca es muy variable el desprendimiento de grisú en metros cúbicos por tonelada arrancada.

2.6.6 Distribución de los puntos de desprendimiento del Grisú. El grisú no es solamente emanado del carbón *in situ*, sino que también se desprende del material arrancado; Se desplaza muy rápido a través de las vías y alcanza distancias muy largas a partir del punto de emisión ya sea después de arrancado del yacimiento o por las grietas y fisuras que posee este *in situ*.

En las labores de desarrollo y preparación no intervenidas por otros trabajos, la presencia de metano se detecta principalmente en las labores de retorno, siendo generalmente escaso muy por debajo de los límites permisibles.

En los tambores de explotación el desprendimiento es a través de las fisuras que se encuentran en el carbón y pueden ser aproximadamente 1/3 del total. Hay indicios que los respaldos (Techo y piso) pueden según su naturaleza contener grandes volúmenes de CH₄ que se suman al del manto, cuando se afectan los terrenos por las labores mineras.

2.6.7 Influencia de la ventilación. Entre los factores de ventilación que incluyen en la emisión del grisú, unos son naturales, como la presión barométrica; si ésta disminuye, la desgasificación aumenta, especialmente en los turnos de picada del carbón (arranque). Otros factores son artificiales e inherentes a la acción del ventilador principal o auxiliar, con la repartición de las presiones entre los diversos puntos de la mina y sus valores están en relación con la presión atmosférica.

Para explicar los fenómenos que se relacionan con estas condiciones se puede citar varios mecanismos:

- 1- Desgasificación del metano (CH₄) ocluido en el carbón, que es tanto más rápida si la presión exterior es demasiado débil.
- 2- Evolución del volumen de gas contenido en reservas.
- 3- Corrientes gaseosas parásitas que se establecen entre la superficie y las excavaciones de la mina, o entre los diversos puntos de la mina, a través de grietas que atraviesan terrenos vírgenes o trabajos cargados de grisú.

2.6.8 Método aproximado para calcular la desgasificación del metano. Este método consiste en identificar la última estación de medida de ventilación en la mina, es decir, el punto de salida del aire viciado del circuito de ventilación y realizar los siguientes pasos:

Con el multidetector y el anemómetro se deben graficar y tomar la mayor concentración de CH₄ y el promedio del caudal registrado durante las 24 horas, como se muestra. (Ver figura 5).

NOTA: dado que es un método dispendioso, se debe contar con personas responsables en la toma de estos datos para cada turno.

- a) Aplicando la siguiente formula se obtiene la desgasificación de metano en m³/día de la mina:

$$q = C/100 * Q * 1440 \quad (8)$$

Dónde:

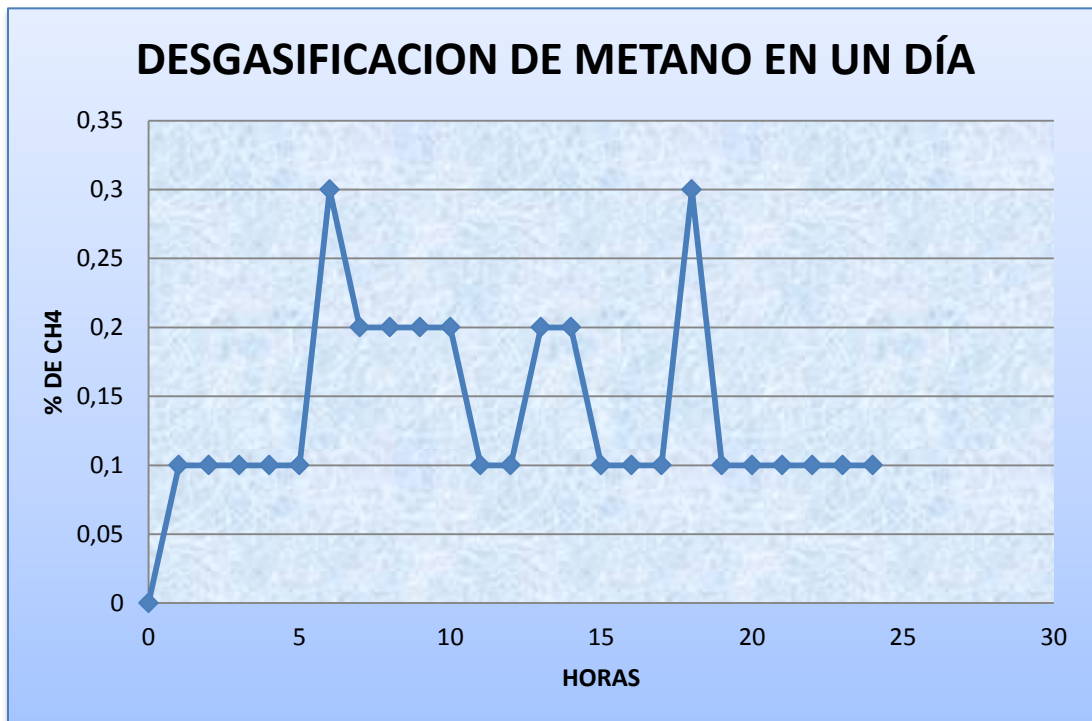
Q= desgasificación de metano en m³/día.

C= máxima concentración registrada en el día en %.

Q= caudal promedio tomado en el día en m³/min.

En la mina el Maracaibo se realizaron estas medidas en la boca mina del inclinado de retorno del aire viciado.

Figura 5: Desgasificación del metano de un día



Fuente: Investigación del proyecto.

Resolviendo la ecuación (8).

$$q = 0,3 / (100 * 49,5423 * 1440)$$

Obtenemos una desgasificación de metano en la mina de:

$$q = 214,0227 \text{ m}^3/\text{día}.$$

3 PROPUESTA DE LA RED PRINCIPAL DE VENTILACIÓN

3.1 LABORES MINERAS PROYECTADAS PARA EL CIRCUITO DE VENTILACIÓN.

Las labores mineras a proyectar responden al método de explotación seleccionado como lo es el método de tajo corto con derrumbe dirigido.

3.1.1 Labores de desarrollo. Las labores de desarrollo tienen como objetivo alcanzar desde superficie, los mantos carboníferos.

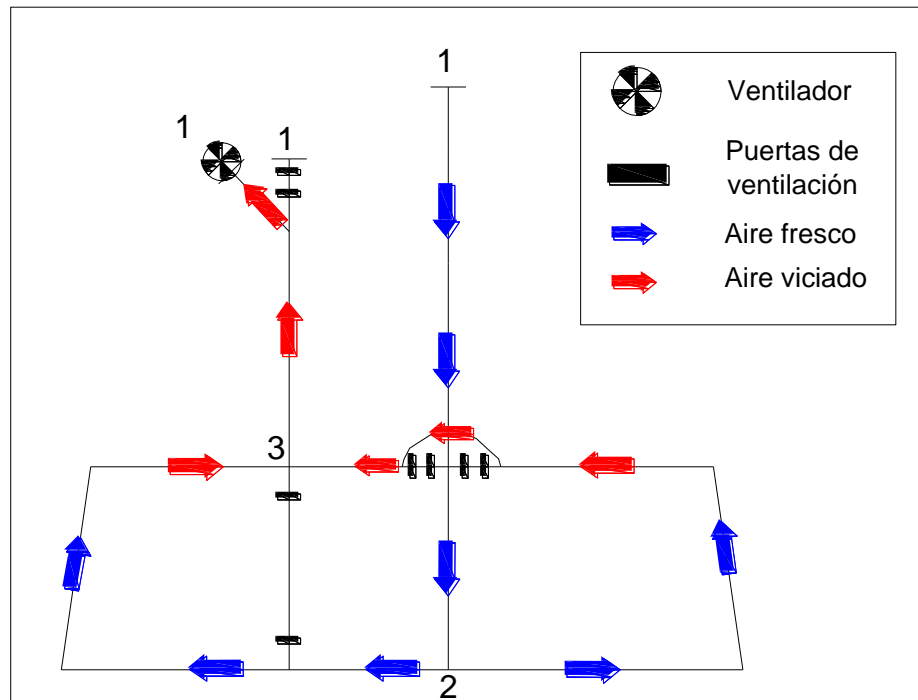
En este caso la mina de carbón MARACAIBO cuenta con un inclinado principal traído desde superficie con 180 m de longitud un buzamiento que varía de 60° - 70°. Se tiene en proyecto realizar un inclinado a nivel patio para el transporte del personal, material y herramientas de trabajo.

3.1.2 Labores de preparación. Al final del inclinado de transporte interno se tiene previsto extender los Niveles Inferiores Derecho e Izquierdo y hacer sobreguías para la limitación del bloque de explotación. Estas están separadas del primer Nivel hacia el suroeste a 125 metros por el buzamiento del manto que es de 32° y se comunican con el inclinado de transporte a superficie.

3.1.3 Análisis comparativo de los métodos de explotación tambores paralelos Vs. tajo Corto. Al estudiar los dos métodos de explotación, el que actualmente desarrolla la mina (tambores paralelos) y el propuesto (tajo corto), por los análisis subsiguientes es más ventajoso el tajo corto habida cuenta desde el punto de vista de la ventilación.

TAJO CORTO: Implementando este método de explotación en la mina MARACAIBO la conducción de la corriente de aire será la establecida (ver figura 6). Las cuales tendrán sus ventajas y desventajas en la ventilación con respecto al método.

Figura 6: Conducción de la corriente de ventilación para tajo corto.



Fuente: Investigación del Proyecto

VENTAJAS

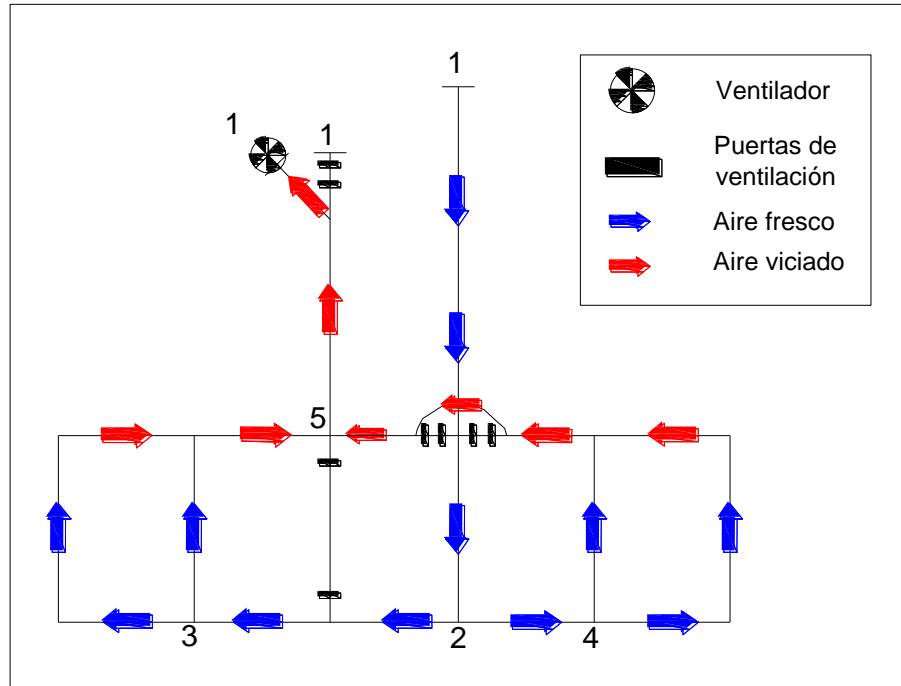
- Permite una fácil circulación del aire.
- Presenta un bajo índice de gases proveniente de la autocombustión del carbón debido a la alta recuperación del yacimiento (casi el 100%).
- Permite realizar fácilmente las mediciones de ventilación debido a que existe menos vías de circulación del aire que en otros métodos de explotación.
- El sistema presenta una buena disposición para el control de los gases ya que no posee muchos frentes.

DESVENTAJAS

- Alta producción, mayor volumen de metano.
- Mayor control de los gases.
- Altos índices de polvo.

TAMBORES PARALELOS: Para este método de explotación aplicado a la mina MARACAIBO la conducción de la corriente de aire se establece como se muestra a continuación (ver figura 7).

Figura 7: Conducción de la corriente de ventilación



Fuente: Investigación del Proyecto

VENTAJAS

- Menor volumen de metano por su baja producción.
- Menor producción de polvo.

DESVENTAJAS

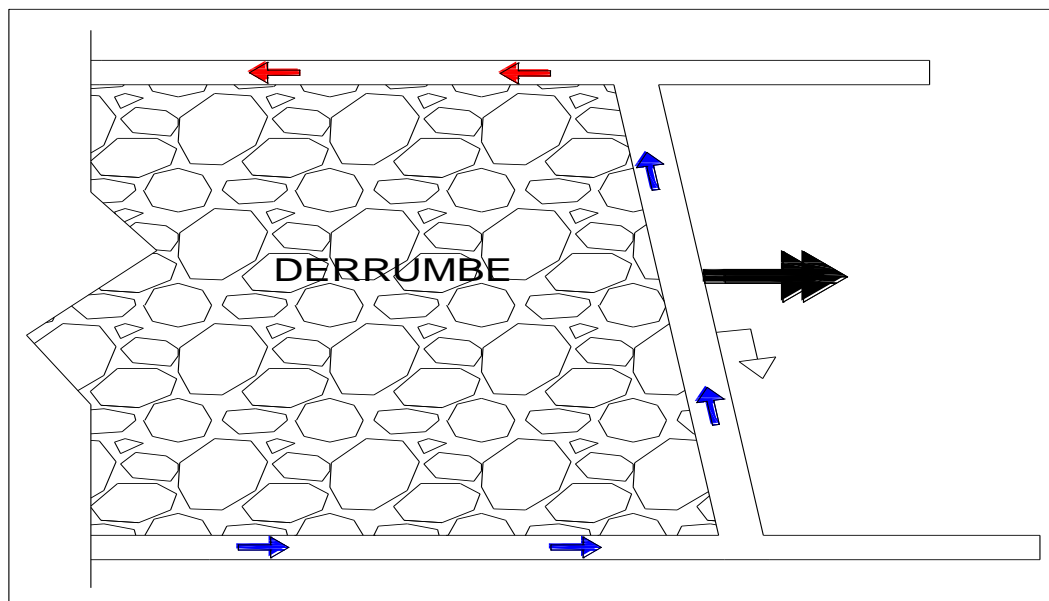
- Producción de gases por auto combustión de los machones y por la desintegración orgánica de la madera.
- Aumento de la caída de presión debido a los codos originados por los tambores.
- Se producen corto-circuitos y la proporción de aire utilizado en el frente es pequeña.
- Requiere un sistema de ventilación adecuado regulado en los tambores, por la preparación que se necesita para el laboreo minero.

3.1.4 Selección del método de explotación. Teniendo en cuenta el análisis de ventajas y desventajas de los dos métodos antes mencionados proponemos el

método de Tajo cortó con derrumbe dirigido debido a que este método brinda las mejores condiciones que se requieren para obtener una adecuada y efectiva ventilación en la mina MARACAIBO y en otras minas donde sea aplicable este método ya que permite una mejor circulación del aire, permite obtener una mayor recuperación del mineral que en este caso es un carbón medio volátil que obtenerlo en su totalidad representa grandes ganancias, la producción que genera el método de explotación tambores paralelos hace que la extracción de las reservas sea en un mayor lapso de tiempo lo que generaría un mayor tiempo de recuperación de la inversión realizada para la explotación del proyecto, todo esto sin tener en cuenta la seguridad que constituye la parte más importante en la selección del método de explotación en donde con tambores paralelos se pueden presentar problemas debido a la autocombustión de los machones que se dejan.

Se ha definido para el método escogido (tajo cortó) una explotación en avance en el sentido del rumbo dejando atrás el derrumbe y/o relleno, este diseño genera una conducción del aire por el sistema de “**U en avance**” el cual cuenta con la desventaja de la pérdida del caudal de aire entre vías, para contrarrestar esta situación se recomienda rellenar las canastas con material estéril del derrumbe de tal forma que no exista en las canastas el paso de la corriente de aire (ver figura 8).

Figura 8: Conducción del aire a los tajos por el sistema de ventilación “U en avance”.



Fuente: Investigación del Proyecto

3.2 CÁLCULO DE LA RED DE VENTILACIÓN.

3.2.1 Cálculo del caudal requerido de aire de la mina. Para obtener la cantidad de aire que requiere la mina EL MARACAIBO se tiene en cuenta el desprendimiento de metano, el caudal de aire necesario para la totalidad de personal, el caudal de aire necesario para el consumo de explosivo los cuales serán explicados a continuación.

3.2.1.1 Cálculo del caudal de aire necesario según desprendimiento de metano⁴ (Q_{CH_4}). Para una producción de picada, es decir de una picada diaria de 1 metro cada calle en avance del tajo, 60 metros de longitud en el buzamiento y un espesor de 1,8 metros; se aprecia la producción en el turno (ver cuadro 17).

Cuadro 17: Producción por turnos en el tajo.

	Tarea	Producción
Turno 1	Picada	135 Toneladas
Turno 2	Recuperada	0 Toneladas

Fuente: Investigación del proyecto.

$$Q_{CH_4} = \frac{100*q}{8*60p} = \frac{q*100}{480} \text{ (m}^3\text{/min.)} \quad (9)$$

Dónde:

Q = Volumen de gases que se desprenden en la mina en 24 horas (m^3).

P = Norma de contenido de metano en el aire, 1% según reglamento Decreto 1335.

Q_{CH_4} = Caudal necesario para el desprendimiento de metano.

q = Producción diaria x a

⁴ CHARRIS, Op. Cit. pág. 225

Donde “a” es el volumen de gas que se desprenden en 24 horas. En la región según archivos de la cooperativa COOPCARBÓN se tiene un desprendimiento máximo de metano de 5 m³/ton; T. Charris nos recomendó tener una desorción de 8 m³/ton.

Teniendo el valor “a” obtenemos un $Q_{CH_4} = 225 \text{ m}^3/\text{min}$.

3.2.1.2 Cálculo para respiración del personal⁵ (Q_p). El caudal de aire necesario para la totalidad de personal, teniendo en cuenta el turno de mayor personal como se muestra (ver cuadro 18).

$$Q_p = 6 \text{ m}^3/\text{min} * n \quad (10)$$

Donde 6 m³/min es la cantidad de aire para cada hombre en bajo tierra por encima de 1500 m.s.n.m. según normas reglamentaría Decreto 1335.

Cuadro 18: Turno de mayor personal.

ACTIVIDAD	Nº DE PERSONA
Supervisor	1
Jefe de mina	1
Picadores	12
Trincheros	3
Cocheros	2
Malacatero	2
TOTAL	21

Fuente: Investigación del proyecto.

n = número de personas que se encuentran trabajando al mismo tiempo en la mina, en el turno más cargado de mineros, en este caso es el turno de día el cual tiene 16 personas bajo tierra.

Por lo tanto resolviendo la fórmula 10 tenemos un $Q_p = 126 \text{ m}^3/\text{min}$.

3.2.1.3 Cálculo para consumo de explosivos (Q_{expl}). En minas de carbón que tengan elevado consumo de explosivos se basa este cálculo en dos valores:

- Formación de 0,040 m³ de productos tóxicos por la voladura de 1 kg de explosivo.

⁵ CHARRIS, Op. Cit. pág. 217

- Tiempo de ventilación no mayor de 30 min, con excepción de explosiones en masa; o sea el tiempo dentro del turno, que gasta el minero en regresar al frente después de haber realizado la voladura.

En la mina no se utiliza avance con explosivos por lo tanto la cantidad de aire necesaria para este parámetro es igual a 0 m³/min.

3.2.1.4 Cálculo por maquinaria (Q_m). En las labores subterráneas donde haya tránsito de maquinaria Diésel, debe haber el siguiente volumen de aire por contenido de CO en los gases de exósto.

- 6 m³/min, por cada H.P. de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono en los gases del exósto no sea superior a 0.12%.
- 4m³/min, por cada H.P. de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono en los gases del exósto no sea superior de 0.08%.

En la mina no se utiliza maquinaria Diésel por lo tanto la cantidad de aire necesaria para este parámetro es igual a 0 m³/min.

3.2.1.5 Caudal total que debe ingresar a la mina⁶ (Q_t). Este caudal es aquel que suma los caudales anteriormente calculados con un incremento del 30% por seguridad. En el siguiente cuadro tenemos detallados los cálculos de las formulas (11) y (12) (ver cuadro 19), cálculos:

$$Q_t = Q_{CH_4} + Q_p + Q_{expl} + Q_m \quad (11)$$

$$Q_T = (Q_t * 0.3) + Q_t \quad (12)$$

$$Q_t = 225 + 126 + 0 + 0$$

$$Q_T = (351 * 0.3) + 351$$

Cuadro 19: Caudales requeridos por cada parámetro.

Parámetro	Caudal (m ³ /min.)
Q _{CH4}	225
Q _p	126
Q _{expl}	0
Q _m	0
Q _t	351
Q _T	457

Fuente: Investigación del proyecto.

⁶ CHARRIS, Op. Cit. Pág. 236

A la mina debe ingresar un caudal total de $457 \text{ m}^3/\text{min} = 7.605 \text{ m}^3/\text{seg}$

3.2.2 Cálculo de la resistencia total del circuito de la mina. La resistencia es el grado de dificultad para transportar el aire de ventilación en una mina de un lugar a otro, dependiendo de la sección de la vía, tipo de vía (arco, madera, sin entibación, libre sin accesorios-vagonetas, transportadora), de su longitud y de su peso específico.

El cálculo de la resistencia equivalente se realizó con la ayuda del programa CALVENTOM del ingeniero TOMAS HILARIO CHARRIS y del NOMOGRAMA DE RESISTENCIA (ver figura 9).

Figura 9: Cálculo de la resistencia de la vía.



Fuente: Tabla de Excel CALVENTOM. Programa para el cálculo de resistencia de vías por el ingeniero TOMAS CHARRIS

Re= 2,1891 Weisbach.

Teniendo en cuenta que en las vías existirá transporte de personal, de vagonetas, mucho obstáculo (escombros, madera, estéril, etc.), y perdidas por choques debido a las curvas del circuito se considera un incremento del 30% de la resistencia equivalente cuando la mina está trabajando.

$$R_t = R_e + (R_e * 0.3)$$

$$R_t = 2,845 \text{ Weisbach.}$$

3.2.3 Pérdida de la carga del circuito de ventilación⁷. La pérdida de carga se define como la disminución de la presión por frotamiento del aire contra las paredes. Esta pérdida corresponde a la transformación de un trabajo en calor.

Para hallar la pérdida de carga total de la mina se utiliza la ecuación:

$$\Delta P = R_t * (Q_T)^2 \quad (13)$$

Dónde:

ΔP = Pérdida de carga de la mina mm.c.a.

R_t = resistencia equivalente de la mina.

Q_T = Caudal total requerido por la mina = 457 m³/min = 7,605 m³/seg.

Resolviendo la ecuación (13):

$$\Delta P = 2,845 * (7,605)^2$$

Obtenemos que:

$$\Delta P = 164,543 \text{ mm.c.a.}$$

3.2.4 Cálculo de la abertura equivalente de la mina⁸. Se define abertura equivalente (Ω) de una mina, como la sección de un orificio de pared delgada por el cual circularía un flujo de aire "Q" y se calcula de la siguiente fórmula:

$$\Omega = 0,348 * \sqrt{\omega} * \frac{Q_t}{\sqrt{\Delta P}} \quad (14)$$

Dónde:

ω = Peso específico promedio del aire de la mina 0,8533 Kg/m³.

Q_T = Caudal total requerido por la mina 7,605 m³/seg.

ΔP = Pérdida de carga de todo el circuito 164,543 mm.c.a.

Resolviendo la ecuación (14)

⁷ VIDAL, Víctor. Laboreo de minas. Tomo II. Pág. 323 – 618

⁸ CHARRIS, Op. Cit. pág. 236

$$\Omega = 0,348 * \sqrt{0,8533} * \frac{7,605}{\sqrt{164,543}}$$

Tenemos que:

$$\Omega = 0,1905 \text{ m}^2$$

3.2.5 Cálculo y selección del ventilador principal⁹. El ventilador principal es aquel que suministra todo el caudal necesario que se requiere en la mina, teniendo en cuenta que una ventilación suficiente y estable no puede obtenerse en una mina de alguna importancia sino es con ventiladores.

3.2.5.1 Cálculo de la potencia útil de la ventilación¹⁰. Para el cálculo de la potencia útil de la ventilación tenemos las siguientes formulas la cual depende de la pérdida de carga y el caudal total requerido de la mina:

$$P_{\text{util}} = \frac{\Delta P * Q_T}{102} \quad (15)$$

Dónde:

P_{util} = Potencia útil en Kw.

ΔP = Perdida de carga de todo el circuito 164,543 mm.c.a.

Q_T = Caudal total requerido por la mina 7,605 m³/seg.

Resolviendo la ecuación (15)

$$P_{\text{util}} = \frac{165,543 * 7,605}{102}$$

Tenemos que:

$$P_{\text{util}} = 12,2681 \text{ Kw.}$$

3.2.5.2 Selección del ventilador principal. Esta selección se realiza teniendo en cuenta la presión estática de la mina (P_e) de la mina, altura sobre el nivel del mar, temperatura de boca de mina, caudal total requerido (Q_t), tipo de ventilador (axial o centrífugo).

Despejando la presión dinámica (P_d)¹¹ de la ecuación (6*) tenemos.

⁹ VIDAL, Op. Cit. Pág. 380

¹⁰ CHARRIS, Op. Cit. Pág. 237

¹¹ Ibid. Pág. 223

$$P_d = \frac{v^2 * \omega}{2 * g} \quad (16)$$

De la ecuación para hallar caudal despejamos la velocidad y reemplazándola en la ecuación (16) tenemos que:

$$P_d = \left(\frac{Q_T}{A} \right)^2 * \frac{\omega}{2g} \quad (\text{mm CA}) \quad (17)$$

Dónde:

Caudal total requerido en la mina = 7,605 m³/seg.

A= Área de salida del aire m².

ω = Peso específico del aire de la mina = 0,8533 Kg/m³.

g= Gravedad= 9,81 m/seg²

Sabemos que:

$$P_d = P_t - P_e \quad (18)$$

Dónde:

P_t= Presión total de la mina en mm CA= ΔP

Igualando las ecuaciones (17) y (18) despejamos P_e obtenemos:

$$P_e = \left(\frac{Q_T}{A} \right)^2 * \frac{\omega}{2g} + \Delta P \quad (19)$$

Reemplazando los valores tenemos que:

$$P_e = \left(\frac{7,605}{2,1} \right)^2 * \frac{0,8533}{2 * 9,81} + 164,543$$

Se tiene que

$$P_e = 165,1133$$

Reemplazando en la ecuación (19) tenemos la presión estática para cada una de las etapas de la mina (ver Cuadro 20).

Cuadro 20: Presión estática de la mina.

Parámetros	Presión estática
------------	------------------

Q _t (caudal total de la mina)	7,605 m ³ /seg
A (Área de salida del aire)	2,1 m ²
ω (Peso específico del aire)	0,8533 Kg/m ³
ΔP (perdida de carga)	164,543 mm CA
P _e (presión estática)	165,1133

Fuente: Investigación del proyecto

Para la selección del ventilador principal se debe tener en cuenta las características antes mencionadas en este numeral destacando su uso que será para minas de carbón, las cuales se les darán a las empresas fabricantes de ventiladores industriales y estas proporcionarán las especificaciones del ventilador.

En los datos suministrados al fabricante se escogió un ventilador axial debido a que este en comparación de los ventiladores centrífugos es capaz de proporcionar mayor rendimiento superior y su flujo de aire es manejado en una sola dirección, mientras que los ventiladores centrífugos manejan un cambio de dirección de la corriente de aire en la secuencia extracción expulsión que le proporciona un menor vencimiento de presiones. Las especificaciones de los ventiladores se muestran a continuación (ver cuadro 21).

Cuadro 21: Especificaciones del ventilador principal.

	Características
Tipo de ventilador	Axial
Diámetro	0,8 m
Caudal	8,0 m ³ /seg
Potencia	13 Kw – 20 Hp
Nivel de ruido	67 db a 10 m de distancia
Voltaje	440 V

Fuente: Industrias y servicios EL TIGRE S.A. de PERÚ

3.2.5.3 Eficiencia del ventilador¹². Teniendo la eficiencia de los ventiladores a través de la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{abs}} \times 100\% \quad (25)$$

Dónde:

η = Eficiencia.

P_{util} = Potencia útil del ventilador (Kw).

¹² CHARRIS, Op. Cit., pág. 225

P_{abs} = Potencia absorbida del ventilador (Kw). Proporcionada por el fabricante.

Resolviendo la ecuación tenemos la eficiencia (ver cuadro 22):

Cuadro 22: Eficiencia de los ventiladores principales.

	Potencia Util P_{util} (Kw)	Potencia Absorbida P_{abs} (Kw)	Eficiencia η (%)
Ventilador	12,2	15	81%

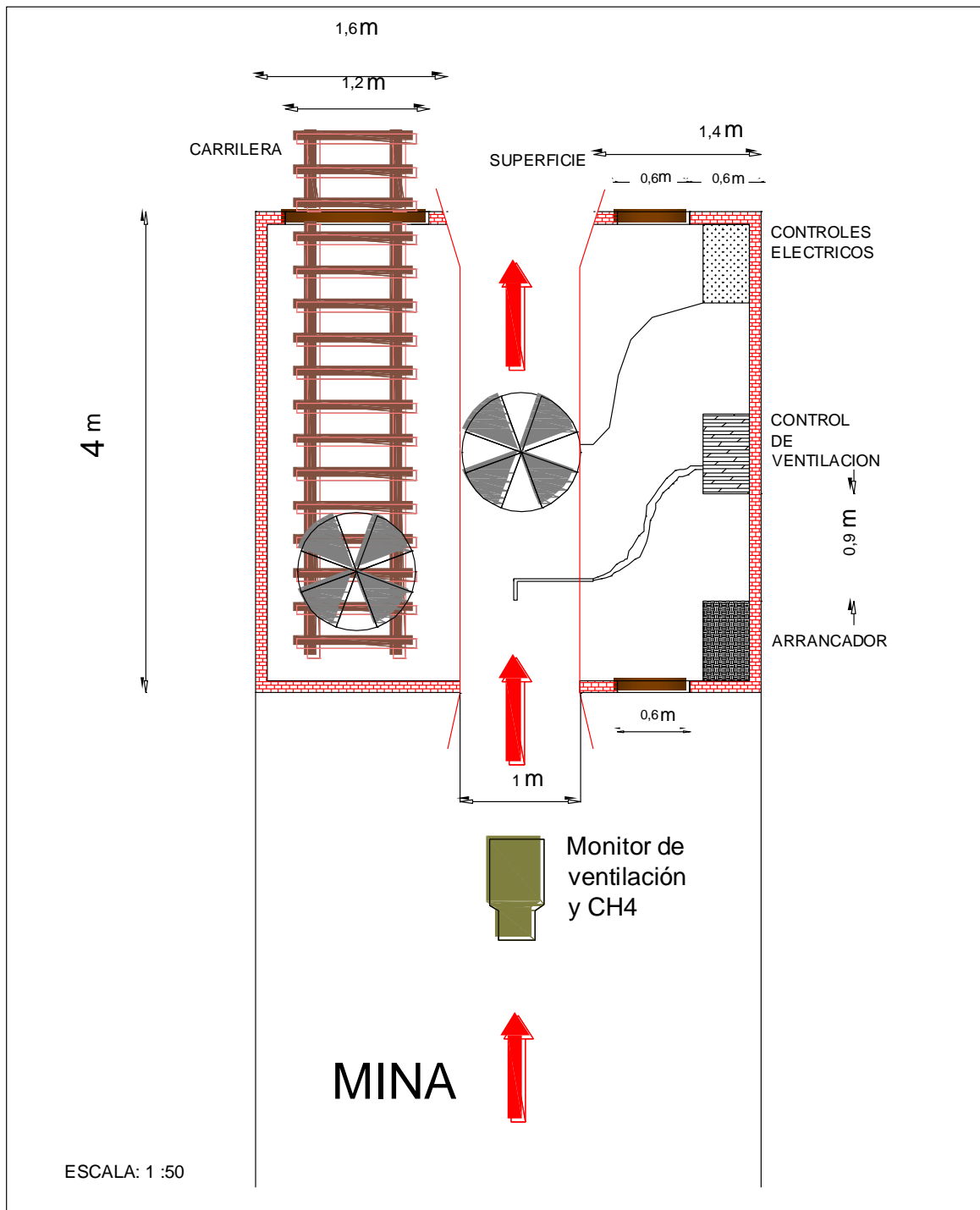
Fuente: **Investigación del proyecto.**

3.2.5.4 Instalación del ventilador principal. Para la correcta instalación de los ventiladores principales se debe de tener en cuenta que estos estén sobre una superficie plana (que no exista inclinación) completamente fijos, dominando la vibración características de estos, si estos requieren de una instalación con inclinación se le debe de suministrar al fabricante este dato para que los fabrique de acuerdo a esa inclinación y así evitar el desgaste de los rodamientos.

Para esta instalación se necesitará de dos muros en ladrillos con su respectiva puerta metálica cada uno, un tubo de acople de igual diámetro que el ventilador (ver figura 10).

El tubo de acople debe ser totalmente hermético entre las paredes o sea que calce preciso y que no posea golpes ni codos, este debe de estar galvanizado por dentro para tener un menor coeficiente de fricción. El ventilador debe ajustar a la perfección con el tubo de acople evitando pérdidas del caudal.

Figura 10: Instalación del ventilador principal.



Fuente: Desarrollo del Proyecto.

3.3 MODIFICACIÓN DE LA REPARTICIÓN DEL AIRE.

3.3.1 Aspectos complementarios relativos a la distribución del aire. Para lograr analizar lo visto en la mina El Maracaibo, anotamos que:

Cuando se tiene alguna habilidad especial, el aire que entra a la mina se repartirá según las leyes del movimiento de los fluidos, en todos los circuitos que existan, Esta distribución será confusa y no se pueden esperar de ellas los fines fijados para obtener una buena ventilación. Es por esto que la repartición de las condiciones de circulación del aire se hace imprescindible.

En el flujo de aire en los niveles o inclinados de entrada y de salida de la ventilación deben tener una comunicación directa por un nivel o inclinado de unión. Si se presentare un corto circuito a través de estas vías privaría el aire, al resto de la mina y se crearía un obstáculo no correcto. Una de los fines de la distribución del aire es evitar los posibles cortocircuitos que llegaren a presentarse

Otro punto muy importante en la distribución de las corrientes será entonces una repartición de aire adecuado a las necesidades de los diferentes circuitos. Varias formas prácticas que son calculables existen para ello instalación de puertas, instalación de ventiladores adicionales, aumento en las secciones de los niveles o inclinados.

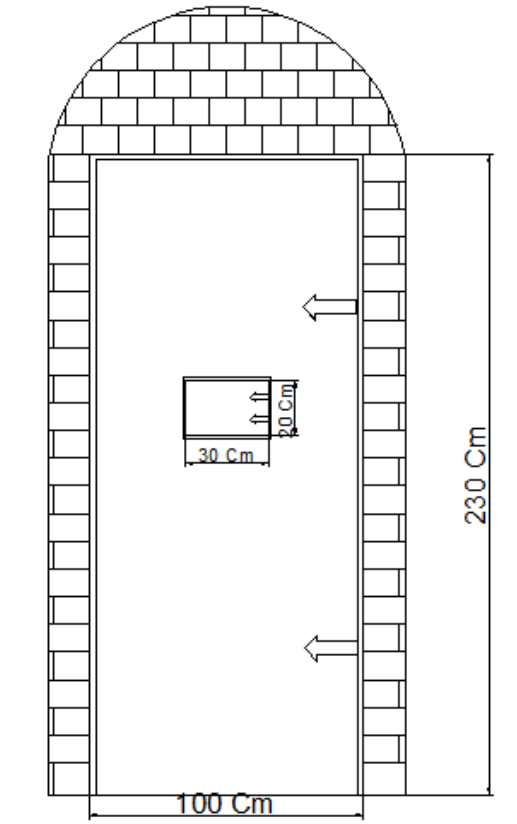
Cualquier procedimiento a emplear deberá contar, según el caso, de un buen razonamiento de la situación.

3.3.2 Puertas de ventilación. Estas serán diseñadas y elaboradas por la empresa minera COOPCARBON, estarán de forma rectangular hechos en metal o madera y para su instalación en las vías, según las medidas de las secciones, sobre su parte superior “parte arqueada” se harán un muro en ladrillo y cemento (ver figura 11).

Las puertas deben ser resistentes a las explosiones ya que la ventilación de la mina se verá afectada al abrir una de estas, por ello se aconseja que se elaboren al menos dos puertas para que una de ellas, permanezca cerrada cuando la otra se encuentre abierta y de esta manera garantizar el aislamiento de las secciones.

En la construcción de estas puertas según la necesidad que se tenga en las vías debe permitirse el paso del personal, materiales y maquinaria que la circule.

Figura 11: Puerta de ventilación.



Fuente: investigación del proyecto

3.3.2.1 Ubicación de las puertas de ventilación. Las puertas deben ser instaladas en las labores ya abandonadas principalmente, para que el personal no tenga acceso a estas vías, no se generen pérdidas de aire, para que el aire fluya a través de las labores deseadas.

3.4 TABLERO DE CONTROL DE GASES Y VENTILACIÓN.

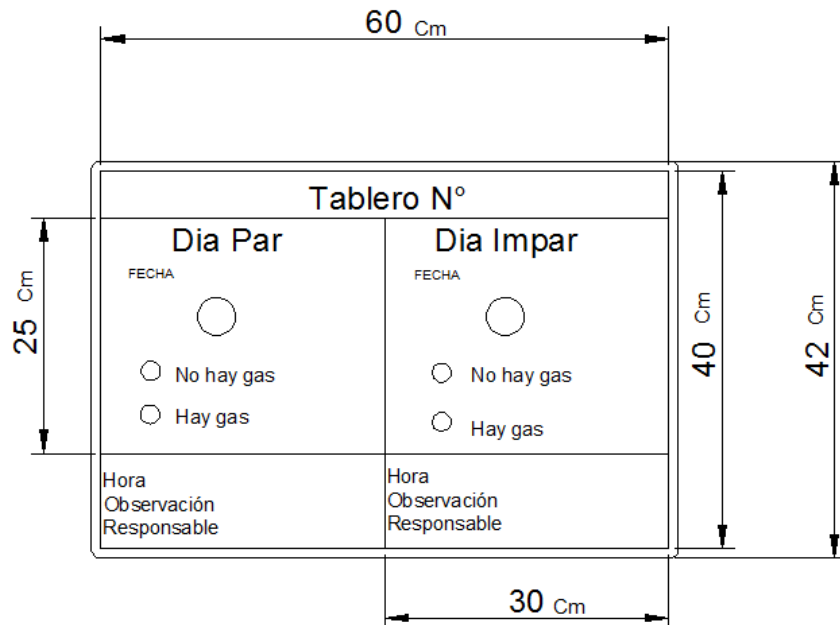
Los tableros de control utilizados en bajo tierra se encuentran aquellos en los cuales se deja constancia de una previa medición de gases permitiendo de esta manera el acceso a ciertas vías de la mina y el posible no paso. También encontramos la presencia de tableros que nos indican el comportamiento del flujo de aire en el circuito principal.

3.4.1 Tablero de control de gases. Con este se busca dar a conocer al personal la presencia o no de gases en los frentes ciegos.

La toma de mediciones de gases al inicio de los turnos debe ser por una persona capacitada y que siga los procedimientos de seguridad adecuados, posteriormente debe apuntarlos en los respectivos tableros y llevar registro e historial en superficie. El equipo utilizado es un MULTIDETECTOR de gases, debe estar previamente calibrado y cumplir con la norma de seguridad.

Diseño del tablero de control de gases. Como se muestra a continuación (ver figura 12), se divide el tablero a la mitad con el fin de organizar los días pares e impares y en la parte posterior de cada columna debe ir la hora, fecha, observaciones, firma del responsable y el porcentaje de cada uno de los gases posibles presentes en la mina. Se recomienda que el material de este tablero sea de acrílico para que sea fácil de borrar los registros anteriores y deben tener a su alrededor cinta reflectiva para una mejor referencia.

Figura 12: Tablero de control de gases



Fuente: Investigación del proyecto.

3.4.1.1 Ubicación de los tableros de control de gases. Estos deben ser ubicados en los frentes ciegos donde no pasa la corriente de aire principal, en zonas de cargue del carbón, en las entradas y salidas de la explotación y en el retorno de la ventilación. La ubicación de estos tableros será determinada a lo largo del avance del proyecto.

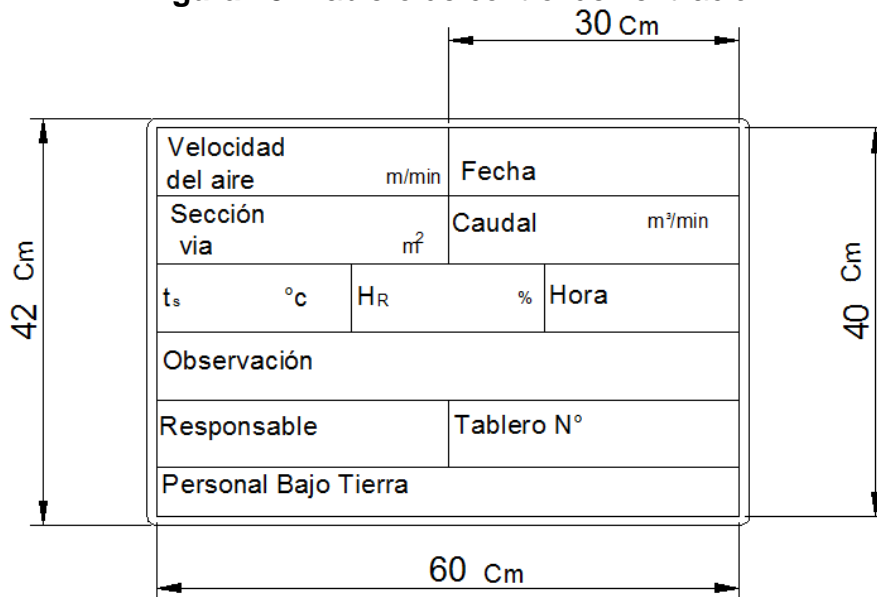
3.4.2 Tableros de ventilación. Se busca hacer uso con el fin de examinar la corriente de aire que ingresa y sale de la mina. Este consta de casillas para la sección libre de cada vía, velocidad, el caudal, temperatura seca (t_s), humedad

relativa, número de personal en bajo tierra, número de tablero, para la fecha y la última para la hora en que se ha realizado la medición.

Para la toma de medida de las variables descritas en el tablero de ventilación se recomienda usar higrómetro digital que calcula simultáneamente la temperatura seca, humedad relativa y velocidad del aire.

El encargado de realizar estas mediciones y su registro en el tablero deberá instruirse con el conocimiento en estas funciones. Este tablero de control de la ventilación se recomienda elaborarlo con los mismos materiales con que se elaboró el tablero de control de gases (ver figura 13).

Figura 13: Tablero de control de ventilación.



Fuente: Investigación del proyecto.

3.4.2.1 Ubicación de los tableros de ventilación. Estos tableros se hallaran cada 300m sobre el circuito principal de ventilación, en las estaciones descritas en la mina con el fin de conocer los caudales de entrada y salida.

En los circuitos de ventilación auxiliar se colocaran uno en cada frente de explotación.

4 INVERSIONES Y COSTOS DE LA VENTILACIÓN

Los costos de ventilación sobre una inversión para atender requerimientos de aire en una mina se llevarán a cabo teniendo en cuenta un interés bancario del 18% anual (establecido por “El banco de la República de Colombia”); estimado como cifra para cálculo de la amortización anual.

4.1 INVERSIONES.

El nivel de producción se ha realizado sobre una meta de producción mensual estimada en 3375 ton, llevada a 40500 ton/año.

4.1.1 Inversión de Equipos.

A continuación mostramos los costos por equipo necesario (ver cuadro 23).

Cuadro 23: Amortización de la inversión anual por equipos de medición.

Equipos de medición	Años depreciables	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total	Amortización de la inversión anual (\$)
Higrómetro digital	5	2	1.500.000	3.000.000	
Multidetector de gases	5	5	3.000.000	15.000.000	
Imprevistos (10 %)				1.800.000	
Subtotal de rubro				19.800.000	3.563.999

Fuente: Investigación del proyecto.

4.1.2 Inversión de Instalaciones.

A continuación mostramos los costos por instalaciones (ver cuadro 24).

Cuadro 24: Amortización de las instalaciones por anualidad de la ventilación.

Equipos	Años depreciables	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total	Amortización de la inversión anual (\$)
Tubo de acople (2.5 m)	5	1	500.000	500.000	
Variador	5	1	8.000.000	8.000.000	
Ventilador eléctrico (principal)	5	1	14.000.000	14.000.000	
Tablero eléctrico	5	1	300.000	300.000	
Tablas de control de entilación	5	10	40.000	400.000	
Tablas de control de gases	5	10	40.000	400.000	
Caseta de ventilador	5	1	2.000.000	2.000.000	
Muros en ladrillos estapados	5	2	500.000	1.000.000	

puerta + marco de ventilación	5	2	500.000	1.000.000	
Imprevistos (10 %)				2.760.000	
subtotal del rubro				30.360.000	5.464.799

Fuente: Investigación del proyecto.

4.2 CONSUMO DE ENERGÍA

A continuación mostramos el costo por consumo de energía del ventilador (ver cuadro 25).

Cuadro 25: Consumo de energía del ventilador principal.

Consumo de energía	Horas de trabajo	Consumo (kw/hora)	Costo del kw (\$)	Costo por día laborable (\$)	Costos por toneladas (\$)
Ventilador para vías propuestas	12	13	600	93.600	108

Fuente: Investigación del proyecto.

4.3 SUPERVISIÓN

A continuación mostramos el costo por tonelada (ver cuadro 26).

Cuadro 26: Costo de la supervisión por tonelada.

Supervisión	Cantidad	Sueldo (\$)	Prestaciones sociales (%)	Sueldo total (\$)	Costos por toneladas (\$)
Supervisor	1	1.1000.000	55,91	1.715.010	147

Fuente: Investigación del proyecto.

CONCLUSIONES

Se logró conocer e identificar las diferentes estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.

Se logró evaluar la ventilación actual de la mina MARACAIBO, donde se encontraron algunos factores importantes que afectan la corriente de aire del circuito principal de ventilación, donde se registraron los caudales actuales de la mina y las condiciones climatológicas de esta. Lográndose detectar los diferentes puntos críticos del circuito de ventilación.

La ventilación principal propuesta para la mina MARACAIBO busca diluir todos los gases que se generan en todos los procesos para llevarlos al valor límite permisible (VLP). Una adecuada ventilación mejora la calidad de la atmósfera minera y aumenta el rendimiento de los trabajadores

Se dio a conocer los costos para la inversión de equipos e instrumentos para las respectivas mejoras en la ventilación.

Las minas de carbón siempre han logrado presentar una emanación puntual de gases que son causantes de diferentes tipos de accidentes por tal razón buscamos implementar de manera práctica un nuevo sistema que facilite las circulación de aire por los diferentes frentes y así lograr mantener las condiciones adecuadas.

Las vías que tiene la mina presentan unas condiciones variables en cuanto a las secciones, lo que nos permite establecer un entorno poco aceptables en cuanto al flujo de aire ya que estas no facilitan la circulación rápida de la ventilación, por tal razón se buscó proponer un mejoramiento de las secciones de las labores que se encuentran y las proyectadas, para así lograr cumplir con un flujo turbulento.

El trabajo correspondió al diseño de la red de ventilación de la mina MARACAIBO, en Samacá, que busca ser un instrumento de guía, para que otros proyectos con características similares implementen el diseño aquí expuesto y se mejore el ambiente de trabajo en toda labor subterránea.

Para el diseño de la red de ventilación fue necesario examinar las labores mineras, tanto actuales como proyectadas para conocer hacia donde dirigimos la corriente de aire limpio necesaria en cada sitio de la mina, de manera que se cumpliera con los estándares de ventilación estipulados en el decreto 1335 de 1987 Reglamento de seguridad en las labores subterráneas.

En el estudio de los dos métodos de explotación tajo cortó y tambores paralelos se encontró que tienen menor resistencia. El método de tambores paralelos tiene el inconveniente de la hermetización de los machones al final de la explotación de cada tambor si los tambores no se aíslan adecuadamente pueden presentarse fenómenos de auto combustión que pueden originar fuegos en la mina.

RECOMENDACIONES

Se propone a la mina MARACAIBO aumentar el área de las labores por donde circula la corriente de aire; así se disminuirá la resistencia de las vías y aumentará la abertura equivalente de la mina, lo que facilita la posibilidad de ventilar la mina con menor energía a un menor costo.

Conservar las vías proyectadas en buen estado para garantizar un buen flujo de aire.

Ubicar puertas de ventilación que cumplan con las normas para una mayor eficiencia en el caudal que se encuentra circulando por cada una de las labores en el circuito principal y realizarle el previo mantenimiento a las que están instaladas, para evitar pérdidas y el acceso al personal.

Se aconseja realizar una adecuada selección de los ventiladores tanto principales como auxiliares para evitar incrementos en costos de energía.

Se aconseja replantear el método de explotación actual por el propuesto, ya que este posee mayores ventajas para la ventilación y rentabilidad en la explotación debido al alto porcentaje de recuperación del mineral.

Adecuar puntos de aforos de ventilación para obtener comportamientos más exactos del aire, llevar un registro y publicarlos en los tableros de ventilación las mediciones realizadas.

Es de vital importancia una persona encargada de la ventilación ya sea técnico y/o ingeniero, que contribuya con la seguridad de los trabajadores y de la infraestructura minera.

Instalar barreras contra el polvo de carbón, en los sitios de mayor turbulencia como la zonas de carga y descarga, las zonas de explotación y el retorno del aire en el tajo.

BIBLIOGRAFIA

CHARRIS Tomas, *Fundamentos de ventilación en labores subterráneas*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín 2006. Libro inédito.

CHARRIS Tomas y NARANJO F. Héctor, *ventilación de minas*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín 1975.

Decreto 1335. *Seguridad en la industria minera mediante el cual se expide el reglamento de seguridad en las labores subterráneas*. Colombia. de julio 15 de 1987

EL TIGRE S.A., *Industrias y servicios, ingeniería en ventilación subterránea*. Catálogo. Perú.

EOT. *Esquema de Ordenamiento Territorial de SAMACÁ*. Boyacá. 2000.

HERRERA Viancha Alonso, *Elementos de ventilación de minas*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso. 1998. N° Pág. 227.

LOPEZ, julio. *Geología Samacá*. 1991.

LUQUE Cabal Vicente, *Manual de ventilación de minas – Asociación de investigación tecnológica de equipos mineros*. Editorial AITEMIN. España. Capitulo II Pág. 1 – 66.

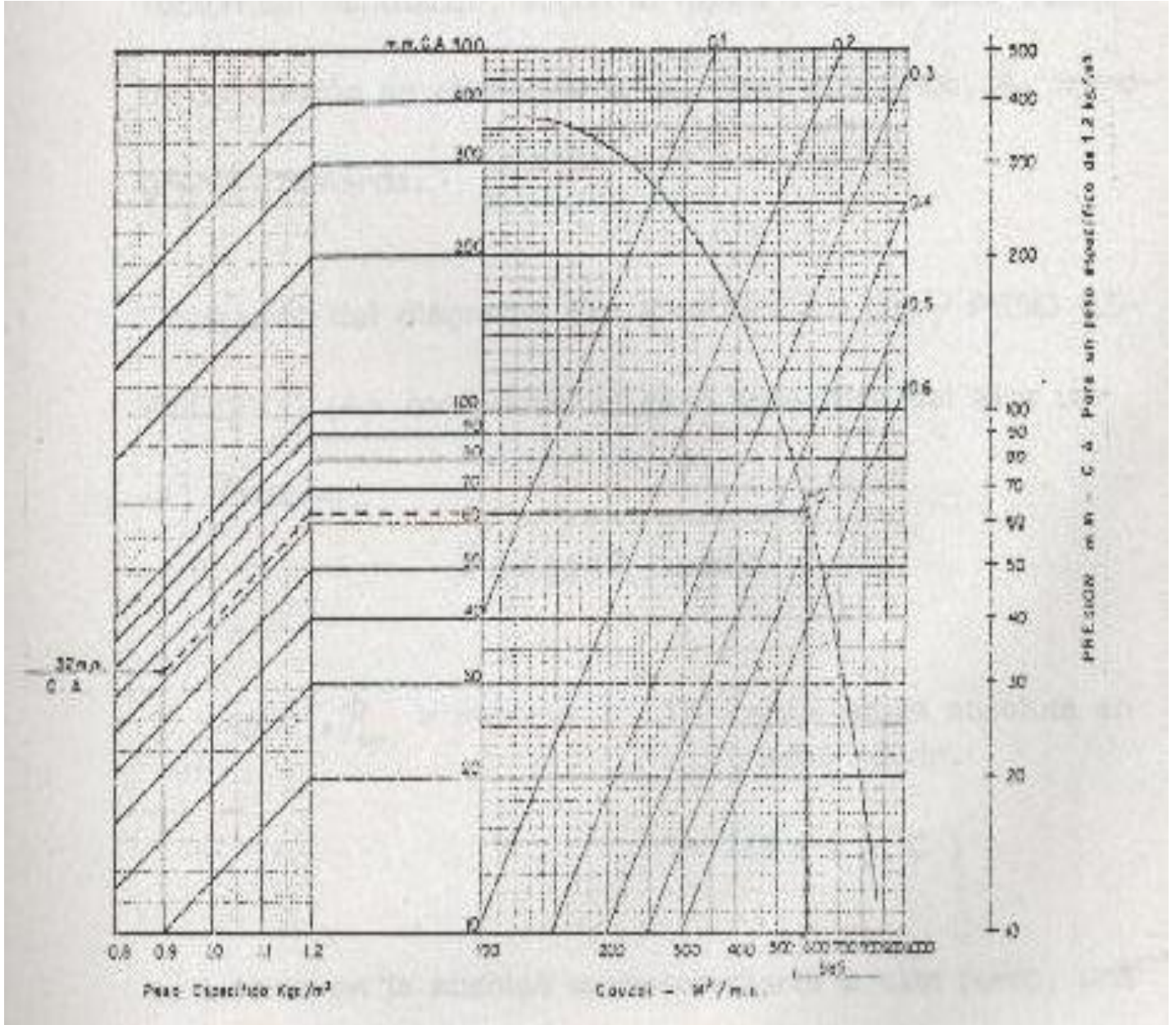
NOVISKY Alejandro, *ventilación de minas*. Argentina. N° pág. 528.

PADILLA, Delkin y TOSCANO, Darío. *Modelo para el diseño de la ventilación primaria y secundaria aplicado a la mina de carbón san miguel, C.I. milpa s.a*. Modalidad Monografía para optar el título de ingeniero en minas. Colombia – Boyacá. UPTC 2006.

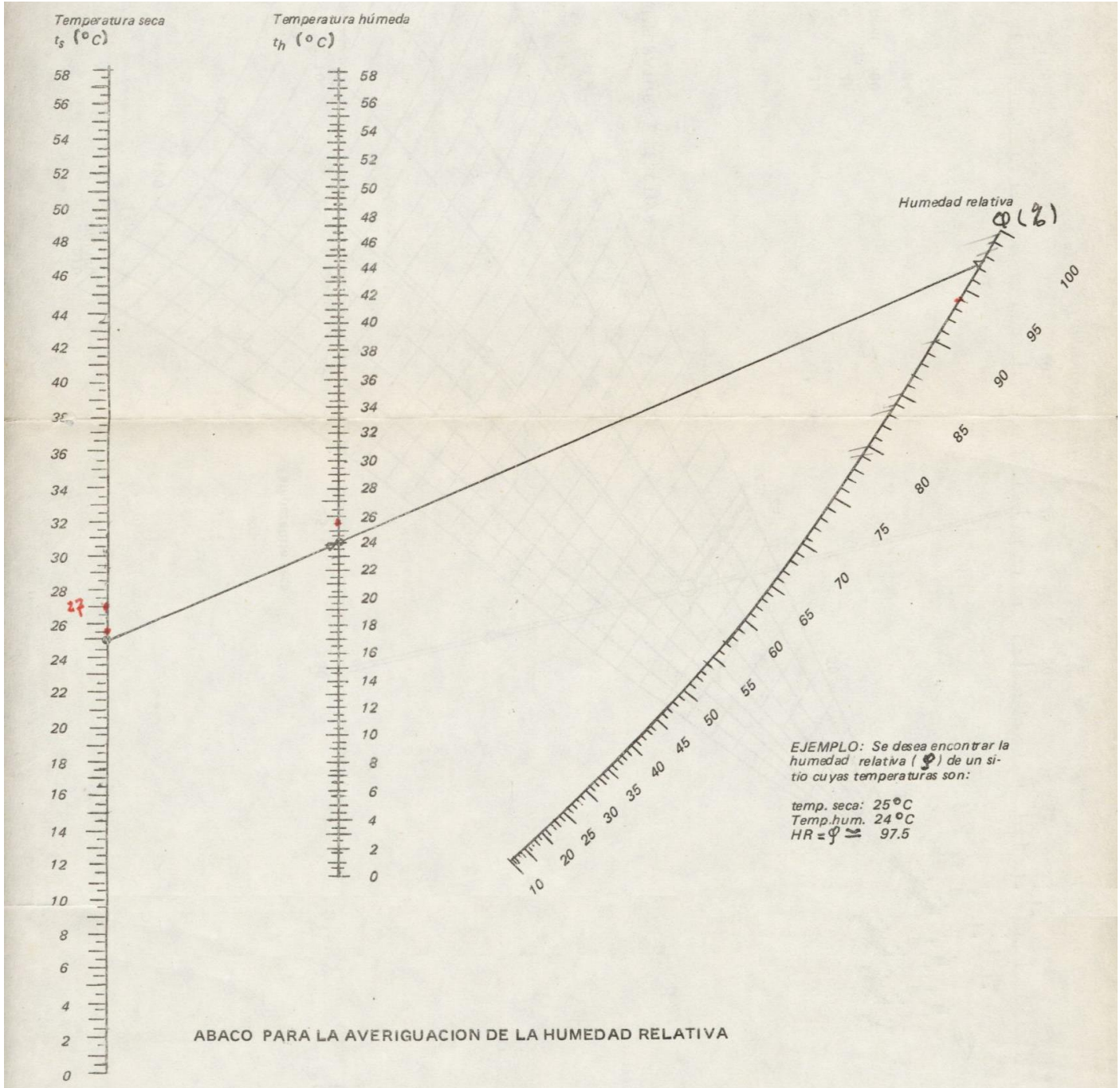
VIDAL Víctor, *Explotación de minas – TOMO II*. Edición OMEGA S. A. - Barcelona. 1966. Páginas 323 – 618.

ANEXOS

ANEXO D: Peso específico del aire

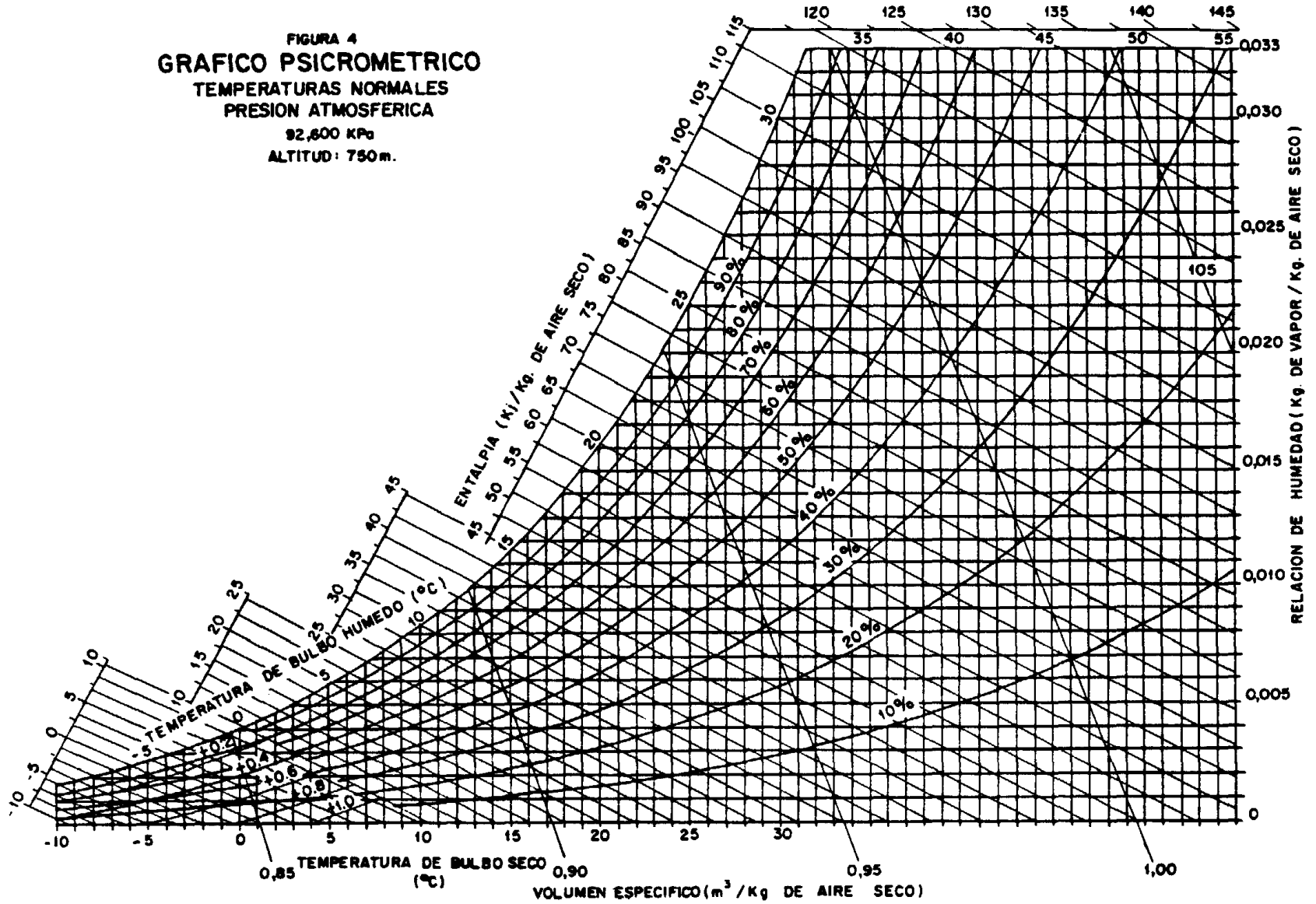


ANEXO E: Nomograma para el cálculo de la humedad relativa



ANEXO H: Gráfico Psicométrico

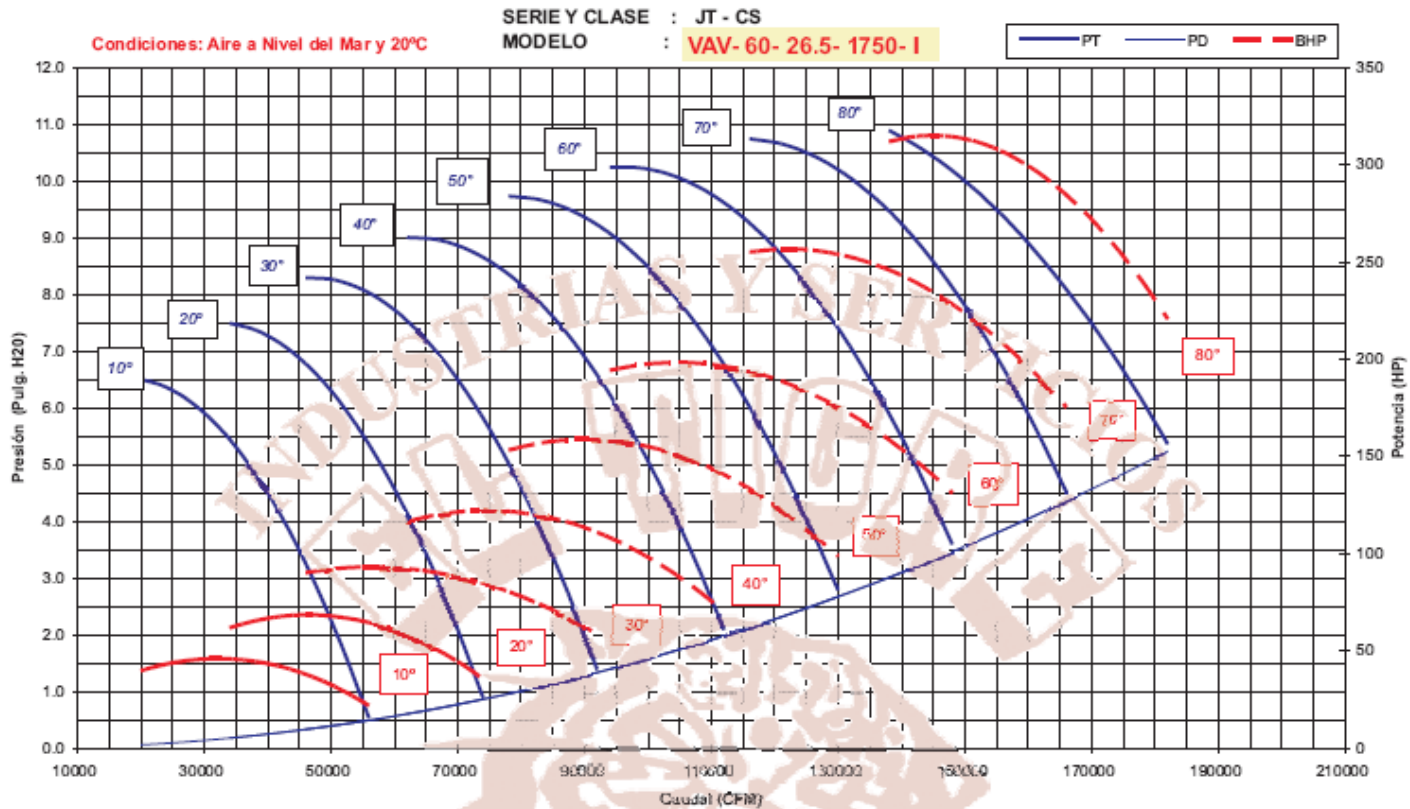
FIGURA 4
GRAFICO PSICOMETRICO
TEMPERATURAS NORMALES
PRESION ATMOSFERICA
92,600 KPa
ALTITUD: 750m.



ANEXO I: Curva característica del ventilador



VENTILADOR AXIAL PARA VENTILACIÓN SUBTERRANEA "EL TIGRE"®



MINA EL MARACAIBO										
FORMATO DE MEDICIONES DE VENTILACIÓN					FECHA: 03/MARZO/2014		MINA EL MARACAIBO		ANEXO1A	
					PRESIÓN BAROMÉTRICA: 549.9415				PERIODO:	MAÑANA Y TARDE
					PESO ESPECIFICO: 0.8761		MINERAL CARBÓN			
DATOS Y MEDICIONES DE VENTILACIÓN DE LA MINA						CÁLCULOS				
MEDICIÓN N°	HORA	ESTACIÓN DE MEDIDA	VELOCIDAD AIRE m/min	SECCIÓN m ²	TEMPERATURAS		TEMPERATURA EFECTIVA	HUMEDAD RELATIVA	CAUDAL AIRE	OBSERVACIONES
					SECA °C	HUMEDAD °C	°C	φ%	m3/min	
1	07:30 a.m.	Inclinado Principal	35	2.6425	17	12.3	13.12666667	73.61	92.4875	
2		Inclinado Principal	35	1.586	15.1	14.6	14.16666667	96.8006	55.51	
3		Inclinado Principal	23	2.3646	15.8	15.7	15.34666667	99.3559	54.3858	
4		Labor de desarrollo manto la limpia	20	4.5705	18.2	17.2	17.16666667	93.839	91.41	
5		Labor de desarrollo manto la limpia	6	4.0971	18	17.8	17.76	98.7381	24.5826	
6		Labor de desarrollo manto la limpia	14	2.5572	18.2	17.2	17.26666667	93.839	35.8008	
7		Ventana	78	0.9589	18.4	16.1	15.49	86.3461	74.7942	
8		Nivel 5 (Norte)	50	1.326	19	18.6	17.88666667	97.511	66.3	ingreso al aire
9		Tambor de entrada(entre nivel 5 y 6)	17.85	1.506	18.6	18	17.8825	99.98	26.8821	
10		Nivel entre 5 y 6	32.5	1.4982	18.3	18	17.54833333	98.1173	48.6915	
11		Nivel 9 (Avance)	5	3.075	22.8	21.8	22.01666667	94.043	15.375	En Avancé
12		Nivel 7	12	2.025	21.4	21	20.92	97.5574	24.3	
13		Tambor de retorno (entre nivel 5 y 6)	45	0.72	25.1	24.1	23.65	94.1653	32.4	Retorno del aire
14		Nivel 2	8.5	2.5608	25.5	24.4	24.58833333	93.61	21.7668	
15		Nivel 1	19.1	2.7808	27	25.4	25.56166667	90.92	53.11328	
16		Nivel Principal de transporte	14	2.2649	26.5	26.3	26.12666667	98.82	31.7086	
17		Al final del inclinado de transporte	20.5	2.7416	24.2	24.1	23.78833333	99.3984	56.2028	
18	03:30 Pm	Inicio del inclinado principal de transporte	39.25	2.1924	22.3	22.2	21.57583333	99.3897	86.0517	
Promedio			26.3722222	2.18195	20.63333333	19.71111111	19.54824074	94.780044	49.542371	

ANEXO B: Aforos de ventilación