



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez Facultad de Geología –Minas
Departamento de Minería

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero de Minas.

Título: Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.

Autor: Melinda Rondón Rosales.

Tutores: Dr. C Roberto Lincoln Watson Quesada.

Ms. C Yurisdell Velázquez LaO.

Ing. Ismael Terrero Aguirre.

Curso

2014– 2015

Año 57 de la Revolución





Declaración de Autoridad:

Yo: Melinda Rondón Rosales.

Autora de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Melinda Rondón Rosales.

Dr. C Roberto Watson Lincoln Quesada.

Ms. C Yurisdell Velázquez LaO.

Ing. Ismael Terrero Aguirre.



Pensamiento



“La alegría es inmensa y sin embargo, queda mucho por hacer todavía. No nos engañemos creyendo que en lo adelante todo será fácil; quizás en lo adelante todo será más difícil. ”

Fidel Castro Ruz



Agradecimientos

Para la realización de este trabajo he contado con el apoyo y dedicación de varias personas con el fin de que este tenga la mejor calidad posible por tanto agradezco primeramente a Dios por permitir que se realizara mi sueño de ser una ingeniera y por guiarme en todo este tiempo de lucha y sacrificio.

A mi madre Midalsis Rosales Ramírez que ha sido un ejemplo en mi vida y seguirá siéndolo por el resto de mis días, a mis abuelos que aunque no estén presentes todos en vida, me enseñaron que uno no se debe dar por vencido y perseverar.

A mi hermano, mis primos, mis tíos, en especial mi tía Milaida Rosales Ramírez que tanto me ayudó en el transcurso de mi carrera, además a mi tía Iris y su esposo Eliecer.

A mi padre que me apoyó en todos los momentos difíciles que tuve en la universidad.

A mi padrastro, a mi padre de crianza Benjamín Galano Silva que siempre me aconsejó junto con su esposa.

A mis compañeros de aula y escuela en general, a mis tutores que tanto me apoyaron en este trabajo.

A todos los profesores que estuvieron presentes en el desarrollo de la carrera.

A mis vecinos por su preocupación.

En general a todos, "MUCHAS GRACIAS".



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres: Midalsis Rosales Ramírez y Gerardo Rondón Lapido.

A mis abuelos: Dora Ramírez Martínez, Ibrahím Rosales Rubio, Josefa Dolores Lapido Díaz y Julio Rondón Buzón.

A mis tíos: Hermes, Eriel y Milaida Rosales Ramírez.

A mi hermano: Benjamín Galano Rosales.

A mis amistades Dalia Castillo, Albert Steyners, Miguel Torres, Yoandra Martiatus, Sonia del Toro, Maylen, Arléis Pérez, Lizander Mendoza, Yoandris Hernández, Armando Piloto, Ismel Mena, Alejandro Mendoza, Amalia Sánchez, Dayana Chávez, Susel González, Leydi Laura, Carlos E. Córdoba, Lorenzo Maceo, Daniel, Yoandris Caraballo, Yurina Girón, Juan Emilio, entre otros.

A todo aquel que hizo posible la realización de este trabajo y que convivió conmigo en los momentos buenos y malos de mi vida como estudiante.



Resumen

El trabajo tiene por objetivo el Perfeccionamiento del sistema de ventilación del Túnel Levisa-Mayarí para lograr condiciones higiénico-sanitarias adecuadas, este túnel estará destinado a trasvasar el agua desde los ríos que nacen en el macizo montañoso de Nipe-Sagua-Baracoa hacia las llanuras del norte de Holguín, Las Tunas noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto. La ventilación se realizará para una excavación de más de 1000 m de longitud y un área de sección transversal de 29,81 m².

El trabajo cuenta con cuatro capítulos en los cuales se exponen las labores a desarrollar para el perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel. Primeramente se realiza el estado actual del tema en el mundo, en el cual se exponen conceptos acerca de los tipos de ventilación y su significado. Luego se procede a mencionar las características físico-geográficas y geológicas del área investigada en la cual se plantean todas las condiciones geológicas de la zona en que se encuentra el túnel y el municipio Mayarí. Se definen los factores que intervienen en la ventilación, se caracterizan algunos de los equipos que trabajan en el túnel, luego se procede al cálculo de los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí, estableciéndose el caudal requerido por personas y equipo diésel en el túnel, también se calcula sus resistencias y cantidad de aire necesaria para ventilar, según la cantidad de sustancia explosiva que se utilice. En el último capítulo se efectúa el cálculo económico para conocer los gastos medios anuales de operación, para terminar se dictan las medidas para la protección al medio ambiente y la seguridad y salud del trabajo, elemento esencial para todo ingeniero.



Abstract

The work has for objective the Improvement of the system of ventilation of the Tunnel Levisa-Mayarí to achieve appropriate hygienic-sanitary conditions, this tunnel will be dedicated to trasvasar the water from the rivers that you/they are born in the solid one mountainous of Nipe-Sagua-Baracoa toward the plains of the north of Holguín, The northeast Tunas of Camagüey and the north and center of the Valley of the Cautious one. The ventilation will be carried out for an excavation of more than 1000 m of longitude and an area of traverse section of 29,81 m².

The work has four chapters in which the works are exposed to develop for the improvement of the system of ventilation of the tunnel. Firstly he/she is carried out the current state of the topic in the world, in which concepts are exposed about the ventilation types and their meaning. Then you proceeds to mention the physical-geographical and geologic characteristics of the area investigated in which you/they think about all the geologic conditions of the area in that he/she is the tunnel and the municipality Mayarí. They are defined the factors that intervenc in the ventilation, some of the teams they are characterized that work in the tunnel, then you Levisa-Mayarí proceeds to the calculation of the parameters of the system of ventilation of the tunnel, the flow required by people and team diesel in the tunnel settling down, it is also calculated its resistances and quantity of necessary air to ventilate, according to the quantity of explosive substance that is used. In the last chapter the economic calculation is made to know the expenses annual means of operation, to end they dictate the measures for the protection to the environment and the security and health of the work, essential element for all engineer.



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.	3
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA INVESTIGADA.	16
2.1 Descripción General	16
2.2 Características ingeniero-geológicas.	20
2.3 Caracterización de las principales fábricas lito-estructurales.....	24
CAPÍTULO III. DEFINICIÓN DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VENTILACIÓN Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL LEVISA-MAYARÍ QUE FACILITAN EL PERFECCIONAMIENTO.	27
3.1 Introducción.....	27
3.2 Algunos de los equipos que se utilizan en el túnel. Características Técnicas.....	27
3.3 Condición actual de la ventilación en el túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.	33
3.4 Determinación de los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí.	34
CAPÍTULO IV. EVALUAR LOS ÍNDICES TÉCNICO-ECONÓMICOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA AL CASO DE ESTUDIO. IMPACTO AMBIENTAL.....	42
4.1 Cálculo Económico.....	42
4.2 Impacto al Medio Ambiente.	42
4.3 Seguridad y Salud del Trabajo.	45
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS	



INTRODUCCIÓN

El estado cubano ha establecido como su principal estrategia lograr la invulnerabilidad económica en los próximos años, lo que permitirá al país salir al frente y alcanzar niveles de desarrollo social, económico, político y cultural, superiores a los obtenidos en períodos precedentes.

Para ello se ha previsto un volumen considerable de inversiones en las ramas energética, minera, de construcción industrial, en obras hidrotécnicas, las que están estrechamente vinculadas al desarrollo de la industria extractiva de recursos minerales y con la agricultura, el cual consideramos una importante rama que necesitamos continuar desarrollando.

Se prevé también un considerable impulso a la construcción de obras hidráulicas con el propósito de encontrarle solución a corto, mediano y largo plazo a los efectos de las intensas sequías que han afectado y afectan a la economía con mayor intensidad en la región oriental de nuestro país.

A finales del año 2004, ante la crisis ambiental que provocó una severa y prolongada sequía con grandes pérdidas para las provincias orientales y Camagüey, se dió reinicio al plan estratégico de las obras del Trasvase Este-Oeste el cual fue paralizado por la aguda etapa del período especial en los años 90. El mismo será la garantía para que los lugares más afectados por la sequía dispongan de agua en este siglo, bajo cualquier circunstancia.

El Túnel Levisa - Mayarí perteneciente al Trasvase Este-Oeste se construye a partir de la necesidad de trasportar agua desde los ríos que nacen en el macizo montañoso de Nipe - Sagua –Baracoa hacia las fértiles llanuras del norte de Holguín, Las Tunas, noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto.

El mismo se construye debido a las necesidades que presentan los lugares antes mencionados con el objetivo de trasvasar el agua.

Situación Problémica: Como consecuencias del laboreo de las excavaciones subterráneas del trasvase Este-Oeste, cuyas longitudes alcanzan más de 800m, durante los trabajos de voladuras, así como los trabajos de carga-transporte se



enrarece la atmósfera en los frentes de avance, lo cual afecta la higiene del trabajo y en muchas ocasiones provoca interrupción de las actividades productivas, como es el caso del túnel Levisa-Mayarí. De tal idea planteamos lo siguiente:

Problema: Necesidad de realizar el perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí para poder trabajar en condiciones higiénico-sanitarias adecuadas.

Objeto de estudio: El túnel Levisa- Mayarí del Trasvase Este-Oeste.

Campo de acción: La ventilación del túnel Levisa- Mayarí.

Objetivo General: Perfeccionar el sistema de ventilación del Túnel Levisa-Mayarí para lograr condiciones higiénico-sanitarias adecuadas.

Hipótesis:

Si se estudian las condiciones geólogo-mineras, se hace un análisis de los factores que intervienen en el sistema de ventilación, se examinan las condiciones técnico-económicas, y se opta por aplicar las soluciones adecuadas, se puede lograr el perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí y las condiciones higiénico-sanitarias adecuadas que son las requeridas por las normas.

Objetivos específicos:

- ✚ Analizar el estado actual del problema en el mundo.
- ✚ Caracterizar el objeto de la investigación.
- ✚ Definir los factores que intervienen en la ventilación y calcular los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí que facilitan el perfeccionamiento.
- ✚ Evaluar los índices técnico-económicos de la solución propuesta al caso de estudio. Impacto Ambiental.



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

Desde la antigüedad los hombres surgen y se desarrollan según sus necesidades, provocando hasta la actualidad, el desarrollo del mismo. Por estas causas desde el nacimiento del hombre comienza a realizar excavaciones, que hoy le llamamos túnel utilizándolos para diversas funciones.

Un túnel es un paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación a través de una montaña, por debajo de un río, una carretera u otro obstáculo.

En Cuba debido a la permanente hegemonía del gobierno de los Estados Unidos, luego del triunfo de la revolución en el 1959 e incrementándose en 1984 se comenzó la construcción de túneles. Para su ejecución se deben cumplir una serie de condiciones de acuerdo con las normas y legislación ambiental vigente en el país, durante el proyecto de excavación, las que entre otros aspectos exigen un adecuado sistema de ventilación.

La ventilación en minas y túneles constituye una operación fundamental cuya función es la de renovar el aire, diluir los gases contaminantes y polvo y controlar los humos en caso de incendio. Esta operación asegura unas condiciones ambientales no peligrosas para la circulación (respiración y visibilidad) y en caso de incendio garantiza las condiciones de evacuación y de intervención de los equipos de emergencia.

En base al volumen de los gases nocivos emitidos, se adecua el volumen de aire limpio y fresco necesarios. Existen diferencias entre la ventilación en fase de construcción y de explotación, pues en la primera se emiten más contaminantes, principalmente en la zona del frente de avance, estando además allí los operarios durante toda la jornada de trabajo. Otra diferencia importante en la ventilación durante la construcción de un túnel es que sólo tiene una entrada, por lo que la ventilación debe conseguirse asegurando la circulación desde la entrada hasta el frente de avance.



Figura 1.1: Ventilador a la entrada de un túnel en construcción.

Básicamente, se pueden adoptar tres tipos de ventilación en construcción:

Ventilación aspirante: en ella se emplea la conducción del aire como aspirante (tubería rígida) extrayendo el polvo y los gases a su través. El aire entra por la boca del túnel y atraviesa toda su sección hasta llegar al frente de avance, mezclándose así con los distintos contaminantes que puedan existir. Un ventilador acoplado a la tubería hace que el aire del frente entre en ésta y sea expulsado por su otro extremo al exterior del túnel.

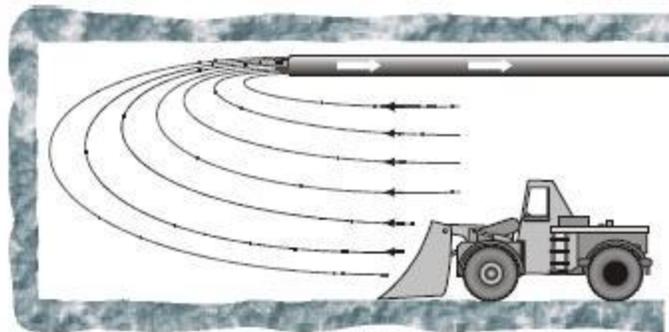


Figura 1.2: Ventilación aspirante

Ventilación soplante: se alimenta el frente de ataque con aire a través de la tubería de impulsión, saliendo el aire sucio a través de la galería que se está perforando. El tapón de humos, gases y polvo que ocupa el fondo del túnel es removido por el aire

fresco soplado por la tubería, siendo así diluido y empujado a lo largo del túnel hasta su emboquille, por donde es expulsado hacia el exterior.

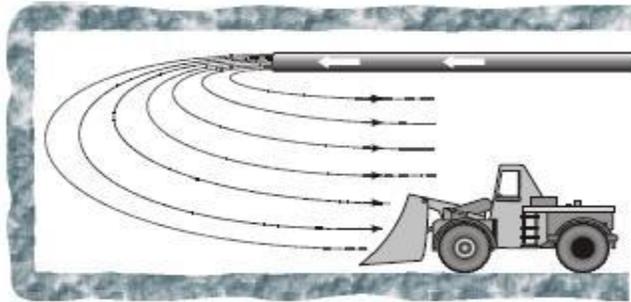


Figura 1.3: Ventilación soplante

Ventilación mixta: es una combinación de las anteriores; cuando se produce la pega (voladura) se adopta la disposición aspirante y una vez extraída la mayor parte de los gases sucios, se cambia a soplante.

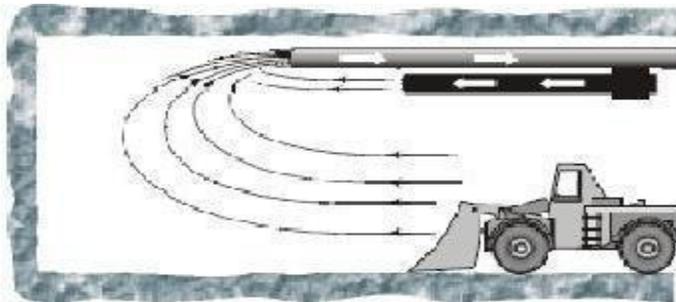


Figura 1.4: Ventilación mixta

La ventaja de la ventilación aspirante es que los gases y el polvo retornan por la tubería evitando que los respire el personal. Además, tras el disparo de las voladuras los gases y humos se eliminan rápidamente. Por contra, se requiere una tubería rígida o si es de lona deben estar armadas con una espiral de acero, el aire entra por el túnel lentamente, la ventilación aspirante deja algunas zonas del frente mal ventiladas, precisa una mayor potencia instalada y genera mayores pérdidas de carga.

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

superficie, fue ampliamente utilizada en los comienzos del siglo XVI; posterior a esto, se utilizó las caídas de agua en los piques para inyectar aire fresco al interior de las minas, también se encendían grandes hogueras en los piques para producir tiraje y levantar el aire contaminado desde el interior de las minas hacia la superficie.

En la segunda mitad del siglo XIX, se construyó los primeros ventiladores mecánicos, los de tipo centrífugo, fueron tales aparatos accionados primitivamente por molinos de vientos o por rueda hidráulica, los cuales en la actualidad son operados por medio de motores eléctricos.

Con el desarrollo de la ciencia aerodinámica, y posterior a la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores tipo axial, los cuales son los más utilizados en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en obras subterráneas, dichas unidades operan tanto en el interior de la mina, como en la superficie.

1. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en Sistemas de Ventilación Industrial, dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos, para tener como característica esencial: el hecho de emitir un bajísimo nivel de ruido si se les compara con la operación de los ventiladores de tipo axial. (Rodríguez Fernández Yansel), *Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Traspase Este-Oeste. Trabajo de Diploma Cuba, 2013.*



Figura 1.5: Ventiladores tipo Axial.



Actualmente existen varios países donde se utilizan ventiladores de tipo centrífugo de alta capacidad, en términos de caudal de aire, para ventilar operaciones minero-subterráneas con la característica particular y principal que, tales unidades sean instaladas principalmente en la superficie. Con la instalación de ventiladores centrífugos en superficie, se atienden a dos restricciones de manera simultánea: la primera, es evitar grandes excavaciones subterráneas y la segunda: es generar un mínimo impacto ambiental por ruido, en comparación con la instalación alternativa de un equipo tipo axial en localidades residenciales o en ciudades cercanas a la excavación.



Figura 1.6: Ventiladores tipo Centrífugo

Optimización del Sistema de Ventilación

Según: Mallqui T. A (1981), en la tesis titulada "Proyecto de Optimización del Sistema de Ventilación", indica en su conclusión:

- ✓ Se acepta que el incremento de la temperatura del aire debido al auto compresión, es el orden de 1°C por cada 100m de profundidad.
- ✓ El incremento de la temperatura es como resultado de la oxidación de carbón, de la piritita, putrefacción de la madera, velocidad del flujo de aire y el trabajo de equipos motorizados.
- ✓ El movimiento de aire es originado en el interior de la mina por la diferencia de presiones entre dos puntos del aire, creados en forma natural o artificial.
- ✓ Según se refirió Mallqui T. A. el incremento de la temperatura es resultado de varios factores a los que hace referencia en su artículo, para el caso que nos



ocupa, en el área de investigación el proceso de incremento de la temperatura, ocurre debido a la velocidad del flujo de aire y el trabajo de equipos de combustión interna, los cuales no tienen el mejor estado técnico por lo cual los gases de la combustión y el calentamiento de sus partes provocan altas temperaturas en su entorno. El movimiento del aire es forzado en el túnel debido a su longitud que supera los 1000 m.

Ventilación del Desarrollo de la Galería

Según: Naira A., Ángel. V. (1999) en el informe titulado "Ventilación del Desarrollo de la Galería", en sus conclusiones indica:

- ✓ Un sistema de ventilación indudablemente es de un elevado costo, de modo que su instalación requiere un análisis de los beneficios, este reporta durante el ciclo de operación.
- ✓ Para el caso analizado es importante instalar un sistema de ventilación dado que, los programas de las operaciones en la explotación de mantos son complicados en comparación con los de yacimientos en vetas.
- ✓ Para ventilar una galería es necesario producir una corriente de aire que fluya de modo continuo, la que debe tener por lo menos una salida y una entrada de aire, estar comunicadas con el exterior, de manera que la circulación de las corrientes de ventilación tengan una trayectoria que facilite un flujo permanente.
- ✓ Se concluye que para un mejor control de costos se debe emplear ventiladores eléctricos, y lograr un avance óptimo por disparo.
- ✓ El rendimiento del personal es muy bajo cuando las condiciones son extremadamente desfavorables.
- ✓ Según se refiere Naira A. Ángel. V en sus conclusiones, un sistema de ventilación indudablemente es de un elevado costo además de ser importante el mantenimiento de los ventiladores para un mejor funcionamiento y satisfacción del personal que allí trabaja. El mismo no trabaja en las mejores



condiciones y calidad lo que me refiero al área de investigación que es el Túnel Levisa-Mayarí.

Exigencias de Calidad para la Ventilación.

La ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio, de acuerdo a las necesidades del personal, las maquinarias y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudiera afectar la salud del trabajador, todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad de aire, deberá mantenerse dentro de los límites máximos permisibles siguientes:

Polvo inhalable: $10\text{mg}/\text{m}^3$

Polvo respirable: $3\text{mg}/\text{m}^3$

Oxígeno (O_2): mínimo 19.5% y máx. 22.5%

Dióxido de Carbono (CO_2): máx. $9000\text{mg}/\text{m}^3$ o 5000ppm. 30000 para un lapso de 15 min.

Monóxido de Carbono (CO): máx. $29\text{mg}/\text{m}^3$ o 25ppm

Metano (NH_4): máx. 5000ppm

Hidrógeno Sulfurado: máx. $14\text{mg}/\text{m}^3$ o 10ppm

Gases Nitrosos (NO_2): máx. $7\text{mg}/\text{m}^3$ de 3ppm o 5ppm

Gases Nitrosos (NO): 25ppm

Anhídrido Sulfuroso: 2ppm mínimo a 5 ppm máx.

Aldehídos: máx. 5ppm

Ozono: máx. 0.1ppm

Debe destacarse que es el sistema más efectivo para el control de los contaminantes del aire y para el mantenimiento de una velocidad constante del aire.

En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficiente de acuerdo al número de personas, el total de HP de los equipos con motores de combustión interna así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5% y



un máximo de 22.5% de oxígeno, cuando las minas se encuentren hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 6 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

- ✓ De 1500 a 3000 metros aumentara en 40%, será igual a $4\text{m}^3/\text{min}$.
- ✓ De 3000 a 4000 metros aumentara en 70%, será igual a $5\text{m}^3/\text{min}$.
- ✓ Sobre los 4000 metros aumentara en 100%, será igual a $6\text{m}^3/\text{min}$.

En caso de emplearse equipo diesel, la cantidad de aire no será menor de 6 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos, en ningún caso la velocidad del aire será menor de 20 metros por minuto, ni superior a 250 metros por minuto, en las labores de explotación, incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde exista trabajo personal. Cuando se emplee los agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 35 metros por minuto.

Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con lo antes señalado, deberá emplearse ventilación mecánica, se instalan ventiladores principales, secundarios o auxiliares según las necesidades.

Para ello es indispensable que la mina tenga dos excavaciones de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que solo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance).

Es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la excavación y al final de la misma, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. *(De la cuadra I, L, Madrid, 1974)*



Tipos de Ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- ✓ Ventilación natural.
- ✓ Ventilación mecánica.

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada, como es soplante y aspirante. En la primera, el ventilador impulsa el aire al interior de la mina por la tubería, en el caso de la aspirante el succiona el aire del interior de la mina por la tubería y lo expulsa al exterior, el caudal requerido será calculado:

- ✓ De acuerdo al número de personas.
- ✓ De acuerdo al polvo en suspensión.
- ✓ De acuerdo al aumento de la temperatura.
- ✓ De acuerdo al consumo de explosivos.
- ✓ Y en caso de que existan maquinas que trabajen con diesel (de acuerdo a sus HP total).

Ventilación natural

Es la que resulta del aprovechamiento de la fuerza natural del viento o del efecto que provoca la diferencia de temperaturas entre dos masas de aire.

La ventilación natural está siempre presente en todos los túneles y en ausencia de un sistema de ventilación artificial, es la que determina el sentido de circulación del aire en el interior de éstos. La ventilación natural de un túnel, se debe a la interacción de los efectos que producen los tres factores siguientes:

- ✓ Diferencia de presión entre las bocas del túnel.
- ✓ Viento dominante en el exterior del túnel.
- ✓ Pendiente del interior del túnel.



Para comprender mejor dicho efecto, vamos a analizar los tres factores por separado.

a) Diferencias de presión entre las bocas del túnel.

Cuando el aire exterior existente en las dos bocas del túnel posee una presión diferente, el aire circulará por el interior del túnel en el sentido de mayor a menor presión, es decir, de la boca cuyo aire exterior se encuentre a mayor presión hacia la boca cuyo aire exterior se encuentre a menor presión. En este caso, el movimiento natural del aire se produce por el equilibrado de presiones.

Este comportamiento del aire, no es más que un comportamiento meteorológico que se presenta constantemente en la atmósfera.

La localización geográfica de las bocas, condiciona en gran medida la diferencia de presión a la que se encuentran, esto es así por lo siguiente: durante el día, en los valles, debido a la mayor insolación recibida, se forman zonas de altas presiones en contraposición con las zonas en pendiente de las laderas de las montañas, las cuales al ser menos calentadas poseen menor presión.

También, las bocas que se encuentren en solanas tendrán más presión que las que se encuentren en umbrías. Por lo tanto, es de esperar, que cuando el día se ha caldeado, las bocas que dan a los valles o estén en solanas, estén sobrepresionadas respecto a las bocas que están a media ladera o en umbrías y que por tanto, se establezca una circulación del aire de la boca del valle o en solana, hacia la boca situada a media ladera o en umbría. Por el contrario, durante la noche, es probable que este sentido de circulación se invierta en las bocas situadas en los valles, debido a que el enfriamiento de los mismos es más rápido que en la montaña (por efecto de la mayor contra irradiación de estos al espacio).

b) Viento dominante en el exterior del túnel.

Cuando existe viento en el exterior del túnel, el aire llegará a alguna de las bocas del túnel con una cierta velocidad. Si la dirección del viento es más o menos similar a la del túnel, el aire tenderá a penetrar por la boca a la que llega. Esto, producirá una circulación del aire en el interior del túnel, en el mismo sentido y dirección que el



viento del exterior. Por lo tanto, el sentido de evacuación de humos en el interior de un túnel, puede estar condicionado por el viento reinante en el exterior del mismo. En el caso de presentarse un incendio dentro de un túnel, cuando existe en el exterior un viento de cierta magnitud, este puede condicionar totalmente el movimiento del humo.

c) Pendiente del interior del túnel en caso de tenerla.

Si por cualquier circunstancia, el aire existente en el interior del túnel aumenta de temperatura, entonces el movimiento del aire seguirá un comportamiento convectivo, tendiendo por lo tanto a desplazarse pendiente arriba. Cuando la temperatura exterior es baja, el aire existente en el interior de los túneles suele estar más caliente que el del exterior (efecto abrigo), por lo que aquel, también tenderá a desplazarse pendiente arriba. El calor de los motores de los vehículos y los gases de combustión expelidos, también contribuyen a elevar la temperatura del aire en el interior del túnel.

De lo expuesto se deduce, que los movimientos convectivos pendiente arriba serán considerables en caso de presentarse un incendio y esto es algo que habremos de tener muy en cuenta a la hora de nuestra intervención.

En conclusión, debido a que la ventilación natural, se debe a la combinación de los tres efectos expuestos, el resultado final no se puede prever de antemano ya que, dependerá de las condiciones atmosféricas que se den en cada momento y de si los efectos se suman o se contrarrestan.

Así por ejemplo, un túnel en pendiente, en donde aparece un fuego, cabría esperar en principio que el humo se desplazara pendiente arriba, pero si la boca del túnel que está más arriba desemboca en un valle recalentado por el sol, lo más probable será que el humo descienda por la pendiente, para salir por la boca más baja.

En este caso, el factor dominante habría sido, la diferencia de presión entre bocas. El movimiento del aire natural en el interior de los túneles es tan importante, que a partir de una cierta longitud (más de 500 metros en general) se les dota de un mecanismo que calcula el sentido y la fuerza del viento en su interior. Este



mecanismo, nos permite planificar mejor los pasos a seguir en caso de tener que intervenir en la extinción de un incendio.

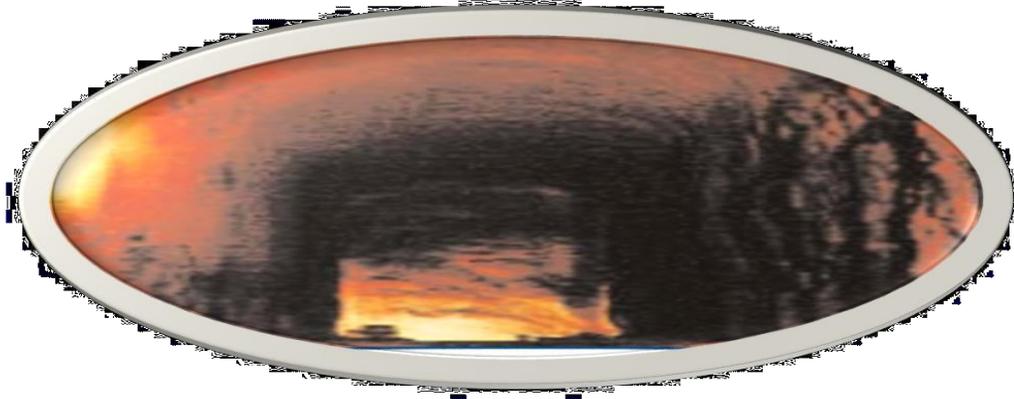


Figura 1.7: Túnel con ventilación natural y sin revestir.

Causas del movimiento de aire:

- ✓ En una mina que cuente con labores horizontales hasta verticales existirá una diferencia de peso entre el aire de la superficie y del interior, este equivale a la altura H .
- ✓ En verano, el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en la superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de la galería obligando a que el flujo ingrese por la chimenea y salga por la galería. Pero por las noches es difícil predecir.
- ✓ El invierno se invierte el proceso. En otras estaciones es difícil predecir.
(Mallqui T. A. (1981), ventilación de minas. Pág. 57. Huancayo, Perú).

Ventilación Mecánica

Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que hacen uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, emplean para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

La misma puede ser:



- Ventilación general
- Ventilación local

Ventilación general

Es la que las corrientes de aire generadas, no actúan en un punto determinado del local o área de trabajo sino en su conjunto.

Este tipo de ventilación, mejora condiciones micro climáticas, y/o disminuye las cargas de contaminantes químicos del área de trabajo.

Para ello se emplean ventiladores de tipo axial, que pueden funcionar como extractores o como inyectores de aire.

Ventilación local

Dirige su efecto hacia una zona particular del área de trabajo para eliminar el aire contaminado o mejorar las condiciones micro climáticas en el lugar.

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

(Ramírez H. J. (2005) ventilación de minas. "módulo de capacitación Técnico-Ambiental". Chaparra, Perú).

Reglas de ventiladores:

- ✓ La presión requerida es directamente proporcional a la longitud.
- ✓ La presión es directamente proporcional al perímetro.
- ✓ La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o volumen.
- ✓ La presión requerida es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad o volumen. *(Mallqui T., A. (1981), ventilación de minas. Pag.61. Huancayo, Perú).*



CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA INVESTIGADA.

2.1 Descripción General

El Túnel Levisa – Mayarí es una obra subterránea que va desde la Presa Levisa a la Presa Mayarí. La construcción de este túnel consta de 5 frentes de trabajo, uno que inicia el Tramo II, llamado El Loro, dos que subdividen el túnel de Conexión I, uno con dirección hacia el Tramo II y el otro hacia el Tramo III A, también se ejecuta el túnel de Conexión II subdividido en una galería con dirección hacia La Ceiba y otra en dirección hacia Tramo IV.

El Tramo IV del túnel se encuentra en una zona intrincada con difíciles accesos, formado por un relieve montañoso, en el trazado las alturas van desde cota 100.00 hasta 236.00, todo el trazado puede verse en la hoja cartográfica a escala 1:50 000 de Mayarí 5077-I.

Hidrología

La precipitación anual oscila entre valores de 1475 a 1517 mm según el Mapa de Lluvia media hiperanual 60 años de N. Fernández y O. Maximova, 1992 actualizado en el 2005.

Vegetación

La vegetación presente en la zona es variada principalmente abundan los charrascales sobretodo en la zona donde la pendiente es más pronunciada. En algunas zonas se observan pinos y otras plantas.

Clima

En el clima el factor que más influye en la ejecución de las obras propuestas son las precipitaciones, estas son responsables del escurrimiento de los principales ríos y arroyos de la zona de estudio, además son las principales fuentes de recarga de las aguas subterráneas.



El clima de la región es tropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos: seco y húmedo; el primero se extiende de noviembre-abril y el segundo de mayo-octubre, lo que se correlaciona con la distribución interanual del escurrimiento.

Orografía

La Orografía de esta región está caracterizada por su diversidad y complejidad, con el predominio de un relieve montañoso constituido casi en su totalidad por el sistema orográfico o grupo montañoso Nipe-Cristal-Baracoa.

Red Hidrográfica

La Red Hidrográfica, características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido en la formación de una densa red que corre generalmente de sur a norte. Dentro de las principales corrientes fluviales se destacan los ríos Mayarí y Levisa, así como los ríos La Ceiba, Arroyo Blanco y Cajimaya, estos últimos con influencia en el trazado del tramo en cuestión. La red hidrográfica que predomina es dendrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca, noviembre-abril y los más elevados en el período de lluvias, mayo-septiembre. Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descensos más bien lentos.

Población

Los poblados más importantes de la región son la ciudad de Mayarí, Levisa, Guaro, Cayo Mambí (Frank País), Sagua de Tánamo y Cueto, también aparecen caseríos diseminados como: Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, La Pedrona, Colorado, entre otros.

Redes de comunicación.

En sentido general el sistema de comunicación se encuentra desarrollado fundamentalmente en la parte norte de la región, existen dos vías de comunicación, terrestres y marítimas. Dentro de las terrestres se encuentran vías de orden principal, como la carretera pavimentada que enlaza Cueto con Mayarí, Mayarí con



Sagua, Sagua con Frank País y Sagua con las Calabazas. Entre las vías de orden secundario se encuentran terraplenes y senderos que comunican a los diferentes poblados y obras. Las comunicaciones marítimas se realizan por los puertos de Nicaro y Felton, también existen como parte de las comunicaciones, instalaciones telefónicas, estaciones postales y otras.

Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descensos más bien lentos.

Características socioeconómicas de la región

El municipio cuenta con 108 534 habitantes y una densidad poblacional de 80.1 habitantes por km²; el 62.7% de la población es urbana. La cabecera municipal es la ciudad de Mayarí con alrededor de 60 000 habitantes. Existen además, 134 lugares habitados, otros centros urbanos importantes son: Levisa, Nicaro, Guatemala, Guaro, Felton, Cosme y Caridad.

Mayarí ocupa el segundo lugar en la provincia en habitantes y el primero en extensión territorial. Además es el tercero del país en población entre los municipios que no son cabeceras de provincias, solo superado por Contramaestre y Cárdenas. Su población representa el 10.2% del total la provincia, se sitúa en el lugar 26 en cuanto a población y fondo habitacional del país y sólo en su tipo es superado por los municipios Palma Soriano y Manzanillo y en extensión territorial es el 8vo de Cuba.

El municipio Mayarí presenta un notable desarrollo Industrial. En su territorio se encuentran la Central termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez", puesta en marcha en la década de los 90 del siglo XX, que es la de mayor capacidad de generación de Cuba (560 Mega Watts); además la Fábrica de plástico Cajimaya y otras. La actividad económica fundamental se sustenta en la generación de electricidad, plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva y forestal, la silvícola, la cafetalera, el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, el transporte, así como la actividad de la salud, la cultura, el deporte, la educación y la actividad de los



servicios comunales y personales entre otros. En los estudios de PVR por deslizamientos del terreno las características socio económicas del municipio son muy importantes al evaluar los riesgos. Teniendo en cuenta que las principales actividades económicas de la región como pueden ser: la agricultura, construcción de obras hidráulicas entre otras pueden generar una alteración en el medio natural lo que puede generar zonas de susceptibilidad.

Geomorfología regional

La geomorfología del municipio Mayarí está compuesta por dos macizos montañosos, Sierra de Nipe y Sierra Cristal. Su relieve ha sido condicionado tectónicamente, donde se refleja las particularidades de la compleja estructura geológica obtenida como resultado de los movimientos compresivos de la Orogenia cubana y las adquiridas en la etapa neotectónica. En la Sierra Cristal se encuentra la mayor elevación del territorio, la Mensura, con 995 metros sobre el nivel del mar. En el área se distinguen bien diferenciadas rocas carbonatadas y terrígenas carbonatadas sobreyaciendo a las ultramafitas serpentinizadas del complejo intrusivo del Cretácico Superior.

Estas rocas presentan diferentes grados de alteración y ha dado origen a varios tipos de harzburgitas y en menor grado Dunitas y Piroxenitas. Esto se debió al intenso tectonismo sufrido por la región durante el Cretácico y el Paleógeno y hoy se muestran intensamente agrietadas y fracturadas en bloques de diversas dimensiones que van desde algunos m² hasta km². El macizo también es atravesado por diques de rocas básicas predominantemente Gabros y Diabasas (Arango et al., 1988).

Se encuentran diferentes categorías geomorfológicas determinadas por las diversas amplitudes de los movimientos neotectónicos como son las montañas, las alturas y las llanuras. Las montañas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos (CISAT, 2007).

En la zona de estudio van a encontrarse los siguientes escalones morfoestructurales:



Montaña pequeña, de horst-bloque, aplanada, diseccionada, masiva, con una altura de 500a 995m.s.n.m. Sierra de Nipe. En ella se encuentran varias superficies de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Mioceno-Plioceno al que está asociado el yacimiento Mina Pinares.

Montañas bajas, aplanadas, diseccionadas, con una altura de 500a 750 m.s.n.m., donde se encuentra una superficie de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Cuaternaria, al que está asociado el yacimiento Mina Ocujal - La Ramona.

Premontañas, aplanadas, ligeramente diseccionadas, con una altura de 300 a 400 m.s.n.m. A ellas está asociada la altura media, que es de 307 m.s.n.m. Premontañas y submontañas de bloque en plegamientos, diseccionados, con una altura de 200 a 300m.s.n.m. Alturas que ocupan pequeñas áreas relacionadas con los sistemas montañosos, son el resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con una altitud de hasta 300m.s.n.m. En el área constituyen las alturas de Mayarí, varias alturas ubicadas a lo largo de la cuenca del Río Mayarí como son: Seboruco, con 106 m.s.n.m., Sabaneta, con 106 m.s.n.m., Colorado, con 100 m.s.n.m., etc. Las llanuras ocupan gran parte del territorio y corresponden a las zonas de descenso relativo o de ascensos neotectónicos más débiles, cuyas amplitudes son inferiores a los 100 m. El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos. De clara evidencia sirven su propagación geográfica y la ubicación geomorfológica. Las observaciones revelan que con mayor frecuencia los deslizamientos están propagados en regiones montañosas, en tramos con relieve bruscamente accidentado, en las laderas escarpadas de los valles fluviales, en los taludes de desmontes y canteras. En general, el relieve del terreno y la situación orográfica de la región crean reservas de la energía potencial, la cual condiciona el desarrollo de los fenómenos de deslizamientos. **(Ver Anexo 1).**

2.2 Características ingeniero-geológicas.

En este punto se tratan los principales aspectos desde el punto de vista litológico y estructural del lugar de estudio, realizándose la caracterización de las principales



litologías y su fábrica, así como los elementos que tributan al mapeo ingeniero-geológico.

Debido a la existencia de distintas estructuras del macizo rocoso investigado, los trabajos traerán como consecuencia que se afecte su integridad y se produzca su debilitamiento, reflejado esto en la pérdida de su resistencia y capacidad portante, disminución de sus cualidades y un aumento de su heterogeneidad y anisotropía.

Por tanto las discontinuidades y los bloques de la matriz constituirán el conjunto de estructura rocosa que gobernará el comportamiento global del macizo rocoso, además de que las propiedades intrínsecas del mismo, definirán en gran parte su resistencia, existiendo otros factores que afectarán a su comportamiento mecánico, como son las estructuras tectónicas presentes, las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas desfavorables.

En Mayarí la geología se describe según el mapa geológico 1:25000 tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001. **(Ver Anexo 2).**

Rocas Serpentinizadas del Complejo Ofiolítico: Constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad de Jurásico-Cretácico Temprano (Iturralde-Vinent, 1996). Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca et al., 1985).

Formación Río Macío (Holoceno): Está integrada por depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Los cuales están formados por sedimentos arenosos, areno-arcillosos y conglomerados, estos últimos los conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente se pueden describir por la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.



Formación Bitirí (P3-N1 (1)): Calizas algáceas, duras, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales.

Formación Camazán (P3-N1 (1)): Calizas biodetríticas, calcarenitas, calciruditas, limolitas con intercalaciones de margas y arcillas.

Formación Río Jagüeyes (N1 (1)-N1 (2)): Limolitas, areniscas, gravelitas, margas, calizas, calcarenitas y arcilla.

Formación Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio): Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, con glomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Charco Redondo (P2 (2)): Calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas, de color variable.

Formación Dátil (N2-Q1): Conglomerados polimícticos masivos, poco rodados y seleccionados.

Formación Júcaro (N1 (3)-N2): Calizas arcillosas, calcarenitas, margas, limolitas, arcillas yesíferas y dolomitas.

Formación La Picota (K2): Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas.

Formación Puerto Boniato (P2 (2)): Alternancia de calizas y margas, con intercalaciones de sílice.

Gabros del Complejo Ofiolítico: Los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de uno a tres kilómetros de ancho y de 10 a 15 kilómetros de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 metros (Fonseca et al., 1985).



Formación Miranda (P1 (1)-P2): Tobas con intercalaciones de tufitas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados, limolitas, margas, gravelitas y conglomerados vulcanomícticos.

Formación Sagua (P2 (2)-P2 (3)): Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Yateras (P3-N1 (1)): Alternancia de calizas biodetríticas y detríticas, y calizas biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes Lepidocyclinas. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, y con menos frecuencia carmelitas.

Formación Jaimanitas (Q3-4): Calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta.

Formación Jutía (Q4): Depósitos de pantanos, de mangles, limos, limos arenosos. Se sabe que los deslizamientos están relacionados con las laderas y taludes de una estructura geológica determinada. En la mayoría de los casos, los deslizamientos están propagados en laderas compuestas por suelos arcillosos donde en el grueso de las rocas que los constituyen, se encuentran capas, intercalaciones, zonas de suelos arcillosos, aditivos arcillosos u otras rocas que forman las superficies de discontinuidad y zonas de debilitamiento; por último, en lugares de las laderas donde hay acumulaciones considerables de facies eluviales, diluviales y proluviales arcillosas. El análisis de las condiciones de formación de deslizamientos en los suelos rocosos enseña que en estos casos el relleno arcilloso en las grietas y los aditivos arcillosos en las superficies de las grietas facilitan de modo considerable la alteración del equilibrio de las masas de rocas. La formación de deslizamientos



resulta más favorable en tramos donde en la estructura geológica de las laderas o taludes hay superficies potenciales de resbalamiento, orientadas de modo desfavorable, es decir, que su pendiente está dirigida en el sentido de las pendientes de las laderas.

2.3 Caracterización de las principales fábricas lito-estructurales.

La descripción de las diferentes litologías o elementos ingeniero-geológicos, así como sus propiedades físico-mecánicas se ofrecen a continuación:

- ✓ **Capa 5a: Serpentinitas muy intemperadas y suelo eluvial**, de color amarillo u ocre que puede llegar a ser suelo. Tiene poco espesor que no llega por lo general a 1 m, nunca afectará al túnel a no ser en la obra de fábrica en el río La Ceiba, por lo que no se abundará en su descripción y propiedades, ya que sólo se representa en los perfiles ingeniero-geológicos.
- ✓ **Capa 5b. Serpentinitas brechosas muy agrietadas, medianamente meteorizadas.**

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Densidad	Seca	kN/m ³	18.3-24.5 (21.3)
	Natural	kN/m ³	18.4-26.6 (21.5)
	Saturada	kN/m ³	21.5-25.5 (23.3)
Peso específico			2.55-2.73 (2.66)
Porosidad		%	8.39-32.20 (19.7)
Resistencia a la compresión	Seca	MPa	20.03-49.50 (32.7)
	Saturada	MPa	7.10-38.7 (19.4)
Coefficiente de ablandamiento		-	0.21-0.95 (0.60)
Absorción (Abs)		%	2.5 a 18.0 (7.5)
Coefficiente de fortaleza de Protodiakonov (F.K.P)	Seca	MPa	2.0-5.0 (3.0)
	Saturada	MPa	1.0-4.0 (2.0)
Resistencia a la tracción	Seca	MPa	2.09-2.94
	Saturada	MPa	1.90-1.92
Módulo de Young	Seco	MPa	920-4248 (2063.6)
	Saturado	MPa	545-2792 (1531.5)
Químicos	CaCO ₃	%	Traza a 1.5
	SST	%	0.026 a 0.086 (0.04)



✓ **Capa 5c: Serpentinitas brechosas agrietadas, poco meteorizadas:**

A diferencia del Tramo III B, sólo se espera en los primeros 500 m más adelante en el trazado, con posible plano y zona de falla subhorizontal, lo que puede acarrear problemas de estabilidad en este sector. Se caracterizan por presentar bloques elementales entre grietas de tamaño medio entre 10-30 cm. Por su dureza se clasifican como rocas medias a blandas, pueden estar medianamente intemperizadas predominando en profundidad las poco meteorizadas, excepto en zonas de influencia de fallas con circulación de aguas estacionales. Su color predominante es verde claro hasta oscuro casi negro. Las variedades brechosas propiamente dicho, se presentan en la parte más externa de la zona de influencia de fallas, ya que hacia el centro de estas pueden encontrarse a un nivel de trituración tal que llegue hasta la milonización. Los valores reflejados en la tabla fueron a partir de ensayos de laboratorio.

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Densidad	Seca	kN/m ³	21.3 -22.9 (21.9)
	Natural	kN/m ³	20.4 -22.2 (22.1)
	Saturada	kN/m ³	22.3-23.3 (22.7)
Peso específico		kN/m ³	2.55-2.65 (2.57)
Porosidad		%	11.2 - 20.1 (16.3)
Absorción		%	3.4-18.5(10.7)
Resistencia a la compresión	Seca	MPa	3.4 - 18.5 (10.7)
	Saturada	Mpa	6.9 - 8.6 (7.6)
Coefficiente de ablandamiento			0.63 - 0.95 (0.82)
Coefficiente de fortaleza de Protodiakonov (F.K.P)	Seca	MPa/10	0.30 -1.14 (0.85)
Resistencia a la tracción	Seca	MPa	0.4 - 2.2 (1.1)
	Saturada	MPa	0.2 - 0.8 (0.4)
Módulo de Young	Seca	MPa	192 - 801 (604)
	Saturada	MPa	480 - 558 (519)



✓ **Composición química de las aguas.**

Las aguas subterráneas en la zona clasifican por Kurlov como cloruradas-sódicas-magnésicas e hidrocarbonatadas-cloruradas-magnésicas. De acuerdo al PH (9-10) las aguas son alcalinas. Estas características según criterio de expertos corresponden al tramo estudiado. Según la mineralización (0.1-0.76 g/l) son aguas dulces, la dureza varía de 0.7 a 9.8 mg-eq/l y clasifican como aguas de blandas a duras, no presentando agresividad al hormigón. De acuerdo a las características de filtración del macizo, sólo se deben esperar afluencias considerables de agua en las zonas de influencia de fallas. De acuerdo a las características de filtración del macizo, sólo se deben esperar afluencias considerables de agua en las zonas de influencia de fallas (14 fallas), las cuales en su mayoría cortan el eje del túnel en forma vertical, destacando una falla subhorizontal que puede traer problemas de estabilidad al inicio del trazado.



CAPÍTULO III. DEFINICIÓN DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VENTILACIÓN Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL LEVISA-MAYARÍ QUE FACILITAN EL PERFECCIONAMIENTO.

3.1 Introducción

La ventilación ya sea en un túnel o en una mina es necesaria y de gran importancia ya que sin ella sería imposible realizar los trabajos. Las razones que obligan a realizar el suministro de aire forzado a las excavaciones donde se encuentran los obreros son las siguientes:

- ✓ Actualmente se emplean equipos móviles con motores de combustión interna, de los cuales se desprenden grandes cantidades de calor y gases tóxicos, irritantes.
- ✓ Para el futuro previsible no se observa la sustitución total de las sustancias explosivas para el arranque de las rocas del macizo, y por tanto se requiere expulsar de las minas, los gases y el polvo que se desprenden en las explosiones.
- ✓ Tanto el laboreo minero, como las construcciones subterráneas requiere de la presencia del hombre directamente en los frentes de trabajo.
- ✓ Los desprendimientos de calor de instalaciones y equipos, en cantidades tales que sobrepasen las normas sanitarias vigentes.

3.2 Algunos de los equipos que se utilizan en el túnel. Características Técnicas.

EITamrockAxera 06-240 es un jumbo electrohidráulico de dos brazos. El sistema de perforación controlada hidráulicamente con las funciones automáticas añadidas y los diferentes niveles de instrumentación opcional proporcionan una excavación productiva y de alta calidad. **(Ver Anexo 3).**



Los brazos universales TB 40 tienen una cobertura de perfil optimizado y autoparalelismo automático. Los brazos pueden emplearse para crosscutting y para el bulonaje.

PM 500

En esta máquina se concentran los últimos avances de bombeo, proyección y dosificación. Sorprende la robustez de su brazo, que permite utilizar una tubería de 80 mm de diámetro; así como su maniobrabilidad y precisión, que proporciona control total al operario. El alcance del brazo permite trabajar en exterior a grandes alturas con dos ejes directrices, pudiéndose seleccionar varios modos de maniobra, suficientes para cubrir las condiciones más difíciles de la obra. **(Ver Anexo 4).**

LaROBOLT 06, está diseñada para su uso en trabajos de minería, preparación y perforación de túneles. Es un jumbo para bulonaje totalmente mecanizado, operado por un solo hombre, electro-hidráulico y compacto para minas subterráneas de secciones pequeñas y medias. Este proporciona un servicio adicional con un segundo brazo equipado con una mezcladora de cemento. **(Ver Anexo 5).**

Esta cargadora **TORO 400** ha sido diseñada exclusivamente para cargar, transportar, y descargar material rocoso. Cualquier otra utilización se considera como no apropiada. Con una utilización conforme a lo previsto seentende también seguir las indicaciones del manual de instrucciones y observar las normas de inspección. La máquina TORO está diseñada para el trabajo duro en condiciones desfavorables y exigentes de la mina. Es de vital importancia seguir con regularidad el programa de mantenimiento, para poder garantizar un funcionamiento económico y seguro. **(Ver Anexo 6).**

Detalles técnicos principales.

Axera 06-240

Portador	1 x TC 6
Techo de seguridad	1 x FOPS ISO 3449
Martillo	2 x HLX5



Corredera	2 x TF 500-12
Brazo	2 x TB 40
Sistema de control	2 x THC 560
Grupo de potencia	2 x HP 560 (55 kW)
Dispositivo lubricación adaptador	1 x KVL 10-2
Compresor de aire	1 x CT 10
Bomba de agua	1 x WBP 2
Interruptor principal	1 x MSE 20
Carrete de cable	1 x TCR 2
Longitud	12 470 mm
Anchura	1 900 mm
Altura	2 345 / 3 195 mm
Peso (sin opciones)	19 500
Velocidad de traslación:	12 km/h
- Horizontal	4.2 km/h
- 14% = 1:7 = 8°	
Desnivel superable	28% = 1:3.5 = 15°
Nivel ruido (EN791, condición campo abierto)	LpA = 102 dB
- Plataforma operador	LwA = 124 dB

PM 500

- Alcance vertical del proyector con un ángulo de elevación de los brazos de 60° - 14,8 m.
- Alcance horizontal del proyector: 13,3 m



- Ángulo de giro de la torreta 252°
- Extensión del brazo telescópico 2 m
- Extensión del brazo B cureña 2 m
- Cabezal proyector con movimientos de giro 360°, inclinación 240° y rotación de muñeca (nutación) 8°
- Potencia del motor Diésel: 75 kW.

Cilindros de transporte: \varnothing x carrera: 180 x 1.000 mm

- Cilindros hidráulicos: \varnothing x carrera 110/63 x 1.000 mm
- Rendimiento máxima teórico: 30 m³/h
- Presión máxima sobre el hormigón: 85 bar
- Tolva RS 487 A con capacidad de: 300 L

Grupo de accionamiento hidráulico de la bomba de hormigón.

- Motor eléctrico 55kW
- Bombas de pistones axiales y caudal variable Hydromatik en circuito cerrado
- Grupo de accionamiento electrónico principal para la pluma, patas de apoyo y la bomba de hormigonar.
- Grupo de accionamiento a través del motor diesel para el enrolla cables y patas de apoyo y la pluma en funcionamiento de emergencia.
- Depósito de aceite hidráulico de 380 libras con filtros de aspiración y retorno (común para chasis y circuito hidráulico del grupo de accionamiento).

ROBOLT 06 (Bulonadora)

Portador 1 x CB 06



Martillo 1 x HYDRASTAR 200

Brazo 1 x B 26 XL B1 x mezclador cemento

Cabeza bulonaje 1 x TU-C

Longitud 10 900 mm

Anchura 1 750 mm

Altura: techo bajado 2 360 mm; techo subido 3 260 mm

Radio de giro 6 050 / 3 350 mm

Velocidad traslación horizontal 12 km/h

13%=1:7=8° 4 km/h

Pendiente superable, maxi 35 %

Nivel de ruido < 98 dB(A)

Peso: 17 000 kg

Potencia del motor diésel: 95 HP

Potencia del motor eléctrico: 60 HP

Toro 400

- Potencia del motor: 215 HP
- Peso en servicio 33 700 kg (300 libras 74)
- Peso cargado total 47 700 kg (105 160 libras)
- Peso del envío 33 300 kg (400 libras 73)
- Capacidad de transporte subterráneo 14 000 kg (865 libras 30)
- Fuerza de arranque, ascensor 275 kN (28 042 kg) (61 822 libras)
- Fuerza de arranque, inclinación 230 kN (23 453 kg) (51 705 libras)
- Carga de vuelco 29 200 kg (375 libras 64)

**Instrucciones previas al uso.**

- ✚ Asegúrese de que el equipo se encuentra en un estado perfecto de funcionamiento antes de realizar el arranque.
- ✚ El equipamiento sólo deberá usarse con los dispositivos de seguridad, como las protecciones desmontables, los dispositivos de parada de emergencia, los dispositivos de aislamiento acústico, etc. estén colocados en su lugar adecuado y en buen estado de funcionamiento.
- ✚ Cuando entre y salga de la máquina, muévase con cuidado y use las sujeciones y los raíles disponibles - extreme las medidas de precaución cuando se mueva sobre superficies resbaladizas.
- ✚ Antes del arranque y la parada del motor, compruebe el interior, los alrededores y la zona de debajo del vehículo.
- ✚ Asegúrese de que todos los controles están en la posición correcta antes de arrancar el motor.
- ✚ Señales de advertencia. Si las señales de advertencia están colocadas en el interruptor de arranque del motor o en los controles, estos dispositivos no deberán tocarse hasta que la persona que los colocó o, en su defecto, alguien que esté familiarizado con la situación, las quite.
- ✚ El motor solo deberá arrancarse con los controles de arranque adecuados.
- ✚ Siga siempre todas y cada una de las instrucciones de arranque y parada dadas por los dispositivos de indicación y control, tal y como se describe en los manuales.
- ✚ Drene el agua de condensación del sistema tal y como se describe en las instrucciones dadas por el fabricante.

Impactos que provoca cada equipo a la atmósfera del túnel.

De los equipos mencionados cada uno provoca impactos a la atmósfera del túnel, la mayoría tienen muchos en común a continuación se mencionan:

TamrockAxera 06-240

Este equipo tiene un grupo de potencia de 2 x HP 560 (55 kW) el mismo provoca polvo, fango, gases, emisiones de ruido, entre otras.

**PM 500**

El equipo tiene dos motores uno eléctrico de 55 kW de potencia y uno diésel de 75 kW el mismo afecta a la atmósfera provocando polvo, fango, gases.

ROBOLT 06 (Bulonadora)

Pertenece a un grupo de potencia de 95 HP para el motor diésel y para el motor eléctrico tiene una potencia de 60 HP este provoca impactos como son: fango, emisiones de ruido, polvo, gases.

Toro 400: Tiene una potencia de 215 HP es uno de los cargadores más fuertes que se utiliza en el túnel, emite bastante ruido, además de que provoca polvo a la hora de escombrear y gases.

De lo anteriormente mencionado teniendo en cuenta el factor potencia el mayor es **Tamrock Axera 06-240** que tiene 2 x HP 560.

En general los equipos que trabajan en el túnel aumentan la temperatura, emiten ruido, son equipos que trabajan con diesel y la mayoría está en malas condiciones de trabajo.

3.3 Condición actual de la ventilación en el túnel Levisa-Mayarí del Trasvase Este-Oeste.

La ventilación en el túnel Levisa-Mayarí tiene pésimas condiciones, es insuficiente, debido a que se abastece un flujo de aire fresco que solo alcanza el 15% de su caudal necesario, además de que existen roturas de la tubería de ventilación por las voladuras, ya que las mismas son de PVC poli (cloruro de vinilo) por lo que son muy vulnerables a las rocas lanzadas producto de las voladuras; situación que se va acumulando en la medida que se desplaza el frente de arranque y se van instalando nuevos tramos de tubería para que estas sean afectadas nuevamente.

Además de esto existen otras deficiencias como por ejemplo:

- ✓ El ventilador está muy próximo a la entrada del túnel, el mismo se encuentra fuera a 3 m de distancia de la boca.



- ✓ La distancia de la boca de la tubería de ventilación al frente de trabajo es de 30 m.

El túnel está dotado para su ventilación de un ventilador con las siguientes características:

- ✓ Caudal de aire de inyección: $Q=60\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$
- ✓ Presión estática disponible por ventilador: $P_{\text{est}}=347\ \text{mmca}$ (3 400 Pa).
- ✓ Con silenciador o amortiguador de ruido en boca de aspiración y descarga.
- ✓ 460V, 60Hz, 86.0Kw, 132A
- ✓ Motor Ip: 55, 3500rpm
- ✓ Diámetro conexión: 900mm
- ✓ Con adaptador para conductos: (900 x 1100)mm
- ✓ Diámetro de anclaje: 18mm
- ✓ Con pizarra de control.
- ✓ Marca: ZITRÓN
- ✓ Modelo: GEL 9-86

Para solucionar el problema de la posición del ventilador, ya que sería muy difícil su cambio de posición se recomienda agregarle a su boca de aspiración un tramo de tubería de PVC de al menos unos 10 metros, además se puede colocar un colector de 1 800 mm, esta se orientará según la dirección principal del viento siempre que no provenga de la zona de la escombrera o alguna fuente contaminante así la recirculación del aire viciado sería casi nula.

3.4 Determinación de los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí.

Caudal requerido por el número de personas.

Se exige una corriente de aire fresco de no menos de tres metros cúbicos por minuto (6 m³/ min.) por persona, en cualquier sitio del interior del túnel.

$$Q_1 = F \cdot N \cdot K \tag{III-1}$$

$$Q_1 = 6 \cdot 5 \cdot 4$$

$$Q_1 = 120\ \text{m}^3/\text{min}$$

Donde:

Melinda Rondón Rosales

Pág. 34

Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.



$$K = (4-5)$$

F- Caudal mínimo por persona (6 m³/ min).

N- Número de personas en el lugar, en nuestro caso consideramos 5 personas.

A pesar que este método es utilizado con frecuencia, se debe considerar “F” sólo como referencia, pues no toma en cuenta otros factores consumidores de oxígeno, como lo son la putrefacción de la madera, la descomposición de la roca, la combustión de los equipos, etc.

Caudal requerido por equipo Diésel.

Se recomienda un mínimo de 2,83 (m³/min) por cada HP del equipo (para máquinas en buenas condiciones).

Se debe aclarar que los 2,83 m³/min son el mínimo caudal de aire requerido y no acepta factores de corrección. Por lo demás, se pide la potencia al freno o potencia bruta, que es la máxima potencia proporcionada por el motor sin tener en cuenta las pérdidas por transmisión, si es que no se cuenta con la curva de potencia entregada por el fabricante (gráfico KW vs. RPM) o con una recomendación de ventilación para el equipo proporcionada por el fabricante y certificada por algún organismo confiable.

$$Q_2 = HP * N * K \quad (III-2)$$

$$Q_2 = 1120 * 2,83 * 4$$

$$Q_2 = 12\,678,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

HP- Potencia máxima.

N- Mínimo caudal de aire requerido.

Resistencia aerodinámica de la excavación.

Sección típica 1

$$R_1 = \alpha * L * P / S^3 \quad (III-3)$$

$$R_1 = 0,00143 * 713,6 * 23,13 / (30,81)^3$$

$$R_1 = 0,00081 \text{ N.S}^2/\text{m}^6$$

**Sección típica 2**

$$R_1 = \alpha * L * P / S^3$$

$$R_1 = 0,00143 * 793 * 20,78 / (30,07)^3$$

$$R_1 = 0,00087 \text{ N.S}^2/\text{m}^6$$

Sección típica 3

$$R_1 = \alpha * L * P / S^3$$

$$R_1 = 0,00143 * 456,9 * 20,34 / (29,34)^3$$

$$R_1 = 0,00053 \text{ N.S}^2/\text{m}^6$$

Sección típica 4

$$R_1 = \alpha * L * P / S^3$$

$$R_1 = 0,00143 * 861,1 * 19,44 / (29,05)^3$$

$$R_1 = 0,00098 \text{ N.S}^2/\text{m}^6$$

$$R_{1\text{prom}} = 0,00080 \text{ N.S}^2/\text{m}^6$$

Donde:

α -Resistencia aerodinámica por fricción.

L-Longitud del túnel por sección.

P-Perímetro del túnel por sección.

S-Área de Sección Transversal por sección.

Pérdida de presión por fricción.

$$h = R * Q^2 \tag{III-4}$$

$$Q_3 = S * V \tag{III-5}$$

**Sección típica 1**

$$Q_3=30,81*0,2=6,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sección típica 2

$$Q_3=30,07*0,2=6,01\text{m}^3/\text{s}$$

Sección típica 3

$$Q_3=29,34*0,2=5,86 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sección típica 4

$$Q_3=29,05*0,2=5,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3\text{prom}}=19,48\text{m}^3/\text{s}$$

$$h=0,00080 * (19,48)^2$$

$$h=0,30 \text{ Pa}$$

Donde:

Q-Cantidad de aire que pasa por el túnel.

V-Velocidad del aire que pasa por el túnel.

Estas resistencias son calculadas en el momento donde más se utiliza la ventilación, que es para eliminar los gases producto de la voladura, ya que en este período de ventilación no existe ninguna maquinaria ni objeto que pueda dificultar el paso del aire por el túnel, no calculamos las resistencias frontales.

En el caso que las maquinas mineras estén trabajando en el túnel, se considera que las resistencias frontales son despreciables y por lo tanto no tienen una gran influencia sobre la resistencia aerodinámica general del túnel, ya que, en este caso la maquinaria entra y sale del túnel constantemente.

Cantidad de aire según el factor polvo en la excavación.

$$Q_4 = V_{rac} * S$$

(III-6)

$$Q_4 = 0,7 * 29,81$$

$$Q_4 = 20,867 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

S- Área de la sección transversal de la excavación.

V_{rac}-Velocidad racional del movimiento del aire en el túnel (0,25-0,7 m/s).

Resistencia aerodinámica de la tubería.

$$R_2 = 6,45 * \alpha * L/D^5$$

(III-7)

$$R_2 = 6,45 * 0,0013 * 2790/0,08^5$$

$$R_2 = 71,39 \text{ N.S}^2/\text{m}^8$$

Donde:

α -Coeficiente de resistencia aerodinámica de la tubería.

L-Longitud de la tubería.

D-Diámetro de la tubería.

Distancia de la boca de la tubería al frente de trabajo.

Esta distancia según V.N. Varonin: $1 \leq 4\sqrt{S_{exc}}$

(III-8)

$$D_f = 4\sqrt{29,81}$$

$$D_f = 21,84 \text{ m}$$

Donde:

S_{exc}- área de la sección transversal de la excavación.

Cálculo de la cantidad de aire según el consumo de Sustancia Explosiva en el método de ventilación por inyección.

En el método de ventilación por inyección de las excavaciones las fórmulas de Varonin y de Mustel que son respectivamente:

$$Q = 7,8 * t^{-1} * \sqrt[3]{A * V^2} \quad (\text{III-9})$$

$$Q = \frac{7,8}{1800} * \sqrt[3]{50 * (22499,9)^2}$$

$$Q = 12,625 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 21,4 * t^{-1} * \sqrt{A * V} \quad (\text{III-10})$$

$$Q = 12,610 \text{ m}^3/\text{min}$$

Donde:

A-Gasto de Sustancia Explosiva.

V-Volumen de la excavación.

t-Tiempo de ventilación.

Distancia crítica de lanzamiento de la nube de gas y polvo.

$$L_{crit} = 450 * \frac{A}{S} \quad (\text{III-11})$$

$$L_{crit} = 450 * \frac{50}{29,81} = 754,78 \text{ m}$$

Donde:

A-cantidad de sustancia explosiva.

S-área de la sección transversal de la excavación.



Volumen de la excavación.

$$V = L_{crit} * S \tag{III-12}$$

$$V = 754,78 * 29,81 = 22\ 499,9\ m^3$$

Tiempo de ventilación.

$$Q = V = 100 * \frac{A*b}{t*c} \qquad t = 100 * \frac{A*b}{V*c} \tag{III-13}$$

$$t = 100 * \frac{50*0,04}{22499,9*0,008} = 1,11\ min$$

Tabla 3.1: Asumiendo L_{cri} con valores de 10m; 20m; 30m; 40m y 50m para determinar tiempo sin ventilación necesario para la dilución, (min).

Valores de $L_{crit}(m)$	10	20	30	40	50
$V(m^3/min)$	298,1	596,2	894,3	1192,4	1490,5
t(min)	84	42	28	21	17

Cantidad de aire según la fórmula para la dilución estática.

$$Q=100*A*b/t*c \tag{III-14}$$

$$Q=100*50*0,04/1800*0,008$$

$$Q=13,88\ m^3/s$$

Donde:

t- Tiempo de ventilación.

b- Masa del anhídrido carbónico convencional, que se forma en la voladura de 1kg de sustancia explosiva; 0,04 kg/m³.

c- Concentración máxima permisible de anhídrido carbónico; 0,008 %.

**Limitantes que se tienen en el túnel:**

- ✓ No tienen como energizar los ventiladores dentro del túnel.
- ✓ Cada túnel tiene asignado un ventilador.

Alternativas.

- ✓ Introducir el ventilador en el túnel para crear turbulencia próxima al frente.
- ✓ En la zona de trabajo del ventilador crear una cortina de agua para captar los gases solubles en el tiempo de ventilación.

CAPÍTULO IV. EVALUAR LOS ÍNDICES TÉCNICO-ECONÓMICOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA AL CASO DE ESTUDIO. IMPACTO AMBIENTAL.

4.1 Cálculo Económico.

Gastos medios anuales de operación.

$$G_{ma} = G_{e.e} + G_{mant} + G_{mat} \quad (IV-1)$$

$$G_{e.e} = t * C_{ven} * T_{cons\ norm} \quad (IV-2)$$

$$G_{e.e} = (24 * 86 * 0,19) * 365$$

$$G_{e.e} = 143\ 138,4\ \text{kW/h}$$

$$G_{ma} = 143\ 138,4 + 1\ 056 + 38,55$$

$$G_{ma} = 144\ 232,95\ \text{pesos}$$

Donde:

t- Tiempo de ventilación.

C_{ven}- Consumo del ventilador.

T_{cons norm}- Tarifa de consumo normal.

G_{e.e} -Gastos por energía eléctrica.

G_{mant} -Gastos por mantenimiento.

G_{mat} -Gastos por materiales auxiliares.

4.2 Impacto al Medio Ambiente.

La ley 81 del Medio Ambiente establece los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país.

La protección del medio ambiente es una de las tareas importantes a la hora de la realización de un proyecto, ya que hay que tener en cuenta y tomar una serie de



medidas para la reforestación, rehabilitación de la zona que será cambiada totalmente con los trabajos mineros. Para ellos nosotros hemos tomado una serie de medidas que vienen a continuación.

- El estéril se colocará en una escombrera la cual una vez terminada la ejecución del túnel será rehabilitada.
- En los trabajos preparatorios se hará la menor cantidad de trochas, así como de caminos.
- Se controlará la presión minera para evitar los deslizamientos o hundimientos de la superficie.
- La tala de árboles para ser usada como encofrado se debe realizar respetando las disposiciones de la forestal.
- En el túnel se habilitará un lugar donde los obreros puedan hacer sus necesidades fisiológicas.
- Se evitará la caza y transportación de especies endémicas por parte de los trabajadores.
- Los campamentos mineros se realizarán de forma que afecten lo menos posible el contorno, así como no se verterán los desechos en ríos u otro lugar.
- El constructor queda obligado a que todo su personal en la obra cuente con los medios de protección adecuados y exigirá su uso obligatorio y se le deben realizar chequeos médicos periódicos o todos los trabajadores expuestos al polvo y al ruido, gases.
- Señalizar todos los sitios de trabajo con los peligros y riesgo a que están expuestos.
- El proyectista debe garantizar toda la información de las zonas de fallas así como zona de baja calidad de macizo rocoso para evitar derrumbes y sus consecuencias.
- Ante la existencia de peligro de derrumbes por fallas u otras anomalías detectadas el constructor retirará de inmediato al personal y los equipos de trabajo hasta la solución de los problemas existentes.
- No se permitirá operar maquinarias a trabajadores no certificados para ello.



- Se dotará a los equipos automotores de dispositivos mata chispas para evitar cualquier tipo de incendios.
- Se cumplirán todas las normas de seguridad y protección vigente para la construcción.

A continuación se relacionan las acciones, los impactos identificados, así como las medidas de manejo para mitigar los impactos negativos o afectaciones que se provoquen durante el proceso constructivo.

Impactos identificados:

- Contaminación del aire por polvo y emisiones de gases de los equipos.
- Contaminación sonora debido al funcionamiento de los equipos con posible alteración temporal de los obreros, la flora y la fauna en áreas naturales vecinas.
- Contaminación del aire por emisiones de gases producto a utilización de explosivos en el proceso de excavación.
- Contaminación de la capa vegetal debido a la acumulación en escombrera de materiales producto de las excavaciones.
- Contaminación por derrame de combustible.

Medidas de manejo.

- Dar mantenimiento a los equipos a utilizar para aminorar la emisión de gases tóxicos a la atmósfera y evitar derrame de combustibles y grasas.
- Usar medios de protección según las normas de protección e higiene del trabajo.
- Regar agua en las vías de acceso a la obra.
- Utilizar manta para el tapado de los camiones de transporte de material.



- Depositar el material en zonas autorizadas, regado y restablecimiento de la capa vegetal del área.

4.3 Seguridad y Salud del Trabajo.

La Seguridad y Salud del Trabajo no es más que la actividad orientada a crear condiciones, capacidades y cultura para que el trabajador y su organización puedan desarrollar la actividad laboral eficientemente, evitando sucesos que puedan originar daños derivados del trabajo”.

Las condiciones de trabajo en el túnel son muy graves, ya que la ventilación trabaja hasta un 15% de su eficiencia. Esto provoca que los gases de las máquinas se concentren en todo el túnel y que los trabajadores lo respiren. El gas que se desprende de los vehículos con combustible Diesel se llama Acroleína, este es muy venenoso, irrita las mucosas oculares, produce mareos, náuseas, dolores hepáticos y es altamente cancerígeno. La única manera de prevenir la respiración constante de este gas es perfeccionando la ventilación del túnel el cual es el objetivo de este trabajo. Los otros riesgos que hay en la construcción del túnel Levisa-Mayarí son los habituales en una excavación subterránea por lo que los trabajadores deben tomar las medidas adecuadas para su propia protección.

Para evitar los accidentes hay que prestar especial atención a la seguridad y utilización de los medios de protección por parte de los trabajadores.

Medidas Importantes:

- La utilización del casco para entrar al túnel.
- La utilización de botas de agua con protección en la puntera.
- Utilización adecuada de los ventiladores para mantener los índices higiénico-sanitarios del frente de trabajo.
- Los obreros que están expuesto al ruido deben utilizar las orejeras.
- Se prohíbe entrar con alimentos o fumar dentro de la obra.
- Velar por la higiene del trabajo.



- Cumplir con la dosificación indicada por el fabricante, que es de un (3 a 8) % del volumen del cemento. Una sobredosis puede causar un incremento de la reducción de la resistencia final.
- Debido a que este producto contiene componentes que pueden causar irritación, el trabajador debe de evitar el contacto con los ojos y contacto prolongado con la piel, esto será posible utilizando la ropa adecuada, guantes, gafas u otro tipo de dispositivo que protejan a los ojos.
- Evitar la contaminación del aire con humo, polvo, etc., y del medio circundante con ruidos excesivos o innecesarios, especialmente en zonas urbanas
- Cumplir estrictamente con lo dispuesto en el proyecto.
- Garantizar la salud individual y colectiva mediante el cumplimiento de las disposiciones sanitarias vigentes, con especial cuidado en el almacenamiento de alimentos y otros productos para el uso y consumo de las personas.

En la protección al trabajador de la Unidad Constructora Militar tenemos algunos puntos a tener en cuenta para su seguridad y calidad de vida, entregándoles medios de protección y seguridad según su departamento o trabajo a realizar en su profesión. A continuación hacemos mención de la relación de algunos medios de protección personal para algunos puestos de trabajo según indicación 174/2007 del MINFAR con adiciones ajustada a la ECOH.

Medios de Protección:

- Casco para construcción (para trabajos en exteriores e interiores).
- Botas de goma con casquillo metálico (para trabajos en exteriores donde hay presente humedad alta).
- Traje impermeable (para trabajos donde hay presencia de gran humedad)
- Botas de piel con casquillo metálico (para trabajos donde no hay humedad).
- tapones para el ruido (donde hay presencia de ruido).
- Espejuelos (para la protección contra gases y polvo).
- Filtro contra el polvo fino (para la protección contra el polvo).



- Respirador contra gases tóxicos (para la protección contra los gases nocivos producto de diferentes labores).
- Guantes de cuero súper reforzado, guantes de látex, guantes dieléctricos y guantes de lona y piel.

Estos medios son entregados a cada obrero con el objetivo para evitar los accidentes leve o de gran envergadura. Por eso es necesario que el jefe es decir el encargado de la protección al trabajador haga que se cumpla estrictamente con el uso todos los equipos de protección personal que se entregan por puestos de trabajo a cada hombre de la entidad.



CONCLUSIONES

1. La demanda de aire para la ventilación que garantiza la formación de una atmósfera saludable producto de la dilución de los contenidos de los gases tóxicos en el frente el cual es de 13,88 m³/s.
2. El ventilador con que está dotado el sistema de ventilación actual desarrolla el gasto (16 m³/s) suficiente para satisfacer la demanda de aire fresco en el frente.
3. El ventilador se encuentra ubicado muy próximo a la entrada del túnel por lo que recircula el aire viciado al frente y es por ello que se analizó la posibilidad de añadir a la boca de aspiración un colector de 1 800 mm, esta se orientará según la dirección principal del viento. Además se ofrecen alternativas para cuando el ventilador no esté funcionando.
4. Se tuvo en cuenta las medidas de protección para la seguridad y salud del trabajo.



RECOMENDACIONES

1. La utilización de este trabajo como referencia para cualquier otra investigación de esta índole y categoría.
2. Continuar los estudios referidos a esta temática debido a la importancia que tiene para lograr mayores avances durante la construcción de esta obra, sobre todo cuando exista la posibilidad de asociación de varios ventiladores en el interior del túnel.



BIBLIOGRAFÍA

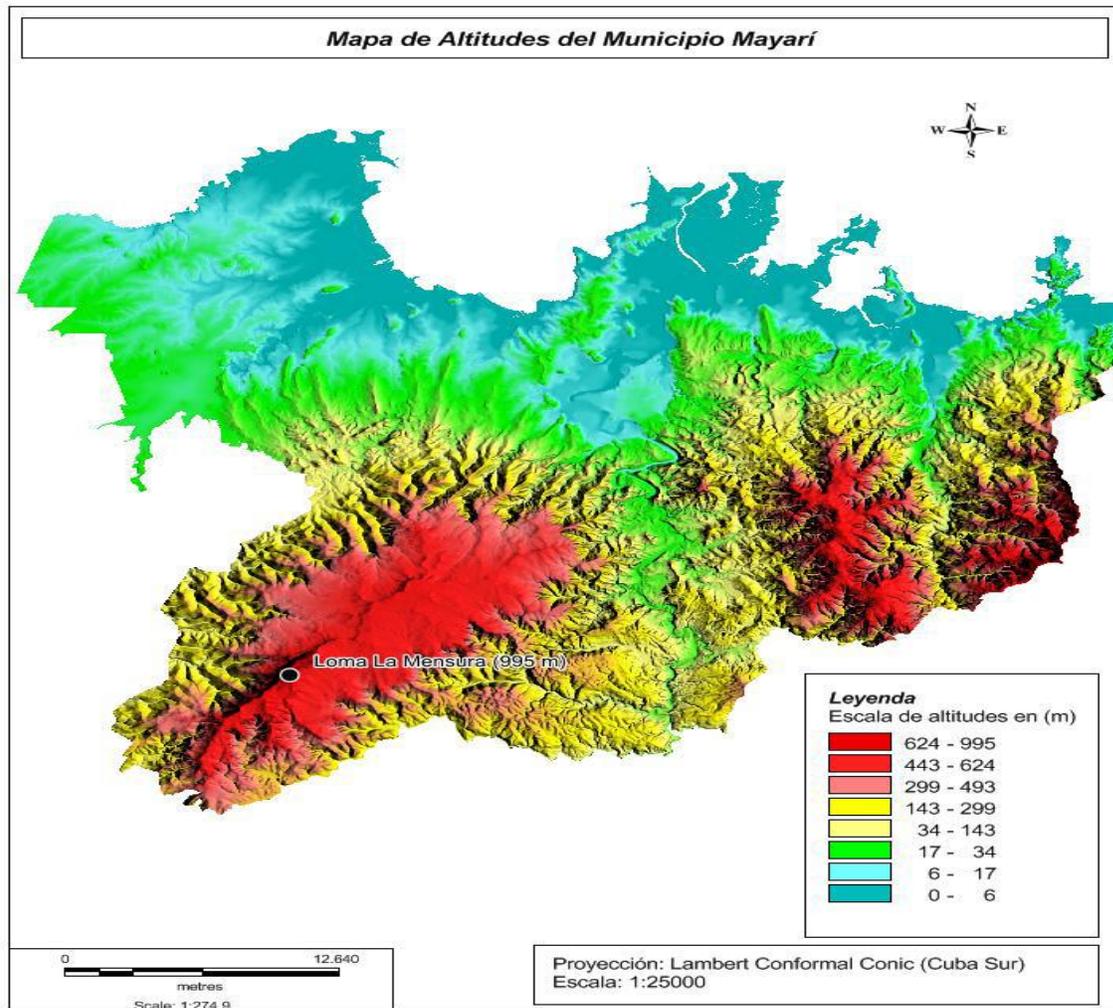
1. Abramov F.A et al. *Manual para la Ventilación de Minas*. Moscú, Niedra, 2007.
2. Bulchakov A.C. *Aerología Minera*. Moscú, Niedra, 2011.
3. Bitkolov L.Z. *Estratificación del Viento y la temperatura de la Atmosfera en las Canteras/Problemas físico-técnicos de la Explotación de los minerales útiles*, 2008, #5 pág. 66-73.
4. Bitkolov L.Z. *Mejoramiento de las condiciones de trabajo en las minas*. Moscú, Niedra, 2009.
5. De la cuadra I, L. *Curso de Laboreo de Minas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 8460062546, 1974.
6. file://Ventilación. ¿Cómo funciona? 4. La ventilación en los túneles. [Ecomovilidad.net.html](http://Ecomovilidad.net/html).
7. Giménez A, P. *Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. Practica Aplicada, Avanzada en Minería Clásica y Minería por Trackles*. Edición III, Perú, año no conocido.
8. Ignatenko K.P. *Ventilación, fuegos subterráneos*. Moscú, Niedra, 2011.
9. Komarov V.B et al. *Ventilación de Minas*. Moscú, Niedra, 2010.
10. Mallqui T. A. *Ventilación de Minas*. Tapia, 2006.
11. Mallqui T. A. *Proyecto de Optimización del Sistema de Ventilación*, 1981.
12. Mallqui T. A. *Ventilación de minas*. Pág. 57 y Pág. 61. Huancayo, Perú, 1981.
13. Memoria Alonso Tramo IV. UEB Trasvase.
14. Midvedev I. *Ventilación de Minas*. Moscú, Niedra, 2009.
15. Mijailov B.A et al. *Comprobación experimental y argumentación de los esquemas de la ventilación artificial de las minas*. Moscú, Niedra, 2007.
16. Naira A., Ángel. V. *Ventilación del Desarrollo de la Galería*, 1999.
17. Novitzky A. *Ventilación de Minas. Ventiladores para Minas, Acondicionamiento de Aire Incendios Subterráneo y Salvamento*. Buenos Aires, 1962.



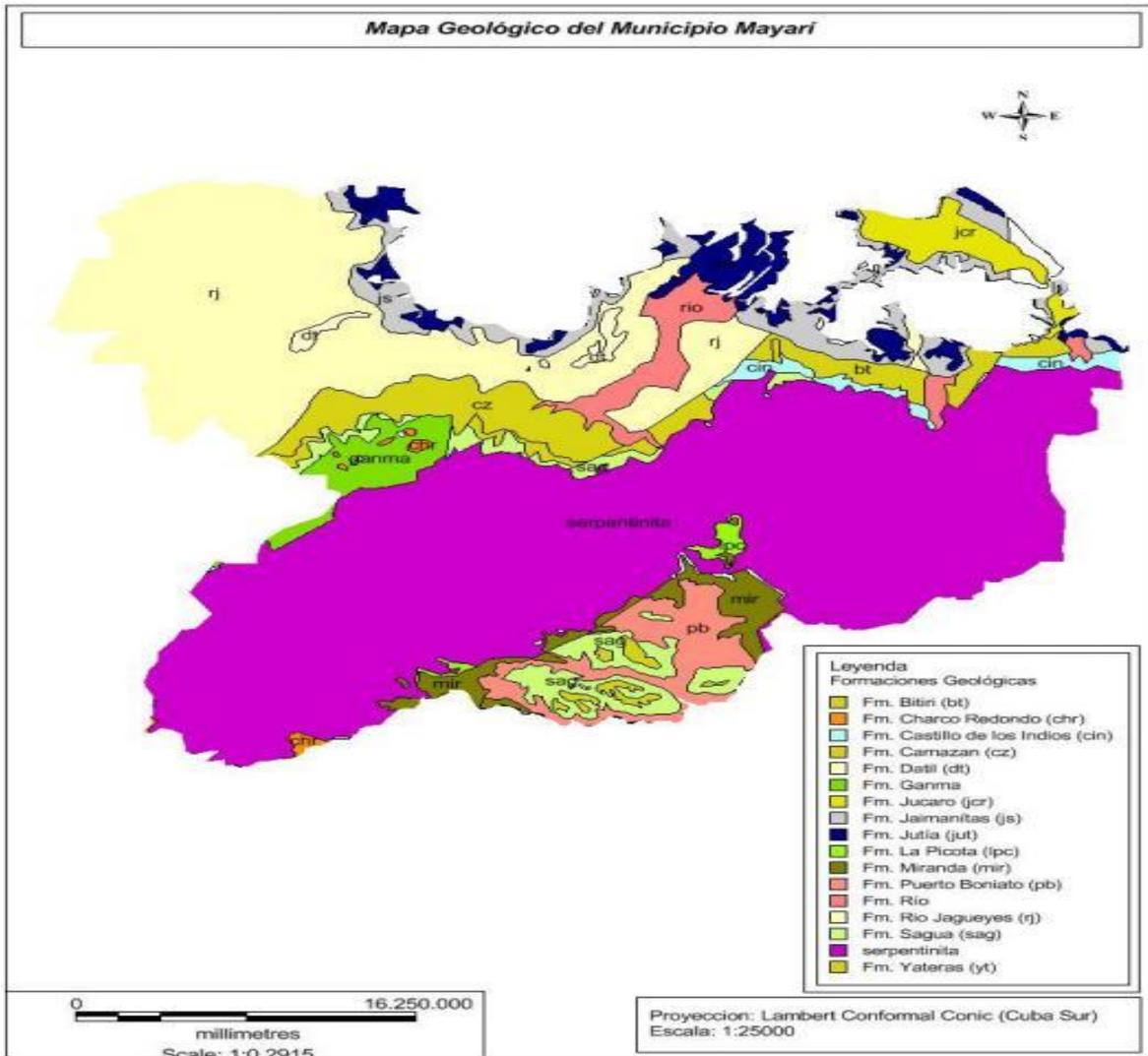
18. Pak V.V. *Instalaciones de Mineras de Ventilación Local*. Moscú, Niedra, 2008.
19. Ramírez H. J. *Ventilación de Minas. Módulo de Capacitación Técnico Ambiental*. Chaparra, Perú, 2005.
20. *Revista Frío y Calor* N° 108. Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G.htm.
21. Rodríguez Fernández, Yansel. *Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste*. Trabajo de Diploma Cuba, 2013.
22. Sanz Sacristán. Juan Manuel *Ventilación de Túneles. Técnicas para su diseño y operación*.

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de altitudes del municipio Mayarí.



Anexo 2: Mapa Geológico de Mayarí. Escala: 1:25000



Anexo 3: Tamrock Axera 06-240



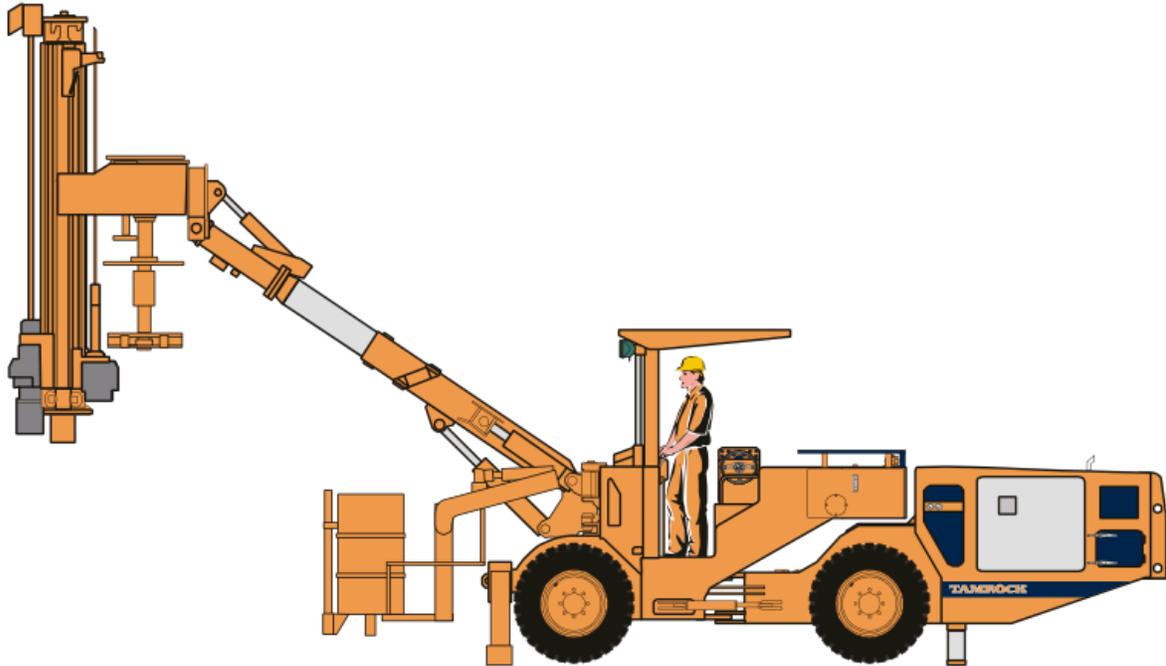
Anexo 4: PM 500



Melinda Rondón Rosales

Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Luisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.

Anexo 5: ROBOLT 06



Anexo 6: Toro 400





Melinda Rondón Rosales

Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Luisa-Mayari del Traspase Este-Oeste.