



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.

**Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Tramo VI del Túnel
Hidrotécnico Levisa-Mayarí del Trasvase Este-Oeste.**

Autor: Eliseidi Pileta Grecesqui

Tutores: Dr. C Roberto Lincoln Watson Quesada

Ms. C Yurisdell Velázquez La O

Ing. Ismael Terrero Aguirre

**Curso 2015– 2016
Año 58 de la Revolución**





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.

**Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Tramo VI del Túnel
Hidrotécnico Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.**

Autor: Eliseidi Pileta Grecesqui

Tutores: Dr. C Roberto Lincoln Watson Quesada

Ing. Ismael Terrero Aguirre

**Curso 2015– 2016
Año 58 de la Revolución**

Declaración de Autoridad:

Yo: Eliseidi Pileta Grecesqui.

Autor 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.

Eliseidi Pileta Grecesqui.

Dr. C Roberto Watson Lincoln Quesada.

Ms. C Yurisdal Velázquez La O.

Ing. Ismael Terrero Aguirre.



Pensamiento

“Sin CALIDAD no se puede competir en el mercado mundial donde simplemente ahí va lo mejor a precio de competencia. Pero además, calidad es lo que tenemos que darle a nuestro pueblo, es una obligación de cada uno como parte de nuestro deber hacia la comunidad...”

Ernesto Ché Guevara

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 ingeniero y por guiarme en todo este tiempo de lucha y sacrificio.

A mis padres Odalis Grecesqui Galano y Ernesto Pileta Gamboa que me han ayudado y apoyado de manera incondicional en los momentos difíciles de mi tiempo como estudiante.

A mis hermanos que tanto me ayudaron.

Al decano de la facultad y amigo personal Yurisley Valdez Mariño por su ayuda y apoyo incondicional siempre que lo necesité.

A mis compañeros de aula, a los colegas de la universidad, a todos los profesores que de una u otra forma estuvieron presentes en mi formación, a mis vecinos por su preocupación.

Por ultimo pero no menos importante AGRADESCO a mis tutores, el Dr.C Roberto L. Watson Quesada e Ing. Ismael Terrero Aguirre por estar ahí siempre que los necesité y que gracias a ellos tuve la posibilidad de realizar tan importante trabajo para mi vida.

En general a todos, "MUCHAS GRACIAS".

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres: Odalis Grecesqui Galano y Ernesto Pileta Gamboa.

A mis hermanos Yarisleydis Pileta Grecesqui; Ernesto Pileta Grecesqui; Anniliuska Casa Grecesqui y a mis sobrinos.

A mi novia Reina Luisa Delgado Tito y mi bebé que viene en camino.

Resumen

El trabajo tiene por objetivo el Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Tramo VI del Túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí para lograr condiciones higiénico-sanitarias adecuadas, el cual estará destinado a trasvasar el agua desde los ríos que nacen en el macizo montañoso 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 aproximadamente 481 m de longitud y un área de sección transversal de 32 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 Cuba y en el mundo, en este se exponen conceptos sobre la ventilación y su significado. Se exponen 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 los equipos que trabajan dentro del túnel, se realiza el cálculo de los parámetros del sistema de ventilación, estableciéndose el caudal requerido por personas y equipos diésel en el túnel, se realiza el cálculo de la resistencia y cantidad de aire necesarios 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, que son de 144 232, 95 \$; para terminar se dictan las medidas para la protección al medio ambiente y la seguridad y salud del trabajo, elemento esencial para todo Ingeniero de Minas.

Summary

The work has for objective the Improvement of the System of Ventilation of the Tract VI of the hydrotechnician tunnel Levisa-Mayarí to achieve appropriate hygienic-sanitary conditions, which will be dedicated to transfer 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 approximately 481 m of longitude and an area of traverse section of 32 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 she is carried out the current state of the topic in Cuba and 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 zone investigated in which you/they think about all the geologic conditions of the zone in that he is the tunnel and the municipality Mayarí. They are defined the factors that intervene 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 hidrotécnico, 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 that are of 144 232, 95 \$; 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 of Mines.

ÍNDICE

Introducción	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.	3
Papel de la ventilación.....	3
Optimización del Sistema de Ventilación.....	8
Ventilación del desarrollo de la galería	8
Exigencias de calidad para la ventilación	9
Tipos de ventilación	11
Ventilación natural.....	11
a) Diferencias de presión entre las bocas del túnel.....	12
b) Viento dominante en el exterior del túnel.....	12
c) Pendiente del interior del túnel en caso de tenerla.	13
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA INVESTIGADA.....	16
Hidrología.....	17
Vegetación.....	17
Clima.....	17
Orografía.....	17
Red hidrográfica	17
Población	18
Redes de comunicación	18
Características socio-económicas de la región	18
Geomorfología regional	19
2.2 Características ingeniero geológicas	21
2.3 Caracterización de las principales fábricas lito-estructurales	24
Composición química de las aguas.....	26
CAPÍTULO III. DEFINICIÓN DE LOS FACTORES Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL.	27
3.1 Características Técnicas de los equipos que se utilizan en el túnel.....	27
3.2 Condición actual de la ventilación en el túnel Levisa-Mayarí del Trasvase Este-Oeste.	32
3.3 Determinación de los parámetros del sistema de ventilación del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí 34	

3.3.1 Caudal requerido por el número de personas	34
3.3.2 Caudal requerido por temperatura.....	35
3.3.3 Caudal requerido por equipos diésel.....	35
3.3.4 Caudal por requerimiento de consumo de explosivos.....	36
3.3.5 Caudal requerido por desprendimiento de gases de las rocas.....	36
3.4 Pérdidas de carga de la instalación	36
3.4.1 Pérdidas por fricción	36
3.4.2 Pérdidas singulares.....	37
Coeficiente de pérdida del aire.....	38
3.6.1 Potencia necesaria para mover el caudal Q de aire en un circuito	41
3.6.2 Potencia del ventilador	42
3.7 Cálculo del pozo de ventilación	42
Limitantes que tiene el túnel	42
Alternativas.....	43
CAPÍTULO IV. CÁLCULO ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS MEDIO AMBIENTALES.....	44
4.1 Cálculo Económico.....	44
4.2 Impactos al Medio Ambiente.....	44
4.3 Seguridad y Salud del Trabajo	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	II
ANEXOS.....	IV

Introducción

El Comandante en jefe, con su visión futurista y previendo los problemas ecológicos como consecuencia del calentamiento global, orientó la necesidad de desarrollar un amplio plan inversionista en aras de aprovechar el caudal de agua de los ríos que nacen en el macizo montañoso Nipe - Sagua –Baracoa.

En tal sentido se elabora un proyecto de construcción del Trasvase Este-Oeste a partir de la necesidad de trasportar agua hacia las fértiles llanuras del norte de Holguín, Las Tunas, noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto, con el objetivo de trasvasar el agua mediante interconexiones a los lugares referidos anteriormente.

De inmediato comenzaron los trabajos por empresas del Ministerio de la Construcción, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y la Dirección de Construcciones Militares, debido a que esta estratégica obra para su óptimo funcionamiento no solo requiere de construir presas, canales, conductoras y otros objetos de obra, sino también hacer más de 80 Km de túneles en las montañas, lo cual permitirá una eficiente conexión del sistema.

Realizados los proyectos e iniciados los primeros trabajos en Mayarí, Holguín, tuvieron que paralizarse las obras cuando comenzó la aguda etapa del Período Especial. Infelizmente con el paso del tiempo y la falta de conservación las obras fueron dañadas en buena parte, en el caso de Mayarí por las crecidas de los ríos en el año 1998.

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 el Comandante en jefe orientó reiniciar el plan estratégico de las obras del Trasvase Este-Oeste; este se construye debido a las necesidades que presentan los lugares antes mencionados con el objetivo de trasvasar el agua que será la garantía para que los lugares más afectados por la sequía dispongan de agua en este siglo, bajo cualquier circunstancia.

Situación Problémica: A consecuencias del laboreo de las excavaciones subterráneas que necesariamente se erigen en el Trasvase Este-Oeste se construyen túneles cuya longitud alcanzan más de 1 000 m, por lo que durante los trabajos de voladuras, así como los trabajos de carga-transporte se enrarece la atmósfera en el frente de avance,

lo cual afecta la higiene del trabajo y en numerosas ocasiones provoca la interrupción de estos, como es el caso del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí. De tal idea planteamos lo siguiente:

Problema científico: Necesidad de realizar el perfeccionamiento del sistema de ventilación empleado durante el laboreo del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí para lograr condiciones higiénico-sanitarias adecuadas durante los trabajos de avance.

Objeto de estudio: La ventilación del túnel hidrotécnico Levisa- Mayarí.

Campo de acción: Tramo VI del Túnel hidrotécnico Levisa- Mayarí del Trasvase Este-Oeste.

Objetivo General: Perfeccionar el Sistema de Ventilación del Tramo VI del Túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí para lograr condiciones higiénico-sanitarias adecuadas.

Hipótesis: Si se estudian las condiciones minero-técnicas y ambientales, se realiza el análisis de los factores que intervienen en el sistema de ventilación, se examinan las condiciones técnico-económicas, se establecen las condiciones higiénico-sanitarias requeridas por las normas y se opta por aplicar soluciones adecuadas, se puede lograr el perfeccionamiento del sistema de ventilación del tramo VI del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí.

Objetivos específicos:

- Analizar el estado actual del problema en Cuba y en el mundo.
- Caracterizar el objeto de la investigación y los factores que intervienen en ella.
- Detallar los factores que intervienen en la ventilación y calcular los parámetros del sistema de ventilación del Tramo VI del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí que facilitan su perfeccionamiento.
- Evaluar los índices técnico-económicos de la solución propuesta al caso de estudio.
- Evaluar el impacto Medio-Ambiental.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

Desde el surgimiento del hombre y con el paso del tiempo, este a partir del desarrollo del mismo adquiría necesidades que estaban en correspondencia con la forma de vida y lugar donde se encontraba, provocando de este modo su propio desarrollo. A causa de estas necesidades el hombre comienza a realizar excavaciones, que es lo que hoy en día llamamos túnel, teniendo estos diversas funciones según la necesidad del hombre.

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 año 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, además de controlar los humos en caso de incendio. Esta operación asegura 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.

Papel de la ventilación

Como ya se ha visto en apartados anteriores, los cometidos del sistema de ventilación no corresponden únicamente al funcionamiento habitual del túnel, manteniendo los niveles de contaminación dentro de los rangos considerados como admisibles, sino que también debe ser capaz de permitir la evacuación en caso de accidente y el control de la nube de humos en caso de accidente con fuego. Sin embargo, el sistema de ventilación a instalar en un túnel también debe mantener unas condiciones aceptables

en un gran número de recintos auxiliares que, cada vez, son más necesarios para albergar las instalaciones del túnel y el personal que labora dentro de este.

En base al volumen de los gases nocivos emitidos, se adecua el volumen de aire limpio y fresco necesarios para la respiración normal del personal. 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. Ver figura 1.1.



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

En la construcción de un túnel se pueden adoptar tres tipos de ventilación:

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. Ver figura 1. 2.

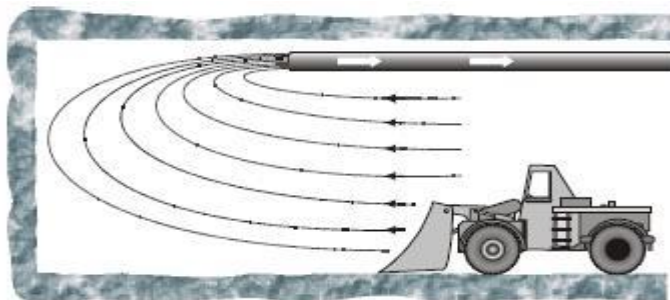


Figura 1.2: Ventilación aspirante

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. Ver figura 1.3.

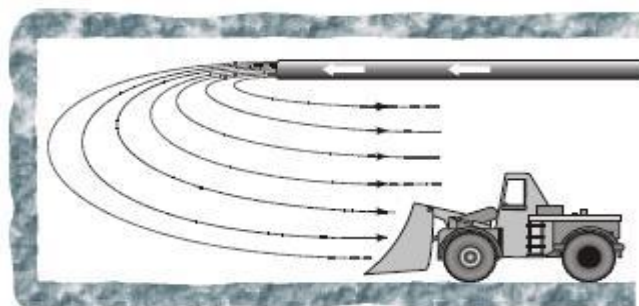


Figura 1.3: Ventilación soplante

Ventilación mixta: es una combinación de las anteriores; cuando se produce la voladura se adopta la disposición aspirante y una vez extraída la mayor parte de los gases sucios, se cambia a soplante. Ver figura 1.4.

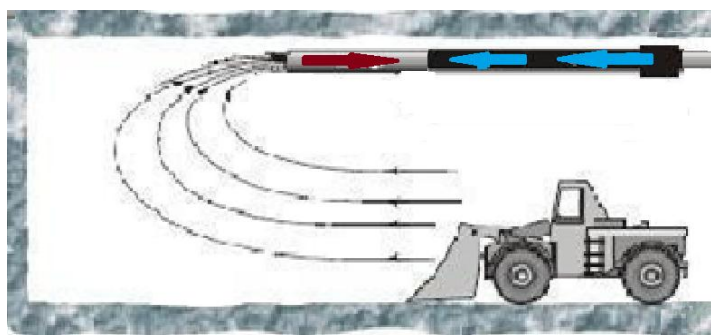


Figura 1.4: Ventilación mixta

La ventaja de la ventilación aspirante es que los gases y el polvo retornan por la tubería evitando que los inhale el personal. Además, tras el disparo de las voladuras los gases y humos se eliminan rápidamente. No obstante, se requiere una tubería rígida o si es de lona deben estar armadas con un espiral de acero, el aire entra por el túnel lentamente, la ventilación aspirante deja algunas zonas del frente mal ventiladas, por lo que se precisa de 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 construyeron los primeros ventiladores mecánicos, del tipo centrífugo, fueron tales aparatos accionados primitivamente por molinos de vientos o por ruedas hidráulicas, 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.

Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en sistemas de ventilación industrial, dado por su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos, teniendo 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. (Rondón Rosales, Melinda, 2015). Ver figura 1.5.



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 principal y específica característica de 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 como segunda, 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. Ver figura 1.6.



Figura 1.6: Ventiladores tipo Centrífugo

Optimización del Sistema de Ventilación

Según: Mallqui T. A (1981), indica en su conclusión:

- Se acepta que el incremento de la temperatura del aire debido a la auto compresión, es en el orden de 1°C por cada 100m de profundidad.
- El incremento de la temperatura como resultado de la oxidación del carbón, de la pirita, putrefacción de la madera, velocidad de flujo del aire y el trabajo de equipos motorizados.
- El movimiento del aire es originado en el interior de la mina por la diferencia de presiones entre dos puntos, creados en forma natural o artificial.
- Según refirió Mallqui T. A. (1981) 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 de flujo del 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 sus conclusiones indica:

- Un sistema de ventilación indudablemente es de un elevado costo, de modo que su instalación requiere un análisis de los beneficios que 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 faciliten 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 del nivel de importancia que se debe dar al mantenimiento de los ventiladores para un mejor funcionamiento y satisfacción del personal que allí trabaja. En lo referido al área de investigación que es el Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste, en el cual no se trabaja con las condiciones apropiadas.

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 (CH_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): 25 ppm

Anhídrido Sulfuroso: 2 ppm mínimo a 5 ppm máx.

Aldehídos: máx. 5 ppm

Ozono: máx. 0.1ppm

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

En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes, 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(m.s.n.m) en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 6 metros cúbicos por minuto(m^3/min), en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

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

En caso de emplearse equipo diésel, 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 personal trabajando. Cuando se empleen 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 (una galería en avance), es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca a la entrada de 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**

Entre los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada, 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, este succiona el aire del interior del túnel 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 máquinas que trabajen con diésel (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 temperatura 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 calentado, 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 dominante en el exterior del mismo. En el caso de presentarse un incendio dentro del 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, habría de esperar que en principio 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. Ver figura 1. 7.



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. Es difícil predecir este efecto en la noche.
- En 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 en 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 del aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos.

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

Reglas de los 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 presente Proyecto corresponde al Túnel Hidrotécnico Levisa-Mayarí, el cual ha sido dividido en 6 tramos dados su longitud aproximada de 17 Km, correspondiendo este en específico, al Tramo VI. El proyecto se ejecuta a solicitud de la inversión, de diseñar un túnel a partir del trazado ajustado con el objetivo de permitir la conducción del gasto mínimo de 30.0 m³/s de agua desde la presa Levisa hasta la presa Mayarí, en unión con los tramos que le anteceden, los tramos I; II; III y IV (construidos), tramo V (en construcción). Para el diseño de este túnel se consideró que la conducción se realizará a presión, aprovechando la carga de la presa Levisa con cota de nivel de aguas normales de 96.00 m y cota de fondo del túnel a la salida de 65.00 m.

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 el Tramo IV, el Tramo V está compuesto por cuatro objetos de obras fundamentales.

El túnel principal constituye básicamente el elemento que responde directamente a la función que desempeña de trasvasar un caudal mínimo de 30 m³/s. El túnel de conexión establece una facilidad constructiva de carácter temporal que permite su ejecución paralelamente a los demás tramos.

El Tramo VI del túnel hidrotécnico Levisa- Mayarí, 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, este tramo posee una longitud aproximada de 481 m y un área de sección transversal de 32 m².

Hidrología

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

Vegetación

La vegetación presente en la zona es variada, principalmente abundan los charrascales, sobre todo 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- Sierra 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, terrestre y marítima. 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.

Características socio-económicas 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 aproximadamente 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 número de habitantes y el primero en extensión territorial. Además es el tercer municipio del país en población entre los municipios que no son cabecera provincial, solo superado por Contramaestre y Cárdenas. Su población representa el 10.2% del total en 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, se encuentra en el 8vo lugar en extensión territorial en 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, producción de plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva, silvícola, cafetalera y forestal, 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 son la agricultura, construcción de obras hidráulicas entre otras, pueden generar una alteración en el medio natural, lo que puede formar 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 reflejan 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 ultramáficas 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, 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, donde predominan los 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 se encuentran los siguientes escalones morfo-estructurales:

Montaña pequeña, de horst-bloque, aplanada, diseccionada, masiva con una altura de 500 a 995 m.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 500 a 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 Ocuja - 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 300 m.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 300 m.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, y

Sabaneta, con 106 m.s.n.m., Colorado, con 100 m.s.n.m. Las llanuras ocupan gran parte del territorio y corresponden a las zonas de descenso relativo o de ascenso neotectónicos más débiles, cuyas amplitudes son inferiores a los 100 m. El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos, esto se evidencia en su propagación geográfica y 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 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 resistencia y capacidad portante, disminución de sus cualidades, además del 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 Gibsita. 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, conglomerados 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, limonitas, 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 biotrácticas y detrácticas, 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 biotrácticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran

rellenas con 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, mangles, limos y 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 lo 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
Ver tabla 2.1

Tabla 2.1. Propiedades físicas de la Capa 5b.

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)
Coeficiente de ablandamiento	-	-	0.21-0.95 (0.60)
Absorción (Abs)	-	%	2.5 a 18.0 (7.5)
Coeficiente 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 milonitización. Los valores reflejados en la tabla 2.2 fueron tomados a partir de ensayos de laboratorio.

Ver tabla 2.2

Tabla 2.2. Propiedades físicas de la Capa 5c.

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)
Coeficiente de ablandamiento	-	-	0.63 - 0.95 (0.82)
Coeficiente 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 están clasificadas 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 se clasifican como aguas 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 (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 Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL.

La ventilación ya sea en un túnel o en una mina es necesaria y de gran importancia ya que sin ella sería imposible la realización de 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.
- 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.

3.1 Características Técnicas de los equipos que se utilizan en el túnel

El Tamrock Axera 06-240: es un jumbo electro-hidráulico de dos brazos. El sistema de perforación está controlado de manera hidráulica con funciones automáticas añadidas, los diferentes niveles de instrumentación opcional proporcionan una excavación productiva y de alta calidad. Los brazos universales TB 40 tienen una cobertura de perfil optimizado y autoparalelismo automático, los brazos pueden emplearse para el bulonaje y tronzado. **Ver tabla 3.1 y Anexo 3.**

Tabla 3.1. Detalles técnicos principales del 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 de lubricación y 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: Horizontal - 14% = 1:7 = 8°	12 km/h 4.2 km/h
Desnivel superable	28% = 1:3.5 = 15°
Nivel de ruido (EN 791, condición campo abierto) Plataforma operador	LpA = 102 dB LwA = 124 dB

La PM 500: en esta máquina se concentran los últimos avances de bombeo, proyección y dosificación de mezcla de hormigón. 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.

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

- 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: Ø x Carrera: 180 x 1.000 mm
- Cilindros hidráulicos: Ø 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 55 kW.
- 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 diésel 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). **(Ver Anexo 4).**

La ROBOLT 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, de dirección electro-hidráulico y diseño 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 tabla 3.2 y anexo 5).**

Tabla 3.2. Características técnicas de la 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 x10 900 mm
Anchura	1 750 mm
Altura:	techo bajado 2 360 mm
	techo subido 3 260 mm
Velocidad traslación horizontal 13%=1:7=8°	12 km/h
13%=1:7=8°	4 km/h
Potencia del motor eléctrico	60 HP
Nivel de ruido	< 98 dB(A)
Pendiente superable	maxi 35 %
Radio de giro	6 050 / 3 350 mm
Peso	17 000 kg
Potencia del motor diésel	95 HP

El TORO 400: es un cargador que ha sido diseñado exclusivamente para cargar, transportar, y descargar material rocoso. Cualquier otra utilización se considera como no apropiada. Con una utilización conforme a lo previsto se entiende también seguir las indicaciones del manual de instrucciones y observar las normas de inspección. 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 tabla 3.3 y Anexo 6.**

Tabla 3.3. Características técnicas del 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 en ascenso	275 kN (28 042 kg) (61 822 libras)
Fuerza de arranque en inclinación	230 kN (23 453 kg) (51 705 libras)
Carga de vuelco	29 200 kg (375 libras 64)

Instrucciones previas al uso de los equipos que laboran en el túnel

- 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 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.
- Extrema las medidas de precaución cuando se mueva sobre superficies resbaladizas.
- Antes del arranque y después de 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.
- 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

Tamrock Axera 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 fango, emisiones de ruido, polvo y gases.

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

De lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta el factor potencia, el mayor es el **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 diésel y la mayoría está en malas condiciones de trabajo.

3.2 Condición actual de la ventilación en el túnel Levisa-Mayarí del Traslase Este-Oeste.

La ventilación en los túneles hidrotécnicos del trasvase 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 la mala interconexión de los tramos de los conductos, existen roturas en la tubería de ventilación provocadas por las

voladuras, ya que las mismas son de PVC (policloruro de vinilo) por lo que son muy vulnerables al impacto; situación que se va acumulando en la medida que se desplaza el frente de arranque y se van instalando nuevos tramos de tubos y estas son afectadas nuevamente.

Además de esto existen otras deficiencias como:

- 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 23 m.

El túnel está dotado para su ventilación de un ventilador con las siguientes características. **Ver tabla 3.4**

Tabla 3.4. Características técnicas del ventilador

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

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, este 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.

3.3 Determinación de los parámetros del sistema de ventilación del túnel hidrotécnico Levisa-Mayarí

La estimación de la cantidad necesaria de aire en una zona de trabajo todavía es un aspecto empírico en la planificación y diseño de un sistema de ventilación. Según la experiencia de otras minas se recomienda empezar a cuantificar las necesidades de caudal en los propios frentes de trabajo, en los fondos de saco.

3.3.1 Caudal requerido por el número de personas

Cuando los túneles o minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (3) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4 m³/min.
- De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5 m³/min.
- Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6 m³/min.

El caudal de aire para personal se calcula mediante la siguiente formula:

$$Q = k * N$$

Ecuación 3.1.

$$Q = 6 * 11$$

$$Q = 66 \text{ m}^3/\text{min} = 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Además de este caudal por el número de personas en el túnel, se debe tomar 1.5 m³/min de reserva.

Donde:

Q - Caudal total para “n” personas que trabajen en interior del túnel (m³/ s).

K - Caudal mínimo por persona.

N - Número de personas en el lugar (11).

3.3.2 Caudal requerido por temperatura

Como norma para el cálculo del aire respecto a la temperatura, se dan los siguientes valores. **Ver tabla 3.5.**

Tabla 3.5. Velocidad necesaria para un ambiente ventilado.

Humedad relativa	Temperatura seca	Velocidad mínima	Para una labor de 32 m ² (8x4 m)
< o = 85 %	24 a 30 ⁰ C	30 m/min	960 m ³ /min
> 85 %	30 ⁰ C	120 m/min	3584 m ³ /min

3.3.3 Caudal requerido por equipos diésel

Para el uso de equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres (3) metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos. Para el cálculo del caudal de equipos diésel se aplicará la siguiente formula:

$$Q = k * N$$

Ecuación 3.2

$$Q = 3 * 1115$$

$$Q = 3345 \text{ m}^3/\text{min} = 55.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Q - Caudal total para “n” equipos diésel que trabajen en interior del túnel (m³/ s).

K - Caudal mínimo por equipo diésel.

N - Cantidad de HP de los equipos diésel (sumatoria de HP de los equipos que laboran dentro del túnel).

Para determinar el caudal de aire por maquinaria diésel se considera la simultaneidad de los equipos presentes en el interior de la mina cuya asignación representa la flota operativa, y por tanto el caudal de aire real requerido, se estima entre 40% y 60%.

3.3.4 Caudal por requerimiento de consumo de explosivos

$$Q = n * V * A (\text{m}^3 / \text{s}).$$

Ecuación 3.3.

$$Q = 1 * 25 * 32.$$

$$Q = 800 \text{ m/min} = 13.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Q - Caudal total para diluir contaminantes por explosivos (m^3/s)

n - Número de niveles del túnel.

V - Velocidad de aire según norma, indica que cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.

A - Área de la sección de labores (m^2)

3.3.5 Caudal requerido por desprendimiento de gases de las rocas

Para determinar este caudal de aire se toma como criterio la fijación de velocidad en las labores, en ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando, con esta apreciación es suficiente para asegurar las áreas despejadas.

3.4 Pérdidas de carga de la instalación

Las pérdidas de carga de un circuito de ventilación auxiliar pueden dividirse en pérdidas por fricción, pérdidas singulares y pérdidas por presión dinámica.

3.4.1 Pérdidas por fricción

Cuando el aire fluye a través de un ducto o galería minera, la presión requerida para mover el aire a través de él depende no sólo de la fricción interna, sino también del tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad y densidad del aire. Todos estos factores son considerados en la ecuación de J. Atkinson, denominada "Ley de Atkinson".

$$P = \frac{KCLV^2}{A}$$

Ecuación 3.4.

Donde:

P - Caída de presión (Pa).

K - Factor de fricción de la tubería.

C - Perímetro de la tubería de ventilación (m).

L - Longitud del túnel (m).

V - Velocidad (m/s).

A - Área de la tubería de ventilación (m²).

Sabiendo que:

$$Q = V * A$$

La fórmula anterior se puede expresar como:

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

$$P = \frac{1 * 0.9 * 7000 * 13.33^2}{32^3}$$

$$P = 34.16 P_a$$

En un circuito de ventilación auxiliar, las pérdidas por fricción son de mayor importancia de cara al diseño de la instalación son las de la tubería, siendo las de las galerías del túnel o mina son despreciables frente a estas (suponen en general menos de un 1% en relación a las de las tuberías).

3.4.2 Pérdidas singulares

Las pérdidas singulares son aquellas que se producen cuando el flujo de aire cambia de dirección o el conducto cambia de sección. Estas pérdidas se calculan como un porcentaje sobre la presión dinámica del fluido calculado en el punto singular.

$$\Delta P_{sin} = \zeta \frac{\rho * U^2}{2}$$

Ecuación 3.6

Donde:

ΔP_{sin} - pérdida de carga del aire [Pa].

$\zeta(p)$ - coeficiente de pérdida del aire.

ρ - densidad del aire (1.2) [kg/m³].

u - velocidad del aire en el conducto (0.41) [m/s].

Coeficiente de pérdida del aire

$$p = \frac{1}{3} k' * d_t * \frac{L_t}{m} \sqrt{(R_t + 1)^2}$$

Resistencia aerodinámica de la tubería

$$R_t = \frac{6.5 * \alpha_f * L_t}{d_t^5}$$

$$R_t = \frac{6.5 * 7000}{(900)^5}$$

$$R_t = 7.71 \times 10^{-11} \text{ kilomiur}$$

α_f - coeficiente de fricción aerodinámica (-)

Para uniones de alta calidad ($k' = 0.0005$)

$$p = \frac{1}{3} 0.0005 * 900 * \frac{7000}{20} \sqrt{(7.71 \times 10^{-11} + 1)^2}$$

$$p = 52.5$$

Para uniones satisfactorias ($k' = 0.0001$)

$$p = \frac{1}{3} 0.0001 * 900 * \frac{7000}{20} \sqrt{(7.71 \times 10^{-11} + 1)^2}$$

$$p = 10.5$$

Para uniones malas ($k' = 0.002$)

$$p = \frac{1}{3} 0.002 * 900 * \frac{7000}{20} \sqrt{(7.71 \times 10^{-11} + 1)^2}$$

$$p = 210$$

Donde:

d_t - diámetro de la tubería (900), mm

L_t - longitud de la tubería (7000), m

m - longitud del segmento de la tubería (20), m

R_t - resistencia aerodinámica de la tubería sin tener en cuenta las perdidas, se da en kilomiur.

k - coeficiente de permeabilidad específica en las juntas, depende del número de uniones L/m y de la calidad de estas.

Se toma:

- Para uniones de alta calidad $k' = 0.0001$ a 0.0005
- Para uniones satisfactorias $k' = 0.0005$ a 0.0001
- Para uniones malas $k' > 0.001$

Pérdidas singulares de carga del aire para uniones de alta calidad

$$\Delta P_{sin} = 52.5 \frac{1.2 \cdot (0.41)^2}{2}$$

$$\Delta P_{sin} = 5.29 P_a$$

Pérdidas singulares de carga del aire para uniones satisfactorias

$$\Delta P_{sin} = 10.5 \frac{1.2 \cdot (0.41)^2}{2}$$

$$\Delta P_{sin} = 1.05 P_a$$

Pérdidas singulares de carga del aire para uniones malas

$$\Delta P_{sin} = 210 \frac{1.2 \cdot (0.41)^2}{2}$$

$$\Delta P_{sin} = 21.16 P_a$$

En un circuito de ventilación auxiliar, esto ocurre en elementos como codos, cambios de diámetro de la tubería, puntos de bifurcación de la tubería, rejillas de protección de tubería o ventilador.

La suma de estas dos perdidas, la de fricción y las singulares nos da como resultado la presión estática.

3.4.3 Pérdidas por presión dinámica

Al final del circuito, usualmente a la salida de la tubería (sistemas soplantes), o la salida del ventilador (sistemas aspirantes), se ha de tener en cuenta la presión dinámica con la que el aire sale, ya que ésta es una pérdida más. Estas pérdidas no tienen mayor complicación y se calculan por la fórmula general de la presión dinámica.

$$\Delta P_{din} = \frac{\rho \cdot U^2}{2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$\Delta P_{din} = \frac{1.2 \cdot (0.41)^2}{2}$$

$$\Delta P_{din} = 0.10086 P_a$$

Los parámetros para el cálculo fueron definidos en la ecuación 3.6.

Factor de fugas de la tubería

Estas fugas, inicialmente, dependen de las propias características de la tubería, pero ha de tenerse en cuenta que estas tuberías están instaladas en un sistema dinámico, es decir, al mismo tiempo que se aporta aire están trabajando en el frente, por lo que es muy frecuente que las tuberías se vean deterioradas con el paso del tiempo.

3.5 Caudal final

$$Q_{FINAL} = Q \left(1 - \frac{F}{100} \right)^{-\left(\frac{L}{100} \right)} \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

$$Q_{FINAL} = 86.18 \left(1 - \frac{1}{100} \right)^{-\left(\frac{7000}{100} \right)}$$

$$Q_{FINAL} = 174.08 \text{ m}^3/\text{min} = 2.90 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Q_{FINAL} - caudal final a la salida del ventilador (m^3/s).

Q - caudal requerido en el frente de trabajo, tomado a partir de la suma de caudales, (m^3/s).

L - longitud equivalente del túnel (m).

F - factor de fuga de la tubería otorgada por el fabricante (%).

Estas consideraciones se deben tener muy en cuenta tanto en el diseño como en las labores de mantenimiento, y por tanto, hacemos hincapié en que cada proyecto es diferente y debe ser estudiado en profundidad. No obstante, la experiencia dice que la formula anterior, si es usada considerando las particularidades del proyecto, es una buena aproximación a la realidad.

3.6 Potencia instalada

Las consideraciones que deben hacerse para calcular la potencia del motor son:

Q - Caudal de aire; m^3/s .

H - Depresión del circuito; Pa (presión estática en Pascales)

η - Eficiencia del ventilador, la cual varía entre 70 a 85% (dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo).

AHP - Potencia necesaria para mover el caudal Q de aire en un circuito cuya depresión es H; Kw.

BHP - Potencia del ventilador en Kw.

DE - Eficiencia de la transmisión, la cual varía entre 90% para transmisión por poleas y correas, y 100% para transmisión directa.

3.6.1 Potencia necesaria para mover el caudal Q de aire en un circuito

$$AHP = \frac{QH}{6350}$$

Ecuación 3.9.

$$AHP = \frac{2.90 * 34.16}{6350}$$

$$AHP = 0.015 \text{ kW}$$

3.6.2 Potencia del ventilador

$$BHP = \frac{Q * H * DE}{6350 * \eta} \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

$$BHP = \frac{2.90 * 34.16 * 100}{6350 * 85}$$

$$BHP = 0.018 \text{ kW}$$

3.7 Cálculo del pozo de ventilación

Para el caso de pozos de ventilación la sección útil se determina a partir de la velocidad de deba tener la corriente de aire.

$$V_{\text{cál}} < V_{\text{perm}}$$

Donde:

$V_{\text{cál}}$ – velocidad de cálculo del aire para la sección, m/s.

V_{perm} – velocidad permisible del aire (no debe exceder los 15m/s en pozos de ventilación), m/s.

$$V_{\text{cál}} = Q/60 * S_u * \theta$$

$$V_{\text{cál}} = 300/ 60 * 1 * 0.8$$

$$V_{\text{cál}} = 6.25 \text{ m/s}$$

Q – cantidad de aire que pasa por el pozo, m³/min.

S_u – sección útil del pozo, m²

θ - coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la sección útil del pozo debido a la fortificación (se toma 0.8 para pozos circulares).

Si para el valor calculado de S_u , la velocidad de cálculo del área es superior a la velocidad permisible, la sección útil del pozo debe ser aumentada hasta que se cumpla este requisito.

Limitantes que tiene el túnel

- No tienen como energizar los ventiladores dentro del túnel.
- Cada túnel solo tiene asignado un ventilador, por lo que se dificulta la ventilación.

Alternativas

- Introducir un ventilador en el túnel para crear turbulencia próxima al frente de trabajo.
- En la zona de trabajo del ventilador crear una cortina de agua para captar los gases solubles en el tiempo de ventilación.
- Construir en el punto de intercepción de los tramos V, VI y túnel de conexión IV un pozo de ventilación para aumentar el flujo de aire limpio al túnel y de esta forma equilibrar la deficiencia de la ventilación.

CAPÍTULO IV. CÁLCULO ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS MEDIO AMBIENTALES.

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 Impactos 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 de desarrollo sostenible en el país.

Normas Cubanas

En nuestro país existen una serie de normas de obligatorio cumplimiento en lo que a Medio Ambiente se refiere, a modo de referencia se darán las principales a tener en cuenta sin detrimento de otras.

- Norma de la Defensa Civil 2000: Normas para la proyección y ejecución de las medidas técnico ingenieras de defensa civil.
- NC-ISO 14001 2004: Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- NC 28 1999: Calidad del suelo. Clasificación de las tierras afectadas para la restauración.
- NC 29 1999: Calidad del suelo. Restauración de las tierras. Términos y definiciones.
- NC 31 1999: Calidad del suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimientos de tierra.
- NC 66 2000: Calidad del suelo. Suelos forestales. Clasificación y utilización.
- NC 827 1999: Calidad del aire. Requisitos higiénicos – sanitarios.
- NC 1021 2014: Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
- NC 23 1999: Franjas forestales en las zonas de protección a embalses y cauces fluviales.

Impactos ambientales identificados y medidas de mitigación

Durante las distintas etapas de construcción de este túnel se generan impactos de transformación de áreas, es decir, se modifican aspectos morfológicos del relieve, estructura y conformación de las capas subterráneas, distribución de flora y fauna, y calidad del aire principalmente. En la construcción del túnel los impactos ambientales

serán consecuencia de la ocupación de las áreas previamente preparadas, se implantarán obras de ingeniería civil que determinarán un cambio definitivo en los atributos naturales y del ambiente previo al proyecto. Estas áreas afectadas (de propiedad estatal) están compuestas principalmente por malezas y vegetación características de charrascales de zonas montañosas ocupando una extensión aproximada de 25 ha (hectáreas). Los suelos según el Decreto 179 Protección, uso y conservación de los suelos en sus artículos 14 al 18 clasifican desde el punto de vista agroproductivo como tipo IV (suelo muy poco productivo) destacando además las regulaciones para proteger el mismo, tarea de obligatorio cumplimiento por la parte de la inversión.

De manera más particular y en relación con los elementos ambientales más afectados, destacan los siguientes impactos:

- La calidad de las aguas puede verse afectada durante las etapas de construcción y operación.
- En la construcción los principales parámetros que pueden modificarse son los sólidos disueltos y en suspensión (debido a los movimientos de tierra) así como las grasas e hidrocarburos (por vertidos accidentales en las zonas de almacenamiento y maquinaria pesada).
- Durante la etapa de operación los principales contaminantes (esta cuantía debe ser mínima) son los derivados de la deposición de las emisiones atmosféricas, principalmente partículas y los de conservación del revestimiento del túnel, que incluye materiales epóxicos.
- En esta fase se pueden presentar vertidos ocasionales en los accidentes y derrames de aceites y grasas.
- El arrastre de todas las sustancias por las aguas de escorrentías va a parar a los distintos cursos fluviales pudiendo ocasionar cambios en la calidad del agua.

Impactos temporales

Estos impactos de carácter temporal se disipan o eliminan al concluir la obra, entre ellos podemos señalar:

- Aumento de los niveles sonoros (ruidos de los equipos), gases contaminantes y polvo.
- Deslizamientos menores en taludes excavados en el caso de las Calicatas.
- Contaminación de las aguas superficiales por el uso de la maquinaria.
- Materiales excavados y colocados en escombreras.

Estas acciones en su gran mayoría desaparecen al concluir la obra y la colocación de los materiales excavados sobrantes serán colocados en escombreras con el tratamiento adecuado a fin de no crear aspectos desagradables en el entorno.

Un efecto permanente es la circulación de un volumen considerable de agua (30 m³/s gasto mínimo) desde la presa Levisa hasta la presa Mayarí, pero esa es precisamente la razón de ser de esta obra.

Los impactos más evidentes sobre la vegetación, los procesos geomorfológicos, el relieve y las corrientes de agua, pueden ser debidamente previstos desde la etapa de estudios preliminares. Los túneles implican cambios visuales muy evidentes que incluso pueden parecer atractivos en algunos lugares panorámicos, pero las consideraciones técnicas que los preceden son sin duda la garantía de su seguridad y de su integración al ambiente. Dentro de los aspectos principales que justifican el uso de este tipo de obras subterráneas tiene gran peso, como ya se abordó, el valor medioambiental del paisaje, los ruidos tanto en la ejecución como explotación de este tipo de obra se minimizan respecto a obras superficiales, los movimientos de tierra no son considerables, además permiten la preservación de los suelos y actúan como medidas de prevención de daños físicos. El impacto ambiental sobre la flora y la fauna puede ser mitigado por medio del uso de estas obras, incluyendo la reducción de formación de taludes y los problemas de erosión y estabilidad que estos acarrearán, evitando también las pérdidas del suelo en el contorno de estas obras.

En la mayor parte de los estudios revisados se adjudica a las excavaciones y revestimientos la pérdida de las propiedades permeables del terreno, lo que trae como consecuencia el abatimiento del nivel freático. Otras acciones implican además la interrupción y/o desviación temporal de los cauces, ocasionados por el movimiento de materiales y por el emplazamiento de maquinarias y equipos. **Ver tabla 4.1**

Tabla 4.1 Impactos ambientales que pueden ser generados

Impactos	Importancia Relativa
Hidrología subterránea, superficie afectada.	Poco importante
Vegetación, impacto visual, ruido	Poco Importante
Afección a construcciones e instalaciones, residuos sólidos y líquidos.	Poco importante
Vibraciones y humos	No significativo

Etapas de Construcción de túneles

- A- Construcción de facilidades temporales.
- B- Excavación.
- C- Extracción, transportación y disposición del material extraído.
- D- Revestimiento.
- E- Desmonte de las facilidades temporales.

De manera concluyente, a partir del análisis realizado anteriormente se pueden destacar los componentes del medio ambiente más afectados en la construcción:

- Suelo
- Fauna
- Vegetación.
- Hidrología
- Atmósfera

- Paisaje
- Geología
- Población

Acciones más impactantes en orden de prioridad

- Movimiento de Tierra.
- Desbroce.
- Construcción de Caminos de Accesos.
- Excavación.
- Tala.
- Movimiento de equipos pesados.
- Perforación.

Impactos residuales

- Cambio en el uso del suelo.
- Cambio en la dirección de los flujos desde Levisa hasta Mayarí.
- Alteración de las formas de relieve.
- Cambio en los patrones de drenaje.
- Afectación al manto freático y la hidrodinámica de la zona.
- Efecto barrera para la dispersión de los organismos.
- Alteración del paisaje por inclusión de elementos de artificialidad en la zona.
- Cambios en el cromatismo natural.

Medidas de Mitigación

En cuanto a las medidas de mitigación se enfatizan las siguientes:

- Prever la modificación integral del uso del suelo en el área afectada, para compensar las alteraciones que puedan sufrir la planificación de equipamiento, infraestructura y estructura.

- El conjunto de impactos ocasionados por el establecimiento y operación de campamentos de trabajadores, puede mitigarse equipándolos con medios sanitarios requeridos para controlar la contaminación por aguas residuales, residuos sólidos.
- Con respecto de los materiales que se extraen producto de la excavación del túnel, conviene que estos sean analizados en cuanto a sus propiedades físicas y, de acuerdo a los resultados, se envíen a canteras donde se les aprovechen para la construcción de otras obras.
- Establecer áreas de espera para los camiones que cargan el producto de la excavación de manera que no interfiera el tránsito vehicular. Se deberá implementar un sistema de avisos en los casos que se obstaculice el mismo.
- Durante la etapa de preparación del sitio, será necesario que se lleven a cabo recorridos para detectar especies vegetales valiosas que ameriten trasplantarse a otro sitio.
- Durante la etapa de construcción se deberán realizar monitoreos para comprobar la calidad del aire cuando se labora dentro del túnel, mediante la operación de sensores o similares, de CO₂, NO_x, SO₂, con el fin de contar con un sistema de monitoreo en condiciones adversas en el interior del túnel.
- Se prohíbe el vertimiento de hidrocarburos y cualquier otro material contaminante a los cursos de aguas superficiales o subterráneas.
- En la construcción de las calicatas no se excederán los cortes más allá de lo establecido por proyecto de forma tal que se minimicen las afectaciones al relieve.
- Construir en cada calicata sedimentadores para la recolección de residuales líquidos con contenido de sólidos procedentes de los túneles.
- Rehabilitación de las áreas afectadas que permita mejorar el relieve afectado.
- La reforestación se realizará con especies propias del lugar, se prohíbe la introducción de especies exóticas.

Medidas preventivas y correctoras

Identificados y evaluados los principales impactos, se proponen a modo de resumen medidas preventivas encaminadas a evitar afectaciones y medidas correctoras dirigidas

a suprimir o eliminar las alteraciones, reducir o atenuar los efectos ambientales negativos, limitando la intensidad de la acción que provocan y compensar el impacto de ser posible, con medidas de restauración o con actuaciones de la misma naturaleza y efectos contrarios al de la acción.

La protección del medio ambiente es una de las tareas más 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 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.

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 diésel 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, 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 ajustadas 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 de evitar accidentes menores o de gran envergadura. Por esto es necesario que el encargado de la protección al trabajador haga que se cumpla estrictamente el uso de todos los medios de protección personal que se entregan por puestos de trabajo a cada hombre de la entidad.

CONCLUSIONES

- 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 es de 13,33 m³/s.
- El ventilador con que está dotado el sistema de ventilación actual, para un área de 32 m², desarrolla un caudal de 16 m³/s, suficiente para satisfacer la demanda de aire fresco en el frente.
- Se realizó el diseño para la construcción de un pozo de ventilación en el punto de intercepción de los tramos V, VI y túnel de conexión IV, de esta forma mejorar la ventilación dentro del túnel.
- Tanto la optimización del sistema de ventilación como la construcción del pozo de ventilación tienen un costo de 144 232, 95 \$
- Luego del análisis de los impactos ocasionados al medio ambiente, se tomaron las medidas para su conservación y restauración.
- Se analizaron las condiciones para mejorar la seguridad y salud de los trabajadores.

RECOMENDACIONES

- Introducir un ventilador en el túnel para crear turbulencia próxima al frente.
- En la zona de trabajo del ventilador crear una cortina de agua para contener los gases solubles en el tiempo de ventilación.
- Construir en el punto de intercepción de los tramos V, VI y túnel de conexión IV un pozo de ventilación para aumentar el flujo de aire limpio al túnel y de esta forma equilibrar la deficiencia de la ventilación.
- La utilización de este trabajo como referencia para cualquier otra investigación de esta índole y categoría.
- Extender los estudios referidos a la ventilación de los túneles debido a la importancia que tiene para lograr mayores avances durante la construcción de esta obra, así como de futuras obras subterráneas, sobre todo cuando exista la posibilidad de asociación de varios ventiladores en el interior del túnel.

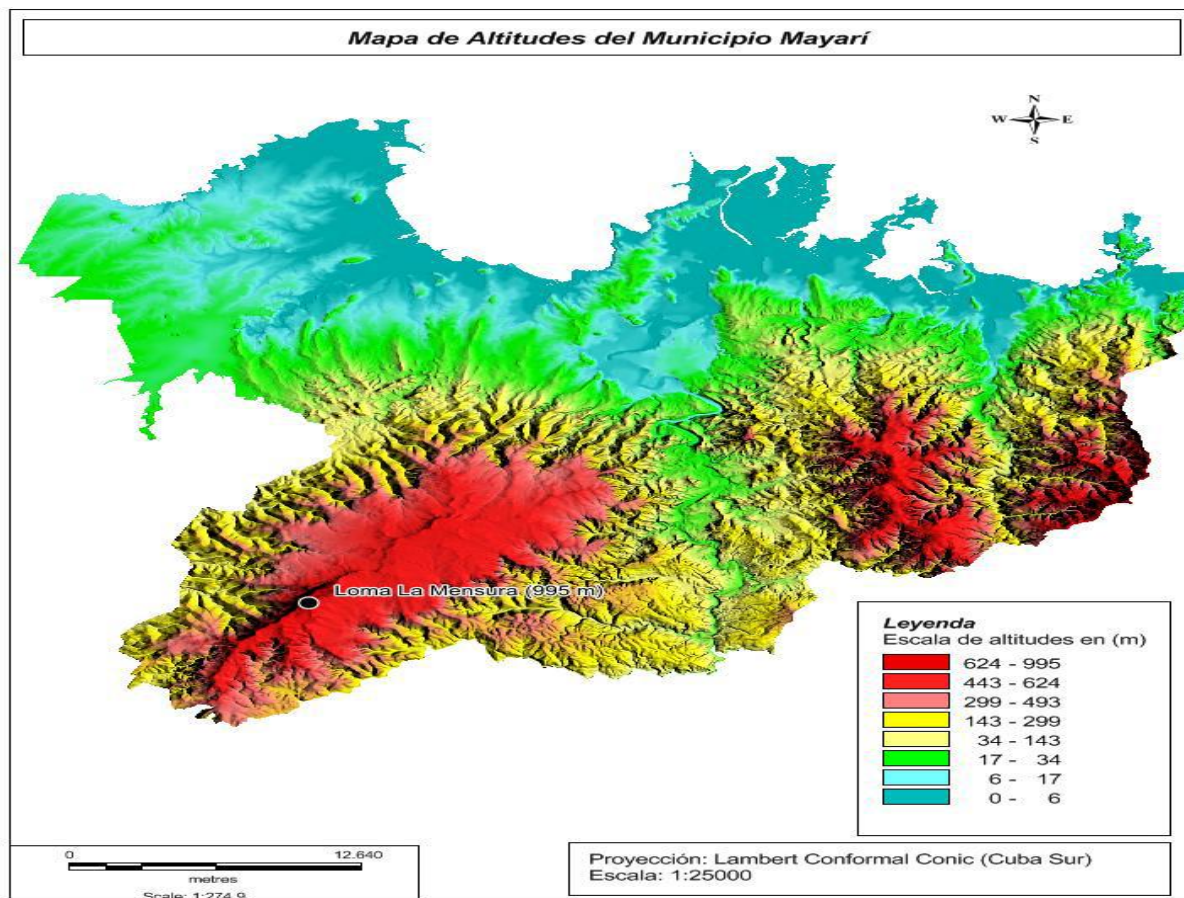
BIBLIOGRAFÍA

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.
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.

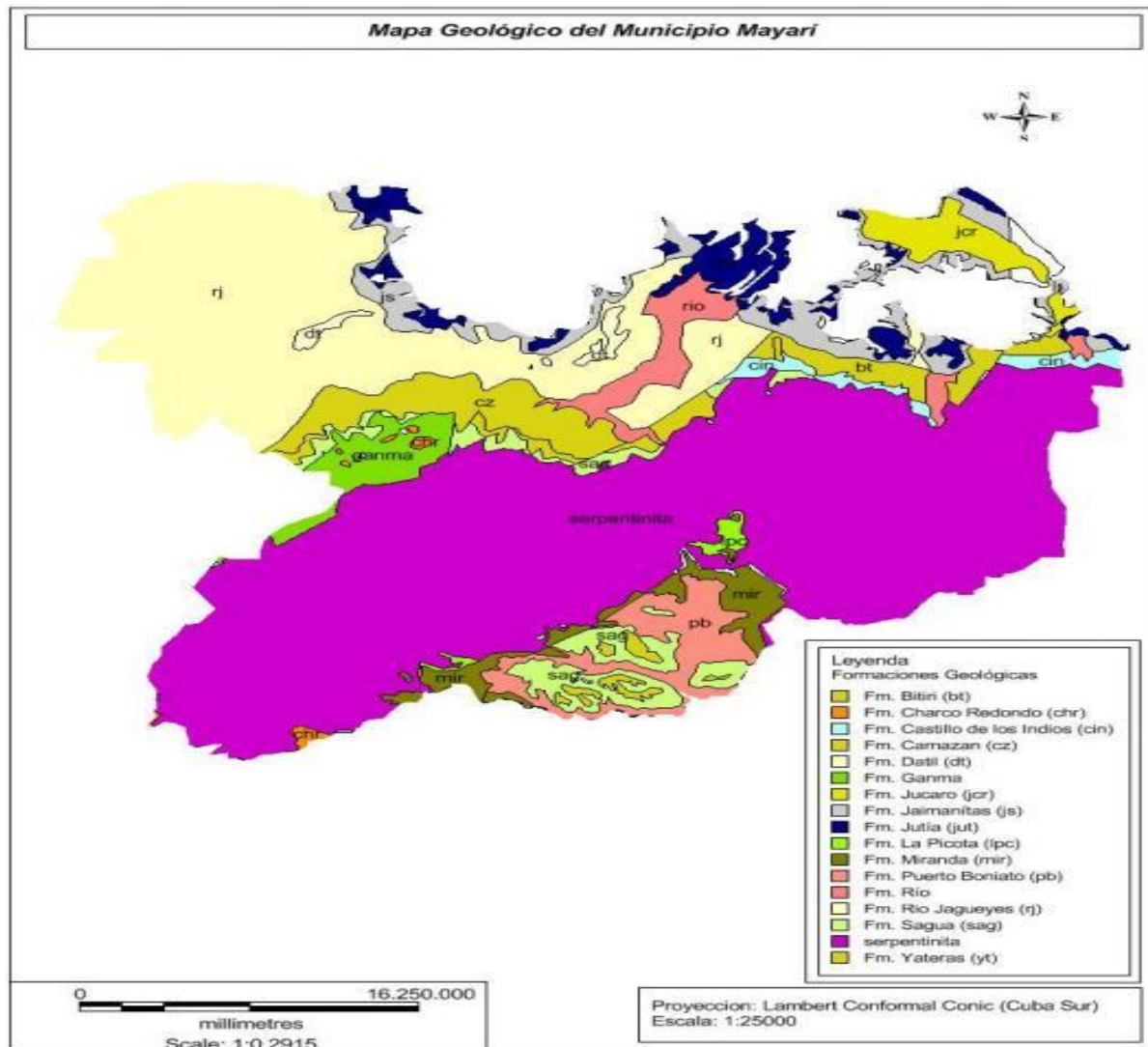
19. Quevedo Chanamé, Carlos Manuel. Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Huanza. Trabajo de Diploma Perú, 2013.
20. Ramírez H. J. Ventilación de Minas. Módulo de Capacitación Técnico Ambiental. Chaparra, Perú, 2005.
21. Revista Frío y Calor N° 108. Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G.htm.
22. Rodríguez Fernández, Yansel. Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste. Trabajo de Diploma Cuba, 2013.
23. Rondón Rosales, Melinda. Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste. Trabajo de Diploma Cuba, 2015.
24. Sanz Sacristán. Juan Manuel. Ventilación de Túneles, Técnicas para su diseño y operación.
25. Ley 81 del Medio Ambiente.
26. Norma de la Defensa Civil 2000: Normas para la proyección y ejecución de las medidas técnico ingenieras de defensa civil.
27. NC-ISO 14001 2004: Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
28. NC 28 1999: Calidad del suelo. Clasificación de las tierras afectadas para la restauración.
29. NC 1999: Calidad del suelo. Restauración de las tierras. Términos y definiciones.
30. NC 31 1999: Calidad del suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimientos de tierra.
31. NC 66 2000: Calidad del suelo. Suelos forestales. Clasificación y utilización.
32. NC 827 1999: Calidad del aire. Requisitos higiénicos – sanitarios.
33. NC 1021 2014: Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
34. NC 23 1999: Franjas forestales en las zonas de protección a embalses y cauces fluviales.

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de altitudes del municipio Mayarí.



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



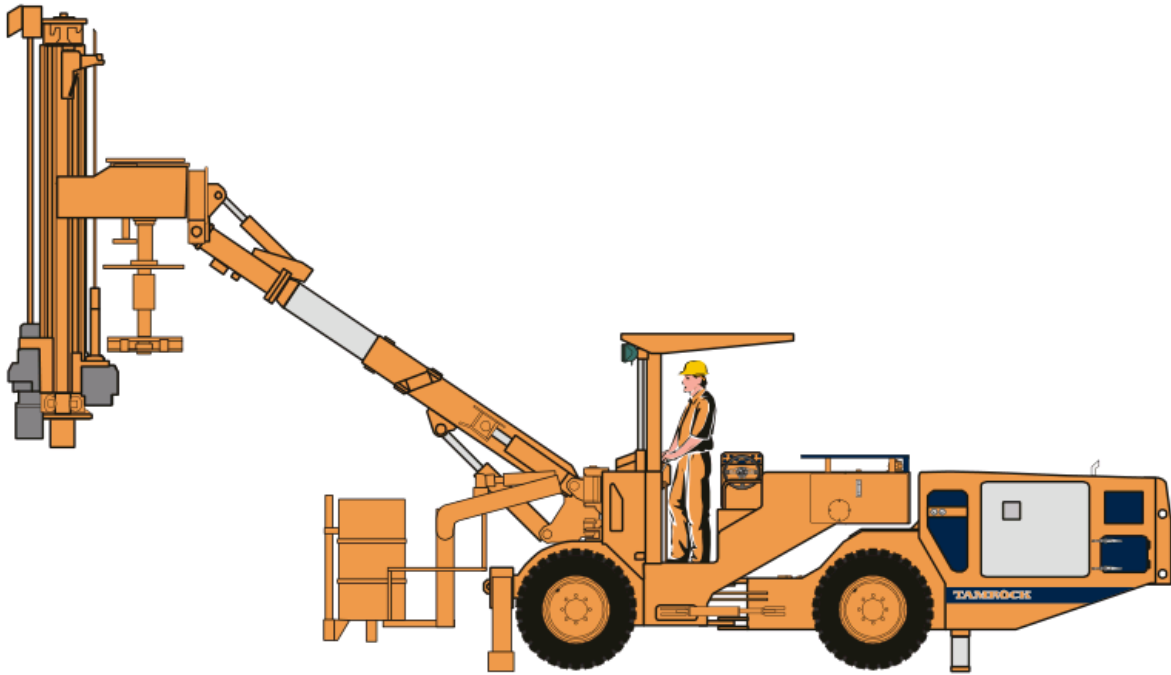
Anexo 3: Tamrock Axera 06-240



Anexo 4: PM 500



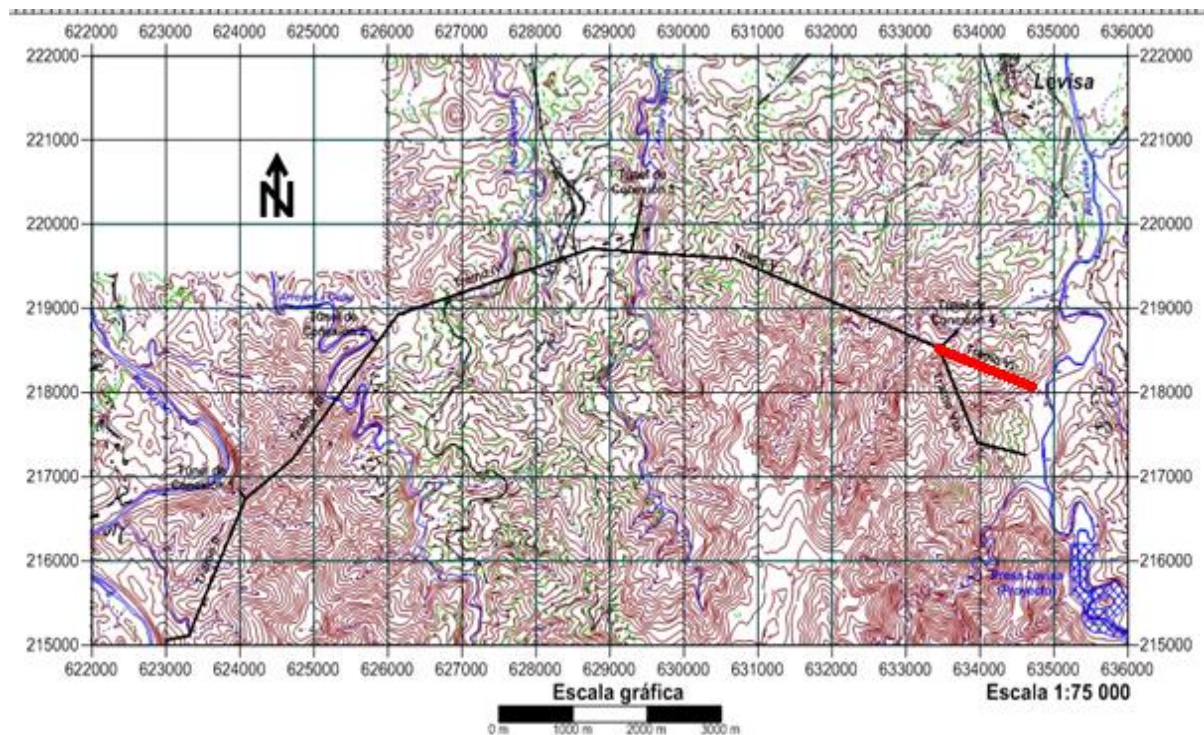
Anexo 5: ROBOLT 06



Anexo 6: Toro 400

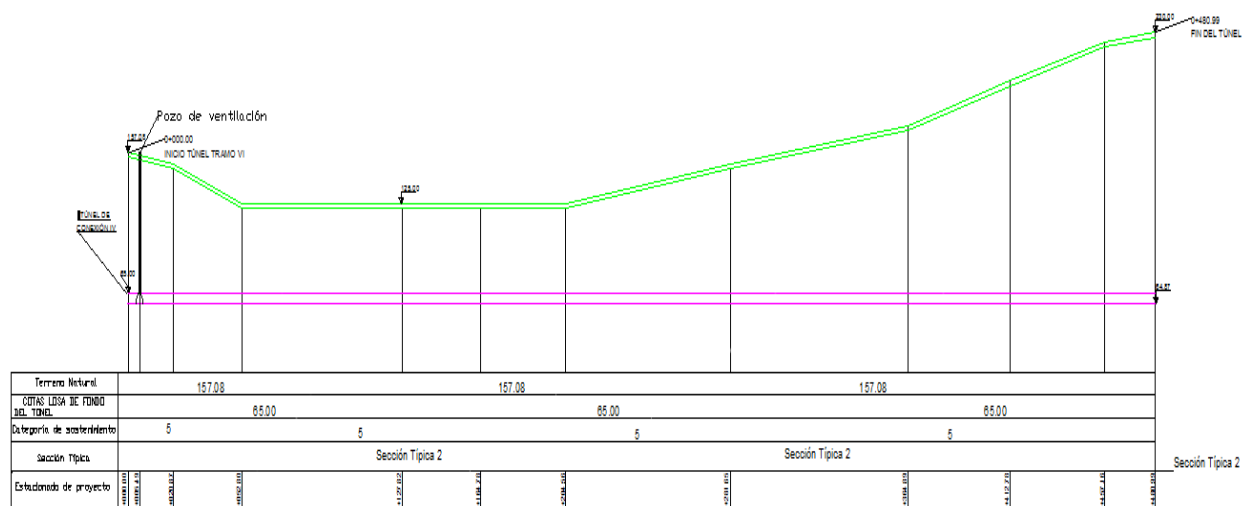


Anexo 7. Mapa de ubicación geográfica de los túneles del trasvase por tramos.



Nota: la línea roja representa el tramo VI con una longitud aproximada de 481m.

Anexo 8. Perfil tramo VI



Anexo 9. Vista superior del Tramo VI

