



MINISTERIO REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERIA

Trabajo de Diploma en opción al título Ingeniero de Minas

Tema: Perfeccionamiento del Sistema de Ventilación del Túnel Levisa-Mayarí del
Trasvase Este-Oeste

Autor: Yansel Rodríguez Fernández

Tutores: Dr. C. Santiago Berna Hernández

Dr. C. Rafael Noa Monjes

Moa 2013

Año 55 Aniversario del Triunfo de la Revolución

Agradecimientos

Deseo que llegue mi más sincero agradecimiento a las personas que de una forma u otra han contribuido a la exitosa elaboración de este trabajo.

- Dr. C. Rafael Noa Monjes, por su gran colaboración en la ejecución de este proyecto.
- Dr. C. Santiago Bernal Hernández, por su gran ayuda en el diseño de este proyecto.
- A todos los trabajadores del Tránsito Mayarí, por su colaboración y ayuda en la búsqueda de información para la realización de este trabajo.

A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional y la confianza que me han entregado.

El grupo Minas 2008-2013, por ser los mejores compañeros que he tenido en mi vida, en especial a mis dos niñas lindas: Nayla y Lianeyis que las quiero y siempre las voy a querer con todo mi corazón.

A todos aquellos que no he mencionado pero de una forma u otra han colaborado con la elaboración de este trabajo.

¡Muchas gracias a todos!

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo en especial a todas esas personas que siempre estuvieron a mi lado dándome su amor y cariño y guiándome por los senderos correctos en la vida:

- Mi madre Rita María Fernández Hernández
- Mi padre Joel Rodríguez Barrios
- Mi abuela Irayda Hernández
- Mis tías Mayelin Fernández y Álbara Fernández

A mis amigos que los quiero como hermanos y que han sido criado con las mismas enseñanzas que yo:

- Juan Manuel Lima Sánchez
- José Antonio Lima Sánchez
- Adrián Fleites Fleitas
- No puedo olvidar esas personas que me vieron crecer y en algún momento me dedicaron un tiempo de su vida, mis vecinos.

PENSAMIENTO

Este es un
gran día,
estamos
creando futuro.

Nelson Mandela

Resumen

El trabajo tiene por objetivo el perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste, el cual estará destinado a trasvasar el agua desde los ríos que nacen en el macizo montañoso de Nipe-Sagua-Baracoa hacia las llanuras del norte de Holguín, Las Tunas noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto. El sistema de ventilación se realizará para un túnel 1000m de longitud y un área de sección transversal de 31m².

El trabajo cuenta con cuatro capítulos en los cuales se exponen las labores a desarrollar para el perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel. Primeramente se realiza el estado actual del tema en el mundo, en el cual se expone todo lo realizado anteriormente a nivel internacional acerca del tema. Luego se procede a 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. Posteriormente se procede a la definición de los factores que intervienen en la ventilación y al cálculo de los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí, calculándose en este caso el caudal requerido por: personas y equipo diésel en el túnel, también se calcula sus resistencias y cantidad de aire necesaria para ventilar, según la cantidad de sustancia explosiva que se utilice. En el último capítulo se efectúan los cálculos económicos para conocer el costo del perfeccionamiento, 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 tunnel Levisa-Mayarí of the Tránsito East-West, which will be dedicated to transport the water from the rivers that 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 system was carried out for a tunnel 1000m of longitude and an area of traverse section of 31m².

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 it is carried out the current state of the topic in the world, in which all that is exposed carried out previously at international level about the topic. Then you proceeds to Characteristic physical-geographical and geologic of the area investigated in which they think about all the geologic conditions of the area in that it is the tunnel and the municipality Mayarí. Later on you proceeds to the definition of the factors that they intervene in the ventilation and to the calculation of the parameters of the system of ventilation of the tunnel Levisa-Mayarí, being calculated in this case the flow required for: people and team diesel in the tunnel, it is also calculated their resistances and quantity of necessary air to ventilate, according to the quantity of substance plosive that is used. In the last chapter the economic calculations are made to know the cost of the improvement, 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	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I. Marco Teórico Conceptual.....	4
Capitulo II. Características físico–geográficas y geológicas	
del área investigada.....	18
1.1-Descripción general.....	18
1.2-Características ingeniero-geológicas.....	23
1.3-Characterización de las principales fábricas lito-estructurales...24	24
del tramo II	
Capítulo III: Definición de los factores que intervienen en la	
ventilación y cálculo de los parámetros del sistema de ventilación	
del túnel Levisa-Mayarí.....	28
3.1-Introducción.....	28
3.2-Condición actual de la ventilación en el túnel Levisa-Mayarí	
del Trasvase Este-Oeste.....	29
3.3-Determinación de los parámetros del sistema de ventilación	
del túnel Levisa-Mayarí.....	30
Capítulo IV: Cálculo Económico. Protección al Medio Ambiente	
y Seguridad y Salud del Trabajo.....	37
4.1- Cálculo económico.....	37
4.2. Impacto al Medio Ambiente.....	38
4.3. Seguridad y Salud del Trabajo.....	39

Conclusiones	44
Recomendaciones	46
Bibliografía	48
Anexos	50

Introducción

El Trasvase Este-Oeste se construye a partir de la necesidad de transportar agua desde los ríos que nacen en el macizo montañoso de Nipe - Sagua –Baracoa hacia las fértiles llanuras del norte de Holguín, Las Tunas, noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto. El Comandante en jefe, con su acostumbrada luz larga, previó los problemas ecológicos como consecuencia del calentamiento global y orientó la necesidad de desarrollar un amplio plan inversionista en arcos de aprovechar el caudal del agua que posee el macizo montañoso antes mencionado. En tal sentido se elabora un proyecto 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 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 por el paso del tiempo y la falta de preservación las obras fueron dañadas en buena parte, en el caso de Mayarí por las crecidas de los ríos en 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 le orientó al entonces ministro de las FAR, General de Ejército Raúl Castro reiniciar el plan estratégico de las obras del Trasvase Este-Oeste que será la garantía para que los lugares más afectados por la sequía dispongan de agua en este siglo, bajo cualquier circunstancia.

Situación Problémica: Como consecuencias del laboreo de las excavaciones subterráneas que necesariamente se construyen en el trasvase Este-Oeste se realizan túneles cuya longitud alcanzan más de 800m, como es el caso del túnel Levisa-Mayarí, por lo que durante las voladuras y los trabajos de carga-transporte se enrarece la atmósfera en el frente de arranque, lo cual afecta la higiene del trabajo y en muchas ocasiones su interrupción. De tal idea planteamos el siguiente

Problema científico: necesidad de mejorar el sistema de ventilación empleado durante el laboreo del túnel Levisa-Mayarí.

Objetivo general: Perfeccionar el Sistema de Ventilación durante la construcción del túnel Levisa-Mayarí.

Objeto de estudio: La ventilación en las excavaciones subterráneas.

Campo de Acción: Los túneles del Traspase Este-Oeste.

Hipótesis: Si se estudian las condiciones geólogo-mineras, se hace un análisis de los factores que intervienen en el sistema de ventilación, se examinan las condiciones técnico-económicas, se puede lograr perfeccionar el sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí.

Objetivos Específicos:

- Analizar el estado actual del problema en el mundo.
- Caracterizar el objeto de investigación desde el punto de vista geográfico y geológico.
- Definir los factores que intervienen en la ventilación y calcular los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí.
- Evaluar los índices técnico-económicos de la solución propuesta al caso de estudio.

Capítulo I

Capítulo I. Marco Teórico Conceptual

”El inicio de la Ventilación en obras subterráneas es difícil de precisar, lo que sí puede señalarse es que, antes del siglo XVI la mayoría de los requerimientos actuales de ventilación, tales como suministrar el oxígeno necesario para la respiración de las personas, diluir y extraer polvo y gases tóxicos, ya eran materia de estudios e implementación de soluciones acorde con la época“.

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

En el año 1850, un ingeniero inglés -John Atkinson- estableció las primeras bases sobre la cual se desarrollaría la Ventilación de Minas, constituyéndose ésta como una rama más de la Ingeniería de Minas. Atkinson dedujo que, la diferencia de presión requerida para inducir un flujo de aire a través de una galería minera, es proporcional al cuadrado de la velocidad, la longitud y perímetro de la galería, e inversamente proporcional al área de la misma; determinó además, que el revestimiento interno de la galería influía en la diferencia de presión requerida para inducir el flujo.

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

Con el desarrollo de la ciencia aerodinámica, y posterior a la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores tipo axial, los cuales son los más utilizados en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en obras subterráneas, dichas unidades operan tanto en el interior de la mina, como en la superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en Sistemas de Ventilación Industrial, dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos, para tener como característica esencial: el hecho de emitir un bajísimo nivel de ruido si se les compara con la operación de los ventiladores de tipo axial.



Fig.1 Ventiladores tipo Axial

En la actualidad hay ciertos países donde se está utilizando ventiladores de tipo centrífugo de alta capacidad, en términos de caudal de aire, para ventilar operaciones minero-subterráneas con la característica particular y principal que, tales unidades sean instaladas principalmente en la superficie. Con la instalación de ventiladores centrífugos en superficie, se atienden a dos restricciones de manera simultánea: la primera, es evitar grandes excavaciones subterráneas (no recomendable desde el punto de vista geomecánico) y la segunda: es generar un mínimo impacto ambiental por ruido, en comparación con la instalación alternativa de un equipo tipo axial en localidades residenciales o en ciudades cercanas a la excavación.



Fig.2 Ventiladores tipo Centrífugo

En lo que respecta a Ventilación de Minas, es de interés mencionar, en forma muy especial, la minería del carbón, teniéndose como clásico ejemplo: las minas Lota y Schwager (ambas submarinas), en las cuales forzosamente se utilizó desde sus inicios hasta su cierre definitivo la ventilación a la par con las operaciones extractivas, de modo tal de diluir y extraer el gas metano, los gases de las operaciones de tronadura, el polvo de carbón y tosca (material estéril anexo al carbón) y otros contaminantes ambientales.



Fig.3 Mineros del Carbón

En el caso de minería metálica, es de interés señalar que uno de los primeros controles de ventilación se realizó en el año 1943, en la Mina El Teniente, en donde se registró un caudal total igual a $736\text{m}^3/\text{min}$.

En el año 1946, se puso en operación un moderno sistema de ventilación global, el cual consideraba la obligada implementación de:

- Un sistema de ventilación 100 % mecanizado.
- Instalación de ventiladores auxiliares + ductos en galerías ciegas en desarrollos.
- Instalación de puertas metálicas para control y distribución de flujos de aire.
- Desarrollo de galerías especiales en los circuitos principales de ventilación para la distribución de altos caudales de aire, con el objetivo de controlar el fenómeno de recirculación y las consecuentes pérdidas de caudal en las zonas a ventilar.

Como dato referencial, en marzo de ese año (1946), se instaló el primer ventilador de dimensiones mayores al interior de la mina El Teniente y a finales del mismo año se terminó de elaborar el primer juego de planos de ventilación, control de polvo y protección de incendios de dicha obra.

Desde sus inicios a la fecha, la Ventilación de Minas tenía como objetivo central, el suministro de aire fresco para la respiración de las personas y dilución- extracción de polvo y gases producto de las operaciones subterráneas de voladura-extracción-carga-transporte; en estos últimos treinta años, han aumentado fuertemente los requerimientos del aire con el objetivo de poder diluir y arrastrar fuera de la mina las fuertes concentraciones de gases tóxicos emitidos por los equipos diesel de alto tonelaje, incorporados en forma masiva a las operaciones subterráneas involucradas en los diversos métodos de explotación utilizados.

El aumento de los caudales de aire requeridos para ventilar minas modernas en operaciones (altamente intensivas de equipos diesel), ha implicado el desarrollo de galerías de grandes secciones para conducir dicho aire; además, el requerimiento de elevados caudales de aire, ha obligado la construcción de ventiladores de grandes dimensiones y elevada potencia eléctrica, capaces de mover dichos caudales.

En la mayoría de las operaciones subterráneas de nuestro país, se cuenta hasta la fecha con sistemas de ventilación mecánica, es decir, ventilación por medio de ventiladores que inyectan o extraen aire hacia o desde el interior de las minas respectivamente. Mínimos son los casos en los que existen operaciones mineras subterráneas que utilicen la ventilación natural, sobre la cual es posible consignar lo siguiente:

“Dado que, la VENTILACIÓN NATURAL es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna actividad subterránea moderna debe utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones”

Se considera fundamental conocer las propiedades físicas del aire y aerodinámica minera, dentro de ello tenemos propiedades físicas del aire y parámetros básicos del mismo, en lo cual se considera que en la ventilación de minas se utiliza el peso específico estándar $P.E=1.2\text{kg/m}^3$; que es el peso de 1m^3 de aire con la presión de 1atm. A temperatura de 15^0 y la humedad de 60%, las resistencias de las labores mineras al movimiento de aire se dividen arbitrariamente en 3 tipos, resistencia de rozamiento del aire contra las paredes de la labor y de las partículas entre sí, resistencias locales y resistencias frontales.

Trabajo, ‘‘Ventilación de Minas – Ventiladores para Minas, Acondicionamiento del Aire Incendios Subterráneo y Salvamento’’. (Novitzky, Chile, 1992)

El trabajo de ventilación de minas tiene por objetivo, suministrar a las labores en operación, suficiente aire fresco en función a las necesidades de la persona, Diesel autorizado y dilución de contaminantes, de modo que la atmósfera minera mantenga en dichas zonas condiciones termo-ambientales en compatibilidad con la seguridad, la salud y el rendimiento del personal. En base a lo expresado, me complace brindar el presente proyecto, desarrollado técnicamente acorde a la reglamentación vigente, producto de una variada recopilación de obras de la especialidad, de conocimientos y de experiencia, adquiridos en el ejercicio de la profesión en diferentes empresas mineras y las universidades.

Trabajo: "Ventilación de Minas" (Mallqui, Tapia, 2006)

Ejecución del mapeo de ventilación de una mina para la determinación del volumen del aire que circula y a la evaluación de la ventilación de la mina. A ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de ventilación pre establecidas y determinar el sentido de avance del aire mediante la bombilla de humos.

Volumen Específico. Se denomina volumen específico al volumen V en m^3 ocupado por 1Kg de aire a presión y temperatura dada:

$$V=1/y; m^3/Kg$$

Donde:

y- peso específico del aire; Kg/m^3

Presión. La presión de un gas se expresa en atmosferas absolutas o en atmosferas técnicas. Por una atmosfera absoluta se entiende la presión $P^0=1,0333Kg/cm^2$ de una columna de 760mm de mercurio a 0^0 a nivel del mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, la presión (P) cambia de manera siguiente:

$$\text{Log}P^0=\text{Log}P^0-a/18,4-0,067T$$

Humedad Relativa. El aire tiene siempre cierta cantidad de agua, según la Ley de Dalton:

$$P_t=P_a+P_v$$

Donde:

P_t -presión parcial de aire seco

P_a - presión del vapor.

El contenido de vapor de agua en Kg referido a 1Kg de parte seca de la mezcla de aire y de vapor, se calcula por la fórmula:

$$D=622H*P_s/P-H*P_s$$

Donde:

H-humedad relativa del aire; %

P-presión barométrica; mm de mercurio

Ps- presión de vapor saturado; mm de mercurio, se saca para tal caso de las tablas Psicométricas.

Trabajo de Aplicación en Minería Clásica: "Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles". (Giménez Ascanio, Perú, 1983)

Optimización del Sistema de Ventilación

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

- Se acepta que el incremento de la temperatura del aire debido al auto compresión, es el orden de $1C^0$ por cada 100m de profundidad.
- El incremento de la temperatura es como resultado de la oxidación de carbón, de la pirita, putrefacción de la madera, velocidad del flujo de aire y el trabajo de equipos motorizados.
- El movimiento de aire es originado en el interior de la mina por la diferencia de presiones entre dos puntos del aire, creados en forma natural o artificial.

Ventilación del Desarrollo de la Galería

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

- Un sistema de ventilación indudablemente es de un elevado costo, de modo que su instalación requiere un análisis de los beneficios, este reporta durante el ciclo de operación.
- Para nuestro caso 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, estas comunicadas con el exterior, de manera que la circulación de las corrientes de ventilación tengan una trayectoria que

facilite un flujo permanente.

- Podemos concluir 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.

Bases Teóricas

Ventilación

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

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

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

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

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

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

Metano (NH_4): máx. 5000ppm

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

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

Gases Nitrosos (NO): 25ppm

Anhídrido Sulfuroso: 2ppm mínimo a 5 ppm máx.

Aldehídos: máx. 5ppm

Ozono: máx. 0.1ppm

En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficiente de acuerdo al número de personas, el total de Hp de los equipos con motores de combustión interna así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5% y un máximo de 22.5% de oxígeno, cuando las minas se encuentren hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

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

En caso de emplearse equipo diesel, la cantidad de aire no será menor de 3 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos, en ningún caso la velocidad del aire será menor de 20 metros por minuto, ni superior a 250 metros por minuto, en las labores de explotación, incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde exista trabajo personal. Cuando se emplee ANFO u otros 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.

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza mediante el establecimiento de un circuito para la circulación del aire a través de

todas las labores.

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

Es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la labor y al final de la labor, 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)*

Según *(Novitzky A. (1962); en el trabajo titulado "Ventiladores para Minas, Acondicionamiento de Aire Incendios Subterráneo y Salvamento". Buenos Aires,* indica en su conclusión:

El principio de ventilación es por:

- Dos puntos de diferente presión ($>P_2$ a $<P_1$)
- Diferencia de temperaturas ($>T^0$ a $<T^0_1$)

Tipos de Ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica

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

- De acuerdo al número de personas

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

Ventilación Natural

Es el flujo natural de aire fresco que ingresa al interior de una mina sin necesidad de equipos de ventilación, en una galería horizontal o en labores de desarrollo en un plano horizontal, no se produce movimiento de aire, en minas profundas, la dirección del movimiento del flujo de aire se produce debido a las siguientes causas: diferencias de presiones, entre la entrada y salida. Diferencia de temperaturas durante las estaciones.

(Ramírez H. J. (2005) Ventilación de Minas. "Módulo de Capacitación Técnico-Ambiental". Chaparra, Perú).

Causas del movimiento de aire:

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

(Mallqui T. A. (1981), ventilación de minas. Pág. 57. Huancayo, Perú).

En ejecución del mapeo de ventilación de una mina para la determinación del volumen del aire que circula y a la evaluación de la ventilación de la mina, la ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de la ventilación pre establecidos

y determinar el sentido de avance del aire mediante bombillas de humo, similarmente como el levantamiento de ventilación para hacer el balance de aire que ingresa al interior de la mina.

(Giménez A, P. "Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles". Practica Aplicada, Avanzada en Minería Clásica y Minería por Trackles. Edición III, 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.

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

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

Reglas de ventiladores:

- La presión requerida es directamente proporcional a la longitud
- La presión es directamente proporcional al perímetro
- La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o volumen.
- La presión requerida es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad o volumen.

(Mallqui T., A. (1981), ventilación de minas. Pag.61. Huancayo, Perú).

Capítulo II

Capitulo II. Características físico–geográficas y geológicas del área investigada.

2.1-Descripción General

El Túnel Levisa – Mayarí es una obra subterránea que va desde la Presa Levisa a la Presa Mayarí en el río Mayarí.

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

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

Clima

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

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

Orografía

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

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 comunicaciones se encuentra desarrollado fundamentalmente hacia el norte de la región, existen dos vías de comunicación, terrestres y marítimas. Dentro de las terrestres se encuentran vías de orden principal, como la carretera pavimentada que enlaza Cueto con Mayarí, Mayarí con Sagua, Sagua con Frank País y Sagua con las Calabazas. Entre las vías de orden secundario se encuentran terraplenes, trillos y senderos que unen a los diferentes poblados y obras de menor importancia. Las comunicaciones marítimas se realizan por los puertos de Nícaro y Felton, utilizado el primero fundamentalmente para la exportación de minerales, recepción de equipos y materiales para la fábrica de níquel ubicada en el área. También existen como parte de las comunicaciones, instalaciones telefónicas, estaciones postales y otras.

El Tramo II del túnel se encuentra en una zona intrincada donde no existe prácticamente acceso formado por un relieve montañoso, en el trazado las alturas van desde cota 64.30 hasta 179.17 msnm, todo el trazado puede verse en la hoja cartográfica a escala 1:50 000 de Mayarí 5077-I.

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

Características socioeconómicas de la región

El municipio cuenta con 108 534 habitantes y una densidad poblacional de 80.1 habitantes por km²; el 62.7% de la población es urbana. La cabecera municipal es la ciudad de Mayarí con alrededor de 60 000 habitantes. Existen además, 134

lugares habitados, otros centros urbanos importantes son: Levisa, Nicaro, Guatemala, Guaro, Felton, Cosme y Caridad (**Anexo 1**).

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

El municipio Mayarí presenta un notable desarrollo Industrial. En su territorio se encuentran la Central termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez", puesta en marcha en la década de los 90 del siglo XX, que es la de mayor capacidad de generación de Cuba (560 Mega Watts); además la Fábrica de plástico Cajimaya y otras. La actividad económica fundamental se sustenta en la generación de electricidad, plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva y forestal, la silvícola, la cafetalera, el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, el transporte, así como la actividad de la salud, la cultura, el deporte, la educación y la actividad de los servicios comunales y personales entre otros. En los estudios de PVR por deslizamientos del terreno las características socio económicas del municipio son muy importantes al evaluar los riesgos. Teniendo en cuenta que la principales actividades económicas de la región como pueden ser la actividad minera, la agricultura, construcción de obras hidráulicas entre otras pueden generar una alteración en el medio natural lo que puede generar zonas de susceptibilidad.

Hidrología

La zona de estudio es, en sentido general, pobre en aguas subterráneas, debido a la poca permeabilidad de las rocas, las aguas que predominan son de fisuras y grietas, dependiendo la permeabilidad del grado de alteración y agrietamiento del macizo, donde en ocasiones las rocas presentan baja permeabilidad, siendo mayor solamente en las rocas muy agrietadas.

En la zona ocurren abundantes precipitaciones por lo que los ríos corren permanentemente, aún en época de sequía. Los horizontes acuíferos de la región son de tres tipos fundamentales: 1) Aguas intersticiales de los depósitos friables aluviales areno-arcillosos (Ríos Mayarí y Levisa), 2) Aguas fisúrales o de grietas, al cual pertenecen los relacionados con las formaciones rocosas (ofiolitas), 3) Las aguas estrato-fisúrales de rocas areno-carbonatadas, calizas, margas y areniscas de edad paleogénica, relacionadas con las Formaciones Mucaral, Bitirí y Río Jagüeyes.

En el Perfil Ingeniero-Geológico pronóstico, se representó el nivel freático obtenido del modelo de infiltración, pudiéndose observar que en el perfil de este tramo existen varios puntos donde es posible que se alimente el manto cuando llueve.

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 arroyos La Ceiba, Arroyo Blanco y Cajimaya.

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.

Geomorfología regional

La geomorfología del municipio Mayarí está compuesta por dos macizos montañosos, Sierra de Nipe y Sierra Cristal. Su relieve ha sido condicionado tectónicamente, donde se refleja las particularidades de la compleja estructura geológica obtenida como resultado de los movimientos compresivos de la Orogenia cubana y las adquiridas en la etapa neotectónica. En la Sierra Cristal se encuentra la mayor elevación del territorio, la Mensura, con 995 metros sobre el nivel del mar. Se encuentran diferentes categorías geomorfológicas determinadas por las diversas amplitudes de los movimientos neotectónicos como son las montañas, las alturas y las llanuras. Las montañas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos (CISAT, 2007).

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

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

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

Premontañas, aplanadas, ligeramente diseccionadas, con una altura de 300a 400 m.s.n.m. A ellas está asociada la altura media, que es de 307m.s.n.m.

Premontañas y submontañas de bloque en plegamientos, diseccionados, con una altura de 200a 300m.s.n.m. Alturas que ocupan pequeñas áreas asociadas a los sistemas montañosos, son el resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con una altitud de hasta 300m.s.n.m. En el área constituyen las alturas de Mayarí, varias alturas ubicadas a lo largo de la cuenca del Río Mayarí como

son: Seboruco, con 106m.s.n.m., Sabaneta, con 106m.s.n.m., Colorado, con 100m.s.n.m., etc. Las llanuras ocupan gran parte del territorio y corresponden a las zonas de descenso relativo o de ascensos neotectónicos más débiles, cuyas amplitudes son inferiores a los 100m. El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos. De clara evidencia sirven su propagación geográfica y la ubicación geomorfológica. Las observaciones revelan que con mayor frecuencia los deslizamientos están propagados en regiones montañosas, en tramos con relieve bruscamente accidentado, en las laderas escarpadas de los valles fluviales, en los taludes de desmontes y canteras. En general, el relieve del terreno y la situación orográfica de la región crean reservas de la energía potencial, la cual condiciona el desarrollo de los fenómenos de deslizamientos, (figura 2.2).

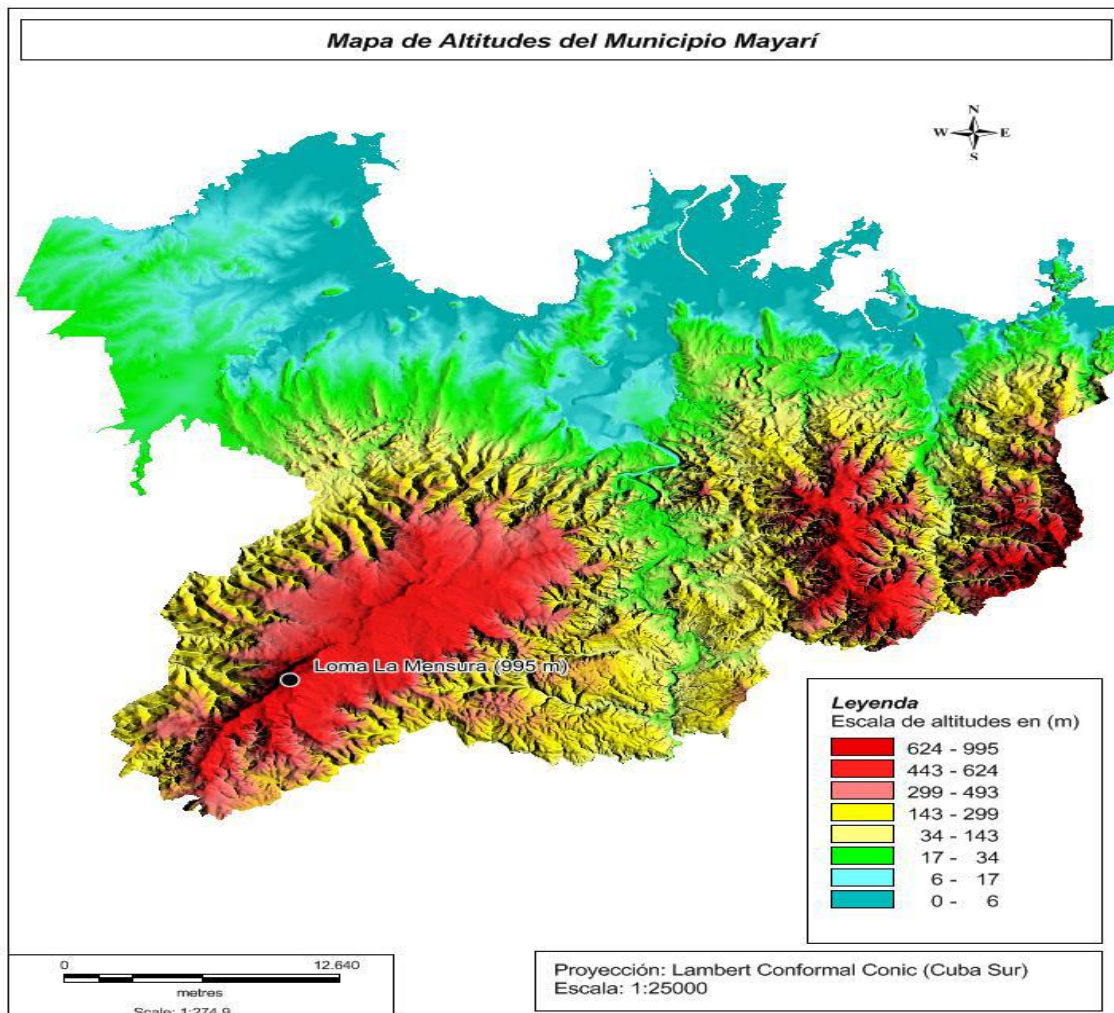


Figura 2.2 Mapa de altitudes del municipio Mayarí.

2.1. Características ingeniero-geológicas

En este epígrafe se tratan los principales aspectos desde el punto de vista litológico y estructural de la zona 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 diferentes estructuras del macizo rocoso investigado los trabajos traerán como consecuencia que se afecte su integridad y se produzca su

debilitamiento, reflejado esto en la pérdida de su resistencia y capacidad portante, disminución de sus cualidades y un aumento de su heterogeneidad y anisotropía.

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

2.3. Caracterización de las principales fábricas lito-estructurales tramo II

La principal litología presente en el área de estudio son las serpentinitas con distinto grado de serpentización y con distinta fábrica secundaria. A continuación describiremos las mismas para que se tenga mejor idea de sus características.

- **Serpentinitas esquistosas y budinadas, capa 5b**

Aflora en el inicio del tramo II, se caracteriza por la presencia de serpentinita esquistosa, plegada con budinas espaciadas de tamaño medio a grande. Las serpentinitas esquistosas presentan una dureza blanda y las budinas son de dureza media. El grado de meteorización es de categoría II (algo meteorizada), en las grietas y planos de esquistosidad se observa humedad. Las grietas aparecen juntas y muy juntas con una continuidad de alta a muy alta predominando las de abertura cerrada y en menor medida abiertas, la rugosidad es escalonada rugosa y ondulada rugosa.

Las budinas por lo general son rocas más duras que la zona que la bordea las cuales son esquistosas, desde el punto de vista ingeniero-geológico este es un factor desfavorable toda vez que las budinas pueden volverse inestables cuando se excavan y pierden su confinamiento natural. En esta fábrica la zona esquistosa predomina sobre la parte budinadas por lo tanto hay que tener en cuenta que se va a avanzar sobre un tipo de roca blanda a muy blanda en algunos sectores y

van aparecer bloques alargados de rocas de dureza media.

La presencia de humedad en esta litología puede aumentar la posibilidad de inestabilidad en los tramos excavados, por lo que en el avance deberá prestarse especial cuidado en el drenaje y el control geológico durante la ejecución de la obra.

- **Serpentinita agrietada y/o brechosa media, capa 5c**

Son muy frecuentes a lo largo de la traza del Túnel y se caracterizan por presentar bloques brechosos de tamaño medio entre 10-30 cm. Por su dureza se clasifican como rocas medias a blandas, algo meteorizadas. Aunque no se comprobó, es posible la circulación de agua por las zonas de mayor agrietamiento. Las grietas están separadas, tienen una continuidad alta, son abiertas en superficie y sus planos son ondulados rugosos y escalonados-rugosos, aunque en profundidad, alejado de la zona de meteorización los planos son por lo general cerradas, y si están abiertas, están rellenas generalmente de serpofita, aunque pueden tener otros rellenos como arcillas, carbonatos y más raramente cuarzo. Cuando están abiertas sin relleno por lo general su abertura está en el orden del milímetro o fracción del milímetro.

Este tipo de litología es más favorable para la ejecución de las obras planificadas, no obstante, a no haberse detectado circulación de agua en las zonas afloradas, es necesario presentar especial cuidado a este factor.

Aunque los bloques son mayores, el agrietamiento abierto es un factor desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad.

- **Gabros, capa 6**

En el levantamiento ingeniero-geológico realizado por los 3 ejes, se detectaron abundantes bloques angulosos de gabro microcristalino gris oscuro con brillo de los pequeños cristales de piroxeno y plagioclasas básicas, dándole un parecido a una piedra de esmeril artificial, además de presentar una gran dureza. Por lo general afloran en las partes más elevadas de los trazados, donde al parecer se

encuentran “in situ” en la profundidad, como demuestran las altas resistividades de la tomografía eléctrica realizada y que parece contornea la forma de estos cuerpos que fuera un gran sill y/o dique intrusivo en su formación inicial y que en su emplazamiento tectónico fluyó entre los bloques de serpentinita, dejando entre esta y el gabra una banda esquistosa de pequeño espesor desde algunos centímetros hasta algo más de 50 cm.

Capítulo III

Capítulo III: Definición de los factores que intervienen en la ventilación y cálculo de los parámetros del sistema de ventilación del túnel Levisa-Mayarí.

3.1-Introducción

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

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

3.1. Introducción

En el presente capítulo se describen los factores que intervienen en la ventilación y se calculan los parámetros del sistema de ventilación del túnel de gran sección Levisa-Mayarí del Tránsito Este-Oeste.

La ventilación minera es necesaria ya que sin ella sería imposible realizar exitosamente los trabajos en una excavación determinada, por lo que hay razones que obligan a realizar el suministro de aire forzado en la misma, donde se encuentran las siguientes:

- Todavía el laboreo minero subterráneo requiere de la presencia del hombre directamente en los frentes de trabajo.
- Actualmente se emplean máquinas y equipos móviles con motores de combustión interna, de los cuales se desprenden grandes cantidades de calor y gases tóxicos, irritantes y/o explosivos.
- Durante el futuro previsible no se deslumbra 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.
- Los desprendimientos de calor de instalaciones y equipos, en cantidades tales que sobrepasen las normas sanitarias vigentes.

- El desprendimiento de polvo en aquellos lugares y procesos donde se manipulan materiales pétreos y su incorporación al aire hasta alcanzar concentraciones superiores a las permitidas por las normas sanitarias.

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

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

Este no es el único problema, también existen otras deficiencias, las que se mostrarán a continuación:

- El ventilador está mal colocado ya que se encuentra muy próximo (2m) a la entrada del túnel y producto a esto existe la recirculación del aire viciado.
- La distancia del frente de trabajo a la boca de la tubería de ventilación es demasiado grande de 40m.

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

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

- Con pizarra de control
- Marca: ZITRÓN
- Modelo: GEL 9-86

Para darle solución al 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, así la recirculación del aire viciado sería casi nula.

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

Caudal requerido por el número de personas

Se exige una corriente de aire fresco de no menos de tres metros cúbicos por minuto ($3 \text{ m}^3/\text{min.}$) por persona, en cualquier sitio del interior del túnel.

$$Q = F \cdot N \text{ (m}^3/\text{min.)}$$

$$Q = 3 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 5$$

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{min}$$

Donde:

Q = Caudal total para “n” personas que trabajen en interior del túnel ($\text{m}^3/\text{min.}$)

F = Caudal mínimo por persona ($3 \text{ m}^3/\text{min.}$)

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

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

Caudal requerido por equipo Diesel

Se recomienda un mínimo de $2.83 \text{ (m}^3/\text{min)}$ por cada HP del equipo (para máquinas en buenas condiciones).

Se debe aclarar que los $2,83 \text{ m}^3/\text{min}$ son el mínimo caudal de aire requerido y no acepta factores de corrección. Por lo demás, se pide la potencia al freno o potencia bruta, que es la máxima potencia proporcionada por el motor sin tener en

cuenta las pérdidas por transmisión, si es que no se cuenta con la curva de potencia entregada por el fabricante (gráfico KW vs. RPM) o con una recomendación de ventilación para el equipo proporcionada por el fabricante y certificada por algún organismo confiable.

Para aclarar mejor lo expresado anteriormente, se debe calcular el requerimiento de aire de cada equipo diesel, multiplicando 2,83 por la potencia y por el número de equipos que trabajan en el momento de máxima producción, eliminando aquéllos que están fuera de la mina, en reserva o en mantención.

En la excavación trabajan como máximo 2 equipos, entre los dos suman 400HP (se consideró el 70% de su total ya que no están en buen estado).

El caudal de aire necesario para los equipos es de 1132 m³/min.

Pérdida de la tubería por sus uniones

Cuando se calculan filtraciones en tuberías de gran longitud se pueden estimar las pérdidas como del 1% por cada unión en las primeras 20 uniones y como 0,5% en cada una de las restantes.

Nuestra tubería tendrá al menos 960m de longitud, cada tramo de 12m, por lo que tendría unas 80 uniones. Poniendo en práctica lo dicho anteriormente tendríamos un 50% de pérdida solo en las uniones de la tubería (hay que tener en cuenta que esto es solo una estimación, puede que realmente sea mayor o menor, dependiendo de las condiciones de las uniones de la tubería).

Resistencia aerodinámica de la excavación

$$R=a*L*P/S^3$$

$$R=0,00143N*S^2/m^4*1000m*9,42m/ (31m^2)^3$$

$$R=4,52N*S^2/m^6$$

Donde:

a-Calibre longitudinal del túnel

L-Longitud del túnel

P-Perímetro del túnel

S-Área de Sección Transversal

Resistencia por fricción del túnel

$$h=R*Q^2$$

$$Q=S*V$$

$$Q=31m^2*0,2m/s$$

$$Q=6,2m^3/s$$

$$h=0,32*(6,2m^3/s)^2$$

$$h=12,3Pa$$

Donde:

Q-Cantidad de aire que pasa por el túnel

V-Velocidad del aire que pasa por el túnel

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

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

Cantidad de aire según el factor polvo en la excavación

$$Q = V_{rac} \cdot S$$

$$Q = 0,25 \text{ m/s} \cdot 31 \text{ m}^2$$

$$Q = 7,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Vrac-Velocidad racional del movimiento del aire en el túnel (0,25-0,7 m/s)

Resistencia aerodinámica de la tubería

$$R = 6,45 \cdot a \cdot L/D^5$$

$$R = 6,45 \cdot 0,0013 \cdot 980/0,8^5$$

$$R = 25 \text{ N} \cdot \text{S}^2/\text{m}^8$$

Dónde:

a-Coeficiente de resistencia aerodinámica de la tubería

L-Longitud de la tubería

D-Diámetro de la tubería

Anteriormente mencionábamos que los últimos tramos de la tubería eran destruidas producto a las voladuras, para darle solución a este problema se aconseja poner los dos últimos tramos de la tubería, de metal (aluminio), con esto obtendremos como resultado mucha más resistencia a los fragmentos de roca arrojados por la voladura.

Distancia de la boca de la tubería al frente de trabajo

Esta distancia según V.N. Varonin: $l \leq 4\sqrt{S_{exc}}$ por lo que:

$$d_f = 4\sqrt{31} = 22\text{m}$$

Dónde:

S_{exc} - área de la sección transversal de la excavación; 31m^2

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

Para el cálculo de la cantidad de aire según el Consumo de S. E. se utilizan las fórmulas empíricas siguientes:

En el método de ventilación por inyección de las excavaciones:

Las fórmulas de Voronin y de Mustel que son respectivamente.

$$Q = 7,8 \cdot t^{-1} \cdot \sqrt{A \cdot v^2}$$

$$Q = 21,4 \cdot t^{-1} \cdot \sqrt{A \cdot v}$$

$$Q = 7,8 / 1800 \cdot \sqrt{50\text{kg} \cdot (31000\text{m}^3)^2}$$

$$Q = 21,4 / 1800 \cdot \sqrt{50\text{kg} \cdot 31000}$$

$$Q = 0,0043 \cdot 219203,1$$

$$Q = 0,012 \cdot 1245$$

$$Q = 942,6\text{m}^3/\text{min}$$

$$Q = 14,94\text{m}^3/\text{min}$$

$$Q = 56556\text{m}^3/\text{h}$$

$$Q = 896,4\text{m}^3/\text{h}$$

Dónde:

A-Gasto de Sustancia Explosiva; 50Kg

V-Volumen de la excavación; 31000m^3

t-Tiempo de ventilación; 30min

Cantidad de aire según la fórmula para la dilución estática

$$Q = 100 \cdot A \cdot b / t \cdot c$$

$$Q = 100 \cdot 50 \cdot 0,04 / 30 \cdot 60 \cdot 0,008$$

$$Q=200/14,4$$

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

$$Q=13,88*3600$$

$$Q=49968\text{m}^3/\text{h}$$

Dónde:

t-Tiempo de ventilación; 30min

b-Masa del anhídrido carbónico convencional, que se forma en la voladura de 1Kg de sustancia explosiva; $0,04\text{Kg}/\text{m}^3$

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

Finalmente tomamos los resultados dado por la fórmula de dilución estática, ya que durante la voladura los gases que están en el frente se calientan y se hacen menos denso, por lo que son muy penetrados por el aire fresco (más denso) y por lo tanto los gases tóxicos no son desplazados del frente de arranque por el aire fresco, en forma de flujo de pistón; es por ello que deben ser diluidos para que la concentración de los gases tóxicos baje por debajo de las normas admisibles.

El motor del sistema actual de ventilación desarrolla un gasto de $60000\text{m}^3/\text{h}$ y si se considera un 10% de pérdida por las uniones de la tubería nos quedaríamos con $54000\text{m}^3/\text{h}$ por lo que tenemos la suficiente capacidad para satisfacer las necesidades de aire fresco de la excavación.

Capítulo IV

Capítulo IV. Cálculo Económico. Protección al Medio Ambiente y Seguridad y Salud del Trabajo.

4.1- Cálculo Económico

4.2- Protección al Medio Ambiente

4.3- Seguridad y Salud del Trabajo

4.1. Cálculo económico

El valor del presupuesto para la construcción y montaje del túnel es de \$285616. En nuestro trabajo solo haremos énfasis en la parte de ventilación, con los valores presentados en la siguiente tabla:

Conductos y Accesorios	UM	Cantidad	Costo unitario		Equipos	Total
			Material	Montaje		
Ventilador axial	tm	2,4		\$261	\$69.14	\$330.14
Conducto flexible	m	1750	\$1.39			\$2432.5
Lona de PVC para conductos flexibles	m	1600	\$8.25			\$13200
Codo PVC para conductos flexibles	u	3	\$16.23			\$48.9

Soportes ligeros	u	438		\$1.55		\$678.9
Gancho colgador	u	1600	\$5.27			\$8432
Expansión mecánica	u	8	\$1.13			\$9.04
Alambre liso de 6mm de espesor	t	0,42	\$374.46			\$157.69
Junta de goma um 100	u	15	\$1.41			\$21.15
Varilla m8 x 1m	u	430	\$1.92			\$825.6

Tabla 4.1. Cálculo económico del túnel Levisa-Mayarí

4.2. Impacto al Medio Ambiente.

La protección del medio ambiente es una de las tareas importantes a la hora de la realización de un proyecto, ya que hay que tener en cuenta y tomar una serie de medidas para la reforestación, rehabilitación de la zona que será cambiada totalmente con los trabajos mineros. Para ellos nosotros hemos tomado una serie de medidas que vienen a continuación.

- El estéril se colocará en una escombrera la cual una vez terminada la ejecución del túnel será rehabilitada.
- En los trabajos preparatorios se hará la menor cantidad de trochas, así como de caminos.

- Se controlará la presión minera para evitar los deslizamientos o hundimientos de la superficie.
- La tala de árboles para ser usada como encofrado se debe realizar respetando las disposiciones de la forestal.
- En el túnel se habilitará un lugar donde los obreros puedan hacer sus necesidades fisiológicas.
- Se evitará la caza y transportación de especies endémicas por parte de los trabajadores.
- Los campamentos mineros se realizarán de forma que afecten lo menos posible el contorno, así como no se verterán los desechos en ríos u otro lugar.

El Impacto Ambiental en la zona de trabajo del túnel Levisa-Mayarí son mínimas, ya que lo que se construye es un túnel hidráulico.

- No hay contaminación a las aguas de ningún tipo.
- Solo hubo deforestación en la construcción de la entrada al túnel y para los caminos de acceso.
- La contaminación acústica es un poco alta producto al ruido del ventilador y la planta de energía que abastece al mismo.

Por estas razones podemos concluir que el Impacto Ambiental en la construcción del túnel Levisa-Mayarí no es de gravedad.

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 a menos del 15% de su eficiencia. Esto provoca que los gases de las máquinas se concentren en todo el túnel y que los trabajadores lo respiren. El gas

que se desprende de los vehículos con combustible Diesel se llama Acroleína, este es muy venenosa, 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 garantizando una ventilación factible y eficiente, 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 %-8 % del volumen del cemento. Una sobredosis puede causar un incremento de la reducción de la resistencia final.
- Debido a que este producto contiene componentes que pueden causar irritación, el trabajador debe de evitar el contacto con los ojos y contacto prolongado con la piel, esto será posible utilizando la ropa adecuada, guantes, gafas u otro tipo de dispositivo que protejan a los ojos.
- Evitar la contaminación del aire con humo, polvo, etc., y del medio circundante con ruidos excesivos o innecesarios, especialmente en zonas urbanas

- Cumplir estrictamente con lo dispuesto en el proyecto.
- Garantizar la salud individual y colectiva mediante el cumplimiento de las disposiciones sanitarias vigentes, con especial cuidado en el almacenamiento de alimentos y otros productos para el uso y consumo de las personas.

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

Medios de Protección:

- Casco para construcción (para trabajos en exteriores e interiores).
- Botas de goma con casquillo metálico (para trabajos en exteriores donde hay presente humedad alta).
- Traje impermeable (para trabajos donde hay presencia de gran humedad)
- Botas de piel con casquillo metálico (para trabajos donde no hay humedad).
- tapones para el ruido (donde hay presencia de ruido).
- Espejuelo (para la protección contra gases y polvo).
- Filtro contra el polvo fino (para la protección contra el polvo).
- Respirador contra gases tóxicos (para la protección contra los gases nocivos producto de diferentes labores).
- Guantes de cuero súper reforzado, guantes de látex, guantes dieléctricos y guantes de lona y piel.

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

Nota: Se deberán cumplir las medidas de mitigación y monitoreo, especificadas en la Licencia Ambiental, así como todas las Normas y regulaciones para la Protección e Higiene del Trabajo en la actividad de producción industrial y de explotación de los equipos tecnológicos de transporte, así como el transporte en general de las materias primas y el personal.

Conclusiones

Después de realizado el presente proyecto de perfeccionamiento de la ventilación del túnel Levisa-Mayarí del trasvase Este-Oeste, se concluye que:

1. El perfeccionamiento del sistema de ventilación se logra con la ubicación de la tubería de alimentación a 22m del frente y la sustitución de los dos tramos finales de la tubería por metálica (aluminio).
2. La demanda de aire para la ventilación garantiza la formación de una atmósfera saludable producto de la dilución de los contenidos de los gases tóxicos en el frente es de $49968\text{m}^3/\text{h}$.
3. El ventilador con que está dotado el sistema de ventilación actual desarrolla el gasto suficiente para satisfacer la demanda de aire fresco en el frente.
4. El ventilador se encuentra ubicado muy próximo a la entrada del túnel por lo que recircula el aire viciado al frente.

Recomendaciones

Después de realizado el presente proyecto de perfeccionamiento de la ventilación del túnel Levisa-Mayarí del trasvase Este-Oeste, se recomienda que:

1. Instalar una tubería en la abertura de alimentación del ventilador.
2. Dado el rol que juega el tiro natural se necesita estudiar su comportamiento en el verano y en el invierno, ya que si este se invierte se puede convertir en una resistencia a la ventilación.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

Abramov F.A et al. Manual para la Ventilación de Minas. Moscú, Niedra, 2007

Alejandro Novitzky. Ventilación de Minas – Ventiladores para Minas, Acondicionamiento del Aire Incendios Subterráneo y Salvamento. Chile, 1962.

Aníbal Mallqui. 'Ventilación de Minas. Tapia, 2006

Bernal Hernández Santiago. Notas de clases Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2013

Bulchakov A.C. Aerología Minera. Moscú, Niedra, 2011

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

Bitkolov L.Z. Mejoramiento de las condiciones de trabajo en las minas. Moscú, Niedra, 2009

De la cuadra I, L. Curso de Laboreo de Minas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 8460062546, 1974

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

Ignatenko K.P. Ventilación, fuegos subterráneos. Moscú, Niedra, 2011

Komarov V.B et al. Ventilación de Minas. Moscú, Niedra, 2010

Mallqui T. A. 'Proyecto de Optimización del Sistema de Ventilación, 1981

Mallqui T. A. Ventilación de minas. Pág. 57 y Pág. 61. Huancayo, Perú, 1981

Midvedev I. Ventilación de Minas. Moscú, Niedra, 2009

Mijailov B.A et al. Comprobación experimental y argumentación de los esquemas de la ventilación artificial de las minas. Moscú, Niedra, 2007

Naira A., Ángel. V. 'Ventilación del Desarrollo de la Galería, 1999

Novitzky A. Ventilación de Minas. Ventiladores para Minas, Acondicionamiento de Aire Incendios Subterráneo y Salvamento. Buenos Aires, 1962

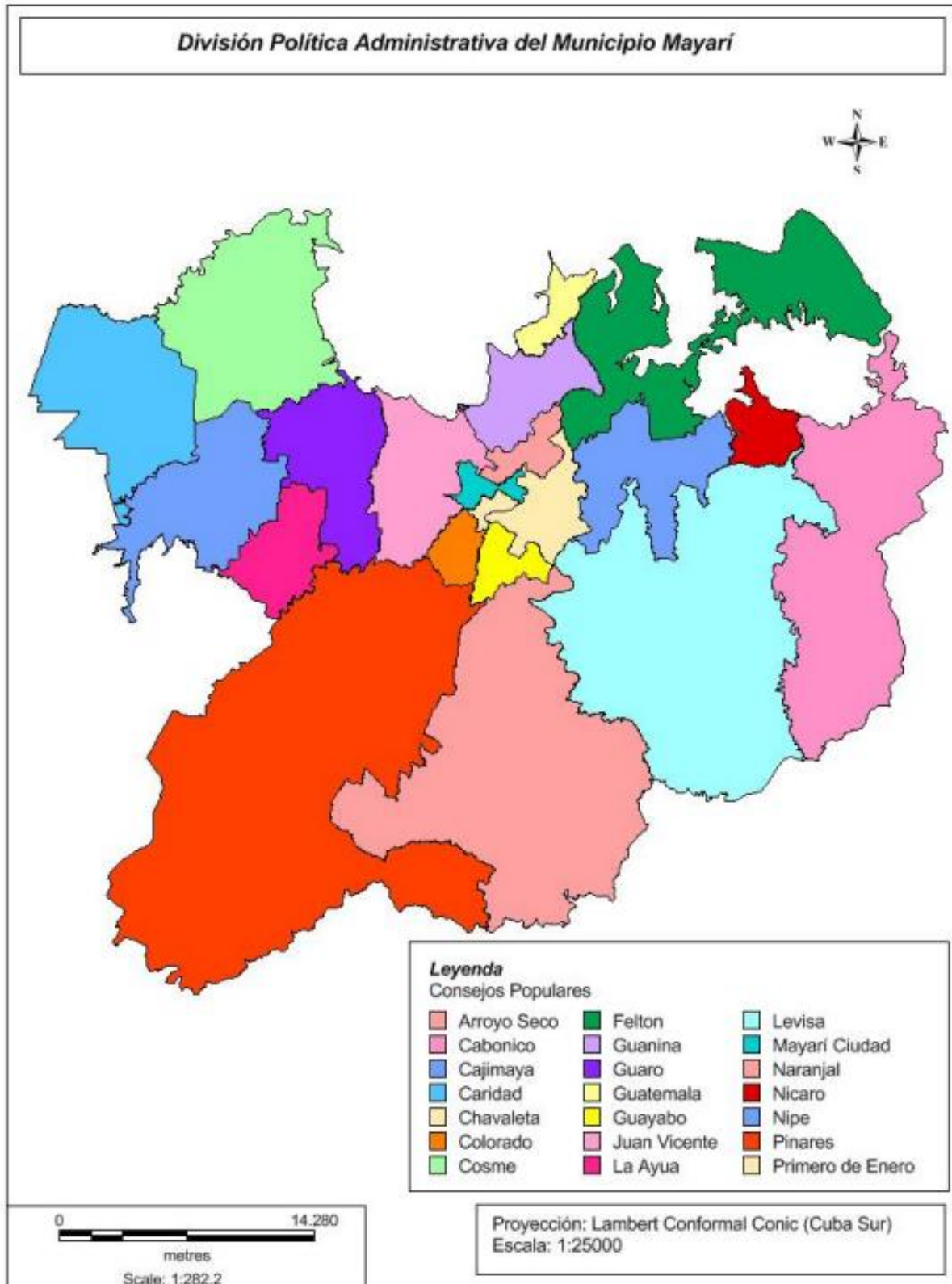
Pablo Giménez Ascanio. Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. Perú, año no conocido

Pak V.V. Instalaciones de Mineras de Ventilación Local. Moscú, Niedra, 2008

Ramírez H. J. Ventilación de Minas. Módulo de Capacitación Técnico Ambiental. Chaparra, Perú, 2005

Anexos

Anexo 1: División Política Administrativa del Municipio Mayarí.



Anexo 2: Ventilador Axial.

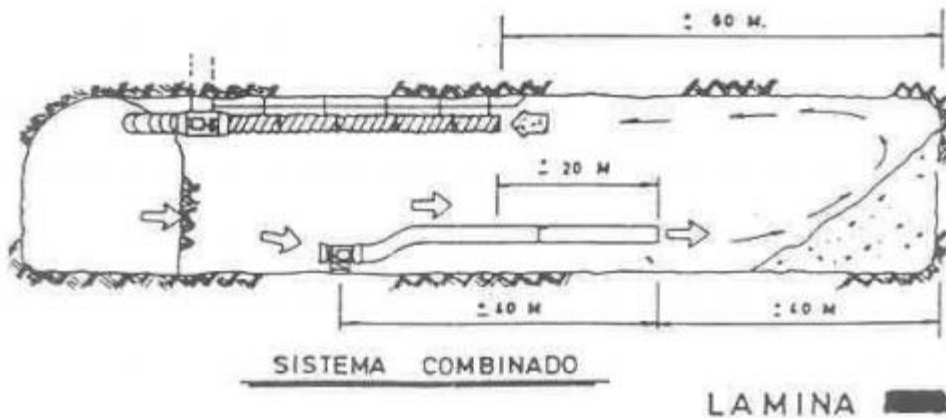
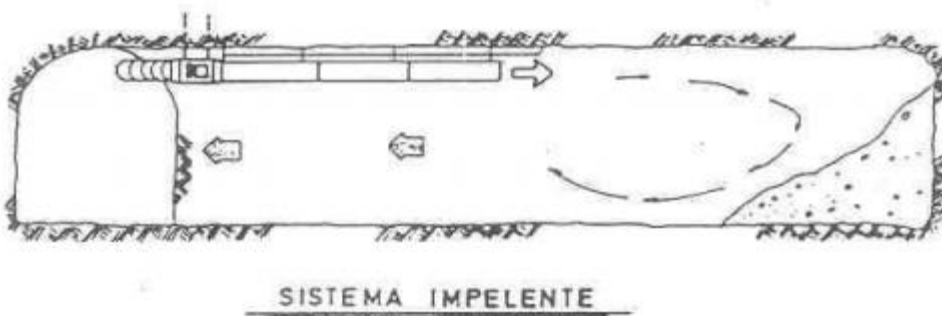
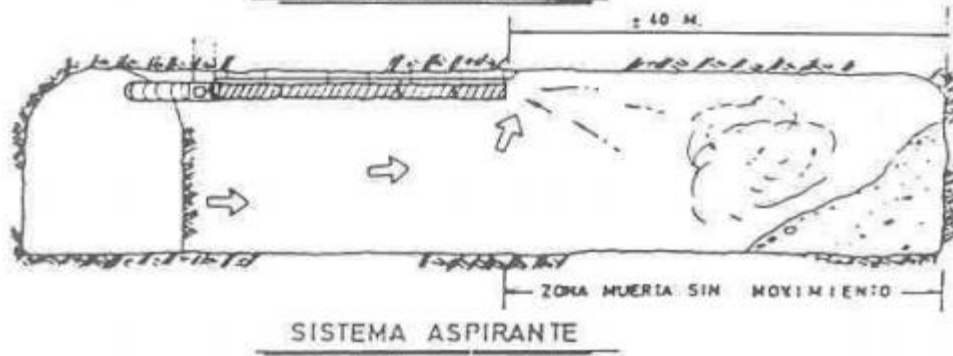


Anexo 3: Tubería de ventilación.



Anexo 4.

ESQUEMA DE TIPOS BASICOS DE VENTILACION AUXILIAR DE DESARROLLO



Anexo 5.



Ventiladores Minas de Carbón en Virginia, U.S.A.

Gracias