



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA - MINAS - INFORMÁTICA



Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

Ingeniero de Minas

Tema: Perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel Popular del Sector Rolo Monterrey.

Autor: Lilisbet Rivera Londres.

Tutor: Dr. C. Santiago Oscar Bernal Hernández
Dr. C. Roberto Lincoln Watson Quesada.

Moa - 2014

"Año 56 de la Revolución"

DEDICATORIA

A mis padres Mendoza Londres Esmir y Leyva Rivera Erneide

A mis hermanas, Liannis y Susannis.

A mi esposo Basulto Peña Javier

A mis amigas Susana, Yudailyn .

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo lleva implícito una serie de gratos esfuerzos y apoyos que de no ser así no hubiese sido posible. Y de esta forma agradezco:

A mi madre Mendoza Londres Esmir, que con su confianza y amor puso todo su empeño para mi realización.

A mis hermanas por su apoyo durante mis estudios.

A mi esposo que a pesar de todo, no disimuló en apoyarme y se ha convertido en la proa de mi vida.

A mis amigas, por su reiterado apoyo incondicional.

A mis tutores por haber puesto todo su empeño durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de aula Héctor Esparraguera Guilarte, Carlos Eulicer Hidalgo Céspedes que bastante duro que tuvimos que trabajar.

A esta Revolución, a la que le debo mucho.

Gracias a todos de corazón.

PENSAMIENTO



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

Fidel Castro Ruz.



El que recibe lo que no merece, pocas veces lo agradece.

José Martí.

R E S U M E N

El trabajo tiene por objetivo la ventilación en el túnel popular Rolo Monterrey, la cual estará destinada a garantizar la evacuación de 1155 personas. La ejecución de la ventilación se efectuara con el objetivo de auxiliar en la defensa civil y militar en caso de guerra, catástrofe u otros desastres naturales, con una longitud total de 385 m. El trabajo cuenta con cuatro capítulos en los cuales se exponen las labores a desarrollar para la ventilación del túnel. Primeramente se realiza la marco teórico y bases teóricas de la investigación caracterización ingeniero geológica del túnel, perfeccionamiento del sistema de ventilación del túnel de Rolo Monterrey luego se exponen las principales características de los tipos de ventilación se procede al cálculo caudal, depresión, resistencia aerodinámica, potencia del motor que intervienen el sistema de ventilación del túnel, calculando en este caso.

S U M A R Y

The work he has for objective the ventilation in the popular tunnel Rolo Monterrey, her as she will be destined for guaranteeing 1155 people's evacuation. the ventilation's execution take effect to me for the sake of helper in the civil defense and military man in case of war, catastrophe or another natural disasters, with 385 m's overall length. The work counts with four chapters in them as the chores expose themselves to develop for the tunnel's ventilation. Firstly it is accomplished I mark it theoretic and the investigation's theoretic bases characterization the tunnel's geological engineer, the ventilation system's perfecting of Rolo Monterrey's tunnel next expose the principal characteristics of the ventilation fellows themselves the motor is come from to the caudal calculation, depression, windage, potency that they interfere with the ventilation system of the tunnel, calculating in this case.

ÍNDICE

<i>INTRODUCCIÓN</i>	9
<i>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN</i>	12
1.2 Bases Teóricas	15
<i>CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DEL TÚNEL</i> ..	20
2.1. Ubicación geográfica	20
2.2. Características geológicas de la región	20
2.3. Geomorfología regional.....	20
2.4. Características hidrogeológicas	22
2.5. Vientos	25
2.6. Zonificación ingeniero – geológica del área.....	26
<i>CAPÍTULO III: PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL DEL SECTOR ROLO MONTERREY</i>	28
3.1. Ventilación del Túnel.....	28
3.2. Condición Actual de la ventilación en el túnel Rolo Monterrey	28
3.2.1. Requerimientos de aire	29
3.2 Ventilación por tiro natural.....	30
3.3 Factores que influyen en el tiro natural.....	31
3.3.1 Cálculo de la depresión	31
3.3.2 Cálculo del caudal de aire requerido por el personal a evacuar:..	32
3.4 Dimensiones de la sección transversal.....	33
3.5 Resistencia aerodinámica de la excavación:	33
3.5.1 Resistencia frontal del túnel:.....	33
3.6 Resistencia aerodinámica por fricción	35
3.6.1 Resistencia por fricción del túnel.....	35
3.7 Parámetros para la selección del ventilador	37
3.8 Modo de ventilación	38
3.9 Alimentación eléctrica del ventilador	39
3.10 Teoría y construcción	42

<i>CAPÍTULO IV: PROTECCIÓN AMBIENTAL</i>	45
4.3 Identificación de los principales impactos ambientales	47
4.4 Instrumentos para materializar la gestión ambiental	48
<i>CONCLUSIONES</i>	51
<i>RECOMENDACIONES</i>	52
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	53
<i>ANEXOS</i>	55

INTRODUCCIÓN

El desarrollo natural de la humanidad a partir de la utilización de las cavernas como viviendas o refugios hasta la construcción de túneles, probablemente estuvo condicionado por las cavidades de las rocas calizas desarrolladas por los cauces en los antiguos ríos subterráneos que emergían de la tierra. Así desde esas épocas el hombre ha utilizado los túneles para resguardar familiares, bienes personales e incluso para combatir directamente desde allí.

En Cuba debido a la permanente hegemonía del gobierno de los Estados Unidos, luego del triunfo de la Revolución en el 59 e incrementándose a partir del año 1984 se comenzó la construcción de túneles populares bajo la Concepción de la Guerra de Todo el Pueblo. "Los túneles populares son edificados con el objetivo de auxiliar en la defensa civil y militar en caso de guerra, catástrofes u otros desastres naturales" *Cisneros Hernández Dailien 2014*. Para su ejecución se deben cumplir una serie de condiciones de acuerdo con la legislación ambiental vigente en el país durante el proyecto de excavación, la que entre otros aspectos exige un adecuado sistema de ventilación.

"Los sistemas de ventilación en minas y túneles subterráneos tienen por misión principal asegurar el suministro de un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera del entorno permitiendo condiciones termo ambientales adecuadas para la respiración de las personas que trabajan u ocupan su interior durante un tiempo determinado, ya que en ella se desprenden diferentes tipos de gases, polvo y energía calorífica según el tipo de roca o fenómenos de origen natural. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos rápida y eficazmente" (Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Huanza).

El sistema de ventilación queda determinado por la apertura del yacimiento ya que la mayoría de las excavaciones principales de apertura (o solo algunas de ellas) se utilizan para suministrar aire y/ o para la retirada del aire viciado. El diseño del sistema de ventilación debe facilitar el suministro de aire de los objetos a ventilar en lo que respecta al caudal lo que al mismo tiempo le

permitirá llegar con la calidad exigida. Debe contribuir a minimizar los gastos por inversiones, mantenimiento de excavaciones y consumo de energía de los medios de ventilación, (o sea contribuir a la mayor economía en sus fases constructiva y operativa), a la vez que elevar la fiabilidad del sistema de ventilación durante su funcionamiento.

Entre los túneles populares que existen en Cuba que tienen el sistema de ventilación determinado por la apertura de la excavación, se encuentra el túnel del Sector Rolo Monterrey ubicado en el municipio Moa provincia Holguín, el cual tiene grandes problemas con el suministro de aire hacia al interior de la excavación debido a su ubicación por lo que la ventilación no se puede realizar adecuadamente de forma natural propiciando el enrarecimiento de la atmósfera, la falta de higiene y otros males asociados; lo que constituye la **situación problemática** de la presente investigación.

El **problema científico** es la necesidad de perfeccionar el sistema de ventilación del túnel popular de Rolo Monterrey.

Objetivo general rediseñar el sistema de ventilación del túnel popular de Rolo Monterrey.

Objeto de estudio la ventilación de los túneles populares.

Campo de acción el túnel popular de Rolo Monterrey.

La que sustenta la investigación es que si se realiza un estudio de las condiciones ambientales, se hace un análisis de los factores que interviene en el sistema de ventilación y se examinan las condiciones técnico económico, se puede lograr perfeccionar el sistema de ventilación del túnel popular del sector Rolo Monterrey.

Objetivos específicos:

1. Analizar el Marco Teórico y Bases teóricas de la investigación.
2. Realizar una caracterización ingeniero – geológica del túnel.
3. Definir los factores que intervienen en la ventilación del túnel y calcular los parámetros del sistema de ventilación.

4. Evaluar los índices técnicos – económicos de la solución propuesta al caso de estudio.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

En principio las primeras investigaciones sobre la ventilación en túneles estuvieron asociadas a las observaciones de enfermedades aparecidas en los mineros y fueron realizadas por Agrícola (1494 - 1555) y Para Celso (1493 - 1541) en el siglo XVI. Aunque no se precisa en los registros de esa época, la mortalidad se supone era causada por enfermedades pulmonares probablemente por silicosis, tuberculosis también cáncer pulmonar producido por mineral radioactivo incorporado a la roca silícea.

En los comienzos del siglo xv^I fue ampliamente utilizada la ventilación natural la que 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 las diferencia de altitud entre las galerías conectadas con superficie, posteriormente a esto 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 se establece la regla de Atkinson, 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.

En el siglo XIX se comenzaron a desarrollar los ventiladores mecánicos. Estos ventiladores eran exclusivamente del tipo centrífugo, de grandes dimensiones y de velocidad reducidas, movidos por molinos de vientos o rueda hidráulica.

Después de la primera Guerra Mundial y debido al rápido avance de la aviación y el consiguiente progreso de la ciencia aerodinámica, comenzaron a desarrollarse los ventiladores de flujo axial.

A partir de la década de 1940 se desarrollaron las grandes máquinas de arranque, rozadoras y cepillos, los poderosos escudos de protección automarchantes y las transportadoras de flujo continuo, de cadenas y correas, fabricados principalmente por la firma Westfalia de Alemania; se incorporaron sofisticados automatismos para estas grandes máquinas en Francia; en varios países, se dieron considerables avances en el diseño y construcción de

equipos de ventilación y aparatos de comunicación, de medición de flujos de aire, de detección de fuegos y gases.

En el caso de minería, es de interés señalar que uno de los primeros controles de ventilación se realizó en el año 1943, en Mina El Teniente, en donde se aforó un caudal total mina igual a 26000 pie³/min.

Dentro del año 1946, se puso en operación en dicha faena un moderno sistema de ventilación global, el cual consideraba la obligada implementación de un sistema de ventilación 100 % mecanizado.

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 1C⁰ 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.

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 si instalación requiere un análisis de los beneficios, este reporta durante el ciclo de operación.
- 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.

En el 2009 Fuentes Weekes Yander, realizó una investigación (del Sector Rolo Monterrey) donde defendía la ventilación por tiro natural aunque en el diseño de laboreo para el túnel no realizó una comparación entre otras opciones de ventilación forzada para demostrarlo.

Quevedo Chanamé 2012 Lima Perú defiende el tema de la ventilación subterránea a partir del análisis de diferentes factores que se han ido generando con el tiempo, lo que trae como consecuencia el aumento del número y tamaño de los ventiladores para cada sistema de ventilación así como su optimización en el control de los mismos.

En Cuba para la ventilación en la mayoría de las operaciones subterráneas se cuenta a la fecha 2013 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 (Rodríguez Fernández Yansel)

(Rodríguez Fernández Yansel) también consigna lo siguiente: "Dado que, la VENTILACIÓN NATURAL es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna faena subterránea moderna debe utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones"

Por otra parte, la investigadora (Rivera Londres Lilisbet 2014) considera que también se pueden encontrar minas y túneles en construcción donde, existiendo una adecuada entrada y salida de aire, forzada por medio de ventiladores, en su interior el aire no es aprovechado adecuadamente, perdiéndose la energía consumida y la posibilidad de mantener buenas condiciones ambientales, las cuales son necesarias para la protección de quienes trabajan en ellas y también de los equipos que se utilizan. La causas normales de este despilfarro se deben a un mal diseño del sistema de ventilación, un mala distribución del aire o a una regulación de los circuitos mal efectuada.

Indudablemente se pueden utilizar referencias bibliográficas asociadas a los sistemas de ventilación de minas que en principio tienen el mismo objeto para los túneles; por lo que en base a la experiencia adquirida durante el estudio y las prácticas de la especialidad, así como por la recopilación y análisis de varias obras documentales serán usadas algunas referencias de ventilación de minas para referirse a la ventilación en túneles.

1.2 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 mg/m^3

Polvo respirable: 3 mg/m^3

Oxígeno (O_2): mínimo 19.5% y máximo 21.95%

Dióxido de Carbono (CO_2): máximo 9000 mg/m^3 o 5000 ppm. 30000 para un lapso de 15 min.

Monóxido de Carbono (CO): máximo 29 mg/m^3 o 25 ppm

Metano (NH_4): máximo 5000 ppm

Hidrogeno Sulfurado: máximo 14 mg/m^3 o 10 ppm

Gases Nitrosos (NO_2): máximo 7 mg/m^3 de 3 ppm o 5 ppm

Gases Nitrosos (NO): 25 ppm

Anhídrido Sulfuroso: 2 ppm mínimo a 5 ppm máximo.

Aldehídos: máximo 5 ppm

Ozono: máximo 0.1 ppm. 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 $3\text{ m}^3/\text{min}$ 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 haya personal trabajando. 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, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares según las necesidades.

La ventilación 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. (1974), Curso de Laboreo de Minas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 8460062546).

Principios de ventilación es por:

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

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

Tipos de ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica o forzada.

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada, como es impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa el aire al interior de la mina o 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 al aumento de la temperatura

Ventilación natural

Es el flujo natural de aire fresco que ingresa al interior de una labor 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. "Modulo 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 superficial y del interior, 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 bombilla de humos, 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 o forzada

Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que, haciendo uso de conductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando 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 conducto, 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.

Para diseñar un adecuado sistema de ventilación que tenga en cuenta las bases teóricas planteadas se hace necesario conocer las **características geológicas** de la región en la cual está ubicado el túnel.

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN INGENIERO - GEOLÓGICA DEL TÚNEL

2.1.Ubicación geográfica

El área de campo de acción de la investigación se encuentra enmarcado en el Sector Rolo Monterey de la región Moa, ubicado al Oeste de la ciudad de Moa; extendiéndose desde el límite de la costa y todo el litoral costero, abarcando un área aproximada de 400 m. Ubicada según el sistema de coordenadas *Lambert* entre los puntos: X (690 000; 690 000) y (222 000; 228 000).

2.2.Características geológicas de la región

La geología del área se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizados basadas en criterios y parámetros específicos según el objeto de la información realizada por Rodríguez ,1998 en su tesis doctoral y trabajos de otros tutores.

El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la faja Mayarí- Baracoa, ocupando un área aproximadamente de 1500 km² representando un gran desarrollo de los complejos ultramáficos, de gabros y volcano- sedimentarios, mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del sistema cumulativo se estima un espesor aproximadamente 1000 m para el complejo ultramáfico y 500 m para el de gabro, mientras que para el complejo volcano-sedimentario se estimado un espesor de 1000 m.

2.3.Geomorfología regional

Debido a la existencia de condiciones geológicas contrastantes desde el Mesozoico, se reflejan de forma singular en el relieve de la región el accionar de complejos procesos geotectónicos. A estos se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e

interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

El territorio se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanuras y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos. (Rodríguez, 1998).

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera de arrecifes hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

La zona de llanura fue clasificada en tres subtipos:

- Llanuras acumulativas marinas.
- Llanuras fluviales.
 1. Acumulativas
 2. Erosivo-acumulativas
- Llanuras acumulativas palustres parálidas.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

- Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas, aparecen en la región un conjunto de formas menores del relieve o elementos del paisaje que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónica y algunas representan un peligro para el medio ambiente. A continuación se hace un análisis de cada una de ellas partiendo de su origen e importancia en el contexto territorial.

Formas Cársicas. En las rocas del complejo ultramáfico, en el

área comprendida entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura por el noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), aparecen dolinas, sumideros, lapiez o karren; así como, otras formas cársicas típicas de la zona como las estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas formas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste y noroeste sirviendo como criterio de fotointerpretación de estructuras disyuntivas.

Barrancos. Es muy frecuente dentro del territorio encontrar formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural. Estos barrancos alcanzan su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. Ante la actividad sísmica estos barrancos constituyen sectores de alta vulnerabilidad, no sólo porque su **génesis está relacionada con las estructuras tectónicas activas del territorio**, sino también, porque favorecen la dinámica erosiva en su superficie que debido a las grandes pendientes se encuentran descubiertas de vegetación.

Existen formas del relieve que han sido provocadas por la actividad antrópica, las cuales se citan a continuación:

Áreas minadas y escombreras. Con el crecimiento de la producción **niquelífera** se agigantan, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarreamiento, intensifican el arrastre de los suelos con la consabida ruptura del equilibrio fluvial y provocan la acumulación anómala de sedimentos en las zonas bajas.

Presas de colas. Estas se multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

2.4. Características hidrogeológicas

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, lo identificamos como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido

para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas (Sidimohamed Jatri, 2002; Pérez, 1999), los mismos son descritos a continuación:

□ **Complejo acuífero de las ofiolitas.**

Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas - **magnésicas.**

□ **Complejo acuífero de los sedimentos costeros**

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su **composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos** angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organogénicas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 M/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg., con un gasto específico (q) de 93.4 L/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como **clorurada — hidrocarbonatada — sódica.**

□ **Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.**

Se extiende en dirección norte - sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes.

Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con una potencia de 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos se asocian con una edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 – 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m; y se denominan según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrocarbonatadas **magnésicas**

□ Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitando, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de esta agua. Por su **composición química son aguas hidrocarbonatadas – magnésicas y sódicas de baja mineralización.**

□ Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados.

Aparece este complejo solo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto **tectónico como** sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

Por otra parte, el GEIPI y E.I.P.H Habana editaron el Mapa Hidrogeológico de Cuba; donde en el Informe Técnico Conclusivo de Hidrogeología realizado en el yacimiento Punta Gorda entre el 2002 y 2004, tomaron como base este mapa, **haciéndosele algunas correcciones según el conocimiento geológico** actual de la zona.

Características ingeniero – geológicas.

Debido a la intensidad con que se manifiestan los procesos de meteorización en el territorio de Moa (predominando el intemperismo químico), se forma la típica corteza laterítica, a partir de la cual surgen los yacimientos de

tipo residual ricos en Ni, Fe y Co. La formación y desarrollo de estas cortezas están condicionadas por:

- Existencia de un macizo rocoso de composición ultra básica.
- Existencia de un clima cálido y húmedo. (Clima tropical)
- Presencia de un relieve casi plano que no permita que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y el transporte de los productos de la meteorización.
- Existencia de sistema de grietas y fisuras de diversos orígenes.

Los potentes horizontes lateríticos en las cortezas de meteorización reflejan la combinación de estos factores en el territorio, con particularidades en sus propiedades geotécnicas, considerándose estos suelos especiales.

Estos suelos presentan particularidades específicas en cuanto a su densidad seca (ρ_s) composición granulométrica e índice de plástico (I_p). La densidad seca (ρ_s) se caracteriza en estos suelos por disminuir con respecto a la profundidad, aumentando a su vez el índice de poros (e); la composición granulométrica manifiesta una variación con la profundidad similar a la densidad seca, es decir, es gruesa hacia la superficie disminuyendo con la profundidad estableciéndose una relación biunívoca entre la densidad y la composición granulométrica, correspondiendo a los suelos gruesos densidades altas y a los suelos finos densidades más bajas. (Riverón, 1996; Carménate, 1996). (Rodríguez Fernández Yansel) también consigna lo siguiente: "Dado que, la VENTILACIÓN NATURAL es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna faena subterránea moderna debe utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones"

2.5.Vientos

El régimen de los vientos es de moderada intensidad. Casi todo el año soplan vientos alisios, provenientes de la periferia del anticiclón de los Azores – Bermudas, provocando que el viento en superficie tenga una dirección NE-E. Se caracteriza por ser muy variable, presentando una velocidad máxima de 10m/s, el valor medio anual es de 2 m/s predominando las direcciones antes mencionadas. El viento es un parámetro importante de la región pues controla el movimiento de las emanaciones industriales vertidas a la atmósfera. (Pérez ET 1991).

2.6. Zonificación ingeniero – geológica del área

A partir de la clasificación anterior y tomando como base la información geotécnica de las diferentes obras investigadas por la ENIA # 6 – Holguín, además de considerar factores como el relieve, la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, tipos de suelos (y sus propiedades físico – mecánicas, fue obtenido un mapa de zonificación ingeniero geológica de las áreas urbanas y suburbanas de Moa, quedando dividida en zonas y subzonas. (Carménate y Riverón, 1996).

Zona I. Comprende la parte sur y oeste del territorio; abarcando los repartos Rolo Monterrey y Miraflores, presas de colas, Politécnico, Combinado Lácteo y Universidad. Aparecen suelos lateríticos de color que varía de rojo vino a carmelita verdoso y serpentinitas de coloración verde amarillenta; se encuentra **afectada por la erosión, fundamentalmente en cárcavas.**

Subzona I – a. Abarca completamente el reparto Rolo Monterrey. De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas estos suelos presentan una **clasificación.**

Subzona I – b. **Comprende el área de inundación de los ríos Cabañas y**

Moa durante sus crecidas. Es una zona desfavorable para la construcción; no se han realizado perforaciones en ella, por lo que se carece de **información geotécnica de la misma.**

Subzona I – c. Abarca las presas de colas de la fábrica "Cdte. Pedro Soto

Alba". No se muestran las propiedades físico – mecánicas del suelo por **carencia de información.**

Subzona I – d. Comprende las áreas donde se encuentran el reparto **Armando Mestre, CEPRONI, el politécnico Níco López y el Combinado Mecánico.** Estos suelos son clasificados en la tabla 1.

Subzona I – e. Se encuentra hacia el oeste de la ciudad y abarca las áreas a las que pertenecen la Universidad, Combinado Lácteo, repartos Atlántico y Miraflores; presentando su respectiva clasificación.

Zona II. Abarca los repartos Las Coloradas, Caribe, La playa, Los Mangos, Joselillo, Haití Chiquito, Las Coloradas Viejas y el poblado de Moa.

Subzona II – a. Conformada por los repartos Caribe y Las Coloradas

con propiedades físico – mecánicas clasificadas en la tabla

Subzona II – b. Encierra los repartos La playa, Los Mangos, Las Coloradas Viejas y el poblado de Moa; destacándose tres tipos de suelos fundamentales.

Subzona II – c. Abarca los repartos de Joselillo y Haití Chiquito; prescinde de caracterización de las propiedades físico – mecánicas del área debido a ausencia de investigaciones.

Zona III. Comprende las áreas que ocupan el aeropuerto, el puerto y la zona pantanosa que se encuentra en la parte NW del territorio.

Subzona III – a. Ocupa toda el área pantanosa del norte de la zona. Los suelos son típicos de pantano (cieno) de color negro azulado, resultando desfavorable para la construcción.

Subzona III – b. Encierra la pista del aeropuerto y sus áreas cercanas.

Subzona III – c. Comprende el puerto y áreas cercanas, existiendo dos tipos de suelos según las propiedades físico – mecánicas del mismo.

De manera general, estos suelos cumplen con las características descritas anteriormente; son suelos cuya densidad seca disminuye con la profundidad, mientras que aumenta su índice de poros, haciéndose alto éste en aquellos suelos donde es baja la densidad seca y se manifiesta así para cada zona donde se tomaron muestras y se clasificaron los suelos. Esta característica es producto a los fenómenos que han intervenido en la formación del suelo, ya que al presentar un origen químico debido a la descomposición de la roca serpentinitica en la cual son lixiviadas la mayoría de sus componentes, por lo que se producen muchos espacios, provocando un aumento del índice de poros (e) y una disminución de la densidad seca (ρ_0).

-

CAPÍTULO III: PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL DEL SECTOR ROLO MONTERREY

3.1. Ventilación del Túnel

La ventilación de forma mecánica mediante la utilización de ventiladores consiste en hacer circular por el interior de la mina el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura, mediante el uso de ventiladores, que son turbo máquinas que se caracterizan por impulsar un fluido compresible, en este caso aire.

Sin embargo, en la medida que el aire circula a través de las galerías subterráneas, sufre una serie de alteraciones químicas y físicas que vienen a disminuir la calidad del aire, por estas razones que es indispensable el diseño de un sistema de ventilación adecuado al túnel de estudio para poder brindar un ambiente seguro a todas las personas que lo ocupan.

No obstante, en el diseño se requiere el estudio de un conjunto de documentos escritos y materiales gráficos, en los cuales aparecen en forma suficientemente amplia y precisa, las soluciones a las distintas tareas que se requiere acometer para resolver satisfactoriamente, desde los puntos de vista técnico y económico, el problema de la ventilación o parte de ella, en cada una de las etapas constructivas y de funcionamiento.

Por una parte, en el diseño del sistema de ventilación, deberá enmarcarse dentro de la normativa vigente, es decir, una descripción que proporciona la base sobre la cual se lleva a cabo la revisión de las normas que protegen la vida y salud de las personas.

3.2. Condición Actual de la ventilación en el túnel Rolo Monterrey

La situación de la ventilación del túnel Rolo Monterrey con una longitud de 385m es grave, debido a que frente a sus dos entradas se encuentra el río Cabaña y la Emp. Pedro Sotto Alva, de esta última emanan gases tóxicos, que en dependencia de la

dirección de los vientos pudieran afectar el túnel; en la margen contraria del río el relieve es llano encontrándose detrás de este la presa de colas. Sobre el emplazamiento del túnel se encuentran una serie de viviendas pertenecientes al reparto Rolando Monterrey.

Existe un pozo que se construyó para ventilar el túnel está ubicado en una zona donde el flujo de aire depende de las condiciones climáticas del día durante los trabajos de investigación se pudo constatar que apartado a unos 5m de la intersección del pozo y el túnel no se manifiesta el movimiento del aire, por esas condiciones el túnel tiene una muy mala circulación de aire en su interior. Esto se debe a que durante el desarrollo del túnel se construyó una red de excavaciones, formadas por las principales y las correspondientes gavetas o compartimentos para los diferentes fines de la defensa, cuya resistencia es superior a la presión, caudal y velocidad requeridos. De ahí partimos que para realizar la ventilar es necesario emplear un tiro de aire forzado el cual esta nos permite lograr una buena circulación de aire y garantiza condiciones seguras e higiénicas durante la estancia dentro del túnel.

3.2.1. Requerimientos de aire

Las necesidades de aire al interior del túnel, deben ser determinadas en base al personal que se va a evacuar y el número de niveles que lo componen.

El cálculo de las necesidades, permitirá ventilar las labores mineras en forma eficiente, mediante un control de flujos tanto de inyección de aire fresco, como de extracción de aire viciado.

En la presente investigación se propone utilizar la ventilación de los dos tipos por tiro natural y forzado.

Para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales:

1. **Cálculo del** caudal de aire requerido por el personal a evacuar.
2. Resistencia aerodinámica de la excavación.
 - 2.1 Depresión.

2.2 Resistencia frontal del túnel.

2.3 Resistencia local del túnel.

2.4 Resistencia por fricción del túnel

3.2 Ventilación por tiro natural

La ventilación por tiro natural se realiza por un pozo de ventilación de 60.00 cm de diámetro, lo que resulta insuficiente para el túnel.

Se recomienda realizar varios pozos con una distancia de 50 metros entre ellos, haciendo circular el aire desde la superficie hacia el interior del túnel, así podrán utilizarse para montar el sistema de ventilación forzado.

Los agente naturales transfieren su energía al aire, con ello producen lo que se denomina "tiro natural". El tiro natural se aprovecha el efecto de empuje de Arquímedes que sufren los gases calientes rodeados por otros, más fríos, ejemplo, un agente de ventilación como el macizo rocoso caliente, van transfiriendo su energía paulatinamente a las masas de aire a medidas que ellas se desplazan por las excavaciones mineras y provoca así la expansión de dichas masas, y el aumento de la energía cinética de sus componentes y dificulta o impide que las presiones que actúan sobre el fluido le reduzcan su volumen específico.

La presión exterior (presión atmosférica) y la presión del campo gravitacional (presión volumétrica) actúan simultáneamente con el macizo sobre el aire minero, y sus efectos son opuestos. En definitiva la acción del campo gravitacional sobre el aire en unas excavaciones verticales y o inclinadas predomina sobre la que ejercen sobre él en otras, y hace que dicho fluido descienda por las primeras y ascienda por las segundas. En las primeras la acción de este campo se impuso a la acción del macizo y en las segundas le permite manifestarse más libremente, sobre todo por ser en esta menor la presión volumétrica específica dada la expansión del fluido.

Lo dicho se expresa en otras palabras, señalando que el peso específico del aire en las primeras excavaciones es mayor que en las segundas y como serán vasos

comunicantes el fluido más denso desplaza al otro, y como se va transformando en él a medida que transita por las excavaciones, nunca se alcanza el equilibrio, siempre se mantiene el tiro. El fluido más denso logra expulsar al menos denso del segundo vaso comunicante.

Las ventilaciones basadas únicamente en el tiro natural no son fiables. El flujo de aire se reduce muy fácilmente e incluso puede llegar a invertirse su sentido debido a una multiplicidad de causas.

3.3 Factores que influyen en el tiro natural

A diferencia de los ventiladores el tiro natural tiene determinación casuística. El hecho de que la densidad del aire varíe con la presión y la temperatura a la que se encuentre, de que a su vez la presión atmosférica sea diferente a las distintas alturas en que se realicen las excavaciones, que la temperatura del aire del túnel dependa generalmente de la temperatura del aire superficial y de la temperatura del macizo rocoso y que, como se sabe la temperatura del aire superficial varíe con la latitud y con la altura y la del macizo rocoso (de la corteza terrestre) varíe con la profundidad (según los distintos gradientes geotérmicos) y con el carácter de los procesos energéticos en él tiene lugar, todo ello justifica que se busque algún método simple que permita calcular tiro natural basándose en las mediciones de la temperatura y en las determinaciones de temperaturas medias del aire en las excavaciones que correspondan (con fines ingenieriles).

3.3.1 Cálculo de la depresión

La pérdida de presión del aire en las excavaciones depende, en lo fundamental de la aspereza, rigurosidad de su superficie, el carácter de la cual se valora por la altura, ancho y por la forma y por la lisura de la superficie, por la frecuencia de la disposición y por el grado de la irregularidad de los salientes.

La depresión de la excavación (P_a) se determina por la fórmula:

$$h = \frac{9,8\alpha PL}{s^3} Q^2$$

$$R = \alpha PL / s^3$$

Dónde:

α : es el coeficiente de la resistencia aerodinámica.

P: perímetro de la excavación (m^2)

L: longitud de la excavación (m)

Q: gasto volumétrico de aire (m^3/s)

La magnitud $R = \alpha PL / s^3$ se le denomina Resistencia aerodinámica por unidad de resistencia, R se toma como la resistencia de tal excavación, la depresión de la cual en el paso de un metro cúbico de aire en un segundo es igual a Pa.

Ventilación por tiro del aire forzado para después de estar laboreada las excavaciones del proyecto.

3.3.2 Cálculo del caudal de aire requerido por el personal a evacuar:

Exige una corriente de aire fresco de no menos de seis metros cúbicos por minuto ($6 m^3 / min.$) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina.

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

$$Q = 6 * 1155 \text{ m}^3 / \text{min} = 6930 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q = 115,5 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Dónde:

F = Caudal mínimo por persona ($6 m^3 / min$)

N = Número de personas en el lugar (1155)

3.4 Dimensiones de la sección transversal

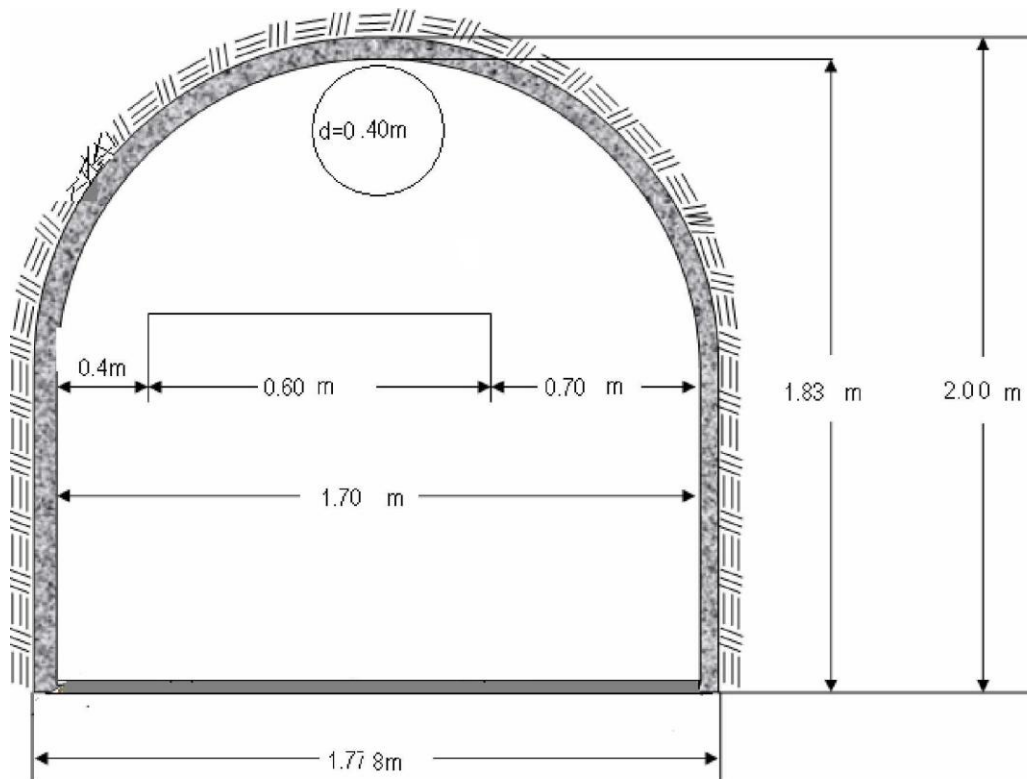


Fig 1. Sección transversal

3.5 Resistencia aerodinámica de la excavación:

3.5.1 Resistencia frontal del túnel:

$$h_{FRONTAL} = C \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2g} \cdot \frac{S_{NORMAL}}{S}; Pa$$

$$h_{FRONTAL} = 1 \cdot (0,3 \cdot 0,1) / 2 \cdot 9,8 \cdot (1,80/2) = 0,0014 (Pa)$$

$\rho = 0,2$ según medición realizada en el Túnel con el anemómetro

$V = 0,03$ según medición realizada en el túnel

$C = 1,00$

Dónde:

S_{NORMAL} → sección transversal máxima que presenta el obstáculo a la corriente de aire

C → coeficiente determinable empíricamente

S → área de la sección transversal de la excavación

ρ → Densidad del aire, Kg/m^3

Después de sustituciones y transformaciones pertinentes tendremos que:

$$h_{FRONTAL} = R_{FRONTAL}$$

$$0,0014 P_a = R_{FRONTAL}$$

Donde:

ξ → Coeficiente determinable experimentalmente.

También se puede expresar en función del caudal:

$$h_{LOC} = \xi_{RLOC} \cdot Q^2$$

$$h_{LOC} = R_{LOC} \cdot Q^2$$

$$\xi = r/d$$

$r = 0,44$ y $d = 1,7$ según experto del túnel de Rolo Monterey Ing. Orlando Mosqueda de ahí que:

$$R_{LOC} = \frac{\xi \cdot \gamma}{2g \cdot S^2} = 0.0612 \frac{\xi}{S^2} = 0.0612 \cdot (0.026) = 0.016$$

$$R_{LOC} = 0.016 \text{ Pa/m}^3/\text{s}$$

3.6 Resistencia aerodinámica por fricción

3.6.1 Resistencia por fricción del túnel

$$R = \frac{K * C * L}{A^3} \text{ Murges } (\mu), \quad H_L = R * Q^2$$

Donde;

K: Factor de fricción [Ns^2 / m^4]

C: Perímetro [m]

L: Longitud [m]

A: Área [m^2]

Tada.1 Parámetros del sistema de Túnel de Rdo

Excavación	Ancho(m)	Altura(m)	Longitud(m)	Perímetro(m)	Superficie S(m ²)	Tipo de fortificación	Coe. de Resist. Aerodinámica (α)	Resistencia	Volumen de cada excavación
GA	1.70	2.00	166	7.40	540	Continua de piedra	0.0016	0.0067	8964
GA ₁	1.70	2.00	13	7.40	540		0.0016	0.0053	702
GB	1.70	2.00	162	7.40	540		0.0016	0.0066	8748
GB ₁	1.70	2.00	31	7.40	540		0.0016	0.0125	167.4
GC	1.70	2.00	295	7.40	540		0.0016	0.0196	159.3
GC ₁	1.70	2.00	105	7.40	540		0.0016	0.0425	56.7
GC ₄	1.70	2.00	60	7.40	540		0.0016	0.0432	324
GC ₅	1.70	2.00	16	7.40	540		0.0016	0.06466	86.4
GD	1.70	2.00	15	7.40	540		0.0016	0.06081	81.0
GP	1.70	2.00	98	7.40	540		0.0016	0.0597	529.2
G3	1.70	2.00	14	7.40	540		0.0016	0.0667	75.6
G3 ₁	1.70	2.00	5	7.40	540		0.0016	0.02027	27
GB ₂	1.70	2.00	7	7.40	540		0.0016	0.02837	37
G6	1.70	2.00	7	7.40	540		0.0016	0.02837	37
G2	1.70	2.00	3	7.40	540		0.0016	0.01216	16.2
G4	1.70	2.00	14	7.40	540		0.0016	0.06675	75.6

3.6.2 Resistencia total

$$R_{TOTAL} = 0,175 \text{ PaS}^2 / \text{m}^6$$

Depresión

$$h_{TOTAL} = R_{TOTAL} \cdot Q^2$$

$$h_{TOTAL} = 0,175 \text{ PaS}^2 / \text{m}^6 \cdot (115,5 \text{ m}^3/\text{s})^2$$

$$h_{TOTAL} = 2,335 \text{ KPa}$$

Los resultados de la investigación demuestran que la ventilación natural para uso único no es factible en ese sistema túneles ya que no cumple con los requisitos requeridos por lo que se hace imprescindible perfeccionar la ventilación. Esta excavación vertical garantizará la entrada de forma natural del aire cuando las condiciones climáticas lo permitan y forzada con la colocación de un ventilador en esquema aspirante en relación al túnel (es decir en esquema de extracción). Con esto se cumplirán con los requisitos para la ventilación necesarios del túnel.

3.7 Parámetros para la selección del ventilador

Un ventilador es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo un incremento de presión suficiente (Presión Total) con la cual mantiene un flujo continuo de dicho fluido.

Para realizar este trabajo el ventilador requiere de una potencia en el eje del motor que lo acciona y que viene dada por la expresión:

Cada ventilador vendrá definido por su curva característica, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo para cada ángulo de regulación de los álabes. Por tanto, se tiene una curva característica distinta para cada ángulo. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de operación del ventilador.

Junto con el ventilador deberá elegirse el motor que habrá de moverlo, la potencia del cual se determina por la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{Q_v h_v}{1000 \eta_v \eta_m \eta_{transm}}, \text{ KW}$$

$$N = 369,95 \text{ KW}$$

donde:

$\eta_v, \eta_m, \eta_{transm}$ - son los rendimientos del ventilador (0,9) del motor (0,9) y de la transmisión (0,9) respectivamente.

Para depresiones pequeñas, hasta un máximo de 1500 Pa se recomiendan los ventiladores axiales: **de 1500 a 3000 (Pa) los axiales y los centrífugos**, indistintamente y para más de 3000 Pa los centrífugos.

3.8 Modo de ventilación

El modo de ventilación de una mina o sistema de túneles se elige teniendo en cuenta que garantice ventajosamente el suministro de la cantidad de aire suficiente, con el máximo de calidad y con el máximo de seguridad para el trabajo normal de la mina.

Los esquemas más utilizados son: Aspirante, de inyección y la combinación de ambos. Como explicamos más arriba proponemos el empleo del esquema aspirantes para extraer del sistema de túneles las atmosferas enrarecidas creando una depresión dentro de las excavaciones y con esto lograr que el aire fresco penetre por las entradas naturales del complejo de túneles.

3.9 Alimentación eléctrica del ventilador

Partiendo del objeto social de los túneles populares (refugio en tiempo de guerra, catástrofes, o desastres naturales) y teniendo en cuenta que en estos escenarios se interrumpe la energía eléctrica de manera casi inmediata se propone utilizar paneles fotovoltaicos.

Paneles solares fotovoltaicos o módulo fotovoltaico, un dispositivo diseñado para captar parte de la radiación solar y convertirla en energía solar para que pueda ser utilizada por el hombre.

En ambos casos, los paneles son generalmente planos, con varios metros de anchura y de longitud. Están diseñados para facilitar su instalación y su precio se fija de manera que puedan ser utilizados tanto para aplicaciones domésticas como industriales. Los paneles de **energía solar** son, en la actualidad, más viables económicamente que los módulos fotovoltaicos. Los paneles solares son los componentes básicos de la mayoría de los equipos de producción de energía solar. El interés por la utilización de paneles solares surge rápidamente cuando se sabe que un generador fotovoltaico de 329 km. podría cubrir la totalidad de las necesidades de electricidad del mundo.

Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos: están formados por numerosas celdas que convierten la luz en **electricidad**. Las celdas a veces son llamadas **células fotovoltaicas**, del griego "*fotos*", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los paneles fotovoltaicos, además de producir energía que puede alimentar una red eléctrica terrestre, pueden emplearse en **vehículos eléctricos** y barcos solares. Lo mejor de estas técnicas se reúne en competiciones como la *Solar Splash* en **Europa**.

En 2005 el problema más importante con los paneles fotovoltaicos era el costo, que ha estado bajando hasta 3 o 4 dólares por vatio. El precio, \$, del silicio usado para la mayor parte de los paneles ahora está tendiendo a subir. Esto ha hecho que los fabricantes comiencen a utilizar otros materiales y paneles de silicio más delgados para bajar los costes de producción. Debido a economías de escala, los paneles solares se hacen menos costosos según se usen y fabriquen más. A medida que se aumente la producción, los precios continuarán bajando en los próximos años.

El área de mayor crecimiento lo forman los sistemas conectados a la red pública (*gridtieds y stems*). En los Estados Unidos, con incentivos de los estados, compañías eléctricas y (en 2006 y 2007) del gobierno federal, el crecimiento continuará. Los programas de contadores conectados a red (*net metering*) permiten a los usuarios recibir una compensación por cualquier energía extra que incorpore a la red. La mayor parte de este sistema compra la energía al mismo precio de venta, aunque algunas compañías la compran a un precio cercano a un tercio de lo que cobran. Como contraste, en Alemania se ha adoptado un sistema extremo de net-metering para incentivar el crecimiento del mercado de las energías renovables, de forma que se paga ocho veces lo que la compañía cobra. Este alto incentivo ha creado una enorme demanda de paneles solares en ese país.

Un calentador solar de agua usa la energía del Sol para calentar un líquido, el cual transfiere el calor hacia un compartimento de almacenado de calor. En una casa, por ejemplo, el agua caliente sanitaria puede ser calentada y almacenada en un depósito de agua caliente.

Los paneles tienen una placa receptora y tubos por los que circula líquido adheridos a ésta. El receptor (generalmente recubierto con una capa selectiva utilizado o almacenado. El líquido calentado es bombeado hacia un aparato intercambiador de energía (una bobina dentro del compartimento de almacenado o un aparato externo)

donde deja el calor y luego circula de vuelta hacia el panel para ser recalentado. Esto provee una manera simple y efectiva de transferir y transformar la energía solar.

Precio de paneles solares fotovoltaicos

El precio de paneles fotovoltaicos en 2010 fue de 2,2 a 4 \$/vatio (USD). Como la cantidad de producción aumenta, los precios probablemente continúen bajando. Instalados, el costo está entre 3,7 y 7 dólares por vatio.

Los precios de venta al por menor actuales en Australia para sistemas pequeños son de alrededor 12 a 15 \$ por vatio. Por ejemplo, un panel de 10 W costaba 150\$ hacia diciembre de 2005, y uno de 20 W costaba 300\$.

Funcionamiento

Para la fabricación de paneles solares fotovoltaicos se emplea una tecnología tan avanzada y precisa como compleja.

No en vano, de momento muy pocas compañías en el mundo cuentan con la capacidad y los recursos técnicos necesarios como para poder producirlos.

El funcionamiento de los paneles solares se basa en el denominado como efecto fotovoltaico, el cual se produce cuando, sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, incide la radiación solar produciendo electricidad.

En el momento en que queda expuesto a la radiación solar, los diferentes y diversos contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que, entonces, pueden romper la barrera de potencial de la unión P-N, y salir así del semiconductor a través de un circuito exterior, momento en que se produce corriente eléctrica.

Se denomina **célula fotovoltaica** al módulo más pequeño de material semiconductor con unión P-N y con capacidad igualmente de producir electricidad.

Estas células fotovoltaicas se combinan de muy diversas formas para lograr tanto el voltaje como la potencia deseados. Asimismo, se denomina panel fotovoltaico al conjunto de células sobre el soporte adecuado y que poseen los recubrimientos que le protegen de agentes atmosféricos.

3.10 Teoría y construcción

Silicio cristalino y **Arseniuro de galio** son la elección típica de materiales para celdas solares. Los cristales de Arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de Silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos producidos principalmente para el consumo de la industria **microelectrónica**. El Silicio poli cristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste.

Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de Silicio de 6cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W /m², en un rango de usualmente 50-150 W /m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El Arseniuro de Galio es más eficaz que el Silicio, pero también más costoso.

Los lingotes cristalinos son cortados en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes (impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras) dentro de las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles solares son construidos con estas celdas cortadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños en la superficie frontal causados por radiación o por el mismo manejo de éstos se los enlaza en una cubierta de vidrio y se cementan sobre un sustrato (el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda). Se realizan conexiones eléctricas en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es

convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.

Un panel solar es una colección de celdas solares. Aunque cada celda solar provee una cantidad relativamente pequeña de energía, muchas de estas repartidas en un área grande pueden proveer suficiente energía como para ser útiles. Para obtener la mayor cantidad de energía las celdas solares deben apuntar directamente al sol.

Se dice que si un cuarto de los pavimentos y edificios de las ciudades estadounidenses fueran convertidos en paneles solares incorporados, estos proveerían suficiente energía para esa nación.

Definitivamente los paneles fotovoltaicos serían utilizados eficazmente para alimentar el ventilador que se seleccione por lo que se puede realizar la propuesta de perfeccionamiento del sistema de ventilación.

3.11 Perfeccionamiento del sistema de ventilación.

Nombre del Sistema: Sistema de ventilación túnel Sector Rolo Monterrey.

Tipo de Ventilación a Utilizar: Natural y Forzada

Ventilación Natural: Se recomienda la construcción de otro pozo de ventilación de 60.00cm de diámetros ubicados aproximadamente a 50 unos de otros.

Método de Ventilación: Soplante pues se ajusta a las características del túnel en cuestión.

Ventilación Forzada: Se sugiere utilizar un ventilador de tipo axial de impulsión de aire fresco que opere a:

$$H_s = P_a$$

$$Q = 115,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_m = 369,95 \text{ kW}$$

Densidad del aire= $1,2 \text{ kg/m}^3$

Ventilador: Debido a la situación política de Cuba y la imposibilidad de adquirir equipos en su mercado natural por las limitaciones que impone el bloqueo del gobierno de EE.UU contra la Isla, la investigadora considera que puede ser utilizado cualquier ventilador cumplan con los requisitos explicados anteriormente que esté disponible en el mercado con posibilidades reales de compra para el país.

Alimentación Eléctrica: Mediante paneles fotovoltaicos.

Ubicación del Ventilador: Con la construcción de otros pozos de ventilación el cual debe ser ubicado en la intersección de las gavetas C1 y D; para lo cual se debe hacer un nicho de 4 m y a partir de este se construya la excavación como pozo o contrapozo

CAPÍTULO IV : PROTECCIÓN AMBIENTAL

Cumpliendo con el artículo 27 de la Constitución de la República, corresponde al Estado Cubano el ejercicio de los derechos soberanos sobre el medio ambiente y los recursos naturales del país. A partir de esa función y a través de los órganos de gobierno, el Estado proyecta la política y la gestión ambiental.

Le corresponde al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), en su condición de Organismo de la Administración Central del Estado rector de la política ambiental, desarrollar la estrategia y concertar las acciones encaminadas a mantener los logros ambientales alcanzados por nuestro proceso revolucionario y contribuir a superar las insuficiencias existentes, a la vez que garantiza que la dimensión ambiental sea tomada en cuenta en las políticas, programas y planes de desarrollo a todos los niveles.

Los niveles provinciales y municipales son los principales escenarios donde se materializan la política y la gestión ambiental, corresponde a los Órganos de Gobierno del Poder Popular, provinciales y municipales, en estrecha coordinación con las autoridades ambientales a nivel local y las representaciones correspondientes de los diferentes OACEs y entidades en el territorio, así como, con una fuerte interrelación con las comunidades bajo su atención, garantizar la aplicación de la gestión ambiental nacional y establecer las adecuaciones y prioridades correspondientes a las características y principales necesidades de cada territorio, sin dejar de tener en cuenta la responsabilidad individual sustentada en la concienciación alcanzada.

Se identificaron como actores de la Política y la Gestión Ambiental (GA) de la Subdirección de Minas los organismos y entidades siguientes:

- Buró Municipal del PCC
- Consejo de Administración Municipal
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)
- Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA)
- Ministerio de Energía y Minas

- Oficina Nacional de Recursos Minerales
- Empresa Cuba Níquel

Por otra parte, se definirán, documentarán y comunicarán responsabilidades y autoridades de modo de facilitar la gestión ambiental efectiva en la explotación del yacimiento.

Además hay que plantear que el impacto ambiental que provoca la actividad minera prevista en cualquier yacimiento estará relacionado con cuatro factores principales:

1. Tamaño de la explotación. Se refiere al volumen de producción de la explotación, el cual tiene como consecuencia una determinada dimensión espacial y de actividades.
2. Localización: Se refiere al sitio en el que se llevará a cabo la explotación y la naturaleza de la topografía.
3. Métodos de explotación. Dependen del tipo de yacimientos a explotar y se relaciona directamente con la naturaleza y extensión del impacto.
4. Características de los minerales y de su beneficio. Se refiere al hecho de que la naturaleza del mineral determina el tratamiento a seguir.

De acuerdo a la consulta y compatibilización con expertos en la actividad minera y en los estudios de Impacto Ambiental, las acciones previstas deben ser tomadas en cuenta para su evaluación ambiental son:

1. Apertura.

- A. Desbroce
- B. Destape y escombreo
- C. Disposición del material estéril y sedimentos (escombreras)
- D. Construcción de caminos y otras obras inducidas

2. Instalación

- E. Transporte del Motor y el Ventilador

F. Instalación del Motor y el Ventilador y sus accesorios.

3. Cierre (Rehabilitación progresiva de las áreas de instalación)

H. Estabilización y conformación del terreno

I. Reforestación

4.3 Identificación de los principales impactos ambientales

Usualmente en la evaluación del posible impacto ambiental a partir de la solución del problema, se identifican aproximadamente 22 impactos ambientales, la mayor parte de los cuales, ocurren durante las acciones de desbroce, de formación de escombreras y producen impactos negativos. La calidad del aire y los suelos son los componentes ambientales que reciben los impactos más significativos.

A continuación se relacionan estos impactos.

1. Incremento de la dinámica de erosión, deslizamientos, transporte y sedimentación.
2. Disminución de la dinámica de los procesos de erosión, deslizamientos, transporte y sedimentación por la conformación del nuevo relieve.
3. Cambios en las formas del relieve (alteración de la topografía local).
4. Pérdida del suelo.
5. Recuperación de suelo por formación de capa vegetal.
6. Aumento de la carga de sedimentos en los cuerpos de agua.
7. Reducción de la carga de sedimentos en los cuerpos de agua.
8. Alteración al drenaje y la escorrentía.
9. Contaminación, fundamentalmente por ruidos, polvo y gases de combustión.
10. Disminución de los niveles de ruido, polvo y gases a partir de los trabajos de restauración de las áreas minadas.
11. Pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal, y creación de "islas" de vegetación.
12. Restauración de la cobertura vegetal.
13. Peligro de incendio en la vegetación.
14. Alteración del hábitat terrestre con migración de especímenes.

- 15.Rehabilitación de hábitat para la fauna silvestre.
- 16.Reducción de la productividad primaria de los ecosistemas.
- 17.Aumento de las posibilidades de empleo.
- 18.Riesgo de accidentes laborales.
- 19.Afectación a la salud.
- 20.Aumento de consumos de combustible.
- 21.Agotamiento de los recursos minerales del área.
- 22.Ingresos en la economía nacional.

En la presente investigación la identificación de los impactos se realizó mediante criterios de expertos y la consulta de otros estudios para proyectos similares en la región lo que arrojó que los principales impactos serían:

1. Contaminación, fundamentalmente por ruidos, polvo y gases de combustión.
2. Disminución de los niveles de ruido, polvo y gases a partir de los trabajos de restauración de las áreas minadas.
3. Aumento de consumos de combustible.
4. Disminución de los riesgos de afectación a la salud.
5. Leves Peligro de incendio en la vegetación.
6. Contribución a la Seguridad Nacional.

4.4 Instrumentos para materializar la gestión ambiental

Los instrumentos para cumplir la Estrategia Ambiental para la explotación del yacimiento conforman un sistema, en él todos sus componentes se interrelacionan para lograr un mejor cumplimiento de la misma.

La legislación es un componente esencial en cualquier estrategia ambiental. Para que logre en realidad desempeñar tal papel, la legislación ambiental debe ser eficiente y eficaz. Incluye la Ley Marco y demás regulaciones legales destinadas a proteger el medio ambiente, incluidas las normas técnicas en materia de protección ambiental.

La legislación es eficaz cuando regula con acierto las conductas, esto es cuando su diseño es suficiente para alcanzar los objetivos que se propone. La eficacia en la

legislación supone no sólo un nivel técnico-jurídico adecuado, sino una voluntad política real, estructuras institucionales adecuadas y un nivel de educación, divulgación y participación ciudadana acorde a los objetivos trazados. La legislación es eficiente cuando es capaz de lograr un efectivo acatamiento social. Para la legislación ambiental es particularmente importante ser eficiente, en tanto pretende la transformación de conductas que aun siendo indeseables, tienen un alto arraigo. De este modo, la legislación ambiental es fuente de la política ambiental, al tiempo que un instrumento de su ejecución.

¿El objetivo? establecer un ordenamiento legal ambiental eficiente y eficaz. Ello supone una clara identificación de los problemas ambientales del yacimiento, la consideración de opciones para la solución de estos problemas y la definición de las acciones a tomar, teniendo en cuenta las transformaciones económicas que vienen teniendo lugar.

De esta forma se estima conveniente que para la instalación del Sistema de ventilación en el tunel del Sector Rolo Monterrey se mantenga información escrita de todas las leyes y reglamentos relacionados con las actividades de minas.

En un principio se aconseja emplear las Principales regulaciones legales sobre la protección ambiental, a saber:

- Ley No 81 de Medio ambiente.
- Ley No 76 de Minas.
- Resolución N° 139/2004. Normas de Operación (Condiciones y requerimientos ambientales para el desempeño de la actividad de Moa Nickel S.A).
- Ley Forestal.
- Decreto Ley No 138. Aguas Terrestres.
- Decreto No 179. Protección, uso y conservación de los suelos y sus contravenciones.
- Decreto No 199. Contravenciones de las regulaciones para la protección y el uso racional de los recursos hidráulicos.

- Decreto No 268. Contravenciones de las regulaciones ambientales.
- Decreto No 222. Reglamento de la Ley de Minas
- Resolución No 111/02 del CITMA sistema nacional de monitoreo ambiental
- Norma Cubana Sobre la franja de protección de ríos.
- Norma Cubana sobre la protección de los patrimonios de la humanidad.
- Norma Cubana ISO 14000.

CONCLUSIONES

- El Análisis del Marco Teórico y el estudio Bases teóricas de la investigación, así como la realización de una caracterización ingeniero – geológica del túnel arrojó que la utilización de túneles y minas así como la construcción los ventiladores ha ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de desarrollo del hombre y a su vez se convierten en un elemento importante a tener en cuenta para la selección adecuada del ventilador.
- Para el perfeccionamiento del Sistema de ventilación túnel Sector Rolo Monterrey se utilizarán las combinación de la ventilación Natural y Forzada, la primera a partir de la construcción de otro pozo de ventilación y la segunda con el ventilador que opere según las características descritas. Se utilizará el modo de ventilación soplante con un ventilador de tipo axial. La alimentación eléctrica se propone sea mediante paneles fotovoltaicos.
- En cuanto a los gastos económicos no se pueden especificar valores exactos debido a que no se conocen los valores reales de los medios relacionados con la ventilación que se van a utilizar.
- Las actividades a realizar para el perfeccionamiento de la ventilación del túnel Rolo Monterrey no tiene grandes afectaciones para el medio ambiente el impacto negativo no tiene alta significación en relación al positivo donde se destaca la disminución de los riesgos de afectación a la salud y la contribución con la Seguridad Nacional.

RECOMENDACIONES

- La construcción de otros pozos de ventilación de 60.00cm de diámetros y ubicados aproximadamente a 50m unos de otros.
- Se tengan en cuenta las características explicadas para seleccionar el motor y el ventilador.
- Para la instalación del Sistema de ventilación en el túnel del Sector Rolo Monterrey se mantenga todas la información escrita de las leyes y reglamentos relacionados con las actividades de minas.

BIBLIOGRAFIA

1. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional. CIDEA. La Habana. 1997.
2. CITMA. Estrategia Ambiental Municipal. MOA 2008 /2010.
3. CITMA. Estrategia Ambiental Provincial, 2008 /2010
4. CITMA. Estrategia Nacional de Educación Ambiental.2010-2015
5. CITMA Resolución 139/2004 Normas de Operación. Condiciones y Requerimientos Ambientales para el desempeño de la actividad de Moa Nickel S.A.
6. Fidel Castro: Ciencia, Tecnología y Sociedad (1959-1989) ,1990. Editora Política. La Habana. Cuba.
7. Folleto de ventilación versión electrónica. Miranda González J. R., Watson Quesada R. L.
8. Dr.C. Santiago O. Bernal Hernández Conferencia # 7. Resistencias aerodinámicas de las excavaciones mineras, Teoría de redes de ventilación 2012
9. Zitron. "Ventilación de Minas". Gijon, Marzo 2010
10. Novitzky, Alejandro. "Ventilación de minas". Buenos Aires – Yanque. 1962.
11. Víctor Hugo Rodríguez Delgado. Tesis "Diseño del sistema de control para la ventilación de una mina subterránea usando un controlador AC800m". Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Mecánica. 2010.
12. Montan Consultng, "Análisis de la ventilación principal y auxiliar en las minas de acerías Paz del Rio S.A., con propuestas y recomendaciones para su mejoramiento y control". Essen Alemania. Septiembre 1975.
13. Fernández Felgueroso, José Manuel; Luque Cabal, Vicente. "Lecciones de ventilación de minas". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo. 1971.

14. Quispe Pérez, Roberto V. "Ventilación minera". Universidad Nacional de Ingeniería – FIGMM. 1987.
15. Howard L. Hartman. "Mine Ventilation and Air Conditioning". New York. 1961.
16. S. Borisov; M. Klóvov y B. Gornovói. "Labores Mineras". La ed. en esp. Moscú. 1976.
17. Ecured. Placas solares: tipos, composición y funcionamiento tomado en 2014
18. Ecured. Solar electricity yield of a photovoltaic system tomado en 2014
19. Ecured. Funcionamiento del panel solar tomado en 2014
20. Ecured. Solar plastic nano breakthrough tomado en 2014.
21. LÓPEZ P., L. M. 2006. Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma.
22. Vutukuri V.S., 1993, "An Appraisal of the Accuracy of Various Formulas for the Design of a Simple Auxiliary Ventilation System," Proceedings of the 6th US Mine Ventilation Symposium, SME, Littleton, CO, USA.
23. Wolski J., and Barry J., 1997, "Analysis of Multi-Fan Ventilation Duct Line: Resistance, Leakage, Fan Performance," Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Symposium, SME, Littleton, CO, USA, pp. 543 - 547.
24. Duckworth I.J. and Lowndes, I., 2001, "The Modelling of Fan and Duct Systems in Extended Headings," Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Krakow, Poland.

Otras Fuentes

- www.ecovida.pinar.cu
- www.portalsolar.com
- www.dforcesolar.com
- www.panelessolares.com.mx

A N E X O S



Fig. 1. Ventilador Extractor de mina

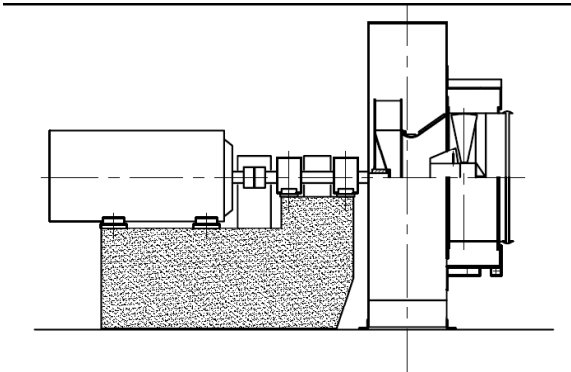


Fig. 2. Ventilador centrifugo.

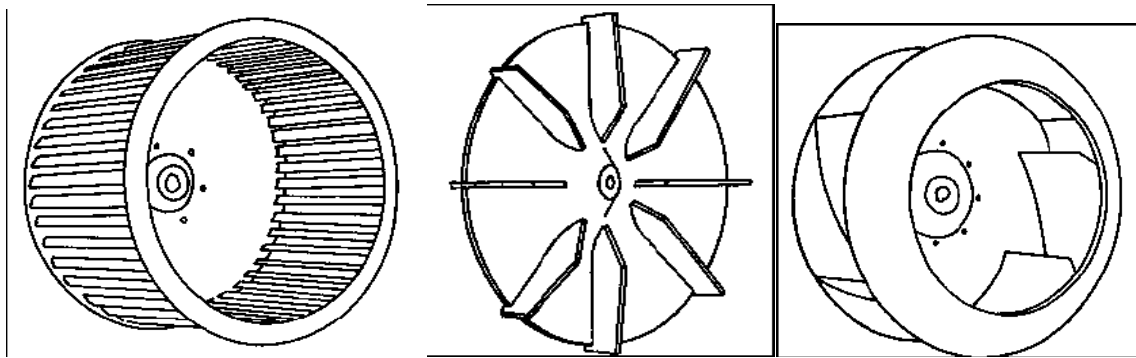


Fig. 3. Ventiladores centrifugos de álabes curvados hacia delante, radiales y atrás.

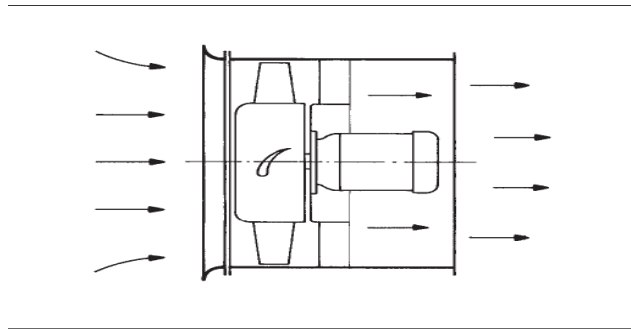


Fig. 4. Ventilador axial

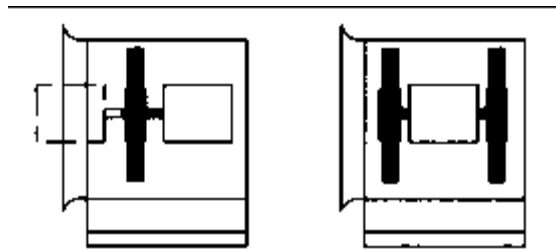


Fig. 5. Numero de etapas en un ventilador

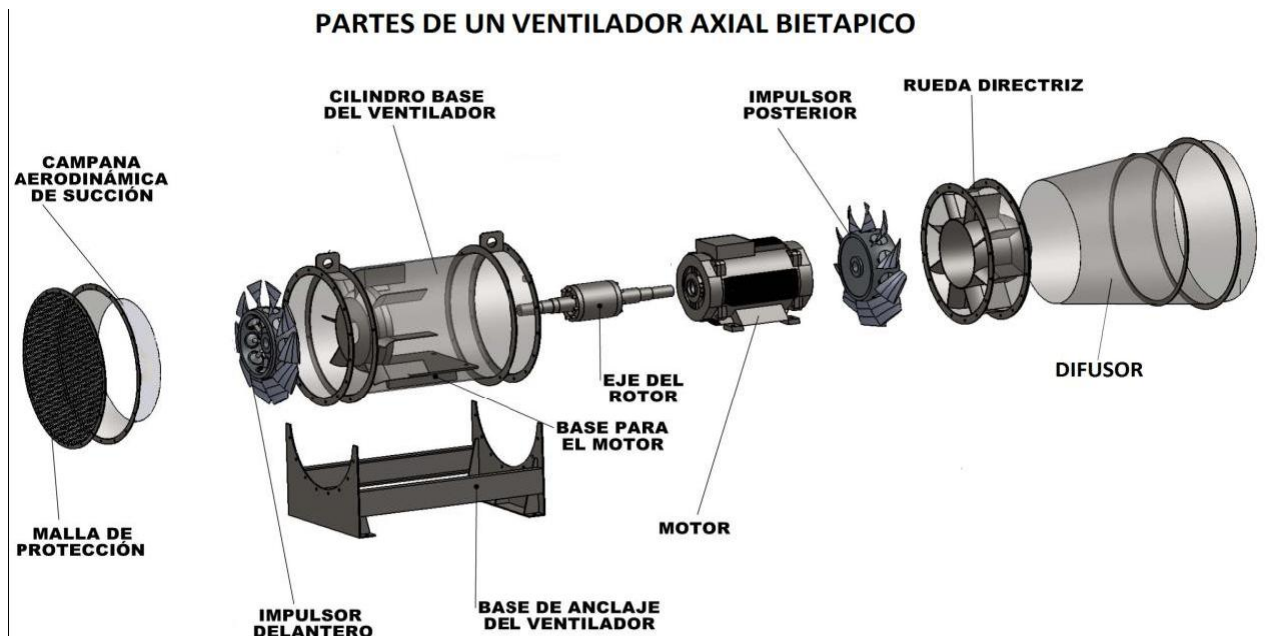


Fig. 6. Partes de un ventilador axial bietapico