



República de Cuba  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
Facultad de Geología - Minas  
Especialidad – Minas

# TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN MINAS

**Tema:** Propuesta de diseño de un sistema de drenaje para el yacimiento de arcillas "Moja Hueva".

**Autor:** Armando Piloto Piedra

**Tutor:** Dr. C. Roberto Lincoln Watson Quesada

Curso  
2014 – 2015  
Año 57 de la Revolución



República de Cuba  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
Facultad de Geología - Minas  
Especialidad – Minas

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MINAS**

**Tema:** Propuesta de diseño de un sistema de drenaje para el yacimiento de arcillas "Moja Hueva".

**Autor:** Armando Piloto Piedra \_\_\_\_\_

**Tutor:** Dr. C. Roberto Lincoln Watson Quesada \_\_\_\_\_

## PENSAMIENTO

*" Debemos ser generosos brindando al mundo el conocimiento que tenemos acerca de las fuerzas de la naturaleza, después de establecer resguardos contra el abuso".*

*Albert Einstein*

## DEDICATORIA

*Dedicada especialmente a mi madre Angélica Piedra Piedra, y a todas las personas que mantuvieron su fe en mí.*

## AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas que de una forma u otra a portaron su granito de arena en esta hermosa misión de hacerme ingeniero, en especial a mi madre por ser mi mayor inspiración, mi razón de ser y por estar cada momento de mi vida guiándome siempre por el camino correcto. A mis tutores la MsC. Ing. Berta Díaz Martínez y el Dr. Roberto L. Watson Zuesada, al colectivo de profesores que me formaron como profesional y en especial al Ing. Héctor Esparraquera Guilarte (profesor y amigo) el cual me brindo gran ayuda para la realización de este trabajo.*

*A mis compañeros y amigos por el apoyo incondicional y la firmeza que mantuvieron durante todo este tiempo, a todos muchas gracias.*

**RESUMEN**

La explotación del Yacimiento de Arcillas "Moja Hueva" presenta en los periodos de lluvias altos índices de pluviosidad lo cual manifiesta la dificultad de la explotación de los frentes de explotación, en este trabajo se atiende esta problemática.

Para dar solución al problema planteado se diseñó un sistema de canales teniendo en cuenta las pendientes del terreno, la permeabilidad del mismo y las características hidráulicas e hidrogeológicas de la región de ubicación de la explotación.

Se calcularon los volúmenes a extraer y el equipamiento necesario, así como el tiempo de ejecución de la obra.

Es de significación que los volúmenes movidos representen parte de la producción de la entidad.

**ABSTRACT**

The exploitation of the clay deposit "Moja Hueva" presents high pluvius rate (index) during the rainy season, which causes difficulties in the process of exploitation, this work is aimed to solve the above mentioned problem.

A system of draining canals was designed, taking in account the land slope, the permeability and the hydraulic and hydrogeological characteristics of the region in question.

The volume of material to be moved and the necessary mining equipment and the period of time to execute the work was calculated.

The volume of the material moved represents an important part in the production of the entity.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.1-Desvio de causas.....	14
1.2-Perforacion de pozos de bombeo exterior .....	15
1.3-Galería de drenaje .....	16
1.4-Métodos interiores a la explotación.....	18
1.4.1-Inclinación de las bermas y fondo de corta.....	18
1.4.2-Construcción de zanjas y cunetas .....	19
1.4.3-Zanjas con relleno drenante .....	19
1.4.4-Balsas o pozos colectores .....	19
1.4.5-Perforación de sondeos horizontales.....	20
1.4.6-Pozos o sondeos de bombeo .....	22
1.4.7-Inundaciones locales .....	23
1.4.8-Sondeos superficiales.....	24
CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL YACIMIENTO ARCILLA MOJA HUEVA .....	25
2.1-Introducción .....	25
2.2-Características geográficas de la región.....	28
2.3-Acceso .....	28
2.4-Relieve.....	28
2.5-Flora.....	28
2.6-Condiciones climáticas .....	28
2.7-Red hidrográfica.....	29
2.8-Geología del yacimiento Arcilla Moja Hueva.....	29
2.9-Rocas que componen el yacimiento .....	30
2.10-Tectónica .....	30
2.11-Características hidrogeológicas generales .....	30



---

Capitulo III: Cálculos para la realización del canal de drenaje .....	32
3.1-Propuesta de drenaje.....	32
3.2-Cálculo de esorrentía crítica.....	33
3.3-Cálculo del tiempo de concentración .....	33
3.4-Especificaciones técnicas de diseño del canal .....	34
3.5-Cálculo del área mínima del canal.....	34
3.6-Diseño de la sección transversal .....	34
3.7-Cálculo de los componentes de la sección trasversal.....	35
3.8-Cálculo del equipamiento durante la construcción del canal .....	37
3.9-Cálculo para la excavación – carga .....	39
3.10-Cálculo del transporte automotor para el traslado de mineral.....	41
3.2.1-cálculo económico.....	46
Capitulo IV: Seguridad Minera.....	47
4.1-Aspectos generales .....	47
4.2-Medidas de seguridad para la Mina .....	47
4.3-Medidas de seguridad para el trabajo con Retroexcavadora .....	48
4.4-Medidas de seguridad en los camiones.....	48
4.5-Obras de protección y medidas para evitar que los camiones se salgan de la vía .....	49
4.6-Medidas de seguridad específicas.....	50
4.7-Prevenciones para el caso de accidentes.....	51
4.8-Plan y liquidación de averías .....	51
4.9-Plan de simulacros.....	52
CONCLUSIÓN .....	53
RECOMENDACIÓN .....	54
Bibliografía .....	55
Anexos .....	57

---

## **INTRODUCCIÓN**

El yacimiento Moja Hueva se ubica en una cuenca hidrológica e hidrogeológica concreta y su explotación en la mayoría de los casos, se desarrolla por debajo de los niveles freáticos de la zona. Por ello, las explotaciones constituyen puntos de drenaje o de descarga de escorrentías superficiales y / o subterráneas y, en todos los casos, pueden llegar a alterar el funcionamiento hidrológico o hidrogeológico de la zona.

Teniendo en cuenta los Lineamientos del VI Congreso del Partido de abril del 2011 que plantean:

Deberá prestarse especial atención al aseguramiento de los programas de viviendas a nivel municipal, a partir de las materias primas existentes en cada lugar y las tecnologías disponibles para fabricar los materiales necesarios.

Satisfacer con la calidad requerida, por la industria de materiales de la construcción, con énfasis en la producción local de materiales, la demanda para la venta a la población con destino a la construcción, conservación y rehabilitación de viviendas.

Es de vital importancia que la extracción de arcilla como materia prima para la construcción de ladrillos y otros materiales utilizados en la construcción, que se extraen en el yacimiento Moja Hueva no se vea afectada por la presencia de las aguas pluviales en los frentes de explotación. Por esto se propone como **problema** fundamental del yacimiento la Necesidad de realizar un sistema de drenaje para el yacimiento de arcillas "Moja Hueva".

### **Objetivo General:**

Proponer un sistema de drenaje en el yacimiento de arcillas "Moja Hueva" para la evacuación de las aguas pluviales que se acumulan en los frentes de explotación.

### **Objeto de Estudio:**

Yacimiento de arcillas "Moja Hueva".

### **Campo de Acción:**

Sistema de drenaje.

**Objetivos específicos:**

1. Realizar el estudio del estado actual del tema en el mundo.
2. Realizar la caracterización hidro-geológica del área de estudio y del yacimiento.
3. Proyectar el sistema de drenaje y realizar una valoración económica para este proyecto.
4. Proponer las técnicas de seguridad, medidas de protección del trabajo y protección del medio ambiente.

**Hipótesis:**

Si se tiene en cuenta la caracterización hidro-geológica de la zona de estudio, se diseña la propuesta de drenaje y se realiza el cálculo y la valoración económica de los trabajos a realizar, se podrá presentar la propuesta de drenaje requerida para el yacimiento de arcillas "Moja Hueva".

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Los avances en el conocimiento científico y técnico acerca de la presencia y acción del agua en el suelo y subsuelo son espectaculares en las dos últimas décadas. A continuación teniendo en cuenta el criterio de Juan Herrera Herbert les he traído algunas citas de su libro "Introducción al Drenaje de Explotaciones Mineras".

Aunque los desarrollos de la Hidrología y de la Hidrogeología como Ciencias tienen algo más de un centenar de años, la inquietud humana sobre el origen y movimiento del agua se remonta a la Antigüedad clásica; prácticamente todas las civilizaciones conocidas han tenido pensadores que trataron de explicar el origen de los manantiales y de las aguas de los ríos. El intento de aprovechamiento del agua se puede afirmar que es tan antiguo casi como la propia humanidad.

1. El estudio de los problemas de drenaje de minas tiene dos aspectos. El primero es el de mantener condiciones adecuadas de trabajo tanto a cielo abierto como en subterráneo, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo de las aguas.

2. El segundo aspecto del drenaje en las minas es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrosfera (y litosfera). Esta gestión tiene normalmente los siguientes objetivos:

- minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas
- reaprovechar el máximo de agua utilizada en el proceso industrial
- eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor.

Para alcanzar estos objetivos, la gestión incluye la implantación y operación de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de cada mina.

Un sistema de drenaje tiene por objetivo proporcionar una recogida, transporte y vertido final de aguas de escorrentía superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas, garantizando el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la conservación de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores.

Pero, además, un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y, particularmente, durante los periodos de lluvias intensas.

Los métodos para controlar el drenaje superficial son bastante sencillos en su concepción. El control del drenaje de las aguas subsuperficiales no ha sido reconocido como necesidad hasta hace relativamente pocos años como un problema serio y potencialmente muy costoso económicamente.

Es importante remarcar el hecho de que para poder diseñar un sistema de drenaje adecuado y eficaz, debe disponerse de una investigación previa climatológica, hidrológica, geológica e hidrogeológica, que aporte la información necesaria sobre las características del terreno a drenar, así como sobre los volúmenes de agua que se prevé extraer y su distribución espacial y temporal. Este es un aspecto de gran importancia, cuyo incumplimiento suele ser la causa de que muchos sistemas de drenaje resulten ineficaces o insuficientes.

A nivel mundial varios autores han abordado sobre el tema dando diferentes puntos de vista pero a modo de resumen se puede conceptualizar que:

Drenaje es: La remoción por medios naturales o artificiales del exceso de agua acumulado en la superficie o a lo largo del perfil del suelo.

Un sistema de drenaje tiene por objetivo proporcionar una recogida, transporte y vertido final de aguas de escorrentía superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas, garantizando el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la conservación de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores. Pero, además, un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y, particularmente, durante los periodos de lluvias intensas.

Los métodos para controlar el drenaje superficial son bastante sencillos en su concepción. El control del drenaje de las aguas subsuperficiales no ha sido reconocido como necesidad hasta hace relativamente pocos años como un problema serio y potencialmente muy costoso económicamente.

Entre los sistemas a construir de forma periférica a la explotación, de forma que son diseñados y construidos para tener una vida útil larga y duradera, merecen destacarse tres sistemas:

- Desvío de cauces
- Perforación de pozos de bombeo exteriores
- Excavación de galerías de drenaje

### **1.1-Desvío de causes**

Una de las primeras medidas a adoptar consiste en el desvío de los cauces que transcurren próximos o sobre el área de la explotación y en la canalización de las aguas de escorrentía hasta su vertido en puntos alejados de la mina. Algunos ejemplos españoles son los de Aznalcollar, Puertollano, Almadén, etc.

Cuando existen ríos, lagos y pantanos en el área que pueden ser causa o al menos contribuir a la formación de aguas subterráneas, este término se comprobará mediante la adición de elementos traza químicos o colorantes en los previsible puntos de origen y posterior contraste con las concentraciones de las aguas colectadas en los sondeos de bombeo o interior de la mina.

Una de las primeras medidas a adoptar consiste en el desvío de los cauces que transcurren próximos o sobre el área de la explotación y en la canalización de las aguas de escorrentía hasta su vertido en puntos alejados de la mina. Cuando existen ríos, lagos y pantanos en el área que pueden ser causa o al menos contribuir a la formación de aguas subterráneas, este término se comprobará mediante la adición de elementos traza químicos o colorantes en los previsible puntos de origen y posterior contraste con las concentraciones de las aguas colectadas en los sondeos de bombeo o interior de la mina.

Generalmente, las obras de desvío y canalización de los cauces principales están constituidas por trincheras, zanjas o canales abiertos en superficie, estando revestidos o no según las condiciones de circulación. Cuando no es posible una canalización por gravedad puede recurrirse al bombeo de las aguas desde presas o zonas de embalse

hasta los canales perimetrales, o bien a los antiguos huecos de otras explotaciones.

Cuando no es posible una canalización por gravedad puede recurrirse al bombeo de las aguas desde presas o zonas de embalse hasta los canales perimetrales, o bien a los antiguos huecos de otras explotaciones.

### **1.2-Perforacion de pozos de bombeo exterior**

Los pozos perimetrales y los dispuestos dentro de la explotación han sido utilizados muy profusamente en múltiples proyectos mineros. Esta solución es viable cuando la permeabilidad es suficientemente alta y se basa en la perforación, alrededor del perímetro de la explotación, de una serie de pozos con una profundidad ligeramente superior a la de la explotación, para mantener el nivel freático por debajo del fondo de la explotación. Los ensayos de bombeo y de permeabilidad son un prerequisite para el diseño del pozo y de su sistema de bombeo.

Las principales ventajas radican en que el nivel freático sufre un abatimiento por debajo de los niveles de explotación o retroceso por detrás de los taludes y pisos de explotación, reduciendo los problemas de estabilidad, agua en los barrenos de la voladura, posibilidad de empezar a utilizar explosivos más económicos etc., lo que reduce enormemente los costes de explotación. Además ni los pozos ni la infraestructura de conducción de aguas bombeadas interfieren en las labores de explotación. Al contrario de los pozos de bombeo que se perforan interiores a la explotación, estos son permanentes y nunca se mueven de posición, no estando sometidos tampoco a los posibles daños derivados de las voladuras o del tráfico del transporte. En minas de carbón profundas y en explotaciones de contorno, se ha comprobado que las presiones del agua por debajo del fondo de explotación pueden provocar deformaciones y elevaciones del mismo. La utilización de pozos disipadores de presión, del tipo de los comúnmente usados para controlar la presión debajo de las presas, es muy efectiva.

Es habitual que los pozos verticales se perforen con el equipo disponible en la mina. La profundidad dependerá de la profundidad del acuífero y de las características de la roca.

Las profundidades alcanzadas por los sondeos de drenaje oscilan entre los 150 y 200 m, con diámetros que oscilan entre los 200 y los 800 mm, dependiendo de los caudales, características de las bombas, necesidad de filtros, etc., correspondiendo el menor diámetro a los casos más favorables y el mayor a los más desfavorables.

Entre las principales ventajas de esta solución están:

- El nivel freático sufre un abatimiento o retroceso por detrás de los taludes y pisos de explotación, reduciendo los problemas de estabilidad, agua en los barrenos de la voladura, etc.
- No interfieren a las labores de explotación como sucede con los pozos de bombeo interiores.
- Son permanentes y nunca se mueven de posición.
- No están sometidos a los posibles daños derivados de las voladuras o del tráfico del transporte.
- Su mayor coste de instalación en terrenos poco consolidados será frecuentemente compensado por los mayores caudales de bombeo y mayores radios de influencia del nivel freático deprimido.

### **1.3-Galería de drenaje**

Se trata de un sistema muy efectivo, pero de gran coste económico. Su utilización es viable tanto para el drenaje de cortas como para el caso de taludes de gran altura y en situaciones realmente críticas y problemáticas, en donde no funcionan otros tipos de sistemas de drenaje. Es una técnica poco frecuente en pequeñas minas, pero bastante extendida en grandes explotaciones mineras a cielo abierto con importantes problemas de agua.

Consiste en la apertura de labores de avance en galería en el interior del macizo que se desea drenar, normalmente con disposición paralela al



talud, por debajo de la posible superficie de la explotación y a bastante distancia de la superficie del mismo. Normalmente, se suelen practicar una serie de barrenos en abanico desde la propia galería de drenaje, en la corona de las galerías, con objeto de incrementar su efectividad al cortar los posibles niveles impermeables o acceder a las zonas de mayor permeabilidad. Se han llegado a realizar experiencias tendentes a intentar incrementar la efectividad de la galería de drenaje mediante la instalación de sistemas de vacío que mantenga la galería en una situación de presión negativa.

Sus principales ventajas radican en:

Gran capacidad drenante: su gran sección transversal permite una favorable conexión hidráulica con el medio saturado a drenar.

Son apropiadas para actuaciones diseñadas a largo plazo: el drenaje se produce por gravedad y sin necesidad de impulsión mecánica.

Menores servidumbres por desgaste y por labores de mantenimiento y reposición de componentes y equipos.

No interfieren las operaciones mineras en superficie, al estar construidas a gran profundidad y con bocas de entradas laterales.

La particularidad de su emplazamiento profundo hace que también presenten ventajas respecto a otros sistemas de drenaje en explotaciones mineras ubicadas en zonas de climatologías muy extremas.

Suelen ser muy eficaces en materiales con mayor permeabilidad en sentido vertical que en horizontal, como es el caso de los macizos rocosos con predominancia de diaclasado vertical.

Suelen ser igualmente muy efectivas si se construyen por debajo de superficies de inestabilidad y se complementan con la instalación de taladros desde la galería y hacia la dirección de la posible superficie de deslizamiento.

Por el contrario, también presenta algunos inconvenientes, entre los que podemos destacar:

- Menor eficacia en formaciones con permeabilidad horizontal superior a la vertical, requiriéndose la perforación de drenes verticales que faciliten y aumenten el drenaje vertical.
- Menor eficacia en formaciones heterogéneas y con frecuentes variaciones espaciales de permeabilidades, así como en macizos rocosos con una gran separación entre las discontinuidades.

En estos casos, deben instalarse también drenajes complementarios, cuyas direcciones deben ser lo más perpendiculares posibles a las de las discontinuidades existentes.

#### **1.4-Métodos interiores a la explotación**

Los sistemas de desagüe interiores se implantan cuando tanto las aguas de escorrentía superficial como las aguas subterráneas, no pueden ser interceptadas y controlables eficientemente por los sistemas exteriores, o cuando es necesario dirigir las aguas fuera de la explotación.

Los tipos de desagüe interior más comunes son:

- Inclinación de las bermas y el fondo de corta.
- Construcción de sistemas de zanjas y cunetas
- Construcción de zanjas con relleno drenante
- Construcción de balsas y pozos colectores
- Perforación de sondeos horizontales
- Perforación de pozos interiores de bombeo
- Inundaciones locales
- Sondeos superficiales

##### **1.4.1-Inclinación de las bermas y fondo de corta**

En aquellas minas de montaña o ladera con un desagüe natural, es frecuente dar al fondo de la explotación y a los pisos de las bermas una ligera pendiente del 1 – 2 % para conducir el agua a unos lugares apropiados y evitar que permanezca en la explotación. También en los otros tipos de explotación el diseño de bermas y fondos con una ligera pendiente puede favorecer la recogida de aguas para acumularla en el último banco o fondo de corta durante el periodo de lluvias y servir posteriormente como almacén para las aguas de riego.

#### **1.4.2-Construcción de zanjas y cunetas**

Como complemento y para canalizar las aguas y dirigir las en una dirección específica, puede instalarse un sistema de zanjas y colectores. Las zanjas interiores abiertas en la parte interior de las bermas a modo de cunetas, deberán impermeabilizarse con el fin de evitar la infiltración y, por tanto, la recarga de los macizos.

#### **1.4.3-Zanjas con relleno drenante**

En ocasiones las zanjas excavadas pueden rellenarse con materiales granulares drenantes y ser cubiertas para permitir la circulación de vehículos de transporte sobre ellas.

En las figuras adjuntas, se indica el procedimiento de colocación de una membrana porosa rodeando al material granular que sirve para evitar el cegamiento y la obturación de dichas zanjas por el material arrastrado por las aguas. Existen dos tipos principales de zanjas con relleno drenante:

**Zanjas de talud:** construidas siguiendo la línea de máxima pendiente del talud, son muy eficaces en los casos en los que se presentan estratos duros y blandos alternantes, de escaso espesor y dispuestos de forma paralela al talud.

**Zanjas horizontales:** construidas paralelas al talud y al pie del mismo. Suelen ser muy eficaces en el caso de estratos horizontales y de diferente permeabilidad, siempre y cuando las zanjas alcancen un estrato permeable.

Con frecuencia suele utilizarse los denominados drenes de cola de pescado, que consisten en la combinación de zanjas drenantes construidas según la línea de máxima pendiente y zanjas secundadas (en forma de espigas), emplazadas ligeramente inclinadas y convergentes en una espina central.

#### **1.4.4-Balsas o pozos colectores**

Teniendo en cuenta que las aguas de escorrentía arrastran materiales y, muy especialmente barro procedente de la mezcla con agua del polvo producido en la explotación, se deben prever la recogida de todas las aguas que circulan en las superficies en unas balsas colectoras excavadas

en distintos niveles de la explotación. Sus dimensiones dependerán de la capacidad deseada y tamaño del equipo de bombeo.

Es práctica común en muchas minas aprovechar la apertura de un nuevo banco, por debajo del último en operación, como balsa o foso colector.

En lo que respecta al equipo de bombeo, se tiene la precaución de situarlo sobre la parte más profunda con el fin de evitar, en lo posible, el bombeo de los lodos y materiales de suspensión.

Los equipos de bombeo más empleados son las bombas sumergibles y las centrífugas. Estas últimas se montan sobre plataformas flotantes, o en una balsa en la orilla. Las tuberías suelen ser flexibles o mangueras de acoplamiento rápido, pues la mayoría de las instalaciones tienen un carácter temporal.

En explotaciones profundas, el desagüe precisa de varias etapas de bombeo por lo que a distintas cotas se construye estaciones intermedias.

Cuando el agua lleva partículas y lodos en suspensión o presenta cierto grado de acidez, se dispone de balsas de decantación en las que mediante floculantes y neutralizadores se procede a la depuración de las aguas para su posterior vertido o cauces públicos o utilización industrial de la propia mina

#### **1.4.5-Perforación de sondeos horizontales**

El método de los barrenos horizontales es ampliamente utilizado en minería. Aunque se le aplique el calificativo de horizontales, lo usual es que tengan de 2 a 5° de inclinación en dirección a la boca, con el fin de facilitar la descarga del agua por gravedad. Los diámetros más frecuentes oscilan entre los 6 y 15 cm, llegando en ocasiones a ser muy superiores. Con respecto a la longitud, es fácil la instalación de drenes horizontales de entre 10 y 15 m.

Longitudes mayores no suelen ser El método de los barrenos horizontales es ampliamente utilizado en minería. Aunque se le aplique el calificativo de horizontales, lo usual es que tengan de 2 a 5° de inclinación en dirección a la boca, con el fin de facilitar la descarga del agua por gravedad. Los diámetros más frecuentes oscilan entre los 6 y 15 cm,

llegando en ocasiones a ser muy superiores. Con respecto a la longitud, es fácil la instalación de drenes horizontales de entre 10 y 15 m.

Longitudes mayores no suelen ser requeridas.

Es un sistema flexible, adaptable en función de las litologías y estructuras encontradas.

Los barrenos perforados en rocas blandas y fracturadas suelen revestirse con tubería ranurada de PVC o metálicas para prevenir el colapso interior del dren. En los últimos metros, conviene que la tubería no presente dichas ranuras para dar mayor resistencia a la tubería y con el fin de canalizar el agua hasta un sistema colector situado a pie de banco que evite la recarga del talud. Para reducir los costes de instalación e infraestructura, se pueden perforar desde un mismo emplazamiento de 4 a 6 drenes en abanico.

Tanto la profundidad como el espaciamiento de los barrenos dependen de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona. Como normas generales puede decirse que para horizontes o capas freáticas de 30-60 m. de altura, los barrenos practicados en el pie del talud tienen una profundidad equivalente a la altura del talud y el espaciamiento varía de 6 a 15 m.

Para niveles freáticos con una altura superior a los 60 m, además de la fila de barrenos a pie del banco, se perforará otra serie a unos 30 m.

La instalación de estos drenes requiere extremar el cuidado. Una perforación muy rápida puede provocar importantes desviaciones hacia arriba del drén, lo que reducirá su eficiencia. Por el contrario, una perforación muy lenta, puede producir una desviación hacia abajo y por debajo de la horizontal. Este fallo no es tan serio, pero el drén solamente funcionará en condiciones de presión.

Durante una operación a largo plazo, el drén debe ser limpiado de vez en cuando. La cantidad de agua que sale del drén no es un indicador adecuado acerca de su efectividad, debido a la facilidad de obstrucción. Por ello, deben tenerse instalados piezómetros para monitorizar las variaciones de las presiones piezométricas.

Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Facilidad, sencillez y rapidez de instalación si se dispone de perforadoras adecuadas.
- Son fijos y sin ninguna parte móvil.
- Produce el drenaje por gravedad y no requiere energía.
- Es un sistema flexible y fácil de adaptación a las condiciones geológicas que vayan apareciendo.
- Tiene una gran duración y es más barato que otros sistemas.
- Requieren escaso mantenimiento.
- Los principales inconvenientes son:
- Presentan un área de influencia y de efectividad relativamente limitada y, en cualquier caso, siempre menor que la de otros sistemas de drenaje profundo.
- Su perforación debe ser posterior a la de la construcción del talud, por lo que no pueden aplicarse con carácter anticipativo en el espacio y en el tiempo a la finalización de los taludes.
- La intensidad de drenaje es limitada.
- Son escasamente eficaces en taludes de gran altura, resultando totalmente antieconómicos en taludes con alturas superiores a los 100 m, en cuyos casos deben instalarse desde bermas intermedias y en combinación con otros métodos de drenaje profundo.

#### **1.4.6-Pozos o sondeos de bombeo**

Estos pozos son similares a los descritos en el epígrafe de desagüe exterior, con la única diferencia de su localización dentro de los límites de explotación.

Se perforan desde la superficie superior del talud o desde el mismo talud y extraen el agua mediante bombeo con bombas sumergibles emplazadas en la parte inferior de los pozos y consiguen el abatimiento del nivel freático en las proximidades del talud.

Este método reduce las profundidades de los pozos y consiguientemente las alturas de elevación así como los costes de instalación y energía. Por el

contrario, las desventajas que presenta son que el nivel freático no puede ser deprimido con intensidad por detrás de los taludes existentes.

Las bombas y tuberías están expuestas a posibles daños originados por los equipos de operación y proyecciones de las voladuras, y su instalación pueden interferir a las operaciones mineras obligando a cambiar frecuentemente su ubicación, además de lo señalado, presenta como principales ventajas las siguientes:

Puede instalarse con anterioridad a la construcción del talud y garantiza su seguridad durante toda la fase constructiva.

Pueden utilizarse como pozos de drenaje verticales los mismos sondeos de investigación que se hayan construido en la zona, siempre y cuando dispongan del diámetro de entubación suficiente.

Su área o zona de influencia y efectividad es mucho más amplia que la que se consigue con los drenes horizontales, pudiendo conseguirse con dicho sistema, y en el caso de terrenos con permeabilidades altas, el drenaje completo del talud en cuestión.

Otros inconvenientes del sistema son:

Presentan una longitud y unos diámetros constructivos importantes (entre 100 y 300 m, y entre 300 y 500 mm, respectivamente).

Requieren el adecuado mantenimiento continuado.

Sus características constructivas, sus equipos de bombeo y el consumo de energía que necesita para la extracción del agua, hace que su coste de instalación y de utilización sea mucho mayor que el de los drenes horizontales.

#### **1.4.7-Inundaciones locales**

Las aguas que producen inundaciones locales encharcando los fondos de corta y pistas de acceso son origen de numerosos problemas en los cables de alimentación, motores eléctricos de los volquetes, abrasión en neumáticos y trenes de rodaje, etc.

En estas circunstancias, debe disponerse de bombas portátiles accionadas por un motor de gasolina o diésel y tuberías flexibles para bombear esos pequeños volúmenes de agua hasta las zanjas o balsas colectoras. La principal ventaja de estos equipos es que son portátiles y puede instalarse y poner en operación rápidamente.

#### **1.4.8-Sondeos superficiales**

Estos sondeos son normalmente utilizados para facilitar la perforación y voladura de una zona o el drenaje de un banco o área puntual que va a ser excavado. Estos pozos se realizan con los propios equipos empleados en la perforación de las voladuras y suelen tener unas profundidades equivalentes a uno o dos bancos.

Dado que su vida está limitada por el tiempo que dura las voladuras o la excavación de la zona, no es frecuente su entubación.

El ciclo de desagüe comienza descendiendo la bomba al fondo del barreno para lo cual se dispone de una polea en el extremo de un brazo. Una vez finalizado el desagüe, el operador percibe una señal, procediendo seguidamente a la elevación del conjunto.



## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL YACIMIENTO ARCILLA MOJA HUEVA

### 2.1-Introducción

El yacimiento Arcilla Moja Hueva está ubicado entre las localidades de consolación del Sur -Alonso de Rojas. Provincia de Pinar del Río, entre los kilómetros 14 y 15 y al Sur de la carretera consolación del Sur- Alonso de Rojas. El área ocupa 180 ha, el yacimiento está bordeado por el Este y Oeste por terraplenes y otros caminos vecinales que garantizan buena accesibilidad hasta el área de los trabajos.



Figura 2.1. (Mapa geológico del yacimiento Moja Hueva) escala 1:250000.

Este yacimiento está dividido en tres parte, en función de la etapa de desarrollo geológico, denominadas: Zona 1 (1B), etapa de Exploración Orientativa y Detallada, con red de perforación de aproximadamente 50 x 50 m, está ubicada en la parte Noroeste del yacimiento, presenta un área concesionada para la explotación, que actualmente está siendo explotada. Zona 2 (1C2), etapa de Búsqueda, red de perforación de 200 x 200 m, se ubica en la parte Suroeste del yacimiento y no está concesionada. Zona 3 (2C2), etapa de Búsqueda, red de

perforación de 200 x 200 m, se encuentra ubicada en la parte Noreste del yacimiento, actualmente no está concesionada, en ella se observan algunas áreas donde en años anteriores a 1985, se realizó la explotación.

El yacimiento Moja Hueva, comprende, aproximadamente 2.09 km<sup>2</sup> y se divide en 3 zonas según el grado de estudio.

La Zona 1 (1B), que es el área de los trabajos, posee una extensión aproximada de 0.7 km<sup>2</sup>, las coordenadas límites son las siguientes (según los límites dados en este trabajo): Ver gráfico 2.1.

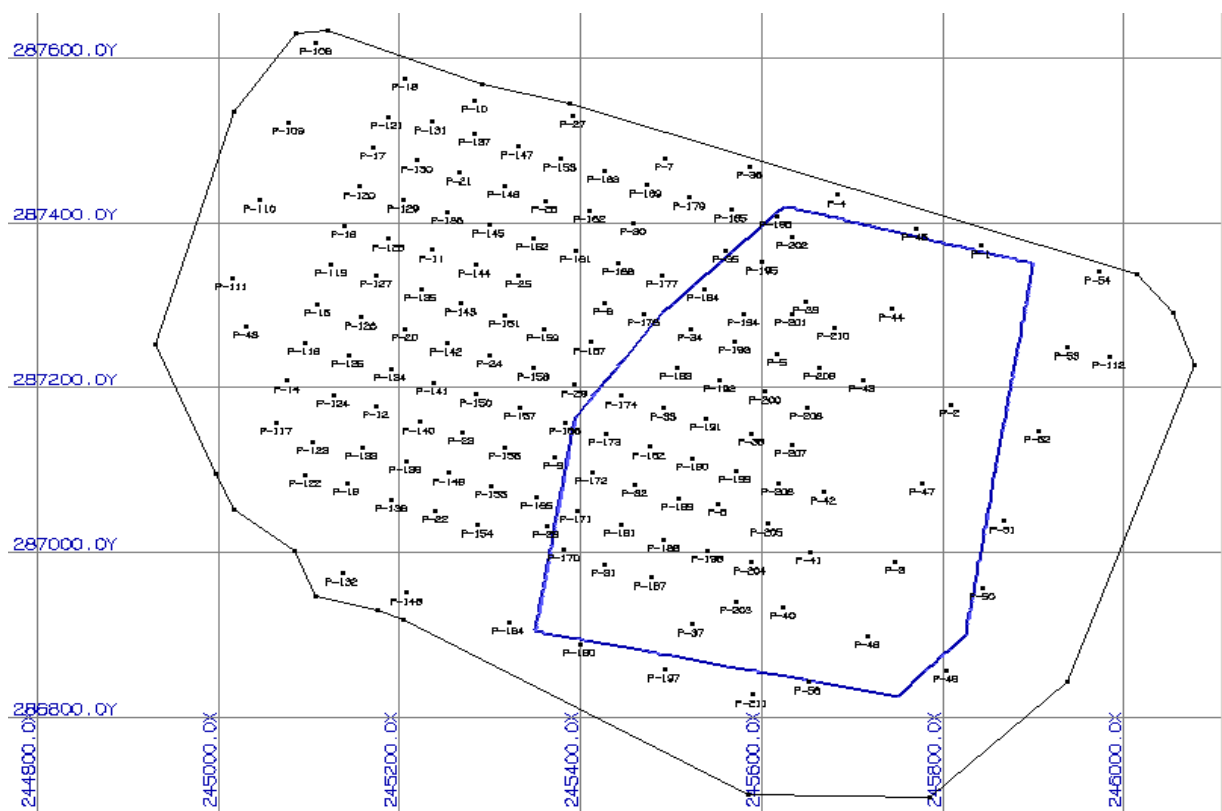


Gráfico 2.1 Vista en planta del yacimiento Arcilla Moja Hueva.

Tabla 2.1. Coordenadas de los límites de la zona (1B).

Zona 1 (1B)		
Vértices	Norte	Este
1	287290	245490

2	287420	245625
3	287350	245900
4	286900	245825
5	286825	245750
6	286904	245350
7	287164	245394
8	287290	245490
9	287290	245490
1	287290	245490

La concesión minera de explotación otorgada, posee una extensión aproximada de 2.3 ha, se encuentra limitada por las siguientes coordenadas nacionales:

Tabla 2.2. Coordenadas de los limites.

<b>Vértices</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
1	287290	245490
2	287420	245625
3	287350	245900
4	286900	245825
5	286825	245750
6	286904	245350
7	287164	245394
8	287290	245490
9	287290	245490
1	287290	245490

## **2.2-Características geográficas de la región**

El yacimiento Arcilla Moja Hueva está ubicado entre las localidades de Consolación del Sur y Alonso de Rojas, Provincia de Pinar del Río, entre los kilómetros 14 y 15 y al Sur de la carretera Consolación del Sur - Alonso de Rojas. El yacimiento está bordeado por el Este y Oeste por terraplenes y otros caminos vecinales que garantizan buena accesibilidad hasta el área de los trabajos.

## **2.3-Acceso**

El área posee óptimas condiciones de acceso. La principal vía de comunicación es la carretera Consolación del Sur- Alonso de Rojas, que entronca al Noroeste con la Carretera Central. Además el área del yacimiento es bordeado por el Este y Oeste por dos terraplenes y existen otros caminos vecinales.

## **2.4-Relieve**

El yacimiento "Moja Hueva", pertenece a la llanura cársica meridional de Pinar del Río, en el Atlas de Cuba 1978, ubicándose en una llanura marina deltaica diseccionada con embudos cársicos, sobre todo, en el extremo Norte. El relieve del yacimiento es llano, las capas yacen horizontalmente. En la región se observan colinas de denudación de relieve suave, característico de la zona Sur de Pinar del Río, estas elevaciones no sobrepasan los 70 m de altura y están separadas por pequeñas depresiones con cotas de 20 m. Actualmente el yacimiento presenta un relieve caracterizado por la presencia de oquedades producto a la explotación, las mismas se encuentran cubiertas de agua, producto, fundamentalmente, a las precipitaciones atmosféricas.

## **2.5-Flora**

La flora se relaciona con el relieve y el suelo, siendo más tupida en los lugares más bajos, se corresponde con frutales, palmas, aunque prevalece el marabú.

## **2.6-Condiciones climáticas**

El clima de la zona es tropical, similar al resto de la provincia Pinar del Río y del país, predominan dos períodos, uno de lluvia (mayo – octubre) con media de 1200 mm y otro de seca (noviembre – abril) con media de 350 mm, aunque los meses de Febrero, Marzo y Abril son lluviosos pero moderados.

Las temperaturas experimentan pocas variaciones, la media anual oscila entre 25° – 28° C, siendo la mínima en Enero (lluvioso) de 21 - 22° C y en Julio (verano) las más altas, 27 - 28° C.

La dirección predominante de los vientos es hacia el Norte y Nordeste, con velocidad media de hasta 18 km/h. La humedad relativa es de aproximadamente 80 %.

### **2.7-Red hidrográfica**

La red hidrográfica en la zona del yacimiento de arcillas "Moja Hueva" es pobre, se compone fundamentalmente del río Santa Clara o Arroyo Moja Hueva, que aunque es permanente tiene poco caudal y atraviesa la zona investigada por su extremo Este, en dirección cercana de Norte a Sur. Este río va a servir de colector de todas las aguas que escurren por el área del yacimiento en épocas de lluvias por pequeños arroyuelos, haciéndolo de forma rápida, actualmente se acumula agua en aquellas áreas donde son muy bajos los niveles o donde la diferencia de pendientes es muy pequeña, lo cual dificulta en gran medida la explotación del yacimiento, el escurrimiento de la zona va hacia el Río Santa Clara y hacia el Sur del área. El río Santa Clara vierte sus aguas aproximadamente 1.8 Km al Sur del yacimiento, hacia el Río Hondo que tiene una dirección Noroeste – Sureste y es de mayor caudal.

### **2.8-Geología del yacimiento Arcilla Moja Hueva**

En este yacimiento se aprecian o se diferencian bien, dos horizontes, uno superior y otro inferior. Como horizonte inferior, señalan a las rocas madres o rocas subyacentes, representadas por las rocas presentes más antiguas, agrupadas bajo la formación Paso Real que comprende el rango estratigráfico Mioceno Inferior y Medio, y se componen de conglomerados, calcarenitas con fauna, calizas margosas. Los conglomerados constituyen un horizonte en la secuencia de las calcarenitas. Estos depósitos fueron identificados durante la perforación de los pozos N o. 133 y 173.

Como horizonte superior, identificaron al más prospectivo, formado por arcillas abigarradas que presentan colores, pardos rojizos y pardos oscuros, por elevaciones del contenido de óxido e hidróxido de hierro. Esta capa no es homogénea, sino que contiene arcillas arenosas y arenas arcillosas, en forma

de pequeños lentes de distribución irregular. Estos sedimentos son aluviales de edad Holoceno producto de la redeposición de la corteza de intemperismo, la cual existió desde el Pleistoceno hasta el Holoceno. Los ríos viajan desde el Norte hacia el Sur y al atravesar erosionaron las rocas de las Formaciones Paso Real, San Cayetano y Ensenada Grande, arrastrando, transportando y redepositando a estos sedimentos aluviales.

### **2.9-Rocas que componen el yacimiento**

Las rocas encajantes del yacimiento de arcillas "Moja Hueva" se identifican con las rocas de la Formación Paso Real, se representan por calizas organógenas de textura masiva, pero porosa, con estructura microcristalina, microorganógena, relíctica y recristalizada, la cual en su composición presenta los siguientes porcentajes: calcita 93 - 95 %, arcilla 2 - 5 %, cuarzo detrítico 1 - 3 %, limonita (óxido de hierro) de 1 - 2 %, plagioclasa menor 1 %, mica moscovita menor 1 %. Además se pueden considerar como rocas encajantes del yacimiento los sedimentos arenosos, arcillo – arenosos, que se presentan fundamentalmente bajo las capas útiles en profundidad, pero que en muchas ocasiones se presentan dentro de rocas productivas en forma de intercalaciones estériles o rocas no condicionadas, con potencias de hasta 2.0 m, teniendo la peculiaridad de ser arenas y arenas – arcillosas de granos medios a gruesos, con colores generalmente abigarrados (rojizos a amarillentos grisáceos) con la presencia de abundantes gravas de cuarzo hasta de 1.0 cm de diámetro.

### **2.10-Tectónica**

En el Informe de la Exploración Orientativa y Detallada Arcilla Moja Hueva, de 1985, sobre la tectónica plantean, que el yacimiento "Arcilla Moja Hueva" se encuentra ubicado en la zona estructuro - facial San Diego de Los Baños, esta región se encuentra al Sur de la falla Pinar, la cual contiene la cuenca de Los Palacios, que se extiende a lo largo del pie de monte de la cordillera Guaniguanico y su eje es casi paralelo a la Falla Pinar.

### **2.11-Características hidrogeológicas generales**

Según los estudios realizados durante la exploración orientativa y detallada en el área de estudio, pudieron determinar que solamente va a existir un solo

horizonte (Cuaternario) distribuido por toda la zona, que contiene agua, y va a ser sin presión. Este horizonte tiene poca acuosidad producto a la arcillosidad de su superficie, con predominio en toda la zona, por lo que va a existir en el yacimiento la acumulación de las aguas atmosféricas en la superficie que son las que van a alimentar dicho horizonte. Además, la baja permeabilidad de estas rocas impide también la circulación del agua. El coeficiente de filtración obtenido en esta zona, realizada mediante bombeos, oscila desde 0.06 m/día hasta 0.48 m/día, las rocas acuíferas en este horizonte son las arenas y las arenas arcillosas, estas no se encuentran continuas en todo el yacimiento, sino que se encuentran dispersas, es decir su distribución es local. El gasto (Q) obtenido en la zona oscila desde 0.025 hasta 0.20 l/seg, los niveles varían en todo el área, los más altos van a estar en la parte Noroeste, mientras que los más bajos se encuentran dispersos por toda el área.



### **CAPÍTULO III: CÁLCULOS PARA LA REALIZACIÓN DEL CANAL DE DRENAJE**

El yacimiento Moja Hueva se encuentra ubicado en la sub-región, llanura Sur Pinar del Río, estando determinada por sus características litológicas y por el régimen de precipitaciones, así como una red hidrográfica pobre, solo un río de carácter "Río Santa Clara", aunque es permanente tiene poco caudal, este río sirve de colector de todas las aguas que ocurren en el yacimiento; vierte sus aguas aproximadamente a 1,8 km al Sur del yacimiento hacia el río Hondo que tiene una dirección NO – SE y es de mayor caudal. Los niveles mínimos y máximos observados en el punto de mayor importancia de la red hidrográfica (Río Santa Clara) se comportan de la siguiente manera:

Como mínima se señala la cota absoluta de 10.43 m.

Como máxima la cota absoluta de 18.00 m y se mantiene con niveles promedios de 12,50 m.

Las extracciones mineras que se han realizado han demostrado la existencia de agua, en periodos de lluvia se hace más evidentes. Ver Foto N° .2.1.

#### **3.1-Propuesta de drenaje**

Existen maneras posibles para solucionar el desagüe del yacimiento, algunas de ellas pudieran ser:

- Desagüe natural aprovechando los canales naturales que se encargan de evacuar las aguas del escurrimiento superficial en épocas de lluvia o napa freática causada crecida del río.
- Realizar la extracción de la materia prima útil en retroceso respecto al río y creando una pendiente favorable en las franjas en explotación para que las aguas drenen hacia el río.
- Utilización de bombas de succión.
- Nuestra zona de trabajo comprende extracciones para 5 años de minería, por lo que para este periodo un el drenaje de las aguas se garantiza con una minería en retroceso respecto al río y una línea de canal o canales superficiales que garanticen retirar el aguas acumulada a zonas definidas.



## Dimensionamiento de los canales

El dimensionamiento de los canales se hace mediante la aplicación de fórmulas convencionales de flujo a superficie libre, teniendo en cuenta los aumentos de caudal en la dirección aguas abajo, las pendientes de los tramos y los remansos que se generan con los cambios de pendiente y con la localización de estructuras de caída, o de cruce con obras civiles, por ejemplo con vías o con otros canales.

Un canal debe ser capaz de encauzar las aguas vertidas en él, originadas de la máxima esorrentía que pueda ocurrir en el área de impluvio, en un tiempo determinado, esorrentía crítica (Suarez de Castro, 1979).

### 3.2-Cálculo de esorrentía crítica

$$Q_{esc} = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} = 1.63 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$Q_{esc}$  - esorrentía crítica ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )

C - Coeficiente de esorrentía; 0.45

I - Intensidad crítica de las precipitaciones ( $\text{mm}/\text{hr}$ ); 0.9

A - Área de impluvio (hectáreas); 1444.61

### 3.3-Cálculo del tiempo de concentración

Entiéndase por tiempo de concentración, según Suarez de castro (1979), como el tiempo que ocupa una gota de agua en moverse de la parte más lejana de la vertiente al desagüe.

$$T_c = \frac{L}{V_{agua}} = 393 \text{ h} = 9 \text{ días}$$

$T_c$  - Tiempo de concentración (h)

L - Distancia más lejana aportante al canal de desviación o cause principal (m);  
177

V - Velocidad del agua ( $\text{m}/\text{s}$ ); 0.9

### 3.4-Especificaciones técnicas de diseño del canal

Un canal de desviación debe de contener una escorrentía crítica y, según el terreno conducir el caudal a una velocidad menor que la máxima permitida para que la estructura del canal no se socave. Obtenida la escorrentía mínima y máxima velocidad permitida, se determina el área mínima que deberá poseer la sección transversal a partir de la cual podrá cumplir con las características anteriormente señaladas.

Máxima velocidad del agua

Depende de la naturaleza del material en el cual se construye el canal. Para un suelo con las características arcillosas similar al del yacimiento Moja Hueva la velocidad media oscila en 1.2 - 1.5 m/s.

### 3.5-Cálculo del área mínima del canal

$$A_{\min} = \frac{Q_{esc}}{V_{\max}} = 1.4 \text{ m}^2$$

$V_{\text{agua}}$  - Máxima velocidad permitida (m/s); 1.2

$Q_{esc}$  - Escorrentía crítica (m<sup>3</sup>/seg); 1.63

### 3.6-Diseño de la sección transversal

Una vez conocida las especificaciones ya calculadas se debe de encontrar aquella sección que sea capaz de trasladar de manera segura el caudal para el cual se diseña. Ver figura 3.1.

### 3.7-Cálculo de los componentes de la sección transversal

$A_c$  (Superior al área min). - Area de la sección transversal del canal (Se recomienda como primera iteración el área mínima de diseño ( $A_{min}$ ) o una levemente superior y aumentar en cada iteración entre 5 - 10%, hasta encontrar el diseño adecuado.

b - Base canal (Valor permitido normalmente igual a 0.2 m).

$Z_{inf}$  y  $Z_{sup}$  - Talud inferior. Entiéndase taludes la inclinación que poseen las paredes laterales del canal y las cuales se expresan en forma de proporción, donde  $1 : Z = 1 : (Y/H)$  se representa de la siguiente manera en la figura 3.1.

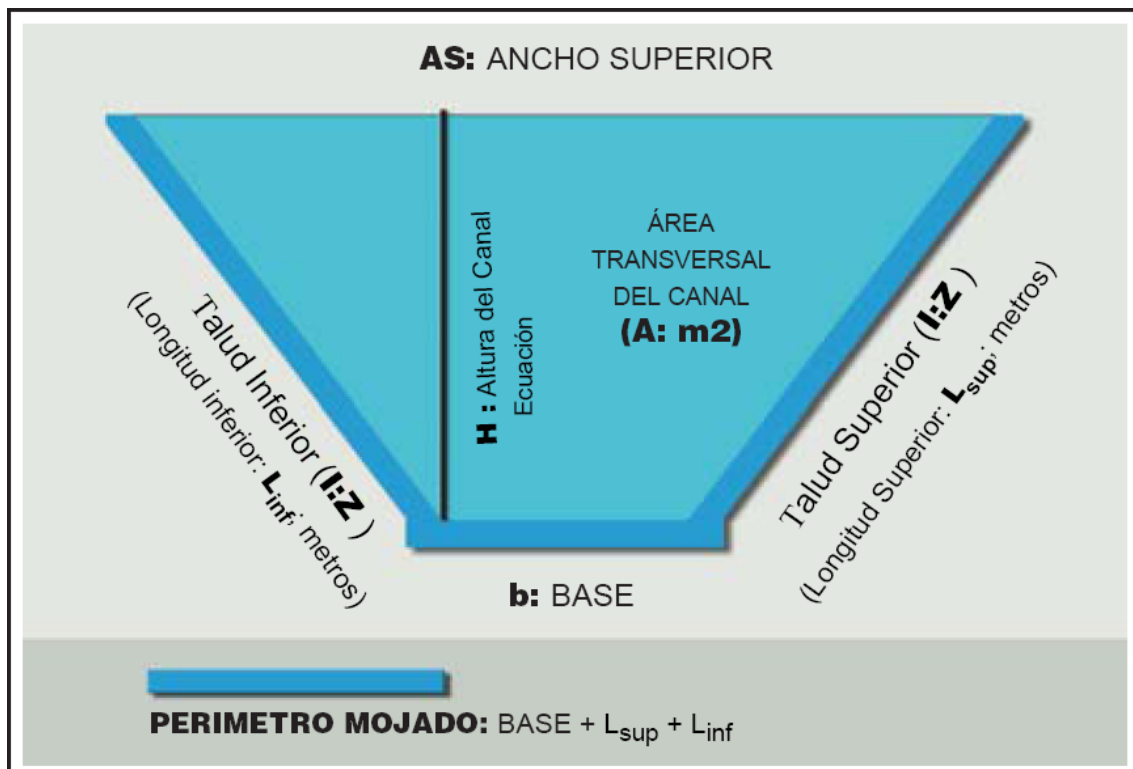


Figura 3.1. Sección transversal del canal.

**Determinación de la altura de sección transversal del canal**

$$H = \frac{-2b + \sqrt{4b^2 + 4(Z_{\text{inf}} + 8Z_{\text{sup}})(2A_c)}}{2(Z_{\text{inf}} + Z_{\text{sup}})}$$

b - Base; 1 m

$Z_{\text{inf}}$ ,  $Z_{\text{sup}}$  - Talud inferior y superior, respectivamente; 2 m

$A_c$  – Área de la sección transversal del canal; 1.4 m<sup>2</sup>

**Cálculo del ancho superior de la sección transversal del canal de desviación**

$$a_s = b + H \times Z_{\text{inf}} + H \times Z_{\text{sup}} = 4 \text{ m}$$

$a_s$  - ancho superior

**Cálculo de longitud de talud inferior**

$$L_{\text{inf}} = \sqrt{H^2 + (H \times Z_{\text{inf}})^2} = 2 \text{ m}$$

**Cálculo de longitud de talud superior**

$$L_{\text{sup}} = \sqrt{H^2 + (H \times Z_{\text{sup}})^2} = 2 \text{ m}$$

**Cálculo de área de sección transversal**

$$A_c = (b + a_s) \times \frac{H}{2} = 2 \text{ m}^2$$

**Cálculo del radio hidráulico para una sección trapezoidal**

$$r = \frac{A_c}{(b + L_{\text{sup}} + L_{\text{inf}})} = 0.4$$

**Cálculo del caudal según Manning (Suárez de Castro 1979; López et al, 1995)**

$$Q_c = \frac{1}{n} A r^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = 46.16 \text{ m/seg}$$

Donde:

$V_c$  - Velocidad media del agua en el canal (m/seg)

$Q_c$  - Caudal del canal en (m<sup>3</sup>/seg)

$n$  - Coeficiente de fricción

$r$  - Radio hidráulico

$s$  - Pendiente del canal

$A$  - Área del canal

### **Cálculo de la velocidad de un canal según Mannig**

$$V_c = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = 32 \text{ m/seg}$$

Para la realización del canal es necesario extraer 7871,1 T de material, que en este caso es material útil el cual será trasladado al depósito de mineral.

Para estas operaciones se cuenta con los siguientes equipos.

Tabla 3.1 Equipamiento utilizado para el laboreo del canal.

Equipos	Cantidad
Retroexcavadora Liebherr R984	1
Camión Daewoo de 27 t	2

### **3.8-Cálculo del equipamiento durante la construcción del canal**

Para determinar el volumen de material a laborear se utilizó el programa *GEMCON*.

Tabla 3.2 Volumen del material a laborear

Material	Volumen(m <sup>3</sup> )
Arcilla Plástica	4696,320
Arcilla	2865,561
Desgrasante	307,590
Arena	1,615
Capa Vegetal	
Total	7871,086

Tabla 3.3 Volumen de escombros

Material	Volumen(m <sup>3</sup> )
Roca	233,644
Total	233,644

**Volumen total a extraer**

$$V_{\text{total}} = V_{ml} + V_e$$

$$V_{\text{total}} = 7871.086 + 233.644$$

$$V_{\text{total}} = 8\,104,73 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 12\,157,095 \text{ t}$$

### 3.9-Cálculo para la excavación – carga

Se empleara la retroexcavadora Liebherr R984 para la operación de carga de los camiones.

#### Productividad horaria de la excavadora

$$Q_{exc} = \frac{3600 * V_c * D * K_{ll} * K_u * K_{up} * \gamma}{T_c * K_e}$$

$$Q_{exc} = \frac{3600 * 4 * 0,84 * 0,95 * 0,83 * 1 * 1,5}{45 * 1,2}$$

$$Q_{exc} = 264,94 \text{ t/h}$$

Dónde:

$K_{ll} = 0,95$  coeficiente de llenado

$V_c = 4 \text{ m}^3$  capacidad del cubo de la excavadora

$D = 0,84$  disponibilidad del equipamiento

$\gamma = 1,5 \text{ m}^3/\text{t}$  masa volumétrica del mineral seco

$K_e = 1,2$  coeficiente de esponjamiento

$T_c = 45 \text{ s}$  duración del ciclo de trabajo

$K_{up} = 1$  coeficiente de utilización del parque

$K_u = 0,83$  aprovechamiento de la jornada laboral

#### Productividad por turno

$$Q_t = 8 * Q_{exc}$$

$$Q_t = 8 * 264,94$$

$$Q_t = 2 119,52 \text{ t/turno}$$

#### Productividad por día

$$Q_{día} = Q_t * N_t$$

$$Q_{día} = 2 119,52 * 1$$

$$Q_{día} = 2 119,52 \text{ t/día}$$

### Tiempo de laboreo del canal

$$T_{\text{Laboreo}} = \frac{V_l}{Q_{\text{exc}}}$$

$$T_{\text{Laboreo}} = \frac{12\,157,095}{2\,119,52}$$

$$T_{\text{Laboreo}} = 6 \text{ días}$$

### Capacidad real volumétrica del cubo

$$Q_{\text{rv exc}} = V_c * K_{ll}$$

$$Q_{\text{rv exc}} = 4 * 0.95$$

$$Q_{\text{rv exc}} = 3.8 \text{ m}^3$$

### Densidad del material suelto o esponjado

$$\gamma_s = \frac{Y}{K_e}$$

$$\gamma_s = \frac{1.5}{1.2}$$

$$\gamma_s = 1.25 \text{ m}^3/\text{t}$$

### Capacidad real de carga del cubo

$$Q_{\text{rc exc}} = Q_{\text{rv exc}} * \gamma_s$$

$$Q_{\text{rc exc}} = 3.8 * 1.25$$

$$Q_{\text{rc exc}} = 4.75 \text{ t}$$

### Cantidad de cubos por camión (masa)

$$N_{\text{cm}} = \frac{q_{\text{cc}}}{Q_{\text{rc exc}}} = \frac{27}{4.75}$$

$$N_{\text{cm}} = 5.68$$

$$N_{\text{cm}} \approx 6 \text{ cubos}$$

Donde:

$q_c$  = capacidad volumétrica del camión

$q_{\text{cc}}$  = capacidad de carga del camión



### 3.10-Cálculo del transporte automotor para el traslado de mineral

El material será transportado en camiones rígidos Daewoo de 27 t, desde el frente de trabajo hasta el depósito de mineral.

#### Cantidad de cubos por camión (volumen)

$$N_{cv} = \frac{q_c}{Q_{r\ exc}}$$

$$N_{cv} = \frac{18}{3.8}$$

$$N_{cv} = 4.7 \approx 5 \text{ cubos}$$

#### Capacidad volumétrica real del camión

$$Q_{vr} = N_{cv} * Q_{r\ exc} * \gamma$$

$$Q_{vr} = 6 * 4.75 * 1.5$$

$$Q_{vr} = 42.75 \text{ t} \approx 43 \text{ m}^3$$

#### Capacidad de carga real del camión

$$Q_{cr} = N_{cv} * Q_{rc\ exc}$$

$$Q_{cr} = 6 * 4.75$$

$$Q_{cr} = 27 \text{ t}$$

La velocidad de traslación de los camiones para el traslado de material en estado vacío será de 30 km/h y en estado lleno de 20 km/h debido a las condiciones de los caminos.

#### Tiempo de carga

$$t_{car} = (N_{cv} - 1) * \frac{t_{c\ exc}}{60}$$

$$t_{car} = (6 - 1) * \frac{45}{60}$$

$$t_{car} = 3.75 \text{ min}$$

**Tiempo de recorrido para una distancia de 0.376 km****Tiempo de recorrido cargado**

$$t_{rc} = \frac{60 * L}{V_{cc}}$$

$$t_{rc} = \frac{60 * 0.376}{20}$$

$$t_{rc} = 1.13 \text{ min}$$

**Tiempo de recorrido vacío**

$$t_{rv} = \frac{60 * L}{V_{cv}}$$

$$t_{rv} = \frac{60 * 0.376}{30}$$

$$t_{rv} = 0.75 \text{ min}$$

**Tiempo de carga**

$$t_{des} = 1 \text{ min}$$

**Tiempo de descarga**

$$t_m = 0.85 \text{ min}$$

**Tiempo de limpieza de la volqueta**

$$t_{lv} = 0,62 \text{ min}$$

**Tiempo ciclo del camión durante el laboreo del canal**

$$t_{cc} = t_{car} + t_{des} + t_{rc} + t_{rv} + t_{lv}$$

$$t_{cc} = 3.75 + 0.85 + 1.13 + 0.75 + 0,62$$

$$t_{cc} = 7.1 \text{ min}$$

**Productividad por hora**

$$Q_h = \frac{60 * K_{ut} * Q_{vr}}{t_{cc}}$$

$$Q_h = \frac{60 * 0,84 * 27}{7.1}$$

$$Q_h = 191.66 \text{ t/h}$$

**Productividad en el turno**

$$Q_t = Q_h * T_t * K_d * K_{up}$$

$$Q_t = 191.66 * 8 * 0,84 * 1$$

$$Q_t = 1287.96 \text{ t/turno}$$

**Productividad en el día**

$$Q_{\text{día}} = N_T * Q_t$$

$$Q_{\text{día}} = 1 * 1287.96$$

$$Q_{\text{día}} = 1287.96 \text{ t/día}$$

**Productividad durante la etapa de laboreo del canal**

$$Q_{\text{etap.lab}} = Q_{\text{dia}} * N_d$$

$$Q_{\text{etap.lab}} = 1287.96 * 6$$

$$Q_{\text{etap.lab}} = 7727,76 \text{ t}/N_d$$

**Número de camiones necesarios para el traslado del material laboreado**

$$N_{\text{camiones}} = \frac{V_{\text{material}}}{Q_{\text{etap.lab}}}$$

$$N_{\text{camiones}} = \frac{12\ 157,095}{7727,76}$$

$$N_{\text{camiones}} = 2 \text{ camiones}$$

Donde:

$K_{ut}$  – coeficiente de utilización del turno.

$K_d$  – disponibilidad mecánica.

$T_t$  – duración del turno de trabajo.

$K_{up}$  – coeficiente de utilización del parque.

$N_T$  – número de turnos de trabajo.

$N_d$  – días para la explotación del sector.

$C_c$  – cantidad de camiones

$t_{cc}$  – tiempo de ciclo del camión

**Tiempo de recorrido para una distancia de 0.514 km****Tiempo de recorrido cargado**

$$t_{rc} = \frac{60 * L}{V_{cc}}$$

$$t_{rc} = \frac{60 * 0.514}{20}$$

$$t_{rc} = 1,54 \text{ min}$$

**Tiempo de recorrido vacío**

$$t_{rv} = \frac{60 * L}{V_{cv}}$$

$$t_{rv} = \frac{60 * 0.514}{30}$$

$$t_{rv} = 1,03 \text{ min}$$

**Tiempo de carga**

$$t_{des} = 1 \text{ min}$$

Tiempo de descarga

$$t_m = 0.85 \text{ min}$$

Tiempo de limpieza de la volqueta

$$t_{lv} = 0,62 \text{ min}$$

**Tiempo ciclo del camión durante el laboreo del canal**

$$t_{cc} = t_{car} + t_{des} + t_{rc} + t_{rv} + t_{lv}$$

$$t_{cc} = 3.75 + 0.85 + 1.54 + 1.03 + 0,62$$

$$t_{cc} = 7,79 \text{ min}$$

**Productividad por hora**

$$Q_h = \frac{60 * K_{ut} * Q_{vr}}{t_{cc}}$$

$$Q_h = \frac{60 * 0,84 * 27}{7.79}$$

$$Q_h = 174,69 \text{ t/h}$$

**Productividad en el turno**

$$Q_t = Q_h * T_t * K_d * K_{up}$$

$$Q_t = 174,69 * 8 * 0,84 * 1$$

$$Q_t = 1173,92 \text{ t/turno}$$

**Productividad en el día**

$$Q_{\text{día}} = N_T * Q_t$$

$$Q_{\text{día}} = 1 * 1173,92$$

$$Q_{\text{día}} = 1173,92 \text{ t/día}$$

**Productividad durante la etapa de laboreo del canal**

$$Q_{\text{etap.exp}} = Q_{\text{día}} * N_d$$

$$Q_{\text{etap.exp}} = 1173,92 * 6$$

$$Q_{\text{etap.exp}} = 7043,52 \text{ t/N}_d$$

**Número de camiones necesarios para el traslado del material laboreado**

$$N_{\text{camiones}} = \frac{V_{\text{material}}}{Q_{\text{etap.exp}}}$$

$$N_{\text{camiones}} = \frac{12\ 157,095}{7043,52}$$

$$N_{\text{camiones}} = 2 \text{ camiones}$$

Donde:

$K_{ut}$  – coeficiente de utilización del turno.

$K_d$  – disponibilidad mecánica.

$T_t$  – duración del turno de trabajo.

$K_{up}$  – coeficiente de utilización del parque.

$N_T$  – número de turnos de trabajo.

$N_d$  – días para la explotación del sector.

$C_c$  – cantidad de camiones.

$t_{cc}$  – tiempo de ciclo del camión.

### 3.2.1-cálculo económico

Gastos directos que se originan durante las labores de laboreo del canal

#### Gastos por concepto de salario $G_s$

Puesto de trabajo	de	Cantidad Operadores	Salario mensual (\$/día)	Tiempo de trabajo (días)	Salario total (\$)
Chofer	de	2	23.86	6	286.32
Camión					
Ope.	de	1	20.86	6	125.16
Retroexc.					
Total		3	44.72	6	411.48

#### Gastos por concepto de combustible $G_c$

Equipos	Cantidad Equipos	Consumo horario (l/hora)	Horas Operación	Precio del litro (US\$)	Costo total (US\$)
Camión ríg.	2	15	48	1,2	1728
Retroex.	1	30	48	1,2	1728
Total	3	90	48	1,2	3456

Gastos directos

$$G_d = G_s + G_c$$

$$G_d = 411.48 + 3456$$

$$G_d = 3\,867,48 \text{ \$}$$

## **CAPITULO IV: SEGURIDAD MINERA**

### **4.1-Aspectos generales**

Teniendo siempre en cuenta la salud y seguridad del recurso humano, implementando las medidas dirigidas a la satisfacción y mejoramiento de las condiciones de vida y de trabajo de los trabajadores, cumplimentando los requerimientos legales establecidos.

La protección e higiene del trabajo está basada en las disposiciones legales vigentes en el país (Ley 13, decreto 101 y Resolución 1641), para su implementación se usa la siguiente documentación:

Reglamento organizativo de la PHT.

Instrucción inicial de SHI.

Instrucción inicial específica SHI.

Instrucción por puesto de trabajo.

Instrucción de seguridad.

Documentación técnico-operativa.

### **4.2-Medidas de seguridad para la Mina**

Todo trabajador de nuevo ingreso tiene que ser instruido en la SHT y recibir un chequeo médico.

Se prohíbe la circulación de personal ajeno a la actividad sin un acompañante instruido.

Se prohíbe la circulación de personal en la actividad bajo los efectos del alcohol, alucinógenos o sedantes.

Se prohíbe la circulación de personal sin los medios de protección adecuados.

Se prohíbe subir o acercarse a cualquier equipo en funcionamiento, sin que el operador lo haya percibido.

Se prohíbe permanecer en el exterior de cualquier equipo minero en funcionamiento.

Se prohíbe operar equipos a personas que no tengan la calificación y los permisos requeridos.

Se prohíbe operar equipos con defectos técnicos y con la ausencia de algunas de sus partes.

Todos los equipos deben de poseer sus correspondientes medidas de extinción de incendio.

En época de seca hay que regar convenientemente con agua los caminos para evitar el polvo.

#### **4.3-Medidas de seguridad para el trabajo con Retroexcavadora**

Cuando la excavadora esta en operaciones, se prohíbe la presencia de personas en el radio o sector de la misma

La excavadora debe estar prevista de señalización sonora de manera que indique el inicio y fin de cada operación a realizar

Durante el movimiento en pendiente contemplarse aquellas medidas que impidan su corrimiento

El movimiento de la excavadora debe hacerse a la señal del jefe de turno o de brigada

Durante el movimiento debe garantizar el contacto visual o por radio-comunicación entre operador y el que dirige el movimiento

Las excavadoras deben trabajar sobre plataformas aplanadas y compactas y los cables de acero que se utilicen en el alza, el arrastre y la guarnición deben corresponderse con los de pasaporte del equipo y revisar no menos de una vez por semana y la cantidad de hilos rotos no deben ser mayores del 15 % del total de hilo.

#### **4.4-Medidas de seguridad en los camiones**

Aparte de las medidas de seguridad reguladas en el código de tránsito, los choferes observarán las siguientes:

No se puede adelantar a otro vehículo de transporte en movimiento.

En tiempos lluviosos o de mucho polvo, se reducirá la velocidad al mínimo, al cruzarse con otros.

No se acercará durante la descarga menos de 4.0 m, a los bordes de los taludes que tengan una altura mayor de 4.0 m.



No se desplazará el vehículo, con el volteo levantado.

No se permite llevar personas fuera de la cabina.

#### **4.5-Obras de protección y medidas para evitar que los camiones se salgan de la vía**

En todos los trayectos rectos de la vía a media ladera, la inclinación para el drenaje lateral será hacia adentro, con una pendiente entre 1.6 y 2%.

En todos los bordes exteriores de los tramos de caminos a media ladera, se hará una berma de no menos de 2.0 m de ancho y 1.5 m de altura adecuadamente conformada.

En todos los bordes exteriores de los tramos de camino, con cuestas a ambos laterales, se harán sendas cunetas entre las bermas y la vía.

En todos los bordes exteriores de los tramos de camino, con cuestas a ambos laterales, se harán sendas berma de no menos de 2.0 m de ancho y 1.5 m de altura adecuadamente conformadas.

Tabla 4.1. Relación entre el trabajador y los medios que debe usar para su protección.

<b>Lugar del cuerpo</b>	<b>Medios de protección</b>	<b>Requisitos que deben cumplir los medios de protección</b>
Cabeza	Cascos protectores para reducir el impacto de los objetos que caigan de alturas más o menos elevados.	Resistentes a impactos, al fuego, a la humedad, peso ligero, aislamiento de la electricidad.
Oídos	Tapones de oídos, orejeras o cascos protectores contra ruidos.	Que atenúen el sonido, que tengan confort y durabilidad, que no tengan impactos nocivos sobre la piel, que conserven la palabra clara y que sean de fácil manejo.
Ojos y cara	Gafas protectoras, pantallas, viseras,	Protección adecuada para el riesgo específico que fue

	caretas protectoras y espejuelos.	diseñado, comodidad en el uso, ajuste perfecto y sin interferencia en los movimientos, durabilidad y facilidad de higienización.
Manos y brazos	Guantes, almohadillas, protectores de brazos, mangas y protectores de dedos.	Que estén reforzados para proteger al trabajador contra las llamas, calor y cortaduras. En caso de existir, de ácidos, grasas y gasolina.
Tórax	Delantales de piel, de goma sintética y para ácidos.	Deben de proteger contra chispas, cortaduras pequeñas y protección contra agua y tierra.
Pies y piernas	Botas de corte alto, tobilleras, polainas, almohadillas.	Casquillos de acero para los pies, anticonductivos, antichispas y deben resistir las descargas eléctricas.
Vías respiratorias	Respiradores con filtro para polvo, máscara con filtro para gases.	Deben de estar acordes con el elemento contaminante y el puesto de trabajo. No deben ser objetos que impidan que el trabajador realice sus actividades.

#### 4.6-Medidas de seguridad específicas

Cuando se realizan operaciones mineras a una distancia cercanas de las líneas eléctricas se deben tomar ciertas medidas de seguridad teniendo en cuenta las Normas Cubanas NC 19-01-57 /1987 "Seguridad Eléctrica. Requisitos Generales" y la NC 19-03-23/1984 "Operación de Grúas de Aguilón. Requisitos Generales de Seguridad":

En los trabajos de extracción y carga que se realicen cercanos a líneas eléctricas, se mantendrán las distancias de seguridad según la Resolución No. 1790/1983 (30.0 m de distancia entre el aguilón de la grúa y las líneas eléctricas energizadas con voltaje superior a 32 V).

En el área donde se realizará el trabajo, se colocará paralelamente a las líneas conductoras, una hilera de postes que marque la distancia mínima de seguridad.

Se instalarán cuantas señales de seguridad oriente el Departamento de Seguridad del Trabajo de la Empresa.

Utilización de los medios de protección individual.

En ningún momento, cualquier parte de la excavadora entrará en contacto con las líneas eléctricas.

En condiciones atmosféricas adversas tales como: lluvia, nieblas y otros, no se operará.

No estacionar equipos debajo de las líneas eléctricas.

No pasar por debajo de la línea eléctrica con el volteo levantado.

#### **4.7-Previsiones para el caso de accidentes**

Ante un accidente el procedimiento es el siguiente:

En todos los casos en primer lugar llamar a los teléfonos del equipo de repuesta a emergencia.

Prestar solo los primeros auxilios al lesionado, esperar que llegue el personal paramédico que le prestará la debida atención y si es necesario lo trasladará al hospital.

En caso de incendios o explosión, intentar sofocarlo con los medios disponibles (extintores, agua, tierra, etc.) antes de la llegada del personal de Bomberos.

#### **4.8-Plan y liquidación de averías**

El plan de liquidación de averías es un documento obligatorio establecido por la Ley 13 y la Resolución 39 del MTSS, dicho documento forma parte del archivo técnico de la entidad.

Entre las averías de primera categoría durante la explotación de la cantera se encuentran las siguientes:

Incendio en los camiones de acarreo mineral (derrames de combustibles por salideros).

- Accidentes en la manipulación de explosivos.
- Derrumbe de taludes y caída de rocas.
- Peligro de vuelcos y accidentes de tránsito.
- Peligro de inundación de la cantera.

Para cada una de estas averías están previstas las medidas para el salvamento del personal y el equipamiento así como las personas responsables del cumplimiento de las medidas. Ver anexo N° .3.1.

#### **4.9-Plan de simulacros**

Como medida para garantizar una preparación del personal en caso de accidentes se harán simulacros dos veces al año, lo que será de tipo:

- Para casos de incendios.
- Accidente del transporte en la mina.
- Voladuras.
- Movimientos telúricos.

## **CONCLUSIONES**

1. El drenaje del yacimiento se realizará utilizando la variante de construcción de un canal de sección transversal, para evitar las inundaciones en los frentes en la temporada de lluvia.
2. El drenaje se realizará de forma natural aprovechando el relieve del terreno.
3. La realización del canal tomara un periodo de 6 días y un costo de 3867,48 \$.
4. Se establecieron las medidas de seguridad del trabajo.

**RECOMENDACIÓN**

A la dirección del yacimiento de arcillas "Moja Hueva" tengan en cuenta esta propuesta de drenaje ya que el problema de la acumulación de las aguas pluviales es un problema existente actualmente en dicho yacimiento.

## Bibliografía

BARRIOS Y OTROS. *Informe Exploración Orientativa y Detallada Arcilla Moja Hueva*. 1985.

CITMA: 1997. *Estrategia Ambiental Nacional*.

CUBA. DECRETO 101,3 de marzo de 1982. *Reglamento general*.

CUBA. *Resolución N° 385 del 2009. Clasificación de los Recursos y Reservas y el Banco Nacional de Recursos y Reservas (BNRR)*. La Habana: ONRM.

CUBA. LEY 116, 2013. *Protección e Higiene del trabajo*.

Estudio de la erosión en zonas restauradas. AGUILÓ, J. En: *Restauración de suelos en minería a cielo abierto. Ordenación de zonas de montaña*. Universidad Politécnica de Estrategia Ambiental Nacional. CITMA 1997.

*Guía de Respuesta a emergencia 2000 (GR 200)*. [en línea]. [Consultado: 2015-0201]. Disponible en: [http://hazmat.dot.gov/erg2000/sp\\_erg2000/](http://hazmat.dot.gov/erg2000/sp_erg2000/).

HARTAN HOWARD, *SME Ning Engineering Handbook*.

HERRERA HERBERT, J. *Introducción al drenaje de explotaciones Mineras*. [en línea]. [Consultado: 2015-0201], 2009. Disponible en: [http://oa.upm.es/10404/Introducción\\_al\\_Drenaje\\_de\\_Explotaciones\\_Mineras/R01-090320.pdf](http://oa.upm.es/10404/Introducción_al_Drenaje_de_Explotaciones_Mineras/R01-090320.pdf)

*Instrucción específica n-001. Organización del diseño*. Moa: CEPRONIQUEL.

*Instrucción específica N-006: Diseño y planificación de la Minería usando el software GEMCOM*. Moa: CEPRONIQUEL.

*Lineamientos básicos para la realización de los Estudios de Impacto Ambiental*. La Habana: AMA. CITMA. 1998.

*Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. 2. ed. España: Instituto Tecnológico Geominero de España, 1989.

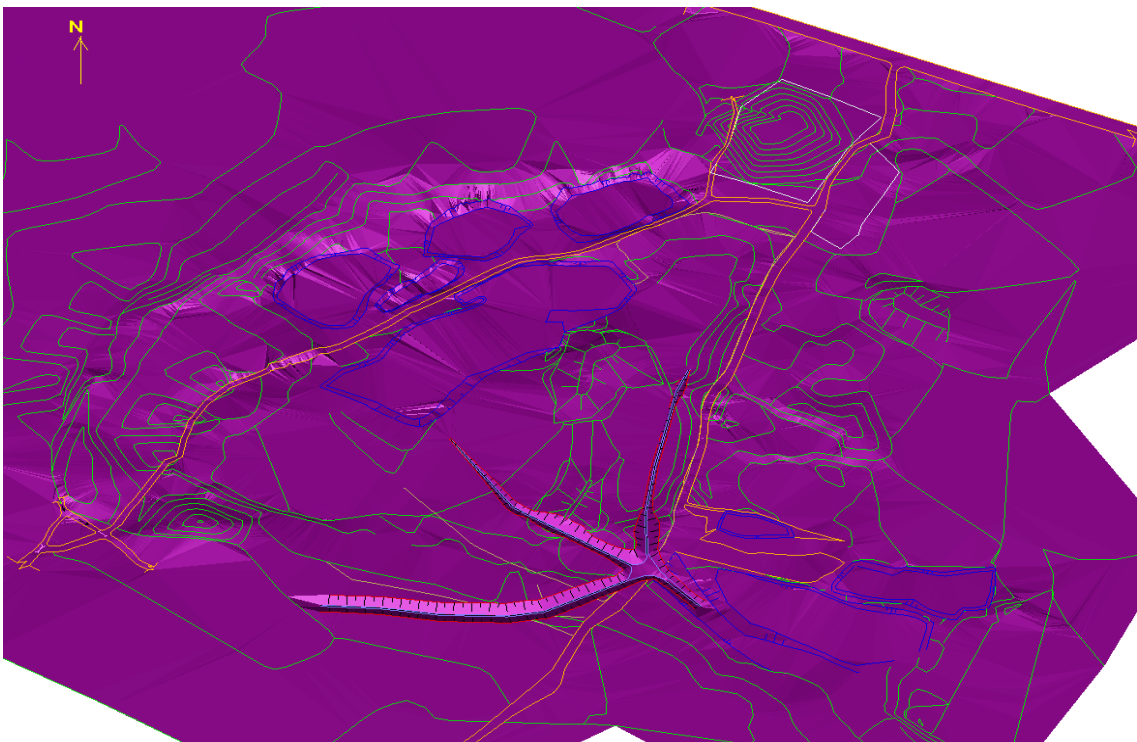
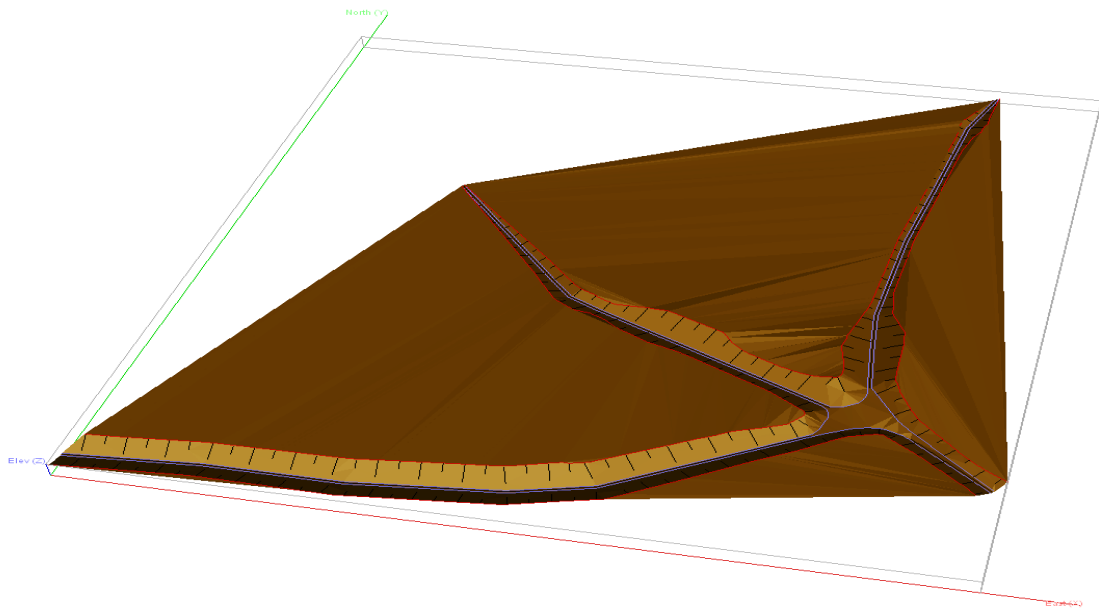
NC 02-01-20, 1983. *Sistema Único de Documentación de Proyecto. Proyección utilizando modelos bidimensionales y tridimensionales. Requisitos para la elaboración*.

*Software de Minería Gemcom y sus Manuales de Operación.* Moa:  
CEPRONIQUEL

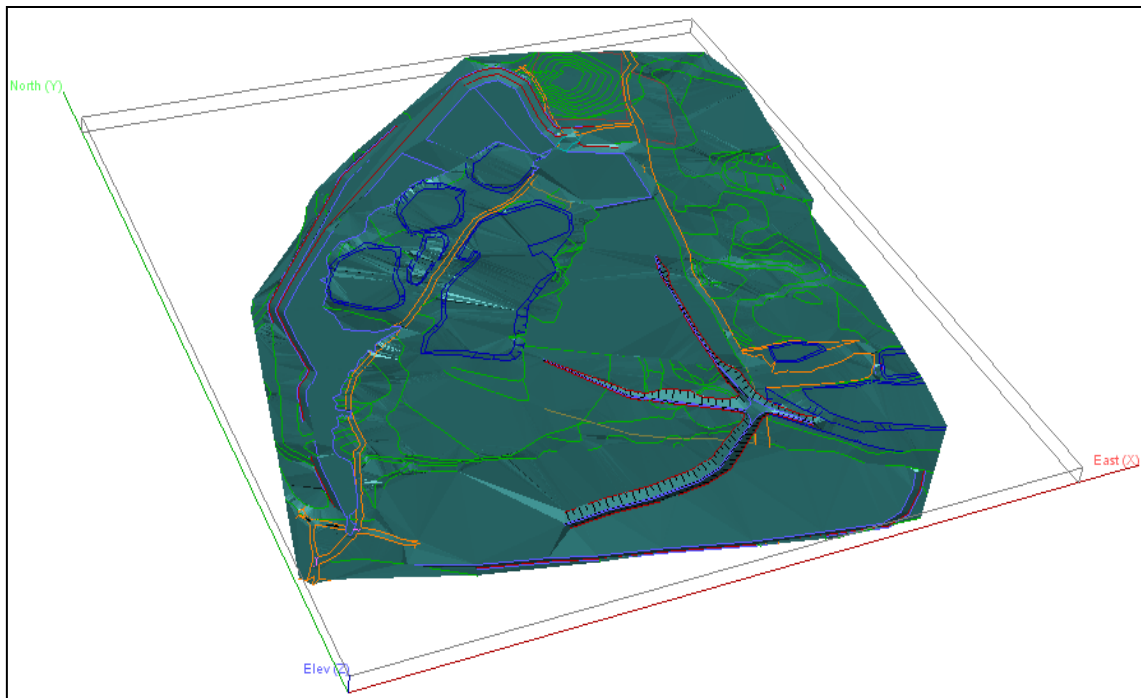
UMA CITMA 1998. Estrategia Ambiental Provincial.



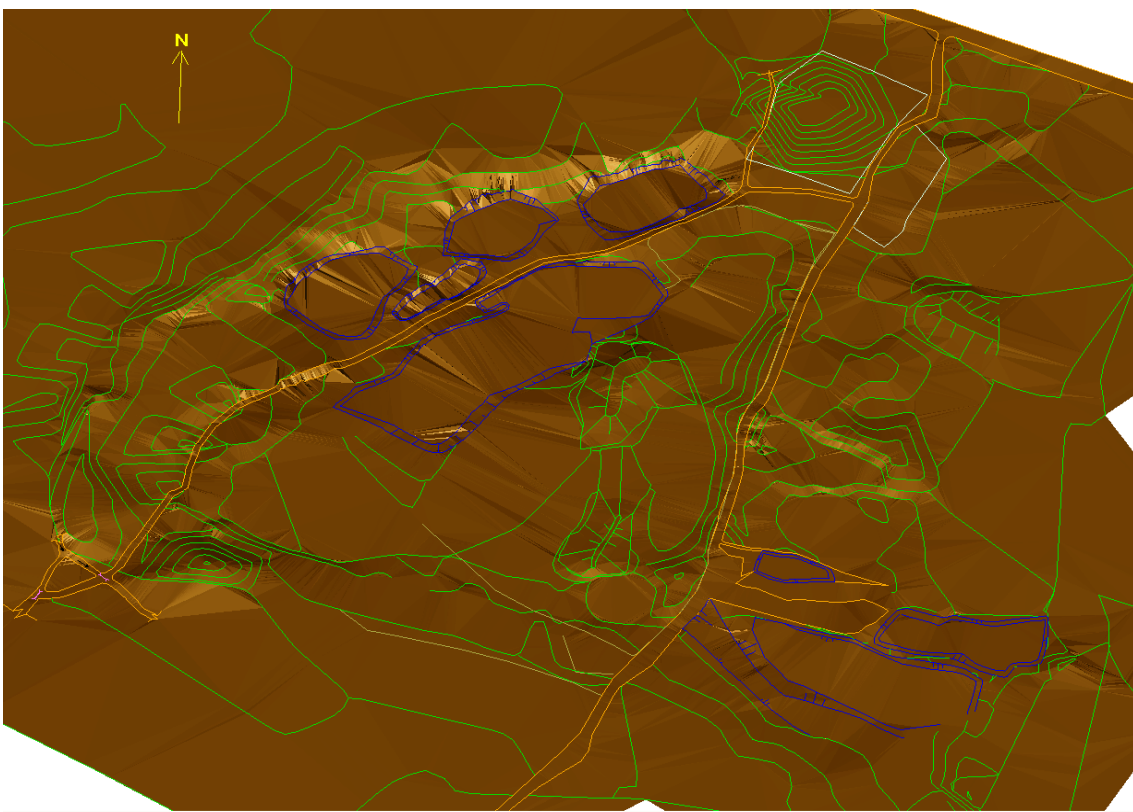
## Anexos



- Mapa topográfico del canal.



- Vista 3D Canal de desvío



- Mapa topográfico de la cantera



- Imagen de una retroexcavadora construcción de un canal de drenaje.