

## Propuesta de un sistema de drenaje para el yacimiento de arcillas Moja Hueva \*

**Armando Piloto Piedra**

Especialidad: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**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. Para dar solución al problema 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. Es de significación que los volúmenes movidos representen parte de la producción de la entidad.

**Palabras clave:** drenaje minero; yacimiento de arcilla; canal de sección transversal.

---

\* Trabajo tutorado por Dr. C. Roberto Lincoln Watson Quesada.

Recibido: 1 octubre 2015 / Aceptado: 15 febrero 2016.

## **Proposed drainage system for the Moja Hueva clay ore body**

**Abstract:** The high level of rainfall in the Moja Nueva clay ore body during the rainy season hinders the mining operations in the ore body. To tackle this issue, a drainage system was designed taking into consideration the slopes, the soil permeability as well as the hydraulic and hydrogeological characteristics of the area where the ore body is located. This includes calculations of the volumes to be extracted and the required equipment. It is significant to note that the volumes extracted account for a percentage of the overall production.

**Key words:** mining drainage; clay ore body; cross section drain.

## **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 subterráneas y, en todos los casos, pueden llegar a alterar el funcionamiento hidrológico o hidrogeológico de la zona.

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 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.

Para ello se parte de los conceptos de drenaje para la explotación minera propuestos por Herrera y Pla 2007. Más adelante Herrera (2009) analiza las diversas formas del drenaje minero y la problemática a resolver cuando se aborda un proyecto que garantice un drenaje adecuado de las explotaciones mineras, dando respuesta a la necesidad de plantear una solución técnica.

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. Debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y, particularmente, durante los periodos de lluvias intensas (Sánchez, 1995).

## **Caracterización general del yacimiento de arcilla Moja Hueva**

El yacimiento de arcilla Moja Hueva está ubicado entre las localidades de Consolación del Sur-Alonso de Rojas, provincia de Pinar del Río. 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.

El yacimiento Moja Hueva está constituido por arcillas plásticas, arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas y arenas. En el yacimiento, desde el punto de vista litotecnológico, históricamente se han venido extrayendo dos tipos de materiales: las arcillas plásticas y arcillas que constituyen el tipo litotecnológico I y las arcillas arenosas que conforman el tipo II, excluyéndose las arenas arcillosas y arenas que constituyen el material estéril que no presenta interés industrial (Arias del Toro, 2015). La calidad de la materia prima varía debido a frecuentes cambios faciales, tanto horizontales como verticales, de las litologías presentes; donde la presencia de intercalaciones estériles dentro de la materia prima útil no obedece a regla, la forma de ocurrencia es totalmente casual dentro de las arcillas (Vargas, 2014).

Este yacimiento está dividido en tres partes, 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 tres 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> (Figura 1).

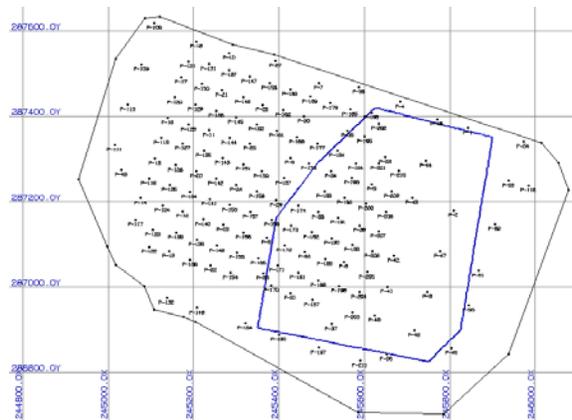


Figura 1. Vista en planta del yacimiento de arcilla Moja Hueva.

Las extracciones mineras que se han realizado han demostrado la existencia de agua, en periodos de lluvia se hace más evidente.

### **Características hidrogeológicas**

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 de 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 están dispersas, es decir, su distribución es local. El gasto (Q) obtenido en la zona oscila desde 0,025 l/seg 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.

## Cálculos para la realización del canal de drenaje

### 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 por la 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.

-La zona de trabajo comprende extracciones para cinco años de minería, por lo que para este periodo el drenaje de las aguas se garantiza con una minería en retroceso respecto al río y una línea de canal o canales superficiales que aseguren retirar el agua 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 (Suárez de Castro *et al.*, 1980).

### Cálculo de esorrentía crítica

$$Q_{esc} = \frac{C * I * A}{360} = 1,63 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$Q_{esc}$ : Escorrentía crítica;

C: Coeficiente de escorrentía, 0,45;

I: Intensidad crítica de las precipitaciones (mm/hr), 0,9;

A: Área de impluvio (hectáreas), 1 444,61.

### Cálculo del tiempo de concentración

Entiéndase por tiempo de concentración (Suárez de Castro *et al.*, 1980) como el tiempo que ocupa una gota de agua en moverse de la parte más lejana de la vertiente al desagüe.

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

Donde:

$T_c$  - Tiempo de concentración (h);

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

$V_{agua}$  - Velocidad del agua (m/s), 0,9;

### 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.

Cálculo del área mínima del canal:

$$A_{mín} = \frac{Q_{esc}}{V_{máx}} = 1,4 \text{ m}^2$$

**Diseño de la sección transversal**

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

**-Cálculo de los componentes de la sección trasversal**

Ac (Superior al área min). - Área de la sección transversal del canal (Se recomienda como primera iteración el área mínima de diseño (A) 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).

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 2.

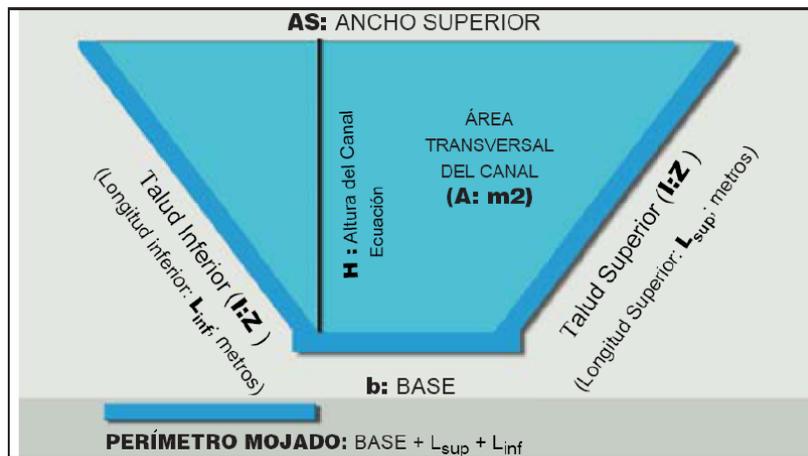


Figura 2. Sección transversal del canal.

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

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

Donde:

b – Base, 1 m;

Z<sub>inf</sub>, Z<sub>sup</sub> - Talud inferior y superior, respectivamente, 2 m;

Ac – 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**

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

Donde:

$a_s$  - ancho superior.

**Cálculo de longitud de talud inferior**

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

**Cálculo de longitud de talud superior**

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

**Cálculo de área de sección transversal**

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

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

$$r = \frac{A_c}{(b + L_{sup} + L_{inf})} = 0,4$$

**Cálculo del caudal según Manning (Suárez de Castro *et al.*, 1980)**

$$Q_c = \frac{1}{n} A r^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = 46,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$Q_c$  - Caudal del canal en ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$n$  - Coeficiente de fricción;

$r$  - Radio hidráulico;

$s$  - Pendiente del canal;

$A$  - Área del canal.

**Cálculo de la velocidad de un canal según Manning**

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

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 una retroexcavadora Liebherr R984 1 y un camión Daewoo de 27 t.

### Cálculo del equipamiento durante la construcción del canal

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

Tabla 1. Volumen del material a laborear (Vml)

Material	Volumen (m <sup>3</sup> )
Arcilla plástica	4 696,320
Arcilla	2 865,561
Desgrasante	307,590
Arena	1,615
Total	7 871,086

Tabla 2. Volumen de escombros (Ve)

Material	Volumen (m <sup>3</sup> )
Roca	233,644
Total	2 733,644

### Volumen total a extraer

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

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

### Cálculo para la excavación-carga

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

### Productividad horaria de la excavadora

$$Q_{exc} = \frac{3600 \cdot V_c \cdot D \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot Y}{T_c \cdot K_2} = 264, \text{ t/h}$$

Donde:

$K_{11}$  = 0,95 coeficiente de llenado;

$V_c$  = 4 m<sup>3</sup> 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

$$Q_t = 8 * Q_{exc} = 2119,52 \text{ t/turno}$$

### Productividad por día

$$Q_{día} = Q_t * N_t$$

### Tiempo de laboreo del canal

$$T_{laboreo} = \frac{V_l}{Q_{exc}} = \text{días}$$

### Capacidad real volumétrica del cubo

$$Q_{rv exc} = V_c * K_{11} = 3,8 \text{ m}^3$$

### Densidad del material suelto o esponjado

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{K_e} = 1,25 \text{ m}^3/\text{t}$$

### Capacidad real de carga del cubo

$$Q_{rc exc} = Q_{rv exc} * \gamma_s = 4,75 \text{ t}$$

### Cantidad de cubos por camión (masa)

$$N_{cm} = \frac{qcc}{Q_{rc exc}} = \frac{27}{4,75} \approx 6 \text{ cubos}$$

Donde:

qcc - capacidad de carga del camión.

### 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)

$$N_{cv} = \frac{qc}{Q_{TC\text{EXC}}} \approx 5 \text{ cubos}$$

Donde:

qc = -capacidad volumétrica del camión.

#### Capacidad volumétrica real del camión

$$Q_{VT} = N_{cv} * Q_{TC\text{EXC}} * \gamma \approx 43m^3$$

#### Capacidad de carga real del camión

$$Q_{CT} = N_{cv} * Q_{TC\text{EXC}} = 27 t$$

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.

### Conclusiones

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. El drenaje se realizará de forma natural aprovechando el relieve del terreno.

### Referencias bibliográficas

ARIAS DEL TORO, J. 2015: Aplicación del software "sgems" para la modelación geoestadística y la estimación de los recursos minerales. Caso de estudio, depósito arcillas "Moja Hueva". Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2015.

- HERRERA, J. 2009: *Introducción al Drenaje Minero*. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. 52 p.
- HERRERA, J. & PLA, F. 2007: Introducción al drenaje en explotaciones minera. En: *Elementos de minería*. Edición actualizada y revisada para el curso académico 2006-2007.
- SÁNCHEZ, L. 1995: Drenaje de minas a cielo abierto. En: *Aspectos Geológicos de Protección Ambiental*. Volumen I., p. 145-154.
- SUÁREZ DE CASTRO, F.; LAL, R.; GONZÁLEZ DÁVILA, S.; AGUDELO, L. A.; KAIMOWITZ, D.; TACIO, H. D... & MARELLI, H. J. 1980: *Conservación de suelos*. IICA, San José, 315 p.
- VARGAS, M. 2014: Reestimación de recursos yacimiento "Arcillas Moja Hueva". Archivo ONRM. 11 p.