

Proyecto de explotación del yacimiento La Loma de la provincia de Ciego de Ávila

Aldemiro José Jacinto Júnior

jaldemiro@minas.ismm.edu.cu

Lianeyis Aguilera Terrero

laterrero@ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba).

Resumen: Se elaboró el proyecto de explotación del yacimiento de arcillas caolinitas La Loma de la provincia de Ciego de Ávila, para la utilización como fuente de materia prima en la producción de materiales cementicios suplementarios. Se partió de la caracterización ingeniero-geológico detallada del yacimiento y las propiedades físico-mecánicas del mineral; así como las reservas con las que cuenta el yacimiento. El estudio permite la selección del equipamiento minero necesario, el cálculo de la productividad así como de los parámetros de explotación.

Palabras clave: Explotación minera; arcilla; materiales de la construcción; industria cementera.

Trabajo tutorado por el Dr. Julio Montero Matos, el Dr. Roger Almenares Reyes y el M. Sc. Pavel Laurencio Cala.

Recibido: 20 enero 2020/ Aceptado: 15 agosto 2020.

Exploitation project for the La Loma deposit in the Ciego de Ávila province

Abstract: The La Loma kaolinite clay deposit exploitation project in Ciego de Ávila province was developed, for use as a source of raw material in the production of supplementary cementitious materials. It was started from the detailed geological engineer characterization of the deposit and the physical-mechanical properties of the mineral; as well as the reserves that the deposit has; this allowed the selection of the necessary mining equipment, the calculation of productivity as well as the exploitation parameters.

Key words: Mining exploitation; clay; construction materials; cement industry.

Introducción

La humanidad ha alcanzado altos niveles en el desarrollo científico-técnico, lo cual repercute directamente en las esferas económica, política y social de los países. El hombre contemporáneo ha dividido el proceso evolutivo de la humanidad en macro periodos de tiempo, relacionados principalmente con los avances más significativos obtenidos en la ciencia e ingeniería de los materiales.

En años recientes se han efectuado investigaciones sobre las potencialidades de las arcillas caoliniticas existentes en Cuba como fuente de puzolanas (Alujas, 2010; Almenares, 2017). Los resultados han demostrado las potencialidades de activación térmica de arcillas con contenidos de caolinita de solo un 40 % para la obtención de un material puzolánico de alta reactividad que al combinarse un 30 % de esta con 15 % de caliza, 50 % clínquer y 5 % de yeso, se obtiene un aglomerante con un comportamiento similar al cemento P-35 (Vizcaíno *et al.*, 2015; Martirena *et al.*, 2016) viabilizando el objetivo de producir un aglomerante con menor contenido de clínquer que el cemento Portland, pero de similares prestaciones y a un costo de producción más económico.

La prueba de producción industrial del cemento ternario de base clínquer-arcilla calcinada-caliza, que tuvo como escenario la Fábrica de Cemento Siguaney en el 2013 (Vizcaíno, 2014), convirtió a Cuba en la primera en producir este tipo de aglomerante a escala industrial. Este sistema cementicios ternario, con alto nivel de sustitución de clínquer, alcanza resistencias mecánicas a edades tempranas mayores que los cementos mezclados producidos tradicionalmente con otros tipos de puzolanas y alcanzan resistencias mecánicas superiores.

Desde el año 2000 hasta el 2008 la empresa Geominera del Centro realiza un proceso de investigación con la finalidad de localizar depósitos de caolín para la producción de cemento blanco en la Fábrica de Cemento Siguaney, que incluyen los trabajos de reconocimiento Caolín este Ciego de Ávila (Arcial, 2000) prospección Caolín este Ciego de Ávila (Suárez *et al.*, 2003) exploración detallada Caolín sector La Loma y orientativa sectores Bañadero y Loma Sur (Arcial, 2008), exploración bloque BG-1 sector Gaspar (Arcial & Alujas, 2015), exploración de explotación cantera Caolín Gaspar (Arcial, 2008).

Estos trabajos permitieron localizar depósitos de caolín y arcillas caoliniticas con volúmenes de hasta cuatro millones de toneladas en diferentes categorías de recursos.

Una de las principales limitantes encontradas para la producción generalizada de este tipo de aglomerante en el país a partir del conocimiento del potencial de utilización de los referidos depósitos arcillosos es la inexistencia de proyectos de explotación que permitan a la industria cementera la toma de decisiones sobre la explotación de dicha materia prima, lo cual constituye la situación problemática.

Este trabajo expone el proyecto de explotación del yacimiento de arcillas caolinitas La Loma de la provincia de Ciego de Ávila, para la utilización como fuente de materia prima en la producción de materiales cementicios suplementarios.

Materiales y métodos

El método empírico utilizado es la observación para percibir visualmente el lugar donde se encuentra el yacimiento y los elementos geomorfológicos y topográficos existentes.

Se utiliza, además, el análisis-síntesis para estudiar el área y establecer conclusiones para desarrollar la explotación.

El diseño y planificación del sistema de explotación del yacimiento se realizó utilizando el software AutoCAD 3D 2014 y Gemcom.

El yacimiento La Loma se ubica a 4 km al este de la localidad Gaspar, provincia de Ciego de Ávila, al norte de la carretera central, con forma de polígonos regulares.

La región se caracteriza fundamentalmente por la presencia de rocas afectadas por eventos geológicos, interactuando condiciones y factores de carácter estratigráficos, magmáticos y tectónico, durante periodos de tiempo prolongados.

En el área afloran rocas volcánicas del arco de islas volcánicas de Cuba Central Caobilla, pertenecientes al complejo vulcanógeno sedimentario del Cretácico superior (Santoniano Campaniano) integradas por vulcanitas de composición ácida-media, donde aparecen cuerpos de diferentes dimensiones de riolitas, riodacitas, dacitas, andesitas y sus tobas, las que han sido expuestas a un proceso de alteración hidrotermal intenso, en las facies Argílica y Argílica Avanzada con predominio de la primera (Arcial, 2007).

Propiedades físico-mecánicas y composición químico-mineralógica de la materia prima

Plasticidad: La arcilla existente en este yacimiento es eminentemente plástica con un valor de plasticidad de 8. Su elevada plasticidad se debe a su morfología laminar, tamaño de partícula muy pequeño y a su alta capacidad de hinchamiento.

Porosidad: El material es poroso, el grado de porosidad varía de 40-60 %. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción.

Color: Rojo, las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico y otros.

Resistencia a la compresión

Se tomaron los resultados de las muestras, con el objetivo de valorar la resistencia que poseen las arcillas, dando resultado satisfactorio, comprendido entre 35-40 kgf/cm².

Composición químico-mineralógica de la materia prima

La composición química y mineralógica de las muestras básicas y muestras compuesto seleccionadas se presentan en las Tablas 1, 2 y 3. El contenido total de SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ es superior al 70 %, lo cual permite asegurar que los materiales caracterizados cumplen con las recomendaciones de composición química expresadas en la norma cubana NC TS 528 (2013) y ASTM C 618 (Almenares *et al.*, 2018).

Los relativamente altos contenidos de Fe₂O₃ reportados para las muestras se asocian fundamentalmente a la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro.

Tabla 1. Composición química de las muestras compósito del depósito (Almenares, 2017)

Muestras	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	PPI
LL-1	18,53	5,53	0,67	0,27	0,12	0,04	1,33	2,58	0,01	6,51
LL-2	21,77	16,62	0,73	0,13	0,08	0,05	0,96	0,33	0,03	13,25
LL-3	19,98	1,85	0,48	0,13	0,10	0,20	1,19	0,90	0,008	8,24
LL-4	18,75	3,15	0,51	0,13	0,20	0,03	1,18	0,90	0,02	9,39

Tabla 2. Composición de una muestra compósito del depósito

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	Otros	PPI
61,40	18,86	9,61	0,07	0,15	0,02	0,26	0,90	0,62	0,13	0,03	0,21	7,80

Tabla 3. Composición mineralógica

Minerales arcillosos	Minerales acompañantes
Caolinita, vermiculita	Cuarzo, Hematita

Estimación de los recursos de materia prima

Para el estimado de los recursos por categorías se utilizaron 26 pozos y 3 trincheras. Se empleó el método de cálculo por bloques geológicos, por ser un método que se adapta a las características (yacencia y morfología) de los cuerpos interceptados. Para el cálculo se consideró la red de perforación utilizada tratando que los contornos de los bloques cumplieran con la red (50 m x 25 m).

Los datos que se exponen a continuación (Tabla 4) son tomados de los trabajos anteriores y dichos recursos están aprobados en el Balance Nacional de Reservas, certificado por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM, 2016).

Tabla 4. Recursos calculados en el yacimiento

No. Bloques	Categoría de Recursos	Pot.Útil	Pot. Des (m)	Área(m ²)		Peso Vol. (t/m ³)		
BL-1	Medidos*			9805			Útil	Útil en pilar
BL-2	Medidos*	3,13	1,73	591		1,98	41 546	
BL-3	Medidos*	3,15	1,85	1006		1,98	3 663	
BL-4	Medidos*	3,12	2,30	2910		1,98	17 977	
BL-5	Indicados	2,80	1,60	65230		1,98	361 635	
P-1	Ind/Pilar	2,80	1,60		3193	1,98		17 702
P-2	Ind/Pilar	2,80	1,60		1384	1,98		7 673
P-3	Ind/Pilar	2,80	1,60		1085	1,98		6 015
P-4	Ind/Pilar	2,80	1,60		962	1,98		5 333
BL-6	Indicados	3,85	1,90	4504		1,98	34 334	
BL-7	Indicados	2,50	1,90	6182		1,98	30 601	
Total							69 460*	
							426 570	36 723

Calidad de la materia prima y su uso industrial

Los análisis cuantitativos de las investigaciones previas indican la presencia de minerales del grupo de los caolines (caolinita, dickita y nacrita) en el yacimiento con contenidos de Al_2O_3 de hasta 21,77 % y contenido de minerales arcillosos superior a 42 % (Almenares *et al.*, 2018). Se manifiesta la regularidad por la ubicación de la mineralización en las zonas con un sistema de fracturas bien desarrolladas en tiempo y espacio.

La mineralización se caracteriza por ser arcillas caoliníticas de bajo grado, evaluadas química y físicamente durante investigaciones precedentes, obteniendo excelentes resultados para ser usadas como material cementicio suplementario (Almenares *et al.*, 2018), aunque no se reporta uso industrial alguno para esta materia prima.

Condiciones minero-técnicas de explotación del yacimiento

El yacimiento tiene las condiciones minero-técnicas favorables para la explotación a cielo abierto. Se pueden describir arcillas que afloran a la superficie y solamente en algunos sectores se recubren de suelo o capa vegetal de poca potencia.

Volumen de material útil in situ a extraer en un año

$$V_m = \frac{Q_p}{K_1 \times K_e} \quad V_m = 26.619 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Donde:

Q_p : Productividad anual de la planta (arcilla): 30 000 $\text{m}^3/\text{año}$

K_e : Coeficiente de esponjamiento de las rocas: 1,15

K_1 : Coeficiente que tiene en cuenta las pérdidas de materia prima por concepto de transportación y pérdidas en la planta: 0,98.

Extracción esponjada

$$V_P = V_m \times 1,15 \quad V_P = 29,678 \text{ m}^3$$

Tiempo de explotación del yacimiento

$$T_{\text{exp}} = \frac{V_{\text{est}}}{V_{\text{im}}} = \frac{150000}{30000} = 5 \text{ años}$$

Donde

V_{est} : Volumen estimado de recursos del área: 150 000 m³

V_{tm} : Volumen total de material útil in situ a extraer en un año: 30 000 m³/año.

Equipamiento técnico minero para la realización de los trabajos durante la explotación del yacimiento

El establecimiento productivo tendrá el siguiente equipamiento minero que constituyen medios básicos del yacimiento (Belete, 2002):

- Un buldócer, modelo 235-245 HP, sobre estera
- Una retroexcavadora Liebherr 984
- Tres camiones modelo HOWO

Características técnicas del equipamiento minero

En las Tablas 5, 6 y 7 se muestran las características técnicas del equipamiento minero a emplear para la explotación del yacimiento La Loma.

Tabla 5. Características técnicas del Buldócer modelo 235-245 HP

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Largo	M	5,65
Alto	M	3,05
Potencia	HP	235-245
Altura de la cuchilla	M	1,21
Ancho de cuchilla	M	3,20
Consumo de combustible	L/h	22
Altura máxima de corte	M	0,42
Radio de giro exterior	M	3,3
Tipo de combustible	-	Diésel
Velocidad de corte	m/min	120
Velocidad de transporte	m/min	190
Disponibilidad mecánica	%	70

Tabla 6. Características técnicas de la Retroexcavadoras Liebherr 984

Características	Valor	Unidad
Volumen del cubo V	7	m ³
Consumo de combustible Cc	60	L/h
Costo de mantenimiento Cm	20	\$/h
Tiempo de ciclo Tc	10,09	S
Duración del turno Dt	8	H
Cantidad de turnos al día Cd	1	-
Longitud de la puma Lp	8 000	Mm

Tabla 7. Características técnicas del Camión modelo HOWO

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Capacidad de carga	m ³	15
Tipo de combustible	-	Diesel
Consumo de combustible	t/h	10
Pendiente máxima superable	%	(i = 10)
Ancho	M	2,64
Longitud	M	8,1
Radio de giro	M	12
Disponibilidad mecánica	%	70
Velocidad del camión cargado	km/h	30
Velocidad del camión vacío	km/h	20

Tala y desbroce

La tala consiste en el corte de los arbustos presentes en el área de emplazamiento del yacimiento. El desbroce se basa en la extracción y retiro de los arbustos, plantas, troncos, malezas, basura y cualquier otro objeto no deseable del área del yacimiento. Ambas labores son preparatorias y tienen la finalidad de crear las condiciones óptimas para las demás labores preparatorias como la apertura.

La zona de desbroce se encuentra en el Nivel +44 m, con un área total de 30 546 m² = 30,5 ha; la potencia promedio de destape, según informe geológico, es de 0,50 m, lo que representa un volumen de 15 273 m³. Se recomienda realizar la extracción de la capa vegetal con el empleo del buldócer.

Los equipos a usar son: buldócer, retroexcavadora y camiones y los medios auxiliares son: Sierras mecánicas, machetes, hachas.

Construcción del depósito para la materia de la capa vegetal

El área necesaria para almacenar el volumen estimado de material se calcula por la siguiente fórmula:

$$Se = (W \cdot Ke) / (He + Ka)$$

Donde:

W- Volumen de material destinado para el depósito, (30 546 m³)

Ke- Coeficiente de esponjamiento del material, (1,15)

He- Altura, (4 m)

Ka- Coeficiente que considera los taludes, (0,6)

$$Se = 9\,961 \text{ m}^2.$$

Como el área de diseño es mayor que la necesaria, el material del desbroce se puede verter dentro del depósito que cuenta con una altura de 4 m (Figura 1).

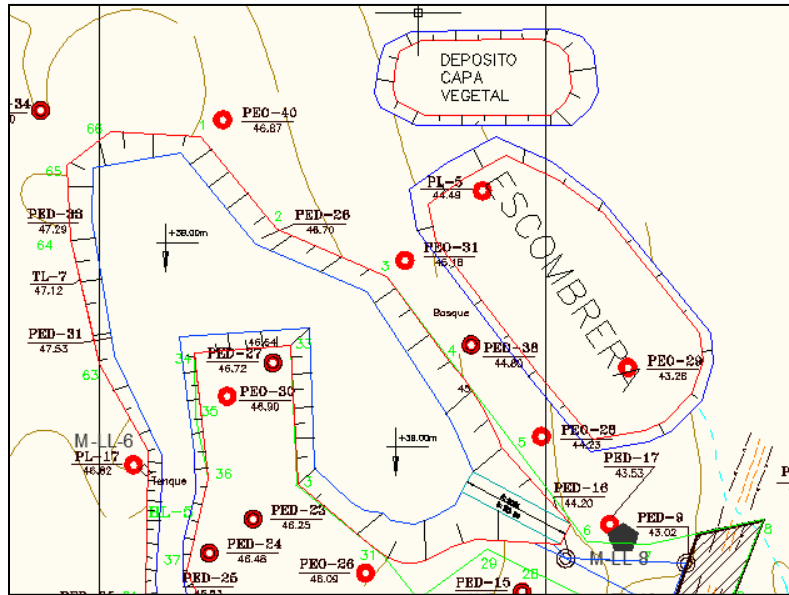


Figura 1. Depósito de capa vegetal.

Este depósito tiene un carácter temporal, ya que el material almacenado será utilizado en los trabajos de restauración, mejoramiento del suelo en zonas minadas.

Labores de apertura

El método de apertura que se empleará es la apertura con una trinchera de acceso y con posterioridad se proyectará una trinchera de corte para lograr el ensanchamiento en todo el horizonte de trabajo creando los frentes de extracción (Figura 2).

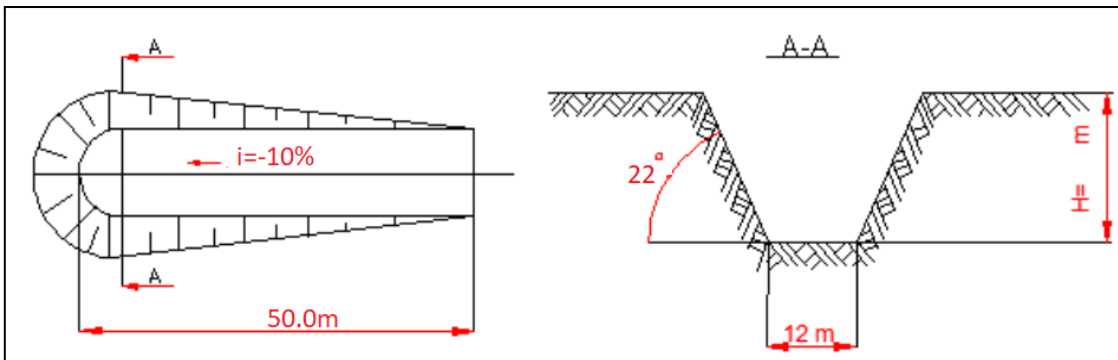


Figura 2. Esquema de los parámetros de diseño de la trinchera de acceso.

Los parámetros de las trincheras proyectadas son los siguientes: ancho por el fondo 12 m, ángulo de los laterales 22° ; profundidad final 5 m (igual a la altura del escalón o del banco); longitud 50 m; con una pendiente de 10 %.

Al terminar la trinchera de apertura se alcanza la cota del horizonte a preparar, a partir de aquí se laboreará una excavación preparatoria horizontal denominada trinchera de

corte, la cual creará el frente de trabajo en dicho horizonte. Las trincheras de corte poseen profundidad final igual a la altura del escalón, sin embargo, las de entrada varían su profundidad proporcionalmente a la longitud, alcanzando el valor máximo cuando llega al horizonte que se pretende explotar con las respectivas dimensiones que se muestra en la Figura 3.

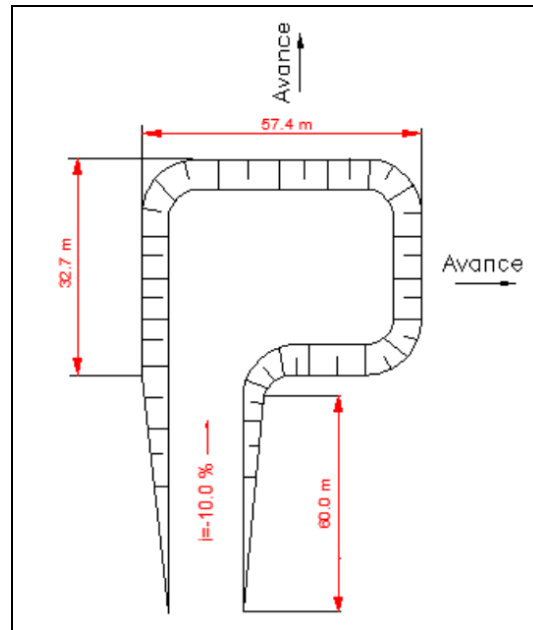


Figura 3. Esquema de los parámetros de diseño de la trinchera de corte.

Se empleará una trinchera de apertura recta continua, transversal al rumbo, puesto que se va a laborear un yacimiento poco inclinado, situado a poca profundidad de yacencia, pero extendido por el rumbo. Una vez accedido al nivel +39 m se ensanchará mediante una trinchera de corte, garantizando una plataforma para la explotación de las reservas.

Teniendo en cuenta las condiciones concretas de trabajo, y que se laboreará en materiales de arcillas, debido a que este mineral se encuentra en la superficie a poca profundidad, su extracción se realiza a cielo abierto, por vía seca. La carga de la roca se utilizará mediante la excavadora y se empleará esquema cerrado de la trinchera.

Método de selección del emplazamiento de las escombreras

Para la ubicación de la escombrera se designa un área al norte, cercana a la rampa de acceso de la cantera, esta será temporal porque los espacios ya minados servirán

como escombreras internas. Se confeccionarán por el vertido libre de los camiones conformando pilas.

Determinación del ángulo del talud de las escombreras y las bermas de seguridad

Para la determinación del ángulo del talud que garantice su estabilidad se parte del criterio de usar un factor de seguridad (FS) mayor de 1,25 suponiendo que no existen riesgos para personas y propiedades en las zonas de emplazamiento de las escombreras (Herrera, 2007).

A partir de los ábacos proporcionados y teniendo en consideración los datos del tipo de roca a depositar se estima el ángulo del talud (Hoek, 1977).

En la construcción de los ábacos se consideró el efecto de las presiones intersticiales debido a la presencia de un nivel freático en el terreno, que divide el talud en una zona seca y otra saturada. Se ha supuesto que la línea de saturación coincide con la superficie superior del talud, supuesta horizontal, a una distancia determinada del pie de este, definida por comparación con la altura del talud. La línea de saturación está determinada por las ecuaciones propuestas por Casagrande (1934), suponiendo la existencia en el terreno de una red de filtración en régimen estacionario.

De estas consideraciones se han asumido las siguientes simplificaciones: el material se considera homogéneo en toda su constitución, el círculo de rotura se hace pasar siempre por el pie del talud, y se considera la existencia de una grieta de tracción que puede estar situada por encima o por debajo de la cresta del talud.

Datos de partida:

Altura del talud, H,	5 m (considerando los primeros pisos)
Cohesión efectiva del terreno, C,	1,5 kPa/cm ²
Ángulo de fricción interna efectivo, ϕ ,	35°
Peso específico del terreno, γ ,	2,3 t/m ³
Factor de seguridad, FS,	1,3
Talud ligeramente saturado (Hoek, 1977)	

A partir de los coeficientes (C: $\gamma \cdot H \cdot \tan \phi = 0,039$) y ($\tan \phi$: FS= 0,538) se estima un ángulo de talud para las escombreras de aproximadamente 17,6 °. Este ángulo para el talud de las escombreras tiene como reserva de estabilidad la inclusión de las

bermas de seguridad cada 5,0 m de altura. El talud general (considerando las bermas de seguridad) es de 17,6°.

La berma de seguridad se estima como la tercera parte de la altura del banco. Para 5,0 m de altura de banco se estima una berma de 1,5 m.

Considerando los datos de partida se establecen los siguientes parámetros de diseño para las escombreras:

Altura para cada piso	4,0 m
Cantidad de pisos	(1) dependiendo de la topografía y necesidad de capacidad
Ángulo del talud	17,6
Berma de seguridad	1,5 m
Ancho de la rampa de acceso	10,0 m
Pendiente máxima de la rampa de acceso	10 %
Tipo de cuneta de desagüe para rampa de acceso	en forma de "V"
Talud de la cuneta	1:1
Pendiente para drenaje (bermas y plataformas)	1,0 %

Drenaje en las escombreras

Por el efecto de desestabilizar que posee el agua, que es además el principal medio de transporte de la contaminación, se incluye un sistema de drenaje a través de una zanja en la periferia de las escombreras. La zanja será de 1,0 m de profundidad, 1,0 m de ancho por el fondo y un talud 1V:2H; la pendiente mínima será de 1,0 % y se adecuará a la topografía del lugar. La zanja debe estar ubicada a una distancia mayor de 5,0 m del pie del talud para no provocar su socavación y que posibilite su derrumbe.

Las bermas de seguridad se conformarán con una inclinación de 1,0 % hacia interior, de manera que las aguas pluviales sean evacuadas a través de cunetas en el pie del talud de cada piso que tendrán forma de "V" y con pendientes de 1,0 % hacia la salida exterior de las escombreras para unirse al drenaje periférico.

Monitoreo de la escombrera

Para lograr una seguridad operativa en la escombrera conformada se realiza el monitoreo como una parte integral del desarrollo de alturas considerables. La experiencia operativa ha demostrado que las fallas de los diques no ocurren sin un previo aviso. Algunos registros de los índices de desplazamiento que muestran un

avance progresivo proporcionan un claro aviso de probable inestabilidad, de manera que el personal y los equipos puedan ser desalojados del lugar.

Se utilizarán puntos topográficos de referencia como dispositivo de monitoreo que permitirá registrar los desplazamientos de la cresta, la hora y fecha de observación, a partir de lo cual se pueden calcular los índices de desplazamiento. Los desplazamientos de la cresta indican futuras fallas. Los diseños de los índices de desplazamiento frente al tiempo transcurrido advertirán la inminente inestabilidad de la estructura, con un tiempo más que suficiente para desalojar al personal y equipos de la plataforma de la escombrera o de la base antes de que ocurra la falla.

Tecnología de los trabajos mineros

Los trabajos mineros a realizar en este yacimiento consisten en el arranque, traslado y almacenamiento del mineral y las rocas de destape. Para ello se deben realizar los siguientes procesos básicos: preparación de las rocas para la excavación; excavación-carga; traslado de la masa minera (El material estéril hacia la escombrera y el mineral a la fábrica) y la preparación primaria del mineral y su beneficio.

Trabajos de arranque, carga y transporte

Arranque–Carga: El arranque para la extracción de material se hará con arranque directo utilizando la retroexcavadora Liebherr 984. La actividad de carga, tanto en el mineral como en el estéril, se ejecutará con el uso de la misma retroexcavadora.

Transportación del mineral y del estéril: La transportación del mineral y el estéril se realizará usando camiones HOWO de 15 m³ de capacidad, la cual constituye un esquema cíclico. El transporte automotor tiene como ventaja, respecto a otros sistemas, su maniobrabilidad, flexibilidad y en distintas condiciones climáticas, capacidad de vencer grandes pendientes, etc.

La distancia máxima al depósito en el ferrocarril es de 4,0 km mientras que la distancia a las escombreras es de 0,6 km.

Fundamentación del sistema de laboreo y sus características generales

En dependencia del desarrollo general de los trabajos con respecto al campo de mina, el sistema de laboreo a utilizar será longitudinal, donde el frente de arranque se desplaza paralelo al eje largo del campo de mina (en la dirección del rumbo). Este

sistema de laboreo puede ser unilateral o bilateral donde se avanza en profundidad por uno o los dos lados (Herrera, 2007).

Método y sistema de explotación

Dadas las características y condiciones que se presentan en el yacimiento objeto de estudio se determina que el método a utilizar es a cielo abierto. El sistema de explotación define el orden de formación de la zona de trabajo en el yacimiento en tiempo y espacio, y se caracteriza por el desarrollo armónico de los trabajos mineros en los escalones, forma de los frentes y dirección de desplazamiento.

El sistema de explotación que se empleará, según el orden de los trabajos, será por bancos a cielo abierto, con altura de banco de 5 m y ángulo del talud de 22°. Las operaciones de extracción y carga de la masa minera se realizarán con retroexcavadoras Liebherr 984, utilizando camiones articulados HOWO como medio de transporte para el material estéril y el mineral, como se explicó en el acápite anterior.

Diseño final operativo del yacimiento

Parámetros de diseño

Los elementos principales de la explotación en este yacimiento son:

- Altura del escalón
- Ángulo del talud del escalón
- El ancho de la plazoleta de trabajo.

Los elementos principales de la explotación se determinaron de acuerdo a las Normas de Proyección Tecnológicas y las Reglas de Seguridad durante la explotación de los yacimientos de mineral útil a cielo abierto.

Altura del escalón: La altura del escalón va a ser siempre constante, de 5 m, tanto para el escombreo como para la extracción, debido a la altura del camión, visibilidad apropiada para el operador de la retroexcavadora, mayor estabilidad del talud, menor pérdida y empobrecimiento en los contactos entre menas.

Ángulo de talud: el ángulo del talud de los escalones de trabajo se determina teniendo en cuenta el carácter de la estratificación y el grado de agrietamiento. Atendiendo a las Normas de Proyección Tecnológicas, las arcillas que conforman este yacimiento el ángulo del talud de trabajo es de 22°.

Plazoleta de trabajo: Cuando la carga se realiza desde el banco superior el ancho de la plataforma debe tener un rango mínimo de 8-12 m. Si la carga se realiza en el mismo nivel de ubicación de la retroexcavadora y el camión tiene que retornar a la misma vía para regresar, para lograr que el ángulo de arranque y carga del mineral sea de 90° como máximo, es recomendable que el ancho mínimo de la plataforma sea de 16 m.

Labores de extracción del mineral útil

Alcanzado el nivel de material útil en toda el área se la extracción se realizará en un banco de 5 m, con inicio en la cota +44,0 m hasta +39,0 m.

Se efectuará el arranque directo, donde el material se cargará por una retroexcavadora Liebherr 984 a los camiones HOWO y después al ferrocarril que lo trasladará hacia la Fábrica de Cemento Siguaney, ubicada al este del yacimiento (Figura 4).



Figura 4. Esquema 2D diseño de la Cantera La Loma.

Plan calendario de la minería

Los trabajos mineros para el periodo que se evalúa se planifican en toda el área del límite de los recursos medidos e indicados. Las labores de extracción en el primer año corresponden a la apertura de la cantera, estos volúmenes de material útil a extraer ascienden a 26 834,80 m³ y 11 371,46 m³ de material estéril (Figura 5).

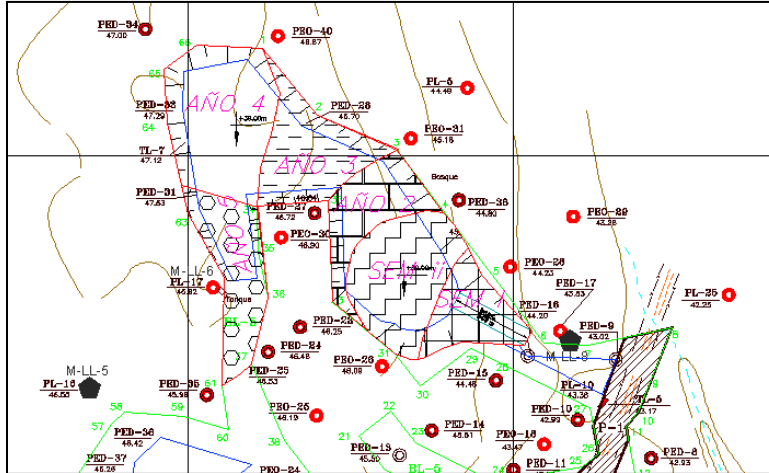


Figura 5. Plan calendario.

La extracción se hará con la combinación retroexcavadora-camión, el frente de trabajo tendrá dirección este-oeste; se deberá garantizar que el piso de la cantera mantenga una pendiente con dirección norte y grado de inclinación de un 0,1 %.

Hasta 5 años, seguirán las mismas condiciones de extracción, aunque se debe respetar la berma de seguridad. En los años 4 y 5 el frente de ataque será en dirección nortesur. La Tabla 8 muestra los volúmenes de extracción para el periodo evaluado.

Tabla 8. Resumen de volúmenes de material y estéril para el periodo que se evalúa

Plan	Banco	Masa Minera	Reserva	Estéril	Capa Vegetal	Coef, Destape
		m ³ /m ³	m ³	m ³	m ³	Destape
Semestre I	+39	22 468,87	13 423,50	5 695,23	3 350,14	0,4
Semestre II	+39	22 439,98	13 411,30	5 676,23	3 352,45	0,4
Año 1	+39	44 908,85	26 834,80	11 371,46	6 702,59	0,4
Año 2	+39	21 034,13	13,565,23	3 456,56	4 012,34	0,3
Año 3	+39	24 655,09	13 643,45	4 456,30	6 555,34	0,3
Año 4	+39	23 528,88	13 662,34	2 983,45	6 883,09	0,2
Año 5	+39	25 870,22	13 701,21	5 334,56	6 834,45	0,4
Subtotal						
TOTAL	Total					
	Masa Minera	139 997,17				
	Reservas		81 407,03			
	Escombros			27 602,33		
	Capa vegetal				30 987,81	
						0,4

Cálculo del equipamiento minero para la construcción de la trinchera de acceso y la extracción del mineral estéril

Productividad del buldócer

$$Q_t = \frac{3600 \times t \times V \times K_s \times K_o \times K_u \times K_i}{K_e \times T_c} \quad Q_t = 955 \text{ m}^3 / \text{t}$$

Cálculo del equipamiento minero en las labores de extracción del mineral útil

Productividad horaria de la excavadora

Productividad por turno:

$$Q_t = 8 * Q_{ex} \quad Q_t = 22 \text{ t / turno}$$

Productividad por día

$$Q_{di} = Q_t * N_t \quad Q_{di} = 22 \text{ t / día}$$

Productividad de explotación

$$Q_{T.ep} \text{ t} = Q_{di} * T_b \quad Q_{T.ep} \text{ t} = 476 \text{ t / día}_{ep}$$

Capacidad real volumétrica del cubo

$$Q_{rv.exc} = V_c * K_l \quad Q_{rv.exc} = 6.6 \text{ m}^3$$

Densidad del material suelto o esponjado

$$\gamma_s = \frac{\gamma_m}{K_e} = \frac{1.15}{1.37} = 0.84 \text{ t / m}^3$$

Capacidad real de carga del cubo

$$Q_{rc.exc} = Q_{rv.exc} * \gamma_s \quad Q_{rc.exc} = 5.6 \text{ t}$$

Cantidad de cubos por camión (volumen)

$$N_{cv} = \frac{q_c}{Q_{rv.exc}} = \frac{35}{6.65} = 5 \text{ cubos}$$

Cantidad de cubos por camión (masa)

$$N_{cm} = \frac{q_{cc}}{Q_{rc.exc}} = \frac{50}{5.6} = 9_{cubos}$$

Cantidad de excavadoras necesarias para la extracción

$$N_{exc} = \frac{V_{min} * 0.94}{Q_{T.expl}} = \frac{150000 * 0.94}{477648} = 1_{excavadora}$$

Cálculo de las operaciones del camión HOWO

Tiempo de recorrido del camión cargado

$$T_{rcc} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcc}} \quad T_{rcc} = 2.4 \text{ min}$$

Donde:

D_{prc} : Distancia de recorrido del camión hasta el almacén: 0,6 km

V_{prcc} : Velocidad promedio de recorrido del camión cargado: 15 km/h

Tiempo de recorrido del camión vacío

$$T_{rcv} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcv}} \quad T_{rcv} = 1.44 \text{ min}$$

Donde:

V_{prcv} : Velocidad promedio de recorrido del camión vacío: 25 km/h

Tiempo de carga del camión

$$T_{cc} = \frac{T_{cc} \times N_c}{60} \quad T_{cc} = 3 \text{ min}$$

Donde:

N_c : Cantidad de cucharas para llenar el camión: 6

T_{cc} : Tiempo de ciclo de la retroexcavadora: 45 s

Tiempo de ciclo

$$T_c = T_{mc} + T_c + T_{rcc} + T_{md} + T_d + T_{rcv} \quad T_c = 10.09 \text{ min}$$

Donde:

T_{rv} : Tiempo de recorrido vacío: 1,44 min

T_{rc} : Tiempo de recorrido cargado: 2,4 min

T_c : Tiempo de carga: 3 min

T_d : Tiempo de descarga: 0,20 min

T_{md} : Tiempo de maniobra para la descarga: 0,33 min

T_{mc} : Tiempo de maniobra de carga: 0,92 min

Productividad horaria

$$Q_h = \frac{60 \times C_{cc}}{K_e \times T_c} \quad Q_h = 36 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Donde:

Q_h : Productividad por hora

C_{cc} : Capacidad de carga del camión: 15 m³

K_e : Coeficiente de esponjamiento del material

Productividad por turno (diaria)

$$Q_t = Q_h \times K_{ll} \times T_t \quad Q_t = 259.2 \text{ m}^3 / \text{t}$$

Dónde:

Q_t : Productividad por turno (diaria)

K_{ll} : Coeficiente de llenado: 0,9

T_t : Tiempo de un turno de trabajo

Productividad anual

$$Q_a = N_a \times Q_t \quad Q_a = 55468 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Donde:

N_a : Días laborables al año (214)

Cantidad de días para el traslado del estéril con 3 camiones

$$N_c = \frac{V_{mt}}{Q_t} \quad N_c = 578 \text{ días}$$

Donde:

V_{mat} : Volumen de material

Diseño y construcción de caminos

En el yacimiento existen caminos mineros que establecen rutas hasta el almacén y hasta la escombrera; presentan buen estado técnico y cumplen con los parámetros de diseño. Se le deberán realizar mantenimientos programados que garanticen su vida útil hasta finalizar la explotación.

Conclusiones

A partir del estudio de las características ingeniero-geológica del yacimiento La Loma, de la provincia de Ciego de Ávila, se elaboró el proyecto de explotación que permitirá extraer de forma racional y eficiente las reservas de arcillas caoliníticas, considerando las características del equipamiento disponible.

Referencias bibliográficas

- ALMENARES, R.; DÍAZ, A.; RODRÍGUEZ, S.B.; RODRÍGUEZ, C. A. L. & HERNÁNDEZ, J. F., 2018. Assessment of Cuban kaolinitic clays as source of supplementary cementitious materials to production of cement based on clinker – Calcined clay – Limestone. doi:10,1007/978-94-024-1207-9_4,
- ALMENARES, R. 2017. *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. Tesis doctoral. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- ALUJAS, A. 2010. *Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicomponente*. Tesis doctoral. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- ARCIAL, F. & ALUJAS, A. 2015. Informe de identificación de arcillas caoliníticas, calizas y arcillas para la fabricación de Cemento de Bajo Carbono (LCC) en los alrededores de Gaspar provincia Ciego de Ávila y Siguaney provincia Sancti Spíritus. Santa Clara, Cuba.
- ARCIAL, F. 2007. Informe de exploración detallada de caolín La Loma y orientativa de Bañadero y Loma Sur. La Habana, Cuba.
- ARCIAL, F. 2008. Informe de exploración de explotación cantera Caolín Gaspar. Santa Clara, Cuba.
- ARCIAL, F. 2000. Informe de reconocimiento caolín Este de Ciego de Avila. La Habana, Cuba.
- BELETE, O. 2002. Folleto de máquinas de excavación–carga. *Máquinas e Instalaciones Mineras*. Felix Varela, La Habana.

- CASAGRANDE, A. 1934. *Hydrometer Method for Determination of Fineness Distribution of Soils*. Berlin, Julius Springer.
- HERRERA, J. 2007. Métodos de minería a cielo abierto. Explotaciones de canteras para áridos. La Habana, Cuba.
- HOEK, B. 1977. *Manual de Ingeniería de Taludes*. IDME, Amsterdam.
- MARTIRENA, F.; ALUJAS, A.; VIZCAINO, L.; BERRIEL, S.; DÍAZ, E.; ABDEL, P. ET AL. 2016. Desarrollo y producción industrial de un cemento de bajo carbono en Cuba. *Anales de La Academia de Ciencias de Cuba* 6: 1–8.
- NC TS 528. 2013. Cemento hidráulico-Puzolanas- Especificaciones. www.nc.cubaindustria.cu.
- ONRM. 2016. Balance Nacional de Recursos y Reservas Minerales No Metálicos. La Habana, Cuba.
- SUÁREZ, A.; ARCIAL, F.; GONZÁLEZ, J. A. & ALFONSO, M. A. 2003. Informe de prospección caolín Este de Ciego de Avila. La Habana, Cuba.
- VIZCAÍNO, L.; SÁNCHEZ, S.; PÉREZ, A.; DAMAS, S.; SCRIVENER, K. & MARTIRENA, F. 2015. Industrial trial to produce low clinker, low carbon cement. *Materiales de Construcción* 65: e045. doi:10.3989/mc.2015.00614.
- VIZCAÍNO, L. 2014. *Cemento de bajo carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer-arcilla calcinada-caliza*. Tesis doctoral. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.