

DISEÑO DEL METODO DE EXPLOTACION PARA LA MINA DE ARCILLA ASOGUAYABAL

(DESIGN OF THE METHOD OF OPERATION FOR THE ASOGUAYABAL CLAY DEPOSIT)

EDER DAVID FUENTES PACHECO
ISNARDO ACESIO BOHORQUEZ GALVIS

Coautor: JAIME WILLIAM JOJOA M.

Escuela de ingeniería de minas. Grupo de investigación GEAM, UPTC.

Resumen:

La realización del presente proyecto se llevo a cabo teniendo en cuenta los objetivos planteados en la propuesta presentada con base a las necesidades, expectativas y alcances de la empresa que llevará a ejecución el método de explotación a cielo abierto planteado y diseñado; así mismo basados en la viabilidad, parámetros y conocimientos técnicos en minería.

Se realizaron 12 apiques distribuidos en todo el sector de interés de explotación para extraer muestras y someterlas a ensayos de laboratorio con el objeto de conocer las características físicas y mecánicas del terreno.

El análisis de la estabilidad de los taludes diseñados y definidos se realizó aplicando el software SLIDE de ROCKSCIENCE mediante dos métodos; el método de Janbú simplificado y el método de Bishop simplificado con sus respectivos factores de seguridad en cada uno.

Se identificaron y evaluaron los impactos ambientales generados por el desarrollo del proyecto, utilizando las matrices de LEOPOLD.

Abstrac:

The realization of the present project you carries out keeping in mind the objectives outlined in the proposal presented with base to the necessities, expectations and reaches of the company that it will take to execution the method of exploitation to outlined open sky and designed; likewise based on the viability, parameters and technical knowledge in mining.

They were carried out 12 perforations distributed in the whole sector of interest of exploitation to extract samples and to subject them to laboratory rehearsals in order to knowing the physical and mechanical characteristics of the land.

The analysis of the stability of the designed banks and defined he/she was carried out applying the software SLIDE of ROCKSCIENCE by means of two methods; the method of simplified Janbú and the method of Bishop simplified with their respective factors of security in each one.

They were identified and they evaluated the environmental impacts generated by the development of the project, using the wombs of LEOPOLD.

Palabras claves: Barichara, Asoguayabal, Arcilla, Caracterización Geotécnica, Bancos Múltiples Ascendentes, Humedad, Estabilidad, Impacto Ambiental.

Key words: Barichara, Asoguayabal, Clay, Geotécnica Characterization, Ascending Multiple Banks, Humidity, Stability, Environmental Impact.

INTRODUCCION

La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, frágil en seco y con gran capacidad de absorción; impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidratada endureciéndose mucho.

La explotación, generalmente se efectúa a cielo abierto, utilizando medios mecánicos convencionales; la potencia del recubrimiento a remover varía de unos yacimientos a otros, desde varios centímetros hasta unos cuantos metros. El procesamiento industrial del producto de cantera viene fijado por la naturaleza y uso a que se destine; generalmente es sencillo, reduciéndose a un machaqueo previo y eliminación de la humedad y finalmente, a una molienda hasta los tamaños de partículas deseados; la temperatura de secado depende de la utilización posterior de la arcilla.

La extracción del material de arcilla en el área de estudio, se realiza de manera artesanal, antitécnica e irracional en donde no se tienen frentes de explotación y secuencia definida.

Con el siguiente proyecto se pretende llegar a un diseño de un

método de explotación para lograr el aprovechamiento racional del yacimiento de arcilla comprendida dentro del área de la Asociación de Artesanos y Alfareros de la Vereda Guayabal "ASOGUAYABAL", teniendo en cuenta los procedimientos técnicos de la explotación minera a cielo abierto.

Para lograr el diseño adecuado del método de explotación, se debe tener en cuenta una serie de parámetros técnicos, tales como, la topografía del terreno, límites del sector de interés de explotación, las características físicas y mecánicas del material, dimensionamiento de los frentes de trabajo, dimensionamiento de los taludes; ya que la maquinaria a emplear en el arranque, cargue y transporte requieren de un espacio de adecuado de trabajo y diseño de las vías totalmente seguros en cuanto a la estabilidad y movilización de estos, para lograr un aprovechamiento racional del mineral y estimación de la vida útil del proyecto, que tiene por objeto la extracción y/o captación de los minerales yacentes en el suelo o subsuelo del área.

1.GENERALIDADES

La Asociación de Artesanos y Alfareros de la Vereda Guayabal tiene proyectado el aumento de la producción a 2000 m³ mensuales para abastecer la demanda en la

Este título minero explota las arcillas que constituyen la Formación Simití, varían de color desde amarillas abigarradas, rojizas, grises hasta verdosas, su espesor supera los 15 metros y se encuentran conformadas principalmente por granos de tamaño arcilla con presencia de limos y muy ocasionalmente arenisca muy fina.

2.1. APIQUES REALIZADOS Y TOMA DE MUESTRAS

TABLA 1. Información de los apiques realizados.

Apique No	Coordenada Norte	Coordenada Este	Profundidad total	Cota m.s.n.m.	Nº Capas
1	1123723	1101153	4,4	1563	4
2	1123423	1101153	4,7	1587	5
3	1123123	1101153	3,9	1545	4
4	1122823	1101153	3,8	1559	4
5	1122673	1101003	4,9	1533	5
6	1122973	1101003	4,4	1602	4
7	1123273	1101003	3,9	1580	4
8	1123573	1101003	3,9	1595	3
9	1123423	1100853	4,2	1599	4
10	1123123	1100853	4,1	1567	3
11	1123273	1100703	4,35	1572	5
12	1122973	1100703	4,0	1546	5

4. CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL YACIMIENTO

FUENTE. Datos de estudio.

6.. CALCULO DE RESERVAS DEL SECTOR DE EXPLOTACION

El área del sector de explotación tiene una extensión de 47, 98 hectáreas y para el calculo de las reservas se realizó por el método de los perfiles, dichos perfiles se trazaron perpendiculares al rumbo (N16°E) del yacimiento a una distancia entre cada uno de 100 metros, teniendo en cuenta la cota mas baja (1526 m.s.n.m.), es decir el nivel patio del sector, para obtener valores mas aproximados en cuanto a las reservas del sector de interés de explotación.

Las reservas mineras medidas del sector de explotación son de **16'317.734 metros cúbicos**, es decir **29'714.587 de Toneladas**, teniendo en cuenta que la producción anual esperada es de 24000 m³ (43.704 Ton) y que las reservas explotables por diseño con un espesor promedio explotable (2,7 m) son de 567.587 m³ (1'033.576 Ton), la vida útil del proyecto tendrá una duración de 10 años para una producción total de 240.000 m³ (437.040 Ton), cantidad que se tendrá en cuenta para el avance y cantidad de bancos a explotar.

La caracterización geotécnica del yacimiento, tiene como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada una de las unidades de rocas y suelos presentes en el área de estudio,

para poder realizar los cálculos de estabilidad del terreno.

Las muestras recolectadas en campo, se referenciaron para realizar los ensayos de laboratorio y conocer sus propiedades físico-mecánicas. Estos ensayos realizados en laboratorio fueron los siguientes:

- Contenido de humedad
- Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico)
- Granulometría por tamizado
- Compresión inconfiada
- Corte directo

5. DISEÑO DEL METODO DE EXPLOTACION

5.1. ALTERNATIVAS

Para el sector de interés de nuestro proyecto se tendrán en cuenta dos (2) alternativas, siendo analizadas cada una en sus ventajas y desventajas, condiciones del terreno, la no exagerada variabilidad de la topografía el cual se ve afectada principalmente, condiciones económicas de la Asociación, la dirección de buzamiento del yacimiento y tipo de depósito; las alternativas propuestas son las siguientes:

- **Banco Único**

Ventajas	Desventajas
- Mayor rendimiento en el cargue y transporte del material	- Dificultad en el manejo del contorno paisajístico y en la etapa final se presentan grandes

- Mayor control del personal que interfiere directamente en la mina	inversiones en el acondicionamiento de la capa vegetal - Se requiere de maquinaria pesada para la etapa de explotación - Se manejan taludes sobredimensionados para este tipo de material poniendo en peligro la infraestructura de la mina
---	---

- **Bancos Múltiples Ascendentes**

Ventajas	Desventajas
- Mejores condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria - Facilidad en la recuperación ambiental ya que se dejan bermas finales para permitir la reforestación del terreno - Mejores condiciones de trabajo para los equipos de cargue y transporte por tener varios frentes de explotación	- Mayor cantidad de equipos de trabajo y personal - Lluvias y condiciones climáticas desfavorables
- Mayor productividad de la mina y selección del material desde la misma etapa	

de explotación	
----------------	--

5.2. DISEÑO GEOMETRICO

Para analizar la estabilidad de taludes en el diseño del método de explotación se tendrán en cuenta las siguientes propiedades geomecánicas: Cohesión; Peso específico y el Angulo de fricción interno, denominadas como propiedades intrínsecas del material.

5.1.1. Elección de alternativa.

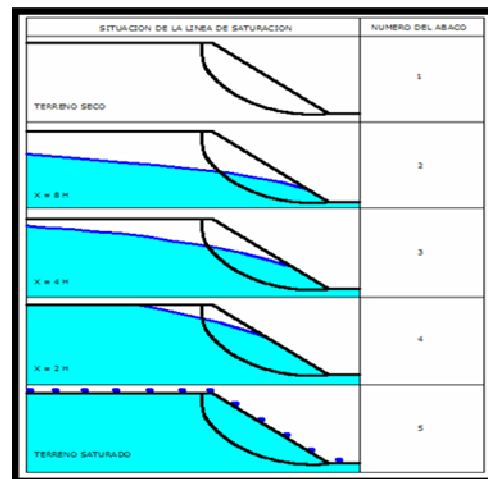
Para el desarrollo del proyecto en el sector 1 del área, se implementará el método de explotación por Bancos Múltiples Ascendentes, este método presenta mejor adaptabilidad en sus ventajas en cuanto a las condiciones del terreno del sector de interés.

Para la aplicabilidad de este método de explotación, el laboreo minero comienza por la adecuación de las vías de acceso existentes en condiciones de transitividad favorable para las volquetas sencillas y de doble tracción; así como la de la maquinaria a emplear en la explotación.

La tarea a realizar posteriormente es la remoción de material estéril sobre el sector que ha de iniciarse la explotación de arcilla. Se construyen las vías de acceso a los futuros bancos de explotación. Una vez preparado el sector se procede a explotar el banco de arcilla en franjas ascendentes “bancos” hasta llegar al límite de explotación predeterminado en el diseño.

Uno de los parámetros de suma importancia es el contenido de humedad del terreno, esta consideración nos permite determinar el tipo de terreno en que se está laborando. Son cinco (5) los tipos de terreno a estudiar en el momento del diseño de un banco de explotación de acuerdo al porcentaje de humedad: Tipo 1: Terreno totalmente seco; tipo 2: Terreno parcialmente saturado (30% -40% de humedad total); tipo 3: Terreno saturado (40-80% de humedad total); tipo 4: Terreno saturado (80%-90% de humedad total); tipo 5: Terreno totalmente saturado (100% de humedad total).

FIGURA 2. Casos de Humedad.



FUENTE. Manual de Ingeniería de taludes (ITGE).

Teniendo en cuenta los ensayos realizados, la **humedad crítica** en el terreno es de **34,88%** el cual la presenta las arcillas de color gris oscuro, esto nos da una clasificación de un **terreno parcialmente saturado** entre un 30% - 40% de humedad total, es decir un terreno de tipo 2.

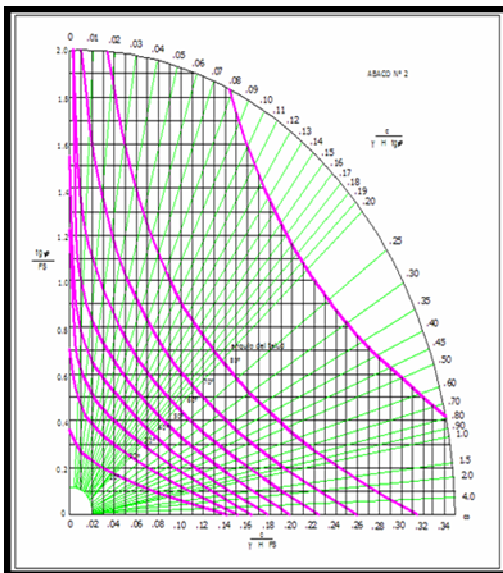
- Cohesión del material = 2,4870 Ton/m²
- Angulo de fricción interno = 14.5987 ≈ 15°
- Peso específico del material = 1,821 g/cm³

5.3. CALCULO DE LA ESTABILIDAD

Según lo anterior para poder determinar la valoración de las variables, emplearemos los ábacos de Hoek and Bray con relación a la estabilidad de taludes en suelos, de los que existe un ábaco para cada tipo de terreno.

El cálculo del factor de seguridad se analizó con el Software Slide de Rockscience para simular cada situación requerida dentro de la evaluación de estabilidad relacionada con las características físicas y mecánicas de los materiales.

FIGURA 3. Abaco No. 2, terreno parcialmente saturado (30-40% de humedad).



Para un análisis detallado de la estabilidad se decidió evaluar tomando tres (3) perfiles geotécnicos que abarcaran una información completa y extensa sobre el sector de explotación basados en los apiques realizados, distancia entre estos, e información de los resultados de los ensayos de laboratorios.

- Nivel freático en superficie (Saturación total) sin incremento de esfuerzos.

Los métodos utilizados para observar el comportamiento del terreno son el Janbú simplificado y Bishop Simplificado.

FUENTE. Manual de Ingeniería de Taludes (ITGE).

En la interpretación de estos nomogramas debemos tener en cuenta las propiedades del terreno obtenidas en los ensayos de Corte Directo; estos son:

TABLA 2. Factores de seguridad calculados por medio del software Slide de Rockscience.

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD CRITICO	
	Janbú Simplificado	Bishop Simplificado
B-B'	0,981	1,024
C-C'	1,075	1,075
E-E'	0,54	0,56

FUENTE. Datos de estudio.

Se pudo comprobar con el software que para los taludes de los perfiles B-B' y C-C' al aplicarle a cada berma su respectiva carga no ofrece términos de falla aun teniendo el nivel freático en superficie presentando un comportamiento muy similar al evaluado sin incremento de esfuerzos, con una disminución muy mínima del factor de seguridad sin importancia para una minuciosa descripción del fenómeno.

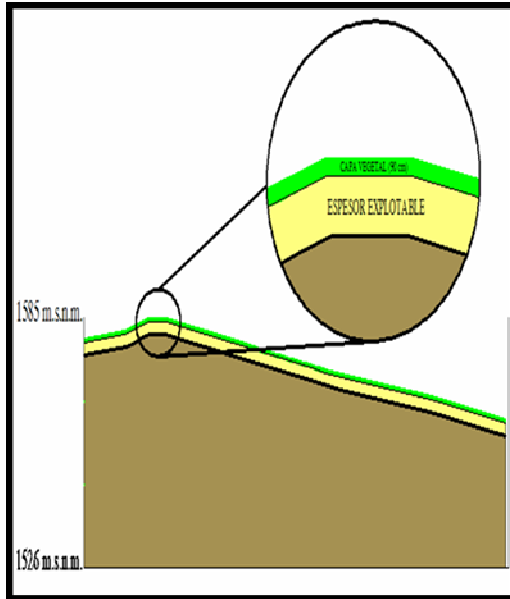
Para el caso del análisis en el perfil E-E' se trabajo con el nivel freático real debido que con el nivel freático en superficie manifestó falla con factores de seguridad muy bajos con no existencia alguna de incremento de esfuerzos. Este análisis presento falla en la segunda berma en orden ascendente con un factor de seguridad de 0,946 siendo el mas critico aun en condiciones de nivel freático real, mas bajo que en superficie que es mas critico; la geometría y la dimensión de la falla es pequeña y muy local; el resto de cargas en cada de las bermas ofrece un comportamiento también similar al estar sin incremento de esfuerzo y nivel freático real.

5.4. SISTEMA DE SECUENCIA Y ARRANQUE

El arranque se hará en forma directa con una retroexcavadora marca Caterpillar 430E que en sus características cumple con la altura del banco diseñado ya que su alcance máximo de corte es de 7,2 mts realizando el desprendimiento de la arcilla de los bancos y el cargue lo hará con el cargador con capacidad de cuchara de 1,0 m³. El arranque debe iniciarse desde el banco inferior para facilitar, el cargue del material y maniobrabilidad de la retroexcavadora en los movimientos hacia las volquetas de transporte, y el diseño final de la explotación.

EL avance de la explotación se comenzará con el banco No 1 de forma lateral (N-S) ubicado en la cota 1526 m.s.n.m., siendo el sentido de la explotación en forma ascendente (E-W) hasta el banco No 11, los cuales tienen las reservas necesarias para la ejecución del proyecto a diez (10) años, es decir se explota totalmente el primer banco en toda su longitud después se pasa al segundo y así sucesivamente.

FIGURA 4. Yacimiento recubierto por una capa vegetal de 90 centímetros de espesor.



Arranque y cargue:

Corresponde a la extracción del material in-situ por medio de la retroexcavadora, la cual se encarga en la misma operación de cargar el material a las volquetas.

Transporte: Es la labor realizada por medio mecánico (volquetas de 6 m³), las cuales se encargarán de transportar el material desde los frentes de explotación hasta el acopio de almacenamiento.

5.4.1. Descripción de labores a realizar:

- **Labores de preparación.** Se inicia con la adecuación del patio de mina, de las vías de acceso a los bancos de trabajo y la remoción de la capa vegetal labor que realizará la retroexcavadora con el fin de establecer las vías de trabajo de la maquinaria de cargue y transporte; el primer banco se organiza hasta encontrar una altura de 3 metros según los establecido para este método, con un ángulo de trabajo de 26° y una berma de seguridad de 3 metros. De la misma forma se organizan los siguientes bancos para su posterior explotación.
- **Labores de explotación.** Comprende los tres ciclos principales arranque, cargue y transporte.

6. ASPECTOS AMBIENTALES

La aplicación de la importancia ambiental, arroja una idea de cómo resultarán intervenidos los diferentes componentes ambientales de estudio y nos muestra cuales son las actividades del proyecto que generan mayor impacto ambiental en el área de estudio.

6.1. MANEJO DE ESTERIL Y CAPA VEGETAL.

La disposición de la capa vegetal se realizara de la siguiente manera: Principalmente la capa vegetal será llevada a una zona pequeña, diseñada para el almacenamiento de esta cerca del patio de acopio. Una vez la

explotación lleve un avance de 100 metros, la capa vegetal será llevada nuevamente hasta la zona explotada (cara de los taludes), para así realizar un mejoramiento edáfico, que consiste en una recuperación ambiental simultánea a la explotación.

6.2. IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

Los impactos ambientales pueden entenderse como los cambios o modificaciones positivas o negativas ocasionadas por las actividades de un proyecto. Para la identificación de los impactos ambientales, utilizaremos la matriz ilustrada en la Tabla 19. En esta Tabla, se identifica el tipo de impacto con las siguientes convenciones:

+: Impacto positivo.

-: Impacto negativo.

O: No se presenta impacto alguno.

6.3. EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

Después de identificar los impactos ambientales, que se presentan en la zona de estudio y definir los que se pueden presentar con la implementación del sistema de explotación propuesto, se procede a realizar una valoración de estos con el fin de definir cuál es el impacto ambiental más severo y la actividad que lo genera. La valoración se realiza en forma cualitativa por medio de una matriz de

identificación de impactos ambientales, la cual relaciona las actividades que encierra el proceso minero con el factor ambiental afectado en los diversos componentes por dichas actividades, dando como resultado el grado de afectación.

La cuantificación de los impactos se efectúa a través del método de la matriz de LEOPOLD.

Para la valoración de los impactos ambientales, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Magnitud del efecto:**

Alta (A): 10

Media (M): 5

Baja (B): 1

- **Desarrollo del impacto:**

Lento (L): mayor a 1 año, con un valor de: 0.1

Medio (M): de 0.5 a 1 año, con un valor de: 0.5

Rápido ©: menor a 0.5 años, con un valor de: 1.0

- **Duración del impacto:**

Corto plazo (CP): de 0 a 1 año, con un valor de: 1

Mediano plazo (MP): de 1 a 5 años, con un valor de: 5

Largo plazo (LP): mayor a 5 años, con un valor de: 10

- **Probabilidad de ocurrencia:**

Cierta ©: 1.0

Probable (P): 0.5

Poco probable (PP): 0.1

Luego se procede a realizar la calificación ecológica, por medio de la siguiente expresión matemática:

$$C = p * [(0.7 * c * M) + 0.3 * D]$$

Donde:

C: calificación del impacto ambiental.

P: probabilidad de ocurrencia.

C: desarrollo del impacto.

M: magnitud del impacto.

D: duración del impacto.

TABLA 3. Clasificación de los impactos ambientales.

IMPACTO	CALIFICACION
Significativo no mitigable	> 5
Significativo mitigable	de 2 a 5
No significativo	< 2

6.4. PLAN DE CONTINGENCIA

Se hará a partir de los riesgos asociados a la explotación de las arcillas por factores naturales o como consecuencia de dichos trabajos que dan como resultado lesiones personales, daños a los bienes o interrupción de las actividades productivas de la mina.

Entre los panoramas de riesgos tenemos los siguientes:

- **Accidente vehicular.** Con el diseño del método de explotación se tendrá una vía principal de acceso, la cual contara con avisos de señalización acorde a las normas establecidas por el ministerio de transporte.
- **Zonas de inestabilidad.** Debe mantenerse constante control sobre los taludes cercanos a la zona de explotación y los ángulos de talud no podrán exceder lo calculado, además debe vigilarse la aparición de grietas en los bancos.
- **Estabilización de laderas.** Vigilancia de los canales de desagüe y destaponamientos que se puedan producir por la erosión de los mismos.

6.5. PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Como al final de la explotación y antes del cierre de la mina el área

del proyecto debe ser dejada en las condiciones planteadas dentro del plan de manejo ambiental y se tendrán en cuenta los siguientes parámetros que definen los indicadores para los componentes ambientales a los cuales se les hará el seguimiento y monitoreo. Los parámetros son los siguientes:

- Control sobre el desarrollo del plan de manejo ambiental.
- Control de los parámetros que garanticen la calidad ambiental durante la explotación.
- Cumplimiento acerca de la recuperación ambiental.

CONCLUSIONES

- Las reservas mineras explotable por diseño en el sector de interés de explotación mantienen la vida útil del proyecto, en una duración de 10 años, haciendo la extracción del material hasta el talud número 10.
- El factor de seguridad del dimensionamiento de los taludes diseñados, arrojaron valores mayor de uno (1) para condiciones de saturación total (nivel freático en superficie), lo que quiere decir que los taludes son estables en condiciones reales.

- Teniendo la producción mensual esperada de 2000 m³ el factor de acoplamiento (FA) "Match Factor" es de 1.07, lo cual podemos decir que la eficiencia de la carga es acorde a la del transporte con un 100% para ambas partes.
- El mejoramiento edáfico (recuperación ambiental simultánea a la explotación), se realizara con el fin de que dicha recuperación ambiental no se realice en la etapa final, es decir, en el cierre y abandono de las labores mineras.

RECOMENDACIONES

- Diseñar y construir piezómetros dentro del sector de explotación con en objetivo de monitorear el nivel freático, para tomar medidas rápidas y efectivas a cualquier eventualidad concerniente a la estabilidad de los taludes.
- Realizar un mantenimiento periódico al sistema de drenaje de la mina para garantizar su normal funcionamiento, así como mantener limpio el piso de los bancos y con la pendiente necesaria para el drenaje.
- Construir un sistema de sedimentación de los lodos y arenas provenientes de los frentes de explotación y mantenimiento de dichos sedimentadores.

- Inspeccionar la ladera por encima de la corona del talud superior, para detectar cualquier falla de tipo geológico; medir el espesor, longitud y forma de las grietas que se estén presentando.
- Realizar inspecciones permanentes, advirtiendo posibles deslizamientos de material.
- Elaborar un plan de restauración con base a uso futuro de terrenos afectados por la actividad minera, cronograma de ejecución, protección de aguas superficiales, protección de la población con base a ruido y polvo.

(ITGE). Evaluación y corrección de impactos ambientales, España. 1991.

- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE). Manual de arranque, cargue y transporte en minería a cielo abierto, España.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE). Manual de ingeniería de taludes, España.
- JOJOA, Jaime William. Evaluación geológica de yacimientos minerales. 1998.
- LOPEZ JIMENO, Carlos. Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras.
- Plan de ordenamiento territorial del municipio de Barichara-Santander. 2006.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA