

ANÁLISIS DEL CIERRE DE OPERACIONES MINERAS SUBTERRÁNEAS PARA ALCANZAR LA PROTECCIÓN AMBIENTAL. CASO: MIMOSA

ANALYSIS OF THE CLOSING OF UNDERGROUND MINING OPERATIONS FOR THE PROTECTION OF THE ENVIRONMENTAL. CASE: MIMOSA

Estanislao De la Cruz Carrasco*

RESUMEN

En la mina Mimosa de la Cía. Minas Buenaventura S.A. ubicada en la unidad Julcani, el problema fundamental es la presencia de aguas ácidas en las labores subterráneas por el contenido de minerales sulfurados, canchas de desmontes, canchas de relaves.

Las aguas ácidas contaminan los riachuelos, el suelo, la flora y la fauna.

Para mitigar esta situación se debe controlar las tres fuentes principales de contaminación, por lo que la empresa ha desarrollado programas de adecuación y manejo ambiental que comprenden:

Cierre de bocaminas, chimeneas y rajos abiertos, para evitar la entrada de aire y agua hacia las labores subterráneas. Construcción de cunetas de coronación para evitar la escorrentía por las canchas de relave y desmontes. Separación de aguas ácidas y aguas neutras en el interior de la mina. Encapsulamiento de canchas de relave y canchas de desmonte.

De cada una de las actividades del cierre se hace un análisis, si hay problemas de cierre, se observa y se plantean las soluciones adecuadas.

Palabras clave: Cierre de minas

ABSTRACT

In the Buenaventura S.A. Mining Company's Mimosa Mine - Julcany Unit - the main problem is the presence of acid waters in underground work, earthwork yards and tailings yards that pollute water, soil, flora and fauna sources.

In order to mitigate this situation, the three main sources of pollution would have to be controlled. With such a purpose the company has developed environmental management and adequation programs, comprehending:

The closing of mine entrances, chimneys and open pits, to avoid air and water coming into underground work, the construction of *cunetas de coronación*¹ to avoid leaching through earthwork and tailings yards, the separation of neutral and acid waters inside the mine, and the capsulling of earthwork and tailings yards.

An analysis is made from each closing activity and suitable solutions are recommended.

Key words: Mine closing, Julcani-Mimosa, Pollution.

* Docente del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: edelacruz@unmsm.edu.pe

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se formularán dos preguntas que engloban nuestro problema, a saber:

- ¿Cuáles son los problemas del cierre de minas en la sección Mimosa?
- ¿Cuáles serán los impactos sociales, económicos, técnicos y ambientales que genera el cierre de minas?

II. HIPÓTESIS

- El análisis técnico, social, económico y ambiental, permitirá identificar los impactos ambientales después del cierre de minas.
- El deficiente cierre de minas no favorece el desarrollo sostenible de las poblaciones del entorno de la mina Mimosa.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Analizar desde el punto de vista técnico, económico, social y medio ambiental el cierre de operaciones mineras subterráneas de la mina Mimosa.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los problemas que genera el cierre de minas.
- Identificar los impactos económicos, sociales y técnicos del cierre de minas.
- Proponer alternativas de solución a problemas detectados en el cierre de minas.
- Promover el desarrollo sostenible de las poblaciones cercanas ocasionados por el cierre de minas.

IV. METODOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar la protección ambiental se han desarrollado las siguientes actividades:

- Búsqueda de información bibliográfica diversa.
- Se han efectuado los siguientes estudios: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, Informes de Monitoreo de calidad de agua y aire, Estudio de Evaluación Ambiental.
- Estudio y análisis de los diversos planos: topográficos, ambientales y labores mineras existentes de superficie y mina subterránea.
- Visitas a toda la unidad de producción para preparar el inventario de la sección Mimosa rela-

cionado a labores mineras, donde encontramos: bocaminas chimeneas, Raise Boring, rajos abiertos, depósitos de desmonte (canchas), plantas de tratamiento y depósitos de relave (canchas de relave).

V. MARCO TEÓRICO

Son los soportes teóricos de la operación del cierre de minas, es importante conocerlos para tener idea del trabajo.

5.1. Desarrollo Sostenible

El concepto de desarrollo sostenible en el campo minero debe de tener dos objetivos:

- La explotación de recursos mineros para mejorar la calidad de vida.
- El cuidado del medio ambiente de las zonas de operaciones. Debe haber un equilibrio entre la calidad de vida y calidad ambiental.

5.2. Operaciones mineras

Son las diferentes fases que comprende la actividad minera como: la exploración, el desarrollo, el transporte, el tratamiento de los minerales y la comercialización.

5.3. Drenaje ácido

Son las aguas contaminadas que salen de las bocaminas, de las canchas de relave y la filtración ácida de la cancha de desmonte [1].

Las minas polimetálicas explotan principalmente sulfuros, los que se oxidan al entrar en contacto con el aire que ingresa por las labores mineras. El agua de las lluvias se combina con los óxidos, produciendo aguas ácidas que contienen iones de metales pesados.

De igual manera las canchas de relaves y las canchas de desmonte drenan el agua ácida cuando el agua pluvial se filtra sobre ellas.

5.4. Cierre de minas

Es la paralización de las operaciones mineras de la unidad o sección, ordenadas por el titular y comunicado a la autoridad minera [2].

El cierre se ejecuta de acuerdo a un Programa o Plan de Cierre, y éste es el documento que contiene la programación estratégica y de detalle

comprometida por el titular con el sector correspondiente para lograr el cierre de sus operaciones en forma ordenada, eficiente y oportuna.

5.5. Mitigación ambiental

Es la reducción de los impactos que se producen en las fuentes de contaminación sobre el medio ambiente. En el caso que estudiamos hay técnicas preventivas y técnicas correctivas [3].

5.6. Revegetación

Es el sembrío o plantación de los vegetales propios de la región.

Luego de dar una gradiente adecuada, tanto las canchas de desmonte y canchas de relave donde existe drenaje ácido se impermeabilizan con arcilla, para evitar el ingreso de aire y agua, para después depositar encima piedra caliza.

VI. ANÁLISIS DEL CIERRE DE OPERACIONES MINERAS SUBTERRÁNEAS PARA ALCANZAR LA PROTECCIÓN AMBIENTAL. CASO: MIMOSA

6.1. Generalidades

En el caso que nos toca analizar, el cierre se ha programado y ejecutado para cumplir con el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, para remediar los pasivos ambientales de la Unidad, abandonadas en muchos casos desde la época colonial, y los trabajos desarrollados desde 1907.

La Ley de Cierre N.º 28090 se da en octubre de 2003 y justamente tiene mérito el cierre en Mimosa por haberse ejecutado antes de la dación de la ley.

El cierre de operaciones mineras es un proceso planificado y programado que incluye entre sus etapas:

- El cierre de labores mineras (bocaminas, chimeneas, Raise Borer, rajos abiertos).
- La demolición de infraestructuras (talleres, oficinas, plantas concentradoras).
- La rehabilitación de áreas verdes.
- La reconversión laboral de los trabajadores de la empresa y de las comunidades vecinas.
- La promoción de actividades industriales que permita la sostenibilidad de la comunidad vecina que dependen de la empresa minera [4].

6.2. Análisis del cierre de labores mineras

Con el fin de realizar el análisis y evaluación de las labores mineras en la sección Mimosa de la Unidad Julcani de la Cía. Minas Buenaventura se desarrollaron las siguientes actividades:

6.2.1. Inventario de fuentes de contaminación

En la zona en estudio hay muchas labores mineras como producto de operaciones antiguas y las actuales de los que se han hecho un inventario, los que comprenden:

Cuadro

Bocaminas	→	38
Chimeneas y Raise Boring	→	41
Rajos abiertos	→	30
Cancha de desmonte	→	68
Cancha de relave	→	1
Viviendas (unifamiliares)	→	15

6.2.2. Análisis de las fuentes de contaminación

a) Cierre de bocaminas

Para el cierre de bocaminas y dependiendo de la carga que van a soportar, se han diseñado tres tipos de tapones:

- Simple sin drenaje,
- Simple con drenaje y
- Especial.

a.1) Cierre de bocaminas sin drenaje: con tabique o mampostería

Son muros que brindan seguridad para impedir el ingreso de personas y animales a la mina.

Están contruidos de rocas nativas y en otros casos de bloquetas de concreto según sea la necesidad o de acuerdo a la disponibilidad de materiales. Fijado el punto o zona de construcción, cualquier roca suelta alrededor del perímetro de la abertura incluido el piso, deberá ser removida para asegurar una construcción estable. Si el piso tiene un desnivel y la mampara de bloqueta de concreto es elegida como método de clausura, puede que sea necesario nivelar el piso con concreto o desquinchar los desniveles existentes para crear un nivel liso en la fundación (base).

Cuando las dimensiones de la bocamina son de 1.80 m x 1.80 m y 2.40 m x 2.40 m, el espesor de la mampara será la siguiente:

Roca Natural = de 60 a 75 cm
 Bloqueta = una línea de bloqueta

Cuando las dimensiones de la bocamina son de 2.40 m x 3.00 m o de 3.00 m x 3.00 m. El espesor de la mampara será:

Roca Natural = 90 cm
 Bloqueta = dos líneas de bloquetas

Cuando se use bloquetas de concreto, se deberá tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- Rellenar interiormente las bloquetas de concreto con mortero, instalar varillas de acero corrugado de 1/2" de diámetro espaciadas cada 40 cm, si se va a construir con una sola línea de bloquetas de concreto.
- Si se va a construir con una doble pared de bloquetas de concreto inserte varillas de 3/8" de acero corrugado, espaciadas cada 0.60 cm de las paredes de bloquetas de concreto y luego aplique en mortero sobre los alvéolos interiores. Debemos mencionar que la clausura ha incorporado una tubería de drenaje para la evacuación de los posibles o ya existentes flujos de agua observados durante los trabajos preliminares.

Ver fotos del N.º 1 al N.º 3, y el gráfico N.º 1.

a.2) Cierre de bocaminas con drenaje: tapón especial de concreto sólido no reforzado

El cierre de minas con tapones especiales consiste en estructuras de concreto sólido no reforzado (agregados, cemento, agua, etc.), que se han colocado en una zona especialmente escogida de la galería (roca volcánica).

- Para iniciar los trabajos, el área deberá tener condiciones geomecánicas especiales.
- Se construirán muros provisionales de mampostería o se colocarán sacos de arena con el fin de mantener seca la zona de trabajo. Al mismo tiempo debe instalarse una tubería de drenaje de polietileno de un diámetro mínimo de 6".
- Se preparará el encofrado en los extremos de la longitud del tapón que se quiere colocar utilizando puntales debidamente empotrados, luego se entabla a fin de que soporte la presión ejercida por el concreto, además se realiza el vaciado de concreto pre-mezclado en el tapón.
- Finalmente la recuperación de materiales.

Para el diseño de tapones especiales la empresa ha considerado entre otros: la altura estática del agua, esfuerzo cortante de la roca de cimentación y del concreto de diseño, dimensiones de la galería y la aceleración de la gravedad. Los tapones de concreto sólido no reforzado son estructuras de importancia debido a las cargas de agua que tendrán que soportar (Gráfico N.º 2), donde las cargas a las que está sometida la estructura son comparables con las cargas que se desarrollan en una presa de concreto. Luego de señalada la zona de colocación del tapón correspondiente y calculada la longitud con los datos obtenidos en el terreno se produce la construcción con equipos especiales de alimentación continua cuya mezcla será: 1:6. [5].

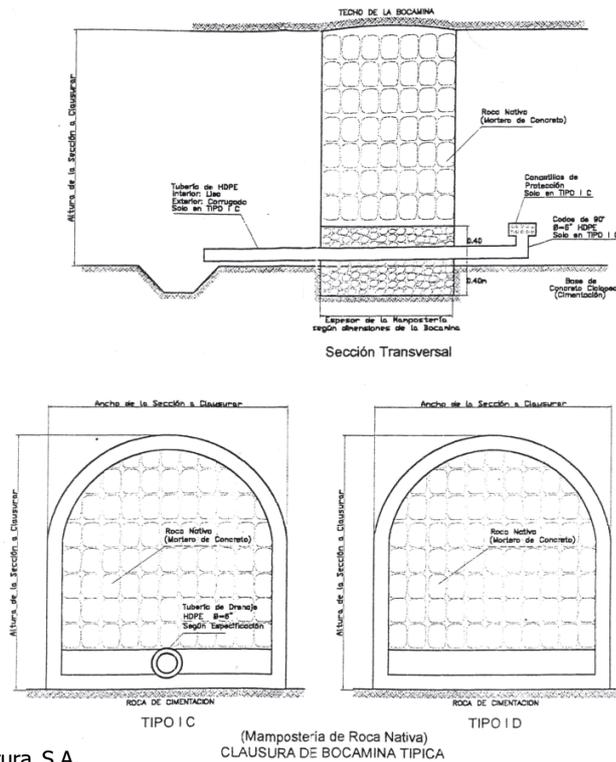
Cemento Pórtland N.º 5 para evitar la corrosión correspondiente.



Foto N.º 1. Clausura de galería con bloquetas de concreto.

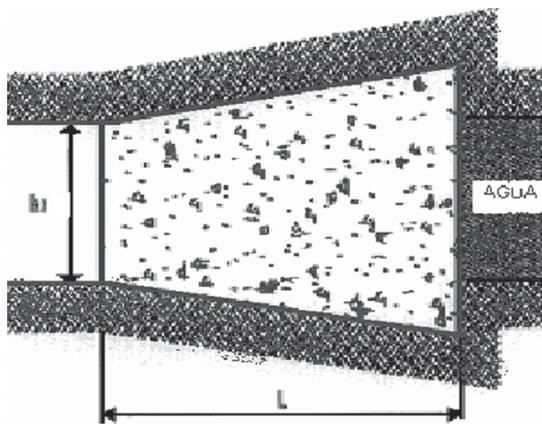


Foto N.º 2. Clausura de bocaminas con roca nativa.



Fuente: Cía. Minas Buenaventura S.A.

Gráfico N.º I.



$$L = \frac{PgHWh}{2(h+W)U} \quad [6]$$

- P = Densidad del agua Kg/m³
- g = Gravedad 9.81 m/seg²
- H = Altura mts.
- W = Ancho del túnel mts.
- h = Altura del túnel mts.
- U = Esfuerzo cortante Ib/pie²

Gráfico N.º 2.

Análisis

La función del cierre de bocaminas simples sin drenajes con bloquetas de dos hileras es la de impedir en forma definitiva el ingreso de aire (oxígeno) que pueda generar oxidación a sulfuros existentes.

El cierre de bocaminas simples, con tubería de drenaje, tiene como función también el de impedir el ingreso de aire y en lo posible drenar la existencia de posibles filtraciones de agua.

En todos los casos evitan en forma definitiva el ingreso de personas y animales a las labores mineras.

El cierre de bocaminas con drenaje ácido con tapones especiales consiste en encapsular en forma definitiva el drenaje ácido de galerías o cortadas para evitar la formación de óxidos y disminuir la filtración de aguas ácidas una vez que ha alcanzado el nivel freático de la zona.

- En todos los casos se debe monitorear para ver si con el tiempo las obras cumplen con los objetivos que se han propuesto.
- Se deben realizar estudios hidrogeológicos para ver el potencial de filtración ácida luego de la encapsulación de aguas ácidas.

b) Cierre de chimenea

Estas labores normalmente son aberturas verticales que se comunican con las labores subterráneas y pueden tener diferente denominaciones. En los dos casos hay problemas de infiltración de aguas de lluvias.

Hay dos clases de cierre en este tipo de labores: chimeneas y Raise Boring.

b.1) Cierre de chimeneas con parrillas de acero

El cierre con parrillas de acero restringe la entrada hacia el interior de chimeneas y Raise Boring abiertas en estado de abandono, evitando el ingreso de personas y animales. Esta clausura es del tipo temporal.

El cierre con parrilla está hecho de rieles y acero corrugado.



Foto N.º 3. Chimeneas clausuradas con parrillas de rieles en Mimosa.



Foto N.º 4. Muros de protección de Raise Boring clausurada.

b.2) Cierre de chimenea con tapas de concreto

Descripción

Las tapas de concreto son recomendadas para el cierre definitivo de las chimeneas y Raise Boring. Estas tapas son prefabricadas o vaciadas en el sitio y se diseñan para cada tipo de chimenea o Raise Boring de acuerdo a las condiciones del sitio y el tamaño. (Foto N.º 7 y 8).

Se puede observar en la zona de estudio que hay una serie de modalidades en su instalación:

- Tapa de concreto prefabricada
- Tapa de concreto vaciado
- Tapas de concreto monolítico



Foto N.º 5. Tapón de concreto de chimenea en zona de Mimosa.

Análisis

El cierre de chimenea y Raise Boring con parrilla de acero restringe el acceso a cualquier chimenea abierta superficial evitando accidentes y permitiendo a su vez la circulación de aire hacia otros niveles existentes.

El cierre de chimeneas con parrillas no es muy costoso y pueden ser fabricados en el sitio y llevados al campo para su aplicación, dependiendo de la forma y dimensiones de la abertura. Se observa que hay corrosión requiriendo de mantenimiento regular. Los agregados o la cantera utilizada han sido de buena calidad, libre de material orgánico. Los trabajos correspondientes al cierre de chimeneas con lozas se han hecho con dimensiones 2m x 2m x 0.12m. No debe hacerse bajo ningún punto de vista el cierre de chimeneas con parrillas de rieles, porque continúa ingresando el aire y el agua de la lluvia, generando aguas ácidas.

Se recomienda cerrar todas las chimeneas con tapones de concreto.

Se recomienda el empleo de cemento Pórtland del tipo II, resistente a los sulfatos.

c) Cierre de rajos abiertos

Los rajos abiertos son zanjas que existen como producto de explotación superficial del aflora-

miento de una veta. En la mediana y pequeña minería es común este método de explotación. En Mimosa hay rajos abiertos que tienen 2 y 3 m. de ancho, cuya profundidad varía de 5 a 8 m, y en otros casos se comunican con labores subterráneas. Estas zanjas se han desmoronado y los lados han ido fallando poco a poco, generando drenaje ácido proveniente de las paredes de rajo. La clausura de rajos abiertos comprenden las siguientes actividades:

- Relleno de las aberturas con bancos de gran diámetro
- Luego se complementa con cascajo
- Se cubre con arcilla y se compacta
- Finalmente se cubre con tierra de cultivo y se revegeta [7].



Foto N.º 6. Rajos abiertos en Mimosa.

Análisis

Este tipo de cierre cumple con evitar el ingreso de drenaje ácido al interior de las labores mineras.

Nuestra propuesta es que el cierre de rajos abiertos debe hacerse por voladura que es un cierre permanente, en rocas competentes.

Los rajos abiertos que se comunican con las labores subterráneas deben de hacerse con tapones de concreto.

d) Cierre de canchas de desmonte

Es la acumulación de material sin valor económico que se extrae de las labores de desarrollo y preparación de los tajeos, por lo que generalmente están cerca de las bocaminas.

Tiene en su contenido material de diferente tamaño, mineral de diferentes de ley, porcentajes, los que causan los impactos ambientales.

Las características químicas de los desmontes dependen del tipo de yacimientos mineros de donde proviene el mineral. Las labores desarrolladas sobre formaciones de caliza o rocas sedimentarias con poco contenido de pirita no generan ácido, en cambio las rocas volcánicas con bajo contenido de carbonatos y alto contenido de pirita sí generan ácido.

El contenido de sulfuros en los desmontes determina la oxidación de ellos por exposición al aire.

La estabilidad química de desmontes y relaves depende básicamente del balance entre el contenido de sulfuros y el de minerales consumidores de ácido. Entonces la base de caracterización química reside en la determinación del Potencial Ácido (PA), del Potencial Neutralizante (PN) y consecuentemente del Potencial Neto Neutralizante (PNN) de muestras representativas de estos minerales.



Foto N.º 7. Vista de la revegetación de las canchas de desmontes.

Análisis

- En el cierre de desmonte en Mimosa se ha considerado el encapsulamiento total con coberturas simples.
- El objetivo del encapsulamiento es con la finalidad de revegetar y evitar la erosión eólica e hidráulica.
- La cobertura consta de dos capas, una arcillosa y la segunda de cobertura vegetal de la zona.
- La vegetación ha alcanzado un desarrollo aceptable en la cancha de desmonte, pero no en todas, algunas han sufrido erosión y deslizamiento debido a la ausencia de plataforma o andenerías, hay mucha inclinación del talud.

e) Canchas de relave

La unidad Julcani tiene nueve relaveras de las cuales ocho han cumplido sus objetivos y se

han cerrado. El noveno (relave N.º 9) está en funcionamiento ubicado aguas abajo del sistema de drenaje de Mimosa y en la quebrada Peña almacena relaves del tratamiento de minerales sulfurosos.

Los relaves se transportan a través del túnel Acchilla desde la planta concentradora de Julcani hasta la presa de relave N.º 9. El 70% de este material pasa a la malla N.º 200 y se bombea a manera de lodos con un 25% de sólidos [8].

Este depósito utiliza el método de cicloneado y va levantándose empleando el método de construcción aguas abajo [9].

Se ha construido cunetas de derivación a ambos lados del depósito de relaves N.º 9.

La superficie de los relaves se encuentra lejos de la presa de inicio. El agua excedente se coloca en un extremo angosto del valle para descargarlo luego en la quebrada San Pedro. Antes de descargar se muestrea para ver la calidad del agua, cuyo resultado se puede observar en el punto de monitoreo.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

I. Dentro del análisis técnico, social y económico, luego del cierre de minas se han identificado los siguientes problemas:

- La mina Mimosa, genera aguas ácidas cuyo tratamiento es muy costoso, es necesario realizar nuevos estudios y realizar proyectos para evitar esta contaminación.

- El cierre de chimeneas de la mina Mimosa, se ha hecho con parrillas de rieles, las cuales permiten la entrada del oxígeno del aire, el agua de la lluvia, los que contaminan, generando aguas ácidas. En el cuadro N.º 20 de la tesis, se observa que hay 41 chimeneas, de las cuales solamente 7 se han cerrado con tapa de concreto y 34 con parrilla de rieles.
- Hay fallas en la revegetación en algunas canchas de desmonte, por lo que existen filtraciones ácidas al pie del talud.
- En el interior de la mina hay contaminación de aguas neutras con aguas ácidas, lo que ocasiona el crecimiento del caudal de aguas ácidas.

II. Con respecto al cierre de minas que no favorece al desarrollo sostenible se tiene lo siguiente:

- Las operaciones mineras han favorecido el nacimiento de pueblos cercanos a la mina, tales como: Mimosa, Palcas, Constanca. Y con el cierre de minas han desaparecido ocasionando desocupación y problemas sociales.
- De los 538 trabajadores (contrata) que hubieron en 1996 en Mimosa, (cuadro N.º 9), con el cierre de minas éstos han sido despedidos, engrosando la fila de los desocupados.

7.2. Recomendaciones

I. Para el cierre de labores mineras es necesario realizar un estudio hidrogeológico para indicar el posible nivel de la napa freática original, y, a partir de ella, recién, hacer el cierre de minas.



Foto N.º 8. Vista panorámica de la cancha de relaves N.º 9 en plena operación.

- El cierre de chimeneas debe de hacerse con tapones de concreto.
 - Para corregir la falla en la revegetación de canchas de desmonte, luego de contornear o nivelar, echar arcilla (para impermeabilizar), tierra vegetal y compost con más de 30 cm de espesor y cultivar con gramíneas de la zona.
 - Separar las aguas ácidas de las aguas limpias, en el interior de la mina, que puede servir para el uso doméstico y la agricultura de poblaciones cercanas.
- II. La empresa, dentro de su política social, se ha preocupado por establecer programas de reconversión laboral capacitando a sus trabajadores de CIA., de contrata y algunos miembros de las comunidades cercanas. La empresa tiene que seguir apoyando con programas de desarrollo social sostenible para promover actividades económicas.

Creación de pequeñas empresas:

- Ganadería, piscigranja, agricultura, textilera, zapatería y otras.
- Apoyo en construcción de infraestructuras para el desarrollo de la comunidad.
- Propiciar el Turismo Minero.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. CARRANZA NORIEGA R. (2001). Medio ambiente problemas y soluciones. Edit. Universidad Nacional del Callao.
2. EL PERUANO. Código del medio ambiente y los recursos naturales. Decreto legislativo N.º 613.
3. SEOANEZ CALVO M. (1998). Ingeniería del medio ambiente aplicada a la reconversión industrial. Edit. Mundi Prensa, España.
4. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1995). Guía para elaborar estudio de impacto ambiental. Lima, Perú.
5. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1997). Soil cement construction handbook engineering bulletin.
6. ROBLES N. Excavación y sostenimiento de túneles en roca. Lima, Perú.
7. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1997). Guía ambiental para la vegetación en áreas disturbadas por la industria minero metalúrgica. Lima, Perú.
8. BUENAVENTURA INGENIEROS S.A. (1996). Diseño definitivo de transporte de aguas ácidas. Lima, Perú.
9. VILLACHICA C. (1979). Alternativas de transporte y disposición de relaves de la concentradora Casapalca. Centromin, Perú.