

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Cantera, la división de la Fábrica de El Puente, es la única y principal proveedora de materia prima para la fábrica de cemento de la Sociedad Boliviana de Cemento SOBOCE, en el departamento de Tarija.

Dicha unidad debe ir de la mano con el desarrollo de la Planta industrializadora de cemento El Puente y más aún con el compromiso que tiene la Sociedad Boliviana de Cemento institucionalmente con sus metas y retos relacionados con:

- a. Mercado
- b. Crecimiento de Planta
- c. Sostenibilidad de planta

a. Mercado:

SOBOCE se enfrenta a la competencia del mercado nacional e internacional:

- El gobierno boliviano tiene proyectada la construcción de nuevas plantas de cemento.
- Las empresas argentinas están interesadas en el mercado del sur de Bolivia.
- Se corre el riesgo de ingreso al mercado de productos a bajo precio.

Por estas razones y otras no mencionadas aquí SOBOCE debe imponer un producto de excelencia y calidad contando para ello con procesos eficientes dentro de su planta productiva.

b. Crecimiento de la planta:

- La instalación de equipos modernos en la planta cementera con tecnología de punta ha permitido un crecimiento interesante el cual no ha sido acompañado por una modernización de la unidad de cantera.
- Por tanto, para mantener los niveles de producción esta unidad debe modernizar su forma de trabajo.
- Debe volverse en una Cantera de “clase mundial” y ser capaz de trabajar con calidad.

c. Sostenibilidad:

Para garantizar la sostenibilidad de la Cantera en El Puente y asegurar la materia prima para las futuras generaciones y el presente y las fuentes de trabajo tengan las mejores condiciones posibles, SOBOCE tiene la necesidad de alcanzar mejores resultados y brindar un producto de excelencia.

La forma de explotación de la Piedra Caliza se realiza a cielo abierto, con el uso de explosivos. El tipo de explotación que se desarrolla en esta actividad es del tipo escalonada; sin embargo, se evidencia abandonos de frentes de explotación, razón por la cual no se cumple con la explotación escalonada. La explotación que se tiene en la Cantera de SOBOCE en El Puente se la desarrolla tomando en cuenta todas las directrices que encauzan a la elección de una beta más acorde para la preparación de las harinas para los hornos de la fábrica cementera.

Los procesos operativos están bien definidos y las fases más importantes se las menciona a continuación:

Tabla 1.1.1. Fases de explotación de la cantera de SOBOCE en la comunidad de El Puente del Departamento de Tarija.

Fases de la explotación	Descripción de la fases de explotación	Observaciones y debilidades
Sondeo de la Materia Prima	<p>Esta actividad se la realiza cada vez que un frente o ataque, llamado también beta de explotación ya “no” rinde las condiciones químicas de la piedra y se debe buscar dentro de la concesión otra superficie de ataque o de explotación y se elige el lugar geométrico de más fácil acceso para proceder al sondeo.</p> <p>Prospección.- Es todo el conjunto de trabajos o procedimientos de laboratorio o campo, dirigido a la búsqueda de yacimientos.</p> <p>Sondeo: exploración de la composición de la materia prima en estudio en el lugar de prospección.</p>	Existen lugares geométricos y betas de buena calidad que se encuentran bajo los sub miembros 3 y sub miembros 5 que son lugares que no se toman en cuenta por estar muy inaccesible y tener una capa muy alta de Sub miembro 3 (bajo contenido de CaO).
Destape o	También se la conoce como Desmonte y desencape, es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga	Existe Generación de caliza de tamaño mayor al exigido en planta;

Desmonte	<p>que tiene el frente de ataque o superficie de explotación donde se despeja y se deja el material útil listo para que sea arrancado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura (Rocas duras). En este, caso la cantera de SOBOCE en El Puente utiliza para esta actividad tractores Bulldozer. Palas cargadoras, Volquetas, en algunos casos Drill y explosivos para abrir un camino seguro a algún frente importante.</p>	<p>en tal sentido, existe material descartado en poca proporción pero que ocasiona un acumulado que no permite un orden dentro de la actividad.</p> <p>Así mismo, se tiene una mezcla entre calizas y tierra con poder orgánico que sale de las raíces de la vegetación del lugar. Esta tierra está siendo enterrada y utilizada como formación de plataforma momentáneamente; sin embargo, a largo plazo podría generar un impacto ya que no se está aprovechando la recuperación del destape de la tierra vegetativa ni tampoco de las rocas suaves y duras.</p>
Arranque o	<p>Esta actividad consiste en extraer la materia prima, con la utilización de drill, perforadoras manuales; se procede a la</p>	<p>Al final de esta fase es donde se tiene el material bruto heterogéneo que</p>

explotación	perforación de (piedra caliza) en los Bancos descendentes para posteriormente cargar los taladros con explosivo para la explotación mediante detonación de explosivos o voladura.	debe ser homogenizado antes de que el material sea dispuesto por planta ya en medio de ese material bruto existe material de descarte por: <ol style="list-style-type: none"> 1. Tamaño de partícula superior al deseado. 2. Por no cumplir con la química esperada.
Transporte de materia prima	El transporte de materia prima se desarrolla después del arranque de la piedra caliza donde se tiene el material heterogéneo dispuesto en la plataforma de trabajo; con la ayuda de pala cargadora y excavadora Bulldozer es alimentado a las volquetas, las cuales lo llevan hasta la Planta cementera donde el material es triturado por tipo de materia prima. Y también se almacena en bruto en los depósitos de Planta.	Existe perturbaciones en el transporte ya que el operador de pala se ve en la necesidad de seleccionar y cargar el material a los camiones un material que sea lo más homogéneo posible o según instrucción del personal de laboratorio y control de calidad y/o unidad de soporte; sin embargo, entre una volqueta y la otra de despacho hacia la planta no existe

		<p>homogeneidad asegurada.</p> <p>Es decir, una vez que se tritura la materia prima en las trituradoras de planta se detecta también material que es descartado y cuando no es detectado a tiempo se llega a detectar, después de la molienda del material donde también se genera material molido o harina entrada al horno de descarte.</p>
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

2. Objetivos

Los objetivos que se pretende alcanzar con la realización del proyecto de ampliación y modernización de la cantera El Puente son:

2.1 Objetivo General

Modernización de la explotación y reutilización del material de descarte de las canteras de explotación de SOBOCE para homogeneizar la alimentación de los hornos de producción de Cemento El Puente.

2.2. Objetivos Específicos

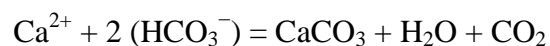
- ✓ Determinar las características actuales de explotación en cantera.
- ✓ Determinar la forma más adecuada de aprovechar el descarte rechazado químicamente (carbonatos de calcio fuera de rango, sílice) de manera que su composición y tamaño físico nos sirva para transformarla en áridos y agregados y aprovechar para su comercialización.
- ✓ Determinar la mejor técnica o tecnología para el manejo de los materiales en explotación.
- ✓ Determinar o separar por pilas y/o por granulometría a las materias primas para su uso en función de la necesidad de la planta.
- ✓ Mejorar la homogenización del material bruto explotado.
- ✓ Seleccionar la maquinaria y equipo más adecuado para lograr obtener un material adecuado para los hornos de la planta de SOBOCE.
- ✓ Verificar si con la tecnología seleccionada se pueden habilitar escalonadamente, nuevos frentes de Caliza.
- ✓ Eliminar las acumulaciones de los descartes existentes en el lugar de explotación y dentro de la Concesión de la Cantera de SOBOCE El Puente para darle un destino final provechoso.

3. Justificación

La **caliza** es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

Formación.-Por su aspecto blanco son muy distinguibles. Las calizas se forman en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales, en aquellas zonas en las que los aportes detríticos son poco importantes. Dos procesos que generalmente actúan conjuntamente y contribuyen a la formación de las calizas.

Origen químico.-El carbonato de calcio se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen gas carbónico disuelto (CO_2), debido a la alta solubilidad del bicarbonato cálcico, como compuesto intermedio. Pero para el caso contrario, en entornos en los que aguas cargadas de CO_2 se liberan bruscamente a la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso, según la siguiente reacción:



Esa liberación de CO_2 se produce, fundamentalmente, en dos tipos de entornos: en el litoral cuando llegan a la superficie aguas cargadas de CO_2 y sobre los continentes cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie.

Origen biológico.-Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales

en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes.

Utilización de la caliza.-Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante, es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para «enjalbegar» (pintar) superficies, así como otros muchos usos, por ejemplo, en industria farmacéutica o peletera. Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.

Caliza Oolítica.- Roca sedimentaria organoquímica

Componentes: Sedimento formado por:

- Núcleos granulares menores de 2 mm de diámetro originados por precipitación de carbonato cálcico alrededor de partículas de naturaleza diversa.
- Cemento o matriz de carbonato cálcico (micrita) que puede presentar una serie de impurezas de arcilla, hidratos de hierro, etc.

Reconocimiento de Visu: Presenta unos gránulos, formados por la precipitación de carbonato cálcico, de muy pequeño tamaño (menores de 2 mm), a diferencia de la caliza pisolítica, que los presenta algo mayores. Muestra una potente reacción con CIH en frío, observable con la notoria efervescencia que se produce.

Calcita.- Su fórmula química es CaCO_3 y sus Propiedades físicas: Sistema Trigonal. Hábito: cristales extremadamente variados en apariencia, escalenoedros y romboedros más comúnmente, a veces masivo, fibroso, granular, estalactítico. Color: blanco cuando es puro; ofrece varias tonalidades de gris, amarillo, marrón, rojo, verde, azul y negro cuando hay impurezas presentes. Raya: blanca a gris. Brillo: vítreo a perlado, también craso. Diafanidad: transparente a translúcido. Ofrece fluorescencia y fosforescencia bajo luz ultravioleta reflejando los colores verde, amarillo, azul y rojo. Exfoliación: perfecta según las tres direcciones del romboedro.

Descripción de calcita: Conocido también como carbonato de calcio o espato calizo, es uno de los minerales más abundantes en la naturaleza. La calcita se conoce fácilmente; se distingue de los minerales semejantes de su serie por la gran riqueza en facetas que presentan sus cristales, la rareza del romboedro fundamental como forma independiente, las maclas lamelares polisintéticas y la fuerte efervescencia al ser tratada por los ácidos diluidos.

Origen de la Calcita: Su génesis principal se debe a los procesos sedimentarios y a los procesos biológicos (caparazones de moluscos, corales, etc.), pero aparece también como mineral metamórfico en los mármoles. La calcita se forma por cristalización directa de disoluciones diluidas o por transformación de las demás fases, que son menos estables.

Aplicación de la calcita: Se usa en la fabricación de cemento; para la obtención de cal (por encima de $900\text{ }^\circ\text{C}$ se desprende CO_2), con fines ornamentales en revestimientos de fachadas, etc.

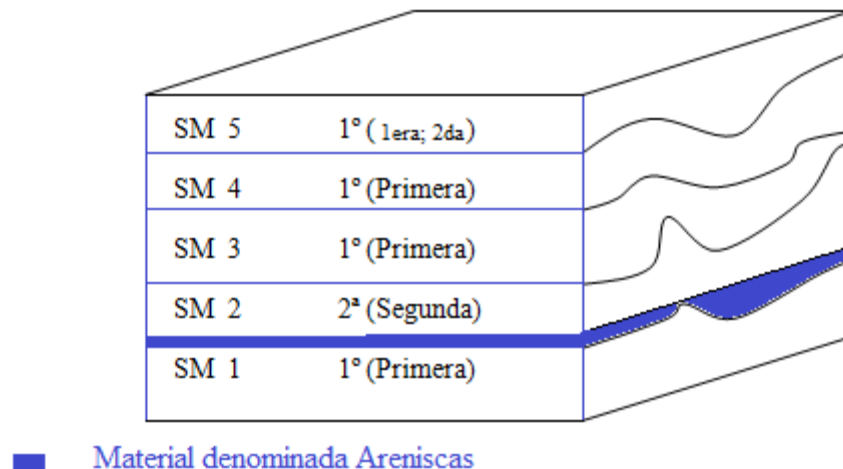
Asociaciones con la calcita: Aragonito CaCO_3 , la Dolomita $(\text{Ca}, \text{Mg}) (\text{CO}_3)_2$, Magnesita o Giobertita MgCO_3 , Siderita o Siderosa FeCO_3 , Smithsonita ZnCO_3 , Rodocrosita o Dialogita MnCO_3 , Estroncianita SrCO_3 , Cerusita PbCO_3 , Witherita BaCO_3 , Malaquita $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{CO}_3$ y Azurita $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$.

En cantera de SOBOCE ubicada en El Puente, utiliza las materias primas que la GEOBOL (servicios geológicos de Bolivia) en 1977 denominó 5 Sub Miembros

según el nivel de superficie; así mismo, una consultora japonesa cruzó resultados del estudio confirmando, de otra manera, una formación que ha sido diferenciada en tres miembros (ishikawajima et al. 1977), de los cuales el miembro calcáreo inferior fue dividido en cinco sub miembros, con un espesor total de 50-70 m.

La denominación propia de la Cantera de SOBOCE en El Puente geológicamente es la siguiente:

Figura 3.1. Representación gráfica de la formación geológica en la Cantera de El Puente perteneciente a SOBOCE.



Fuente: Apunte propio.

3.1. Características geológicas de la cantera

3.1.1. Sub Miembro 1 (SM1)

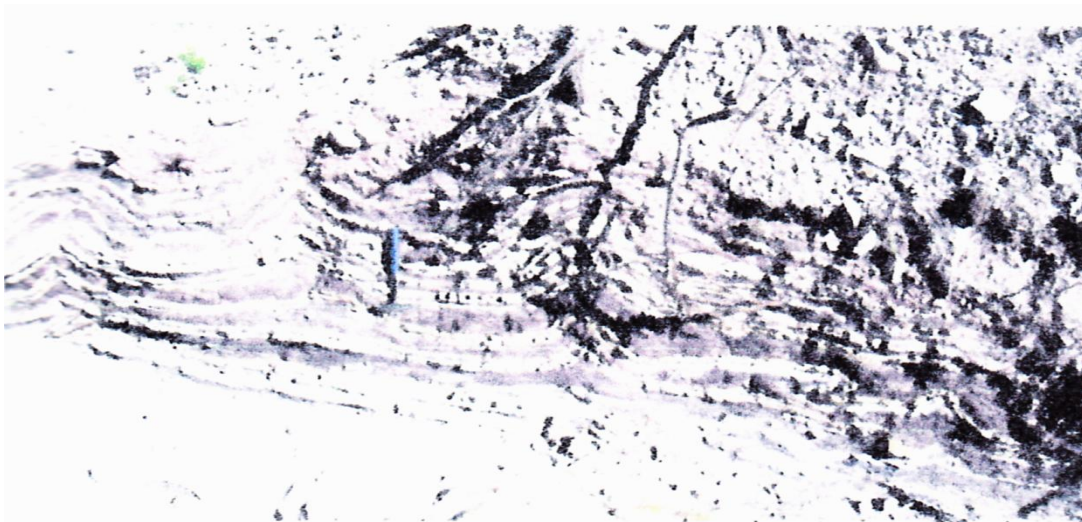
Capa basal de caliza compacta, estratificada en bancos desde 0.5 hasta 2 m de espesor. La textura es mayormente masiva, micro cristalina o de cristalinita media a fina (tamaño cristales <0.5mm), localmente oolítica. El color de la caliza es mayormente gris clara, en menor grado rosado y beis. En lugares, contiene motas blancas y fragmentos de calcita (la roca es entonces calcoarenita).

Las mejores exposiciones se encuentran en la cantera principal (figura 4.1.3) donde también alcanza su máxima potencia (13m), así como en las cuestas altas de la topografía, donde generalmente el espesor no sobrepasa los 5m. Esta capa inferior constituida por caliza de buena calidad es explotada para abastecer de materia prima a la fábrica de cemento El Puente.

3.1.2. Sub Miembro 2 (SM2)

Intercalación de caliza con marga y arcillolita en una proporción variable entre 80 hasta 50 vol.% de caliza, desde el piso hacia el tope. Esta unidad se encuentra comúnmente plegada (figura 3.1.2 y figura 3.1.3.) y contiene un nivel fosilífero con *Melania potosinensis* (figura 3.1.1.) aproximadamente 12 metros de altura desde el piso de la unidad. La caliza es gris a gris clara con tonos verduscos a violáceos, pero ocurre también variedades de color rosado y beis. Es mayormente masiva, localmente oolítica y forma banco desde 5 hasta 70 cm de espesor. La arcillolita y la marga son generalmente gris oscuras, con variedades de color violeta y verde; forman bancos desde 10 cm hasta 1 m de espesor.

Figura 3.1.1. Caliza de Sub miembro 2 con Capas plegadas de caliza fosilífera intercalada con marga violeta. Potencia 1 m. Buena estratificación en capas desde 2 hasta 5 cm de espesor.

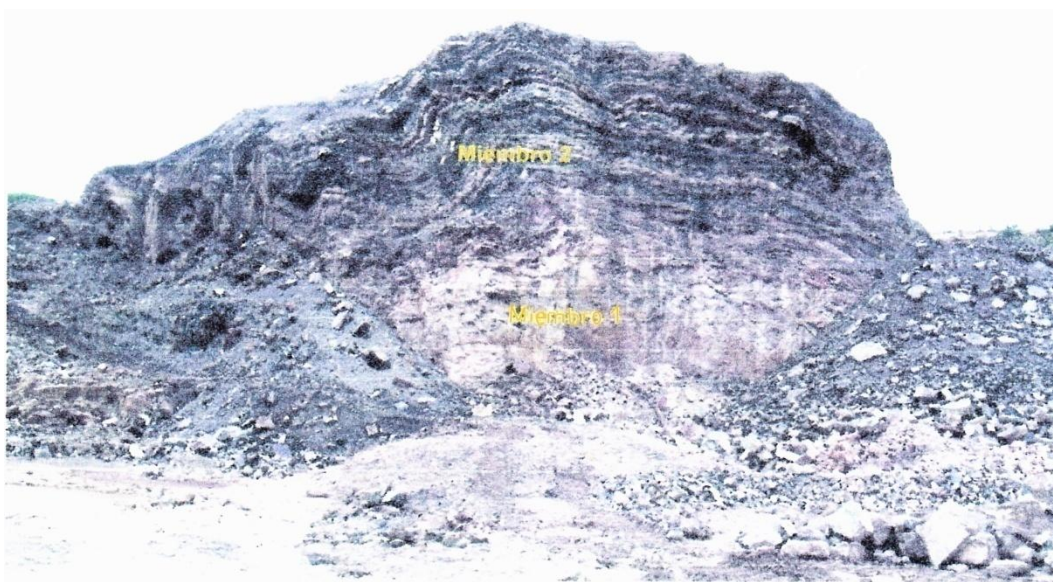


Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT

Las mejores exposiciones se encuentran en la cantera principal de SOBOCE El Puente (figura 3.1.2), en quebradas y planchones de las cuestas. No es fácil establecer el espesor de la unidad debido al plegamiento y afloramientos fragmentarios. En un lugar donde el miembro no está muy plegado se ha medido 18 m como máximo. Para comparar acotamos el espesor promedio provisto por Ishikawajima et al (1977): 16.2m.

Esta unidad constituida también por caliza de buena calidad es explotada en su parte inferior (6 hasta 24 metros de espesor) para abastecer de materia prima a la fábrica de Cemento El Puente.

Figura 3.1.2. Caliza basal (miembro1) suprayacendo al miembro 2 plegado.



Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT.

Figura 3.1.3. Capa plegada de caliza gris a gris clara, evidencia que se trata de una caliza con elevado óxido de calcio, que muestra de 2.3 metros de potencia, estratificada en bancos desde los 10 hasta 80 centímetros de espesor.



Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT.

3.1.3. Sub Miembro 3 (SM3)

Unidad esencialmente arcillosa (figura 4.1.1 y 3.1.4). Consiste de:

Arcillolita inferior oscura, 14 m de potencia conteniendo unos 3 niveles de caliza, cuyo espesor máximo es de 1 m (figura 3.1.4) y algunas intercalaciones angostas (10cm) de marga verde.

Arcillolita superior roja violácea 6 m de potencia; en el tope, dos capas (0.5 m cada una) de arcillolita gris verdusca y verde.

El espesor total del miembro 3 es de aproximadamente entre 12 a 20 m

Figura 3.1.4. Miembro 3 Arcillolita violeta oscura, localmente calcárea con dos intercalaciones de marga verde. Contiene un paquete de caliza de 1 m de espesor. Por encima, aparece la arcillolita roja. Sitio muestra 221.



Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT.

3.1.4. Sub Miembro 4 (SM 4)

Capa prominente de caliza explotada por la empresa El Puente. La caliza es gris clara verdusca a gris, masiva y micro cristalina. El tope (hasta 0,7 m de espesor) consiste de caliza oolítica a pisolítica. El paquete exhibe buena estratificación en banco desde 10 cm hasta 3.20 m de espesor.

Figura 3.1.5. Sub Miembro 4 Caliza gris clara 3 metros de potencia bien estratificada. Nótese la arcillolita rojo violácea infra yacente.



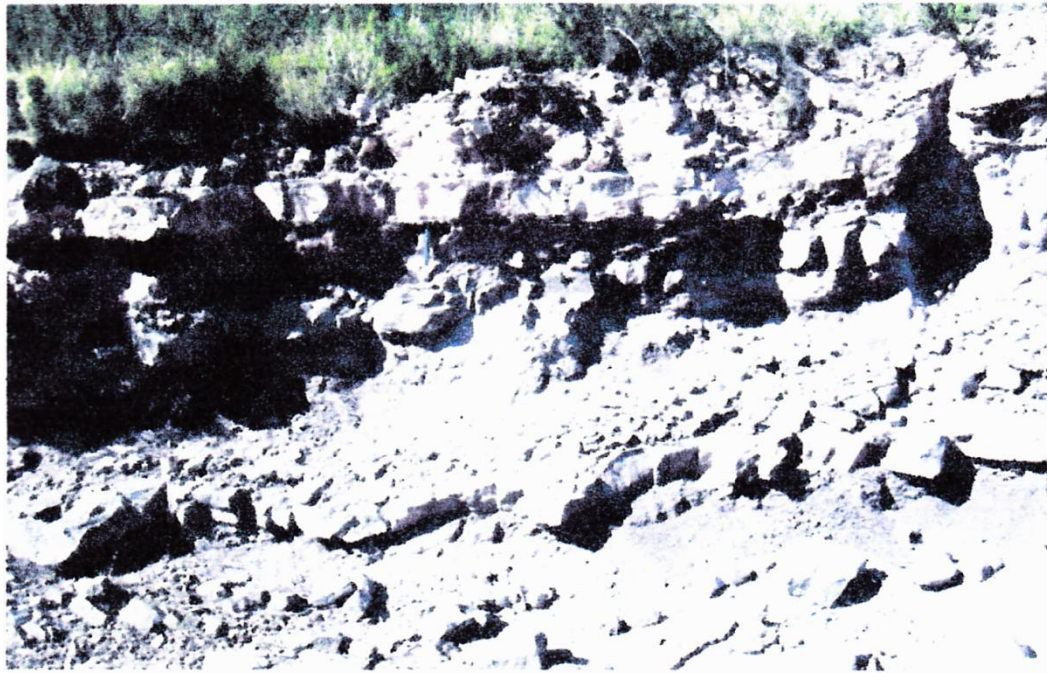
Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT.

3.1.5. Sub Miembro 5 (SM5)

Intercalación de caliza con marga, arcillolita y arenisca calcárea de color gris oscuro violáceo (fig. 3.1.6). La Caliza forma bancos entre 5 y 40 cm de espesor, en paquetes hasta 3 m de potencia. El miembro culmina con una capa de caliza oolítica de 0.4 m de espesor. Esta forma extensos planchones en contacto directo y concordante con la arcillolita basal roja.

El espesor total del miembro 5 es aproximadamente 6 m

Figura 3.1.6. Sub Miembro 5 cuatro capas de caliza gris oscura violácea (0.2-0.4 m de espesor) intercalando con marga y arcillolítica del mismo color (0.3-0.5 m de espesor). Y se tiene hasta 1 m de potencia.



Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT.

3.2. Justificación Técnica

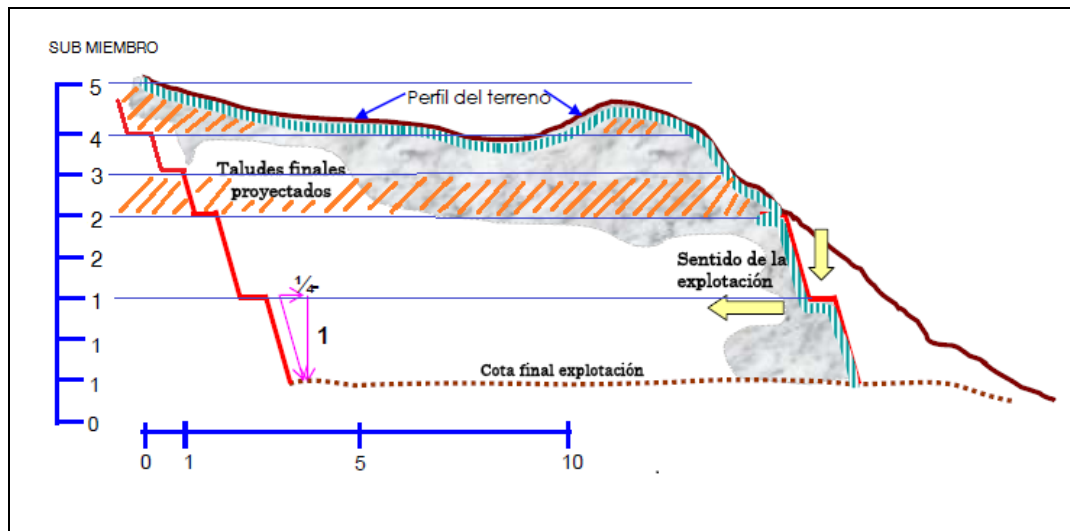
La explotación de una cantera a cielo abierto es el conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar el material útil. En este caso Cantera El Puente mediante una unidad especializada de materias primas quienes se dedican íntegramente a la explotación de la materia prima en conjunto con la unidad especializada de soporte o control de calidad quienes forman una cantera activa dedicada exclusivamente en proporcionar materia prima para la producción de cemento (Caliza, Toba, Yeso y Arcilla) siendo la caliza la materia prima prioritaria de más uso, la principal y propuesta en este proyecto.

A medida que se explota teóricamente, escalonadamente, en esta cantera se debe recuperar las rocas duras (caliza rechazada por la unidad de soporte y unidad de Clinkerización de la Planta Cementera El Puente) para clasificarlas y transformarlas en arena, ripio, molones, material de base y sub base, etc. De manera que esta caliza


que no sirve para la producción de cemento sirva para otra disposición como producto.

Para sostener una explotación realmente escalonada en la Cantera El Puente se deberá hacer movimientos internos, con caliza descartada y con capas de sub miembro 5 y sub miembro 3 ya que éstos no son utilizados en la Planta de Cemento El Puente por tener poca cantidad de caliza apta para la utilización en la planta cementera. Es injusto que se deje este sub miembro sin explotar ya que por debajo de él están los frentes ricos en óxido, calcio y sílice preferidos por la cementera. En los párrafos 4.2.3 y 4.2.5 se explica la química de este material; por tal motivo, estos materiales deben ser retirados para poder continuar con el escalón en la explotación, como se puede apreciar en el cuadro adjunto.

Figura 3.2.1. Esquema gráfico de la formación geológica de la Cantera de SOBOCE en El Puente.



Fuente: Apunte propio

Lo remarcado con naranja  en la figura 3.2.1 impide la explotación escalonada y los colores debajo del perfil del terreno entre blanca y el plomo muestran variación geológica. Mostrando que la formación es irregular y compleja en algunos lugares y que el plomo podría ser una faja de la misma composición.

Por tanto la explotación, técnicamente, no cumple con una explotación escalonada, cuando la verdadera esencia de una explotación escalonada es aprovechar todo el material necesario para no volver a entrar en esa e ir abandonando la concesión con orden referente a movimientos de material y que el impacto que deje esta explotación no afecte en lo más mínimo al costo posterior de la empresa y al medio ambiente. Así, cuando se haga el cierre de esta actividad se tenga facilidad de movimientos mínimos de materia prima.

3.3. Justificación Económica

Los Sub Miembros aprovechados y explotados en la Cantera de SOBOCE en El Puente, actualmente son de uso exclusivo para la producción de cemento cuya materia prima forma la harina de entrada al horno en la Planta cementera SOBOCE El Puente; cuenta con la siguiente adición o dosificación global de materia prima:

Sub Miembro 1; respecto al total de harina de entrada a los hornos de este tipo de material se adicionan como ingrediente, entre el 39 al 43% de materia prima, neto.

Sub Miembro 2; respecto al total de harina entrada a los hornos la materia prima de este material se adiciona como ingrediente, entre un 40 al 45% de materia prima.

Sub miembro 4; con una adición como ingrediente respecto al total de harina entrada a los hornos o crudo, entre el 18 al 20% de materia prima perteneciente a este sub miembro.

Estas composiciones o porcentajes de material entre un sub miembro y otro varían en función de la calidad de la materia prima. Estos Sub Miembros son muy importantes para la preparación de harina que se requiere para alimentar a los hornos de Planta.

Sin embargo, las capas geológicas que no son tomadas en cuenta como ingredientes para la preparación de harina entrada al horno son:

SM3=Sub Miembro 3.-Se tiene una adición de 0 % porque su composición química no es completa, es muy rica en sílice y pobre en óxido de calcio, tal como se muestra

en la tabla 4.1.2. Sin embargo si se tuviese muchos acopios de material calcáreo con diferentes tipos de caliza se podría crear una dosificación.

SM5=Sub Miembro 5.-Se tiene una adición de 0 % porque es muy variable en su composición; sin embargo, en la disgregación o separación granulométrica se podría lograr una composición homogénea.

Sub Miembro 2.-En esta formación se tiene 12 a 24 metros de altura; sin embargo esta materia prima tiene muchas capas que hace que la caliza no sea homogénea en lo que se refiere a los contenidos de alúmina, sílice y calcio, SO₃ y hierro.

La debilidad de este sub miembro es que la composición química de la caliza es muy variable y actualmente ocasiona disconformidad con el Área de control de calidad y/o unidad de soporte de Planta de Cemento El Puente. En la siguiente tabla se muestra cómo podemos separar el material que afecta a la homogeneidad del sub miembro 2.

Tabla 3.3.1. Análisis Químico de caliza de sub miembro 2 por número de malla o granulometría.

Malla	25.4 mm	12.7 mm	N°4	N°8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 70	N° 170	N° 200	N° 325	Fondo
% Retenido	0	13.18	52.98	66.55	76.69	82.69	87.77	89.95	94.00	94.79	96.47	99.98

Mallas	Luz de malla	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Fondo		28.22	9	3.23	26.89	1.97	0.15
M 325	45 um	32.31	10.97	3.84	22.33	2	0.09
M 200	75 um	33.33	11.41	3.95	21.16	2	0.09
M 170	90 um	34	11.70	3.91	21.36	2.1	0.11
M 70	212 um	33	11.14	3.60	22.82	2	0.14
M 50	300 um	30.7	10.14	3.14	25.04	1.98	0.15
M 30	600 um	25.93	8.15	2.41	29.93	1.84	0.2
M 16	1.18 mm	21.68	6.4	1.89	21.68	1.72	0.24
M 8	2.36 mm	16	4.66	1.4	38.99	1.65	0.27
M 4	4.75 mm	12.44	3.45	1	43.35	1.55	0.31
M 12.7 mm.	12.7 mm	10.6	2.66	0.9	44.82	1.54	0.29
M 25.4 mm	25.4 mm						
Promedio		15.18	4.2925	1.2975	37.21	1.615	0.2775

Fuente: Área de control de calidad, laboratorio, fábrica de cemento El Puente.

La Tabla 3.3.1 muestra que se tendría un control de calidad en cantera donde se podría dosificar las pilas en función al porcentaje de composición y en función de su malla, con conocimiento y anticipación confiable.

Lo remarcado con amarillo muestra que M16 hasta la M 25.4 mm es la caliza que entraría a ser parte de la dosificación actual y, por otro lado, desde la M325 hasta la malla M30 sería el material descartado para la dosificación actual por contener elevada alúmina, es decir, el porcentaje la Al_2O_3 superiores a 6.5 que ya salió de rango y de momento no formaría parte de la dosificación, como se muestra en la tabla 3.3.1.

Para lograr este propósito se debe utilizar la malla, en este caso la número M 16 equivalente a 1.18 mm, debiendo considerar que lo que pase por esta malla será la materia prima rechazada; así separar e identificar el material con elevada alúmina y perjudicial para la preparación de crudo o harina de entrada a los hornos. Actualmente entra a la dosificación toda la granulometría de este sub miembro; cuando se debería de separar.

Aquí se descartaría solo el material fuera de rango en alúmina, como se muestra en la tabla 3.3.1 y ya no así como actualmente ocurre que deben desechar grandes cantidades de caliza fuera de rango. También se lograría un producto de cantera más homogéneo.

La falta de homogeneidad provoca mala producción e interrupción del proceso en la Planta cementera y esto causa paradas inesperadas como se muestra en el hornograma de los hornos en el Anexo A.

Si el único cliente está satisfecho será favorable ya que ellos serán más productivos y en consecuencia, la Cantera de SOBOCE El Puente también recibirá mayores ingresos económicos.

3.4. Justificación Ambiental

Los stocks de materia prima que se tienen en canteras como sub producto de pasados años, calizas rechazadas por el área de control de calidad o unidad de soporte de Planta de cemento El Puente, por no cumplir con la composición química requerida o exigida y los rechazados por el área de producción y/o unidad de Clinkerización por no cumplir con el tamaño de partícula, generan un impacto ambiental en el paisaje y va en contra de la flora y fauna del lugar.

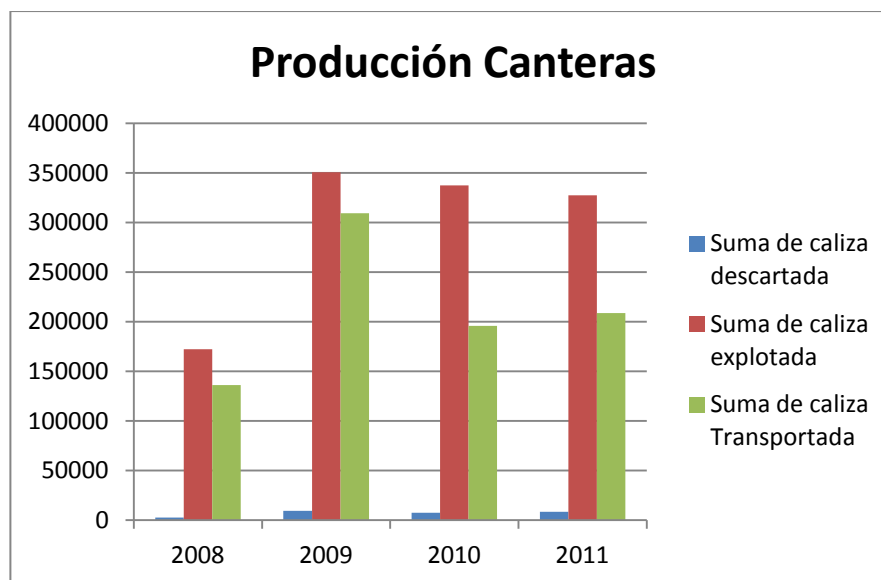
La cantera de caliza de SOBOCE El Puente se encuentra al lado Este de las Comunidades de Septapas y El Puente siendo parte de las montañas y cerros del lugar. Los frentes de explotación se encuentran a orillas de las quebradas de Huayco Chico y Huaranhuay quebradas que nacen mas allá de las comunidades de Tomayapo y Chinchilla donde los cerros son más altos y por las épocas de lluvias estas quebradas tienen un caudal de agua considerable por la pendiente que se tiene hacia el lado Este mientras que al lado Oeste o aguas abajo se encuentran las comunidades de Septapas y El Puente; estas comunidades tienen gran actividad agrícola y se tiene plantaciones de vid, cebolla, alfa y se encuentran viviendas de los comunarios.

Las acumulaciones de Materia Prima de descarte en la cantera se convierten en una amenaza para las comunidades agrícolas de El Puente y Septapas; por tanto, requieren de un tratamiento urgente.

Figura 3.4.1. Caliza descartada por caliza explotada

Gestión [año]	caliza descartada [t]	caliza explotada [t]	caliza Transportada [t]
2008	2,680	172,400	136,066
2009	9,300	350,400	309,192
2010	7,400	337,200	195,756

2011	8,400	327,360	208,739
Total	27,780	1,187,360	849,753



Fuente: Área de producción de Canteras El Puente, Empresa Esmical

El hecho de que la caliza descartada salga en forma de un agregado disminuirá el uso irracional de áridos explotados en los ríos y quebradas de la región de Tarija y la Cantera de SOBOCE en el Puente generaría un producto con desechos de una materia prima no renovable.

3.5. Justificación Personal

- En la capa geológica del sub miembro 4 existen problemas con la homogeneidad de la materia prima, donde el operador de equipo pesado debe conocer la materia prima para poder mezclar y proveer una materia prima homogénea; a todas las volquetas se hace complicado y no se hace lineal, sino se convierte en una variable más de control, generándose material de descarte excesivo y enviando a la Planta cementera un material o un producto con mucha variabilidad.

- La generación de caliza de descarte es un hecho que proviene actualmente de los sub miembro 4, sub miembro 2 y sub miembro 1. Con la caliza descartada en Planta cementera se trituró y se preparó un hormigón clase 2 según ASTM como, muestra en la siguiente tabla 3.5.1:

Tabla 3.5.1. Prueba de resistencia del hormigón. Hormigón con Caliza de descarte triturada de cantera frente a hormigón de Ready Mix Tarija.

CEMENTO EL PUENTE IP-30								
HORMIGÓN PATRÓN - CLASE 2								
Cemento Despachado	Caliza rechazada de cantera por ser arenisca				Áridos utilizados en Tarija Pruebas diarias de Ready Mix			
	Hormigón realizado en laboratorio de planta				Hormigón testigo de prueba en laboratorio Ready Mix			
FECHA	Resistencia a compresión de morteros Mpa.				Resistencia a compresión del Hormigón Mpa.			
	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
09/11/2012	9.10	21.10	24.23	31.74	3.3	10.9	17.2	24.9
16/11/2012	9.40	19.98	25.60	33.12	4.9	11.4	16.9	24.8
23/11/2012	10.40	18.82	24.69	32.13	3.9	12.1	16.9	24.4
30/11/2012	8.89	20.38	25.45	32.90	5.6	12.7	18.1	25.5
07/12/2012	8.82	18.80	23.76	32.80	4.4	9.6	14.6	23.7
14/12/2012	9.76	20.90	25.75	33.60	4.4	11.6	17.4	25.3
21/12/2012	9.78	20.13	25.96	34.11	3.9	11.2	16.7	26.5
28/12/2012	10.15	21.88	28.29	35.30	3.9	12.0	17.8	26.4
04/01/2013	10.34	20.15	26.25	32.87	4.9	12.2	17.5	25.9
11/01/2013	7.45	17.41	23.20	31.08	2.0	7.8	12.1	22.5
18/01/2013	9.32	19.75	24.71	32.48	3.0	8.4	14.1	24.2
25/01/2013	9.05	19.69	25.37	32.87	2.8	11.5	16.9	26.0
01/02/2013	9.09	18.81	23.53	31.59	3.7	11.3	17.5	26.6
08/02/2013	9.63	19.68	26.80	32.82	4.3	12.5	18.6	26.5
15/02/2013	8.35	19.49	24.53	33.14	4.0	10.2	16.9	25.7
22/02/2013	8.42	20.10	26.54	33.03	3.9	10.2	15.8	25.0
01/03/2012	8.06	18.67	23.84	31.54	3.6	10.7	16.7	26.5
08/03/2013	7.30	17.70	22.23	31.58	3.6	9.8	15.5	24.3
15/03/2013	7.49	18.62	23.42	32.67	3.4	10.4	16.4	26.2
22/03/2013	8.27	17.69	23.60	32.75	3.6	10.0	15.8	25.9
28/03/2013	9.61	19.15	23.48	32.73	4.3	10.1	16.9	26.0
02/04/2013	9.37	18.44	24.09	30.86	2.0	10.2	16.0	26.4
05/04/2013	6.92	20.08	25.89	34.13	2.3	10.4	16.9	26.0
12/04/2013	7.64	18.49	25.01	34.16	2.1	9.4	14.6	25.2
19/04/2013	8.46	19.11	24.65	33.49	2.4	9.5	14.5	25.0
26/04/2013	9.07	19.60	26.18	34.79	2.3	9.9	15.7	25.5
05/05/2013	10.25	20.51	26.81	33.46	3.3	10.2	17.2	26.7

Fuente: Área de control de calidad, laboratorio, fábrica de cemento El Puente.

Se plantea en este proyecto poder generar grava y gravilla con el descarte de la explotación de caliza en la cantera de SOBOCE en El Puento. Para ello se trabajó de manera coordinada con la empresa Ready Mix.

Ready Mix es una empresa que se dedica a la venta de hormigón premezclado con áridos que son comprados en diferentes lugares en la ciudad de Tarija, según la oferta de sus clientes y proveedores.

Para demostrar el rendimiento de los áridos generados en canteras de SOBOCE en El Puento con el material de descarte, se utilizó la misma metodología de preparación del hormigón en dos laboratorios paralelamente, en Laboratorio de Ready Mix y en laboratorio de Planta de cemento El Puento.

Se trabajó con la misma arena con los mismos porcentajes de retenido y un módulo de finura entre 2,4 y 3,1; el mismo cemento con las mismas fechas de envase.

Lo único que varió fue el agregado en El Puento, se utilizó caliza descartada con los diámetros abajo mencionados y Ready Mix con agregados de los ríos de Tarija.

Tabla 3.5.2. Diámetro de partícula utilizado para la formación de hormigón más conocido por agregados de hormigón.

Tamiz	%	Kg
1 1/2"	0	0.0
1"	5	2.2
3/4 "	39	17.0
1/2"	31	13.6
3/8"	25	10.9
# 4	0	0.0
FONDO	0	0.0
	Total	43.7

Fuente: Laboratorio de Planta de Cemento El Puento SOBOCE

La conclusión de este análisis es demostrar que se puede generar un agregado con los descartes en cantera que cumplan con todas las normas de calidad en el mercado del hormigón y agregados.

En una reunión nacional de líderes de Ready Mix tocaron temas de falta de proveedores de agregados y, si existían éstos eran escasos y a distancias similares a los de la Cantera de SOBOCE en El Puente con la ciudad de Tarija 86 kilómetros, en especial en los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba.

Así mismo, existieron observaciones y reclamos de clientes de Ready Mix en la ciudad de Tarija que hacían conocer que los hormigones (lozas) elaborados por Ready Mix, que también pertenecen al grupo SOBOCE, tenían fisuras debido a que sus proveedores de agregados eran de diferentes ríos o lugares.

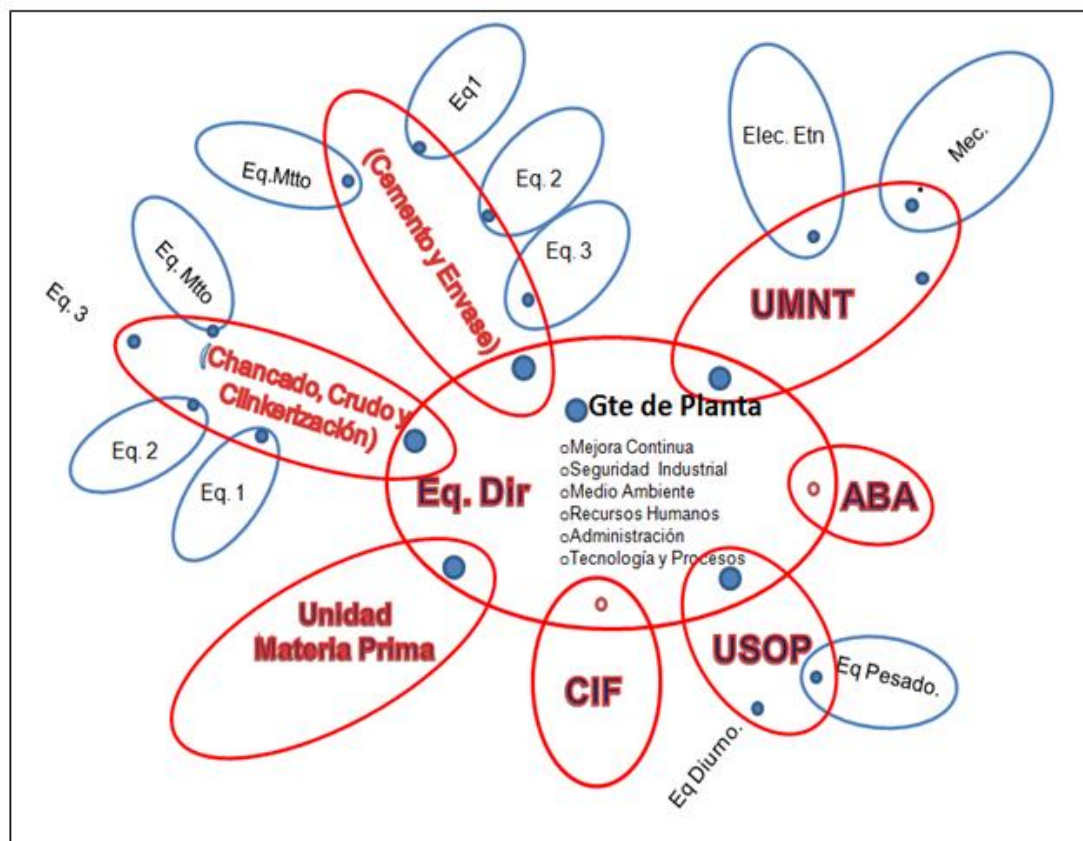
CAPÍTULO I

4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

4.1. Generalidades

En la planta cementera de SOBOCE en El Puente se organizaron de la siguiente manera estructuralmente:

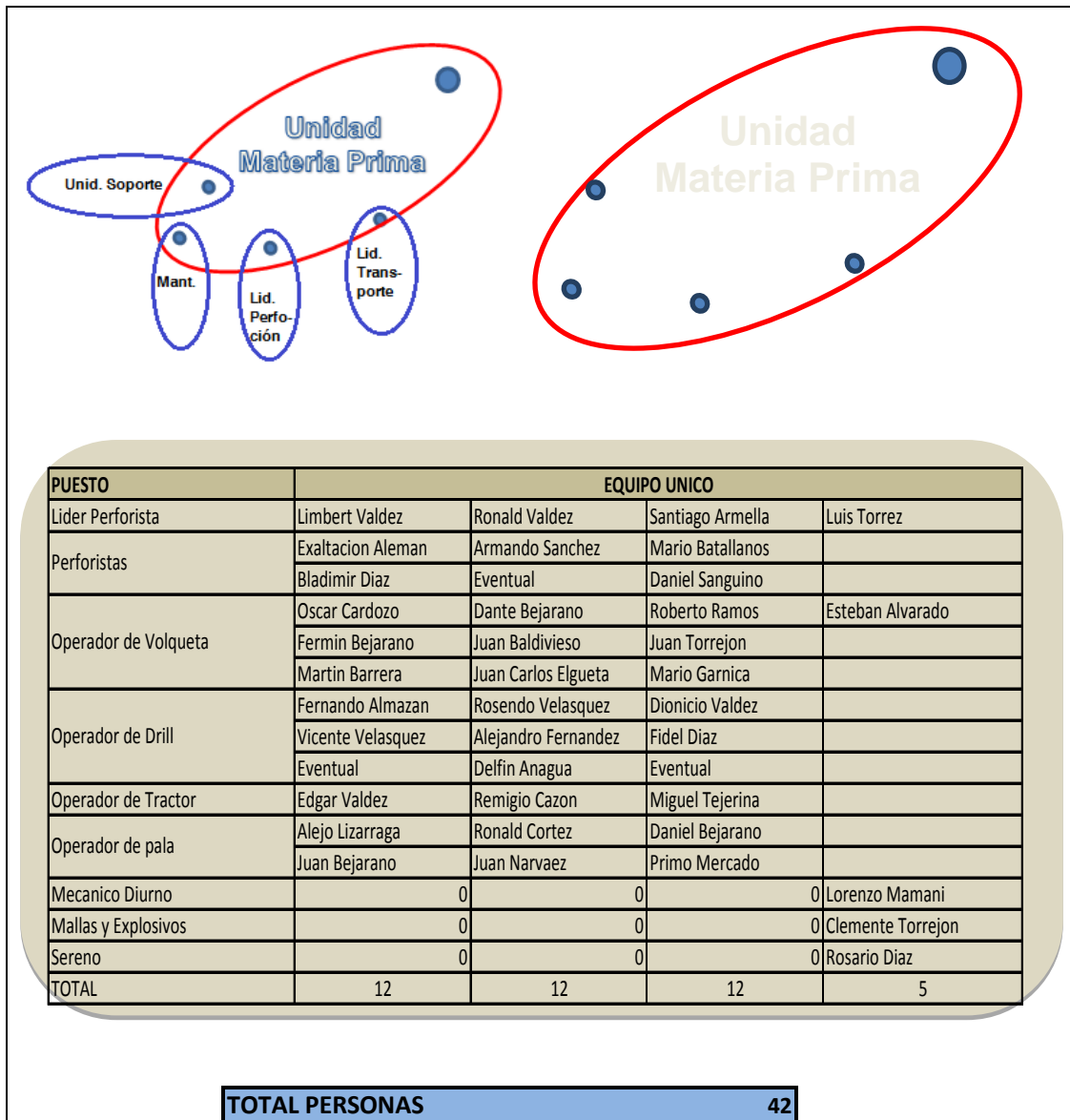
Figura 4.1.1. Estructura organizativa del personal de Planta cementera de SOBOCE en el Puente distribuida por unidades.



Fuente: Apunte personal

Donde el personal de la cantera es involucrado en el proceso dentro de planta y planta involucrado en la actividad de canteras mediante la unidad de soporte.

Figura 4.1.2. Personal involucrado en el tratamiento de materia prima para proveer a la Cementera El Puente.



Fuente: Elaboración propia

En los últimos años, según el líder de la unidad de materias primas, se ha experimentado difícil extracción de caliza adecuada debido al aumento de Areniscas considerada también caliza de descarte y desecho en la mayoría de los casos por tener elevada sílice que contamina la caliza de alta ley en óxido de calcio y que viene en

forma de encabe sobre, la capa geológica de SM1 con una altura variada entre 80 centímetros hasta 1 metro de Areniscas; así mismo, existe en el seno de la caliza de SM1 capas de 12-15 centímetros de altura de arenisca con elevada sílice que complica la explotación de la caliza de SM1; esta caliza del SM1 es un material y elemento principal para la producción de Cemento.

Así mismo, el Gerente Técnico manifiesta que la Planta de cemento El Puente incrementa la producción por las exigencias de los consumidores del sur del país y en ese propósito la producción se concentra los esfuerzos en producir más con los mismos equipos y esto conlleva también a una exigencia de la calidad de la Materia Prima y por ende cantera también debe aumentar la extracción y sobre todo la calidad del material.

En este sentido, Cantera de SOBOCE en el Puente o la unidad de materias primas trabajan en coordinación directa con el área de control de calidad o unidad de soporte de la fábrica cementera para poder mejorar la calidad de la materia prima.

A continuación, mostramos las actividades más importantes de la explotación de materia prima y las tareas y responsabilidades tanto de la Unidad de Materias Primas y la unidad de Soporte.

Tabla 4.1.1. Actividad actual de canteras El Puente Cliente y proveedor.

Actividad	Responsabilidad de proveedor =La cantera = unidad de materias primas	Responsabilidad como cliente = Planta cementera con vinculación directa con la unidad de soporte y la unidad de clinkerización
Sondeo	<p>Coordinar con el Área de control de calidad o unidad de soporte para elegir el nuevo frente a sondear y extraer las muestras según lo acordado.</p> <p>Esperar el resultado de la unidad de soporte.</p>	<p>La unidad de soporte es la encargada de analizar las muestras.</p> <p>Da el visto bueno o niega la actividad de explotación en la plataforma, banco sondeado.</p>
Explotación o Arranque de la materia prima	<p>Extraer muestras diarias de los taladros del banco a explotar designados por la unidad de soporte entregarlas a la unidad de soporte.</p> <p>Perforar el banco, preparar los explosivos (ver tabla 4.3.2) cargar el banco y arrancar el material mediante voladura. Después de la explotación el diámetro de partícula para la entrega como materia prima bruta a la cementera debe ser inferior a 25 cm. de diámetro.</p>	<p>Analiza las muestras tomadas por la unidad de materias primas.</p> <p>Da visto bueno y hace seguimiento a la perforación del banco y voladura o arranque de la materia prima.</p> <p>Conoce la calidad del banco.</p>

Transporte de Materia Prima	Cargado del material en bruto después de la voladura a las volquetas para el traslado a Planta Cementera coordinando con la unidad de Soporte. Garantiza la homogeneidad de la caliza que se transporta a planta.	Ordena y coordina con la unidad de materias primas para que se transporte el tipo de caliza que se requiere. Muestra en Cantera la caliza bruta que se va a transportar a planta. En Planta se tritura el material y la unidad de soporte; hora a hora saca muestras de lo transportado de cantera. Debe garantizar la homogeneidad de la caliza que se transporta a Planta.
-----------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

El trabajo que se realiza en la Cantera de SOBOCE en El Puente es coordinado ya que ambos, los proveedores y los clientes, son testigos de la calidad de la materia prima; sin embargo, esta cantera no está siendo bien aprovechada. La cantera de SOBOCE en el Puente, tiene un gran potencial pese a la buena gestión de la unidad de materias primas y la unidad de soporte se tiene problemas con la homogeneidad de la materia prima.

La descripción más importante y el potencial de la cantera se muestran en la siguiente figura:

Figura 4.1.3. Pared oriental de la cantera principal: miembros 2-4. El miembro 3 es esencialmente arcilloso (rojo y violeta), pero contiene varias capas de caliza (con espesor máximo de 1 m).



Fuente: Cantera El Puente, unidad de materias primas (supervisor de canteras), consultores Michaco DBT

Se distinguen las capas geográficas que identifican claramente los Sub Miembros 4, Sub Miembro 3 y Sub Miembro 2. Sin embargo, las jergas de los geólogos varían y podrían identificarse con otra palabra. Por sintaxis o unificación de datos en sus equipos y programas y fotos satelitales que ellos manejan.

Según el último muestreo, trabajo realizado por la Consultora Michaco.dbt. Consultores y con el Apoyo de el laboratorio de planta de Cemento de SOBOCE El Puente se llegó al siguiente detalle que muestra las composiciones de cada sub miembro.

Tabla 4.1.2. Composición química (en%) de rocas calcáreas y arcillosas

Muestra	EWGS84	NWGS84	Altitud	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI	CO ₃ ²⁻	CaCO ₃	MgCO ₃
<i>Miembro 1</i>													
218	273070	7649899	2453	5.19	0.79	0.40	48.10	3.17	0.21	40.90	92.38	85.85	6.63
227	274044	7649260	2717	6.53	0.53	0.25	48.92	1.59	0.26	41.07	91.28	87.31	3.33
230	273496	7651217	2573	3.51	0.40	0.27	50.87	1.67	0.31	41.19	89.64	90.79	3.49
232	273151	7649796	2500	3.02	0.46	0.20	51.57	1.92	0.18	40.53	90.20	92.04	4.02
243	273446	7649881	2538	5.53	0.56	0.30	48.51	2.26	0.26	40.02	91.60	86.58	4.73
245	274086	7649447	2724	2.51	0.56	0.29	51.54	1.95	0.22	42.52	96.20	91.99	4.08
249	274594	7648484	2897	4.78	0.54	0.27	49.05	3.79	0.23	41.02	91.44	87.54	7.93
252	273291	7648850	2592	6.92	0.66	0.46	47.13	2.62	0.29	39.96	89.26	84.12	5.48
255	274512	7651063	2836	8.26	0.62	0.24	46.61	2.03	0.25	37.90	87.50	83.19	4.25
256	274207	7650987	2736	4.98	0.70	0.37	49.23	2.39	0.24	41.51	93.32	87.87	5.00
258	274012	7650905	2699	7.84	0.89	0.29	48.04	1.00	0.26	38.97	88.20	85.74	2.09
273	274472	7651229	3226	6.02	0.51	0.26	47.43	2.74	0.22	39.15	87.16	84.65	5.73
289	273277	7649901	2512	2.76	0.44	0.23	53.06	0.43	0.24	41.49	94.62	94.70	0.90
303	273872	7651459	2734	2.53	0.31	0.12	53.03	1.34	0.23	41.42	93.24	94.65	2.80
225	273617	7649110	2592	9.33	0.79	0.28	46.94	1.43	0.29	38.25	86.84	83.78	2.99
231	273398	7649863	2456	12.57	1.26	0.39	44.15	1.30	0.27	36.08	81.62	78.80	2.72
262	273652	7648306	2630	17.20	1.83	0.68	39.68	0.43	0.32	32.81	73.30	70.82	0.90
271	274361	7650767	2803	18.13	1.71	0.59	39.99	1.47	0.15	29.49	65.82	71.37	3.08
272	274238	7650540	2765	15.14	0.99	0.52	40.30	2.13	0.27	31.67	73.54	71.93	4.46
240	274035	7650074	2707	10.74	0.76	0.28	45.55	0.97	0.24	36.60	83.68	81.30	2.03
241	273738	7649827	2608	11.56	0.77	0.37	45.12	1.20	0.30	36.98	83.92	80.53	2.51
226	273945	7649123	2670	16.82	0.92	0.26	41.68	0.20	0.31	32.49	86.20	74.44	0.42
257	274027	7650911	2690	24.44	2.14	0.46	34.21	1.16	0.32	24.07	54.30	61.10	2.43
<i>Miembro 2</i>													
219	272866	7649924	2456	5.87	0.76	0.35	49.54	1.25	0.23	39.68	90.96	88.42	2.62
220	272866	7649924	2456	9.26	1.56	0.68	47.98	0.30	0.24	38.97	87.68	85.63	0.63
223	273196	7649955	2501	7.44	0.97	0.59	46.52	2.36	0.30	39.81	89.54	83.03	4.94
224	273462	7649113	2578	8.52	0.98	0.35	47.75	0.80	0.25	37.75	74.12	85.22	1.67
233	274963	7650545	2956	12.29	1.36	0.47	45.80	0.16	0.30	35.08	80.90	81.74	0.33
234	273872	7650380	2710	12.78	0.66	0.32	44.85	0.20	0.31	33.62	77.12	80.05	0.42
235	273014	7649798	2469	27.23	7.11	1.96	31.54	1.92	0.13	26.04	53.66	56.29	4.02
236	273014	7649798	2469	15.06	3.27	0.93	41.40	1.57	0.31	35.71	79.24	73.89	3.28
237	273014	7649798	2469	23.76	6.76	3.16	33.87	1.84	0.17	28.70	58.44	60.45	3.85
239	273993	7650176	2719	11.39	1.50	0.57	44.58	1.70	0.26	38.36	85.62	79.57	3.56
242	273738	7649827	2608	5.96	0.78	0.47	48.11	2.09	0.25	40.15	91.62	85.87	4.37
244	273616	7649531	2599	4.70	0.60	0.35	48.08	3.49	0.24	41.46	94.00	85.81	7.30
250	273619	7648486	2667	36.86	2.32	0.66	27.69	1.78	0.43	15.74	35.94	49.42	3.72
253	273632	7648725	2625	10.50	1.94	1.11	45.27	1.22	0.27	38.43	85.15	80.80	2.55
254	275010	7650982	2937	10.91	0.82	0.49	44.90	1.21	0.38	36.64	81.46	80.14	2.53
260	273811	7650934	2688	28.92	8.80	3.02	28.38	1.94	0.00	26.27	47.28	50.65	4.06
261	273627	7648421	2654	8.54	1.78	0.45	47.74	0.36	0.27	38.60	87.30	85.21	0.75

<i>Miembro 2</i>													
Muestra	EWGS84	NWGS84	Altitud	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI	CO ₃ ⁻²	CaCO ₃	MgCO ₃
264	273323	7649644	2524	11.57	0.83	0.39	46.70	0.53	0.29	35.80	81.80	83.35	1.11
265	273323	7649644	2524	39.09	12.73	4.37	18.21	2.49	0.00	16.65	24.34	32.50	5.21
266	273341	7649652	2524	10.11	1.21	0.63	43.67	3.56	0.25	37.06	84.38	77.94	7.45
267	273466	7649601	2550	9.43	1.16	0.85	45.22	1.93	0.31	37.31	84.68	80.71	4.04
268	273509	7649618	2572	4.80	0.59	0.45	47.58	3.27	0.25	40.81	91.26	84.92	6.84
269	273158	7649959	2497	8.65	1.82	0.52	48.08	0.31	0.24	38.23	86.66	85.81	0.65
274	273665	7651110	2576	9.54	1.74	0.44	47.93	0.87	0.23	39.35	88.16	85.55	1.82
288	273324	7649941	2529	12.08	3.19	1.13	43.45	1.87	0.28	36.99	81.78	77.55	3.91
302	273428	7651404	2572	8.90	1.55	0.65	46.59	0.06	0.27	36.61	83.14	83.15	0.13
304	273612	7651414	2626	4.24	0.71	0.29	52.17	0.41	0.21	40.81	93.62	93.11	0.86
<i>Miembro 3</i>													
221	273125	7649951	2505	63.62	12.02	4.08	6.41	1.70	0.53	10.71	5.22	11.44	3.56
222	273091	7649950	2509	29.03	2.07	0.78	32.09	1.43	0.12	22.59	48.62	57.27	2.99
277	273089	7649681	2506	45.43	15.29	6.17	13.17	2.43	0.00	10.98	6.22	23.51	5.08
278	273052	7649698	2496	46.11	15.59	6.77	12.98	2.39	0.00	11.27	7.14	23.17	5.00
281	273230	7650560	2572	45.50	15.92	7.83	11.82	2.75	0.09	10.85	1.16	21.10	5.75
282	273230	7650560	2572	45.20	15.77	7.78	12.37	2.59	0.10	11.38	2.18	22.08	5.42
283	273267	7650311	2567	44.74	15.81	7.93	12.22	2.61	0.03	11.55	3.22	21.81	5.46
284	273267	7650311	2567	45.44	16.03	7.90	11.95	2.71	0.11	10.13	3.38	21.33	5.67
<i>Miembro 4</i>													
217	273048	7649963	2509	2.14	0.40	0.20	51.06	3.12	0.18	42.39	96.62	91.13	6.53
228	272916	7649046	2542	1.37	0.22	0.08	54.84	0.74	0.17	41.67	97.00	97.88	1.55
238	273416	7650184	2600	1.42	0.32	0.18	51.51	3.00	0.16	43.09	96.80	91.94	6.28
246	273646	7649371	2647	1.38	0.17	0.07	54.75	0.48	0.18	42.12	97.88	97.72	1.00
251	273291	7648830	2592	1.82	0.41	0.18	52.38	3.27	0.18	42.33	97.42	93.49	6.84
280	272959	7648401	2495	2.47	0.32	0.09	53.56	0.46	0.18	41.01	95.58	95.59	0.96
286	273265	7650271	2574	1.50	0.36	0.25	50.92	3.53	0.18	42.74	98.00	90.88	7.38
287	273165	7650645	2562	1.14	0.17	0.08	55.03	0.46	0.18	42.07	97.26	98.22	0.96
290	273148	7651315	2517	1.25	0.20	0.09	54.76	0.57	0.17	42.08	97.86	97.74	1.19
301	273103	7651398	2495	1.42	0.23	0.11	53.45	1.48	0.18	42.69	97.22	95.40	3.10
229	273226	7650518	2570	2.06	0.64	0.43	45.83	7.92	0.19	42.92	97.40	81.80	16.57
247	272950	7649502	2525	1.77	0.73	0.65	43.62	11.02	0.16	44.04	98.10	77.85	23.05
259	273450	7650511	2805	6.28	0.68	0.24	46.53	5.88	0.22	42.43	93.04	83.05	12.30
270	273230	7650560	2572	2.00	0.49	0.33	46.93	6.66	0.19	43.10	97.62	83.76	13.93
275	273419	7650982	2608	2.38	0.54	0.34	46.35	7.05	0.19	43.13	95.96	82.73	14.75
276	273243	7649584	2566	1.83	0.52	0.40	45.77	7.70	0.19	43.35	94.82	81.69	16.11
279	273393	7648675	2566	1.89	0.47	0.32	48.07	6.44	0.18	42.94	97.88	85.80	13.47
285	273267	7650311	2567	1.76	0.39	0.28	48.96	5.03	0.16	42.92	97.54	87.38	10.52
<i>Miembro 5</i>													
248	272729	7649660	2477	8.82	0.51	0.20	49.85	0.00	0.24	36.44	84.44	88.97	0.00
263	273112	7648626	2559	18.31	1.34	0.53	40.66	0.00	0.37	30.86	70.06	72.57	0.00

Fuente: Muestreo realizado por la consultora MICHACO DBT, en coordinación con la unidad de materias primas de la fábrica de cemento El Puente SOBOCE. Muestras puntuales.

Haciendo un análisis de la tabla y haciendo una retroalimentación con datos de laboratorio de Planta, se hace la siguiente definición a las materias primas con que cuenta esta cantera.

4.2. Característica Químicas de la cantera

4.2.1. Sub Miembro 1 (SM1)

De acuerdo a sus componentes la SM1 se caracteriza por tener un elevado porcentaje de óxido de calcio CaO , por encima del 45%, y altos contenidos en CaCO_3 (73.9 – 93.1%) y bajos contenidos de magnesio MgO (< 3.8%) El Promedio es de 84.1% CaCO_3 y 3.6% MgCO_3 y de tener un porcentaje por debajo de 10% de sílice conocido como SiO_2 , esta capa está en actual explotación por la empresa El Puente en su cantera Principal. Así mismo, mostrando que la caliza es de buena calidad.

4.2.2. Sub Miembro 2 (SM2)

De acuerdo a sus componentes la SM2 se caracteriza por tener una porcentaje de CaO por debajo de 45% también con altos contenidos de CaCO_3 (70.8-94.7%) y bajos tenores en MgO (<3.5%).El promedio es de 83.1% CaCO_3 y 2.8% MgCO_3 y sílice SiO_2 por encima del 10 %, hasta el 31.2 % y tiene un enriquecimiento considerable de Al_2O_3 7.5% respectivamente) y contenido bajo en CaCO_3 sirviendo tal vez la caliza que más variabilidad presenta referente al contenido de Al_2O_3 , esto debido a la variabilidad de la formación. Esta caliza también es explotada para provisionar de materia prima a Planta de Cemento el Puente.

4.2.3. Sub Miembro 3 (SM3)

Esta capa de materia prima no es utilizada para la producción de cemento por tener una elevada cantidad en porcentaje de sílice y además un porcentaje pobre de óxido de calcio.

4.2.4. Sub Miembro 4 (SM4)

En esta unidad se tiene dos variables: (i) caliza de alta calidad con datos contenidos en CaCO_3 (90.9-98.2) y bajos tenores en MgO (0.5-3.5%) en 10 muestras, y (ii) caliza magnesiana con buen contenido de carbonato de calcio CaCO_3 (77.9-87.4%) y valores moderados a altos en MgO (5-11%) en 10 muestras. Esta capa o sub miembro se caracteriza por tener una similitud con la SM1 ya que tiene un porcentaje por encima de 45% de CaO , con un CaCO_3 (89.7%) y un porcentaje por debajo de 10% de sílice en promedio, aunque tiene un mayor contenido de magnesio mismo que puede ser controlado con voladura y la homogeneidad con un stacker (mesclador), en la pila de la trituradora. Esta capa está en actual explotación por la empresa El Puente en su segunda cantera. Se tiene también otra cantera abandonada que fue objeto de anterior explotación.

4.2.5. Sub Miembro 5 (SM5)

Esta capa se asemeja a la segunda e incluso en algunas veces a la primera, quiere decir que con SM5 sí se puede producir Clinker. Actualmente en El Puente no se utiliza. Su composición química se muestra en la tabla 4.1.2.

4.3. Localización de la planta

A 112 kilómetros de la ciudad de Tarija carretera al Norte por la vía antigua cordillera de Sama y a 86 kilómetros por vía nueva Falda La Queñua, se encuentran ubicadas las Canteras de El Puente mismas que proveen de materia a la Planta de Cemento de SOBOCE.

Las canteras de El Puente se encuentran ubicadas en la provincia Méndez del departamento de Tarija aproximadamente a 74 km en línea recta al NW de la ciudad capital de Tarija.

Las coordenadas geográficas son: El Puente (fábrica de cemento) de 21°14'41" latitud sur, 65°12'28" longitud oeste (UTM, zona 20, WGS-84: 270714E, 7648755 N)

Se denomina Cantera El Puente porque está ubicada aledaña a la comunidad El Puente y es rica en Piedra Caliza, Toba y Yeso y se divide en seis concesiones pertenecientes a SOBOCE.

Las concesiones activas que proporcionan materia prima Caliza son las concesiones llamadas La Tablada y La Constancia; son las Canteras ricas en piedra Caliza siendo las más importantes y principales, las dos únicas que son explotadas para la extracción de materia prima Caliza; por esta razón estas concesiones requieren garantizar una producción, homogenizada minimizando los descartes en los frentes de ataque. En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de acopios que interrumpen en la operación de explotación actual.

Figura 4.3.1. Fotografía satelital cantera de SOBOCE El Puente



Fuente: Google earth

Tabla 4.3.1. Distribución y ubicación de ambientes de la actividad de explotación en la Cantera de SOBOCE en la comunidad El Puente

# ubicación	Ambiente	Lugar	Cantidad	ancho	Largo	[m2]
2	Almacenes	Planta	1	8	20	160
2	Depósito en Planta	Canteras	1	8,840	1	8,840
2	Distribución de Diesel	Planta	1	10	30	300
2	Oficinas Técnicas	Planta	1	4	4	16
2	Taller de equipo pesado	Planta	1	35	70	2,450
5	Frente de explotación de Sub Miembro 4	Canteras	1	45	150	6,750
5	Frente de explotación de Sub Miembro 4	Canteras	1	20	150	3,000
5	Frente de explotación de Sub Miembro 4	Canteras	1	20	150	3,000
6	Frente de explotación El Salto	Canteras	1	18	40	720

6	Frente de explotación El Salto	Canteras	1	30	30	900
7	Frente de explotación Huayco	Canteras	1	35	160	5,600
7	Frente de explotación Huayco	Canteras	1	35	120	4,200
8	Frente de explotación Huaranhuay	Canteras	1	50	70	3,500
8	Frente de explotación Huaranhuay	Canteras	1	40	45	1,800
9	Depósito de explosivos polvorín	Canteras	1	16	5	74
10	Depósitos varios	Canteras	1	15	5	69
10	Maestranza	Canteras	1	12	36	432
10	Baños de maestranza	Canteras	1	6	6	36
10	Baños en los frentes de operación	Canteras	3	6	6	108
10	Sala de capacitaciones	Canteras	1	8	14	112

Fuente: Elaboración propia

Las etapas actuales de la operación y las etapas que se proponen se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.3.2. Etapas de operación de la actividad actual de explotación de Canteras de SOBOCE en El Punte

Ubicación	Proceso	Unidad	Etapas Actuales
Cantera	Operación	Materias Primas	Identificación del frente de explotación
			Desencape
			Perforación
			Preparación de explosivos
			Voladura
			Carguío a las volquetas
Cantera	Operación	Materias Primas	Transporte
Laboratorio Planta de Cemento	Control de Calidad	Soporte	Análisis de muestreos
Laboratorio Planta de Cemento	Control de Calidad	Soporte	Confirmación de la perforación
Trituradoras en Planta de Cemento	Producción y Control de Calidad	Clinkerización y Control de Calidad	Seguimiento hora a hora al transporte de Cantera a Planta el Punte

Planta de Cemento	Almacenaje de combustibles	Almacenes	Almacenaje de combustible
Canteras El Puente	Almacenaje de explosivos	Almacenes	Almacenaje de Explosivos e insumos de explosivos

Fuente: Elaboración propia

Las explotaciones a cielo abierto se realizan por partes, es decir, se debe tener en cuenta no, mezclar las capas o fajas geológicas existentes; para ello, se disgregan las siguientes actividades.

Identificación del frente de explotación.- En esta fase se identifica el frente de explotación futura, para esto se toma en cuenta el tipo de explotación (escalonada), la dirección de la veta, la cantidad de material que se desea explotar y las vías de acceso.

Desencape.- Es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga (cobertura vegetal, generalmente representada por arbustos xerofíticos) y dejar el material útil listo para que sea extraído.

Perforación.- En esta etapa se procede a realizar la perforación de la roca (CALIZA); para esta actividad se utiliza un drill mecánico alimentado con un compresor de aire a diesel.

Las variables necesarias que determinan la formación de la malla para realizar las perforaciones donde se introducirá el explosivo se debe tomar en cuenta aparte de (profundidad, inclinación, diámetro) los siguientes detalles importantes:

- Forma de la roca (topográficas)
- Características físicas de la roca

- Diámetro que se quiere obtener, producto de la voladura
- Cantidad de roca que se pretende fracturar
- Características físicas y químicas de los explosivos

Además de estas variables se buscará obtener, luego de la voladura, una superficie plana y que el material producido quede acopiado y listo para el despacho.

Preparación de explosivos.- Las perforaciones realizadas son rellenas de explosivos; la combinación de explosivos así como las cantidades se calculan según la altura del banco, densidad de la piedra, densidad del explosivo, espaciamiento entre perforaciones y diámetro de la perforación. Los insumos usados son: Dinamitas, ANFO, Fulminantes, Cordón detonante, Guía blanca, Boosters, Retardos y Faneles.

Voladura.- En una fecha y hora programada con anterioridad, se procede a la voladura (realizar la explosión) de la malla preparada previamente.

Carguío a las volquetas.- Una vez efectuada la voladura se procede a cargar las volquetas de transporte con la ayuda de un cargador frontal. La cantidad de material que se carga dependerá del tipo de volqueta tomando en cuenta el cumplimiento de la Ley de Cargas.

Transporte.- Una vez cargada las volquetas, estas transportan la carga hasta la fábrica de cemento El Puente misma que se encuentra aproximadamente a 7 km.

Almacenaje de combustible.- El almacenaje de combustible se realiza en un tanque ubicado en la Planta de cemento El Puente. Diesel, Aceites, Grasa y Gasolina

Almacenaje de explosivos e insumos en polvorín.- El almacenaje de explosivos e insumos para la voladura se da en el polvorín situado dentro de la concesión.

El control de la cantera referente a la circulación de la Materia Prima se muestra en el Diagrama de flujo en la figura 6.1.1.

CAPÍTULO II

5. CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

De todo lo mencionado en los capítulos anteriores podemos resumir lo siguiente:

- 1.** Mes a mes se generan calizas rechazadas por el área de control de calidad y actualmente están siendo tratadas como un producto de desecho industrial, ocasionando una acumulación de caliza descartada.
- 2.** Cuando los stocks ya muestreados y analizados, en canteras y en los depósitos de Planta de cemento El Puente, muestran variabilidad repentina en la composición química de la materia prima ocasionan que el homo (harina de entrada a los hornos) que se esté preparando en Planta varíe y por ende, varíe la harina de entrada a los hornos, provocando un enfriamiento a causa de la falta de homogeneidad de la piedra Caliza. Inclusive provocando taponamientos de ciclones en la torre del horno FLS ocasionando parada de horno en horas no planificadas.

En la siguiente tabla se muestra el registro que se tiene para el control de la dosificación de la Harina homogenizada requerida para la producción de Clinker.

Tabla 5.1. Dosificación ideal planeada para la harina que entrara al Horno.

	MOLINO I: HUAYCO I MOLINO II: HUAYCO I	MOLINO I SM-4 MOLINO II SM-4	MOLINO I HUAYCO II MOLINO I HUAYCO II	MOLINO I HIERRO MOLINO II HIERRO	MOLINO I YESO MOLINO II YESO			
						Harina Prepar	Relación a clinker	Carga Ton/Hr
%	32.39	13.50	49.93	2.16	2.02	100.00		22.8
Kg/min.	120.0	50.0	185.0	8.0	7.5	370.5		
PPF	39.64		22.63	10.50	17.34	35.29		
SiO ₂	6.02	4.99	19.55	12.28	29.88	13.90	21.55	
Al ₂ O ₃	1.35	1.13	4.93	4.79	1.58	3.52	5.46	
Fe ₂ O ₃	0.49	0.44	1.52	60.76	0.90	2.31	3.58	
CaO	46.49	48.76	36.45	2.11	21.76	40.65	63.01	
MgO	1.88	2.12	1.74	0.88	0.72	2.02	3.13	
SO ₃	0.24	0.20	0.24	0.43	29.99	0.60	0.93	
Total	96.11	98.41	87.06	91.75	102.17	91.93	97.65	
CO ₃ ⁼ Tot.	88.20	92.37	69.44			76.35		
Componentes mineralógicos			MODULOS Y VARIABLES DE CONTROL					
C3S		48.34	Modulo Khul			91.15	91.19	90-92
C2S		25.32	Modulo de silicatos			2.38	2.38	2,35-2,43
C3A		8.40	Modulo Fundente			1.52	1.52	1,46-1,54
C4AF		10.88	Fase Líquida 1450°C				28.11	
Indice De Sinterización		2.51	Fase Líquida 1338°C				25.45	
			Grado de Solidificación				2.65	
Primera	2747		Índice de Costra				31.51	
Segunda	2923		Aptitud de Cocción			107	104	
		Para 1 homo	Relación Alkali Sulfato					

Fuente: Fábrica de cemento El Puente. Área control de calidad, laboratorio.

En esta tabla de dosificación se muestra la cantidad planeada estimada de todas las materias primas que forma parte del crudo, o también denominado homogenizado con nombre común homo. Esta tabla es el reflejo de cómo se debe alimentar a los dos molinos de crudo en Planta.

Esta tabla es una fotografía del cómo se comportaría la harina preparada dentro de los Hornos que refleja los módulos más importantes de la harina en cocción y Clinkerización. Así mismo, muestra las cantidades de los componentes mineralógicos del Clinker.

Sin embargo, podría ser mejor esta composición química, por ejemplo, la que se muestra a continuación:

Tabla 5.1.2. Composición química ideal del crudo

	<i>CRUDO</i>
SiO ₂	14,75
Al ₂ O ₃	3,83
Fe ₂ O ₃	1,74
CaO	42,39
MgO	0,91
K ₂ O	0,25
Na ₂ O	0,10
SO ₃	0,14
H ₂ O	4,46
pf	32,95
Suma	99,99

3. Sin embargo, el Área de control de calidad y el área de materias primas están teniendo problemas con la elevada alúmina Al₂O₃ de la caliza de baja ley; estamos

hablando de la formación geológica sub miembro 2 porque tiene elevado porcentaje de volumen de Al_2O_3 por ejemplo en la tabla 4.1.1 muestra un valor de 12.73 como máximo, 6.76 como media y una mínima de 0.66 y la que se muestra en la tabla 5.1.1 tiene un porcentaje de 4.93. Este hecho es una de las causas de la interrupción del proceso de Clinkerización. Ver en Anexo A.

4. Abandono de frentes de explotación yendo en contra del desarrollo sostenible para futuras generaciones. La figura 4.1.2 muestra los acopios de caliza descartada en canteras donde por poco espacio y demasiada caliza descartada se opta por buscar otro frente de ataque dejando al abandono lugares de gran potencial calcáreo. Como muestra la figura 3.1

5.1. Descripción de alternativas técnicas de solución

1. La solución a la caliza descartada, que se tiene acumulada y que día a día se incrementa se debe a:

- Caliza fuera de rango en la composición química
- Caliza con elevado diámetro de partícula (tamaño)

Para ambos casos se debe acopiar en un lugar que no provoque un riesgo de arrastre por riadas y trasladar este material a un lugar, espacio que permita la explotación escalonada. Para ello se debe comenzar a triturar el material fuera de rango, material con elevado diámetro de partícula (tamaño) y ser retirados; para ello se tiene la necesidad de desmenuzar el material y mejorar las condiciones de almacenamiento y acopio, ya que con una granulometría más pequeña se logra tener un material más transportable, lógicamente, en función a la composición química y física; y posteriormente sea designado este material a un destino final, fuera, de la cantera de SOBOCE El Puente.

Estas dos razones se solucionarían con la adición de un equipo moderno llamado trituradora móvil dentro de la operación y actividad de la Cantera. Incluir este equipo

post detonación o voladura trituraría la caliza bruta en la cantera y haciéndole pasar luego por un cribado.

2. Para que cantera El Puente transporte una caliza homogénea a la planta de cemento El Puente la caliza explotada en bruto en Cantera de SOBOCE El Puente debe pasar por el proceso de disminución preliminar y posteriormente ser separado por tamaño de partícula en pilas que deben pasar por una criba que a la caída tenga un mezclador donde se homogenicen al 100%.

3. La elevada Alúmina necesariamente debe:

- i. Ser separada, extraerla mediante el rechazo por malla. Es decir, debe pasar por un proceso de triturado, cribado y mezclado a la caída de la pila.
- ii. Otra alternativa es como se procesa actualmente en la cantera El Puente esta caliza con elevada alúmina y es neutralizada con areniscas, proceso que provoca desviaciones en la producción de los hornos.

4. Para los abandonos de frentes de explotación la solución planteada es que los Sub Miembros sean explotados escalonadamente; los sub miembros 3 y cinco deben considerarse como alternativa:

Sub miembro 3 y Sub miembro 5.-

En estas capas geográficas, como muestran las figuras 3.1.4. y 3.1.6, se evidencia caliza que podría ser bien aprovechada incrementando en el proceso de explotación una planta móvil de trituración y cribado pudiendo aprovechar la altura de estos sub miembros con la caliza existente en medio de estos sub miembros , tanto para dosificar las harinas como para utilizarla como árido

Este hecho abre la posibilidad de generación o recuperación de dinero por:

- a) Convertir al sub miembro 3 y sub miembro 5 en materia prima para la producción de cemento y de venta a terceros como agregado.

- b) Que libera la posibilidad de una explotación escalonada al 100% siendo una cantera sostenible en el tiempo.

La distribución que se propone en la explotación de la cantera se muestra en la siguiente figura

Figura 5.1.1. Fotografía satelital Cantera de SOBOCE El Puente



Fuente: Google earth

5.2. Técnicas de triturado existentes

Usualmente, la reducción de tamaño se realiza, por lo menos, en dos etapas principales:

- a) Reducción preliminar: TRITURACIÓN.
- b) Reducción fina: MOLIENDA

La trituración es la primera etapa de la operación de reducción de tamaño de las materias primas (Admitiendo el mayor tamaño posible) y tiene por objetivo obtener un producto fácilmente transportable, que se preste bien a la operación de pre homogeneización en montones; en canteras de SOBOCE El Puente el primer paso es extraer, arrancar la beta con explosivo llamando a esta operación (voladura). Actualmente en esta Cantera, posterior a la voladura, se transporta a Planta Cementera en bruto en tamaño aproximado de 40x20 y luego se tritura en la Máquina del mismo nombre hasta un tamaño de 28 mm aproximadamente, en cualquier caso, cuyo tamaño superior sea aceptable como alimentación de los molinos de crudo, que generalmente es del orden de 25-30 mm o incluso 22 mm. De este modo se mejora la eficacia de la operación de molienda.

La característica principal de las instalaciones de trituración de una cementera es su simplicidad, puesto que se pasa en una sola etapa; generalmente, de la dimensión de las materias primas tal y como se obtienen de la explotación minera (Bloques de hasta 2 metros) a 25-30 mm. Esto es debido a la buena aptitud de los materiales a la trituración y a la débil abrasividad. Como norma general se suele considerar como roca abrasiva aquella que contiene por encima de un 3 % de sílice libre o por encima de un 10 % de dolomía o portador de óxido de calcio.

Por lo tanto y siempre que la abrasividad lo permita, que es en la mayoría de las ocasiones, diseñan instalaciones lo más sencillas posibles, es decir, instalaciones con trituradoras de impactos (de choque, de martillos, de cilindros dentados, etc.), dado que su coeficiente de reducción es notablemente superior al de aquellas cuyo concepto de trituración es el de la compresión (Trituradoras de mandíbulas y giratorias).

Hoy en día, están bastante extendidas las instalaciones de trituración móviles, con equipos de desplazamiento a base de orugas, etc., las cuales van siguiendo el frente de la explotación y que se alimenta directamente por las máquinas cargadoras.

Los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de trituradora son los siguientes:

- (A).-Tamaño de la alimentación. Método de explotación y equipo de cantera.
- (B).-Grado de reducción. (Deseado)
- (C).- Capacidad promedio de producción requerida (Producción por unidad de tiempo alta).
- (D).-Características del material a triturar (Posibilidad de trituración de cualquier material).
- (E).-Granulometría y forma de los trozos del material triturado (Tamaño de alimentación a molinos).
- (F).-Inversión inicial. Relación (inversión/producción) baja.
- (G).-Costes de operación y mantenimiento (Consumo de energía bajo y desgaste reducido).

(A).-Tamaño de la alimentación. Método de explotación y equipo de cantera.

La estructura geológica y el método de explotación de la cantera tienen una influencia directa en la selección del tipo de trituradora. Al seleccionar el método de explotación debe tenerse en cuenta el efecto que tendrá en la trituración primaria. En términos generales, cuanto más grande sea el tamaño de alimentación, el cual depende del método de explotación y este a su vez de la estructura geológica de la cantera, el coste de la trituración será mayor.

Cuando se utiliza una pala o cargador frontal para extraer la materia prima, debe cumplir con los requisitos de la trituración primaria, ya que el tamaño del material depende del tamaño de la cuchara, por lo que hay que cuidarse de no recoger piedras demasiado grandes.

Utilizando explotación por voladura, la estructura geológica de la cantera influye en el tamaño de las piedras y, por tanto, tiene una considerable influencia en la selección y tamaño de la trituradora. Si la cantera es estratificada, se puede hacer una voladura económica sin problemas en la alimentación para las trituradoras giratorias o de

rodillos con dientes. Pero si la voladura produce piedras masivas en tamaño de partícula es preferible una de mandíbulas a una giratoria.

(B) Grado de reducción.

Se suele denominar por n y se define como la relación que existe entre la mayor dimensión lineal (D) del material de alimentación y la mayor dimensión lineal del material triturado o molido (d), es decir:

$$n = \frac{D_{\max}}{d_{\max}}$$

En este caso, las voladuras de Canteras El Puente tienen como producto un promedio de diámetro de partícula de 450-200 mm. Haciendo una entrega a planta con un máximo de 280 mm de diámetro, para ello se debe hacer un trabajo de selección y trozado de material manual para poder bajar los diámetros de partícula superiores a este diámetro. Sin embargo, en los últimos años se tuvo gran avance en las eficiencias de las voladuras logrando un 85% de diámetro de partícula dentro de 260 mm.

Las trituradoras entregan una materia con un diámetro de partícula de 15-20 mm

Actualmente planta El Puente utiliza dos trituradoras por choque, o conocida como trituradora de impacto donde las trituradoras de planta tendrían un grado de reducción de:

$$\text{Trituradora In} = \frac{260}{20} = 13$$

$$\text{Trituradora IIn} = \frac{280}{20} = 14$$


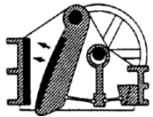

Etapas de trituración.- Dentro de un proceso de trituración pueden existir varias etapas, que van desde primaria, secundaria hasta terciaria, dependiendo del tamaño de alimentación que envíe la cantera, de las características del material que se va a triturar y de las necesidades del proceso.


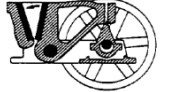
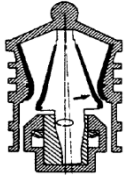
Las únicas trituradoras que pueden alcanzar un grado de reducción elevado, por ejemplo, $n > 50$, en una simple operación, de tal modo que se puede suprimir la etapa secundaria, son aquellas que funcionan bajo el principio de impacto, una trituradora de martillos.

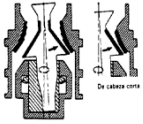
Cabe mencionar que es muy importante el método de explotación de la cantera, generalmente por voladura, ya que cuanto menor sea el tamaño de roca que se produce, más factible será disminuir las etapas de trituración.

Tipos de trituradoras.-Las trituradoras industriales pueden clasificarse tomando como criterio el modo en que trabajan. Así, en la tabla 5.2.1. se relacionan los tipos principales de trituradoras, así como sus características y aplicaciones.

Tabla 5.2.1. Tipos principales de trituradoras, así como sus características y aplicaciones

		Representación gráfica	Tamaño (mm)	Potencia (Kw)	Velocidad (r.p.m.)	Relación de Reducción	Características y aplicaciones
Electro emergética	Electro energética			Hasta 250	2 a 3 para trozos de 5 a 10 t.m.		Se emplean principalmente para quebrar rocas sobre medidas antes de pasar a una quebradora primaria.
QUEBRADORA DE QUIJADA	Blake		125(apertura de entrada) * 150 (ancho) a 1600 * 2100	2 25 5**	3000 a 100	Promedio 7 : 1 Intervalo 4 . 1 A 9 . 1	Es la quebradora original estándar de quijada utilizada para la trituración primaria y secundaria de rocas duras tenaces y abrasivas, así como para materiales pegajosos productos relativamente gruesos con planos de separación o lajas. Con mínimo de finos. El volante hace uniforme con sumo de potencia.
	De pivote elevado		180** A 305 A 1220 x 1525	11 A 150 **	390 A 257	Promedio 7 : 1 Intervalo 4 : 1 A 9 : 1	Aplicaciones similares a las de Blake. Pivote elevado con este se reduce el rozamiento contra las caras de quebradora, se reduce el atascamiento, le logran mayores velocidades y por tanto mayores capacidades. Es mayor la eficiencia de aprovechamiento de energía por que la quijada y la carga no se elevan durante el ciclo.

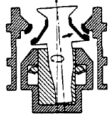

	De excéntrico elevado (Una conexión articulada)		12 5 150 A 1600 2100	2 . 25 A 402**	300 A 120	Promedio 7 : 1 Intervalo 4 : 1 A 9 : 1	Originalmente estuvo restringida a los tamaños más pequeños por limitaciones estructurales. Actualmente se fabrican en los mismos tamaños que la Blake, a la cual tiende a sustituir, porque el excéntrico elevado ayuda a la alimentación y a la descarga, permitiendo lograr mayores velocidades y capacidad; tiene, en cambio, alto desgaste, más roturas de fatiga y ligeramente menor eficiencia de aprovechamiento de energía. Inadecuada para roca muy dura, tenaz y abrasiva. Se fabrica a veces con mordaza oscilante gemelas.
	Dodge		100 150 a 280 380	2 . 25 A 11**	300 A 250	Promedio 7 : 1 Intervalo 4 : 1 A 9 : 1	El pivote ubicado abajo motiva un producto con mayor control de tamaño que la Blake, pero la quebradora Dodge es difícil de fabricar en tamaños grandes y tiene tendencia a atascarse. Generalmente se lo limita a uso de laboratorio.
QUEBRADORA GIRATORIA	De campana		760 (ancho de abertura) * 1400 Diámetro máximo de la cámara A 2135 x 350	5 A 750	450 A 110	Intermedi o 8 : 1 Intervalo 3 : 1 A 10 : 1	Estas quebradoras se caracterizan por tener su superficies de trituración divergentes (la superficie externa o del tazón tiene inclinación hacia adentro y hacia el fondo). Se usa para trituración primaria y secundaria, con mínimo de finos. Son más altas, de mayor capacidad y más adecuadas para alimentaciones lajosas que la quebradora de quijadas.

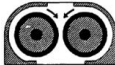
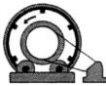
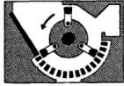
	De cono		600 (diámetro del cono) A 3050	22 A 600	290 A 220	Trituración Secundaria 6 : 1 a 8 : 1 Trituración Terciaria 4 : 1 a 8 : 1	Las quebradoras de cono se caracterizan por su superficies de trituración convergente (la superficie externa tiende a ser paralela a la superficie del cono). Se emplean para trituración secundaria y terciaria. Generalmente al disminuir el tamaño de las partículas (por ej. En la trituración terciaria) la superficie externa de trituración se vuelve más recta y más paralela a un cono de inclinación más fuerte, (a menudo se le llama quebradora de "cabeza corta"). Las quebradoras terciarias se alimentan a veces favoreciendo el atascamiento.
--	----------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------	----------------	-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


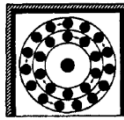
Estos datos tienen por objeto únicamente indicar la capacidad, deben consultarse los catálogos de los fabricantes y aplicarse la ley de Bond para obtener información confiable.


* Para roca muy dura, la potencia puede ser hasta 50% mayor, contando con que se refuerce la máquina.

Tabla 5.2.2. Tipos principales de trituradoras, así como sus características y aplicaciones (continuación).

			Tamaño (mm)	Poten- cia (kw)	Veloci- dad (r.p.m)	Capa- cidad (t/hr)	Relación de reduc- ción	Características y aplicaciones
QUEBRADORAS GIRATORIAS	Gyradlac*		900 Diámetro Del cono A 2100	100 A 400	325 A 260		2 1 A 4 1	Para trituración muy fina o cuaternaria la alimentación en condiciones de atascamiento, en bajo ángulo del cono ocasiona la fractura entre las capas de partículas, reducen el desgaste y dan una forma más cúbicas a las partículas. Se emplean para reducir agregados (en lugar del molino de barras) o para asegurar una alimentación de tamaño uniforme para un molino de barras. Son inadecuadas para materiales pegajosos.
QUEBRADORA DE RODILLO	De un solo Rodillo		500 (diámetro) *450 (ancho) A 1500 *2100	15 A 300	60 A 23	20 A 1500	Hasta 7 1	Es básicamente una quebradora primaria o secundaria, adecuada para materiales blandos deleznales y no abrasivos, tales como carbón mineral o caliza. Es superior a las quebradoras de quijadas y las giratorias para materiales mojados o pegajosos.

	De dos rodillos		750 (diámetro))*350 (ancho) hasta 1800 *900 0 bien 860 *2100	27 A 112	150 A 50	20 a 2000	3 : 1	A bajas relaciones de reducción el producto es relativamente bajo en finos. Todavía se utilizan en algunas plantas como quebradoras terciarias (de roca). Pero se ha visto desplazada por las quebradoras de cono. Para la trituración de carbón se utilizan rodillos dentados con ancho (dos veces el diámetro).
QUEBRADORAS ROTATORIAS			2100 (diámetro))*3650 (longitud))*4300 A 4300 *9750	7 A 112	18 A 12	400 A 2000	Carbón mineral como sale de la mina hasta producto de 40 a 150 mm	Quebra el carbón tal como sale de la mina a un tamaño superior pre determinado con un mínimo de finos y a la vez separa el desecho grueso.
QUEBRADORAS DE IMPACTO	Molinos de Martillo		Apertura de alimentación 160 *230 A 540 *1470	11 A 375	1800 A 600	Hasta a 2500	Hasta 20 : 1 En circuito abierto hasta 40 : 1 En circuito cerrado.	Se caracterizan por tener una parrilla de barras cubriendo la salida. Las hay de muchas formas de cajas reversible, no reversible de caja ajustable, no ajustable, inatacable, de granulado de anillo. La mayoría de la fractura se efectúa por impacto, algo por fricción. Se utiliza para trituración primaria, secundaria y terciaria para formas cúbicas y máximo de finos, alimentación no dura

								ni abrasiva.
	Impactoras		Abertura de alimentación A 1400 *2300	Hasta 450	Hasta 900	Has ta 1200	Hasta 40 : 1 En circuito cerrado	Se caracterizan por sus placas quebradoras y su descarga abierta. Se usan para trituración primaria, secundaria o terciaria de materiales blandos y deleznales. Se recomienda para alta relación de reducción, alta capacidad, formas cúbicas, producto bien graduado y mínimo de finos. Pueden usarse a velocidades mayores para producir más finos.
	Desintegradora de "impacto"		750 (diámetro) A 1300	22 A 260	1500 A 480	5 A 80		Pueden tener 1, 2, 4 ó 6 jaulas instaladas concéntricamente. La alimentación entra por el centro de la jaula interior y se centrifuga hacia afuera, sujetándose a fuerzas de impacto crecientemente mayores en cada etapa. Por lo demás es semejante a las impactadoras.

	De eje vertical		685 (diámetro del rotor) A 990	55 A 150	2300 A 1400	200 A 100	2 : 1	El rotor centrifuga al material que se alimenta. El anillo quebrador está protegido contra el desgaste por una capa permanente del producto. Es en esencia una quebradora terciaria para roca muy dura. Su desgaste es menor y su producción en volumen es mayor en relación con los molinos de martillos.
--	-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	------------------------	---------------------------	-------------------------	-------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Lección 12.- cementos / trituración de las materias primas. (<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>)

(C).- Capacidad promedio de producción requerida.

Este factor viene determinado por los requerimientos de producción. Para una determinada trituradora la capacidad de producción depende del tamaño de producto, así, por ejemplo, una trituradora de mandíbulas operando a 750 t /h dando un producto de 150 mm., solamente dará 600 t /h cuando se quiera reducir el tamaño del producto a 80 mm.

Cabe mencionar que si el material alimentado contiene un exceso de finos, estos pasarán a través de la trituradora más rápido con lo que la capacidad de producción se incrementará, así, por ejemplo, una trituradora giratoria con una capacidad de 400 t/h podrá producir 800 t/h si el material es anormalmente fino.

También hay que tener en cuenta, el tanto por ciento del periodo total de operación que la trituradora opera a su plena capacidad, lo que depende de la uniformidad de la alimentación en el tiempo. Normalmente, una trituradora deberá exceder la producción diaria de un 25 a un 70 % dependiendo de las horas de operación.

(D).- Características del material a triturar.

Hay que estudiar las siguientes características del material: Evaluación cuantitativa de su resistencia a la trituración (por ejemplo: suave, medio duro y muy duro), contenido de humedad y abrasividad (Caliza con sílice abrasiva).

Así, por ejemplo, cuando se trate de materiales muy duros, que pueden causar grandes desgastes por abrasión, han de escogerse máquinas de movimiento lento, tales como las trituradoras de mandíbulas o giratorias, mientras que si la dureza es media es apropiado el empleo de trituradoras de impacto o de martillos, en las cuales la fragmentación se realiza principalmente por choque.

(E).-Granulometría y forma de los trozos del material triturado (Tamaño de alimentación a molinos)

En este proyecto la granulometría se la elegirá en función de la composición química que más convenga a la unidad de soporte y de clinkerización para la entrega de materia prima a la Planta cementera mientras que la venta de la materia prima para las plantas hormigonera sería en función de los tamaños más requeridos según los estándares existentes. Lógicamente se debe buscar siempre el diámetro de partícula más pequeño posible y un tamaño conveniente para los mercados

(F).-Inversión inicial.

Normalmente cuando se invierte en instalaciones de una fábrica de cemento, se espera tener buenos réditos, por lo que cualquier inversión fuerte, debe estar bien justificada. Así mismo, si las inversiones son muy altas. Ver la tabla 7.1.1.

(G).-Costes de operación y mantenimiento.

Se tendrá en cuenta:

- Consumo de energía
- Turnos de operación.
- Costes de mantenimiento y operación.
- Costes de mano de obra directa e indirecta.
- Inventario de paradas programadas y de emergencia.

5.3. Selección de la Trituradora más conveniente para el Proyecto de Modernización de la Explotación.

Los trituradores de martillos son de uso extendido en la industria del cemento para la fragmentación de calizas duras o de dureza media y de margas.

Las instalaciones de trituración suelen ser de una sola etapa o de dos etapas, según que se desee alcanzar el tamaño de partícula conveniente (<25 mm.) con una sola trituradora o con dos montadas en serie.

En este caso, para la Cantera El Puente no se necesita una trituradora primaria ya que la extracción de la materia prima ha mejorado considerablemente teniendo un material bruto después de voladura con un promedio de 450-200 mm. Tanto para la caliza de alta ley como para la de baja ley.

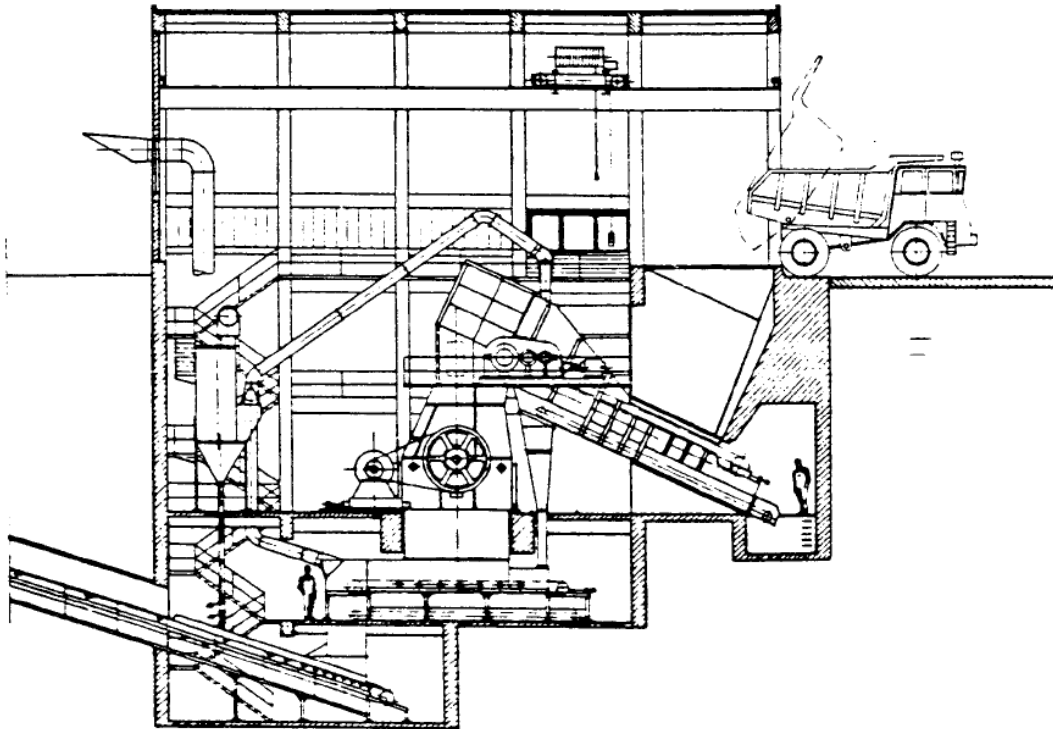
Por otra parte, las instalaciones de trituración pueden ser estacionarias o móviles. Las plantas estacionarias predominan en la industria del cemento sobre todo en las instalaciones antiguas, pero en las nuevas instalaciones y especialmente cuando se exige una producción a gran escala las plantas móviles han ido ganando posiciones en merced a que varios sistemas para su movilidad de una posición de trabajo a la siguiente han demostrado ser fiables.

En la industria del cemento no es una práctica habitual la separación de los finos de la alimentación de la trituradora. La decisión de implantar dicha separación viene determinada por la proporción de partículas finas, de las propiedades físicas de dichas partículas y del tipo de trituradora empleada.

En general, la separación primaria no ofrece ventajas cuando se realiza en una sola etapa con trituradoras de martillos, las cuales tienen un grado de reducción alto y entregan un producto triturado menor de 25 mm, corrientemente aceptado como el máximo para la alimentación de los molinos de bolas. Como además la alimentación raramente contiene más de 15-20 % de partículas finas (< 25 mm), resulta que su separación preliminar no suele ser económica.

En la figura 5.3.1. puede verse una instalación de trituración estacionaria de una sola etapa, cuyas partes principales son: la tolva de alimentación, el alimentador, la trituradora y el transportador del producto triturado.

Figura 5.3.1. Planta de trituración fija con tolva de alimentación y alimentador



Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>

La exigencia de proceder a la trituración en las inmediaciones del frente de la cantera y de ir acompañándolo, ha dado lugar a la aparición y desarrollo de varios tipos de instalaciones de trituración móviles, con capacidades suficientes para las mayores producciones requeridas.

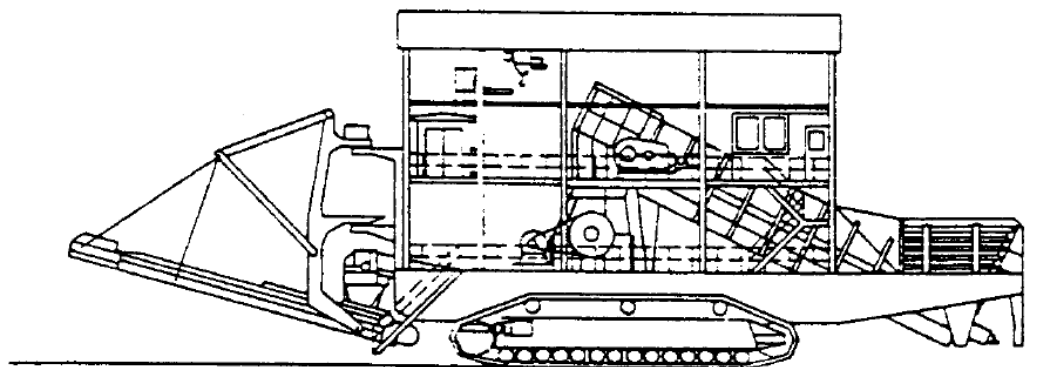
Las instalaciones de trituración móviles pueden ser auténticamente móviles, con autopropulsión o semimóviles, sin autopropulsión. Las instalaciones móviles pueden ser: sobre ruedas, sobre orugas, sobre carriles y sistema hidráulico (mecanismo andante). El sistema elegido depende de las condiciones del terreno (liso, rugoso, etc.) y de la técnica de las operaciones de la cantera. En este caso la trituradora más apta es la trituradora montada a orugas, ya que la Cantera El Puente geográficamente es un lugar bastante escarpado, existiendo formaciones con pendientes.

Las instalaciones montadas sobre orugas remontan pendientes de $\frac{1}{10}$ y pueden trasladarse por terrenos rugosos, con tal que estén libres de obstáculos. Su velocidad de desplazamiento es muy pequeña, aproximadamente 5-8 $\frac{m}{minuto}$ y la presión que ejercen sobre el suelo 1 – 1.5 Kgf/cm², que es muy baja.

La tracción sobre orugas no se levanta del suelo durante el funcionamiento de la trituradora, por lo que su sistema de tracción está sometido a condiciones más duras que los otros sistemas de desplazamiento.

Las instalaciones con mecanismo andante, son las más favorables desde el punto de vista de los costes. Comprenden un asiento flexible con tres émbolos elevadores con los cuales se puede levantar la totalidad de la plataforma. Un dispositivo hidráulico de pistones instalado entre la plataforma y el asiento flexible permite mover y girar la instalación.

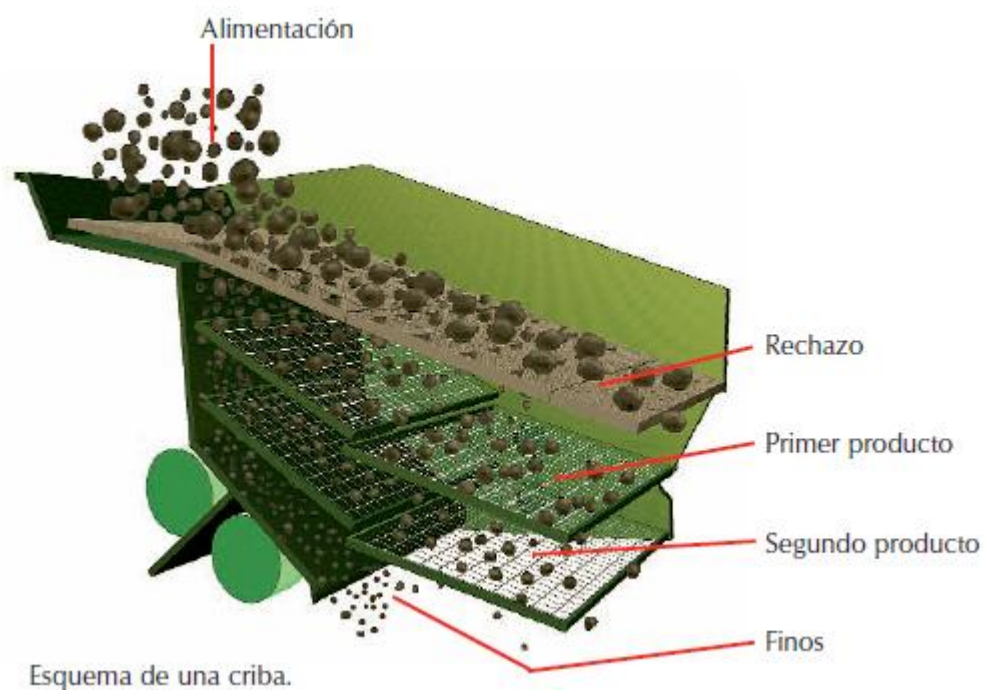
Figura 5.3.2. Planta móvil de trituración montada sobre orugas



Fuente:<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituracionMateriasPrimas.pdf>

Adicionalmente, debe aparecer en forma intercalada los equipos de clasificación, las cribas, que permiten seleccionar el tamaño de partículas separándolas entre las que pasan y las que no pasan por las mallas. De este modo se logran áridos de todos los tamaños posibles, en función de las demandas del mercado y en este caso también en función de las demandas del área de control de calidad de la Planta El Puente.

Figura 5.3.3. Cribadora



Fuente: Jordi Noguera Sebastián: Estudio técnico-económico para la fabricación de un millón de toneladas de cemento Portland

Donde los finos deben pasar por la malla M16 para que el rechazo se lo separe y este, por la finura, sea utilizado para reforestación, terraplenes, etc.

CAPÍTULO III

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo anterior, existen dos posibilidades para implementar y mejorar el trabajo realizado por Canteras de SOBOCE, y son:

1. Planta fija,
2. Planta móvil

En la opción 1 y dada la distribución de los frentes de explotación es el menos adecuado por cuanto representa un elevado costo de montaje y desmontaje, de un posible arreglo para utilizar y movilizar el equipo de acuerdo o al frente de explotación, costos en MO y deterioro prematuro de equipos.

En el caso de una planta móvil, esta presenta ventajas que hacen que la consideremos más atractiva para este emprendimiento, por la versatilidad y facilidad de traslado en todos los frentes de explotación de SOBOCE. Por tanto, trabajaremos tanto la selección como la evaluación económica del proyecto.

6. BALANCE DE MATERIA

La materia prima que se explotará en canteras en una gestión correspondiente a un año calendario está en función de la cantidad requerida por la unidad de clinkerización quienes mediante un programa de producción hacen conocer las cantidades de materia prima en función a la producción de los hornos como muestra, por ejemplo, para la gestión 2012 en el anexo B página 100 del presente documento, ahí la unidad de materias primas debe planificar su producción mensual y diaria.

Para el balance de materia en este proyecto se determina la cantidad requerida por la cementera; según presupuesto de producción del anexo A página 95 se tiene: Horno 1 = 165 t/día; Horno 2 = 470 t/día haciendo una suma de 635 t/día.

Según anexo B página 100 del presente documento se tiene el dato de Factor crudo/clinker:

$$1.68 = \text{Cantidad de Crudo/Cantidad de Clinker}$$

Es decir que el material **crudo** necesario es 1.68 veces la capacidad de producción de clinker de los hornos

$$635 \text{ t/día} * \text{Factor crudo/clinker} = 1066.8 \leftrightarrow 1067 \text{ t/día}$$

Este factor representa las pérdidas en el proceso desde preparación de la MP al horno hasta la obtención del clinker.

Sin embargo, este valor de 1067 t/ día es un valor teórico que puede ser afectado en la realidad operativa, puesto que la actividad se desarrolla a cielo abierto y la responsabilidad que asume la unidad de materias primas para cumplir con la cantidad de MP a planta, debe tomar en cuenta fallas de equipo premeditados, paradas inesperadas, factores externos que podrían hacer que el equipo deje de funcionar por falta de insumos y bloqueos; en tal sentido, se multiplica por un factor de seguridad de 1.2, valor que previene cualquier interrupción en la gestión.

$$\text{El valor sería: } 1067 \text{ t/día} * 1.2 = 1280 \text{ t/día de crudo}$$

La cantidad diaria se la multiplica por el número de días de operación que muestra el Anexo B

$$1280 \text{ t/día} * 332 = 424,960 \text{ t/año}$$

Así mismo, se hace un análisis en las alturas de los sub miembros y capas geológicas que habrán de explotar en la concesión de la Cantera de SOBOCE, en El Puente, considerando como meta el cumplir una explotación de 424,960 [t/año] y que representa la cantidad de material requerido para producir 253.000 t/año de clinker.

Tabla 6.1. Resumen de alturas en metros de materia prima con todos los sub miembros existentes y los descartes o material contaminado fuera de rango en Cantera El Puente pertenecientes a SOBOCE

SUB MIEMBRO	ALTURA DE MATERIAL UTIL APTO [m]	ALTURA DE MATERIAL DESCARTADO [m]
SM-5	0	6
SM-4	3.1	0.4
SM-3	0	13
SM-2	18	6
SM-1	12	7.8
TOTAL	33.1	33.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.2. Disgregación de Material de Descarte

SUB MIEMBRO	ALTURA DE MATERIAL DESCARTADO [m]	Disponibilidad estimada de descarte			
		Venta como material Agregado [m]	Recirculación (cementera) [m]	Producto de Arcillolita (Arcilla) [m]	Material con alta carga orgánica[m]
SM-5	6	2.94	2.94	0	0.12
SM-4	0.4	0.36	0	0	0.04
SM-3	12	0	0.96	10.2	0.84
SM-2	6	0.6	1.2	0	4.2
SM-1	7.8	7.41	0.39	0	0
TOTAL	32.2	11.31	5.49	10.2	5.2

Fuente: Elaboración propia

A continuación se hace un resumen de todos los datos más importantes que se requieren para calcular el balance de materia.

Tabla 6.3. Resumen de datos considerados para el cálculo

Capacidad producción de trituradora + cribado [t/día]	1280
Días de producción de trituradora + cribado [días]	304
Días de producción de los hornos [días]	332
hrs de trabajo trituradora + cribado x día [hr]	12
hrs de trabajo de los hornos x día [hr]	24
capacidad horno 1 [t/día]	165
capacidad horno 2 [t/día]	470
factor polvo crudo/clinker	1.68

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se hace la suma total de las alturas de toda la cantera con aquel material con el potencial de brindar materia prima para la planta cementera, y generar agregados para plantas hormigoneras, también con la visión de que se obtenga como alternativa el sub producto arcilla roja y el material que existe contaminado con carga orgánica y monte que son utilizados actualmente para rellenos vegetales y formación de terraplenes. Se estima el volumen a explotar y cumplir el programa comprometido para la alimentación de los hornos.

La tabla 6.2 muestra que se recupera 5.49 metros de altura de materia prima para que recircule en la cementera como material apto, es decir, este material adiciona la altura de material dosificable para la cementera llegando a tener un total de 38.59 metros de altura como se refleja en la tabla 6.4 y se hace un compilado de los materiales en conjunto.

Posteriormente, en el siguiente cuadro, se llega a obtener la cantidad, tomando en cuenta la superficie de la beta a explotar y cada una de las densidades de los materiales en el seno de la beta logrando obtener un valor de 424,960 [t/año] de caliza Apta para la cementera.

Tabla 6.4. Consolidado de la materia prima para extraer de canteras El Puente perteneciente a SOBOCE.

ALTURAS DE MATERIAL PARA	DETALLE DEL USO DE LA MATERIA PRIMA	ALTURA [m]	LARGO [m]	ANCHO [m]	DENSIDAD [t/m ³]	CANT MP [t/año]	CANT MP [t/hora]
HORNOS DE CLINKERIZACIÓN B	Para Dosificación de los hornos 100% dosificable	38.59	90	47	2.6	424,413	116.34
VENTA COMO AGREGADOS C	Para venta a terceros como material Agregado (grava y gravilla)	11.31	90	47	2.6	124,387	34.10
NUEVO PRODUCTO ARCILLA ROJA D	Arcillolita violeta oscura y rojiza (Arcilla) Materia prima disponible	10.2	90	47	2.2	94,921	26.02
RELLENOS VEGETALES E	Nivelación de terrenos para cultivo, construcción de terraplenes, creación de plataformas de carguío en la cantera y otros como obras de arte en la misma operación.	5.2	90	47	2.2	48,391	13.27
SUMA		65.3					189.72

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en la tabla 6.4 se consideran 304 días de operación y 12 horas de trabajo de la Trituradora y criba en canteras; estos datos son utilizados para el balance de materia

El balance de materia se obtiene:

Haciendo el análisis de la ley de conservación de la masa; esta actividad, en la cantera, es un proceso sin reacción química donde la ecuación original es:

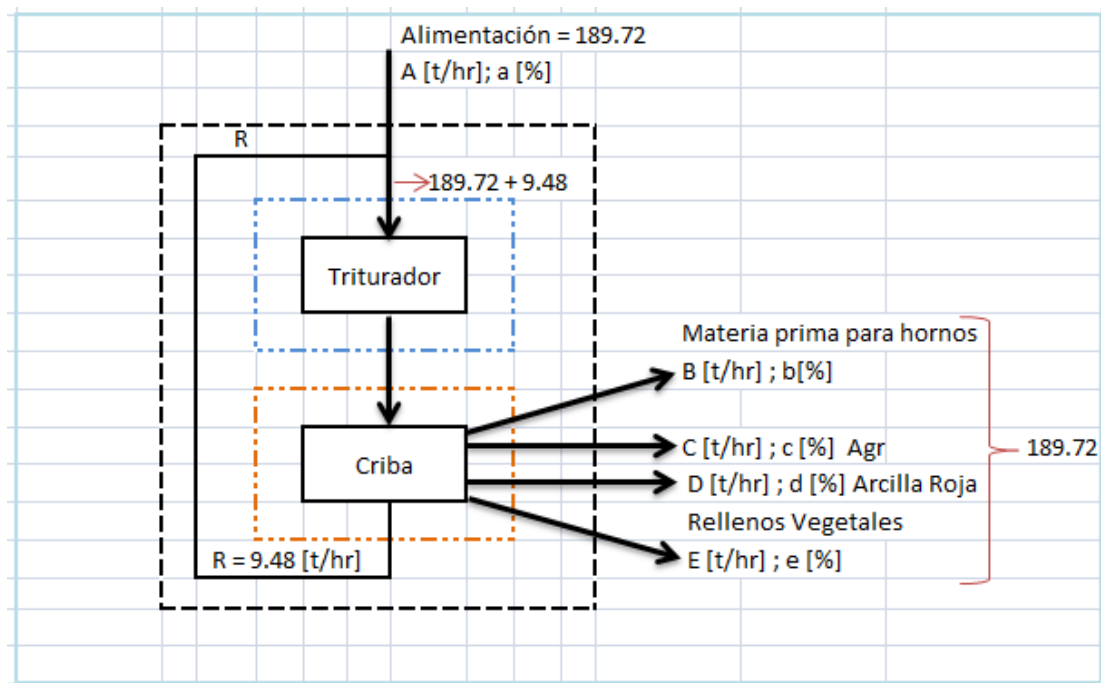
Acumulación dentro del sistema = Entradas por las fronteras del sistema – salidas por las fronteras del sistema + generación dentro del sistema – consumo dentro del sistema.

La acumulación dentro del sistema no existe, porque no hay un cambio de masa dentro de éste respecto al tiempo y tampoco existe generación, ni consumo dentro del sistema.

La ecuación para el balance se simplifica a:

Entradas por las fronteras del sistema = Salidas por las fronteras del sistema

Figura 6.1. Esquema del balance de materia



Fuente: elaboración propia.

Entradas por las fronteras del sistema = Salidas por las fronteras del sistema

$$A \text{ [t/hr]} = B \text{ [t/hr]} + C \text{ [t/hr]} + D \text{ [t/hr]} + E \text{ [t/hr]} \quad (1)$$

El balance de masa parcial sería en la trituradora:

$$A + R = T \quad (2)$$

El balance parcial en la Criba se representaría:

$$T = B + C + D + E + R \quad (3)$$

Reemplazamos estas dos últimas ecuaciones:

$$A + R = B + C + D + E + R \quad (4)$$

La ecuación (4) se convierte en la (1) ya que se eliminan los retornos

Haciendo un resumen, la planta trituradora y su criba recibirá una alimentación aproximada de: 189.72 [t/h]

Donde R representa el rechazo de la criba (material con un tamaño de partícula superior; que es rechazado en la parte superior de la criba por tener un diámetro de partícula grande) retorna al proceso de trituración según bibliografía y práctica. En fábrica es un valor variable dependiente del desgaste de las barras de impacto o muelas del triturador y se tiene rechazos hasta un 25%, sin embargo utilizado un criterio propio según la experiencia de trabajo en campo, con este tipo de equipo se considera en este proyecto un retorno del 5%.

La alimentación quedará de la siguiente manera

$$R = 189.72 \times 5\% = 9.48 \text{ [t/h]}$$

Sin embargo, al inicio del proceso en el arranque se deberá alimentar un 5% más de lo debido, es decir, se deberá alimentar $189.72 + 9.48 = 199.2$ hasta que el sistema entre en régimen llegando a normalizar posteriormente.

Expresada la siguiente ecuación para el arranque:

$$A + R = B + C + D + E$$

$$189.72 \text{ [t/h]} + 9.48 \text{ [t/h]} = 116.34 \text{ [t/h]} + 34.10 \text{ [t/h]} + 26.02 \text{ [t/h]} + 13.27 \text{ [t/h]}$$

Posteriormente, una vez que normaliza:

$$A = B + C + D + E$$

$$189.72 \text{ [t/h]} = 116.34 \text{ [t/h]} + 34.10 \text{ [t/h]} + 26.02 \text{ [t/h]} + 13.27 \text{ [t/h]}$$

Donde se obtendrían los siguientes productos B; C; D; E:

El B = 61 % del producto será materia prima para los hornos

El C = 18 % del producto de la planta será para disponer a la venta a terceros o para la planta hormigonera de Ready Mix

El D = 14 % del producto de la Planta de Trituración y cribado sería un sub producto la arcilla roja.

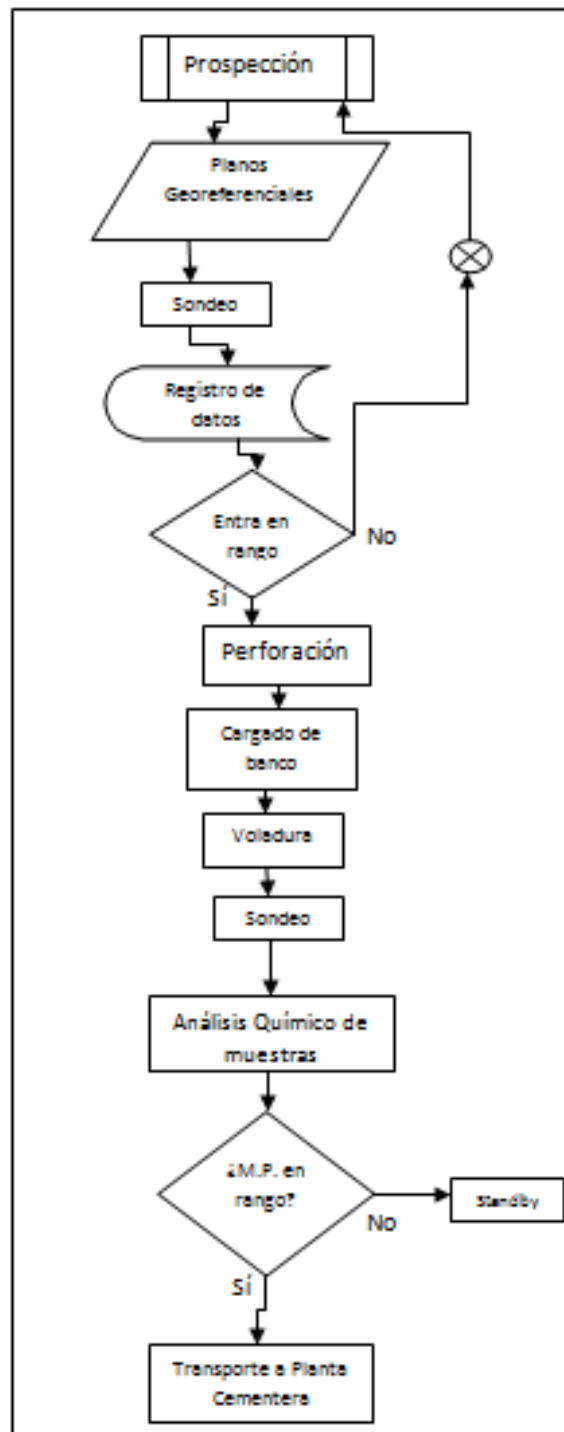
Un E = 7 % de material que puede tener varios usos dentro de la misma cantera en especial para la formación de terraplenes y construcción de banquetas de vegetación en los lugares de abandono de la cantera.

Sin embargo, la capacidad máxima del equipo deberá considerar futuras ampliaciones y crecimiento de la producción, por lo que es conveniente incrementar esta en el equipo de molienda y cribado en un porcentaje que no represente un costo muy elevado de inversión y que se determinará en el análisis económico financiero del proyecto.

6.1. Comparación de los Procesos de explotación de Cantera El Puente, actual y propuesto. -

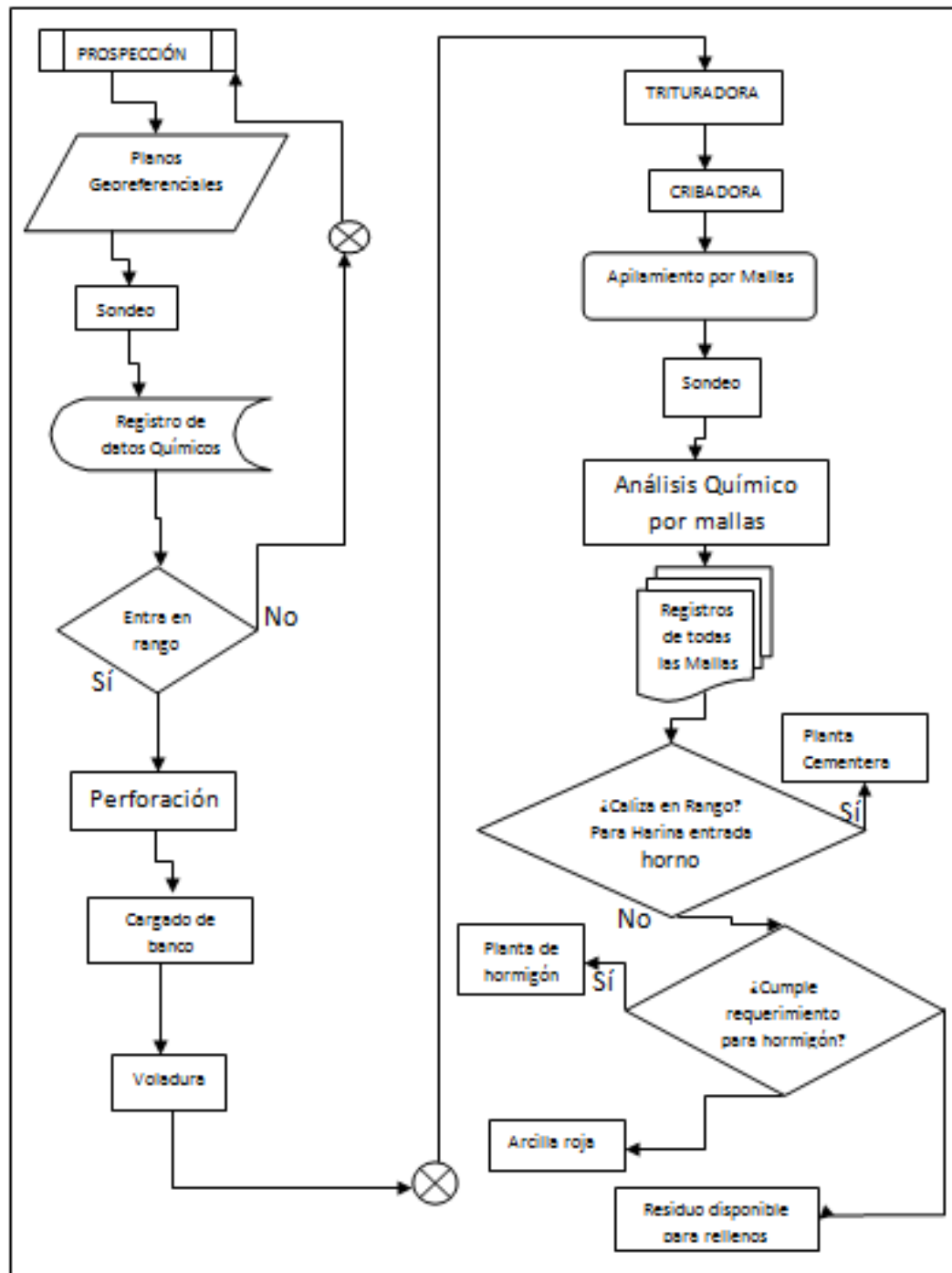
El proceso de extracción de materia prima en la Cantera de SOBOCE El Puente se desarrolla de la siguiente manera:

Figura 6.1.1. Diagrama de flujo de la actividad de explotación actual de Cantera SOBOCE



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.1.2. Diagrama de flujo de la actividad de explotación propuesta de Cantera SOBOCE



Fuente: Elaboración propia

6.2. Dimensionamiento y selección de los equipos necesarios.

En esta actividad, como se hace mención en la página 12 del presente documento, uno de los problemas y debilidades de esta explotación es la aparición de rocas grandes que generalmente aparecen dentro de la actividad extracción o explotación y en la actividad específica voladura, un tamaño de piedras muy grande ocasionado por algunos factores por ejemplo, de formación geológica de la cara libre, la no detonación de alguna malla, mal diseñada, la existencia de vacíos en el banco de explotación. Este material rechazado por diámetro de partícula superior llega a ser muy grande. Por esta razón la apertura de alimentación de la trituradora debe ser de (800 mm x 1010mm), así aseguraríamos la trituración efectiva de todo el material. Y por otro lado, se evita el taponamiento de la trituradora haciendo que trabaje más eficientemente.

Un análisis de los resultados obtenidos en una voladura normal y que se cargan en una volqueta de 18 toneladas, se han observado materiales con los siguientes datos:

Material de 1,00 x 0.30 m con un peso de 0.15 toneladas; (0.83%)

Material de 0,60 X 0,30 con un peso de 0.49 toneladas; (2.72%)

Material de 0,40 x 0,23 con un peso de 0.38 toneladas; (2.10%)

Material de 0.30 x 0.30 con un peso de 0.27 toneladas (1.50%) y

Materiales Inferiores a 0,26 metros con un peso por diferencia de 16.71 toneladas (92.83%); sin embargo este dato varía en función del lugar de donde se realice el carguío. Así mismo, el hecho de tener una trituradora con una alimentación con mayor diámetro genera la posibilidad de jugar con las mallas de explotación y así incrementar las posibilidades de producción para el emprendimiento.

Por tanto, la trituradora seleccionada para este trabajo es preferentemente de impacto tomando en cuenta el capítulo II Párrafo 5.2. Inciso D, pagina 68 de este documento, aclarando el tipo de material que se triturará, que es de dureza media, Todo el funcionamiento de la cantera se realizará mediante un motor autónomo que generará la

energía suficiente para la misma. Todos los componentes estructurales, la tolva alimentadora, la criba vibratoria y otras superficies de desgaste deben ser fabricados según normas establecidas para los aceros y aleaciones los más manejados y reconocidos mundialmente, entre ellos ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), AISI (instituto americano de hierro y acero). En caso que pertenezca a otra norma, los fabricantes deben adjuntar catálogos donde muestren el tipo de acero del cual consta cada pieza y la elección del equipo debe consensuarse con la unidad de mantenimiento con las propuestas existentes ya que los mantenimientos deben ser económicamente viables e ingenierilmente aceptables.

La planta trituradora móvil debe ser de fácil traslado y seguro, en especial, debe contar con un tren de orugas con un mínimo de ancho de 20 pulgadas; en especial, para los mantenimientos debe ser transportable autónomo y capaz de ser transportado por un lowboy. Las tolvas alimentadoras tanto de la criba y de la trituradora deben cumplir con un diseño de manera que sea utilizada y cargada desde cualquier ángulo y altura.

Las cintas transportadoras deben ser portátiles para que se tenga una buena disposición, en la producción, y sean fácilmente transportables.

6.3. Especificación y diseño del equipo seleccionado

Las especificaciones técnicas de la trituradora móvil deben cumplir las siguientes características

La trituradora.- La apertura de la alimentación debe ser capaz de soportar alimentación hasta partículas de 1 metro de alto por 0.8 metros, que tenga un alimentador con capacidad mayor posible (16 toneladas como mínimo).

Las barras de martillo deberán ser reversibles. La energía debe ser suministrada por un motor diesel preferentemente Caterpillar u otra que tenga representación en el país para que el mantenimiento sea más confiable.

Que tenga un tanque de combustible que soporte 12 horas de operación y que su transporte sea a orugas, maniobrable y veloz.

Criba vibratoria.- La criba vibratoria debe ser de alta vibración, el material de este equipo deberá ser capaz de soportar alta corrosividad y abrasividad como se menciona en el título 6.2 de la página anterior según norma ASTM o AISI con el mayor espesor disponible en el mercado, que tenga fácil acceso para los mantenimientos y que no pierda su eficiencia en condiciones de humedad elevada.

La especificación más importante a considerar con la adición de este equipo es que tenga un stock de repuestos o almacén de repuestos dentro de nuestro país; caso contrario la marca del equipo cuente con una casa distribuidora establecida en nuestro país que sea ágil, dinámica y sobre todo que se comprometa con asistencia periódica de técnicos y mecánicos garantizando un asesoramiento adecuado para el uso; también es importante el seguimiento periódico especializado los tres primeros años de operación.

CAPÍTULO IV

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1. Cálculo de costo del equipo nuevo propuesto

El costo financiero del proyecto se detalla a continuación:

Tabla 7.1.1. Costo financiero por la adquisición y montaje del equipo

DESCRIPCIÓN DE INVERSIÓN	CANTIDAD	PRECIO [US\$]
Trituradora de impacto 4043T	1	426,100.00
Cable colgante para movimiento	1	1,671.00
Sistema de supresión de polvo	1	2,976.00
Paquete de repuestos recomendados	1	12,180.00
Planta de Cribado Spyder 512T	1	266,300.00
Paquete de repuestos recomendados	1	6,827.00
Cable colgante para movimiento	1	1,546.00
Parrilla de soporte para malla cuadrada de 1/2" o menor	1	1,455.00
Puesta en Marcha	1	3,000.00
Capacitación en la operabilidad y funcionamiento	1	2,600.00
Traslado	2	11,000.00
Total compra de Equipo.		735,655.00

Fuente: Apunte propio de datos del supervisor de Canteras y líder de la unidad de materias primas.

7.2. Costo Operativo

A continuación ilustramos los costos más importantes que se debe considerar en el análisis económico.

Tabla 7.2.1 Costos de producción anual del equipo.

				tipo de cambio	6.96
	Cantidad	Unidad	precio [bs]	costo [bs]	[\$us/mes]
Aceites	5	Litros	8	40	6
Grasa común	16	Kilos	6	96	14
Otros lubricantes	10	Kilos	8	80	11
Alimentación	12	Comensales	855	10260	1474
Gastos Administrativos	1	Trabajos	3000	3000	431
Total					1936

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2.2. Costos de un periodo de sistema de gestión integrado

	Cantidad	Unidad	precio [bs]	costo [bs]	[\$us/mes]
Ropa de trabajo	16	RP y EPP	1095	17520	2517
Monitoreos ambientales	1	Trabajos	5500	5500	790
					3307.47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2.3. Costos de mano de obra en un periodo equivalente a un año en dólares americanos

	Cantidad	Sueldo/mes	Sueldo/año	Cargas sociales	Total
Ing. Asistente Operativo	1	1026	13336	3245	16581
Operador de triturador móvil	2	603	15690	3818	19507
Ayudantes de operadores	2	543	14121	3436	17557
Personal eventual	2	266	6903	1680	8583
Mecánico	1	966	12552	3054	15606
Eléctrico	1	966	12552	3054	15606
Laboratorista (soporte)	1	1026	13336	3245	16581
Asistente de laboratorio	1	603	7845	1909	9754
Palero	1	603	7845	1909	9754
Chofer de volqueta	2	603	15690	3818	19507

Despachador y Receptor	2	543	14118	3435	17553
Total	16		133987.0	32603	166590

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.2.4 Inversión total y financiamiento en \$us

	Inversión	Cap. Soc.,	Crédito	
Inversión Fija	765655	81%		
Capital de Trabajo	184728	19%		
Total	950383	285115	665268	12%

Fuente: Elaboración propia.

7.3. Indicadores de evaluación

Tabla 7.3.1. Tabla de cálculo del VAN y la TIR

Periodo	Ingresos	Inversión	Amortiz. e Intereses	Costo de Operación	Impuestos	Reposición Equipos	Total Egresos	Flujo de Caja
0		665268.26						-665268.26
1	615342.00		79832.19	292723.87	41555.11		414111.17	201230.83
2	624164.00		79832.19	304924.47	40710.46		425467.12	198696.88
3	633048.78		162990.72	317832.25	39704.71		520527.68	112521.10
4	641996.36		153011.70	331489.64	41022.01	15000	540523.35	101473.01
5	651006.72		143032.68	345941.61	45769.36	0	534743.64	116263.08
6	660079.88		133053.65	361235.84	50532.41		544821.89	115257.99
7	669215.82		123074.63	377422.86	55311.15		555808.64	113407.18
8	678414.56		113095.60	394556.25	60105.59		567757.44	110657.12
9	687676.08		103116.58	412692.79	64915.72		580725.09	106950.99
10*	881728.62		93137.56	431892.65	69741.56		594771.77	286956.85
				1184177.50				
						TIR		0.182
						VAN (12%)		150621.9

Fuente: Elaboración propia.

**RELACION BENEFICO –
COSTO**

$R_{BC} =$

2

> 1

Beneficio es
mayor que el
Costo

En el anexo C se muestra el resumen de los cálculos de la evaluación financiera.

CAPÍTULO V

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye en esta propuesta una **Optimización técnica** que garantiza los frentes de explotación escalonada alargando la vida útil de la cantera, generando un producto final de la operación de calidad. Garantiza una **Optimización económica** con la modernización obteniendo:

VALOR ACTUAL NETO (VAN)	150,621.95
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	18.28 %
B/C	2

Donde los indicadores evaluadores del proyecto según el $VAN > 0$ y positivo \implies Si se Acepta el proyecto y la TIR cuanto mayor es el número positivo mayor y mejor la alternativa de proyecto. Y el B/C es rentable ya que el beneficio es mayor al costo.

En esta actividad habrá día a día mejoras desde distintos puntos de vista con el equipo nuevo, incrementando la eficiencia de la trituradora por tener última tecnología y mejor operación y mejor aprovechamiento de los recursos naturales, produciendo un producto homogenizado para la planta cementera y además incrementando tres sub productos en el seno de la Cantera considerando que la caliza es un recurso no renovable. La **Rentabilidad** de la actividad y del cliente será favorable por la entrega de caliza de alta calidad y se garantizará la rentabilidad al tener tres sub productos para la venta a terceros.

Por adición de la trituradora y criba móvil se incrementaría el costo de la operación de:

1.73 \$us/t costo sin proyecto ver anexo D.

0.62 \$us/t costo de operación de la planta móvil.

Haciendo una suma de 2.35 \$us/t puesto planta.

Se recomienda trabajar en busca de nuevos clientes para el nuevo sub producto, agregado, pudiendo tener más réditos con la venta de agregados en grandes cantidades y a un precio más competitivo ya que resulta factible con un precio de venta de 2.80 [\$/t] como muestra el anexo C; sin embargo, en el mercado local el precio se encuentra en 10,52 [\$/t], para poder ser una cantera más rentable.

Se recomienda hacer un estudio más profundo para separar los excesos de sodio y potasio o los componentes minoritarios de la caliza en función a mallas y granulometrías que podría utilizarse in situ, con la adición de este nuevo equipo en la Cantera.

Se recomienda hacer un estudio del ahorro de diesel para el transporte de materia prima a Planta de Cemento de SOBOCE en El Puente ya que se tendría una materia prima desmenuzada, analizada lista para la alimentación a los molinos de crudo.

El frente del Sub miembro 3 produciría Arcillolita comúnmente conocida como arcilla roja, materia prima que se debe estudiar profundizar y encontrar su potencial para la generación de alternativas de producción de otros sub productos.