



PROYECTO FINAL
DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**INGRESO AL MERCADO DE CAL DOLOMÍTICA
PARA LA SIDERURGIA**

MARCOS BASAVILBASO
42030

TUTOR EXTERNO: ING. HERNÁN BELLO
COTUTOR INTERNO: ING. FÉLIX T. JONAS

2011

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se titula "Ingreso al mercado de cal dolomítica para la siderurgia", fue realizado por Marcos Basavilbaso, legajo 42030, y presentado en el primer semestre de 2011.

El mercado de cal puede categorizarse según su uso en tres grandes grupos: cal de construcción, cal agrícola y cal industrial. CALDOL SA, es una empresa minera de capitales nacionales que hasta agosto del 2009 participaba casi exclusivamente del mercado de cal de construcción.

En agosto de 2009 CALDOL SA inaugura una nueva planta de producción con tecnología de última generación que le permite cumplir con las especificaciones y los volúmenes requeridos por la industria, ingresando de esta forma al mercado de cal industrial.

Dentro de la cal industrial el principal consumidor es la industria minera, el segundo consumidor es la siderurgia. La siderurgia consume no solo cal cálcica, que es la más común, sino que además consume un tipo particular de cal llamada cal dolomítica, siendo prácticamente el único consumidor de este tipo de cal.

CALDOL SA tenía en ese momento amplio conocimiento de la cal cálcica pero no así de la dolomítica. El problema principal de la cal dolomítica es que la siderurgia utiliza solo una fracción granulométrica. Las partículas más gruesas pueden ser molidas o trituradas, pero en el proceso de producción se generan partículas por debajo de la mínima requerida, estos "finos" pueden llegar a representar el 40% de la materia prima.

Este trabajo propone como solución el compactado de las fracciones granulométricas por debajo de la especificación. De esta forma el total de la materia prima puede transformarse en producto final reduciendo drásticamente los costos. Se concluye que esta solución es rentable.

EXECUTIVE SUMMARY

This project is entitled "Entering the market of dolomitic lime for steel making", was made by Marcos Basavilbaso, file 42030, and presented in the first half of 2011.

The lime market can be categorized according to its different uses in three groups: lime for construction, agricultural lime and industrial lime. CALDOL SA is a mining company of national capital which until August 2009 was involved almost exclusively in the construction market.

In August 2009 CALDOL SA inaugurated a new factory with cutting edge technology that allowed it to meet the specifications and quantities required by industry, thus entering the market of industrial lime.

Within the industrial lime market, the main consumer is the mining industry, while the second largest consumers are steel companies. The steel industry consumes not only calcium lime, which is the most common, but also consumes a particular type of limestone called dolomite lime, being virtually the only consumer of this type of lime.

At that time, CALDOL SA had extensive knowledge of the calcium limestone business, but not of the dolomite business. The main problem with dolomitic lime is that the steel industry only uses one size fraction of the limestone. The larger particles can be ground or crushed, but the production process generates particles below the minimum required by the steel industry. These "fines" may represent 40% of the raw material.

As a solution to that problem, this paper proposes the compaction of the size fractions below the specification. Thus, the total raw material can be transformed into finished product, dramatically reducing costs. We conclude that this solution is cost effective.

DESCRIPTOR BIBLIOGRAFICO

Durante la producción de cal dolomítica para la siderurgia se genera una proporción del producto por debajo de la granulometría mínima requerida por los clientes. Este proyecto estudia la factibilidad de compactar estos finos calculando los costos involucrados. Describe las instalaciones necesarias y concluye que es económicamente viable.

Índice

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVO DEL TRABAJO	1
1.2	LA CAL.....	1
1.2.1	Definición.....	1
1.2.2	Clasificación	1
1.2.3	Mercados.....	2
1.2.4	Proceso de producción.....	3
1.2.5	Manipuleo y Transporte.....	3
1.2.6	Especificaciones y métodos de ensayo.....	8
1.3	LA EMPRESA	10
1.4	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2	MERCADO.....	13
2.1	PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO.....	13
2.1.1	Hornos de Oxígeno Básico (BOF):	13
2.1.2	Hornos de Arco Eléctrico (EAF).....	14
2.1.3	Refinación Secundaria	14
2.1.4	Productos de Acero	14
2.2	MERCADO ARGENTINO	15
2.3	MERCADO CHILENO.....	16
2.4	OFERTA DE CAL DOLOMITICA	16
3	PROCESO DE PRODUCCION.....	17
3.1	DESCRIPCION GENERAL	17
3.2	PRINCIPALES COSTOS	21
3.2.1	RUBROS MÁS IMPORTANTES.....	21
3.2.2	EXPLOTACION DE CANTERAS Y TRITURACION.....	22
3.2.3	CALCINACIÓN	23
3.2.4	TRITURACION Y CLASIFICACION	25
3.2.5	MOLIENDA.....	25
3.2.6	HIDRATACION Y MOLIENDA.....	26

3.2.7	ENVASADO	27
3.2.8	CARGA Y DESPACHO.....	27
3.2.9	OTROS GASTOS DE PRODUCCION.....	28
4	ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	29
4.1	INSTALACIONES DISPONIBLES.....	29
4.2	ABASTECIMIENTO DE CAL DOLOMÍTICA.....	30
4.2.1	PEQUEÑOS PRODUCTORES.....	30
4.3	TRATAMIENTO DE LOS FINOS.....	31
4.3.1	HIDRATACIÓN	31
4.3.2	DISPOCISIÓN FINAL	32
4.4	COSTO DE LA CAL VIVA DOLOMITICA PARA LA SIDERURGIA.....	32
5	SOLUCION PROPUESTA.....	33
5.1	BRIQUETEADORA	33
5.1.1	DIMESIONAMIENTO	34
5.1.2	INSTALACIÓN.....	34
5.1.3	SELECCIÓN DEL EQUIPO	35
5.1.4	INVERSIÓN	35
5.1.5	COSTOS DEL PRODUCTO FINAL INCLUYENDO BRIQUETEADO	35
5.1.6	COSTO DEL CAPITAL	36
5.1.7	PERIODO DE REPAGO	36
5.1.8	VALOR ACTUAL.....	37
5.1.9	TASA INTERNA DE RETORNO.....	37
5.1.10	SENSIBILIDAD AL VOLUMEN DE VENTAS.....	37
6	CONCLUSION	38
7	BIBLIOGRAFÍA	39
8	ANEXOS	40
8.1	COTIZACIÓN KOMAREK	40
8.2	COTIZACIÓN KOPPERN.....	43
8.3	TEST DE BRIQUETEADO	46

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo es analizar la producción de cal viva dolomítica para la siderurgia de una empresa calera argentina y proponer alternativas para la reducción de costos y mejor aprovechamiento de la materia prima, reduciendo el pasivo ambiental generado. Por cuestiones de confidencialidad en el presente informe el nombre la empresa ha sido reemplazado por un nombre ficticio: CALDOL.

Un segundo objetivo es contribuir a la base de conocimientos del ITBA describiendo en detalle los métodos de producción y los costos asociados a la cal industrial en la argentina.

1.2 LA CAL

1.2.1 Definición

La cal es de los primeros commodities industriales conocidos por el hombre. Su producción y usos han crecido a través de los tiempos, y continúa siendo uno de los bloques esenciales de la industria moderna.

La cal es empleada en una amplia cantidad de industrias con distintas aplicaciones. Es usada en muchos productos que usamos todos los días, incluyendo papel, acero, azúcar, plásticos, pinturas, y muchos más.

Cal es un término genérico que se refiere al producto de la calcinación de mineral de roca caliza sedimentaria. La caliza está compuesta básicamente por carbonato de calcio (CaCO_3). Pero suele contener distintas proporciones de minerales como arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), hematita (Fe_2O_3), siderita (FeCO_3) y cuarzo (SiO_2) (Boynton, 1980).

1.2.2 Clasificación

Cuando el carbonato de calcio se encuentra con impurezas que no superan el 5% en peso nos encontramos frente a **piedra caliza**. Se la conoce como **caliza aérea** porque la cal hidratada producida con ella solo fragua cuando se encuentra en contacto con el aire.

Suele encontrarse la mezcla de carbonatos de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). En el caso que sea una mezcla uno a uno de carbonatos de calcio y magnesio lleva el nombre de **dolomita**. En este caso la proporción en peso es de 45% de carbonato de magnesio y 55% de calcio, por la diferencia en el peso atómico de ambos elementos.

Es muy raro encontrar dolomita pura, por lo general el magnesio se encuentra en proporciones menores, cuando la roca caliza tiene más de 5% en peso de carbonato de magnesio se denomina una **caliza dolomítica**.

Si la arcilla se encuentra en grandes proporciones puede modificar sustancialmente las propiedades del producto final. Si una roca caliza tiene más de un 8% de arcilla estamos en presencia de una **caliza hidráulica**, que a su vez puede ser cálcica o dolomítica.

Cuando el carbonato de calcio es llevado a temperaturas cercanas a los 1000°C se disocia en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO₂). Al resultado de la calcinación se lo conoce como **Cal Viva** y es básicamente óxido de calcio combinado con las impurezas que tenía el mineral.

Le óxido de calcio es sumamente ávido de agua, dando como resultado hidróxido de calcio Ca(OH)₂, también llamado óxido de calcio hidratado. El hidróxido es comúnmente llamado **Cal Apagada**.

La cal viva o apagada puede ser aérea, hidráulica, aérea

1.2.3 Mercados

Existen tres grandes mercados de la cal: Construcción, Agro e Industrias.

La construcción es el más antiguo de los mercados. Se tiene evidencia del uso de cal de más de 5000 años de antigüedad (Boynton, 1980). El mercado de la construcción tiene básicamente dos usos fundamentales para la cal, como aglomerante para morteros y para corregir la estructura del suelo.

Cada zona ha adaptado sus usos y costumbres constructivas según la cercanía con los distintos tipos de yacimientos, es así que por ejemplo en la Capital Federal suele utilizarse cal hidráulica mientras en las zonas de Cuyo y Norte del país se utiliza cal aérea.

En el agro es utilizado para corregir el pH del suelo y aportar calcio o magnesio. Para esto se puede utilizar tanto cal hidratada cálcica como dolomítica e incluso se puede utilizar roca molida. La diferencia en cada caso será el tiempo en el cual se concrete la corrección.

En la industria la cal tiene diversos usos, a continuación se enumeran los procesos industriales más importantes que utilizan cal como insumo:

- Neutralización de ácidos
- Producción de cobre
- Producción de oro

- Producción de plata
- Producción de papel
- Refinamiento de azúcar
- Curtiembres
- Tratamiento de aguas
- Vidrio
- Modificación y consolidación del Terreno
- Producción de morteros premezclados en seco para uso en construcción.
- Hormigón aireado en autoclave
- Ladrillos de silicato de calcio
- Maduración de frutas
- Obtención de álcalis de Sodio
- Lechería
- Cola y Gelatina
- Insecticidas y funguicidas
- Agentes blanqueantes
- Productos químicos orgánicos
- Pigmentos y revestimientos
- Petróleo
- Siderurgia

1.2.4 Proceso de producción

El detalle del proceso productivo está incluido en el capítulo 3.

1.2.5 Manipuleo y Transporte

La cal es usada de muchas formas en un gran número de industrias. Donde los requerimientos diarios son pequeños, la cal en bolsas es generalmente preferida, ya que las operaciones de manipuleo y almacenaje son relativamente simples. Los consumidores de grandes volúmenes suelen disponer de instalaciones de manipuleo mecánicos y/o neumáticos de transporte con descargas a silos de almacenamiento.

En general la cal ya sea viva o hidratada, puede ser despachada a granel, en big-bags de aproximadamente 1,0 a 2,0 toneladas o en bolsas normalmente de 25 Kg, tanto por camión o ferrocarril. Sin embargo las distintas características de las cales vivas respecto de las hidratadas, hacen que debamos tratarlas de manera diferente.

1.2.5.1 Cal Viva

La cal viva puede ser despachada en bolsas de 25 Kg, big-bags de aprox. 1,0 o 2,0 toneladas o a granel:

- Bolsas

La cal viva normalmente se despacha en bolsas de 25 Kg, de polietileno o también en bolsas de papel multicapa con una capa interna a prueba de humedad. Estos envases (ambos) son efectivos en la prevención del ingreso del aire húmedo, sin embargo no son efectivos para prevenir el ingreso del agua líquida, cuyo ingreso comenzará a hidratar la cal. El calor generado por la hidratación y el aumento de volumen darán como resultado que las bolsas se revienten. Por ello los sistemas de almacenamiento y transporte deben ser diseñados de manera de evitar cualquier contacto accidental con agua.

Las bolsas podrían ser apiladas en pilas de hasta 20 bolsas de altura sin que rompan, sin embargo por razones de estabilidad y seguridad, no se recomienda apilar más de 12, sobre todo en el caso de envases de polietileno.

- Big-Bags

Una forma alternativa de envasado, ahora disponible es el uso de Big-Bags que nominalmente pueden contener entre 1,0 y 2,0 Tn, dependiendo del tamaño de los mismos, normalmente miden entre 0,90 mts y 1,80 mts con una base de aprox. 1,0 x 1,0 mts.

Estos envases son de un tejido de polipropileno, son bastante resistentes y pueden ser reusados varias veces, tienen unas “orejas” por donde se los cuelgan, para ser manipulados por auto elevadores y/o “perchas” de carga y descarga. Pueden incorporar válvulas inferiores de descarga.

Las ventajas de los Big-Bags, frente a las bolsas son: 1) que pueden ser reusados. 2) Su manipuleo, si se tienen las instalaciones adecuadas, requieren de menor mano de obra, 3) En general generan menor cantidad de polvo. 3) Mejoran la capacidad de acopio, ya que pueden ser apiladas en pilas de hasta 3 de altura.

- Granel

Si se disponen de las instalaciones adecuadas, el despacho de cal viva a granel, puede generar considerables ahorros.

Para el transporte a granel pueden utilizarse camiones volcadores, o camiones de descarga neumática. Los primeros generalmente para aquellos que utilizan

granulometrías gruesas como por ejemplo las acerías que utilizan en general granulometrías de 12 a 32 mm.

Los camiones de descarga neumática, populares en la industria del cemento, pueden ser usados en los casos de cal viva molida; sin embargo debe notarse que los mismos por lo general están diseñados para un material de mayor peso específico por lo que puede ocurrir que no lleguen a completar el peso máximo permitido, lo que puede incrementar el costo del transporte.

Una cuestión que debe tenerse en cuenta en el manipuleo y transporte de la cal viva, es que la misma puede deteriorarse con el transcurso del tiempo, mucho más rápido cuanto mayor sea la humedad ambiente. En el caso de las bolsas en buenas condiciones de almacenaje, pueden llegar a mantenerse hasta 6 meses, pero por lo general no es recomendable almacenarlas por más de 3 meses. En todos los casos durante el transporte debe evitarse por todos los medios que pueda tener cualquier contacto accidental con agua.

1.2.5.2 Cal Hidratada

La cal hidratada, también puede ser despachada en bolsas de 25 Kg, big-bags o a granel, sin embargo, debido a que la cal hidratada tiene un peso específico mucho menor que la cal viva, debe tenerse en cuenta que algunas formas de despacho pueden transformarse en antieconómicas.

- Bolsas

En general se utilizan bolsas de papel multicapa de 25 Kg, pero a diferencia de los envases de cal viva, en este caso no disponen de una capa impermeable. Pueden ser apiladas en pilas de hasta 20 bolsas de alto, aunque, a pesar de ser más estables que los envases de polietileno, no es recomendable superar las 15 bolsas.

- Big-Bags

Valen las mismas consideraciones realizadas para la cal viva, sin embargo, debe tenerse en cuenta que por el menor peso específico de la cal hidratada, los big-bag de 1,80 mts. de altura, apenas pueden cargar 1,0 Tn.

- Granel

Si bien en otros países es usual el transporte a granel en camiones de descarga neumática, en nuestro país, este tipo de camiones, normalmente están diseñados para la industria del cemento Pórtland, cuyo peso específico más que duplica al de la cal hidratada, por ello, estos camiones, con la carga

completa, normalmente están muy lejos del peso permitido, lo que hace que normalmente se deba pagar un sobreprecio.

Sin embargo, como mencionáramos anteriormente, en otros países existen camiones de descarga neumática diseñados para el transporte de materiales de bajo peso específico, esto hace que algunas industrias que utilizan diseños de fábricas normales en otros países, incorporen sistemas de descarga a granel neumáticos, para luego encontrarse que la provisión por estos sistemas les resultan mucho más caras.

La cal hidratada en bolsas y/o big-bags, puede ser almacenada por largos períodos, incluso superiores a un año, sin que se encuentren serios deterioros, siempre y cuando se encuentren protegidas del agua. Cuando es almacenada por extensos períodos, un ligero incremento del dióxido de carbono puede ser detectado en las esquinas de los envases, o cerca de la válvula, sin embargo este deterioro, no penetra en el material más allá de 10 a 12 mm dentro de la bolsa.

1.2.5.3 Condiciones de Seguridad en el manipuleo

El tema de la seguridad en conexión con el uso de la cal, tiene dos partes. Primero, porque la cal, y en particular la cal viva, es cáustica y un desecante, los operarios que manipulan cal, deben estar adecuadamente protegidos, para evitar quemaduras. Sí ocurrieran quemaduras o la cal ingresara en los ojos, es necesaria una inmediata proporción de primeros auxilios. Segundo, debido al calor generado por la hidratación de la cal viva, se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar el accidental contacto con la humedad, o con productos químicos que poseen agua de cristalización, para evitar el excesivo calor que podría conducir al fuego.

Aunque ambos problemas existen, no son tan graves como para alarmarse, la cal no es un químico peligroso, y no se generan problemas si unas pocas simples precauciones son seguidas.

1.2.5.3.1 Seguridad del trabajador

El polvo de la cal hidratada, puede ser irritante si es inhalado, pero no es dañino para las vías respiratorias. Esto se evidencia por estudios sobre operarios en plantas caleras, donde concentraciones de polvo y continuidad de exposición que por lo general exceden en muchas veces a las que puede estar expuesto un operario en cualquier planta de consumo. En áreas donde pudiera haber mucho polvo de cal, los operarios debieran usar mascarillas normales para polvo, y anteojos de seguridad con protección lateral.

Los problemas de protección contra las quemaduras por cal viva, son más serios, particularmente en climas cálidos, donde los operarios pueden estar muy transpirados. Además de uso de protección ocular y respiratoria, los operarios expuestos al polvo de cal viva, también deben utilizar la vestimenta apropiada, incluyendo camisas de manga larga y cuello abrochado, pantalones con las mangas que sobrepasan el nivel de los zapatos o botas, deben tener cubierta la cabeza, y deben utilizar guantes. La ropa no debe ajustar demasiado en el cuello, las muñecas y tobillos. Es recomendable la aplicación de crema en las partes expuestas del cuerpo, particularmente el cuello, cara y muñecas.

1.2.5.3.2 Primeros auxilios

Si entra cal en los ojos, lavar con abundante cantidad de agua fría inmediatamente, seguido con una solución diluida de ácido bórico. No refregar los ojos irritados por polvo de cal.

Las quemaduras por cal deben ser tratadas de manera similar a las quemaduras cáusticas. Lavar completamente con jabón y agua tibia, luego con vinagre, para remover toda la cal. Aplicar ungüento para quemaduras, como ácido bórico, y cubrir con venda estéril. Mantener vendado durante la curación para prevenir infecciones.

1.2.5.3.3 Seguridad en Planta

Es recomendable un eficiente método de aspiración, en los puntos de manipuleo.

Las bolsas y/o bolsones de cal deben ser almacenadas, en áreas limpias y secas, y evitar el humedecimiento, de otra manera el intenso calor generado por el accidental contacto de agua con cal viva, puede ser suficiente para iniciar fuego en materiales inflamables próximos.

Otra importante precaución de seguridad es evitar el uso del miso transportador o tolva para alternativamente manipular cal viva y otras sustancias que contengan agua de cristalización, tales como caparrosa, alúmina, sulfato férrico. El agua de cristalización puede ser absorbida por la cal viva, generando suficiente calor como para iniciar fuego, por ejemplo en filtros de manga.

Se han reportado explosiones de mezclas de cal-alúmina, en tolvas cerradas, donde el intenso calor generado por la reacción liberó suficiente hidrógeno del agua libre para causar explosión. Por ello si las instalaciones van a ser usadas alternativamente, deben ser completamente limpiadas antes de realizar el cambio. Por supuesto, estos peligros, no aplican para el caso de cal hidratada.

1.2.6 Especificaciones y métodos de ensayo

Una cal, ya sea viva o hidratada, puede ser descripta por un sinnúmero de características diferentes tanto físicas como químicas; algunas de ellas más generalizadas, como podría ser el contenido de cal útil o la granulometría, hasta otras muy particulares como podría ser el contenido de plomo o ángulo de reposo.

Cuando una industria necesita cal para un determinado proceso, por lo general tiene especial interés en algunas características, mientras que otras características le resultan indiferentes.

Además se debe tener en cuenta que muchas de las características de una cal, pueden ser determinadas por métodos de análisis diferentes; que pueden dar resultados ligeramente diferentes, ya que algunos métodos son más rápidos pero menos exactos, otros más exactos pero más lentos y por lo general más costosos.

Por ejemplo el contenido de CO₂ de una muestra normalmente se determina a través del método del calcímetro, un procedimiento muy exacto, pero muy laborioso y lento; por otra parte existe un análisis denominado PPC (pérdida por calcinación), que mide el peso que pierde una muestra al ser calcinada a determinada temperatura. Si una muestra, primero la secamos (a 105°C), luego la calcinamos a 600°C (donde el hidróxido se disocia en óxido y agua) y luego la calcinamos a 1.000°C, la diferencia de pesos entre la muestra calcinada a 600°C y la calcinada a 1.000°C es una medida bastante aproximada al valor de CO₂ de la muestra, y es un método de ensayo mucho más rápido y económico que el método del calcímetro.

Por ejemplo, en la tabla 1-1 se muestran características de cal para distintos usos indicados por IRAM para cales hidratadas.

CALES AEREAS HIDRATADAS EN POLVO						
CARACTERÍSTICA		IRAM 8529 Curtiembr es	IRAM 1638 Trat. Agua	IRAM 3200 Papel	IRAM 1696 Azúcar	IRAM 1190 Pinturas
CO ₂	máximo				2,50 %	
OCa total	mínimo	68,00 %				
OMg	máximo	2,00 %			1,00 %	
Residuo Insoluble	máximo	1,20 %			2,00 %	
Fe ₂ O ₃	máximo	0,10 %			2,50 %	
PPC	máximo	24,00 %				
OCa útil	mínimo		58,00 %	68,00 %	65,00%	
SiO ₂	máximo			2,00 %	2,00 %	
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ (R ₂ O ₃)	máximo			1,00 %		
Reactividad	mínimo				50°C	
Retenido M80	máximo					3,00 %
Retenido M100	máximo		1,50 %			
Retenido M140	máximo					10,00 %
Retenido M200	máximo		3,50 %			
Asentamiento mm	mínimo		35			

Tabla 1-1. Especificaciones de cal hidratada según normas IRAM

En la Tabla 1-2 se presentan las especificaciones para la cal viva aérea.

CALES AEREAS VIVAS				
CARACTERÍSTICA		IRAM 3200 Papel	IRAM 1645 Trat. Agua	IAS U500 Siderurgia
CO ₂	máximo			1,20 %
OCa total	mínimo			94,00 %
OMg	máximo			1,00 %
Residuo Insoluble	máximo		5,00 %	
PPC	máximo	2,70 %		2,00 %
OCa útil	mínimo	68,00 %	75,00 %	91,00 %
H ₂ O	máximo			0,80 %
SiO ₂	máximo	2,00 %		1,00 %
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ (R ₂ O ₃)	máximo	1,00 %		1,00 %
Elev. Temperatura	mínimo		35 °C	
Retenido M 9,5 mm	máximo			100,00 %
Asentamiento mm	mínimo		100	

Tabla 1-2. Especificaciones de cal viva aérea según normas IRAM

Sin embargo, muchas empresas, no están conformes con las especificaciones de las normas IRAM, y establecen normas propias. En la Tabla 1-3 se pueden observar las especificaciones de una de las principales siderurgias argentinas

CARACTERÍSTICA	CAL VIVA CALCICA		CAL VIVA DOLOMITICA	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
SiO ₂ (Dióxido de Silicio)		1,50 %		3,00 %
R ₂ O ₃ (Cationes precip.)		1,50 %		2,00 %
OCa (Oxido de Calcio)	94,00 %		56,00 %	
OCa activo = (OCa – 3 SiO ₂)	89,50%			
CO ₂ (Dióxido de Carbono)		1,20 %		
H ₂ O (Agua)		1,20 %		
Residuo insoluble en agua		1,00 %		
OMg (Oxido de Magnesio)		1,00 %	32,00%	
P (Fósforo)		0,03 %		0,02 %
S (Azufre)		0,05 %		0,05 %
PPC (Pérdida por Calcinación)		3,00 %		2,00 %
Reactividad química cm ³	350	410	230	
Granulometría:				
Retenido en 38 mm		0,00%		0,00 %
Retenido en 32 mm		5,00 %		10,00 %
Entre 32 y 12,5 mmm	88,00 %		80,00 %	
Pasante 12,5 mm		7,00 %		10,00 %
Pasante 6,35 mm		5,00 %		5,00 %

Tabla 1-3. Especificaciones de cal viva cálcica y cal viva dolomítica de una de las principales siderurgias

Es importante observar que, en el caso de las normas IRAM una norma determina, por ejemplo la IRAM 3200 para la cal a ser usadas en la industria del papel, nos indica las características que debe tener la cal a utilizar, sin embargo si fuéramos a la norma, veríamos que para cada característica, nos indica bajo que norma se realiza la determinación de dicho ensayo.

Lo mismo debería estar indicado en el caso de normas propias de una empresa, aunque en este caso, el método de ejecución del ensayo, puede estar referido a normas diferentes de la IRAM, como podrían ser ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deutsches Institut für Normung), o incluso puede tratarse de normas internas o métodos propios de análisis.

Por ello, cuando una empresa solicita cales para ser utilizadas en sus procesos, es importante conocer:

- Tipo de cal
- Características y/o valores que debe cumplir dicha cal
- Métodos de análisis utilizados para la determinación de las características indicadas
- Packagin y medio de transporte

Todos estos datos constituyen las especificaciones del producto a entregar.

1.3 LA EMPRESA

CALDOL S.A. nace hace más de 15 años como parte de un destacado grupo empresario con gran experiencia en la industria de la Construcción y la

producción de cemento, que toma a su cargo la fabricación y comercialización cales aéreas para la construcción en fábricas ubicadas en la provincia de Córdoba.

Algunos años después, adquiere canteras y plantas fabriles en Olavarría, provincia de Buenos Aires y donde termina de consolidarse en el mercado de cal para la construcción al producir y comercializar cales hidráulicas.

Así mismo se incorpora a la empresa yacimientos de sulfato de calcio, carbonato de calcio y carbonato de calcio y magnesio e instalaciones fabriles para la producción de yeso para la construcción, así como productos minerales para el agro, en la provincia de Neuquén.

Más adelante, y ya como empresa de dimensión propia, CALDOL S.A. encara un proceso de agrupamiento y consolidación de la atomizada oferta de cales existente, para constituirse en una empresa líder en cal para la construcción. Como culminación de este proceso CALDOL inaugura en agosto de 2009 una nueva planta en San Juan con tecnología de última generación. Esta planta abre para CALDOL el mercado de cales industriales del cual no participaba.

De esa forma, CALDOL S.A. cuenta actualmente con fabricación de cal y otros productos derivados en la provincia de Buenos Aires, Córdoba, y San Juan.

1.4 DEFINICIÓN DEL PROLEMA

La cal viva sale del horno de calcinación en forma de terrones. Estos terrones de cal viva tienen baja resistencia al manipuleo, es decir que generan partículas finas a medida que se manipulan en los distintos procesos.

Cada cliente industrial tiene sus propias especificaciones sobre la granulometría a ser provista. En general el proceso es parametrizado de forma de generar la cantidad justa de cada granulometría y así abastecer a los distintos clientes.

Esto se logra utilizando alternativamente distintos circuitos de clasificación y molienda. Separando en cada etapa las granulometrías más gruesas necesarias mientras las fracciones más finas continúan el proceso y son destinadas a otros clientes que las requieren.

Esto es válido para la cal cálcica ya que existe un gran rango de aplicaciones en distintas industrias que requieren granulometrías desde el micronizado hasta la cal en terrones.

Pero no es así para la cal dolomítica, ya que estas no tienen tantas aplicaciones. El principal y prácticamente único consumidor de cales vivas

dolomíticas es la siderurgia. La siderurgia exige granulometrías entre 12 mm y 38 mm, permitiendo un pequeño porcentaje del producto por debajo de 12mm que es el que se genera en el transporte desde el fabricante hasta el cliente. Esto significa que todo el producto que se genera en planta por debajo de 12mm no tiene en principio destino.

El grado de deterioro que sufre el producto en cada etapa depende en gran medida de la estructura cristalina de la roca procesada. En general se puede decir que la roca caliza dolomítica presenta mayor resistencia que la cálcica, pero una vez calcinadas ambas rocas se invierte su resistencia, esto tiene que ver con la diferencia en fortaleza de los enlaces de los carbonatos de calcio y magnesio y luego de los óxidos de calcio y magnesio. También tienen gran influencia en este aspecto las impurezas presentes en el mineral. Este factor agrava el problema de la generación de finos en la cal viva dolomítica.

La siderurgia es el segundo consumidor en volumen de cal para la industria en la zona de influencia del polo calero de San Juan donde está instalada la empresa. Al consumir tanto cal cálcica como dolomítica, es preciso producir ambas para abastecerlos.

El problema es que los finos de dolomita no tienen destino, y por lo tanto generan un gran aumento en los costos. Ya que la mayor parte del costo de producción se genera para producir la cal viva, el proceso de clasificación y molienda tiene un peso menor, por lo tanto si los finos no pueden ser vendidos generan un aumento de los costos de producción directamente proporcional al nivel de finos generados.

Cuando CALDOL comenzó con la producción de dolomita el nivel de finos generados era del 70%, adecuando un poco las instalaciones y a medida que ganaba experiencia logró reducir los finos al 40%. Pero este valor no ha podido disminuirse más.

A este problema se suma el de la disposición de estos finos. Este trabajo pretende darle una solución a este problema, para lograr abastecer a la siderurgia en forma rentable y sin generar un enorme pasivo ambiental.

2 MERCADO

En este capítulo se describen brevemente los principales usos de la cal en la industria siderúrgica.

2.1 PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

En el campo de la siderurgia, la cal viva, tanto cálcica como dolomítica, tiene su mayor empleo como fundente en la purificación del acero en los tradicionales hornos de oxígeno básico (BOF) y en los más modernos hornos de arco eléctrico (EAF). La cal es particularmente efectiva en la remoción del fósforo, azufre y sílice, y en menor medida, manganeso. La cal, tiene también, importantes usos en la refinación secundaria del acero, y en la manufactura de productos de acero.

2.1.1 Hornos de Oxígeno Básico (BOF):

En las acerías de oxígeno básico, el hierro fundido por un alto horno se carga en un horno revestido de refractario, y luego se inyecta el oxígeno en el hierro fundido a elevada velocidad, oxidando el carbono y las impurezas. La cal se usa en diferentes fases de este proceso. (Boynton, 1980)

En primer lugar, tanto la cal viva como la apagada se pueden emplear en la producción de bolitas de mineral de hierro auto-fundentes, idóneas para la carga en alto horno. La cal se mezcla previamente con las escorias antes del proceso en bandas sinterizantes. En segundo lugar, varias acerías desulfurizan el metal caliente externamente en carretillas de siluro o tolvas después del alto horno y antes de la carga en el BOF, y utilizan la cal viva y el metal de magnesio como anti-azufre. La cal se puede usar también en esta fase para eliminar el fósforo. En tercer lugar, de mayor importancia, la cal viva se añade normalmente a la mezcla en el horno después del inicio del “soplado” del oxígeno, cuando reacciona con las impurezas (en primer lugar silicio y fósforo) para formar escorias que se eliminarán a continuación. (Boynton, 1980)

El consumo específico de cal por tonelada de lingotes de acero es como media de 70 Kg/Tn. A esto hay que sumarle la cal utilizada en procesos secundarios como la refinación secundaria y la conformación. En la experiencia de la CALDOL en función de los datos recabado por su fuerza de ventas y las producciones de acero publicadas por el INDEC, estimamos que 100 Kg/Tn de acero es un número representativo del consumo total de cal en la producción de acero.

Aunque las acerías funcionen con cal viva con un alto contenido de calcio, la mayor parte de las plantas de oxígeno básico sustituyen, o añaden,

aproximadamente un 50% de cal dolomítica (con alto contenido de magnesio) ya que la experiencia ha demostrado que prolonga la duración del revestimiento refractario de los hornos.

2.1.2 Hornos de Arco Eléctrico (EAF)

En los hornos de arco eléctrico, la chatarra de hierro y acero, el mineral de hierro y el enriquecido, son puestos en el horno y fundidos por el calor de la corriente eléctrica. La cal viva cálcica (normalmente de 35 a 50 Kg/Tn de acero) y la cal viva dolomítica (aprox. 15 Kg/Tn), son añadidas independientemente o mezcladas. La cal fundente elimina las impurezas y forma escorias que pueden ser separadas del acero y vertidas por el horno como un líquido. (Boynton, 1980)

2.1.3 Refinación Secundaria

Tanto si se produce en hornos de oxígeno básico como en los de arco eléctrico, el acero requiere a menudo una segunda refinación para ser transformado en producto comercial, especialmente donde se requiera un acero ultra puro. (Boynton, 1980)

Muchos procesos de refinación secundaria emplean cal para funciones claves, como la regulación de la temperatura o de la composición química del acero, la eliminación de impurezas adicionales, y la prevención de la reabsorción de las impurezas por las escorias. Además la cal viva se puede utilizar con otros materiales, como fluorita o alúmina, para formar una escoria sintética, utilizada como fundente para eliminar ulterior azufre y fósforo después del proceso de refinación inicial. (Boynton, 1980)

2.1.4 Productos de Acero

Cal hidratada (tanto en polvo, como en pasta) posee diferentes aplicaciones en la producción del acero. Se emplea normalmente en el trefilado, como lubricante, y en la fusión en lingotes, donde un revestimiento de cal en los moldes evita la adhesión del acero a los moldes. (Boynton, 1980)

También se utiliza cal para neutralizar los líquidos de desecho de decapado a base de ácido sulfúrico, en donde se precipitan también las sales de hierro. Después del decapado, a menudo los productos de acero sufren un baño de cal para neutralizar las últimas trazas de ácido de decapado adheridas al metal. Además la cal apagada se utiliza para proteger temporalmente de la corrosión bajo forma de un revestimiento blanqueante sobre productos de acero, y para neutralizar el ácido sulfúrico en las plantas de derivados de coque. (Boynton, 1980)

De todas maneras en general las siderurgias suelen apagar la cal en planta por lo tanto su consumo es siempre de cal viva.

2.2 MERCADO ARGENTINO

La producción nacional de aceros está muy concentrada, se agrupan en el la Cámara Argentina del Acero que tiene 6 miembros. La capacidad de producción de estos fabricantes fue relevada por la fuerza de ventas de CALDOL consultado directamente a las empresas. Como podemos ver en la Tabla 2-1 la capacidad total en la argentina es de 5 750 000 Tn/año.

	Miles de Tn
Siderar	2800
Siderca	850
Acindar	1450
Gerdau	260
AcerBrag	300
Zapla	90
Total	5750

Tabla 2-1. Capacidad instalada de las siderurgias argentinas.

Como podemos ver en la Tabla 2-2 la industria está produciendo muy cerca de su máxima capacidad instalada.

Año	Miles de Tn
2003	5033,20
2004	5133,30
2005	5385,60
2006	5532,70
2007	5387,10
2008	5541,40
2009	4013,00
2010	5138,44

Tabla 2-2. Producción de acero en miles de toneladas. (Camara Argentina del Acero)

Tanto Siderar como Acindar tienen planes de ampliación pero fueron cancelados o postergados con la crisis de 2009 y aun no se sabe la fecha de reactivación. Por todo esto podemos decir que el mercado está maduro y no se supone que crezca en los próximos años.

Como dijimos más arriba el consumo de cal por tn de acero es de 100 Kg, de estos podemos estimar que la mitad son cales dolomíticas. Por lo tanto podemos estimar el mercado nacional de cales dolomíticas para la siderurgia en 275 000 tn/año.

2.3 MERCADO CHILENO

En Chile existen solo 2 plantas de producción de acero: Compañía Siderúrgica Huachipato y Gerdau AZA. La producción combinada de ambas es publicada anualmente por el International Iron and Steel Institute.

Año	Miles de Tn
2003	1377
2004	1579
2005	1537
2006	1627
2007	1627
2008	1523
2009	1308
2010	992

Tabla 2-3. Producción Chilena de Acero (World Steel Association)

En el caso de estas empresas ambas se encuentran en procesos de inversión para ampliar su capacidad instalada, se espera que lleguen en el año 2015 a las 1 900 000 tn/año.

Siguiendo el mismo razonamiento que en el caso del mercado argentino, podemos estimar que el consumo anual de cales dolomíticas de la siderurgia chilena es del orden de las 95 000 Tn/año.

Por lo tanto el mercado de Argentina y Chile combinados es del orden de las 30 000 tn/mes

2.4 OFERTA DE CAL DOLOMITICA

Las instalaciones necesarias para la producción de cal viva dolomítica son las mismas que se usan para la cal viva cálcica, por lo tanto no es posible estimar la capacidad de producción independientemente. De los relevamientos propios de la empresa surge que en la actualidad la industria de la cal tiene en su conjunto más de un 25% de capacidad ociosa. A continuación se presenta un listado de las empresas que hoy participan del mercado de cales dolomíticas.

- UNIMIN
- El Volcan
- Inacesa (chile)
- CEFAS

3 PROCESO DE PRODUCCION

3.1 DESCRIPCION GENERAL

En la Figura 3-1 se puede ver un diagrama de flujo del proceso de producción de cal. El proceso de producción de cal comienza por la extracción de la materia prima principal (piedra caliza) en canteras, por lo general a cielo abierto, la misma se realiza por perforación y voladura.

La piedra caliza, luego de la voladura, debe ser acondicionada para el siguiente proceso, para lo cual es necesario realizar una reducción del tamaño y una selección de la misma por tamaños.

Este proceso puede ser llevado a cabo de distintas maneras, dependiendo de las características de la roca madre y de los niveles de producción necesarios; desde el "marroneo" y selección manual en canteras (utilizado cuando los niveles de producción son bajos, dado que requiere una intensiva utilización de mano de obra), hasta el transporte y procesamiento en plantas de trituración y zarandeo, cuya complejidad dependerá de los volúmenes y granulometrías necesarias para el siguiente proceso.

La piedra caliza convenientemente acondicionada, luego es calcinada, en hornos cuya tecnología dependerá de los volúmenes a calcinar, las calidades que se necesitan obtener y las características de la piedra caliza.

Las calizas para la obtención de cales vivas están compuestas básicamente por carbonatos de calcio (CO_3Ca) casi puros que pueden contener cantidades variables de otros componentes que son indeseables para la producción de cal, como pueden ser, sílice y óxidos de hierro y aluminio; también pueden contener cantidades apreciables de carbonado de magnesio (CO_3Mg), aunque en este último caso no es considerada una impureza, aunque le proporciona a la cal características especiales que pueden ser deseables o no, según la utilización que vaya a hacerse de ella.

Durante la calcinación, la piedra caliza sufre una transformación química, disociándose el carbonato de calcio en sus componentes según la Formula 3-1.



El Producto obtenido es cal viva, que es una roca de similar tamaño que la que ingresó al horno, pero cuyo peso es hasta un 44% menor que aquella, producto de la pérdida de CO_2 . La pérdida de peso en la calcinación dependerá de las

características químicas de la piedra caliza original (siendo mayor para las de mayor pureza), y de la eficiencia del proceso.

La temperatura necesaria para lograr dicha disociación es de aproximadamente 900°C, aunque en la práctica las temperaturas de calcinación son ligeramente superiores (entre los 950 y 1200 °C) (Oates, 1998) para reducir el tiempo necesario para lograr la total descarbonatación de la piedra caliza. Sin embargo no es conveniente aumentar demasiado dicha temperatura, debido a que se producen "sobrequemados" que son inertes (cal viva pasada de fuego).

La cantidad de calor que es necesario aportar para lograr la descomposición es en teoría de aproximadamente 770 Kcal/Kg de cal viva; sin embargo en la práctica el consumo calórico es mayor, dependiendo fundamentalmente del grado de pureza de la caliza y de la tecnología de calcinación; pudiendo variar desde las 850 Kcal/Kg de cal viva para el caso de hornos de última tecnología, hasta los 1.850 Kcal/Kg en viejos hornos de tipo rotativo (Oates, 1998).

La cal viva como sale del horno es un producto que puede ser vendido "tal cual" sale del mismo, o bien puede ser sometido a distintos procesos como trituración y selección por granulometrías, molienda, e hidratación, según las necesidades del consumidor.

La cal viva es un producto inestable, sumamente ávido de agua, produciendo con la misma una reacción exotérmica y una transformación química convirtiéndose en otro compuesto químico denominado hidróxido de calcio, según la Formula 3-2. El producto obtenido se conoce comercialmente como cal hidratada, siendo un material pulverulento cuyo color varía desde el blanco puro hasta grises más o menos oscuros, dependiendo de la materia prima original.



Industrialmente, el proceso de hidratación, consiste en mezclar la cal viva con la cantidad de agua estrictamente necesaria para lograr la hidratación total de la cal viva sin que el producto final contenga un exceso de agua libre (humedad), que genera inconvenientes en los procesos posteriores. La cantidad de agua a agregar, dependerá de la calidad de la cal viva utilizada, ya que, la cal viva de mejor calidad absorbe mayores cantidades de agua que la de menor calidad.

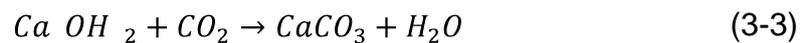
En la práctica la cantidad de agua agregada en el proceso de hidratación es mayor que la necesaria para lograr la hidratación, dado que la reacción

exotérmica (aumento de temperatura) produce la evaporación de una parte del agua agregada.

La cantidad de agua que finalmente queda incorporada al producto final (referido al peso del producto final, hidróxido), oscila entre el 21% para la cal viva de buena calidad, y el 15 a 17% para la cal viva con alto contenido de impurezas y/o mal calcinadas. Es decir que por cada Tn de cal viva pueden obtenerse entre 1,10 a 1,21 Tn de cal hidratada.

Luego de la hidratación el producto puede sufrir diferentes procesos tales como: maceración; molienda y clasificación; para la obtención del producto deseado, finalmente el producto puede ser embolsado para su despacho o bien, en algunos casos aislados, despachado a granel.

Ya fuera de los procesos industriales (salvo en el caso de la producción de carbonato de calcio precipitado), el hidróxido de calcio termina absorbiendo el anhídrido carbónico del aire, cerrando el circuito y transformándose nuevamente en carbonato de calcio, según la Formula 3-3.



PRODUCCION DE CAL



Figura 3-1. Proceso de producción de Cal

3.2 PRINCIPALES COSTOS

3.2.1 RUBROS MÁS IMPORTANTES

3.2.1.1 *Mano de obra*

El costo de la mano de obra está dado por la Asociación Obrera Minera Argentina (AOMA). Se toma como referencia el costo de la hora de un obrero categoría 1 que es de 15,26 \$/hr. A este valor hay que agregarle las cargas sociales que tienen un promedio en la zona de 31,12%, de los cuales 2,4% se recuperan en concepto de crédito de IVA; dando por lo tanto un total de 28,72%. A este valor hay que agregarle el proporcional del sueldo anual complementario (SAC) y vacaciones, que en promedio las estimaremos en 3 semanas al año. El resultado total es 17,54 \$/hr = $15,26 \text{ \$/hr} \times 13/12 \times 52/49$. Un turno mensual de 8 horas diarias suman 180 horas mes. Y por lo tanto el costo empresa de un operario en un turno es de 3157,2 \$/mes.

3.2.1.2 *Energía eléctrica.*

El costo de energía eléctrica varía sustancialmente dependiendo de la categoría de cliente y del tipo de contrato. Incluso hoy en la argentina depende también del nivel de consumo en relación al consumo de la misma planta en el año 2005, llamado "consumo base". Por lo tanto es difícil de establecer un costo estándar, el promedio que paga la empresa es su planta de San Juan es de 0,29 \$/Kwh.

3.2.1.3 *Carbón*

El carbón utilizado es generalmente carbón de destilería, que es residuo de la destilación de petróleo, sus características dependen del petróleo original y de la tecnología de destilado utilizados. Dando como resultado lo que se conoce como "carbón tal cual". Es decir que no se presentan especificaciones de productos, YPF suele comunicar valores promedio de las principales características pero no asegura los valores.

La cámara minera de San Juan negocia el costo y los cupos de compra de las distintas empresas caleras directamente con YPF, estableciendo un valor de referencia. Hoy el costo del carbón es de 426,81 \$/Tn de coke "tal cual". A este valor hay que sumarle el transporte a planta, que en este caso es de 48 \$/tn. También hay que sumarle una merma por humedad, que en promedio es del 10% y un 3% extra de mermas ya que el coke se almacena a piso y a la intemperie lo cual provoca pérdidas asociadas al viento y otros factores climáticos.

El resultado final es un costo del carbón de 536,5 \$/Tn. Este carbón tiene un poder calorífico promedio de 8100 Kcal/Kg.

3.2.2 EXPLOTACION DE CANTERAS Y TRITURACION

La cantidad de piedra caliza necesaria para la producción de cal viva depende de la calidad de la materia prima utilizada y de la eficiencia del proceso de calcinación. En general aumenta con la pureza de la piedra caliza utilizada y con la eficiencia de la calcinación, disminuyendo a medida que la piedra caliza contiene mayor cantidad de inertes (sílice, óxidos de hierro y aluminio, etc.) y cuando la eficiencia de la calcinación es menor (mayor cantidad de "crudo" en la cal viva).

Por lo mencionado anteriormente la cantidad de piedra caliza por Tn de cal viva obtenida puede variar entre 1,75 a 1,85 para las calizas cálcicas casi puras (caso de la mayoría de las caleras de la zona de San Juan), hasta 1,60 para el caso de la cal con altos contenidos de inertes.

Las cantidades de piedra caliza a volar y triturar deberán ser mayores que la necesaria para la producción de cal viva, dependiendo de los destapes necesarios y de los desperdicios generados en la trituración por la producción de más fino que el apto para la calcinación. Dichos descartes en la trituración pueden oscilar entre el 15% al 35% dependiendo de la tecnología de trituración y la granulometría apta para los hornos.

Los principales costos involucrados en esta etapa son:

- Mano de Obra
- Explosivos
- Energía Eléctrica (trituración)
- Combustibles y Lubricantes (Perforación y Transporte)
- Consumibles de perforación y trituración

Mano de Obra: La cantidad de mano de obra necesaria puede variar dependiendo de los volúmenes a explotar y de la tecnología de trituración y de la posibilidad de subcontratar las distintas operaciones. Si no se subcontratan las tareas, las cantidades mínimas de personal necesario serían:

- Perforación y Voladura: 1 Operario + 1 Ayudante
- Carga y Transporte a Trituración: 1 Palero + los choferes de camión necesarios, que dependerán del volumen y la distancia a transportar.
- Trituración: 1 Primarista + 1 Ayudante (sí es necesario)
- Selección: Es variable, dependiendo de las características de la explotación, puede existir o no.

Explosivos: Las cantidades de explosivo necesarios para la voladura varían en función de las características de la explotación, pero en líneas generales su consumo varía entre 0,110 y 0,150 Kg de explosivo por Tn de piedra caliza

volada, para las zonas de San Juan, sin embargo, en algunos casos hay yacimientos que requieren destapes importantes, como en la provincia de Córdoba, donde los consumos se elevan, llegando hasta los 0.250 Kg de explosivo por Tn de piedra.

Energía Eléctrica: El consumo de energía eléctrica en el proceso de trituración y selección puede oscilar entre 0.65 y 1.00 Kwh por Tn de piedra caliza triturada. Sin embargo estas tareas pueden ser reemplazadas (cuando los volúmenes no son muy importantes) por el marroneo (rotura de la piedra en forma manual con una maza) y la selección manual.

Combustibles y Lubricantes: Sus consumos son muy variables y dependen de las características de la explotación y las distancias de transportes.

Consumibles de Perforación y Trituración: Sus consumos también pueden ser muy variables dependiendo de las características de la explotación.

3.2.3 CALCINACIÓN

Esta es la principal etapa de la producción calera, y es también donde se producen las mayores diferencias tecnológicas entre los productores caleros de Argentina.

En todos los casos se trata de hornos verticales, (existían en funcionamiento algunos hornos horizontales o rotativos, similares a los utilizados en la producción de cemento, aunque ya han sido desactivados por su alto consumo de combustible) aunque con grandes diferencias tecnológicas de unos a otros.

Los principales costos involucrados en esta etapa son:

- Combustible
- Mano de Obra
- Energía Eléctrica
- Refractarios

Dado que los costos de producción son directamente influenciados por la tecnología de calcinación, a continuación se hará una breve descripción de los distintos tipos de hornos que se utilizan en Argentina y sus costos operativos.

Hornos de carga mixta: Este tipo de horno es el más difundido en Argentina, pudiendo encontrarse hornos de estas características, en casi todas las zonas caleras del país.

Estos hornos son cargados en forma alternativa con capas de piedra caliza y capas del combustible utilizado. El combustible utilizado en este tipo de hornos es por lo general coke de destilería, que podrá ser "tal cual" o bien en algunos

casos se utilizan determinadas granulometrías de coke, lo que mejora un poco la eficiencia térmica del horno. La producción de estos hornos varía entre 20 y 60 Tn de cal viva por día.

El consumo de combustible varía dependiendo de la materia prima y de la calidad del combustible, siendo mayor para las calizas más puras, en general los consumos varían entre 180 y 225 Kg de carbón por Tn de Cal Viva obtenida.

La mano de obra necesaria para la operación de estos hornos es como mínimo de un operario por turno para la carga del mismo y un operario por turno para la descarga del mismo; aunque dependiendo de las automatizaciones existentes para la carga y descarga de los mismos, estos mismos operarios podrían atender más de un horno. Con respecto a los turnos de operación de los mismos, por lo general trabajan las 24 Hs y los 365 días del año; aunque en algunos casos suelen ser operados en solo 2 turnos dejando "descansar" el horno durante la noche y los fines de semana.

El consumo de energía eléctrica en estos hornos varía entre 5 y 10 Kw.h. por tonelada de cal viva, dependiendo de las automatizaciones de carga y descarga de los mismos.

Hornos regenerativos o de doble cuba: Estos hornos son los de tecnología más moderna de los utilizados actualmente en Argentina. Utilizan como combustible, gas natural, con un consumo de 100 a 110 m³ de gas natural por Tn de cal viva, ó carbón de destilería (coke) pulverizado, con consumos del orden de 110 a 120 Kg por Tn de cal viva.

Dado que estos hornos son de alta producción, por lo general superior a los 250 Tn de cal viva por día y por estar normalmente muy automatizada su operación la incidencia de la mano de obra en los mismos se ve muy reducida, normalmente son operados por uno a dos operarios por turno, y en el caso de existir baterías de más de un horno los mismos operarios pueden manejarlos a todos, normalmente son operados las 24Hs y los 365 días del año.

El consumo de energía eléctrica en estos hornos es muy superior oscilando entre 25 a 30 Kw.h. por Tn de cal viva.

Otros tipos de Hornos: Además de los hornos descriptos anteriormente, puede existir otro tipo de hornos, como por ejemplo: Hornos verticales de cuba simple a gas natural; Hornos verticales de cuba simple a carbón pulverizado; etc.

Como generalidad puede decirse que el consumo de combustible (principal rubro de costo en la calcinación) debería oscilar entre las 1.000 y 1.300 Kcal

por Tn de cal viva. La mano de obra variará de acuerdo a que estén más o menos tecnificadas las operaciones de carga y descarga, mientras que el consumo de energía eléctrica podrá variar entre 10 y 20 Kw.h. por Tn de cal viva.

3.2.4 TRITURACION Y CLASIFICACION

Si la cal viva va a venderse "tal cual" sale del horno no hay otros costos implicados más que la carga y despacho, que podrá hacerse directamente desde la descarga del silo al camión, o bien se podrá cargar el camión con la utilización de una pala mecánica.

Existen algunos usos de la cal que requieren de determinadas granulometrías, para lo cual es necesario realizar una trituración de la misma y una separación de la misma en distintas granulometrías, para lo cual, normalmente se utilizan trituradoras a mandíbula y zarandas, los costos involucrados no son significativos y están compuestos normalmente por la mano de obra necesaria; que dependerá del volumen a procesar, aunque un operario normalmente puede encargarse de toda la operación; la energía eléctrica que oscilará entre 0,3 a 0,4 Kw.h./Tn de cal viva procesada, y el mantenimiento de las instalaciones.

3.2.5 MOLIENDA

Si la cal viva va a ser comercializada como Cal Viva Molida, la cal viva que sale del horno debe ser sometida a un proceso de molienda que normalmente comienza con una trituración previa (que puede obviarse si la granulometría que entrega el horno lo permite) y luego se la somete al proceso de molienda, que por lo general se realiza en molinos a martillos y una separación por granulometrías (ciclones o wizer) que retorna al molino aquellas partículas que aún no han alcanzado la granulometría deseada. El producto obtenido se almacena en silos para su posterior embolsado (normalmente no se despacha a granel).

Los costos más importantes involucrados en este proceso son:

Mano de Obra: Normalmente un operario por turno, que se encarga de las tareas de extracción de cal viva de los silos, y el control de las maquinas involucradas. La cantidad de turnos dependerá de la capacidad de producción de las instalaciones y del volumen a producir.

Energía Eléctrica: El consumo de energía eléctrica oscila entre 15 y 20 Kw.h. por Tn de cal viva procesada.

3.2.6 HIDRATACION Y MOLIENDA

Si el producto a comercializar es cal hidratada; la cal viva obtenida de los hornos debe ser sometida al proceso de hidratación.

Para hidratar la cal viva es necesario en primer término realizar una molienda de la misma, para adecuarla a las necesidades del proceso de hidratación, luego la cal molida es introducida al hidratador junto con el agua necesaria para lograr la hidratación. Este proceso es normalmente continuo y a medida que se va agregando cal viva y agua al hidratador, por el otro extremo del mismo va saliendo la cal hidratada o en proceso de hidratación. Al salir del hidratador la cal puede pasar directamente al circuito de separación y molienda o bien ser almacenada en silos de maceración donde se la mantiene durante el tiempo necesario para completar la reacción. La existencia de silos de maceración depende de las características de la cal viva que se está hidratando.

Una vez que la cal ha sido hidratada es enviada al circuito de separación y molienda, donde separadores dinámicos y/o estáticos (ciclones), separan la parte fina, como producto terminado y envía los gruesos a la molienda para lograr la adecuada granulometría del producto final.

En esta parte del proceso es donde existen las mayores diferencias entre los distintos productores de cal hidratada, ya que de acuerdo a la calidad necesaria del producto final, el mismo puede estar compuesto por: a) solamente los finos de ciclón de separación, b) por los finos del ciclón de separación más las colas (gruesos) del mismo pasadas por la molienda que adecua su granulometría, c) por los finos, más las colas molidas, más inertes que se agregan al molino para aumentar la cantidad de producto final, esto último se realiza normalmente en la cal de construcción de inferior calidad.

Por lo expuesto anteriormente, la cantidad de cal viva necesaria para obtener 1 Tn de cal hidratada puede variar ampliamente, desde más de 1 Tn de cal viva por Tn de cal hidratada, cuando las colas se descartan porque se quiere producir cales de muy alta calidad; hasta menos de 0,50 Tn de cal viva por Tn de cal hidratada cuando se agregan inertes, como es en el caso de la cal de inferior calidad. Sin embargo aquellos que producen cal de alta calidad también producen cales de inferior calidad por lo que como regla general podría establecerse que dicha relación oscila entre 0,85 y 0,60.

Los costos más importantes en este proceso son:

Mano de Obra: La cantidad de operarios necesarios en este proceso varía de 1 a 3 operarios por turno, dependiendo de la complejidad de las instalaciones.

Energía Eléctrica: El consumo de energía eléctrica depende de la mayor menor complejidad de las instalaciones y su valor puede oscilar entre 20 y 30 Kw.h. por Tn de producto obtenido.

3.2.7 ENVASADO

La Cal Viva Molida se comercializa en envases de polietileno, mientras que la Cal Hidratada se comercializa en envases de papel de dos pliegos.

En general la viva molida, se envasa en 25 Kg, aunque puede haber casos de bolsas de menor peso.

La Cal Hidratada se comercializa en envases que cuyos pesos pueden ser 20, 25 ó 30 Kg,

Los principales costos de esta etapa son:

Envases: Normalmente en las operaciones de embolsado, se produce alguna rotura de envases que puede oscilar entre el 0,8% y el 1,5%.

Mano de Obra: La cantidad de operarios para la tarea de embolsado es muy variable en función de la tecnología y la capacidad de la o las embolsadoras, sin embargo, aún en las de última tecnología, por lo menos es necesario un operario que atienda la misma.

3.2.8 CARGA Y DESPACHO

En las operaciones de carga y despacho, el costo más importante es siempre la mano de obra, sin embargo la cantidad de operarios necesarios varía ampliamente según las distintas modalidades que pueden variar desde la carga directa de las bolsas "al piso" hasta el despacho de toda la producción palletizada, y en este último caso el palletizado puede ser realizado en forma manual o bien en con equipos mecánicos en forma automatizada.

Mano de Obra: La cantidad de operarios necesarios para la carga y despacho como se menciona en el párrafo anterior es variable pudiendo ir desde un mínimo de 1 operario en los casos de máxima automatización, hasta una cantidad que dependerá del volumen de bolsas a mover en los casos en que no existe ninguna automatización, en estos casos se debe tener en cuenta que un operario puede "mover" (cargar, palletizar manualmente o estibar) una media de entre 800 y 1.000 bolsas de 25 Kg por turno.

Pallets: La cantidad de pallets necesarios dependerá de la cantidad de la producción que se comercializa palletizada, la cantidad de bolsas por pallet suele variar entre 50 y 75 según el peso de las bolsas, normalmente los pallets son de aproximadamente 1500 Kg.

3.2.9 OTROS GASTOS DE PRODUCCION

Además de los costos mencionados para cada proceso, deben considerarse también otros costos que siempre están presentes en toda actividad industrial como son:

Mantenimiento: El gasto de mantenimiento, taller, repuestos y reparaciones, es variable dependiendo principalmente del estado de las instalaciones, sin embargo debe considerarse que siempre debe existir algún personal dedicado a las tareas de mantenimiento aun cuando se trate de instalaciones nuevas.

Control de Calidad: No siempre presente, solo suele existir en aquellos establecimientos que por su volumen de producción o por la calidad de los productos que se fabrican, justifican su costo.

Administración: Los gastos administrativos, como la cantidad de personal afectada a la misma, son variables dependiendo del volumen de la operación.

4 ESTADO DE LA CUESTIÓN

Hoy la empresa ha logrado una penetración del 10% en el mercado con ventas de 3000 Tn/mes. El objetivo es elevar la participación la 20% en el mercado de la siderurgia, esto significa un total de 6 000 tn/mes de cal viva dolomítica.

4.1 INSTALACIONES DISPONIBLES

La empresa dispone al momento de dos hornos verticales de carga mixta que han sido apagados al momento de poner en marcha un nuevo horno de última tecnología.

Para completar el proceso de producción la empresa resolvió construir una planta de clasificación y trituración debajo de los hornos que permita despachar el producto final.

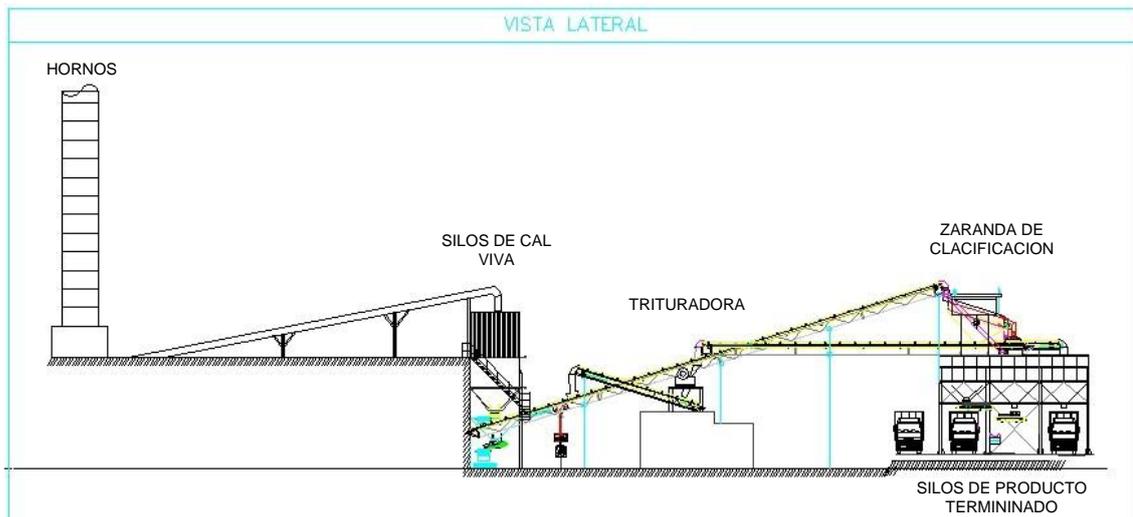


Figura 4-1: Vista lateral de la planta de procesamiento de cal dolomítica actual.

En la Figura 4-1 podemos ver un detalle de la planta. Esta consta de una cinta de transporte desde los hornos a los silos de cal viva dolomítica. Existen cinco silos de cal viva cada uno con una capacidad de 120 Tn de cal viva dolomítica. En la base de estos silos hay una cinta colectora que se une con la cinta que lleva el material hasta la zaranda de clasificación. Estos silos pueden ser llenados desde la cinta de descarga de los hornos o por camiones volcadores de forma directa, de esta forma se puede recibir cal viva dolomítica de terceros.

Debajo de los cinco silos de cal viva hay una cinta colectora que recibe el producto de los mismos, esta descarga sobre otra cinta que transporta el material hasta la zaranda de clasificación. La zaranda es de dos paños es decir que puede separar 3 fracciones granulométricas. El paño superior tiene una abertura de 38 mm y el inferior de 12 mm. La fracción superior a 38 mm es descargada sobre una cinta que la transporta hasta la trituradora a mandíbulas y

de esta de nuevo a la cinta que de que alimenta la zaranda y vuelve a clasificarse.

Debajo de la zaranda existe otra planta de cuatro silos, estos tienen una capacidad de 50 Tn cada uno. La fracción intermedia de zaranda, que es el producto terminado, es volcada en tres de estos silos según el grado de llenado de cada uno. La fracción fina que no es útil para la venta en el cuarto silo.

4.2 ABASTECIMIENTO DE CAL DOLOMÍTICA

Estos hornos tienen una capacidad de 40 Tn/día cada uno, por lo tanto una capacidad mensual de 2400 Tn. Si consideramos que actualmente se genera un 40% de producto fuera de especificación esto da una capacidad de producto dentro de especificación de 1 440 Tn/mes, es decir el 24% de sus necesidades. Para cubrir el faltante se decide comprar la cal viva a pequeños productores de la zona.

4.2.1 PEQUEÑOS PRODUCTORES

Históricamente los pequeños productores disponen de pequeños hornos criollos. Estos hornos son en realidad perforaciones verticales paralelas a algún acantilado de la montaña que son descargados mediante una perforación horizontal al pie del acantilado que se une con la anterior. Son siempre construidos sobre formaciones de caliza de forma que las paredes del horno son del mismo material que se está calcinando y por lo tanto se calcinan también. Como resultado estos hornos tienen en general corta vida útil ya que su diámetro va aumentando a medida que se usan.

Hoy en día la mayoría de estos productores han recubierto las paredes interiores de los hornos con ladrillos refractarios y logran de esta manera una mejor calcinación. Además han sumado ventiladores a los hornos que fuerzan el ingreso de aire. Logran así calidades de calcinación muy similares a la de los hornos verticales modernos de ladrillos refractarios recubiertos por acero.

El problema de estos productores es son empresas en general informales, muchas veces operados por sus propios dueños, con bajos niveles de profesionalismo, sin estructura y suelen tener problemas de flujo de caja. Por lo tanto bajar la dependencia de este tipo de proveedores es esencial para lograr sustentabilidad en el negocio a largo plazo.

La cal viva entregada por estos proveedores tiene un nivel de finos (material por debajo de los 12mm) similar al de la cal producida por CALDOL. Por lo tanto para cumplir con el objetivo de 6000 Tn mensuales la empresa necesita 10 000 Tn de cal viva dolomítica.

Con las características de producción actuales la dependencia de estos proveedores es del 76%.

El costo de la cal viva dolomítica de producción propia es de 145 \$/Tn, mientras que el costo de la comprada a terceros y transportada a la planta es de 170\$/Tn. Resultando un costo promedio ponderado de 164 \$/Tn.

4.3 TRATAMIENTO DE LOS FINOS

Con el sistema actual se generan 4000 Tn de producto fuera de especificación al mes.

4.3.1 HIDRATACIÓN

Como vimos previamente la cal viva dolomítica está compuesta básicamente de óxidos de calcio y magnesio. El óxido de calcio reacciona con agua generando hidróxido, esta reacción es exotérmica y espontánea en condiciones normales de presión y temperatura. Esta característica es la que permite producir cales aéreas hidratadas que consume el mercado de la construcción

El óxido de magnesio también reacciona con agua dando hidróxido pero esta reacción si bien es exotérmica no es espontánea en condiciones normales. Por lo tanto la cal viva dolomítica no puede ser hidratada en los hidratadores atmosféricos normalmente utilizados en la industria.

El resultado de procesar este tipo de cales en hidratadores atmosféricos es la hidratación de la fracción de óxidos de calcio pero los óxidos de magnesio atraviesan el proceso sin sufrir transformaciones. El problema es que tampoco se comportan como un inerte puesto que la hidratación puede darse lentamente en etapas futuras. Esto es un problema porque en el proceso de hidratación las moléculas se expanden. En la construcción este problema se conoce como "popping" y se da cuando se usan cales mal hidratadas.

Esto hace que los finos de dolomita no puedan ser utilizados para producir cales hidratadas para la construcción de alta calidad. De todas formas existe un mercado de cales de menor calidad. Se suelen vender los finos a otros productores más chicos que fabrican cales de baja calidad. El precio de venta de estos finos es de 80 \$/Tn, debido a la baja calidad de esta materia prima para producir cales para la construcción.

Existen además limitantes para la demanda que depende del tamaño del mercado de cales de baja calidad para la construcción. Además del problema de bastardear el mercado con cales de baja calidad y costo. Esto no es conveniente para las empresas que participan de ambos mercados.

4.3.2 DISPOSICIÓN FINAL

La cal viva tiene una vida útil limitada, puesto que reacciona con la humedad del aire. La cal viva parcialmente hidratada ya no puede ser ingresada en los procesos industriales de hidratación.

En general los finos son almacenados al piso y a la intemperie puesto que su bajo valor no amerita la construcción de silos para su almacenamiento. Además existen los problemas financieros de los potenciales clientes. Por estas razones muchas veces los finos quedan inutilizados antes de poder ser vendidos. En estos casos las empresas suelen darle disposición final en escombreras en las cercanías de las canteras generando un enorme pasivo ambiental y haciendo un uso ineficiente de los recursos naturales.

4.4 COSTO DE LA CAL VIVA DOLOMITICA PARA LA SIDERURGIA

Para el análisis se va a considerar que el 100% de los finos generados son vendidos para la producción de cales hidratadas para la construcción.

En este caso del 40% de finos generados se recuperan 80 \$/Tn de los 164 \$/Tn promedio de costo.

Es decir que para producir una tonelada de producto para la siderurgia son necesarias 1,67 Tn de cal viva dolomítica a un costo de 164 \$/tn, de las cuales 0,67 son vendidas a 80 \$/Tn y la tonelada restante es apta para la siderurgia. Esto resulta en un costo de 220,00 \$/Tn de producto final.

En este análisis no están incluidos los costos de despacho, administración y comercialización ya que no hacen ni al problema ni a la solución propuesta y solo se pretende analizar el ahorro generado a partir de la solución propuesta.

5 SOLUCION PROPUESTA

Como solución se propone el compactado de los finos en forma de pequeñas briquetas que cumplan con los requisitos granulométricos del mercado. Este briqueteado es práctica común en otros países como Estados Unidos o Canadá pero aún nadie la utiliza en la Argentina.

Al briquetear los finos se puede utilizar el 100% de la cal viva ya que la fracción fuera de especificación vuelve a ingresar al proceso compactada y por lo tanto puede conserva su valor.

5.1 BRIQUETEADORA

Se realizaron pruebas de briqueteado en las instalaciones del proveedor del equipo, el resultado puede verse en la Figura 5-1. Las dolomita puede compactarse sin necesidad de incorporar ningún aditivo aglomerante, pero de las pruebas realizadas surge la necesidad de agregar un aditivo que funciona como lubricante, ya que las briquetas suelen pegarse en las cavidades del rodillo compactador. El aditivo incorporado es estearato de calcio en una proporción del 0,25%.



Figura 5-1. Briquetas de cal viva dolomítica

Además comprobamos que para lograr generar las briquetas es necesario utilizar una granulometría inferior a 3 mm. Por lo tanto surge la necesidad de incorporar un molino a martillos para reducir la granulometría de los finos de dolomita de menor a 12 mm hasta menor a 3 mm.

5.1.1 DIMENSIONAMIENTO

La empresa se propone vender 6000 Tn/mes de cal viva dolomítica de 12 mm a 38 mm. Con una briqueteadora necesitara comprar la misma cantidad de materia prima. Un 40% ella será menor a 12 mm y por lo tanto es necesaria una capacidad de briqueteado de 2400 Tn/mes. Es decir que a un promedio de 24 días/mes, son 100 Tn/día. Como los hornos funcionan en forma continua la planta funciona las 24 horas pero considerando la posibilidad de crecer en el mercado utilizaremos en principio 2 turnos diarios de briqueteado, con lo cual la capacidad de producción debe ser de al menos 6,25 Tn/hr.

5.1.2 INSTALACIÓN

La instalación completa requiere de un molino a martillos un mezclador bach para generar una mezcla homogénea del aditivo y los finos molidos un silo de producto en condiciones de ser briqueteado y la briqueteadora en sí.

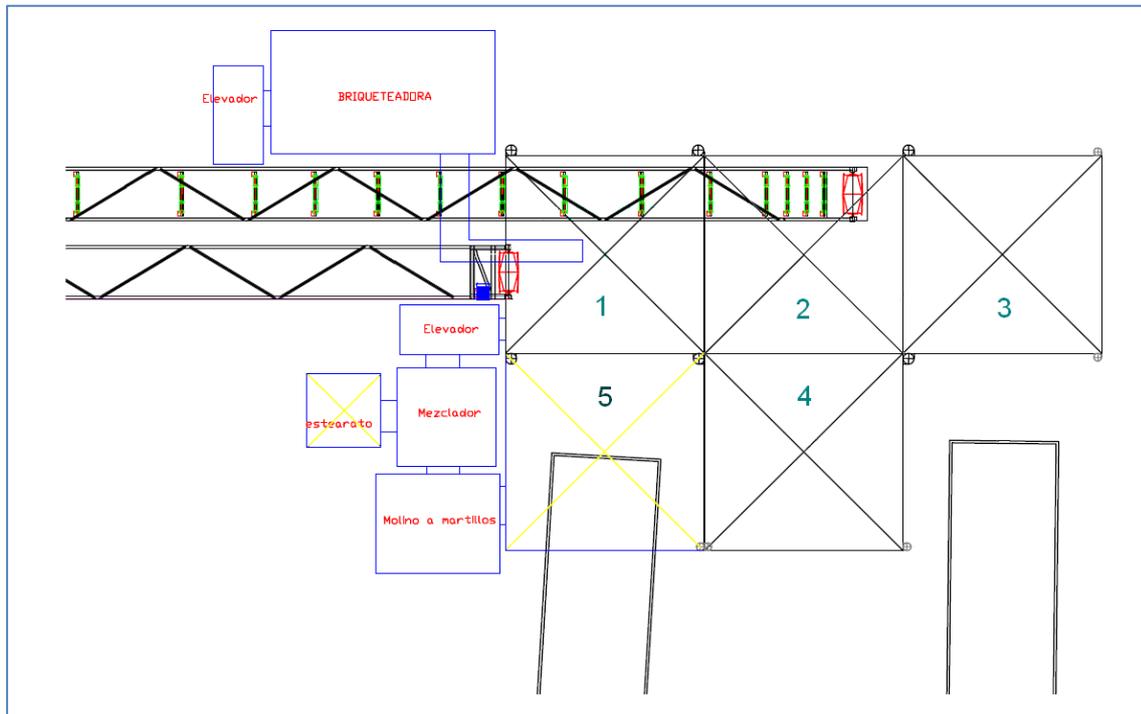


Figura 5-2. Vista aérea de la planta de briqueteado

En la Figura 5-2 se puede ver un esquema de la planta de silos de producto terminado. Sobre el silo 2 está la zaranda de clasificación. En los silos 2, 3 y 4 se almacena el producto final. El silo 1 recibe los finos, la propuesta incluye modificar las caídas de la zaranda para derivar los finos hacia un nuevo silo 5.

De allí el producto pasa por un molino a martillos con grillas que asegura la molienda a una granulometría inferior a 3 mm. Luego ingresa a un mezclador donde se agrega el aditivo y se realiza la mezcla que es elevada hacia el silo 1. Este silo alimenta directamente la briqueteadora y las briquetas son elevadas hacia la cinta de alimentación de la zaranda para incorporarse al resto de la cal viva a ser procesada y pasan por la zaranda de clasificación terminado en la fracción útil y derivadas a los silos de producto terminado.

5.1.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Se pidió presupuesto a dos fabricantes de briqueteadoras, una empresa alemana Koppert y una estadounidense Komarek. Ambas empresas presentaron referencias de equipos instalados en caleras alrededor del mundo. Ambas presupuestaron equipos de 8 Tn/hr de producción que cubren las necesidades de la empresa. El presupuesto de Komarek es sustancialmente menor además tener un representante en la argentina donde se hicieron las pruebas de briquetado, por lo tanto se decidió por este proveedor

5.1.4 INVERSIÓN

Las estimaciones del departamento de ingeniería de la empresa dan una inversión total de la maquina instalada de \$ 1 666 400, el detalle de las inversiones puede verse en la Tabla 5-1.

	\$
Base Silo	7.000
Silo de finos	70.000
Alimentador	10.000
Base Molino	13.000
Molino a martillos	120.000
Mixer y tolva de aditivo	90.000
Elevador	50.000
Alimentador briqueteadora	15.000
Base Briqueteadora	20.000
Briqueteadora	1.151.400
Elevador	50.000
Instalación Eléctrica	70.000
Total	1.666.400

Tabla 5-1. Detalle de estimación del costo de instalar la briqueteadora

5.1.5 COSTOS DEL PRODUCTO FINAL INCLUYENDO BRIQUETEADO

La nueva instalación no necesita de nueva mano de obra ya que el equipo puede ser operado por el mismo operario que opera el resto de la planta de clasificación.

La potencia instalada total de la nueva inversión sería de 131 Kw, se estima un factor de utilización de la potencia del 60%. Lo que resulta en 78 Kw. A una

capacidad de 8 Tn/h da 9,75 kw/Tn y a un costo de 0,29 \$/Kw representa 2,83 \$/Tn.

El estearato tiene que agregarse en una proporción del 0,25% del producto briqueteado. El estearato tiene un costo de 12 \$/Kg. Es decir que al agregar 2,5 Kg/Tn estamos sumando 30 \$/Tn al costo del producto briqueteado.

También se generarían gastos de mantenimiento de las nuevas instalaciones, en función de la experiencia de la empresa y los datos aportados por el proveedor del equipo se estimas en 6,92 \$/Tn.

Por lo tanto al producto briqueteado hay que sumarle 39,75 \$/Tn briqueteada, pero solo es necesario briquetear el 40%, con lo cual sobre el total de producto despachado hay que sumar 15,9 \$/Tn.

Al trabajar de esta manera la empresa mejora sustancialmente la dependencia de los pequeños productores de cal viva de la zona, ya que al utilizar el 100% de la cal viva, las 2400 Tn de producción propia pasan a ser el 40% de las necesidades totales en vez del 24%. Esto a su vez tiene un impacto en los costos ya que la cal viva de producción propia tiene menores costos. Con estas condiciones el promedio ponderado de la cal viva necesaria pasa de 164 \$/Tn a 160 \$/Tn.

Por lo tanto el costo del producto final es de 175,9 \$/Tn en vez de los 220,00 \$/Tn de la situación actual, logrando un ahorro de 44,10 \$/Tn que representan más del 20%.

En los análisis de costos no se tomó en cuenta el costo de operación de la planta de calcificación, es si porque sería el mismo en los dos escenarios y por lo tanto no afecta el ahorro generado.

5.1.6 COSTO DEL CAPITAL

Para la realizar la inversión suponemos que la empresa accede a un préstamo dentro del marco del Fondo del Bicentenario a una tasa del 9,75% anual y con sistema de amortización francés. Por lo tanto se considera como un costo fijo el pago mensual de los intereses del préstamo.

5.1.7 PERIODO DE REPAGO

La inversión total es de 1 666 400 \$, los ingresos mensuales surgen de multiplicar el ahorro de 44,10 \$/Tn por 6000 Tn y restar el costo del capital en cada mes. A partir de estos datos se calcula el periodo de prepago en 6,62 meses.

5.1.8 VALOR ACTUAL

El ahorro mensual generado es de 266 280 \$/mes menos el costo del capital. Si consideramos una tasa de descuento de 10% anual, un periodo de funcionamiento de 5 años y restamos la inversión inicial el VAN asciende a \$ 10 547 190.

5.1.9 TASA INTERNA DE RETORNO

En este escenario la TIR del proyecto es de 615,8%

5.1.10 SENSIBILIDAD AL VOLUMEN DE VENTAS

El análisis anterior está calculado para el escenario donde la empresa consigue su objetivo de penetración del mercado del 20%. En la Tabla 5-2 se repite el análisis para distintos niveles de ventas.

Ventas	Tn	2400	3000	4500	6000	7500	9600
Periodo de Repago	meses	17,76	13,89	8,98	6,62	5,25	4,06
VAN 10%	mill.	\$ 3,00	\$ 4,26	\$ 7,40	\$ 10,55	\$ 13,69	\$ 18,09
TIR	%	97,9%	144,7%	314,6%	615,8%	1169,0%	2874,2%

Tabla 5-2. Sensibilidad al volumen de ventas del proyecto

El análisis de sensibilidad se plantea a partir de la situación actual y considerando una merma en los niveles actuales de ventas del 20%. El máximo nivel de ventas se plantea en la máxima capacidad de la briqueteadora de 8 Tn/h en con una disponibilidad operativa del 83,3% en 24 días al mes.

6 CONCLUSION

CALDOL tiene todavía menos de dos años en un nuevo mercado de cales industriales y por lo tanto se encuentra aun ajustando sus procesos productivos para cumplir con las especificaciones del mismo.

En este contexto no es extraño encontrar proyectos de generen grandes ahorros. CALDOL ingresó en el mercado con un enorme desconocimiento del mismo lo cual provoco enormes costos asociados a ineficiencias. A medida que se consolide como proveedor de cales industriales seguramente podrá lograr economías y sinergias entre los distintos mercados de los que participa.

El mercado de la cal dolomítica para la industria siderurgia no escapa esta coyuntura. Hoy CALDOL todavía participa de este mercado con costos que seguramente pueden ser optimizados. En este trabajo se plantea una mejora sustancial a los costos actuales modificando el proceso para no generar subproductos de menor valor y de esta manera aumentar el margen sobre la materia prima comprada.

El análisis de sensibilidad demuestra que para un amplio rango de posibles volúmenes de ventas el proyecto es altamente redituable. Incluso disminuyendo el volumen actual en un 20% el proyecto arroja resultados positivos. Por lo tanto la solución planteada se considera válida y se recomienda a CALDOL la modificación del sistema productivo actual para adaptarlo al propuesto.

7 BIBLIOGRAFÍA

Boynton, R. S. (1980). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone* (Segunda ed.). Chincoteague, Virginia: John Wiley & Sons, INC.

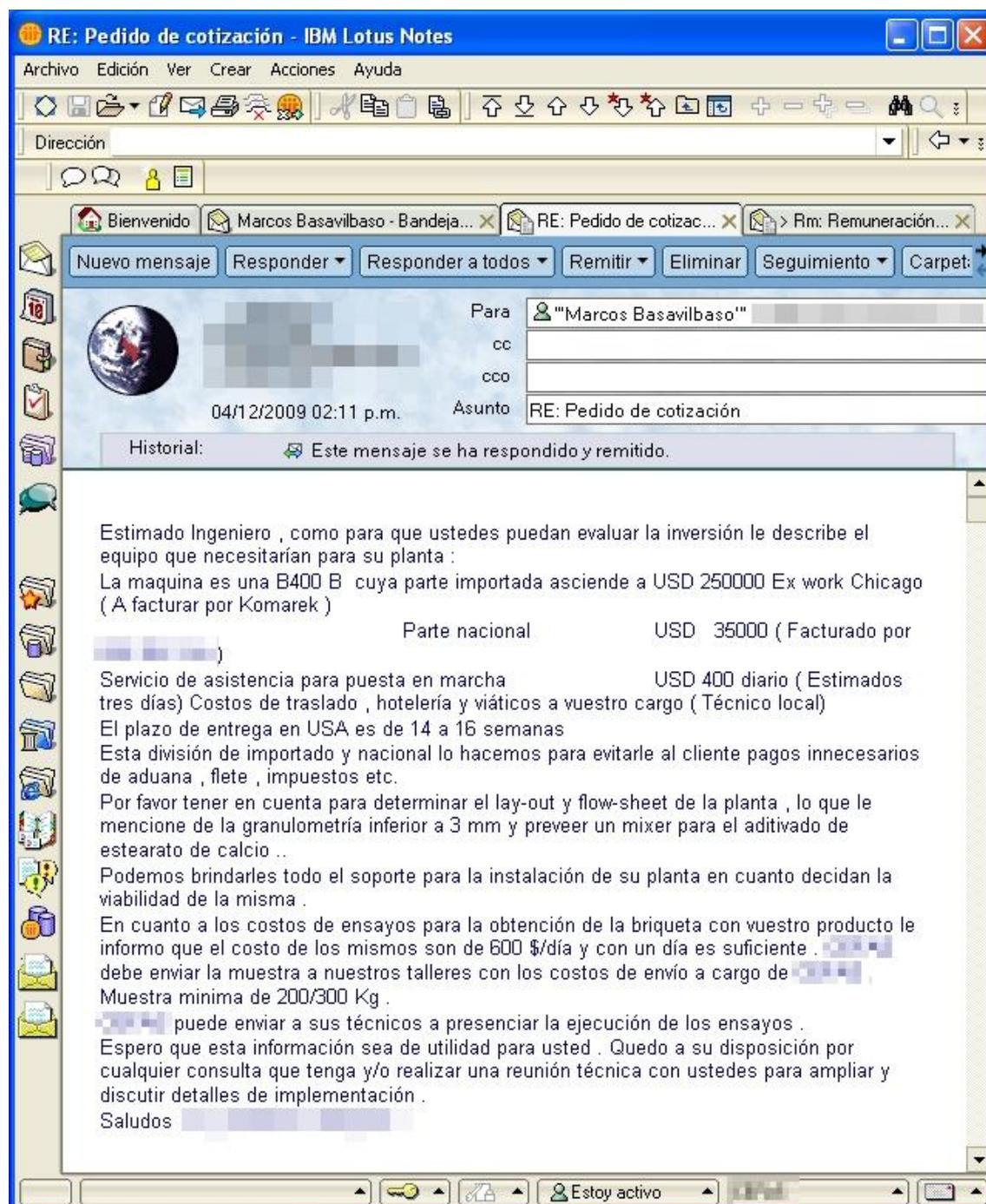
Camara Argentina del Acero. (s.f.). *Producción Argentina de Acero. Historica*. Recuperado el 5 de Marzo de 2011, de http://www.cisider.org.ar/index.php?option=com_remository&Itemid=27&func=startdown&id=453

Oates, J. A. (1998). *Lime and Limestone: chemistry and technology, production and uses*. Buxton, Derbyshire, England: WILEY-VCH.

World Steel Association. (s.f.). *Search statistics archive*. Recuperado el 5 de marzo de 2011, de http://www.worldsteel.org/?action=stats_search&keuze=steel&country=45&from=2003&to=2010

8 ANEXOS

8.1 COTIZACIÓN KOMAREK



K. R. Komarek, Inc.
 548 Clayton Ct.
 Wood Dale, IL 60191 US
 Phone: 847-956-0060
 Fax: 847-956-0157
 Toll-free: 888-856-4854
 Email: info@komarek.com
 Website: <http://www.komarek.com>

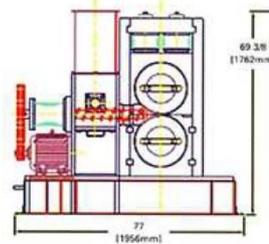
All Categories > "B" Models: High Pressure Briquetting & Compacting Machines > Model B400B- Briquetting & Compacting Roll Press > Item # B400B

Item # B400B Model B400B- Briquetting & Compacting Roll Press

- A Rugged machine designed specifically for briquetting operations requiring high pressures combined with ease of roll change.
- Typical applications include inorganic chemicals such as quick lime (CaO) and metal powders.
- Roll Diameter: 18 inches
- Roll Width: 6 inches
- Throughput Range: 3-10 tons/hr



[larger image](#)



[larger image](#)

[Specifications - Capabilities](#)

Specifications

Roll Diameter	460 mm 18 in
Roll Width	150 mm 6 in
Maximum Roll Separating Force	120 ton-force 1067 kN
Roll Drive (typical)	100 hp 75 kW
Feeder Drive (typical)	11 kW 15 hp

Throughput	3 - 10 t/h 3 - 9 mt/h
Machine Weight (typical)	26,000 lb 12,000 kg

Capabilities

Features	<ul style="list-style-type: none">• Cantilevered roll design for easy roll replacement• Horizontal feed design provides more versatile and precise feed into the rolls• Pockets are available with different shapes and sizes• Vacuum de-aeration available for fine powder applications• Variable speed roll and screw feeder drives to maximize product quality• Rolls and feed screws are available in wear & corrosion resistant alloys• Rugged industrial frame construction• Heavy duty long lasting bearings and drive components• Designed for ease of maintenance
-----------------	--

[Print](#) [Back](#)

8.2 COTIZACIÓN KOPPERN



3 EQUIPMENT DATA AND SCOPE OF SUPPLY

3.1 1 Roller Press Type 52/7.5-ST 300 DG1S

Technical Data:

gross capacity		11	t/h
diameter of press rollers		750	mm
working width of press rollers		300	mm
nominal roller speed		13	rpm
speed range		8 - 14	rpm
specific pressing force		77	kN/cm
total pressing force		2310	kN
power requirement of the roller press			
at nominal speed		114	kW
at max. speed		123	kW
recommended motor		160	kW
material feeding system	single screw feeder		
speed variable			
power requirement	max.	12,6	kW
recommended motor		22	kW

Weights

heaviest single weight		7,200	kg
net weight of the press	max.	23,000	kg



3.2 1 refurbished Roller Press Type 40/5-ST 170 DG1S

Technical Data:

year of construction		1995
gross capacity	nom.	3,7 t/h
diameter of press rollers		500 mm
working width of press rollers		170 mm
nominal roller speed		12 rpm
speed range		6-12 rpm
specific pressing force	nom.	65 kN/cm
total pressing force	nom.	1105 kN
power requirement of the roller press		
at nominal speed		41 kW
at max. speed		43 kW
existing motor/vfd		45 kW
material feeding system	single screw feeder	
speed variable		
existing motor/vfd		11 kW

Weights

heaviest single weight		3,500 kg
net weight of the press	max.	10,000 kg



7 COMMERCIAL PART

Budget prices

1 (one) Roller Press, Type 52/7.5-ST 300 DG1S as described in chapter 3.1	€	480,000.—
Motors and Frequency Converters for Roller Press Type 52/7,5 as described in chapter 4	€	41,300.--
Electrical Equipment for Roller Press Type 52/7,5 as described in chapter 4	€	80,700.--
Seaworthy Packing and Freight FOB North Sea Port - not containerized - for mechanical equipment Budget Price	€	14,200.—

ALTERNATIVELY:

1 (one) Second Hand Roller Press, Type 40/5-ST 170 DG1S as described in chapter 3.2	€	110,000.—
Frequency Converters for Roller Press Type 40/5 as described in chapter 4	€	15,000.--
Electrical Equipment for Roller Press Type 40/5 as described in chapter 4	€	60,800.--
Seaworthy Packing and Freight FOB North Sea Port - not containerized - for mechanical equipment Budget Price	€	7,400.--

Taxes

We shall pay all licences, taxes, and duties which might be levied by the German authorities.

Excluded of our price(s) are all import duties as well as taxes such as Corporation and Business Taxes, Income Taxes, stamp duties, and any other taxes that might be levied by the authorities of the importing country.

8.3 TEST DE BRIQUETEADO

	TEST REPORT FOR PILOT BRIQUETTING PLANT	Planilla: DES-R-003 Rev. 0 Fecha: 14/11/07
		Fecha: 22/12/09 Protocolo N°: 022
	RESEARCH DEPARTMENT	Client: ████████

1. INTRODUCCION

El propósito de este test es la conformación de briquetas de los siguientes materiales :

- YESO
- CAL DOLOMITICA 0/3 mm
- CAL DOLOMITICA DEBAJO DE MALLA 100
- CAL CALCICA 0/3 mm
- CAL CALCICA DEBAJO MALLA 100

Todos los productos enviados por ████████

Se realizaron varios test con utilización de aditivos , sin el y con distinta granulometrías . Todos ellos en presencia de personal de ████████ y realizados el día 22/12/09

Las muestras preparadas fueron ensayadas en la maquina KOMAREK modelo B220B en los talleres de ████████ de Villa Gobernador Galvez .

Personal de ████████ presente : Marcos Basavilbaso

2. EQUIPMENT CHARACTERISTICS

K. R. Komarek model B220B roller presses were used in all trials. Fig.1 shows the cross section of the machine pressing system. Material from the feed hopper (10) is supplied into the roll nip with a horizontal screw (5), driven by a variable speed drive unit. A paddle mixer (9) is utilized to agitate material into the horizontal screw at the feed inlet.

████████████████████
 ████████

Customer name: ■■■■ Test Number 022

Date: Diciembre 23 de 2009

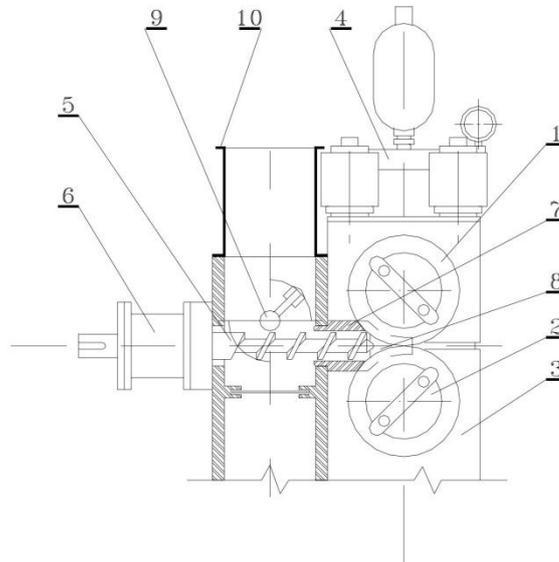


Fig.1. Roll Press Assembly - Cross Section of Pressing System.

- 1- Roll, 2- Roll Shaft, 3- Bearing Block, 4- Supporting Hydraulic System, 5- Screw Feeder,
6- Screw Feeder Bearing Block, 7- Feed Adapter, 8- Cheek Plate, 9- Paddle Mixer,
10- Feed Hopper.

The material is then compacted between two rolls (1) which are cantilevered on the ends of shafts (2) outside the bearing blocks (3). A fully adjustable hydraulic system provides the force holding the rolls together. This force is equal in magnitude to the roll separating force generated by the compacted material in roll nip. A gas filled accumulator in the hydraulic system acts as a pressured reservoir and accumulator pre-charge pressure determines the hydraulic system stiffness.

Other equipment used during the trials:

- Gilson Testing Sieve Shaker
- Kretz Electronic weighing system
- Mixer
- Hardness measure

■■■■■
■■■■■

2

Customer name: [REDACTED] Test Number 022

Date: Diciembre 23 de 2009

3. PROCEDIMIENTO Y CARACTERISTICAS DE LOS TEST

Muestra 1 : el propósito primario es transformar el producto recibido, YESO , en una briqueta con las características mecánicas necesarias para ser utilizada en control de PH de suelos . Asi mismo se converso sobre la posibilidad de hacer granulado con el mismo , a lo que hemos manifestado su factibilidad

Este ensayo se realizo sin aditivos . Se realizan ensayos de dureza y Shartest ,(arrojando la briqueta desde una altura de 2 mts).

Siendo el peso de la briqueta obtenida de 12,5 gr y su carga de rotura de 18 kg/cm2

La maquina fue operada bajo las siguientes condiciones

Velocidad del rodillo : 3 RPM

Velocidad del tornillo : 196 RPM

Presion : 2700 psi

Resultado : BUENO

Muestra 2 : el propósito primario es transformar el producto recibido CAL CALCICA 0/3 mm , en una briqueta con las características mecánicas necesarias para ser parte de la carga de un horno eléctrico de acería .Para realizar este ensayo y basado en Para realizar este ensayo y basado en experiencias anteriores se procedió al aditivado de 0,25% de estearato de calcio (Puede ser de magnesio).ya que la cal tiende a pegarse a los moldes de los rodillos Se realizan ensayos de dureza y Shartest .

Siendo el peso de la briqueta obtenida de 11,5 gr y su carga de rotura de 17 kg/cm2 .

Velocidad del rodillo : 3 RPM

Velocidad del tornillo : 126 RPM

Presión : 2700 psi

Resultado : BUENO

Muestra 3 : Para realizar este ensayo se procedió a utilizar el material CAL DOLOMITICA 0/3 mm Este ensayo se realizo con aditivado de 0,25% de estearato de calcio (Puede ser de magnesio). Se realizan ensayos de dureza y Shartest ..

Siendo el peso de la briqueta obtenida de 12 gr y su carga de rotura de 18 kg/cm2 .

Velocidad del rodillo : 3 RPM

Velocidad del tornillo : 126 RPM

Presión : 2700 psi

Resultado : BUENO

Muestra 4 : Para realizar este ensayo se procedió a utilizar el material CAL DOLOMITICA 100% debajo malla 100

Este ensayo se realizo con aditivado de 0,25% de estearato de calcio (Puede ser de magnesio). Se realizan ensayos de dureza y Shartest ..

Siendo el peso de la briqueta obtenida de 11,5 gr y su carga de rotura de 18 kg/cm2 .

Velocidad del rodillo : 3 RPM

Velocidad del tornillo : 175 RPM

Presión : 2700 psi

Resultado : BUENO

[REDACTED]
[REDACTED]

Customer name [REDACTED] Test Number 022

Date: Diciembre 23 de 2009

Muestra 5 : Para realizar este ensayo se procedió a utilizar el material CAL CALCICA 100% debajo malla 100
 Este ensayo se realizo con aditivado de 0,25% de estearato de calcio (Puede ser de magnesio). Se realizan ensayos de dureza y Shartest ..
 Siendo el peso de la briqueta obtenida de 11, gr y su carga de rotura de 17 kg/cm2 .
 Velocidad del rodillo : 3 RPM
 Velocidad del tornillo : 203 RPM
 Presión : 2700 psi
 Resultado : BUENO

TABLE NO. 1
 ROLL PRESS SET UP, TEST CONDITIONS AND PROCESS
 CHARACTERISTICS - SI UNITS

	RUN NO.1	RUN NO.2	RUN NO.3	RUN NO.4.	RUN NO 5
TESTED MATERIAL	BATCH 1	BATCH 2	BATCH 3	BATCH 4	BATCH 5
FEED MATERIAL BULK DENSITY [g/cm ³]					
MACHINE MODEL	B-220B	B-220B	B-220B	B-220B	B-220B
ROLLS PART NO.	B 292-2	B 292-2	B 292-2	B 292-2	B 292-2
ROLL DIAMETER [mm]	304,6	304,6	304,6	304,6	304,6
NO. OF POCKETS	44	44	44	44	44
NO. OF ROWS	1	1	1	1	1
ROLL FACE WIDTH [mm]	38	38	38	38	38
ROLL SPEED [rev/min]	3	3	3	3	3
FEED SCREW PART NO.					
FEED SCREW OUTSIDE DIA. [mm]	34	34	34	34	34
FEED SCREW SPEED [rev/min]	196	126	126	175	203
PRESSURE IN HYDRAULIC SYS (PSI)	2700	2700	2700	2700	2700
INITIAL ACCUMULATOR PRESSURE (PSI)	2100	2100	2100	2100	2100
INITIAL ROLL GAP [mm]	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
WEB THICKNESS [mm]	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
MEASURED THROUGHPUT [t/h]					
BRIQUET TEMPERATURE [DEG.C]	NOT MEAS	NOT MEAS	NOT MEAS	NOT MEAS	NOT MEAS
BRIQUET WEIGHT [g]	12,5	11,5	11,5	11,5	11,7

Marcos Basavilbaso
 Pagina 44

4

Customer name: [REDACTED] Test Number 022

Date: Diciembre 23 de 2009

CONCLUSIONES

Todos los productos son compactables . Se puede observar que para las cales molidas por debajo de malla 100 (muestras 4 y 5) la velocidad del tornillo de precompactacion es mayor que en las muestras 2 y 3 . Esto nos indica que es conveniente trabajar compactando cales con una granulometría debajo de 3 mm . En los casos de las cales se recomienda el uso de estearato el cual previene el pegado del material en los rodillos como asi también reduce desgastes . Con respecto al yeso , si el producto final será granulado se recomienda no compactar en forma de briqueta sino hacerlo en forma de bastón (personal de [REDACTED] visualizo el rodillo) El cliente deberá indicar la capacidad de producción que necesita , para cada caso , para dimensionar el equipamiento adecuado .



Marcos Basavilbaso
Págs 14