UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"COMPARACION TECNICO-ECONOMICA DE DOS TECNOLOGIAS DE CALCINACION DE PIEDRA CALIZA PARA OBTENER CAL HIDRATADA, PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

FRANCISCO GUTIERREZ PEREZ

MEXICO, D.F. 2004

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente Prof. ROJO Y DE REGIL EDUARDO

Vocal Prof. ORNELAS TABARES JORGE

Secretario Prof. PEREZ SANTANA ERNESTO

Suplente 1 Prof. HUERTA CERDAN ANTONIO

Suplente 2 Prof. LOPEZ RAMIREZ LAZARO ALEJANDRO

México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.

Asesor: ROJO Y DE REGIL EDUARDO.

Sustentante: GUTIERREZ PEREZ FRANCISCO.

ÍNDICE DE CAPITULOS.

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I
CARACTERISTICAS DE LA PIEDRA CALIZA
1.1 PANORAMA GENERAL DE LA PIEDRA CALIZA EN MÉXICO 12
1.2 CARBONATOS CRISTALOGRAFÍA 31
1.3 ROCAS SEDIMENTARIAS 43
1.4 METODOS DE EXPLOTACIÓN MINERA 51
1.5 CLASISFICACIÓN DE HIDROXIDO O CAL APAGADA 54

CAPÍTULO II
OBTENCIÓN DE CaO A PARTIR DE $CaCO_3$
II.1 REACCIONES DE CALCINACIÓN 59
II.2 BALANCE DE MATERIA 59
II.3 TIEMPOS DE CALCINACIÓN 61
II.4 TIPOS DE COMBUSTIBLE 62
II.5 PODER CALORÍFICO DE COMBUSTIBLES TÍPICOS 65
II.6 CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR TONELADA DE CAL VIVA 71

CAPÍTULO III
DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA CIMPROGETTI
III.1 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS 72
III.2 EFICIENCIA DE $CaCO_3$ POR TON Y DE CaO POR TON 77
III.3 COSTO DE INVERSION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO 77
III.4 COSTO DE OPERACION DE CaO POR TONELADA 79
III.5 DEPRECIACION DE CaO POR TONELADA 81

CAPÍTULO IV
DESCRIPCION DE LA TECNOLOGIA KRUPP POLYSIUS
IV.1 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS 82
IV.2 EFICIENCIA DE $CaCO_3$ POR TON Y DE CaO POR TON 86
IV.3 COSTO DE INVERSION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO 86
IV.4 COSTO DE OPERACION DE CaO POR TONELADA 88
IV.5 DEPRECIACION DE CaO POR TONELADA 90

CAPÍTULO V
EVALUACION COMPARATIVA DE LAS TECNOLOGIAS CIMPROGETTI
Y KRUPP POLYSIUS
V.1 EVALUACION EN IGUALDAD DE CAPACIDADES 91
V.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE AMBAS TECNOLOGIAS 92
V.3 BALANCE ANUAL, RENDIMIENTO SOBRE LA INVERSION Y TIEMPO DE RECUPERACION 94

CAPÍTULO VI
HIDRATADOR Y ENSACADOR DE CAL
VI.1 EQUIPO COMPLEMENTARIO 95

VI.2 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS 96
VI.3 COSTO DE INVERSION Y PUESTA EN OPERACION DE EQUIPO 100
VI.4 DEPRECIACION DEL EQUIPO 101

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102

BIBLIOGRAFIA 105

APENDICES 107

APENDICES A: GLOSARIO DE TÉRMINOS 107

APENDICES B: FACTOR DE SALARIO INTEGRADO,
E INFORMACION FINANCIERA 115

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1 Vista aérea de una mina a cielo abierto.
Fig. 2 Modelo de núcleo decreciente.
Fig. 3 Equipo de hidratación vertical.
Fig. 4 Vista aérea de una planta de cal hidratada.
Fig. 5 Principales Estados productores de piedra caliza en la Republica Mexicana.
Fig. 6 Principales derivados de la caliza.
Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso de obtención de cal hidratada.
Fig. 8 Diagrama de flujo del proceso de producción de carbonato de calcio.
Fig. 9 Estructura de la calcita.
Fig. 10 Cristales de calcita.
Fig. 11 Cristales de calcita maclados.
Fig. 12 Sistema $CaCO_3 - MgCO_3 - FeO - (CO_2)$.
Fig. 13 Sistema $MgCO_3 - FeCO_3 - MnCO_3$.
Fig. 14 Sistema $CaCO_3 - MgCO_3$.
Fig. 15 Solución sólida $CaMn(CO_3) - CaFe(CO_3)_2$.
Fig. 16 Rocas sedimentarias quimicas.
Fig. 17 Colección de rocas sedimentarias quimicas carbonatadas.
Fig. 18 Caliza microcristalina.
Fig. 19 Caliza macrocristalina.
Fig. 20 Caliza fosilifera.
Fig. 21 Caliza recifal.
Fig, 22 Dolomia.
Fig. 23 Caliza tobaceo.
Fig. 24 Caliza oncolitica.
Fig. 25 Caliza oolitica.
Fig. 26 Calcreta.
Fig. 27 Raiz calcificada.
Fig. 28 Coral fosil.
Fig. 29 Marga masiva.
Fig. 30 Marga laminada.
Fig. 31 Caliza margoza.
Fig. 32 Extracción de piedra caliza.
Fig. 33 Voladura en mina a cielo abierto.
Fig. 34 Horno vertical de doble cuba Cimprogetti.
Fig. 35 Tiempo de inversión.
Fig. 36 Combustión en la cuba # 1.
Fig. 37 Combustión en la cuba # 2.
Fig. 38 Diagrama de flujo del horno Cimprogetti.
Fig. 39 Horno vertical Polysius.
Fig. 40 Esquema estructural del horno Polysuius.
Fig. 41 Hidratador vertical.
Fig. 42 Hidratador horizontal.
Fig. 43 Hidratadores horizontales húmedos.

Fig. 44 Ensacadora rotatoria y estática.
Fig. 45 Ensacadora vertical y horizontal.
Fig. 46 Panel de control de proceso.

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla. 1 Características físicas de cal viva y cal hidratada.
Tabla. 2 Propiedades físicas de carbonato de calcio.
Tabla. 3 Desgravación arancelaria de la caliza a 2000.
Tabla. 4 Desgravación arancelaria de la cal a 2000.
Tabal. 5 Estadísticas de cal en EUA, (periodo 1993 – 1999).
Tabla. 6 Precios de cal en EUA, (periodo 1993 – 1999).
Tabla. 7 Cal hidratada tipo N.
Tabla. 8 Cal hidratada tipo M.
Tabla. 9 Cal tipo E.
Tabla. 10 Cal hidratada (especiales).
Tabla. 11 Composición química de la caliza.
Tabla. 12 Composición química de la cal.
Tabla. 13 Poder calorífico superior de combustibles típicos.
Tabla. 14 Rangos de poder calorífico para petróleo crudo.
Tabla. 15 Petróleo industrial 500.
Tabla. 16 Petróleo industrial # 6.
Tabla. 17 Diesel # 2.
Tabla. 18 Gas natural.
Tabla. 19 Poder calorífico inferior de sustancias combustibles.
Tabla. 20 Poder calorífico de combustión en estado gaseoso.
Tabla. 21 Poder calorífico de combustión en estado líquido.
Tabla. 22 Poder calorífico de sustancias combustibles.
Tabla. 23 Consumo calorífico para horno Cimprogetti y Krupp Polysius.
Tabla. 24 Porciento de eficiencia en $CaCO_3$ y CaO para el horno Cimprogetti.
Tabla. 25 Porciento de eficiencia en $CaCO_3$ y CaO para el horno Krupp Polysius.

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro. 1 Fracciones arancelarias de la caliza.
Cuadro. 2 Fracciones arancelarias de cal.
Cuadro. 3 Usos de la cal en EUA.
Cuadro. 4 Usos del carbonato de calcio.
Cuadro. 5 Fracciones arancelarias del carbonato de calcio.
Cuadro. 6 Reacciones de calcinación.
Cuadro. 7 Reacciones de hidratación.

ÍNDICE DE GRAFICOS.

Grafica. 1 Participación en porciento en la producción de cal por tipo (periodo 1995 – 1999).
Grafica. 2 Balanza comercial de la cal (periodo 1990 – 1999).
Grafica. 3 Exportaciones mexicanas de cal 1999 por fracción.
Grafica. 4 Exportaciones mexicanas de cal 1999 por país.
Grafica. 5 Importaciones mexicanas de cal 1999 por fracción.
Grafica. 6 Importaciones mexicanas de cal 1999 por país.
Grafica. 7 Balanza comercial del carbonato de calcio (periodo 1990 – 1999).
Grafica. 8 Exportaciones de carbonato de calcio 1999 por país.
Grafica. 9 Importaciones de carbonato de calcio 1999 por país.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo pretende identificar las posibilidades de mercado, técnicas y económicas en la producción de cal hidratada para la industria de la construcción, en la zona de Tula Hidalgo, específicamente en las inmediaciones del km. 2.3 de la carretera Conejos – Atotonilco llevando acabo una evaluación del proyecto.

El principal objetivo es demostrar que es posible invertir con resultados positivos en nuestro país aún en tiempos de crisis.

Determinar la mejor tecnología de calcinación entre la empresa Cimprogetti y Krupp Polisius.

Determinar las condiciones óptimas de operación de un horno para la producción de cal hidratada para la industria de la construcción.

Verificar el efecto de variar la composición de la materia prima de alimentación (% de $CaCO_3$ del mineral).

La idea del desarrollo de dicho proyecto surgió del conocimiento de una empresa similar que se ubicara en el estado de Querétaro.

Minería Estado de Hidalgo

La tradición minera de Hidalgo de casi 500 años ha producido el 6% de la producción mundial de plata.

Hoy en día, el Estado se mantiene como uno de los líderes en la extracción de metales como el oro, plata, cobre, plomo y zinc, y genera casi 100% de la producción de manganeso del país. Hidalgo también es un importante productor de minerales no ferrosos como el carbonato de calcio, carbón mineral, cantera, mármol, caolín, arcillas, fosforita, piedra caliza y minerales raros. Estos recursos minerales ofrecen grandes oportunidades para su explotación.

Adicionalmente el Estado de Hidalgo es el proveedor de cemento más importante del país produciendo más de 7.3 millones de toneladas anuales, lo cual representa más del 38% de la producción total de México. Existen 176 empresas en el sector minero de Hidalgo que generan más de 12,050 trabajos directos. El Estado de Hidalgo es conocido por tener una fuerza de trabajo bien capacitada y altamente calificada, lo que le permite exportar técnicos mineros al resto del país y al exterior

La producción de caliza es sumamente importante, al igual que la cal y el cemento principales productos derivados del primero.

En todos los países, las reservas de caliza son suficientes para la industria de la cal.

Los principales productores de cal son China (16,53%), Estados Unidos (15,7%), Alemania (6,61%), Japón (6,53%), México (5,45%) y Brasil (4,71%). Estos siete países concentran el 56% de la producción total de cal. El restante 44% se reparte en numerosos países con producciones no superiores a las 2,5 toneladas, como Bélgica, Reino Unido, Polonia y otros. La producción total, en 1998, fue de 121 millones de toneladas.

RESEÑA HISTORICA.

La cal, desde la antigüedad, ha sido uno de los materiales más utilizados. Las culturas precedentes habían aprendido a obtener la cal poniendo la piedra caliza (carbonato de calcio) a elevadas temperaturas. Éste es el método que aún se utiliza hoy día. De este proceso conocido como calcinación, se obtiene la cal viva, u óxido de calcio. La cal apagada (hidróxido de calcio) se produce mediante la reacción de la cal viva con el agua.

Los empleos de la cal han aumentado y cambiado con el pasar del tiempo. La cal se usó en un principio en la construcción y en agricultura, se usó para la construcción de las pirámides en el antiguo Egipto, y en muchos proyectos de construcción de la Roma Imperial. Con el rápido crecimiento de los procesos químico-industriales del siglo veinte, cantidades cada vez mayores de cal han sido empleadas a nivel industrial como reactivo químico, y más del 90% de la cantidad total de cal se vende o utiliza como producto químico en forma de óxido e hidróxido. Por tanto, la cal se ha convertido en un verdadero y propio producto químico de base.

Se emplea ampliamente en la producción de acero, en el sector minero, en la producción del vidrio, y posee siempre numerosas aplicaciones en la tutela del ambiente, incluido el empleo en el control de la contaminación del aire y del agua. La cal ejerce un papel cada vez más importante en la compactación del terreno para la construcción de carreteras, como aditivo para el asfalto, y como agente de precipitación y floculación en la industria del papel y del azúcar.

Su crecimiento a nivel industrial y ambiental se puede atribuir en buena parte a tres factores:

1. Producción distribuida.- Los yacimientos de caliza son muy numerosos en la República Mexicana, destacando por su importancia los de Huescalapa, Jal., Tolteca, Hgo., Apasco, Méx., y en diversos lugares de los Estados de Nuevo León, Puebla, Oaxaca y Guanajuato.

2. Precio aceptable – Gracias a la moderna tecnología productiva y a la amplia disponibilidad a nivel geográfico, el precio de la cal es significativamente bajo respecto a otros productos competidores.

3. Suministro abundante – Cantidades adecuadas de cal de elevada calidad son y permanecerán ampliamente disponibles.

La cal se usa – directa o indirectamente – para la producción de prácticamente todos los productos de consumo o industriales. Los procesos químicos e industriales necesitan la cal para purificar los metales (como fundente), para neutralización, caustificación, coagulación, precipitación, hidrólisis, deshidratación, procesos a elevadas temperaturas, reacciones exotérmicas, disolución, absorción de los gases y saponificación. La cal figura en el quinto puesto entre los productos químicos, tanto por toneladas enviadas, como por las consumidas. Esto no incluye el importante consumo de cal regenerada, principalmente en las plantas de producción de celulosa y, en menor medida, en las plantas de tratamiento de las aguas, donde el fango de carbonato de calcio es deshidratado y recalcinado en hornos para la reutilización, junto a la cal "de reintegración". [1]

En las páginas que siguen se delinean brevemente los múltiples empleos de la cal, seguidos por una sección de datos técnicos con las características físicas y químicas de la cal, y por un breve resumen de las precauciones de seguridad indicadas para el uso de la cal.

En la industria de la construcción.

En morteros de albañilería.

La cal es el químico natural indispensable en la preparación de morteros para albañilería; su uso en la construcción se remonta a tiempos inmemorables para la construcción de cimientos, paredes de ladrillo y bloc, aplanados de muros interiores y exteriores, trabajos de mampostería y construcción de pisos y techos. Países desarrollados especifican el uso obligatorio de cal a los morteros en zonas sísmicas por sus características únicas de adherencia y resistencia a tensiones diagonales.

A la fecha no existe otro material tan versátil como la cal en los morteros, ya que brinda mayores resistencias, mejor adherencia, y ayuda a que las construcciones sea térmicas e impermeables; todo esto a costos más bajos.

Para impermeabilizar.

La cal en la impermeabilización en una alternativa confiable y de bajo costo. Por sus propiedades de absorción y retención de agua y por estar formada por pequeñísimas partículas penetra en todos los huecos, de tal manera que evita el paso del agua. Su fórmula se basa en la combinación de agua, jabón de pan (amarillo), alumbre y por supuesto cal. Con esta fórmula se produce una película impermeable y durable.

En pinturas.

---

[1] Cornelius S. Hurlbut, Jr. & Cornelis Klein. 1996. Manual de Mineralogía. España, Reverte S.A.

Se puede preparar una pintura a base de cal, sal de cocina y alumbre. Los resultados son asombrosos, ya que con un bajo costo se logra una pintura que se incorpora como ninguna otra a la superficie, es higiénica, de apariencia atractiva y durable.

Se pueden preparar una gran variedad de colores, utilizando colorantes disponibles en el mercado.

Además la cal se utiliza en la fabricación de pinturas industriales, en las que actúa como carga, agente aglomerante y reactivo químico.

Para concretos.

La cal hidratada tiene las propiedades de hacer al concreto más compacto, ya que siendo la cal muy fina, rellena los huecos, protege de las variaciones de temperatura, evitándose así los agrietamientos, retarda el fraguado inicial del concreto, y se mantiene húmeda la mezcla.

Entre otras propiedades de la cal, esta la de dar al concreto homogeneidad y resistencia, hace la revoltura fluida, hace los colados perfectos y por su composición mineral protege el concreto. En productos de concreto. En la fabricación de bloques de concreto normales y celulares la cal tiene una doble función.

Por un lado actúa como carga, cuando hacen falta finos; por otro lado las reacciones puzolanicas dan origen a productos más resistentes, impermeables y precisos en costados y esquinas. Lo anterior se logra a costos de producción más bajos.

Para estabilización de suelos.

Ni los grandes proyectos de autopista ni los más sencillos pavimentos deportivos durarán mucho si descansan sobre terrenos arcillosos inestables. La cal es el estabilizador de suelos más utilizado por su versatilidad en su manejo, aplicación y por su bajo costo.

Un suelo tratado con cal modifica las propiedades físicas del suelo de manera permanente, disminuye el índice plástico y la contracción lineal e incrementa el valor de resistencia sísmico y la resistencia a la compresión.

En las mezclas asfálticas.

En países desarrollados se usa con frecuencia cal hidratada en las mezclas calientes de asfalto, la cual funciona como un agente antidesgarramiento, rellenador y modificador.

La cal además de reducir la sensibilidad hacia la humedad, también incrementa el endurecimiento inicial, contribuyendo de esta forma a minimizar las marcas de las rodadas y reducir el envejecimiento prematuro del asfalto (evita la oxidación).

MATERIAS PRIMAS.

Cal, sustancia sólida cáustica, blanca cuando es pura, que se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio (CaO), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal muerta. Caliza, tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, $CaCO_3$). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol. Muchas variedades de caliza se han formado por la unión de caparazones o conchas de mar, formadas por las secreciones de $CaCO_3$ de distintos animales marinos.

La creta es una variedad porosa y con grano fino compuesta en su mayor parte por caparazones de foraminíferos; la lumaquela es una caliza blanda formada por fragmentos de concha de mar. Una variedad, conocida como caliza oolítica, está compuesta por pequeñas concreciones ovoides, cada una de ellas contiene en su núcleo un grano de arena u otra partícula extraña alrededor de la cual se ha producido una deposición. Ciertos tipos de caliza se usan en la construcción, como la piedra de cantería.[2]

PROCESOS DE OBTENCIÓN

El proceso industrial para la obtención de cal hidratada se puede resumir en los siguientes pasos:

I.- Extracción Minera. Para fabricar cal, el primer paso consiste en la extracción de mineral, en este caso la caliza.

Fig.1 Vista aérea de una mina a cielo abierto.
FUENTE: www.caleras.com/actividades.html

La caliza es una roca compuesta en su mayoría por carbonato cálcico, y se encuentra en las formaciones geológicas de naturaleza sedimentaria. El carbonato de calcio tiene un origen marino, y es el producto de la sedimentación de microorganismos que se han depositado en el fondo de los océanos durante centenas de millones de años. Estas capas sedimentarias se han compactado y, bajo la acción de tensiones internas, han formado

[2] INEGI. La Minería en México. 2000

macizos calcáreos más o menos aparentes según la erosión que hayan sufrido en el transcurso del tiempo.

En ciertas calizas, el carbonato de calcio va asociado a un carbonato de magnesio, y en ese caso se habla de calizas dolomíticas, cuya calcinación da origen a la cal dolomítica, producto muy utilizado en siderurgia y en la fabricación de refractarios.

Una vez extraído el mineral, antes de calcinarlo, se debe proceder a una trituración y clasificación correctas, a fin de poder disponer de una granulometría apropiada. Este proceso tiene mucha importancia para alcanzar una buena productividad y una buena calidad de la cal o de la cal dolomítica.

II.- Proceso de Calcinación. [3]

La fabricación de la cal consiste en la calcinación de la caliza, a una temperatura superior a 900° C, según un proceso químico simple. El carbonato cálcico se descompone mediante el calor de acuerdo con la ecuación:

$$CaCO_3 + > 900°C \rightarrow CaO + CO_2\nearrow \quad H = +3150.55\ kJ.$$

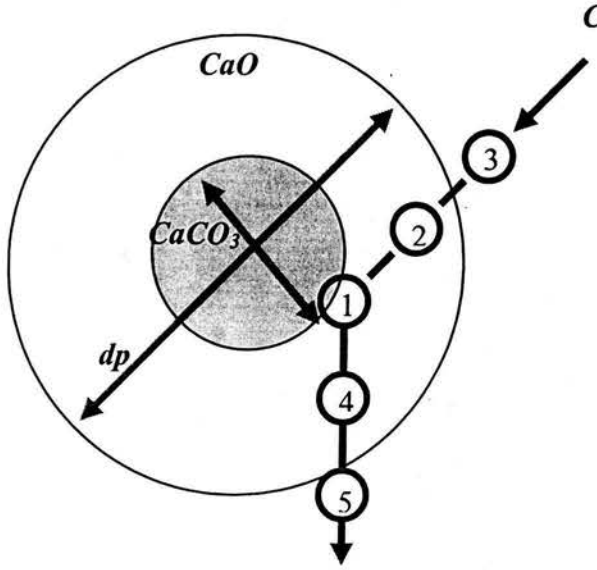


Fig. 2 Modelo de núcleo decreciente.
FUENTE: Desarrollo del autor.

La reacción de descomposición de la caliza se caracteriza por el hecho de que se produce en un frente de descomposición (zona de reacción 1), en el que el núcleo no descompuesto de $CaCO_3$ y la envoltura de CaO que se ha formado se tocan. Este frente de descomposición se desplaza de la periferia hacia el centro a una velocidad determinada 2. Al mismo tiempo hay una transferencia de calor del exterior hacia el núcleo y un desprendimiento de CO_2 hacia el exterior 4.

Hoy en día, la calcinación de la cal se realiza fundamentalmente en hornos regenerativos de corriente paralela, que, por oposición a los clásicos a contracorriente, permiten precalentar y recuperar el aire de combustión. Son hornos de doble cuba, en

[3] www.caleras.com/actividades/calcinación.html

funcionamiento alternativo. Esta tecnología permite una optimización del consumo de energía.

III.- Proceso de Hidratación

En presencia de agua, en unas determinadas proporciones, la cal viva se hidrata (o se apaga), según la reacción:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 64.85\ kJ.$$

Como se ve en la reacción, el proceso de hidratación va acompañado de un fuerte desprendimiento de calor que provoca una pulverización natural muy fina. El producto así obtenido se denomina hidrato de cal o cal apagada.

Para la realización industrial de este proceso, se utiliza un aparato denominado hidratador, equipado con una serie de dispositivos para el control de la reacción de hidratación y de la humedad de la cal hidratada. El producto así formado, debe sufrir posteriormente un proceso de separación de alta eficiencia, a fin de lograr un producto final con una finura inferior a 60 micrómetros.

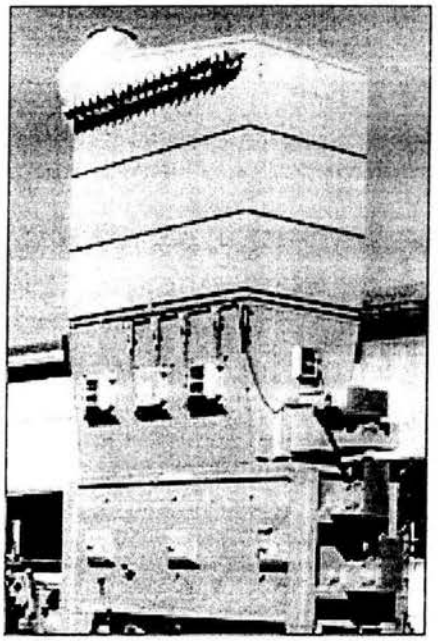


Fig. 3 Equipo hidratador vertical.
FUENTE: www.caleras.com/ hidratación.html

IV.- Envase y embarque.

La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

PRECUACIONES.

Cal viva: caliza calcinada, la mayor parte de la cual es óxido de calcio y que es capaz de hidratarse con agua.

Cal hidratada o apagada: cal viva más agua suficiente para lograr una hidratación adecuada, formando un polvo muy fino hidratado.

Características físico-químicas:

Tabla. 1 Características físicas de cal viva y cal hidratada.

Productos		Cal Viva		Cal
		Granulada	Molida	Hidratada
Tipos de cal		Calcítica	Calcítica	Calcítica
Químicas:	Unidad	Contenido	Contenido	Contenido
CaO libre	%	75 - 84	74 – 83	60 – 65
CaO total	%	86,3 - 92,8	86,3 - 90,8	69,5 - 71,5
SiO_2	%	3,0 - 7,2	3,0 - 7,2	2,0 - 4,5
Fe_2O_3	%	0,8 - 1,7	0,8 - 1,7	0,5 - 1,0
Pérdida por calcinación	%	0,7 - 1,4	0,7 - 1,4	22,0 - 24,0
Humedad	%	N.D.	N.D.	0,8 - 1,5
Físicas:				
Granulometrías				
Retenido en malla				
3/4"(19,05 mm)	%	0 - 1	N.D.	0,8 - 1,5
1/2" (12,79 mm)	%	2 - 28		
3/8" (9,53 mm)	%	14 - 26		
1/4" (6,35 mm)	%	8 - 31		
4 (4,75 mm)	%	4 - 22		
bajo 4 (< 4,75 mm)	%	14 - 43		
100 (0,15 mm)	%	N.D.	0 – 5	98,5 - 99,6
200 (0,075 mm)	%	N.D.	11 – 25	
Densidad Suelta	ton/m^3	1,097	0,850	0,398
Densidad compactada.	ton/m^3	1,238	0,956	0,412
Ángulo Reposo.	Grados	50 -55	>60	>70

N.D. = No determinable, valores se encuentran fuera del rango analítico.

FUENTE: www.redquimica.unam.mx

Cantidades grandes de cal en contacto con agua, vapor o ácidos, generan calor suficiente para encender madera y otros materiales combustibles cercanos.

Clasificación: Es un material sólido alcalino fuerte.

Protecciones para evitar daños a la salud: La exposición al óxido de calcio, puede afectar el organismo por las vías de la inhalación, del contacto con la piel o los ojos y por la ingestión.

Efectos de exposición aguda: exposición a corto plazo: irritación a los ojos, nariz, garganta y piel, los factores térmicos pueden ser constituyentes de quemaduras intensas, bronquitis, neumonía.

Exposiciones de largo plazo: dermatitis, úlceras, perforaciones al tabique nasal.

Contacto con la piel: irritación, quemaduras intensas, corrosión y posible daño severo.

Contacto con los ojos: quemaduras graves, pérdida de visión.

Inhalación: de polvo de cal causaría tos, estornudos e inflamación del aparato respiratorio.

Ingestión: produce quemaduras, causticidad.

Agentes de extinción: para incendios pequeños: Polvo químico seco, CO_2, neblina de baja o espuma normal. Para incendios grandes: Neblina de baja, de alta o espuma normal.

Precauciones especiales: no usar lente de contacto. No fumar ni comer. Lavarse las manos para manipular alimento y/o usar instalaciones sanitarias. Tomar una ducha al término de la jornada usando un jabón suave. Lavar la ropa si se encuentra saturada de polvo.

Tabla. 2 Propiedades físicas de carbonato de calcio.

Estado físico a t ° C ambiente	Sólido.
Estado en que se presenta	Granulada y molida.
Apariencia y color	Apariencia de mineral, color crema, café y blanco.
Olor	No presenta.
Concentración	> 75% de CaO libre.
Punto de fusión	2.570 °C
Punto de inflamación	No inflamable.
Explosión potencial	No posee.
pH según concentración	Concentración (%p/v) pH 10 12,3

15	12,4
20	12,5
25	12,5
30	12,5

FUENTE: Universidad de Atacama, Dep. de Minas área de Geología, Chile. www.plata.uda.cl/minas/index.html

Solubilidad en agua: insignificante, a 0°C = 1,40 g. CaO/l y a 100 °C = 0,54 g. CaO/l.

Solubilidad en otros solventes: el óxido de calcio reacciona con ácidos, formando sales de calcio las cuales algunas de ellas serían solubles.

Estabilidad: inestable por ser un material anhidro.

RECOMENDACIONES.

El uso de la cal mayoritariamente es dosificada como lechada de cal y ésta puede ser preparada a partir de cal viva o de cal hidratada. Por lo tanto, las recomendaciones sobre la manipulación y manejo del producto, se podrían generalizar y resumir en lo siguiente: [4]

La cal viva al tomar contacto con el aire o humedad, aumentando su volumen 2,5 veces, se transformará en cal hidratada, liberando una importante cantidad de calor y generando posiblemente vapor, por lo que si grandes cantidades de cal viva tienen contacto directo, inmediato y sin control con líquidos (aguas; vapores; ácidos) podría llegar a estallar el recipiente o envase que la contiene. Como también su transformación en un polvo muy fino (-200 mallas), éste fácilmente puede ser llevado por el viento a lugares de evacuación complicada.

Equipos de protección personal: crema protectora, aplicada al cuello, puños, tobillos, cintura y manos. Respirador adecuado para partículas con filtro de alta eficiencia.

Protección visual. Monovisor de una pieza de cierre hermético. Capucha con suministro de aire en lugares de trabajo fijo. Pantalón que descienda hasta cubrir la bota. Camisa manga larga con mangas de exudación, abotonada en cuerpo y cuello. Guantes de neopreno o PVC.

En general la ropa de seguridad que se utiliza no debe ser ceñida al cuello, puños, cintura y tobillo, ya que el roce resultante con la cal puede causar irritaciones en la piel.

La cal es incompatible con agua, arroyos, ácidos, reactivos químicos sellados en recipiente a temperaturas normales. Como también reacciona con algunos plásticos, caucho y revestimientos. El fluoruro reacciona con el óxido de calcio desarrollando mucho calor y algo de luz.

[4] http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/

Toxicidad: la cal es atóxica, no obstante es necesario usar equipos de protección adecuados y proveer de ventilación donde sea necesario.

Bío-acumulación: la cal viva al hidratarse, se convierte en un material que con la absorción del anhídrido carbónico ambiental se transforma en carbonato, pudiendo incorporarse al estrato suelo, aportando calcio a éste.

Efectos sobre el medio ambiente: material altamente cáustico.

CAPITULO I.

CARACTERISTICAS DE LA PIEDRA CALIZA.

Panorama General de la Piedra Caliza en México.

Características técnicas

Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita ($CaCO_3$) y dolomita ($Ca,Mg(CO_3)$), predominando la calcita. Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente.

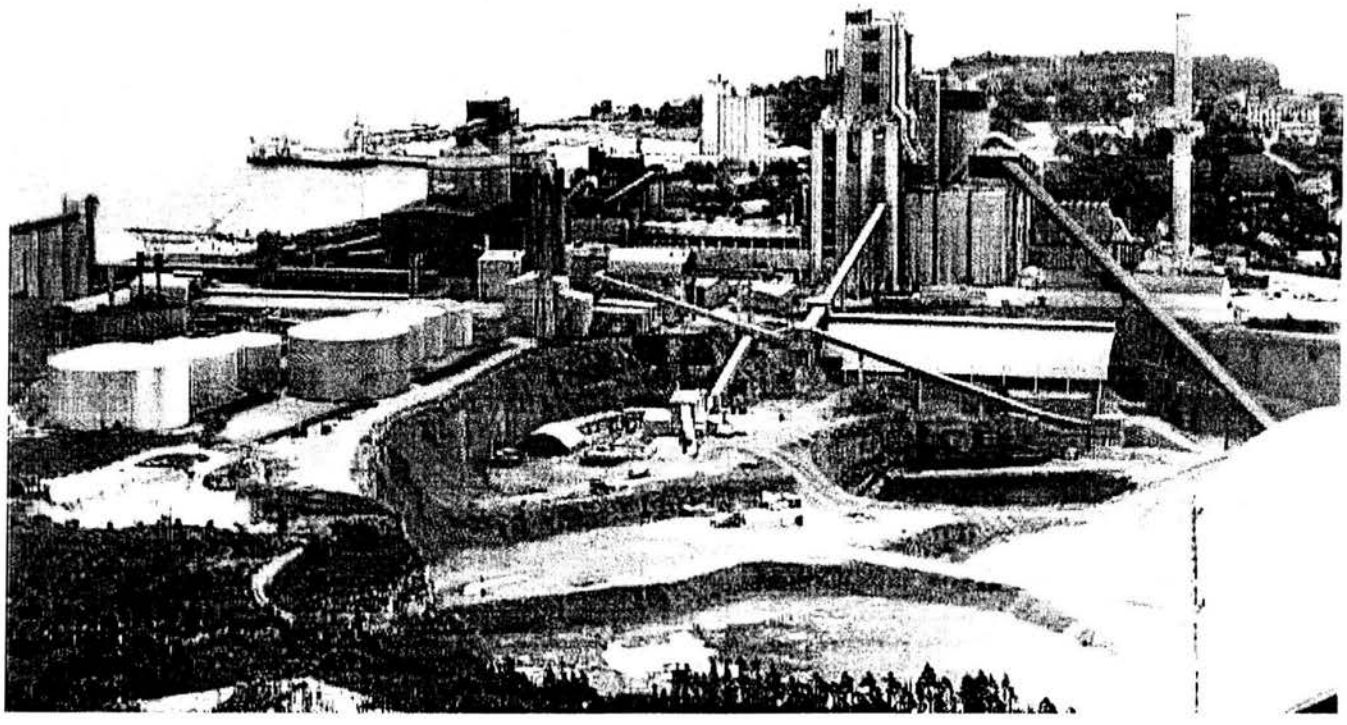


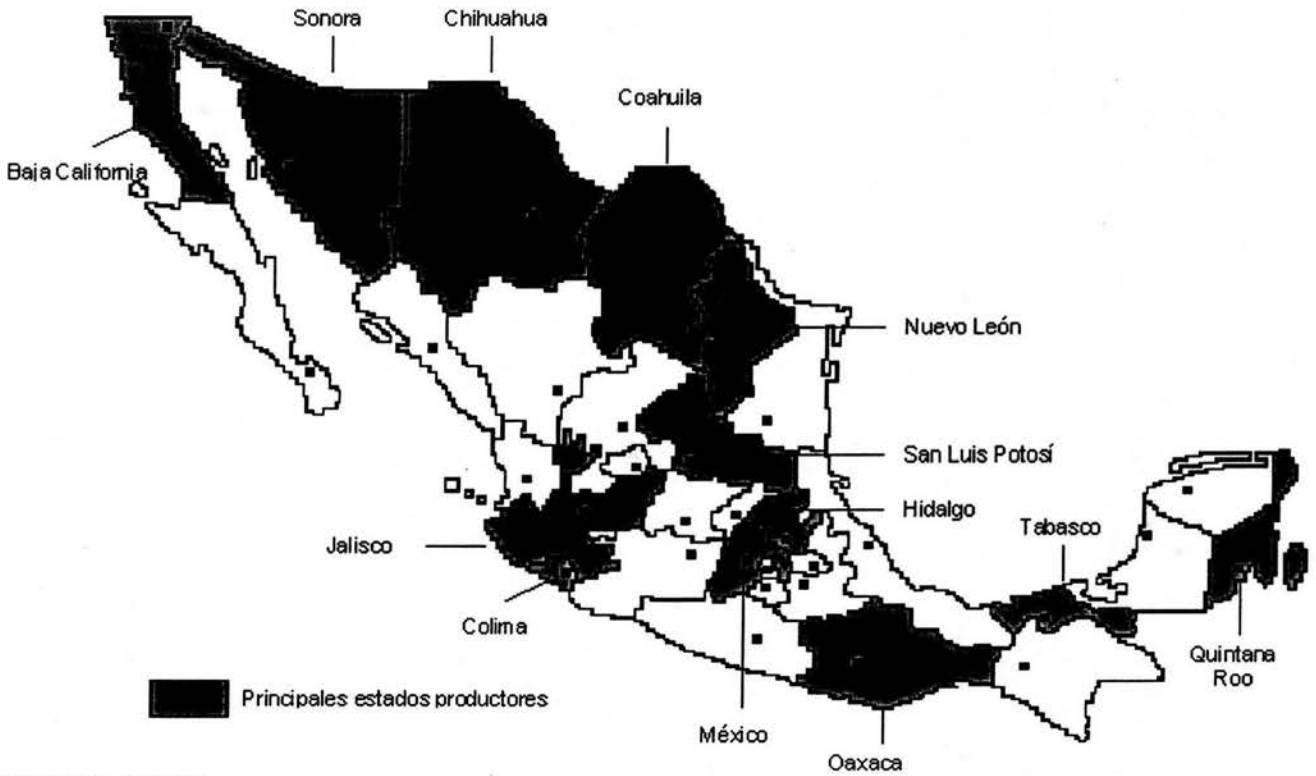
Fig. 4 Vista aérea de una planta de cal.

FUENTE: Secretaria de Economía, www.economia.gob.mx

	Calizas
	Cal
	Carbonato de calcio

Potencial geológico minero.

Fig. 5 Principales Estados productores de caliza en la Republica Mexicana.



FUENTE: INEGI.

El territorio mexicano cuenta con grandes extensiones de superficies en las que afloran las calizas, ofreciendo una gran disponibilidad en este tipo de rocas.

Principales usos de la caliza.

	Construcción
	Fundición
	Productos químicos
	Agroquímicos
	Vidrio

Marco legal normativo.

La ley minera, en sus artículos 4° y 5°, menciona los minerales que deberán sujetarse a esta normatividad. En particular el artículo 4° que define los minerales y rocas sujetos a la aplicación de la ley minera, no menciona en específico a la caliza. Por otra parte, el artículo 5°, en su párrafo IV, menciona que se exceptúan de la aplicación de la ley minera las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin.

Desgravación arancelaria de la caliza en el marco de los acuerdos de libre comercio.

En el cuadro siguiente puede observarse el tratamiento otorgado a las fracciones arancelarias que involucran a la caliza en el marco de los Acuerdos de Libre Comercio establecidos por México con otros países.

Cuadro. 1 Fracciones arancelarias de la caliza.

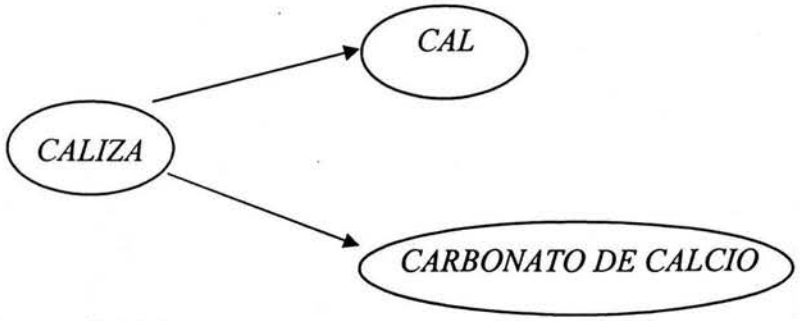
Fracciones arancelarias de la caliza.	25210001	
Castinas; piedras para la fabricación de cal o cemento.	25090001	Creta.

Tabla. 3 Desgravación arancelaria de la caliza a 2000.

	TLCAN			ACE		TLC		TLC		TLC DEL G-3			TLC	
FRACCION	MEXICO	EU	CANADA	MEXICO	CHILE	MEXICO	BOLIVIA	MEXICO	COSTA RICA	MEXICO	COLOMBIA	VENEZUELA	MEXICO	NICARAGUA
	ARANCEL													
CALIZA														
25210001	0			0		0		0		2.88 / 2.16	1.76 / 1.32		2.0 / 1.0	5/3.33
25090001	0			0		0		0		2.88 / 2.16	1.76 / 1.32		0	0

Fig. 6 Principales derivados de la caliza.

Por su importancia comercial, los principales derivados de las calizas son:



FUENTE: Desarrollo del autor.

En los siguientes capítulos se abordarán en particular estos productos, poniéndose especial énfasis en la cal y el carbonato de calcio.

CAL.

Es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio).

Variedades comerciales.

Cal Viva

Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.

Cal hidratada

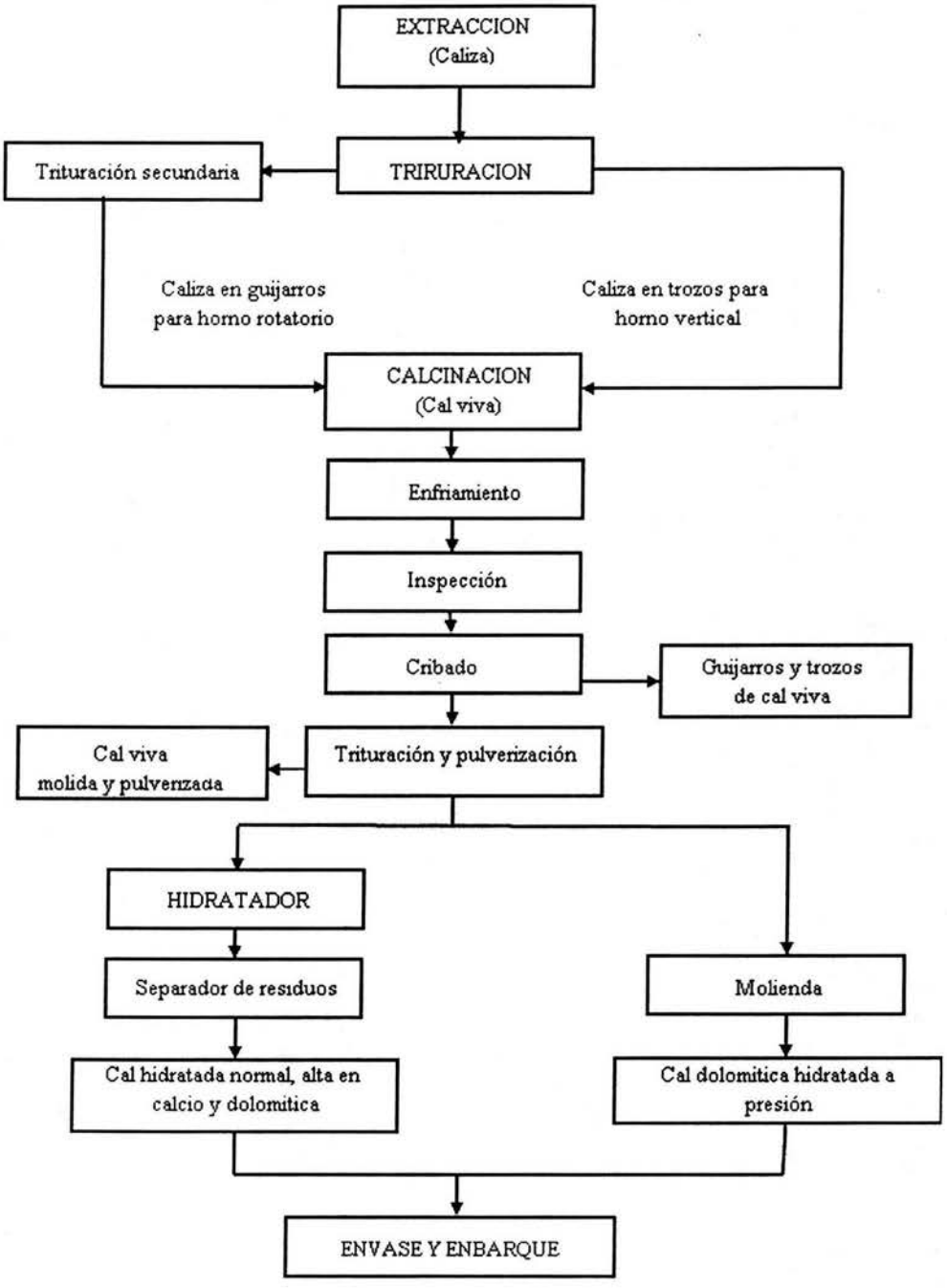
Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.

Cal hidráulica

Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.
Proceso de obtención.

Los procesos para la obtención de cal que se presentan a continuación están simplificados.

Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso de obtención de cal hidratada.



FUENTE: Secretaria de Economía, www.economia.gob.mx

Extracción. Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, moneo, tumbe y rezagado, carga y acarreo a planta de trituración.

Trituración. En esta etapa es sometida a un proceso de trituración que arrojará como producto trozos de menor tamaño que serán calcinados en hornos verticales. La trituración secundaria se realiza cuando se requieren fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcinar.

Calcinación. La cal es producida por calcinación de la caliza y/o dolomía trituradas por exposición directa al fuego en los hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden dióxido de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva).
Es importante que el tamaño de la roca sometida a calcinación sea homogéneo para que la calcinación se realice en forma efectiva y en su totalidad en todos los fragmentos.

Enfriamiento. Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.

Inspección. El proceso siguiente es la inspección cuidadosa de muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.

Cribado. Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y en guijarros de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

Trituración y pulverización. Este paso se realiza con el objetivo de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

Hidratación. Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio.

Envase y embarque. La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

Usos de la cal.

Desgravación arancelaria de la cal en el marco de los acuerdos de libre comercio.

En el cuadro siguiente puede observarse el tratamiento otorgado a las fracciones arancelarias que involucran a la cal en el marco de los Acuerdos de Libre Comercio establecidos por México con otros países.

Cuadro. 2 Fracciones arancelarias de cal.

Cal viva	25210001
Cal apagada	25222001
cal hidráulica	25223001

Tabla. 4 Desgravación arancelaria de la cal a 2000

	TLCAN			ACE		TLC		TLC			TLC DEL G-3			TLC	
FRACCION	MEXICO	EU	CANADA	MEXICO	CHILE	MEXICO	BOLIVIA	MEXICO	COSTA RICA		MEXICO	COLOMBIA	VENEZUELA	MEXICO	NICARAGUA
								ARANCEL							
CAL															
25221001	0			0		0		0			2.88 / 2.16	1.76 / 1.32		3.5 / 3.0	10 / 4.38
25222001	0			0		0		0			2.88 / 2.16	1.76 / 1.32		3.5 / 3.0	10 / 4.38
25223001	0			0		0		0			2.88 / 2.16	1.76 / 1.32		3.5 / 3.0	10 / 4.38

Mercado Oferta / Demanda

La producción de cal en el periodo 1990-1999 no registró crecimiento, prácticamente se mantuvo al mismo nivel. En 1999 sumó 6,600.0 miles de toneladas, el mismo monto alcanzado en 1990.

De acuerdo a la información de la encuesta industrial mensual, en promedio el 76.6% de la cal producida en México corresponde a la cal hidratada o apagada, usada principalmente en la industria de la construcción. Esta variedad registró decrementos en su producción del 2.6% y 18.9% en 1996 y 1999 respectivamente, afectada por la recesión económica nacional y de la construcción.

Grafica. 1 Participación % en la producción de cal por tipo, 1995 - 1999

FUENTE: Encuesta Industrial Mensual. INEGI.

Por su parte, la cal viva creció 10.2% en 1996, pero a partir del siguiente año empieza a disminuir, registrando una disminución de 5.1% en 1999 respecto al año anterior, esta variedad representa el 16.1% de la producción total. El 7.3% restante corresponde a la cal para siderurgia y química, ésta observó disminuciones a partir de 1997 y una reducción de 26.3% en 1999.

Consumo nacional aparente.

La producción nacional de cal en 1999, se situó en 6,600.0 miles de toneladas. Las importaciones fueron del orden de 10,274 toneladas, 113.6% superior a 1998; asimismo, las exportaciones se redujeron en 7.8% respecto a 1998 ubicándose en 23,289 toneladas, registrando un consumo nacional aparente de 6,586.9 miles de toneladas en el año referido. De 1990-1999, el consumo nacional aparente de la cal mostró ligeras variaciones debido a su reducido comercio exterior, comportándose de manera similar a la producción.

Precios.

En general el precio de la cal se determina por la calidad del producto, es decir, a mayor pureza mayor precio. Las diferentes marcas comerciales reflejan el grado de pureza en lo cual estriba la diferencia de precios entre una marca y otra. La cal es un producto de bajo costo y de amplia disponibilidad en el país, por lo que se mueve en mercados regionales lo cual también provoca que el precio varíe de región a región y de productor a productor.

Comercio exterior

El comercio exterior de la cal se compone de las fracciones 252210 cal viva, 252220 cal apagada y 252230 cal hidráulica.

La balanza comercial de la cal en los últimos 10 años ha sido superavitaria. En 1999 las exportaciones fueron 2 veces mayor que las importaciones, con un superávit de 1,019.4 miles de dólares.

Grafica. 2 Balanza comercial de la cal 1990 - 1999

FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

La abundancia de cal en el mundo hace que su comercio exterior sea escaso e irregular y se mueva en mercados regionales. En el caso del comercio exterior de la cal mexicana, éste se realiza con Estados Unidos de América en un 88% por empresas establecidas en la franja fronteriza con ese país.

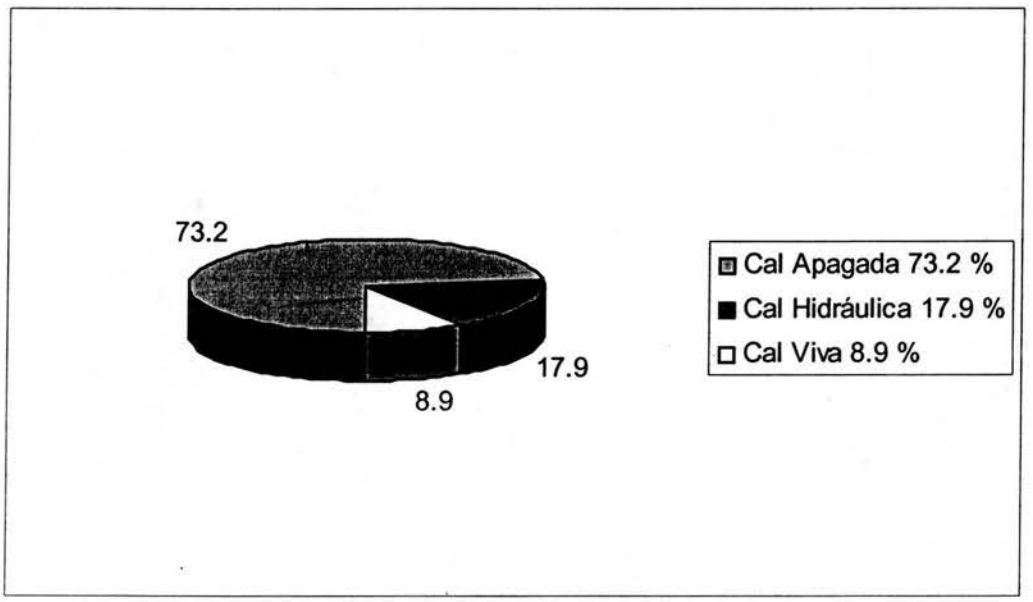
Las exportaciones durante 1999 sumaron un total de 23,289 toneladas con un valor de 1,951.6 miles de dólares, cifra 5.6% inferior a lo registrado en 1998.

Las exportaciones de cal viva en 1999 fueron del orden de 174.2 miles de dólares (8.9% de las exportaciones de cal), con una reducción de 52.2% respecto al año anterior.

La cal apagada representó el 73.2% de las exportaciones de cal, con un valor de 1,428.7 miles de dólares, monto superior en 4.1% respecto a 1998.

La cal hidráulica por su parte ascendió a 348.6 miles de dólares, 5.8% superior al monto de 1998. Esta cifra representó el 17.9% de las exportaciones de cal durante 1998.

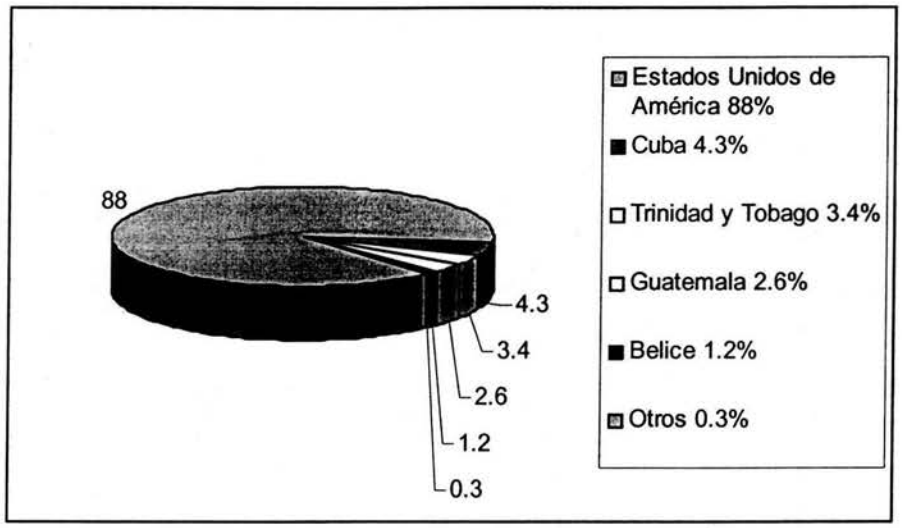
Grafica. 3 Exportaciones Mexicanas de cal 1999 por fracción.



FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Las ventas mexicanas de cal se realizaron principalmente con Estados Unidos de América (88.0%) y Cuba (4.3%).

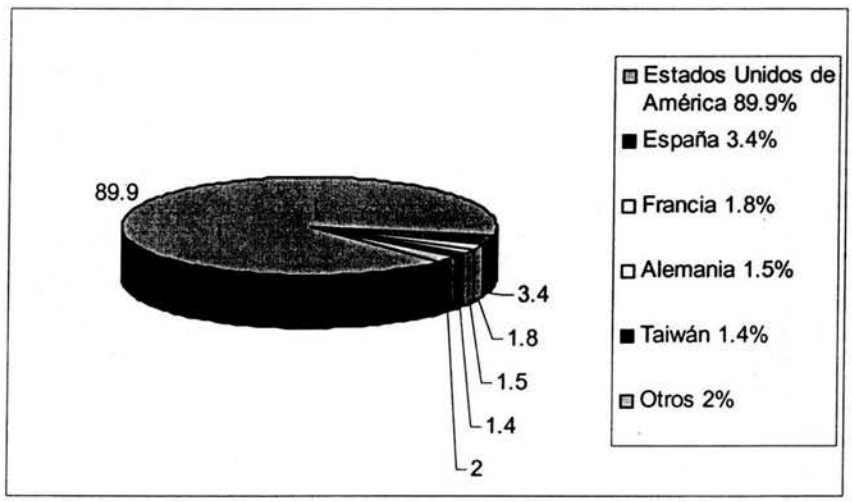
Grafica. 4 Exportaciones Mexicanas de cal 1999 por país.



FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Las importaciones en 1999 sumaron un total de 10,274 toneladas con un valor de 932.2 miles de dólares, cifra superior en 68.2% a 1998. Cabe mencionar que en los últimos 10 años las importaciones registraron un valor promedio anual de 696.6 miles de dólares.

Grafica. 5 Importaciones Mexicanas de cal 1999 por fracción.



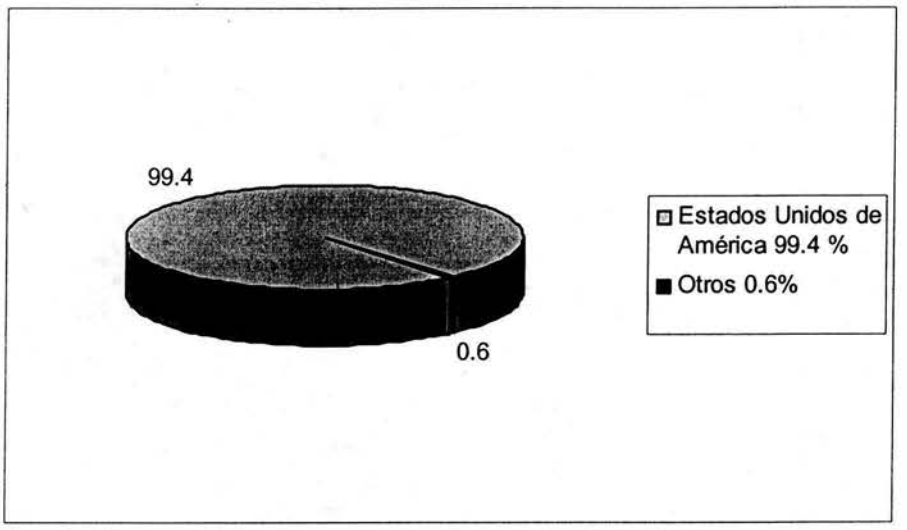
FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Del monto total importado en 1999, el 94.7% correspondió a la cal viva, con un valor de 882.5 miles de dólares, cifra 95.6% mayor con relación a 1998.

La cal apagada por su parte representó el 4.1% de las importaciones y descendió en 58.3% el monto importado en 1998 al caer a 38.3 miles de dólares.

La cal hidráulica mostró un ligero incremento de 1.2% respecto a 1998 al pasar de 10.9 a 11.3 miles de dólares.

Grafica. 6 Importación de cal 1999 por país.



FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

El 99.4% de las compras al exterior provienen de Estados Unidos de América; las industrias que importaron estos productos son entre otras la vidriera, metalúrgica, siderúrgica, tortillería, empresas proveedoras de materiales para construcción, ferreteras y fabricantes de productos refractarios, ubicados en el D.F., Michoacán, Baja California y Monterrey.

Principales canales de comercialización.

Exportador→Beneficiado→Distribuidor Comercializador→Minorista→Consumidor Final.

Una vez hecha la explotación del mineral, el primer paso comercial, cuando no se es beneficiador, es la venta del producto a las empresas transformadoras; básicamente las caleras. Este paso solamente se da en los casos en que el productor no tenga los medios de beneficio mineral.

Una buena parte de los beneficiadores posee su propia cantera; sin embargo, en los casos en que se le compra a un tercero, ya sea por falta de producción de mineral o por falta de cantera, la venta es directa productor-beneficiador y no hay intermediarios en el proceso.

La operación es directa entre el productor y el comprador.

Se calcina el producto y se realiza la venta a un distribuidor o comercializador que pondrá el producto al alcance del consumidor final. Raras veces, el producto pasa de un distribuidor o comercializador mayorista a uno minorista.

Oportunidades de inversión.

A continuación se listan una serie de aspectos que es conveniente considerar en los proyectos de inversión del producto:

La cal es un producto de baja densidad económica, bajo costo, gran disponibilidad en México y una amplia gama de usos.

Es un producto de carácter regional, lo que implica que el flete sea un costo importante a considerar.

Es necesario conocer y acatar las normas establecidas, ya que éstas nos indican las especificaciones requeridas comercialmente y ayudan a garantizar el producto. Las especificaciones de estas normas son indicadoras de los usos, lo que nos permite saber si se cumple con los requerimientos establecidos para determinado uso y así poder canalizar el producto en el mercado.

El mercado fronterizo continuará siendo una franja de interés para las empresas mexicanas. No sólo para exportar, sino también para sustituir importaciones.

Los usos distintos a la construcción ofrecen amplias áreas de oportunidad para el mercado de la cal. La viabilidad para atender esta demanda está en función de la capacidad de las empresas para producir el tipo de cal con las características requeridas por el consumidor; para lo cual se requieren inversiones para modificar el proceso industrial.

Existe un gran potencial de usos relacionados con el medio ambiente, cabe señalar que en Estados Unidos de América este uso tiene un porcentaje importante (26%) en las aplicaciones de la cal.

Debido a que la exportación de cal de México a EUA es del 88% se describe los usos y precios de ese material en ese pais.

En 1999, los principales estados productores fueron Alabama, Kentucky, Ohio, Pensylvania y Texas. Estos seis estados produjeron alrededor de 11.5 millones de ton de cal, equivalente al 56% de la producción total. El consumo por usos finales principales es como sigue:

Cuadro. 3 Usos de la cal en EUA.

USOS	%
Metalurgia	39
Ambiental	26
Químicos e industriales	24
Construcción	9
Para dolomita refractaria	1
Otros	1
TOTAL	100

Tabla. 5 Estadística de cal en EUA, (periodo 1993-1999).
ESTADISTICAS DE CAL DE ESTADOS UNIDOS
(Miles de toneladas)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Producción	16,700	17,400	18,500	19,200	19,700	20,100	20,500
Importaciones	201	204	289	262	274	231	142
Exportaciones	69	74	72	50	80	56	60
Consumo aparente	16,832	17,530	18,717	19,412	19,894	20,275	20,582

FUENTE: Mineral Commodity Summaries 2000.

En los últimos siete años, el consumo aparente de cal en Estados Unidos ha ido en aumento, pasando de 16,832 miles de ton en 1993 a 20,582 en 1999. En el caso de la producción se presentó una tendencia similar.

En 1998 exportó cal principalmente a Canadá (63%), México (22%), (10%) a países occidentales y (5%) a Asia. El origen de sus importaciones fueron Canadá (88%), México (7%) y China (4%).

Tabla. 6 Precios de cal en EUA, (periodo 1993-1999).
PRECIOS DE CAL EN ESTADOS UNIDOS
(Valor promedio, dólares por tonelada en planta)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Cal viva	55.02	56.43	56.77	56.68	57.80	57.60	56.00
Cal hidratada	67.84	67.71	72.09	79.64	80.20	78.90	79.00

FUENTE: Mineral Commodity Summaries 2000.

CARBONATO DE CALCIO.

Es un producto que está constituido químicamente por $CaCO_3$, el cual se extrae de rocas calizas.

Variedades comerciales.

Molido

El carbonato de calcio molido es el compuesto químico de fórmula $CaCO_3$, obtenido por la molienda de la roca caliza.

Precipitado

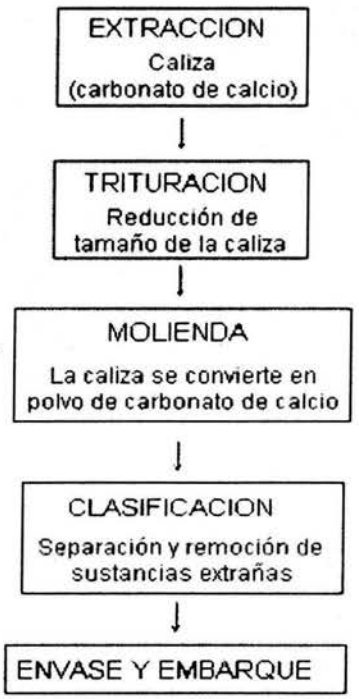
El carbonato de calcio precipitado es el compuesto químico de fórmula $CaCO_3$, obtenido por la precipitación del calcio en forma de carbonato. Tiene menos impurezas, más brillo y morfología controlada, es usado como relleno y extensor en plástico, pintura, papel y adhesivos; así como en productos para aplicación en alimentos y farmacéutica. Otras aplicaciones en que puede usarse es en recubrimientos y elastómeros.

El proceso para obtenerlo se denomina Carbonatación:

La forma más común para obtener carbonato de calcio precipitado consiste en pasar CO_2 en forma de gas a una solución de lechada de cal, realizándose las siguientes reacciones químicas:

Calcinación	$CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$
Hidratación o apagamiento	$CaO+ H_2O \rightarrow CaO+(OH)_2$
Carbonatación	$Ca(OH_2)+ CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O$

Fig. 8 Proceso de obtención de carbonato de calcio.



FUENTE: Secretaria de Economía, www.economia.gob.mx

Extracción

Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se procede a barrenar aplicando el patrón de barrenación para homogeneizar la fragmentación de la roca, se realiza la carga de explosivos y se efectúa la voladura, tumbe y rezagado, carga y acarreo a planta de trituración.

Trituración

Los trozos son puestos en las quebradoras con el fin de reducir su tamaño y facilitar la siguiente etapa que corresponde a la molienda.

Molienda

El producto triturado es introducido a los molinos para reducir aun más el tamaño del grano del carbonato de calcio hasta convertirlo en polvo, así como preparar la granulometría requerida por el usuario.

Clasificación

El producto obtenido en la molienda contiene varios tamaños de partículas por lo que es necesario separarlas y remover las sustancias extrañas. Lo anterior es importante porque los requerimientos de la industria están relacionados con la granulometría, blancura y pureza, entre otros.

Envase y Embarque

El carbonato de calcio es envasado a través de una tolva de envase en bolsas de papel, de hule o cargado directamente en carros para su entrega a granel.

Cuadro. 4 Usos del carbonato de calcio.

Farmacéutica	Pintura
Cosméticos y artículos de aseo	Plástico
Cerámica y vidrio	Hule
Alimentos	Otros
Papel	

Desgravación arancelaria del carbonato de calcio en el marco de los acuerdos de libre comercio.

En el cuadro siguiente puede observarse el tratamiento otorgado a las fracciones arancelarias que involucran al carbonato de calcio en el marco de los Acuerdos de Libre Comercio establecidos por México con otros países.

Cuadro. 5 Fracción arancelaria del carbonato de calcio.

Carbonato de calcio.	28365001

Cuadro. 6 Desgravación arancelaria del carbonato de calcio a 2000.

	TLCAN			ACE		TLC		TLC		TLC DEL G-3			TLC	
FRACCION	MEXICO	EU	CANADA	MEXICO	CHILE	MEXICO	BOLIVIA	MEXICO	COSTA RICA	MEXICO	COLOMBIA	VENEZUELA	MEXICO	NICARAGUA
	ARANCEL													
CARBONATO DE CALCIO 28365001	0			0		0		0		2.88 / 2.16	3.52 / 2.64		0	

Comercio exterior.

En los últimos 10 años, en el periodo 1990-1997, la balanza comercial del carbonato de calcio fue negativa, pero a partir de 1998 se convierte en superavitaria y en 1999 se incrementa en un 790.4% respecto al año anterior.

Las oportunidades comerciales de los productores nacionales son favorables tanto en el mercado externo como en el interno. Las ventas al exterior han mantenido un crecimiento constante y existe un importante potencial para sustituir importaciones.

Grafica. 7 Balanza comercial del carbonato de calcio 1990 - 1999

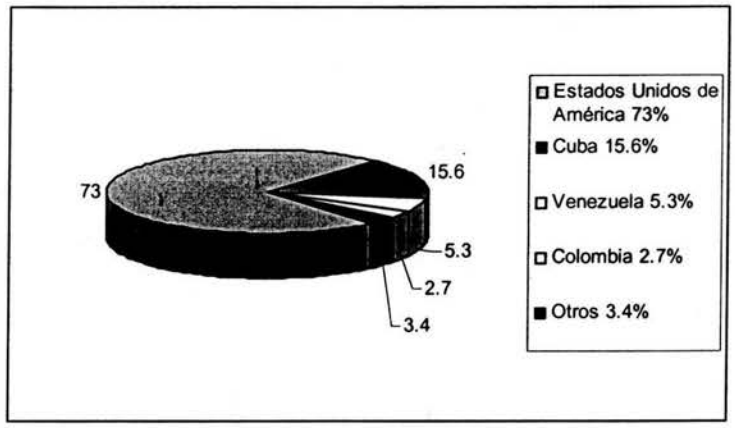
Miles de dólares

FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Las exportaciones han registrado un crecimiento acelerado; en el periodo 1990-1999 registraron una tasa de crecimiento de 35.2% anual. El auge de la exportación de carbonato de calcio inició en 1994 al registrar un incremento de 150% respecto a 1993 con un valor de 504.6 miles de dólares, llegando a ser en 1999 seis veces mayor el valor de las exportaciones comparado con ese mismo año.

Durante 1999 se exportaron 25,003 toneladas con un valor de 3,048.1 miles de dólares, que representó un crecimiento de 37.4% respecto al año anterior.

Grafica. 8 Exportaciones de carbonato de calcio 1999 por país.



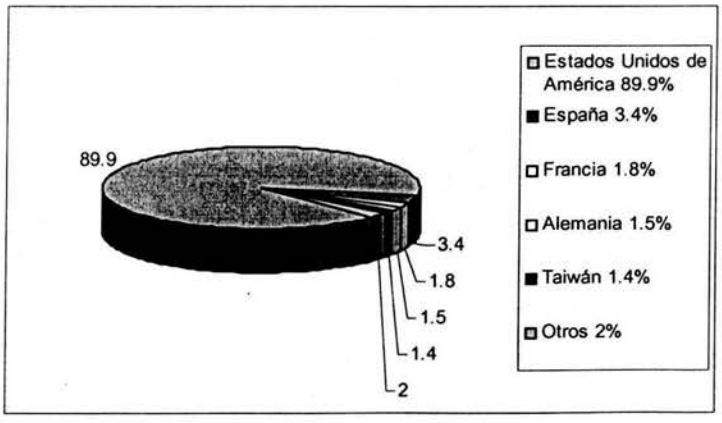
FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Los principales países compradores de carbonato de calcio mexicano son: Estados Unidos de América (73.0%), Cuba (15.6%), Venezuela (5.3%) y Colombia (2.7%).

Las importaciones por su parte sumaron 4,011 toneladas con un valor de 1,481.5 miles de dólares, 27.4% menor al valor registrado en 1998. El monto de las exportaciones es mayor en 105.7% a las importaciones, es decir, en 1999 vendimos dos veces más de lo que compramos.

En el periodo 1990-1999 las importaciones registraron una tasa de crecimiento de 4.1% anual. A partir de 1995, las importaciones mostraron una tendencia descendente, en este año registraron 4,568.8 miles de dólares; para 1999 las importaciones se ubicaron en 1,481.5 miles de dólares, 67.6% inferior a 1995.

Grafica. 9 Importaciones de carbonato de calcio 1999 por país.



FUENTE: Sistema de Información Comercial de México (SICM)

Las compras de carbonato de calcio provienen de Estados Unidos de América (89.9%), España (3.4%), Francia (1.8%), Alemania (1.5%) y Taiwán (1.4%), entre otros. Las principales industrias importadoras son la química, papelera, farmacéutica, elaboradora de alimentos (productora de lácteos), hulera, etc., ubicada en los estados de Morelos, D.F., Estado de México, Querétaro, Yucatán y Jalisco.

La importación de carbonato de calcio obedece entre otras razones las siguientes: Las especificaciones que las industrias consumidoras demandan del producto no se producen en México, las industrias consumidoras al no conseguir el producto en la región y no tener información sobre las empresas productoras, optan por importarlo.

En el último caso, se puede dar la oportunidad de sustituir importaciones, identificando las industrias consumidoras y los requerimientos que del producto demandan. Asimismo una mayor promoción del producto ayudaría a los consumidores para ubicar posibles proveedores nacionales.

Principales canales de comercialización.

Comercialización

Explotador – Beneficiario → Consumidor Final.

Una vez hecha la explotación del mineral, el primer paso comercial, cuando no se es beneficiador, es la venta del producto a las empresas transformadoras. Este paso solamente se da en los casos en que el productor no tenga los medios de beneficio mineral.

En el caso de los beneficiadores, la mayoría poseen su propia cantera; sin embargo, cuando se le compra a un tercero, ya sea por falta de producción de mineral o por falta de cantera, la venta es directa productor-beneficiador y no hay intermediarios en el proceso.

En general la venta del producto procesado (carbonato de calcio) se realiza directamente con las industrias consumidoras. Raras veces, el producto pasa a través de un distribuidor o comercializador.

Precios.

El precio del carbonato de calcio depende del tipo o de las especificaciones que se demandan del producto, es decir, existen varios tipos o presentaciones de acuerdo al uso. Con base en lo anterior influyen en el precio factores como el costo de producción, volumen de compra, grado de procesamiento, competencia, etc.

Oportunidades de inversión.

Entre los aspectos a ser considerados para invertir en proyectos de carbonato de calcio, se tienen los siguientes:

Se requiere disponer de un análisis detallado de la calidad del carbonato de calcio disponible, a efecto de establecer las industrias con mayor posibilidad de penetración.

Existe una extensa demanda en el mercado externo, con consistente penetración en el norteamericano. Lo cual abre oportunidades a otras empresas mexicanas para concurrir a los mercados internacionales de EUA y América Latina.

La sustitución de importaciones es factible, siempre y cuando se cumplan las especificaciones de los consumidores, con precios competitivos frente a los ofrecidos en el exterior.

En particular el carbonato de calcio precipitado tiene un mercado en extremo favorable. Sin embargo, el proceso de fabricación del carbonato de calcio precipitado necesita de inversiones mucho más elevadas que las requeridas en el carbonato de calcio molido, pues su obtención considera plantas y equipo con tecnología de punta.

CARBONATOS CRISTALOGRAFIA.

Los complejos aniónicos $(CO_3)^{2-}$ de los carbonatos son unidades frecuentemente enlazadas y no comparten oxígenos entre sí. Estos grupos carbonato planos, triangulares, son las unidades constructivas básicas de todos los carbonatos minerales y son los responsables en una gran medida de las propiedades peculiares del grupo.

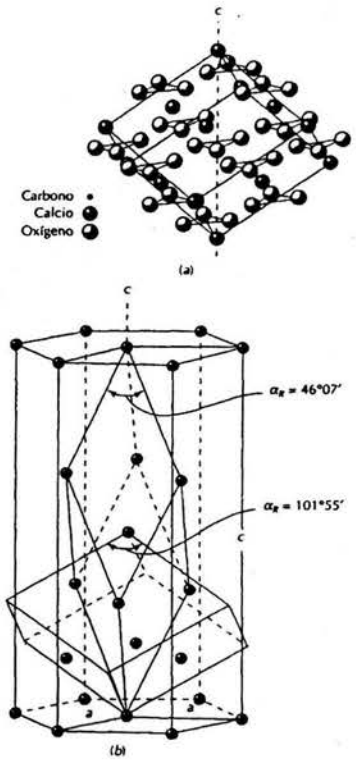


Fig. 9 (a) Estructura de calcita, $CaCO_3$, (b) Relación entre la exfoliación centrada en la cara del romboedro y la estructura romboédrica unidad. También puede verse una celda hexagonal (prisma de base romboédrica).
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Aunque en enlace entre el carbono central y sus oxígenos coordinados en el grupo (CO_3) es fuerte, no lo es tanto como el enlace covalente en el dióxido de carbono. En presencia del ion hidrógeno, el radical carbonato se vuelve inestable y se descompone dando dióxido de carbono y agua según la reacción $2H^+ + CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$. esta inestabilidad es la causa de su conocida efervescencia con los ácidos, prueba tan empleada para reconocer los carbonatos.

Los carbonatos anhidros importantes pertenecen a dos grupos isoestructurales: el grupo de la calcita, y el grupo de la dolomita.

CARBONATOS

Grupo de la calcita.
(Hexagonal; R$\underline{3}$c)

Calcita	$CaCO_3$
Magnesita	$MgCO_3$
Siderita	$FeCO_3$
Rodocrosita	$MnCO_3$
Smithsonita	$ZnCO_3$

Grupo de la dolomita.
(Hexagonal; R$\underline{3}$)

Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$
Ankerita	$Ca(Fe^{2+},Mg,Mn)(CO_3)_2$

GRUPO DE LA CALCITA.

Los cinco miembros en la tabla del grupo de la calcita son isoestructurales con el grupo R$\underline{3}$c. La estructura de la calcita, una de las primeras analizadas por rayos X por W.L. Braga en 1914, puede considerarse como derivada de la estructura del NaCl, en la cual los grupos triangulares (CO_3) reemplazan los esféricos Cl y Ca en lugar del Na. La forma triangular de los grupos (CO_3) hace la estructura resultante sea romboédrica y no isométrica como en el NaCl. Los grupos (CO_3) se encuentran en planos que forman ángulos rectos con el eje ternario (c) y los iones Ca en planos alternativos poseen coordinación 6 con los oxígenos de los grupos (CO_3). Cada oxígeno está coordinado con dos iones Ca y situado un ion carbono con el centro del grupo (CO_3).

Corrientemente la exfoliación romboédrica de la calcita se considera la forma unidad con índices {10$\underline{1}$1} y la relación axial expresada en armonía. En las descripciones morfológicas e índices de formas del grupo de la calcita y dolomita que sigue, esta convención ha sido respetada. Sin embargo, la determinación de estructuras por rayos X nos ha mostrado que este romboedro no corresponde a la celda unitaria correcta y que la celda unitaria más simple es un romboedro mucho más inclinado. Por tanto, las relaciones axiales estructurales difieren de las morfológicas.

Debe observarse que la relación de radios Ca: O (=0,014) en el $CaCO_3$ es tan próxima al valor límite entre coordinación 6 y 8 (0,732) que el $CaCO_3$ puede presentarse en dos tipos estructurales: calcita con coordinación 6 del Ca al O y el aragonito con coordinación 9 del Ca al O.

CALCITA – $CaCO_3$.

Cristalografía. Cristal hexagonal; $\underline{3}$2/m. cristales de hábitos extremadamente variados, generalmente muy complicados. Han sido descritas más de 300 formas distintas de ellos. Tres hábitos importantes;

1) Prismático en prismas cortos o largos; en él las caras del prisma están bien desarrolladas y terminan con el pinacoide básico o con romboedro.

2) Romboédrico, en el que predominan las formas romboédricas; la forma fundamental r (de exfoliación) no es corriente.
3) Escalenoédrico, en el cual predominan los escalenoedros, frecuentemente con caras de prisma y trincaduras romboédricas.

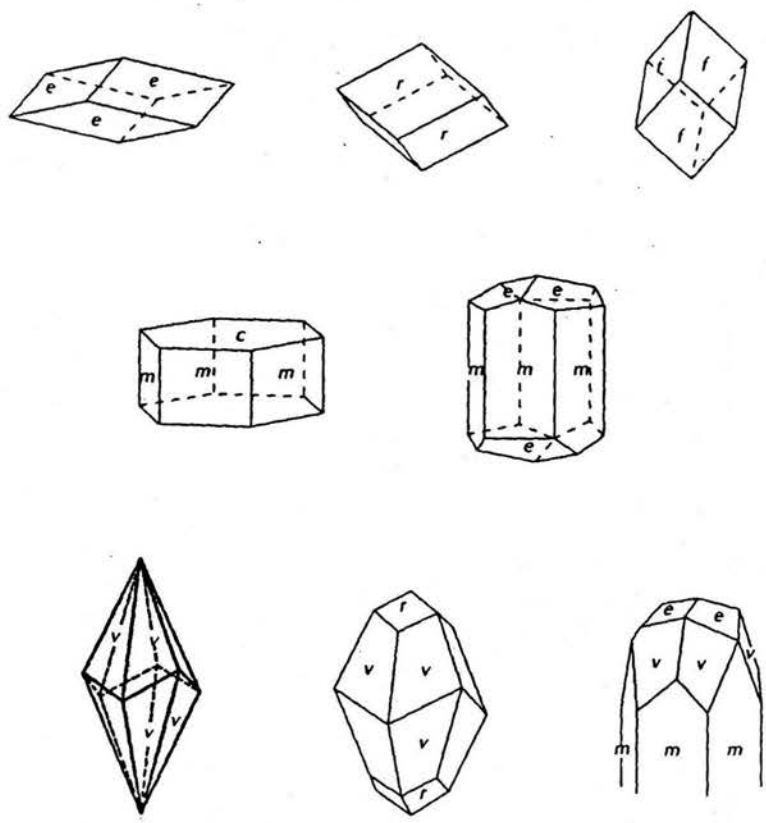
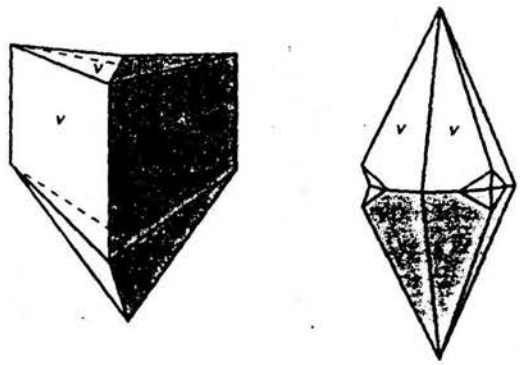


Fig. 10 Cristales de Calcita.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Generalmente, la calcita se presenta en cristales o en agregados granulados finos o gruesos; también en lasas granuladas finas a compactas, terrosas y en forma estalactítica.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta {10$\underline{1}$1} (ángulo de exfoliación = 74°55'). Partición según las laminillas de macla según {01$\underline{1}$2}.H 3 en la cara de exfoliación, en el pinacoide básico. G 2,71. Brillo vítreo terroso. Color generalmente blanco a incoloro, pero puede tener diversos tonos grisáceo, rojizo, verdoso, azulado y amarillento. Si es impura, de pardo a negro. De transparente a traslúcido. La variedad químicamente pura y; óptimamente limpia e incolora se conoce con el nombre de espato de Islandia. Óptica (---); w = 1.658, ε = 1.486.



(a) (b)

Fig. 11 Cristales de Calcita maclados. Planos de macla. (a) {0112}, (b) {0001}.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Composición y estructura. La mayor parte de las calcitas tienen una composición relativamente próxima al $CaCO_3$ puro con CaO 56% y CO_2 44%. El Mn^{2+}, Fe^{2+} y Mg puede sustituir al calcio, y una serie isomorfa completa se extiende hasta la rodocrosita, $MnCO_3$, por encima de 550°C, mientras que sólo es parcial con un 5% en peso de FeO entre localcita y la siderita. $FeCO_3$. Algunas calcitas inorgánicas pueden contener de 0 a un 2% en peso de MgO. En las partes duras de los organismos vivos la calcita puede presentar una proporción de $MgCO_3$ de 2 a 16 moléculas por ciento.

Diagnostico. Infusible. Los fragmentos muestran fácil efervescencia en HCl diluido frío. Se distingue por su dureza (3), su exfoliación romboédrica, color claro y brillo vítreo. Se distingue de la dolomita porque los fragmentos de calcita desprenden CO_2 con el ácido clorhídrico frío, y del aragonito por tener un peso específico menor y exfoliación romboédrica.

Yacimiento. Como mineral formador de rocas, la calcita es uno de los minerales más corrientes y difundidos. Aparece como enormes y extensas masas de rocas sedimentarias, en las cuales la calcita es el mineral más importante, siendo el único mineral presente en ciertas calizas. Las calizas metamórficas cristalinas se conocen con el nombre de mármol. La creta es un depósito pulverulento de carbonato cálcico, de grano fino. La calcita es un constituyente importante de las margas y areniscas calcáreas. Las rocas calizas se han formado, en gran parte, por la depositación en grandes espesores de material calcáreo, a base de caparazones y esqueletos de los animales marinos, en el fondo de los mares; sólo una pequeña porción de estas rocas se han formado directamente por la precipitación del carbonato cálcico. La calcita es un mineral primario en algunas rocas ígneas, como carbonatitas y sienitas nefelinas. Es el producto; ultimo de cristalización en las cavidades que se presentan en las lavas. También es un mineral común en las venas hidrotérmicas asociadas a las menas de sulfuros.

Empleo. La calcita se usa para la fabricación de cementos y cal confección de morteros. La caliza, al ser calentada a 900°C, pierde el CO_2 y se convierte en cal viva, CaO, según la reacción $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$. El CaO, mezclado con agua, forma uno de los diversos hidratos – CaO (cal apagada), se hincha, produce mucho calor y se endurece con

arena forma el mortero corriente. El mayor consumo de caliza se produce en la fabricación de cementos. En gran escala se fabrica el denominado cemento Pórtland. Está formado por un 75% de carbonato cálcico y el resto consta esencialmente de sílice y alúmina. La piedra caliza es materia prima de la industria química y finamente triturada se emplea como acondicionador del suelo, como blanco de España y para enjalbegar. Se utilizan anualmente grandes cantidades de caliza como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas, y como un agregado en el hormigón y material de construcción de carreteras. La caliza de grano fino es empleada en litografía y se denomina caliza litográfica.

MAGNESITA – $MgCO_3$.

Cristalografía. Cristal hexagonal; $\underline{3}2/m$. rara vez aparece en cristales romboédricos $\{10\underline{1}1\}$. Generalmente en masas criptocristalinas blancas, compactas y terrosas; menos frecuentemente en masas granulares exfoliables, bastas o finas.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta $\{10\underline{1}1\}$. H 31/2-5. G 3,0-3,2. Brillo vítreo. Color blanco, gris, amarillo, pardo. De transparente a traslúcido. Óptica: (---); $w = 1.700$, $\varepsilon = 1.509$.

Composición y estructura. MgO 47.8%, CO_2 52.2%. El hierro ferroso sustituye al magnesio, y la serie isomorfa completa se extiende hasta la siderita.

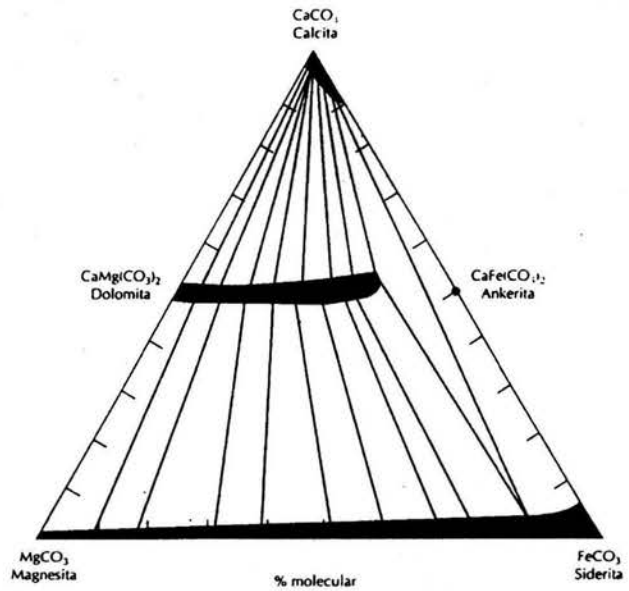


Fig. 12 Carbonatos y la extensión de su solución en el sistema $CaCO_3$-$MgCO_3$-FeO-(CO_2). La extensión de las series de soluciones sólidas en este diagrama está basadas en los análisis químicos de carbonatos en rocas metamórficas que han experimentado la metamorfosis a unos 400°C (zona biótica de facies con esquitos verdes). Las líneas de enlace conectan especies de carbonatos que comúnmente coexisten. Las asociaciones calcita – dolomita son comunes en las calizas que contienen Mg; las asociaciones ankerita – siderita se encuentran en las formaciones de hierro.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

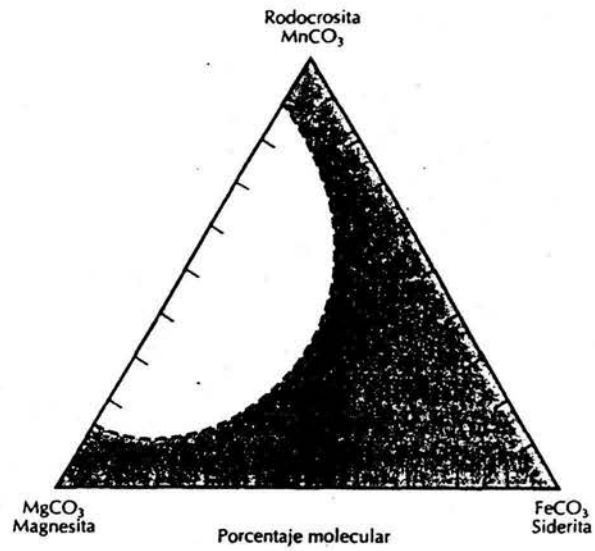


Fig. 13 Sistema de tres componentes $MgCO_3$ – $FeCO_3$ –$MnCO_3$ con la extensión aproximada de la solución sólida entre carbonatos. La falta de solución sólida entre $MnCO_3$ y $MgCO_3$ puede ser el resultado de una diferencia considerable en el tamaño de los radios catiónicos, o puede reflejar la ausencia de un tipo de rocas ricas en carbonato que cubran el hueco entre $MnCO_3$ y $MgCO_3$.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Se encuentran también pequeñas cantidades de calcio y manganeso. La magnesita es isoestructural con la calcita.

Diagnostico. Las variedades con exfoliación se distinguen de la dolomita por su peso específico más elevado y por la poca cantidad de calcio. La variedad maciza blanca se parece al horsteno y se distingue del mismo por su menor dureza. El ácido clorhídrico frío le ataca poco, pero se disuelve con efervescencia en caliente.

Yacimiento. La magnesita se encuentra corrientemente en filones derivados de la alteración de rocas ígneas y metamórficas ricas en Mg (serpentinas y peridotitas) por la acción de aguas carbónicas. Dichas magnesitas son compactas, criptocristalinas y corrientemente contienen sílice opalina. Las capas de magnesita cristalina exfoliable son: 1) de origen metamórfico, asociadas a esquistos talcosos, cloríticos o micáceos, y 2) de origen sedimentario, como precipitado primario o por sustitución de las rocas calizas por la acción de soluciones que contienen magnesio, formándose la dolomita como producto intermedio. Depósitos importantes de este tipo de magnesita sedimentaria se encuentran en China; en Satka, Montes Urales, CIS; y en Estiria, Austia. Los más famosos del tipo criptocristalino se hallan en la isla de Euibea. Grecia. Los mejores cristales proceden de filones de Oberdor, Australia, y Bahía Brasil.

Empleo. La magnesita calcinada, MgO, es decir, la calcinada a altas temperaturas y que contiene menos del 1% de CO_2, se emplea en la fabricación de ladrillos refractarios para hornos. La magnesita es la fuente de magnesia para productos químicos industriales. También ha sido empleada como Mena para la obtención del magnesio metálico, pero en la actualidad todo el magnesio producido se obtiene de soluciones saladas y del agua de mar.

Etimología. Se denomina así aludiendo a su composición.

SIDERITA – $FeCO_3$.

Cristalografía. Cristal hexagonal; $\underline{3}2/m$. los cristales son generalmente romboedros, frecuentemente con caras curvas. Aparece en concreciones globulares. El cristal es generalmente granular exfoliable. También puede ser botrioidal, compacto t terroso.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta $\{10\underline{1}1\}$. H 31/2 -4. g 3.96 para el $FeCO_3$ puro, pero decrece con la presencia de Mn^{2+} y Mg. Brillo vítreo. Color generalmente de castaño oscuro a claro. De transparente a traslúcido. Óptica: (---);$w = 1.875$, $\varepsilon = 1.633$.

Composición y estructura. Para $FeCO_3$ puro, FeO 62.1%, CO_2 37.9%, Fe 48.2%. El Mn^{2+} y el Mg sustituyen al Fe^{2+}, y la serie isomorfa completa se extiende a la rodocrosita y la magnesita. La sustitución del Fe^{2+} por Ca es limitada debido a la gran diferencia en tamaño de los dos iones. La siderita es isoestructural con la calcita.

Diagnostico. Se distingue de otros carbonatos por su color y el gran peso específico, y de la blenda por su exfoliación romboédrica. Es soluble en ácido clorhídrico caliente con efervescencia.

Alteración. Son corrientes las pseudomorfosis de limonita por siderita.

Yacimiento. La siderita se halla frecuentemente como arcilla ferruginosa, impurificada por la mezcla con materiales de arcilla, en concreciones concéntricas. Se halla también como hierro litoide contaminado con materiales carbonosos, en formaciones estratiformes extensas en exquisitos y corrientemente asociada a yacimientos de carbón. Estas menas fueron explotadas antaño, especialmente en Gran Bretaña, constituyendo la principal fuente del hierro, pero actualmente sólo se encuentran yacimientos explotables en North Staffordshire y Escosia. La arcilla ferruginosa también es abundante en los yacimientos carboníferos del oeste de Pennsylvania y este de Ohio, pero no se utiliza como mena de hierro. La siderita se forma también por la acción de soluciones ferrosas sobre las calizas, y, en el caso en que tales depósitos sean extensos, pueden tener valor económico. Los yacimientos más importantes de este tipo se encuentran en Estiria, Australia, donde la siderita aparece en gran cantidad. La siderita, en su forma cristalizada, es un mineral filoniano comúnmente asociado con diversas menas metálicas y galena. Cuando la siderita predomina en los filones, puede beneficiarse, como sucede en el sur de Westphalia, Alemania.

Empleo. Una mena de hierro. Importante en Gran Bretaña y Austria, pero de valor secundario en los Estados Unidos.

Etimología. De la palabra griega que significa hierro. Su nombre primitivo fue esferosiderita, que se refería a la variedad concrecionada; luego fue abreviado a siderita para aplicarlo a todas las variedades. Hierro espático es un nombre corriente. Chalibita, empleado por algunos mineralogistas, deriva de los Chálibes, que vivieron en el mar Negro y fueron en tiempo antiguo trabajadores del hierro.

RODOCROSITA – $MnCO_3$.

Cristalografía. Hexagonal; $\underline{3}2/m$. raras veces en cristales con el romboedro fundamental; frecuentemente con caras curvas. Generalmente, masas exfoliables; granular a compacta.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta {10$\underline{1}$1}. H 31/2-4. G 3.5-3.7. Brillo vítreo. El color, tiene generalmente tonalidad de rosada a roja; puede ser también rosada clara a castaño oscuro. Huella blanca. Transparente a traslúcido. Óptica; (---);w = 1.816, ε = 1.597.

Composición y estructura. Para $MnCO_3$ puro, MnO 61.7%, CO_2 38.3%. El Fe^{2+} sustituye al Mn^{2+}, y la serie completa se extiende desde la rodocrosita a la siderita. El Ca^{2+} muestra cierta sustitución por el Mn^{2+}. La presencia de la kutnahorita, $CaMn(CO_3)_2$, con una estructura ordenada del tipo de la dolomita, sugiere que sólo tiene lugar una solución sólida limitada, a temperaturas ordinarias, entre el $CaCO_3$ y el $MnCO_3$. El Mg puede también sustituir al Mn, pero la serie $MnCO_3$ – $MgCO_3$ es incompleta. Considerables cantidades de Zn pueden sustituir al Mn. La rodocrosita es isoestructural con la calcita.

Diagnostico. Se reconoce generalmente por su color rosado, su exfoliación romboédrica y dureza. La dureza (4) la distingue de la rodonita, $MnSiO_3$, de dureza 6. Infusible. Soluble en ácido clorhídrico caliente con efervescencia.

Yacimiento. La rodocrosita es un mineral relativamente raro, que aparece en filones hidroterminales con menas de plata, plomo y cobre, y con otros minerales de manganeso. Hermosas bandas de rodocrosita que se emplean para ornamentación y objetos decorativos se encuentran en las minas de Capillitas, Catamarca, Argentina.

Empleo. Una mena secundaria de manganeso. Pequeñas aplicaciones con fines ornamentales.

Etimología. Derivada de las dos palabras griegas rosa y color en alusión al color rosado.

SMITHSONITA – $ZnCO_3$.

Cristalografía. Hexagonal; $\underline{3}2/m$. raras veces en pequeños cristales romboédricos o escalenoédricos. Generalmente, reniforme, botrioidal o estalactítico y en incrustaciones cristalinas o en masas en forma de panal, conocidas como calaminas. También granular a terroso.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta {10$\underline{1}$1}, que rara vez se observa. H 4-41/2. G 4.30 – 4.45. Brillo vítreo. Color generalmente pardo sucio. Puede ser incoloro, blanquecino, verdoso, azulado o rosado. La variedad amarillenta contiene cadmio y se llama grasa de pavo. Huella blanca. Translúcida. Óptica (---);w = 1.650, ε = 1.623.

Composición y estructura. Para $ZnCO_3$ puro, ZnO = 64.8%, CO_2 = 35.2%.el Fe^{2+} puede sustituir considerablemente al Zn, pero hay un hueco en la serie $ZnCO_3$-$FeCO_3$. El Mn^{2+} está generalmente presente en un pequeño porcentaje, pero la presencia de una rodocrosita con zinc en la proporción Zn : Mn = 1 : 1.2 sugiere la existencia de una serie completa entre $ZnCO_3$ y el $MnCO_3$. el Ca y el Mg están presentes en pequeños porcentajes en peso. Pequeñas cantidades de Co se encuentran en una variedad rosa de la smithsonita y pequeñas cantidades de Cu en una variedad azul-verdosa. La smithsonita es isoestructural con la calcita.

Diagnostico. Soluble en ácido clorhídrico con efervescencia en los ácidos, sus ensayos del zinc, su dureza y su gran peso especifico.

Yacimiento. La smithsonita es una mena de zinc de origen supergénico; se encuentra generalmente con los depósitos de zinc en calizas. Asociada a blenda, galena, hemimorfita, cerusita, calcita y limonita. A menudo pseudomórfica de calcita. En ciertas localidades, en forma de material azul verdoso o verde translúcido, que se emplea para ornamentación. La localidad de Laurium, Grecia, es famosa por sus smithsonitas ornamentales, y Cerdeña por sus estalactitas amarillas con bandas concéntricas.

Empleo. Una mena de zinc. Una pequeña parte se emplea en ornamentación.

Etimología. Denominada así en honor de James Smithsonhington, D.C. al principio, los mineralogistas ingleses llamaron a este mineral calamina.

Especies similares. La hidrozincita, $Zn_5(CO_3)_2.(OH)_6$, un carbonato de zinc básico, es un mineral secundario en los depósitos de zinc.

GRUPO DE LA DOLOMITA.

El grupo de la dolomita incluye la dolomita, $CaMg(CO_3)_2$, la ankerita, café $(CO_3)_2$ y la kutnahorita, $CaMn(CO_3)_2$. Estos tres carbonatos son isoestructurales con el grupo espacial R3. la estructura de la dolomita es semejante a la de la calcita, pero con las capas de Ca y Mg alternando a lo largo del eje c. la gran diferencia en tamaño de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} (33%) ocasiona un ordenamiento catiónico con los dos cationes en niveles separados y específicos de la estructura. Con la no equivalencia de las capas de calcio y magnesio, los ejes de simetría binaria de la calcita no existen y la simetría es reducida a la clase romboédrica, 3. La composición de la dolomita es intermedia entre $CaCO_3$ y $MgCO_3$ con Ca : Mg 1: 1. Sin embargo, la ocurrencia de este compuesto ordenado no implica que exista una solución sólida entre $CaCO_3$ y $MgCO_3$. Especialmente en la estructura de la dolomita a bajas temperaturas, cada uno de los dos cationes divalentes ocupa una posición estructuralmente diferente. A mayores temperaturas (por encima de 700°C) la dolomita presenta pequeñas desviaciones respecto a la composición Ca : Mg = 1: 1.

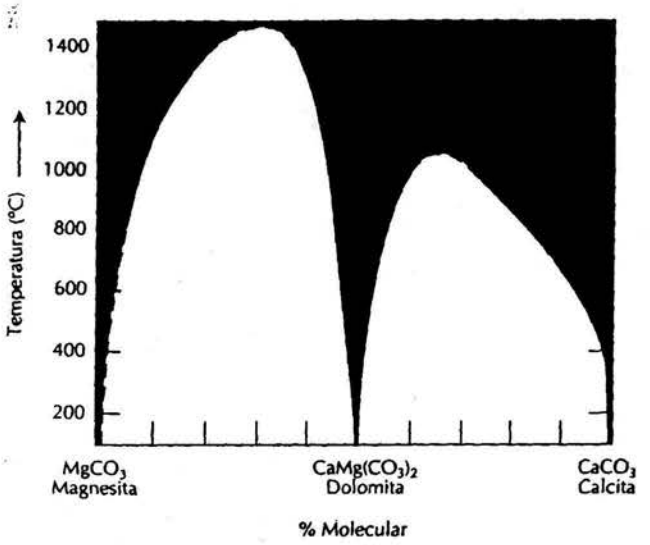


Fig. 14 Sistema $CaCO_3$ – $MgCO_3$ a presiones de CO_2 suficientes para evitar la descomposición de los carbonatos. La línea vertical a trazos es una composición dolomítica ideal. El sombreado indica la solución sólida.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Este diagrama muestra también que, a temperaturas elevadas, la calcita que coexiste con la dolomita se hace más magnesiana. De igual modo, la dolomita presenten los pares dolomita – calcita se hace algo más cálcica. A temperaturas superiores a unos 1000 – 1100°C existe una solución sólida completa entre la calcita y la dolomita, pero no entre la dolomita y la magnesita. Las composiciones en que coexiste la dolomita y la magnesita. Las composiciones en que coexisten la dolomita y la calcita se han utilizado para estimar las temperaturas de cristalización de rocas que contienen ambos carbonatos, usando la escala de temperaturas.

DOLOMITA – $CaMg(CO_3)_2$.
ANKERITA – $CaFe(CO_3)_2$.

Cristalografía. Para la dolomita. Hexagonal; $\underline{3}$. Los cristales están formados generalmente por el romboedro fundamental, otras veces por un romboedro agudo y una base. Caras curvas con frecuencia; algunas tanto que forman cristales en forma de silla de montar. Las otras formas son raras. Aparece en masas exfoliables granuladas gruesas o finas y compactas. Maclas corrientes en {0001}; maclas normalmente en cristales bien formados. Cuando sí lo hace, los cristales son semejantes a los de la dolomita.

Propiedades físicas. Exfoliación perfecta {10$\underline{1}$1}. H 31/2-4. G 2.58. Brillo vítreo; perlado en algunas variedades, espato perla. Generalmente, con tonalidades rosadas; puede ser incoloro, blanquecino, grisáceo, verdoso, pardo o negruzco. De transparente a translúcido. Óptica: (---);w = 1.681, ε = 1.500. Con la sustitución creciente por parte de Fe (hacia la composición de ankerita) G y el índice de refracción crecen. La ankerita es típicamente blanca amarillenta, pero debido a la oxidación del hierro puede parecer parda amarillenta.

Composición y estructura. Dolomita: CaO 30.4%, MgO 21.7%, CO_2 47.9%, Ankerita; CaO 25.9%, FeO 33.3%, CO_2 40.8%. La dolomita natural se desvía ligeramente de la proporción Ca : Mg = 1:1, variando entre 58 : 42 a 47 ½ : 52 ½. Una serie de soluciones sólidas se extiende hasta la ankerita y otra serie entre la ankerita y la kutnahorita, $CaMn(CO_3)_2$.

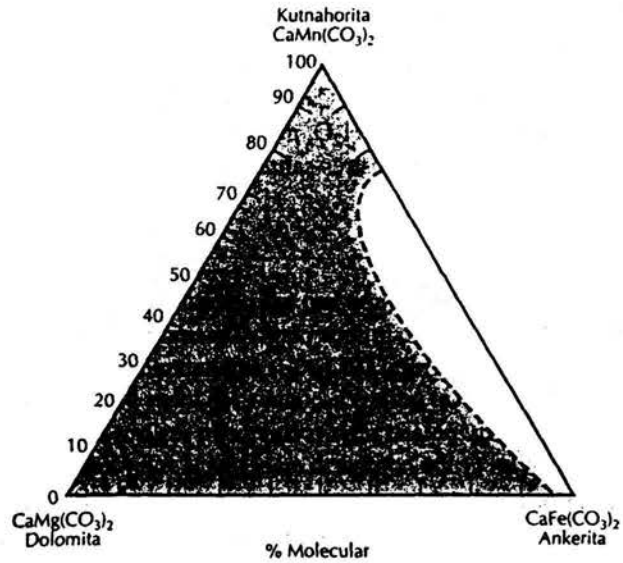


Fig. 15 Extensión aproximada de la solución sólida $CaMn(CO_3)_2 - CaFe(CO_3)_2$.
FUENTE: C. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Los miembros del grupo de la dolomita son isoestructurales. La estructura de la dolomita ha sido ya tratada.

Diagnóstico. Para la dolomita. En frío grandes fragmentos son atacados por el HCl lentamente, pero solubles con efervescencia por el HCl caliente; el mineral en polvo es fácilmente soluble en ácido frío. La variedad de roca compacta se distingue de la caliza por su reacción menos vigorosa con el ácido clorhídrico. La ankerita es semejante a la dolomita en sus propiedades físicas y químicas, distinguiéndose por su color, que varía del pardo al pardo amarillento. La ankerita se vuelve negra al soplete.

Yacimiento. La dolomita aparece principalmente en masas rocosas extensas formando las calizas dolomíticas y su equivalente cristalino, el mármol dolomítico. Se supone generalmente que la dolomita, como roca, es de origen secundario, formada a partir de la caliza ordinaria, reemplazamiento parte del Ca por Mg. El reemplazamiento puede ser solamente parcial y así la mayor parte de las rocas dolomíticas son mezcla de dolomita y calcita. También aparece como mineral filoniano hidrotérmico, principalmente en los filones de plomo y zinc que atraviesan las calizas, asociado a fluorita, calcita, baritina y siderita. La ankerita es un carbonato común en las formaciones de hierro.

Se hallan en grandes masas rocosas en las regiones dolomíticas del Tirol meridional; en buenos cristales, en Binnenthal, Suiza; en Teruel, España; Traversilla, en

Piamonte; en el norte de Inglaterra; en Guanajuato, México. En los Estados Unidos se encuentra formado masas sedimentarias en muchos estados del Oeste Medio, y en buenos cristales en Joplin, Missouri.

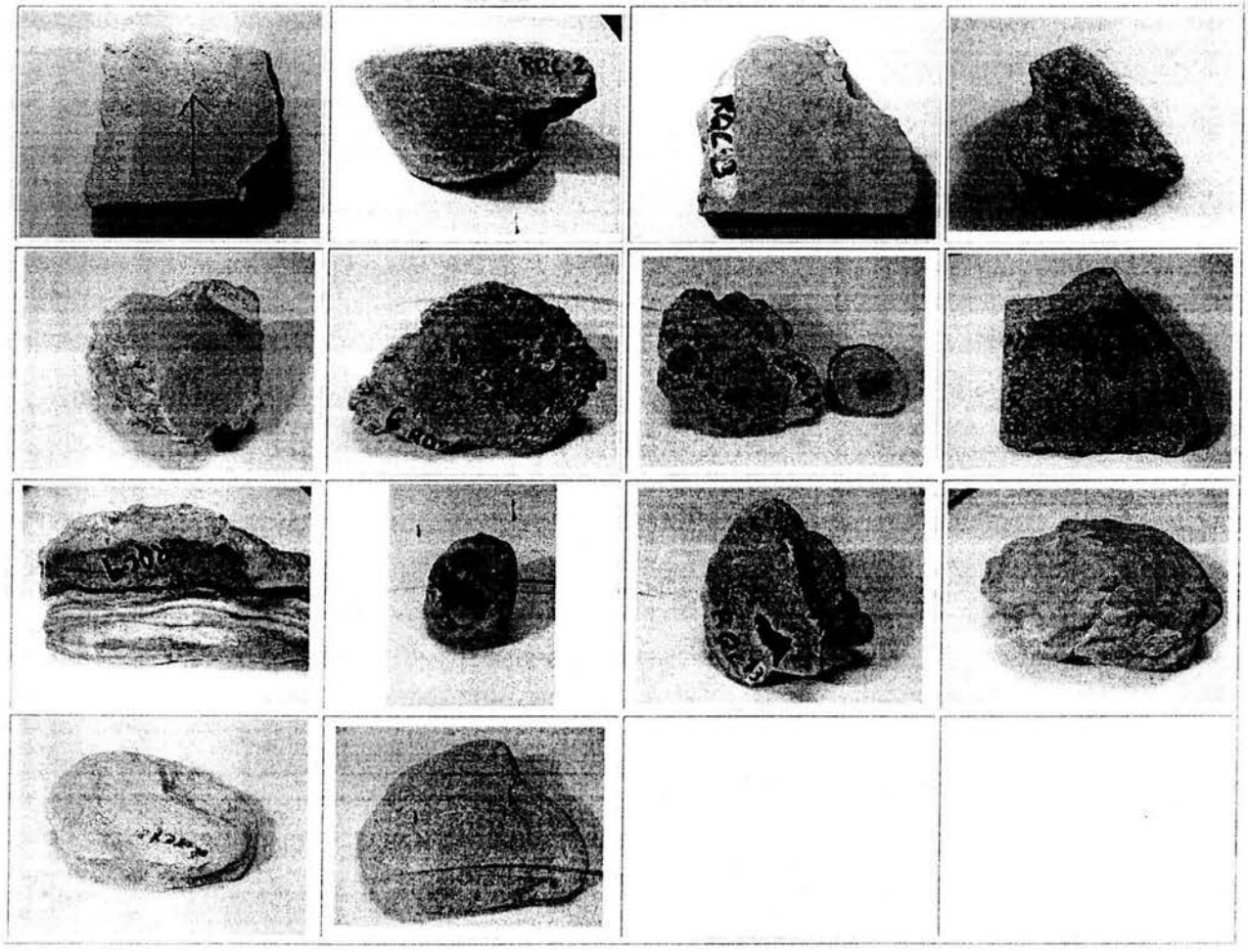
Empleo. Como piedra de edificación y ornamentación. Para la fabricación de magnesia, que se emplea en la preparación de revestimientos refractarios de los convertidores en los procesos básicos de obtención de acero. Mena potencial de magnesio metálico.

Etimología. En honor del químico francés Dolomieu (1750 – 1801). La ankerita de M.J. Ander (1772 – 1843), mineralogista austriaco.
Especies semejantes. Kutnahorita, $CaMn(CO_3)_2$, isoestructurales con la dolomita.

Fig. 16. ROCAS SEDIMENTARIAS QUIMICAS CARBONATADAS

FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

Fig. 17 COLECCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS QUÍMICAS CARBONATADAS



FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA MICROCRISTALINA (MICRITA).

Mineral esencial es la calcita ($CaCO_3$). Colores claros (blancos, cremas y grises). Da efervescencia con el HCl por lo que se distingue de las Dolomías. Roca densa y dura, aunque se suele rayar bien con el acero, lo que sirve para distinguirla de algunas cuarcitas (metamórficas). En la muestra no se observa la estructura cristalina a simple vista, pero posee una característica típica de las calizas: La presencia de porosidad inducida por disolución, que da lugar a los huecos que se observan (micro-karstificación). En este caso se trata de porosidad Fenestral (a favor de huecos de raíces). Además se observa laminación interna paralela al techo (ver flecha): Hay bandas oscuras (micrita) alternando con otras más claras (blancas) compuestas por cristales mayores de esparita (recristalización diagenética). Caliza continental de ambiente palustre.

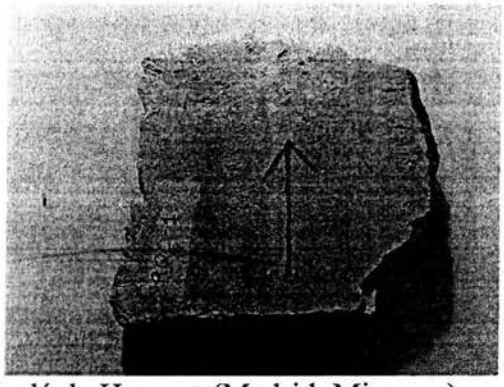


Fig. 18 Muestra pulida. Alcalá de Henares (Madrid, Mioceno).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA MACROCRISTALINA.

Al ser macrocristalina se pueden observar los cristales a simple vista. Roca dura y compacta, con superficie de rotura áspera y concoidea. La muestra es una caliza masiva en la que no se observa ningún tipo de laminación o estructuración interna. Obsérvese la zona alterada superficial (milimétrica). Solo se distingue de una Dolomía por su efervescencia al HCl

Fig. 19 Fragmento. Patones (Guadalajara, Cretácico).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA FOSILIFERA

Caliza microcristalina, recristalizada. En la cara pulida se observan los cristales de calcita, así como distintos restos fósiles. La mayor parte de ellos responde a secciones longitudinales de conchas de bibalvos marinos. Obsérvese las numerosas venas de calcita que atraviesan la muestra, así como el distinto aspecto que presenta la muestra en las caras pulidas y en los bordes. Este último es el aspecto que presentan sobre el terreno. Depósitos marinos de plataforma carbonatada.

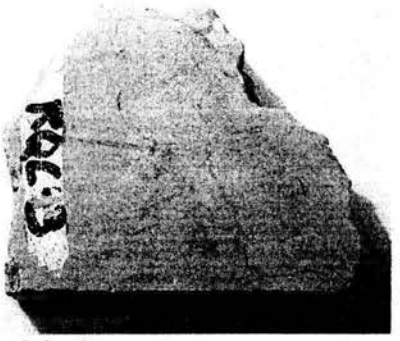


Fig. 20 Muestra pulida. Cuenca (Jurásico).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA RECIFAL.

Corresponde a una acumulación de restos fósiles de diferente procedencia empastados en una matriz micrítica. Los restos más abundantes responden a fragmentos de gasterópodos, bibalvos, y placas de equinodermos, siendo los más abundantes los restos de corales (placas horadadas). En algunas zonas de la muestra la acumulación de restos fósiles es tan abundante que se asemeja a una "Lumaquela". Depósitos marinos por acumulación de restos fósiles al pie del talud de un arrecife coralino.

Fig. 21 Fragmento. Urgada (Mar Rojo, Egipto, Cuaternario).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

DOLOMIA.

Caliza recristalizada en la que se ha producido una sustitución isomórfica de Ca por Mg (Reemplazamiento - Dolomitización). El mineral esencial es pues la Dolomita ($(CaMg)_2 2CO_3$). Su aspecto es en todo similar al de una caliza macrocristalina. Únicamente se distingue de ellas por que estas no reaccionan al HCl. Se pueden observar grandes placas de cristales. La muestra además se encuentra karstificada (proc. de disolución), produciéndose los grandes huecos que se observan.

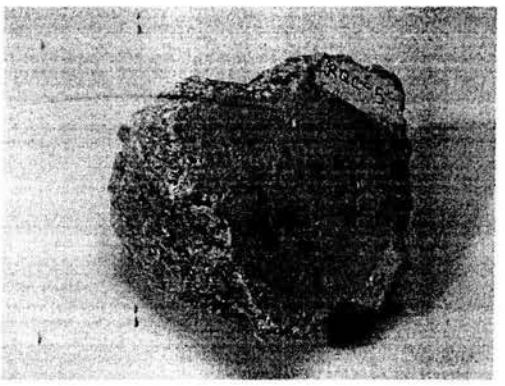


Fig. 22 Fragmento
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA TOBACEA.

Las Tobas son un tipo de calizas especiales. Se producen cuando la precipitación de $CaCO_3$ tiene lugar alrededor de los tallos y raíces de las plantas en surgencias kársticas (fuentes) o zonas de encharcamientos y/o remansos de los ríos (juncos, etc.). En cualquier caso, los tallos quedan fosilizados, pero el contenido orgánico interno se pudre y desaparece con el tiempo, lo cual confiere a estas rocas una elevada porosidad. Son rocas poco densas, de escasa resistencia y aspecto arbóreo.

Fig. 23 Fragmento. Cifuentes (Guadalajara, Cuaternario).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA ONCOLITICA.

Caliza compuesta por una acumulación de oncolitos. Los "Oncolitos" son acumulaciones de $CaCO_3$ a favor de las colonias de algas que tapizan un núcleo detrítico (grano o partícula de arena, Canto). Son típicos de los remansos de los ríos o márgenes lacustres: El núcleo detrítico rueda muy lentamente enrollando a su alrededor las distintas envueltas de algas (ver laminaciones concéntricas). Exclusivamente continentales. En la muestra se observa como su núcleo está constituido por una acumulación de oncolitos menores cementados entre sí. Obsérvese el típico bandeado concéntrico tanto a macro, como a microescala. Cada lámina representa un antiguo tapiz de algas.

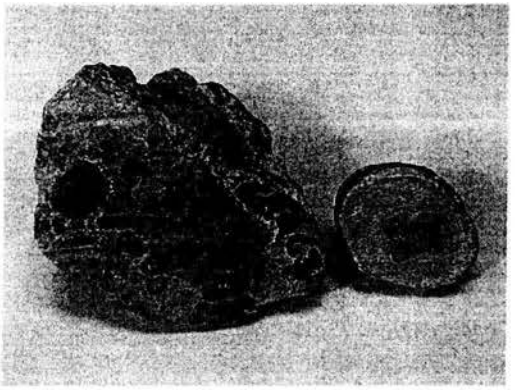


Fig. 24 Fragmento pulido. Calatayud (Zaragoza, Mioceno).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA OOLITICA.

Caliza compuesta por una acumulación de esferas de $CaCO_3$ de geometría circular o elíptica., cementadas entre sí por $CaCO_3$. En ellas también es común observar la presencia de numerosas partículas detríticas acompañantes. Los "Oolitos" se forman por agregación de carbonato calcio en capas alrededor de un núcleo constituido por un grano de arena o cristal de calcitas. A diferencia de los oncolitos, los oolitos son típicos de ambientes de alta energía en medios litorales (barras litorales y playas). El proceso de formación es similar al de los oncolitos, pero en este caso en ambiente marino.

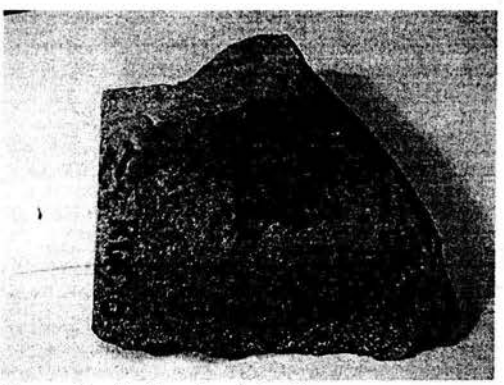


Fig. 25 Fragmento pulido. Cazorla (Jaén, Jurásico).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALCRETA (COSTRA CALCAREA).

Caliza de origen edáfico (suelo s.s.) que se forma por acumulación de carbonato en el horizonte C de los suelos en climas áridos y semiáridos, dando lugar a costras superficiales de extremada dureza. En la muestra se observan los típicos bandeados de las calcretas laminares. Existen bandas más claras ($CaCO_3$ -micrita-) y más oscuras de tonos salmón. Estas últimas constituyen niveles de arcillas no reemplazados en su totalidad por $CaCO_3$, pero fuertemente cementadas. Hacia techo, en la parte superior (de tono salmón más claro) se observan fragmentos retrabajados (rotos y parcialmente removilizados) de una antigua lámina más oscura empastada por una matriz micrítica en la que las partículas detríticas son muy abundantes. Obsérvese que el aspecto irregular e entrecruzado de las laminaciones y la presencia de porosidad fenestral (a favor de huecos de raíces). En realidad este tipo de calizas se generan como consecuencia de la precipitación de $CaCO_3$ a favor de mallas de raíces horizontales típicas de plantas herbáceasy retamas xeroesclerófilas.

Fig. 26 Fragmento pulido. Totana (Murcia, Cuaternario).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

RAIZ CALCIFICADA.

Tubo de $CaCO_3$ procedente de la precipitación de carbonato al rededor de la raíz de una planta. El interior se encuentra relleno por materiales detríticos finos (arcillas + arenas finas) muy ricos en materia orgánica. Esta última procede de la descomposición de los tejidos orgánicos que constituían la raíz.

Fig. 27 Fragmento tubular. Calatayud (Zaragoza, Mioceno).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CORAL Fósil.

Fig. 28 Isla Mujeres, (México, Mar del Caribe, Cuaternario).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

MARGA MASIVA.

Roca intermedia entre una caliza microcristalina y una arcilla. Compuesta por cristales microscópicos de $CaCO_3$ y minerales arcillosos en distinta proporción. Poseen colores muy diversos, aunque generalmente los tonos verdosos y grisáceos-cemento son los más comunes. De hecho si la proporción Carbonato/arcilla es la adecuada puede utilizarse directamente para la fabricación de Cemento. Son típicas de depósitos marinos y/o continentales lacustres de centro de cuenca. La muestra en cuestión es de origen marino.

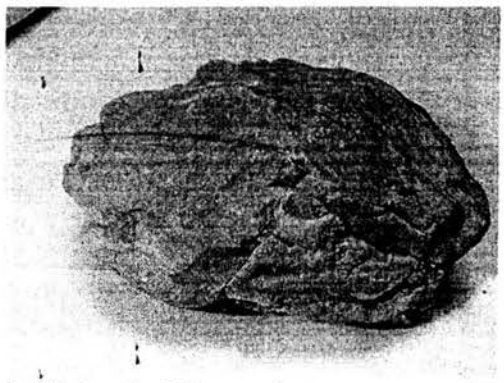


Fig. 29 Fragmento. Mazarrón (Murcia, Mioceno).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

MARGA LAMINADA.

Similar a la muestra anterior. Pero en este caso de origen continental -palustre-. A diferencia de las marinas las continentales suelen poseer algún tipo de laminación interna y/o porosidad fenestral.

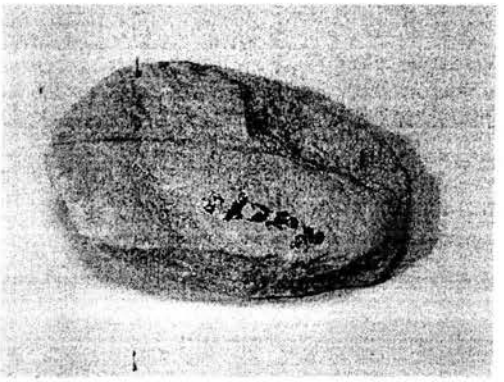


Fig. 30 Fragmento. Teruel (Mioceno).
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

CALIZA-MARGOSA.

Con el adjetivo margoso, se denomina a aquellas calizas que poseen cierto contenido (>10%) de minerales arcillosos en su composición. En este caso, la muestra responde a una auténtica lummaquela. Las numerosas placas elípticas y circulares que se observan son las tapas de cierre de los opérculos de gasterópodos continentales (Caracoles). También puede observarse algún individuo completo o su impronta (planorbis).

Fig. 31 Fragmento. Teruel (Mioceno)
FUENTE: http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

EXPLOTACIÓN DE MINAS.

Fig. 32 Extracción de piedra caliza.
FUENTE:www.infomine.com/

Siempre de acuerdo con el código de minería y leyes concordantes, en la segunda etapa del proceso minero, es decir ocurrido ya un descubrimiento y registrado el mismo, la Autoridad le otorga al primer descubridor la propiedad o concesión minera, términos considerados equivalentes, y a partir de la cual el minero puede comenzar la explotación de la mina. El minero puede efectuar los reconocimientos que desee en el yacimiento, a efectos de precisar el lugar más conveniente para establecer sus propiedades conforme sea el criadero o la veta encontrada, su inclinación y grueso, su dirección, y la clase de mineral descubierto. Se deja al arte que emplee el minero los medios más precisos, más económicos y conducentes al cumplimiento de sus tareas, según lo requieran los accidentes del criadero y del terreno. Debe decidir, conforme a la libertad de explotación que el código le reconoce, la forma de laboreo que estime más conveniente.

La ley fija para beneficio de la explotación y garantía de los trabajadores, una serie de normas que se conocen como condiciones de la explotación, y cuyo incumplimiento acarrea multas y convenientes reparaciones. Estas prescripciones no implican en modo alguno establecer al minero un plan determinado y oficial de explotación.

METODOS DE EXPLOTACION MINERA.

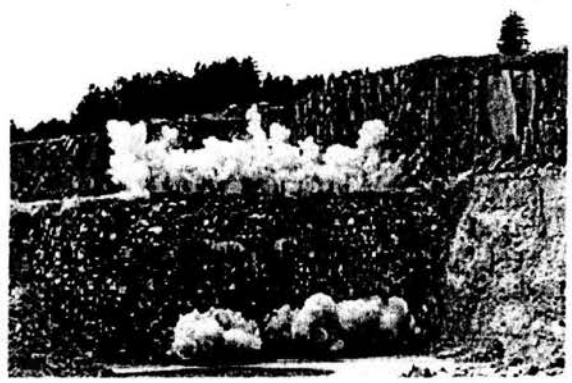


Fig. 33 Voladura en mina a cielo abierto.
FUENTE: www.grupocalider.com/

Dependiendo de la forma y ubicación de un cuerpo mineralizado, su explotación puede ser realizada por minería subterránea o por minería a cielo abierto. La minería subterránea es el método que se elige normalmente, para explotar yacimientos profundos. Luego de la voladura, el mineral es cargado y transportado a la superficie. Debido a que las operaciones están ubicadas frecuentemente por debajo del nivel freático natural, el agua inunda la mina, debiéndose bombear el agua a la superficie.

Este método realizado también por medio de socavones, que son unas galerías o callejones con cierto declive, de una amplitud ordinaria mayor que la de las labores comunes, y colocados en un punto más bajo que los planos de la mina, y por los cuales se consigue dar salida a las aguas, reconocer los yacimientos en profundidad, el arranque de los minerales, su acarreo, el de los desmontes y materiales para la explotación. La minería subterránea tradicional tiene una importancia relativamente menor, frente al avance que en las últimas décadas han experimentado las de cielo abierto. Se advierte, en la minería subterránea, que el ambiente interno de las minas se hace cada día de más difícil control, en materia de polvo, calor, humedad, gases, ruido, vibraciones e insuficiencia de luz, a causa de la explotación de yacimientos cada vez más profundos y de condiciones técnicas más complejas.

Otro método de explotación minera, es el que se realiza a cielo abierto, es decir a flor de tierra. Estas explotaciones, han alcanzado en algunos países profundidades de grandes centenares de metros y la tendencia a explotar yacimientos a honduras mayores se acentúa día a día. Es utilizada para depósitos localizados a escasa profundidad, y consiste en la excavación a cielo abierto. Las operaciones mineras, sobre placeres de oro, son un caso especial, donde sedimentos escasamente consolidados en, o cerca de la superficie, constituyen el yacimiento.

Normalmente, el ciclo operativo de la minería a cielo abierto es el siguiente: remoción de los materiales de encape (estériles); voladura de las rocas mineralizadas; carga y transporte del mineral a la planta de procesamiento. Frecuentemente, es necesario remover por bombeo el agua que se acumula en el piso del hoyo, ya sea por causas de lluvia o bien por filtración de aguas subterráneas.

A consecuencia de esto, las superficies terrestres cultivadas podrían desaparecer ante el progreso experimentado por este método de explotación, siendo necesario producir el reasentamiento de poblaciones para aprovechar los recursos minerales existentes. Los cursos de agua superficiales y las vías de comunicación requieren, a veces, ser derivados para posibilitar los trabajos mineros, las napas[1] de agua subterránea pueden ser afectadas por el paulatino descenso y ascenso de su nivel que daña a los cultivos, por resecamiento o exceso de humedad del suelo, se producen hundimientos o agrietamiento de los terrenos por la propia dinámica de las rocas portantes.

[1] Capa o manto subterráneo de cualquier material líquido o gaseoso.

El otro método de explotación minera es, el minado por disolución, el cual es una alternativa a los procedimientos mecánicos solamente aplicable a los minerales que pueden ser disueltos en agua u otras soluciones disolventes. Este sistema de minado, tiene potencialmente capacidad para contaminar las aguas subterráneas y el control de las soluciones es un tema de la mayor importancia.

En esta materia, es conveniente tener en cuenta, no sólo los daños que la minería puede ocasionar al ambiente, sino también los que otras actividades del suelo producen a menudo a los yacimientos. La industria petrolera, por ejemplo, puede causar perjuicios, por pérdidas o filtraciones, a los mantos de potasio o de sal que atraviesan las perforaciones. La misma actividad agrícola, forestal o industrial, puede dañar los horizontes de arcilla o caolines cubiertos por la capa de humus. El código de minería contempla la conservación de los yacimientos, contra la explotación abusiva del propio minero. Sin embargo, no establece una salvaguardia similar contra eventuales acciones depredatorias del propietario del terreno.

CLASIFICACION DE HIDRÓXIDOS O CAL APAGADA.

Cal Hidratada Tipo N

Descripción.

Es un hidróxido de calcio $Ca(HO)_2$ que se elabora calcinando e hidratando mármol calcitico bajo un estricto control de calidad para poder cumplir la norma "N" de la American Society For Testing and Materials (ASTM).

Tabla. 7 Cal Hidratada Tipo N
Composición.

CaO total	mínimo	70.0%
$Ca(OH)_2$ (pureza)	mínimo	90.0%
MgO total	máximo	2.0%
Insolubles (HCl)	máximo	1.75%
Hidróxidos totales	mínimo	91.0%
Dióxido de Carbono	máximo	2.5%

FUENTE: www.redquimica.unam.mx

GRANULOMETRIA: El 85% pasa malla 200 (75µm)

Usos.

En la industria química, debido a su alta pureza y bajo contenido de oxido de magnesio.
En la industria del plástico como relleno y secante.
En la industria del papel para la digestión de la pulpa.
En la cianuración del oro.
En saneamiento evita la proliferación de malos olores.
En el tratamiento de aguas industriales y consumo humano produce neutralización, ayuda la floculación y la clorificación.
En la industria petroquímica en la refinación de emulsiones de aceite. Desulfuración y tratamiento de lodos.
En la industria de los alimentos para refinación del azúcar y las gelatinas.
Como agente neutralizante.
Estabilización de suelos (construcción de vías).

Empaque.

Bolsas de papel Kraft con sistema de auto cierre de 25 Kg. c/u ó en Big Bags de 1 TM.

Control de calidad.

Se efectúa siguiendo los métodos estándar de la ASTM siguiendo la desgración C25-90 y C110-87.

Cal Hidratada Tipo M.

Descripción.

Son hidróxidos de calcio y magnesio que se elaboran calcinando e hidratando mármol calcitico, o calizas dolomíticas bajo un estricto control de calidad para poder cumplir la norma "N" de la American Society For Testing and Materials (ASTM).

Tabla. 8 Cal Hidratada Tipo M
Composición.

CaO total	mínimo	45.0%
$Ca(OH)_2$ aprovechable	mínimo	56.0%
MgO total	máximo	28.0%
Insolubles (HCl)	máximo	2.8%
Hidróxidos totales	mínimo	87.0%
Dióxido de Carbono	máximo	2.5%

FUENTE: www.redquimica.unam.mx

Granulometría: El 85% pasa malla 200 (75μm)

Usos.

En la industria metalúrgica (ferrosa y no ferrosa) como escorificante y protector del refractario por su contenido de magnesio.
En la industria del curtimbre para la limpieza e hinchamiento de los cueros.
En la agroindustria como desinfectante de galpones y establos, para acelerar la descomposición de materia orgánica.
En saneamiento evita la proliferación de malos olores.
En el tratamiento de aguas industriales y consumo humano produce neutralización, ayuda la floculación y la clorificación.
Como agente neutralizante.
Como relleno de asfaltos.
En la construcción de mortero y revoques, también como recubrimiento para todo tipo de superficies.

Empaque.

Bolsas de papel Kraft con sistema de auto cierre de 25 Kg. c/u, ó en Big Bags de 1TM.

Control de Calidad.

Se efectúa siguiendo los métodos estándar de la ASTM siguiendo la desgración C25-90 y C110-87.

Cal Tipo E.

Descripción.

Es un hidrato de calcio, de alta pureza, bajo contenidos de insolubles, muy fino y blanco. Se elabora bajo vigilancia directa del departamento técnico y con un estricto control de calidad para cumplir con normas internacionales.

Tabla. 9 Cal tipo E
Composición.

CaO total	mínimo	73.0%
MgO total	máximo	2.0%
Dióxido de Carbono	máximo	2.0%
Insolubles (HCl)	máximo	1.0%
Pérdidas calcinación	máximo	25.0%
SiO_2	máximo	0.75%
Al_2O_3	máximo	0.20%
Fe_2O_3	máximo	0.10%
Humedad	máximo	0.50%
$Ca(OH)_2$ (pureza)	mínimo	93.0%
Hidróxidos totales	mínimo	94.0%

FUENTE: www.redquimica.unam.mx

Granulometría: El 80% pasa malla 325 (45µm)

Usos.

En la industria química y farmacéutica, en la preparación de acetatos, propianatos, cloruros, hipocloritos, cítricos, formiatos, estereatos y en muchos otros compuestos de calcio debido a su alta pureza.
En la industria alimentaría, en la producción de fosfatos de calcio y purificación de azúcares.
En la industria petroquímica, en la refinación de emulsión de aceites y en la elaboración de grasas lubricantes.
En la industria del papel.
En la industria del cuero.
En saneamiento evita la proliferación de malos olores.
En las industrias de las pinturas y adhesivos.
Se emplea en el cubrimiento de cables eléctricos.
Es materia prima para la fabricación de calcio precipitado.
En extrusión y laminado.
Como agente neutralizante.

Empaque.

Bolsas de papel Kraft con sistema de auto cierre de 25 Kg. c/u, ó en Big Bags de 1TM.

Control de Calidad.

Se efectúa siguiendo los métodos estándar de la ASTM siguiendo la desgración C25-90 y C110-87.

Cal Hidratada (Especiales).

Descripción.

Son hidróxidos de calcio que se elaboran según la necesidad del cliente y bajo vigilancia directa del departamento técnico con un estricto control de calidad.

Tabla. 10 Cal hidratada (especiales)
Composición.

$Ca(OH)_2$ (Pureza)	mínimo	97.0%
Mg0 Total	máximo	0.8%
Insolubles (HCl)	máximo	0.2%
Pérdidas a 950°C	máximo	25%
Fe_2O_3	máximo	0.1%

FUENTE: www.redquimica.unam.mx

Granulometría: El 80% pasa malla 325 (45μm)

Usos.

Alcalinización del ácido cítrico.
Fabricación de fosfatos y sales de calcio.
Aditivo de alimentos.
Medicina.
Como solución, tampón y neutralizante.
Purificación de zumos de azúcar.

Empaque.

El empaque típico es bolsas de papel con sistema de auto cierre, otros empaques a definir con el cliente. (Big Bags de 1 TM)

Control de Calidad.

Se efectúa siguiendo los métodos estándar de la ASTM siguiendo la desgración C25-90 y C110-87.

CAPITULO II.

OBTENCION DEL CaO A PARTIR DE $CaCO_3$.

REACCIONES DE CALCINACIÓN.

Calcinación.

La cal viva se obtiene por calcinación de la piedra caliza en hornos especiales, donde se le somete a temperaturas cercanas a los 1000 grados centígrados, provocando la siguiente reacción:[1]

Cuadro 7 Reacciones de calcinación.

Piedra caliza + calor	= Gas carbónico + cal viva
$CaCO_3$+ calor	= CO_2+ CaO
Carbonato de calcio + calor	= Anhídrido carbónico + Óxido de calcio

La cal viva es muy cáustica y tiene una gran afinidad con el agua, a cuyo contacto se transforma en hidróxido, con gran desarrollo de calor durante el proceso.
De la cal viva, mezclada con agua, se obtiene la *cal apagada* (o cal hidratada, que es hidróxido de carbono $Ca(OH)_2$):

Cuadro 8 Reacciones de hidratación.

Cal viva + agua	= Cal apagada + calor
CaO + H_2O	= $Ca(OH)_2$+ calor
Óxido de calcio + Agua	= Hidróxido de carbono + calor

Durante este proceso se produciéndose la desintegración rápida de las piedras, que se diluyen en el agua. Posteriormente, dejando secar esta pasta puede obtenerse cal en polvo.

BALANCE DE MATERIA.

[1] Robert S Boynton. 2000. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, USA Consultant A Wiley – Intersience Publication John Wiley & Son, Inc.

En el horno suceden las siguientes reacciones:

$CaCO_3$ + Calor → CaO + CO_2↑

$MgCO_3$ + Calor → MgO + CO_2↑

Calculos: Se escoge como base 100 kg de $CaCO_3$.

Tabla. 11 Composición química de la caliza.

Composición química de la Caliza.	% en peso.	Peso molecular.	Fracción mol a/b.
$CaCO_3$.	97	100	0.97
$MgCO_3$.	1.55	84.3	0.018
Insolubles.	1.45	--	--
Total:	100	--	0.988

Tabla. 12 Composición química de la cal.

Composición química de la Cal.	% en peso.	kg. obtenidos de Cal.	kg. obtenidos de CO_2.
CaO.	56	54.25	42.7
MgO.	40.3	0.741	0.81
Insolubles.	--	1.450	--
Total:	--	56.441	43.51

Resultados:

100 kg Caliza + Calor → 56.441 kg Cal + 43.51 kg CO_2 ↑

100 kg Caliza + Calor → 56 kg de Cal + 44 kg CO_2 ↑

En el hidratador para simplificación de los cálculos se considera únicamente la hidratación del óxido de calcio.

La reacción es la siguiente:

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ + Calor↑ kg / kg*mol

56 + 18 → 74 + Calor↑ Masa molecular.

Ahora bien a 100 kg de CaO hay que agregar "X" kg de H_2O en exceso debido a lo exotérmico de la reacción:

Calculo del exceso de H_2O:

Dato: el calor desprendido por la reacción = 65.27 kJ / g*mol

Por lo tanto.

1 mol de CaO + 1 mol H_2O + "X" mol de H_2O → 1 mol de $Ca(OH)_2$ + "X" mol de H_2O

"X" = mol de H_2O que se evaporan

Sabemos que:

X mol de H_2O (λ kcal / g*mol) = 65.27 kJ / g*mol

$\lambda_{960°C}$ = calor latente de vaporización H_2O = 40.79 kJ / g*mol

de donde: "X" = (65.27 kJ) / (40.79 kcal / g*mol) = 1.61 g*mol H_2O en exceso

La reacción queda:

1 mol CaO + 1 mol H_2O + 1.61 mol H_2O → 1 mol $Ca(OH)_2$ + 1.61 mol H_2O ↑

1 mol CaO + 2.61 mol H_2O → 1 mol $Ca(OH)_2$ + 1.61 mol H_2O ↑

Hacemos un nuevo balance:

1(56 kg CaO) + 2.61 (18 kg H_2O) → 1(74 kg $Ca(OH)_2$) + 1.61 (18 kg H_2O) ↑

56 kg CaO + 47 kg H_2O → 74 kg $Ca(OH)_2$ + 29 kg H_2O ↑

Teorico:

100 kg CaO + 84 kg H_2O → 132 kg $Ca(OH)_2$ + 52 kg H_2O ↑

Practicos:

100 kg de Caliza → 70 kg de $Ca(OH)_2$ (aproximadamente).[2]

La producción se calculará según un periodo de funcionamiento de 3 días (72 horas) con comienzo de la prueba con horno en regimen.

TIEMPOS APROXIMADOS DE CALCINACION.

[2] Banewiez, John J and Kenner, Charles T. 1952. Determination of Calcium and Magnesium in Limestone and Dolomites, Aplication of the EDTA, Vol 24 No 7 July, pags. 1186 – 1187.

El tiempo aproximado de calcinación para una capacidad de 280 Ton / dia es:

Como se trabajaran dos turnos de ocho horas cada uno tendremos 16 horas de trabajo al día, en una hora de trabajo se produciran 17.5 Ton / hora aproximadamente 0.3 Ton / min.[3]

TIPOS DE COMBUSTIBLES.

Aunque combustible es cualquier sustancia que pueda arder, habitualmente se reserva esta denominación para aquellos materiales que son quemados para producir energía calorífica.

Los combustibles pueden clasificarse, según el estado en que se presentan, en:

Combustibles sólidos: leña, carbón vegetal, carbón mineral, carbón de coque.

Combustibles líquidos: gasolina, gasóleo, petróleo industrial (queroseno), fueil-oil, alcoholes.

Combustibles gaseosos: gas ciudad, gas natural, propano, butano, acetileno.

Los combustibles tienen una importancia fundamental en el mundo actual y dan un gran poder económico a los países que los poseen.

Los combustibles sólidos.

La leña fue el combustible más usado por el hombre hasta que se empezó a utilizar el carbón mineral. En la actualidad la leña es escasa y cara y sólo se utiliza como combustible en las chimeneas hogar o para iniciar la combustión del carbón en pequeños hornos.

- Carbón vegetal. Es el que se obtiene mediante la combustión incompleta de la madera.

La carbonización de la madera se realiza en hornos o en las antiguas «carboneras», consistentes en una pila de leña cubierta de tierra y con orificios que se abren o se cierran para controlar el caudal de aire a fin de que la combustión no se detenga. El calor producido por la combustión de una pequeña parte de la madera apilada produce la carbonización del resto. Este combustible arde con mucha facilidad, contiene pocas impurezas y su potencia calorífica es de 33472 kJ/kg, por lo que era muy utilizado para tratamientos térmicos de metales y para cocinar, sobre todo el carbón de maderas duras como la encina. En la actualidad el carbón vegetal se utiliza muy poco debido a la escasez de madera y a su elevado precio.

- Carbón mineral. Se encuentra en el subsuelo a diferentes profundidades formando vetas de diferentes tamaños que proceden de la carbonización natural de grandes masas vegetales sepultadas hace millones de años. El carbón mineral contiene impurezas, muchas de las cuales se eliminan con un tratamiento de lavado en la zona minera. No ocurre así con el azufre, que crea problemas de contaminación con su combustión, después del lavado, el

[3] Dato proporcionado por el proveedor.

carbón se clasifica por tipos y tamaños: en bloques, tal como sale de la mina, o cribado. Estos últimos son de diferentes tamaños siempre inferiores a 50 mm: galleta, granza, menudo o cisco.

Existen cuatro variedades de carbón mineral con diferente grado de carbonización: turba, lignito, hulla y antracita.

El carbón mineral se comercializa, clasificado por su tamaño, en cualquiera de sus cuatro variedades. Para aprovechar el polvo y los pedazos demasiado pequeños se fabrica el carbón aglomerado en formas prismáticas u ovoidal, que se consiguen por compresión de las partículas.

La combustión del carbón produce problemas de contaminación química en la atmósfera, la lluvia ácida, debida al desprendimiento de gas sulfuroso (SO_2) derivado de la combustión del azufre que acompaña al carbón como impureza. Este gas se convierte en ácido sulfúrico en contacto con la humedad atmosférica y produce daños importantes.

Carbón de coque. Es un carbón bastante ligero, de aspecto poroso y elevada potencia calorífica, 12552 kJ/kg. Se obtiene de la destilación de la hulla[4], calentándola fuertemente en hornos cerrados para aislarla del aire. La hulla desprende gases de gran utilidad industrial y, al final del proceso, queda en el horno el carbón de coque. Este carbón es indispensable para la fabricación del hierro y del acero. Se utiliza también para calefacción en núcleos urbanos porque su combustión no desprende humo y permite disminuir la contaminación ambiental.

Combustibles líquidos

- Alcoholes. En los últimos años se ha trabajado en el desarrollo de motores aptos para funcionar con metanol o etanol, productos obtenidos a partir de madera y cana de azúcar.

- Petróleo bruto natural. Es un líquido viscoso y oscuro que se encuentra en el subsuelo, algunas veces a gran profundidad, de donde se extrae por medio de perforaciones.

El petróleo crudo se somete a una destilación fraccionada o por etapas, que consiste en calentarlo a distintas temperaturas en orden creciente, con lo cual se consigue que se desprendan primero los vapores de los productos más volátiles. La gasolina, hasta 180 °C; hasta 280 °C se desprende el queroseno o petróleo industrial; el gasóleo a los 350 °C los aceites de engrase y el fuel-oil se obtienen utilizando temperaturas más elevadas y, por último, queda el alquitrán como subproducto final.

Estos combustibles derivados del petróleo son mezclas de hidrocarburos de moléculas complejas que al arder se combinan químicamente con el oxigeno del aire desprendiendo energía calorífica, dióxido de carbono, vapor de agua y, en menor cantidad,

[4] Hulla combustible mineral fósil sólido de un gran potencial calorífico.

otros gases que dependen de los aditivos del combustible y de las condiciones de su combustión.

Los combustibles derivados del petróleo ocupan el primer lugar entre los que se emplean para la industria, el transporte y la calefacción.

- Gasolina. Es un combustible liquido, de densidad 0,75 y de potencia calorífica 133 888 kJ/l, muy volátil. A la temperatura ordinaria ya emite vapores que forman mezclas explosivas con el aire, por lo que se prohíbe a los automovilistas repostar con el motor en marcha, mantener las luces encendidas, fumar.

El llamado índice de octanos indica fundamentalmente su diferente capacidad para resistir las altas presiones y temperaturas, dentro del cilindro del motor, sin que se produzca detonación, es decir, autoencendido con anticipación al encendido por la chispa de la bujía.

- Queroseno o petróleo industrial. Es un líquido transparente, algo más denso que la gasolina y menos inflamable, que se utiliza como combustible en los motores a reacción y de turbina de gas. Se utiliza también como disolvente y para calefacción doméstica.

- Gasóleo. Es un líquido de aspecto algo aceitoso, de densidad 0,85 y potencia calorífica de 175 728 kJ/kg. Su principal aplicación es como combustible de los motores diesel gracias a su propiedad de inflamarse cuando se le somete a elevadas presiones y temperaturas.

- Fuel-oil. Es un líquido espeso y oscuro que se utiliza para los hornos industriales y para calefacción. Como su temperatura de inflamación es elevada es difícil mantener su combustión, por lo cual es necesario calentarlo previamente, y con frecuencia puede resultar contaminante debido al humo que desprende cuando las condiciones de su combustión no son las adecuadas. Es el combustible líquido más económico.

- Combustibles gaseosos. Gas de alumbrado o «gas de ciudad». Es una mezcla de gases que se obtiene por destilación seca de la hulla. Se compone de un 50 % de hidrógeno, un 34 % de metano, un 8 % de monóxido de carbono y pequeñas cantidades de otros compuestos.

Actualmente está siendo sustituido por el gas natural.

- Gas natural. Es un combustible gaseoso que se encuentra formando bolsas en el subsuelo, generalmente asociado con el petróleo o el carbón. Está compuesto fundamentalmente por metano, pequeñas cantidades de otros gases combustibles como el etano y otros no combustibles como el nitrógeno y el dióxido de carbono.

La comercialización y utilización generalizada del gas natural es bastante reciente.

El consumo de gas natural va en aumento, tanto para la industria como para usos domésticos de calefacción y cocina, pues presenta una combustión muy limpia, sin

desprendimiento de humo ni de residuos sólidos. Su transporte canalizado es más fácil que el transporte en recipientes metálicos de gases licuados como el butano y el propano.

- Propano y butano. Son dos combustibles gaseosos que se obtienen en las refinerías de petróleo. El butano se comercializa licuado y envasado en recipientes metálicos de diferentes tamaños, desechables los más pequeños y recargables todos los demás.

El propano (C_3H_8) también se suministra licuado, en botellas o recargando depósitos metálicos situados en el exterior, junto a las industrias o viviendas, con el gas transportado por un camión cisterna.

PODER CALORIFICO DE SUSTANCIAS COMBUSTIBLES SELECCIONADAS

Valores para combustibles típicos

Mencionaremos en esta sección valores de poder calorífico de combustión para algunos combustibles típicos:

Tabla. 13 Poder calorífico superior de combustibles típicos.

Sustancia combustible	Superior [kJ/kg]	Inferior [kJ/kg]	% del PCS.[5]
metano 25.1	55.50	50.02	9.9
etano 20.1	51.88	47.49	8.5
propano 18.3	50.35	47.49	7.9
n-butano 17.3	49.53	49.92	7.6
n-pentano 16.8	49.02	45.35	7.5
n-exano 16.4	48.68	45.10	7.4
n-eptano 16.1	48.44	44.92	7.3
n-octano 15.9	48.26	44.72	7.2
n-nonano 15.7	48.12	44.69	7.15
n-decano 15.6	48.00	44.60	7.1
n-exadecano C16 15.1	47.62	44.31	7.0
n-oicosano C20 15.0	47.49	44.22	6.9

FUENTE: CETEC, 1980

Estos poderes caloríficos son calculados a 25° C y 1 atm. Para cálculos a 0° C, 15° C o 20° C, (por peso de gas), las diferencias con los valores indicados a 25° C, no sobrepasan el margen de precisión de las determinaciones del poder calorífico.

[5] El termino PCS significa poder calorífico superior.

Se observa que la diferencia porcentual entre los poderes caloríficos superior e inferior es mayor para los hidrocarburos más livianos. Esto reviste gran importancia en la comparación entre el uso del gas natural y el fuel oil o gas oil como combustibles. Dado que la diferencia entre ambos poderes caloríficos, que corresponde al calor de condensación del agua no es utilizada industrialmente, se deduce que sobre el poder calorífico superior hay una mayor cantidad no aprovechada en el caso de combustibles líquidos pesados.

La principal característica económica de los petróleos es su poder calorífico, que hace que sean utilizables como fuentes de energía. Este parámetro varía en función de la densidad, y, por tanto, de la composición química concreta:

Tabla. 14 Rangos de poder calorífico para Petróleo crudo.

Poder calorífico	Sustancia combustible
48.95 – 46.44 J/g.	para un crudo de 0.7 a 0.8
46.44 – 44.66 J/g.	para un crudo de 0.8 a 0.9
44.66 – 43.93 J/g.	para un crudo de 0.9 a 0.95

Así, el poder calorífico es mayor para los crudos ligeros que para los pesados.

Tabla. 15 Petróleo Industrial 500.

PETROLEO INDUSTRIAL 500		
COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
C	Masa (%)	87.2
O	Masa (%)	0.3
S	Masa (%)	1.4
N	Masa (%)	0.3
H	Masa (%)	11.4
COMBUSTION	UNIDAD	VALOR
Poder calorífico Bruto	kJ/kg	42845.31
Poder calorífico Bruto	kJ/m^3	42042137.02
Poder calorífico Neto	kJ/kg	40519.29
Poder calorífico Neto	kJ/m^3	39759713.40
CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR
Gravedad API a 15,6 °C		13.5
Gravedad Específica a 15,6 °C		0.9759
Viscosidad Cinemática a 50°C	cSt	1013
Punto de Fluidez	°C	16
Punto de Inflamación	°C	93
Carbón Conradson	% masa	13.8
Contenido de Asfaltenos	% masa	11.5
IMPUREZAS	UNIDAD	VALOR
Sedimentos	masa(%)	0.06

Contenido de Agua	masa(%)	0.06
Cera o parafinas	masa(%)	2.4
Residuos de coque	masa(%)	0.5
Cenizas	masa(%)	0.02
Na + K	ppm(w)	43
V	ppm(w)	132
Pb	ppm(w)	38
Ca	ppm(w)	14
Zn	ppm(w)	7

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 16 Petróleo Industrial # 6.

PETROLEO INDUSTRIAL Nº6		
COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
C	Masa (%)	87.1
O	Masa (%)	0.3
S	Masa (%)	0.9
N	Masa (%)	0.2
H	Masa (%)	11.6
COMBUSTION	UNIDAD	VALOR
Poder calorífico Bruto	kJ/kg	43101.17
Poder calorífico Bruto	kJ/m^3	41828638.85
Poder calorífico Neto	kJ/kg	40705.37
Poder calorífico Neto	kJ/m^3	39503292.63
CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR
Gravedad API a 15,6 °C		14
Gravedad Específica a 15,6 °C		0.9725
Viscosidad Cinemática a 50°C	cSt	618
Punto de Fluidez	°C	14
Punto de Inflamación	°C	85
Carbón Conradson	% masa	13.4
Contenido de Asfaltenos	% masa	11.2
IMPUREZAS	UNIDAD	VALOR
Sedimentos	masa(%)	0.05
Contenido de Agua	masa(%)	0.05
Cera o parafinas	masa(%)	2.3
Residuos de coque	masa(%)	0.4
Cenizas	masa(%)	0.05

Na + K	ppm(w)	40
V	ppm(w)	95
Pb	ppm(w)	34
Ca	ppm(w)	12
Zn	ppm(w)	6

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 17 Diesel.

DIESEL 2		
COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
C	Masa (%)	86.1
O	Masa (%)	0.1
S	Masa (%)	0.14
N	Masa (%)	0.02
H	Masa (%)	13.4
COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
Poder calorífico Bruto	kJ/kg	45450.46
Poder calorífico Bruto	kJ/m^3	38863634.28
Poder calorífico Neto	kJ/kg	42654.58
Poder calorífico Neto	kJ/m^3	36473068
Gravedad API a 15,6 °C		34.3
Gravedad Específica a 15,6 °C		0.8534
Viscosidad Cinemática a 50°C	cSt	3.1
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C	cSt	3.9
Punto de Inflamación	°C	59.8
Índice de Cetano		50
Punto de Fluidez	°C	-14
Curva de Ebullición		
10%	°C	225
20%	°C	265
30%	°C	272
40%	°C	285
50%	°C	292
60%	°C	306
70%	°C	312
80%	°C	328
90%	°C	342
IMPUREZAS	UNIDAD	VALOR
Agua y Sedimentos	masa(%)	0

Cera o parafinas	masa(%)	0
Residuos de coque	masa(%)	0
Cenizas	masa(%)	0.001
Na + K	ppm(w)	7.2
V	ppm(w)	1
Pb	ppm(w)	2.4
Ca	ppm(w)	1
Zn	ppm(w)	Trazas

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 18 Gas natural.

GAS NATURAL CAMISEA	
COMPONENTE	%
Nitrógeno	0.6
Dióxido de Carbono	0.2
Metano	87.3
Etano	9.7
Propano	1.8
i-Butano	0.1
n-Butano	0.2
Pentanos	0.1
CARACTERISTICAS	
Grav. Específica	0.63
Poder Calorífico Neto (kJ/m^3)	37073.15

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 19 Poder calorífico inferior de sustancias combustibles.

Producto	Humedad	Contenido aproximado de ceniza	PCI.[6]
	(%, en seco)	(%)	(MJ/kg)
Bagazo	40-50	10-12	8.4-10.5
Cáscaras de maní	3-10	4-14	16.7
Cáscaras de café	13	8-10	16.7
Cáscaras de algodón	5-10	3	16.7
Cáscaras de coco	5-10	6	16.7
Cáscaras de arroz	9-11	15-20	13.8-15.1
Olivas (prensadas)	15-18	3	16.7

[6] El termino PCI significa poder calorífico inferior.

Fibras de palma de aceite	55	10	7.5-8.4
Cáscaras de palma de aceite	55	5	7.5-8.4
Mazorcas de maíz	15	1-2	19.3
Paja y cáscaras de arroz	15	15-20	13.4
Paja y cáscaras de trigo	15	8-9	19.1

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 20 Poder calorífico de combustión en estado gaseoso.

PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES EN ESTADO GASEOSO (EN JOULES)	
GAS L.P.	79604.78
Propano	72697.00
Butano	95729.92
Gas Natural	36819.20

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 21 Poder calorífico de combustión en estado líquido.

PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES EN ESTADO LIQUIDO (EN JOULES)	
Propano	50208.00
Butano	49371.20
Gasolina	45605.60
Petróleo Diáfano	44559.60
Diesel	43095.20

Fuente: CETEC, 1980

Tabla. 22 Poder calorífico de sustancias combustibles.

Sustancia combustible	Poder calorífico (kJ/kg)
Parafina	43.51
Petróleo diesel	41.00
Carbón vegetal	29.71
Madera seca	19.66
Lignito	16.74
Madera (25-30% de humedad)	14.64

Fuente: CETEC, 1980.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR TONELADA DE CAL VIVA:

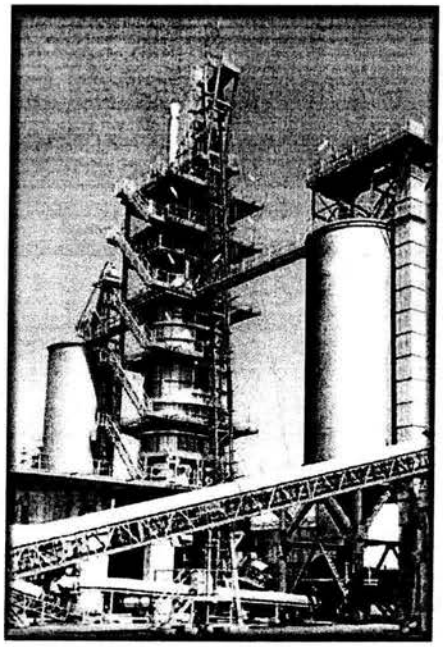
Tabla. 23 Como el consumo calorífico para ambos hornos es muy similar, comparando el mismo tipo de combustible:

Tipo de Horno:	ft^3	m^3
Cimprogetti	3.4	0.096.
Krupp Polysius	3.8	0.107

Información proporcionada por el proveedor.

CAPÍTULO III.

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL HORNO CIMPROGETTI.



Descripción de los equipos.

El horno TWIN-D 70, es un horno vertical de doble cuba diseñado por cimprogetti, utilizando el sistema regenerativo para precalentar el aire de combustión. En el horno vertical tradicional para la producción de cal, los gases de salida son aspirados desde la parte superior del horno, el aire de combustión es precalentado por la cal viva y el combustible es alimentado en la parte inferior de la zona de quemado.

Utilizando este proceso, el aire de combustión no puede ser precalentado a una alta temperatura, puesto que el calor contenido en la cal es más bajo que el calor requerido para precalentar el aire de combustión.

Fig. 34 Horno vertical de doble cuba Cimprogetti.
FUENTE: www.cimprogetti.it/español/home.html.

Por otro lado, el calor contenido que puede ser recuperado por los gases de salida en la zona de precalentamiento del horno, es más alto que la cantidad que puede ser adsorbida por la caliza. Debido a esta situación en un horno vertical de cal con una cuba a contra flujo, los gases de salida salen del horno con un alto contenido de calor, que no es recuperado. Esta situación causa un alto consumo especifico de calor de un horno tradicional a contra flujo.

Además la alimentación de combustible desde la parte inferior del horno (zona terminal de quemado), provoca sobrecalentamiento y en ocasiones sobre quemado de cal y una corta vida del refractario.

El horno TWIN-D elimina los anteriores problemas, debido a que el aire de combustión es precalentado en la parte superior del horno (zona de alto contenido de calor).

El intercambio de calor entre el gas de combustión a la salida del horno y el aire de combustión, es transportado hacia fuera a través de la caliza contenida en la zona de precalentamiento del horno (segunda cuba).

Durante el primer ciclo, la caliza absorbe el calor del gas de salida y en el segundo ciclo la cal cede calor al aire de combustión. Este proceso es posible debido al uso de dos cámaras o cubas, conectadas por un canal, en el cual la combustión y la dirección del flujo de gases cambian alternativamente.

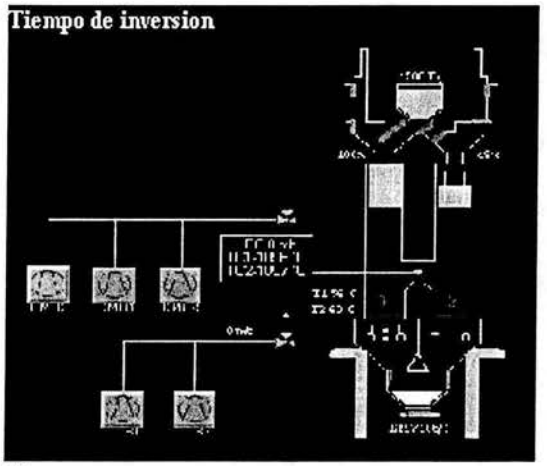


Fig. 35 Tiempo de inversión.
FUENTE: www.cimprogetti.it/español/home.html.

Las características del horno TWIN-D son:

Un elevado numero de lanzas de quemado (24 por cuba para permitir una mejor distribución del calor y por tanto una mejor cocción de la caliza con tamaño mas fino).

El aire de combustión es alimentado desde la parte superior del horno y es posible precalentarlo, por que éste pasa a través de la cama de piedra en la zona de quemado.

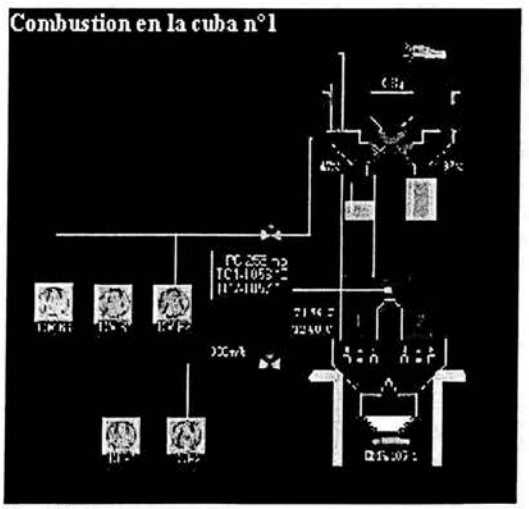


Fig. 36 Combustión en la cuba # 1.

FUENTE: www.cimprogetti.it/español/home.html.

La combustión es efectuada en flujo paralelo asegurando así la mejor transferencia de calor, ya que la llama está inicialmente en contacto con la caliza adsorbiendo mejor el calor, mientras la descarbonatación final tiene lugar por medio de los gases de salida, los cuales pierden una gran parte de calor.

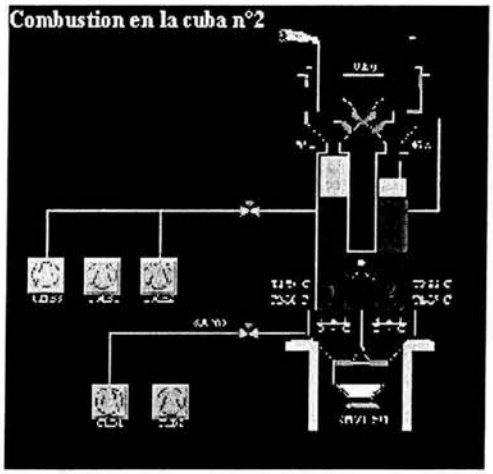


Fig. 37 Combustión en la cuba # 2.
FUENTE: www.cimprogetti.it/español/home.html.

El precalentamiento de la piedra caliza se efectúa en la cuba que no tiene fuego en ese momento, por medio de los gases de salida los cuales, son pasados a través de la cama de piedra antes de ir al colector de bolsas.

El quemado o combustión del combustible tiene lugar alternativamente en una de las dos cubas, mientras que la descarga de la cal es efectuada en la otra cuba.

El aire de enfriamiento es alimentado a través del fondo de ambas cubas al mismo tiempo.

La temperatura del gas de salida puede ser controlada y sostenida a niveles tales que permítanle uso normal de colectores de bolsa.

Finalmente la alta calidad de cal producida y el excepcional bajo consumo de calor, hacen del horno TWIN-D la mejor opción para la producción de cal.

Calcinación – Horno Twin – D

01) Grupo de carga:
   a) tolva de descarga skip
   b) tolva receptora de caliza
   c) rampas
   d) válvulas hidráulicas de carga
   e) indicadores de niveles hidráulicas

02) Coraza del horno y estructuras:
   a) coraza del horno en dos cubas
   b) estructuras de servicio de acero, plataformas y escaleras

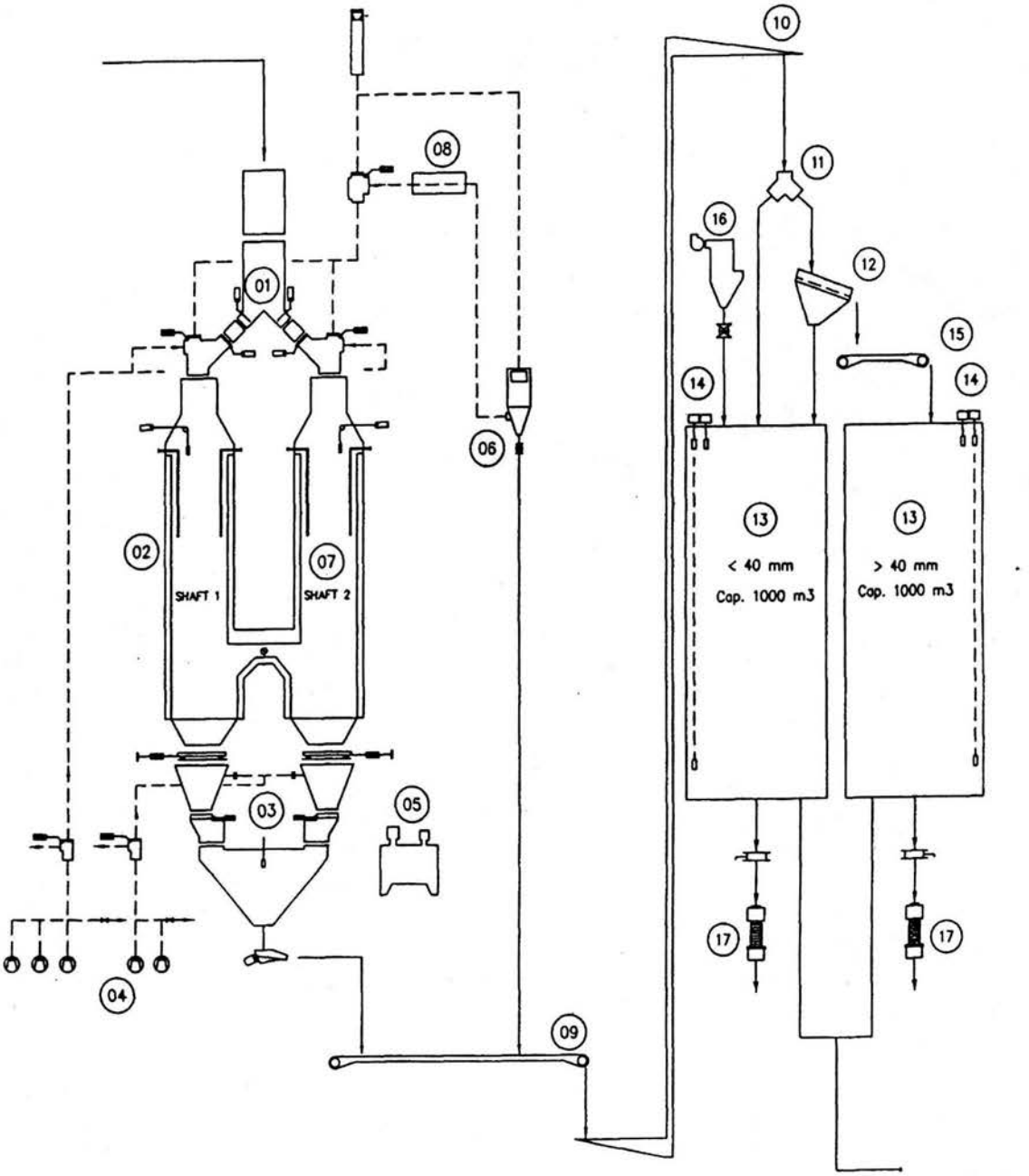


Fig. 38 Diagrama de flujo del horno Cimprogetti.
FUENTE: www.cimprogetti.it/español/home.html.

03) Grupo de extracción y descarga de cal:
   a) base del horno y anclaje

b) cajones de extracción hidráulicos
c) tolvas de colección
d) válvulas hidráulicas de descarga
e) tolvas inferior
f) nivel
g) extractor vibrador 600 x 1,200 mm

04) Planta aire de proceso (combustión y enfriamiento de cal):
a) sopladores rotatorios con motor, filtros de succión y en la salida, válvulas de seguridad
b) válvulas hidráulicas por aire de combustión, aire de enfriamiento, y válvula de alivio.
c) Sistema de tubería para aire de proceso y gas de salida

05) Planta hidráulica:
a) estación aleo dinámica (2 bombas, 1 en stay-by)
b) electro válvulas y cilindros
c) red de distribución

06) Unidad de filtración de gas provista de filtro de 600 m^2

07) Revestimiento refractario:
a) material básico
b) material no básico

08) Aislamiento térmico (aprox. 600 m^2)

09) Banda transportadora cubierta 600 x 20,000 mm

10) Elevador de cangilones 500 x 32,000 mm

11) Compuerta manual de derivación

12) Criba vibratoria cerrada 1,250 x 3,500 mm

13) Silo de deposito capacidad 1,000 m^3 coda uno

14) Niveles continuos

15) Banda transportadora cubierta 600 x 5,000 mm

16) Filtro de mangas con ventilador, capacidad 9,000 m^3/h

17) Cargas en granel

En conclusión, las ventajas del horno TWIN-D son:

Un consumo calorífico muy bajo < de 850 Kcal. /Kg. cal
Alta calidad de la cal y alta reactividad
Baja emisión de polvo a la salida de la chimenea (menor de 20 mg/Nm3)
Larga duración del revestimiento refractario (de nuestra experiencia resulta que el revestimiento refractario de un horno TWIN-D es superior a 5 / 6 años).
El control del horno esta completamente computarizado: con este sistema, un solo operador es capaz de controlar también otros tipos de instalaciones como la instalación de hidratación.

EFICIENCIA DE $CaCO_3$ POR TONELADA Y DE CaO POR TONELADA.

El porcentaje de eficiencia depende mucho de la materia prima con que se alimente el proceso así que en condiciones óptimas el horno tendrá:

Tabla. 24 Porciento de eficiencia en $CaCO_3$ y CaO para el horno Cimprogetti.

Tipo de horno	Producto	% de Eficiencia.
Cimprogetti.	$CaCO_3$	98
Cimprogetti.	CaO	98

Datos proporcionados por el proveedor.

COSTO DE INVERSION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO.

El costo total de materia prima es: $ 12.58 / Ton de piedra caliza en planta.
Precio indexado a partir de 1999
Fuente: superintendencia nacional de minería.

Precio del Kw/h en la región: $ 0.40 kW/h.
La planta producirá (280 Ton/día)*(860 l/Ton de cal hidratada) = 240, 800.00 l/día
(240, 800.00 l/día)*(30 días/1 mes) = 7, 244, 000.00 l/mes.

INVERSION TOTAL:

La inversión total es el capital necesario para la construcción y operación de una planta. Está formada por:

1) Inversión fija y
2) Capital de arranque.

Inversión total = Inversión Fija + Capital de Arranque.

1) Inversión fija: se define como el costo total del equipo e instalación de proceso, obra civil, servicios auxiliares, ingeniería de diseño y honorarios del contratista. Se debe tomar un 5% para imprevistos (variaciones de precios, errores de estimación, etc); aproximadamente 7% del costo directo.

Calculo de la inversión fija:

Horno Cimprogetti.	Pesos.
Costo del terreno y concesión.	$ 1,100, 000.00
Costo instalación eléctrica.	$ 751,732.60
Costo del equipo.	$ 39, 031, 200.00
Costo de bascula 60 Ton.	$ 408,298.22
Costo de obra civil (edificios).	$ 9,766,045.80
Costo pozo de agua.	$ 1,186,776.99
Subestación de la planta.	$ 1,931,139.14
Costo físico de la planta:	$ 54, 175, 192.39

Costo físico de la planta:	$ 54, 175, 192.39
Honorarios del contratistas (6% del costo de obra civil).	$ 3,792,263.47
Costos de ingeniería de diseño.	$ 1,978,704.00
Costo directo:	$ 59,946,159.86

Costo directo:	$ 59,946,159.86
Impuestos (7%)	$ 4,196,231.05
Inversión Fija:	$ 64,142,391.05

2) Capital de arranque: se define como el capital mínimo necesario para iniciar la fabricación. Se estima un mes de inventario de materia prima y gastos indirectos de fabricación (productos de servicio), además de una cierta cantidad de efectivo en caja para cualquier circunstancia no prevista.

Calculo del capital de arranque.

Materia prima: producción diaria: 280 Ton/día.
(280 Ton/día)*(30 días/1 mes) = (8400.00 Ton/mes)*($ 12.58/Ton) = $ 105,672.00

Costo por materia prima para el arranque:	$ 105, 672.00 por mes.

Gastos indirectos de fabricación por mes:

Gas natural ($ 1.74 ft^3 / mes):	$ 49,694,400.00

Energía eléctrica ($ 00.40/kWh):	$ 143,808.00
Útiles y uniformes de trabajo:	$ 10,000.00
Mantenimiento:	$ 700,000.00
Materias primas auxiliares:	$ 600,000.00
Varios:	$ 300,000.00
Empaques:	$ 840,000.00
Gastos indirectos de fabricación por mes:	$ 52,288,208.00

Por lo tanto el capita de arranque de la planta será:

Costo de la materia prima mensual = $ 105,672.00
Gastos indirectos de fabricación por mes = $ 52,288,208.00

Capital de arranque:	$ 52,393,880.00

Teniendo los datos anteriores podemos calcular la inversión total.

Inversión fija: $ 64,142,391.05
Capital de arranque: $ 52,393,880.00

Inversión total:	$ 116,536,271.05

COSTO DE OPERACION DE CaO POR TONELADA.

COSTO DE PRODUCCIÓN.

Costo de materia prima + costo de mano de obra directa + cargos indirectos de producción = costo de producción.

Calcularemos el costo de producción anual y el costo de producción unitario por lo que debemos hacer los cálculos para los tres elementos que lo forman:

1) Costo de materia prima directa.

Tipo de Horno Cimprogetti.	Total diario	Total anual
Consumo unitario de $CaCO_3$ *$ 12.58 Ton :	280.00 Ton/Día	102,200.00 Ton/año
Costo unitario de $CaCO_3$:	$ 3,522.40/Ton	1,258,676.00
Costo unitario de materia prima (costo $CaCO_3$)/(producción $Ca(OH)_2$) = ($ 12.58/día)/(350 Ton/día) =	$ 10.06/ Ton	

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Costo unitario de materia prima directo:	$ 10.06/Ton

2) Costo de mano de obra directa.
Cálculos:

No. empleados y función.	No. Turnos trabajados.	Sueldo diario $	Total diario $	Total anual $
2 Operadores Horno 1/turno	2	500.00	1000.00	365,000.00
2 Supervisor Proceso 1/turno	2	200.00	400.00	146,000.00
4 Mecánicos Mantenimiento 2/ turno	2	235.00	470.00	171,550.00
4 Auxiliares Producción 2/ turno	2	87.00	174.00	63,510.00
2 Almacenistas 1/ turno	2	70.00	140.00	51,100.00
Totales:			2,184.00	797,160.00

Producción diaria de $Ca(OH)_2$ =350 Ton/día

Costo unitario de mano de obra = ($ 2,184.00/día)/(280 Ton/día) = $ 6.24/Ton.

Costo unitario de mano de obra directo =	$ 6.24/Ton.

3) Cargos indirectos de producción.

Este tipo de gastos está formado por los siguientes componentes:

Componentes.	Total diario $	Total anual $
Gastos indirectos de fabricación.	2,466.00	900,090.00
Depreciación del equipo a 10 años.	9,991.72	3,646,977.75
Impuesto predial.	2,337.76	835,283.66
Total:	14,795.48	5,400,351.41

Costo indirecto de producción unitario = ($ 14,795.48/día)/(350 Ton/día) = $ 42.27/ Ton.

Costo indirecto de producción unitario =	$ 42.27/Ton.

Por lo que el costo de producción unitario será:

10.06 + 6.24 + 42.27 = $ 58.58

El costo de producción anual será:

($ 58.58/ Ton)*(127750.00 Ton/año) = $ 7,483,595.00/año.

Costo de producción anual =	$ 7,483,595.00/año.

COSTO TOTAL.

El costo total es la suma del costo de producción más los gastos de operación. Como el costo de producción ya está calculado, se calculan los gastos de operación, los cuales están formados por:

Gastos de operación:		Importe $	Total diario $	Total anual $
Gastos de ventas	1 secretaria	60.00	60.00	21,900.00
	2 vendedor + 2 viajes	75.00 300.00	150.00 600.00	54,750.00 219,000.00
Gastos de gerente general		500.00	50 000.00	182,500.00
Administración	1 contador	90.00	90.00	32,850.00
Varios		200.00	200.00	73,000.00
Total:			1,600.00	584,000.00

Por lo que el costo unitario de operación será.

($ 1,600.00/día)/(350 Ton/día) = $ 4.57/ Ton.

El Costo Total Unitario será:

58.58 + 4.57 = $ 63.15 / Ton.

El costo total al año será = (costo unitario)*(producción anual)

($ 63.15/ Ton)*(127,750.00 Ton/año) = $ 7,483,595.00/año.

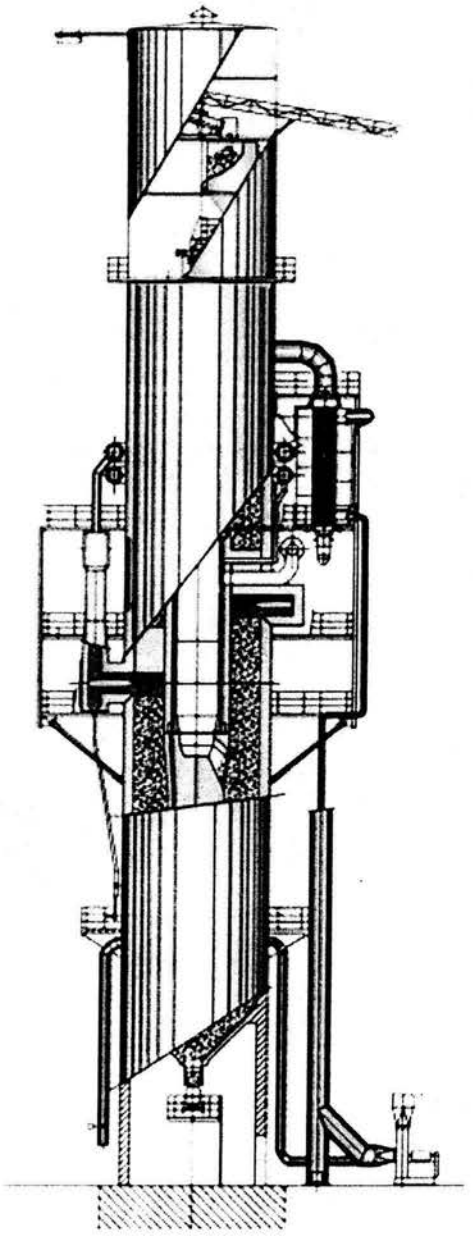
Costo totales =	$ 7,483,595.00/año

DEPRECIACIÓN DE CaO POR TONELADA.

En el horno Cimprogetti con una producción de 280 Ton / día:	La depreciación es de aproximadamente. $ 35.68 / Ton de CaO procesada.

CAPÍTULO IV.

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL HORNO KRUPP POLYSIUS.



Descripción de los equipos.

Como una alternativa a los hornos ya existentes, Polysius ha desarrollado la tecnología del horno anular para la calcinación de piedra caliza llamada Polso.

Las ventajas del equipo Polso comparado con otros hornos existentes en el mercado son:

Una gran confiabilidad en su operación: ya que puede funcionar en condiciones extremas como la de contar con una presión negativa de proceso.

La utilización del gas de descarga: es decir el CO_2 se recupera en alto porcentaje y se puede destinar a otros procesos recirculan para precalentar.

Flexibilidad: por su rendimiento variable.

El combustible: puede utilizarse numerosos tipos (incluso combustibles suplementarios).

Costo de operación: bajo consumo de material refractario.

El horno anular consiste en una zona de precalentamiento, una zona de precalcinaciòn (operando a contra flujo) y la zona de calcinación.

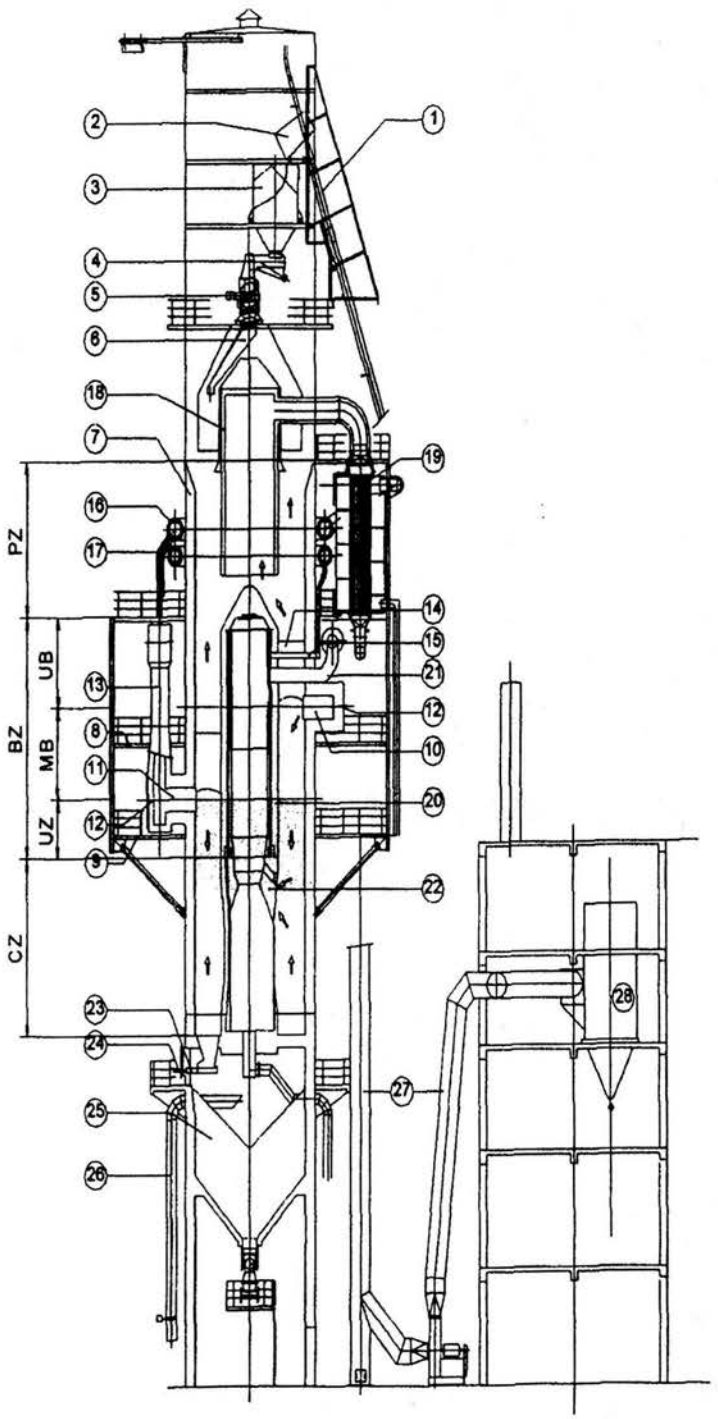
Fig. 39 Horno vertical anular (Polso)
FUENTE:www.polysius.com/polysius.asp?lang=ENG

La sección superior de la zona de calcinación se opera en contra flujo, mientras la sección más baja se opera en una sola dirección. Se puede variar la cantidad de energía que

entra al horno, para ajustar la calidad del producto de cal producida. Y al final del horno se encuentra una zona de refresco para el material que sale del horno que opera en contra flujo.

El desarrollo de esta tecnología esta basado en el método de elemento finito y las aplicaciones de la computación en la dinámica de fluidos, el desarrollo del horno de árbol anular, se ha ganado grandes expectativas en el campo de la cal y en general de los procesos piro metalúrgicos.

Descripción del horno de árbol anular:



Alimentación de la caliza: La caliza es llevada por una banda transportadora al parte superior del horno al sistema de salto (1) donde se controla su dosificación.

En la caja de alimentación (2) en la parte superior del horno, vía un comedero vibratorio (3) y una válvula de alimentación (4), la caliza se introduce en el horno, con una alimentación en cascada (6).

El sistema de horno de árbol anular:
Este es un horno de tiro inducido con recirculación de los gases de salida (5).

El horno de árbol: El cuerpo esta formado por el forro de hierro del horno (7) y el cilindro interno concéntrico (18,20) durante el proceso de quemado la caliza desciende por varias zonas, la zona de precalentamiento (PZ), la zona ardiente (BZ) y la zona refrescante (CZ).

El cilindro interno: Consiste en una sección superior suspendida (18) a través de la cual pasa la cantidad de gas de descarga canalizada para llegar a la sección más baja (20) que cuenta con aperturas para la recirculación de los gases.

Fig. 40 Esquema estructural del Horno vertical anular (Polso)

FUENTE:www.polysius.com/polysius.asp?lang=ENG

La cubierta de acero esta reforzada por una pared de refractario, el aire de refresco entra a los cilindros. El aire caliente que deja el cilindro más bajo a través de un conducto en las vigas de apoyo (15) en los puentes es reunido por un conducto del anillo (17) y es alimentado a los quemadores (12). Así se fuerza al aire a recircular con la ayuda del recuperador (19), donde se incorpora el gas de la descarga que viene de la parte superior del horno, pasando juntos al conducto del anillo (16) de allí se distribuye a los inyectores (13) y una porción se enriquece con aire y se atomiza para incorporarlos a los quemadores.

El horno se divide en tres zonas:

La zona de precalentamiento (PZ).

La caliza que entra en esta zona, via el sistema de alimentación y llega seco gracias a el gas de descarga que viene a contra corriente y precalienta asi la alimentación a una temperatura cercana a la descarbontación. El gas de descarga es colectado y recirculado en el proceso.

Zona de calcinación (BZ).

Esta es la zona mas caliente del horno y tiene dos niveles de calcinación superior e inferior, las cámaras de combustión son simétricas y garantizan la correcta distribución dentro del horno, las cámaras son orientadas radialmente, por su forma cilíndrica dividen este segmento en dos zonas de calcinación a contracorriente (UB,MB) y no de los segmentos que trabaja en contra flujo de corriente de CO_2 (UZ). En la parte anterior de cada hay una toma de corriente para cada cámara de combustión hay un puente (14) de material refractario entre la coraza exterior y el cilindro interno. Los gases que fluyen fuera de las cámaras del horno y el fondo de los puentes es canalizado uniformemente en la cama de material de carga del horno, en la zona de calcinación, mientras los gases son arrastrados hacia la parte de abajo para precalentar el material y a la vez es recolectado nuevamente con el aire de refresco por la acción combinada de los inyectores (13). Este flujo unidireccional, junto al aire de refresco es arrastrado por los inyectores a través de las entradas de recirculación (22) en el cilindro interno y los cilindros de circulación (21) llevándolo fuera de los puentes, para forzarlo a las cámaras de combustión más bajas (11).

Zona refrescante (CZ).

Debajo de la zona de flujo unidireccional (UZ), la cal entra rápidamente en la zona de refresco (CZ), donde transfiere su calor en contra corriente a el aire entrante junto con la corriente de gas de descarga, la cal en esta zona se descarga fácilmente gracias a la mesa de regulación (23) y es empujada hidráulicamente por un sistema neumatico (24) que la desplaza a un deposito de alimentación (25) bajo el horno, donde un comedero vibratorio vacía el deposito de alimentación discontinuamente.

Sistema de encendido.

Nivel de cámara de combustión más bajo.

En estas cámaras (11) el combustible esta fuera completamente de la zona de quemado en condiciones de exceso de aire antes de llegar a la cama de carga del horno, los gases que fluyen fuera de las cámaras de esta zona son divididas en dos arroyos uno de los cuales es arrastrado a través de la zona de flujo unidireccional (UZ) por los inyectores (13), mientras el otro es arrastrado ascendentemente y pasa en medio de la zona de calcinación (MB) entre los niveles de calcinación.

Nivel de cámaras de combustión superior.

En estas cámaras (10) el combustible es quemado bajo condiciones de deficiencia de aire, el gas que fluye fuera de la cámara de combustión superior (10) penetra en la cama de carga del horno debajo de los puentes y se encuentra con el aire en exceso que entra con lo que se asegura su combustión.

Ventajas del horno anular Polysius.

Consumo de energía bajo:
890 – 1000 kcal/kg cal

Cal de alta calidad:
Bajo contenido de CO_2 entre 0.5% y 5%
Reactividad entre 200 ml y 420 m 4n HCl después de 10 min.

Alta eficiencia.
La eficiencia del horno de Polysius es mayor de 98%

El horno se opera bajo presión negativa
El mantenimiento y limpiado del equipo puede tener lugar en operación del mismo lo que evita perdidas de calidad en la producción.

Amplio rango de operación
De 50 – 110 % de capacidad nominal.

No requiere que la caliza sea lavada previamente

Bajo consumo de refractario.
Aproximadamente 150 g/ton

Una gama de combustibles puede usarse.

El tipo de combustible puede cambiarse alternativamente durante la operación del horno, con un generador de gas caliente a nivel de los quemadores tiene un consumo mas bajo de combustoleo y el uso de combustibles secundarios es posible (con la implementación de una cámara de combustión alterna).

EFICIENCIA DE $CaCO_3$ POR TONELADA Y DE CaO POR TONELADA.

El por ciento de eficiencia depende mucho de la materia prima con que se alimente el proceso así que en condiciones optimas el horno rinde:

Tabla. 25 Porciento de eficiencia en $CaCO_3$ y CaO para el horno Krupp Polysius.

Tipo de horno	Producto	% de Eficiencia.
Krupp Polysius.	$CaCO_3$	98
Krupp Polysius.	CaO	98

Datos proporcionados por el proveedor.

COSTO DE INVERSION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO.

El costo total de materia prima es: $ 12.58 / Ton de piedra caliza en planta.
Precio indexado a partir de 1999
Fuente: superintendencia nacional de minería.

Precio del Kw/h en la región: $ 0.40 kW/h.
La planta producirá (280 Ton/día)*(860 l/Ton de cal hidratada) = 240, 800.00 l/día
(240, 800.00 l/día)*(30 días/1 mes) = 7, 244, 000.00 l/mes.

INVERSION TOTAL:

La inversión total es el capital necesario para la construcción y operación de una planta. Está formada por:

1) Inversión fija y
2) Capital de arranque.

Inversión total = Inversión Fija + Capital de Arranque.

1) Inversión fija: se define como el costo total del equipo e instalación de proceso, obra civil, servicios auxiliares, ingeniería de diseño y honorarios del contratista. Se debe tomar un 5% para imprevistos (variaciones de precios, errores de estimación, etc); aproximadamente 7% del costo directo.

Calculo de la inversión fija:

Horno Krupp Polysuis.	Pesos.
Costo del terreno y concesión.	$ 1,100, 000.00
Costo instalación eléctrica.	$ 751,732.60
Costo del equipo.	$ 39, 031, 200.00
Costo de bascula 60 Ton.	$ 408,298.22

Costo de obra civil (edificios).	$ 9,766,045.80
Costo pozo de agua.	$ 1,186,776.99
Subestación de la planta	$ 1,931,139.14
Subestación de la planta.	$ 1,931,139.14

Costo físico de la planta:	$ 59,967,961.68

Costo físico de la planta:	$ 59,967,961.68
Honorarios del contratistas (6% del costo de obra civil).	$ 4,197,757.32
Costos de ingeniería de diseño.	$ 2,088,632.00

Costo directo:	$ 66,254,351.00

Costo directo:	$ 66,254,351.00
Impuestos (7%)	$ 4,637,804.57

Inversión Fija:	$ 70,892,155.57

2) Capital de arranque: se define como el capital mínimo necesario para iniciar la fabricación. Se estima un mes de inventario de materia prima y gastos indirectos de fabricación (productos de servicio), además de una cierta cantidad de efectivo en caja para cualquier circunstancia no prevista.

Calculo del capital de arranque.

Materia prima: producción diaria: 280 Ton/día.
(280 Ton/día)*(30 días/1 mes) = (8400.00 Ton/mes)*($ 12.58/Ton) = $ 105,672.00

Costo por materia prima para el arranque:	$ 105, 672.00 por mes.

Gastos indirectos de fabricación por mes:

Gas natural ($ 1.74 ft^3 / mes):	$ 55,540,800.00
Energía eléctrica ($ 00.40/kWh):	$ 143,808.00
Útiles y uniformes de trabajo:	$ 10,000.00
Mantenimiento:	$ 700,000.00
Materias primas auxiliares:	$ 600,000.00
Varios:	$ 300,000.00
Empaques:	$ 840,000.00

Gastos indirectos de fabricación por mes:	$ 58,134,608.00

Por lo tanto el capita de arranque de la planta será:

Costo de la materia prima mensual = $ 105,672.00
Gastos indirectos de fabricación por mes = $ 58,134,608.00

Capital de arranque:	$ 58,240,280.00

Teniendo los datos anteriores podemos calcular la inversión total.

Inversión fija: $ 70,892,155.57
Capital de arranque: $ 58,240,280.00

Inversión total:	$ 129,132,435.57

COSTO DE OPERACIÓN DE CaO POR TONELADA.

COSTO DE PRODUCCIÓN.

Costo de materia prima + costo de mano de obra directa + cargos indirectos de producción = costo de producción.

Calcularemos el costo de producción anual y el costo de producción unitario por lo que debemos hacer los cálculos para los tres elementos que lo forman:

1) Costo de materia prima directa.

Tipo de Horno Krupp Polysius.	Total diario	Total anual
Consumo unitario de $CaCO_3$ *$ 12.58 Ton :	280.00 Ton/Día	102,200.00 Ton/año
Costo unitario de $CaCO_3$:	$ 3,500.40/Ton	1,258,676.00
Costo unitario de materia prima (costo $CaCO_3$)/(producción $Ca(OH)_2$) = ($ 12.58/día)/(350 Ton/día) =	$ 10.06/ Ton	

Costo unitario de materia prima directo:	$ 10.06/Ton

2) Costo de mano de obra directa.
Cálculos:

No. empleados y función.	No. turnos trabajados.	Sueldo diario $	Total diario $	Total anual $

2 Operadores Horno 1/turno	2	500.00	1000.00	365,000.00
2 Supervisor Proceso 1/turno	2	200.00	400.00	146,000.00
4 Mecánicos Mantenimiento 2/ turno	2	235.00	470.00	171,550.00
4 Auxiliares Producción 2/ turno	2	87.00	174.00	63,510.00
2 Almacenistas 1/ turno	2	70.00	140.00	51,100.00
Totales:			2,184.00	797,160.00

Producción diaria de $Ca(OH)_2$ =350 Ton/día

Costo unitario de mano de obra = ($ 2,184.00/día)/(280 Ton/día) = $ 6.24/Ton.

Costo unitario de mano de obra directo =	$ 6.24/Ton.

3) Cargos indirectos de producción.

Este tipo de gastos está formado por los siguientes componentes:

Componentes.	Total diario $	Total anual $
Gastos indirectos de fabricación.	2,466.00	900,090.00
Depreciación del equipo a 10 años.	10,980.27	4,007,798.83
Impuesto predial.	2,337.76	835,283.66
Total:	15,784.03	5,761,172.50

Costo indirecto de producción unitario = ($ 15,784.03/día)/(350 Ton/día) = $ 44.99/ Ton.

Costo indirecto de producción unitario =	$ 44.99/Ton.

Por lo que el costo de producción unitario será:

10.06 + 6.24 + 44.99 = $ 61.30

El costo de producción anual será:

($ 61.30/ Ton)*(127750.00 Ton/año) = $ 7,831,075.00/año.

Costo de producción anual =	$ 7,831,075.00/año.

COSTO TOTAL.

El costo total es la suma del costo de producción mas los gastos de operación. Como el costo de producción ya está calculado, pasamos a calcular los gastos de operación, los cuales están formados por:

Gastos de operación:		Importe $	Total diario $	Total anual $
Gastos de ventas	1 secretaria	60.00	60.00	21,900.00
	2 vendedor + 2 viajes	75.00 300.00	150.00 600.00	54,750.00 219,000.00
Gastos de gerente general		500.00	50 000.00	182,500.00
Administración	1 contador	90.00	90.00	32,850.00
Varios		200.00	200.00	73,000.00
Total:			1,600.00	584,000.00

Por lo que el costo unitario de operación será.

($ 1,600.00/día)/(350 Ton/día) = $ 4.57 / Ton.

El Costo Total Unitario será:

61.30 + 4.57 = $ 65.87 / Ton.

El costo total al año será = (costo unitario)*(producción anual)

($ 65.87/ Ton)*(127,750.00 Ton/año) = $ 7,831,075.00/año.

Costo totales =	$ 7,831,075.00/año

DEPRECIACIÓN DE CaO POR TONELADA.

En el horno Krupp Polysius con una producción de 280 Ton / día:	La depreciación es de aproximadamente. $ 39.22 / Ton de CaO procesada.

CAPÍTULO V.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS CIMPROGETTI Y KRUPP POLYSIUS.

EVALUACIÓN EN IGUALDAD DE CAPACIDADES.[1]

Datos básicos.

Condiciones:

Localización: Tula Hidalgo, específicamente en las inmediaciones del Km. 2.3 de la carretera Conejos – Atotonilco.
Altitud: 2000 a 2400 m sobre el nivel del mar.
Temperatura ambiente: min. 0°C a máx. + 35 °C

Requerimientos:

Energía eléctrica: 480 V, 3 fases, 60 Hz
Voltaje de control: 120/240 V, 4 a 20 mA
Combustible: gas natural 3/5 bar o en alternativa combustóleo
Aire de servicio (sin agua y aceite): 6 bar
Aire de instrumento: no se requiere

Materia prima:

La caliza deberá ser suministrada al proceso en tamaño de 50 a 100 mm. La caliza debe tener características adecuadas para ser calcinada en un horno vertical de doble cuba y un horno anular de árbol (Polso), los valores de producción garantizados serán confirmados después del análisis químico y físico que se efectuara según muestra representativa de caliza.

Producción:

Con las anteriores características especificas de la materia prima el horno Cimprogetti y el horno Krupp Polysius, tendrán las siguientes garantías:

[1] Condiciones previas a cotización por parte de proveedores

Producción de cal viva: 280 ton/día
CO_2 residual en la cal viva: menor a de 2 % en promedio.
Consumo de calor: entre 850 y 1000 Kcal/kg
Reactividad: T 60 °C en menos de 2 minutos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE AMBAS TECNOLOGÍAS.

Alimentación:
Polysius, se alimenta el mineral por la parte superior del horno con un tamaño de partícula entre 7 – 15 cm.
Cimprogetti, se alimenta igualmente por la parte superior con un menor rango en tamaño de partícula entre 5 – 10 cm.
Aquí hemos de decir que el horno Polysius, cuenta con un dispositivo que garantiza la distribución homogénea del mineral, lo que provoca una mayor eficiencia en el proceso de calcinación.

Zona de calentamiento:
Polysius, se lleva acabo en el mismo tiro del horno conforme va descendiendo el mineral por el cuerpo del horno.
Cimprogetti, se lleva cabo en una de las secciones del horno es decir una de las dos cubas que le componen.
Aquí podemos decir que la recirculación de los gases de reacción para el calentamiento de la materia prima es similar hasta cierto punto ya que el horno de doble cuba lo hace alternativamente, mientras que el anular tiene que dirigir los gases hacia el mineral que desciende por el cuerpo del horno.

La zona de calcinación:
Polysius, presenta una serie de quemadores apostados horizontalmente en la zona anular, lo que implica que el mineral no se caliente inmediatamente es decir primero se lleva acabo una ligera calcinación y al ir descendiendo se lleva acabo esta completamente (por efecto del fenómeno de núcleo decreciente).
Cimprogetti, aquí se utiliza un número mayor de quemadores orientados de forma vertical que pueden ser usados alternativamente en cada una de las dos cubas que componen el horno.
Esperamos que esta zona el horno Polysius tenga un mejor desempeño ya que al tener la flama directamente a contra corriente se incrementa el intercambio de masa y energía, en el horno de doble cuba tiene el inconveniente que tanto la flama del quemador como el mineral entrante tienden a estar en el mismo sentido lo cual no garantiza el correcto intercambio de masa y energía, además de que el horno anular aprovecha la corriente de aire precalentado para así tratar de tener un menor consumo de energía

Zona de enfriamiento:
Polysius, utiliza una corriente de aire inyectado por la parte inferior del horno que le permite alcanzar una temperatura de descarga de aproximadamente 80° C.
Cimprogetti, aquí hemos de decir que ambos hornos resultan muy similares con la disyuntiva que la corriente de aire frío además de enfriar el oxido de calcio formado también desvía los gases de reacción hacia la segunda cuba presente en el horno.
La diferencia principal es que el horno anular puede trabajar con presiones negativas mientras que el de boble cuba lo hace con presiones positivas.

Consumo de refractario:
Polysius, la zona de calcinación es la más afectada evidentemente ya que requiere de constante mantenimiento además de involucrar un mayor volumen del mismo aproximadamente cambio de refractario a cada siete años en la zona de calcinación y veinte en el resto del horno.
Cimprogetti, tiene en términos generales un menor consuno de refractario ya que como tiene doble cuba se facilita el mantenimiento preventivo sin detener la producción.
El consumo de refractario es debido a que la zona de calcinación del horno anular las temperaturas resultan ser muy elevadas y peor aún localizadas lo que provoca y mayor desgaste.

Parámetros de las tecnologías:
Polysius, su horno anular es un prototipo que solo tal vez se encuentre en etapa de planta piloto en Alemania de donde es originaria la tecnología.
Cimprogetti, esta línea de hornos es reconocida y esta ampliamente probada en distintas partes del mundo, demostrando ser madura y eficiente.
Desafortunadamente el mercado exige producción y muy pocos inversionistas se atreven a incursionar en nuevas tecnologías sin la garantía de obtener dividendos razonables rápidamente.

Calidad en la producción:
Polysius, se entiende que por los parámetros de operación del horno anular se esperaría que se obtuviese una cal media a ligeramente calcinada, lo que se valorara en función de el producto que se desea obtener.
Cimprogetti, la cal obtenida por el horno de doble cuba es ligeramente calcinada lo que implica una mayor reactividad, que esta en función del producto que se espera poner a disposición del mercado.

BALANCE ANUAL, RENDIMIENTO SOBRE LA INVERSION Y TIEMPO DE RECUPERACION.

RESULTADOS ANUALES.	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
PRODUCCION ANUAL	127,750.00	127,750.00
INVERSION TOTAL	116,536,271.05	129,132,435.57
PRECIO UNITARIO DE CAL HIDRATADA	783.00	783.00
PUNTO DE EQUILIBRIO (VENTAS)	6,461,452.72	6,493,753.33
% DE PRODUCCION	6.46	6.49
VENTAS BRUTAS	100,028,250.00	100,028,250.00
DESCUENTOS, ETC (1%)	- 1,000,282.50	- 1,000,282.50
VENTAS NETAS	99,027,967.50	99,027,967.50
COSTO DE PRODUCCION	- 7,483,595.00	- 7,831,075.00
UTILIDAD BRUTA	91,544,372.50	91,196,892.50
GASTOS DE OPERACIÓN	- 5,400,351.41	- 5,761,172.50
UTILIDAD DE OPERACIÓN	86,144,021.09	85,435,720.00
OTROS GASTOS	- 1,500,000.00	- 1,500,000.00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	84,644,021.09	83,935,720.00
IMPUESTOS (30%)	- 25,393,206.33	- 25,180,716.00
UTILIDAD NETA	$ 59,250,814.76	$ 58,755,004.00

RENDIMIENTO SOBRE LA INVERSION.

% RENTABILIDAD ES IGUAL A	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
UTILIDAD NETA POR 100 ENTRE	***%RENTABILIDAD***	***%RENTABILIDAD***
INVERSION TOTAL	50.84	45.50
FORMULA: ***%R = ((UN*100)/IT)***		
% DE RENTABILIDAD =	50.48	45.5

TIEMPO DE RECUPERACION

FORMULA:

D= (IT)/(Unet + (0.05*IT)	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
D= AÑOS DE RECUPERACION		
IT= INVERSION TOTAL	116,536,271.05	129,132,435.57
0.05= DEVALUACION DE LA MONEDA EN 5%		
Unet= UTILIDAD NETA	$ 59,250,814.76	$ 58,755,004.00
TIEMPO DE RECUPERACION AÑOS D=	1.79	1.98

CAPÍTULO VI.

HIDRATADOR Y ENSACADOR DE CAL.

EQUIPO COMPLEMENTARIO.

Como ambos hornos tanto el Cimprogetti y el Krupp Polysius garantizan ser la mejor tecnología de punta en la calcinación de piedra caliza en hornos verticales de tiro inducido enlistaremos los equipos requeridos para responder a la pauta tecnológica de ambas ofertas.

Detalles de los equipos idóneos y de la última generación para una planta de hidratación y de envase de cal:

Control de alimentación del hidratador: dotada de sensor de monitoreo para después regular la alimentación de agua y obtener así las proporciones adecuadas, esto se logra con un sistema de celdas.

Válvulas para la regulación del agua: con control manual y/o automático según la sofisticación de la planta.

Hidratador de 3 etapas: con aditamentos para detener la cal que requiere más tiempo de hidratación. Capacidad requerida 20 ton/h (si trabaja 2 turnos). Con sistema de control de reacción exotérmica y detección de humedad, filtración del aire con filtro de mangas (concentración salina inferior a 20 mg/m^3).

Separador de alta eficiencia de tercera generación: con jaula de separación seguido de ciclones y de sistemas de despolveo, se requieren separadores para cada tipo de cal que se desee fabricar.

Molino de bolas: de por lo menos 2m de diámetro y de 4m de longitud (min 160 kW).

Ensacadora de 6 bocas: 200 bolsas/hora/boca. 25 kg por 6 bocas por 200 bolsas por 8 h = 240 Ton/turno. Preferentemente rotatoria. Tolerancia de pesaje ±0.5% sobre 10 sacos consecutivos. Evacuación de sacos con cinta transportadora metálica para poder eliminar desperdicios eventuales o bolsas rotas.

Sistema de despolveo de equipos, sistema de limpieza de bolsas y un centro de control de motores y de regulación de la planta.

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

HIDRATADOR:

Hace sesenta años, la cal hidratada se producía llenando una gran fosa con cal viva y agua. Los tiempos nos imponen actualmente controles cada vez más rígidos sobre la finura y la superficie específica de la cal hidratada, y ésta es la finalidad para la que han sido proyectados nuestros sistemas de hidratación.

Hidratación en seco.

La cal hidratada es un mercado natural para los productores de cal viva. En efecto, la cal hidratada es mucho más fácil de explotar y, si se produce en plantas modernas, es químicamente más pura. La mayor parte de los empleos finales de cal viva requiere la mezcla con agua: éste es el motivo por el cual es importante ser capaz de realizarla en condiciones estrictamente controladas.

Actualmente se ofrecen una gama completa de equipos e instalaciones para satisfacer cualquier exigencia de hidratación de la cal.

El segundo paso importante después de la calcinación es la hidratación de la cal. La reacción entre cal, muy exotérmica, y agua se tiene que controlar con atención, para alcanzar la calidad y la finura deseadas.

Fig. 41 Equipo hidratador en seco vertical.
FUENTE:www.cimprogetti.it/Español/hidratación.html

El Digidoser - System (control integrado del alimentador) está concebido para aumentar la uniformidad de la calidad del producto y representa una mejora respecto a las unidades volumétricas tradicionales. La regulación automática de la velocidad del alimentador rotatorio garantiza un consistente caudal constante de cal a través de la cóclea de alimentación. La Pre-fijación de la alimentación o la modificación de los valores se llevan a cabo tanto in situ como desde la sala de tele-control.

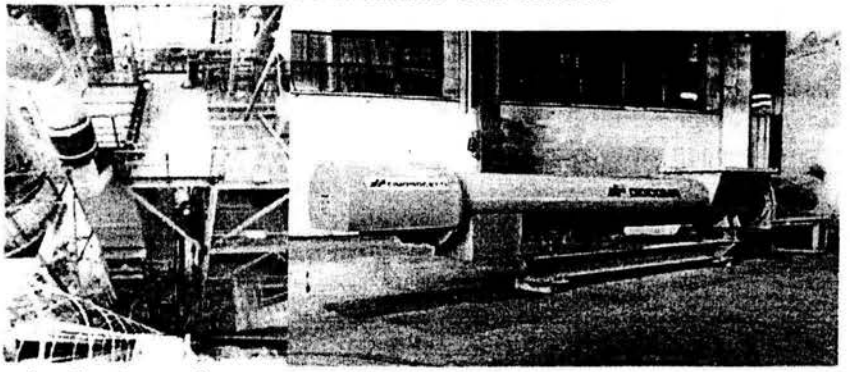


Fig. 42 Hidratador horizontal.
FUENTE: www.cimprogetti.it/Español/hidratación.html

La investigación se concentra ahora en métodos eficaces para mejorar el control de la superficie específica de la cal hidratada, es decir, el control de la reactividad de la cal hidratada. Con la ayuda del Pilot Mobile Hydrator, se puede seleccionar el hidratador más adecuado a las exigencias del cliente.

En el problema ecológico han sido concentrados todos los esfuerzos de proyecto de los filtros de mangas Cim-Zeropoll y los separadores dedicados a la cal, los Cim-Microsep Third Generation garantizan una ulterior refinación del producto de cal hidratada.

Hidratación en húmedo

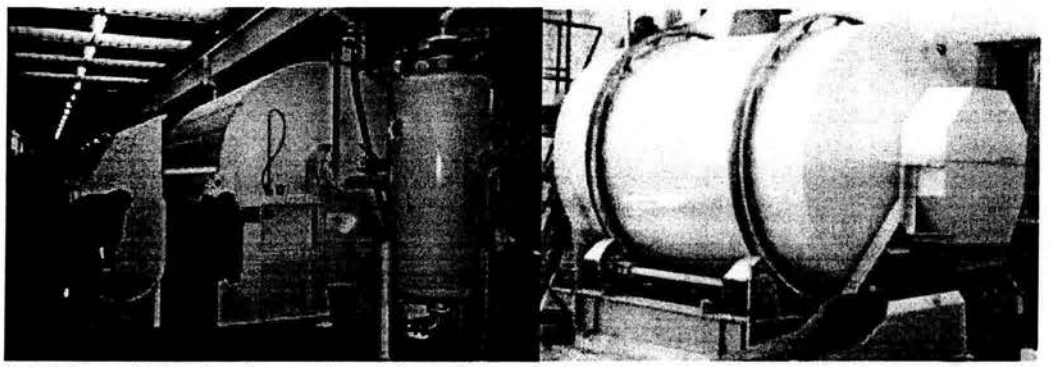


Fig. 43 Hidratadores horizontales, húmedos.
FUENTE: www.cimprogetti.it/Español/hidratación.html

La cal se utiliza en la mayor parte de las aplicaciones industriales y de proceso como suspensión acuosa o como fango. Las plantas de hidratación en húmedo, introducen nuevos estándar en términos de fiabilidad, limpieza y facilidad de control.

La precisión impecable es la base de las plantas de hidratación y apagado.

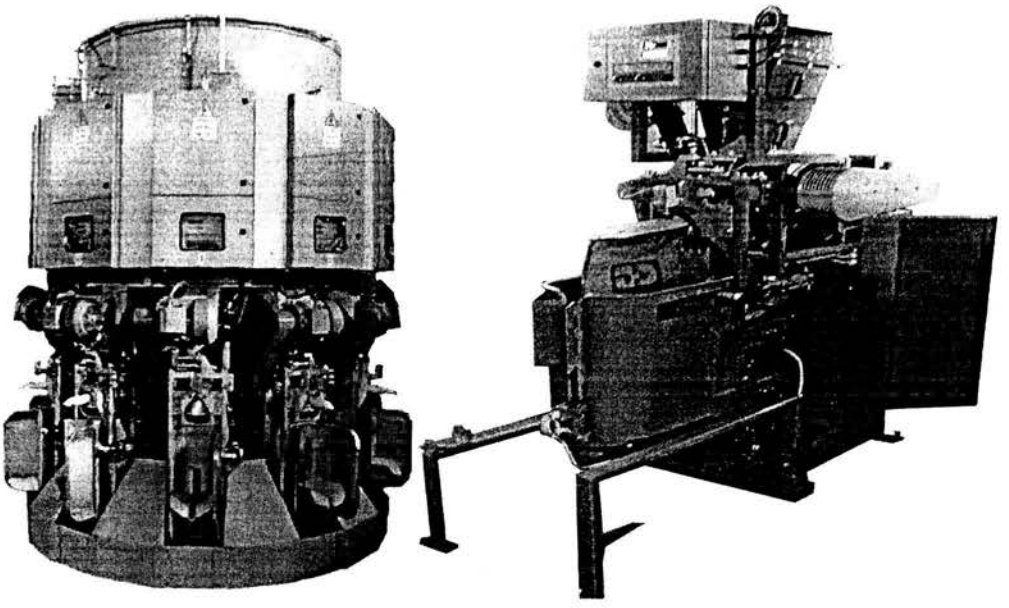
La idea sobre la producción de pasta de cal no tiene nada que ver con estos desmañados aspectos, sino que asegura la mejor calidad y consistencia del producto.

La lechada es en un 10-25 % del peso una suspensión de hidróxido de calcio en agua, y representa uno de los productos químicos más usados en el mundo.

Las industrias piden instalaciones limpias, consistencia y facilidad de control para satisfacer también la aplicación más difícil. La respuesta es una instalación compacta y eficiente, que sea de hecho la primera etapa del proceso de la precipitación de carbonato de calcio. Es decir, nuestras instalaciones de lechada son el paso básico para los más avanzados sub-productos de cal.

ENSACADORAS:

Las ensacadoras estáticas y rotatorias T-Digipack, fruto de la alta tecnología son máquinas robustas y de fiar, de 1 a 12 bocas, permiten obtener una capacidad de producción de hasta 4000 sacos/ con sacos de 25 kg.



ENSACADORA ROTATORIA ENSACADORA ESTÁTICA
Fig. 44 Ensacador rotatorio y estático.
FUENTE: www.cimprogetti.it/Español/ensacadoras.html

El ciclo de llenado está totalmente dirigido mediante microprocesador que controla las diferentes fases del proceso:

Calibrado automático de la máquina antes del comienzo del ciclo de llenado, Control continuo del peso durante el ciclo, Corrección automática del peso antes del llenado del saco sucesivo, Llenado a velocidad variable (flujo elevado / bajo), Posibilidad de registrar hasta 30 programas de llenado relativos a productos diferentes memorizando los parámetros de los diferentes materiales a ensacar.

SISTEMA DE LLENADO

La ensacadora puede ser realizada tanto con eje vertical como horizontal, en función del material a tratar.

Han sido estudiados dispositivos especiales a fin de obtener una pesada "ideal", una elevada potencialidad, minimizando la dispersión de polvo en el ambiente.

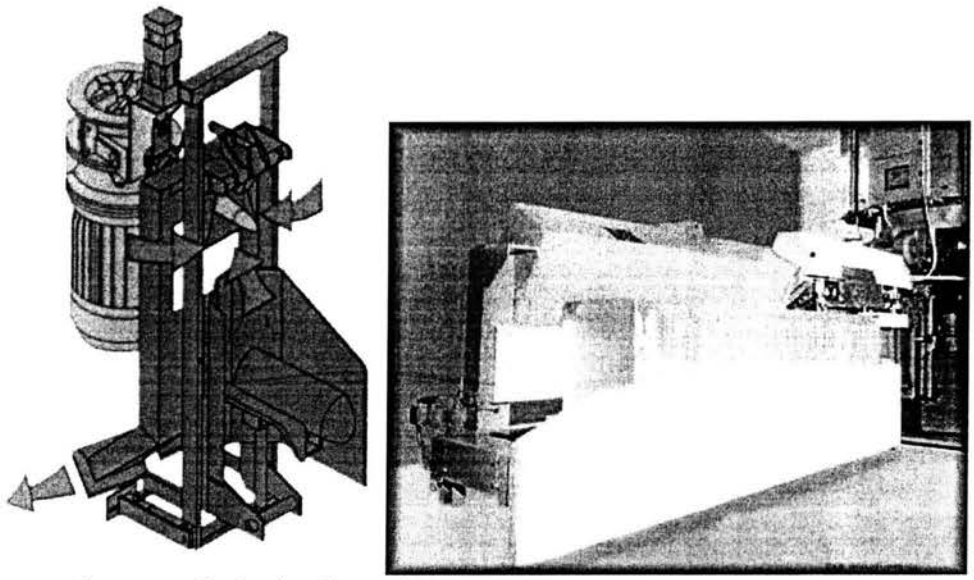


Fig. 45 Ensacadoras vertical y horizontal.
FUENTE: www.cimprogetti.it/Español/ensacadoras.html

Los factores clave que caracterizan a la máquina, se pueden resumir así:

Alta potencialidad (hasta 4,000 sacos/h, posible también gracias al sistema paso a paso.

Dimensionamiento de los mecanismo para servicio pesado y continuo.

Elevado standard de seguridad - Protección integral de todos los órganos en movimiento.

Almacén horizontal de sacos vacíos de elevada capacidad.

Preajuste para cambio de formato de sacos en automático.

Bajos consumos de aire comprimido.

Facilidad de acceso para regulación y mantenimiento.

Reducidas emisiones de ruido.

El sistema supervisor es un software para el control y la supervisión de la línea de ensacado.

Puede ser instalado en una pc situado cerca de la línea o en una sala de control a distancia.

El sistema supervisor permite además la visualización y la impresión de los parámetros de producción:

- total de los sacos llenados
- peso de un saco
- peso total tratado (kg / lbs.)
- producción media (sacos/h)
- run/stop
- Alarmas

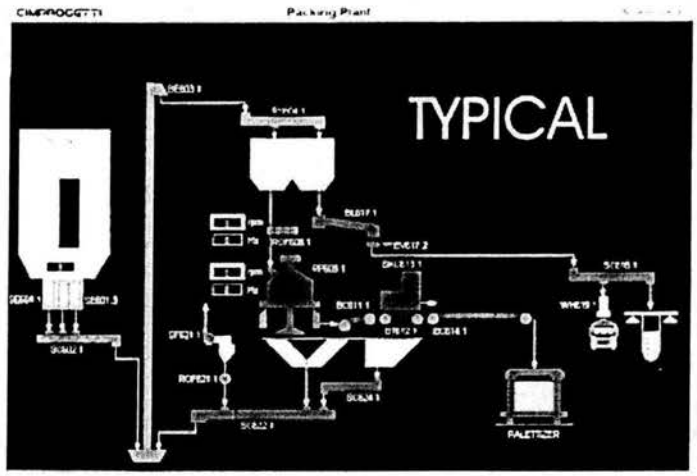


Fig. 46 Cuadro típico de control de proceso.
FUENTE: www.cimprogetti.it/Español/control.html

Todos los parámetros son memorizados por el sistema y son recuperables por la memoria para un eventual análisis estadístico de la producción.

COSTO DE INVERSIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL EQUIPO.

Para el proceso Cimprogetti.

Costo de la materia prima mensual = $ 105,672.00
Gastos indirectos de fabricación por mes = $ 52,288,208.00

Capital de arranque: $ 52,393,880.00

Teniendo los datos anteriores podemos calcular la inversión total.

Inversión fija: $ 64,142,391.05
Capital de arranque: $ 52,393,880.00

Inversión total: $ 116,536,271.05

Depreciación por tonelada de $Ca(OH)_2$.

En el horno Cimprogetti con una producción de 350 Ton / día:	La depreciación es de aproximadamente. $ 28.54 / Ton de $Ca(OH)_2$ procesada.

Para el proceso Krupp Polysius.

Costo de la materia prima mensual = $ 105,672.00
Gastos indirectos de fabricación por mes = $ 58,134,608.00

Capital de arranque:	$ 58,240,280.00

Teniendo los datos anteriores podemos calcular la inversión total.

Inversión fija: $ 70,892,155.57
Capital de arranque: $ 58,240,280.00

Inversión total:	$ 129,132,435.57

DEPRECIACIÓN POR TONELADA DE $Ca(OH)_2$.

En el horno Krupp Polysius con una producción de 350 Ton / día:	La depreciación es de aproximadamente. $ 31.37 / Ton de $Ca(OH)_2$ procesada.

CAPÍTULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

Debido a que el horno Krupp utiliza aire pre-calentado para sus quemadores debería tener un menor consumo de energía, sin embargo no es así, ya que consume (209.20 kJ/kg) más por óxido de calcio producido debido al sistema de flujo de gases y tipo de quemadores con que cuenta, así para la producción de 280 toneladas por día se tendría un consumo extra de 58.576 millones de kJ/dìa.

El consumo de refractario es mayor en el horno Krupp a pesar de trabajar a una temperatura uniforme, cosa que no ocurre en el horno Cimprogetti en el cual existen ciclos de enfriamiento y calentamiento. Ambos hornos utilizan el mismo tipo de material refractario. El horno de Krupp utiliza una planta eléctrica de emergencia (ya que de haber una falla eléctrica, para llevar acabo el enfriamiento de los cilindros interiores y los quemadores para evitar pormenores y evitar que el refractario se cristalice por el cambio brusco de temperatura), mientras que el horno Cimprogetti no.

A pesar de tener una mejor tecnología (sistema de distribución en la alimentación, aire precalentado en los quemadores, contra flujo de la alimentación y de los gases de combustión, mayor control en las temperaturas y flujos de aire), el proceso del horno Krupp Polysius (polso), se encuentra aun en etapa de desarrollo y no cuenta con antecedentes.

Por otro lado los hornos Cimprogetti (Twin-D), presentan algunas ventajas técnicas (menor consumo de energía, quemadores sencillos de lanza, menor consumo de refractario) y han sido probados en muchas plantas de calcinación en el mundo, de las cuales ocho se han instalado en México con mucho éxito.

La calidad de la cal obtenida, en el horno Krupp se ve influenciada por la operación del horno, así es deseable la obtención de cal ligeramente calcinada, la cual, presenta una mayor reactividad en comparación con la cal mediana y fuertemente calcinada. Considerando el tamaño de partícula, distribución homogénea de la carga y las direcciones del flujo de los gases y del material se espera obtener una calcinación ligera, pero de acuerdo al consumo en ml (de 200 a 420) de HCl 4 normal y al tiempo de reacción (10 min.) se infiere que se obtiene una mezcla de cal mediana y ligeramente calcinada. La cal producida por el proceso Cimprogetti alcanza los 60°C en menos de 2 min. lo que significa que se esta obteniendo una cal ligeramente calcinada y por lo tanto de gran reactividad.

También se establece que en este proceso se pueden obtener como producto: cal química, cal para la construcción y una mezcla de ambas, lo cual indica que no toda la cal esta ligeramente calcinada.

La producción anual es equivalente, el punto de equilibrio en ventas apenas refleja una diferencia mínima, lo que sin duda da un margen muy pequeño en la diferencia en la utilidad neta.

El rendimiento sobre la inversión arroja un 50.48 % para el proceso Cimprogetti y un 45.5% para el equipo Krupp Polysius.

Con los datos del balance anual, calculamos el tiempo de recuperación de la inversión obteniendo: 1.79 años y 1.98 años para el proceso Cimprogetti y Krupp Polysius respectivamente.

Dentro del aspecto económico, vemos que el monto que involucra la puesta en operación de cualquiera de las dos tecnologías (Cimprogetti y Krupp Polysius), objeto de esta tesis, no resulta significativa para descartar y/o aprobar alguna de ellas.

Con base en los resultados de este trabajo, la calcinación depende entre otras cosas de la concentración de $CaCO_3$ en la caliza, la capacidad calorífica del combustible usado y en menor medida factores climáticos.

RECOMENDACIONES:

En virtud de los resultados que se obtuvieron en la realización del presente trabajo, se considera pensar en nuevos proyectos de inversión a fin de impulsar el desarrollo de este sector.

La importación de la cal en sus distintos productos obedece entre otras razones las siguientes: Las especificaciones que las industrias consumidoras demandan del producto no se producen en México, las industrias consumidoras al no conseguir el producto en la región y no tener información sobre las empresas productoras, optan por importarlo.

La sustitución de importaciones es factible, siempre y cuando se cumplan las especificaciones de los consumidores, con precios competitivos frente a los ofrecidos en el exterior.

De los datos observados y la comparación teórica, podemos decir que las ventajas de contar con una tecnología probada es una razón de peso para no experimentar y/o incursionar en tecnologías innovadoras.

Se recomienda finalmente la tecnología del proceso Cimprogetti.

Los niveles de operación entre un horno y otro resultan muy similares lo que inclina la balanza es el currículo de la empresa Cimprogetti por tener más de ocho plantas funcionando en distintos estados de la Republica Mexicana así como muchas más a nivel mundial, mas allá de algunas ventajas tecnológicas.

El mercado tan cambiante y exigente requiere de inversiones seguras para los inversionistas que buscan productividad y ganancias ante todo.

Debido a que existe demanda insatisfecha, en lo que respecta a la cal hidratada para la industria de la construcción, nuestra producción tendrá mercado de consumo y si consideramos además el incremento y la velocidad con que crece la mancha urbana en las zonas metropolitanas de nuestras principales ciudades del país. Se considera factible elevar el nivel de producción de la planta.

BIBLIOGRAFIA

Robert S. Boynton, 2000 Chemistry and Technology of Lime and Limestone, USA, John Wiley & Son, Inc.

Banewiez, John J. and Kenner, Charles T, Determination of Calcium and Magnesium in Limestone and Dolomites, Application of the EDTA, Vol 24 No.7 July pages, 1186 – 1187.

R. Norris Shreve Joseph A. Brink Jr, Chemical Process Industries, Mac Graw-Hill.

Sumario Estadístico de la Minería Mexicana, 1998, CRNNR Se. Pa. Nal.

José A. Sepúlveda.1985, Ingeniería Económica, citado en William E Souder et. al. 1985, Serie Schaum, Mac Graw-Hill.

INEGI. La Minería en México. 2000

Cornelis. Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. 1996. Manual de Mineralogía. España.

Carlos Díaz G.-Mauriño.1991. Diccionario de Términos Mineralógicos y Cristalográficos. Madrid alianza Editorial S.A.

El Pequeño Larousse Ilustrado 1998 Ediciones Larousse S.A. de C.V.

Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

XV Censo Industrial, censos económicos 1999 Industrias Manufactureras, Subsector 36. Producción de bienes a base de minerales no metálicos, productos y materias primas. INEGI.

XV Censo Industrial, censos económicos 1999 Industrias Manufactureras, Subsector 37. Industrias metálicas básicas, productos y materias primas. INEGI.

www.cfe.gob.mx/www2/servicios/industria.asp

www.cpware.com/nuevaimagen/index.htm

www.caleras.com/actividades/calcinación.html

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/

http://web.usal.es/epavila/webrocas/rockini.html

www.infomine.com/

www.grupocalider.com/

www.redquimica.unam.mx

www.cimprogetti.it/español/home.html.

http://catalogo.huachipato.cl/esp/esh_int.htm

www.piedra.com

www.ecotrade.net/esp/Limestoneex/taly.html

www.ceducarpr.com/recursosnaturales.htm

www.coiim.es/

www.polysius.com/polysius.asp?lang=ENG

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/

http://www.analitica.com.mx/curso/proceso1/termico1_html

www.banxico.gob.mx/

www.gas.pemex.com

www.inegi.gob.mx

www.economia.gob.mx/

www.telecel.com.ar/quimica/index.html

APENDICE A.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Alumbres, grupo de compuestos químicos, formados por dos tipos de sales, combinadas en proporciones definidas, y moléculas de agua: una de las sales suele ser sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). El alumbre de potasio, llamado también alumbre común, es el tipo de alumbre más importante y su fórmula es $K_2SO_4\ Al_2\ (SO_4)_3\ 24H_2O$.

El alumbre de potasio es una sustancia incolora que da lugar a grandes octaedros o cristales cúbicos cuando el sulfato de potasio y el sulfato de aluminio se disuelven juntos y se enfría la disolución. Las disoluciones de alumbre de potasio son ácidas.

El alumbre de potasio es soluble en siete veces su peso de agua a temperatura ordinaria, y es muy soluble en agua caliente. Cuando el alumbre de potasio cristalino se calienta, parte del agua de hidratación se separa, y la sal parcialmente deshidratada se disuelve en dicha agua, de forma que el alumbre parece fundir a unos 90 °C. Cuando se calienta a 200 °C, el alumbre de potasio se expande, pierde toda el agua y parte del trióxido de azufre, y se convierte en una sal básica llamada alumbre calcinado. El alumbre de potasio tiene una densidad de 1,725 g/cm^3.

Otros tipos de alumbres preparados con sulfato de aluminio incluyen el alumbre de sodio, el alumbre de amonio y el alumbre de plata. Los alumbres se usan para fabricar tejidos incombustibles, como mordientes para operaciones delicadas de tinte, y en polvo de hornear y medicinas. El alumbre de potasio es un poderoso astringente.[1]

Astringente, cualquier sustancia, como el alumbre, que se utiliza con fines médicos o industriales para contraer tejidos y reducir el moco y otras secreciones. Las disoluciones de sales minerales generalmente son astringentes; los astringentes vegetales contienen taninos.[2]

Marga, depósito de carbonato de calcio amorfo, arcilla y arena en diversas proporciones, caracterizado por el ingrediente predominante; por ejemplo, marga arcillosa, marga arenosa o marga de conchas. Esta última, presente en los lagos de agua dulce, está compuesta de conchas de moluscos y barro fino. Las margas de los lagos se emplean en la

---

[1] Carlos Díaz G.-Mauriño.1991. Diccionario de Términos Mineralógicos y Cristalográficos. Madrid alianza Editorial S.A.

[2] "Astringente." Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

fabricación de cemento Portland; las margas de esquisto micáceo y las margas calizas son fertilizantes valiosos.[3]

Arenisca, roca sedimentaria con granulado grueso formado por masas consolidadas de arena. Su composición química es la misma que la de la arena; así, la roca está compuesta en esencia de cuarzo. El material cimentador que mantiene unidos los granos de arena suele estar compuesto por sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. El color de la roca viene determinado por el material cimentador: los óxidos de hierro generan arenisca roja o pardo rojiza, mientras que los otros producen arenisca blanca, amarillenta o grisácea. Cuando la arenisca se rompe, los granos de arena permanecen enteros, con lo que las superficies cobran un aspecto granular. Areniscas con distintas edades geológicas y con importancia comercial están distribuidas por todo el mundo. Aparte de servir como depósito natural de petróleo y gas, se usan en la construcción y en la fabricación de piedras de afilar y de moler.[4]

Mena, mineral a partir del cual se extrae un metal, tal como se encuentra en el yacimiento. El mineral objeto de comercialización se suele encontrar en la explotación asociado a otros minerales que no son aprovechables. Éstos se conocen como gangas o desperdicios. La ganga suele ser una fracción de silicatos o de otros minerales sin interés, pero puede ocurrir que un mineral que se considere ganga en un yacimiento sea de interés en otro. La rentabilidad de una mena depende de su riqueza en el metal esperado así como de la forma en que se presente. Si la mena y la ganga se encuentran mezclados, y los procesos físicos y químicos de separación y preparación son demasiado costosos, la mena puede no ser rentable. Tampoco lo es la mena cuyo volumen es exiguo, o aquella cuya situación impide una explotación accesible. Ejemplos de menas son la calcopirita para el cobre, la galena para el plomo o la magnetita para el hierro.[5]

Ganga, sustancia estéril mezclada con los diversos minerales estériles de un filón.[6]

Filler, materia mineral finamente molida, que se añade al asfalto para la pavimentación de carreteras y que se utiliza también para modificar las propiedades de determinados materiales como el hormigón, las materias plásticas, entre otras cosas.[7]

---

[3] "Marga." Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

[4] Carlos Díaz G.-Mauriño.1991. Diccionario de Términos Mineralógicos y Cristalográficos. Madrid alianza Editorial S.A.

[5] Carlos Díaz G.-Mauriño.1991. Diccionario de Términos Mineralógicos y Cristalográficos. Madrid alianza Editorial S.A.

[6] "Ganga" El Pequeño Larousse Ilustrado 1998 Ediciones Larousse S.A de C.V.

[7] "Filler" El Pequeño Larousse Ilustrado 1998 Ediciones Larousse S.A de C.V.

Exfoliación, acción y efecto de exfoliar o exfoliarse, desprendimiento de las partes más superficiales de una estructura, comúnmente de un epitelio de revestimiento.[8]

Exfoliar, dividir una cosa en láminas o escamas. Disgregarse una roca o mineral de textura laminada por levantamiento o desprendimiento sucesivo de hojas o escamas.[9]

Saponificación, transformación de las materias grasas en jabón, tras su desdoblamiento por la acción de una base en sal de ácido graso y en glicerina.[10]

Argamasa, mezcla de cal, arena y agua. [11]

Foraminíferos, tipo de protozoos marinos provistos de una envoltura calcárea con uno o varios orificios, por donde emiten sus seudópodos.[12]

Lumaquela, roca calcárea aláctona de origen orgánico, formada por los restos de conchas de moluscos y otros animales.[13]

Alúmina, óxido de aluminio que se halla en la naturaleza, ya puro y cristalizado, ya formado con otros cuerpos de los feldespatos y las arcillas.[14]

Elastómero, cualquier polímero sintético que presenta en alguna medida las propiedades del caucho, en particular su elasticidad y su flexibilidad.[15]

Enjalbegar, blanquear, componer con albayalde (carbonato de plomo, de color blanco, empleado en la pintura), u otros afeites.[16]

Anquerita, fórmula química: $Ca(Fe^{2+},Mg,Mn)(CO_3)_2$, clase: carbonatos, grupo: de la dolomita, etimología: En honor al mineralogista M. J. Anker. Propiedades físicas:

---

[8] "Exfoliación" El Pequeño Larousse Ilustrado 1998 Ediciones Larousse S.A de C.V.

[9] "Exfoliar" ibid.

[10] "Saponificación" ibid.

[11] "Argamasa" ibid.

[12] "Foraminíferos" ibid.

[13] "Lumaquela" ibid.

[14] "Alúmina" ibid.

[15] "Elastómero" ibid.

[16] "Enjalbegar" ibid.

Color: Pardo, pardo amarillento a negruzco. Raya: Más clara y blanca. Brillo: Vítreo, algo nacarado en superficies de exfoliación. Dureza: 3.5 a 4 Densidad: 2.97 g/cm^3 Óptica: Uniáxico negativo. Química: Difícil de fijar unas proporciones fijas debido a las sustituciones del hierro por el magnesio y manganeso, no obstante se puede considerar como composición promedio: 25.9% de CaO, 33.3% FeO y 40.8% de CO_2. Atacable por ácido clorhídrico en caliente. Forma de presentarse: En masas espáticas o granudas y en cristales romboédricos de aspecto similar a los de la dolomita. Génesis: Término intermedio en el proceso de sustitución de calcita por siderita. Empleo: Como mena muy secundaria de hierro.[17]

Aragonito fórmula química: $CaCO_3$, clase: carbonatos grupo: del aragonito, etimología: El nombre se debe a Werner quién definió este mineral a partir de ejemplares procedentes de la localidad de Molina de Aragón (Guadalajara) y que él, por error, atribuyó a Aragón. Propiedades físicas: Color: Blanco es el más frecuente. También violáceo, marrón, negro, azul o verde. Raya: Blanca. Brillo: Vítreo. Dureza:3.5 a 4 Densidad: 2. 94 g/cm^3 Óptica: Biáxico negativo. Química: Misma composición teórica que la calcita. Es un polimorfo del $CaCO_3$ inestable en condiciones ambientales. Contiene sustituciones isomorfas de Ba, Sr, Pb y Zn. Soluble en ácido clorhídrico. Forma de presentarse: En cristales romboédricos sencillos o con macla múltiple dando un aspecto de prisma hexagonal. En formas hialinas coraloides, fibroso o fibrosoradiado, estalactítico, oolítico y pisolítico. Génesis: Hidrotermal de baja temperatura. A partir de aguas termales o géiseres formando estalactitas en cuevas calcáreas. Sedimentario en medios marinos. Sedimentarios en medios restringidos con yeso o celestina en margas o arcillas. En cavidades de rocas volcánicas junto con zeolitas especialmente en andesitas y basaltos. En zonas oxidadas de yacimientos metálicos, junto a limonita, malaquita, calcita. Metamórfico. Estable en facies de esquistos con glaucofana. Formando parte del esqueleto de muchos organismos (moluscos, cefalópodos, corales.) Empleo: En ocasiones como piedra ornamental. Los coraloides como piezas de decoración.[18]

Auricalcita fórmula química: $(Zn,Cu^{2+})_5$ $(CO_3)_2$ $(OH)_6$, clase: carbonatos, etimología: El nombre deriva del griego "orichalcos" mineral de cobre. Propiedades físicas: Color: De azul a verde claro. Raya: Blanquecina. Brillo: Sedoso. Dureza: 2. Densidad: 3.6. g/cm^3 Óptica: Biáxico negativo. Química: Soluble en HCl pero no efervece. La solución resultante, de color verde, se vuelve azul al agregársele amoniaco. Forma de presentarse: En pequeños cristales aciculares agrupados en forma de rosetas o en costras de aspecto aterciopelado. Génesis: Mineral secundario producto de alteración de la zona de oxidación de los depósitos de zinc y cobre. Más raramente en pegmatitas.

Azurita, fórmula química: $Cu^{2+}{}_3(CO_3)_2(OH)_2$, clase: carbonatos grupo: carbonatos con grupos OH, etimología: El nombre deriva del color característico del mineral. Propiedades físicas: Color: Diversas tonalidades de azul. Raya: De adamantino a térreo Dureza: 3.5 a 4

---

[17] Carlos Díaz G.-Mauriño.1991. Diccionario de Términos Mineralógicos y Cristalográficos. Madrid alianza Editorial S.A.

[18] id.

Densidad: 3.8 g/cm^3, Óptica: Biáxico positivo. Química: Contiene el 69.2% de cobre y el 25.6% de CO2 y el 5.2% de agua. Soluble en ácidos. Forma de presentarse: En cristales muy modificados formando agregados en drusas o radiales. También masivo, compacta, aterciopelada o terrosa. También en forma de costras. Génesis: Formada por la acción de soluciones hidrocarbonatadas sobre sulfuros de cobre. Empleo: Mena de cobre secundaria.[19]

Calcita, fórmula química: $CaCO_3$ clase: carbonatos grupo: de la calcita, etimología: Nombre derivado del griego y alusivo al hecho de que cuando el mineral se calienta se convierte en polvo. Propiedades físicas: Color: Incolora transparente (Espato de Islandia) o blancas, si bien algunas impurezas le dan coloraciones rojas, amarillentas, verdes, moradas, y algunas otras. Raya: Blanca. Brillo:Vítreo. Dureza: 3 Densidad: 2.710 g/cm^3, Óptica: Uniáxica negativa. Muy birrefringente. Química: Contiene el 56,03% de CaO y el 43,97% de CO_2. El Ca puede estar sustituido por Mn, Fe y en menor medida Sr, Co, Zn, Ba y Pb. Forma de presentarse: En cristales de buen tamaño, en dos hábitos principalmente: En escalenoedros muy agudos (dientes de Perro). En escalenoedros muy obtusos coronando las bases de los prismas trigonales (cabeza de clavo). También romboedros muy típicos como productos de exfoliación; en formas masivas espáticas, fibrosas, columnares, estalactíticas, granulares y pulverulentas. Maclas frecuentes. Génesis: Sedimentario en cuencas marinas y continentales. Ortomagmático asociado con rocas alcalinas. Hidrotermal con fluorita. Metamórfico formando mármoles. Empleo: Para cementos, materiales cerámicos, obtención de la cal, para carga, fabricación de cemento Pórtland, en industria química, como fundente en menas metálicas, el Espato de Islandia en industria óptica etc. Los mármoles como roca ornamental.[20]

Cerusita, fórmula química: $PbCO_3$, clase: carbonatos grupo: del aragonito, etimología: De una palabra latina "cerusa" que significaba plomo blanco. Propiedades físicas: Color: Incoloro o blanco crema. Ciertas impurezas le dan diversas tonalidades. Raya: Blanca. Brillo: Diamantino, vítreo, resinoso o nacarado. Dureza: De 3 a 3.5 Densidad: De 6.4 A 6.6g/cm^3, Óptica: Biáxico negativo. Química: Contiene el 83,5% de PbO. Soluble en el ácido nítrico. Forma de presentarse: En cristales de hábito rómbico muy frágiles o en agregados fasciculados, drusiformes, columnares o reniformes. También en masas granudas grises y en masas cristalinas aciculares con un aspecto de pajuelas. Génesis: Se encuentra en la zona de oxidación de los yacimientos de galena y se suele formar directamente a partir de ésta o bien por intermedio de la anglesita procedente de la alteración de la galena. Empleo: Importante mena de plomo.[21]

Dolomita, formula química: $CaMg(CO_3)_2$, clase: carbonatos grupo: de la dolomita, etimología: En honor del mineralogista francés Deodat Dolomien. Propiedades físicas: Color: Blanco grisáceo. Raya: Blanca. Brillo: Vítreo algo perlado. Dureza: 3.5 a 4 Densidad: 2.86 a 3.10 g/cm^3 , Óptica: Uniáxico negativo. Muy birrefringente. Química:

---

[19] id.

[20] id.

[21] id.

Contiene el 30.41% de CaO, 21.86% de MgO y el 47.73% de CO_2. La sustitución del Mg por Fe es frecuente e ilimitada, llegándose al término Ferrodolomita - $CaFe(CO_3)_2$. Forma de presentarse: Raramente en cristales de hábito romboédrico, por lo general en cristales de hábito deformado, muy aplastados o en formas masivas esparíticas. Génesis: En cuencas sedimentarias marinas y continentales. Por metasomatismo magnésico de calizas. De origen hidrotermal. Empleo: Para la fabricación de materiales refractarios y como mena de Mg.[22]

Esferocobaltita. fórmula química: $CoCO_3$, clase: carbonato, grupo: de la Calcita, etimología: Alusivo al contenido en cobalto del mineral y a las formas esféricas de algunos de sus agregados. Propiedades físicas: Color: Violeta a rosado. Raya: Más clara. Brillo: Vítreo mate. Dureza: 4. Densidad: 4.1 g/cm^3, Óptica: Uniáxico negativo. Mineral de alta birrefringencia. Química: Contiene cerca de 59.68% de CoO. Difícilmente atacable por ácidos. Forma de presentarse: En pequeñas masas nodulares. Génesis: Como producto de alteración en menas de cobalto, o en vetas de níquel y cobalto. Empleo: Importante mena de cobalto.[23]

Magnesita-Giobergita fórmula química: $MgCO_3$, clase: carbonatos grupo: de la calcita, etimología: Su nombre es debido a su composición rica en magnesio. Propiedades físicas: Color: Blanco grisáceo o crema. Raya: Blanca. Dureza: 3.5 a 4.5 Densidad: 3.00 a 3.48 g/cm^3, Óptica: Transparente a traslúcida. Uniáxica negativa. Química: Contiene el 47.6% de MgO. Es frecuente que, en sustitución isomorfa, contenga algo de Fe, Mn o Ca. Forma con la Siderita una serie isomorfa con reemplazamiento del Mg por Fe. Los términos intermedios, con contenidos crecientes en Fe, se denominan Breunerita, Pistomesita y Mesita. Forma de presentarse: Muy rara vez en cristales romboédricos, muy aplanados y en agregados paralelos. Por lo común en masas espáticas compactas, finamente granudas, así como lamelar o fibroso. Génesis: Como producto de alteración de las rocas básicas y serpentinitas. Por sustitución metasomática en los depósitos de calcita y dolomita. Por precipitación en medios sedimentarios especiales. Empleo: Para la fabricación de ladrillos refractarios y revestimiento. Para la elaboración de pasta de papel y aglutinante para suelos. Mena de magnesio.[24]

Malaquita, fórmula química: $Cu^{2+}_2(CO_3)(OH)_2$, clase: carbonatos, grupo: carbonatos con grupos OH, etimología: Deriva de la palabra griega "malache" que significa malva, por alusión a su color verde. Propiedades físicas: Color: Distintas tonalidades de verde. Raya: Verde pálida. Brillo: Sedoso, diamantino o mate. Dureza: 3.5 a 4 Densidad: 3.9 a 4.1 g/cm^3, Óptica: Muy pleocroica, biáxica negativa. Química: Contiene el 71.9% de CuO, el 19.9% de CO_2 y el 8.2% de H_2O. Soluble en ácidos. Forma de presentarse: En masas botroidales y estalactíticas o en costras de color débil, con estructura fibrosa radiada o capas concéntricas. Estalactítica o compacta terrosa. Muy rara vez en cristales. Génesis: Forma masas importantes en zonas enriquecidas en Cu, al ser la forma más usual de

---

[22] id.

[23] id.

[24] id.

alteración de los sulfuros de cobre. Empleo: Como mena de cobre. Ciertas variedades han sido empleadas como material ornamental y mineral gema.[25]

Rodocrosita – Dialoguito, fórmula química: $MnCO_3$, clase: carbonatos, grupo: de la calcita, etimología: Deriva de dos palabras griegas que significan "color" y "rojo". Propiedades físicas: Color: Rosa. Raya: Blanca. Brillo: Vítreo. Dureza: 3.5 a 4.5 Densidad: 3.3 a 3.6 g/cm^3, Óptica: Transparente a traslúcido. Uniáxico negativo. Química: Contiene el 61,7 por ciento de MnO, pudiendo tener Fe, Ca o Zn en sustitución isomorfa dando lugar a unas series cuyos términos principales son la Ferrorodocrosita, Calciorodocrosita y Zincrodocrosita respectivamente. Es atacada con facilidad por los ácidos. Forma de presentarse: En masas espáticas de color rosado o rojo parduzco. Raramente en cristales algo curvados. También en masas granulares, laminares o botroidales y en costras. Génesis: Como ganga de menas metálicas de manganeso, con un origen análogo a los de los sulfuros y óxidos de dicho elemento. Empleo: Mena secundaria de manganeso. Algún empleo como roca ornamental.[26]

Rosasita, fórmula química: $(Cu^{2+},Zn)_2(CO_3)(OH)_2$, clase: carbonatos, grupo: carbonatos con grupos OH, etimología: Deriva del nombre de la mina Rosas - Sulcis, Cerdeña (Italia) donde fue descubierto por primera vez. Propiedades físicas: Color: Verde a azul verdos, en ocasiones azul cielo. Raya: Verde. Brillo: Sedoso. Dureza: 4.5. Densidad: De 4 a 4.2. g/cm^3, Óptica: Mineral biáxico negativo Química: Contiene 41.11% de CuO, 29.21% de ZnO, 20.08% de CO_2, 0.42% de Fe_2O_3 y 8.24% de H_2O. Mineral soluble en ácido. Forma de presentarse: En costras con estructuras fibrosas, en ocasiones esferolíticas, como masa mamelares o botroidales. Génesis: Mineral secundario propio de las zonas de oxidación de los depósitos de cobre - zinc. Empleo: Mena secundario de cobre y zinc.[27]

Siderita, fórmula química: $Fe^{2+}CO_3$, clase: carbonatos, grupo: de la calcita, etimología: Proviene de una palabra griega que significa "hierro". Propiedades físicas: Color: Muy variable desde amarillento a pardo muy oscuro Raya: Blanca o amarilla. Brillo: Vítreo, en ocasiones nacarado. Dureza: 4 a 4.5 Densidad: 3.96 g/cm^3, Óptica: Uniáxico negativo Química: Contiene 62.1% de FeO, con Mg, Ca o Zn en sustitución isomorfa, denominándose entonces Manganosiderita (Oligonita), Calciosiderita y Zincosiderita respectivamente. Forma con la Magnesita una serie isomorfa con reemplazamiento del Fe por Mg. Los términos intermedios, con contenidos crecientes en Fe, se denominan Breunerita, Pistomesita y Mesita. Se disuelve con facilidad en clorhídrico. Forma de presentarse: En romboedros en ocasiones con caras curvas, recordando a una silla de montar, como ocurre con la dolomita. También en masas espáticas de grano grueso o con cristales apilados en forma de escamas. Menos frecuentes son nódulos y concreciones globulares fibroso-radiadas, radiadas u oolíticas. En ocasiones terrosa. Génesis: Como ganga en filones metálicos de plomo, plata y cobre. En estado de gel, se deposita en medios pantanosos por acción de la materia orgánica sobre bicarbonato ferroso disuelto y en

---

[25] id.

[26] id.

[27] id.

ausencia de oxígeno. También en yacimientos de tipo metasomático. Empleo: Como mena de hierro.

Smithsonita, fórmula química: $ZnCO_3$, clase: carbonato subclase: de la calcita, etimología: En honor de James Smithson (1754 - 1829) fundador de la Smithsonian Institution en Washington D. C., antiguamente el mineral se conocía como calamina. Propiedades físicas: Color: Muy variado, con verdes, azules, morados, rosados, amarillos etc. Raya: Blanca. Brillo: Vítreo o terroso. Dureza: De 4 a 4.5. Densidad: De 4.3 a 4.5. g/cm^3, Zptica: Uniáxico negativo. Química: Contiene 64.8% de ZnO pudiendo llegar a tener hasta un 3% de Cd. Frecuentes sustituciones isomorfas de Fe y Mn y en menor medida de Co y Mg dando lugar a cristales mixtos. Fácilmente soluble en ácidos. Forma de presentarse: En agregados botroidales cristalinos o terrosos y en masas granulares. A veces en forma de costras o estalactítico. Génesis: Mineral de origen secundario o residual, formado por la acción de aguas cargadas de sulfato de zinc sobre calcitas y /o dolomías. Estas aguas suelen provenir de la alteración de esfalerita. Empleo: como mena de zinc o como roca ornamental.[28]

Trona, fórmula química: $Na_3(CO_3)(HCO_3).2H_2O$, clase: carbonatos grupo: carbonatos con grupos (OH). etimología: Nombre de origen árabe derivado del griego "natron". Propiedades físicas: Color: Blanco, amarillento, grisáceo o parduzco. Raya: Blanca. Brillo: Vítreo. Dureza: De 2.5 a 3. Densidad: 2.11. g/cm^3, Óptica: Biáxico negativo. Química: Contiene 41.13% de Na_2O, 38.94% de CO_2 y 19.93% de H_2O. Forma de presentarse: Generalmente masivo, fibroso o columnar o como discos planos. Puede aparecer en forma de cristales elongados o aplastados. Génesis: Se presenta como depósito en lagos salinos o como eflorescencias en suelos en regiones áridas.[29]

[28] id.

[29] id.

ANEXO B

CALCULO DE FACTOR DE SALARIO REAL.

	(A)	(B)	(C)	(D)	(e)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)
	Salario Base	Percepción Total	Prima Vacacional	Gratif. Total (Agun.)	Devengado Total	I.M.S.S.	I.S.N. 2.00%	Guarderia	INFONAVIT	S.A.R.	Total C / INFONAVIT SAR	Salario Real C / INF-SAR	Factor Salario Real
		(A*365.25)	(A*1.50)	(A*15.00)	(B+C+D)	(E*0.298875)	(E*0.00)	(E*0.01)	(E*0.05)	(E*0.02)	(E+F+G+H+I+J)	(K/306.25)	(L/A)
Oficial Albañil Concretero	291.66	106528.82	437.49	4374.9	111632.865	33364.2725	0	1116.329	5581.6433	2232.66	153927.7667	502.621279	1.7233123
Oficial Albañil General	316.66	115660.07	474.99	4749.9	121201.615	36224.1327	0	1212.016	6060.0808	2424.03	167121.8769	545.704088	1.7233123
Ayudante Especializado	250	91312.5	375	3750	95687.5	28598.6016	0	956.875	4784.375	1913.75	131941.1016	430.828087	1.7233123
Ayudante General	225	82181.25	337.5	3375	86118.75	25738.7414	0	861.1875	4305.9375	1722.38	118746.9914	387.745278	1.7233123
Oficail Carpintero obra negra	333.33	121748.78	499.995	4999.95	127582.058	38131.0874	0	1275.821	6379.1029	2551.64	175919.7095	574.431705	1.7233123
Oficial Ferrero	325	118706.25	487.5	4875	124393.75	37178.182	0	1243.938	6219.6875	2487.88	171523.432	560.076513	1.7233123
Sobrestante	500	182625	750	7500	191375	57197.2031	0	1913.75	9568.75	3827.5	263882.2031	861.656173	1.7233123

INFORMACION FINANCIERA

PRECIO UNITARIO DE MATERIA PRIMA.

PRECIO PROMEDIO EN MINA.
FUENTE: SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE MINERÍA
PRECIO INDEXADO A PARTIR DE 1999

COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA = EXTRACCIÓN, MOLIENDA
Y TRANSPORTE.

COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA POR TONELADA MÉTRICA:	$ 12.58	

COSTO UNITARIO = COSTO TOTAL / PRODUCCIÓN TOTAL
COSTO UNITARIO = ($12.58/TM)*(280 TM/DIA) = $ 3,522.4/DIA
COSTO UNITARIO DE CaCO3 = $ 0.01258 / Kg

PRECIO DEL kW/h EN LA REGIÓN:	$ 0.40	
LA PLANTA PRODUCIRÁ (280 Ton/Día)*(860 l/Ton Cal Hidratada) =	240,800.00	l/Día
(240800 l/Día)*(30 Días/1 Mes) =	7,224,000.00	l/Mes

OFERTA EN TIPO DE HORNO:	**CIMPROGETTI**	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**	**KRUPP POLYSIUS**
INVERSIÓN TOTAL:	PESOS	DÓLARES	PESOS	DÓLARES

INVERSIÓN TOTAL = INVERSIÓN FIJA + CAPITAL DE ARRANQUE.

INVERSIÓN FIJA.

COSTO DEL TERRENO Y CONCESIÓN:	$ 1,100,000.00	$ 105,769.23	$ 1,100,000.00	$ 105,769.23
INSTALACION ELECTRICA	$ 751,732.60	$ 72,281.98	751732.6	$ 72,281.98
COSTO DEL EQUIPO	$ 39,031,200.00	$ 3,753,000.00	$ 42,892,830.29	$ 4,124,310.60
COSTO DE OBRA CIVIL (EDIFICIOS)	$ 9,766,045.80	$ 939,042.87	$ 9,766,045.80	$ 939,042.87
BASCULA PARA CAMIONES 60 Ton	$ 408,298.00	$ 39,259.42	$ 408,298.00	$ 39,259.42
TANQUE DE ALMACENAMIENTO COMBUSTIBLE (OPCIONAL)	$ 779,253.50	$ 74,928.22	$ 779,253.50	$ 74,928.22
POZO DE AGUA	$ 1,186,776.99	$ 114,113.17	$ 1,186,776.99	$ 114,113.17
SUBESTACIÓN DE LA PLANTA	$ 1,931,139.00	$ 185,686.44	$ 1,931,139.00	$ 185,686.44
EL HORNO KRUPP USA DOS SUBESTACIÓN DE LA PLANTA			$ 1,931,139.00	$ 185,686.44
COSTO FIJO DE LA PLANTA:	$ 54,175,192.39	$ 5,209,153.11	$ 59,967,961.68	$ 5,766,150.16

COSTO FIJO DE LA PLANTA	$ 54,175,192.39	$ 5,209,153.11	$ 59,967,961.68	$ 5,766,150.16
HONORARIOS DEL CONTRATISTA 7% DE OBRA CIVIL	$ 3,792,263.47	$ 364,640.72	$ 4,197,757.32	$ 403,630.51
COSTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO	$ 1,978,704.00	$ 190,260.00	$ 2,088,632.00	$ 200,830.00
COSTO DIRECTO:	$ 59,946,159.86	$ 5,764,053.83	$ 66,254,351.00	$ 6,370,610.67
COSTO DIRECTO	$ 59,946,159.86	$ 5,764,053.83	$ 66,254,351.00	$ 6,370,610.67
IMPUESTOS	$ 4,196,231.19	$ 403,483.77	$ 4,637,804.57	$ 445,942.75
INVERSIÓN FIJA:	$ 64,142,391.05	$ 6,167,537.60	$ 70,892,155.57	$ 6,816,553.42

CAPITAL DE ARRANQUE MENSUAL:

	CIMPROGETTI	CIMPROGETTI	KRUPP POLYSIUS	KRUPP POLYSIUS
COMBUSTIBLE ft3/ mes	28,560,000.00		31,920,000.00	
GAS NATURAL $ 1.74	$ 49,694,400.00	$ 4,778,307.69	$ 55,540,800.00	$ 5,340,461.54
COMBUSTOLEO (OPCIONAL) $ 1.68				
ENERGÍA ELÉCTRICA $0.40 kW/h	$ 143,808.00	$ 13,827.69	$ 143,808.00	$ 13,827.69
ÚTILES Y UNIFORMES DE TRABAJO	$ 10,000.00	$ 961.54	$ 10,000.00	$ 961.54
MANTENIMIENTO	$ 700,000.00	$ 67,307.69	$ 700,000.00	$ 67,307.69
MATERIAS PRIMAS AUXILIARES	$ 600,000.00	$ 57,692.31	$ 600,000.00	$ 57,692.31
VARIOS	$ 300,000.00	$ 28,846.15	$ 300,000.00	$ 28,846.15
EMPAQUES	$ 840,000.00	$ 80,769.23	$ 840,000.00	$ 80,769.23
		$ -		$ -
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN POR MES:	$ 52,288,208.00	$ 5,027,712.31	$ 58,134,608.00	$ 5,589,866.15
		$ -		$ -
		$ -		$ -
COSTO DE LA MATERIA PRIMA MENSUAL	$ 105,672.00	$ 10,160.77	$ 105,672.00	$ 10,160.77
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN POR MES:	$ 52,288,208.00	$ 5,027,712.31	$ 58,134,608.00	$ 5,589,866.15
CAPITAL DE ARRANQUE:	$ 52,393,880.00	$ 5,037,873.08	$ 58,240,280.00	$ 5,600,026.92
		$ -		$ -
		$ -		$ -
		$ -		$ -

		$ -		$ -
INVERSIÓN FIJA.	$ 64,142,391.05	$ 6,167,537.60	$ 70,892,155.57	$ 6,816,553.42
CAPITAL DE ARRANQUE:	$ 52,393,880.00	$ 5,037,873.08	$ 58,240,280.00	$ 5,600,026.92
INVERSIÓN TOTAL:	$ 116,536,271.05	$ 11,205,410.68	$ 129,132,435.57	$ 12,416,580.34

COSTO DE PRODUCCIÓN.

CMP + CMOD + CIP = COSTO DE PRODUCCIÓN

COSTO DE MATERIA PRIMA DIRECTA:

	DIARIA	ANUAL
CONSUMO UNITARIO DE CaCO3 280 Ton/Día	280.00	102,200.00
COSTO UNITARIO DE CaCO3 $12.58/Ton	$ 3,522.40	$ 1,285,676.00
COSTO UNITARIO DE MATERIA PRIMA :		
(COSTO DE CaCO3)/(PRODUCCIÓN DE Ca(OH)2)		
($ 3,522.40/Día)/(350 Ton/Día) =	$ 10.06	

COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA:

No. De Empleados y Función.	No. Turnos Trab.	Sueldo Diario	Total Diario	Total Anual
2 OPERADORES DEL HORNO (1 POR TURNO)	2	$ 500.00	$ 1,000.00	$ 365,000.00
2 SUPERVISIÓN DE PROCESO (1 POR TURNO)	2	$ 200.00	$ 400.00	$ 146,000.00
4 MECÁNICOS DE MANTENIMIENTO (2 POR TURNO)	2	$ 235.00	$ 470.00	$ 171,550.00

4 AUXILIARES DE PRODUCCIÓN (2 POR TURNO)	2	$	87.00	$ 174.00	$ 63,510.00
2 ALMACENISTAS (1 POR TURNO)	2	$	70.00	$ 140.00	$ 51,100.00
TOTALES				$ 2,184.00	$ 797,160.00

COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA:

(COSTO DIARIO) / (PRODUCCIÓN DE Ca(OH)2) =	$ 2,184.00	350 Ton
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA DIRECTO ($/Ton):	$ 6.24	

CARGOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN.

	TOTAL DIARIO CIMPROGETTI	TOTAL ANUAL CIMPROGETTI	TOTAL DIARIO KRUPP POLYSIUS	TOTAL ANUAL KRUPP POLYSIUS
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	$ 2,466.00	$ 900,090.00	$ 2,466.00	$ 900,090.00
DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO A 10 AÑOS	$ 9,991.72	$ 3,646,977.75	$ 10,980.27	$ 4,007,798.83
IMPUESTO PREDIAL	$ 2,337.76	$ 853,283.66	$ 2,337.76	$ 853,283.66
TOTALES	**$ 14,795.48**	$ 5,400,351.41	$ 15,784.03	$ 5,761,172.50

	CIMPROGETTI	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**	**KRUPP POLYSIUS**
GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO (COSTO DIARIO) / (PRODUCCIÓN DE Ca(OH)2) =	$ 14,795.48		$ 15,748.03	
COSTO INDIRECTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO:		$ 42.27		$ 44.99
CMP + CMOD + CIP = COSTO DE PRODUCCIÓN =		$ 58.58		$ 61.30

EL COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL SERÁ:

COSTO DE PRODUCCIÓN X PRODUCCIÓN ANUAL	$ 58.58		$ 61.30	
COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL =		$ 7,483,595.00		$ 7,831,075.00

COSTO TOTAL

GASTOS DE OPERACIÓN	IMPORTE	TOTAL DIARIO	TOTAL ANUAL
GASTOS DE VENTAS:			
1 SECRETARIA	$ 60.00	$ 60.00	$ 21,900.00
2 VENDEDORES	$ 75.00	$ 150.00	$ 54,750.00
VIAJES (2 POR SEMANA)	$ 300.00	$ 600.00	$ 219,000.00
GASTOS DE GERENTE GENERAL:	$ 500.00	$ 500.00	$ 182,500.00
ADMINISTRACIÓN:			
1 CONTADOR	$ 90.00	$ 90.00	$ 32,850.00
GASTOS VARIOS	$ 200.00	$ 200.00	$ 73,000.00
TOTALES		$ 1,600.00	$ 584,000.00

EL COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN SERÁ:
(GASTOS DE OPERACIÓN) /(PRODUCCIÓN DIARIA) 1600 350 Ton/Dia

EL COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN = $ 4.57

	CIMPROGETTI	KRUPP POLYSIUS
EL COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN SERÁ: COSTO UNITARIO DE PRODUCCIÓN + COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN		
EL COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN $ / Ton =	$ 63.15	$ 65.87

COSTO TOTAL AL AÑO SERÁ:

127750 Ton/Año

EL COSTO UNITARIO DE OPERACIÓN X PRODUCCIÓN ANUAL

COSTO TOTAL AL AÑO SERÁ $ / Año =	$ 7,884,730.00	$ 8,232,210.00

PRECIO DE VENTA.

EL PRECIO VENTA APROXIMADAMENTE: $ 783/Ton
INDEXADO A PARTIR DE 1988
COSTO TOTAL + UTILIDAD DE VENTAS = PRECIO DE VENTA

	CIMPROGETTI	KRUPP POLYSIUS
	$ 783.00	$ 783.00
UTILIDAD DE VENTAS = 783.00 -61.72		
UTILIDAD DE VENTAS = 783.00 -64.44	-$ 63.15	-$ 65.87
UTILIDAD DE VENTAS =	$ 719.85	$ 717.13

PUNTO DE EQULIBRIO.

GASTOS FIJOS + GASTOS VARIABLES = VENTAS TOTALES

FORMULA:

E=X/(1-Y)

E= PUNTO DE EQUILIBRIO
X= GASTOS FIJOS
Y= (GASTOS VARIABLES / VENTAS TOTALES)

PARA EL CALCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO
NECESITAMOS:

VENTAS ANUALES:
COSTOS FIJOS Y
COSTOS VARIABLES

1 VENTAS ANUALES:

PRODUCCION ANUAL TON POR	$ 102,200.00
PRECIO DE VENTA $/TON IGUAL A	$ 783.00
VENTAS ANUALES $ / Año	$ 80,022,600.00

2 COSTOS FIJOS:

MANTENIMIENTO Y VARIOS	$ 773,000.00
DEPRECIACION	$ 3,646,977.75
IMPUESTO PREDIAL	$ 853,283.66
GASTOS DE ADMINISTRACION Y VENTAS	$ 584,000.00
COSTOS FIJOS	$ 5,857,261.41

3 COSTOS VARIABLES	CIMPROGETTI	KRUPP POLYSIUS
COSTO DE MATERIA PRIMA DIRECTA	$ 1,285,165.00	$ 1,285,165.00
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	$ 797,160.00	$ 797,160.00
GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION (SERVICIOS, EMPAQUES, MATERIAS PRIMAS, ETC)	$ 5,400,351.41	$ 5,761,172.50
COSTO VARIABLE	$ 7,482,676.41	$ 7,843,497.50

PUNTO DE EQUILIBRIO

E=X/(1-Y)	CIMPROGETTI	KRUPP POLYSIUS
E= PUNTO DE EQUILIBRIO	6,461,452.72	6,493,753.33

X= GASTOS FIJOS
Y= (GASTOS VARIABLES / VENTAS TOTALES)

RESULTADOS ANUALES.	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
PRODUCCION ANUAL	127,750.00	127,750.00
INVERSION TOTAL	116,536,271.05	129,132,435.57
PRECIO UNITARIO DE CAL HIDRATADA	783.00	783.00
PUNTO DE EQUILIBRIO (VENTAS)	6,461,452.72	6,493,753.33
% DE PRODUCCION	6.46	6.49
VENTAS BRUTAS	100,028,250.00	100,028,250.00
DESCUENTOS, ETC (1%)	- 1,000,282.50	- 1,000,282.50
VENTAS NETAS	99,027,967.50	99,027,967.50
COSTO DE PRODUCCION	- 7,483,595.00	- 7,831,075.00
UTILIDAD BRUTA	91,544,372.50	91,196,892.50
GASTOS DE OPERACIÓN	- 5,400,351.41	- 5,761,172.50
UTILIDAD DE OPERACIÓN	86,144,021.09	85,435,720.00
OTROS GASTOS	- 1,500,000.00	- 1,500,000.00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	84,644,021.09	83,935,720.00
IMPUESTOS (30%)	- 25,393,206.33	- 25,180,716.00
UTILIDAD NETA	$ 59,250,814.76	$ 58,755,004.00

RENDIMIENTO SOBRE LA INVERSION.

% RENTABILIDAD ES IGUAL A	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
UTILIDAD NETA POR 100 ENTRE	***%RENTABILIDAD***	***%RENTABILIDAD***
INVERSION TOTAL	50.84	45.50
FORMULA: ***%R = ((UN*100)/IT)***		
% DE RENTABILIDAD =	50.48	45.5

TIEMPO DE RECUPERACION

FORMULA:

D= (IT)/(Unet + (0.05*IT)	**CIMPROGETTI**	**KRUPP POLYSIUS**
D= AÑOS DE RECUPERACION		
IT= INVERSION TOTAL	116,536,271.05	129,132,435.57
0.05= DEVALUACION DE LA MONEDA EN 5%		
Unet= UTILIDAD NETA	$ 59,250,814.76	$ 58,755,004.00
TIEMPO DE RECUPERACION AÑOS D=	1.79	1.98