

**DISEÑO DE UNA LINEA PARA LA PRODUCCION DE
HIPOCLORITO DE CALCIO GRANULADO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

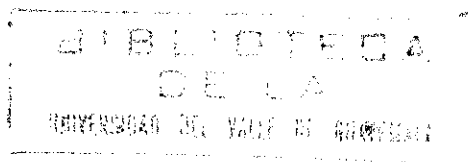
Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UNA LINEA PARA LA PRODUCCION DE
HIPOCLORITO DE CALCIO GRANULADO**

MAURICIO RODRIGUEZ SARA VIA

Trabajo de graduación presentado para optar al grado
académico de Ingeniero Químico



Guatemala
1999

ASESOR:

VoBo. Jorge Luis Avalos
Ing. Jorge Luis Avalos

TERNA EXAMINADORA:

VoBo. Jorge Luis Avalos
Ing. Jorge Luis Avalos

VoBo. Gamajel Zambrano
Ing. Gamajel Zambrano

VoBo. Eduardo Calderón
Ing. Eduardo Calderón

Fecha de Aprobación:

15 de Octubre de 1,999

RESUMEN

El hipoclorito de calcio es un polvo granulado blancuzco, muy irritante y corrosivo. Se emplea principalmente en el tratamiento de aguas y como bactericida y algicida en aplicaciones de limpieza. El tamaño de mercado del hipoclorito de calcio es aproximadamente 2,000 toneladas métricas anuales para la región centroamericana. Guatemala es el país con mayor consumo, seguido por El Salvador y Costa Rica. Honduras y Nicaragua ocupan las últimas posiciones. Todo el hipoclorito de calcio que se consume en Centro América es importado de Estados Unidos, Hong Kong, Japón, Alemania e Italia.

El tamaño de la planta productora se estableció en 1,500 toneladas métricas anuales, y se basa en el pronóstico de llegar a sustituir 75% de las importaciones. Con base en las ventajas y desventajas de los dos procesos estudiados, se seleccionó el método de Loehr, Crawford, Carbaugh y Welch. Una buena parte del equipo principal puede ser fabricado localmente en fibra de vidrio, con lo que se reduce la inversión inicial, la cual asciende a Q. 6,000,000.00. Los parámetros de rentabilidad indican que el proyecto es atractivo y que generará ganancias. Tanto la tasa neta de retorno como la tasa interna se encuentran por encima de la tasa de interés bancario. El tiempo de recuperación de capital se estima en 34 meses, aproximadamente.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	2
A) El cloro disponible	2
B) El mecanismo de blanqueo con cloro	3
C) El mecanismo de desinfección con cloro	4
D) Historia de los principales compuestos de cloro	5
E) Propiedades del hipoclorito de calcio	6
F) Usos del hipoclorito de calcio	7
G) Producción de hipoclorito de calcio	7
1. El método de MacMullin y Taylor	7
2. El método de Loehr, Crawford, Carbaugh y Welch	9
III. JUSTIFICACION	12
IV. OBJETIVOS	13
A) General	13
B) Específicos	13
V. PROBLEMA A RESOLVER	14
VI. METODOLOGIA	15
VII. RESULTADOS	16
A) Aspectos de mercado	16
B) Parámetros de diseño	17
C) Análisis financiero	20
VIII. DISCUSION	23

A) Aspectos de mercado	23
B) Selección de tecnología	23
C) Capacidad de la línea de producción	24
D) Diagrama de flujo	25
E) Tanques de mezcla	26
F) Intercambiador de calor	28
G) Clasificadores	30
H) Equipo de separación mecánica	32
1. Hipoclorito de calcio	32
2. Cloruro de sodio	33
I) Secador	34
J) Equipo auxiliar y de control	35
K) Dosificador de cloro	37
L) Compactación del producto final	38
M) Análisis financiero	39
1. Flujo de caja	39
2. Parámetros de rentabilidad	40
3. Punto de equilibrio	41
N) Aspectos ecológicos	41
 IX. CONCLUSIONES	 43
 X. RECOMENDACIONES	 45
 XI. BIBLIOGRAFIA	 46
 XII. ANEXOS	 48
A) Estadísticas de comercio de Centro América de la partida 2828.10.00, años 1994 a 1998	49
B) Datos y cálculos	41
C) Hoja de datos de seguridad del hipoclorito de calcio	56
D) Vaporizador de cloro líquido	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1		
	Familia del cloro disponible	3
Tabla 2.2		
	Disociación del ácido hipocloroso	4
Tabla 2.3		
	Descomposición del hipoclorito de calcio	7
Tabla 7.1		
	Corrientes de materia prima y producto terminado	17
Tabla 7.2		
	Flujo másico de las principales corrientes del proceso	17
Tabla 7.3		
	Dimensiones de los tanques de mezcla	17
Tabla 7.4		
	Area de transferencia de calor	18
Tabla 7.5		
	Dimensiones de los clasificadores	18
Tabla 7.6		
	Flujo de caja	20
Tabla 7.7		
	Parámetros de rentabilidad	21

Tabla 7.8		
	Puntos de equilibrio por año de operación	21
Tabla 12.1		
	Parámetros de diseño de los agitadores	51
Tabla 12.2		
	Constantes importantes	52
Tabla 12.3		
	Aumento de temperatura en los tanques de mezcla	52
Tabla 12.4		
	Potencia de las bombas	53
Tabla 12.5		
	Consumo de materias primas por año de operación	54
Tabla 12.6		
	Inversión inicial	54
Tabla 12.7		
	Modelo de amortización del préstamo	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 7.1		
Consumo aparente de hipoclorito de calcio por país		16
Figura 7.2		
Diagrama de flujo del proceso		19
Figura 7.3		
Punto de equilibrio para el año 1		22
Figura 7.4		
Punto de equilibrio para el año 2		22
Figura 7.5		
Punto de equilibrio para el año 3		22
Figura 7.6		
Punto de equilibrio para el año 4		22
Figura 7.7		
Punto de equilibrio para el año 5		22
Figura 12.1		
Vaporizador de cloro líquido		63

I. INTRODUCCION

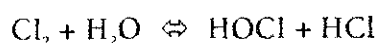
El hipoclorito de calcio es un compuesto inorgánico que se emplea ampliamente en el tratamiento de aguas y como desinfectante de uso general. Es un polvo granulado fácil de manejar, estable, muy corrosivo e irritante.

El objetivo general de este trabajo es diseñar una línea de producción de hipoclorito de calcio para su venta en el mercado guatemalteco y centroamericano, al competir con el producto que se importa actualmente. Existen varios métodos para producir hipoclorito de calcio. En este trabajo se analizan detalladamente dos de ellos. El primero se desarrolló hace aproximadamente 70 años y es el proceso tradicional, patentado por Mathieson Alkali Works, Inc.; mientras que el segundo fue desarrollado al final de la década de los años 70. La selección del proceso depende de varios factores, entre los que se encuentran simplicidad, facilidad de adaptación a las condiciones de producción locales, disponibilidad de equipo y otros. Por último, las dimensiones del equipo principal dependen de la capacidad de la línea, que a su vez depende de la estrategia de ventas de la empresa colaboradora así como del tamaño del mercado.

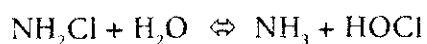
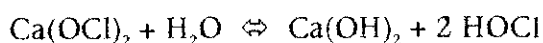
II. ANTECEDENTES

A) El cloro disponible

El cloro disponible es un término que se aplica para expresar el poder oxidante del cloro contenido en compuestos orgánicos o inorgánicos. Este se basa en la concentración de ácido hipocloroso de las soluciones acuosas de los mismos. Cuando se disuelve gas cloro en agua, se obtiene la siguiente ecuación en equilibrio:



El átomo de cloro del ácido hipocloroso tiene una valencia de +1 y se considera como "activo". (8) Los hipocloritos y las cloraminas también forman ácido hipocloroso cuando se disuelven en agua:



Nótese que sólo la mitad de los átomos en la molécula de gas cloro es "activa". En cambio, todos los átomos de cloro de los hipocloritos y las cloraminas se transforman en ácido hipocloroso. Por definición, el cloro disponible es el peso del cloro que ejercería la misma acción que el compuesto de referencia (gas cloro). Por lo tanto, el contenido de cloro disponible de estos compuestos es exactamente el doble del porcentaje de cloro "activo" (el doble del porcentaje de cloro en la molécula). (8)

Se conoce como la *familia del cloro disponible* al grupo de compuestos que producen ácido hipocloroso cuando están en solución. Se puede hacer una subdivisión en compuestos de cloro disponible libre (hipocloritos) y compuestos de cloro disponible combinado (cloraminas orgánicas). El término combinado obedece a que debido a la pequeña constante de ionización de las cloraminas, solamente un pequeño porcentaje de cloro se disocia, mientras que el resto permanece combinado a la molécula. A medida que el ácido hipocloroso se va consumiendo, se libera más cloro debido a la hidrólisis de la molécula orgánica. (8)

En la siguiente tabla se listan algunos compuestos que pertenecen a la familia del cloro disponible y su contenido de cloro disponible (% C.D.):

Tabla 2.1
Familia del cloro disponible

COMPUESTO	FORMULA	% C.D.
gas cloro	Cl ₂	100.0 ^a
hipoclorito de calcio	Ca(OCl) ₂	99.2
hipoclorito de sodio	NaOCl	95.2
hipoclorito de litio	LiOCl	121.6
monocloramina	NH ₂ Cl	137.9
dicloroamina	NHCl ₂	165
tricloruro de nitrógeno ^b	NCI ₃	176.7
ácido tricloroisocianúrico	NCICONCICONCICO	91.5
ácido dicloroisocianúrico	CONCICONCICONH	71.7
dicloroisocianurato de sodio	CONCICONCICONNa	64.5
Cloramina-T	CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ NCINa · 3 H ₂ O	25.2
C Iroamina-B	C ₆ H ₅ NCINa · 1.5 H ₂ O	29.4

^a por definición

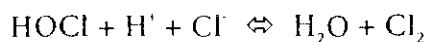
^b explosivo

Sconce (1972)

B) El mecanismo de blanqueo con cloro

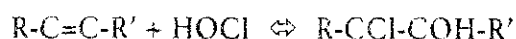
El mecanismo de blanqueo de los compuestos de la familia del cloro disponible puede seguir cualquiera de los tres tipos de reacción siguientes: cloración, oxidación y/o clorhidrinación. El blanqueo con soluciones de ácido hipocloroso es una reacción irreversible. (8)

En medio ácido, con un pH menor de 4, predomina la presencia de cloro libre, según la reacción:



Por lo tanto, el mecanismo de blanqueo ocurre principalmente por cloración. (8)

A pHs mayores, ocurren principalmente los otros dos tipos de reacción. Los compuestos saturados son blanqueados mediante oxidación; mientras que los compuestos insaturados son blanqueados mediante clorhidrinación. (8) Esta reacción destruye la estructura resonante de la molécula, resultando en una pérdida apreciable de color:



C) El mecanismo de desinfección con cloro

El ácido hipocloroso es un excelente bactericida, gracias a su habilidad de difundir a través de la pared celular e interferir con reacciones bioquímicas vitales para la subsistencia de los microorganismos. Por el contrario, el ion hipoclorito no tiene ningún efecto bactericida, ya que su carga negativa le impide el paso a través de la pared celular. Entoces, el poder bactericida de una solución depende de la concentración de ácido hipocloroso sin disociar. (8) A su vez, la disociación del ácido hipocloroso depende del pH de la solución, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2.2
Disociación del ácido hipocloroso

pH	% HOCl sin disociar a 25°C
5.0	99.6
6.0	96.5
7.0	73
7.4	50
8.0	21
9.0	2.7
10.0	0.3

Sconce (1972)

Las soluciones de hipoclorito se deben mantener con un pH de 9 para asegurar la estabilidad del compuesto; sin embargo, este valor es suficiente debido a su rápida acción bactericida. Por el contrario, con las cloraminas, las cuales se

hidrolizan lentamente, el pH de la solución debe ser menor para aumentar el porcentaje de ácido hipocloroso sin disociar. (8)

D) Historia de los principales compuestos de cloro

Los primeros compuestos a base de cloro aparecieron a finales del siglo XVIII cuando Tennant patentó en 1798 un método para la producción de un líquido blanqueador a base de hipoclorito de calcio y cloruro de calcio. En 1799 patentó un método para la producción del polvo blanqueador (también conocido como cloruro de cal) con un contenido de cloro disponible de aproximadamente 36%. Estos compuestos revolucionaron la industria textil. Berthollet desarrolló un líquido blanqueador haciendo pasar gas cloro a través de una solución de potasa cáustica. Labarraque sustituyó la potasa cáustica por soda cáustica, obteniendo un producto más barato y de gran popularidad. Las soluciones de hipoclorito de sodio que se emplean actualmente en la desinfección y limpieza del hogar tienen un porcentaje de cloro disponible entre 3.5% y 5%; los procesos para su preparación son variaciones del método de Labarraque. (8)

A pesar que el polvo blanqueador de Tennant tuvo gran éxito, tenía la desventaja de ser muy inestable, ya que se descomponía fácilmente. Esto se resolvió al agregar cal viva (CaO) al compuesto; para obtener un producto con un contenido de cloro disponible entre 25% y 30%. (8)

En 1928 se empezó a comercializar el primer producto de hipoclorito de calcio seco con un contenido de cloro disponible de 70%. (8) La patente fue otorgada a la empresa Mathieson Alkali Works, Inc. de Nueva York. (5) Este método involucra la formación, bajo refrigeración, de un producto intermedio llamado "sal triple": $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot \text{NaOCl} \cdot \text{NaCl} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$, el cual se hace reaccionar con una lechada de cal clorada. Otro método consiste en la cloración del hidróxido de calcio, seguido de un salado con cloruro de sodio para separar el hipoclorito de calcio, o variaciones recientes del mismo, entre ellos se puede mencionar el de Loehr et al (4) que será objeto de estudio de este trabajo.

E) Propiedades del hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es un polvo granulado blancuzco. (3,7) Tiene un peso molecular de 142.99 g/mol y contiene 49.6% de cloro, 28.0% de calcio y 22.4% de oxígeno en peso; su fórmula molecular es: $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Su punto de fusión es 100°C y su peso específico es 2.350. (3,10) El hipoclorito de calcio no es higroscópico y es bastante estable a través del tiempo. (1)

El hipoclorito de calcio es muy irritante para los ojos, piel y mucosas del tracto respiratorio. Debe evitarse el contacto directo; utilizando guantes, lentes, mascarilla y ropa protectora durante su manipulación. Es incompatible con ácidos fuertes y agentes reductores fuertes. Su descomposición térmica empieza alrededor de 175°C, al desprender oxígeno y gas cloro. El hipoclorito de calcio reacciona con amoníaco y aminas alifáticas y aromáticas primarias que producen compuestos explosivos inestables. (3)

Comercialmente se ofrece un producto que contiene entre 65% y 70% de hipoclorito de calcio; las principales impurezas son el perclorato de calcio, el hidróxido de calcio, el cloruro de calcio y el carbonato de calcio. (8)

Murakami et al. reportan que una preparación comercial de hipoclorito de calcio debe contener por lo menos 60% de hipoclorito de calcio anhidro o dihidratado; por lo menos 5% en peso de hidróxido de calcio; por lo menos 4% de humedad y 5% o menos de cloruro de calcio para lograr una máxima estabilidad. También reportan que la estabilidad del hipoclorito de calcio a temperaturas elevadas disminuye a medida que aumenta el contenido de humedad. (6) Los resultados de sus estudios se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.3
Descomposición del hipoclorito de calcio

contenido de humedad en el hipoclorito de calcio	temperatura	aumento del grado de descomposición en relación a la referencia ^a
2 - 3 %	40°C	4 veces
5 - 6 %	40°C	7 - 8 veces
7% o más	40°C	10 veces

^a grado de descomposición de referencia medido para el hipoclorito de calcio con una humedad de 2 - 3 % a 20°C

Murakami et al. (1982)

F) Usos del hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es un agente sumamente oxidante que encuentra su principal aplicación como desinfectante en el tratamiento de aguas. También es muy utilizado como algicida, fungicida y bactericida de uso general. (10) Tradicionalmente se ha empleado como agente blanqueador de fibras textiles; sin embargo, en las últimas décadas el hipoclorito de calcio se ha reemplazado por peróxido de hidrógeno, debido a que el primero es muy corrosivo para el equipo y tiene la desventaja de que la tela necesita un tratamiento posterior para evitar problemas en la etapa de teñido.

G) Producción de hipoclorito de calcio

A continuación se describen dos de los métodos más utilizados a nivel mundial para la fabricación de hipoclorito de calcio.

1. El método de MacMullin y Taylor

Este método fue patentado en 1930 y se basa en la producción de una sal intermediaria, denominada "sal triple". Esta sal tiene la fórmula molecular

$\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot \text{NaOCl} \cdot \text{NaCl} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$. Su estructura cristalina es hexagonal. La "sal triple" se obtiene por medio de la cloración de una mezcla de soda cáustica, cal hidratada y agua en una proporción aproximada de 1:1:4.5 a una temperatura menor de 16°C. La solubilidad de este compuesto disminuye a medida que disminuye la temperatura, por lo tanto, el rendimiento de cristales aumenta si la mezcla se enfría por debajo de 10°C, preferiblemente cerca de 0°C. Los cristales se separan por medio de centrifugación o filtroprensado. Luego se procede a secarlos; se debe mantener la temperatura baja, ya que la "sal triple" se descompone en sus sales constituyentes cuando la temperatura está por encima de 22°C. El licor madre se descarta.

La segunda parte del proceso consiste en clorar una solución de hidróxido de calcio al 25.8% en peso con una cantidad de gas cloro igual al peso de la cal a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) y luego enfriar hasta una temperatura alrededor de 10°C. Esta lechada de cal clorada contiene cloruro de calcio.

La siguiente etapa consiste en mezclar mecánicamente los dos productos intermedios descritos anteriormente; la temperatura debe mantenerse por debajo de 10°C para evitar la descomposición de la "sal triple". Cuando se ha logrado una incorporación completa de los cristales, se eleva la temperatura a 16°C. A esta temperatura se libera el hipoclorito de sodio de la "sal triple" y reacciona con el cloruro de calcio de la lechada de cal clorada según la reacción:



La relación de los productos intermedios debe ser tal que el hipoclorito de sodio sea químicamente equivalente al cloruro de calcio. A medida que avanza la reacción, la mezcla se va endureciendo y se va formando una masa de cristales entrelazados de hipoclorito de calcio dihidratado. Esta masa se seca al vacío para obtener el producto final.

El producto final contiene entre 65% y 70% de hipoclorito de calcio; el resto es principalmente cloruro de sodio.

2. El método de Loehr, Crawford, Carbaugh y Welch

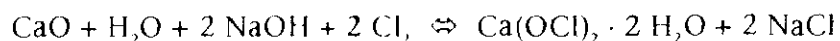
Este método fue patentado en 1983. Es un proceso continuo que incluye la dilución de una mezcla de hidróxido de sodio, cal y licor madre reciclado con una solución saturada de iones de calcio y cloruro de sodio; esta mezcla se clorina en presencia de una cama de semillas de cloruro de sodio e hipoclorito de calcio a temperatura ambiente. El resultado es una suspensión de cristales de cloruro de sodio e hipoclorito de calcio, los cuales son fácilmente separados debido a su diferencia de tamaño.

Se alimenta una solución de soda cáustica entre 50% y 65% en peso en un tanque y se mezcla con licor madre reciclado, el cual está saturado de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio. La cantidad de hidróxido de sodio debe ser suficiente, y preferiblemente en exceso, para reaccionar estequiométricamente con los iones calcio contenidos en el licor madre, según la ecuación:



La relación entre el licor madre y el hidróxido de sodio anhidro debe mantenerse entre 8:1 y 10.5:1, dependiendo de la concentración de hipoclorito. Se ha determinado que si el porcentaje de soda cáustica es mayor de 57%, ocurre alguna precipitación de cristales de cloruro de sodio en el tanque de mezcla. Este tanque debe tener agitación mecánica para asegurar que la mezcla de las soluciones sea completa y rápida. Como se puede ver de la reacción, la formación de hidróxido de calcio da como resultado una solución de cal (lechada).

La lechada que se forma en el primer tanque se alimenta a un segundo tanque donde además se adiciona cal. El hidróxido de sodio que se utilizó en la primera etapa debe ser estequiométricamente equivalente a la cantidad de cal que se adiciona, en base al contenido de óxido de calcio presente en la misma:



De preferencia, se debe utilizar una relación un poco menor de 2:1, para evitar la formación de hipoclorito de sodio. La relación molar entre el hidróxido de sodio y

el óxido de calcio deber estar entre 1.8:1 y 1.9:1. Este tanque también debe tener agitación mecánica para obtener una lechada de cal homogénea y libre de grumos.

La lechada del tanque dos se hace fluir hacia otro tanque, que se denomina nucleador de sal, donde se mezcla con una solución saturada de iones calcio y cloruro de sodio; ésta se puede obtener de la línea de recirculación que conduce al tanque uno, del clorador o del filtrado de la corriente inferior del clasificador. La relación en peso entre la solución saturada y la lechada de cal varía entre 3:1 y 10:1. La mezcla de estos dos componentes, que se realiza por medio de un agitador mecánico, resulta en una solución sobresaturada de cloruro de sodio a la temperatura de operación (la cual varía entre 20°C y 30°C); por lo tanto, ocurre una precipitación de cristales de esta sal. El tiempo de residencia de la mezcla en tanque varía entre 2 y 12 minutos.

La solución anterior se alimenta al clorador, donde se mezcla con gas cloro. La cantidad de gas cloro debe ser suficiente para reaccionar entre el 96% y el 99% del contenido alcalino (en forma de hidróxido de calcio) de la solución. El clorador es un tanque cilíndrico con un volumen entre 10 y 200 veces mayor que el nucleador de sal y un tiempo de residencia entre 5 y 15 horas. El clorador debe tener una agitación moderada tal que no rompa los cristales de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio que se forman, pero que permita una buena dispersión del cloro en la solución saturada. Además, la temperatura debe mantenerse por debajo de 30°C (preferiblemente entre 15°C y 20°C) para evitar la descomposición del hipoclorito de calcio; esto se logra por medio de un intercambiador de calor. Los cristales de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio dentro del clorador sirven como semillas para la formación adicional de producto y subproducto. El tamaño de los cristales de cloruro de sodio varía entre 280 y 420 micrones, mientras que los cristales de hipoclorito de calcio van de 50 a 120 micrones.

La corriente que se remueve del clorador pasa a una zona de clasificación, donde se aprovecha la diferencia de tamaño de partícula mencionada anteriormente para separar los dos productos de interés. Esta corriente equivale a: entre 10% y 20% del volumen total del clorador por hora de operación continua. Se puede

utilizar un sedimentador de flujo ascendente, o dos conectados en serie; también existen otros mecanismos de separación mecánicos, no mecánicos e hidráulicos.

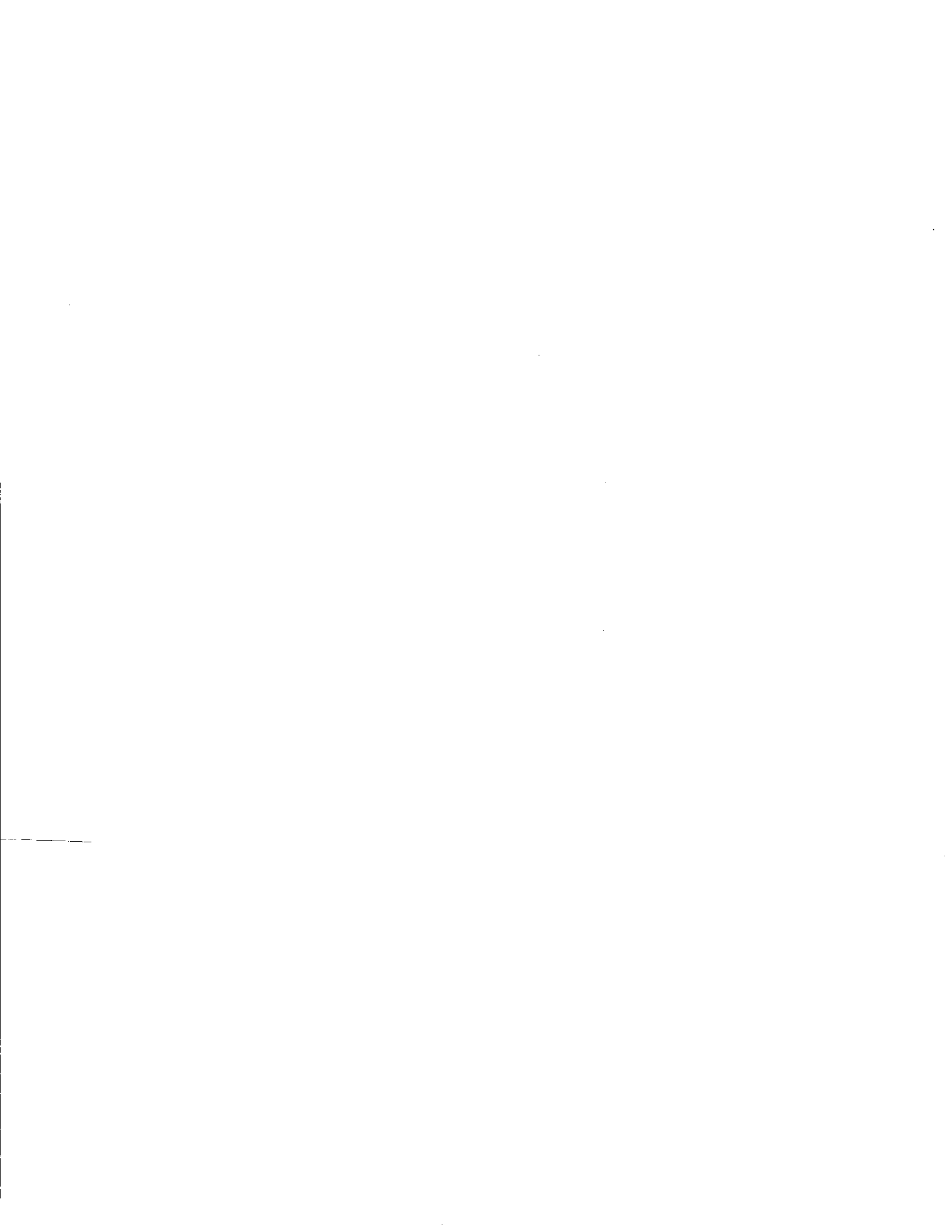
De la parte superior del clasificador se obtiene una corriente compuesta principalmente de cristales de hipoclorito de calcio y licor madre. Estos cristales se separan por filtración, centrifugación u otro medio. La composición de esta masa húmeda es: hipoclorito de calcio (45% a 55%), cloruro de sodio (8% a 12%) y agua (30% a 40%). Los cristales húmedos se secan con aire seco caliente de 165°C a 175°C; el producto debe permanecer a una temperatura inferior de 49°C. Se debe tratar de eliminar la mayor cantidad de licor madre posible en la filtración, ya que la concentración de cloruro de sodio en el licor madre es aproximadamente el doble que la concentración de hipoclorito de calcio; por lo tanto, si los cristales están muy húmedos, aumenta el contenido de cloruro de sodio, disminuye el contenido de hipoclorito de calcio y aumentan los costos de operación para eliminar el exceso de humedad.

De la parte inferior del clasificador se obtiene una corriente rica en cristales de cloruro de sodio que se separan por medio de filtración o centrifugación y luego se secan. Las soluciones de licor madre que se recuperan del filtro y de la centrífuga se recirculan al proceso.

III. JUSTIFICACION

Para la realización del proyecto se cuenta con el apoyo de la empresa Sales, Acidos y Solventes, S.A. Esta cuenta con infraestructura existente, por lo que la inversión necesaria para realizar el proyecto es más baja. Además, la empresa colaboradora es un distribuidor importante de gas cloro, hipoclorito de calcio importado y de soda cáustica; por lo tanto el abastecimiento de las materias primas no presenta ningún problema.

Se tiene la oportunidad de introducir a la industria local un proceso nuevo, ya que actualmente el hipoclorito de calcio no se produce en Guatemala. El producto obtenido localmente puede disputar el mercado con el producto importado; logrando de esta forma una importante sustitución de las importaciones.



IV. OBJETIVOS

A) General

Presentar el diseño para montar una línea de producción de hipoclorito de calcio granulado.

B) Específicos

1. Comparar las tecnologías existentes y determinar la mejor alternativa según la capacidad de la empresa.

2. Dimensionar adecuadamente el equipo principal necesario para el proceso.

3. Presentar la distribución de la maquinaria y equipo necesario para el proceso, que sirva de base para el montaje de la línea.

4. Determinar la cantidad de insumos necesarios para la producción de hipoclorito de calcio, según la capacidad de la línea.

5. Hacer una estimación del costo del producto en base a los insumos necesarios para su elaboración.

6. Presentar un análisis financiero del proyecto, que incluye la estimación de la inversión aproximada necesaria para realizar el proyecto y la rentabilidad, basándose en el punto de equilibrio del mismo.



V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente, en Guatemala no existe ninguna empresa que fabrique hipoclorito de calcio granulado; por lo tanto, el 100% de este importante compuesto químico es importado. Este trabajo presenta los lineamientos básicos necesarios para instalar una línea de producción de hipoclorito de calcio y de esta manera lograr que un producto fabricado localmente compita con el producto importado en el mercado de la región.

VI. METODOLOGIA

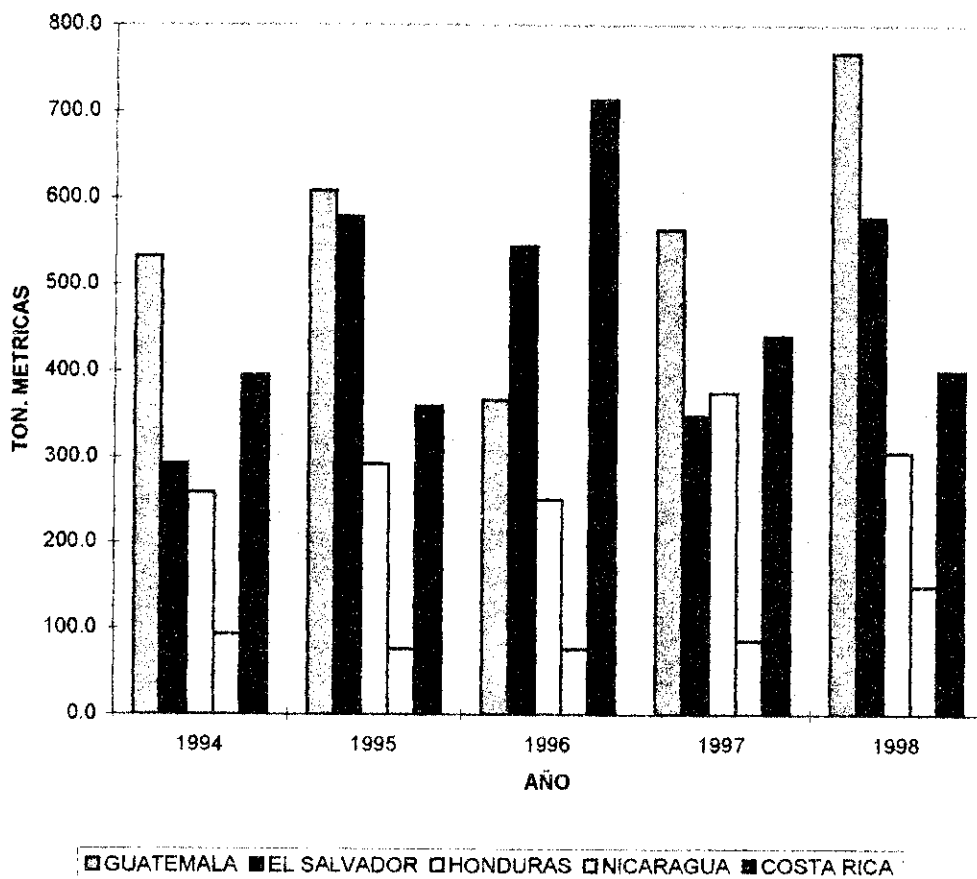
1. Se debe hacer un pequeño estudio de mercado del hipoclorito de calcio, para determinar su situación en el mercado guatemalteco y centroamericano.
2. Se investigarán los principales procesos industriales que se emplean para la producción de hipoclorito de calcio. De aquí se determinará el que mejor se adapte a las condiciones locales y se acomode a los recursos disponibles.
3. Se hará una descripción más detallada del proceso; ésta incluirá un diagrama del proceso y descripción del equipo a utilizar, así como sus dimensiones. También se presentará un balance general de materia para poder calcular el consumo de materias primas según la capacidad de la línea.
4. Se incluirá un pequeño análisis financiero del proyecto. Aquí se determinará el costo del producto, la inversión necesaria para el proyecto y la rentabilidad del mismo.

VII. RESULTADOS

Este capítulo se divide en tres partes. En la primera se presentan los aspectos de mercado más importantes. Seguidamente aparecen los parámetros de diseño de los principales equipos del proceso; éstos se obtuvieron a partir de datos experimentales y de tablas y gráficas encontradas en la bibliografía. La última parte consiste en los resultados del análisis financiero del proceso.

A) Aspectos de mercado

Figura 7.1
Consumo aparente de hipoclorito de calcio por país



Fuente: SIECA, anexo A, pág. 49

B) Parámetros de diseño

Tabla 7.1
Corrientes de materia prima y producto terminado

CORRIENTE	COMPUESTO	FLUJO MASICO kg/min
1*	NaOH	5.7
2	Ca(OH) ₂	5.9
3	Cl ₂	10.2
4**	Ca(OCl) ₂	11.8
5**	NaCl	7.7

* adicionalmente deben agregarse 4.5 kg/min de agua

** también se retiran 5.9 kg/min de agua entre ambas corrientes de producto

Anexo B, pág. 51

Tabla 7.2
Flujo másico de las principales corrientes del proceso

CORRIENTE	FLUJO MASICO kg/min	CORRIENTE	FLUJO MASICO kg/min
A	59.2	H	139.2
B	69.4	I	36.6
C	75.3	J	26.0
D	470.0	K	124.4
E	394.7	L	46.4
F	85.5	M	43.9
G	36.6		

Anexo B, pág. 51

Tabla 7.3
Dimensiones de los tanques de mezcla

TANQUE	FLUJO MASICO kg/min	TIEMPO DE RES. min	VOLUMEN mts. ³	ALTURA mts.	DIAMETRO mts.
1	69.4	22	1.53	1.25	1.25
2	75.3	20	1.51	1.24	1.24
3	470.0	12	5.64	1.93	1.93
CLORADOR	480.2	480	230.50	6.65	6.65

Anexo B, pág. 52

Tabla 7.4
Area de transferencia de calor

FLUIDO NO ISOTERMICO			FLUIDO ISOTERMICO	
w, kg/min	$(K_2-1)/K_2$	A, m ²	$\ln (T_1-t_1)/(T_2-t_1)$	A, m ²
487.3	0.99995	238.634	1.25276	23.935
500	0.97455	90.166		
600	0.81213	49.278		
900	0.54142	34.466		
1200	0.40606	30.709		
1500	0.32485	28.944		
1800	0.27071	27.912		
100000	0.00487	23.994		

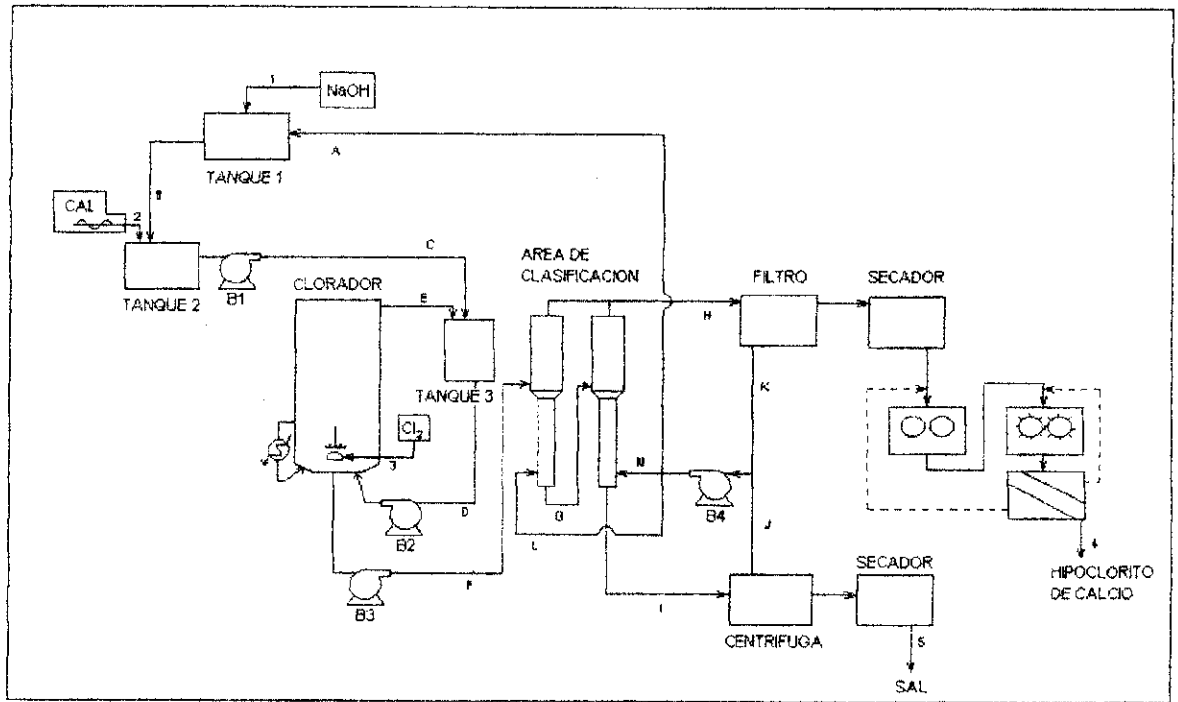
Anexo B, pág. 52

Tabla 7.5
Dimensiones de los clasificadores

CLASIFICADOR	VOLUMEN m ³	L/D	DIAMETRO mts.	ALTURA mts.
1 (sup.)	1.17	8	0.57	4.6
1 (inf.)	0.13	24	0.19	4.6
2 (sup.)	0.51	12	0.38	4.5
2 (inf.)	0.07	32	0.14	4.5

Anexo B, pág. 53

Figura 7.2
Diagrama de flujo del proceso



C) Análisis financiero

Tabla 7.6
Flujo de caja

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS						
venta de cal hypo		10,800,000.00	12,672,000.00	14,810,400.00	17,249,760.00	20,028,888.00
venta de sal		840,000.00	990,000.00	1,161,600.00	1,357,620.00	1,581,228.00
TOTAL INGRESOS	0.00	11,640,000.00	13,662,000.00	15,972,000.00	18,607,380.00	21,610,116.00
GASTOS						
MATERIA PRIMA						
soda cáustica		3,480,000.00	4,083,200.00	4,772,240.00	5,558,256.00	6,453,752.80
cal		675,000.00	792,000.00	925,650.00	1,078,110.00	1,251,805.50
cloro		3,120,000.00	3,660,800.00	4,278,560.00	4,983,264.00	5,786,123.20
MANO DE OBRA						
salarios		100,800.00	110,880.00	121,968.00	134,164.80	147,581.28
prestaciones laborales		41,479.20	45,627.12	50,189.83	55,208.82	60,729.70
ADMINISTRATIVO						
salarios		120,000.00	132,000.00	145,200.00	159,720.00	175,692.00
prestaciones laborales		49,380.00	54,318.00	59,749.80	65,724.78	72,297.26
OTROS						
energía eléctrica		25,208.83	27,729.72	30,502.69	33,552.96	36,908.25
mantenimiento		200,000.00	220,000.00	242,000.00	266,200.00	292,820.00
suministros		24,000.00	26,400.00	29,040.00	31,944.00	35,138.40
seguros		100,000.00	110,000.00	121,000.00	133,100.00	146,410.00
combustibles		48,000.00	52,800.00	58,080.00	63,888.00	70,276.80
material de empaque		20,000.00	22,000.00	24,200.00	26,620.00	29,282.00
amortización de préstamo		1,717,406.24	1,717,406.24	1,717,406.24	1,717,406.24	1,717,406.24
INVERSION						
equipo principal	3,000,000.00					
instalación	300,000.00					
equipo auxiliar	600,000.00					
obra civil	900,000.00					
capital de trabajo	1,200,000.00					
TOTAL GASTOS	6,000,000.00	9,721,274.27	11,055,161.08	12,575,786.56	14,307,159.59	16,276,223.43
FLUJO DE CAJA	(6,000,000.00)	1,918,725.73	2,606,838.92	3,396,213.44	4,300,220.41	5,333,892.57

Tabla 7.7
Parámetros de rentabilidad

PARAMETRO	VALOR
VALOR PRESENTE NETO	6,699,369.91
TASA INTERNA DE RETORNO	40.40%
TASA NETA DE RETORNO	22.33%
RECUPERACION DE CAPITAL (años)	2.8

Tabla 7.6, pág. 20

Tabla 7.8
Puntos de equilibrio por año de operación

AÑO	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE UNITARIO	PRECIO UNITARIO	PUNTO DE EQUILIBRIO
1	1,606,274.27	6,466.67	9,600.00	512.6
2	1,529,161.08	7,113.33	10,560.00	443.7
3	1,437,736.56	7,824.67	11,616.00	379.2
4	1,329,909.59	8,607.13	12,777.60	318.9
5	1,203,313.93	9,467.85	14,055.36	262.3

Tabla 7.6, pág. 20

Figura 7.3

Punto de equilibrio para el año 1

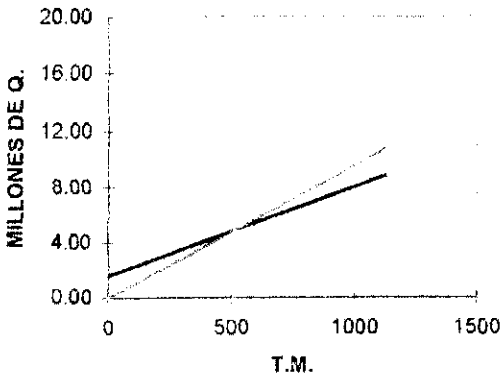


Figura 7.4

Punto de equilibrio para el año 2

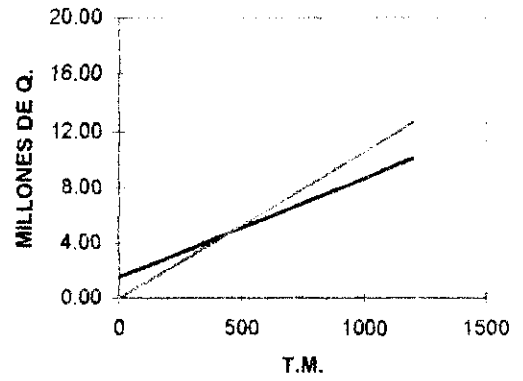


Figura 7.5

Punto de equilibrio para el año 3

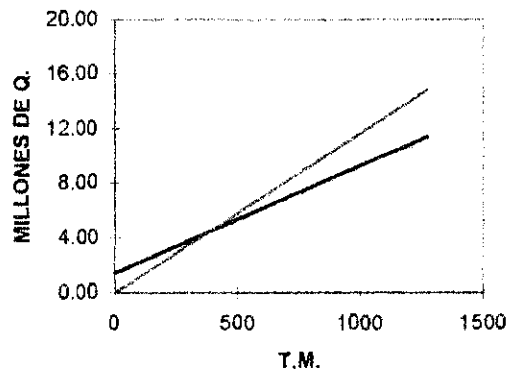


Figura 7.6

Punto de equilibrio para el año 4

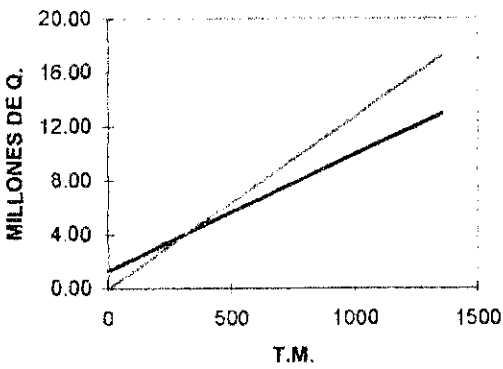
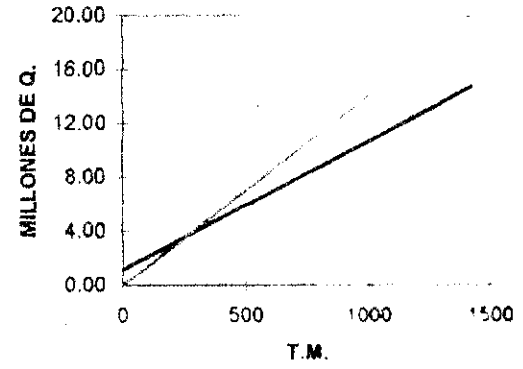


Figura 7.7

Punto de equilibrio para el año 5





VIII. DISCUSION

A) Aspectos de mercado

Las tablas del Anexo A son un resumen de las estadísticas de comercio de Centro América recopiladas por la SIECA. Estos datos de importación y exportación corresponden a la partida 2828.10.00 del hipoclorito de calcio para los años 1994 a 1998 para cada país de la región centroamericana.

Guatemala es el mayor consumidor de hipoclorito de calcio, seguido muy de cerca por El Salvador y Costa Rica. Honduras ocupa el cuarto lugar y Nicaragua reporta el comercio más bajo de este producto. Como se puede ver en la Figura 1, no existe ninguna tendencia clara en el consumo del hipoclorito; sin embargo, se nota que a partir de 1995 hubo un aumento significativo en las importaciones para toda la región. También se puede observar que durante el año 1997 hubo una pequeña recesión. Costa Rica no reportó comercio durante 1998, por lo que el valor que aparece en la Figura 7.1 es estimado; pero en general se puede decir que en 1998 hubo una recuperación, e incluso aumento, de los niveles de consumo de hipoclorito de calcio para toda la región, comparado con los años anteriores.

En Guatemala existen varias empresas que comercializan hipoclorito de calcio importado, principalmente de Estados Unidos, Hong Kong, Japón, Alemania e Italia.

B) Selección de tecnología

Anteriormente se describieron dos de los métodos más utilizados para la producción de hipoclorito de calcio, ahora se deben analizar las ventajas y desventajas de cada uno para poder seleccionar el más apropiado y que se adapte con mayor facilidad a las condiciones locales existentes. Es importante hacer notar que ambos procesos pueden ser modificados levemente y que las descripciones son

solamente alternativas; en otras palabras, los procesos no se limitan exclusivamente a las opciones presentadas y se pueden obtener resultados similares utilizando dos opciones diferentes, siempre que se conserven los fundamentos principales y la secuencia básica del proceso.

El método de MacMullin y Taylor es más simple y requiere menos equipo. Otra ventaja es que no se obtiene ningún subproducto. Por otro lado, presenta dos grandes desventajas. La primera es que la temperatura de operación es muy baja, por lo que para mantenerla se requiere de algún sistema externo de refrigeración o un intercambiador de calor que utilice refrigerante. La segunda desventaja es que el líquido que se separa del producto final no se recircula y debe descartarse; sin embargo, debido a la naturaleza de los componentes presentes en el mismo, este líquido debe ser tratado antes de ser descartado al medio ambiente para minimizar el daño ecológico al suelo y mantos acuosos.

El método de Loehr et al es más flexible ya que permite más modificaciones. Además, la temperatura de operación se puede mantener con mayor facilidad por medio de enfriamiento con agua. Adicionalmente tiene la ventaja que sólo comprende una etapa de cloración. La principal desventaja de este método es que debido a la gran tasa de recirculación, el tamaño de los tanques debe ser relativamente grande y se requieren varias bombas para el transporte de las soluciones.

Al comparar las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos, se ha decidido seleccionar el segundo, el método de Loehr et al. Se estima que a largo plazo, los costos de operación más bajos compensarán la inversión inicial elevada.

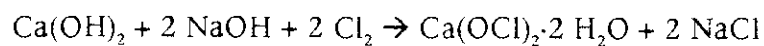
C) Capacidad de la línea de producción

El estudio de mercado revela que el consumo de hipoclorito de calcio es de aproximadamente 2,000 toneladas métricas anuales para la región centroamericana.

Para el diseño de la línea de producción se ha optado por un tamaño nominal de 1,500 toneladas métricas por año, que representa 75% del mercado total. Esta decisión se basa en el pronóstico que a mediano plazo (de 5 a 10 años) se logrará ese porcentaje de sustitución de las importaciones de hipoclorito de calcio por el producto local.

Si se asume un año de 48 semanas (dejando las cuatro restantes para mantenimiento del equipo y vacaciones del personal) y una semana laboral de 44 horas, entonces la capacidad nominal equivale a 710.2 kg de hipoclorito de calcio por hora, o sea 11.8 kg/min.

En base a experimentos llevados a cabo por Loehr et al. (1983) y realizando un balance molar de reactivos y productos para la reacción global:



con una eficiencia de 92%, se calculó la cantidad de materia prima (reactivos) necesaria para obtener la cantidad de hipoclorito de calcio arriba mencionada. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 7.1. Este balance no incluye el agua, la cual debe ser agregada para compensar las pérdidas por evaporación y el agua que se retira como humedad de los productos. El agua puede ser introducida de varias formas al proceso; se puede agregar junto con la soda cáustica en el tanque 1, junto con la cal en el tanque 2 o se puede hacer una solución previa de NaOH (la solución resultante tiene una concentración de 56% en peso). También se puede agregar en dos o más porciones, según los requerimientos de cada etapa individual o para nivelar el contenido de sólidos en las corrientes. Otra opción es utilizar soda cáustica líquida, que se vende comercialmente al 48%-50%. Se puede agregar 9 kg de esta solución y 1.2 kg/min de soda en escamas para completar la cantidad de hidróxido de sodio requerida.

D) Diagrama de flujo

Tomando como base el proceso propuesto por Loehr et al se propone una línea para la fabricación de hipoclorito de calcio que opera de forma continua y con

una gran cantidad de recirculaciones. En general, el proceso se puede dividir en cuatro etapas. La primera consiste en mezclar las materias primas con el licor madre recirculado. La segunda es la reacción para obtener hipoclorito de calcio y cloruro de sodio; aquí deben controlarse cuidadosamente las condiciones de reacción, especialmente temperatura, agitación y tiempo de residencia en el reactor, para lograr la formación de cristales de tamaño adecuado. La tercera etapa consiste en la clasificación o separación de los cristales de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio. Por último, la recuperación del producto y subproducto para su respectivo tratamiento posterior y la recirculación del licor madre.

La Figura 7.2 es un diagrama básico del proceso donde se pueden apreciar claramente las cuatro etapas. En el diagrama se incluyen las bombas mecánicas, pero no aparecen los demás equipos auxiliares (tales como válvulas, reguladores de flujo y motores para los agitadores); sin embargo, los mismos se discutirán en detalle más adelante. Se harán algunos comentarios básicos respecto del tratamiento posterior a la recuperación del producto y subproducto, debido a que un análisis completo y profundo de este tema queda fuera del alcance de este trabajo. Todas las corrientes están identificadas alfabéticamente y el flujo másico de cada una se presenta en la Tabla 7.2.

E) Tanques de mezcla

Los tanques de mezcla se utilizan para incorporar la materia prima al licor madre recirculado. Estos tanques deben ser construidos de un material que sea resistente a las severas condiciones de corrosión debido al contacto directo de la solución que contiene iones cloruro, hidróxido e hipoclorito, entre otros. Entre los materiales que se pueden recomendar están el acero inoxidable 304, titanio, teflón, polietileno, polipropileno y resinas epóxicas. Debido a una combinación de razones de costo y resistencia mecánica, la fibra de vidrio recubierta de una resina epóxica resulta ser una opción muy buena.

La capacidad del tanque depende de dos factores: flujo másico que recibe y tiempo de residencia. Este último debe ser suficientemente grande para permitir una buena mezcla y obtener una solución homogénea. En los tanques 1 y 2 se contempla un tiempo de residencia entre 15 y 25 minutos, el cual es necesario para homogeneizar la suspensión de hidróxido de calcio (lechada de cal) que se forma. El tiempo de residencia en el tanque 3 es menor; como ya se explicó anteriormente, en este tanque ocurre una precipitación de cristales de cloruro de sodio. Por el contrario, el tiempo de residencia en el clorador es 40 veces mayor que en el tanque 3 para permitir que se lleve a cabo la reacción completamente. En la Tabla 7.3 se resumen las dimensiones de los tanques de mezcla. Los datos contenidos en esta tabla se obtienen de cálculos sencillos donde el peso específico de la solución de licor madre es 1.2. Además, el volumen del tanque es 20% mayor que el volumen de líquido que contiene, esto cumple un doble propósito: primero, es un factor de seguridad; segundo, permite aumentar la capacidad de la línea en un futuro. Se puede demostrar por medio de cálculo diferencial que para un cilindro de altura H y diámetro D con una plancha circular en fondo, las medidas que proporcionan el área superficial más pequeña (o sea la menor cantidad de material para su construcción) son $H = \sqrt[3]{V/\pi}$ y $D = 2H$. Sin embargo, para obtener una buena agitación, la altura del líquido debe ser similar al diámetro del tanque ($D = H$). Por lo tanto, las dimensiones que aparecen en la Tabla 7.3 representan la segunda opción. Por supuesto que los tanques se pueden construir con otras medidas, si las circunstancias así lo requieren.

Los tanques deben tener agitación para obtener una buena mezcla de los componentes y además para evitar que las partículas suspendidas se asienten. Para los tanques pequeños se recomienda la instalación de un agitador tipo hélice montado en una posición angular y excéntrica; mientras que para los tanques de mayor tamaño se recomienda el uso de una turbina de cuatro o seis aspas. La potencia necesaria para el funcionamiento de los agitadores se puede estimar por medio de correlaciones entre el número de potencia y el número de Reynolds. (7) En la Tabla 12.1 se resumen los datos más importantes para el diseño de los agitadores. Los datos de densidad y viscosidad fueron tomados de tablas (7) y son

valores promedio para soluciones salinas en el intervalo de temperatura de operación. Se ha optado por un agitador con un diámetro igual al 7.5% del diámetro del tanque para lograr una agitación completa de las soluciones. Se debe tener en cuenta que la potencia requerida aumenta cuando aumenta el diámetro del agitador (D_a). Otro factor importante es la velocidad de agitación (N), cuyos valores son típicos de operación. (7) Se puede notar que para cada agitador se presentan dos valores diferentes correspondientes al número de potencia ($N_p = g_c P / \rho N^3 D_a^5$); estas diferencias dependen del diseño específico del agitador por lo que los resultados no deben tomarse como valores máximos y mínimos. Con base en los datos reportados en la Tabla 12.1 y tomando como referencia el tipo de agitador que más potencia consume, se recomienda la instalación de un motor pequeño, 1/10 hp o 1/5 hp, en los tanques de mezcla 1 y 2; en el tanque 3 un motor de 3/4 hp y en el clorador un motor de 8 ó 10 hp.

F) Intercambiador de calor

Como se mencionó anteriormente, en los tanques de mezcla no se controla la temperatura de la solución. Por lo tanto, la misma puede variar libremente, aumenta debido al calor de disolución de las materias primas y disminuye como consecuencia de la mezcla con licor madre frío. Sin embargo, en el clorador es muy importante que la temperatura no exceda de 30°C para evitar la degradación del hipoclorito de calcio. Esto se consigue por medio de la instalación de un intercambiador de calor; el cual puede ser interno o externo. Las ecuaciones para el diseño preliminar dependen del tipo de intercambiador que se utilice. Se deben hacer las siguientes suposiciones: las pérdidas de calor son despreciables, las capacidades caloríficas y el coeficiente de transferencia de calor permanecen constantes en el intervalo de temperatura, no hay cambio parcial de fase, los flujos másicos son constantes, la agitación produce un perfil de temperatura uniforme para toda la solución. (7) En la Tabla 12.2 se presentan los datos necesarios para el cálculo del área de transferencia de calor del intercambiador.

El primer paso consiste en estimar la temperatura de entrada de la solución al

clorador. Se ha establecido que la temperatura de salida hacia los clasificadores es 18°C; ésta es la misma temperatura del licor madre que se recircula al tanque 1. El aumento de temperatura se puede calcular por medio de la ecuación $q = mc_p\Delta T$ y el calor de disolución de la materia prima que se agrega en cada tanque de mezcla. En la Tabla 12.3 se presentan los resultados obtenidos de los cálculos descritos anteriormente.

Por lo tanto, la temperatura final de la lechada de cal que se introduce al tanque 3 es 49.1°C. Cuando esta lechada se mezcla con la solución proveniente del clorador se enfría. La temperatura de la mezcla se obtiene de un promedio ponderado de las temperaturas de ambas corrientes, así:

$$T_1 = \frac{(75.3 \text{ kg/min} * 49.1^\circ\text{C}) + (394.7 \text{ kg/min} * 18^\circ\text{C})}{(75.3 + 394.7) \text{ kg/min}} = 23^\circ\text{C}$$

La temperatura de la solución que entra al clorador es 23°C.

Entonces, la condición principal del diseño del intercambiador de calor es que logre un enfriamiento de la solución dentro del clorador de 23°C a 18°C. Como ya se mencionó anteriormente, el intercambiador puede ser interno o externo. Entre los intercambiadores de calor externos se encuentran los de concha y tubos, de un paso o de paso múltiple; también se pueden mencionar los de tubos concéntricos de flujo en contracorriente. Las ecuaciones para el diseño de los tipos anteriores son bastante complicadas y requieren de cálculos iterativos; además, el área de transferencia de calor depende tanto del flujo del fluido a enfriar como del fluido refrigerante.

El diseño más simple es un serpentín o un encamisado que se coloca dentro del tanque y por cuyo interior fluye agua para enfriar la solución de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio. En este caso, el área de transferencia de calor depende solamente del flujo de refrigerante (agua fría) y las ecuaciones de diseño son más sencillas. (7) Todas las constantes que se necesitan aparecen en la Tabla 12.2 y los resultados se detallan en la Tabla 7.4. La ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} = \frac{W C_{p \text{ agua}}}{M C_{p \text{ soln.}}} \left(\frac{K_2 - 1}{K_2} \right) \theta$$

$$K_2 = e^{UA/wcP}$$

En la Tabla 7.4 se pueden notar varios puntos fundamentales del diseño del intercambiador de calor. El factor $(K_2-1)/K_2$ puede tener un valor máximo de 1; éste es el caso cuando se utiliza la menor cantidad posible de refrigerante, y resulta en la mayor área de transferencia. Por el contrario, cuando el factor $(K_2-1)/K_2$ tiende a 0, el área de transferencia de calor se aproxima a un valor mínimo; sin embargo, el flujo de refrigerante se vuelve muy grande. Cuando el flujo de refrigerante es infinito, se alcanza la condición de fluido isotérmico, que significa que el fluido frío no aumenta su temperatura durante el proceso de intercambio de calor.

Para determinar el tamaño del intercambiador de calor que debe instalarse en el clorador es necesario hacer un pequeño balance entre el costo inicial del intercambiador contra el costo de bombeo del agua durante la operación de la línea. Si se selecciona un intercambiador de calor de mayor tamaño, el costo inicial será mayor, pero se reducen los costos de operación porque el flujo del refrigerante es menor, y viceversa. Como primera opción se recomienda instalar un intercambiador de calor con un área de transferencia entre 50 m² y 90 m²; tal que el flujo de agua fría sea entre 500 y 600 kg/min. Se debe tratar de seleccionar el serpentín de mayor tamaño posible que permita la inversión inicial y realizar algunas pruebas para asegurarse que el tamaño es el adecuado. Se debe tomar en cuenta el volumen que ocupa el serpentín o el encamisado, el cual debe sumarse al volumen calculado anteriormente para el clorador; esto evitará que el líquido desplazado se rebalse.

G) Clasificadores

Después que se ha completado la reacción y se han formado los cristales de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio, la solución se conduce al área de clasificación donde se separan ambos compuestos. El flujo de solución que se retira

del clorador representa el 18% del total del contenido del mismo y contiene 23% de sólidos suspendidos, aproximadamente.

Los clasificadores son dos torres verticales conectadas en serie, donde la solución proveniente del clorador se combina con licor madre recirculado; se obtienen dos corrientes de salida, la corriente superior contiene los cristales de hipoclorito de calcio mientras que la corriente inferior es rica en cristales de cloruro de sodio. Cada torre consta de dos etapas, siendo la etapa superior de mayor diámetro que la inferior.

El factor más importante para el diseño de los clasificadores es la relación entre la altura y el diámetro (L/D), la cual debe mantenerse en el rango entre 2:1 y 15:1 para la parte superior y desde 5:1 hasta 40:1 para la inferior. Con base en experimentos realizados por Chun et al (2) y para el flujo de la corriente F contemplado en la Tabla 7.2 se calculó el tamaño de ambos clasificadores. Las dimensiones de éstos se presentan en la Tabla 7.5.

En este caso se puede notar que la altura de ambas etapas es la misma; sin embargo, la etapa superior suele ser más larga que la etapa inferior. El diseño de los clasificadores también incluye un agitador en la parte superior de cada torre. Estos agitadores constan de tres a seis hélices colocadas a diferente altura y con una velocidad de rotación entre 1 y 20 rpm. La agitación debe ser leve para evitar la destrucción de los cristales de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio. (2)

Como se puede apreciar en la Figura 7.2, en la parte baja de cada etapa inferior se introduce licor madre recirculado que actúa como fluido de arrastre para los cristales de hipoclorito de calcio. 60% del total del licor madre que se recupera se destina para este propósito; el 40% restante se conduce al tanque de mezcla 1. La velocidad de flujo de estas corrientes debe ser tal permita el arrastre de los pequeños cristales de hipoclorito de calcio hacia la parte superior de las torres y al mismo tiempo la sedimentación de los cristales de cloruro de sodio, de mayor tamaño. La velocidad de flujo del fluido de arrastre en este tipo de clasificadores varía entre 0.1 y 0.4 cm/s. (2) Puede ser necesario ajustar los flujos L y M hasta encontrar la

velocidad correcta. Se debe tener en cuenta que mientras más grandes son los cristales (de ambos compuestos) se necesitará una mayor velocidad de flujo para las corrientes de arrastre.

El punto de entrada de las corrientes de arrastre en la torre no es un factor crítico en el diseño. Se pueden introducir a la misma altura o por debajo de la corriente de descarga de la etapa inferior; sin embargo, generalmente se prefiere que el punto de entrada esté entre 0.1 y 3 diámetros de columna por encima del punto de descarga. (2)

H) Equipo de separación mecánica

Después que se han separado las corrientes de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio, es necesario eliminar el licor madre para obtener los cristales de producto y subproducto. Debido a diferencias en su composición, propiedades y tamaño de partícula, la selección del equipo adecuado para cada compuesto se debe analizar por separado.

1. Hipoclorito de calcio

La corriente H contiene 8.5% en peso de cristales de hipoclorito de calcio. El tamaño promedio de los cristales varía entre 50 y 120 micrones. El equipo a utilizar debe ser capaz de retener partículas de este tamaño, por lo que se recomienda trabajar con filtros de malla, ya sea metálica, de tela o plástica. Existen varias opciones de filtros; los principales factores a considerar en la elección del tipo adecuado son material de construcción, facilidad de limpieza y capacidad.

El material de construcción debe ser altamente resistente a la corrosión; como ya se mencionó anteriormente, el acero inoxidable 304, el titanio, el teflón, el polietileno, el polipropileno y las resinas epóxicas son adecuados para trabajar en ambientes ricos en cloro. De los principales tipos de filtros se pueden mencionar el filtro de platos horizontales, el filtro tubular, el filtro de hojas presurizado y el filtro

prensa. Los tres primeros tienen la desventaja que la remoción de la torta es complicada y esto retrasa el proceso.

El filtro prensa se presenta como la mejor opción, ya que es económico y de fácil mantenimiento. La capacidad se puede variar simplemente agregando o retirando marcos. (7) Se recomienda trabajar con dos filtros; de manera que cuando se tapa el primero, se desvía la corriente hacia el segundo mientras se procede a remover la torta de cristales acumulada en el primero. Esta operación se repite si se alternan los filtros unas seis a ocho veces diarias; o sea una vez cada 60 o 90 minutos de operación, lo que significa que la capacidad de cada filtro debe ser entre 700 y 1100 kg de cristales secos (1200 y 1850 kg de torta húmeda, asumiendo una humedad de 40%). El hipoclorito de calcio tiene una densidad de 2350 kg/m^3 (la torta húmeda debe tener una densidad mayor debido al agua, pero se toma este dato como factor de seguridad); entonces, 1850 kg ocupan un volumen de 0.787 m^3 . Para un filtro con marcos de 80 cm por lado y 10 cm de profundidad, se requieren 13 marcos para recolectar toda la torta húmeda que se acumula durante 90 minutos de operación.

2. Cloruro de sodio

La corriente I contiene aproximadamente 21% de cloruro de sodio en forma de cristales; con un tamaño entre 280 y 420 micrones. Debido a su mayor tamaño, estos cristales se recuperan con mayor facilidad de la solución en la que se encuentran suspendidos. Para esta situación se recomienda el uso de una centrífuga. (2,3) La centrífuga puede operar en forma continua y se divide en dos tipos principales, según el método de separación que utilizan: las centrífugas que separan por el método de sedimentación (que incluye las centrífugas tubulares, de disco y de tasa) y las que separan por el método de filtración (centrífugas cónicas y cilíndricas). (7)

Las aplicaciones de la centrífuga de filtración recíprocante cónica o de etapa múltiple incluyen precisamente la separación de cristales mayores de 150 micrones (7), por que éste es el equipo de elección. La centrífuga debe ser de acero inoxidable

o titanio para resistir la corrosión y debe tener una capacidad de 2200 kg/h.

1) Secador

La torta húmeda de hipoclorito de calcio que se retira del filtro prensa debe secarse para eliminar la mayor parte del agua presente en el producto. Además del producto y el agua, la torta húmeda también contiene un poco de sal en una relación de una parte por cada 4 a 4.5 partes de hipoclorito de calcio. Durante el proceso de secado, la cantidad de agua se reduce desde un 40% hasta un contenido final entre 2% y 12%, preferiblemente entre 5% y 10%.

De los diferentes tipos de secadores, se debe seleccionar uno de contacto directo. Los secadores de contacto indirecto (donde se incluyen los secadores de tambor, secadores agitados y secadores al vacío) presentan las siguientes desventajas: los equipos son muy complejos y tienen un costo elevado; además, como la transferencia de calor hacia el compuesto húmedo es por medio de una pared, el hipoclorito de calcio se puede descomponer fácilmente si la temperatura de la misma es muy elevada, por el contrario, si la temperatura se mantiene tan baja como para no descomponer el producto, la tasa de secado sería muy lenta y el proceso tomaría demasiado tiempo en completarse.

El tipo de secador de contacto directo puede ser rotatorio, de bandeja o de túnel; lo importante es que la temperatura del aire de secado se mantenga constante. El aire se calienta hasta una temperatura entre 165°C y 175°C. El tiempo de residencia del producto dentro del horno debe determinarse experimentalmente y se puede modificar por medio de cambios en la tasa de alimentación y descarga, para lograr que la temperatura del hipoclorito de calcio no suba por encima de 49°C y minimizar la descomposición del mismo. El cloruro de sodio es más resistente a las altas temperaturas; sin embargo, se puede utilizar el mismo tipo de secador. Esto simplifica la selección del equipo y reduce un poco los gastos de mantenimiento.

El secador rotatorio es una buena opción, debido a su versatilidad. Además, tiene la ventaja de que ocupa menos área de piso que los otros tipos. El aire se puede calentar de varias formas: por medio de una resistencia eléctrica, por la combustión de hidrocarburos (los gases de combustión no deben entrar en contacto con el aire de secado para evitar la contaminación del producto) o por medio de un intercambiador de calor de superficie ampliada o de placas por donde fluye vapor saturado. Para el rango de temperaturas que se manejan en el proceso, la última es la opción preferible, además de ser la más económica. El flujo del aire caliente debe ser paralelo al flujo de sólidos, no en contracorriente; esto reduce el coeficiente de transferencia de calor, pero evita la descomposición del producto. La capacidad del secador debe ser igual que la del filtro prensa y el material de construcción del mismo debe ser altamente resistente a la corrosión. Para determinar las dimensiones exactas del secador se deben realizar pruebas experimentales con los productos simulando las condiciones de entrada y salida. El costo de este equipo, igual que el de la mayoría del equipo principal, se estima en base a cotizaciones de equipos parecidos y con la ayuda de personas con experiencia en evaluación de proyectos.

J) Equipo auxiliar y de control

Para el transporte de las soluciones involucradas en el proceso se deben instalar bombas en lugares estratégicos, por ejemplo en descarga del tanque de mezcla 2, en la descarga del tanque de mezcla 3, en la descarga del clorador y en la recirculación del licor madre. Las bombas centrífugas son una opción económica y confiable. Por el hecho que las corrientes contienen sólidos suspendidos, se debe modificar el rodete de las mismas; el fabricante puede recomendar el modelo que más se adecue a los requerimientos del proceso. La potencia de los motores necesaria para hacer funcionar las bombas se puede estimar por medio de la siguiente ecuación y de las curvas características de una bomba centrífuga que se encuentran en la literatura. (7)

$$P_{\text{real}} = \frac{HQs}{3960\eta}$$

donde H es la carga dinámica desarrollada por la bomba, pies; Q es la capacidad de la bomba, gal/min; s es la gravedad específica del líquido y η es la eficiencia de la bomba. Los resultados se presentan en la Tabla 12.4 y han sido calculados para una bomba centrífuga que gira a 3450 r/min y tiene un rodete de 5 pulgadas.

La potencia de los motores para las bombas debe redondearse a la unidad inmediata superior según los resultados anteriores. Así, las bombas B1 y B3 deben tener un motor de 1 hp, mientras que las bombas B4 y B2 deben tener un motor de 2 hp y 5 hp, respectivamente.

Los flujos se pueden regular por medio del uso de válvulas y por el diámetro de tubería. Tanto las bombas como las válvulas y tubería deben estar construidas de acero inoxidable para resistir la corrosión.

El proceso requiere de un cuidadoso control de las corrientes así como de la alimentación de materias primas. Para el primero, se deben instalar dos medidores de flujo, uno en la corriente de salida del clorador (corriente F) y otro en la corriente de recirculación del licor madre (corriente A); se pueden instalar medidores adicionales si se desea. Para el segundo, en el mercado existen dosificadores controlados manual o automáticamente. El fabricante puede recomendar el tipo y tamaño del más apropiado según las necesidades descritas anteriormente. Para este proceso, se necesita un alimentador de tornillo para el hidróxido de calcio.

La cal se clasifica como un polvo fino que fluye libremente (con un ángulo de reposo entre 30° y 45°) y no abrasivo; además se compacta bajo presión. Tiene una densidad a granel de 40 lb/ft³. Existen tablas donde se relaciona la potencia necesaria para mover el tornillo en función del tamaño y capacidad del mismo. Para las condiciones del presente proceso, un motor de ½ hp es suficiente para hacer funcionar el alimentador, el cual debe tener un tornillo con un ángulo de inclinación variable, para lograr una alimentación homogénea. (7)

Si en el proceso se va a usar hidróxido de sodio en solución al 50%, se debe diseñar también un tanque de almacenamiento. El material de construcción puede ser acero inoxidable o fibra de vidrio y el tanque debe tener una capacidad de 2,000 galones. La dosificación de materia prima al proceso se lleva a cabo por medio de una válvula de control y un medidor de flujo.

K) Dosificador de cloro

El cloro se transporta y almacena en cilindros de 907 kg, los cuales tienen una tara de aproximadamente 682 kg. De ellos se pueden descargar 181.5 kg/h de cloro líquido a 21°C contra una presión de 2.45 kg/cm². Para el proceso se necesitan 612 kg/h de cloro, por lo que se deben instalar cuatro líneas de descarga simultánea con una tasa de 153 kg/h cada una; o sea que cada cilindro se vacía en un poco menos de seis horas. Además, una quinta línea debe estar lista para entrar a funcionar cuando haya necesidad de cambiar un cilindro vacío. No se recomienda la descarga de varios recipientes a través de una misma línea porque el cloro líquido puede fluir al recipiente de menor presión. (11)

Las líneas que manejan cloro seco (cloro en estado líquido o gaseoso que contiene menos de 150 ppm de agua) son de hierro negro o preferiblemente de acero de ¾" a 2" de diámetro. Para la conexión entre el recipiente y la línea fija se recomienda utilizar tubo de cobre flexible de 3/8". En los puntos de unión se instalan bridas estándares para amoníaco con empaques de asbesto o plomo. Cada línea debe contar con una válvula de cheque y una válvula de paso. La limpieza de la tubería se realiza por medio de la inyección de aire seco, seguido de una solución de soda al 10%, luego agua, luego vapor y por último aire seco; se deben eliminar completamente las partículas de grasa, aceite y otras materias extrañas. (11)

Como ya se mencionó, de los cilindros se extrae cloro líquido, el cual debe pasarse por un vaporizador para obtener cloro gaseoso. El vaporizador es un cilindro vertical de 6 pies de altura y 20" de diámetro soldado a un serpentín de 20

vueltas, el tubo del serpentín tiene un largo total de 5 pies. El tubo y el serpentín están colocados dentro de un cilindro de 24" de diámetro. El material de construcción del vaporizador es acero. El cloro se alimenta por el tubo del serpentín; agua caliente fluye en el espacio entre los dos cilindros y calienta el cloro hasta vaporizarlo. El cloro gaseoso sale por la parte superior del vaporizador a través de una tubería de 2"; en la salida se instala un manómetro para controlar la presión del cloro. (11) El cloro gaseoso se introduce al clorador por debajo del agitador para lograr una buena dispersión del gas y permitir que se complete la reacción; el flujo se controla por medio de la válvula de descarga en la salida del cilindro de almacenamiento.

L) Compactación del producto final

Después que el hipoclorito de calcio sale del secador, está listo para ser empacado. La presentación más común en el mercado es en sacos de 25 kg. Sin embargo, para asegurar que el producto tenga una apariencia homogénea se puede someter a un proceso posterior donde se compacta y se obtienen partículas de tamaño uniforme. Esto se puede lograr por medio de una compactadora, una tableteadora o un extrusor de tornillo. (7)

El uso de una tableteadora o de un extrusor tiene la ventaja que el producto final es muy homogéneo en cuanto a la forma y peso de cada aglomerado. Por otro lado, estos equipos tienen la desventaja que sufren un gran desgaste, principalmente de las partes móviles, debido a la alta corrosividad del hipoclorito de calcio. Otra desventaja consiste en que son equipos grandes y delicados, lo que significa altos costos de mantenimiento y repuestos. (7)

Una compactadora consiste en una prensa de rodillos, lisos o corrugados, seguida de una granuladora que rompe el producto compactado en pedazos más pequeños. Estos pedazos se pasan por una criba que determina el tamaño final de las partículas aglomeradas; las partículas de mayor tamaño se recirculan a la granuladora, mientras que las partículas muy pequeñas se recirculan a la

compactadora. (7) La forma de las partículas aglomeradas no es muy homogénea, pero de todos modos eso no es tan importante para el producto final. A diferencia de la tableteadora y el extrusor, donde el tamaño de la partícula está determinado por el molde que se emplee, en la compactadora-granuladora el tamaño de la partícula depende de la criba; esto permite más flexibilidad en la presentación del producto final. Debido a estas ventajas, la compactadora es probablemente una mejor opción para el tratamiento posterior del hipoclorito de calcio antes de ser empacado.

M) Análisis financiero

El análisis financiero del proyecto incluye una estimación de los ingresos y gastos del proceso para un período de cinco (5) años y el cálculo del punto de equilibrio para cada año de operación. También se incluyen los parámetros indicadores de la rentabilidad del proyecto más importantes, éstos son el valor presente neto, la tasa interna de retorno, la tasa neta de retorno y el tiempo de recuperación del capital.

1. Flujo de caja

En la Tabla 7.6 se presenta el flujo de caja anual para el proyecto. La inversión inicial se detalla en la Tabla 12.6 y está compuesta por el costo del equipo principal, instalación, costo del equipo auxiliar (válvulas, tubería, etc.), costo de la obra civil (estructuras, bodegas, pisos, techos, etc.) y un capital de trabajo. La inversión inicial asciende a Q. 6,000,000.00. Los ingresos se obtienen de la venta del hipoclorito de calcio y la sal. Se asume que la línea opera a 75% de su capacidad nominal durante el primer año y aumenta 5% cada año subsiguiente; o sea 80% para el segundo año, 85% para el tercero, 90% para el cuarto y 95% para el quinto (ver Tabla 12.5). Los costos de materia prima (costos variables) se basan en los consumos de materia prima y precios que se detallan en la Tabla 12.5. Nótese que el gasto por concepto de amortización de préstamo tiene el mismo valor todos los años. Esto se hizo intencionalmente siguiendo el modelo de la Tabla 12.7 para un

préstamo de Q. 6,000,000.00 pagadero a cinco años con una tasa de interés de 22% sobre saldos. También debe mencionarse que los costos fijos tienen un incremento de 10% respecto del año anterior; esto es para simular los efectos de la inflación y aumento del tipo de cambio durante el quinquenio en estudio. En la Tabla 7.6 se puede ver que el flujo de caja es positivo para todos los años posteriores al período de inversión inicial.

2. Parámetros de rentabilidad

En la Tabla 7.7 se resumen los principales parámetros de rentabilidad. El *valor presente neto* se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$VPN = C_0 + \sum_{x=1}^n C_x (1+i)^x$$

donde C_0 es la inversión inicial (con signo negativo), C_x es el flujo de caja para el año x , i es la tasa de interés. Esta tasa de interés se emplea para “descontar” el flujo de caja hasta un punto común en el tiempo. En este caso, se ha escogido una tasa de interés de 10% ($i=0.1$) y $n=5$. Se obtiene un VPN de Q. 6,699,369.91.

La *tasa interna de retorno* es el valor de i que hace que el valor presente neto sea cero (0.00); o sea que la suma de los flujos de caja descontados sea igual a la inversión. En este caso, el valor de la TIR se encontró por prueba y error y resultó ser igual a 40.40%. La *tasa neta de retorno* se calcula por medio de ecuación:

$$TNR = \frac{VPN}{(inversion)(vida\ del\ proyecto)} \times 100$$

Este parámetro se puede interpretar como una tasa de rentabilidad y es más confiable que la TIR. (9) Se obtuvo una TNR de 22.33%. Ambas tasas de retorno están por encima de la tasa de interés de 10%; por lo tanto, el proyecto se presenta bastante atractivo ya que se puede considerar rentable.

El último parámetro de rentabilidad es el *tiempo de retorno de capital*, el cual indica cuanto tiempo tarda el proyecto en recuperar la inversión inicial, basándose en los flujos de caja descontados. Por prueba y error se llegó a un valor de TRC de

2.8 años, o sea aproximadamente 34 meses.

3. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio es una medida de cuántas unidades de producto se deben vender en el año para empezar a reportar ganancias. Los resultados de punto de equilibrio para cada año de operación se resumen en la Tabla 7.8. Los costos fijos y costos variables así como el precio de venta se obtuvieron de las Tablas 7.6 y 12.5. Estos cálculos de punto de equilibrio son para el hipoclorito de calcio únicamente y no se incluyen los ingresos por venta de sal (este valor se resta de los costos fijos para que no interfiera en los resultados). Se puede notar que el punto de equilibrio va disminuyendo para cada año de operación, ya que el primer año se encuentra en 512.6 toneladas métricas, mientras que para el quinto año es de 262.3 toneladas métricas. Las Figuras 7.3 a 7.7 son representaciones gráficas de los resultados de la Tabla 7.8, donde la línea clara corresponde a las ventas anuales mientras que la línea oscura indica los gastos anuales. La intersección de ambas líneas representa el punto de equilibrio.

N) Aspectos ecológicos

Tanto los productos como las materias primas son peligrosas para la salud humana y el medio ambiente. Su manejo debe realizarse con cautela para evitar cualquier accidente que ponga en peligro al personal y/u ocasione daños ecológicos. Afortunadamente, los desechos de la producción de hipoclorito de calcio son pocos. La soda cáustica líquida se transporta en pipas, mientras que el cloro se transporta en cilindros retornables; esto hace que no haya de qué preocuparse por desechar contenedores sucios y contaminados. La cal viene en sacos de papel que se pueden desechar a la basura sin mayor problema. Respecto de los productos, ambos tienen valor comercial y se pueden vender sin problemas. El líquido recirculante puede presentar problemas si se descarta sin tratamiento; pero éste no es más que una solución saturada de hipoclorito de calcio y cloruro de sodio, la cual se puede colectar y utilizar en baja concentración para tratamiento de aguas residuales.

Dentro del proceso hay dos puntos donde debe prestarse especial atención, debido a los posibles daños ecológicos que pueden surgir si no se controlan adecuadamente. El primero es la salida de aire caliente de los secadores. Este aire puede arrastrar gas cloro que no reaccionó y que se desprende de los cristales durante el secado. Para evitar que el cloro sea liberado a la atmósfera se debe hacer pasar la corriente de aire por un lavador de gases o hacerla burbujear por agua. Esto atraparà la gran mayoría de contaminantes y permitirá liberar el aire sin preocupaciones. El segundo punto de interés, desde el punto de vista de protección ambiental, es la etapa de granulación. Durante esta etapa se liberan partículas muy finas de hipoclorito de calcio que pueden representar daños ecológicos o peligro para la salud de las personas que las inhalen. Por tanto, es importante que la granulación y tamizado del producto se lleven a cabo en un cuarto cerrado con extractores de aire y filtros en la descarga de los mismos; esta medida es muy efectiva para atrapar las partículas suspendidas en el aire.

IX. CONCLUSIONES

1. El tamaño de mercado del hipoclorito de calcio es aproximadamente 2,000 toneladas métricas anuales para la región centroamericana, siendo Guatemala el país con mayor consumo, seguido por El Salvador y Costa Rica; Honduras y Nicaragua ocupan las últimas posiciones.
2. El tamaño de la planta productora se estableció en 1,500 toneladas métricas anuales, basándose en un pronóstico de llegar a sustituir el 75% de las importaciones.
3. Con base en las ventajas y desventajas de los dos procesos estudiados, se seleccionó el método de Loehr, Crawford, Carbaugh y Welch. Las ventajas de este método son: la temperatura de operación es mayor y se controla con mayor facilidad; el licor madre se recircula y se obtiene sal como subproducto, la cual también se puede vender.
4. Una buena parte del equipo principal puede ser fabricado localmente en fibra de vidrio, con lo que se reduce la inversión inicial.
5. El proyecto requiere una inversión inicial de Q. 6,000,000.00
6. Los parámetros de rentabilidad indican que el proyecto es atractivo y que generará ganancias.
7. Tanto la tasa neta de retorno como la tasa interna del mismo se encuentran por encima de la tasa de interés bancario.
8. El tiempo de recuperación de capital se estima en 34 meses, aproximadamente.

9. Entre los aspectos ecológicos más importantes que se deben considerar están el lavado de las corrientes de aire de salida de los secadores para atrapar gas cloro sin reaccionar y el tratamiento del aire en el cuarto de granulación y tamizado para atrapar partículas finas de polvo de hipoclorito de calcio.

X. RECOMENDACIONES

1. Debido a la alta toxicidad del producto y de las materias primas, es muy importante proporcionar el equipo adecuado de protección personal a los trabajadores que estarán expuestos a los mismos.
2. El manejo del producto, de las materias primas y de las soluciones intermedias debe realizarse con cautela para evitar cualquier accidente que ponga en peligro la salud del personal y/u ocasione daños al medio ambiente.
3. El material de construcción es un factor sumamente importante para el equipo y las tuberías; éste debe ser altamente resistente a la corrosión. La utilización de materiales más baratos puede resultar en grandes pérdidas en concepto de contaminación del producto y altos costos de mantenimiento.
4. Es conveniente realizar un estudio de mercado más completo para tener bases concretas que permitan la toma de decisiones respecto de los planes de producción y estrategias de ventas.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. Austin, G.T. 1988. Manual de Procesos Químicos en la Industria. 5ª ed. Tomo 1. McGraw Hill Interamericana, México D.F.
2. Chun, D.S. et al. 1984. Method for Separating Particulate Calcium Hypochlorite and Sodium Chloride. U.S. Patent 4,448,759. May. 15, 1984
3. Lenga, R.E. (ed.) 1988. The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safty Data. 2ª ed. Vol. 1. The Sigma-Aldrich Corporation, E.E.U.U.
4. Loehr, C.E. et al. 1983. Process for Producing Calcuim Hypochlorite. U.S. Patent No. 4,390,512. Jun. 28, 1983
5. MacMullin, R.B., M.C. Taylor. 1930. Hypochlorite Composition. U.S. Patent No. 1,787,048. Dec. 30, 1930
6. Murakami, T., K. Igawa y Y. Hiraga. 1982. Stable Calcium Hypochlorite Composition and Method for Manufacture Thereof. U.S. Patent No. 4,355,014. Oct. 19, 1982
7. Perry, R.H., D. Green (eds.) 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6ª ed. McGraw Hill Inc., Nueva York, E.E.U.U.
8. Sconce, J.S. (ed.) 1972. Chlorine. It's Manufacture, Properties and Uses. Robert E Krieger Publishing Company, Huntington, E.E.U.U.
9. Ward, T.J. 1989. Estimate Profitability Using Net Return Rate. Chemical Engineering, March 1989. Pág. 151-155.

10. Windholz, M., Budauri, S. (eds.) 1983. The Merck Index. 10ª ed. Merck & Co., Rahway, E.E.U.U.

11. Manual del cloro. Publicado por Grupo Cydsa, División Química. Sin fecha. 33 pp.

XII. ANEXOS

SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE CENTROAMERICA

COSTA RICA
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE LA PARTIDA 28281000
1994-1998

(Valores en US\$. Volumen en Kilogramos)

DESCRIPCION PARTIDA	1994		1995		1996		1997		1998	
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen
28281000 Hipoclorito de calcio comercial y demas hipocloritos de calcio.	546,051	368,074	616,247	358,973	934,928	715,629	947,659	466,700	---	---
	5,667	3,900	---	---	4,695	2,145	56,674	25,343	---	---
(---) No se registró Comercio (...) Información no disponible FUENTE: SIECA, Dirección General de Informática, de acuerdo a las bases de comercio de cada país.										

EL SALVADOR
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE LA PARTIDA 28281000
1994-1998

(Valores en US\$. Volumen en Kilogramos)

DESCRIPCION PARTIDA	1994		1995		1996		1997		1998	
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen
28281000 Hipoclorito de calcio comercial y demas hipocloritos de calcio.	509,664	368,794	698,628	601,220	1,222,658	544,640	752,144	347,443	1,097,674	588,093
	13,646	76,075	7,495	23,216	---	---	---	---	17,671	10,450
(---) No se registró Comercio (...) Información no disponible FUENTE: SIECA, Dirección General de Informática, de acuerdo a las bases de comercio de cada país. Volumen en Kilogramos										

GUATEMALA
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE LA PARTIDA 28281000
1994-1998

(Valores en US\$. Volumen en Kilogramos)

DESCRIPCION PARTIDA	1994		1995		1996		1997		1998	
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen
28281000 Hipoclorito de calcio comercial y demas hipocloritos de calcio.	704,315	534,643	608,969	613,615	663,617	456,625	693,104	572,200	1,230,676	772,794
	6,122	1,734	14,601	5,710	32,956	90,248	19,710	8,439	10,040	4,593
(---) No se registró Comercio (...) Información no disponible FUENTE: SIECA, Dirección General de Informática, de acuerdo a las bases de comercio de cada país.										

SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE CENTROAMERICA

HONDURAS
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE LA PARTIDA 28281000
1994-1998

(Valores en US\$. Volumen en Kilogramos)

DESCRIPCION PARTIDA	1994		1995		1996		1997		1998	
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen
28281000 Hipoclorito de calcio comercial y demás hipocloritos de calcio.	361,076	250,599	506,393	292,467	502,044	263,794	855,200	375,150	589,653	318,190
	200	430	---	---	33,450	12,700	---	---	5,580	12,000
(---) No se registró Comercio. (..) Información no disponible FUENTE: SIECA, Dirección General de Informática, de acuerdo a las bases de comercio de cada país										

NICARAGUA
ESTADISTICAS DE COMERCIO DE LA PARTIDA 28281000
1994-1998

(Valores en US\$. Volumen en Kilogramos)

DESCRIPCION PARTIDA	1994		1995		1996		1997		1998	
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen
28281000 Hipoclorito de calcio comercial y demás hipocloritos de calcio.	113,160	92,643	150,610	76,109	136,784	76,832	213,022	85,383	324,527	151,007
	---	---	1,161	446	---	---	---	---	10,394	4,500
(---) No se registró Comercio (..) Información no disponible FUENTE: SIECA, Dirección General de Informática, de acuerdo a las bases de comercio de cada país										

B) Datos y Cálculos

1. Corrientes de materia prima y producto terminado

Hipoclorito de calcio:

$$1500 \text{ ton/año} \times \frac{1 \text{ año}}{48 \text{ sem.}} \times \frac{1 \text{ sem.}}{44 \text{ horas}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 11.8 \text{ kg/min}$$

Cloruro de sodio:

$$11.8 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ mol}}{179.03 \text{ kg}} \times \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times \frac{58.44 \text{ kg}}{1 \text{ mol}} = 7.7 \text{ kg/min}$$

Hidróxido de sodio:

$$11.8 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ mol}}{179.03 \text{ kg}} \times \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times \frac{40.00 \text{ kg}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1}{0.92} = 5.7 \text{ kg/min}$$

Hidróxido de calcio:

$$11.8 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ mol}}{179.03 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times \frac{74.10 \text{ kg}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1}{0.83} = 5.9 \text{ kg/min}$$

Cloro:

$$11.8 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ mol}}{179.03 \text{ kg}} \times \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times \frac{70.90 \text{ kg}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1}{0.92} = 10.2 \text{ kg/min}$$

2. Corrientes intermedias

$$\text{corriente en kg/min} = \text{corriente en gpm} \times 328.9$$

3. Agitadores

Tabla 12.1
Parámetros de diseño de los agitadores

TANQUE	D_a	N	N_{Re}			
1 y 2	0.12	350	4.69E+04	$\rho = 1.20E+03 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 2.15E-03 \text{ kg/m s}$		
3	0.18	420	1.27E+05			
CLORADOR	0.63	120	4.43E+05			
AGITADOR	HELICE (TANQUES 1 Y 2)		TURBINA (TANQUE 3)		TURBINA (CLORADOR)	
N_p	0.35	0.90	2.70	5.20	2.70	5.20
P, W	2.1	5.3	210.0	404.4	2572.4	4954.2
P, hp	0.00	0.01	0.28	0.54	3.45	6.64

4. Dimensiones de los tanques

$$V = 22 \text{ min} \times \frac{69.4 \text{ kg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1200 \text{ kg}} \times 1.2 = 1.53 \text{ m}^3$$

$$H = D \Rightarrow V = \pi D^3 / 4 \Rightarrow D = \sqrt[3]{4V / \pi} = \sqrt[3]{1.944 \text{ m}^3} = 1.25 \text{ m}$$

5. Intercambiador de calor

Tabla 12.2
Constantes importantes

DESCRIPCION	SIMBOLO	VALOR
calor de solución NaOH	$\Delta H_S \text{ NaOH}$	$10.23 \times 10^3 \text{ cal/mol}$
peso molecular NaOH	P.M. NaOH	40.00 g/mol
calor de solución Ca(OH)_2	$\Delta H_S \text{ Ca(OH)}_2$	$3.62 \times 10^3 \text{ cal/mol}$
peso molecular Ca(OH)_2	P.M. Ca(OH)_2	74.10 g/mol
calor específico de la solución	$C_{P \text{ soln.}}$	0.81 cal/g °C
calor específico del agua	$C_{P \text{ agua}}$	1.00 cal/g °C
temperatura del agua de enfriamiento	t_1	16°C
temperatura final de la solución	T_2	18°C
coeficiente global de transferencia de calor	U	339.3 cal/m ² s °C

Tabla 12.3
Aumento de temperatura en los tanques de mezcla

TANQUE	M.P.	q, cal/min	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
1	NaOH	1.46E+06	26.3
2	Ca(OH)_2	2.88E+05	4.8

$$q_1 = \frac{10230 \text{ cal}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{40.00 \text{ g}} \times \frac{5700 \text{ g}}{\text{min}} = 1457775 \text{ cal/min}$$

$$\Delta T_1 = \frac{1457775 \text{ cal/min}}{69400 \text{ g/min} \times 0.81 \text{ cal/g}^\circ\text{C}} = 26.3^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = \frac{3620 \text{ cal}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{74.10 \text{ g}} \times \frac{5900 \text{ g}}{\text{min}} = 288232.1 \text{ cal/min}$$

$$\Delta T_2 = \frac{288232.1 \text{ cal/min}}{75300 \text{ g/min} \times 0.81 \text{ cal/g}^\circ\text{C}} = 4.8^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 18^\circ\text{C} + 26.3^\circ\text{C} + 4.8^\circ\text{C} = 49.1^\circ\text{C}$$

6. Dimensiones de los clasificadores

$$H = 8D \Rightarrow V = 8\pi D^3 / 4 \Rightarrow D = \sqrt[3]{V / 2\pi} = \sqrt[3]{0.1862 \text{ m}^3} = 0.57 \text{ m}$$

$$H = 8(0.57 \text{ m}) = 4.6 \text{ m}$$

7. Diseño del secador rotatorio

Existen algunas ecuaciones útiles en el diseño de los secadores rotatorios, que se emplean para estimar el tiempo de residencia θ en minutos y el calor transmitido en el proceso de secado Q en BTU/h. (7) Estas ecuaciones se presentan a continuación:

$$\theta = \frac{0.23L}{SN^{0.9}D} - \frac{0.6BLG}{F}$$

$$B = \frac{5}{(D_p)^{0.5}}$$

$$Q = 0.4LDG^{0.67}(\Delta t_m)$$

donde: L es el largo del secador, ft; D es el diámetro del secador, ft; G es la velocidad másica del gas, lb/(h ft²); Δt_m es la diferencia media logarítmica de depresión de bulbo húmedo del gas a la entrada y salida del secador, K; D_p es el tamaño promedio de la partícula sólida, μm ; F es la tasa de alimentación de sólido al secador, lb/(h ft²); S es la inclinación del secador, ft/ft; N es la velocidad de rotación, r/min.

8. Bombas centrífugas

Tabla 12.4
Potencia de las bombas

BOMBA	CAPACIDAD kg/min gal/min	CARGA ft	POTENCIA hp	
B1	75.3	16.6	105	0.81
B2	470.0	103.5	102	4.92
B3	85.5	18.8	105	0.92
B4	150.4	33.1	105	1.62

$\eta = 0.65$
 $s = 1.2$

Tabla 12.5
Consumo de materias primas por año de operación

AÑO	SODA 50%	PRECIO	CAL	PRECIO	COLORO	PRECIO
1	1087.5	3,200.00	562.5	1,200.00	975	3,200.00
2	1160	3,520.00	600	1,320.00	1040	3,520.00
3	1232.5	3,872.00	637.5	1,452.00	1105	3,872.00
4	1305	4,259.20	675	1,597.20	1170	4,259.20
5	1377.5	4,685.12	712.5	1,756.92	1235	4,685.12

AÑO	CALHYP	PRECIO	SAL	PRECIO
1	1125	9,600.00	700	1,200.00
2	1200	10,560.00	750	1,320.00
3	1275	11,616.00	800	1,452.00
4	1350	12,777.60	850	1,597.20
5	1425	14,055.36	900	1,756.92

(consumos y producciones en toneladas métricas; precios en quetzales)

Tabla 12.6
Inversión inicial

EQUIPO PRINCIPAL	COSTO
TANQUE DE SODA CAUSTICA*	40,000.00
ALIMENTADOR DE CAL	7,000.00
VAPORIZADOR DE CLORO (5X)	150,000.00
TANQUE DE MEZCLA 1*	6,000.00
TANQUE DE MEZCLA 2*	6,000.00
TANQUE DE MEZCLA 3*	12,000.00
TANQUE DE MEZCLA 4*	350,000.00
MOTORES DE LOS AGITADORES	20,000.00
CLASIFICADOR 1*	5,000.00
CLASIFICADOR 2*	4,000.00
INTERCAMBIADOR DE CALOR	42,000.00
FILTRO PRENSA (2X)	1,760,000.00
SECADOR ROTATORIO (2X)	80,000.00
CENTRIFUGA	400,000.00
COMPACTADORA-GRANULADORA	50,000.00
BOMBAS CENTRIFUGAS	68,000.00
TOTAL EQUIPO	3,000,000.00
INSTALACION	10% 300,000.00
EQUIPO AUXILIAR	20% 600,000.00
OBRA CIVIL	30% 900,000.00
TOTAL	4,800,000.00

*material de construcción: fibra de vidrio

Tabla 12.7
Modelo de amortización del préstamo

AÑO	MONTO	ABONO	INTERES (22% s.s.)	SALDO
prestamo	6,000,000.00			6,000,000.00
1	6,000,000.00	1,717,406.24	942,170.63	5,224,764.39
2	5,224,764.39	1,717,406.24	771,618.79	4,278,976.95
3	4,278,976.95	1,717,406.24	563,545.56	3,125,116.26
4	3,125,116.26	1,717,406.24	309,696.21	1,717,406.23
5	1,717,406.23	1,717,406.24		(0.00)



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

PRODUCT NAME: Calcium Hypochlorite Granular 65%
PRODUCT ID: 0310
SYNONYMS: Calcium Hypochlorite Granular; Cal Hypo Granules; Ca(OCl)₂
DATE: 06/15/1998
REVISION NO.: 007

PPG Industries, Inc.
One PPG Place, Pittsburgh, PA 15272, USA
24-hour Emergency Telephone Number: 1-304-843-1300

For Product Information (8am-5pm Eastern time): 1-800-245-2974 (Cal Hypo)

PREPARED BY: R. Kenneth Lee, Manager, Product Safety

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Material/CAS Number	Percent
---------------------	---------

Calcium Hypochlorite 78-54-3	>65
---------------------------------	-----

Note: 65% Available Chlorine. 35% inert ingredients (includes 5.5-10% moisture).

3. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW:

WARNING! Strong Oxidizing Agent! Mix only with water. Contamination may cause fire or explosion. Do not add this product to any dispensing device containing remnants of any other product.

Precautions: Do not swallow. Swallowing may cause injury or death. Do not get in eyes, on skin, or on clothing. May cause chemical burns. Avoid breathing dust. Irritating to nose and throat. Wash hands after handling. Keep out of reach of children.

4. FIRST AID MEASURES

INHALATION: Move person to fresh air. If not breathing, give artificial respiration, preferably mouth-to-mouth. If breathing is difficult, give oxygen. Call a physician.

EYE/SKIN CONTACT: In case of contact, immediately flush eyes and skin with plenty of water (so and water for skin) for at least 15 minutes, while removing contaminated clothing and shoes. For eye contact, get immediate medical attention. If skin irritation occurs, get medical attention.

INGESTION: If swallowed, give at least 3-4 glasses of water, but do not induce vomiting. Do not give anything by mouth to an unconscious or convulsing person. Get medical attention.

NOTES TO PHYSICIAN: Treat symptomatically.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

FLASH POINT: None

EXTINGUISHING MEDIA: Water only. Smothering ineffective - product supplies own oxygen.

SPECIAL FIREFIGHTING PROCEDURES: Product decomposes at 180° C releasing oxygen gas. Container may rupture. Fire-fighters must wear NIOSH approved, pressure demand, self-contained breathing apparatus with full face piece for possible exposure to hazardous gases.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

ACTION TO BE TAKEN IF MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED:

Use extreme caution in handling spilled material. Contamination with organic or combustible material may cause fire or violent decomposition. If fire or decomposition occurs in area of spill, immediately douse with plenty of water. Otherwise, sweep up all visible material using a clean, dry shovel and broom and dissolve material in water. Spilled material that has been swept up and dissolved in water should be used immediately in the normal application for which this product is being consumed.

7. HANDLING AND STORAGE

PRECAUTIONS TO BE TAKEN DURING HANDLING AND STORAGE:

Store in a cool, dry, well-ventilated place. Keep in original container. Keep container closed when in use. Keep away from heat, sparks, flames, direct sunlight, and other sources of heat, including lighted tobacco products. Use only a clean, dry scoop made of metal or plastic each time product is taken from the container. Do not add this product to any dispensing device containing remnants of

ny other product. Such use may cause violent reaction leading to fire or explosion. Add this product nly to water. May cause fire or explosion if mixed with other chemicals. Fire may result if ontaminated with acids or easily combustible materials such as oil, kerosene, gasoline, paint roducts and most other organic materials. Do not reuse container. Residual material remaining in mpty drum can react to cause fire. Thoroughly flush empty container with water then destroy by lacing in trash collection. Do not contaminate water, food, or feed by storage or disposal.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Exposure Limits:

8-hour Time Weighted Average (TWA); 15-minute Short-Term Exposure Limit (STEL)

OSHA: No occupational exposure limits have been established by OSHA.

ACGIH: No occupational exposure limits have been established by ACGIH.

PG (IPEL): 1 mg/cu.m. TWA. 2 mg/cu.m. STEL.

RESPIRATORY PROTECTION: If dusty conditions are encountered, use NIOSH approved respirator with acid gas cartridge and dust prefilter. The respiratory use limitations made by NIOSH or the manufacturer must be observed. Respiratory protection programs must be in accordance with 29 CFR 1910.134.

VENTILATION: None required unless dusty conditions are encountered.

EYE AND FACE PROTECTION: Chemical safety goggles.

PROTECTIVE GLOVES: Natural or synthetic rubber.

OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT: Boots, aprons, or chemical suits should be used when necessary to prevent skin contact. Personal protective clothing and use of equipment must be in accordance with 29 CFR 1910.132 (general requirements), .133 (eye and face protection), and .138 (hand protection).

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

- BOILING POINT:** Decomposes at 180° C
- VAPOR DENSITY (Air=1):** NA
- SPECIFIC GRAVITY (Water=1):** NA
- pH:** Alkaline
- FREEZING/MELTING POINT:** NA
- SOLUBILITY (wt.% in water):** 217 g/l @ 27° C
- BULK DENSITY:** 65-67 lbs./cu.ft.
- VOLUME % VOLATILE:** NA

VAPOR PRESSURE: NA
EVAPORATION RATE: NA
HEAT OF SOLUTION: Slightly exothermic
PHYSICAL STATE: Powder
ODOR: Slight chlorine
COLOR: White

10. STABILITY AND REACTIVITY

STABILITY: Unstable above 177° C.

HAZARDOUS POLYMERIZATION: Will not occur.

INCOMPATIBILITY (CONDITIONS/MATERIALS TO AVOID):

Contamination. Excessive heat above 177° C. Acids. Combustible materials. Organics. Reducing agents.

HAZARDOUS THERMAL DECOMPOSITION/COMBUSTION PRODUCTS:

Acid or ammonia contamination will release toxic gases. Excessive heat will cause decomposition resulting in the release of oxygen and chlorine gas.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

ACUTE INHALATION LC50: .. (rat) no mortality at 3.5 mg/l (1 hour). Irritating.

ACUTE DERMAL LD50: (rabbit) >1000 mg/kg. Slight to very low toxicity.

SKIN IRRITATION: Causes burns.

EYE IRRITATION: Causes burns.

ACUTE ORAL LD50: (rat) 850 mg/kg. Slight to very low toxicity.

CHRONIC EFFECTS/CARCINOGENICITY: This product is NOT listed as a carcinogen or suspected carcinogen by NTP, IARC, or OSHA.

MEDICAL CONDITIONS AGGRAVATED: None known.

EFFECTS OF OVEREXPOSURE:

ACUTE:

Inhalation: Inhalation of calcium hypochlorite dust and deposition of particles in the respiratory tract can lead to irritation of the tissue and cause a variety of effects. These effects are dependent on concentration and include: upper respiratory tract irritation, nasal congestion, coughing, sore throat, laryngitis and shortness of breath. In operations where there are high concentrations of respirable particulates, pulmonary edema (fluid in the lung) may be produced. If not treated immediately, pulmonary edema can be life threatening. Since this product is in granular form, particles of

Respirable size are not generally encountered.

Eye/Skin: Calcium hypochlorite is corrosive to the eyes. Contact of calcium hypochlorite dust with the eyes, even a minute amount for a short duration, can cause severe irritation and even blindness. Contact with the skin may cause severe irritation, burns, or tissue destruction. In studies utilizing rabbits, the skin irritation score was 8/8 and the eye irritation score was 98.5/110.

Ingestion: Calcium hypochlorite, if swallowed, causes severe burns to the digestive tract and can be fatal.

CHRONIC:

Genotoxicity: Calcium hypochlorite produced positive responses in in-vitro assays using bacterial systems (the Ames test) and chromosomal aberrations in Chinese hamster fibroblasts. In a whole animal experiment (mouse micronucleus test), exposures ranging from 20 to 160 mg/kg produced no compound related chromosomal abnormalities.

Carcinogenesis: Although no study has been conducted with calcium hypochlorite, the carcinogenic potential of sodium hypochlorite was studied in F344 rats. After 104 weeks of drinking water containing up to 2000 ppm sodium hypochlorite, there was no evidence that this chemical produced any carcinogenic response. In addition, this exposure did not result in any adverse effects in blood, clinical chemistry, or other target organs.

One of the major uses of calcium hypochlorite is as a source of chlorine for water sanitization in drinking and recreational water. Studies have been conducted to determine the long-term effects of chlorinated drinking water. Seven generations of rats were given 100 ppm chlorine in their drinking water. No difference in fertility, growth, blood parameters, or specific organ toxicity was observed between control and exposed animals. Two separate animal studies conducted by different government agencies determined that the chlorination of municipal drinking water did not result in toxicity to the developing mouse fetus.

Safe handling of this material on a long-term basis should emphasize minimizing repeated acute exposures.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

ECOTOXICOLOGICAL INFORMATION:

Highly toxic to aquatic life. 0.088 mg/l (Bluegill) 96-hour LC50

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

DISPOSAL METHOD:

Spilled material that has been swept up and dissolved in water should be used immediately in the normal application for which this product is being used. If this is not possible, carefully neutralize dissolved material by adding hydrogen peroxide (one pint of 35% hydrogen peroxide solution per pound of calcium hypochlorite to be neutralized) then dilute the neutralized material with plenty of water and flush to sewer. Note: Only properly neutralized material should be flushed to sewer. Unneutralized material can cause environmental damage to receiving water or can interfere with treatment plant operation. For on-site neutralization, carefully and slowly pour the appropriate quantity of 35% hydrogen peroxide solution over all spilled material then flush area with plenty of water. Care must be taken when using or disposing of chemical materials and/or their containers to prevent environmental contamination. It is your duty to dispose of the chemical materials and/or the containers in accordance with the Clean Air Act, the Clean Water Act, the Resource Conservation and Recovery Act, as well as any other relevant Federal, State, or local laws/regulations regarding disposal.

RCRA:

Waste calcium hypochlorite and contaminated soils/materials from spill cleanup are D001 hazardous waste as per 40 CFR 261.21(a)(4) and must be disposed of accordingly under RCRA.

14. TRANSPORT INFORMATION

USA DOT DESCRIPTION:

Proper Shipping Name: Calcium Hypochlorite, Hydrated
Hazard Class: 5.1 (Oxidizer)
Identification Number: UN2880
Packing Group: II
Reportable Quantity: 10 lbs./4.5 kg.

15. REGULATORY INFORMATION

USA TSCA: This product is listed on the TSCA Inventory.

EUROPE EINECS: This product is listed on EINECS.

CANADA DSL: This product is listed on the Canadian DSL.

AUSTRALIA AICS: This product is listed on AICS.

KOREA ECL: This product is listed on ECL.

JAPAN MITI (ENCS): This product is listed on MITI.

SARA TITLE III:

SARA (311, 312) Hazard Class: Acute Health Hazard. Reactive Hazard. Fire Hazard.

SARA (313) Chemicals: Not listed.

SARA Section 302: Not listed as an Extremely Hazardous Substance.

CERCLA HAZARDOUS SUBSTANCE: Listed in Table 302.4 of 40 CFR Part 302 as a hazardous substance with a reportable quantity of 10 pounds. Releases to air, land or water which exceed the RQ must be reported to the National Response Center, 800-424-8802.

HAZARD RATING SYSTEM (HMIS/NFPA):

Health 3, Flammability 0, Reactivity 1 (Oxidizer)

FIFRA:

This product is registered with EPA as a pesticide.

16. OTHER INFORMATION

Other Information:

NSF Drinking Water Treatment Chemicals Listing - PPG calcium hypochlorite is certified for maximum use at 46 mg/l under ANSI/NSF Standard 60.

The following has been revised since the last issue of this MSDS:

Date. Edition. Section 11 has been updated. Section 12 has been updated. Section 13 has been updated. Section 15 has been updated.

Previous revision date: 08/15/1997

Previous edition number: 006

NA = Not Available

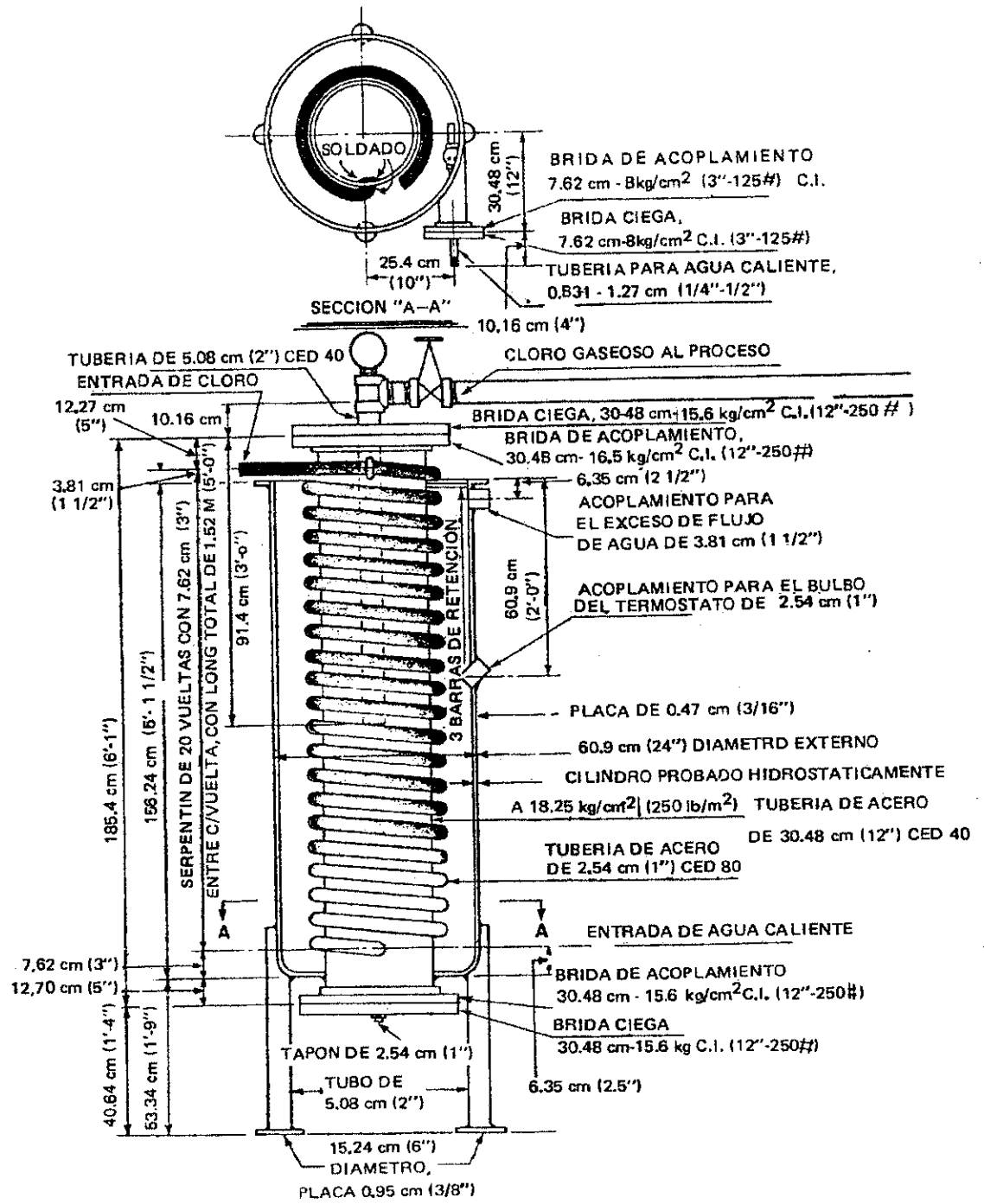


Fig. 12.1 Vaporizador de cloro líquido

Este documento se imprimio en los talleres Litograficos de:

IMPRIMA

Import, Printing & Machinery, S.A.

TELS. 2206418 AL 2206420