



Escuela Superior Politécnica del Litoral
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE
LA PRODUCCION



“Proceso de Secado de Cloro Gaseoso
y Manejo de Soda Caustica”

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

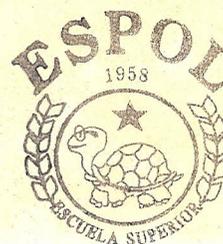
Presentada por:

GUILLERMO ELISEO PAZ MORAN



Guayaquil - Ecuador

Año - 1998



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

AGRADECIMIENTO

A JEHOVA DIOS, SUPREMO CREADOR
QUIEN ME DIO FUERZAS CUANDO
MAS LAS NECESITABA.

AL INGENIERO JULIAN PEÑA,
DIRECTOR DE LA TESIS DE GRADO,
POR SU GRAN AYUDA, GUIA Y
APOYO PERMANENTE EN LA
ELABORACION DE ESTA TESIS.

A TODAS LAS PERSONAS QUE
DE UNA U OTRA MANERA
INTERVINIERON EN LA REALIZACION
DEL PRESENTE TRABAJO.

DEDICATORIA

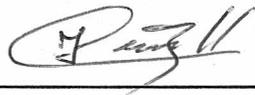


A MI MADRE

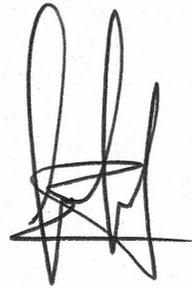
A MI HERMANO

A MI PRIMO XAVIER

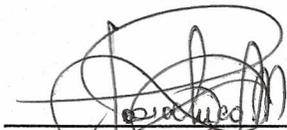
TRIBUNAL DE GRADUACION



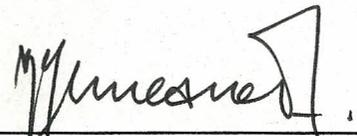
**Ing. Freddy Cevallos F.
DELEGADO DEL DECANO**



**Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. José Pacheco M.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

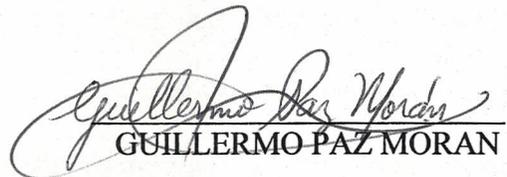


**Ing. Ignacio Wiesner F.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)


GUILLERMO PAZ MORAN

RESUMEN



El objetivo primordial del presente proyecto es el de presentar la forma en que se debe manipular la soda cáustica y el proceso de deshumidificación del cloro gaseoso, desde que el gas cloro sale de la celda electrolítica como cloro húmedo, su paso por varias etapas para ser convertido en cloro seco hasta su envasado como gas licuado. De la misma manera con la soda cáustica, una vez que sale de la celda se la almacena en grandes recipientes hasta su posterior envasado.

El proyecto, en su desarrollo considera de acuerdo a la capacidad requerida que son 150 toneladas de cloro gaseoso, la selección y cotización de cada uno de los equipos que se usarían en todo el proceso de secado, y plantea un programa de mantenimiento a seguir para lograr la optimización de equipos y maquinarias. Este trabajo tiene como finalidad mostrar a la comunidad y al país una solución eficaz en el mediano plazo, de que producir soda y cloro en el Ecuador no es un sueño inalcanzable, sino una realidad a un futuro muy próximo, y productos de excelente calidad con el fin de proveer el cloro a todos los municipios del país, especialmente al de Guayaquil, que es el mayor consumidor del gas cloro importado y además la lejía de sosa que tiene muchas aplicaciones en las industrias de algodón, seda artificial, plásticos, textiles, jabones, en la fabricación de diversos productos químicos, etc.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>	
- RESUMEN.....	VI	II
- INDICE GENERAL.....	VII	III
- INDICE DE FIGURAS.....	IX	IV
- INDICE DE TABLAS.....	XI	V
- NOMENCLATURA.....	XIII	VI
- SIMBOLOGIA.....	XIV	
- INTRODUCCION.....	XVII	VII

CAPITULO I

1. OBTENCION DE SODA CAUSTICA Y SECADO DEL CLORO GASEOSO A PARTIR DE CELDAS ELECTROQUÍMICAS.....	19	18
1.1 Importancia del Proceso.....	19	8
1.1.1 Usos del Cloro.....	25	21
1.1.2 Usos de la Soda Cáustica.....	32	13
1.2 Métodos de Secado.....	35	13
1.3 Control de Variables.....	46	18
1.4 Envasado.....	51	18

CAPITULO II

2. PERFIL INDUSTRIAL	56
2.1 Capacidad Requerida	56
2.2 Dimensionamiento del Sistema	56
2.2.1 Etapas de Enfriamiento	57
2.2.2 Etapa de Secado (Torre de ácido sulfúrico)	68
2.2.3 Eliminadores de Niebla	76
2.2.4 Etapa de Licuado/Licuefacción del Cloro	78
2.2.5 Obtención y almacenamiento de soda cáustica	79
2.3 Selección de Maquinaria e Inventario	84
2.3.1 Distribución de equipos de la planta de secado de cloro	86

CAPITULO III

3. MANUAL DE PROCEDIMIENTO	93
3.1 Plan de Mantenimiento	93
3.2 Detalle Económico	96

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
--------------------------------------	-----

ANEXOS	105
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	112
--------------------	-----

INDICE DE FIGURAS



	<u>Pág.</u>
Fig. 1 Planta de Tratamiento de agua potable "La Toma", principal consumidor del gas cloro importado	27
Fig. 2 Transporte y descarga de cilindros de gas cloro.....	27
Fig. 3 Cilindros llenos de gas cloro listos para ser conectados al sistema de dosificación.....	28
Fig.4 Descarga del gas cloro de los cilindros en posición horizontal.....	28
Fig.5 Cilindros de gas cloro conectados al sistema de dosificación (Pre-cloración).....	29
Fig.6 Segunda y última dosificación suministrada al agua (Post-cloración).....	30
Fig.7 Panel de control y sistemas de tuberías que controlan la dosificación.....	30
Fig.8 Inyección de agua clorada a las piscinas de tratamiento	31
Fig.9 Piscinas con agua clorada listas para la distribución.....	31
Fig.10 Secadero de compartimientos a la presión atmosférica.....	37
Fig.11 Secadero de compartimientos al vacío	39
Fig.12 Esquema de una celda electrolítica de diafragma	42

Fig.13 Diagrama del flujo del proceso del secado del gas cloro y almacenamiento de soda cáustica	45
Fig.14 Almacenamiento de cilindros con gas cloro en un galpón abierto..	55
Fig.15 Torre de absorción de gases (ácido sulfúrico).....	75
Fig.16 Torre eliminadora de vapores o separador de nieblas	77
Fig.17 Diagrama de proceso de la planta de soda cáustica y secado de cloro gaseoso	89
Fig.18 Vista en perspectiva de la planta de cloro-soda	90
Fig.19 Distribución de Equipos de la Planta de Secado de cloro	91
Fig.20 Vista completa de toda la planta de cloro y soda	92

INDICE DE TABLAS



	<u>Pág.</u>
Tabla I. Resultados fisiológicos a varias concentraciones de gas cloro	21
Tabla II. Propiedades Físicas del cloro.....	24
Tabla III. Propiedades Físicas del Hidróxido de Sodio puro.....	34
Tabla IV. Materiales de construcción de cobre adecuados para cloro seco a presiones de hasta 300 psig. y temperaturas desde -20°F hasta +300°F.....	48
Tabla V. Guía de materiales de construcción para servicio del cloro al límite de la temperatura indicada aproximada.....	49
Tabla VI. Dimensiones y pesos de cilindros y contenedores de tonelada.....	53
Tabla VII. Reposición de agua necesaria	62
Tabla VIII. Capacidad de la válvula de flotador.....	62
Tabla IX. Inventario de Equipos para la Planta de Cloro Gaseoso.....	87
Tabla X. Sistemas de Tuberías plásticas para servicio solamente de cloro gas.....	88
Tabla XI. Mantenimiento Planeado para Equipos	95

Tabla XII. Costo de los materiales utilizados en la planta de secado de cloro gaseoso.....	99
Tabla XIII. Costo de las máquinas y equipos utilizados en la planta de secado de cloro.....	100
Tabla XIV. Análisis Total de Costos de la planta de cloro gaseoso	101
Tabla XV. Costos Operativos del proceso de secado de cloro y del almacenamiento de sosa cáustica.....	102

NOMENCLATURA

m	=	Flujo másico
C_p	=	Calor específico del agua
C_{pCl}	=	Calor específico del cloro
T	=	Temperatura
ΔT	=	Diferencia de temperaturas
Q	=	Cantidad de energía de calor
DI	=	Diámetro de tubería calculado
gal	=	galones
q	=	caudal
A	=	área
A_T	=	Area de una tapa de un tanque
A_L	=	Area lateral de un tanque
v	=	velocidad
d	=	diámetro asumido
V	=	Volumen
L	=	altura del tanque
r	=	radio del tanque
M	=	masa



SIMBOLOGIA

π	=	3.14159
ρ	=	densidad
ppm	=	partes por millón
$^{\circ}\text{C}$	=	grados Centígrados
$^{\circ}\text{F}$	=	grados Fahrenheit
$^{\circ}\text{K}$	=	grados Kelvin
Cl	=	Cloro
Cl ₂	=	Cloro gaseoso
Ne	=	Neón
Kpa	=	Kilopascal
Mpa	=	Megapascal
g	=	gramo
kg	=	kilogramo
J	=	Joule
KJ	=	kilojoule
cm	=	centímetro
cm ²	=	centímetro cuadrado
cm ³	=	centímetro cúbico
m	=	metro

m^2	=	metro cuadrado
m^3	=	metro cúbico
pie ³	=	pie cúbico
ft ²	=	pie cuadrado
mm	=	milímetro
ΔH_f	=	Entalpía de fusión
ΔH_v	=	Entalpía de vaporización
ΔG_f	=	Energía libre de formación
$(\Omega \text{ cm})^{-1}$	=	Conductividad eléctrica de líquido Cl_2
V	=	Potencial del electrodo estándar
mg	=	miligramo
lt	=	litro
NaOH	=	Hidróxido de sodio
H_2SO_4	=	Acido Sulfúrico
ClNa	=	Cloruro de Sodio
Cl^-	=	ión Cloro
Na^+	=	ión Sodio
OH^-	=	ión oxhidrilo
lbs	=	libras
pulg	=	pulgada
psig	=	libras por pulgada cuadrada manométricas
w.b.	=	bulbo húmedo

BTU	=	Unidad Térmica Británica
Ton	=	tonelada
HP	=	Horse Power (caballos de vapor)
CFM	=	Pie cúbico por minuto
Kcal	=	Kilocaloría
gpm	=	galones por minuto
PSI	=	libras por pulgada cuadrada
Hr	=	hora
RPM	=	Revoluciones por minuto
HZ	=	Hertz
KW	=	Kilowatts
min	=	minuto
° Be	=	Grados Baumel
cps	=	centipoises
mls	=	mils

INTRODUCCION



El Ecuador es un país que va creciendo poco a poco, tratando de salir del subdesarrollo, y una de las industrias que lentamente ha ido buscando dar los pasos necesarios para fortalecer ese desarrollo es el de los procesos químicos.

La importación de cloro gaseoso para la potabilización del agua en las plantas de tratamiento de agua del país, especialmente los de la región litoral se ha venido dando desde hace muchos años, debido a que nadie produce cloro gaseoso, ni tampoco otro producto principal como lo es la soda cáustica que con el pasar del tiempo ha tenido, tiene y tendrá muchas aplicaciones en muchos procesos en muchas industrias.

Este trabajo pretende ser una exposición clara de como es el proceso de secado del cloro gaseoso, haciendo un estudio detallado de las varias etapas por las que pasa el cloro incluido los equipos y máquinas, desde que sale de la celda electrolítica como cloro-húmedo, su paso por los enfriadores, torre de absorción, compresor, eliminador de niebla ácida, sistema de refrigeración (licuefacción) y su envasado como gas licuado.

Se indica también las tuberías, válvulas y demás accesorios que se usan en el manipuleo del gas cloro desde que sale de la celda hasta que se envasa, debido a

que existen dos partes muy marcadas en el proceso de secado que son el manejo del cloro húmedo hasta la torre de secado y posteriormente la transportación de cloro seco.

El segundo producto que sale de la celda electrolítica es la soda cáustica que tiene una concentración de 10 - 12 %, luego se procede a su almacenamiento en tanques de acero ASTM A36 para su posterior envasado y distribución.

Cabe resaltar que la idea importante que se quiere dar a entender mediante este trabajo, es la de producir en pequeña y mediana escala para poder mostrar al país, de que deja de ser válida la opinión generalizada de que solamente plantas químicas de gran capacidad pueden producir a costos competitivos.

CAPITULO 1

1. OBTENCION DE SODA CAUSTICA Y SECADO DE CLORO GASEOSO A PARTIR DE CELDAS ELECTROQUIMICAS.

1.1 IMPORTANCIA DEL PROCESO

El término secado usualmente infiere la eliminación de relativamente pequeñas cantidades de agua de un material sólido, casi sólido o un gas. El secado implica la eliminación del agua a temperaturas menores de su punto de ebullición.

El cloro caliente desprendido del ánodo arrastra mucho vapor de agua, primero se enfría para condensar la mayor parte de este vapor y luego se seca con ácido sulfúrico en una torre eliminando así pequeñísimos porcentajes de humedad.

Hasta la torre de ácido sulfúrico el cloro húmedo por ser un agente muy corrosivo y que ataca a la mayoría de los metales debería manejarse en poliéster, cloruro de polivinilo o en algún material resistente semejante, después del secado se puede emplear hierro o acero. He aquí el aspecto importante del proceso de secado ya que el cloro es almacenado en recipientes metálicos como son los cilindros pequeños, cilindros de tonelada, tuberías o los carros tanque que se envían a los grandes consumidores.

El cloro en el comercio está clasificado como un gas comprimido no inflamable, es un gas licuado bajo presión. El cloro en contenedores tiene ambas fases: fase líquida y fase gaseosa.

Los riesgos asociados con el manipuleo del cloro son atribuidos a su reactividad química, propiedades físicas y carácter toxicológico, ninguno de los dos el cloro líquido o el gaseoso es explosivo o inflamable pero ambos reaccionan químicamente (a menudo vigorosamente) con cualquier sustancia orgánica o inorgánica usualmente con calor desarrollado. El cloro también soporta combustión.

El cloro seco no reacciona (corroe) con cualquier metal a temperatura ordinaria, pero es muy reactivo (fuertemente corrosivo) en presencia de humedad. El volumen de cloro líquido se incrementa considerablemente cuando se incrementa la temperatura.

Algunas precauciones convenientes deberían ser consideradas para impedir un aumento de presión excesiva y posible ruptura hidrostática de los contenedores, tuberías y otros equipos que contienen cloro líquido.

El cloro líquido es un irritante de la piel y puede causar severos daños al tejido del cuerpo, se vaporiza rápidamente a gas en las condiciones de temperatura y presión atmosférica normales.

El gas cloro en bajas concentraciones irrita la mucosa de la membrana, el sistema respiratorio y la piel. En casos extremos la dificultad de la respiración puede incrementarse al punto donde la muerte puede resultar por sofocación. Ver Tabla I.

**TABLA I. RESULTADOS FISIOLÓGICOS A VARIAS
CONCENTRACIONES DE GAS CLORO ⁽¹³⁾**



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVAL
E.I.M.C.P.

Efectos	Partes de Gas Cloro Por Partes por Millón de aire, por volumen (ppm)
Mínima cantidad requerida para producir ligeros síntomas después de varias horas de exposición.	1
Mínimo Olor detectable	3
Mínima cantidad requerida para causar irritación de la garganta.	15.1
Mínima cantidad requerida para causar tos.	30.2
Cantidad peligrosa de 30 minutos a una hora.	40 a 60
Elimina la mayoría de los animales en poco tiempo	1000

¹³ Tomado de: SCONCE, J.S., Chlorine, its manufacture, properties and uses, Robert E. Krieger Publishing Company, 1972.

Toxicidad. ✓

El cloro tiene una característica, un olor penetrante agudo, las concentraciones de 3 a 5 p.p.m. (por volumen) en aire pueden ser fácilmente percibidos por una persona normal.

Para las altas concentraciones los severos efectos irritantes del gas hacen poco probable que cualquier persona permanezca en una atmósfera contaminada de cloro a menos que el esté inconsciente o atrapado. El cloro líquido se transforma en gas cuando está expuesto a la temperatura y presión atmosférica normal.

Como hemos mencionado anteriormente las bajas concentraciones de gas cloro irritan la mucosa de la membrana, el sistema respiratorio y la piel, las grandes cantidades causan irritación de ojos, tos y dificultad en la respiración.

Si la duración de la exposición o la concentración es excesiva dará como resultado una conmoción general de la persona afectada acompañada por inquietud, intranquilidad, irritación a la garganta, estornudo y saliva copiosa.

Los síntomas de la exposición a las altas concentraciones son náuseas y vómitos seguidos por dificultad en la respiración. Los efectos psicológicos de varias concentraciones de gas cloro son presentados en la Tabla I.

El cloro puede producir efectos acumulativos no conocidos. El cloro líquido puede producir efectos sistemáticos no conocidos pero cuando está expuesto a la temperatura y presión atmosférica normal se vaporiza a gas lo que produciría los efectos anteriormente descritos.

El cloro líquido en contacto con los ojos, piel o ropa puede causar serias quemaduras.

Propiedades Físicas del Cloro

El cloro, un miembro de la familia de los halógenos, es un gas verde amarillento de olor picante y muy venenoso. Es dos veces y medio más pesado que el aire. En forma líquida su color es ámbar claro; el cloro sólido tiene forma de cristales de un amarillo pálido. Su punto de fusión es -100.98°C y a presión normal hierve a -34.05°C ; su temperatura crítica es 144°C y la presión crítica es de 76 atm. El cloro gaseoso se disuelve moderadamente en agua (un litro de agua disuelve 2,3 litros de cloro).

El cloro es uno de los elementos más reactivos y reacciona con muchos elementos y compuestos. Los metales no nobles (incluido el cobre) son rápidamente atacados si hay humedad presente, con formación de cloruros.

Un resumen de las principales propiedades del cloro se observa en la Tabla II.

TABLA II. PROPIEDADES FISICAS DEL CLORO ⁽⁸⁾

PROPIEDAD	VALOR
Número atómico	17
Peso atómico	35.453
Isótopo estable predominante, %	
³⁵ Cl	75.53
³⁷ Cl	24.47
Configuración electrónica	[Ne] 3s ² 3p ⁵
Punto de fusión, °C	-100.98
Punto de ebullición, °C, a 101.3 Kpa	-34.05
Densidad relativa al aire	2.48
Densidad crítica, kg/m ³	565
Presión crítica, Mpa	7.71083
Volumen crítico, m ³ /kg	0.001745
Temperatura crítica, °K	417.15
Densidad, kg./ m ³ a 0°C y 101.3 Kpa	3.213
Viscosidad (gas), Pas a 20°C	14.0
Viscosidad (líquido), Pas a 20°C	340
Calor latente de vaporización, J/g	287.4
Entalpía de fusión ΔHf, KJ/kg	90.33
Entalpía de vaporización ΔHv, KJ/kg	287.1
Potencial del electrodo estándar, V	1.359
Entalpía de disociación, KJ/mol	2.3944
Afinidad del electrón, eV	3.77
Entalpía de hidratación de Cl ⁻ , KJ/mol	405.7
Energías de ionización, eV	13.01, 23.80, 39.9, 53.3, 67.8, 96.6 y 114.2
Calor específico Cp, KJ/kg - °K	0.481
Calor específico Cv, KJ/kg - °K	0.357
Susceptibilidad magnética específica, m ³ /Kg a 20 °C	-7.4x10 ⁻⁹
Conductividad eléctrica de líquido Cl ₂ , (Ω cm) ⁻¹ a -70 °C	10 ⁻¹⁶
Constante dieléctrica para ondas largas, > 10 m a 0 °C	1.97

⁽⁸⁾ Tomado de: OXYTECH SYSTEMS, INC., OCCIDENTAL CHEMICAL CORPORATION, Alkali and chlorine products. Chlorine and Sodium Hidroxide, Kirk-Othmer - Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Ed. Volumen No.1, 1991.

Mezclado con hidrógeno forma la “mezcla detonante de cloro” que si se enciende o por acción de la luz del sol, explota violentamente. El cloro mata muy rápidamente las plantas. Se puede seguir el progreso de una nube de cloro al aire libre porque las plantas afectadas pierden el color verde y quedan blanqueadas. La mayor parte de los colorantes se blanquean por efecto del cloro (blanqueo).

Debido a su gran capacidad de reacción, el cloro no puede existir en la naturaleza en estado elemental. Pero está muy extendido en forma de cloruros en el suelo y en el agua de mar, por ejemplo sal gema, cloruro potásico, cloruro de magnesio, silvina, carnalita, etc.

1.1.1 USOS DEL CLORO

El cloro, que originalmente se empleaba casi por entero como blanqueador, ha aumentado su importancia en forma sumamente rápida. Esto se debe en parte a su utilización en la síntesis de productos químicos orgánicos, en muchos de los cuales no aparece en el producto final, aunque sí está presente en los pasos intermedios.

En nuestro medio el principal uso que se le da al cloro gas es en la potabilización del agua, ya que la mayor parte de la importación es adquirida por el municipio local, aproximadamente el 80%.

Una secuencia de operaciones de la forma en que el gas es suministrado al agua en la planta de tratamiento de agua, se lo aprecia desde la figura 1 hasta la figura 9.

El cloro es usado también en industrias de plásticos, de pulpa y papel, disolventes, plaguicidas, saneamiento, tratamiento de aguas residuales, compuestos anticongelantes y antidetonantes, fluidos para refrigeración, productos químicos diversos, blanqueador, herbicidas, fluidos para transferencia de calor, cloruros metálicos, etc.

El cloro que es usado en la Planta de la Toma en nuestra ciudad viene desde el Perú en cilindros que son de tres tipos: el tipo español que pesa entre 345 y 360 kilos cuando está vacío y 907 kilos cuando está lleno.

El tipo americano pesa 645 kilos vacío, y 907 kilos lleno, y el tipo alemán que pesa 540 kilos vacío y 907 kilos lleno. Los cilindros contienen dos válvulas, para cloro líquido y para cloro gaseoso.

Para el tratamiento de agua se necesitan 140 cilindros por mes, ocupando unos 4 cilindros por día más o menos.

Algunos de los cilindros podemos ver en las siguientes figuras.

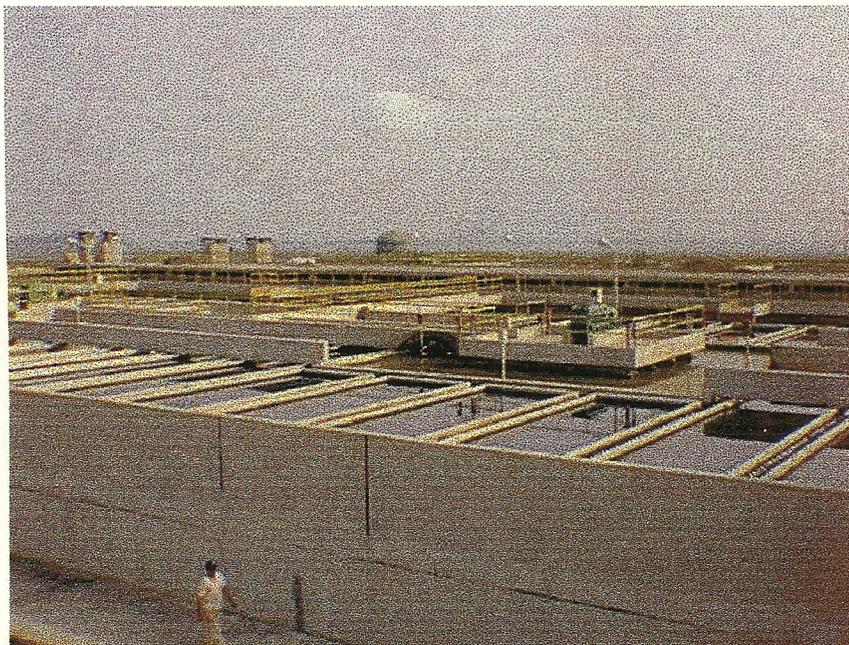


Fig. 1 Planta de tratamiento de Agua Potable "La Toma", principal consumidor del gas cloro importado.



Fig. 2 Transporte y descarga de cilindros con gas cloro.



Fig.3 Cilindros llenos de gas cloro listos para ser conectados al sistema de dosificación



Fig.4 Descarga del gas cloro de los cilindros en posición horizontal.

En el sistema de potabilización del agua la dosificación de cloro en el agua ocurre en dos ocasiones que son la pre-cloración y la post-cloración, durante la pre-cloración se inyecta 2.8 miligramos de cloro por cada litro de agua y en la post-cloración 1.7 mg/lt. La forma en que se dosifica el cloro en las piscinas de la Planta de Tratamiento es mediante un tubo venturi, que al crear un diferencial de presión hace ingresar el cloro gaseoso al sistema y es inyectado a la tubería de agua.

Esto se lo puede apreciar en las figuras.



Fig. 5 Cilindros de Gas Cloro conectados al sistema de dosificación.
(Pre-cloración)



Fig. 6 Segunda y última dosificación suministrada al agua. (Post-cloración)

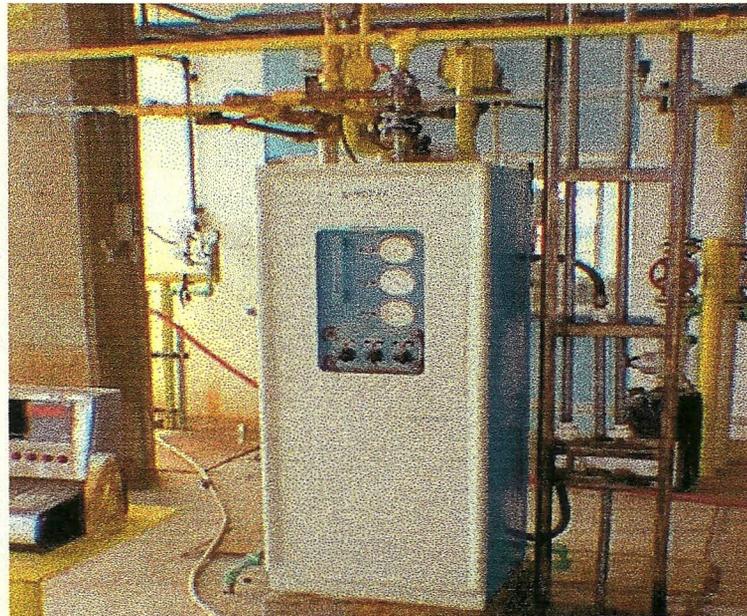


Fig. 7 Panel de control y sistemas de tuberías que controlan la dosificación.

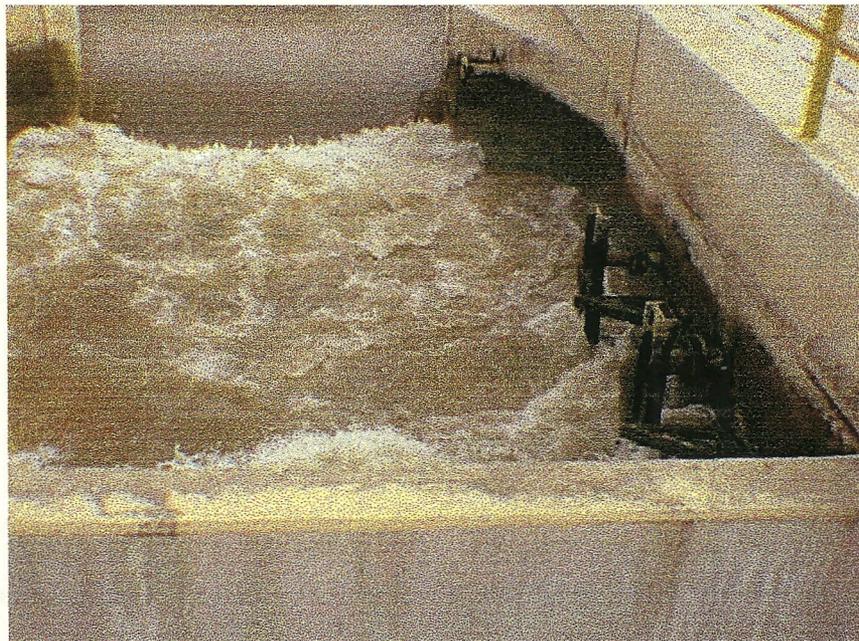


Fig. 8 Inyección de agua clorada a las piscinas de tratamiento.



Fig. 9 Piscinas con agua clorada listas para la distribución.

Sosa Cáustica

La sosa cáustica pura es un sólido blanco quebradizo que fácilmente absorbe humedad y bióxido de carbono del aire. Se vende según su contenido de Na_2O y usualmente éste es de más o menos 76% de Na_2O , equivalente a 98 % de NaOH .

Es una sustancia incolora e higroscópica. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor y la disolución acuosa se llama lejía de sosa. Tanto la sosa cáustica como su disolución atacan la piel.

El término sosa cáustica se utiliza mucho debido a que este compuesto es corrosivo para la piel.

Las principales propiedades físicas del hidróxido de sodio puro se resumen en la Tabla III.

1.3

1.1.2 USOS DE LA SODA CAUSTICA

Los usos tradicionales son en industrias de jabón, rayón, algodón, plásticos, colorantes, papel, drogas, alimentos, hule, textiles, productos químicos, blanqueado, metalurgia, refinación del petróleo, etc.

Almacenaje y transporte.

Como material de construcción para envases y depósitos es adecuado el hierro. El aluminio no puede emplearse porque la lejía de sosa lo disuelve con formación de aluminato, pero es posible emplear plásticos para recubrimiento de las vasijas.

En el trabajo con sosa o con lejía se precisa emplear gafas protectoras, porque tanto trocitos de sólido, como gotas de disolución, atacan rápidamente los ojos.

**TABLA III. PROPIEDADES FISICAS DEL HIDROXIDO
DE SODIO PURO ⁽⁸⁾**

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular	39.998
Gravedad específica a 20 °C	2.130
Punto de fusión, °C	318
Punto de ebullición, °C a 101.3 KPa	1388
Calor específico, J/g °C a 20 °C	1.48
Calor latente de fusión, J/g	167.4
Energía, KJ/mol	737.2
Entropía, J/(mol·°K) a 25°C y 101.3 KPa	64.45
Calor de formación ΔH_f , KJ/mol	
α form	422.46
β form	426.60
Calor de transición de la forma α a β , J/g	103.3
Temperatura de transición, °C	299.6
Energía libre de formación ΔG_f , KJ/mol a 25 °C y 101.3 KPa	-379.5

⁽⁸⁾ Tomado de: OXYTECH SYSTEMS, INC., OCCIDENTAL CHEMICAL CORPORATION, Alkali and chlorine products. Chlorine and Sodium Hidroside, Kirk-Othmer – Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Ed. Volumen No.1, 1991.

1.2 METODOS DE SECADO

En el curso de muchos años de experiencia empírica, ha tenido nacimiento una gran variedad de tipos de equipos para efectuar el secado, con frecuencia se dan diferentes dispositivos de construcción completamente distintos que se utilizan para operaciones casi similares, únicamente debido a que en una industria se ha hecho costumbre utilizar un cierto tipo de maquinaria y en otra industria se emplea otro tipo diferente para el mismo objeto.

Esta variedad de construcciones hace que sea difícil la clasificación.

Existe un número de clasificaciones y está basada en la forma en que se maneja el material durante el proceso de secado, los principales son:

1. Materiales en hojas o masas, transportados

por bandejas o transportadores

a. Secaderos discontinuos

- De compartimentos a la presión

atmosférica

- De compartimentos al vacío

Secaderos de Compartimentos a la presión atmosférica.

Cuando la consistencia de la primera materia o del producto seco es tal que puede manejarse en bandejas, se utiliza un tipo cualquiera de secadero de compartimento.

Aquí se incluyen sustancias mojadas o plásticas y masas granulares tales como materiales cristalinos, pastas y precipitados.

Madejas y otros productos textiles así como algunos productos similares que no han de manejarse en bandejas se secan también en este tipo de secadero.

Cuando el material está sobre las bandejas es fácil manejar tanto en la carga como en la descarga sin pérdida y por tanto se manejan por este método productos valiosos o pequeñas cantidades.

El aparato consta esencialmente de una cámara rectangular que tiene las paredes recubiertas de material aislante del calor. En el interior de la cámara hay estanterías hechas de ángulos ligeros sobre las que las bandejas pueden deslizarse, o bien vagoneta de forma que una vagoneta cargada con bandejas puede recorrer el secadero con las puertas cerradas.

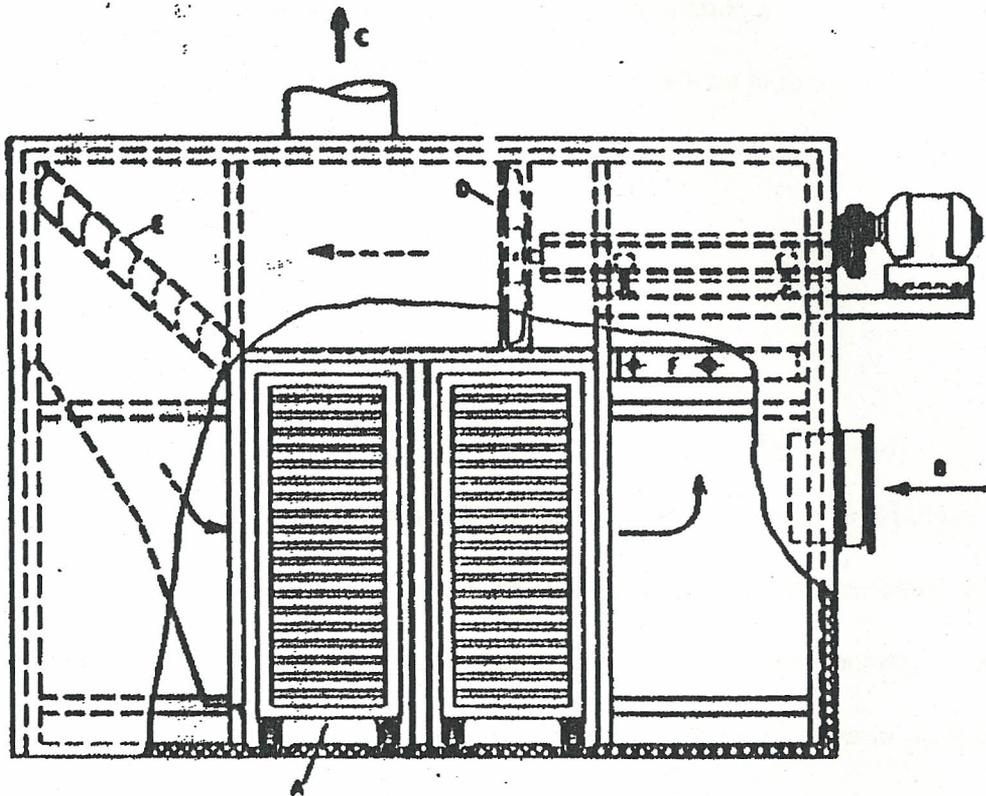


Fig. 10 Secadero de compartimientos y bandejas: A, vagonetas que transportan las bandejas; B, entrada de aire; C, salida de aire; D, ventilador; E, pantallas deflectoras de aire; F, calentador de tubos de aletas.

Existe un dispositivo para circulación de aire sobre las bandejas. Los secaderos de este tipo están provistos de dispositivos para calentar el aire en el interior del secadero en lugar de hacerlo fuera de él.

Secaderos de Compartimientos al vacío.

En muchos casos puede ser conveniente el secar materiales sobre bandejas más rápidamente de lo que podría hacerse al pasar una corriente de aire sobre ella y además haciendo que la temperatura sea más baja que la que correspondería a la de evaporación del agua a la presión atmosférica, en estos casos se utiliza un secador al vacío.

Consiste en una carcasa o envuelta de fundición, normalmente de sección rectangular cuyo interior contiene cierto número de estanterías, estas estanterías están huecas y durante la operación se llenan de vapor de agua o de agua caliente, en el frente del secadero y a cada uno de los lados existen unos conductores verticales múltiples y unas conexiones que van desde cada conducto vertical a cada estante.

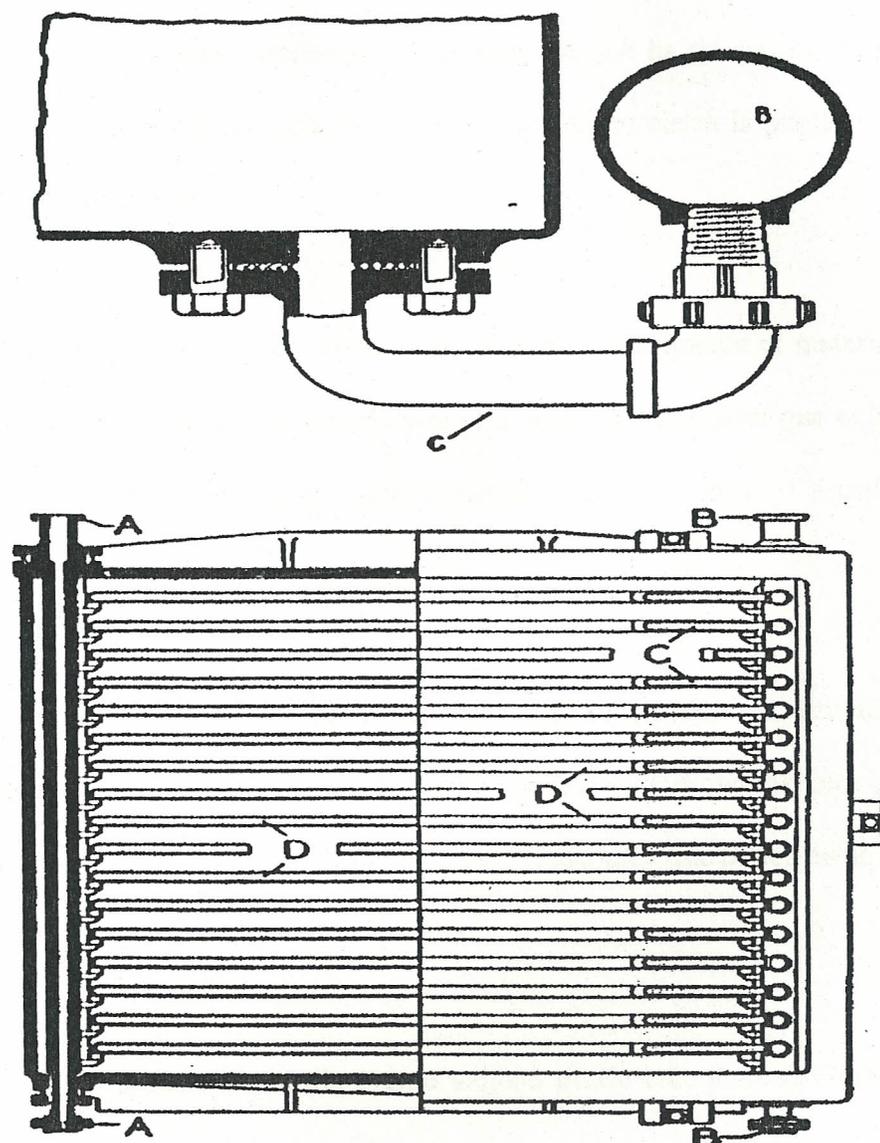


Fig. 11 Secadero de vacío: A, tubería de entrada del vapor de agua; B, tubería de salida del condensado; C, conexiones de las estanterías con las tuberías; D, estanterías.

Uno de estos conductos es para la introducción del vapor y el otro es para extraer el condensado y los gases no condensables, el material que ha de secarse se extiende sobre las bandejas que se colocan sobre las estanterías, se cierra la puerta y se vacía por medio de una bomba.

El vapor de agua que hay en las estanterías calienta gradualmente el material de las bandejas a una temperatura tal que el agua se evapora a la presión que existe en el secadero, el agua se condensa en un condensador colocado entre el secadero y la bomba de vacío.

Estos secaderos se utilizan para secar materiales que no pueden ser sometidos a las altas temperaturas, que se tienen en los secaderos de compartimentos tales como los productos farmacéuticos, también son aptos para materiales que deben estar fuera del contacto del aire o de otros agentes oxidantes.

Si el líquido vaporizado es un disolvente valioso puede recogerse fácilmente en el condensador.

Secado de cloro.

Para entender bien el proceso de secado del cloro gaseoso debemos comenzar por la forma en que se producen cloro y soda.

La salmuera es la materia prima por la cual se obtiene el cloro gaseoso y la soda cáustica, después de algunos pasos en donde se la trata para eliminar impurezas, ésta ingresa a la celda electrolítica de diafragma, debe tener una concentración de 319 gr./lt. equivalente a un 27 % en peso.

La celda electrolítica de diafragma consta de un cátodo de hierro, un ánodo de grafito, un diafragma que es una membrana que sirve para separar el ánodo del cátodo y para que los iones pasen a través de él por migración eléctrica, el electrolito que es la salmuera (ClNa) y una fuente de energía.

Al conectar en la fuente el negativo con el cátodo y el positivo con el ánodo comienzan los iones cloro (Cl^-) a desplazarse hacia el ánodo y los iones sodio (Na^+) viajan hacia el cátodo.

Los iones oxhidrilo (OH^-) permanecen en suspensión cerca del cátodo y al unirse con los iones sodio (Na^+) forman la llamada soda cáustica que se empieza a depositar hacia el fondo del cátodo. Los iones cloro (Cl^-) que se encuentran cerca del ánodo comienzan a ascender y al recogerse forman el cloro gaseoso.

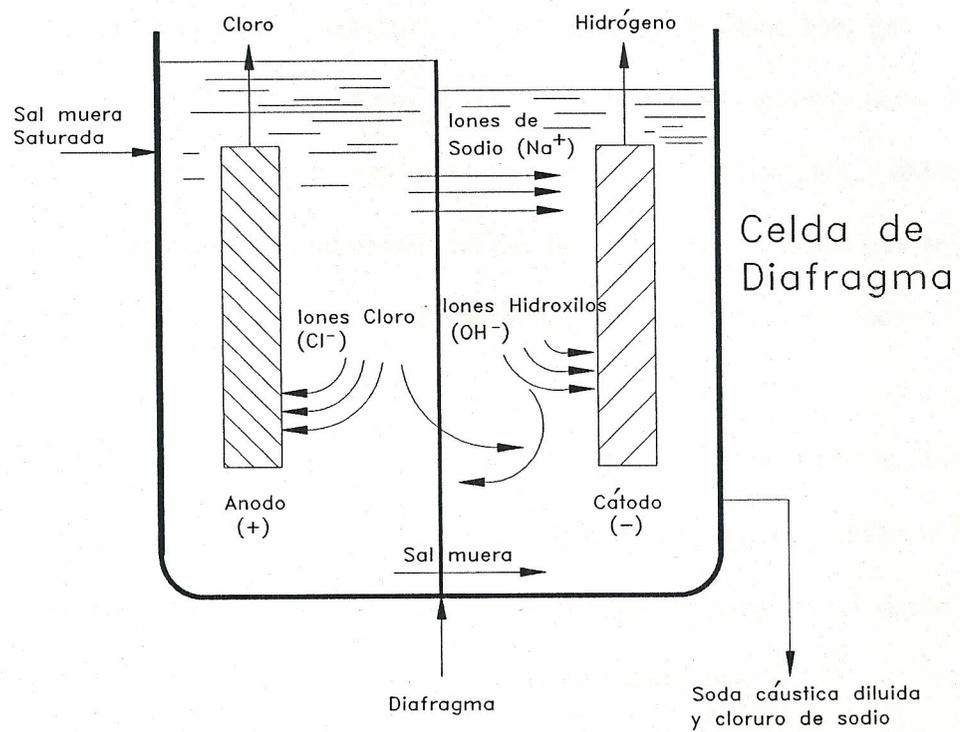


Fig. 12 Esquema de una celda electrolítica de diafragma

El proceso de deshumidificación de cloro consta esencialmente de dos etapas: la de enfriamiento y la torre de ácido sulfúrico o torre de absorción.

Después de obtener el cloro del ánodo de la celda electrolítica, este gas caliente arrastra mucho vapor de agua, primero se enfría para condensar la mayor parte de este vapor y luego se termina de secar en una torre con ácido sulfúrico para extraer los pequeñísimos porcentajes de humedad que quedan. El ácido sulfúrico que se usará debe tener una pureza del 98%, para garantizar un cloro completamente seco.

La etapa de enfriamiento consta de dos partes: la primera es usando una torre de enfriamiento juntamente con un intercambiador de características especiales en la que condensamos gran cantidad de vapor de agua bajando la temperatura desde 80°C hasta unos 30°C más o menos, es decir la temperatura ambiente.

La segunda parte la realizamos con un chiller o sea una unidad de frío que trabajaría con el refrigerante 134A, a una temperatura entre 0° y 2°C. Este equipo también tiene la característica especial de que el intercambiador de calor es construido de titanio, uno de los materiales más resistentes al cloro.

Hasta antes de que el cloro gaseoso pase por la torre de ácido sulfúrico este gas húmedo se lo debe manejar en poliéster, cloruro de polivinilo o en algún material resistente semejante.

Después de que el cloro gas pasa por la torre de absorción, sigue su curso siendo comprimido en la unidad correspondiente a 3.5 atmósferas (51.5 psig). Este gas comprimido tiene que pasar por una torre llamada separador de niebla, puesto que el gas cloro después de pasar por el ácido sulfúrico arrastra los vapores de este soluto, y en esta torre son absorbidos.

Antes de que el gas cloro pase a la etapa de envasado para su posterior distribución y luego del separador de niebla y para que se cumpla completamente la etapa de licuefacción, el cloro debe ser enfriado a una temperatura de 2.2°C.

En la siguiente figura se puede apreciar una diagrama de flujo esquemático del proceso de secado de cloro gaseoso y del almacenamiento de sosa cáustica.

Algo importante que hay que destacar es de que el proceso de secado de cloro no consiste en secar el producto en una sola máquina sino en varios equipos que forman una secuencia operacional que nos permite obtener un buen producto a la vez que se recupera también soda cáustica.



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
E.I.M.C.P.

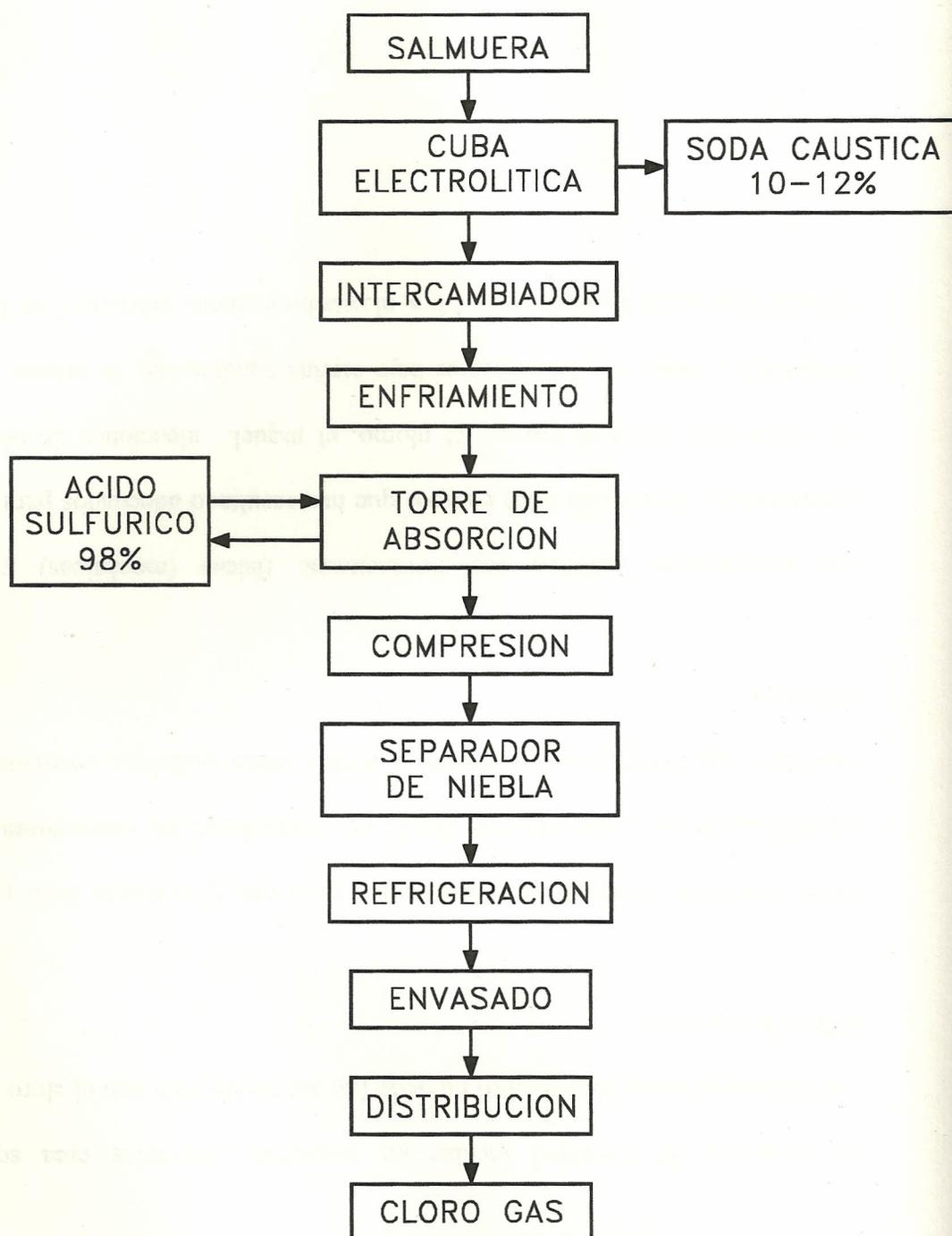


Fig.13 Diagrama de Flujo del proceso de secado del gas cloro y almacenamiento de soda caustica

1.3 CONTROL DE VARIABLES

A la temperatura moderada, ninguno de los dos, el cloro seco (líquido o el gaseoso) ataca a la mayoría de los materiales ingenieriles.

La presencia de humedad incluso en pequeñas cantidades crea severamente condiciones de corrosión, el cloro húmedo (no ser confundido con el cloro líquido) es difícil de manipular.

Antes cualquier material era seleccionado para eso y evaluado bajo condiciones específicas de uso especialmente donde las operaciones de temperatura y presión excedían las condiciones normales o donde otros químicos corrosivos estaban presentes.

Las evaluaciones incluían dos limitaciones: físicas (mecánicas) y químicas (resistencias), algunos de estos equipos que han resultado adecuados para el servicio del cloro tales como el bronce, el plomo, el níquel, aleaciones de níquel, acero inoxidable y plata son convenientes bajo ciertas condiciones, lo mismo que los no metales tales como los cerámicos, fibra, el caucho y ciertos plásticos (ver Tabla V).

Cloro seco (gas y líquido).

El acero común de bajo carbono (1/2", mínimo de medida de tubería nominal), es el material preferido para manejar cloro seco sobre los 350 °F (176.7°C).

Los aceros inoxidable son recomendados para manejar cloro seco (tipo 304, 316, 317) a altas temperaturas (cerca de los 600°F) = (315.5°C).

Existen materiales de construcción de acero común convenientes para manejar cloro seco a temperaturas de 300°F (148.9°C).

Los materiales de construcción de cobre que a menudo dan un servicio satisfactorio a las temperaturas sobre los 400 °F (204.4°C) son presentados en la Tabla IV.

TABLA IV. MATERIALES DE CONSTRUCCION DE COBRE

ADECUADOS PARA CLORO SECO A PRESIONES

DE HASTA 300 PSIG Y TEMPERATURAS

DESDE -20°F HASTA +300°F. ⁽¹³⁾

EQUIPO	DIMENSION	DESCRIPCION
Tubo de cobre	3/16" a 3/4" Dia.ext.	Tubo de cobre dúctil sin costura 3/16" d.e. mínimo de esp. 0.032" 1/4" a 1/2" d.e. mín.esp. 0.035" 5/8" a 3/4" d.e. mín.esp. 0.049"
	1/4" a 1/2" (nominal)	Tubo de cobre tipo K, dúctil norma ASTM-b88. (El d.e. del tubo tipo K es más largo que la medida nominal).

¹³ Tomado de: SCONCE, J.S., Chlorine, its manufacture, properties and uses, Robert E. Krieger Publishing Company, 1972.

TABLA V. GUIA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA SERVICIO DEL CLORO AL LIMITE DE LA TEMPERATURA INDICADA APROXIMADA ⁽¹³⁾

Material	Cloro Seco	Cloro Gaseoso Húmedo	Usos
Acero al carbono	300°F	inadecuado	tubería, accesorios, válvulas, envases y tubos.
Aceros Inoxidables (304,316,317)	600°F	inadecuado	tubería, accesorios, válvulas, envases y torres.
Hierro – alto silicio Durion Durichlor	300°F 300°F	inadecuado 100°F(Durichlor con 3% Mo.)	tubería, accesorios, válvulas, partes de válvulas, bombas, partes de bombas.
Tantalio	300°F	300°F	equipo de transf. de calor, partes especiales, diafragmas.
Titanio	inadecuado	200°F	tubería, accesorios, partes de válvulas, equipos de transf. de calor
Aleación Níquel-Molibdeno: Hastelloy C	1000°F	100°F	válvulas, partes de válvulas, bombas, partes de bombas.
Chlorimet 3	1000°F	200°F	válvulas, partes de válvulas, bombas, partes de bombas.
Níquel y aleaciones:			
Níquel	1000°F	inadecuado	tubería, accesorios, válvulas, partes de válvulas, envases y torres, equipos de transf. de calor.

¹³ Tomado de: SCONCE, J.S., Chlorine, its manufacture, properties and uses, Robert E. Krieger Publishing Company, 1972.

TABLA V. (CONTINUACION)

Monel	800°F	inadecuado	tubería, accesorios, válvulas, partes de válvulas, envases y torres, equipos de transf. de calor.
Inconel	1000°F	inadecuado	envases y torres,
Plomo	200°F	200°F (adecuado)	envases y torres, material de revestimiento para empaquetaduras.
Cobre y aleaciones: (cobre, bronce rojo bronce fosfórico)	400°F	inadecuado	tubería, accesorios, partes de válvulas, equipos de t. calor
Plata	200°F	100°F	partes especiales
Platino	600°F	200°F	diafragmas, partes especiales.
Vidrio	200°-300°F	200°F	tubería, accesorios, válvulas, torres empacadas, equipos de transf. de calor.
Acero revestido con vidrio	400°-600°F	200°F	tubería, accesorios, válvulas, envases y torres
Cerámicas	200°F	200°F	tubería, accesorios, válvulas, ductos de humo, torres empacadas, envases y torres.
Caucho Endurecido	No recomendado inadecuado para líquidos	150°F	material de revestimiento.
Plásticos:			
Hidrocarburos Combinados con flúor.	150°F	150°F	partes de válvulas, empaques, juntas, material de revestimiento.
Cloruro de Polivinilo	150°F (No recomendado para líquidos)	50°F	tubería, accesorios, ductos de humo, material de revestimiento.
Carbón impermeable	350°F	50°F	tubería, accesorios, ductos de humo, equipos de transf. de calor.

Cloro húmedo.

El cloro húmedo es muy corrosivo para todos los materiales de construcción comunes, el oro, el plomo, las aleaciones de níquel-molibdeno, el platino, la plata, el tantalio y el titanio son resistentes.

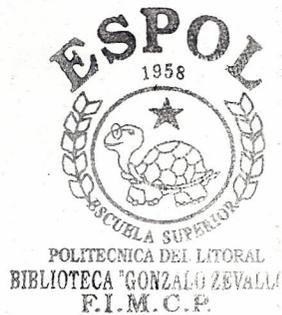
A bajas presiones los materiales no metálicos tales como las cerámicas, las fibras, aceros recubiertos de fibra, el caucho duro y algunos plásticos pueden ser empleados.

Para altas temperaturas los metales comunes revestidos con materiales resistentes son los más adecuados (ver Tabla V).

1.4 ENVASADO

Contenedores de cloro.

El cloro es transportado en contenedores de acero de varios diseños los cuales son probados a presión periódicamente como requisitos de los organismos de control equipados con uno o más dispositivos de seguridad (dependiendo del tipo de contenedor).



Contenedores de cilindros y toneladas.

Construcción.- Los cilindros de cloro son de construcción sin costura y tienen una capacidad de unas 150 lbs., predominan aquellos de 100 y 150 lbs.

La única abertura permitida en los cilindros es la válvula de conexión en la parte superior, las dimensiones y pesos aproximados de los cilindros comunes son presentados en la Tabla VI.

La mayoría de los cilindros son equipados con las válvulas estándares del Instituto del Cloro, la válvula tiene un tapón fusible que funciona como un dispositivo de seguridad diseñado para soportar una temperatura de hasta 165 °F (73.9 °C) localizado bajo el asiento de la válvula para permitir la ventilación del cilindro en caso de presión excesiva en el interior como resultado del fuego u otra alta temperatura, situaciones donde se incrementa la presión .

Los contenedores de tonelada son de construcción soldada y tienen un peso cargado o con carga de 2002 lbs. Las dimensiones de los pesos aproximados de los contenedores de tonelada de cloro son presentados en la Tabla VI.

IV

**TABLA VI. DIMENSIONES Y PESOS DE CILINDROS Y
CONTENEDORES DE TONELADA ⁽¹³⁾**

Capacidad (lb.)	Tipo de peso -	Envase Vacío (lb.)	Diámetro exterior (pulg.)	Largo o altura Total (pulg.)
100	Pesado	80-115	8 ¼ - 8 ½	53-59
100	Liviano	63-79	8 ¼ - 8 ½	53-55
100	Pesado	95-105	10 ½ - 10 ¾	40-43
100	Liviano	63-76	10 ½ - 10 ¾	39 ½-43
105	Pesado	85	10 ¼ - 10 ½	41 ½
105	Liviano	72-77	10 ¼ - 10 ½	40-41
105	Liviano	72-77	8 ¼ - 8 ½	57-58
105	Pesado	120-140	10 ½ - 10 ¾	53-56
150	Liviano	85-105	10 ¼ - 10 ¾	53-56
2000	-	1300-1650	30	79 ¾ - 82 ½

¹³ Tomado de: SCONCE, J.S., Chlorine, its manufacture, properties and uses, Robert E. Krieger Publishing Company, 1972.

La mayoría de los contenedores de tonelada tienen 6 tapones de seguridad a manera de fusibles, estos están diseñados para fundirse o resistir una temperatura igual a la de los cilindros y tienen el mismo propósito.

Las válvulas en los contenedores de tonelada y los cilindros están protegidos por una cubierta que debería permanecer siempre en su lugar excepto durante la evacuación del cloro.

Los contenedores de tonelada y cilindros sean vacíos o llenos deberían ser almacenados en un área seca bien ventilada protegidos de calores externos como líneas de vapor, las áreas de almacenamiento resistentes al fuego son recomendadas y las áreas que son bajo la superficie deberían ser evitadas.

Las unidades vacías y llenas requieren espacio de almacenamiento separados, las áreas de almacenamiento deberían estar lejos de elevadores, pasos libres, pasarelas o sistemas de ventilación, porque en el caso de una fuga de cloro las concentraciones peligrosas de cloro pueden propagarse rápidamente.

En la siguiente figura se puede apreciar el almacenamiento de cilindros de gas cloro en un galpón abierto.

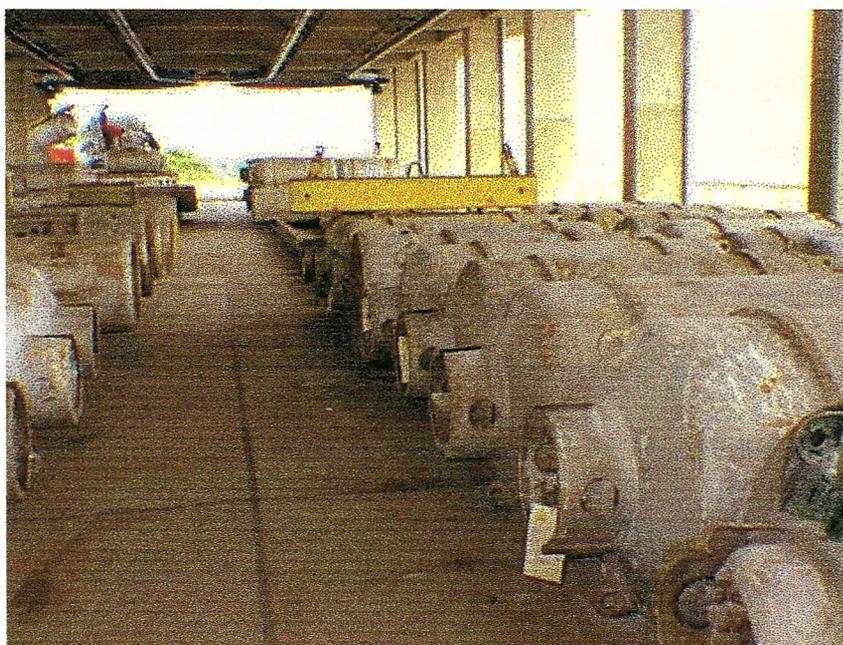


Fig. 14 Almacenamiento de cilindros con gas cloro en un galpón abierto.

CAPITULO II

2. PERFIL INDUSTRIAL

2.1 CAPACIDAD REQUERIDA

En este proyecto se ha planteado la necesidad de producir lo que actualmente nuestro país está importando es decir 150 toneladas de cloro y también se obtendrían 170.6 toneladas de sosa cáustica con una concentración de 10 – 12%, aunque lo que se importa de cáustico en el país es mucho mayor a lo que se produciría inicialmente con la nueva planta electrolítica de cloro-soda, algo muy importante a considerar es la visión que se ha planteado en este trabajo cual es la de proveer durante algunos años más para poder abastecer de lejía de sosa y cloro líquido nuestro mercado. Por eso algunos cálculos están dimensionados para cubrir una demanda de unos 10 años aproximadamente.

2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Nuestra planta (proceso de secado de cloro solamente) se estima que ocuparía un área de 1000 m^2 , en un terreno de más o menos 25m x 40m que incluye la cuba electrolítica, los tanques de almacenamiento de sosa, el intercambiador y las unidades de enfriamiento, la sección de la torre de absorción con ácido sulfúrico con sus tanques de reposición del ácido y tanques para recolección de ácido gastado, la sección donde se encontrará el compresor con su tambor de expansión para purgar el



gas de los vapores del ácido, la torre o separador de niebla para terminar de extraer los vapores del ácido debido a que estos vapores son muy tóxicos y deben ser eliminados por completo y también la sección de envasado del cloro y la sosa cáustica.

2.2.1 ETAPAS DE ENFRIAMIENTO

Torre de Enfriamiento

El enfriamiento por evaporación es el más práctico método para cantidades medianas y grandes de agua y temperatura bajas. Normalmente la elección de un equipo, en este caso la torre de enfriamiento, requiere de varios elementos que si son tomados muy en cuenta difícilmente se corre el riesgo de cometer errores.

El funcionamiento de este tipo de torre es así:

El agua proveniente del proceso entra en la torre en forma de lluvia, que origina un sistema de rociadores, el líquido cae por la fuerza de la gravedad sobre el relleno que está constituido por placas estampadas en contacto una con otra formando un "panel de abejas", el agua rociada pasa a través de este último en forma de una fina película. Un ventilador de aspiración origina una fuerte corriente ascendente de aire en contracorriente con el agua, lo que produce una evaporación parcial, el calor necesario para producir dicha evaporación se

absorbe del agua circulante, que en consecuencia reduce la temperatura. El tipo de torre que se ha escogido es de tiro mecánico inducido.

Cálculo y selección de la torre de enfriamiento

Para seleccionar la torre de enfriamiento debemos saber que la temperatura de diseño del bulbo húmedo de Guayaquil es de 80°F (26.67°C) y que la temperatura de salida del agua de la torre nunca puede ser menor que el bulbo húmedo. Además necesitamos conocer el flujo de agua que va a ser enfriada en gpm, la temperatura deseada del agua a la salida de la torre, y la temperatura del bulbo húmedo de acuerdo al medio donde va a estar la torre.

Datos:

$$Q = 88.08 \text{ gpm}$$

$$\text{Temp. agua entrada} = 126^{\circ}\text{F} = 52.2^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temp. agua salida} = 86.6^{\circ}\text{F} = 30.3^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ w.b. de Guayaquil} = 80^{\circ}\text{F} = 26.67^{\circ}\text{C}$$

Método de selección

1. Determinación del rango de temperatura

$$\text{Rango} = \text{temp. de agua a la entrada} - \text{temp. de agua deseada}$$

$$= 126^{\circ}\text{F} - 86.6^{\circ}\text{F} = 40^{\circ}\text{F}$$

2. Determinación de la aproximación entre la temp. del agua y b.h.

Aproximación = temp. del agua deseada – temp. bulbo húmedo

$$= 86.6^{\circ} \text{ F} - 80^{\circ} \text{ F} = 6.6^{\circ} \text{ F}$$

3. Cálculo de la carga en toneladas nominales

$$\begin{aligned} \text{Carga} &= \frac{\text{razón del flujo (gpm)} \times \text{Rango } (^{\circ} \text{ F}) \times 500}{15000 \text{ Btu / ton}} \\ &= \frac{88.08 \text{ gpm} \times 40 \times 500}{15000} \\ &= 117.4 \text{ ton. nominales} \end{aligned}$$



4. Determinación del factor de capacidad (F.C.)

Ingresamos a la tabla del bulbo húmedo con un valor de 80° F , rango de 40° F

y con una aproximación de 6.6° F nos da un F.C. de 0.46

5. Determinación de la carga corregida (CC)

$$\text{CC} = \text{carga nominal} \times \text{F.C.} = 117.4 \times 0.46 = 53.82 \text{ ton. corregidas}$$

6. Selección de la torre de enfriamiento del catálogo EVAPCO, ingresando

con los datos de flujo vs. Tonelada corregida nos da:

Modelo seleccionado: AT 4-76A

Potencia del ventilador (HP): 3

Flujo de aire (CFM):	12800
Peso en operación:	2570 lbs.
Carga corregida:	53.82 toneladas

Las tablas en las cuales seleccionamos la torre de enfriamiento las encontramos en la sección anexos (A1, A2, A3).

Cálculo de la carga de calor de la torre de enfriamiento.

Realizamos el cálculo de la torre puesto que necesitamos enfriar el cloro en su primera etapa, en la que bajaremos la temperatura desde 55° C hasta 30°C en un intercambiador de tubos de titanio. Luego hacemos el cálculo del flujo de agua que debe manejar la torre para seleccionar la bomba.

Los datos en los que nos basamos para hacer los cálculos son:

$$m = 88.08 \text{ gpm} = 5.56 \text{ m}^3/\text{hr.} = 5.560 \text{ kg/hr}$$

$$C_p = 1 \text{ Kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 55^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (55^\circ - 30^\circ) = 25^\circ\text{C}$$

Ahora utilizamos la siguiente fórmula para saber la cantidad de energía de calor,

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

Donde:

m = flujo másico

C_p = calor específico del agua

ΔT = diferencial de temperatura

Por lo tanto:

$$Q = (5.560 \text{ kg./hr.}) (1 \text{ Kcal / kg. } ^\circ\text{C}) (25^\circ\text{C})$$

$$Q = 139 \text{ Kcal/hr}$$

$$139 \text{ Kcal/hr} \times \frac{3.968 \text{ BTU}}{1 \text{ Kcal}} = 551.5 \text{ BTU / hr.}$$

Este valor representa la carga de calor que disiparía la torre de enfriamiento.

Estas torres requieren una continua aportación de agua, esto es debido a la constante evaporación del agua a enfriar, en adición a esta evaporación, siempre existe un arrastre de gotas de agua, finalmente una cantidad de agua debe purgarse, a fin de evitar concentraciones anormales de sales.

La tabla VII muestra los galones por minuto necesarios para mantener las concentraciones de sales, lo cual es función de la carga calorífica de la torre.

La tabla VIII muestra la capacidad de la válvula de flotador para la entrada de agua de reposición.

TABLA VII. REPOSICION DE AGUA NECESARIA
(GALONES / MINUTO)

FLUJO EN LA TORRE (G.P.M.)	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA (°F)					
	5	10	15	20	30	40
200	2	3	4	5	8	10
400	3	5	8	10	15	20
600	4	8	12	15	23	30

TABLA VIII. CAPACIDAD DE LA VALVULA DE FLOTADOR
(GALONES / MINUTO)

Presión antes de la válvula (Kg/cm ²)	Válvula 25 mm	Válvula 50 mm
0.7	45	115
1.4	64	160
2.1	78	195
2.8	90	225
3.5	100	245

De acuerdo a la tabla VII necesitamos de 10 galones por minuto de agua de reposición, según esto se seleccionó una válvula de flotador de 25 mm.

Cálculo del equipo de bombeo para el agua de reposición

De acuerdo al agua de reposición que es de 10 gpm, calculamos luego la altura dinámica total que comprende las pérdidas en la tubería y accesorios, calculando la distancia desde la cisterna hasta la torre de enfriamiento:

Longitud de tubería (50mm): 98 mt. = 321.44 pies

Pérdidas en tubería: $321.44 \text{ pies} \times \frac{15}{100} = 48.21 \text{ pies}$

Dos codos (50mm) x 90°: 5 pies

Una válvula de compuerta (50mm): 3 pies

Una válvula cheque (50mm): 3 pies

Altura Dinámica Total = 59.2 pies

En el anexo A4 escogemos la bomba con las siguientes características:

Bomba BERKELEY de hierro fundido carcasa e impeller

Modelo: B1½TPLS con sello mecánico de Buna

Potencia: 2 HP - 3F

3500 RPM - 60 HZ

SUCCION: 1 ½"

DESCARGA: 2"

Diseño de tubería del Agua de la Torre.

Para servicios de agua se recomiendan velocidades de 1 a 6 pies / seg. Para hacer estos cálculos asumimos una velocidad de 4 pies / seg., una temperatura de 30 °C, y una presión de 30 PSI.

Para el diseño calculamos el DI

$$\text{DI tubería} = \sqrt{\frac{(0.409)(\text{gpm})}{\text{velocidad}}}$$

Asumimos un ϕ de 3" y luego lo comprobamos con la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Cantidad de agua descargada, gpm.

A = Area del tubo, pies²

V = Velocidad, pies/seg.

Por lo tanto:

$$A = \frac{\pi(d^2 / 4)}{144} = 0.04908 \text{ pies}^2 \quad 1 \text{ pie}^3 = 7.48 \text{ gal.}$$

$$0.04908 \times 7.48 = 0.367 \text{ gal/pie}$$

$$Q = A \times V = (0.367 \text{ gal/pie}) (4 \text{ pie/seg.}) (60 \text{ seg./1 min.}) =$$

$$Q = 88.08 \text{ gpm.}$$

$$\text{DI tubería} = \sqrt{\frac{(0.409)(88.08)}{4}} = 3 \text{ pulg.}$$

Lo que confirma que se usará una tubería de 3 pulg. Para el servicio de agua del intercambiador a la torre.

Cálculo y selección de la bomba de la torre de enfriamiento

Para seleccionar la bomba necesitamos saber el caudal y la altura dinámica

total: $Q = 88.08 \text{ gpm}$

$$\text{Pérdidas en la tubería: } (32 \text{ m} \times 3.28) \times \frac{10}{100} = 10.5 \text{ pies}$$

Una válvula de compuerta de 76 mm: 6 pies

Cuatro codos de 90° de 76 mm: 16 pies

Altura Dinámica Total: 32.5 pies

Ingresamos a las curvas de BERKELEY en el anexo A4 y encontramos la sgte. bomba de carcasa e impeller de hierro fundido:

Modelo: B1½TPLS con sello mecánico de Buna

Potencia: 3 HP

RPM: 3500

HZ: 60

SUCCION: 2"

DESCARGA: 1 ½"

Intercambiador de calor

Después de calcular y seleccionar la torre de enfriamiento necesitamos cerrar el circuito con un intercambiador de calor que es por donde circularía el cloro gaseoso.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente en cuanto al uso de los tubos adecuados para el intercambiador, las tablas indican que el material más óptimo es el titanio, por su excelente resistencia a la corrosión, debido a que se cubre por oxidación de una tenue y resistente capa que lo protege. Entre las ventajas de su utilización están sus propiedades elásticas excelentes haciendo fácil su expandado, también su buena conductividad térmica ($14.870 \text{ kcal} - \text{cm} / \text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}$), 10.6 veces la del acero inoxidable 316 ($1.390 \text{ kcal} - \text{cm} / \text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}$), mejorando la capacidad de transferencia de calor del intercambiador.

Características del intercambiador:

Número de tubos	64
Area total de transferencia de calor (m^2)	20
Número de pasos	2
Longitud de los tubos (m)	5.4
Diámetro interior de los tubos (mm)	18.1
Diámetro exterior de los tubos (mm)	19



Cálculo del Chiller

Para calcular la unidad de frío tenemos los sgtes. datos:

$$m = 694.4 \text{ Kg. /hr.}$$

$$C_{pcl} = 0.481 \text{ Kjoule/kg. } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 35^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (35^\circ - 0^\circ) = 35^\circ\text{C} = 35^\circ\text{K}$$

Usamos la misma fórmula que se utilizó para el cálculo de la Torre:

$$Q = m \times C_{pcl} \times \Delta T$$

$$Q = (695 \text{ kg./ hr.}) (0.481 \text{ Kjoule / kg. } ^\circ\text{K}) (35^\circ\text{K})$$

$$Q = 11700.32 \text{ Kjoule.} = 11'700320 \text{ Joule}$$

$$11'700320 \text{ J} \times \frac{1 \text{ Kcal}}{4186 \text{ J}} \times \frac{3.968 \text{ BTU}}{1 \text{ Kcal}} = 11901 \text{ BTU / hr.}$$

Multiplicamos por un factor de seguridad de 1.3 y esto nos da un valor de 15471.3 BTU / hr. Es decir necesitamos un chiller (unidad de frío) de 1 ½ toneladas de capacidad ya que 1 ton de capacidad = 12000 BTU/hr, para la segunda etapa del enfriamiento.

Ubicamos la tabla de selección de las unidades de frío (condensadores y evaporadores) para elegir el equipo que necesitamos de los que existen en el mercado.

Con el dato de la temperatura del gas a la entrada del condensador que es de 28°C ingresamos en la tabla de selección que encontramos en el anexo A7.

Obtenemos el siguiente equipo:

Modelo: HS23-211 con la unidad evaporadora CR18-21

Temperatura entrada gas: 28°C

Temperatura salida gas: 13°C

Capacidad total de enfriamiento: 19400 BTU/Hr = 5.7 KW

Volumen total de aire: 550 CFM.

Refrigerante: 134A

Este mismo cálculo se repite para la etapa de licuefacción de cloro.

2.2.2 ETAPA DE SECADO (TORRE DE ACIDO SULFURICO)

La torre de ácido sulfúrico es el equipo donde se absorberá la cantidad remanente de humedad, para garantizar una sequedad completa del gas.

La absorción de gases es una operación unitaria en la cual se disuelven en un líquido uno ó más componentes solubles de una mezcla de gases.

La absorción puede ser un fenómeno puramente físico o incluir la disolución del material en el líquido, seguida por una reacción con uno ó más constituyentes en la solución líquida. Para este caso es un fenómeno físico solamente, debido a que no hay reacción química.

El equipo utilizado para los contactos directos entre una vapor y un líquido puede ser una torre llena con material sólido empacado, una torre vacía a cuyo interior se rocía el líquido y por la que fluye el gas, o una torre que contiene cierto número de platos del tipo de gorra de burbujeo o tamiz.

En general, las corrientes de gas y líquido fluyen en sentido contrario una de la otra, para obtener el mayor gradiente de concentración y, por tanto, la rapidez más alta de absorción.

Debido a que no se diseñará la torre de absorción en esta tesis, se dejará la guía de cual debe ser la razón líquido-gas que debe ocurrir en la torre ó el equilibrio entre el gas soluto y el disolvente, es decir para saber cuánto de

ácido sulfúrico absorberá una cantidad determinada de agua (humedad) del gas cloro.

Datos de equilibrio en la torre de absorción

Para producir 879 Kg. Cl_2 se necesitan 100.5 kg., de ácido sulfúrico (66° Be) con 98 % de pureza.

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Kg. } \text{H}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & X \\ 100.5 \text{ Kg. } \text{H}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & 879 \text{ Kg. } \text{Cl}_2 \text{ }^{(1)} \end{array}$$

$$X = 8.76 \text{ Kg. } \text{Cl}_2$$

⁽¹⁾ Tomado de: George T. Austin, MANUAL DE PROCESOS QUIMICOS EN LA INDUSTRIA, Tomo I, 1989, PG. 282

Cálculo del volumen de ácido sulfúrico que se va a necesitar

Como se va a procesar 150 ton/mes = 150000 Kg./mes entonces significa que vamos a necesitar 17162.5 Kg. por mes de ácido sulfúrico.

$$\begin{array}{rcl}
 1 \text{ Kg. H}_2\text{SO}_4 & \text{-----} & 8.76 \text{ Kg. Cl}_2 \\
 X & \text{-----} & 150000 \text{ Kg./mes} \\
 X = 17162.47 \text{ Kg./mes H}_2\text{SO}_4
 \end{array}$$

En el mercado se puede conseguir un tanque de 55 galones o sea con una capacidad de 374.4 Kg. con 96% de pureza, lo que implica que se necesitarán 45.8 tanques de H₂SO₄.

$$\rho = M / V$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1800 \text{ Kg/m}^3 = 1.8 \text{ gr/cm}^3$$

$$V = 55 \text{ gal} = 0.208 \text{ m}^3$$

$$M = ?$$

$$M = (1.8 \text{ gr/cm}^3) (0.208 \text{ m}^3) (1\text{Kg}/1000\text{gr}) (1000000\text{cm}^3/\text{m}^3) =$$

$$M = 374.4 \text{ Kg.}$$

Se ha considerado los recipientes donde van a estar la materia prima y también cuando se recoja el ácido sulfúrico después que pase por la torre, estos serían tanques de acero inoxidable AISI 316.

Estos recipientes tienen las siguientes dimensiones:

Volumen del tanque de materia prima

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

$$17162 \text{ Kg/mes} \times \frac{\text{m}^3}{1800 \text{ kg.}} = 9.53 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

$$V = L \times (\pi \times r^2)$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$r = 1.5 \text{ m}$$

$$V = 3 \times (\pi \times (1.5)^2)$$

$$V = 21 \text{ m}^3$$

Volumen de los tanques de materia prima gastada

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

$$17162 \text{ Kg/mes} \times \frac{\text{m}^3}{1800 \text{ kg.}} = 9.53 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

$$V = L \times (\pi \times r^2)$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$r = 1.5 \text{ m}$$

$$V = 2 \times (\pi \times (1.5)^2)$$

$$V = 14.14 \text{ m}^3 \text{ multiplicado por 3 tanques} = 42.4 \text{ m}^3$$

Cálculo y selección de la bomba para el ácido sulfúrico

La bomba que se va a seleccionar para el uso del ácido sulfúrico tendrá que ser con los parámetros (caudal y altura dinámica o presión) del ingeniero químico que diseñe la torre, debido a que hay que considerar presiones de salida en la flauta al interior de la torre. Considerando esta situación se procederá a seleccionar la bomba haciendo un estimativo en los requerimientos de la bomba. La bomba que seleccionaremos será una de acero inoxidable AISI 316 de acuerdo con las tablas de GOULDS para fluidos especiales y la encontramos en el anexo A6.

Asumimos un $Q = 25 \text{ GPM}$ y un $\text{TDH} = 75 \text{ PIES} = 32 \text{ PSI}$

Ingresamos a la tabla de curvas de GOULDS para las bombas de acero inoxidable en el anexo A5 y encontramos la sgte. bomba:

Modelo: 1ST2E2D3 con sello mecánico de Vitón

Potencia: 1 HP

RPM: 3500

HZ: 60

SUCCION: 1 ¼ ”

DESCARGA: 1 ”

Después de obtener los datos de equilibrio que deberán darse en la torre se sugerirá el tipo de torre que debería diseñarse para este tipo de proceso. Y la torre que se deberá usar en el proceso de absorción de humedad es la torre del tipo de columna empacada, son hechas de acero recubiertas de caucho o ladrillo, o también recubierta de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Se escoge de este tipo de torre porque generalmente las columnas empacadas se eligen para materiales corrosivos, para una baja caída de presión, para operaciones en pequeña escala o de planta piloto (por ejemplo, de menos de 2 pies de diámetro) ⁽¹⁰⁾ y para líquidos que forman mucha espuma. En las torres empacadas, el tipo de empaque se escoge por su resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, costo, capacidad y eficiencia. El secado puede ser llevado a cabo en una torre que tenga desde 2 a 4 etapas.

⁽¹⁰⁾ Tomado de: R. Perry, BIBLIOTECA DEL INGENIERO QUIMICO, Mc Graw-Hill, 5a. Edición, Vol.4, sección 14.

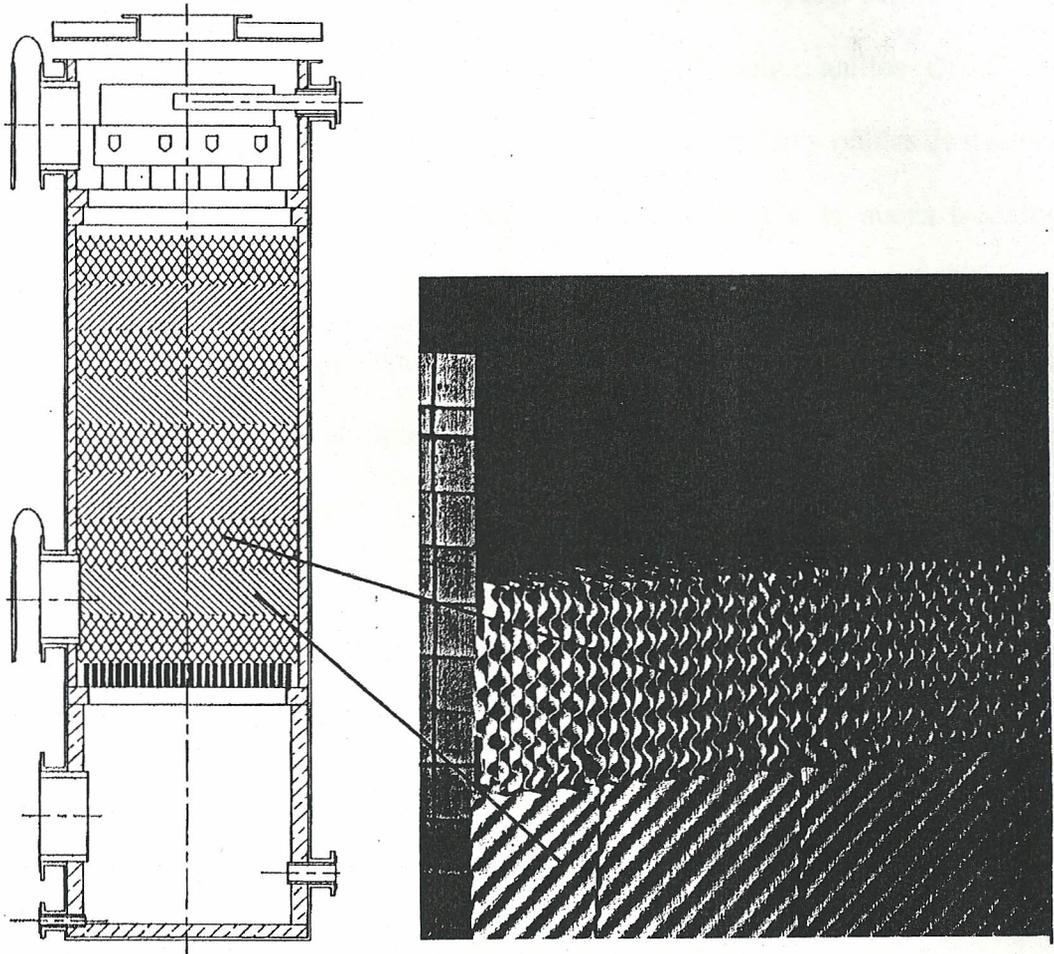


Fig. 15 Torre de Absorción de gases (ácido sulfúrico) ⁽⁵⁾

⁽⁵⁾ Tomado de: KNIGHT DIVISION, KOCH ENGINEERING COMPANY INC, Tower Packing, 1996

Los empaques más económicos y generalmente útiles son los anillos de cerámica o carbón de 1 a 2 pulg. (tamaño de ½ pulg. para columnas de menos de 4 pulg de diámetro), soportes de 1 pulg., anillos de división o en espiral de 3 pulg., baldosas de punto de goteo y rejillas de madera. Otro tipo de empaque que se puede usar aprovechando la nueva tecnología que ofrece la compañía KOCH ENGINEERING COMPANY INC., es la de empaque de cerámica conocido como Flexeramic y una de sus aplicaciones podemos ver en la figura 15 pero todo esto queda a consideración del diseñador de la torre.

2.2.3 ELIMINADORES DE NIEBLA

Después de que el gas cloro es deshumidificado en la torre de absorción de ácido sulfúrico, este gas arrastra vapores del ácido, por lo tanto deberán ser eliminados. Para esta parte del proceso se deberá usar también una torre de relleno con la característica principal de que debe estar equipada para separar vapores de ácido sulfúrico que están circulando juntamente con el gas cloro. El ácido sulfúrico que vaya quedando se lo recoge en un recipiente plástico. El nombre de esta torre es Eliminadores o Separadores de Niebla, y pueden ser del tipo de malla o de fibra. En la figura 16 podemos apreciar este tipo de torre.

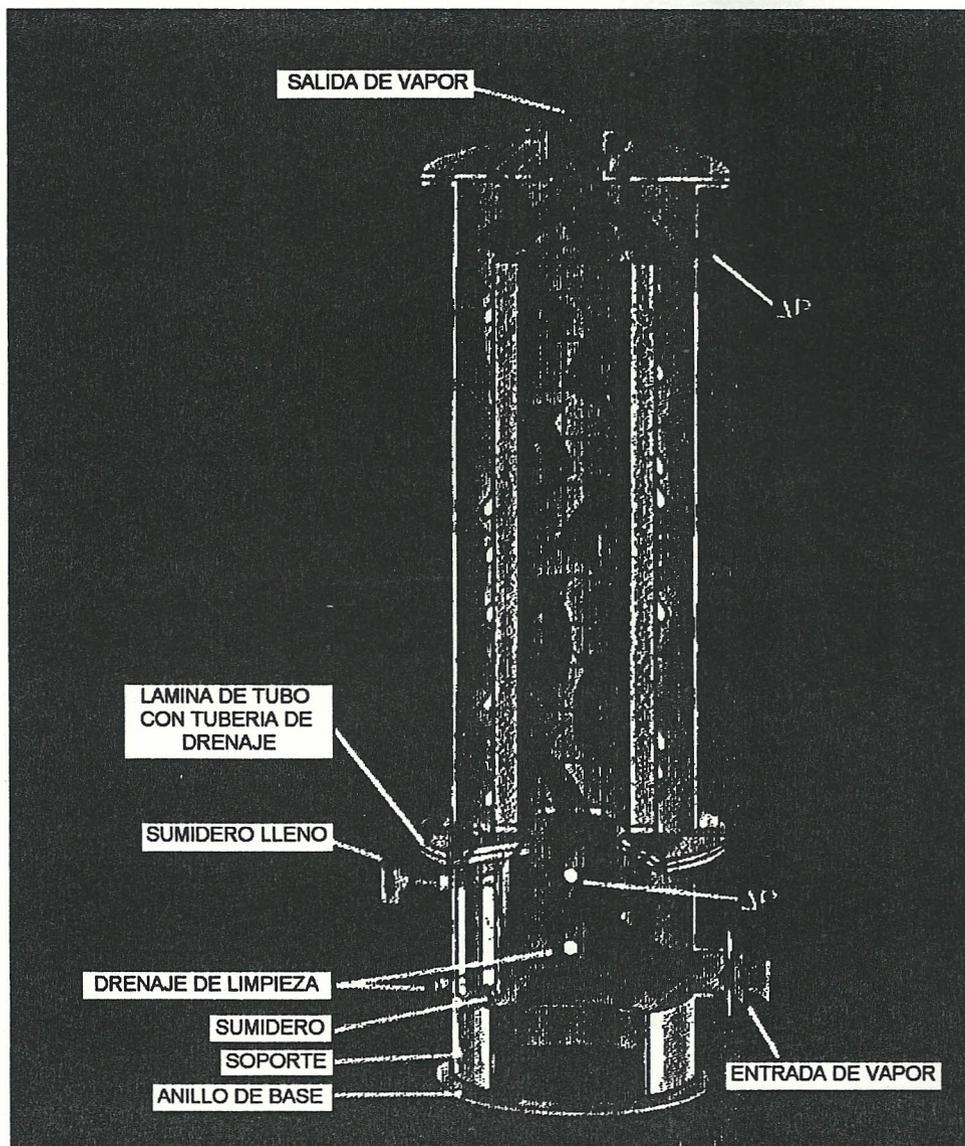


Fig. 16 Torre eliminadora de vapores o separador de nieblas ⁽⁵⁾

⁽⁵⁾ Tomado de: KNIGHT DIVISION, KOCH ENGINEERING COMPANY INC, Tower Packing, 1996

2.2.4 ETAPA DE LICUADO/LICUEFACCIÓN DE CLORO

Se necesita refrigeración en la producción de cloro líquido. El cloro seco se comprime a 3.5 kg./cm^2 (50 PSI) y 28°F (2.2°C). Para lograr la licuación del cloro necesitamos manejar estos dos parámetros en combinación uno con el otro. Al lograr la compresión con el gas cloro efectuamos un cambio de volumen, realizando el enfriamiento del gas comprimido obtenemos un cambio de estado por lo que el gas se licúa pudiendo luego envasarlo.

Cálculo del compresor

El cálculo para saber que tipo de compresor necesitamos lo realizamos dimensionando el equipo para un futuro aumento de la demanda de cloro gaseoso, que con mucho optimismo se avizora debido a los acuerdos que se han dado en esferas gubernamentales para la exploración y explotación del gas en el Golfo de Guayaquil para los próximos años además de un posible aumento de la capacidad de la refinería estatal en Esmeraldas lo que indicaría una mayor demanda de este producto.

Calculamos para procesar $300 \text{ ton/mes} = 6.94 \text{ kg./min}$.

La densidad del aire es 1.2 Kg./m^3 y la densidad del cloro es 2.49 veces la densidad del aire, entonces la densidad del cloro es 2.98 Kg./m^3 .

$$\text{Densidad del cloro} = 2.98 \text{ Kg./m}^3 = 0.0844 \text{ Kg./pie}^3$$

Para obtener los CFM que son las unidades con que se manejan los compresores dividimos la cantidad de cloro que se procesarán al mes en Kg./min. para la densidad del cloro en Kg./ pie³ y esto nos da 82 CFM que nos conduce al sgte compresor de pistón-líquido construido de hierro fundido, con ácido sulfúrico concentrado como líquido sellador: ⁽¹⁾

Modelo: T3020120H

Material de construcción: hierro fundido

Volumen: 88 CFM

Potencia: 20 HP



2.2.5 OBTENCION Y ALMACENAMIENTO DE SODA CAUSTICA

La sosa o soda cáustica que se obtiene de la celda electrolítica de diafragma tiene una concentración del 10 – 12%, se le podría mejorar su pureza haciéndola pasar por evaporadores, se lograría un 50% de concentración, pero en nuestro medio es muy usada la soda al 3 – 4%, es decir la lejía de sosa obtenida mediante la celda electrolítica es comerciable.

Después que la soda sale de la celda electrolítica, es llevada hacia unos recipientes donde es almacenada para luego ser distribuída, estos recipientes son contruidos de acero ASTM A36, y las tuberías por donde se transporta la

⁽¹⁾ Tomado de: George T. Austin, MANUAL DE PROCESOS QUIMICOS EN LA INDUSTRIA, Tomo I, 1989, PG. 282

lejía de sosa es tubería de CPVC (Cloruro de Polivinilo Clorado), así como las válvulas puesto que este material es capaz de resistir temperaturas de hasta 100°C, tal como lo muestra la tabla VIII.

En una cuba electrolítica, la proporción en la que salen el cloro y la soda cáustica son el 46,16% para el cloro gaseoso y el 52,5% para la lejía de sosa.

Cálculo de la obtención de la soda con respecto al cloro

$$1 \text{ Ton. Soda Cáust.} \text{ ----- } 879 \text{ Kg. Cl}_2^{(1)}$$

$$X \text{ ----- } 1 \text{ Ton. Cl}_2$$

$$X = 1.13 \text{ Ton. Soda Cáustica}$$

Con estos datos se quiere decir que si obtenemos 150 ton. de cloro, de lejía de sosa serían 170.6 toneladas.

Procedemos a calcular el volumen de los tanques que almacenarían el cáustico.

$$\rho_{\text{soda}} = 1.1 \text{ gr/cm}^3 = 1100 \text{ kg/m}^3$$

$$170.6 \text{ ton} = 170600 \text{ kg. aprox.}$$

$$170600 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1100 \text{ kg}} = 155 \text{ m}^3$$

⁽¹⁾ Tomado de: George T. Austin, MANUAL DE PROCESOS QUIMICOS EN LA INDUSTRIA, Tomo I, 1989, PG. 28

VOLUMEN (V)

L = altura del tanque

r = radio del tanque

$$V = L \times (\pi \times r^2)$$

$$V = 4 \times (\pi \times (2.5)^2)$$

$$V = 78.54 \text{ m}^3 \quad \text{que multiplicado por 2 nos da } 157 \text{ m}^3$$

Es decir necesitaremos dos tanques de 78.54 m^3 para poder almacenar las 170.6 toneladas de cáustico. El material a emplear es el hierro negro ASTM A36 que iría recubierto con una substancia aislante.

Características del material de protección para los tanques

Los tanques necesitan protegerse contra el ataque químico de la soda cáustica, necesitaremos usar un material de revestimiento que evite la corrosión y el desgaste de los mismos. Este material sería un epóxico resistente a químicos, que ha sido diseñado para la protección de equipos contra la corrosión extrema ocasionada por la exposición a agentes químicos, creando una superficie de baja fricción que dará protección contra la turbulencia y la cavitación.

Este material se puede aplicar para reafirmar placas tubulares, condensadores, bombas, tanques de almacenamiento, áreas de contención de químicos, etc. Algunas de sus ventajas son:

- Protección de superficies contra el fuerte ataque de agentes químicos.
- Su terminado suave protege contra la fricción, turbulencia y cavitación.
- Máxima adhesión – se afirma muy bien a todo su substrato metálico.

Propiedades físicas del epóxico:

Color		Gris
Viscosidad de mezcla	(cps)	9.000
Porcentajes de mezcla	por volumen	2,2 partes de resina por 1 de endurecedor
Resistencia a la compresión	ASTM D-695	10.000 psi
Temperatura máxima de operación		80°C / 176°F
Cobertura del juego de 5,44 kg. (12 lb) 6,8 m ² @ 0,5mm/74 ft ² Grosor de 20 mls		

Area a cubrir de los tanques:

L = altura del tanque

r = radio del tanque

A_T = Area de una tapa de un tanque

$$A_T = (\pi \times r^2) = (\pi \times (2.5)^2) = 19.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Son cuatro tapas} = 78,4 \text{ m}^2$$

A_L = Area lateral de un tanque

$$A_L = (2\pi r) \times L = (2\pi (2.5)) \times 4 = 62,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Son dos áreas de dos tanques} = 125,6 \text{ m}^2$$

Total de las áreas a cubrir con el revestimiento epóxico es 204 m^2

Cálculo y selección de la bomba para soda cáustica

Determinaremos el caudal de acuerdo al volumen de la celda electrolítica y al tiempo en que queremos desalojar el fluido.

Datos de la celda: Altura = $L = 1.5 \text{ mt.}$ Radio = $r = 0.5 \text{ mt.}$

$$\text{Volumen} = L \times (\pi \times r^2)$$

$$V = 1.5 \times (\pi \times (0.5)^2) =$$

$$V = 1.18 \text{ m}^3$$

$$1.18 \text{ m}^3 \times \frac{264.2 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 311.75 \text{ gal}$$

El tiempo en que se quiere desalojar los 311.75 galones es 6 minutos, por lo tanto obtenemos un caudal de 52 gpm.

El cabezal lo determinamos así:

Altura = 5 mt = 16.4 pies

Pérdidas = $20 \times 3.28 \times 5/100 = 3.28$ pies

Cabezal Total = 20 pies

Ingresamos a la tabla de curvas de bombas BERKELEY en el anexo A4 y

obtenemos la sgte. bomba:

Modelo: B1WP con prensaestopa y empaquetadura

Potencia: 3 HP

RPM: 3500

HZ: 60

SUCCION: 1 ½"

DESCARGA: 1"

2.3 SELECCION DE MAQUINARIA E INVENTARIO

El equipo del cual se ha hablado en las secciones anteriores de este capítulo es el necesario para poder procesar este producto. La torre de enfriamiento que se va a necesitar es de capacidad de 53.82 toneladas (3 HP).

Los equipos de frío (chillers) son dos equipos de la misma capacidad (1 ½ ton.), de 1 HP cada uno. Estos chillers serían adquiridos al igual que la torre de enfriamiento, pero la particularidad de los chillers es el evaporador ya que

este intercambiador debe estar construido de titanio o algún otro material y/o aleaciones de las que se ha mencionado anteriormente.

Para hacer una semejanza del equipo de frío que se necesita de acuerdo a la capacidad que requerimos, este sería como el de un aire acondicionado. La torre de ácido sulfúrico y el separador de niebla serían adquiridos a la compañía Koch Engineering Company Inc. El compresor que se usaría en la planta es de 52 PSI y de 80 CFM y sería del tipo de compresora rotatoria de pistón-líquido con ácido sulfúrico concentrado como líquido sellador. Un resumen de todos los equipos y las máquinas que se usarán en la planta lo apreciamos en la Tabla VII.

Es importante recalcar que el material con que se trabajaría en el transporte de cloro gaseoso en la primera parte del proceso (hasta antes de la torre de absorción) es la tubería plástica CPVC (cloruro de polivinilo clorado), porque este material soporta hasta 100 °C según norma ASTM D 1784 y esto se lo puede ver en la Tabla VIII.

El diagrama del proceso de la planta de secado de cloro gaseoso y manejo de soda cáustica y además una vista en perspectiva de la misma podemos apreciar en las figuras 17 y 18 respectivamente.

2.3.1 DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE SECADO DE CLORO

El espacio físico que ocuparían los equipos en la planta de secado de cloro gaseoso darían una área aproximada de 1000 metros cuadrados con las extensiones de 40 x 25 metros.

Es importante recordar que la forma en que están puestos los equipos, no sólo están distribuidos cubriendo el mejor espacio, sino que están puestos de acuerdo a un proceso de optimización de calidad del producto siguiendo una secuencia operacional, de tal manera que haya una producción en línea aprovechando tiempo y espacio.

La figura 19 muestra una vista en planta y la forma como están distribuidos los equipos en la planta de secado de cloro gaseoso, el espacio entre los equipos es usado como corredores y para maniobrabilidad durante las reparaciones del personal de mantenimiento y en la figura 20 apreciamos una vista completa de toda la planta de cloro gaseoso y soda cáustica, incluidos los otros procesos, oficinas, baños, vestidores, taller mecánico, bodegas, etc.

**TABLA IX. INVENTARIO DE EQUIPOS PARA LA
PLANTA DE CLORO GASEOSO**

EQUIPO	CAPACIDAD
TORRE DE ENFRIAMIENTO EVAPCO	3 HP - 53.82 TON - 12800 CFM
DOS UNIDADES DE ENFRIAMIENTO	5.7KW-19.400BTUhr-550 CFM (c/u)
TORRE DE ABSORCION (AC. SULF.)	Hasta 370 Ton./mes
COMPRESOR INGERSOLLRAND	82 CFM - 25 HP - hasta 125 PSI
ELIMINADOR DE NIEBLA ACIDA	Hasta 370 Ton./mes
BOMBAS BERKELEY PARA AGUA	5 HP - 3F - 88 gpm - 100 pies
BOMBAS BERKELEY PARA SODA C.	3 HP - 3F - 52 gpm - 20 pies
BOMBA GOULDS PARA AC. SULF.	1 HP - 1F - 25 gpm - 75 pies



**TABLA X. SISTEMAS DE TUBERIAS PLASTICAS PARA
SERVICIO SOLAMENTE DE CLORO GAS ⁽¹⁶⁾**

PLASTICO	PRESION	TEMPERATURA MAXIMA	USOS COMUNES	COMENTARIO
Cloruro de Polivinilo (ASTMD1784) PVC	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	130°F (54°C)	Tubería, Accesorios de tubos Accesorios de válvulas, Partes de válvulas.	NO RECOMENDABLE
Cloruro de Polivinilo Clorado (ASTMD1784) CPVC	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	212°F (100°C)	Tubería, Accesorios de tubos Partes de válvulas.	RECOMENDABLE
Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ASTM D3965) ABS	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	150°F(66°C)	Tubería, Accesorios de tubos Accesorios de válvulas, Partes de válvulas.	NO RECOMENDABLE
Polyéster re-Forzado con Fibra de vidrio FRP	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	212°F (100°C)	Cubiertas de las Celdas, canales.	RECOMENDABLE
Polietileno (ASTM 3350) PE	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	130°F(54°C)	Tubería, Partes de válvulas.	NO RECOMENDABLE
Polipropileno PP	Vacío a 6 PSIG (41 kPa) máximo	130°F(54°C)	Tubería, Partes de válvulas.	NO RECOMENDABLE

⁽¹⁶⁾ Tomado de: THE CHLORINE INSTITUTE INC., Piping Systems for Dry Chlorine, Edition 13, April 1993, p 42.

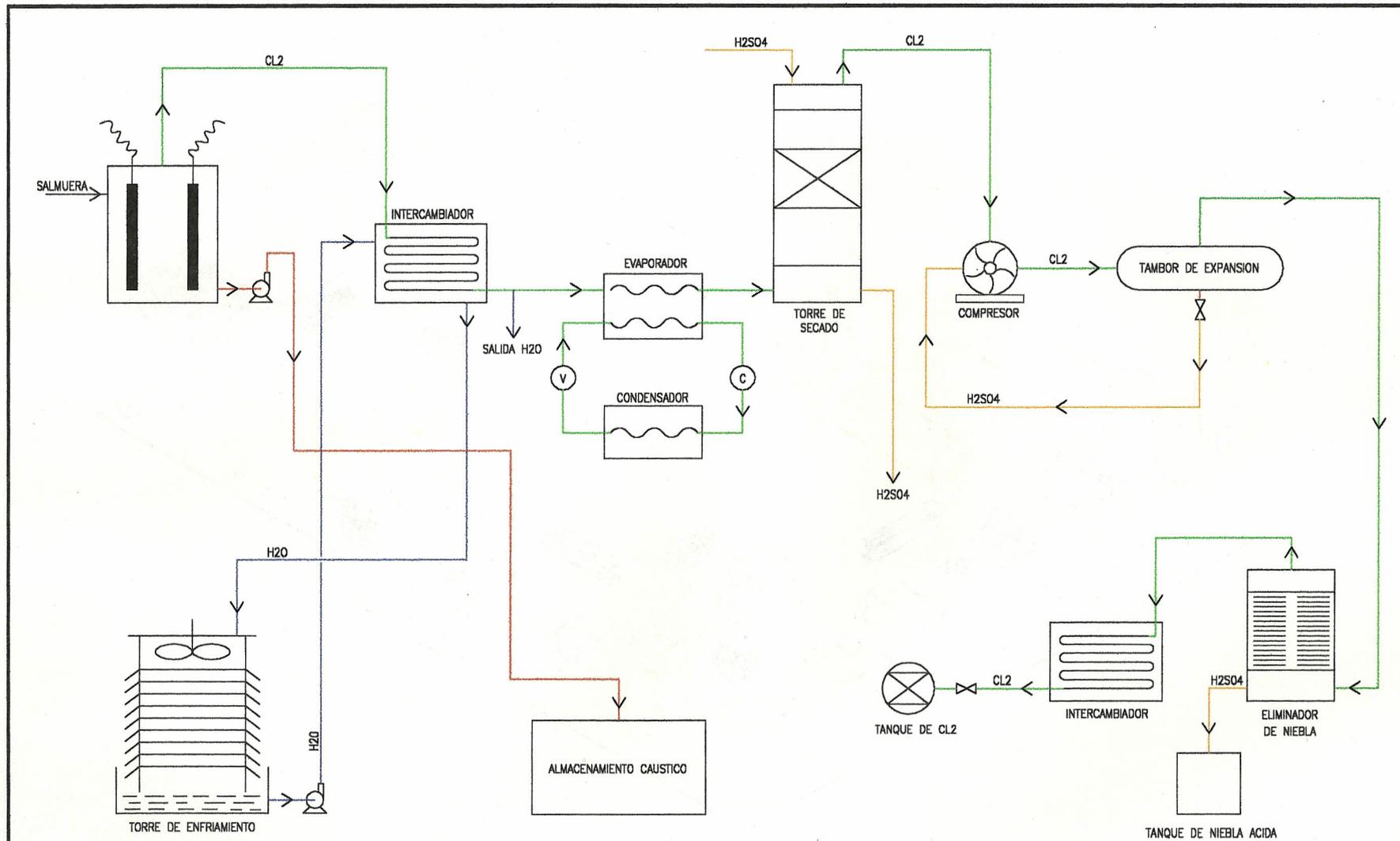
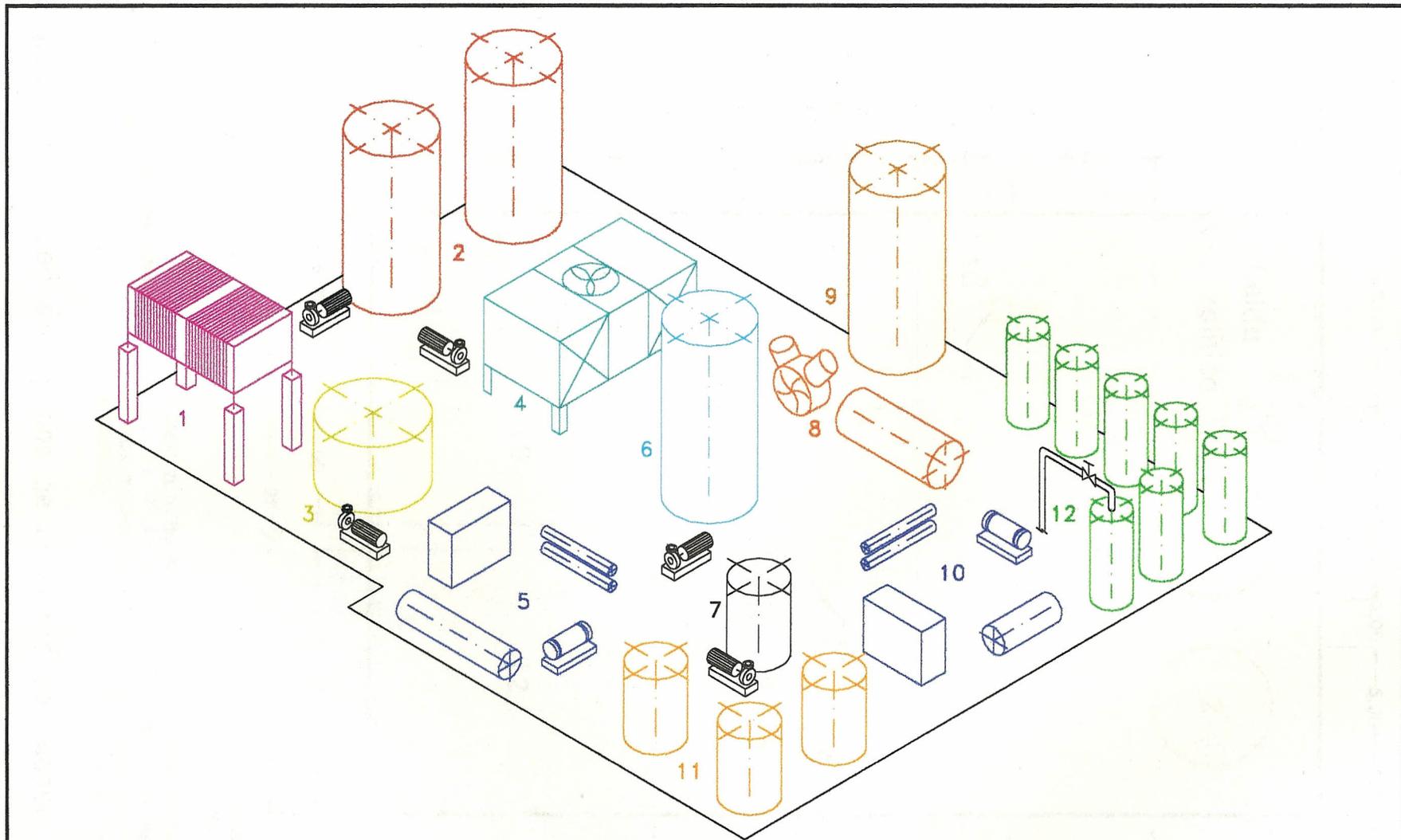


Fig.17 Diagrama de proceso de la Planta de Soda Caústica y Secado de Cloro Gaseoso



- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1. CUBA ELECTROLITICA | 4. TORRE DE ENFRIAMIENTO | 7. TANQUE DE ACIDO SULFURICO | 10. UNIDAD DE ENFRIAMIENTO |
| 2. TANQUES ALMAC. SODA CAUSTICA | 5. UNIDAD DE ENFRIAMIENTO | 8. COMPRESOR | 11. TQ. ACIDO SULFURICO GASTADO |
| 3. INTERCAMBIADOR | 6. TORRE DE ABSORCION | 9. SEPARADOR DE NIEBLA | 12. ENVASADO DE CLORO |

Fig.18 Perspectiva de la Planta de Cloro - Soda

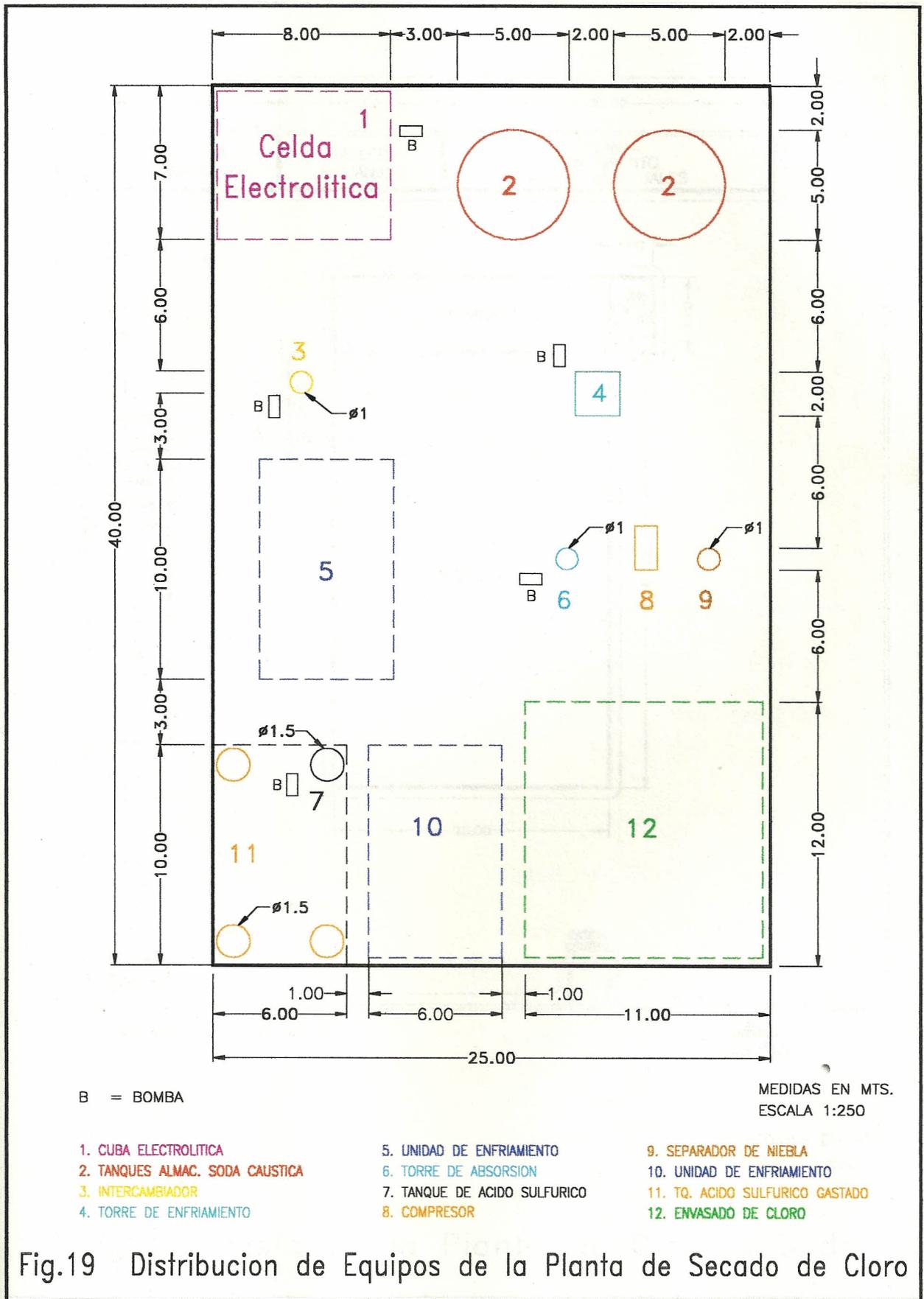


Fig.19 Distribucion de Equipos de la Planta de Secado de Cloro

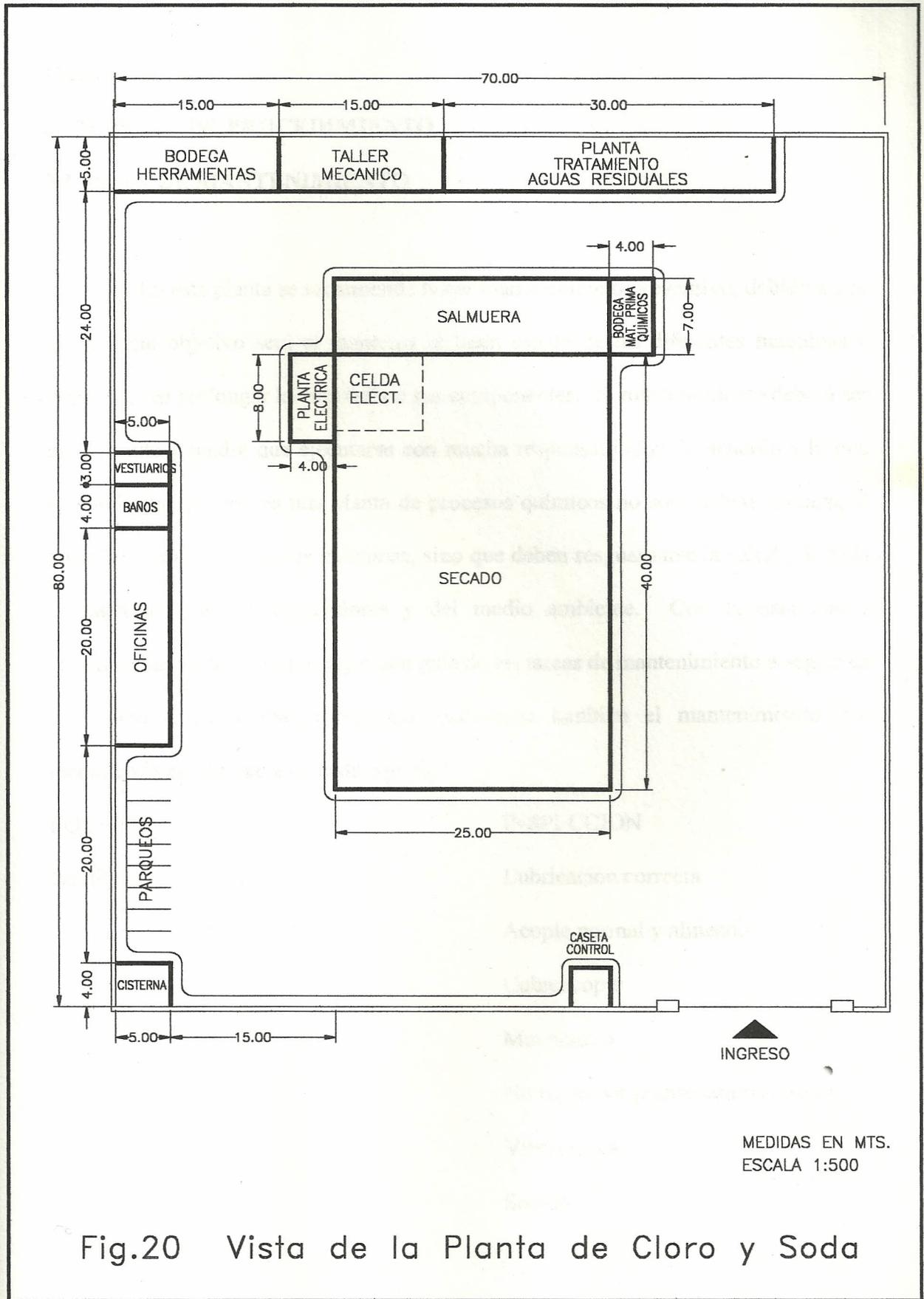


Fig.20 Vista de la Planta de Cloro y Soda

CAPITULO III

3. MANUAL DE PROCEDIMIENTO

3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO

En esta planta se recomienda hacer mantenimiento preventivo, debido a que el principal objetivo será el mantener el buen estado de las diferentes máquinas y equipos y así prolongar la vida útil de sus componentes. El mantenimiento deberá ser programado y tendrá que ejecutarse con mucha responsabilidad de acuerdo a lo que se planifique, porque en una planta de procesos químicos no solo deben vigilarse el buen funcionamiento de las máquinas, sino que deben resguardarse la salud y la vida de cada uno de los trabajadores y del medio ambiente. Con la lista que a continuación se da se quiere dejar una guía de las tareas de mantenimiento a seguir en el programa, sin embargo hay que considerar también el mantenimiento que recomienda el fabricante de cada equipo.

EQUIPOS

Bombas

INSPECCION

Lubricación correcta

Acople normal y alineado

Cubreacople

Manómetro

No fugas por prensa-estopa o sello

Vibraciones

Sonidos

Intercambiador	Instrumentación completa y funcionando Sonidos Vibraciones
Compresores, Unidades de Frío y Torre de enfriamiento	Sonidos Vibraciones Instrumentación completa y funcionando
Torre de absorción de ácido sulfúrico	No fugas por cuerpo o conexiones Instrumentación completa y funcionando Limpieza
Torre eliminadora de niebla	No fugas por cuerpo o conexiones Instrumentación completa y funcionando Limpieza

En la Tabla XI se puede observar las frecuencias de inspección de cada uno de los equipos, sus partes y elementos auxiliares de la planta.

TABLA XI. MANTENIMIENTO PLANEADO PARA EQUIPOS

EQUIPOS	DESCRIPCION	FRECUENCIA - INSPECCION		
		DIARIO	MENSUAL	ANUAL
BOMBAS	Lubricación correcta	X	X	X
	Acople normal - alineado	X	X	X
	Cubreacople	X	X	X
	Manómetro	X	X	X
	Prensa estopa o sello	X	X	X
	Vibraciones	X	X	X
	Sonidos	X	X	X
INTERCAMBIADOR	Instrumentación completa y funcionando	X	X	X
	Sonidos	X	X	X
	Vibraciones	X	X	X
	Limpieza	X	X	X
COMPRESOR	Instrumentación completa y funcionando	X	X	X
	Sonidos	X	X	X
	Vibraciones	X	X	X
	Limpieza	X	X	X
UNIDADES DE FRIO COMP. Y TORRE DE ENFRIAMIENTO	Instrumentación completa y funcionando	X	X	X
	Sonidos	X	X	X
	Vibraciones	X	X	X
	Limpieza	X	X	X
TORRE ABSORCION ACIDO SULFURICO	Revisar fugas en cuerpo y conexiones	X	X	X
	Instrumentación completa y funcionando	X	X	X
	Limpieza	X	X	X
TORRE SEPARADOR DE NIEBLA	Revisar fugas en cuerpo y conexiones	X	X	X
	Instrumentación completa y funcionando	X	X	X
	Limpieza	X	X	X
Tanques almacenamiento Soda y Ac. Sulfúrico				X
Limpieza Torre de Enfriamiento				2 veces
Revisar y barnizar motores de las bombas				X
Cambiar rodamientos a las bombas				X
Revisar líneas eléctricas				X
Revisar contactores, botoneras y térmicos				X
Chequear y cambiar partes piezas deterioradas				X

3.2 DETALLE ECONOMICO

Veremos en este capítulo todo lo referente a los costos totales de la planta de obtención de cloro gaseoso y almacenamiento de sosa cáustica, entiéndase por costos totales los de materiales utilizados, las maquinarias y equipos adquiridos y el de los consumos energéticos o costos operativos de la planta.

Por concepto de Materiales

Evaluaremos en la sección que se refiere a materiales utilizados las tuberías, accesorios, agua para la torre como gasto inicial, el revestimiento epóxico para los tanques, etc. Cabe resaltar que se ha considerado que los materiales vienen en algunos casos con medidas predeterminadas y es necesario comprarlos en estas presentaciones aún cuando no se utilice en su totalidad. Los valores aproximados de los materiales utilizados en la planta se detallan en la Tabla XII.

Por concepto de Maquinarias y Equipos

El segundo grupo de costos es el de las maquinarias y equipos utilizados. Se habla de máquinas en el caso de las bombas, y se habla de equipos en el caso de elementos o conjuntos ya existentes en el mercado que han sido adquiridos. Tenemos que considerar que ciertos equipos son de materiales especiales debido al producto que se

está procesando lo que incide en el valor total de este grupo de costos. La Tabla XIII detalla este grupo de costos.

Todos los costos resumidos los podemos observar en la Tabla XIV que también incluyen ciertos gastos como accesorios, imprevistos, etc.

Por concepto de Costos Operativos

La materia prima que más se va a utilizar es el ácido sulfúrico, el agua se usará para la torre de enfriamiento puesto que hay que reponerla de vez en cuando, pero como las cantidades de reposición de agua son muy bajas no serán consideradas como un gasto fuerte para la empresa en comparación con las cantidades de H_2SO_4 que se necesitarán para el proceso.

La cantidad de agua que se necesita para la torre de enfriamiento la calculamos de acuerdo a la carga nominal de la torre y esta es de 117.4 toneladas.

$$117.4 \text{ ton} \times \frac{1000 \text{ Kg.}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ lt.}}{1 \text{ kg.}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ lt.}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{264.2 \text{ gal.}} = 117.4 \text{ m}^3$$

El agua industrial cuesta S/. 11.000,00, es decir US\$ 2.5 el metro cúbico, lo que nos da un total de US\$. 285 como costo inicial.

El tanque de 55 galones de ácido sulfúrico cuesta US\$ 285.7 que multiplicado por los 45.8 tanques que se utilizarán dan un valor de US\$ 13085 mensuales.

El costo diario por consumo de agua en la torre de enfriamiento se estima así:

$$10 \text{ glns/min} \times (60 \times 24 \times 3.785/1000) = 54.5 \text{ m}^3 / \text{día}$$

A un promedio de S/. 11000 x cada m³: son S/. 599500,00 ó US\$ 132 diarios que dan un total de US\$ 3960 mensuales (1.635 m³).

Otro gasto a considerar es el consumo de energía eléctrica, para calcular este costo sumamos las potencias de las cinco bombas (1 de 2.23KW + 2 de 0.75KW + 2 de 0.75KW), el compresor de 18.65KW, y las 2 unidades de frío son 11.4KW lo que da un valor total de 35.28 KW, que multiplicado por 24 horas de trabajo y tomando en cuenta 30 días de trabajo al mes, significa 25402 kilowatios-hora mensuales, y comparados con una planilla eléctrica para una industria significarían US\$ 3493 aprox. (tomando en cuenta S/. 165 el kilowatio-hora).

585

En la planta vamos a necesitar varios trabajadores repartidos de la sgte. manera: uno para el intercambiador y torre de enfriamiento, uno para las torres de absorción, uno para las unidades de frío y dos para las unidades de envasado, se necesita además un mecánico, un electricista, un supervisor y un ingeniero de planta, los obreros, el mecánico y el electricista representan un costo mensual de US\$ 150 cada uno, haciendo un total de US\$ 1050, el supervisor US\$ 380 y el ingeniero de planta US\$ 595 mensuales. Estos valores se los puede observar en forma resumida en la Tabla XIV.

**TABLA XII. COSTO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN
LA PLANTA DE SECADO DE CLORO GASEOSO**

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO (US\$)
117.4 toneladas	Agua para la torre de enfriamiento	285
64	Tubos de titanio (intercambiador) US\$ 600 c/t aprox.	38400
10	Tubos de titanio (enfriador) US\$ 600 c/t aprox.	6000
30 galones	Revestimiento epóxico de tanques	5800
20	Tubo 2" - 6mt CPVC	855
30	Tubo 1 ½" - 6mt CPVC	852
30	Tubo 1" - 6mt CPVC	729
20	Tubo ¾" - 6mt CPVC	117
5	Válvula 2" plástica CPVC	128
5	Válvula 1 ½" plástica CPVC	80
5	Válvula 1" plástica CPVC	60
5	Válvula ¾" plástica CPVC	50
	TOTAL US\$	53356



**TABLA XIII. COSTO DE LAS MAQUINAS Y EQUIPOS
UTILIZADOS EN LA PLANTA DE
SECADO DE CLORO.**

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO (US\$)
2	Tanque de hierro negro para Sosa Cáustica 226 m3	12000
1	Tanque acero inox. para Acido Sulfúrico 21m3	8000
3	Tanque acero inox. Para Acido Sulfúrico 1.2m3	6000
1	Intercambiador	10000
1	Torre de enfriam. 3HP	1500
2	Unidad de enfriamiento 19400 BTU.	9000
1	Torre de absorción	53090
1	Compresor 25 HP	21500
1	Separador de Niebla	3000
1	Bomba BERKELEY 3HP para agua	1040
2	Bomba BERKELEY 3HP para soda cáustica	1000
2	Bomba Acero Inoxidable 1HP para ácido sulfúrico	2300
1	Válvula Termostática	100
1	Tablero control para Bomba 3HP 3F (agua)	863
1	Tablero control para bombas 3HP 3F (soda)	750
1	Tablero control para bombas 1HP 1F (ac.sulf.)	790
	TOTAL	US\$ 130933

**TABLA XIV. ANALISIS TOTAL DE COSTOS DE LA PLANTA
DE CLORO GASEOSO**

COSTOS	US\$
COSTO DE MATERIALES	53356
COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS	130933
ACCESORIOS E IMPREVISTOS (15%)	27643
TOTAL	211932

**TABLA XV. COSTOS OPERATIVOS DEL PROCESO
DE SECADO DEL CLORO GASEOSO Y DEL
ALMACENAMIENTO DE SOSA CAUSTICA**

DESCRIPCION	COSTOS MENSUALES US\$
ACIDO SULFURICO 96% (46 TANQUES DE 55 gal. C/TANQUE)	13085
AGUA - TORRRE ENFRIAMIENTO REPOSICION (1.635 m ³)	3960
ENERGIA ELÉCTRICA (25402 KW)	3493
PERSONAL DE PLANTA (5)	1050
SUPERVISOR DE PLANTA	380
INGENIERO DE PLANTA	595
TOTAL	22563

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar este trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

1. Es factible que se pueda construir en el Ecuador una planta de cloro tipo piloto o de pequeña escala para abastecer nuestro mercado demostrando así de que no solamente plantas químicas de gran capacidad pueden producir a costos competitivos.
2. Después de los dos productos que se obtienen quedan muchas posibilidades de procesar algunos subproductos como el hipoclorito de sodio, el ácido clorhídrico, el hidrógeno, entre otros.
3. El secado del cloro gaseoso no consiste en hacer circular el gas por una sola máquina como se lo haría con otro producto, sino en una serie de máquinas y equipos que forman una secuencia operacional a fin de ir depurando el producto hasta que llegue al final del proceso de una óptima calidad.
4. La realización de una planta de este tipo sería un gran paso dado por parte de quienes creen en la capacidad intelectual de nuestros Ingenieros para desarrollar las áreas de la Mecánica y la Química primordialmente que tanta falta le hace a nuestro país.

En este tipo de fábrica se manejarían algunos productos químicos adicionales, se recomienda por tanto lo siguiente:

1. Mejorar el proceso productivo de la planta incluyendo nuevas variantes, aplicando nuevas tecnologías y estudiando continuamente el sistema de secado del gas cloro.
2. Mantener un muy buen control de calidad del proceso con el sistema de cromatografía de gases a fin de asegurar la calidad del producto.
3. Llevar un estricto control de mantenimiento programado preventivo a fin de evitar cualquier percance que puedan ser fugas, escapes o emisiones de los productos.
4. Tomar todas las máximas medidas de seguridad industrial para preservar la salud y la vida de los trabajadores, capacitándolos continuamente a fin de mejorar la participación de ellos protegiendo la salud pública.
5. Evitar la evacuación de desechos tóxicos, aguas residuales ácidas y demás contaminantes sin antes ser tratadas debidamente para proteger el medio ambiente y aplicar criterios de conservación ambiental que puedan llevar a proteger la salud de las personas que laboran en la empresa, reducir costos operativos y dar una buena imagen de la empresa a la comunidad.



ANEXOS

TABLAS Y FIGURAS COMPLEMENTARIAS



		78 W.B.																		
Approach °F.	RANGE																			
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
5	161	140	124	112	102	94	87	82	77	73	70	66	63	61	58	56	54	52		
6	142	124	111	100	92	85	79	74	70	66	63	60	57	55	53	51	49	48		
7	128	112	100	91	83	77	72	68	64	60	57	54	52	50	48	47	45	44		
8	116	102	92	83	76	71	66	63	59	56	53	50	48	47	45	43	42	41		
9	106	94	84	77	71	66	61	58	54	52	49	47	45	43	42	40	39	38		
10	98	86	78	71	66	61	57	54	51	48	46	44	42	41	39	38	36	35		
11	91	81	73	66	61	57	53	51	48	46	44	41	40	38	37	36	34	33		
12	85	75	68	62	58	54	50	47	45	43	41	39	37	36	35	34	33	32		
13	79	71	64	59	54	51	47	45	42	41	39	37	35	34	33	32	31	30		
14	75	66	60	56	51	48	45	42	40	38	36	35	33	32	31	30	29	28		
15	71	63	57	52	49	45	42	40	38	36	35	33	32	31	30	29	28	27		
16	67	59	54	50	46	43	40	38	36	35	33	32	30	29	28	27	26	26		
17	63	56	51	47	44	41	38	36	35	33	32	30	29	28	27	26	25	24		
18	60	54	49	45	42	39	37	35	33	31	30	29	28	27	26	25	24	23		
19	58	51	47	43	40	37	35	33	32	30	29	28	27	26	25	24	23	22		
20	55	49	45	41	38	36	34	32	30	29	28	26	25	24	24	23	22	21		
21	53	47	43	39	37	34	32	31	29	28	26	25	24	23	23	22	21	20		
22	52	45	41	38	35	33	31	29	28	27	25	24	23	22	21	20	20	20		
23	50	43	39	36	34	32	30	28	27	26	24	23	22	21	20	19	19	18		
24	49	42	38	35	32	30	29	27	26	24	23	22	21	20	19	18	18	18		
25	47	40	36	34	31	29	28	26	25	24	23	22	21	20	19	18	18	18		

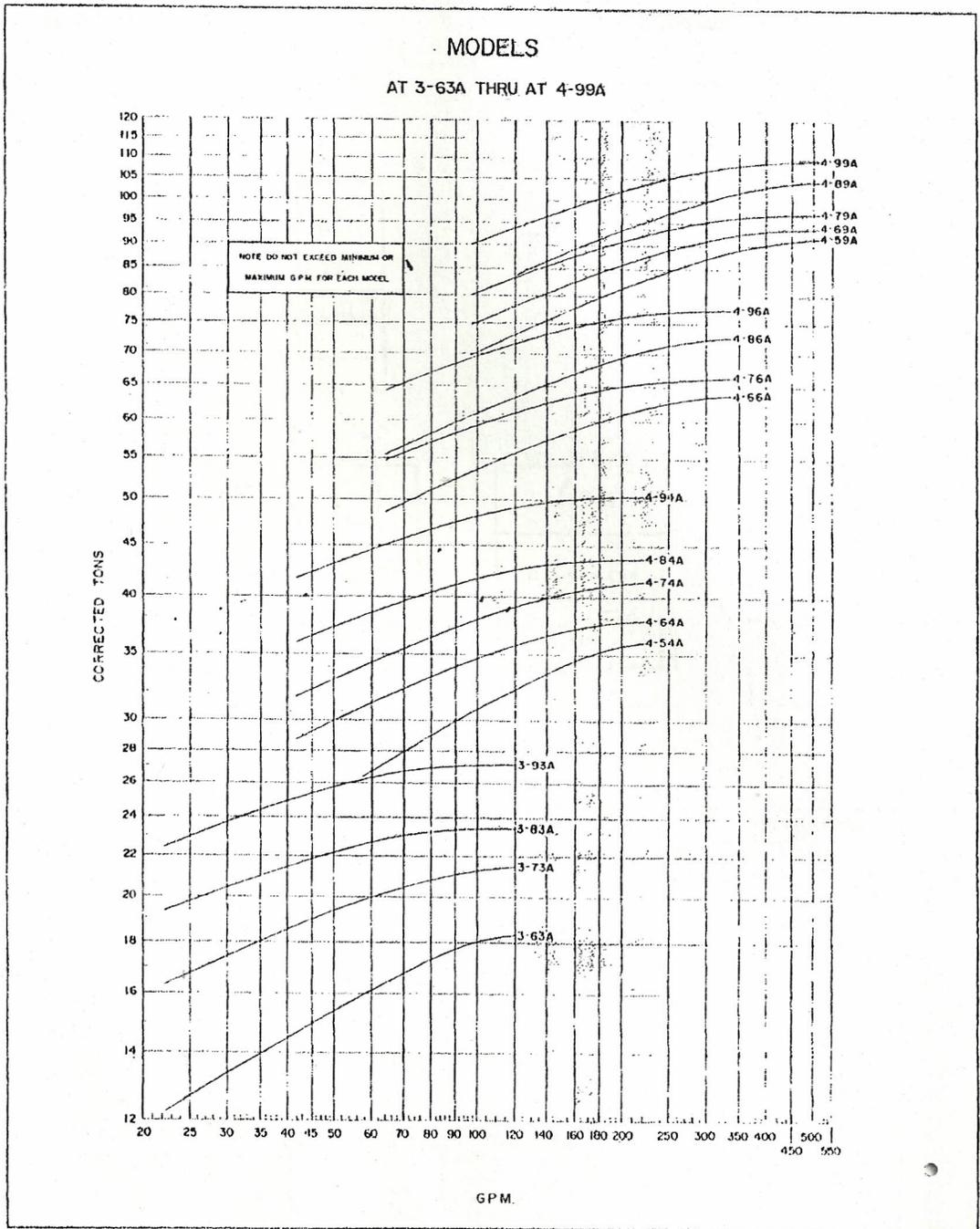
		80 W.B.																		
Approach °F.	RANGE																			
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
5	155	135	119	108	99	91	84	79	74	70	67	64	61	58	56	54	52	50		
6	137	120	107	97	88	82	76	71	67	63	60	57	55	53	51	49	48	46		
7	123	108	96	88	80	74	69	65	61	58	55	52	50	49	47	45	43	42		
8	112	98	88	80	74	68	64	60	56	54	51	49	47	45	43	42	40	39		
9	102	90	81	74	68	63	59	56	52	50	47	45	43	42	40	39	38	36		
10	95	83	75	69	63	59	55	52	49	46	44	42	40	39	38	36	35	34		
11	88	78	70	64	59	55	51	49	46	44	42	40	38	37	35	34	33	32		
12	82	73	66	60	56	52	48	46	43	41	39	37	36	35	33	32	31	30		
13	77	68	62	57	53	49	46	43	41	39	37	36	34	33	31	30	29	28		
14	72	64	58	54	49	46	43	41	39	37	35	33	32	31	30	29	28	27		
15	68	61	55	51	47	44	41	38	37	35	34	32	31	30	28	27	27	26		
16	64	57	52	48	45	42	39	37	35	33	32	31	29	28	27	26	25	25		
17	61	55	50	46	42	40	37	35	33	32	30	29	28	27	26	25	24	24		
18	58	52	47	44	40	38	35	34	32	30	29	28	27	26	25	24	23	22		
19	56	50	45	42	39	36	34	32	30	29	28	27	25	25	24	23	22	21		
20	54	47	43	40	37	35	32	31	29	28	27	25	24	24	23	22	21	21		
21	52	45	41	38	35	33	31	29	28	27	25	24	23	23	22	21	20	20		
22	50	44	40	37	34	32	30	28	27	26	24	23	22	22	21	20	20	19		
23	48	42	38	35	33	31	29	27	26	25	23	22	21	20	19	19	18	18		
24	47	41	37	34	31	29	28	26	25	24	23	22	21	20	19	18	18	18		
25	45	39	35	32	30	28	27	25	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18		

		82 W.B.																		
Approach °F.	RANGE																			
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
5	149	130	115	104	95	87	81	76	71	68	64	61	58	56	54	52	50	48		
6	132	115	103	93	85	79	73	68	64	61	58	55	53	51	49	47	46	44		
7	119	104	93	84	77	72	67	63	59	56	53	50	48	47	45	43	42	40		
8	108	94	85	77	71	66	61	57	54	51	49	47	45	43	41	40	39	37		
9	98	87	78	71	66	61	57	53	50	48	45	43	42	40	39	37	36	35		
10	91	80	72	66	61	57	53	50	47	45	42	41	39	37	36	35	34	33		
11	84	75	68	62	57	53	49	47	44	42	40	38	36	35	34	33	32	31		
12	79	70	63	58	54	50	47	44	41	39	38	36	34	33	32	31	30	29		
13	74	66	59	55	51	47	44	41	39	38	36	34	33	31	30	29	28	27		
14	69	62	56	51	48	44	41	39	37	35	34	32	31	30	29	28	27	26		
15	66	58	53	49	45	42	39	37	35	34	32	31	29	28	27	26	25	24		
16	62	55	50	46	43	40	37	35	34	32	31	29	28	27	26	25	24	23		
17	58	52	48	44	41	38	36	34	32	31	29	28	27	26	25	24	23	23		
18	56	50	46	42	39	36	34	32	30	29	28	27	25	25	24	23	22	21		
19	54	48	43	40	37	35	33	31	29	28	27	26	24	24	23	22	21	21		
20	52	45	41	38	35	33	31	29	28	27	26	24	23	23	22	21	20	20		
21	50	44	40	37	34	32	30	28	27	26	24	23	22	22	21	20	20	19		
22	48	42	38	35	33	31	29	27	26	25	23	22	21	20	19	19	18	18		
23	47	40	37	34	31	29	28	26	25	24	22	22	21	20	19	18	18	18		
24	45	39	35	32	30	28	27	25	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18		
25	44	37	34	31	29	27	26	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18	18		

Shaded areas of tables indicate entering water temperature exceeding maximum 130 °F
Consult factory for alternate high temperature fill options.

**A1. TABLA DEL FACTOR DE CORRECCION PARA UNA
TEMPERATURADEL BULBO HUMEDO DE 80°F.**

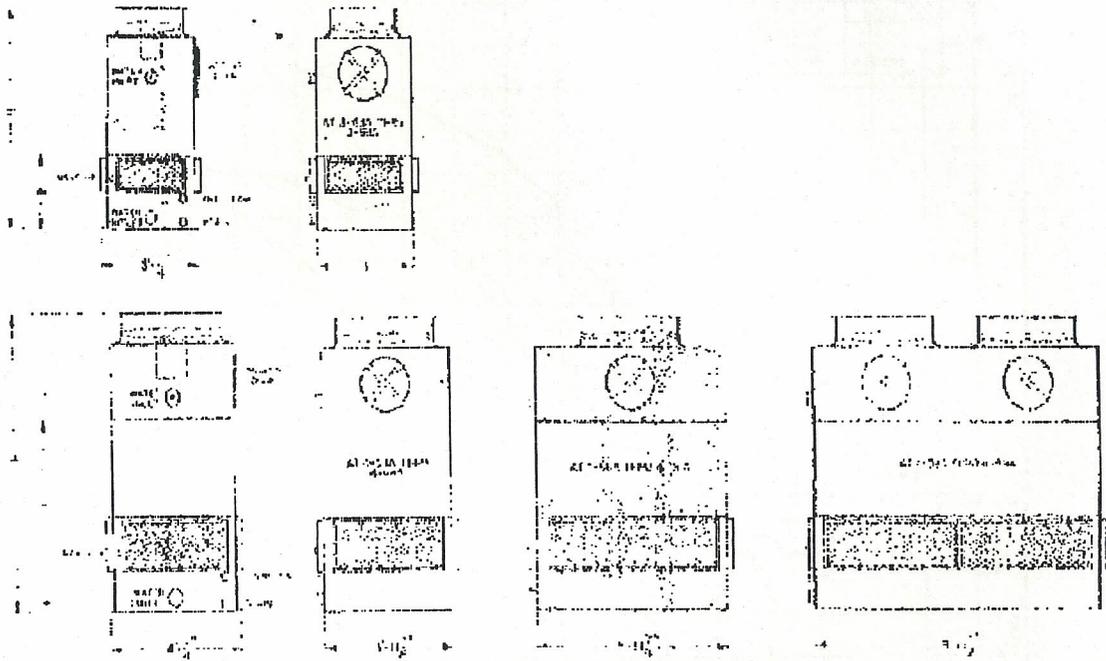
Capacity Curves





Engineering Dimensions & Data

Models
AT 3-63A to 3-93A
AT 4-64A to 4-99A



MODEL NO	WEIGHTS (LBS)			Fan Motor (HP)	Air Flow (CFM)	DIMENSIONS		CONNECTIONS					
	Shipping	Operating	Heaviest Section			A	B	Water In	Water Out	Make Up	Drain	Overflow	
AT 3-63A	890	880	690	1	4600	6' 2"	4' 7"	3"	3"	1"	1"	1"	1"
3-73A	760	970	730	1	4500	7' 2"	4' 7"	3"	3"	1"	1"	1"	1"
3-83A	760	970	460	1	4500	6' 2"	4' 7"	3"	3"	1"	1"	1"	1"
3-93A	960	900	400	1 1/2	5000	5' 7"	4' 7"	3"	3"	1"	1"	1"	1"
AT 4-64A	960	1000	900	2	8000	7' 7"	5' 7"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-74A	1080	1060	600	2 1/2	7800	8' 7"	5' 7"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-84A	1010	1060	600	2	6600	8' 7"	5' 7"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-94A	1000	1200	670	2 1/2	6200	8' 7"	5' 7"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-94A	1140	1000	670	3	3600	8' 7"	5' 7"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
AT 4-65A	1370	2470	700	5	13000	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-75A	1370	2470	800	5	12800	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-85A	1430	2530	700	5	15300	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-95A	1500	2660	800	5	15000	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
AT 4-66A	2050	3060	1120	20	18900	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-66A	2050	3060	1216	20	18900	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-76A	2070	3080	1240	20	19400	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-86A	2210	3330	1120	20	21300	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"
4-96A	2260	3370	1250	20	21200	8' 7"	6' 3 1/2"	4"	4"	1"	1"	1"	1"

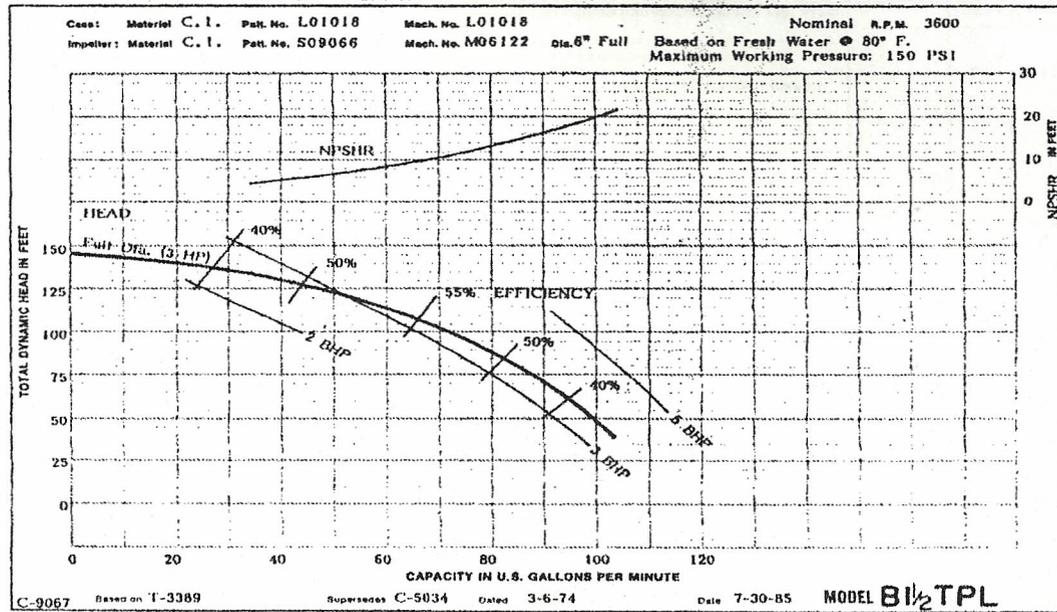
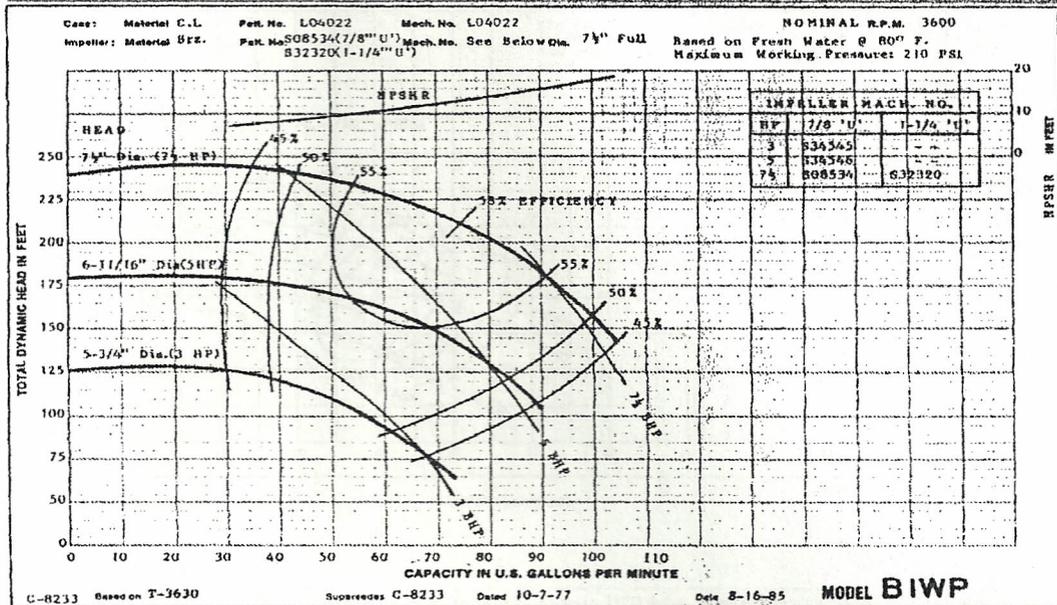
NOTE: (1) Air capacity is based on standard conditions in the cooling tower system. (2) Pressure ratings are in the vertical direction.

A3. DATOS Y DIMENSIONES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.



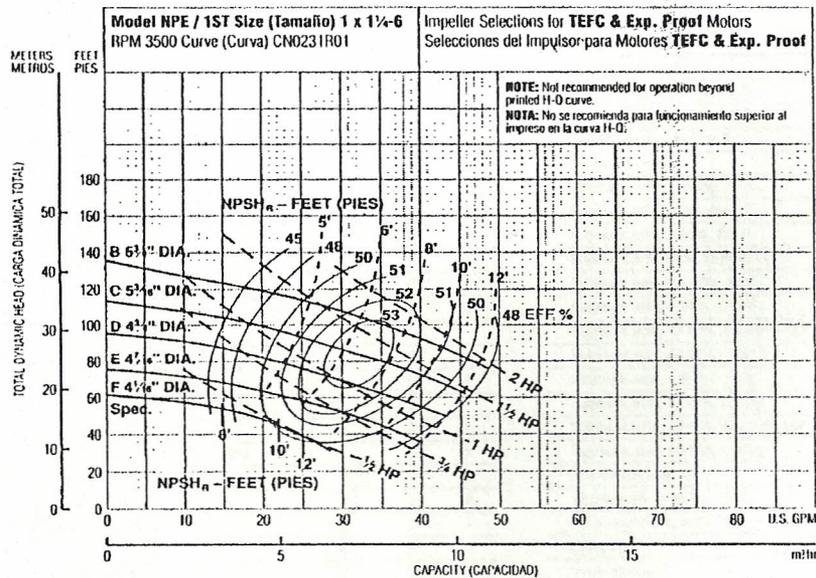
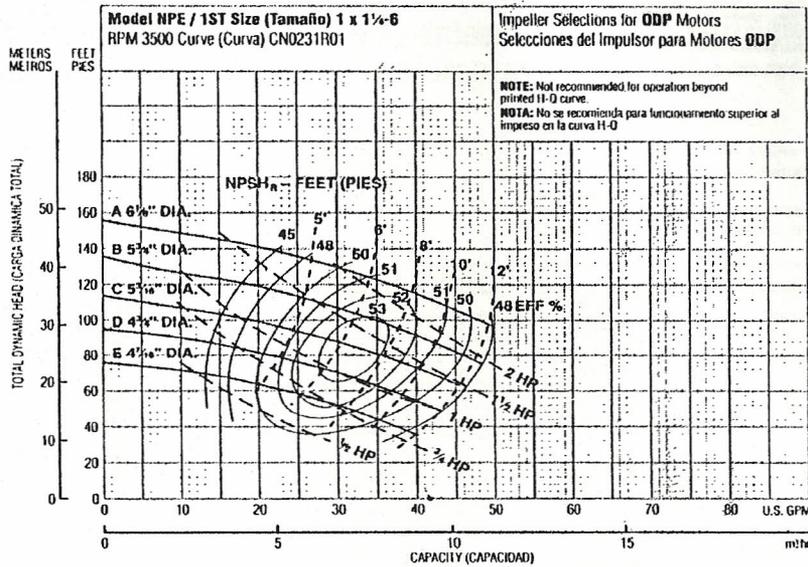
BERKELEY PUMPS
TYPE "B" RATING CURVES
MOTOR DRIVE

CURVE	4075
DATE	1-2-86
PAGE	1.01
SUPERSEDES	
All previously issued	
4075 Curves	



A4. CURVAS DE BOMBAS BERKELEY.

Performance Curves – 60 Hz, 3500 RPM
Curvas de Funcionamiento – 60 Hz, 3500 RPM



A5. CURVAS DE BOMBAS GOULDS DE ACERO INOXIDABLE.



Cast Iron, Bronze and 316 Stainless Steel Material Suitability For Pumpage

This chart is intended as a guide in the selection of economical materials. It must be kept in mind that corrosion rates may vary widely with temperature, concentration, and the presence of trace elements or abrasive solids. Blank spaces indicate a lack of accurate corrosion information for those specific conditions.

Corrosive	C.I.	Brz.	316SS
Lactic acid, < 50%, 70° F.	4	2	1
Lactic acid, > 50%, 70° F.	4	2	2
Lactic acid, < 5%, to boiling	4	4	3
Limo slurries, 70° F.	2	2	2
Magnesium chloride, 70° F.	3	3	2
Magnesium chloride, < 5%, to boiling	4	3	3
Magnesium chloride, > 5%, to boiling	4	3	4
Magnesium hydroxide, 70° F.	2	1	2
Magnesium sulphate	3	3	2
Maleic acid	3	3	2
Mercaptans	1	4	1
Mercuric chloride, < 2%, 70° F.	4	4	4
Mercurous nitrate, 70° F.	3	4	2
Methyl alcohol, 70° F.	1	1	1
Naphthalene sulphonic acid, 70° F.	4	3	2
Naphthalenic acid, to hot	3	3	2
Nickel chloride, 70° F.	4	4	3
Nickel sulphate	4	3	2
Nitric acid	4	4	2
Nitrobenzene, 70° F.	1	3	1
Nitroethane, 70° F.	1	1	1
Nitropropane, 70° F.	1	1	1
Nitrous acid, 70° F.	4	4	4
Nitrous oxide, 70° F.	3	3	3
Oleic acid	3	3	2
Oleum, 70° F.	2	4	2
Oxalic acid	4	3	3
Palmitic acid	2	2	2
Phenol (see carbonic acid)			
Phosgene, 70° F.	3	3	2
Phosphoric acid, < 10%, 70° F.	4	3	1
Phosphoric acid, > 10-70%, 70° F.	4	3	1
Phosphoric acid, < 20%, 175° F.	4	3	2
Phosphoric acid, > 20%, 175° F. < 85%	4	3	3
Phosphoric acid, > 10%, boil, < 85%	4	3	4
Phthalic acid, 70° F.	3	2	2
Phthalic anhydride, 70° F.	2	3	1
Picric acid, 70° F.	4	4	3
Potassium carbonate	2	2	1
Potassium chlorate	2	3	1
Potassium chloride, 70° F.	3	3	2
Potassium cyanide, 70° F.	2	4	2
Potassium dichromate	2	2	1
Potassium ferricyanide	3	2	2

Technical Data SECTION 10

APPLICATIONS

Effective April, 1991

Code

1 — Fully Satisfactory 3 — Limited Use

2 — Useful Resistance 4 — Unsuitable

CI — Cast Iron, ASTM A48.

Brz. — Anti-Acid Bronze, Similar to ASTM B143A2.

316SS — Stainless Steel, ASTM A744 Gr. CF-8M, AISI 316.

Corrosive	C.I.	Brz.	316SS
Potassium ferrocyanide, 70° F.	4	2	2
Potassium hydroxide, 70° F.	3	3	2
Potassium hypochlorite	4	3	3
Potassium iodide, 70° F.	3	2	2
Potassium permanganate	2	2	2
Potassium phosphate	3	3	2
Sea water, 70° F.	3	2	2
Sodium bisulphate, 70° F.	4	3	3
Sodium bromide, 70° F.	2	3	2
Sodium carbonate	2	2	2
Sodium chloride, 70° F.	3	2	2
Sodium cyanide	2	4	2
Sodium dichromate	2	4	2
Sodium ethylate	2	1	1
Sodium fluoride	3	3	2
Sodium hydroxide, 70° F.	2	2	2
Sodium hypochlorite	4	4	3
Sodium lactate, 70° F.	2	3	3
Stannic chloride, < 5%, 70° F.	4	3	4
Stannic chloride, > 5%, 70° F.	4	4	4
Sulphate liquors, to 175° F.	4	3	2
Sulphur (mollen)	2	4	1
Sulphur dioxide (spray), 70° F.	3	3	2
Sulphuric acid, < 2%, 70° F.	4	3	2
Sulphuric acid, 2-40%, 70° F.	4	3	3
Sulphuric acid, 40%, to 80%, 70° F.	4	4	4
Sulphuric acid, 80-90%, 80° F.	2	4	2
Sulphuric acid, < 10%, 175° F.	4	3	4
Sulphuric acid, 10-60% & > 80%, 175° F.	4	4	4
Sulphuric acid, 60-80%, 175° F.	4	4	4
Sulphuric acid, < 1%, boiling	4	4	3
Sulphuric acid, 1%-40%, boiling	4	4	4
Sulphuric acid, 40-65% & > 85%, boil	4	4	4
Sulphuric acid, 65-85%, boiling	4	4	4
Sulphurous acid, 70° F.	4	3	3
Titanium tetrachloride, 70° F.	3	3	3
Trichlorethylene, to boiling	2	3	2
Urea, 70° F.	3	3	2
Vinyl acetate	2	2	2
Vinyl chloride	2	3	2
Water, to boiling	2	1	1
Zinc chloride	3	3	2
Zinc cyanide, 70° F.	4	2	2
Zinc sulphate	4	3	1

BIBLIOGRAFIA

1. AUSTIN, GEORGE, Manual de Procesos Químicos en la Industria, Mc Graw-Hill, Tomo I, 1988.
2. BAGDER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, Mc Graw Hill, 1981.
3. ENCALADA, LUIS, Estudio de mercado y factibilidad económica para la instalación de una planta de cloro y soda cáustica en Guayaquil., Espol, 1998.
4. HAWLEY, GESSNER, Diccionario de Química y de Productos químicos, Ediciones Omega, S.A. 1989.
5. KNIGHT DIVISION, KOCH ENGINEERING COMPANY INC., Tower Packing, 1996.
6. LA LLAVE, Air Power, INGERSOLLRAND. 1992.
7. LA LLAVE, Manufacturers of Water Saving Equipment, EVAPCO. 1992

8. OXYTECH SYSTEMS, INC., OCCIDENTAL CHEMICAL CORPORATION, Alkali and chlorine products. Chlorine and Sodium Hydroxide, Kirk-Othmer – Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Ed. Volume No.1, 1991.
9. PAZ, GUILLERMO, Proceso de secado de cloro gaseoso y manejo de soda cáustica, Espol, 1998.
10. PERRY R., Biblioteca del Ingeniero Químico, Mc Graw-Hill, 5a. Edición, Volúmenes 4 y 1. 1994.
11. PERRY R., Manual del Ingeniero Químico, Mc Graw-Hill, Tomo I, 1994.
12. PINO, JOFFRE, Diseño de una celda electrolítica para la obtención de cloro gaseoso y soda cáustica, ESPOL, 1998.
13. SCONCE, J. S., Chlorine, its manufacture, properties and uses, Robert E. Krieger Publishing Company, 1972.
14. SOTOMAYOR, JUAN, Estudio del proceso de purificación de salmuera para la obtención de cloro gaseoso y soda cáustica, ESPOL, 1998.

