



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA  
PARA PURIFICACION DE CLORO

**T E S I S**

**JOSE LUIS MOLINA ARGUETA**

**INGENIERO QUIMICO**

**1 9 8 3**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

INTRODUCCION

1 BASES GENERALES DE DISEÑO

- 1.1 Ubicación del Sistema
- 1.2 Descripción
- 1.3 Capacidad
- 1.4 Condiciones Límite de Bateria

2 DEFINICION DEL SISTEMA

- 2.1 Análisis de Alternativas y Selección del Sistema.
- 2.2 Balance de Materia y Energía
- 2.3 Sistema de Purificación
- 2.4 Diagrama de Flujo Detallado

3 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

- 3.1 Compresor
- 3.2 Licuefactor
- 3.3 Separador Líquido - Gas

4 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO AUXILIAR

- 4.1 Circuito de Refrigeración
- 4.2 Compresor de Refrigerante
- 4.3 Condensador de Refrigerante
- 4.4 Almacenamiento de Cloro Líquido
- 4.5 Economizador
- 4.6 Aire de Amortiguamiento

5 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

- 5.1 Nomenclatura
- 5.2 Accesorios Especiales para Líneas de Cloro
- 5.3 Dimensionamiento de Líneas
- 5.4 Diagrama (DTI)
- 5.5 Seguridad en el Manejo del Cloro

6 CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

APENDICE

I N T R O D U C C I O N

El cloro es un gas industrial cuya importancia ha ocupado un lugar primordial dentro de los insumos básicos como materia prima indispensable para la obtención de productos clorados tanto inorgánicos como orgánicos.

Su producción se relaciona estrechamente al sector de los álcalis y hasta cierto grado depende del mismo; sus numerosas aplicaciones sin embargo, plantean la necesidad de obtenerlo con una pureza de 99.7% ó mayor, ya que por lo general se utiliza en la preparación de productos clorados de alta calidad, como lo son el PVC, clorometanos y alifáticos clorados en general, clorobencenos y aromáticos clorados, etc. Ya sea como productos finales o intermediarios para su transformación a agentes alquilantes, elastómeros, plásticos, monómeros, clorhidrinas, pesticidas, fármacos, bactericidas, etc.,

Debido a que en nuestro país existen y se instalarán plantas productoras de cloro, se hace necesario diseñar sistemas de purificación que permitan obtenerlo, tanto con la máxima calidad como con los requerimientos mínimos de energía y por ende lo más económico posible.

Una vez situado el sistema de purificación en el esquema general de una planta procesadora de cloro, éste tiene como finalidad separar del mismo el oxígeno, bióxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno; mediante la compresión y enfriamiento de la corriente gaseosa aprovechando la diferencia en los puntos de condensación entre el cloro y sus contaminantes.

El obtener el cloro líquido con alto grado de pureza se basa en su inmiscibilidad con los gases contaminantes.

Es importante aclarar que la concentración de hidrógeno en las corrientes de cloro procedente de celdas se encuentra entre 0.4 a 1 % y no deberá ser mayor a 4%, ya que a mayores concentraciones confiere a la mezcla gaseosa características explosivas, por lo que el sistema a diseñar tendrá como parámetro, mantener la concentración de hidrógeno dentro de los límites indicados.

Este trabajo tiene como objetivos principales: Diseñar un sistema de purificación de cloro, considerando sus propiedades físicas y químicas, mediante la aplicación y manejo de conceptos de termodinámica, compresión de gases y transferencia de calor. Y proponer un método confiable para dimensionar los equipos involucrados, en condiciones óptimas de operación.

Se presenta además: los antecedentes y ubicación del sistema las bases y diseño detallado de los elementos, así como las conclusiones obtenidas y la bibliografía consultada para la realización del mismo.

1 BASES GENERALES DE DISEÑO

## 1.2 Descripción.

La purificación de la corriente gaseosa conteniendo cloro e impurezas se lleva a cabo mediante la separación física de ambas. Esto se logra combinando compresión y enfriamiento de la mezcla, aprovechando la diferencia en los puntos de condensación de los componentes y su insolubilidad en el cloro líquido.

Los pasos fundamentales en el proceso de purificación son : Compresión de la Mezcla Gaseosa, Enfriamiento, Condensación y Separación Lfq-Gas. Fig. 1.2 .

En la etapa de compresión la presión de descarga influye en el punto de condensación del cloro y en las toneladas de refrigeración requeridas en el licuefactor.

En la literatura se han reportado tres niveles de compresión 3.12, 4.9 y 12.3 Kg/cm<sup>2</sup> (44.5, 70 y 176 Psia).

Por lo que se determinará la energía necesaria, así como las toneladas de refrigeración para llevar a cabo la condensación y lograr la purificación requerida, en cada caso.

En la etapa de condensación, ésta es parcial y la cantidad de cloro líquido a manejar está limitada fundamentalmente por la concentración de hidrógeno en los gases incondensables de la mezcla, misma que definirá las condiciones de diseño y operación del sistema.

En el separador Lfq-Gas se disminuye la velocidad de la fase gaseosa, permitiendo la separación del cloro líquido libre de incondensables y con un alto grado de pureza.



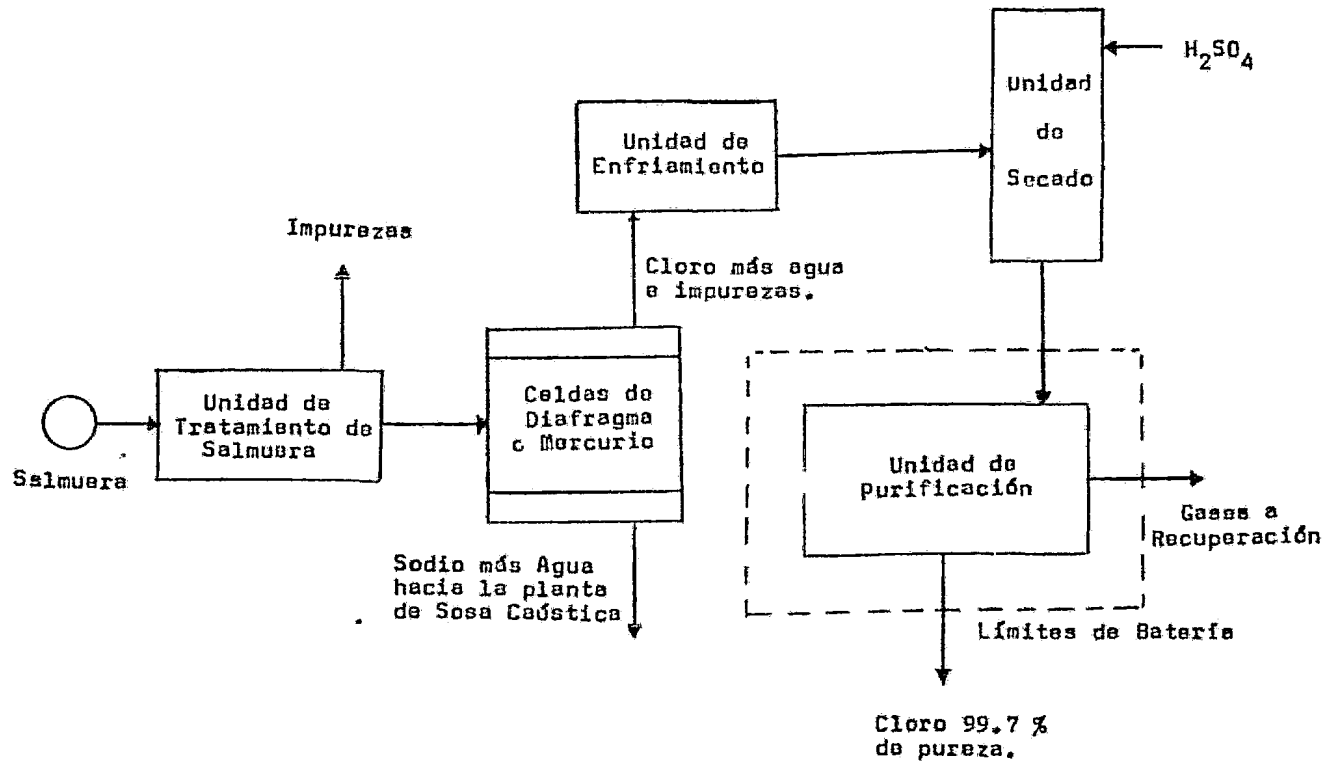


Fig. 1.1 Ubicación del Sistema de Purificación en una Planta Productora de Cloro por Electrólisis.

En seguida se sitúa el sistema de que se ocupa este trabajo, el cual se ocupa de la purificación del cloro, separándolo del oxígeno, bióxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno. --- Fig. 1.1 .

### 1.3 Capacidad.

Para calcular y analizar las variables que intervienen en el diseño del sistema se tomará como base una capacidad de 348-Ton/día de gases (cloro más impurezas), provenientes de la Unidad de Secado, como un valor representativo del orden de magnitud de las corrientes a manejar en función de las plantas existentes en operación.

### 1.4 Condiciones Límite de Bateria.

La corriente entrante de gases, tiene las siguientes características:

Temperatura	16.6 °C ( 62°F)
Presión	0.87 Kg/cm <sup>2</sup> ( 12.49 lb/pulg <sup>2</sup> )
Peso Molecular Promedio	69.715 g/gmol (69.715 lb/lbmol)
Densidad a estas condiciones	2.49 Kg/m <sup>3</sup> (0.1556 lb/pie <sup>3</sup> )
Viscosidad a estas condiciones	0.0138 cps.

Composición de la corriente % Mol.

Cl <sub>2</sub>	96.97
O <sub>2</sub>	2.07
CO <sub>2</sub>	0.51
H <sub>2</sub>	0.19
N <sub>2</sub>	0.26

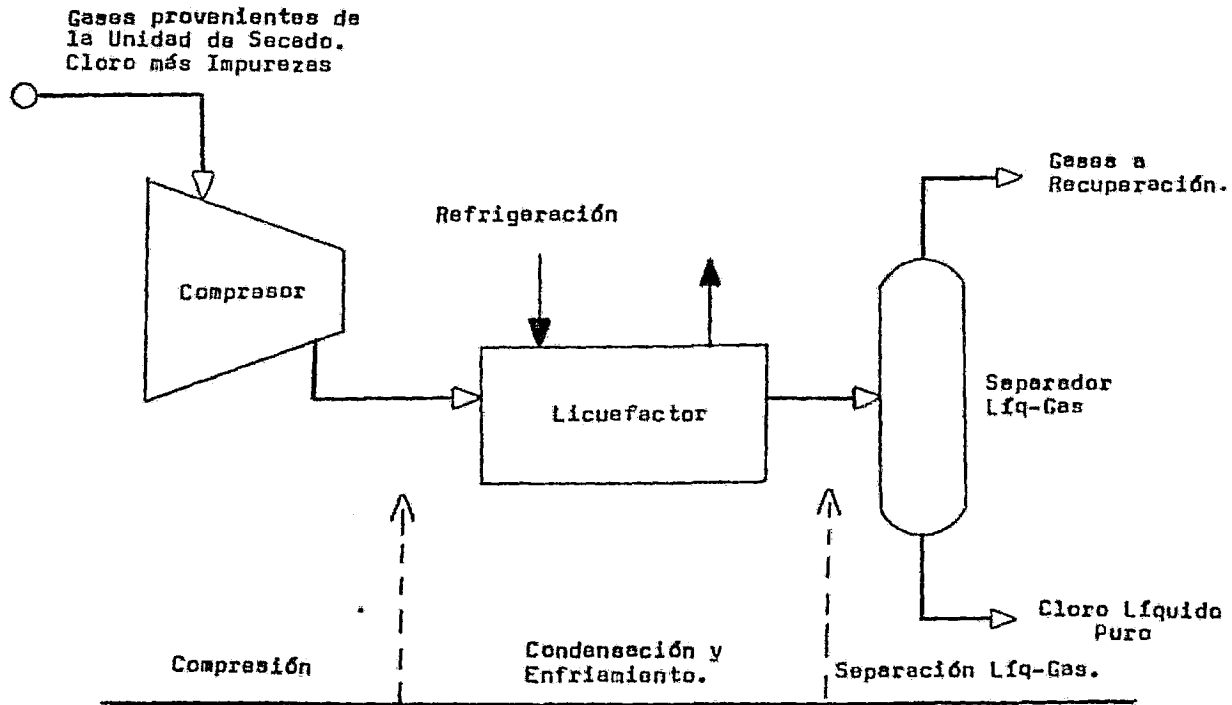


Fig. 1.2

A la salida del sistema se requiere 99.7 % de pureza en el Cloro líquido, la concentración del  $H_2$  (hidrógeno) no debe ser mayor a 4 %, de acuerdo a la especificación para Cloro líquido B.S. 3947 : 1965 de la British Standards Institution. Produciéndose una corriente de Cloro líq. de 240 pies<sup>3</sup>/hr a 18<sup>o</sup>F y 69 psias. Siendo éstas las condiciones requeridas en la planta.

### 1.5 Propiedades del Cloro.

Símbolo	Cl
Masa Atómica	35.457
Número Atómico	17
Fórmula Molecular	Cl <sub>2</sub>
Peso Molecular	70.914

El cloro por sus características extremadamente reactivas no se encuentra libre en la naturaleza, siempre se encuentra -- combinado con otros elementos, el más predominante y común -- de los compuestos que forma es la sal NaCl de donde se obtiene por electrólisis a nivel industrial.

El cloro líquido comercial es de color ámbar claro, es de 1 -- a 1.5 veces más pesado que el agua. Se envasa en cilindros -- especiales y en estado líquido (bajo presión), ésta presión -- varía con la temperatura por lo tanto la presión manométrica no indica la cantidad de cloro envasado.

El cloro líquido se evapora rápidamente cuando se derrama, -- un volumen de líquido forma 460 volúmenes de gas, por lo que el manejo del Cloro líquido es extremadamente peligroso, ---

sobre todo cuando se presenta alguna fuga en los recipientes o tuberías que lo contienen.

El coeficiente de compresibilidad del cloro líquido es el -- más grande de todos los elementos líquidos, su densidad disminuye apreciablemente con la temperatura.

El cloro en estado gaseoso concentrado tiene un color verdoso amarillento y es de 2 a 2.5 veces más pesado que el aire-- con tendencia a fluir sobre el piso.

Este elemento es ligeramente soluble en agua, aproximadamente 1 % a 9.5°C (49.2 °F) e insoluble en vapor de agua a una temperatura menor a 9.5°C (49.2°F) forma cristales hidratados frecuentemente llamado Hielo de Cloro.

A temperaturas alrededor de 37.7°C (100°F) o menores el cloro seco ya sea líquido o gaseoso no ataca materiales como el acero al carbón y la mayoría de los metales, los cuales se utilizan para la construcción de los equipos, tuberías, etc. El cloro líquido ó gaseoso jamás es flamable en estado puro. A elevadas temperaturas el cloro seco puede atacar rápidamente cualquier metal principalmente el acero al carbón.

La presencia de humedad en el cloro lo hace extremadamente -- corrosivo para una gran mayoría de metales, a bajas presiones el cloro húmedo se puede manejar en recipientes de barro, vidrio, porcelana, plásticos de cierta composición (FRP).

Los metales nobles como el oro, la plata y el tantalio son -- totalmente inertes al cloro seco o húmedo a temperaturas me-

nores a  $148.8^{\circ}\text{C}$  ( $300^{\circ}\text{F}$ ) el titanio puede usarse para el manejo de cloro húmedo solamente, ya que con el cloro seco reacciona violentamente.

Las reacciones del cloro ocurren generalmente con desprendimiento de calor, que sin control pueden tener resultados violentos.

Punto de ebullición	$-34.06^{\circ}\text{C}$ ( $-29.31^{\circ}\text{F}$ )
	$-34.05^{\circ}\text{C}$ ( $-29.29^{\circ}\text{F}$ )
	$-34.6^{\circ}\text{C}$ ( $-30.3^{\circ}\text{F}$ )
Presión Crítica	76.1 Atm (1118.7 Psia)
Temperatura Crítica	$144^{\circ}\text{C}$ ( $291.2^{\circ}\text{F}$ )
Densidad-Gas Seco*	0.2003 lb/pie <sup>3</sup>
-Gas Saturado a $0^{\circ}\text{C}$ ( $32^{\circ}\text{F}$ )	0.799 lb/pie <sup>3</sup>
-Líquido a $0^{\circ}\text{C}$ ( $32^{\circ}\text{F}$ )	91.67 lb/pie <sup>3</sup>
-Líquido a $20^{\circ}\text{C}$ ( $68^{\circ}\text{F}$ )	88.07 lb/pie <sup>3</sup>
Constante Dieléctrica-Líquido a $60^{\circ}\text{C}$ para longitudes de onda mayores a 10,000 cm.	2.15
Nota: La constante dieléctrica para el cloro gas se reporta - con la misma magnitud que para el líquido.	
Suceptibilidad Magnética Esp-Liq.	$-0.51 \times 10^{-6}$ cgs Unidades electromagnéticas a $-60^{\circ}\text{C}$ .

Resistencia Específica-Liq. (no conductor)	$10^{16}$ Ohm-cm a $-70^{\circ}\text{C}$ .
Entalpía-Gas Seco*	232.74 Btu/lb.
-Gas saturado	231.43 Btu/lb.
-Líquido	116.39 Btu/lb.
Entropía-Gas Seco*	0.73985 Btu/lb( $^{\circ}\text{R}$ ).
-Gas Saturado	0.70224 Btu/lb( $^{\circ}\text{R}$ ).
-Líquido	0.46823 Btu/lb ( $^{\circ}\text{R}$ ).
Calor de Fusión a $-101.5^{\circ}\text{C}$	41.2 Btu/lb(22.9 Cal/g).
Calor de Vaporización $-34.05^{\circ}\text{C}$	123.67 Btu/lb.
	123.8 Btu/lb.
	121.3 Btu/lb.
Rel. Liq-Vap. del Cloro	1 Vol. Liq = 456.8 Vol. Gas
	1 lb. Liq = 4.98 pies <sup>3</sup> de Gas
Punto de Fusión a 1 Atm.	$-101.0^{\circ}\text{C}$ ( $-149.8^{\circ}\text{F}$ )
	$-100.98^{\circ}\text{C}$ ( $-149.76^{\circ}\text{F}$ )
	$-101.6^{\circ}\text{C}$ ( $-150.9^{\circ}\text{F}$ )
Índice de Refracción a $14^{\circ}\text{C}$	1.367
a $20^{\circ}\text{C}$	1.385
Solubilidad en agua a $50^{\circ}\text{F}$ ( $10^{\circ}\text{C}$ )	0.996 g/100 g.
$68^{\circ}\text{F}$ ( $20^{\circ}\text{C}$ )	0.730 g/100 g.
$86^{\circ}\text{F}$ ( $30^{\circ}\text{C}$ )	0.570 g/100 g.
$212^{\circ}\text{F}$ ( $100^{\circ}\text{C}$ )	0.0 g/100 g.

Gravedad Específica-Gas Seco*	2.482
-Gas Saturado	9.337
-Líquido	1.468 $\frac{0^{\circ}}{4^{\circ}} \text{ C}$
Calor Específico-Gas Seco:	
-A Presión Constante Cp	0.115 Btu/lb <sup>0</sup> F a 59 <sup>0</sup> F 0.115 Cal/g <sup>0</sup> C a 15 <sup>0</sup> F. 0.115 Btu/lb <sup>0</sup> F a 15 psia entre 50 <sup>0</sup> F y 100 <sup>0</sup> F. 0.122 Btu/lb <sup>0</sup> F a 100 psia entre 100 <sup>0</sup> F y 150 <sup>0</sup> F.
-A Volumen Constante Cv	0.0849 Btu/lb <sup>0</sup> F a 59 <sup>0</sup> F. 0.0848 Btu/lb <sup>0</sup> F a 15 psia entre 50 <sup>0</sup> F y 100 <sup>0</sup> F.
Calor Específico-Líquido:	
	0.226 Btu/lb <sup>0</sup> F de 32 <sup>0</sup> F a 75 <sup>0</sup> F. 0.233 Btu/lb <sup>0</sup> F de 0 <sup>0</sup> F a 100 <sup>0</sup> F
Relación Cp/Cv	1.355
Volumen Específico-Gas Seco*	
-Gas Saturado	4.992 pies <sup>3</sup> /lb.
-Líquido	1.330 pies <sup>3</sup> /lb. 0.01091 pies <sup>3</sup> /lb.
Tensión Superficial a 0 <sup>0</sup> C (32 <sup>0</sup> F)	
28 <sup>0</sup> C (82.4 <sup>0</sup> F)	21.900 Din/cm.
50 <sup>0</sup> C (122 <sup>0</sup> F)	16.990 Din/cm. 13.39 Din/cm.



Conductividad Térmica a 0°C (32°F)	0.0042	Btu/hr pie <sup>2</sup> (°F) pie.
55.6°C(132°F)	0.0049	Btu/hr pie <sup>2</sup> (°F) pie.
-Líquido a 30°C (86°F)	0.108	Btu/hr pie <sup>2</sup> (°F) pie.

\* Temperatura Estándar 0°C (32°F) Presión 1 Atm (14.696 psia).

Las propiedades físicas y termodinámicas más importantes para el cloro líquido y gaseoso en función de la temperatura - se indican en las tablas y figuras siguientes:

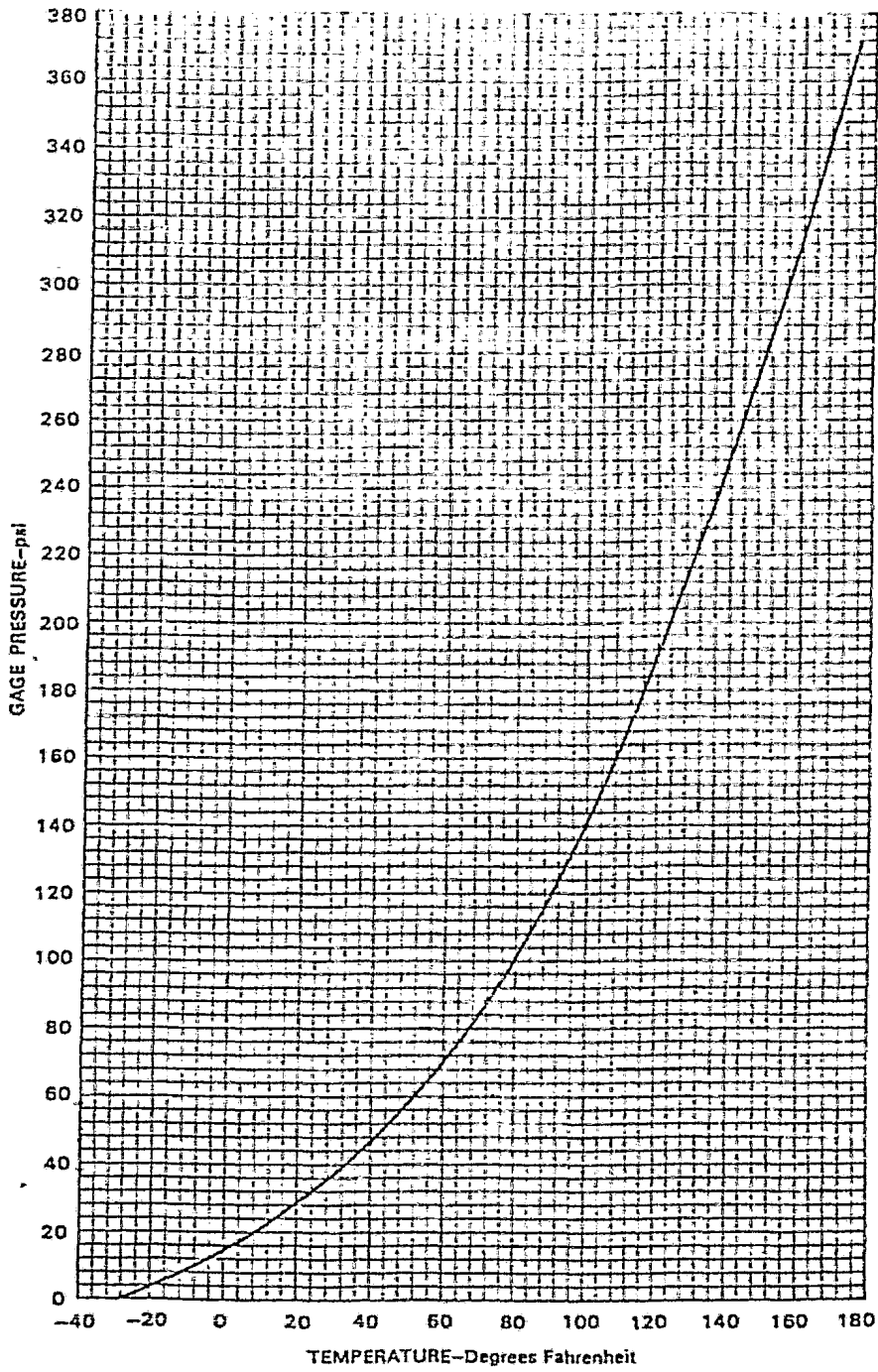


Fig. 1.3 Presión de Vapor del Cloro vs. Temp.

Calculated from equation of A. S. Ross and O. Maas, *Canadian Journal of Research*,  
Vol. 18, section B, pp 55-65

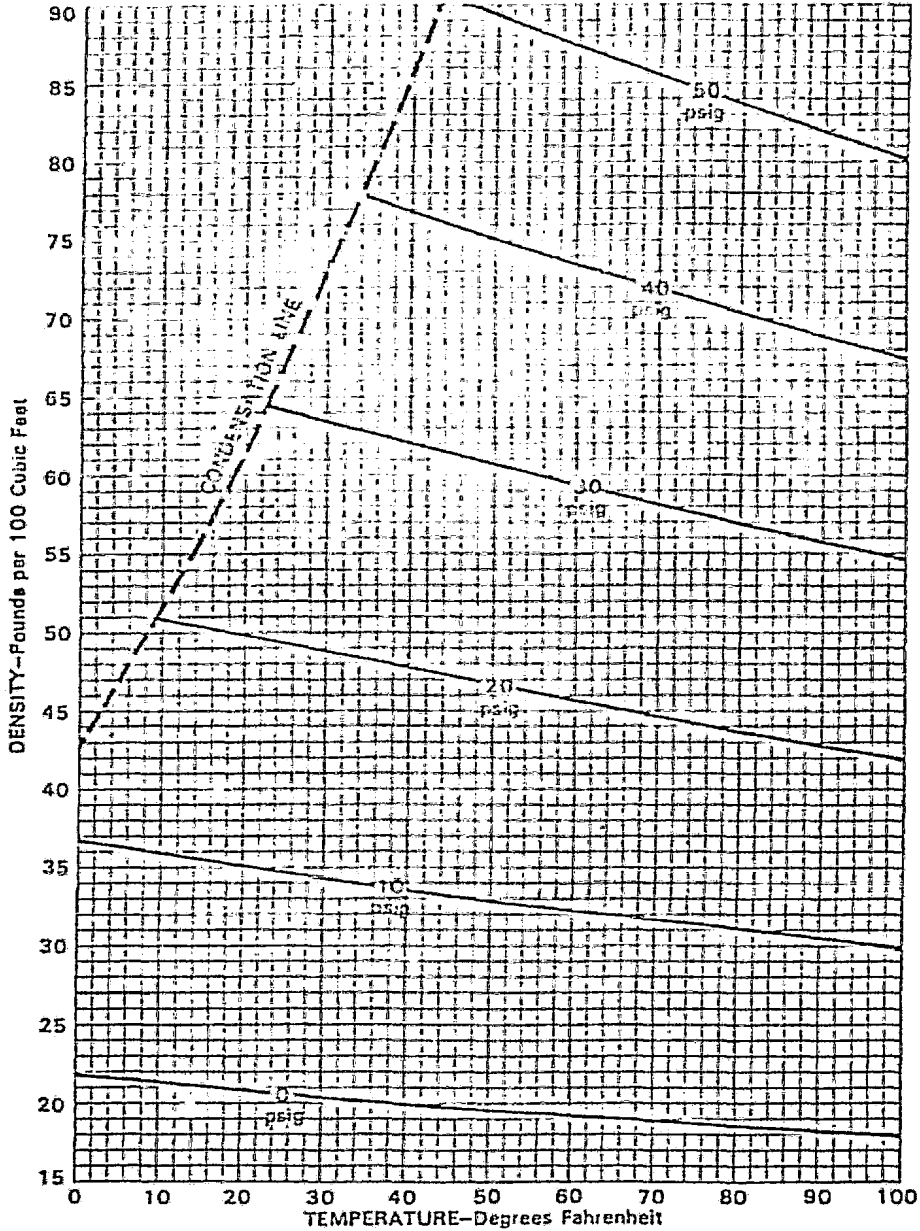


Fig. 1.4 Densidad del Cloro Gas vs. Temperatura.

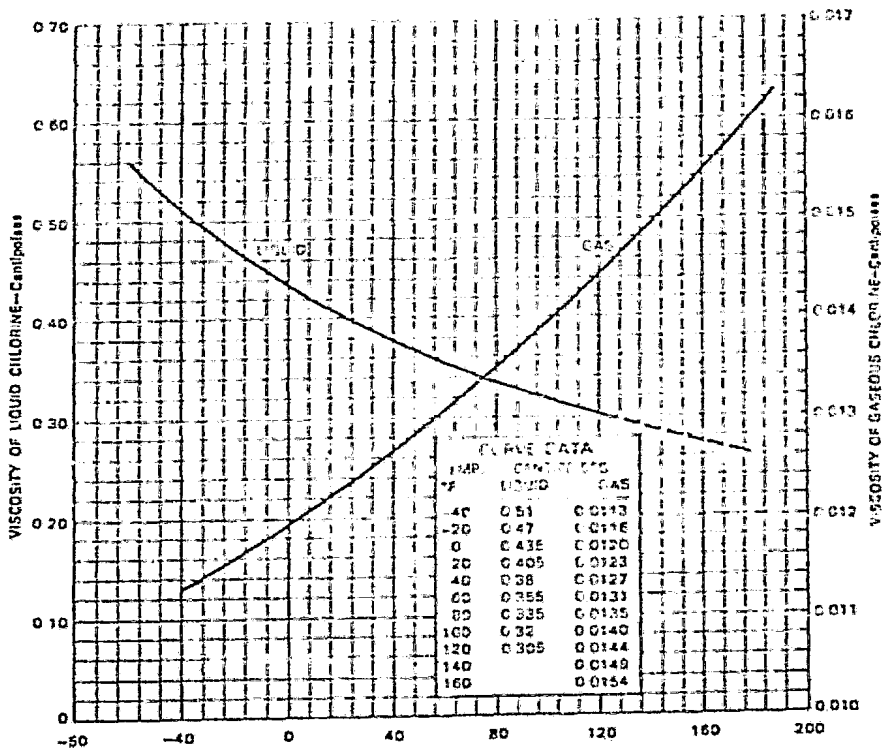


Fig. 1.5 Viscosidad del Cloro vs. Temperatura.

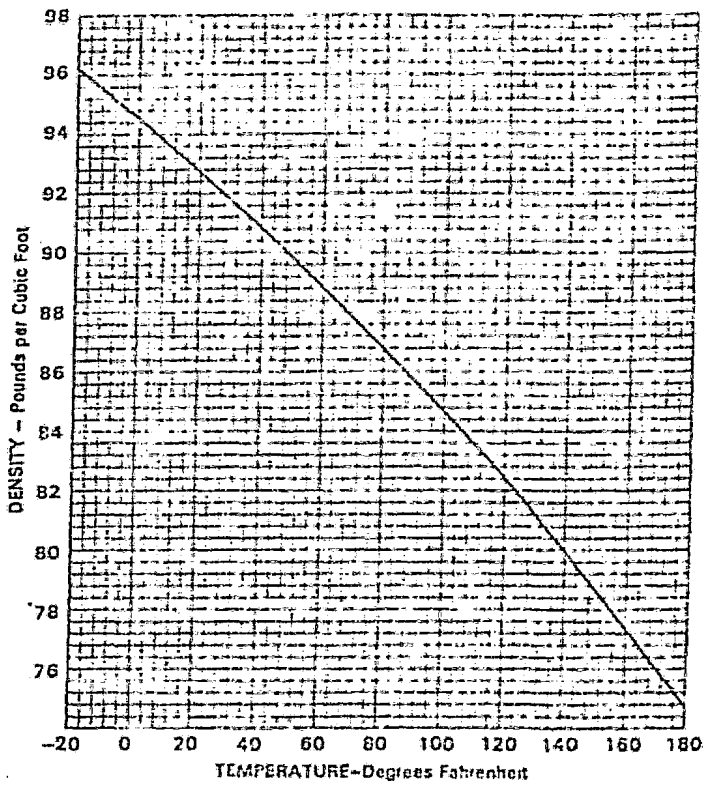


Fig. 1.6 Densidad del Cloro Líquido vs Temp.

Datum: H = 0, S = 0 for solid Cl <sub>2</sub> at -459.69°F (0°R)											
Pressure, psia		Temperature, °F									
		0	60	120	180	240	300	360	420	480	540
10	V	6.8782	7.7991	8.1171	8.6330	10.148	11.461	12.373	13.085	14.197	15.107
	H	239.30	236.07	242.94	249.92	256.99	264.13	271.33	278.59	285.85	293.13
	S	.74325	.75708	.77351	.78107	.79363	.80242	.81054	.81907	.82706	.83459
15	V	4.5593	5.1777	5.7932	6.4056	7.0205	7.642	8.190	8.7404	9.4571	10.095
	H	229.12	235.91	242.81	249.81	256.89	264.04	271.25	278.50	285.78	293.07
	S	.73167	.74555	.75812	.76960	.78018	.78939	.79732	.80506	.81255	.81978
20	V	3.2997	3.6869	4.3312	4.7933	5.1589	5.7134	6.1723	6.6473	7.1473	7.5443
	H	228.94	235.76	242.68	249.69	256.79	263.95	271.17	278.43	285.71	293.01
	S	.72330	.73732	.74992	.76143	.77203	.78185	.79090	.79924	.80755	.81578
25	V	2.7037	3.0803	3.4539	3.8253	4.1952	4.5639	4.9317	5.2989	5.6655	6.0317
	H	228.76	235.61	242.55	249.58	256.69	263.85	271.09	278.35	285.64	292.94
	S	.71690	.73089	.74353	.75507	.76569	.77553	.78468	.79324	.80125	.80879
30	V		2.5559	2.9140	3.1739	3.4343	3.6972	4.1148	4.4115	4.7176	5.1332
	H		235.45	242.42	249.46	256.50	263.57	271.01	278.19	285.58	292.88
	S		.72561	.73928	.75085	.76049	.76834	.77561	.78238	.78860	.79429
40	V		1.9301	2.1377	2.3731	2.6389	2.8938	3.0712	3.2922	3.5227	3.7627
	H		235.74	242.15	249.23	256.78	263.89	270.84	278.13	285.44	292.76
	S		.71718	.73594	.74756	.75825	.76713	.77432	.78090	.78694	.79249
50	V		1.5094	1.6589	1.8139	2.0675	2.3147	2.4511	2.6327	2.8218	3.0144
	H		234.82	241.07	248.92	256.17	263.40	270.69	278.35	285.91	292.94
	S		.71055	.72340	.73508	.74581	.75572	.76494	.77354	.78160	.78916
60	V		1.2430	1.4062	1.5652	1.7245	1.8815	2.0370	2.1999	2.3478	2.5022
	H		234.50	241.60	248.75	255.95	263.22	270.51	277.83	285.44	292.92
	S		.70506	.71800	.72974	.74051	.75046	.75970	.76832	.77639	.78395
80	V		.91500	1.0401	1.1625	1.2831	1.4024	1.5207	1.6383	1.7553	1.8718
	H		233.83	241.04	248.27	255.54	262.84	270.18	277.53	285.00	292.27
	S		.69520	.70939	.72120	.73206	.74208	.75132	.76003	.76813	.77573
100	V			.82012	.92012	1.0182	1.1149	1.2106	1.3055	1.3999	1.4937
	H			240.46	247.78	255.11	262.47	269.84	277.23	284.63	292.02
	S			.70245	.71446	.72542	.73559	.74485	.75355	.76168	.76931
150	V			.52589	.59641	.66454	.73133	.79592	.85168	.92883	.98348
	H			238.94	246.50	254.01	261.50	269.09	276.47	283.94	291.40
	S			.68940	.70181	.71363	.72331	.73279	.74160	.74982	.75751
200	V			.37753	.43391	.48751	.53935	.58937	.63971	.68878	.73734
	H			237.30	245.16	252.87	260.52	268.12	275.70	283.25	290.77
	S			.67946	.69237	.70390	.71438	.72401	.73293	.74124	.74900
250	V			.33583	.38291	.42398	.46570	.50647	.54553	.58505	.62505
	H			243.72	251.68	259.50	267.23	274.91	282.55	290.14	
	S			.68461	.69550	.70722	.71792	.72697	.73446	.74120	
300	V			.26678	.30954	.34691	.38276	.41759	.45167	.48518	
	H			242.19	250.44	258.45	266.32	274.11	281.84	289.50	
	S			.67786	.69019	.70116	.71116	.72033	.72882	.73673	
600	V				.12611	.15202	.17435	.19487	.21427	.23232	
	H				241.13	251.26	260.38	269.03	277.39	285.55	
	S				.66116	.67596	.68952	.69981	.70901	.71744	
1,000	V						.028549	.065890	.091940	.055329	.10672
	H						209.81	244.10	256.83	267.42	277.08
	S						.60795	.65205	.66707	.67872	.68858

\*V = volume in ft<sup>3</sup>/lb, H = enthalpy in Btu/lb, S = entropy in Btu/(lb)(°R)

<sup>1</sup>Adopted by permission from R. M. Keenan and J. J. Martin, "Thermodynamic Properties of Chlorine," Engineering Research Institute Publications, The University of Michigan (1957).

Fig. 1.7 Propiedades Termodinámicas del Cloro Sobrecalentado.

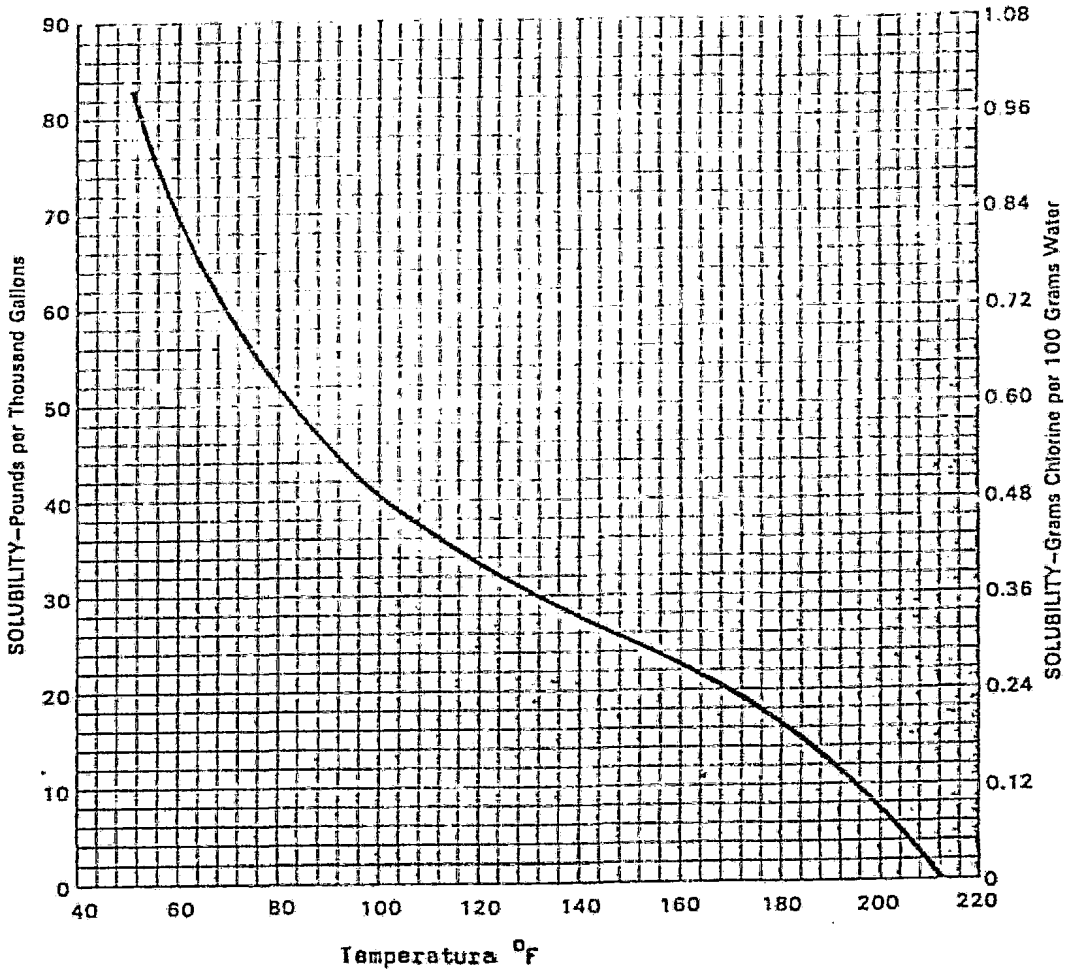
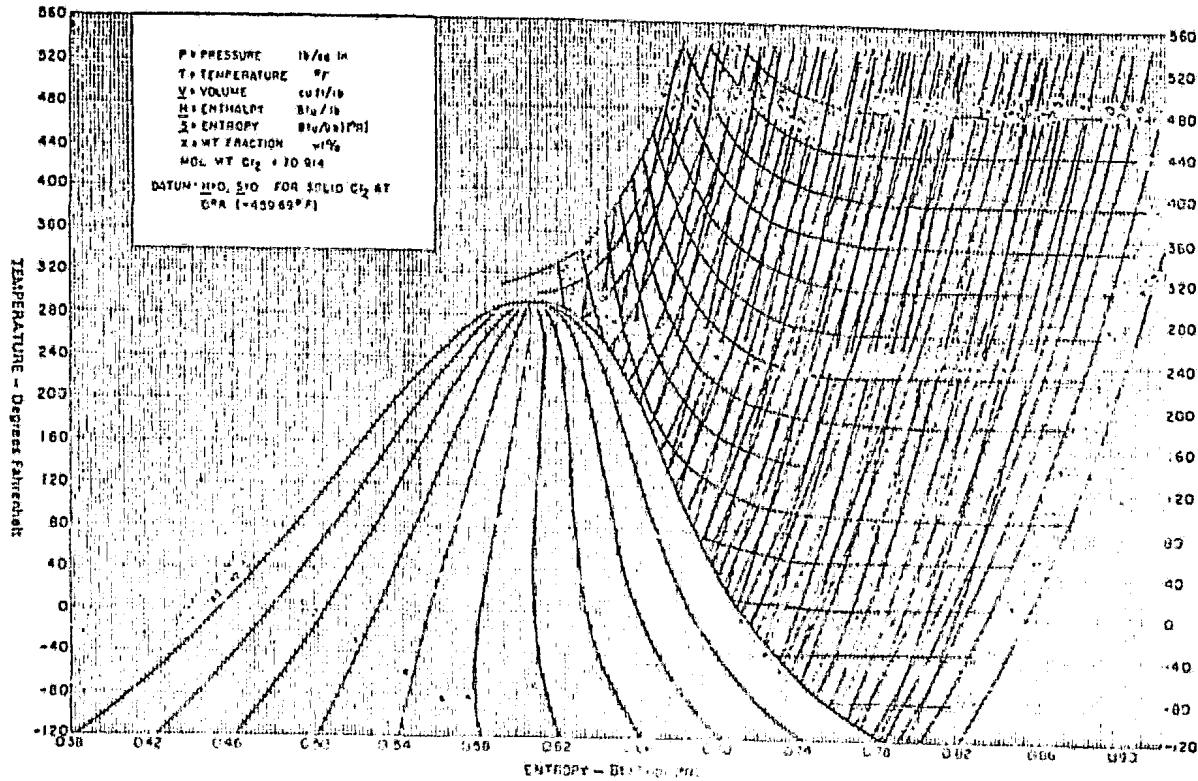


Fig. 1.8 Solubilidad del Cloro en Agua vs Temperatura.

# Chlorine Temperature - Entropy Diagram

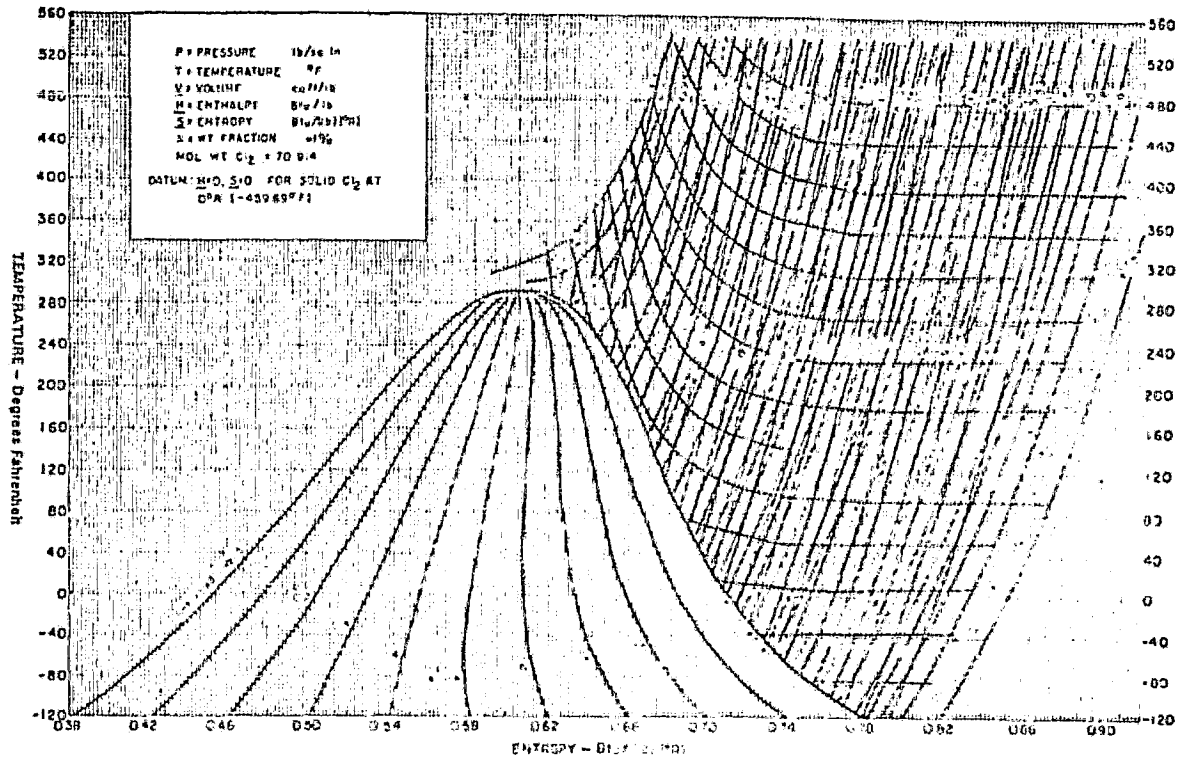


Adapted by permission from R. M. Kopper and J. J. Martin, "Thermodynamic Properties of Chlorine," Engineering Research Institute Publications, The University of Michigan (1957).

Fig. 1.9 Diagrama Temperatura-Entropia del Cloro.



### Chlorine Temperature - Entropy Diagram



*Adapted by permission from R. M. Kopp and J. J. Martin, "Thermodynamic Properties of Chlorine," Engineering Research Institute Publications, The University of Michigan (1957)*

Fig. 1.9 Diagrama Temperatura-Entropía del Cloro.

## 2 DEFINICION DEL SISTEMA

## 2.1 Análisis de las Alternativas y Selección del Sistema.

### 2.1.1 Aspectos Técnicos.

La selección del nivel de presión de descarga más conveniente se basa en la alternativa que requiere menos energía en la etapa de compresión y menor número de toneladas de refrigeración. Según se muestra en la tabla 2.1 y figura 2.1.

Los datos que forman parte de las mismas se obtienen del balance de materia y energía para cada nivel de compresión.

En el inciso 2.2 se ilustra la metodología y criterios que se utilizaron para llevar a cabo el balance de materia y energía con la presión de descarga en el compresor de  $4.9 \text{ Kg/cm}^2$  ( $70 \text{ lb/pulg}^2$ ), que de acuerdo a la tabla y figura 2.1 es la presión más conveniente ya que bajo esta condición se encuentra el equilibrio entre la potencia requerida por el gas y las toneladas de refrigeración para llevar a cabo la purificación del Cloro.

### 2.1.2. Aspectos Económicos.

La selección del Sistema con la presión más conveniente se apoya en la comparación de los costos Fijos del Equipo y de los costos de Operación mínimos requeridos. Teniéndose como resultado que la presión más económica en la descarga del compresor es la de  $4.9 \text{ Kg/cm}^2$  ( $70 \text{ lb/pulg}^2$ ). Tal y como se indica en la tabla 2.2 y figura 2.2.

Los criterios para obtener y comparar los costos fijos y de operación son los siguientes:

- 1.- Se utilizaron los Costos de Equipo de Proceso Recomendados por Hall, Matley, Mc Naughton, Evans y Mills (Ver Bibliografía).
- 2.- Todos los Costos del Equipo se actualizaron en base a los índices de M&S reportados en el Chem. Engineering, a la fecha.
- 3.- Se tomaron como base de comparación los Costos (Fijos y de Operación) correspondientes al Equipo de Proceso principal: Compresor y Circuito de Refrigeración.
- 4.- Para el cálculo de los Costos de Operación se utilizaron las tarifas de la CFE, aplicadas a la energía consumida por los equipos mencionados en el inciso anterior, por un año.
- 5.- Los demás Equipos (Separador Vertical, Almacenamiento, etc) se consideran unicamente para estimar el costo total del sistema.
- 6.- En los Costos obtenidos se estima una variación de 35 % .- En la Tabla 2.3 se presenta el resumen de la Estimación del costo total del Sistema.

## 2.2 Balance de Materia y Energía.

### 2.2.1. Compresión.

Se recomienda utilizar un compresor Centrifugo por las siguientes razones:

- a) Se requiere una Presión de Descarga relativamente baja.
- b) Garantiza la Operación Continua del Sistema.
- c) Requiere menor mantenimiento.
- d) Es aconsejable disponer con facilidad de partes de repuesto.
- e) La magnitud del volumen manejado.
- f) Las características del Fluido que se maneja.
- g) Este tipo de Compresor se utiliza en la Planta donde se realizó este trabajo.

TABLA 2.1 Alternativas del Nivel de Compresión.

PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR, PSIAS.	44.5	70	176.5
FLUJO MASICO, LB/HR.	31967.2	31967.2	31967.2
FLUJO VOLUMETRICO EN LAS CONDICIONES DE SUCCION, PIES <sup>3</sup> /MIN.	3424	3424	3424
GHP (GAS HORSE POWER), HP.	388	592	1777
TEMPERATURA DE SUCCION, °F.	62	62	62
TEMPERATURA A LA DESCARGA, °F.	121	122	115
PUNTO DE CONDENSACION, °F.	20.7	45	107.5
ENFRIAMIENTO DE GASES, T °F.	100.3	77	8
CARGA DE CALOR, TON. DE REF.	335.09	318.37	271.84
CORO CONDENSADO, LBMOL/HR.	433.10	433.27	433.10
EFICIENCIA EN LA CONDENSACION, %.	97.44	97.44	97.44
CONCENTRACION DE HIDROGENO EN LOS GASES QUE VAN A RECUPERACION, % MOL.	3.45	3.45	3.45
TEMPERATURA DE VAPORIZACION DEL REFRIGERANTE, °F	-27.3	-6.1	44.8

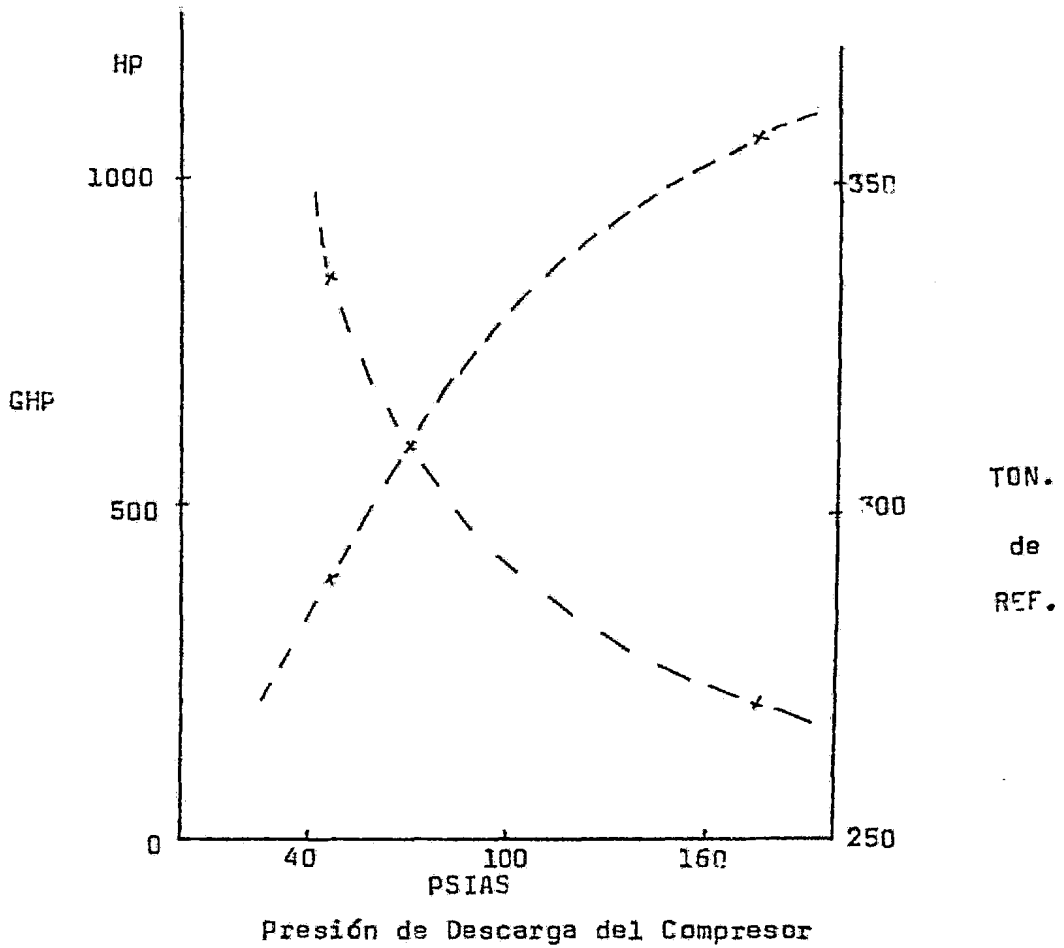


Fig.2./Selección del Nivel de Compresión.

TABLA 2.2 Comparación de Costos Fijos y de Operación.

Presión Lb/pulg <sup>2</sup>	44.5	70	176.5
Equipo	Costo Fijo	Costo Fijo	Costo Fijo
Compresor	21873000.00	27485000.00	45494000.00
U. de Refrigeración	38922000.00	31813000.00	27591000.00
Subtotal	60795000.00	59299000.00	73185000.00
	Costo Op.	Costo Op.	Costo Op.
Compresor	4383100.00	6687600.00	12121400.00
U. de Refrigeración	12596600.00	8178800.00	3646700.00
Subtotal	16969700.00	14866400.00	15768100.00
TOTAL	77764700.00	74165400.00	88953100.00

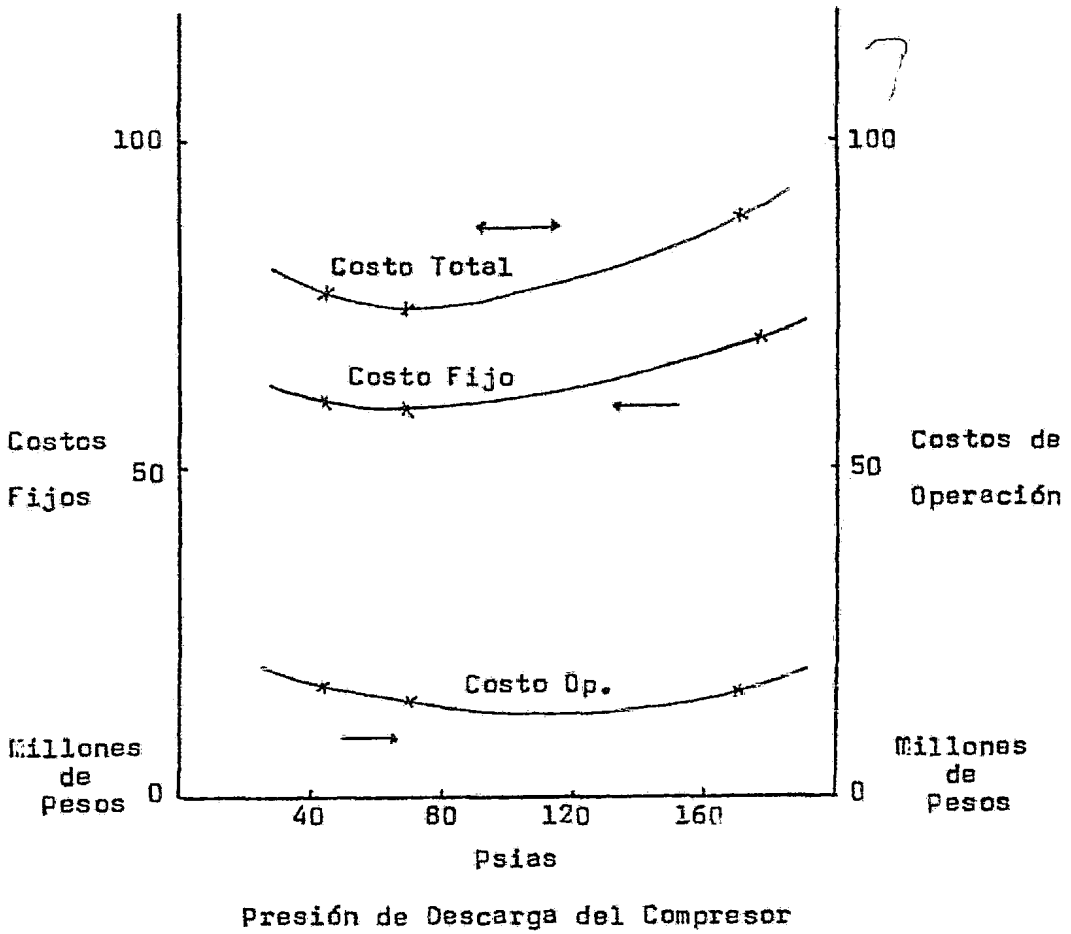


Fig. 2.2 Selección del Nivel de Compresión.



TABLA 2.3 Costo Total del Sistema.

DESCRIPCION	COSTO
Equipo de Proceso	
-Compresor	27 486 000.00
-U. de Refrigeración	31 813 000.00
-Separador Líq-Gas	575 000.00
-Almacenes de Cloro Líq.	14 289 000.00
	<hr/>
Subtotal	74 163 000.00
Instalación	11 124 450.00
Materiales	22 248 900.00
Otros (Mano de Obra, Fletes, Etc.,)	88 995 560.00
	<hr/>
Subtotal	116 435 910.00
Ingeniería y Contingencias	11 643 591.00
Servicios de Construcción	23 287 182.00
	<hr/>
ESTIMACION TOTAL \$	151 366 683.00

Condiciones en la succión:

$$W_{Cl_2} = 14.5 \text{ Ton/hr} = 14500 \text{ Kg/hr} \times 1 \text{ lb}/0.4535 \text{ Kg} = 13967.2 \text{ lb/hr.}$$

$$T_1 = 62^\circ \text{F} .$$

$$P_1 = 12.49 \text{ lb/pulg}^2 .$$

$$PM = 69.715 \text{ lb/lb mol.}$$

$$\rho = 0.1556 \text{ lb/ pie}^3 .$$

$$P_2 = 70 \text{ lb/pulg}^2 .$$

$$Q_v = W_{Cl_2} / \rho = 13967.2 / 0.1556 = 205\,444.73 \text{ pies}^3/\text{hr} \\ = 3424 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

$$\text{Relación de Compresión } r = 70/12.49 = 5.6045 .$$

$$\text{Exponente Isentrópico } K = 1.355 .$$

Del diagrama de Mollier del Cloro (Fig. 1 del apéndice):

$$H_{v1} = 236.5 \text{ Btu/lb.}$$

$$H_{v2} = 267.0 \text{ Btu/lb.}$$

$$\Delta H_{AD} = 267 - 236.5 = 30.5 \text{ Btu/lb.}$$

Para una capacidad de  $3424 \text{ pies}^3/\text{min}$  (Fig. 2 del apéndice)

$$\eta_p = 0.713 .$$

Por otra parte la Fig. 3 del mismo, muestra la relación

para compresores centrífugos, de donde se tiene que:

$$\phi = (P_2/P_1)^{K-1/K} = (5.6045)^{1.355-1/1.355} = 1.5708 = 1.6$$

Teniéndose que  $\eta_{AD}/\eta_p = 0.908$ .

$$\text{por lo que } \eta_{AD} = 0.908 \times \eta_p = 0.908 \times 0.713 = 0.6474 .$$

$$GHP = W_{Cl_2} H_{AD} / \eta_{AD} = 13967.2 \times 30.5 / 0.6474 = 1\,506\,023.5 \text{ Btu/lb}$$

1 HP = 2545.1 Btu/hr. Por lo tanto:

$$GHP = 1\,506\,023.5 / 2545.1 = 592 \text{ HP.}$$

Cabeza adiabática para cada impulsor:

$$H_{AD} / \text{Imp} = \mu v^2 / g, \text{ pies}$$

donde:

$$\mu = 0.55 \text{ (valor promedio)}$$

$$v = 600 \text{ pies/seg.}$$

$$g = \text{Cte. gravitacional} = 32.2 \text{ pies/seg}^2.$$

$$H_{AD} / \text{Imp} = 0.55(600)^2 / 32.2 = 6149.0 \text{ pie-lb/lb} \times 0.0012854 \text{ Btu/pie-lb} \\ = 7.9 \text{ Btu/lb.}$$

$$H / \text{Imp} = (H_{AD} / \text{Imp}) / \eta_{AD} = 7.9 / 0.6474 = 12.2 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{HP/Imp} = 31\,967.2 \text{ lb/hr} \times 12.2 \text{ Btu/lb} = 390\,282.8945 \text{ Btu/hr.}$$

$$\text{HP/Imp} = 153.3 \text{ HP.}$$

$$\text{No. de Impulsores} = \text{GHP} / (\text{HP/Imp}) = 592 / 153.3 = 3.86 \rightarrow 4 \text{ Imp.}$$

Para limitar el efecto corrosivo del cloro por temperatura, el compresor debe enfriarse mediante interenfriadores usando agua, existen tambien compresores que se enfrían por encharquetamiento.

Cuando se presentan estas condiciones, como lo es nuestro caso, mediante la Fig. 4 del apéndice., se tiene la relación de coeficiente politrópico  $n-1/n$  obteniéndose un valor de 0.254., con el cual se calcula la temperatura de salida  $T_2$ :

$$\text{Relación de compresión } (P_2/P_1)^{1/4} = (5.6045)^{1/4} = 1.5786$$

$$T_2 = T_1 ( (P_2/P_1)^{1/4} )^{n-1/n} = 522(1.5385)^{0.254} = 582.3^{\circ}\text{R} = 122^{\circ}\text{F}$$

Post- Enfriamiento:

$$\text{El flujo másico } W_{Cl_2} = 31\,967.2 \text{ lb/hr.}$$

$$C_{p_{Cl_2}} = 0.115 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$

Composición % mol

Cl<sub>2</sub>            96.97

O<sub>2</sub>             2.07

CO<sub>2</sub>            0.51

H<sub>2</sub>             0.19

N<sub>2</sub>             0.26

$P_T = 70 \text{ lb/pulg}^2$  .

Cálculo del punto de rocío (temperatura a la que el cloro -- empieza a condensar).

$$\bar{P}_{Cl_2} = P_T Y_{Cl_2} = 70 \text{ lb/pulg}^2 \times 0.9697 = 67.879 \text{ lb/pulg}^2.$$

En la figura No. 5 del apéndice, Propiedades Termodinámicas del Cloro Saturado, se obtiene la temperatura: 45<sup>C</sup>F.

Calor necesario que se necesita extraer a la corriente gaseosa para que el cloro empiece a condensar:

$$Q_o = W_{Cl_2} C_{P_{Cl_2}} \Delta T = 31\,967.2 \times 0.115(122 - 45) = 263070 \text{ Btu/hr.}$$

### 2.2.2. Condensación y Enfriamiento.

El criterio para establecer el rango de temperatura para la condensación y enfriamiento es la concentración de hidrógeno en la corriente gaseosa de los incondensables, la cual se -- calcula con un valor máximo de 3.45 % mol para evitar la explosividad de la mezcla, siguiendo el procedimiento:

- 1.- Se supone una temperatura  $T_o$ .
- 2.- Se supone una caída de presión en el licuefactor de  $1 \text{ lb/pulg}^2$ .
- 3.- Se calcula la presión de vapor del cloro a  $T_o$  .

- 4.- Se calculan las lb mol de cloro en fase gaseosa.
- 5.- Se calcula la concentración de hidrógeno suponiendo que los otros componentes no se condensan.
- 6.- Cuando la concentración de hidrógeno es idéntica a la -- establecida como límite corresponde a la temperatura -- final de enfriamiento.

- - -

- 1.- Se supone una temperatura  $T_0 = 3.9^{\circ}\text{C}_F$ .
- 2.- Considerando la caída de presión de  $1 \text{ lb/pulg}^2$  en el -- licuefactor, la presión total es igual a  $69 \text{ lb/pulg}^2$ .
- 3.- La presión de vapor del Cloro a  $3.9^{\circ}\text{C}_F$  es igual a  $31.063 \text{ lb/pulg}^2$ .
- 4.- Las lb mol de  $\text{Cl}_2$  en los incondensables:  
De la información inicial (Tabla 2.1) se tienen  $w_{\text{Cl}_2} =$  --  $31\ 967.2 \text{ lb/hr}$  de gases con  $\text{PM} = 69.715 \text{ lb/lbmol}$ , por lo que entran  $458.5412 \text{ lbmol/hr}$  en total.

Y según composición:

$$w = \text{lbmol Cl}_2/\text{hr} = 444.6474 \text{ lbmol/hr.}$$

$$\text{lbmol O}_2/\text{hr} = 9.4918$$

$$\text{lbmol CO}_2/\text{hr} = 2.3386$$

$$\text{lbmol H}_2/\text{hr} = 0.6712$$

$$\text{lbmol N}_2/\text{hr} = 1.1922$$

$$\hline 458.5412$$

} 13.8938 lbmol/hr de incondensables.

lbmol de  $Cl_2$  a la salida del licuefactor en la fase gaseosa:

$$13.8938 / (69 - 31.063/69) \times 31.063/69 = 11.3763 \text{ lbmol } Cl_2/\text{hr.}$$

5.- La concentración de hidrógeno a la salida en la fase gaseosa:

		Fracción mol
lbmol $Cl_2$ /hr	11.3763	0.4502
lbmol $O_2$ /hr	9.4918	0.3756
lbmol $CO_2$ /hr	2.3386	0.0925
lbmol $H_2$ /hr	0.8712	* 0.0345
lbmol $N_2$ /hr	1.1922	0.0472

Total 25.2701 lbmol/hr.

6.- \*Como se observa, la concentración de hidrógeno corresponde al límite, establecido, no obstante se supone que existe cierto arrastre de incondensables con el cloro líquido y que son mínimos.

Para el cálculo de la carga de calor que se requiere para -- alcanzar  $3.9^\circ F$  se considerarán los siguientes intervalos de temperatura, que servirán también para fines de integración gráfica:

Enfriamiento del Gas de  $122^\circ F$  a  $45^\circ F$  (temp. de rocío)

Condensación y Enfriamiento:

$45^\circ F$	-	$40^\circ F$
$40^\circ F$	-	$30^\circ F$
$30^\circ F$	-	$15^\circ F$
$15^\circ F$	-	$3.9^\circ F$

Intervalo  $45^{\circ}\text{F} - 40^{\circ}\text{F}$

Presión de vapor del  $\text{Cl}_2$  a  $40^{\circ}\text{F} = 61.276 \text{ lb/pulg}^2$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $45^{\circ}\text{F} = 232.4625 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $40^{\circ}\text{F} = 232.09 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del Cloro líquido a  $40^{\circ}\text{F} = 118.26 \text{ Btu/lb}$ .

Presión de los incondensables =  $(70 - 0.25) - 61.276 = 8.474 \text{ lb/pulg}^2$ . \* $0.25 \text{ lb/pulg}^2$  corresponde a la caída de -- presión en el licuefactor.

lbmol de  $\text{Cl}_2$  a  $40^{\circ}\text{F}$  en la fase gaseosa:

$13.8938 / (69.75 - 61.276 / 69.75) \times 61.276 / 69.75 = 100.4669 \text{ lbmol/hr}$ .

lbmol de  $\text{Cl}_2$  que se condensan en este intervalo:

$444.6474 - 100.4669 = 344.1805 \text{ lbmol Cl}_2/\text{hr}$ .

Carga de calor sensible de los incondensables:

$Q_1 = 441.8312 \text{ lb/hr} \times 0.2316 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F} (45^{\circ}\text{F} - 40^{\circ}\text{F}) = 511.6486 \text{ Btu/hr}$ .

Carga de calor sensible del vapor de  $\text{Cl}_2$ :

$Q_2 = 100.4669 \times 70.9 (232.4625 - 232.09) = 2653.3559 \text{ Btu/hr}$ .

Carga de calor por condensación:

$Q_3 = 344.1805 \times 70.9 (232.4625 - 118.26) = 2786814.7945 \text{ Btu/hr}$ .

Carga de calor total en este intervalo:

$Q_{T1} = 2789979.7985 \text{ Btu/hr}$ .

- 0 -

Intervalo  $40^{\circ}\text{F} - 30^{\circ}\text{F}$ .

Presión de vapor del  $\text{Cl}_2$  a  $30^{\circ}\text{F} = 52.295 \text{ lb/pulg}^2$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $40^{\circ}\text{F} = 232.09 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $30^{\circ}\text{F} = 231.27 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del Cloro líquido a  $30^{\circ}\text{F} = 115.92 \text{ Btu/lb}$ .

Presión de los incondensables =  $69.5 - 52.295 = 17.2050 \text{ lb/pulg}^2$ .

lbmol de  $\text{Cl}_2$  en fase gaseosa a  $30^\circ\text{F}$ :

$$13.8938 / (69.5 - 52.295/69.5) \times 52.295/69.5 = 42.2305 \text{ lbmol } \text{Cl}_2/\text{hr.}$$

lbmol de  $\text{Cl}_2$  que se condensan en este intervalo:

$$100.4669 - 42.2305 = 58.2364 \text{ lbmol } \text{Cl}_2/\text{hr.}$$

Carga de calor sensible de los incondensables:

$$Q_1 = 441.8382 \text{ lb/hr} \times 0.2316 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} (40^\circ\text{F} - 30^\circ\text{F}) = 1023.2973 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor sensible del vapor de  $\text{Cl}_2$ :

$$Q_2 = 42.2305 \times 70.9 (232.09 - 231.27) = 2455.1968 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor por condensación:

$$Q_3 = 58.2364 \times 70.9 (232.09 - 115.92) = 479\,661.3653 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor total en este intervalo:

$$Q_{T2} = 483\,139.8594 \text{ Btu/hr.}$$

- 0 -

Intervalo  $30^\circ\text{F} - 15^\circ\text{F}$ .

Presión de vapor del  $\text{Cl}_2$  a  $15^\circ\text{F} = 38.7635 \text{ lb/pulg}^2$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $30^\circ\text{F} = 231.27 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del vapor de  $\text{Cl}_2$  a  $15^\circ\text{F} = 229.98 \text{ Btu/lb}$ .

Entalpía del Cloro líquido a  $15^\circ\text{F} = 112.43 \text{ Btu/lb}$ .

Presión de los incondensables:  $69.25 - 38.7635 = 30.4865 \text{ lb/pulg}^2$ .

lbmol de vapor de  $\text{Cl}_2$  en fase gaseosa a  $15^\circ\text{F}$ :

$$13.8938 / (69.25 - 38.7635/69.25) \times 38.7635/69.25 = 17.6659 \text{ lbmol/hr.}$$

lbmol de  $\text{Cl}_2$  que se condensan en este intervalo:

$$42.2305 - 17.6659 = 24.5646 \text{ lbmol } \text{Cl}_2/\text{hr.}$$



Carga de calor sensible de los incondensables:

$$Q_1 = 441.8382 \text{ lb/hr} \times 0.2316 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}(30^{\circ}\text{F} - 15^{\circ}\text{F}) = 1534.9454 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor sensible del vapor de  $\text{Cl}_2$ :

$$Q_2 = 17.6659 \times 70.9(231.27 - 229.98) = 1615.7408 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor por condensación:

$$Q_3 = 24.5646 \times 70.9(231.27 - 112.43) = 206\,975.3213 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor total en este intervalo:

$$Q_{T_3} = 210\,126.0080 \text{ Btu/hr.}$$

- 0 -

Intervalo  $15^{\circ}\text{F} - 3.9^{\circ}\text{F}$ .

$$\text{Presión de vapor del } \text{Cl}_2 \text{ a } 3.9^{\circ}\text{F} = 31.063 \text{ lb/pul}^2.$$

$$\text{Entalpía del vapor de } \text{Cl}_2 \text{ a } 15^{\circ}\text{F} = 229.98 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Entalpía del vapor de } \text{Cl}_2 \text{ a } 3.9^{\circ}\text{F} = 228.9849 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Entalpía del Cloro líquido a } 3.9^{\circ}\text{F} = 109.8609 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Presión de los incondensables : } 69 - 31.063 = 37.937 \text{ lb/pul}^2.$$

Lbmol de  $\text{Cl}_2$  en fase gaseosa a  $3.9^{\circ}\text{F}$  :

$$13.8938 / (69 - 31.063/69) \times 31.063/69 = 11.3763 \text{ lbmol } \text{Cl}_2/\text{hr.}$$

lbmol de  $\text{Cl}_2$  condensadas en este intervalo:

$$17.6659 - 11.3763 = 6.2896 \text{ lbmol } \text{Cl}_2/\text{hr.}$$

Carga de calor sensible de los incondensables:

$$Q_1 = 441.8382 \text{ lb/hr} \times 0.2316 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}(15^{\circ}\text{F} - 3.9^{\circ}\text{F}) = 1135.86 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor sensible del vapor de  $\text{Cl}_2$ :

$$Q_2 = 11.3763 \times 70.9(229.98 - 228.9849) = 802.6274 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor por condensación:

$$Q_3 = 6.2896 \times 70.9(229.98 - 109.8609) = 53\,565.0273 \text{ Btu/hr.}$$

Carga de calor total en este intervalo :

$$Q_{T_4} = 55\,503.5147 \text{ Btu/hr.}$$

- 0 -

lbmol totales de Cloro condensadas: 433.27 lbmol  $\text{Cl}_2$ /hr.

Carga de calor total para el Post-Enfriamiento, Condensación, y Enfriamiento:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_o - Q_{T_1} - Q_{T_2} - Q_{T_3} - Q_{T_4} = 283\,070 - 2\,789\,979.7985 \\ &- 483\,139.8584 - 210\,126.0080 - 55\,503.5147 = 3\,821\,819.17 \text{ Btu/hr.} \\ &= 318.3 \text{ Ton. de Ref.} \end{aligned}$$

Se alimentan 444.6474 lbmol  $\text{Cl}_2$ /hr gaseoso y se condensan -- 433.27 lbmol  $\text{Cl}_2$ /hr . Eficiencia 97.44 %.

### 2.3 Sistema de Purificación.

Una vez determinadas las condiciones fundamentales para el - Sistema se procede a elaborar su Diagrama de Flujo, de tal - forma que se destacan las operaciones más importantes, en -- este caso: Compresión, Licuefacción, Separación Líq-Gas y Re- frigeración. Este diagrama contiene las características e -- información necesaria para el diseño detallado del equipo - involucrado.

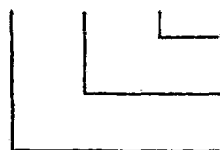
#### 2.3.1. Identificación General.

Existen varias maneras para identificar los equipos y demás- accesorios, esto depende del grado de complejidad del siste- ma, por lo que se usan los símbolos convencionales para los- mismos, en su forma más simplificada posible.

Se utilizarán letras para nombrar a los equipos, en seguida un número que indique el área y al final un número consecutivo.

Equipo	Identificación
Compresoras	K -
Licuefactor .	LE -
Interenfriador o enfriador	CC -
Tanque de almacenamiento	TA -
Economizador	E -
Separador Líq-Gas	SLV -
Condensador de Refrigerante	CR -

K - 01 - 1



No. Consecutivo del Equipo.

Area (01 solamente como referencia)

Tipo de Equipo (Compresor)

### 2.3.2. Equipo Involucrado:

Identificación	Descripción
K - 01 - 1	Compresor de Cloro.
LE - 01 - 1	Licuefactor de Cloro.
SLV - 01 - 1	Separador Líq-Gas.
TA - 01 - 1	Tanque de almacenamiento (Cloro Líquido).
K - 01 - 2	Compresor de Refrigerante.
E - 01 - 1	Economizador de Refrigerante.
CR - 01 - 1	Condensador de Refrigerante.
CC - 01 - 1,2,3,4	Interenfriadores y Enfriador.

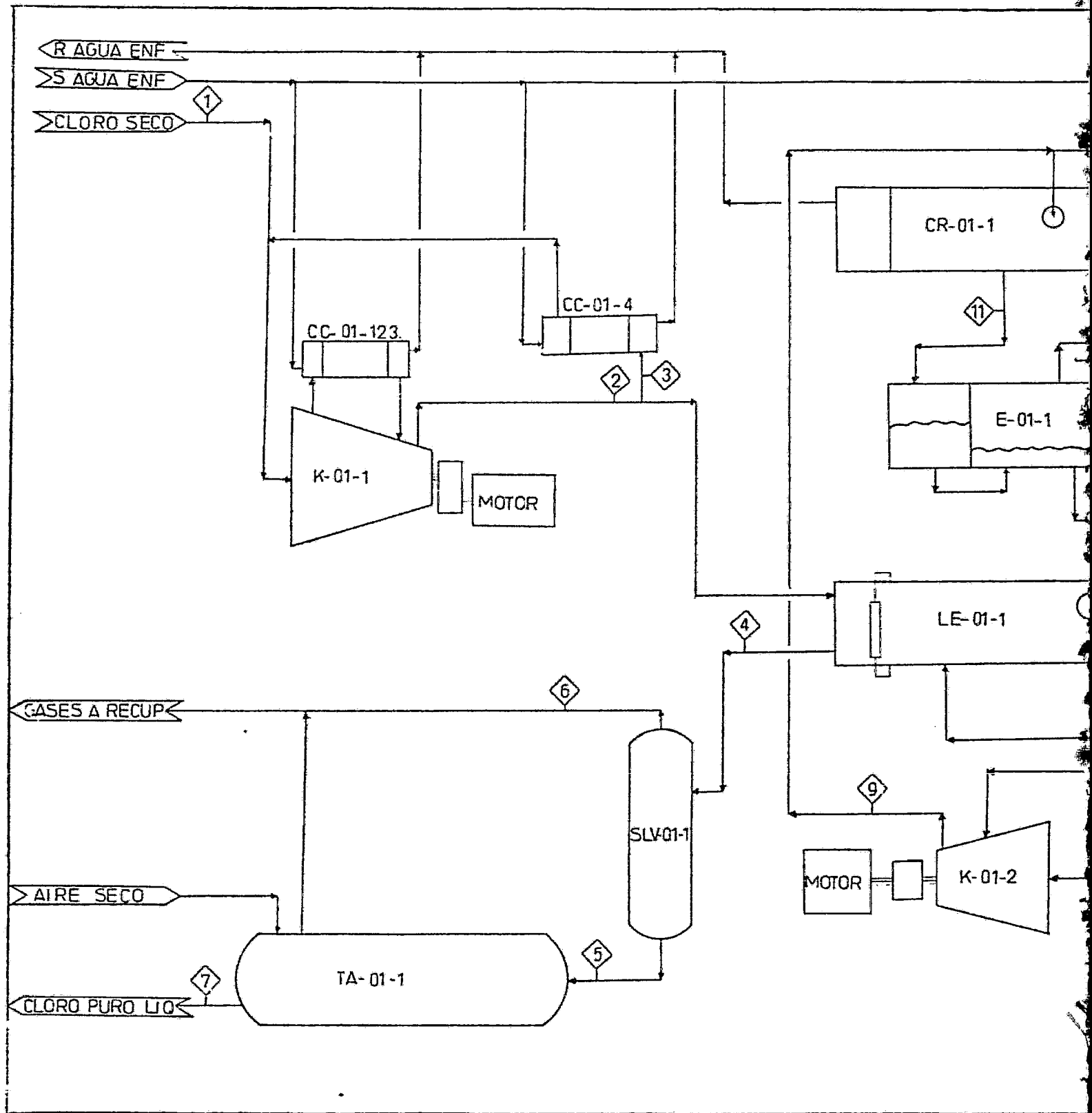
#### 2.4 Diagrama de Flujo Detallado.

A continuación se muestra el Diagrama de Flujo del Sistema - seleccionado y el cuadro de corrientes del mismo, que resumen los parámetros fundamentales derivados del Balance de Materia y Energía, como base para el diseño detallado de sus elementos.

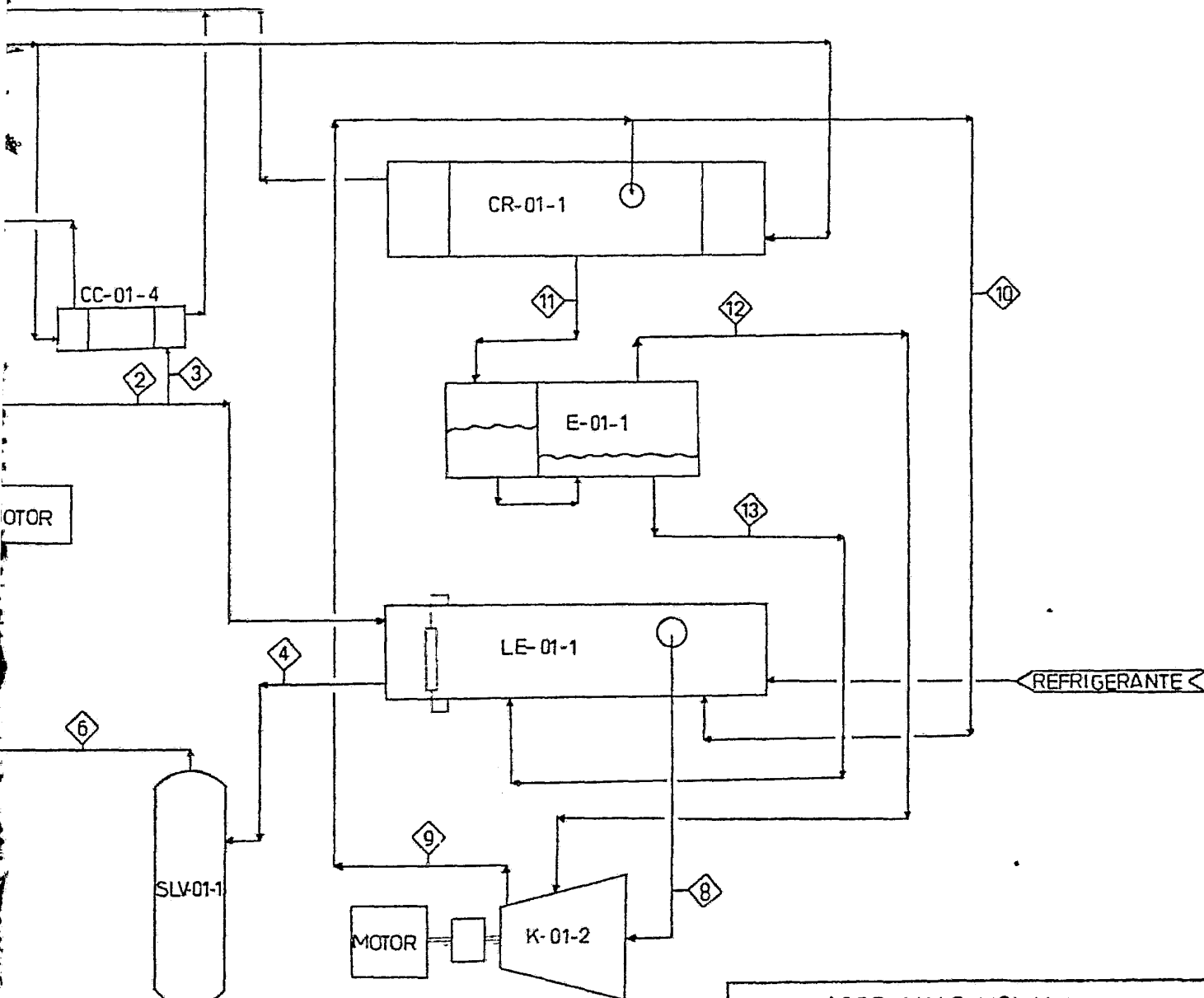
NO. DE CORRIENTE DESCRIPCION	1		2		3		4	
Temperatura °F	62		122		122		3.9	
Presión lb/pulg <sup>2</sup>	12.5		70		69		69	
P.M. Promedio	69.715		69.715		69.715		69.715	
Densidad lb/pie <sup>3</sup>	0.15		0.93		0.93		90.5	
Viscosidad cps	0.0138		0.014		0.014		0.020	
FLUJO	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr
Cl <sub>2</sub>	31525.44	444.64	31525.44	444.64	31525.44	444.64	31525.44	444.64
O <sub>2</sub>	303.73	9.48	303.73	9.48	303.73	9.48	303.73	9.48
CO <sub>2</sub>	102.89	2.33	102.89	2.33	102.89	2.33	102.89	2.33
H <sub>2</sub>	1.74	0.87	1.74	0.87	1.74	0.87	1.74	0.87
N <sub>2</sub>	33.38	1.19	33.38	1.19	33.38	1.19	33.38	1.19
H <sub>2</sub> O(lf)	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO TOTAL	31967.20	458.54	31967.20	458.54	31967.20	458.54	31967.20	458.54

5		6		7		8		9	
3.9		3.9		18		-6.1		160	
69		69		69.0		19.5		155.6	
70.9		49.40		70.9		120.9		120.9	
94.2		0.73		93.0		0.4844		2.82	
0.020		0.035		0.040		0.0112		0.0137	
lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr
30718.20	433.26	806.87	11.38	558.00	7.87	65660.0	543.00	7130.00	720.67
-	-	303.73	9.49	-	-	-	-	-	-
-	-	102.89	2.33	-	-	-	-	-	-
-	-	1.74	0.87	-	-	-	-	-	-
-	-	33.38	1.19	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30718.20	433.26	1218.61	25.26	558.00	7.87	65660.0	543.0	7130.00	720.67

10		11		12		13	
160		112.2		80		-6.1	
155.6		154.6		56.5		21.7	
120.9		120.9		120.9		120.9	
2.82		75.58		1.17		91.24	
0.0137		0.23		0.0126		0.35	
lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr	lb/hr	lbmol/hr
43550.00	360.21	87130.00	720.67	21470.00	177.58	65660.00	543.00
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
43550.00	360.21	87130.00	720.67	21470.00	177.58	65660.00	543.00







JOSE LUIS MOLINA A  
 TESIS PROFESIONAL UNAM

DIAGRAMA DE FLUJO

unidad: PURIFICACION DE CLORO

dib: fecha: Plano: rev.

esc: aprob: DF-001

## Nomenclatura para el Capítulo 2

$U_{Cl_2}$  = flujo másico de cloro, lb/hr.

$Q_v$  = flujo volumétrico de cloro pies<sup>3</sup>/hr.

$\rho_{Cl_2}$  = densidad del cloro lb/pie<sup>3</sup>.

$r$  = relación de compresión.

$K$  = exponente isentrópico.  $C_p/C_v$ .

$H_{v_1}$  = entalpía a la succión del compresor, Btu/lb.

$H_{v_2}$  = entalpía a la descarga del compresor, Btu/lb.

$H_{AD}$  = diferencia de entalpías (adiabáticas).

$\eta_p$  = eficiencia politrópica.

$\eta_{AD}$  = eficiencia adiabática.

$P_1$  = presión a la succión, lb/pulg<sup>2</sup>.

$P_2$  = presión a la descarga, lb/pulg<sup>2</sup>.

GHP = (Gas Horse Power) caballos de potencia.

$\mu$  = coeficiente de presión (rango 0.50 a 0.65).

$v$  = velocidad, pies/seg.

$T_1$  = temperatura a la succión, °F.

$T_2$  = temperatura a la descarga, °F.

$\bar{P}_{Cl_2}$  = presión parcial del cloro, lb/pulg<sup>2</sup>.

$Y_{Cl_2}$  = fracción molar del cloro en la fase gaseosa.

$P_T$  = presión total, lb/pulg<sup>2</sup>.

$Q_0$  = calor de enfriamiento para los gases, Btu/hr.

$w$  = flujo molar del Cloro, lbmol/hr.

$Q_1$  = calor sensible de los incondensables, Btu/hr.

$Q_2$  = calor sensible del vapor de cloro, Btu/hr.

$Q_3$  = calor por condensación, Btu/hr.

$Q_{T_{1,2,3,4}}$  = calor de cada intervalo de temperatura, Btu/hr.

### 3 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

### 3.1 Compresor (K - 01 - 1)

En base a las necesidades termodinámicas del compresor de Cloro (inciso 2.2.1), se hace necesaria la consideración de algunos factores que intervienen en su diseño mecánico y que repercuten en una operación confiable y eficiente, estos factores son producto de la experiencia en la operación y diseño de este tipo de compresores.

#### 3.1.1. Ensuciamiento del Compresor y Efectos.

Aunada a la naturaleza corrosiva del Cloro, cuando en la mezcla gaseosa se presentan trazas de humedad, se manifiesta -- una disminución en la presión de descarga del compresor. Las superficies corroídas producen la separación de flujo y caídas adicionales de presión, esto puede ocurrir en cada una de las etapa de compresión, por lo que el efecto es acumulativo. Fig. 6 del apéndice.

Existen tres alternativas para atacar este problema:

- 1.- Vigilar y reducir hasta los límites permitidos la presencia de humedad ó otros contaminantes.
- 2.- Compensar la pérdida de capacidad del compresor (no mayor al 25 %) con la ayuda de motorreductores de velocidad variable, con lo cual se establecen las condiciones óptimas de operación.
- 3.- Proteger las zonas internas de compresor mediante recubrimientos especiales (los cuales están en estudio), entre estas substancias se encuentran los polímeros fluorados.

### 3.1.2. Concentración de Cloro.

La concentración de Cloro en la alimentación del compresor - también puede provocar problemas en su operación y más aún - en su diseño, tal y como se observa en la Fig. 7 del apéndice. La concentración de Cloro depende de la operación de las celdas en donde se produce.

La figura 8 del apéndice corresponde a un compresor de Cloro de seis etapas con doble interenfriamiento.

### 3.1.3. Carga de calor en los interenfriadores.

El número de interenfriadores depende de la temperatura a la que se alimenta el cloro, considerando que no se debe mantener el cloro a una temperatura mayor a  $300^{\circ}\text{F}$ , por sus efectos corrosivos y explosivos.

Se manejan  $W_{\text{Cl}_2} = 31967.2 \text{ lb/hr}$

$C_{\text{pCl}_2} = 0.115 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$ , Temp.  $T_1 = 62^{\circ}\text{F}$

Después del primer paso:

Rel. de compresión  $1.5386 : 1$ ;  $n-1/n = 0.254$  (Fig. 4 del Apéndice)

$P_2 = 12.49 \times 1.5386 = 19.2171 \text{ lb/pulg}^2$ .

$T_2' = T_1'(P_2/P_1)^{n-1/n} = 522(19.2171/12.49)^{0.254} = 582.37^{\circ}\text{R} = 122^{\circ}\text{F}$ .

Calor sensible en el interenfriador:

$Q_{\text{Cl}_2} = 31967.2 \times 0.115(122 - 62) = 220\,573.68 \text{ Btu/hr}$ .

Después de cada paso se instala un interenfriador, por lo -- que son tres interenfriadores. En ellos se emplea agua helada a una temperatura de  $45^{\circ}\text{F}$ .

HOJA DE DATOS PARA COMPRESORES  
CENTRIFUGOS

JOSE LUIS MOLINA A.  
TESIS PROFESIONAL  
UNAF 1983

ESPEC. No.

SERVICIO COMPRESION DE CLORO FABRICANTE DELAVAL INC  
TIPO CENTRIFUGO MODELO                      TAMAÑO                       
No. IMPULSORES 4 BHP 623 RPM                      RANGO VEL.                      RPM                     

CONDICIONES DE OPERACION

Gas (Seco) CLORO GAS con INCRUDO. P. Mol. 69.715 "K" 1.355  
Succión: Presión Psia Normal 12.48 Garantizada                      Max.                       
Temp. Grad. F Normal 62 Garantizada                      Max.                       
Desc. : Presión Psia Normal 70 Garantizada                      Max.                       
Temp. Grad. F Normal 122 Garantizada                      Max.                       
Recirc.: Presión Psia Normal 70 Garantizada                      Max.                       
Temp. Grad. F Normal 122 Garantizada                      Max.                       
Pies Cub/Min Cond. Succ. 3424 Flujo Másico 13462.2 lb/hr  
Factor de Compresibilidad Succión 0.992 Descarga 0.977  
Surge 100 % Capacidad de Surge 13462.2 lb/hr.  
ΔP Interenfriadores Despreciable Psi RPM Crítica                     

DETALLES DEL COMPRESOR

Tipo de Impulsor                      Vel. Max.                      Vel. Nom. 600 PIES/SEC  
Brida de Succión 18" ASA 150 lbs. Cara PLANA  
Brida de Descarga 8" ASA 150 lbs. Cara PLANA  
Brida de Recirc. 8" ASA 150 lbs. Pres. Prueba 300 Psig  
Chumaceras: Muñón-Camisa Metálica                      Empuje                      Mca  
Coples: Eca.                      Clase                      Tipo                       
Interenfriamiento por AQUA Temp. 40 °F Tipo SELOS Y TUBOS  
Material de los tubos A.C. Tamaño                     

MOTOR DEL COMPRESOR

Capacidad                      Tipo CERRADO Clase NEMA 1 Volts 440 Fases 3  
Ciclos                      Hoja de Datos No.                      Engranaje Mca.                       
BHP Nominal 950 Modelo                      Rel. de Red.                     

MATERIALES DEL COMPRESOR

Armazón \*25 Cr No 4 Flecha 34 Cr No 4 Camisas 34 Cr No 4  
Impulsores: Eje y Cubierta 25 Cr No 4 Aspas                       
Diafragmas 25 Cr No 4 Laberintos 25 Cr No 4

SISTEMA DE LUBRICACION

Motor de la Bomba Principal de Aceite                       
Motor Auxiliar de la Bomba de Aceite                       
Volts 440 Fases 3 Ciclos 60 Clase NEMA 1  
Enfriadores de Aceite Gemelos                       
Temp. de Chumaceras                      Mat. de los tubos                       
Agua de Enfriamiento 40 a 55 °F & 40 Psig  
GPM Requeridos                     

SISTEMA DE SELLOS

Tipo de Sellos DE AIRE  
Observaciones \* VER CATALOGO DEHAB.

El diseño de los interenfriadores y enfriadoras queda fuera del alcance de este trabajo, ya que su diseño no va más allá del diseño convencional de un cambiador de calor.

### 3.2 Licuefactor (LE - 01 - 1)

#### 3.2.1. Condiciones Principales del Proceso.

Se considera una zona de enfriamiento y una zona de condensación - subenfriamiento. Por la corrosividad del cloro, éste fluye por los tubos y el refrigerante se expande (vaporizándose) por la coraza tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

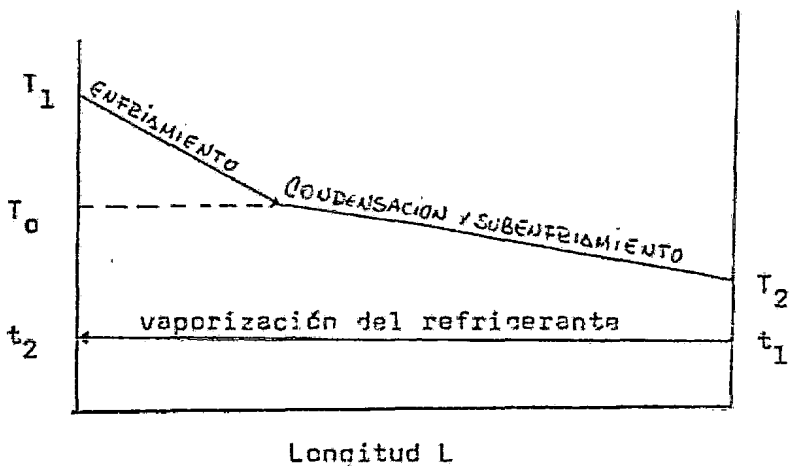


Fig. 3.1

Fluido Caliente (tubos)

$$T_1 = 122^{\circ}\text{F}$$

$$T_0 = 45^{\circ}\text{F}$$

$$T_2 = 3.9^{\circ}\text{F}$$

$$w_{\text{Cl}_2} = 31967.2 \text{ lb/hr.}$$

Fluido Frío (coraza)

$$t_1 = t_2 = -6.1^{\circ}\text{C}.$$

$$w_f = 65\ 660.9 \text{ lb/hr (Refrig.)}$$

### 3.2.2. Modelo para el Diseño del Licuefactor.

Cuando una mezcla de vapor de Cloro e incondensables se alimenta a un condensador y la temperatura de los tubos se encuentra por debajo del punto de rocío, se forma una película de condensado dentro de los tubos, además se forma una película de gas no condensable y vapor alrededor de la película del condensado, como se muestra en el siguiente dibujo:

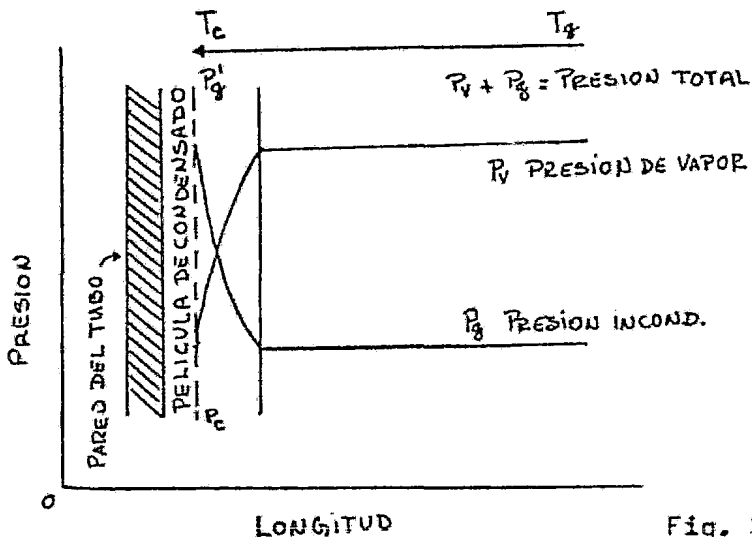


Fig. 3.2

Si se supone que existe un equilibrio en la superficie de la película del condensado, la presión parcial del vapor en la pared del tubo corresponde al condensado frío  $P_c$  y la presión del vapor en la película del gas se sitúa entre la de la película del condensado  $P_c$  y la del cuerpo gaseoso  $P_v$ . Para que el vapor del cuerpo gaseoso continúe condensando en una película, debe desplazarse a través de la película gaseosa por la diferencia entre la presión parcial del vapor en



el cuerpo gaseoso y el condensado. El paso de un componente a través de otro se llama Difusión o Transferencia de masa; D. Q. Kern establece que en un sistema de difusión la razón a la que el vapor condensa no depende ya enteramente del mecanismo de condensación sino de las leyes que gobiernan la difusión. Cuando el vapor se difunde a través de una película de gas no condensable y se licúa en la pared del tubo, -- lleva con él su calor latente de condensación. Existe también una diferencia de temperatura entre el cuerpo del gas  $T_g$  y la película de condensado  $T_c$ , por lo que el gas se enfría sensiblemente.

Partiendo de la analogía de Chilton, Colburn y Hougen, que -- demuestran la similitud entre la transferencia de masa y de calor, se llega a establecer la siguiente ecuación:

$$K_g = \frac{h_{io} (C_p \mu / K)^{2/3}}{C_p P_{gf} m_m (\mu / \rho K_d)^{2/3}}$$

Por otra parte el coeficiente total de transferencia varía -- grandemente durante la condensación del vapor de cloro en -- presencia de incondensables, en tanto que esto suceda la distribución de calor puede también variar debido a la razón de cambio diferencial en la entalpía de la mezcla de vapor a meda que la temperatura desciende, por lo que no es indispensable encontrar la verdadera diferencia de temperatura, ya -- que el coeficiente de transferencia de calor varía,  $dQ = q$  -- varía. Por lo tanto la superficie de transferencia de calor--

se define por la ecuación:

$$A = \int \frac{dQ}{(U\Delta T)}$$

Esta ecuación no puede integrarse a menos que  $U$  y  $\Delta T$  se expresen en función de  $Q$ , por lo que se integra numéricamente  $dQ = q$  para los intervalos finitos establecidos en el balance de calor (inciso 2.2).

### 3.2.3. Difusividad.

Para el cálculo de la difusividad Guilliland ha establecido una ecuación empírica para calcular la difusividad de un gas a través de otro:

$$K_d = 0.0166 \frac{T^{3/2}}{P_t (v_a^{1/3} + v_b^{1/3})^2} (1/m_A + 1/m_B)^{1/2}$$

### 3.2.4. Ecuación para la Transferencia de Calor.

Para establecer una ecuación que pueda resolverse de punto a punto para  $U$  y  $\Delta T$ , en la ecuación  $A = \int dQ/U\Delta T$ , será necesario sumar todas las resistencias en serie en una sección transversal promedio en cada incremento  $q$  en la condensación de vapor de cloro, en presencia de incondensables, la cantidad de calor que se retira de la película de condensado debe ser igual a la cantidad que absorbe el refrigerante. El flujo de calor a través de la película de gas es la suma del calor latente llevado por difusión del vapor a la película de condensado más el calor sensible removido del gas debido a la diferencia de temperatura  $T_g - T_c$ .

La carga de calor expresada en términos del lado de los tubos, de la coraza y potenciales totales por pie cuadrado de superficie, cuando el gas fluye por los tubos es:

$$h_{io}(T_g - T_c) + K_g M_{Cl_2} \lambda (P_v - P_c) = h_o(T_c - t_r) = U(T_g - t_r)$$

### 3.2.5. Cálculos.

Se supone que se tiene un cambiador de calor con las siguientes características (Fig. 11 del apéndice).

Diámetro de Coraza 39".

624 tubos de 1" de diámetro exterior, 14 BWG, 14 pies de Long.

Arreglo cuadrado de 1 1/4"

Con Cuatro Pasos  $n=4$ .

No. de tubos/paso = 156 tubos.

a) Zona de enfriamiento de la Mezcla de Gases.

Propiedades de la Mezcla Gaseosa:

$$K = 0.0047 \text{ Btu/hr pie}^2 (\text{C}_F/\text{pie})$$

$$\mu = 0.0138 \text{ cps} \times 2.42 = 0.0334 \text{ lb/hr pie.}$$

$$a_t^1 = 0.546 \text{ pulg}^2.$$

$$a_t = N_t a_t^1 / 144n = (624 \times 0.546) / (144 \times 4) = 0.5915 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = W_{Cl_2} / a_t = 31967.2 / 0.5915 = 54044.2942 \text{ lb/hr pie}^2.$$

$$D = 0.0695 \text{ pies.}$$

$$R_{e_t} = G_t D / \mu = 54044.2942 \times 0.0695 / 0.0334 = 112457.4385$$

De la Fig. 9 del apéndice:

$$h_i D / K = 230.$$

$$h_i = 230 K / D = 230 \times 0.0047 / 0.0695 = 15.554$$

$$h_{i0} = h_i \times \frac{DI}{DE} = 15.554 \times 0.834/1 = 12.97 \rightarrow 13 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Para calcular el coeficiente por el lado de la coraza  $h_o$ , - se utiliza la figura 10 del apéndice.

$$\text{De donde } (\Delta T)_w = t_w - t_r$$

Cuando el fluido caliente circula por los tubos:

$$t_w = t_r + \frac{h_{i0}}{h_{i0} + h_o} (T - t_r)$$

donde:

$$T = 122 + 45/2 = 83.5^\circ\text{F.}$$

Mediante la siguiente iteración se obtiene el valor de  $h_o$ .

- 1.- Se supone un valor de  $h_o$ .
- 2.- Se calcula la temperatura de la pared del tubo  $t_w$ .
- 3.- Se calcula  $(\Delta T)_w$ .
- 4.- Con el valor de  $(\Delta T)_w$  en la figura 10 del apéndice, se obtiene el valor de  $h_o$ , cuando éste valor es mayor a -- 300, deberá usarse el valor supuesto.

Para  $t_r = -6.1^\circ\text{F}$  (capítulo 4, inciso 4.1.2.)

$$T = 83.5^\circ\text{F}$$

$$h_{i0} = 13 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F pie}^2.$$

Se supone un valor de  $h_o = 70 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F pie}^2$ .

$$t_w = -6.1 + \frac{13}{13 + 70} (83.5 - (-6.1)) = 7.93^\circ\text{F}$$

$$(\Delta T)_w = 7.93 - (-6.1) = 14.03 \text{ en la figura 10 del apéndice}$$

se encuentra que  $h_o > 300$  por lo tanto se puede usar  $h_o = 70$

En la zona de enfriamiento:

$$U_c = \frac{h_{i0} h_o}{h_{i0} + h_o} = \frac{13 \times 70}{13 + 70} = 10.9638 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F pie}^2.$$

Se recomienda para el lado de los tubos un  $R_d = 0.003$  y para la coqueza  $R_d = 0.001$

$$U_D = \frac{1}{1/U_c + R_d} = \frac{1}{1/10.95 + 0.004} = 10.5 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F pie}^2.$$

La carga de calor para la zona de enfriamiento de los gases (inciso 2.2.1.) es  $Q_o = 382 \text{ C70 Btu/hr.}$

$$\Delta T = \text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \Delta T_2 / \Delta T_1} = \frac{128.1 - 51.1}{\ln 128.1 / 51.1} = 83^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 122 - (-6.1) = 128.1$$

$$\Delta T_1 = 45 - (-6.1) = 51.1$$

Area requerida:

$$A_{\text{enf.}} = \frac{Q_c}{U_D \Delta T} = \frac{383 \text{ C70}}{10.5 \times 83} = 325 \text{ pies.}$$

b) Zona de Condensación y Enfriamiento.

1.- Cálculo de la difusividad.

$$K_d = 0.0166 \frac{T^{3/2}}{F_t (v_{Cl_2}^{1/3} + v_{\text{incond}}^{1/3})^2} (1/r_{Cl_2} + 1/r_{\text{incond}})^{1/2}$$

$$T_o = 45^{\circ}\text{F} \quad \text{a} \quad T_2 = 3.9^{\circ}\text{F} \quad T = \frac{T_o + T_2}{2} = 24.45^{\circ}\text{F} = 269^{\circ}\text{K.}$$

Peso molecular del cloro  $M_{Cl_2} = 70.9 \text{ lb/lbmol.}$

Volumen atómico del cloro  $v_{Cl_2} = 24.6 \times 2 = 49.2$

Peso molecular y volumen atómico promedios, de los incondensables:

	Fracc. mol	$M_i$	$\bar{M}$	$V_i$	$\bar{v}_{incond.}$
$O_2$	0.6832	32	21.8624	14.8	10.1114
$CO_2$	0.1683	44	7.4052	29.6	4.9817
$H_2$	0.0727	2	0.1254	14.3	0.8966
$N_2$	0.0858	28	<u>2.4196</u>	31.2	<u>2.6770</u>
			31.8126		18.6667

$$\bar{v}_{incond} = 18.6667.$$

$$\bar{M}_{incond} = 31.8126 \text{ lb/lbmol.}$$

$$P_t = 70 \text{ lb/pulg}^2 \times 1 \text{ atm}/14.696 \text{ (lb/pulg}^2) = 4.7632 \text{ atm.}$$

$$K_d = \frac{269^{3/2}}{4.7632 (49.2^{1/3} + 18.6667^{1/3})^2 (1/70.9 + 1/31.81)^2} = 4.9532$$

$$K_d = 4.9532 \text{ pies}^2/\text{hr.}$$

2.- Relación entre Difusión y Transferencia de Calor.

Propiedades:

$$h_{io} = 13 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F pie}^2.$$

$$\rho = 0.1556 \left( \frac{460 + 62}{460 + 25} \right) \left( \frac{70}{12.49} \right) = 0.9386 \text{ lb/pie}^3.$$

$$\mu = 0.0303 \text{ lb/pie hr.}$$

$$K = 0.0041 \text{ Btu/hr pie}^2 (\text{ }^\circ\text{F/pie}).$$

$$C_p = 0.1185 \text{ Btu/lb }^\circ\text{F.}$$

$$M_m = 69.715 \text{ lb/lbmol.}$$

$$(C_p \mu / K)^{2/3} = (0.1185 \times 0.0303) / 0.0041 = 0.9155$$

$$(\mu / \rho K_d)^{2/3} = (0.0303 / (0.9386 \times 4.9534))^{2/3} = 0.0349.$$

$$K_g = \frac{13 \times 0.9155}{0.1185 \times P_{gf} \times 69.715 \times 0.0349} = \frac{41.2644}{P_{gf}} \text{ mol/hr pie}^2 \text{ atm.}$$

De acuerdo a los intervalos adoptados en el capítulo 2 , -- inciso 2.2.2., se calcula la transferencia de calor en el -- condensador.

Intervalo de  $45^{\circ}\text{F}$  a  $40^{\circ}\text{F}$ :

$$t_g = 45^{\circ}\text{F}.$$

$$P_v = 66.9805 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_g = P_t - P_v = 69.75 - 66.9805 = 2.7695 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$t_r = -6.1^{\circ}\text{F}.$$

$$\Delta t = t_g - t_r = 45^{\circ}\text{F} - (-6.1^{\circ}\text{F}) = 51.1^{\circ}\text{F}.$$

Calor latente del cloro a  $45^{\circ}\text{F}$  = 113.06 Btu/lb.

Se supone la temperatura de condensación  $T_c = 44.97^{\circ}\text{F}$ .

De la Figura 5 del apéndice:

$$P_c = 66.9463 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P'_g = P_t - P_c = 69.75 - 66.9463 = 2.8037 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_{gf} = \frac{P'_g - P_g}{2.3 \log P'_g/P_g} = \frac{2.8037 - 2.7695}{2.3 \log 2.8037/2.7695} = 2.7897^{\circ}\text{F}$$

Sustituyendo en la ecuación para transferencia de calor, -- inciso 3.2.4.

$$13(45 - 44.97) + \frac{41.2644}{\left(\frac{2.7897}{14.696}\right)} \times 70.9 \times 113.06 \left( \frac{66.9805 - 66.9463}{14.696} \right) =$$

$$= 70 ( 44.97 - (-6.1) ) =$$

$$4055.46 = 3574.9 = U \Delta t .$$

$$U \Delta t = \frac{4055.46 + 3574.9}{2} = 3815.1847$$

$$U = 3816.7854/51.1 = 74.6925 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

- 0 -

Intervalo  $40^\circ\text{F}$  a  $30^\circ\text{F}$ :

$$t_g = 40^\circ\text{F.}$$

$$P_v = 61.276 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_g = 69.5 - 61.276 = 8.224 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$t_r = -6.1^\circ\text{F.}$$

Flujo másico de Cloro e incondensables:

$$W' = 13.8938 \times 31.8126 + 100.4669 \times 70.9 = 7565.1 \text{ lb/hr.}$$

lbmol de cloro en fase gaseosa (inciso 2.2.2.) = 100.4669 lbmol/hr.

$$a_t = 0.5915 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = W'/a_t = 7565.1/0.5915 = 12789.68 \text{ lb/hr pie}^2.$$

Propiedades de la mezcla:

	lbmol/hr	F. mol	$\mu_{32^\circ\text{F}}$	$\bar{\mu}$	$K_{32^\circ\text{F}}$	$\bar{K}$	$C_{p32^\circ\text{F}}$	$\bar{C}_p$
Cl <sub>2</sub>	100.4669	0.8785	0.0303	0.0266	0.0043	0.0038	0.115	0.1010
O <sub>2</sub>	9.4918	0.0830	0.0457	0.0038	0.0142	0.0012	0.220	0.0183
CO <sub>2</sub>	2.3386	0.0204	0.0319	0.0007	0.0085	0.0002	0.205	0.0042
H <sub>2</sub>	0.8712	0.0076	0.0200	0.0002	0.1000	0.0008	3.500	0.0267
N <sub>2</sub>	<u>1.1922</u>	0.0104	0.0390	<u>0.0004</u>	0.0140	<u>0.0001</u>	0.250	<u>0.0026</u>
	114.3607			0.0317		0.0061		0.1528

$$R_{a_t} = G_t D/\mu = 12789.68 \times 0.0695/0.0317 = 28040.48$$

De la figura 9 del apéndice se obtiene:

$$h_i D/K = 71 \text{ de donde } h_i = 71 \times 0.0061/0.0695 = 6.2317 \text{ Btu/hr } ^\circ\text{F pie}^2.$$

$$h_{io} = h_i \times 0.834/1 = 5.2 \text{ Btu/hr } ^\circ\text{F pie}^2.$$

Se supone el coeficiente  $h_c = 70$  Constante y que la temperatura por el lado de la coraza (vaporización) es constante.



$$K_g = \frac{5.2 \left( \frac{0.1528 \times 0.0317}{0.0061} \right)^{2/3}}{0.1528 P_{gf} \times 66.1571 \left( \frac{0.0317}{0.8662 \times 4.9534} \right)^{2/3}} = \frac{11.6287}{P_{gf}}$$

$\bar{M} = 66.15 \text{ lb/lbmol}$  (pesc molecular de la mezcla)

$$\rho = \frac{66.1571}{359} \left( \frac{460 + 32}{460 + 35} \right) \left( \frac{69.5}{14.696} \right) = 0.8662 \text{ lb/pie}^3.$$

Calor latente del Cloro a  $40^\circ\text{F}$   $\lambda = 113.84 \text{ Btu/lb}$ .

Se supone  $T_c = 39.7^\circ\text{F}$ , de la figura 5 del apéndice se tiene que  $P_c = 60.9757 \text{ lb/pulg}^2$ .

$$P'_g = P_t - P_c = 69.5 - 60.9757 = 8.5243 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_{gf} = \frac{P'_g - P_g}{2.3 \log \frac{P'_g}{P_g}} = \frac{8.5243 - 8.224}{2.3 \log \frac{8.5243}{8.224}} = 8.3818 \text{ lb/pulg}^2$$

Sustituyendo en la ecuación para transferencia de calor, inciso 3.2.4.

$$5.2(40 - 39.7) + \frac{11.6282}{\left( \frac{8.3818}{14.696} \right)} \times 70.9 \times 113.84 \left( \frac{61.276 - 60.9757}{14.696} \right) =$$

$$70(39.7 - (-6.1)) = U \Delta t$$

$$U \Delta t = 3364.1325 = 3206.0$$

$$U \Delta t = 3364.13 + 3206/2 = 3285.0662$$

$$\Delta t = t_g - t_r = 40 - (-6.1) = 46.1^\circ\text{F}.$$

$$U = 3285.0662/46.1 = 71.2596 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}.$$

- 0 -

Intervalo de  $30^\circ\text{F}$  a  $15^\circ\text{F}$ .

$$t_g = 30^\circ\text{F}.$$

$$P_v = 51.265 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_g = 69.25 - 51.265 = 17.985 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$t_r = -6.1^\circ\text{F}.$$

Flujo másico de vapor de Cloro e incondensables en este intervalo:

$$W'' = 13.8938 \times 31.8126 + 42.2305 \times 70.9 = 3436.1404 \text{ lb/hr.}$$

$$a_t = 0.5915 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = W''/a_t = 3436.1404/0.5915 = 5809.1976 \text{ lb/hr pie}^2.$$

	lbmol/hr	F.mol	$\mu_{32^\circ\text{F}}$	$\bar{M}$	$K_{32^\circ\text{F}}$	$\bar{K}$	$C_{p32^\circ\text{F}}$	$\bar{C}_p$
Cl <sub>2</sub>	42.2305	0.7524	0.0303	0.0228	0.0043	0.0032	0.1150	0.0865
O <sub>2</sub>	9.4918	0.1691	0.0457	0.0077	0.0142	0.0024	0.2200	0.0372
CO <sub>2</sub>	2.3386	0.0417	0.0319	0.0013	0.0085	0.0004	0.2050	0.0085
H <sub>2</sub>	0.8712	0.0155	0.0200	0.0003	0.1000	0.0016	3.5000	0.0543
N <sub>2</sub>	<u>1.1922</u>	<u>0.0212</u>	<u>0.0394</u>	<u>0.0008</u>	<u>0.0140</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.2500</u>	<u>0.0053</u>
	56.1243			0.0329		0.0079		0.1918

$$R_{e_t} = G_t D/\mu = 5809.1976 \times 0.0695/0.0329 = 12\ 271.7$$

De la figura 9 del apéndice se obtiene  $h_i D/K = 38$

$$h_i = 38 K/D = 38 \times 0.0079/0.0695 = 4.32 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}.$$

$$h_{io} = 4.32 \times 0.834/1 = 3.6029 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}.$$

$$h_o = 70 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}.$$

$$\bar{M} = 61.2334 \text{ lb/lbmol (peso molecular de la mezcla).}$$

$$f = \frac{61.2334}{359} \left( \frac{460 + 32}{460 + 22.5} \right) \left( \frac{69.25}{14.696} \right) = 0.8196 \text{ lb/pie}^3.$$

$$k_g = \frac{3.6 \left( \frac{0.1918 \times 0.0329}{0.0079} \right)^{2/3}}{0.1918 \times P_{gf} \times 61.2334 \left( \frac{0.0329}{0.8196 \times 4.9534} \right)^{2/3}} = \frac{6.5406}{P_{gf}}$$

$$K_g = \frac{6.5406}{P_{gf}} \text{ lbmol/hr pie}^2 \text{ atm.}$$

Calor latente del Cloro a 30°F  $\lambda = 115.35 \text{ Btu/lb.}$

Se supone  $T_c = 29^\circ\text{F}$ , en la figura 5 del apéndice se encuentra que  $P_c = 50.3924 \text{ lb/pulg}^2$ .

$$P'_g = P_t - P_c = 69.25 - 50.3924 = 18.8576 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_{gf} = \frac{P'_g - P_g}{2.3 \log \frac{P'_g}{P_g}} = \frac{18.8576 - 17.985}{2.3 \log \frac{18.8576}{17.985}} = 18.4386 \text{ lb/pulg}^2.$$

Sustituyendo en la ecuación para transferencia de calor, inciso 3.2.4.

$$3.6(30 - 29) + \frac{6.5406}{\left(\frac{18.4386}{14.696}\right)} \times 70.9 \times 115.35 \left( \frac{51.265 - 50.3924}{14.696} \right) =$$

$$70 (29 - (-6.1)) = U \Delta t$$

$$U \Delta t = 2535.0461 = 2457$$

$$U \Delta t = 2535.0461 + 2457/2 = 2496.0231$$

$$\Delta t = T_g - t_r = 30 - (-6.1) = 36.1$$

$$U = 2496.0231/36.1 = 69.1419 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- 0 -

Intervalo de 15°F a 3.9°F .

$$t_g = 3.9^\circ\text{F}$$

$$P_v = 31.0329 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_g = 69 - 31.0329 = 37.9671 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$t_r = -6.1^\circ\text{F}$$

Flujo másico de vapor de  $\text{Cl}_2$  e incondensables en este intervalo:

$$\Psi''' = 13.8938 \times 31.8126 \quad 17.6659 \times 70.9 = 1694.5102 \text{ lb/hr.}$$

$$a_t = 0.5915 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = \Psi''' / a_t = 1694.5102 / 0.5915 = 2864.7679 \text{ lb/hr pie}^2.$$

Propiedades de la mezcla:

	lbmol/hr	F.mol	$\mu_{32}^{\text{CF}}$	$\bar{\mu}$	$K_{32}^{\text{CF}}$	$\bar{K}$	$C_{p32}^{\text{CF}}$	$\bar{C}_p$
$\text{Cl}_2$	17.6659	0.5598	0.0303	0.0170	0.0043	0.0024	0.1150	0.0644
$\text{O}_2$	9.4918	0.3008	0.0457	0.0137	0.0142	0.0043	0.2200	0.0652
$\text{CO}_2$	2.3386	0.0741	0.0319	0.0024	0.0085	0.0006	0.2050	0.0152
$\text{H}_2$	0.8712	0.0276	0.0200	0.0006	0.1000	0.0028	3.5000	0.0066
$\text{N}_2$	1.1922	0.0378	0.0394	0.0015	0.0140	0.0005	0.2500	0.0094
	31.5597			0.0352		0.0106		0.2518

$$R_{e_t} = G_t D / \mu = 2864.7679 \times 0.0695 / 0.0352 = 5656.28$$

De la figura 9 del apéndice se obtiene  $h_i D / K = 21$

$$h_i = 21 K / D = 21 \times 0.0106 / 0.0695 = 3.2 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$h_{i0} = h_i \times 0.834 / 1 = 2.6712 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$\bar{M} = 53.7092 \text{ lb/lbmol}$  (pesc molecular de la mezcla).

$$\rho = \frac{53.7092}{359} \left( \frac{460 + 32}{460 + 10} \right) \left( \frac{69}{14.696} \right) = 0.7353 \text{ lb/pie}^3.$$

$$K_g = \frac{2.6712 \left( \frac{0.2518 \times 0.0352}{0.0106} \right)^{2/3}}{0.2518 \cdot P_{gf} \times 53.7092 \left( \frac{0.0352}{0.7353 \times 4.9574} \right)^{2/3}} = \frac{3.8678}{P_{gf}}$$

Calor latente del cloro a  $3.9^\circ\text{F}$   $\lambda = 119.1201 \text{ Btu/lb.}$

Se supone  $T_c = 2.7^\circ\text{F}$  de la figura 5 del apéndice se encuentra que  $P_c = 30.2547 \text{ lb/pulg}^2.$

$$P'_g = P_t - P_c = 69 - 30.2547 = 38.7453 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_{gf} = \frac{P'_g - P_g}{2.3 \log P'_g/P_g} = \frac{38.7453 - 37.9671}{2.3 \log \frac{38.7453}{37.9671}} = 38.398 \text{ lb/pulg}^2.$$

Sustituyendo en la ecuación para transferencia de calor, inciso 3.2.4.

$$2.67 (3.9 - 2.7) + \frac{3.8638}{\left(\frac{38.398}{14.696}\right)} \times 70.9 \times 119.1201 \left(\frac{31.0328 - 30.2547}{14.696}\right) =$$

$$70(2.7 - (-6.1)) = U \Delta t.$$

$$U \Delta t = 664.4662 = 616.0$$

$$U \Delta t = 664.4662 + 616.0/2 = 640.233$$

$$\Delta t = t_g - t_r = 3.9 - (-6.1) = 10^\circ\text{F}.$$

$$U = 640.233/10 = 64.0233 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}.$$

- 0 -

Para este último intervalo:

$$t_g = 15^\circ\text{F}$$

Calor latente del Cloro a  $15^\circ\text{F}$   $\lambda = 117.54 \text{ Btu/lb}.$

$$P_v = 38.7635 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_g = 69 - 38.7635 = 30.2365 \text{ lb/pulg}^2.$$

Se supone  $T_c = 13.25^\circ\text{F}$  en la figura 5 del apéndice se obtiene  $P_c = 37.4421 \text{ lb/pulg}^2.$

$$P'_g = P_t - P_c = 69 - 37.4421 = 31.5579 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P_{gf} = \frac{P'_g - P_g}{2.3 \log P'_g/P_g} = \frac{31.5579 - 30.2365}{2.3 \log \frac{31.5579}{30.2365}} = 30.9272 \text{ lb/pulg}^2.$$

Sustituyendo en la ecuación para transferencia de calor inciso 3.2.4.

$$2.67(15 - 13.25) + \frac{3.8638}{\left(\frac{30.9272}{14.696}\right)} \times 70.9 \times 117.54 \left( \frac{38.7535 - 37.4421}{14.696} \right) =$$

$$70 (13.25 - (-6.1)) = U \Delta t.$$

$$U \Delta t = 1380.426 = 1354.5$$

$$U \Delta t = 1380.426 + 1354.5/2 = 1367.4635$$

$$\Delta t = t_g - t_r = 15 - (-6.1) = 21.1^{\circ}\text{F}.$$

$$U = 1367.4635/21.1 = 64.8087 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}.$$

Todos los cálculos realizados se resumen en la siguiente tabla.

Inter valo	$t_g$	$T_c$	$U \Delta t$	$U \Delta t_{prom}$	$Q_{1,2,3,4}$	$\frac{Q_n}{U \Delta t}$	$\Delta t$	$\Delta t_{prom}$	$\frac{Q_n}{\Delta t_{prom}}$
45 a	45	44.97	3815.18	-	-	-	51.1	-	$\frac{Q_n}{\Delta t_{prom}}$
40 a	40	39.7	3285.06	3550.12	2789979.79	785.89	46.1	48.6	57406.99
30 a	30	29.0	2496.02	2890.54	483139.85	167.14	36.1	41.1	11755.22
15 a	15	13.25	1367.46	1931.74	210125.00	100.77	21.1	28.6	7347.05
3.9a	3.9	2.7	640.23	1003.84	55503.51	55.29	10.0	15.5	3567.35
					$Q_c = 3538749.17$	$\sum \frac{Q_{1,2,3,4}}{\Delta t_{prom}} = 80078.64$			
					$A_c = 1117.09$				

$$\Delta t_{\text{balanceada}} = \frac{Q_c}{\sum \frac{Q_{1,2,\dots}}{\Delta t_{\text{prom}}}} = \frac{3538749.17}{80078.64} = 44.19^\circ\text{F.}$$

$$U_c = \frac{Q_c}{A_c \Delta t_{\text{balan}}} = \frac{3538749.17}{1117.09 \times 44.19} = 71.68 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + R_D} = \frac{1}{\frac{1}{71.68} + 0.004} = 55.71 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$A_c = \frac{Q_c}{U_D \times \Delta t_{\text{balan}}} = \frac{3538749.17}{55.71 \times 44.19} = 1437.4 \text{ pies}^2 \text{ (1438 pies}^2\text{)}.$$

Area de Condensación      1438 pies<sup>2</sup>.

Area de Enfriamiento      325 pies<sup>2</sup>.

Total 1763.0 pies<sup>2</sup>.

Area efectiva del Licuefactor:

$$A = 624 \text{ tubos} \times 14 \text{ pies} \times 0.2618 \text{ pie}^2/\text{Pie lin} = 2287 \text{ pies}^2,$$

Porcentaje de exceso de Area:

$$\frac{2287 - 1763}{1763} \times 100 = 29.7 \% .$$

Este porcentaje se considera cercano a los valores acostumbrados que se usan en el diseño de cambiadores de calor y que -- frecuentemente es del orden de 20 %.

Caída de presión por el lado de los Tubos.

D.Q. Kern propone la siguiente ecuación para calcular la caída de presión por el lado de los tubos:

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} \times D \ s \ \phi}$$



En los retornos:

$$\Delta p_r = (4n/s) (V^2/2g)$$

$$W_{Cl_2} = 31967.2 \text{ lb/hr.}$$

$$a_t = 0.5915 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = 31967.2/0.5915 = 54044.29 \text{ lb/hr pie}^2.$$

$$D = 0.0695 \text{ pies; } \mu = 0.0847 \text{ lb/pie hr.}$$

$$Re_t = G_t D / \mu = 54044.29 \times 0.0695 / 0.0847 = 44345$$

De la Fig. 12 del apéndice se tiene:

$$f = 0.00018 \text{ pies}^2/\text{pulg}^2.$$

$$L = 14 \text{ pies, } n = 4 \text{ pasos } \quad s_{Cl_2} = 0.7008 \quad \phi = 1$$

$$V_{Cl_2} = 0.1659 \text{ pies/seg. } \quad g = 32.2 \text{ pies/seg.}$$

$$\Delta p_t = \frac{0.00018 (54044.29)^2 \times 14 \times 4}{5.22 \times 10^{10} \times 0.0695 \times 0.7008} = 0.012 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$\Delta p_r = (4 \times 4 / 0.7008) (0.1659^2 / 2 \times 32) = 0.0098 \text{ lb/pulg}^2.$$

Caída de Presión Total:

$$\Delta P_t + \Delta P_r = 0.012 + 0.0098 = 0.0218 \text{ lb/pulg}^2.$$

HOJA DE DATOS PARA CAMBIADORES DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS

JOSE LUIS MOLINA A.  
TESIS PROFESIONAL  
UNAM 1983

ESPEC. No.

Planta REFINACION DE OIL  
Dibujo de Ref. 377-001  
Cantidad 003  
Posición MEXICO  
Sup. Efectiva/Unidad 126.3 Mcg

Unidad 01 Identificación IC-01-1  
Suministrado Por \_\_\_\_\_  
Nombre DR. ESTEBAN DEL CARMEN  
Servicio DR. ESTEBAN DEL CARMEN  
Coraza, Unidad 224

FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD

	Coraza	Tubos	Unidades
Fluido Circulado	FUEL 12	WATER + AIR	
Flujo Total	65660.4	13967.2	10' 10"
Vapor		1000000	
Líquido	-	1000000	
Temp. Entrada	-6.1	130	°F
Temp. Salida	-6.1	309	°F
Presión de Op.	19.5 PSIA (1.36 KG/CM <sup>2</sup> )	70.2 PSIA (4.92 KG/CM <sup>2</sup> )	10' 10"
Densidad	-	1000000	
Calor Especifico	-	0.100 (1000 CAL/G)	10' 10"
Calor Latente	-	1000000	
Cond. Térmica	-	0.100 (1000 CAL/G)	10' 10"
Viscosidad	-	1000000	
Peso Molecular	120.9	18.015	10' 10"
No. de Pasos	100	100	
Caída de Presión	2000000	1000000	10' 10"
F. de Ensuciamiento	0.001	0.003	
Calor Intercambiado	3421814.19 BTU/HR		
LMTD	EUF. 63°F ; COND 44.19°F		
Coefficiente:	U <sub>D</sub> 107.105' COND 55.7 U <sub>C</sub> 107.105' COND 71.6		

CONSTRUCCION DE LA UNIDAD

Presión de Op.	70	PSIA	100	PSIA
Temp. de Op.	-6.1	°F	100	°F
Tubos	ACERO AL C.	Cantidad 624	DE 1" BWG 14	Long. 14' Pitch D 1/4"
Coraza	ACERO AL CARBON	Diámetro 34"		
Baffles-Transv.	A. AL C.	Tipo 369	Corte 3/25	Espaciamiento 12"
Baffles-Long.	A. AL C.	Tipo	Junta de 1/4. 20"	
Empaques				
Conexiones-Coraza	Ent. 10"	Sal. 8"	Serie 152 # 254 2 F.	
	Garganta Ent. 8"	Sal. 2"	Serie 152 # 254 2 F.	
Otras Conexiones	CANTIDAD 1, TAMAÑO 3" SERIE 152 # 254 2 F.			
Corrosion Permisible:	Coraza 1/16"	Tubos 1/8"		
Código	TEMA C	Rayos X 3/1	Peso	
Aislamiento	3/1 (MINERAL)	Clase	Protección Catódica 3/1	
Observaciones				

Calculó J. L. M. A. Checó \_\_\_\_\_ Aprobó \_\_\_\_\_  
Fecha 12/04/83. Fecha \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

### 3.3 Separador Líquido - Gas.

Para el diseño del Separador Líq-Gas se considera que éste debe ser del tipo vertical, ya que el volumen de líquido es menor. Con la disminución de la velocidad del Gas se permite su separación.

Los separadores verticales se diseñan con o sin malla, lo cual depende del arrastre del gas, en este caso los vapores de Cloro e incondensables van a recuperación y la malla ocasiona cierta caída de presión por lo que no se recomienda la instalación de ésta. Por lo que se compensa el diseño aumentando la altura del gas y garantizar la separación.

#### 3.3.1. Bases de Diseño.

Flujo Volumétrico del Vapor:

$$Q_V = 1698.6101 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

Densidad del Vapor:

$$\rho_V = 0.7353 \text{ lb/pie}^3.$$

Densidad del Líquido:

$$\rho_L = 94.2 \text{ lb/pie}^3.$$

Flujo Volumétrico del líquido:

$$Q_L = 326.0957 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

El tiempo de residencia entre el nivel máximo y mínimo recomendado para este caso es de 2 minutos. Factor de diseño 1.2 por personal e instrumentación.

Presión de operación 69 lb/pulg<sup>2</sup>.

Temperatura de operación 3.9°F

Capacidad de trabajo  $W_L = 30718.21$  lb/hr.

$$W_V = 1248.98 \text{ lb/hr.}$$

### 3.3.2. Cálculos.

Según Evans, para el cálculo de un separador vertical se debe calcular primeramente el siguiente término:

$$W_L/W_V (\rho_V/\rho_L)^{1/2} = 30718.21/1248.98 (0.7353/94.2)^{1/2} = 2.17$$

De la Fig. 13 del apéndice tenemos que:

$$K_V = 0.075$$

Para separadores verticales

$$(U_V)_{\max} = K_V (\rho_L - \rho_V/\rho_V)^{1/2} = 0.075 \times 11.2744 = 0.8455 \text{ pies/seg.}$$

$$= 3044.088 \text{ pies/hr.}$$

$$(A_V)_{\min} = Q_V/(U_V)_{\max} = 1696.6101/3044.088 = 0.558 \text{ pies}^2.$$

$$D_{\min} = (4 A_{\min}/\pi)^{1/2} = (4 \times 0.558/\pi)^{1/2} = 0.8429 \text{ pies.}$$

$$D_{sv} = D_{\min} + 6 \text{ Pulg} = 10.1147 \text{ pulg} + 6 \text{ pulg} = 16 \text{ pulg.}$$

$$Q_L = 326.0957 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

$$T_{RD} = T_R \times \bar{F} = 2 \times 1.2 = 2.4 \text{ min} = 0.04 \text{ hr.}$$

$$V_{Lfg} = Q_L \times T_{RD} = 326.09 \times 0.04 = 13.0438 \text{ pies}^3.$$

$$H_{Lfg} = V_{Lfg} (4/\pi D^2) = 13.04(4/\pi \times 1.333^2) = 9.5 \text{ pies.}$$

Para el cálculo de la altura de Gas (Vapor e incondensables)

se emplea la Figura 14 del apéndice.

Con un Diámetro de 16 pulgadas se obtiene una altura de Gas-Vapor  $H_v = 3$  pies.

HOJA DE DATOS PARA SEPARADORES  
LÍQUIDO - GAS

JOSE LUIS POLENA A.  
INGENIERO PROFESIONAL  
U.T.A.I. 1983

ESPEC. No.

PLANTA PURIFICACION DE OLEO  
DIBUJO DE R.F. DTI-001  
CANTIDAD 01  
POSICION VERTICAL

UNIDAD 01  
SUNITEADO POR TOL. S. A.  
IDENTIFICACION SLU-CI-1

CONDICIONES DE OPERACION

DIMENSIONES

Servicio SEPARACION L/O-GAS  
Fluido Manejado OLEO / VAPOR  
Flujo 31917.14 l/min  
Pres. Op. 69 PSIA Temp. 39 °F  
Pres. Max. \_\_\_\_\_ Temp. \_\_\_\_\_  
Pres. Min. \_\_\_\_\_ Temp. \_\_\_\_\_  
Caída de Presión DESPRECIABLE

Cap. Geométrica \_\_\_\_\_  
Diámetro 16 PULG.  
altura 12 PIES 6 PULG.  
Espesor-Coraza 1/2 PULG.  
Espesor-Cabezas 1/2 PULG.  
Recubrimiento NO.  
Peso Vacío/Lleno \_\_\_\_\_

DATOS DE CONSTRUCCION

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Código ASME - SECCION VIII  
Pres. de Diseño 100 PSIA Temp. 39 F.  
Pres. de Prueba 500 PSIA  
Tipo de Cabezas VER HOJA 2  
Tratamiento Térmico NO FAB.  
Corrosión Permisible 1/8 PULG.  
No. de Elementos Fil. NO.  
Aislamiento Térmico SI

Coraza A-285-C  
Cabezas A-285-C  
Fondo A-285-C  
Internos \_\_\_\_\_  
Recubrimiento NO  
Elementos filtrantes NO  
Soportes E. Filtr. \_\_\_\_\_  
Aislamiento Térmico RESISTENTE

ACCESORIOS

SOPORTES

Calent./Enf. NO.

Tipo DO FAB. U.T.A.I.

Observaciones  AISLAMIENTO TERMICO EN ESPESOR DE 1 PULG.

Calculó J.L.M.A.  
Fecha: 24/04/83

Checké \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

Aprobó \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

HOJA DE DATOS PARA SEPARADOR  
LIQUIDO - GAS

JOSE LUIS MOLINA M.  
INGENIERO PROFESIONAL  
UNAF 1987

ESPEC. No.

PLANTA PURIFICACION DE AGUA  
DIBUJO DE REF. 071-001  
CANTIDAD UNA

UNIDAD 01  
SE INVENTARIO FEKIS 4  
IDENTIFICACION 300-01-1

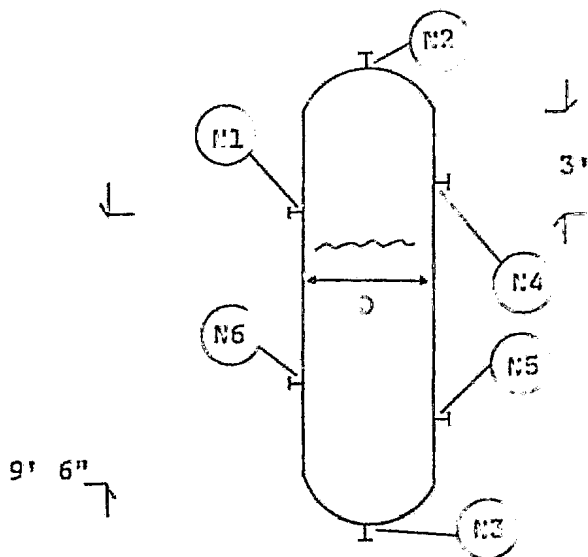


TABLA DE BOQUILLAS

BOQ.	DI.	TIPO Y RANGO	EMPAQUE	SERVICIO	No.
N1	2"	W. N. ISOFR F	BOCAJOTE	ENTRADA LIQ-GAS.	
N2	1 1/2"			SALIDA DE LIQUID.	
N3	2"			SALIDA PARA AIR	
N4	3/4"			TRANSDUCER DE NIVEL.	
N5	3/4"			TRANSDUCER DE PRESION.	
N6	2 1/2"			ENTRADA HUMIDA.	

Observaciones \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Calculo J.L.M.S.      Chec6 \_\_\_\_\_      Aprob6 \_\_\_\_\_  
Fecha 21/04/83.      Fecha \_\_\_\_\_      Fecha \_\_\_\_\_

## Nomenclatura para el Capitulo 3

- $T_2$  = temperatura de entrada al interenfriador,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $T_1$  = temperatura de salida del interenfriador,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $Q_{\text{Cl}_2}$  = carga de calor sensible en los interenfriadores, Btu/hr.  
 $T_1$  = temperatura de entrada al licuefactor,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $T_2$  = temperatura de salida del licuefactor,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $w_{\text{Cl}_2}$  = flujo másico del cloro, lb/hr.  
 $t_1, t_2$  = temperatura de vaporización del refrigerante,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $w_f$  = flujo másico del refrigerante, lb/hr.  
 $T_c$  = temperatura de la película de condensado,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $T_g$  = temperatura del gas,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $P_v$  = presión de vapor, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $P_g$  = presión parcial de los incondensables, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $P'_g$  = presión en la película de condensado, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $P_{\text{gf}}$  = diferencia de presión media logarítmica de los incondensables entre  $P_g$  y  $P'_g$ , en atm.  
 $K_g$  = coeficiente de difusión lbmol/hr pie<sup>2</sup> atm.  
 $U$  = coeficiente de transferencia de calor, Btu/hr pie<sup>2</sup>  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $U_D$  = coeficiente de transferencia de calor (sucio), Btu/hr pie<sup>2</sup>  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $U_C$  = coeficiente limpio de transferencia de calor, Btu/hr pie<sup>2</sup>  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $K_d$  = difusividad, pies<sup>2</sup>/hr.  
 $T$  = temperatura promedio del cloro e incondensables,  $^{\circ}\text{F}$ .  
 $P_t$  = Presión total en atm.  
 $v_{\text{Cl}_2}$  = volumen molar de difusión del cloro.  
 $v_{\text{incond}}$  = volumen molar de los incondensables.  
 $M_{\text{Cl}_2}$  = peso molecular del cloro, lb/lbmol.  
 $M_{\text{incond}}$  = peso molecular de los incondensables lb/lbmol.



$h_{ic}$  = coeficiente de transferencia de calor por los tubos referido al diámetro exterior del tubo,  $Btu/hr\ pie^2\ ^\circ F.$

$\lambda$  = calor latente de vaporización del cloro,  $Btu/lb.$

$h_o$  = coeficiente de transferencia de calor para ebullición,  $Btu/hr\ pie^2\ ^\circ F.$

$t_r$  = temperatura del refrigerante,  $^\circ F.$

$D$  = diámetro interior del tubo, pies.

$G_t$  = masa velocidad por el lado de los tubos,  $lb/hr\ pie^2.$

$K$  = conductividad térmica  $Btu/hr\ pie^2\ (^{\circ}F/pie).$

$a_t'$  = área de flujo por tubo,  $pulg^2.$

$a_t$  = área de flujo por los tubos,  $pies^2.$

$Re_t$  = número de Reynolds por el lado de los tubos.

$Re_s$  = número de Reynolds por el lado de la coraza.

$t_w$  = temperatura de la pared del tubo,  $^\circ F.$

$\Delta T$  = diferencia de temperatura en la zona de enfriamiento,  $^\circ F.$

$A_{enf.}$  = área de enfriamiento,  $pies^2.$

$M_m$  = peso molecular del cloro más incondensables,  $lb/lbmol.$

$\mu$  = viscosidad,  $lb/pis\ hr.$

$W'$  = flujo másico del  $Cl_2$  más incondensables intervalo  $40^\circ F - 30^\circ F.$

$W''$  = flujo másico del  $Cl_2$  más incondensables intervalo  $30^\circ F - 15^\circ F.$

$W'''$  = flujo másico del  $Cl_2$  más incondensables intervalo  $15^\circ F - 3.0^\circ F.$

$A_c$  = área de condensación,  $pies^2.$

$s$  = gravedad específica.

$n$  = número de pasos.

$L$  = longitud de los tubos, pies.

$g'$  = constante aceleración de gravedad,  $pies^2/sec.$

$V$  = velocidad,  $pies/seg.$

- $\Delta P_t$  = caída de presión por los tubos, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $\Delta P_r$  = caída de presión en los retornos, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $\Delta P_T$  = caída de presión total en los tubos, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $f$  = factor de fricción, pies<sup>2</sup>/pulg<sup>2</sup>.  
 $W_L$  = flujo másico de cloro líquido, lb/hr.  
 $W_V$  = flujo másico de gases, lb/hr.  
 $K_V$  = factor de velocidad de diseño para separaciones verticales.  
 $(U_V)_{\max}$  = velocidad máxima de gases, pies/seg.  
 $\rho_L$  = densidad del cloro líquido, lb/pie<sup>3</sup>.  
 $\rho_V$  = densidad de vapor de cloro más incondensables, lb/pie<sup>3</sup>.  
 $(A_V)_{\min.}$  = área de flujo del vapor de Cl<sub>2</sub> más incondensables pies<sup>2</sup>.  
 $q_L$  = flujo volumétrico de cloro líquido, pies<sup>3</sup>/hr.  
 $Q_V$  = flujo volumétrico de los gases, pies<sup>3</sup>/hr.  
 $D_{sv}$  = diámetro del separador líquido-gas, pulg.  
 $H_{Liq}$  = altura del líquido en el separador, pies.  
 $T_R$  = tiempo de residencia recomendado.  
 $\bar{F}$  = factor de diseño por instrumentación y mano de obra.  
 $T_{RD}$  = tiempo de residencia de diseño, min o hr.  
 $V_{Liq}$  = volumen de líquido, pies<sup>3</sup>. ( en el separador).  
 $H_V$  = altura del gas en el separador, pies.  
 $\phi$  = Razón de Viscosidad

#### 4 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO AUXILIAR

#### 4.1 Circuito de Refrigeración.

##### 4.1.1. Refrigerante.

Es conveniente utilizar un circuito de refrigeración utilizando Freón 12 como refrigerante, en base a lo siguiente:

- a) Se tiene un rango de enfriamiento de  $80^{\circ}\text{F}$  a  $-20^{\circ}\text{F}$ .
- b) Tiene poca miscibilidad en agua, eliminando problemas de corrosión.
- c) Su calor latente, permite un control adecuado.
- d) No reacciona con los aceites lubricantes.
- e) No es explosivo.
- f) La experiencia recomienda el uso de este refrigerante.

El Freón 12 presenta las mayores ventajas para este tipo de sistemas, el efecto refrigerante se lleva a cabo por vaporización - compresión.

##### 4.1.2. Cálculo del Sistema de Refrigeración.

Como la temperatura a la que se necesita enfriar la corriente de Cloro e incondensables es de  $3.9^{\circ}\text{F}$  se proporciona un  $\Delta t = 10$  para alcanzarla fácilmente, por lo que el nivel de refrigeración o temperatura de evaporación del refrigerante será de  $3.9 - 10 = -6.1^{\circ}\text{F}$ , a esta temperatura el freón tiene una presión de vapor de  $20.942 \text{ lb/pulg}^2$ . Fig. 15 del apéndice.

Suponiendo que se tiene una caída de presión de  $1.5 \text{ lb/pulg}^2$  en la boquilla de succión del compresor del refrigerante, la presión en la succión (ver Fig. 4.1) es:

$$P_5 = P_4 = 20.942 - 1.5 = 19.442 \text{ lb/pulg}^2.$$

Entalpía en la succión  $h_5 = 76.619$  Btu/lb.

La temperatura del agua de enfriamiento es de  $89.6^\circ\text{F}$ .

Se encontró en el proceso que la temperatura de condensación del freón es de  $112.2^\circ\text{F}$ . Correspondiéndole una presión de vapor  $P_1 = P_8 = 155.6070$  lb/pulg<sup>2</sup>. (Fig. 4.1)

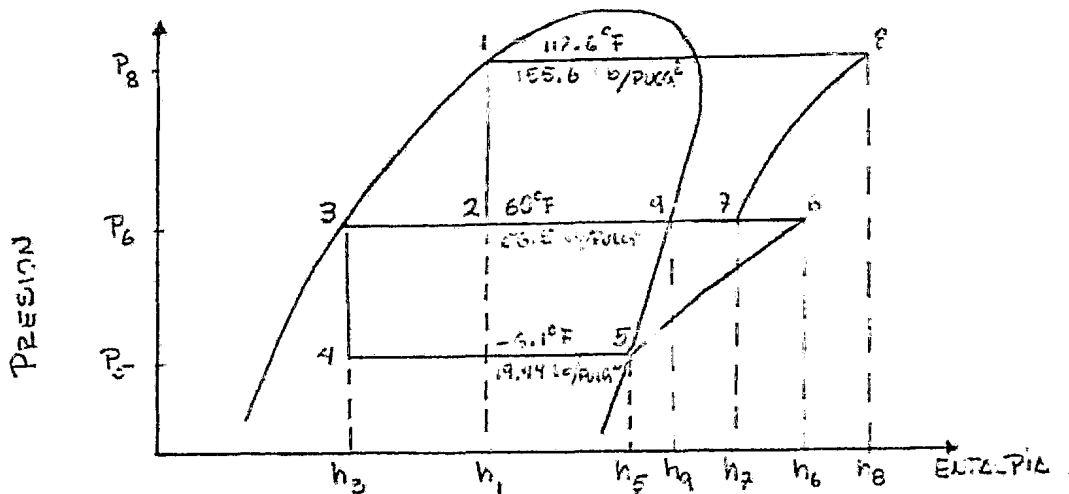


Fig. 4.1 Diagrama P - H , del Circuito de Refrigeración

De la figura 15 del apéndice se tiene que:

$$h_1 = h_2 = 34.67 \text{ Btu/lb.}$$

Como se observa en la figura anterior, el circuito de refrigeración cuenta con un economizador y el compresor trabaja con dos etapas.

La presión a la succión de la segunda etapa se obtiene a partir de:

$$\text{Relación de compresión} = \left( \frac{155.6070}{19.4420} \right)^{1/2} = 2.8291$$

Presión a la descarga de la primera etapa.

$$P_5 = (19.442 \times 2.8291) + 1.5 = 56.5034 \text{ lb/pulg}^2.$$

el 1.5 lb/pulg<sup>2</sup> corresponde a la caída de presión por la boquilla.

En la Fig. 4.1,  $P_6 = P_3$ . Por lo que se puede obtener la entalpía del líquido saturado  $h_3 = h_4 = 18.4136 \text{ Btu/lb}$ .

Con los datos anteriores se puede calcular lo que se denomina efecto refrigerante:

$$\text{Efecto Refrigerante} = h_5 - h_4 = 76.619 - 18.4136 = 58.2054 \text{ Btu/lb}.$$

Flujo de Ref. = Carga del licuefactor/Efecto Refrigerante .

$$m = \frac{3\,821\,819 \cdot 17}{58.2054} = 65661.0 \text{ lb/hr}.$$

Balace de materia en el economizador.

De la figura 4.1 se tiene que  $h_9$  corresponde a la entalpía del vapor saturado de freón a  $P_3$ , de tablas se tiene que:

$$h_9 = 81.9527 \text{ Btu/lb}.$$

$$\frac{h_9 - h_2}{h_9 - h_3} = \frac{\text{Líquido que sale del economizador}}{\text{Líquido que sale del condensador}}$$

El líquido que sale del economizador es igual al flujo de refrigerante, por lo que se obtiene:

$$L = \text{líquido que sale del condensador} = \frac{\text{flujo de refrigerante}}{\frac{h_9 - h_2}{h_9 - h_3}}$$

$$L = \frac{65661.0}{\frac{81.95 - 34.07}{81.95 - 18.41}} = 87130.5 \text{ lb/hr}.$$

El gas que se flashea en el economizador es:

$$G = 87130.5 \text{ lb/hr} - 65661.0 \text{ lb/hr} = 21469.5 \text{ lb/hr de vapor.}$$

- G -

#### 4.2 Compresor de Refrigerante. (K - 01 - 2)

La potencia requerida en la primera etapa de compresión es:

$$P_5 = 19.442 \text{ lb/pulg}^2 \quad h_5 = 76.619 \text{ Btu/lb}$$

$$P_6 = 56.5034 \text{ lb/pulg}^2.$$

Por medio de la figura 15 del apéndice:  $h_{6 \text{ AD}} = 84.28 \text{ Btu/lb.}$

$$\Delta H_{1 \text{ AD}} = h_{6 \text{ AD}} - h_5 = 84.28 - 76.619 = 7.66 \text{ Btu/lb.}$$

$K = C_p/C_v = 1.12$  para el freón 12.

$$\eta_p = 0.76$$

La eficiencia adiabática se calcula mediante una relación -- propuesta por Yuw R. Mehra, obteniéndose el siguiente valor:

$$\eta_{\text{AD}} = 0.75$$

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{AD}} / \eta_{\text{AD}} = 7.66 / 0.75 = 10.22 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{GHP}_1 = m \Delta H_1 / 2545.1 = 65661.0 \times 10.22 / 2545.1 = 263.7 = 264 \text{ HP.}$$

El balance de calor en el punto 7 de la figura 4.1, nos ayuda a establecer las condiciones a la succión de la segunda etapa de compresión.

$$h_6 = h_5 + \Delta H_1 = 76.619 + 10.22 = 86.84 \text{ Btu/lb.}$$

$$h_7 = \frac{m h_6 + G h_g}{L} = \frac{65661.0 \times 86.84 + 21469.5 \times 81.95}{87130.5} = 85.63 \text{ Btu/lb.}$$

HORA DE DATOS PARA COMPRESORES  
CENTRIFUGOS

JOSE LUIS MOLINA A.  
INGENIERO PROFESIONAL  
UMAC 1983

ESPEC. No.

SERVICIO COMPRESION FREON 12 FABRICANTE CARRIER Co.  
TIPO CENTRIFUGO MODELO TAFAC  
No. IMPULSORES 4 BHP 800 RPM            RANGO VTL.            RPM           

CONDICIONES DE OPERACION

Gas (Seco) FREON 12 con            F. Vol. 1209 "K" 112.  
Succión: Presión Psia Normal 19.5 Garantizada            Max.             
Temp. Grad. F Normal -6.1 Garantizada            Max.             
Desc. : Presión Psia Normal 56.5 Garantizada            Max.             
Temp. Grad. F Normal 160 Garantizada            Max.             
Recirc.: Presión Psia Normal 10 Garantizada            Max.             
Temp. Grad. F Normal 10 Garantizada            Max.             
Pies Cub./min Cond. Succ. 119210.37 Flujo Máximo 65061 lb/hr  
Factor de Compresibilidad Succión 1 Descarga 1  
Surge NO Capacidad de Surge             
AP Interenfriadores NO Psi RPI Crítica           

DETALLES DEL COMPRESOR

Tipo de Impulsor RA FAB Vel. Max. RA FAB Vel. Nom. RA FAB  
Brida de Succión: 14" ASA 150 lbs. Cara PISTA  
Brida de Descarga: 10" ASA 150 lbs. Cara PISTA  
Brida de Recirc. : - ASA - lbs. Pres. Prueba 320 Psia  
Chumaceras: Unión-Camisa Metálica FOR FAB Empuje Eca  
Coples: Mca. FAB Clase - Tipo -  
Interenfriamiento por NO Temp. - °F Tipo -  
Material de los tubos - Tamaño -

MOTOR DEL COMPRESOR

Capacidad            Tipo ALX600 Clase ALMA1 Volts 440 Fases 3  
Ciclos 60 Hoja de Datos No.            Engranaje Mca.             
BHP Nominal 900 Modelo            Rel. de Rod. RA FAB

MATERIALES DEL COMPRESOR

Armazón A-FOR1000 Flecha 25 Cr No 4 Camisas 4-FOR1000  
Impulsores: Eje y Cubierta A-FOR1000 Aspas             
Diafragmas A470-FOR1000 Laberintos 25 Cr No 4

SISTEMA DE LUBRICACION

Motor de la Bomba Principal de Aceite FOR FABRICANTE  
Motor Auxiliar de la Bomba de Aceite -  
Volts 440 Fases 3 Ciclos 60 Clase ALMA1  
Enfriadores de Aceite Gemelos FOR FABRICANTE  
Filtros de Aceite Gemelos -  
Temp. de Chumaceras - Mat. de los Tubos -  
Agua de Enfriamiento 89.6 a 100.4 °F & 40 Psia.  
GPM Requeridos           

SISTEMA DE SELLOS

Tipo de Sellos CARBON  
Observaciones



De la Fig. 15 del apéndice, encontramos que  $T_7 = 80^\circ\text{F}$ . Así mismo encontramos que a  $155.6 \text{ lb/pulg}^2$   $h_{8 \text{ AD}} = 95.71 \text{ Btu/lb}$ .

$$\eta_{\text{AD}} = 0.75$$

$$\Delta H_{2 \text{ AD}} = h_{8 \text{ AD}} - h_7 = 95.71 - 85.63 = 10.07 \text{ Btu/lb}$$

$$\Delta H_2 = \Delta H_{2 \text{ AD}} / \eta_{\text{AD}} = 10.07 / 0.75 = 13.43 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{GHP}_2 = L \Delta H_2 / 2545.1 = 87130.5 \times 13.43 / 2545.1 = 460 \text{ HP}$$

$$\text{GHP}_{\text{tot}} = \text{GHP}_1 + \text{GHP}_2 = 264 + 460 = 724 \text{ HP}$$

Si se supone una eficiencia mecánica  $\eta_m = 0.905$  se tendrá --

$$\text{BHP}_{\text{tot}} = 800 \text{ HP}$$

- 0 -

#### 4.3 Condensador de Refrigerante. (CR - 01 - 1)

Balace de calor:

$$Q_{\text{CF}} = L ( h_8 - h_1 )$$

$$Q_{\text{CF}} = 87130.5 ( 99.0735 - 34.07 ) = 5 663787.5 \text{ Btu/hr}$$

Se dispone de Agua para enfriamiento a  $t_1 = 89.6^\circ\text{F}$  y sale a  $t_2 = 100.4^\circ\text{F}$ .

Cantidad de agua requerida:

$$w_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{CF}} / C_p \Delta t_{\text{H}_2\text{O}} = 5663787.5 / 1 \times 10.8 = 524425 \text{ lb/hr}$$

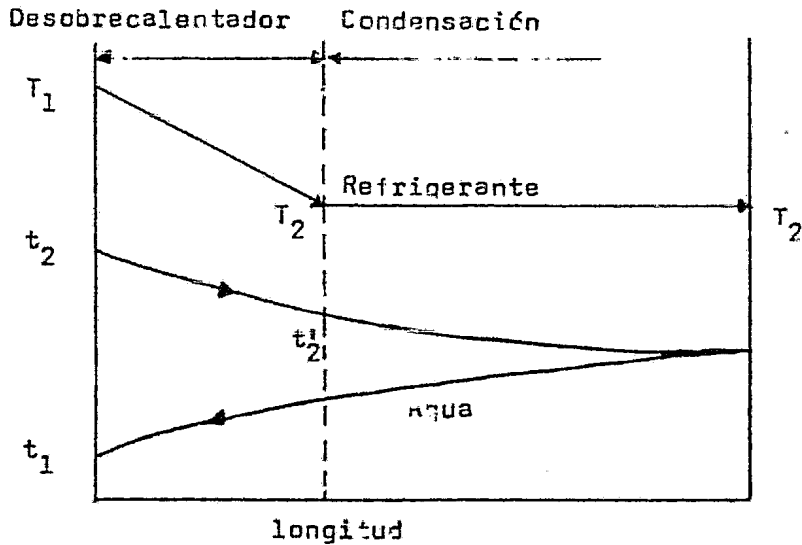


Fig. 4.2 . Distribución de Temp. vs Long.

Calor de desobrecalentamiento:

$$q_d = L C_{pF} (T_1 - T_2) = 87130.5 \times 0.15 (160 - 112.2) = 624725.7 \frac{\text{3tu}}{\text{hr.}}$$

Calor de condensación:

$$q_c = \dot{Q}_{CF} - q_d = 5663787.5 - 624725.7 = 5039061.8 \text{ 3tu/hr.}$$

$$t_2' = 100.4 - (624725.7/524425) = 99.2^\circ\text{F. (ver Fig. 4.2)}$$

Desobrecalentamiento.-

Fluido caliente	Fluido frío	
$T_1$ (160)	$t_2$ (100.4)	— 59.6 $\Delta T_2$
$T_2$ (112.2)	$t_2'$ (99.2)	— 13.0 $\Delta T_1$
		————— 46.6

$$\Delta T_d = \text{LMTD} = 46.6 / \ln \frac{59.6}{13} = 31^\circ\text{F}$$

$$q_d / \Delta T_d = 624725.7 / 31.0 = 20152.5$$

Condensación.-

Fluido caliente	Fluido frío	
$T_2$ (112.2)	$t_2$ ( 89.2 )	——— 13.0
$T_2$ (112.2)	$t_1$ ( 89.6 )	——— 22.6
		————— - 9.6

$$\Delta T_C = \text{LMTD} = \frac{-9.6}{\ln \frac{13}{22.6}} = 17^{\circ}\text{F.}$$

$$q_C / \Delta T_C = 5039061.8 / 17 = 296415.4$$

$$T_{\text{balanceada}} = \frac{q_{CF}}{\sum \Delta T} = \frac{5663787.5}{20152.5 \quad 296415.4} = 18^{\circ}\text{F}$$

Para las temperaturas coléricas, son satisfactorios valores - promedio.

Se supone que se dispone de un cambiador de calor con las siguientes características. Diámetro de Coraza 37 pulg. Con un espaciado de deflectores de 12 pulg. Un pasc por la coraza y dos pascs por los tubos (1200 tubos) de 3/4" de diámetro -- arreglo triangular 15/16 pulg. Longitud de los tubos 14 pies. Fluido caliente por la coraza, Freón 12.

$$a_s = ID \times C'8/144 \times \tau = 37 \times 0.1875 \times 12/144 \times 0.937 = 0.617 \text{ pies}^2.$$

$$G_s = w_f / a_s = 87130.5 / 0.617 = 141216.36 \text{ lb/hr pie}^2.$$

Desobrecalentamiento (Freón 12).

$$A T_e = 136^{\circ}\text{F.}$$

$$\mu = 0.0134 \text{ cps} \times 2.42 = 0.0324 \text{ lb/hr pie.}$$

$$D_e = 0.55/12 = 0.0458 \text{ pies.}$$

$$R_{es} = D_e G_s / \mu = 0.0458 \times 141216.36 / 0.0324 = 199622.$$

De la Fig. 16 del apéndice:

$$J_H = 280$$

$$\text{a } 135^\circ\text{F } K = 0.0066 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ (}^\circ\text{F/pie)}.$$

$$(C_p \mu / K)^{1/3} = (0.15 \times 0.0324 / 0.0066)^{1/3} = 0.9030$$

$$h_o = J_H \times \frac{K}{D_e} (C_p \mu / K)^{1/3} = 280 \times \frac{0.0066}{0.0458} \times 0.9030 = 36.43$$

$$h_o = 36.43 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

- 0 -

Fluido frío por los tubos, agua.

$$\text{área de flujo } a_t^i = 0.302 \text{ pulg}^2.$$

$$a_t = N_t a_t^i / 144n = 1200 \times 0.302 / 144 \times 2 = 1.26 \text{ pies}^2.$$

$$G_t = w_{H_2O} / a_t = 524425 / 1.26 = 416210.31 \text{ lb/hr pie}^2.$$

$$\text{Velocidad } v = G_t / 3600 = 416210.3 / 3600 \times 62.056 = 1.86 \text{ pies/sec.}$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } 95^\circ\text{F} = 62.056 \text{ lb/pie}^3.$$

$$\mu_{H_2O} \text{ a } 95^\circ\text{F} = 0.7 \text{ cps} \times 2.42 = 1.69 \text{ lb/pie hr.}$$

$$D = 0.62/12 = 0.0517 \text{ pies (diámetro interno).}$$

$$R_{e_t} = G_t D / \mu_{H_2O} = 416210.3 \times 0.0517 / 1.69 = 12737 \text{ (para cada- de presión)}$$

De la Fig. 17 del apéndice se tiene que:

$$h_i = 530 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$h_{i0} = h_i \times \frac{DI}{DO} = 530 \times 0.62/0.75 = 438 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$U_d = h_{ic} h_o / h_{i0} + h_c = 438 \times 35.43/438 + 35.43 = 33 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Area l mpia para sobrecalentamiento:

$$A_d = \frac{q_d}{U_d (\Delta T)_d} = \frac{624725.70}{33 \times 31} = 611 \text{ pies}^2.$$

Condensación (Frohn 12).

Se supone que la condensación ocurre en el 60 % de la longitud del tubo:

$$L_c = 14 \text{ pies} \times 0.80 = 11.2 \text{ pies.}$$

$$G'' = w_f / LN_t^{2/3} = 87130.5/11.2(1200)^{2/3} = 68.89 \text{ lb/hr pie lin.}$$

Se supone  $h_c = 175$  y con el valor de  $h_{i0}$  calculado se obtiene la temperatura de la pared.

$$t_w = t_a + \frac{h_c}{h_{i0} + h_o} (T_2 - t_a) = 95 + \frac{175}{438 + 175} (112.2 - 95) =$$

$$t_w = 99.1^\circ\text{F.}$$

$$t_f = (T_2 + t_w)/2 = 112.2 + 99.1/2 = 106^\circ\text{F.}$$

$$K_f = 0.2473 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } (^\circ\text{F/pie}).$$

$$\mu_f = 0.605 \text{ lb/hr pie. } \rho_f = 78.8 \text{ lb/pie}^3.$$

Para calcular el coeficiente de condensación, Kern propone la siguiente ecuación:

$$h_o = \frac{1.5 \left( 4 \frac{G''}{\mu_f} \right)^{-1/3}}{\left( \frac{\mu_f^2}{K_f^2 \rho_f g} \right)^{1/3}}$$

Sustituyendo los valores respectivos en la ecuación anterior se obtiene el valor de  $h_c = 176 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ .

Coefficiente total limpio de condensación  $U_c$  :

$$U_c = \frac{h_{i0} h_c}{h_{i0} + h_c} = \frac{438 \times 176}{438 + 176} = 125.5 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

Superficie limpia necesaria para la condensación:

$$A_c = \frac{q_c}{U_c (\Delta T)_c} = \frac{5039061.8}{125.5 \times 17} = 2362 \text{ pies}^2.$$

Area limpia total:

$$A_T = A_d + A_c = 611 + 2362 = 2973 \text{ pies}^2.$$

Comprobación de la longitud supuesta para la condensación:

$$\frac{A_c}{A_c + A_d} \times 100 = (2361/2973)(100) = 79.4 \%$$

Supuesta: 80 % por lo tanto satisfactorio.

Coefficiente total limpio balanceado.

$$U = \frac{\sum U A_c}{A_T} = \frac{33 \times 611 + 178 \times 2362}{2973} = 148.2 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

Coefficiente total de diseño  $U_D$ :

$$a'' = 0.1963 \text{ pie}^2/\text{pie lin.}$$

$$\text{Area de Diseño} = 1200 \times 14 \times 0.1963 = 3298 \text{ pies}^2.$$

$$U_D = Q_{CF} / A \Delta T_{\text{balan.}} = 5663787.5 / 3298 \times 18 = 95.4 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

Factor de obstrucción:

$$R_D = U - U_D / U U_D = 148.2 - 95.4 / 148.2 \times 95.4 = 0.0037$$

Dependiendo del tipo de agua de enfriamiento encontramos que el factor de ensuciamiento varía entre 0.0005 a 0.003. Se tomará el valor promedio 0.002 y por el lado del refrigerante - el valor recomendado es 0.001 por lo que tendremos un  $R_D$  --- total igual a 0.003. Por lo tanto el condensador calculado es aceptable.

Caída de presión en la coraza. Sección de sobrecalentamiento.

$$R_{e_s} = 199620 \text{ tenemos que } f = 0.0012 \text{ pie}^2/\text{pulg}^2.$$

$$L_d = 14 \text{ pies} \times 0.20 = 2.8 \text{ pies.}$$

$$\text{Número de cruces } N+1 = 12 \times \frac{L_d}{3} = 12 \times 2.8/12 = 3$$

Peso Molecular 120.9 lb/lbmol. (del Freón-12)

$$\rho = \frac{120.9}{359} \left( \frac{460}{460} \frac{32}{140} \right) \left( \frac{155.6}{14.7} \right) = 30 \text{ lb/pie}^3.$$

$$s = \frac{3.0}{62.5} = 0.048.$$

$$D_s = \frac{37}{12} = \frac{37}{12} = 3.0833 \text{ pies.}$$

$$D_e = 0.55 \text{ pulg} = 0.048 \text{ pies.}$$

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s}$$

Sustituyendo los valores respectivos en la ecuación anterior se obtiene la caída de presión en la coraza, para la sección de sobrecalentamiento  $\Delta P_s = 1.9 \text{ lb/pulg}^2$

Caída de presión para la sección de condensación:

$$s = 0.049 \text{ , , } L_c = 14 \times 0.8 = 11.2$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{s} = 12 \times 11.2/12 = 11$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s}$$

Sustituyendo los valores se tiene que  $\Delta P_s = 3.5 \text{ lb/pulg}^2$ .

La caída de presión total por el lado de la corera:

$$\Delta P_{s_T} = 1.9 + 3.5 = 4.4 \text{ lb/pulg}^2.$$

La  $\Delta P$  permitida varía entre 5 y 10 lb/pulg<sup>2</sup>.

Caída de presión por el lado de los tubos:

Con  $R_{e_t} = 12733$  se obtiene  $f = 0.0021$

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D_s \phi}$$

Con  $G_t = 416210.31 \text{ lb/hr pie}^2$ ,  $L = 14 \text{ pies}$ ,  $n = 2 \text{ pasos}$  --  
 $D = 0.0517 \text{ pies}$ ,  $s = 1$ ,  $\phi = 1$

Sustituyendo se obtiene que  $\Delta P_t = 0.377 \text{ lb/pulg}^2$ .

En los retornos se tiene cierta caída de presión que se define por la siguiente ecuación:

$$\Delta P_r = \left( \frac{4n}{s} \right) \left( \frac{V^2}{2 g'} \right)$$

Con  $V = 1.86 \text{ pies/seg}$ ,  $g' = 32.2 \text{ pies/seg}^2$ , y sustituyendo --  
 se obtiene  $\Delta P_r = 0.43 \text{ lb/pulg}^2$ .

La caída de presión total en los tubos  $\Delta P_t = \Delta P_t + \Delta P_r$

$$\Delta P_t = 0.807 \text{ lb/pulg}^2.$$



HOJA DE DATOS PARA CAMBIADORES  
DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS

CONDOMINIO FELINA A.  
TESIS PROFESIONAL  
UNAF 1983

ESPEC. No.

PLANTA PURIFICACION DE CLORO  
DIBUJO DE REF. DFI-001  
CANTIDAD 000  
POSICION HORIZONTAL  
SUP. EFECTIVA/UNIDAD 3394 PIES

UNIDAD 01 IDENTIFICACION CR-01-1  
SUNISTRADO POR QUINER S.  
NOMBRE INDUSTRIAS DE C.F.  
SERVICIO INDUSTRIAL FRECO-12  
CORAZA/UNIDAD 600

**FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD**

	Coraza	Tubos	Unidades
Fluido Circulado	<u>FRECO-12</u>	<u>AGUA CAL.</u>	
Flujo Total	<u>8230.5</u>	<u>524420</u>	<u>40/m.</u>
Vapor	-	-	
Líquido	-	-	
Flujo Condensado	-	-	
Temp. Entrada	<u>160</u>	<u>110</u>	<u>CF</u>
Temp. Salida	<u>118.2</u>	<u>103.7</u>	<u>CF</u>
Presión de Op.	<u>155.5</u>	<u>40</u>	<u>10/PSIA</u>
Densidad	<u>1.219011</u>	<u>62.100</u>	<u>10/PSIA</u>
Calor Específico	<u>1.10</u>	<u>1</u>	<u>BTU/LB.F</u>
Calor Latente	-	-	
Cond. Térmica	<u>0.006</u>	-	<u>BTU/PIE<sup>2</sup>.H.F</u>
Viscosidad	<u>0.904</u>	<u>1.24</u>	<u>10/PIE.H</u>
Peso Molecular	<u>120.1</u>	<u>18</u>	<u>10/PIE.H</u>
No. de Pasos	<u>000</u>	<u>000</u>	
Caída de Presión	<u>100 y 4 PASOS 10</u>	<u>1000 PASOS 1000</u>	<u>10/PSIA</u>
F. de Ensuciamiento	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	
Calor Intercambiado	<u>506342.5</u>		<u>BTU/H</u>
LÍMITE DE SOBRECARGA/TEMP. 31°F, SOBRECARGA 17°F			
Coefficiente Total Calc. <u>0.90.1</u> Usado <u>1.140.0</u>			

**CONSTRUCCION DE LA UNIDAD**

Presión de Op.	<u>200</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>40</u>
Temp. de Op.	<u>200</u>	<u>110</u>	<u>110</u>	<u>CF</u>
Tubos <u>WABCO</u> Cantidad <u>1200</u> DE <u>37"</u> <u>SWG 14</u> Long. <u>14.000</u> <u>14.000"</u>				
Coraza <u>ALERO AL HARBEL</u> Diámetro <u>54"</u>				
Baffles-Transv. <u>AL HARBEL</u> Tipo <u>SAE</u> Corte <u>3 25</u> Espaciamiento <u>12"</u>				
Baffles-Long. <u>AL HARBEL</u> Tipo <u>Junta de Exp.</u> <u>11</u>				
Empaques				
Conexiones-Coraza Ent. <u>10"</u> Sal. <u>8</u> Serie <u>150 # 354 R.F.</u>				
Garganta Ent. <u>10"</u> Sal. <u>10"</u> Serie <u>150 # 354 R.F.</u>				
Otras Conexiones				
Corrosion Permisible Coraza <u>1/16"</u> Tubos <u>1/16"</u>				
Código TEMA-C Rayos X <u>21</u> Pesc				
Aislamiento <u>SI</u> Clase <u>Protección Catódica</u> <u>SI</u>				
Observaciones				

Calculó <u>J.A.M. R.</u> Checó	Apróbo
Fecha <u>22/04/83</u> Fecha	Fecha

#### 4.4 Almacenamiento de Cloro líquido Purificado. (TA - 01 - 1)

##### 4.4.1. Bases de Diseño.

Para el almacenamiento de cloro líquido deberán tomarse cuidadas medidas de seguridad ya que por su alto grado de peligrosidad se deben observar las recomendaciones del Instituto del cloro. Su almacenamiento depende de la demanda de cloro, la flexibilidad operacional de las celdas, etc.

El cloro se transporta en estado líquido. En el sitio donde se desarrolló esta tesis se encontró una capacidad de almacenamiento de 310 Ton/tanque, suministrando continuamente 4 pies<sup>3</sup>/min de cloro líquido.

Las válvulas y conexiones deberán calcularse para presiones -- que van desde 180 hasta 600 psias. Los tanques deberán probarse frecuentemente a presiones de hasta 500 psias.

Por otra parte la temperatura dentro del tanque es de 18<sup>0</sup>F por lo que se requiere mantener esta temperatura, lo cual se lo -- gra con presión y aislamiento de tal forma que sea mínimo el flujo de calor del medio ambiente al tanque. ( el sistema se localiza en Coatzacoalcos, ver.).

Capacidad de Diseño/tanque = 310 ton/tanque.

Capacidad de trabajo = 433.27 lbmol/hr.

Material : Acero al carbón A - 285 - C.

Presión de Operación : 69.00 lb/pulg<sup>2</sup>.

Temperatura de Operación: 18<sup>0</sup>F.

El tanque se llena hasta un 85 % de su capacidad para permitir la expansión del Cloro por aumento de temperatura.

#### 4.4.2. Cálculo de D y L.

De acuerdo al inciso anterior:

$$Q_L = 326 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

$$Q_g = 240 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

se acumulan 86 pies<sup>3</sup>/hr.

$$\text{Acumulación} = 86 \text{ pies}^3/\text{hr} \times \rho_{Cl_2} \text{ a } 18^\circ\text{F} = 86 \times 360 = 30960 \text{ lb/hr}$$

$$310000 \text{ Kg/tanque} = 683421.5168 \text{ lb/tanque.}$$

$$\text{Tiempo de Residencia} = 683421.51/30960 = 22 \text{ hr/tanque.}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen del líquido en el tanque} &= 86 \text{ pies}^3/\text{hr} \times 22 \text{ hr/tanque} \\ &= 1892 \text{ pies}^3 \text{ líq./tanque.} \end{aligned}$$

Como el volumen de líquido ocupa el 85 %, el volumen del tanque es: 2226 pies<sup>3</sup>.

Para recipientes que trabajan a una presión mayor a 150 lb/pul<sup>2</sup>, la relación L/D más económica es 6:1.

$$V_A = \frac{\pi}{4} D_A^2 L_A \quad \text{y} \quad L_A = 6 D_A$$

$$D_A = \left( \frac{4 V_A}{6\pi} \right)^{1/3} = \left( \frac{4 \times 2226}{6\pi} \right)^{1/3} = 12.1249 \text{ pies}$$

$$D_A = 145.5 \text{ pulg.}$$

$$L_A = 72.75 \text{ pies} = 873 \text{ pulg.}$$

Para la capacidad de este sistema se encuentran instalados -- cuatro tanques de almacenamiento.

HOJA DE DATOS PARA RECIBIENTOS

JOSÉ LUIS POLINA A.  
 TESIS PROFESIONAL  
 UNAM 1983

ESPEC. No.

PLANTA PURIFICACION DE CLORO  
 DIBUJO DE REF. DTI-001  
 CANTIDAD UNO  
 POSICION HORIZONTAL

UNIDAD 01  
 SUMINISTRADO POR TEK, S. S.  
 IDENTIFICACION 74-01-1

CONDICIONES DE OPERACION

DIMENSIONES

Servicio PLANTA DE CLORO LIQ  
 Fluido Manejado CLORO LIQUIDO  
 Flujo 326 PIES<sup>3</sup>/HR  
 Pres. Op. 69 PSIA Temp. 18°F  
 Pres. Max. 300 PSIA Temp. 95°F  
 Vol. de Trabajo 7130 PIES<sup>3</sup> LIQ.  
 Tiempo de Retención 83 HR

Cap. Geométrica 8700 PIES<sup>3</sup>  
 Diámetro 12 PIES 1 1/2 PULG.  
 Longitud 72 PIES 9 PULG.  
 Espesor-Cuerpo \_\_\_\_\_  
 Espesor-Cabezas \_\_\_\_\_  
 Espesor-Recubrimiento \_\_\_\_\_  
 Peso Vacío/Lleno \_\_\_\_\_

DATOS DE CONSTRUCCION

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Código ASME SECCION VIII  
 Pres. de Diseño \_\_\_\_\_  
 Pres. de Prueba 500 PSIG  
 Tratamiento Térmico SI  
 Prueba Radiográfica SI  
 Corrosión Permisible 1/8 PULG.  
 Aislamiento Térmico SI

Cuerpo A-285-C  
 Cabezas A-285-C  
 Internos NO  
 Recubrimiento NO  
 Ais. Térmico ESPUMA DE POLIURETANO 4 PULG DE ESPESOR

ACCESORIOS

SOPORTES

Calent./Enf. \_\_\_\_\_

Tipo SILLERES DE ACERO

Observaciones \_\_\_\_\_

Calculó J.L.M. A.      Checó \_\_\_\_\_      Aprobó \_\_\_\_\_  
 Fecha 24/04/83.      Fecha \_\_\_\_\_      Fecha \_\_\_\_\_

HOJA DE DATOS PARA RECIPIENTES

JOSE LUIS FELIPE A.  
 TESIS PROFESIONAL  
 UNAM 1983

ESPEC. No.

PLANTA PURIFICACION DE AGUA  
 DIBUJO DE REF. DTI-001  
 CANTIDAD UNA

UNIDAD 01  
 SO. INISTRADO POR T.K.S.A  
 IDENTIFICACION TA-01-1

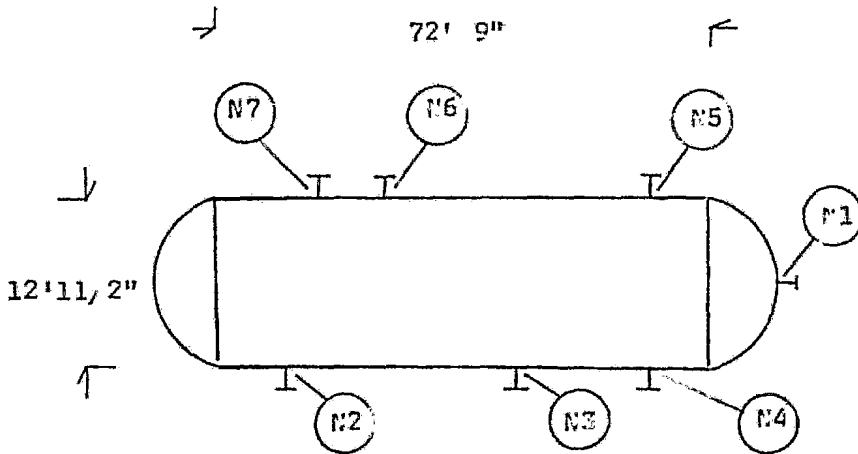


TABLA DE BOCUILLAS

BOQ.	DIM.	TIPO Y RANGO	EMPAQUE	SERVICIO	No.
N1	2"	W.P. 150 R F	ASBESTO	ENTRADA DE VAPOR AG.	
N2	1"			SALIDA DE AGUA AG.	
N3	1"			AGUA DE ALIMENTACION	
N4	1/4"			VENTILADOR 25 AT	
N5	1 1/2"			BOQUILLA A 120° (20° ZALION)	
N6	1/4"			BOQUILLA 25 PSI - PI	
N7	24"			ENTRADA - HOMBRE	

Observaciones \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Calculó J.L.M.A. Checó \_\_\_\_\_ Abrió \_\_\_\_\_  
 Fecha 26/04/83 Fecha \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

#### 4.4.3. Espesor del Aislamiento.

D. Q. Kern propone la siguiente ecuación para calcular el --  
flujo de calor a través de una pared.

$$Q = \frac{K_A A \Delta T}{X}$$

Las condiciones de Operación son las siguientes:

Temperatura de Operación: 18<sup>o</sup>F.

Temperatura Promedio Ambiental: 95<sup>o</sup>F.

Conductividad Térmica del aislante (Poliuretano) = 0.026 --  
Btu/hr pie<sup>2</sup> (°F/pie).

Acumulación de Cloro líquido a 3.9<sup>o</sup>F = 8256 lb/hr.

C<sub>p</sub> del Cloro Líquido (0<sup>o</sup>F a 100<sup>o</sup>F) = 0.233 Btu/lb °F.

Area externa del tanque = 3026 pies<sup>2</sup>.

$$Q = m_{Cl_2} C_p \Delta T_{Cl_2} = 8256 \times 0.233 \times 14.1 = 27123.4368 \text{ Btu/hr.}$$

$$\Delta T = T_{amb} - T_{Op} = 95 - 18 = 77^{\circ}\text{F.}$$

de la ecuación:

$$X = K_A A \Delta T / Q \quad (\text{Espesor del Aislante})$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene X = 0.2234 pies

O sea 3 pulg. "PPG Industries" recomienda un espesor de --

Aislante de 4 pulg. lo cual resulta razonable ya que se ---

llegan a obtener temperaturas ambientales mayores a 104<sup>o</sup>F (40<sup>o</sup>F).

#### 4.5.1. Economizador (E - 01 - 1)

Para disminuir los BHP necesarios en el ciclo de refrigera --  
ción básico, es necesario modificarlo, ya que las temperatu -

HOJA DE DATOS PARA RECIPIENTES

JOSE LUIS MOLINA A.  
TESIS PROFESIONAL  
UNAM. 1983

ESPEC. No.

PLANTA PUERIFICACION DE AGUA  
DIBUJO DE REF. 271-001  
CANTIDAD 6000  
POSICION MEXICALCO

UNIDAD 01  
SUNISTRADO POR INDUSTRIAL  
IDENTIFICACION: E-11-1

CONDICIONES DE OPERACION

DIMENSIONES

Servicio CF FLOSOFA - FICSA  
Fluido Manejado TRC-12 AGUA  
Flujo 87136.5 l/m<sup>3</sup>  
Pres. Cp. 50 PSIA Temp. 60°F  
Pres. Max. 150 PSIA Temp. 160°F  
Vol. de Trabajo \_\_\_\_\_  
Tiempo de Retención PER FLOSOFA

Cap. Geométrica PER FLOSOFA  
Diámetro PER FLOSOFA  
Longitud PER FLOSOFA  
Espesor-Cuerpo PER FLOSOFA  
Espesor-Cabezas PER FLOSOFA  
Espesor-Recubrimiento NO  
Pesc Vacío/Lleno \_\_\_\_\_

DATOS DE CONSTRUCCION

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Código ASME - SECTION III  
Pres. de Diseño \_\_\_\_\_  
Pres. de Prueba 150 PSIA  
Tratamiento Térmico NO  
Prueba Radiográfica SI  
Corrosión Permisible 1/16 PULG.  
Aislamiento Térmico SI

Cuerpo SA-283 ORC  
Cabezas SA-283 ORC  
Internos \_\_\_\_\_  
Recubrimiento NO  
Aislamiento Térmico ESPUMA DE  
ACRILICO

ACCESORIOS

SOPORTES

Calent./Enf. CAMARA DE FLASHED Tipo PER FLOSOFA

Observaciones LA CAMARA DE FLASHED TIENE UN FLUJO DE OPERACION DE 21469.5 l/m<sup>3</sup> DE AGUA DE FLOSOFA.

Calculó J.L.M.A      Checó \_\_\_\_\_      Aprobó \_\_\_\_\_  
Fecha 26/04/83      Fecha \_\_\_\_\_      Fecha \_\_\_\_\_

ras del refrigerante no son lo suficientemente altas para -- transferir una cantidad mayor de calor al agua de enfriamiento. Por consiguiente se utiliza otro método de enfriamiento -- (enfriador flash).

La reducción de los HP se logra eliminando la necesidad de -- comprimir todo el gas refrigerante de la expansión a través -- de la relación de compresión del compresor.

El economizador sirve para aumentar el efecto refrigerante y -- disminuye la temperatura del vapor que es comprimido.

El diseño de los economizadores se ha dejado a los fabricantes. En la totalidad de la literatura consultada e información del proceso se dice muy poco acerca de su diseño. Esto -- se debe a que se compran equipos paquete de tecnólogos en su mayoría extranjeros.

#### 4.6 Aire de Amortiguamiento (Air Padding).

Esta línea de aire seco se utiliza para cargar o descargar de un tanque a otro tanque o a cualquier otro recipiente; se -- utiliza también para igualar la presión del tanque que esté -- recibiendo cloro líquido a la presión del licuefactor, esta -- línea no permite que el cloro se flashee cuando se alimenta a los tanques de almacenamiento.

El Instituto del Cloro ha establecido los requerimientos de -- aire seco de amortiguamiento, teniéndose en el almacén una -- temperatura de 18<sup>o</sup>F ( presión de vapor 24.7 psig ).



Cuando se llena un tanque de almacen, el flujo de air de -  
amortiguamiento se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{SCFM Aire} = \frac{\text{lb/hr de Cloro} \times (P - 25)}{75 \text{ CCC}}$$

P = Presión total en el tanque en psig.

Para igualar la presión 69 psia - 14.7 = 54.3 psig.

$$\text{SCFM} = \frac{39716.134 \times (54.3 - 25)}{75 \text{ CCC}} = 12 \text{ (a } 68^{\circ}\text{F y 1 atm.)}$$

Para la cantidad de aire de amortiguamiento cuando se trans-  
fiere cloro, se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Pies}^3 \text{ Aire} = \text{Ton de Cloro} \times 1.96 (P - 25)$$

de donde P = presión total en el tanque en psig.

Las presiones recomendadas por el Instituto del Cloro para -  
transferir cloro líquido usualmente varía entre 100 y 125 --  
psig. Si se toma 100 psig.

$$\text{Pies}^3 \text{ Aire} = 310 \times 1.96 (75) = 45570 \text{ pies}^3 \text{ (a } 68^{\circ}\text{F y 1 atm.)}$$

Almacen de Refrigerante.

El diseño del almacen de refrigerante, no solo involucra el -  
obtener el diámetro y la longitud, sino que deben considerar-  
se el "know-how" de los fabricantes, debido a que el freón 12  
no debe descargarse a la atmósfera, además presenta un alto -  
costo en la operación.

A las Unidades de Bombeo y Almacenaje de Refrigerante se  
les denomina "Pump-Cut" y consisten en un compresor,  
un condensador, un evaporador, y sirven para eliminar incon-  
densables, así como para acarrear el refrigerante.

## Nomenclatura del Capítulo 4

$h_{1..}$  = entalpías del refrigerante Stu/lb.

$P_5$  = presión a la succión del compresor lb/pulg<sup>2</sup>.

$P_6$  = presión a la descarga de la primera etapa lb/pulg<sup>2</sup>.

$P_8$  = presión a la descarga de la segunda etapa lb/pulg<sup>2</sup>.

$m$  = flujo de refrigerante en el licuefactor lb/hr.

$L$  = flujo de refrigerante en el condensador lb/hr.

$G$  = gas refrigerante que se produce en el economizador lb/hr.

$\eta_{AD}$  = eficiencia adiabática.

$\eta_P$  = eficiencia politrópica.

$\Delta H_{1 AD}$  = diferencia de entalpía adiabática en la primera etapa.

$\Delta H_{2 AD}$  = diferencia de entalpía adiabática en la segunda etapa.

GHP = (Gas Horse Power) Caballos de potencia para el refrigerante.

$\eta_m$  = eficiencia mecánica.

$Q_{CF}$  = Carga de calor en el condensador de refrigerante Stu/hr.

$w_{H_2O}$  = flujo de agua en el condensador de refrigerante lb/hr.

$t_1$  = temperatura de entrada del agua °F.

$t_2$  = temperatura de salida del agua °F.

$T_1$  = temperatura de entrada del refrigerante °F.

$T_2$  = temperatura de condensación °F.

$q_d$  = calor de sobrecalentamiento Stu/hr.

$q_c$  = calor de condensación Stu/hr.

$t_2'$  = temperatura del agua a la salida del sobrecalentamiento °F.

$a_s$  = área de flujo por la coraza pie<sup>2</sup>.

$G_s$  = masa velocidad por la coraza lb/hr pie<sup>2</sup>.

$T_a$  = temperatura promedio del refrigerante °F.

$K$  = conductividad térmica  $\text{Stu/hr pie}^2 (^{\circ}\text{F}/\text{pie})$ .

$h_o$  = coeficiente de transferencia de calor, corara  $\text{Stu/hr pie}^2 ^{\circ}\text{F}$ .

$D_e$  = diámetro equivalente pies.

$h_i$  = coeficiente de transferencia de calor, tubos  $\text{Stu/hr pie}^2 ^{\circ}\text{F}$ .

$h_{io}$  = Idem al anterior pero referido al diámetro externo.

$G''$  = carga de condensado para tubos horizontales  $\text{lb/hr pie lin}$ .

$t_w$  = temperatura de la pared del tubo  $^{\circ}\text{F}$ .

$t_f$  = temperatura de película  $^{\circ}\text{F}$ .

$a''$  = área exterior por pie lineal.

$L_d$  = longitud de desobrecalentamiento, pies.

$L_c$  = longitud de condensación, pies.

$N$  = número de baffles.

$n$  = número de pasos.

$L$  = longitud de tubos, pies.

$\Delta P_t$  = caída de presión en los tubos,  $\text{lb/pulg}^2$ .

$\Delta P_r$  = caída de presión en los retornos,  $\text{lb/pulg}^2$ .

$g$  = aceleración de la gravedad,  $\text{pies/hr}^2$ .

$g'$  = aceleración de la gravedad,  $\text{pies/seg}^2$ .

$Q_L$  = flujo volumétrico de cloro líquido,  $\text{pies}^3/\text{hr}$ .

$Q_s$  = flujo de suministro de cloro,  $\text{pies}^3/\text{hr}$ .

$V_A$  = volumen de almacenamiento,  $\text{pies}^3$ .

$D_A$  = diámetro del tanque de almacenamiento, pulg.

$L_A$  = longitud del tanque de almacenamiento, pulg.

$\dot{Q}$  = flujo de calor del medio ambiente al cloro líquido,  $\text{Stu/hr}$ .

$K_A$  = Conductividad térmica del aislamiento  $\text{Stu/hr pie}^2 (^{\circ}\text{F}/\text{pie})$ .

$\Delta T$  = diferencia de temp. del medio ambiente al tanque de almacén.

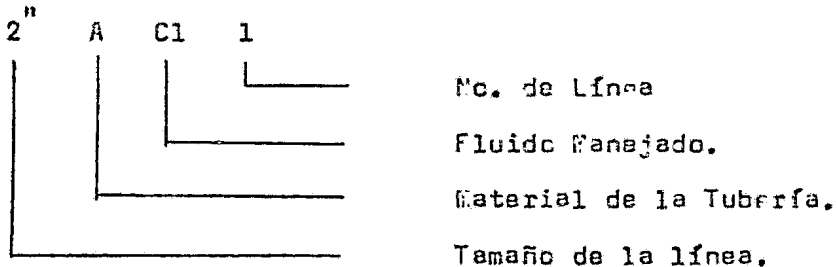
$X$  = espesor de aislamiento, pulg.

5 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

## 5.1 Nomenclatura.

5.1.1. Se utilizarán los Símbolos usados por la Sociedad -- Norteamericana de Instrumentistas.

5.1.2. Las líneas se indicarán de la siguiente forma:



El material de las líneas será acero al carbón cédula 4<sup>o</sup> ó -- 80 (para Cloro) ASTM - A - 53 Grado 3, y se le denominará con la letra A.

La numeración de las líneas será de 1 a 100 de izquierda a -- derecha, siguiendo la secuencia del proceso.

- 1) de equipo a equipo.
- 2) de línea a equipo.
- 3) de línea a línea.
- 4) de línea a límites de batería.

Los fluidos manejados se abreviarán de la siguiente manera:

- Cl - Cloro Líquido.
- CG - Cloro Gas.
- IG - Incondensables y Vapor de Cloro.
- FG - Freón gas.
- FL - Freón Líquido.

- SAE — Suministro de Agua de Enfriamiento.  
 RAE — Retorno de Agua de Enfriamiento.  
 AP — Aire de Amortiguamiento (Air Padding).

5.1.3. Símbolos típicos de válvulas y tuberías para diagramas de flujo:

Válvula (bola B, Compuerta C, especial X )

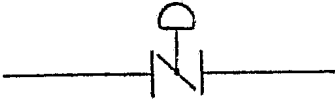


Normalmente abierta



Normalmente cerrada.

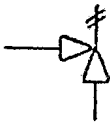
Válvula de Mariposa ( M )



Válvula Macho ( P )



Válvula de Seguridad ( S ).



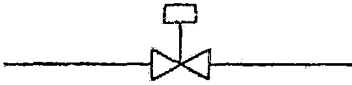
Válvula de Retención ( R ).



Válvula de Control Operada con Diafragma ( D ).



Válvula Operada Eléctricamente ( OVE ).



Para las líneas se tiene la siguiente denominación:

Proceso Principal	_____
Proceso Secundario	_____
Aire de Instrumentos	_____
Condensados	_____
Vapor	_____
Agua	_____
Conexión Eléctrica	_____

## 5.2 Accesorios Especiales para Líneas de Cloro.

### 5.2.1. Cámaras de Expansión.

Si el Cloro líquido es atrapado en una línea, éste se expande y puede generarse la suficiente presión para romper la tubería, por lo que es necesario que la mayor parte de las líneas con Cloro líquido sean equipadas con una cámara de expansión, como se muestra en la figura.

La capacidad del cilindro debe ser como mínimo el 20 % del volumen de la línea y se instala hasta el extremo de la tubería. Nunca debe instalarse una válvula antes de la cámara, si es necesario instalarla debe permanecer abierta.

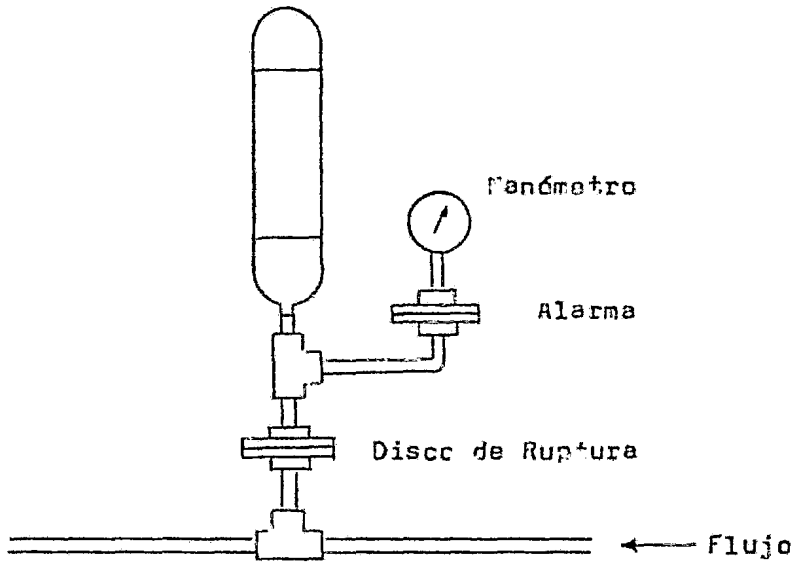


Fig. 5.1 Cámaras de Expansión para Líneas de Cloro

#### 5.2.2. Válvulas para Exceso de Flujo.

En los tanques donde se descarga el Cloro líquido o en el -- lugar donde sea necesario, se colocan antes de las válvulas -- una especie de válvula check en posición vertical (siempre) -- Fig. 5.2.

Estas válvulas funcionan cuando la válvula principal sufre -- algún desperfecto o cuando se excede el flujo cerrándose auto -- máticamente.



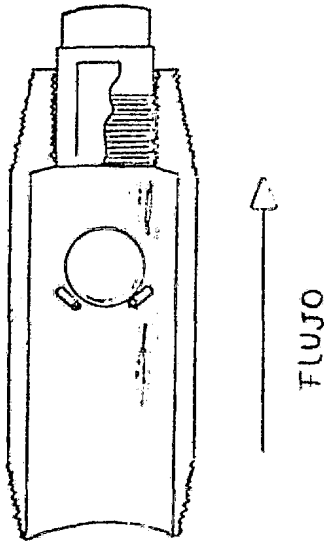


Fig. 5.2 Válvula para Exceso de flujo.

### 5.3 Dimensionamiento de Líneas.

Los diámetros de las líneas se determinaron en base al criterio de velocidad recomendada.

De los balances de materia se obtiene el flujo volumétrico, que con la velocidad recomendada y aplicando la siguiente ecuación se obtiene el diámetro de la línea.

$$D = \left( \frac{1.2732 Q_F}{V} \right)^{1/2}$$

Donde:

$Q_F$  = Pies<sup>3</sup>/Seg.

$V$  = Pies/Seg.

$D$  = Pulgadas.

### 5.4 Diagrama de Tubería e Instrumentación DTI.

## 5.4.1. Índice de Líneas.

111

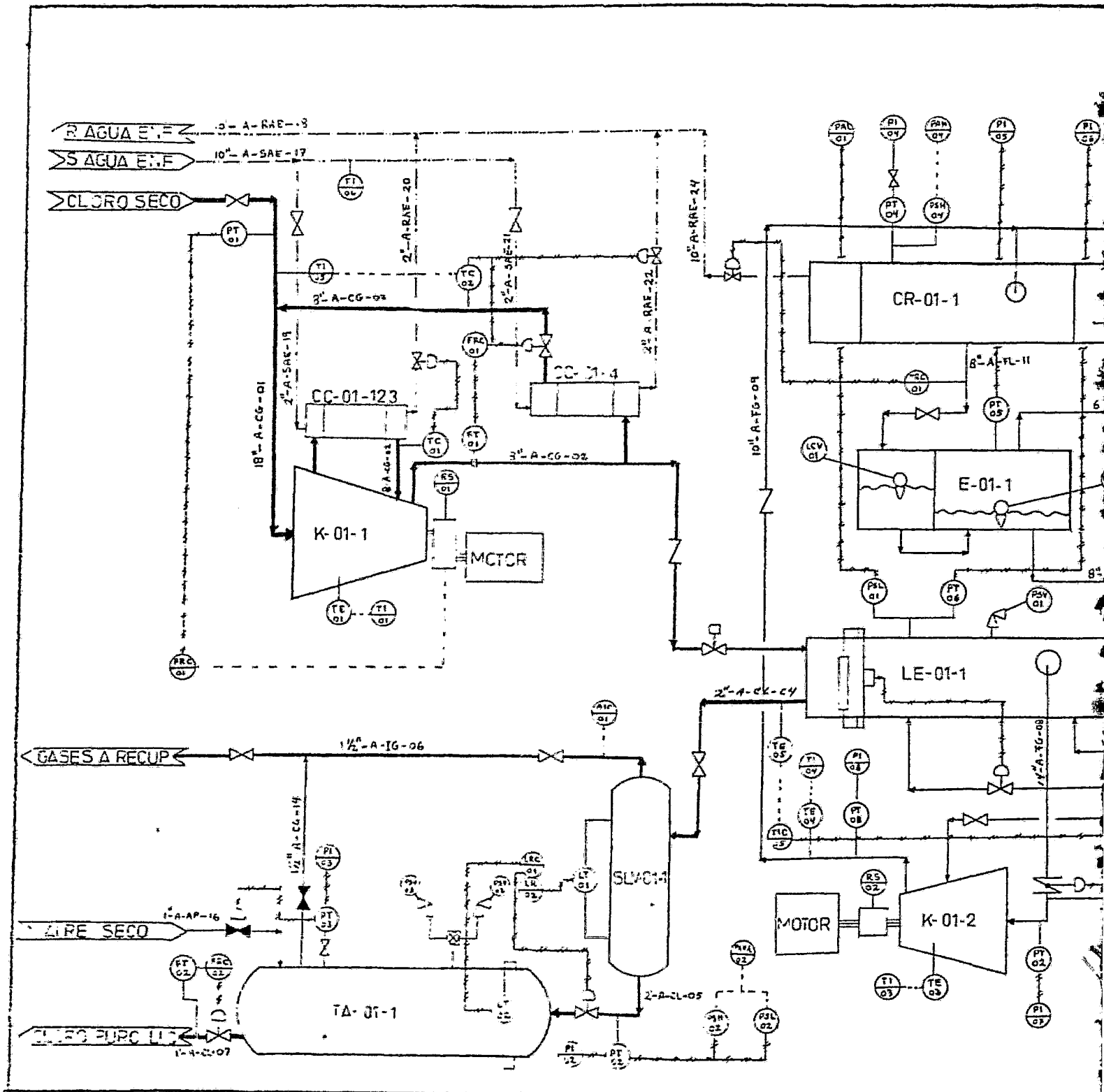
DIAGRAMA	Línea			De	A	Fluido
	Diam	espec	Nc.			
DTI-001	18"	A-CG	01	Límite de Bat.	K - 01 - 1	Gas
"	8"	A-CG	02	K - 01 - 1	LE - 01 - 1	Gas
"	8"	A-CG	03	8"-A-CG-02	18"-A-CG-01	Gas
"	2"	A-C1	04	LE-01 - 1	SLV- 01 - 1	L/G
"	2"	A-C1	05	SLV- 01 - 1	TA - 01 - 1	Liq.
"	1½"	A-IG	06	SLV- 01 - 1	Lím. de Bat.	Gas
"	1"	A-C1	07	TA - 01 - 1	Lím. de Bat.	Liq.
"	14"	A-FG	08	LE - 01 - 1	K - 01 - 2	Gas
"	10"	A-FG	09	K - 01 - 2	CC - 01 - 1	Gas
"	3"	A-FG	10	10"-A-FG-09	LE - 01 - 1	Gas
"	8"	A-FL	11	CR - 01 - 1	E - 01 - 1	Liq.
"	6"	A-FG	12	E - 01 - 1	K - 01 - 2	Gas
"	8"	A-FL	13	E - 01 - 1	LE - 01 - 1	Liq.
"	1½"	A-CG	14	TA - 01 - 1	1½" -A-IG- 1	Gas
"	2"	A-FL	15	Límite de Bat.	LE - 01 - 1	Liq.
"	1"	A-AP	16	Límite de Bat.	TA - 01 - 1	Gas
"	10"	A-SAE	17	Límite de Bat.	10"-A-SAE-23	Liq.
"	10"	A-RAE	18	10"-A-RAE-24	Lím. de Bat.	Liq.
"	2"	A-SAE	19	10"-A-SAE-17	CC -01-1,2,3	Liq.
"	2"	A-RAE	20	CC-01-1,2,3	10"-A-RAE-18	Liq.
"	2"	A-SAE	21	10"-A-SAE-17	CC- 01 - 4	Liq.
"	2"	A-RAE	22	CC - 01 - 4	10"-A-RAE-18	Liq.
"	10"	A-SAE	23	10"-A-SAE-17	CR - 01 - 1	Liq.
"	10"	A-RAE	24	CR - 01 - 1	10"-A-RAE-18	Liq.

## 5.4.2. Descripción de Instrumentos.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	LOCALIZACIÓN
PT - 01	Transmisor de presión	Cl <sub>2</sub> seco Gas	1P"-A-CG-01
PT - 02	"	Cloro Líq.	2" -A-C1 -05
PT - 03	"	TA-01-1	Campo.
PT - 04	"	CR-01-1	Campo.
PT - 05	"	E -01-1	Campo.
PT - 06	"	LE-01-1	Campo.
PT - 07	"	Freón Gas.	14"-A-FG-08
PT - 08	"	Freón Gas	10"-A-FG-09
PRC- 01	Regist. Cont. de presión	Cl <sub>2</sub> seco Gas	Tab. de Cont.
PI - 02	Indicador de presión	Cloro Líq.	Tab. de Cont.
PI - 03	"	TA-01-1	Tab. de Cont.
PI - 04	"	CR-01-1	Tab. de Cont.
PI - 05	"	E -01-1	Tab. de Cont.
PI - 06	"	LE-01-1	Tab. de Cont.
PI - 07	"	Freón Gas	Tab. de Cont.
PI - 08	"	Freón Gas	Tab. de Cont.
PSH- 02	Switch de alta presión	Cloro Líq.	Campo.
PSH- 04	Switch de alta presión	CR-01-1	Campo.
PSL- 02	Switch de baja presión	Cloro Líq.	Campo.
PSH- 04	Switch de baja presión	CR-01-1	Campo.
PAH/L-02	Alarma A/B presión	Cloro Líq.	Tab. de Cont.
TE - 01	Elemento de temperatura	K - 01 - 1	Campo.
TE - 02	"	Freón Gas	14"-A-FG-08.
TE - 03	"	K - 01 - 2	Campo.
TE - 04	"	Freón Gas	Campo.
TE - 05	"	Cloro Líq.	2"-A-C1-04
TIC- 05	Ind. Cont. de Temp.	Cloro Líq.	Tab. de Cont.
TI - 01	Indicador de Temp.	K - 01 - 1	Tab. de Cont.
TI - 02	"	Freón Gas	Tab. de Cont.
TI - 03	"	K - 01 - 1	Tab. de Cont.

SIMBOLO	DESCRIPCION	SERVICIO	LOCALIZACION
TI - 04	Indicador de Temp.	Freón Gas	Tab. de Cont.
TI - 05	"	Cloro Gas	18"-A-CG-01.
TI - 06	"	Agua Enfr.	10"-A-SAC-23.
LT - 01	Transmisor de nivel	SLV-01-1	Campo.
LT - 02	"	TA-01-1	Campo.
LRC- 01	Regist. Cont. de nivel	SLV-01-1	Tab. de Cont.
LR - 02	Registrador de nivel	TA-01-1	Tab. de Cont.
FT - 01	Transmisor de flujo	Cloro Gas	8"-A-CG-02.
FT - 02	"	Cloro Lfq.	1"-A-CI-07.
FRC- 01	Regist. Cont. de flujo	Cloro Gas.	Tab. de Cont.
FRC- 02	Regist. Cont. de flujo	Cloro Lfq.	Tab. de Cont.
PSV- 01	Válv. de seguridad	LE-01-1	Campo.
PSV- 02	"	TA-01-1	Campo.
PSV- 03	"	TA-01-1	Campo.
AIC- 01	Analizador indicador	Gas a recup.	1 $\frac{1}{2}$ "-A-IG-06.
RS - 01	Registrador de Vel.	K-01-1	Tab. de Cont.
RS - 02	"	K-01-2	Tab. de Cont.
PSL- 01	Switch de baja presión	LE-01-1	Campo.
PAL- 01	Alarma de baja presión	LE-01-1	Tab. de Cont.
FCV- 01	Válv. de Cont. de flujo	E-01-1	Campo.
LCV- 01	Válv. de flotador	E-01-1	Campo.
TC - 01	Control de temp.	Cloro Gas	8"-A-CG-02.
TC - 02	"	Cloro Gas	8"-A-CG-03.

Todos los instrumentos descritos anteriormente se encuentran --  
localizados en el Diagrama de Tubería e Instrumentación DTI-001.





## 5.5 Seguridad en el Manejo del Cloro

### 5.5.1. Edificios y Estructuras

Los recipientes que contengan Cloro líquido tanto para embarque o almacenamiento deben localizarse bajo techo, con pisos y paredes resistentes al fuego.

Deben utilizarse paredes a prueba de incendio para separar el Cloro de las sustancias flamables. No deben existir espacios subterráneos, cuando sea necesario deberá instalarse un adecuado sistema de ventilación.

En los sitios donde se almacena, maneje o use Cloro líquido - deben instalarse dos vías de entrada, que deben permanecer -- abiertas siempre y hacia afuera. Especial consideración deberá tenerse para el manejo de cilindros con cloro líquido, con el objeto de garantizar la mayor seguridad, por ejemplo: la - altura del techo, instalación de monorraíles, pisos con la - suficiente resistencia mecánica, etc.

### 5.5.2. Ventilación y Calefacción.

Si se provee un confortable Sistema de Calefacción ( o si de lo contrario se calienta el ambiente para incrementar la --- descarga de Cloro) se deberá tener cuidado de no sobrecalen-- tar los cilindros o equipo que contenga cloro.

En muchos casos la ventilación natural es la más adecuada, en otros, se hace necesario el uso de ventiladores. Cuando no -- sea necesario usar ductos para la ventilación, un ventilador de pared puede ser satisfactorio, colocándolo a la altura --- del piso. Teniéndose cuidado de no instalar interruptores ---

eléctricos dentro de los locales.

Como el Cloro es más pesado que el aire, tiende a juntarse al nivel del piso por lo que la succión de los ventiladores deberá localizarse a la altura de éste. La entrada de aire fresco provee una ventilación cruzada evitando la formación de vacío en el local. Múltiples entradas de aire y ventiladores son -- necesarios para desalojar y renovar el aire de las zonas en -- donde se encuentran los equipos que contienen Cloro.

### 5.5.3. Materiales de Construcción.

A temperaturas moderadas, el Cloro líquido ó gaseoso (seco y puro) no ataca a la mayoría de materiales. A altas temperaturas de operación se tienen serios problemas de corrosión y -- solamente algunos materiales son satisfactorios.

La presencia de humedad hasta en pequeñas cantidades genera -- severas condiciones de corrosión.

Antes de adoptar cualquier material debe ser probado bajo con -- diciones específicas de uso, especialmente cuando las tempera -- turas y presiones exceden a las condiciones normales o cuando otros materiales corrosivos están presentes. Las pruebas son -- mecánicas y químicas ( resistencia).

El cloro seco líquido o gaseoso se puede manejar ordinariamen -- te con materiales como el acero al carbón por debajo de 300<sup>o</sup>F así también acero inoxidable ( 304, 316, 317 ) a temperaturas altas pero que deben ser menores a 600<sup>o</sup>F.

El cobre y sus aleaciones proporcionan un buen servicio a -- temperaturas por debajo de 400<sup>o</sup>F. Otros metales como el ---



bronce, grafito, níquel, aleación de níquel, acero inoxidable y plata son adecuados bajo ciertas condiciones, los mismo -- sucede con algunos materiales como la cerámica, vidrio, caucho y ciertos plásticos (solamente a bajas presiones).

#### 5.5.4. Sistemas de tuberías.

Los arreglos de las tuberías que conduzcan cloro deben ser lo más simple posible, teniendo el menos número de conexiones -- roscadas o bridadas ( las juntas roscadas deben usarse para - tuberías de hasta 1 1/2 pulg.) y el menos número de ramales y trampas. Se debe doblar la tubería para eliminar esfuerzos. Cuando sea posible, las tuberías que contengan ó conduzcan -- cloro, deben instalarse por encima del suelo con el objeto de que cuando se presente cualquier fuga sea rápidamente localizada y por ende fácilmente reparada. Las tuberías deben estar soportadas de tal forma que se facilite cualquier contracción o expansión.

Antes de usar una tubería para cloro, ésta debe estar completamente limpia y seca a prueba de cualquier fuga.

Los aceites ó grasas que contengan las tuberías o conexiones deben quitarse por flasheo y arrastre utilizando tricloroetileno o algún otro solvente clorado. Cualquier hidrocarburo o alcohol no debe utilizarse para limpieza.

Las válvulas nuevas u otro equipo nuevo que vaya a utilizar, debe desmantelarse y limpiarse antes de que se use.

Las válvulas deben checarsse con aire seco con presiones que - van desde 150 a 200 psig. Por otra parte las tuberías deben -

checarse hidrostáticamente hasta 300 psig antes que sean secadas, se acostumbra también utilizar vapor para limpiar las tuberías, drenando de antemano los condensados y pasando posteriormente aire seco a 150 psig, para checar cualquier fuga (en las juntas se usa agua con jabón) en seguida se introducen pequeñas cantidades de cloro gaseoso checandose la presión. Todos los cilindros y almacenes de cloro líquido deben inspeccionarse diariamente.

No se debe intentar la reparación de cualquier equipo o línea cuando se encuentren en servicio, en primer lugar todo el Cloro debe ser desalojado o drenado ya que el calor hace que la tubería o equipo arda con flama.

La limpieza de tanques o reparaciones debe realizarse por personal preparado, que además esté familiarizado con los riesgos, así como con las medidas de seguridad requeridas.

#### 5.5.5. Medidas Generales de Seguridad.

1.- Para el manejo del Cloro se deben usar equipos con los materiales adecuados que tengan la suficiente resistencia química y mecánica; bajo las condiciones de presión y temperatura para lo cual hayan sido diseñados.

2.- Limpiese, seque y pruebe todo el equipo nuevo o reparado antes de ponerlo en servicio. No use hidrocarburos o alcohol en las operaciones de limpieza.

3.- Nunca intente reparar el equipo o las líneas cuando se encuentren en servicio, sobre todo cuando se trate de soldar.

- 4.- Seque inmediatamente el equipo y las líneas en donde se - haya introducido accidentalmente agua ó que hayan permanecido abiertos por reparación.
- 5.- Examine y cheque todos los equipos, líneas, etc., de fugas o averías, preferentemente hagase una inspección diaria.
- 6.- Nunca deje cloro líquido en una línea que no esté protegida con una cámara de expansión.
- 7.- El personal que trabaje cerca de los sistemas con Cloro,- debe usar lentes y mascarillas con oxígeno todo el tiempo.

#### 5.5.6. Medidas Generales de Emergencia.

- 1.- Saber qué hacer cuando ocurra una emergencia. Principal - mente desalojar el área.
- 2.- Conocer la limitación y localización del equipo de pro -- tección personal y los primeros auxilios para aquellas perso -- nas contaminadas con cloro.
- 3.- No entrar al área en donde haya alguna fuga, sin el equipo de protección adecuado.
- 4.- Solamente personal autorizado, entrenado y equipado con -- protección respiratoria adecuada debe localizar y tratar de - reparar cualquier fuga de cloro.
- 5.- Las fugas de cloro no conceden ventaja alguna y no causan mayores daños cuando se atienden rápida y eficazmente.
- 6.- De ser posible, cuando exista alguna fuga en un cilindro -- con cloro, éste debe colocarse en una posición tal que solamen -- te escape el cloro gaseoso.
- 7.- El personal debe mantenerse        contra la dirección del --

viento y en niveles por encima de la fuga de cloro.

8.- Nunca agregue agua o cualquier otro líquido sobre la fuga de cualquier cilindro con cloro. El agua solamente deberá -- utilizarse para enfriar los cilindros sin fuga, sobre todo -- cuando haya fuego, si los cilindros no pueden ser removidos.

9.- Nunca sumerja un cilindro con fuga en alcalí, agua u otro líquido.

10.- Si la fuga se localiza en una zona de tránsito de vehículos, éstos deben pararse inmediatamente.

11.- El cloro es absorbido por soluciones de sosa caústica, - carbonato de sodio y cal. Por lo que deben proveerse soluciones de este tipo en lugares estratégicos y a la mano para -- combatir cualquier fuga de cloro.

6 CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo muestra como parámetros fundamentales de diseño:

La presión nominal de descarga del compresor y la concentración de hidrógeno en la corriente de incondensables, ya que son los que representan la mayor economía del sistema.

El modelo propuesto por D.Q. Kern para calcular el licuefactor de Cloro resulta válido en este caso ya que está de acuerdo a las condiciones reales de operación.

El aprovechamiento de la diferencia en los puntos de condensación entre el Cloro y sus contaminantes, así como la inmiscibilidad de los mismos en el Cloro líquido, permite obtener Cloro (líquido o gaseoso) con un alto grado de pureza.

El separador líquido-gas viene a constituir un sello líquido para evitar el paso de incondensables a la corriente de Cloro líquido.

El hecho de obtener el Cloro en estado líquido facilita en forma considerable su almacenamiento.

Es necesario proporcionar mayor información sobre el manejo del Cloro, la cual ha permanecido ignorada sin provecho alguno; Analizar la información, operación, diseño y economía de instalaciones de este tipo, coadyuvarán a un desarrollo tecnológico propio.

Los cálculos realizados en la presente tesis constituyen la ingeniería básica y parte de la ingeniería de detalle, para diseñar, construir y posteriormente operar, un sistema de esta naturaleza.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Kern, D.Q. "Procesos de Transferencia de Calor". C.E.C.S.A. México. 1976.
- 2.- Ludwig E.E. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants". Vol. 3, Gulf Publ. Co. Houston, Tex. 1964.
- 3.- Ludwig E.E. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants". Vol. 1, Gulf Publ. Co. Houston, Texas. 1964.
- 4.- Evans F.L. "Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants". Vol. 1, Gulf Publ. Co. Houston, Tex. 1981.
- 5.- Evans F.L. "Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants". Vol. 2, Gulf Publ. Co. Houston, Tex. 1981.
- 6.- Chlorine Handbook. PPG Industries, Pittsburg, Pa.
- 7.- Sconce S.I. "Chlorine, Its Manufacture, Properties and Uses". Reinhold Publ. Corp. N.Y. 1962.
- 8.- Rase H.F. y Barrow, M.H. "Ingeniería de Proyecto para Plantas de Proceso". C.E.C.S.A. México 1979.
- 9.- T.E.M.A. (Ed). "Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association" 6 th. Ed. T.E.M.A. 1978
- 10.-Perry R. et al. "Chemical Engineers Handbook". 5th. Ed. -- Mc. Graw Hill Book Co. N.Y. 1973.
- 11.-Himmelblau David M. "Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química". C.E.C.S.A. México 1977.
- 12.-Smith J.M. & Van Ness H.C. "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics". 3rd. Ed. Mc Graw Hill Book Co. 1975.
- 13.-Sommers H.A. "The Chlor-Alkali Industry". Chem. Eng. Progr. 61 ( 3 ), 94(march 1965).
- 14.-Mehra Yuv R. "Refrigeration Systems for Low Temperature Processes". Chem. Eng. 89 (14), 94 (july,1982).
- 15.-Meinhardt Douglas P. "Chlorine". Chem. Eng. 38(20), 125 -- (Oct. 5,1981).



- 16.- Eichenhofer & Fedoroff. "Chlorine Liquefaction". Chem. - Eng. 58(12), 142 (Dec. 1951).
- 17.- R.C. Haden . "Centrifugal Compressors in Chlorine Service". Chem. Eng. Progr. 70(3), 59 (March, 1974).
- 18.- Elliott Compressor Refresher. "Refrigeration Catalog". -- Elliott Co. 1975.
- 19.- Centrifugal Turbocompressors. Demag Verdichter Technik, - Zweigniederlassung Der Demag.
- 20.- Industrial Process Refrigeration of Carrier Co. Specific - cation Data. Project 602 CTI.
- 21.- Bases Generales de Diseño de Tuberías, BDT-5387. Bufete - Industrial Diseños y Proyectos, S.A. 1978.
- 22.- R.M. Salzmann. "Modern Centrifugal Compressors for Chlorine Service". Tech. Bull. De Laval Turbine - Inc. Trenton, N.J.
- 23.- R.S. Hall, J. Matley & K. McNaughton. "Current Costs Of - Process Equipment". Chem. Eng. 89(7) 80 ---- (April 5, 1982).
- 24.- Herbert Popper & Herbert Mills. "Modern Cost-Engineering-Techniques". Mc. Graw-Hill Book Co. México - (1970) Page 111.
- 25.- Comisión Federal de Electricidad (Subgerencia Comercial - de Estudios Económicos) "Tarifas Vigentes -- Abril de 1983".

A P E N D I C E

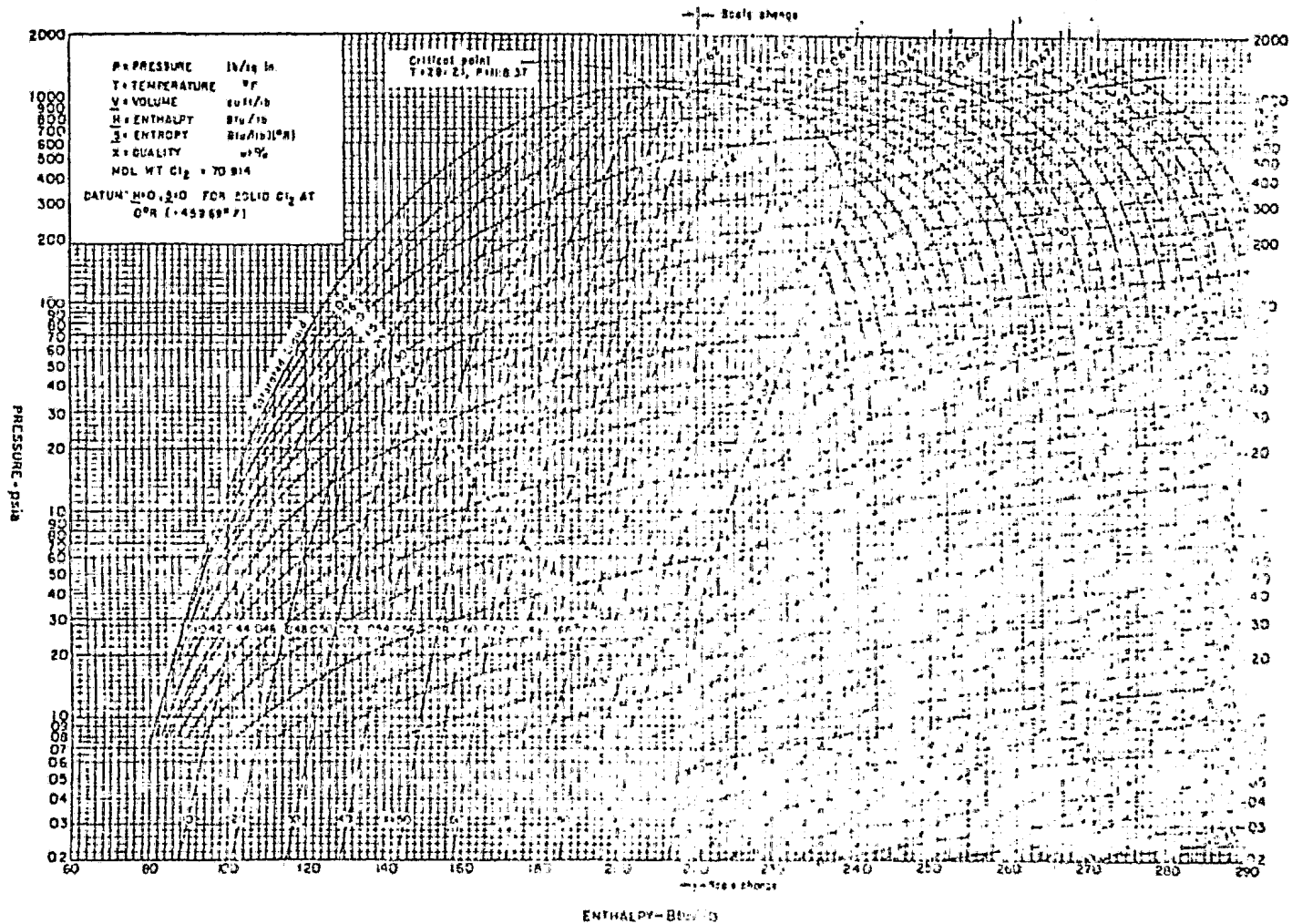
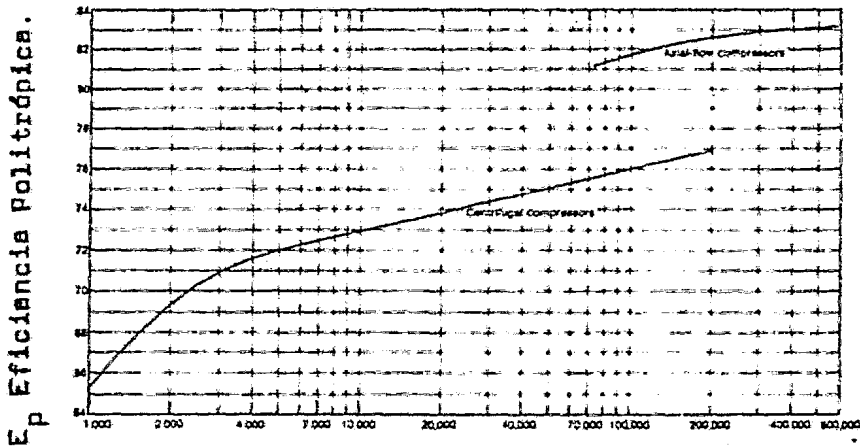


Fig. 1 Diagrama Presión-Entalpía del Cloro.



Pies<sup>3</sup>/Min a las condiciones de  
la Succión

Fig. 2 Eficiencia Politrópica para  
Compresores Centrífugos.

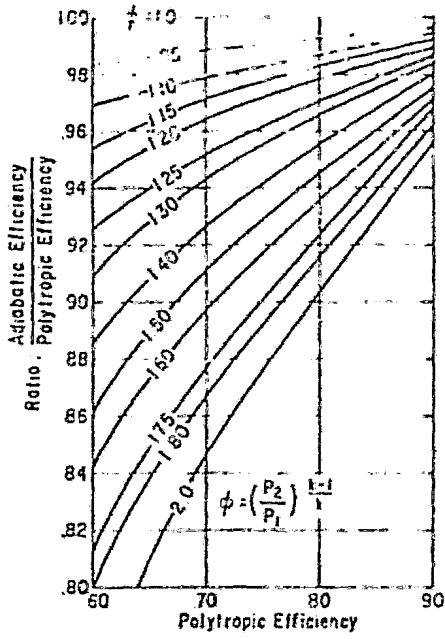


Fig. 3 Relación entre las eficiencias Politrópica y Adiabática.

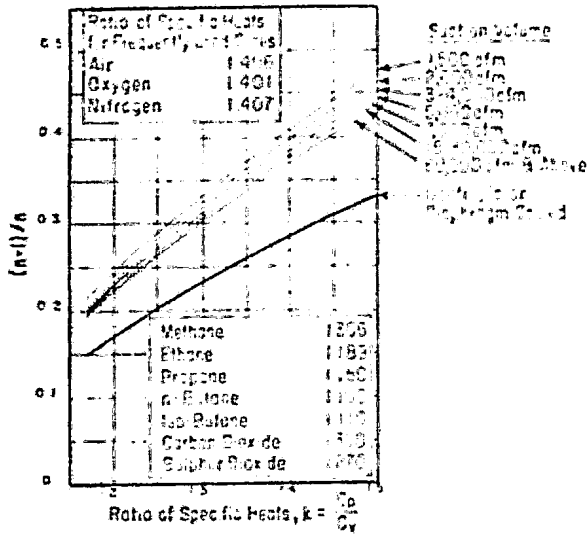


Fig. 4 Coeficiente Isentrópico Vs.  $(n-1/n)$ .

Datum: H = 0; S = 0 for solid Cl<sub>2</sub> at -459.69°F (0°R)

131

Temperature, °F	Pressure		Volume, ft <sup>3</sup> /lb		Enthalpy (Btu)/lb			Entropy (Btu/°R)/lb		
	atm	psia	Liquid	Gas	Liquid	Vaporization	Gas	Liquid	Vaporization	Gas
-130	0.25337	0.17402	16.97482	49.994	28.348	157.33	218.58	37470	41594	79064
-120	0.17402	0.09251	16.94228	62.931	68.891	145.73	218.62	38200	41957	78156
-110	0.12935	1.2095	16.91493	49.777	89.896	134.25	218.65	38900	42421	77321
-100	1.006	1.7544	16.87470	30.709	89.897	123.00	218.70	39574	42976	76551
-90	17.157	2.5214	16.82493	22.681	89.898	111.67	218.73	40224	43615	75839
-80	13992	3.7258	16.77091	16.194	90.421	100.34	218.76	40851	44239	75180
-70	32091	4.8286	16.71762	12.101	92.760	89.03	218.79	41459	44851	74570
-60	44279	6.0073	16.66537	9.1996	95.687	77.72	218.81	42048	45455	74002
-50	50627	6.6158	16.6154	7.1638	97.487	66.41	218.83	42620	46054	73474
-40	76944	7.1234	16.5676	5.5943	99.720	55.09	218.84	43177	46645	72982
-30	98201	14.443	16.5242	4.4157	102.03	43.76	218.79	43719	47202	72522
-29.29	10000	14.696	16.5249	4.3458	102.19	43.67	218.85	43757	47233	72490
-20	12473	18.130	16.5341	3.5462	104.34	32.42	218.70	44249	47842	71991
-10	11940	21.985	16.5442	2.8993	106.65	21.00	218.70	44766	48420	71560
0	19295	28.104	16.548	2.3614	108.96	10.07	218.83	45272	49034	71205
10	23008	34.998	16.555	1.9345	111.27	0.26	219.54	45767	49679	70946
20	28046	42.139	16.579	1.6314	113.59	116.82	219.42	46253	50354	70667
30	34184	51.265	16.598	1.3923	115.92	115.35	219.27	46719	51055	70385
40	41695	61.276	16.6107	1.1625	118.26	113.84	219.09	47197	51781	69979
50	49459	72.005	16.6132	99.128	120.60	112.20	218.98	47657	52529	69587
60	58251	85.600	16.6123	85.830	122.96	110.68	218.64	48110	53297	69407
70	68153	100.16	16.6139	73.336	125.33	109.03	218.35	48558	54083	69139
80	79246	116.46	16.6184	63.085	127.71	107.32	218.03	48995	54895	68860
90	91613	134.63	16.6260	55.347	130.13	105.54	217.66	49429	55721	68580
100	10534	154.60	16.6345	48.999	132.54	103.70	217.24	49858	56569	68357
110	12051	177.10	16.6210	42.463	134.98	101.79	216.77	50283	57437	68149
120	13721	201.65	16.6181	37.397	137.46	99.703	216.24	50704	58311	67917
130	15534	228.58	16.6233	33.015	139.97	97.666	215.65	51122	59195	67688
140	17558	258.03	16.6255	29.229	142.51	95.483	215.00	51539	60092	67461
150	19743	290.14	16.6259	25.934	145.10	93.163	214.20	51954	61000	67235
160	22119	325.05	16.6297	23.053	147.74	90.710	213.45	52370	61928	67006
170	24695	362.91	16.63208	20.521	150.44	88.105	212.54	52788	62876	66780
180	27481	403.67	16.63458	18.205	153.21	85.329	211.54	53208	63841	66547
190	30489	448.07	16.63729	16.002	156.06	82.555	210.42	53633	64825	66309
200	33729	495.67	16.64024	14.533	159.01	79.151	210.16	54065	65828	66064
210	37213	546.86	16.64349	12.948	162.08	75.677	210.76	54507	66840	65807
220	40952	601.83	16.64710	11.519	165.29	71.882	210.17	54960	67875	65538
230	44958	660.70	16.65118	10.221	168.66	67.697	210.36	55430	68935	65245
240	49244	723.69	16.65588	9.0340	172.20	63.022	210.28	55921	69997	64929
250	53.824	791.00	16.66143	7.99352	176.13	57.713	210.84	56443	71082	64575
255	55.226	825.33	16.66465	6.74118	178.20	54.752	212.95	56918	72169	64379
260	58.711	852.81	16.6827	6.09012	180.38	51.529	213.91	57407	73158	64167
265	61.274	800.48	16.7242	6.03991	182.70	47.980	213.68	57912	74120	63932
270	63.919	939.31	16.7730	6.05893	185.20	44.006	219.21	58438	75063	63588
275	66.646	979.47	16.8326	6.05326	187.94	39.448	227.39	57994	76000	63363
280	69.464	1021.8	16.9103	6.06647	191.04	33.987	225.03	58355	76948	62990
285	72.368	1063.5	16.9251	6.04723	194.82	28.848	221.67	58853	77899	62489
290	75.362	1107.5	16.9263	6.04204	200.81	14.057	214.87	59661	78850	61536
291.21	76.100	1118.57	16.92960	6.02960	207.77	00.000	207.77	60582	79800	60582

Fig. 5 Propiedades Termodinámicas del Cloro Saturado.

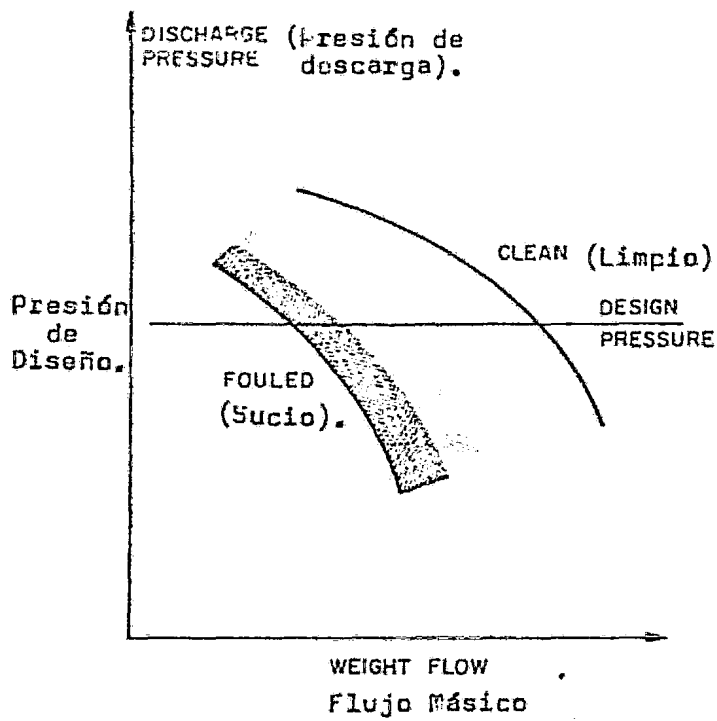


Fig. 6 Efecto del Ensuciamiento en la - -  
Operación de los Compresores de Cloro.



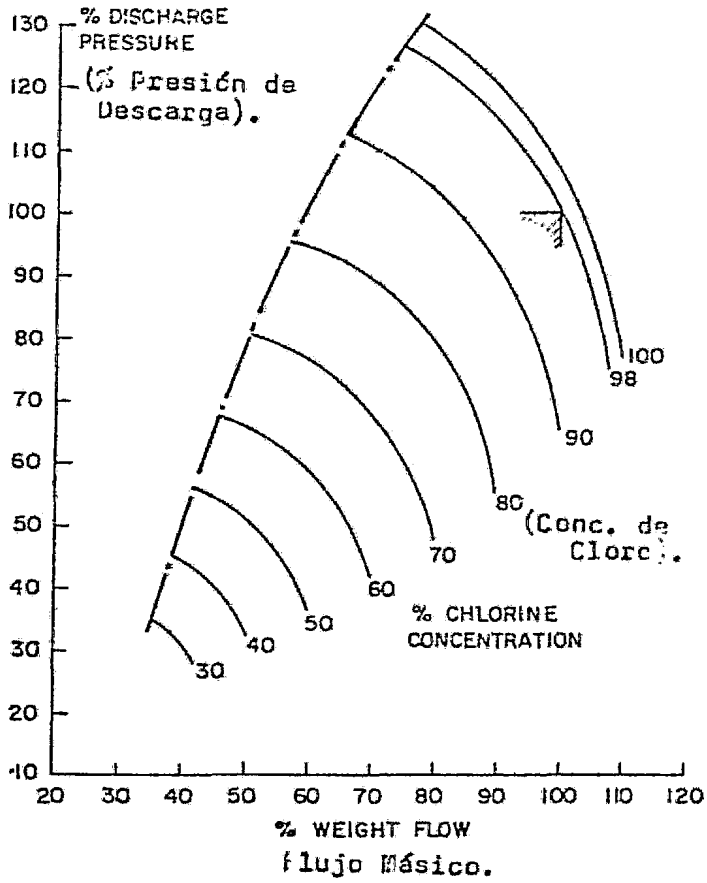


Fig. 7 Efecto de la Concentración de Cloro en la Mezcla Gaseosa en la operación del Compresor de Cloro.

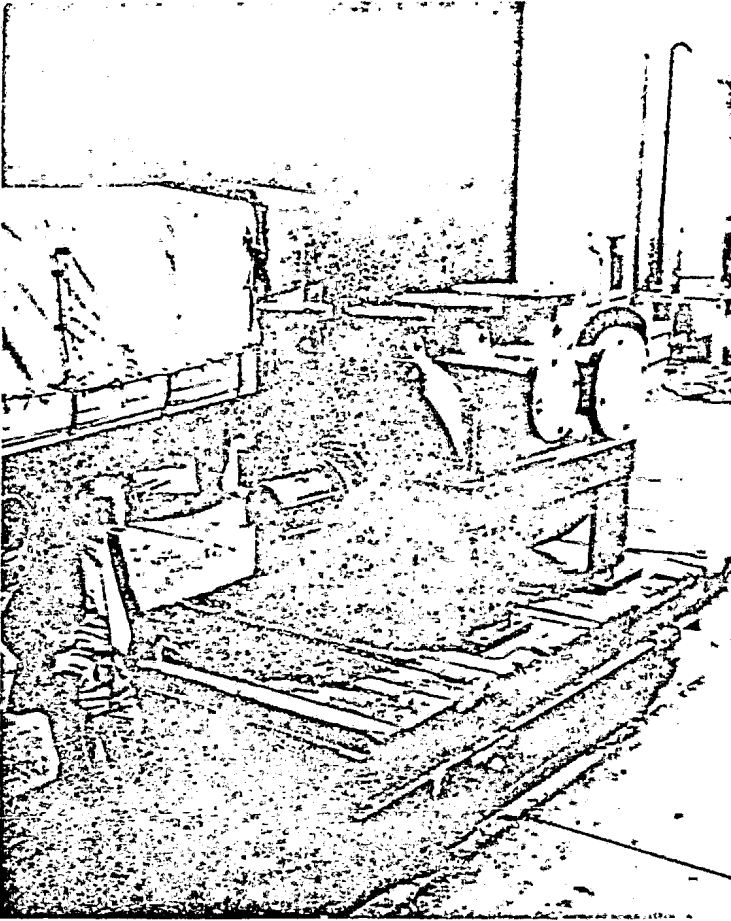


Fig. 8 Compresor de Cloro con Seis Etapas y Doble interenfriamiento.

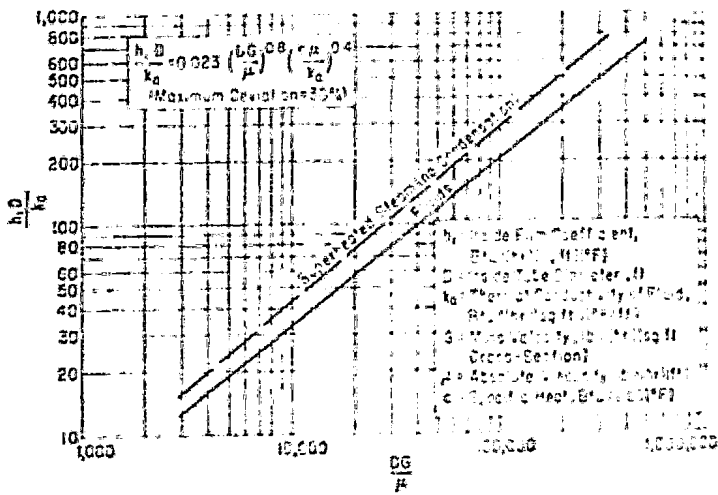


Fig. 9 Coeficiente de película para enfriamiento de gases, dentro de los tubos.

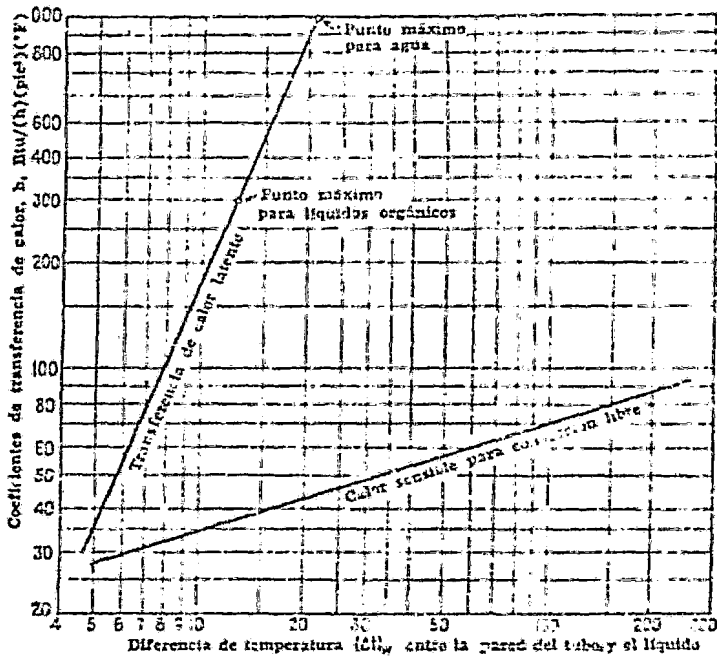


Fig. 10 Coeficientes de película para calor sensible y ebullición con circulación natural

Tubos de 1" DE, arreglo en cuadro de 1/4 plg

Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	21	16	14		
10	32	32	26	24	
12	48	45	40	38	36
13 1/4	61	56	52	48	44
15 1/4	81	76	68	68	64
17 1/4	112	112	96	90	82
19 1/4	138	132	122	122	116
21 1/4	177	166	158	152	148
23 1/4	213	208	192	184	184
25	260	252	238	226	222
27	300	288	278	268	260
29	341	326	300	294	286
31	406	398	380	368	358
33	465	460	432	420	414
35	522	518	488	484	472
37	596	574	562	544	532
39	665	644	624	612	600

Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 1/16 plg

Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	36	32	26	24	18
10	62	56	47	42	36
12	109	96	82	82	75
13 1/4	127	111	96	90	84
15 1/4	170	160	140	136	126
17 1/4	234	224	194	188	178
19 1/4	301	282	252	244	234
21 1/4	361	342	314	306	294
23 1/4	442	420	386	377	364
25	502	480	448	440	424
27	567	542	510	502	484
29	721	692	644	636	614
31	817	822	766	752	722
33	971	978	978	962	926
35	1172	1068	1004	988	978
37	1240	1228	1144	1144	1072
39	1377	1320	1268	1248	1212

Tubos de 1" DE, arreglo triangular de 1/4 plg

Fig. 11 Disposición de los Espejos (Cuenta de tubos).

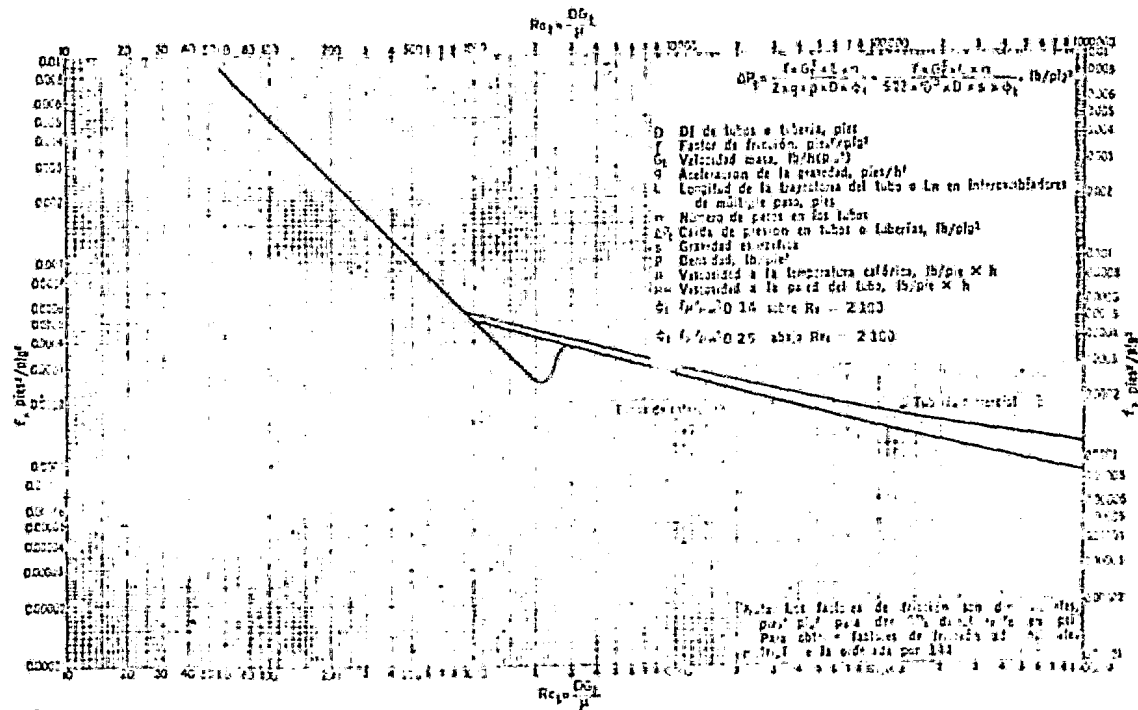


Fig. 12 Factores de fricción, para lado de tubo. (Standard Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1919)

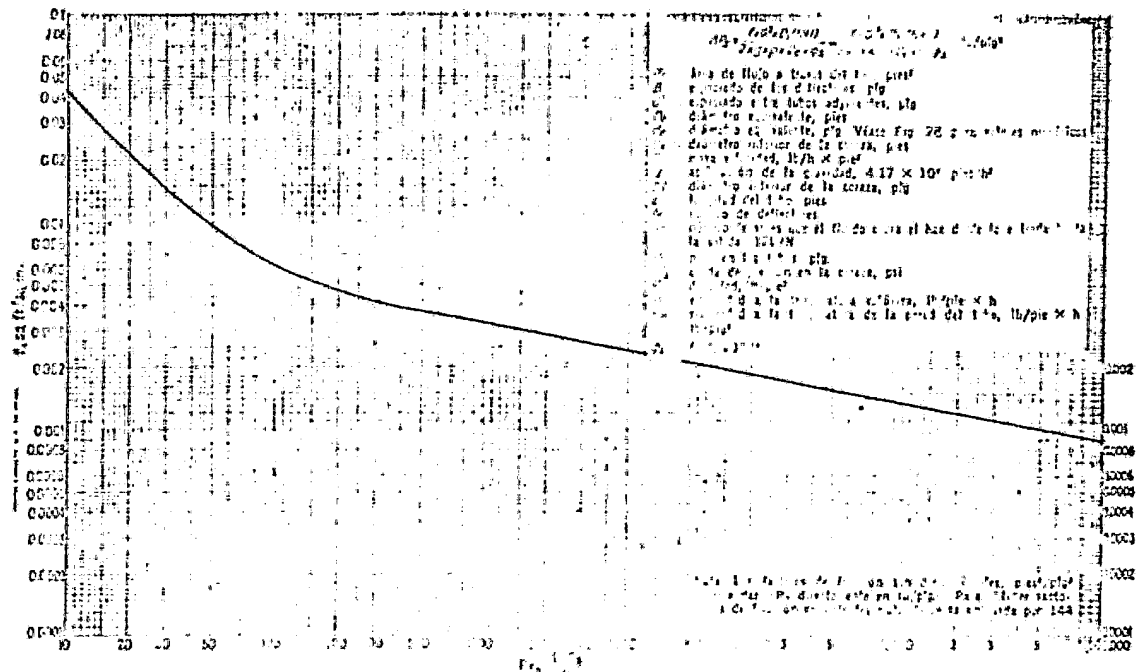


Fig. 12 Factor de seguridad en la base de la coraza, para diferentes profundidades. (Artículo 296)

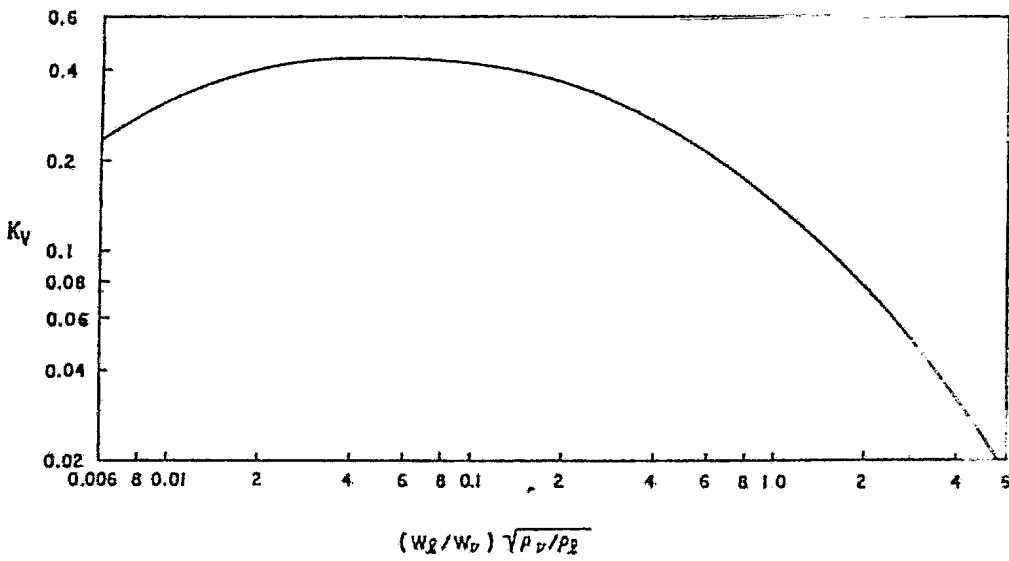


Fig. 13 Factor de Diseño para la --  
 velocidad de los gases (vapor)  
 en Separadores Gas-Liq.



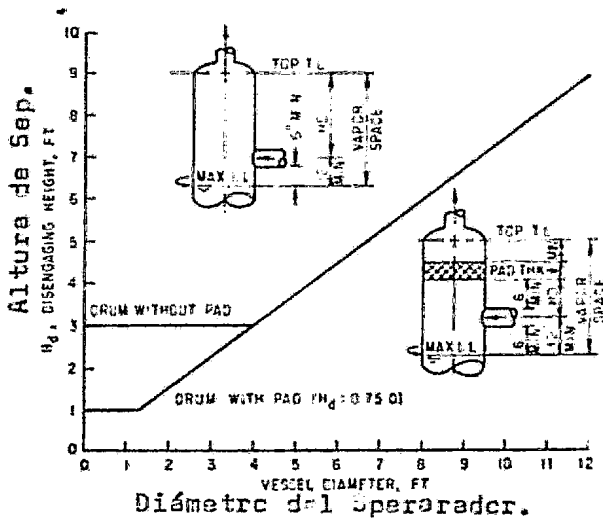


Fig. 14 Altura de Separación Recomendada para Separadores Verticales.

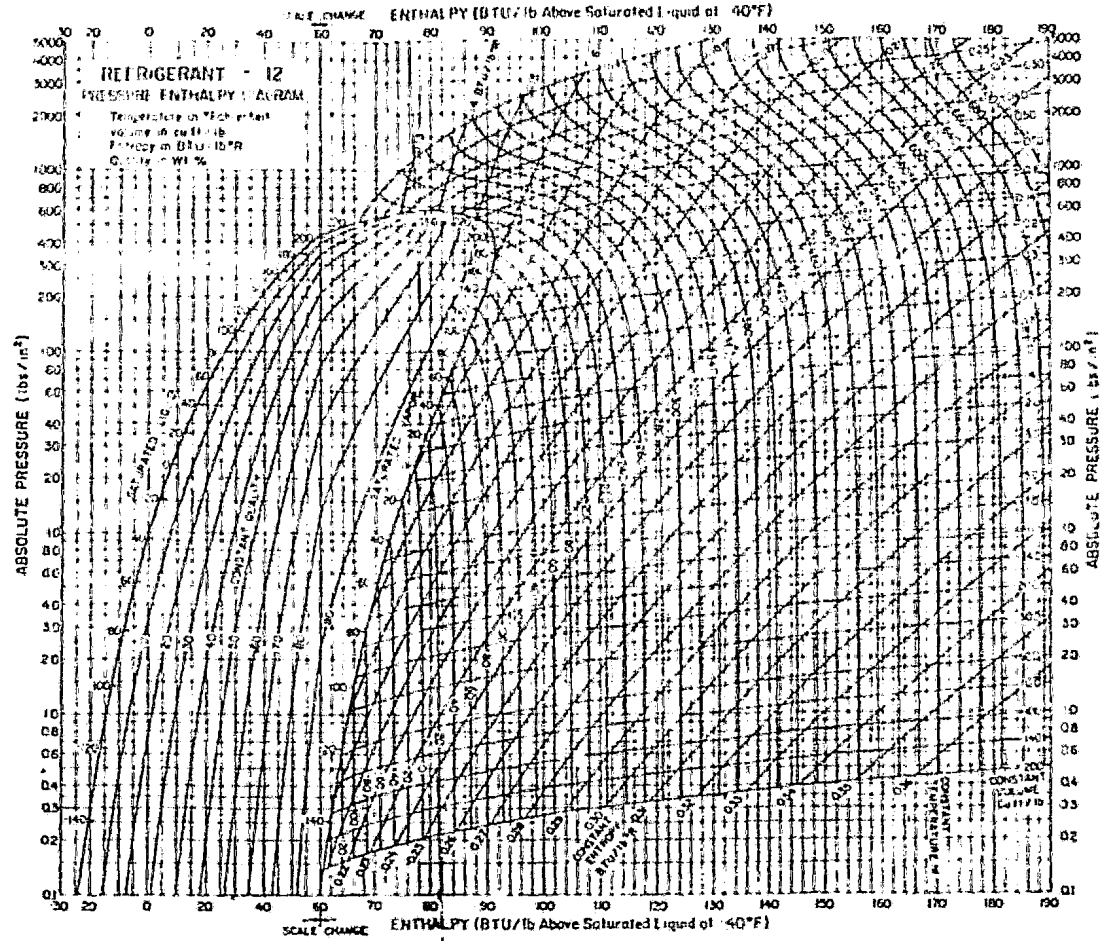


Fig. 15 Diagrama Presión-Entalpía del Freón 12.

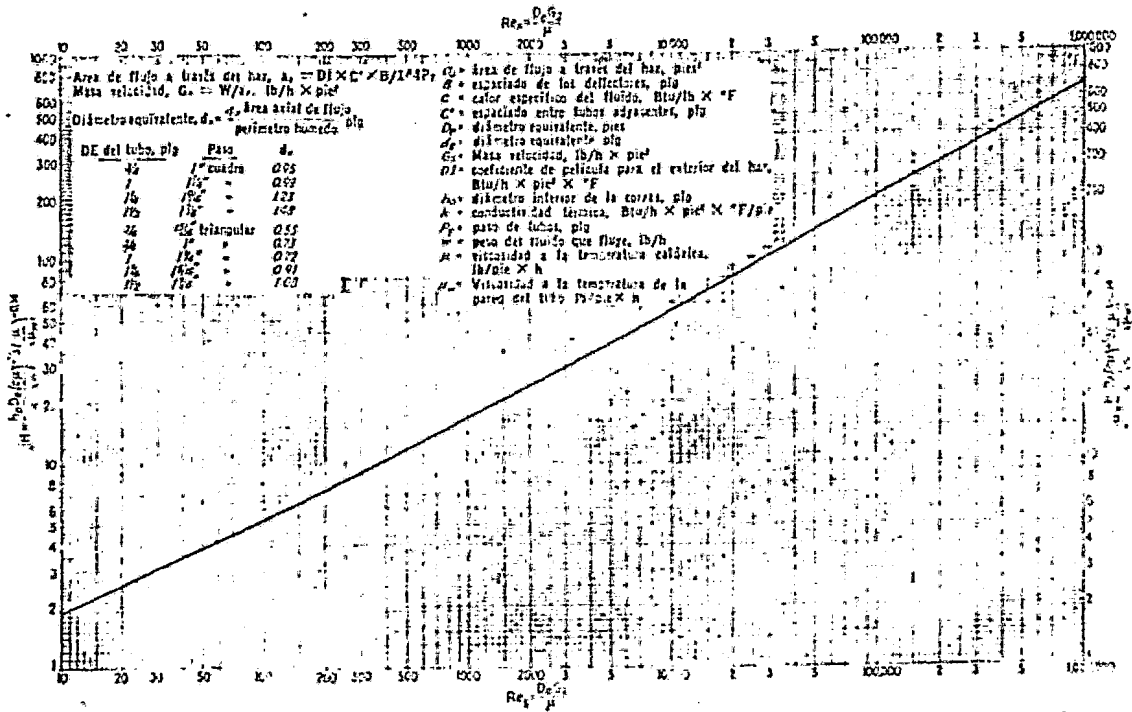


Fig.16 Curva de transferencia de calor para la parte de la coraza con láminas con deflectores segmentados 25:1

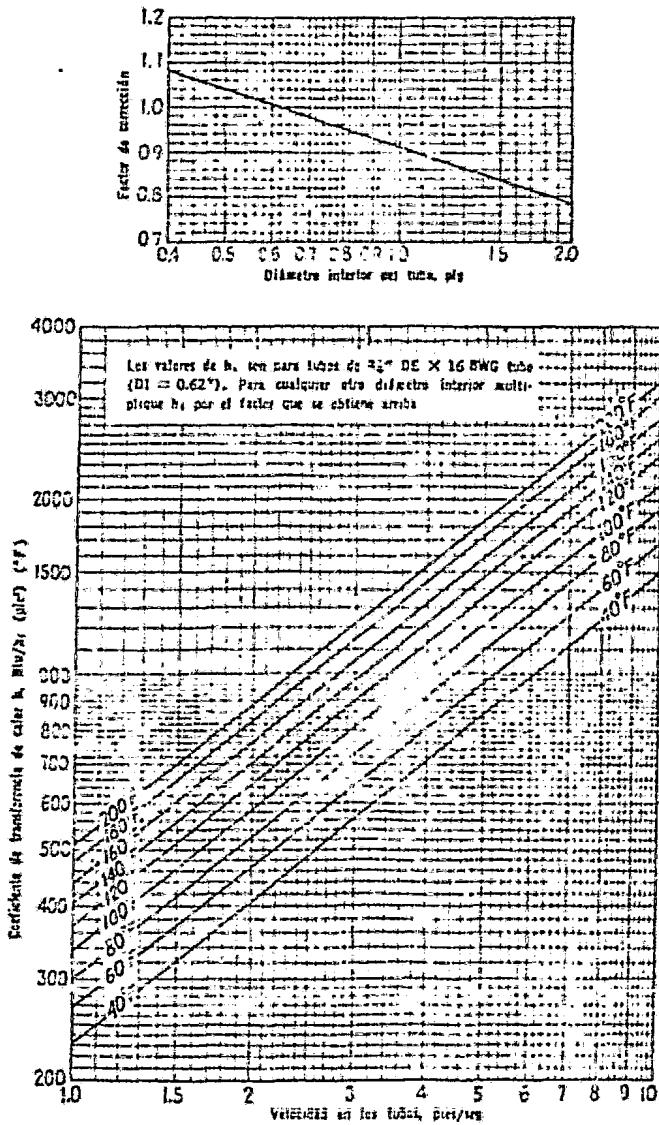


FIG. 17 Curva de transferencia de calor, agua en los tubos. [Adaptada de Eagle y Ferguson, Proc Roy., Soc. A127, 540 (1930)]