



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

“DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL
DISEÑO BASICO DE PLANTAS DESALADORAS DE
AGUA DE MAR, POR EL PROCESO DE EVAPORACION
INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
CARLA JANET FRIDA WESTPHAL CARDENAS

DIRECTOR DE TESIS:
ING. JOSÉ LUIS GONZALEZ DIAZ



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 está 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.

DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO BASICO DE
PLANTAS DESALADORAS DE AGUA DE MAR, POR EL PROCESO DE
EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES.

I N D I C E G E N E R A L

	pág(s)
A. INTRODUCCION	1 - 15
CAPITULO I Desalinización de Agua de Mar por Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples.	16 - 21
CAPITULO II Bases Teóricas y Terminología empleada.	22 - 63
CAPITULO III Desarrollo de un Procedimien- to para el Diseño Básico de una Planta Desaladora de Agua de Mar, por el Proceso en es- tudio.	64 - 130
CAPITULO IV Un caso en estudio.	131 - 275
B. CONCLUSIONES	276 - 280
C. ANEXOS	281 - 328
D. BIBLIOGRAFIA	329 - 333

INDICE PARTICOLARE

INDICE PARTICULAR

	pág(s)
OBJETIVO GENERAL.	
A. <u>INTRODUCCION.</u>	1-15
<hr/>	
1. Objetivo Particular. Metodología de la Investigación. Resultado particular.	2
2. Decisión.	3
a) Carácter Social.	3-4
b) Carácter Vocacional.	5
3. Oportunidad de desarrollo.	5
4. Definición del problema y sus causas.	6-8
5. Soluciones alternativas.	9-10
6. Antecedentes de la Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples.	11-15
CAPITULO I DESALINIZACION DE AGUA DE MAR POR EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES.	16-21
<hr/>	
1. Descripción del Proceso.	17-20
2. Diagrama del Proceso.	21
CAPITULO II BASES TEORICAS Y TERMINOLOGIA EMPLEADA	22-63
<hr/>	
1. Descripción del Fenómeno de Evaporación Instantánea de un líquido, a temperatura de saturación por reducción de presión.	23-25
2. Descripción del Fenómeno de Condensa - ción.	26-27
3. Descripción del Fenómeno de la presen - cia de incondensables.	28
4. Descripción del Fenómeno de Elevación del Punto de Ebullición.	29-30
5. Sistemas de Vacío.	
a) Definición.	31
b) Clasificación.	31
c) Sistema de Vacío por Eyectores.	31-34
Variaciones de la presión y de la velocidad en un eyector de vapor ma- nejando aire.	34-35
Características. Especificación.	36-38
Factores que afectan la operación de los eyectores.	38-39
Materiales de Construcción.	39
d) Sistema de Vacío por Bombas.	
Definición. Tipos. Parámetros de se- lección.	40-42

6. Prevención y Control de la Corrosión.	
a) Definición.	42
b) Clasificación de ambientes marinos.	42-43
c) Factores que contribuyen a la corrosividad del agua de mar:	
- Oxígeno disuelto,	43
- Temperatura.	44
- Nivel de sólidos totales.	44
- pH .	44
- Velocidad.	44
- Agua de mar estancada.	44
d) Tipos de Corrosión y su relación al servicio de agua de mar.	
- Corrosión General.	45
- Corrosión por picadura.	46
- Corrosión-erosión.	46
- Corrosión en grietas.	46-47
- Corrosión Galvánica.	48
- Desmetalización.	48
- Corrosión en Grietas de Tensión.	49
- Corrosión Intergranular.	49
e) Comportamiento de Materiales en agua de mar.	
- Acero al Carbón.	50
- Acero Inoxidable.	50
- Níquel resistente.	51
- Cobre y aleaciones.	51
- Titanio.	52
- Aluminio y aleaciones.	52
- Plásticos.	53
- Aleaciones de níquel.	53
f) Técnicas de Control y prevención de la Corrosión.	54
7. Prevención y control de la Incrustación.	
a) Definición.	55
b) Incrustación alcalina.	
- Depositación del carbonato de calcio.	56-57
- Depositación del sulfato de calcio.	57-58
c) Métodos de Control de la Incrustación.	
- Remoción mecánica.	59
- Cultivos.	59
- Adición de inhibidores:	
Tratamiento con Polifosfatos.	60
Tratamiento ácido.	61
Tratamiento cal-carbonato magnesio.	62
8. Equipo de filtración.	63

CAPITULO III DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO BASICO DE UNA PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR, POR EL PROCESO EN ESTUDIO. 64-130

1. Generalidades.	65
2. Definición del Proceso.	65

3. Variables involucradas en el diseño de una Planta Desaladora.	65
4. Balance de Materia y Energía.	
a) Nomenclatura.	66-71
b) Definición de los datos necesarios para realizar el Balance de Materia y Energía.	72
c) Definición de las corrientes del Sistema.	73
d) Descripción del Método de Cálculo del Balance de Materia y Energía de una Cámara de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples.	73-78
5. Programa de Computadora para el cálculo del Balance de Materia y Energía, en una Cámara de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples, de una capacidad dada.	79
a) Diagrama de bloques.	80-82
b) Diagrama de Flujo.	83-90
c) Descripción del programa.	91-110
d) Codificación.	111-130

CAPITULO IV UN CASO EN ESTUDIO. 131-275

1. General.	132-133
2. Bases de Diseño.	
a) Cuestionario General.	135-137
b) Cuestionario de Diseño de Proceso e Instrumentación.	138-148
3. Balance de Materia y Energía.	149-164
4. Diagrama de Flujo y Balance de Materia y Energía.	165-167
5. Diagrama de Tuberías e Instrumentación.	168-171
6. Arreglo de Equipo.	172-173
7. Lista de Equipo y Lista de Motores.	174-178
8. Especificaciones y hojas de datos de los equipos de proceso.	179
a) Evaporadora de agua de mar.	180-188
b) Bombas centrífugas.	189-197
c) Sistema de dosificación de químicos.	198-199
d) Filtros Canasta,	200-201
e) Calentador de agua de mar.	202-204
f) Sistema de Vacío.	205-214
9. Índice de Instrumentos.	215-225
10. Especificaciones y hojas de datos de Instrumentos.	
a) Analizador de Conductividad.	226
b) Anunciador de Alarmas.	227-229
c) Indicador de Nivel tipo vidrio.	230
d) Interruptores Monitores.	231
e) Interruptor de Nivel.	232

f) Manómetros.	233
g) Placa de Orificio.	234
h) Rotámetros.	235-236
i) Termómetros.	237
j) Trasmisores/ Receptores/ Transductores.	238-241
k) Transductores Termopares.	242
l) Válvulas de control.	243-245
11. Memorias de Cálculo.	246
a) Dimensionamiento de líneas.	247-249
b) Cálculo de Bombas.	250-257
c) Cálculo del Sistema de Vacío.	258-266
d) Cálculo del Calentador de agua de mar.	267-273
e) Cálculo de válvulas de Control.	274
f) Cálculo de placas de orificio	275

B. CONCLUSIONES.

C. ANEXOS. 281- 328

ANEXO I. PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR.	282-318
i) Introducción.	283
ii) Composición del agua de mar.	284-285
iii) Densidad.	286-290
iv) Presión de Vapor.	291-295
v) Elevación del Punto de Ebullición.	296-298
vi) Viscosidad.	299-305
vii) Capacidad Calorífica y Entalpia.	306-311
viii) Conductividad Térmica.	312-313
ix) Conductividad Eléctrica.	314
x) Potenciales de Corrosión.	315-316
xi) Solubilidad del aire en agua de mar como función de la temperatura y de la presión.	317-318
ANEXO II. FORMULAS PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AGUA PURA.	319-321
ANEXO III. FACTORES QUE DETERMINAN EL USO INDUSTRIAL DEL AGUA.	322-324
ANEXO IV. GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS.	325-328
D. <u>BIBLIOGRAFIA.</u>	329-333

A. INTRODUCCION

A. INTRODUCCION.

1. OBJETIVO PARTICULAR.

Presentar el hecho de que en un futuro no muy lejano, el abastecimiento de agua para uso doméstico, agrícola e industrial, será más difícil.

Se propone un proceso específico, por medio del cual se puede obtener agua dulce a cualquier capacidad - deseada, a partir de una fuente natural: el mar; por la asimilación de los principios básicos utilizados - hasta ahora, para aplicarlos de acuerdo a nuestras - necesidades y posibilidades.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

Una vez planteado el problema, se pretende dar una - solución posible al abastecimiento de agua dulce, con la selección de un proceso específico de desalinización de agua de mar, conocido como : Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples.

Se estudió la necesidad de abastecimiento de agua por regiones geográficas del país; el problema y sus causas.

Se efectuó la búsqueda bibliográfica, recopilación de información, selección, asimilación y aplicación de - la misma , con lo que se llegó a:

Presentar los conceptos básicos desde un punto de vista físico-químico para la correcta aplicación de éste tipo de proceso.

Resolver un caso en estudio de una Planta Desaladora de agua de mar; en el cual se aplican los conceptos que deben ser evaluados en el diseño de una planta - industrial de éste tipo.

RESULTADO PARTICULAR..

Se tiene aquí, el diseño típico y básico de una planta industrial desaladora de agua de mar, desde un - punto de vista técnico, sin estar ubicada en algún - lugar geográfico en particular.

2. DECISIONES.

- a) **Carácter Social.**- Es una necesidad básica el gozar del líquido vital que es el agua, es algo que no se puede dejar esperar, ni ponerlo en un segundo plano.

Es importante idear métodos y optimizar los ya existentes para conservarla, y poder así satisfacer las necesidades de la sociedad en todos los sectores.

La carencia de agua ha sido una de las causas que han frenado el desarrollo socioeconómico en extensas regiones de México; es, por lo tanto, necesario recurrir al aprovechamiento de agua de mar y de aguas salobres mediante el proceso de desalación.

En México, el agua está distribuida en forma desigual: abunda y hasta llega a ser excesiva en algunas regiones de Tabasco, Chiapas, Quintana Roo y Veracruz. Es muy escasa en cambio, hacia el norte y noroeste del país, donde ha sido necesario construir presas y canales que utilizan las corrientes que descienden de las montañas; o bien, emplear el bombeo para extraer agua del subsuelo.

Sin embargo, México tiene una localización geográfica favorable para el aprovechamiento del agua de mar; pudiendo ser utilizada como recurso para cubrir la demanda de agua en las localidades cercanas a él.

Los Mares que rodean a México, y los estados con posibilidad de aprovechar éste recurso, por su localización favorable son:

- Océano Pacífico. Incluye los siguientes estados:

Baja California Norte Y Sur.	Michoacán.
Colima.	Nayarit.
Chiapas.	Oaxaca.
Guerrero.	Sinaloa.
Jalisco.	Sonora.

- Océano Atlántico. Incluye el Golfo de México y el Mar de las Antillas; los estados pertenecientes a ésta zona son:

Campeche.	Tamaulipas.
Quintana Roo.	Veracruz.
Tabasco.	Yucatán.

En la actualidad, Colima se abastece de aguas mediante pozos profundos y con los caudales del Río Colima; se perforan más pozos con el objeto de eliminar las aportaciones del río.

En Michoacán, la Ciudad de Morelia, se alimenta de cinco pozos profundos y de los manantiales de Jesús del Monte.

El Estado de Nayarit, se abastece por medio de mantos acuíferos.

En Tamaulipas, Ciudad Victoria, se abastece por manantiales y pozos perforados a profundidades no mayores de doce metros.

El Estado de Yucatán, se abastece por una capa freática que se encuentra a poca profundidad.

Veracruz, se abastece con aguas subterráneas; los pozos profundos existentes aportan 180 litros por segundo, extraídos de 4 pozos localizados en la zona de captación denominada "cánticas". Se confirma la existencia de aguas subterráneas relativamente abundantes, aunque limitadas a profundidad de 150 y 200 metros.

Así, podemos concluir, que en la actualidad la demanda de agua en la República Mexicana se cubre parcialmente con la explotación de las capas freáticas. Este sistema de abastecimiento, proporciona agua de buena calidad, pero es insuficiente. Además los mantos acuíferos son de capacidad limitada, no completamente cuantificada hasta ahora, y susceptibles de contaminarse por la infiltración de sustancias tóxicas como resultado de una mala disposición de desechos industriales o municipales.

Por otro lado, debe de tomarse en cuenta el tiempo que tarda en llenarse otra vez de manera natural, sin seguir extrayendo agua para que no se presenten problemas de grietas en el subsuelo que haga débil al territorio.

Por todas estas razones sociales, se propone la explotación del agua de mar para cubrir las necesidades del líquido vital en las zonas de la República Mexicana, que cuentan con este recurso.

- b) **Carácter Vocacional.** Se desean presentar en éste trabajo, los aspectos, metodología y documentos básicos que un ingeniero químico debe considerar, seguir y generar durante el desarrollo de una ingeniería básica para un proceso específico, pero que puede ser aplicado a otro caso que se le presente en su vida profesional.

3. OPORTUNIDAD DE DESARROLLO.

La metodología planteada en éste trabajo, permite el desarrollo de una ingeniería básica para una planta típica desaladora de agua de mar, de cualquier capacidad.

Es de reconocerse, que en ciertos rangos de operación, existen procesos alternos, disponibles en el mercado internacional, que ofrecen costos iniciales menores, lo cual se ve compensado con el proceso objeto de éste trabajo con su sencillez de operación y mantenimiento, disponibilidad de elementos y materiales de construcción en el mercado nacional.

Este tipo de plantas ya han sido constuidas en la República Mexicana, para suministro de agua de uso municipal ó industrial, cubriendo el costo correspondiente por la tecnología a compañías extranjeras. Este trabajo usa los fundamentos a los que aunada la experiencia en la construcción y operación de plantas existentes, permitirá sin duda su aplicación.

4. DEFINICION DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS.

Se estima en forma general, que cerca del 60% de la tierra del mundo está clasificada como " extremadamente árida, árida ó zona semiárida ". En donde, los problemas físicos encontrados en éstas regiones, tales como pobreza, desnutrición y salud son provocados por la escasez de agua.

El mundo está cada vez más conciente de la escasez de agua. Muchos países aún los que parecen estar favorecidos por la naturaleza, presentan cierta preocupación por su abastecimiento de agua para los años venideros. Esto se debe principalmente al crecimiento de la población y al incremento de la demanda de agua para la industria y para el riego.

Las zonas urbanas, han presentado un notable crecimiento, lo que hace que su localización esté cada vez más remota de las áreas centrales, esto trae como consecuencia que el costo por galón de agua transportado se incrementa.

Además de las zonas áridas, hay muchas regiones, las cuales sufren de escasez de agua. Muchas islas, por ejemplo, tienen muy poco abastecimiento de agua para la tierra y dependen por completo de la lluvia. Algunos de ellos han sido los primeros en satisfacer sus necesidades con plantas desaladoras.

Un alto porcentaje del territorio nacional, lo forman zonas áridas y semiáridas, por lo que las obras hidráulicas son de gran importancia para satisfacer las necesidades municipales, industriales y agrícolas.

En la actualidad, a muchas áreas geográficas del país, se les ha presentado las alternativas de tener agua a un costo relativamente alto o tener escasez de agua para siempre.

En estos casos, el costo es debido a la necesidad de implementar zonas remotas, haciendo el transporte de agua caro.

El incremento anual de demanda de agua es muy diferente de una zona a otra. En promedio se puede establecer, que la demanda de agua se incrementa a una velocidad de cerca del 50% (+ 20%) cada 10 años en países industrializados. En zonas áridas o áreas en desarrollo, ésta puede alcanzar el 100% durante un mismo periodo.

Con lo anterior, se asume que existen las siguientes áreas en donde se presenta la necesidad de abastecimiento de agua :

- áreas en desarrollo de las zonas áridas ó semiáridas.
- áreas apartadas, tales como islas.
- áreas sobrepobladas en cualquier clima.

El abastecer de agua a zonas áridas con potencial de desarrollo, es una necesidad con solución impostergable, ya que pueden llegar a ser centros de producción importante para el país. Si se cuenta con agua en éstas zonas, el país puede crecer en:

- El turismo, mediante la instalación de hoteles, centros recreativos, etc.
- La industria pesquera y las empacadoras costeras.
- La industria, principalmente en la explotación de recursos no renovables, en donde se usa el agua como medio de transporte ó de lavado.
Algunos procesos que emplean como materia prima recursos no renovables, presentan los consumos de agua ó vapor por unidad de producto que se muestran en la Tabla A .1.
- La producción agrícola y ganadera.

Además de : satisfacer al consumo doméstico en comunidades para complementar la demanda existente; así como a los usos específicos en la industria química, alimenticia y en la generación de energía eléctrica.

MATERIA PRIMA	AGUA	VAPOR
1. Bióxido de Carbono	23,000 gal/ton	20,000 lb/ton
2. Glicerina	1,100 gal/ton	8,000 lb/ton
3. Lactosa (azúcar de leche)	200,000 gal/ton	80,000 lb/ton
3. Detergentes	230 gal/ton	4,000 lb/ton
4. Aluminio	1,920.000 gal/ton	
5. Cemento Portland	950 gal/ton	
6. Cartón	14,000 gal/ton	
7. Minería de azufre	3000 gal/ton	
8. Rayón	90,000-160,000 gal/ton	
9. Butadieno	320,000 gal/ton	
10. Sosa cáustica (proceso cal-carbonato)	21,000 gal/ton	

TABLA A.1

5. SOLUCIONES ALTERNATIVAS.

Dentro de las soluciones que existen para el problema - planteado, se propone aquella que utiliza como fuente na tural el mar.

Con respecto a la superficie total de la tierra, el agua cubre el 72% de su extensión aproximadamente, de unos - 2,600 metros de profundidad.

El agua se clasifica en:

- a. Atmosférica (provenientes de la lluvia)
- b. Terrestre (superficial y subterránea)
- c. Oceánica

El agua de los océanos representa aproximadamente el - 97.5% del volúmen total de agua existente.

La sal puede ser removida del agua por un gran número de procesos, sean físicos o químicos; los cuales son:

Procesos que separan el agua de la solución.

Osmosis Inversa

Cristalización o congelamiento:

- Congelamiento directo
- Congelamiento indirecto
- Hidratación.

Evaporación:

- Múltiple efecto con tubos verticales
- Instantánea en etapas múltiples
- Compresión de vapor.

Extracción por solventes.

Procesos que separan la sal de la solución.

Electrodialisis

Intercambio iónico

Osmoionisis

Adsorción

Extracción líquido-líquido

Difusión controlada

Sistemas biológicos

Ultrafiltración

Debe notarse , que todos los procesos tienen una cosa en común: todos requieren energía; ya sea calorífica, eléctrica - mecánica. No es el alcance de este estudio el analizar todos y cada uno de ellos, sólo se mencionan como soluciones posibles, alternativas a la propuesta.

Nuestra solución es el desalinizar el agua por un proceso - específico: evaporación instantánea en etapas múltiples.

El decir etapas múltiples significa que es empleado el - efecto cascada, por lo cual se obtiene un reuso del contenido de energía de la corriente de calentamiento, es decir, una sucesión de procesos de evaporación y condensación se realizan dentro de una sola planta.

El proceso de evaporación propuesto, está basado principalmente en la propiedad termodinámica que poseen los líquidos o las soluciones en general, de abatir su punto de ebullición conforme la presión ejercida sobre ellos decrece; es decir, si un líquido es sometido a una presión inferior a la atmosférica, su temperatura de ebullición será menor, de manera que a esa temperatura existirán dos fases: líquido y vapor.

El agua de mar, es una solución salina de concentración relativamente alta, la cual al vaporizarse, en una fracción dará como resultado, por una parte una salmuera más concentrada y por la otra una porción de vapor que al ser condensado nos produce un destilado, susceptible de ser utilizado para consumo humano e industrial.

En la evaporación instantánea , el agua de mar es calentada bajo presión a una temperatura en el rango de 90-125°C, sin permitir que se lleve a cabo la ebullición.

El agua de mar caliente se descarga a través de una serie - de etapas, cada una con una presión menor que la etapa anterior.

Con la evaporación, el vapor se produce en cada etapa hasta alcanzar el equilibrio dentro de la misma.

6. ANTECEDENTES DE LA EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES.

El obtener agua dulce a partir de agua de mar es un concepto que ya se manejaba en la antigüedad, por ejemplo, Tales de Mileto, consideró el agua como el origen de todo, y admitió que el agua era de hecho agua de mar filtrada a través de la tierra.

Aristóteles, describió el ciclo del agua en la naturaleza y consideró la conversión del vapor de agua de mar en agua dulce, porque según él: "el agua salina es pesada y en los vapores no se forma la sal". Este es el concepto básico que se maneja en nuestro método de desalinizar agua : evaporación instantánea en etapas múltiples; el cual tuvo ya su desarrollo durante los 1920's, cuando científicos de la época se interesaban en la técnica de destilación para las industrias de separación.

Los procesos de evaporación instantánea se aplicaron comercialmente en los 40's por manufactureras Norteamericanas y Francesas para la producción de agua dulce.

La operación de plantas de éste tipo que se instalaron después de los 50's puso fin a aproximadamente 70 años de dominio de procesos de destilación de tubos sumergidos.

Esta técnica la han utilizado en: Norteamérica, Inglaterra, Francia, Japón, Rusia, Alemania Occidental y México entre otros.

La primera planta comercial de evaporación instantánea de capacidad apreciable fue operada en 1957 en Shuwaikh Kuwait, con una capacidad de 2400×10^3 GPD.

Las plantas que se construyeron posteriormente fueron - descontinuadas después de dos años de su operación inicial, pero fue por razones políticas, no porque fuera impráctico.

La TABLA A.2 nos muestra algunas plantas de este tipo instaladas en el mundo desde la primera hasta la década de los setentas.

CAPACIDAD DE LA PLANTA (10 ³ GPD)	LOCALIZACION	AÑO INICIO/TERMINACION	NUMERO DE UNIDADES	PROPOSITO	FUENTE SALINA
2,400	Shuwaik, Kuwait.	1957/1958	2	Municipal	Golfo Arábico
60	La Libertad, Ecuador.	1959	1	Doméstico	O. Pacífico
50	Salinas, Ecuador.	1959	1	Municipal	O. Pacífico
360	Mina Al-Ahmadi, Kuwait	1959/1966	1	Municipal	Golfo Arábico
360	Doha, Qatar	1959	1	Municipal	Golfo Arábico
100	Mandalay, Calif. E.U.A.	1959/1965	1	Energía	O. Pacífico
100	Islas Wake, (territ. E.U.A)	1959	2	Municipal	O. Pacífico
50	Hamilton, Bermuda.	1960/1965	1	Doméstico	O. Atlántico
150	Nato Base, Gibraltar.	1960	2	Doméstico	M. Mediterráneo
300	Islas Kharg, Irán.	1960	2	Municipal	Golfo Arábico
1440	Punta Cardon, Venezuela.	1961	1	Industrial	M. Caribe
905	Texas, E.U.A.	1962	1	Industrial	R. Brazas
56	Suribaya, Indonesia.	1963	2	Energía	O. Pacífico
2250	Cuba	1964	2	Municipal	M. Caribe
1200	Italia	1964	2	Industrial	M. Mediterráneo
264	Chanaral, Chile	1965	1	Municipal	O. Pacífico
1000	Eilat, Israel	1965	1	Municipal	M. Rojo
6000	Shuaiba, Kuwait	1965	3	Municipal	Golfo Arábico.

TABLA A.2

CAPACIDAD DE LA PLANTA (10 ³ GPD)	LOCALIZACION	AÑO INICIO/ TERMINACION	NUMERO DE UNIDADES	PROPOSITO	FUENTE SALINA
650	Islas Canarias, España.	1965	1	Municipal	O. Atlántico
100	Kindley, Bermuda	1966	1	Doméstico	O. Atlántico
132	Bremen, Alemania	1966	1	Industrial	M. del Norte
600	Taranto, Italia	1966	3	Industrial	M. Mediterráneo
480	Dampier, Australia.	1967	2	Industrial	O. Indico
1230	Valetta, Malta	1967	1	Municipal	M. Mediterráneo
2620	Islas Stock, E.U.A.	1967	1	Municipal	Golfo de México
172	Puerto Cortés Honduras.	1968	1	Industrial	Golfo Árabe
9600	Shuaiba, Kuwait	1968	2	Municipal	Golfo Árabe
317	Himeji, Japón	1969	1	Energía	O. Pacífico
7500	Rosarito, Tijuana, Mex.	1969	2	Municipal	O. Pacífico
5284	Islas Canarias, España.	1969	4	Municipal	O. Atlántico
4808	Shuwaikh, Kuwait	1970	1	Municipal	Golfo Árabe
2500	Puerto Rico	1970	2	Industrial	M. Caribe
3960	Shevchenko, URSS	1970	1	Municipal	M. Caspio
30000	Shuaiba, Kuwait	1971	5	Municipal	Golfo Árabe
7500	Arabia Saudita	1971	3	Municipal	Golfo Árabe

TABLA A. 2 (conclusión)

En la República Mexicana se inician los trabajos de desalinización con una planta experimental, en Puerto Peñasco, Sonora; que fue operada por un programa conjunto, entre la Universidad de Sonora y la Universidad de Arizona.

La primera planta de este tipo instalada en nuestro país - sin ser del tipo experimental, es la localizada en Rosarito cerca de Tijuana, BCN. Dicha planta fue construida por una compañía Norteamericana con asistencia técnica del Departamento del Interior de los Estados Unidos, hoy en día conocida como la Oficina de Aguas Salinas (OSW); esta planta - tiene una capacidad de producción de 28,400 m³/ día de agua desalada, usando vapor de una estación local de energía eléctrica. Esta planta ayuda al suministro de agua de Tijuana.

La primera planta desaladora diseñada y construida en México por la Comisión para el Aprovechamiento de Aguas Salinas (C.A.A.S.) del tipo evaporación instantánea por etapas se instaló en Punta Abreojos en el territorio de Baja California Sur en 1971, la cual proporciona agua potable a mil pescadores que habitan este campo pesquero y su vecino La Bocana, a 12 km. de distancia.

Su eficiencia es de 1 kg de vapor por 7 kg de agua, con una producción de 100 metros cúbicos en 24 hrs. Sus dimensiones son de 7 m. de largo por 2.4 de ancho por 1.20 de altura; su peso es de 13 toneladas.

Otra planta de este tipo se localiza en Bahía Tortugas, Baja California Sur; con una capacidad de 300 metros cúbicos por día; para proporcionar 100 litros de agua potable a cada habitante de este poblado pesquero, y dotar caudal suficiente a la empacadora de esa localidad.

En Quintana Roo se instaló una planta desaladora de este tipo, con una capacidad de 1000 metros cúbicos de agua para abastecer al puerto de San Miguel en la isla de Cozumel. Esta planta es susceptible de ampliación debido al desarrollo turístico de este puerto. Se instalará otra planta - pero de 2500 metros cúbicos por día. La Comisión de Aguas junto con la Comisión Federal de Electricidad instalaron - dos plantas que suministran 226 metros cúbicos por día de agua de mar purificada a una caldera de alta presión en la Termoeléctrica de Punta Prieta, estación que está localizada cerca de la Paz y otra de 100 metros cúbicos por día - que se encuentra en Pichilingue, La Paz.

Como anteproyecto, se tiene el diseño de una planta evaporadora por etapas en la Cd. de Mexicali, Baja California, con una capacidad de producción de 40,000 metros cúbicos por día, utilizando como fuente de energía la de los pozos geotérmicos de Cerro Prieto.

Así, podemos concluir, que el proceso de evaporación-instantánea en etapas múltiples es actualmente uno de los procesos líderes para la desalación de grandes volúmenes de agua debido al rendimiento demostrado y a las proyecciones económicas favorables, en el entorno de nuestro país.

CAPITULO I

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso de obtención de agua dulce a partir de agua de mar por el proceso de evaporación instantánea en etapas múltiples, da comienzo en las bombas P-101 A/B, que succionan el agua de mar proporcionando la presión necesaria para vencer la columna hidrostática que pueda existir entre el sitio de succión y la planta desaladora; además de las pérdidas por fricción en la tubería, accesorios y equipos que la integran.

Las bombas deberán estar equipadas con filtros en la succión, para evitar que se introduzca material extraño - que les pueda causar daño.

El agua de mar tiene la característica de dejar depósitos sólidos sobre la superficie de los tubos, ocasionando una operación ineficiente en la planta.

Con el fin de atenuar el efecto incrustante, se le adicionan productos químicos. Dentro de éstos, los más usados son: el ácido sulfúrico y los polifosfatos, los cuales pueden agregarse de tres formas:

- utilizando solamente ácido sulfúrico.
- utilizando solamente polifosfatos.
- utilizando polifosfatos y ácido sulfúrico.

En el primero, el ácido se agrega por medio de una bomba dosificadora, de forma que se tengan 12 ppm de ácido disuelto en el agua que entra a la unidad. Dicha bomba succiona la cantidad estequiométricamente necesaria para que tenga lugar la reacción con bicarbonatos de sodio y magnesio, produciendo sulfatos con la formación de dióxido de carbono, que habrá de ser removido por medio de un

desgasificador. El ácido sulfúrico, desplaza al gas carbónico contenido en los bicarbonatos, que son promotores de una rápida corrosión, además estos gases no condensables reducen considerablemente los coeficientes de transferencia de calor durante la condensación del vapor.

En el segundo, los polifosfatos son adicionados de manera continua en forma de solución en el agua de mar que se alimenta a la unidad de evaporación.

Esta solución se prepara en el tanque T-101 y se introduce en la corriente principal de agua por medio de la bomba dosificadora P-102, en cantidad suficiente para obtener una concentración entre 2 y 5 ppm .

El ácido sulfúrico se emplea en forma intermitente en baja concentración, cuando se emplean polifosfatos, como medio para la eliminación de lodo formado por el producto antiincrustante (polifosfatos) y el posible material incrustante presente.

La unidad evaporadora puede visualizarse como un arreglo de condensadores en serie en donde el agua fluye a contracorriente con el vapor con el fin de obtener un gradiente de temperatura que permita la transferencia de calor del vapor al agua.

El gradiente de temperatura del agua de mar que entra a la unidad y la salmuera que la abandona tiene un valor óptimo de aproximadamente 10°C.

Dicha unidad evaporadora tiene como objeto la recuperación del calor contenido en el vapor que se produce cuando el agua ingresa a una etapa con menor presión que la presión de vapor correspondiente a la temperatura a la que se encuentra en la etapa anterior.

El calor neto a suministrarse al agua de mar es el correspondiente a la diferencia del calor que la salmuera y el agua dulce llevan consigo al dejar la unidad evaporadora, y el calor que contiene el agua de mar alimentada.

El calor se suministra al agua de mar una vez que ha circulado por los tubos de la unidad evaporadora. La fuente de calor puede ser vapor cuando la planta desaladora forma parte de una factoría que tiene la necesidad de producirlo para cubrir necesidades propias del proceso de elaboración de su producto. En el caso de que la planta sea proyectada para cubrir necesidades municipales, es probable que la fuente de calor más económica sea el gas, producto de la combustión de combustóleo ó del gas disponible.

De utilizar vapor como medio de calentamiento, el calentador de agua será del tipo tubo y coraza. Si se emplea el gas de combustión, el tipo económico puede ser el de tubos de superficie extendida.

El agua de mar ya caliente y conteniendo el calor necesario para producir la evaporación de la cantidad de agua deseada, entra a la cámara de ebullición de la primera etapa, produciéndose el vapor correspondiente a la diferencia entre el calor contenido en el agua que entra a la etapa, y el contenido en la salmuera a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión de operación de la cámara de ebullición.

Esta evaporación se produce en cada una de las etapas, las cuales tienen una presión de operación decreciente. El vapor generado, se condensa en la superficie de los tubos y es colectado en una charola colocada abajo del haz de tubos, fluyendo sobre ella en la misma dirección que la salmuera.

El agua dulce y la salmuera abandonan la unidad por el mismo extremo por donde se alimenta el agua de mar; y son descargadas por medio de las bombas P-103 A/B y P-104 A/B respectivamente. La salmuera puede ser eliminada por gravedad hacia el

mar si existe suficiente pendiente entre éste y la planta.

La presión decreciente en las cámaras de evaporación que conforman la unidad, se consigue por medio de un sistema de vacío. El sistema de vacío puede estar conformado por eyectores dispuestos en serie ó por una bomba de vacío. La selección del tipo de sistema dependerá de la disponibilidad de vapor con presión cuando menos de 7.0 kg/cm^2 manométrica, que permita la operación económica de los eyectores. Si no se dispone de vapor en condiciones adecuadas, la bomba de vacío será la opción indicada.

El sistema de eyectores normalmente es de etapas múltiples en serie, siendo conectada la succión de las etapas tanto a la descarga del condensador del eyector precedente, como a la cámara del evaporador con presión similar a la del condensador antes mencionado. Este arreglo permite que los eyectores sean de menor tamaño, ya que la mayor cantidad de incondensables se desorbe del agua de mar en la primera etapa, que es la de mayor presión; con lo que la carga de incondensables es menor para el eyector que hará el máximo vacío. Si se emplea bomba de vacío deberá implementarse un sistema de control de presión en las etapas por medio de placas de orificio ó de válvulas de globo.

Este tipo de plantas se caracteriza por la facilidad y bajo costo del sistema para el control de operación. Se debe implementar la instrumentación necesaria para el correcto control y protección del evaporador en sus diferentes partes.

Suministro de vapor

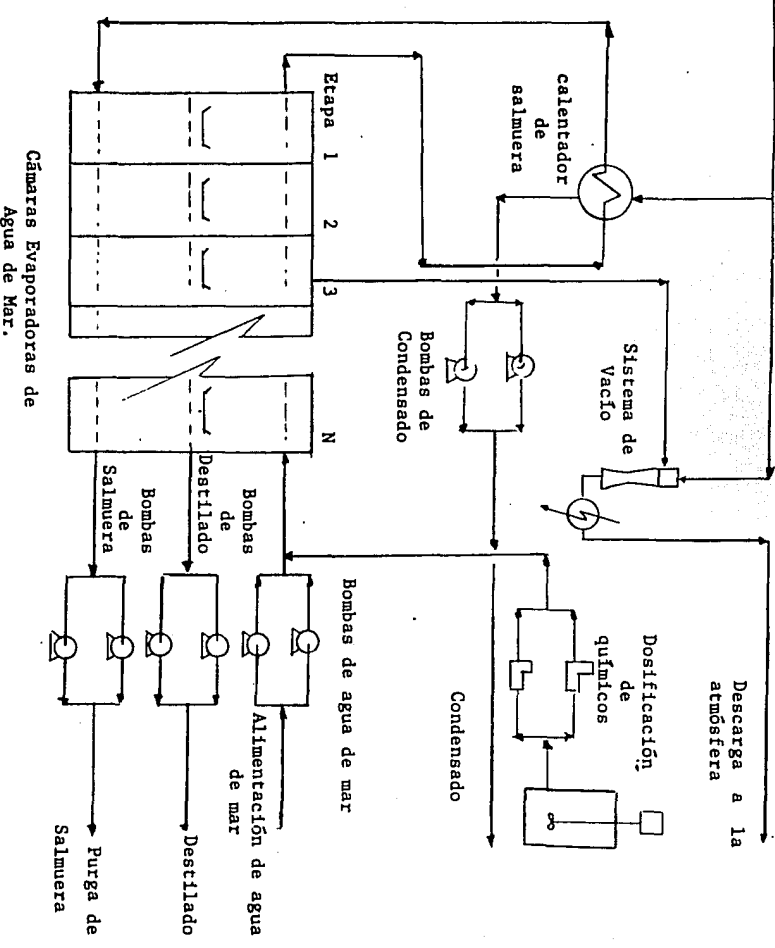


Diagrama del Proceso de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples

CAPITULO II

CAPITULO II

**B A S E S T E O R I C A S Y T E R M I N O L O G I A
E M P L E A D A .****1. DESCRIPCION DEL FENOMENO DE EVAPORACION INSTANTANEA DE UN LIQUIDO A TEMPERATURA DE SATURACION POR REDUCCION DE PRESION.**

Las moléculas de un líquido poseen energía cinética , sin embargo, ésta nunca llega a ser lo suficientemente grande para que puedan alejarse demasiado unas de otras.

En el proceso de evaporación, las moléculas de la superficie que no están sometidas a las fuerzas de atracción en todas direcciones, ganan suficiente energía cinética para escaparse de la superficie y entrar a la fase gaseosa. La energía cinética aumenta con la temperatura , por lo que el proceso de evaporación se acelera a temperaturas más elevadas.

Así, podemos decir que un líquido se evapora cuando las moléculas de su superficie adquieren la energía cinética necesaria para superar las fuerzas de atracción intermolecular que las une; y la ebullición ocurre a la temperatura en que la presión de vapor del líquido iguala la presión externa.

La evaporación de una solución consiste en la separación de un disolvente de un soluto no volátil por vaporización de aquél.

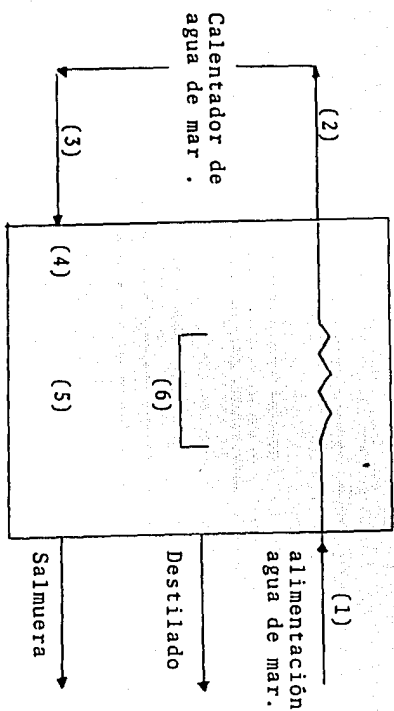
Es posible separar agua dulce de una solución salina, evaporándola de la solución y condensando el vapor producido. - Esto se logra al transferir la solución caliente de un recinto de alta presión a uno con menor presión.

Se puede describir el proceso, en una sola etapa (Fig. II .1), en la cual, cada punto localizado, corresponde a los señalados en el diagrama Temperatura vs. Entalpia, mostrado a la derecha de la figura.

Cada punto se describe a continuación:

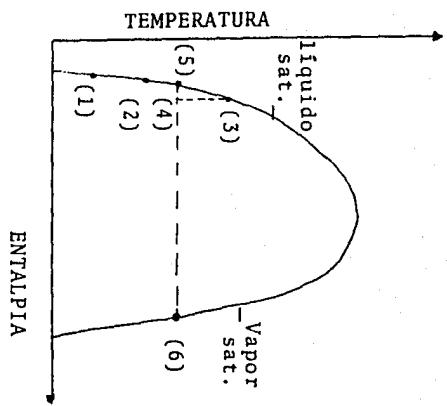
- (1) Condiciones de entrada del agua de mar a la Cámara Evaporadora. Corresponde a la zona de menor temperatura y menor entalpia en el diagrama.
- (2) Al pasar el agua de mar a través de las Cámaras de Evaporación, es calentada; por lo que éste punto se localiza arriba del punto anterior. Se tienen condiciones de saturación.
- (3) El agua de mar sale del calentador a una temperatura mayor. Se tienen condiciones de saturación.
- (4) El agua de mar entra a una zona de menor presión, esto provoca que el líquido trate de alcanzar la temperatura de saturación correspondiente, lo que da como resultado que haya un exceso de calor, que deberá disiparse por medio de la producción de vapor, es decir, dicha reducción de presión hace que la solución caiga en la región de dos fases. Así la parte de líquido es el punto (5), que corresponde a la salmuera de rechazo; y la parte vapor, punto (6), corresponde al destilado producido.

En la realidad, la temperatura de la salmuera es un poco más elevada que el destilado producido, debido a las sales disueltas en ella.



Cámara de Evaporación - instantánea.

FIG. II.1



2. DESCRIPCION DEL FENOMENO DE CONDENSACION.

Cuando las moléculas de un vapor son enfriadas, su energía cinética desciende, disminuyendo así su capacidad para contrarestar las fuerzas de atracción que actúan sobre ellas, por lo que las moléculas se atraen mutuamente hasta formar gotas ó partículas de niebla. Cuando la energía cinética de éstas es insuficiente para vencer la energía potencial de atracción asociada con la fuerza de gravedad, dichas gotas caen y se recogen como líquido. Este proceso se llama condensación, lo cual es la prueba más directa de la existencia de fuerzas de atracción intermolecular.

Cuando se vaporiza una libra de agua ó se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es el mismo. El proceso de evaporación-condensación se presenta a una presión dada, sólo a una temperatura: la de Saturación ó equilibrio.

En el caso en estudio, la condensación tiene lugar sobre la superficie fría de los tubos para intercambio de calor, en los que se presentan los mecanismos de transferencia de calor por convección en la parte interna del tubo, por conducción entre el agua y la pared del tubo, a través de la pared del tubo y finalmente por convección entre la película de condensado y la pared exterior del tubo.

La condensación tiene lugar a diferentes velocidades, según sea el mecanismo físico de transferencia de calor, en forma de gota ó de película. Cuando una superficie condensante está contaminada con una sustancia que evita que el condensado moje la superficie, el vapor se condensará formando gotas. Si en la superficie del tubo, aparece una capa de líquido conforme el vapor se condensa, hasta cubrirlo todo, se presenta la condensación en forma de película.

El coeficiente de transferencia de calor para condensación en película, se ve afectado por la textura de la superficie en la que se condensa y si ésta se encuentra vertical u horizontal. Los coeficientes locales de transferencia de calor en el régimen de condensación en película para vapores, se calculan con base en la hipótesis de que la resistencia térmica total es producida por la película de condensado. Al aumentar la diferencia de temperaturas entre el vapor saturado y la superficie fría, aumenta la velocidad de transmisión de calor y el espesor medio de la capa de condensado.

Resumiendo:

- La condensación en película se produce siempre con vapor de agua limpio, condensando sobre superficies limpias, sean lisas ó rugosas.
- El vapor de agua se condensa en gotas únicamente cuando la superficie de condensación está contaminada con un promotor conveniente que evite que el condensado moje la superficie, por ejemplo grasa ó aceite.
- El calor cedido por el vapor, sólo es calor latente.
- El drenado de la película de condensado es solamente por flujo laminar.
- El grueso de la película está en función de la velocidad media del flujo de vapor y de la cantidad de condensado que pasa por ese punto.
- La cantidad de condensado es proporcional a la cantidad de calor transferido, el cual se relaciona al gradiente de temperatura entre el vapor y la superficie.
- Las propiedades físicas del condensado, se toman a la temperatura media de película.
- La temperatura de la superficie del sólido es constante.
- Se desprecia la curvatura de película.

3. DESCRIPCION DEL FENOMENO DE LA PRESENCIA DE INCONDENSABLES.

La presencia de gases incondensables en mezcla con el vapor a condensarse, acarrea consigo la disminución de la velocidad de condensación. Estos gases normalmente se encuentran en concentraciones muy bajas ó prácticamente nulas.

Existen ciertas soluciones que al ser calentadas, desprenden gases, ya sea porque los tengan en solución ó por descomposición parcial ó total del soluto, dando como productos algunos compuestos gaseosos.

El vapor producido en una cámara de evaporación de agua de mar, contiene una cantidad de incondensables, producto de la desorción de gases originalmente disueltos en ella y a la formación de CO_2 como resultado de la descomposición de NaHCO_3 por el aumento de temperatura en la cámara. El CO_2 generado en cada etapa, al mezclarse con el vapor producido por la evaporación, influye en la transmisión de calor de la etapa siguiente disminuyéndola considerablemente. Es por lo tanto, fundamental el eliminar estos gases, dentro de lo posible a medida que éstos se vayan formando.

La presencia de CO_2 , N_2 y O_2 disminuye la transmisión de calor debido a la baja conductividad térmica de éstos, además de que forman una película aislante sobre la película de condensado a través de la cual el vapor deberá difundirse para alcanzar la película del líquido fría.

4. DESCRIPCION DEL FENOMENO DE ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION.

Un compuesto puro, tiene una sola temperatura de ebullición, correspondiente a la presión que se tiene en la cámara evaporadora; pero para disoluciones, la temperatura de ebullición, es mayor que la del disolvente puro a la misma presión.

La elevación del punto de ebullición es la diferencia entre el punto de ebullición de una solución y el punto de ebullición del disolvente puro a la misma presión.

El caso en estudio, se puede ilustrar con el sistema mostrado en la Fig. II.2, en la cual se tienen dos recipientes : (a) contiene agua de mar y (b) contiene agua pura. El agua de mar está a una temperatura " t_a " y el agua pura a una temperatura " t_b "; la temperatura en el espacio vapor de ambos recipientes es igual, y el espacio vapor entre los dos está conectado un compresor.

Para temperaturas iguales en a y b, la presión de vapor en b (agua pura) es mayor que en a (agua de mar): $P_b > P_a$. Así, para evitar el transporte de vapor de "b" a "a" el compresor debe igualar la presión. Si se permite una variación en la temperatura, " t_a " debe incrementarse sobre " t_b ", así: $P_b = P_a$. En otras palabras, la baja presión de vapor del agua de mar se manifiesta como una elevación en el punto de ebullición, el cual es función de la concentración de sólidos disueltos.

"ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION "

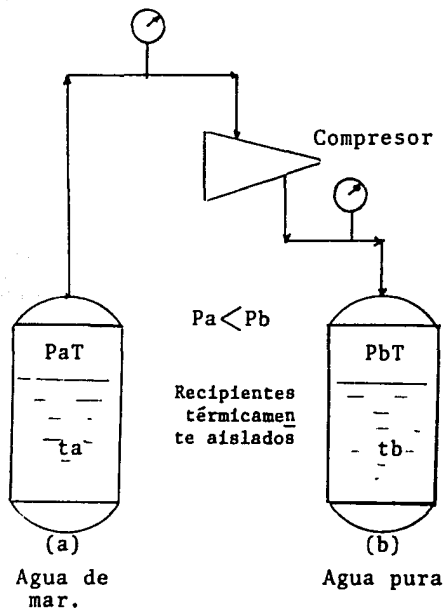


FIG. II.2

5. SISTEMAS DE VACIO.

a) Definición .- El vacío se define como un espacio carente de materia; el cual puede ser únicamente alcanzado de manera aproximada.

b) Clasificación .- Es conveniente dividir las presiones sub-atmosféricas en cuatro regiones:

Vacío próximo	760 a 1 torr.
Vacío medio	1 a $10 \text{EXP}-3$ torr.
Vacío alto	$10 \text{EXP}-3$ a $10 \text{EXP}-7$ torr.
Vacío ultraalto	de $10 \text{EXP}-7$ torr en adelante

La región de vacío próximo es la que toma mayor interés por comprenderse aquí la destilación, la filtración y los procesos de evaporación como el de nuestro caso.

c) Sistema de vacío por eyectores.

El vacío puede conseguirse de diferentes maneras. Para el trabajo de vacío industrial, el más usado es el eyector de vapor.

Los dos eyectores más comunes son operados por:

- agua ó líquido de proceso
- vapor

Los eyectores operados por líquido son usados para crear un vacío moderado, y se llaman eductores. El eyector de vapor es importante para crear y mantener un mayor vacío en el sistema.

Los eyectores son dispositivos constituídos de cinco partes principales: (Fig. II.3)

- una cámara de admisión del fluido motriz (A)
- una tobera convergente o convergente-divergente (B)

- una extensión de tobera (C)
- un Difusor (D)
- una cámara de succión (E)

El fluido motriz (vapor) de alta presión y baja velocidad, entra a la cámara de admisión y se expande en la tobera (B) hasta una presión correspondiente al vacío deseado. El fluido motriz sale de la tobera a una velocidad considerablemente alta, debido a la conversión de la energía de presión a energía cinética. Esta expansión crea una zona de baja presión en la cámara de succión (E) dando origen a que el fluido de succión sea arrastrado y mezclado con el fluido motriz, llevándose a cabo la transferencia de cantidad de movimiento del fluido motriz hacia el fluido de succión, de tal manera que la mezcla entra al difusor (D) a una velocidad inferior que la del fluido motriz a la salida de la tobera.

En el difusor, la mezcla posee alta velocidad. La compresión toma lugar cuando la energía velocidad se transforma en presión dentro del difusor. Esta mezcla comprimida se descarga a una presión mayor que la presión de succión, pero considerablemente menor que la presión de admisión del fluido motriz (vapor).

Así, el gas entrante se comprime de una presión absoluta baja en la succión a una presión alta en la descarga. La razón de presión de descarga sobre la presión de succión (razón de compresión) es cerca de 6 ó 10 a 1 por etapa.

Los eyectores pueden ser construídos para altas relaciones de compresión, el cual no debe exceder de 10:1 para una economía razonable del vapor.

Los eyectores pueden disponerse en una etapa o en multi etapas; éste último permite el operar al sistema a presiones absolutas más bajas que en la unidad de una sola etapa.

Para altas relaciones de compresión (baja presión absoluta de succión), los eyectores son dispuestos en etapas en serie y están provistos de un condensador entre las etapas de los eyectores, conocido como intercondensador; éste condensa

"PARTES PRINCIPALES DE UN EYECTOR"

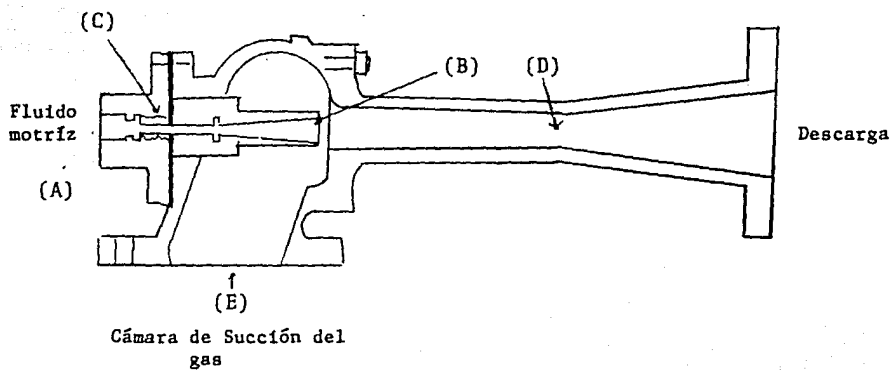


FIG. II.3

- el vapor motriz de la etapa precedente, más el vapor succionado, el cual es condensable a la presión del intercondensador.

Un intercondensador reduce el tamaño y el consumo de vapor en la siguiente etapa, es decir, siguiente efecto, por condensar los vapores de agua de enfriamiento y drenándolos a la atmósfera.

Si hay condensables en la mezcla succionada por la primera etapa de un sistema de eyectores, el cual pueda ser condensado con suficiente agua de enfriamiento, debe de instalarse un precondensador antes del primer eyector.

En la Fig. II.4a se muestran las variaciones de presión y velocidad en un eyector manejando aire. Dichos cambios de presión y velocidad, se indican por varias secciones del dispositivo. Los cambios de temperatura siguen la curva de presión - en forma cercana.

El mach 1 dado como referencia es la velocidad del sonido en el medio; de acuerdo a la figura, se tiene:

ZONA	DESCRIPCION
A	Velocidad de vapor subsónica generada a mach 1 en una garganta convergente con caídas de presión de vapor.
B	Estabilización con presión constante, velocidad constante a mach 1.
C	Velocidad de vapor supersónica alcanzada en la garganta divergente como caída de presión.
D	Debido a que la cámara de succión está a la presión más baja en el sistema, el aire fluye dentro de la cámara y entra en el chorro de vapor.
E	Presión de la mezcla supersónica que es incrementado en el difusor convergente hasta que la velocidad cae en el mach 1.
F	Estabilización con presión constante, velocidad constante a mach 1.
G	Presión de la mezcla subsónica, es incrementada en difusor divergente hasta que se presente una caída de velocidad.

" DIAGRAMA DE LAS VARIACIONES DE PRESION Y VELOCIDAD
EN UN EYECTOR DE VAPOR MANEJANDO AIRE "

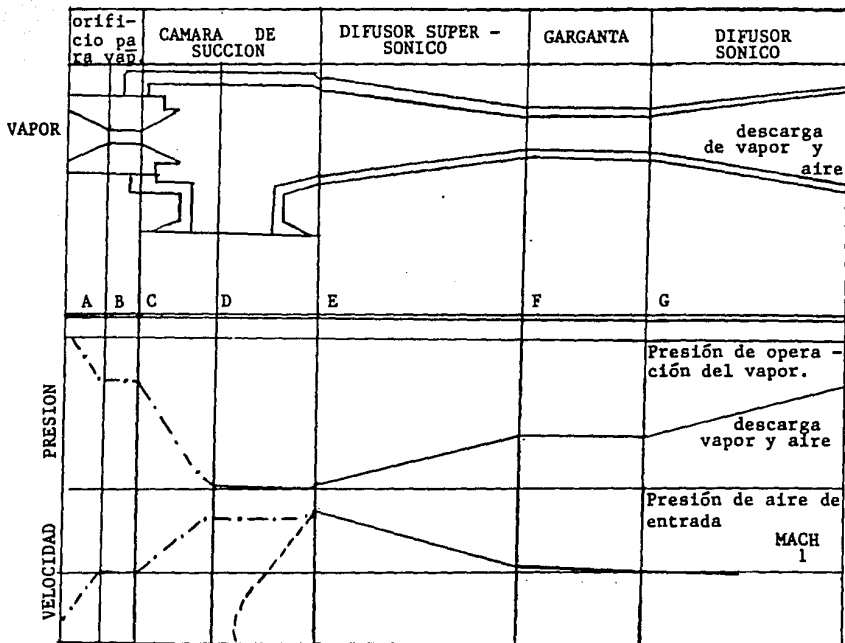


FIG. II.4 a

Características.- Las características que los hacen económicos para condiciones de vacío son:

- Manejan mezclas de vapores secos, húmedos o corrosivos.
- Desarrollan cualquier vacío razonable, necesario en las operaciones industriales.
- Son disponibles todos los tamaños para cualquier requerimiento de capacidad sea pequeña o grande.
- Sus eficiencias son buenas.
- No poseen partes móviles, por lo tanto su mantenimiento es bajo, con lo que su costo es reducido.
- Los costos de instalación son relativamente bajos comparados con las bombas de vacío.
- Los requerimientos de espacio son pequeños.

Especificación.- El diseño de los eyectores está basado empíricamente en diversas pruebas. La capacidad de un eyector es proporcional al flujo másico de gas comprimido en vez del flujo volumétrico como es usual en otros tipos de compresores. Todas las curvas de capacidad se expresan en lb/hr.

La capacidad de un eyector para cualquier condición de succión dada es proporcional al área de la garganta difusora. Si se desea mayor capacidad, se debe de sustituir con un difusor y boquillas más grandes. Las curvas características de operación de los eyectores son dados en función de la capacidad de aire equivalente en lb/hr contra la presión de succión en mmHg abs.

La transformación de lb/hr a equivalente de aire se basa en dos curvas de conversión, que involucran al coeficiente de arrastre. La primera curva se basa en el peso molecular y la segunda en la temperatura del gas de entrada, (ver fig. II. 4 b/c)

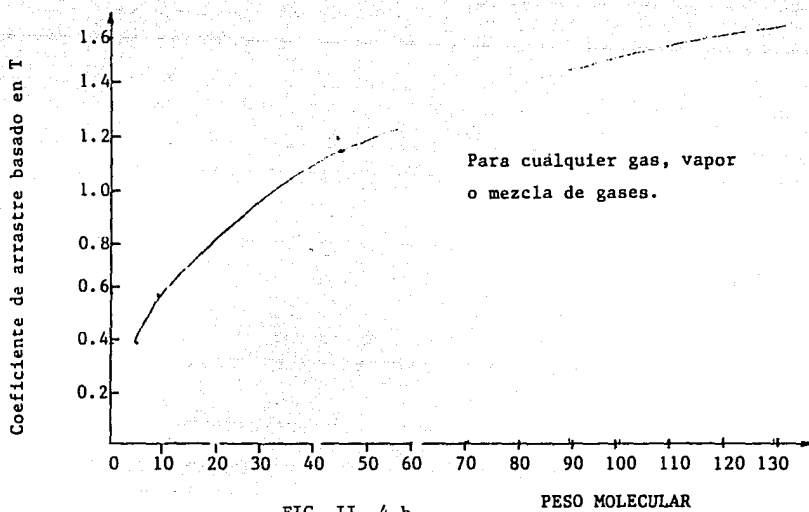


FIG. II. 4.b

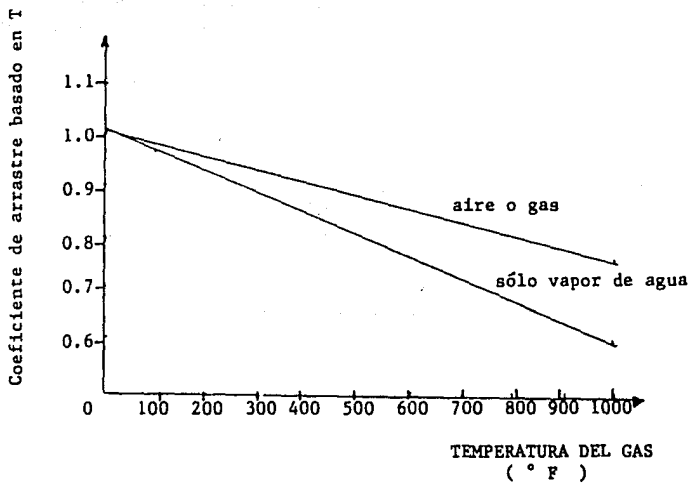


FIG. II. 4.c

El coeficiente de arrastre de peso molecular , es la razón del peso total del gas que puede manejarse al peso total de equivalente de aire a 70°F que podría ser manejado bajo las mismas condiciones. El coeficiente de arrastre de temperatura es la razón del peso equivalente total de aire a la temperatura actual que puede ser manejada, al peso del equivalente a 70°F que podría ser manejado.

Los factores que afectan la operación de los eyectores son

- PRESION DEL FLUIDO MOTRIZ.- Debe seleccionarse igual a la mínima con la que el eyector es capaz de operar de manera estable. La presión mínima recomendada es de 4.2 kg/cm² (60 psig), para eyectores descargando a la atmósfera; y un poco menos para descargas a presiones inferiores . Para eyectores se usa generalmente vapor entre 3.5 - 24.6 kg/cm² (50 - 350 psig).
- PRESION DE DESCARGA.- Las presiones de descarga a las que generalmente son diseñados los eyectores atmosféricos (una etapa o la última etapa de un sistema de etapas múltiples) son del orden de .035-.07 $\frac{Kg}{cm^2}$, a fin de asegurar una operación confiable.
- CAPACIDAD DE SUCCION.- La capacidad de un eyector se expresa en lb/hr totales de no condensables más condensables en la succión. Para unidades multietapas se debe hacer la separación entre condensables y no condensables.
- PRESION DE SUCCION.- Es afectada de la siguiente manera según el cambio de las condiciones de operación:

Pmotriz	Pdescarga	Psucción	Cap. de Succión
disminuye	cte	aumenta	disminuye
cte	aumenta	aumenta	disminuye
cte	cte	aumenta	aumenta
aumenta	cte	cte	disminuye gradualmente

- TEMPERATURA Y CALIDAD DEL VAPOR MOTRIZ.- Se recomienda que el vapor motriz sea el menos saturado. De 5 - 15°F de sobrecalentamiento y en caso de que sea húmedo será necesario instalar un separador de vapor en la línea de succión.
- TAMAÑO .- Normalmente , el tamaño del eyector está en función del tamaño de la conexión de succión. En la mayoría de los casos la conexión de descarga del difusor es el mismo tamaño - que la conexión de succión. Los eyectores se fabrican en tamaños de conexiones de 13 - 609.6 mm.

Materiales de Construcción.- Los eyectores pueden ser construídos en una gran variedad de materiales. El estándar del H.E.I. (Heat Exchange Institute) para eyectores de vapor, establece que los materiales mínimos requeridos para la construcción de estos equipos son:

- Partes sometidas a la presión del vapor motriz:

Máx. Temp. de diseño del vapor (°F)	Caja de vapor y placa de toberas.	Tobera
400	Bronce B-62 ac. al carbón A-216 WCA A-181 Gr 1 . A-107	Ac. Inox. - A-276-303 304 ó 416
650	Ac. al Carbón A-216 WCB A-105 Gr 1	Ac. Inox. - A-276-303 304 ó 416
850	Ac. al carbón A-216 WCB A-105 Gr 1	Ac. Inox. A-276, 304
1000	Aleación 5% cromo A-217 WCB A-182 - F11	Ac. Inox. A-276, 304
1050	Aleación 5% cromo A-217 WCB A-182 F22	Ac. Inox. A-276, 304
1125	Ac. Inox. A-296-CF-8M ,A-182-F316 F347, ó F321	Ac. Inox. A-276-316 347 ó 321

- Partes bajo condiciones de vacío.

Difusor	Bronce B-62 o 144-3D, FoFo A-48 Clave 30, ac. carbón A-285-C ó A-107.
Cámara de succión	FoFo A-48 clase 30 acero al carbón A-285-C .

d) Sistema de vacío por bombas.

Definición .- Una bomba de vacío es un compresor que tiene una presión de entrada abajo de la atmosférica y a menudo comprime a una presión considerablemente abajo de la atmosférica. Las bombas de vacío se utilizan para producir y mantener el vacío en un sistema por la remoción de la materia del espacio involucrado.

Tipos.- Las bombas más comúnmente usadas para producir vacíos bajos y medios son:

-Bombas de anillo líquido .- El líquido es usualmente agua pero puede usarse otros fluidos por razones de proceso. Este tipo de bombas, únicamente tienen una parte en movimiento: el rotor. El anillo líquido realiza las funciones que normalmente hacen los pistones o los álabes en los otros tipos de bombas. Su principio de operación es el siguiente: Antes de la operación, la carcasa de la bomba se llena parcialmente con un líquido cebante. Cuando la bomba se pone en marcha, el impulsor rotatorio empuja el líquido hacia la periferia de la carcasa. Así, se forma un anillo líquido en el cuerpo cilíndrico de la bomba. El eje del rotor está descentrado del eje del cuerpo. Por lo tanto, se establece una acción de pistón cuando el líquido

casi llena cada cámara y luego, casi vacía cada una de las -
cámaras entre las capas del rotor.

El pistón reciprocante del líquido atrae el gas de proceso (y/o vapor) dentro de la cámara a través de un puerto de entrada, lo comprime y hace que junto con algo de líquido de -
sello tome la dirección fuera del punto de descarga.

Una bomba de anillo líquido es esencialmente una máquina isotérmica; el anillo es el que mantiene la temperatura constante.

En el dimensionamiento de este tipo de bombas se deben de considerar los efectos de vaporización y condensación que se presentan. El primero toma lugar, cuando cualquier gas se introduce a una temperatura más alta que la del sello líquido. La condensación ocurre cuando el gas de bombeo se satura con el vapor. Así, la bomba se comporta como un condensador de contacto directo. Son utilizadas cuando se manejan vapores altamente corrosivos o vapores que no son compatibles con aceites. Las partes principales son: carcaza (con boquillas de succión y descarga integradas), impulsor, flecha y sello.

- Bombas rotatorias de pistón.- Son máquinas de desplazamiento positivo con sello de aceite que aíslan un volumen específico de gas con cada revolución, lo comprimen y descargan a la presión atmosférica. Cuando el pistón sellado con aceite gira, cierra el puerto de entrada y atrapa el gas aspirado. El pistón comprime el gas. la válvula de descarga abre, y el gas se descarga a la atmósfera. La bomba opera en un baño de aceite. El aceite de sello lubrica la bomba y sirve de sello para evitar contracorriente de la descarga hacia la entrada. Se usan para vapores secos y limpios (N_2 y aire); no se usan en procesos donde el fluido manejado es incompatible con el aceite. Partes: carcaza, con boquillas de succión y descarga integradas, el conjunto rotatorio pistón, flecha y caja ó cámara de aceite.

Parámetros de selección de bombas de vacío.

La selección de la bomba del tamaño apropiado para una aplicación dada depende de los siguientes factores:

- Presión de operación.
- Tiempo de evacuación.
- Volúmen del sistema a ser evacuado.
- Carga de gas.

6. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CORROSIÓN.

a) Definición.- La corrosión se define como la deterioración de un material por acción química ó electroquímica.

El agua de mar presenta un efecto corrosivo de gran variedad. No es sólo un electrolito o reactivo, sino que es una solución que contiene un total de sólidos disueltos (TSD) de 8000 ppm (Mar Báltico) a 60,000 ppm en Bahías del Golfo Arabe.

El contenido de oxígeno varía ampliamente (hasta 12 ppm) según la acción de las olas, la profundidad y la temperatura. Dependiendo del equilibrio que haya entre las sales, la materia viva, sedimentos, gases disueltos y materia orgánica en descomposición, el agua puede ser no corrosiva o corrosiva en extremo.

b) Clasificación de ambientes marinos.

Los ambientes marinos se clasifican de la manera que se indica a continuación, señalando el tipo de corrosión - que le corresponde a cada uno:

CLASIFICACION	CORROSIVIDAD RELATIVA
- Atmósfera (aire húmedo marino)	mediana
- Rocío de las olas	alta

- Marea	mediana-alta
- Agua poco profunda (cerca de la superficie y de la orilla)	mediana
- Profundidad de plataforma continental.	baja
- Océano Profundo	baja
- Barro	alta
- Pozos marinos	mediana

c) Factores que contribuyen a la corrosividad del agua de mar.

- Oxígeno disuelto.- Es el más importante entre todos los factores que contribuyen al efecto corrosivo del agua de mar. Es el responsable de la naturaleza variable del agua. Todas las clases de corrosión de metales ocurren por acción electroquímica. Si en una reacción química se encuentra oxígeno disuelto, la corrosión se ve favorecida y se presenta el fenómeno de despolarización, es decir, el hidrógeno presente se escapa del cátodo, y el ánodo se consume (corroe), en cambio, cuando no se encuentra oxígeno disuelto, no se presenta la corrosión y el fenómeno que se presenta es el de polarización, es decir, el aislamiento del cátodo por el gas hidrógeno impidiendo que reduzca iones H^+ .

Se denomina agente despolarizante a aquella sustancia que sea capaz de remover el hidrógeno y por lo tanto acelerar la corrosión (ej. el oxígeno); y polarizante, aquella que sea capaz de eliminar el oxígeno (ej. nitrito de sodio, hidracina , etc.).

La cantidad de oxígeno presente en el agua de mar varía con la profundidad, siendo inversamente proporcional, es decir, a menor profundidad , mayor contenido de oxígeno.

Sin embargo, ciertos metales, necesitan oxígeno para protegerse de la corrosión; aceros inoxidable austeníticos (serie 300) Hastelloy C-276, titanio y aluminio dependen de una capa pasiva de óxido, que sirve de protección. Cuando la capa anticorrosiva está intacta, la superficie se denomina pasiva, y al remover la capa protectora, la superficie del metal se denomina activa.

- Temperatura.- La actividad corrosiva aumenta al aumentar la temperatura en el agua de mar. Cuando se calienta el agua de mar a temperatura de ebullición, el agua se vuelve sumamente corrosiva. Esta corrosividad se extiende incluso a los aceros inoxidable austeníticos, como el 316.

- Nivel de sólidos totales.- El nivel de sólidos totales varía ampliamente en los diferentes mares, lo cual implica una variación de la corrosividad hacia los distintos materiales de construcción.

La composición media del agua de mar es de 34,482 mg/l de TSD. De los iones presentes en el agua de mar, el ión cloruro es el que presenta mayor efecto corrosivo; el ión sulfato es algo corrosivo, menos que el anterior. El ión bicarbonato a pesar de ser una fracción muy pequeña del total de sólidos disueltos, aumenta la corrosión de muchos metales.

- pH.- El pH del agua de mar es casi constante en todo el mundo, siendo por lo general de 7.8 a 8.3 en aguas superficiales. El pH se ve afectado por el intercambio de anhídrido carbónico con el aire. Cuanto más anhídrido carbónico se forma en el agua de mar, menor es el pH, por lo tanto más corrosivo. Los iones potasio, sodio y calcio aumentan el pH del agua de mar.

- Velocidad.- Muchos metales son susceptibles a una corrosión excesiva cuando la velocidad de la corriente de agua de mar es superior a un valor específico determinado para el metal.

En el caso de acero o de cobre, dicho valor es de 5 ft/seg (1.5 m/seg). Los metales pasivos (aceros inoxidable), son más resistentes a la corrosión que el cobre o el acero cuando las velocidades del agua de mar son altas.

- Agua de mar estancada.- Esta puede causar más daño en la mayoría de los metales y aleaciones que el agua de mar en movimiento, especialmente en el caso de los aceros inoxidables. Al cesar el flujo, se crean condiciones de estancamiento: focos de concentración de oxígeno, lo cual favorece la corrosión.

Por lo que, cuando se suspende la operación en equipos de acero inoxidable austenítico, se debe evacuar toda el agua salada, para evitar daños graves.

- d) Tipos de corrosión y su relación al servicio de agua de mar.

La corrosión puede clasificarse de manera general en:

- Corrosión húmeda.
- Corrosión seca.

La corrosión húmeda ocurre cuando un líquido está presente; incluye soluciones acuosas o electrolitos. Un ejemplo común es la corrosión del acero por el agua.

La corrosión seca ocurre en la ausencia de una fase líquida, o bien, arriba del punto de rocío del ambiente. El agente corrosivo, usualmente incluye vapores o gases. La corrosión seca es asociada con altas temperaturas. Un ejemplo es el ataque del acero por gases de una caldera.

Así mismo, se puede clasificar de manera particular en:

- Corrosión General.- Es un tipo uniforme de corrosión que abarca toda la superficie del metal. Si el medio no es lo suficientemente oxidante, la capa protectora existente en la superficie del metal desaparece, lo cual provoca un ataque generalizado (pasividad inestable).

En este tipo de corrosión, diversos materiales y aleaciones presentan bajas velocidades de corrosión; por ejemplo, el acero al carbón a temperatura ambiente, tiene una velocidad de corrosión de 3 - 7 mpulg/año.

- Corrosión por Picadura.- Este tipo de corrosión la constituyen fallas en las zonas activas localizadas en una capa pasiva. Al comenzar la falla, la picadura (ánodo) que produce la corrosión, se acelera progresivamente, ya que el área es muy pequeña comparada con el área mayor que la rodea (cátodo). Estas picaduras ocurren con mayor probabilidad bajo condiciones estancadas, suciedad o bien en áreas golpeadas.
- Corrosión-Erosión .- Se presenta en diversos materiales si el flujo de agua de mar supera una velocidad crítica, específica del material de construcción. Resulta cuando un fluído en movimiento, remueve las capas protectoras de la superficie metálica. La cavitación es una forma de corrosión - erosión, ocurre cuando zonas de baja presión forman burbujas pequeñas de vapor. Al oscilar la presión sobre las superficies metálicas en remolinos turbulentos, las burbujas de vapor se aplastan. Este proceso se repite innumerables veces. El metal está así, sometido a tensiones que oscilan continuamente, produciendo picaduras en la superficie.
- Corrosión en Grietas.- El agrietamiento es el defecto de diseño que causa la mayor parte de las fallas de los equipos. Las grietas inician la corrosión al proveer un sitio de composición diferente del agua de mar comparada con la composición que se encuentra fuera de la grieta. La diferencia resultante causa la corrosión por acción de un foco galvánico. El área de alta concentración de oxígeno es el cátodo, mientras que el área de baja concentración es el ánodo.

CORROSION DE GRIETAS

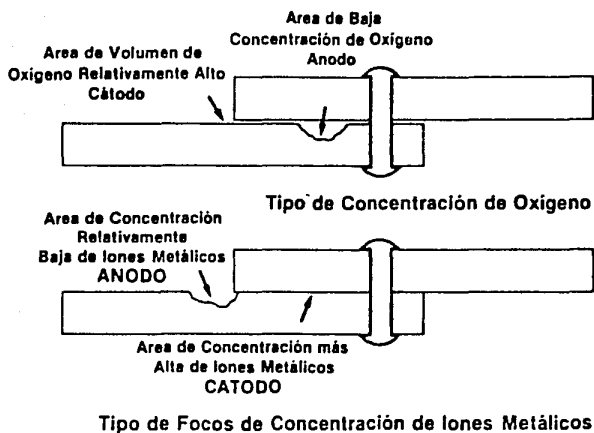


FIG. II. 5

- **Corrosión Galvánica.**- Se llama así, cuando se produce una corriente al conectar dos metales distintos en una solución electrolítica; estableciéndose un ánodo (el menos noble, activo) y un cátodo (el más noble, pasivo), ocasionando la corrosión del metal anódico. En la serie galvánica cuanto más separados estén los materiales, mayor será el ataque en el ánodo.

Debido a que el agua de mar es un electrolito tan fuerte, se deben utilizar con cuidado los metales distintos y evitar así el uso de materiales que estén muy separados en la serie electrolítica. Cuando esto no sea posible, se deberá aislar eléctricamente los metales para evitar un ataque del material menos noble. Dos metales distintos en agua de mar pueden estar separados una distancia de varios metros y sin embargo operará una celda galvánica, ya que el agua de mar actúa como un excelente conductor para el flujo de electrones.

Son muy importantes las superficies relativas del ánodo y del cátodo. La severidad de la corrosión galvánica depende de la diferencia de electropotencial entre los materiales y la respectiva área involucrada. Si el área del metal catódico es grande comparada con la del metal anódico, la severidad de corrosión es más grande. En esos casos se usa un electrodo de sacrificio.

- **Desmetalización.**- En ciertos ambientes, algunos metales se deterioran si pierden uno de sus componentes, como la pérdida de zinc en el bronce. El agua de mar es un ambiente adverso para el bronce. El cobre disuelto por el agua de mar, se vuelve a depositar por acción electroquímica en las cavidades previamente formadas por la corrosión. El color de la masa depositada es rojizo debido a la ausencia de zinc, mientras que el área no afectada queda amarilla.

- **Corrosión en Grietas de Tensión.**- Este tipo de corrosión se puede presentar en aceros austeníticos sometidos a esfuerzos mecánicos. Puede producirse en un medio no corrosivo, pero se activa por la presencia de cloruros alcalinos en solución caliente, después de un periodo de incubación, el cual puede ser más o menos largo; la corrosión se presenta en forma de fisuras profundas, que se propagan rápidamente.

Para evitar la aparición de éste fenómeno, se prevee un relajamiento de esfuerzos mediante un tratamiento térmico adecuado.

- **Corrosión Intergranular.**- También llamada intercrystalina. Se produce principalmente en las proximidades de los cordones de soldadura de un acero inoxidable. La falla de los límites granulares de los aceros inoxidables austeníticos ocurre cuando se mantiene el metal a temperaturas entre 900°F y 1600°F. Si esto ocurre con el tipo 304 (p. ejemplo en soldaduras) se precipitan los carburos cromados en los límites granulares creando áreas de poco cromo. Esta reducción del contenido en cromo, disminuye la resistencia corrosiva en estas zonas intergranulares.

Los aceros tipo 304L y 316L son aceros inoxidables de carbono extra reducido, los cuales no son susceptibles a la corrosión intergranular.

La corrosión intergranular del acero inoxidable no presentará ningún problema en servicio de agua de mar, si:

- * Se verifica cuidadosamente la química del acero inoxidable, para comprobar que el contenido de carbono esté dentro de los límites de fundición.
- * La pieza fundida se trata térmicamente en solución (1950° a 2000°F).
- * Se especifican las fundiciones tipo 316L.

e) Comportamiento de materiales en agua de mar.

Acero al Carbón.

Es el más usado para servicio en agua de mar. Su uso es variado debido a su bajo precio, su velocidad de corrosión - fácil de pronosticar. Es de fabricación accesible. La velocidad de corrosión del acero alcanza un promedio de unas 5 milipulgadas por año en agua de mar.

Sin embargo, las picaduras pueden aumentar notablemente ésta velocidad. El agua de mar contaminada puede afectar - la velocidad de corrosión por picaduras. No se recomienda tuberías de acero al carbono.

El acero al carbón ASTM A48 es de uso limitado para agua de mar a 21°C (70°F); es utilizado para agua de mar de areada a 65°C (150°F) máx.

Aceros Inoxidables.

Convencionalmente se denomina acero inoxidable a una aleación de hierro-cromo cuyo contenido de cromo es superior a 11.5 %. Los aceros ferríticos incluyendo los tipos 405, - 430, 442 y 446 y los martensíticos 403, 410, 420, 431 y - 440 sufren de una notable corrosión en agua de mar. Los aceros austeníticos tienen una estructura cúbica de cara - centrada. Además de cromo, en cantidad superior al 16%, - contiene más de un 6% de níquel, elemento que favorece la cristalización austenítica. Estos aceros inoxidables, presentan una resistencia óptima a la corrosión, por lo que - se adaptan perfectamente al tratamiento de aguas. Sus propiedades varían con sus contenidos en carbono, cromo y níquel.

Los aceros austeníticos incluyen 304, 304L, 310, 316, - 316L, 317, 318, 321 y 347 demuestran una buena resistencia a la corrosión de agua de mar bajo condiciones controladas . Para obtener larga vida útil en materiales de acero - inoxidable austenítico se recomienda:

- No operar con flujos de menos de 5 ft/seg.
- Eliminar las grietas.
- Enjuagar completamente con agua de baja salinidad, inmediatamente después de interrumpir el proceso.

- Emplear técnicas adecuadas de soldaduras.

El acero inoxidable 316, se utiliza en agua de mar aerea-da a 49°C (120°F) y en agua de mar deareada a 65°C (150°F). Para agua de mar a 21°C (70°F), presenta una resis-ten-cia aceptable. Velocidad máx. : 3 m/seg (10 ft/seg).

Níquel resistente.

Se denomina así, a una serie de fierros fundidos con sufi-ciente níquel para producir una estructura austenítica simi-lar a la de los aceros inoxidables austeníticos. Las alea-ciones de níquel resistente ofrecen importantes ventajas so-bre el fierro fundido sin aleación; entre las cuales se tie-nen: su mayor tolerancia a la velocidad y su mayor compati-bilidad galvánica con metales distintos contiguos.

El níquel- resistente tipo 1B o tipo D2 se usa para agua-de mar aerea da a 49°C (120°F) y para agua de mar deareada a 65°C (150°F).

El níquel ASTM A744 Gr.CZ-100 es muy satisfactorio para -el servicio de agua de mar a 21°C (70°F).

Cobre y aleaciones de cobre.

Las aleaciones a base de cobre con más de 15% de zinc -cromo, el bronce naval y el bronce de manganesi, son suscep-tibles a la pérdida de zinc, por lo tanto, no son recomenda-bles. El ácido sulfhídrico y otros sulfuros en el agua de -mar pueden acelerar marcadamente la corrosión de las alea-ciones de cobre.

Las aleaciones de 90% cobre y 10% níquel (90-10) , y -70% cobre y 30% níquel (70-30) , se han utilizado en siste-mas de enfriamiento de agua de mar. Se utiliza más la alea-ción 90-10 ya que posee casi la misma resistencia a la -corrosión en agua de mar que el 70-30, pero es más económi-ca.

La aleación 90-10 ocupa una posición central en la serie electromotriz para el agua de mar. Los materiales que se -acercan al 90-10 en la serie, son compatibles con ésta alea-

ción; mientras que los más alejados no lo son. Por ejemplo, las válvulas y cuerpos de las bombas hechas de níquel-aluminio-bronce son compatibles con la tubería 90-10. En cambio, las válvulas y cuerpos de bombas de metal fundido monel (aleaciones de cobre) causarán la corrosión completa de la tubería cobre-níquel 90-10.

La velocidad recomendada para el 70-30 es de 4.5 m/seg (-15 ft/seg); y para el 90-10 es de 3.65 m/seg (12 ft/seg).

Titanio.

Este y sus aleaciones son las más resistentes a la corrosión en agua de mar. El titanio posee una fina capa protectora adherida, que impide la corrosión general y la formación de picaduras y grietas. Es un material ideal para uso en ambientes marinos, pero su costo es elevado.

El titanio no debe combinarse con la mayoría de los demás metales en agua de mar, ya que aumenta considerablemente la corrosión de metales en posiciones más altas en la serie galvánica.

El titanio ASTM B367 Gr C-1 es muy satisfactorio para agua de mar a 21°C (70°F). La velocidad máxima, es de 2.45 m/seg (8 ft/seg). La temperatura máxima, a la cual se puede emplear es de 126°C (260°F).

Aluminio y aleaciones.

Se han empleado aleaciones de aluminio con relativo éxito. Las aleaciones que ofrecen la mejor resistencia a la corrosión son los tipos 1100, 3003, 5050, 5456, 5083, 5086 y 6061.

Las aleaciones con una resistencia inadecuada en ambientes marinos incluyen las series 7000, 2000 y 4000. El ión cloruro es el que causa picaduras en las aleaciones de aluminio. No se recomienda su uso, para el servicio de agua de mar.

Plásticos.

Muchos plásticos demuestran ser excelentes materiales de construcción para uso en servicio de agua de mar. Entre ellos se tienen: cloruro polivinílico, polietileno, poliéster reforzado con fibras de vidrio, ester vinílico reforzado con fibras de vidrio, al igual que el epóxico. Estos plásticos se usan en tuberías de baja presión.

Aleaciones de Níquel.

Estas aleaciones presentan una excelente resistencia anticorrosiva en ambientes de agua de mar. Las aleaciones de níquel se han empleado para ejes, cuerpos e impulsores de bombas con buenos resultados.

Las aleaciones de níquel se clasifican según su resistencia al agua de mar, en:

Clase I (máxima resistencia).

Hastelloy C-276.
Inconel 625.
Chlorimet-3.
Hastelloy -B ASTM A494.

Clase II (muy resistente).

Hastelloy F.
Inconel 700.

Clase III (resistente - posibles picaduras en sitios de agua de mar estancada).

Inconel 600.
Monel 400.
Monel K-500.

f) Técnicas de control y prevención de corrosión.

Los métodos usados para prevenir o reducir la corrosión erosión se resumen en:

- Remoción de agentes corrosivos en la alimentación, principalmente el oxígeno y el dióxido de carbono mediante su desorción. Con ambos compuestos removidos, las propiedades corrosivas de la alimentación se reducen y puede alimentarse a la planta sin otro tratamiento.
- Evitar la presencia de par galvánico entre los materiales a usar en el servicio de agua de mar.
- Protección catódica.- Se basa en el principio de la corrosión galvánica. Se logra de dos maneras:
 - 1° Conectar un ánodo a la pieza que se debe proteger, de tal manera que la corriente de corrosión destruirá el ánodo en vez de la pieza de proceso. Los ánodos utilizados son de aluminio, manganeso y zinc.
 - 2° Aplicar a la pieza que se va a proteger, una corriente generada por un rectificador ó un generador eléctrico para contrarrestar la corriente normal de corrosión. Si se aplica a la celda de corrosión una corriente igual y opuesta a la corriente de corrosión, el ánodo (la pieza en cuestión) se dejará de corroer. Se utilizan para esto el grafito, las aleaciones de plomo, de hierro sílice y electrodos de titanio platinados. Este tipo de protección es muy eficiente.

7. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA INCRUSTACIÓN.

a) Definición.- La incrustación se define como un depósito cristalino duro, formado por la precipitación de una sustancia contenida en una solución; la cual, tiene una solubilidad que decrece cuando se incrementa la temperatura. Este fenómeno se conoce como solubilidad inversa. El depósito formado, se adhiere a la superficie de transferencia de calor e interfiere en ésta; la operación continua en tuberías se dificulta. Esta deposición ocurre durante la evaporación de aguas salinas debido a la presencia de iones calcio, magnesio, sulfatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Para que la incrustación tome inicio en un sitio determinado, se requiere que se presenten de manera simultánea tres factores:

- la supersaturación de la solución.
- sitios de nucleación.
- adecuado tiempo de contacto de la solución y los núcleos.

Para la prevención de la incrustación se requiere de la eliminación de uno ó más de dichos factores. La cantidad de incrustación formada, está en función del número inicial de cristales, resultantes de la nucleación y del crecimiento adicional desmedido de los cristales.

Una vez que la nucleación ha ocurrido, la velocidad de depositación es mayor. Las incrustaciones no pueden ser eliminadas por completo, sólo pueden ser reducidas. Para lograr un control en las incrustaciones se deben limitar ciertas variables de operación, tales como:

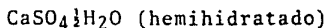
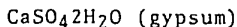
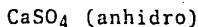
- temperatura máxima de la salmuera
- concentración máxima de la salmuera
- recirculación de salmuera (donde aplique)

La depositación depende de :

- la temperatura de la salmuera
- la concentración de la salmuera

- de la alcalinidad de la solución.

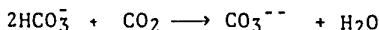
Los compuestos que presentan solubilidad inversa son:



b) Incrustación Alcalina.

- Depositación de Carbonato de Calcio.

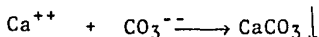
El agua de mar está potencialmente saturada de carbonato de calcio. Las incrustaciones alcalinas de este tipo ocurren cuando el ión bicarbonato se descompone en el calentamiento, teniendo como resultado la siguiente reacción:



La concentración del ión carbonato es máxima cuando todo el bicarbonato ha sido convertido por liberación de CO_2 .

El ión carbonato puede reaccionar subsecuentemente de dos maneras:

Puede precipitar como carbonato de calcio:



A temperatura abajo de 82°C (180°F) predomina la formación de carbonato.

Puede hidrolizarse al reaccionar con el agua para formar iones hidróxido y dióxido de carbono:

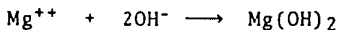


A temperatura arriba de 82°C (180°F) predomina la formación de hidróxido.

A temperatura mayores de 180°F , se forman tanto el carb

- nato como el hidróxido.

El ión hidróxido puede reaccionar con el ión magnesio - presente, para formar incrustaciones del precipitado de hidróxido de magnesio:



Así, el contenido original de bicarbonato podrá, cuando es calentado, dar una concentración equivalente de carbonato o de hidróxido; la concentración en la que pueden existir en solución es gobernada por la solubilidad del CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente.

- Depositación de sulfato de calcio.

La formación de sulfato de calcio es independiente de la concentración de ión carbonato, solamente está influenciada por la solubilidad de los iones calcio y sulfato.

El sulfato de calcio puede ser depositado en una de las tres formas siguientes:

sulfato de calcio anhidro (CaSO_4)

sulfato de calcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)

sulfato de calcio gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

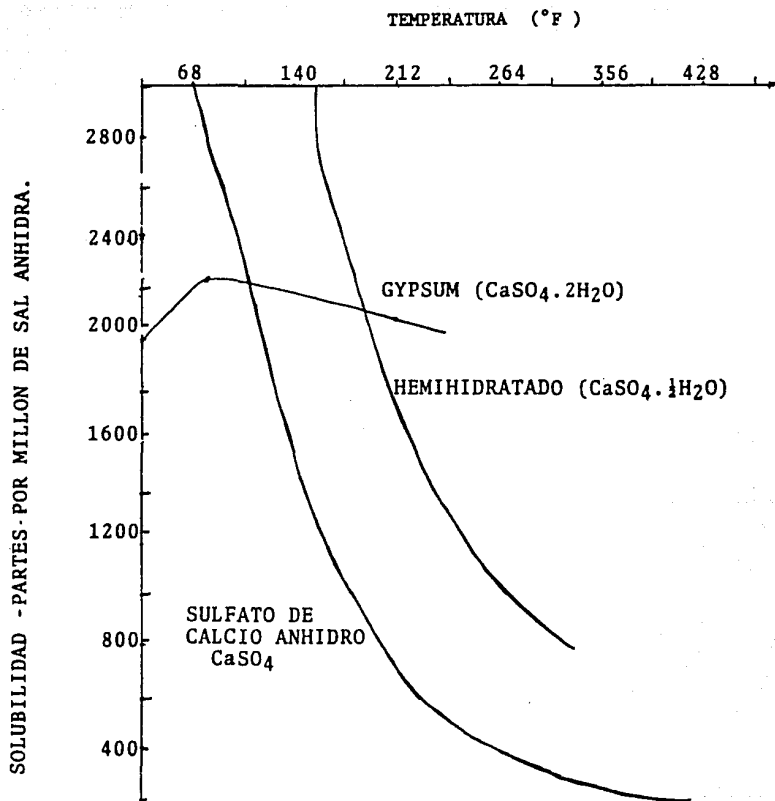


FIG II. 6

c) Métodos de control de Incrustación.

Para obtener un control en el fenómeno de la incrustación, se pueden seleccionar cualquiera de los métodos siguientes:

- Eliminación Mecánica.- Incluye métodos como taladrar ó cortar.
- Cultivos.- Esta técnica, consiste en la circulación de una suspensión de material de la misma naturaleza del que quiere ser removido, y se introduce en la corriente de alimentación de agua de mar.

Las partículas suspendidas actúan como sitios de nucleación para la incrustación. Mediante los cultivos, se establece un crecimiento preferente por lo que su remoción de la superficie es fácil.

La superficie total de las partículas suspendidas nunca excede el área del tubo, por lo que hay una deposición preferencial, que ocurre cuando se presenta la supersaturación y con un tiempo de residencia suficiente en la solución supersaturada.

El carbonato de calcio o el sulfato anhidro de calcio pueden ser empleados como material de cultivo.

Las razones por las cuales se presenta la deposición preferencial en los cultivos, en vez de depositarse en la superficie metálica de transferencia de calor son:

El área presentada por los cultivos es más grande que la superficie metálica.

Debido a la distribución de los cultivos en el líquido, los iones formadores de la incrustación tienden a preferir el contacto con los cultivos que con la superficie metálica.

El material depositante tiende preferentemente a la superficie ya formada que en su propia forma cristalina.

Desventajas: Se requiere una gran cantidad de partículas finas dispersadas, para que sea efectivo. Se

corre el riesgo que en vez de evitar la incrustación, la provoquen.

Otra desventaja, es que las partículas que sirven como cultivos pueden llegar a ser inactivas debido a la presencia de otras sustancias o de materia suspendida, que puede envolver inhibiendo así su efectividad.

- Adición de inhibidores.- Se pueden utilizar tres tipos de inhibidores, que son:

Polifosfatos: El compuesto es una mezcla de polifosfatos de sodio, derivados del ácido sulfónico y de varios ésteres de glicoles polialquilenos. La cantidad ó dosis usada está en el rango de 2-5ppm., la cual es efectiva a una temperatura arriba de 85°C (185°F).

El mecanismo por el cual el inhibidor reduce la deposición, es que el polifosfato entra en las cadenas del cristal de la incrustación mientras que toma inicio su desarrollo y previene así la formación de enlaces, lo cual da como resultado una microsedimentación finamente dispersada.

El polifosfato actúa como agente complejo para iones calcio y magnesio, lo que provoca una reducción en la concentración de esos iones, disminuyendo la tendencia a la precipitación.

Como la temperatura del agua de mar se incrementa, las moléculas de polifosfatos llegan a hidrolizarse y se combinan con los iones magnesio para formar fosfato de magnesio, el cual se deposita en la superficie de transferencia de calor. Esta reacción de hidrólisis tiene una limitante en cuanto a temperatura en el uso de compuestos de polifosfato, a menos de 85°C (185°F). Se ha reportado su uso a una temperatura máxima de 93°C (200°F) a un factor de concentración de 1.5 en una planta de evaporación instantánea en etapas múltiples (546-m³/día), en donde se observó la aparición de depósitos. Cualquier sedimento que se forma como resultado de la hidrólisis de polifosfatos se remueve por ácidos diluidos.

Tratamiento Acido: El tratamiento ácido es muy útil para prevenir la formación de sedimentos alcalinos, y consiste en - abastecer de ión hidrógeno para precipitar los iones bicarbonatos así:



Si el agua de alimentación está dosificada con un ácido en proporción estequiométrica al bicarbonato, y es desaerada, la alcalinidad del bicarbonato es reducida a aproximadamente 10 mg/l (expresado como equivalentes de carbonato de calcio) a un pH de 7.5 .

La adición de ácido a la alimentación tiene como fin, el - descomponer el ión bicarbonato. Esto causa un decremento en el pH del agua de alimentación lo cual permite que se pueda manejar la solución a alta temperatura sin que la incrustación se lleve a cabo.

Este método tiene ventajas en la mayoría de las aplicaciones, debido a que es relativamente económico en ciertos lugares y muy efectivo en el control de incrustación.

Desventajas:

- Una sobredosis de ácido puede causar corrosión de los internos del evaporador.
- El costo del ácido puede ser elevado si no es fácil de conseguir cerca del sitio en donde se instale la planta, debido al peligro que representa su manejo.
- El tratamiento ácido incrementa la formación de CO₂ gas en la planta evaporadora. Esto hace que se incrementen los - costos en el equipo del desgasificador requerido.
- El tratamiento con ácido sulfúrico incrementa la concentración del ión sulfato, lo cual favorece la formación de sulfato de calcio.
- La temperatura límite para éste tratamiento es de 121°C , (250°F) .

Tratamiento Cal-Carbonato de Magnesio: Este proceso está diseñado para remover el calcio, eliminar los bicarbonatos y reducir la alcalinidad de los bicarbonatos a un ni vel mínimo.

Se siguen los siguientes pasos:

- 1° Adicionar carbonato de magnesio para la remoción de calcio.
- 2° Adicionar cal para la conversión de bicarbonato y remoción de calcio adicional. La separación - del precipitado de carbonato de calcio puede - lograrse en un clarificador.

8. EQUIPO DE FILTRACION.

Los equipos de filtración , en la industria, se utilizan con la finalidad de proteger a los equipos; tales como: bombas, válvulas, medidores, etc; así como a tuberías y conexiones, que al ser obstruidas, pueden causar serios problemas en los equipos.

Son baratos, de fácil operación, mínimo mantenimiento. Se utilizan en cualquier punto donde una obstrucción o paso de sólidos puede causar un problema. Se colocan , en las líneas de conducción, siendo los tipos "Y" los que se colocan en tuberías verticales, los tipo "T" en: tuberías verticales, horizontales, o en lugar de un codo de 90°; finalmente, los simple y dobles se instalan siempre en tuberías horizontales. Estos últimos son los que se utilizan en el tipo de plantas objeto del presente estudio.

Los filtros dobles, se utilizan donde se requiere un proceso continuo , es decir, donde el flujo no puede ser interrumpido para la limpieza de la canasta. Se construyen en placas de acero. La canasta es la parte principal de los filtros; debe ser diseñada para ser durable, efectiva y funcional. Hay dos tipos : las destinadas a la filtración gruesa y las de filtración fina, según el tamaño de sólidos a separar. También existen filtros automáticos de autolimpieza, provistos de un pequeño motor.

CAPITULO III

CAPITULO III

DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO BASICO DE UNA PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR, POR EL PROCESO EN ESTUDIO**1. GENERALIDADES.**

El diseño básico, como la primera etapa en el proyecto, de cualquier tipo de planta industrial, incluye la generación de : características fundamentales del proceso, - equipos, localización y condiciones ambientales , que darán origen a los planos y documentos que permitirán la construcción de los equipos de proceso, y de las instalaciones civiles, arquitectónicas, eléctricas, de instrumentos y controles, así como las de interconexión en tablero. En este trabajo, se desarrolla un procedimiento para el diseño básico correspondiente al área de proceso, equipos, instrumentos y control.

2. DEFINICION DEL PROCESO.

El proceso para obtener agua dulce a partir del agua de mar es el de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples , como se definió en el objetivo de éste trabajo.

3. VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA.

Las variables que se deben considerar en el diseño de una planta desaladora de agua de mar son:

- Salinidad del agua de mar.
- Temperatura del agua de mar.
- Temperatura máxima de la salmuera.
- Concentración de la salmuera.
- Velocidad de la salmuera en los tubos.

- Capacidad de la planta.
- Longitud y diámetro de los tubos.

4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

Los aspectos a considerar para la elaboración del balance de Materia y Energía, que originan el diseño térmico e hidráulico de las cámaras de evaporación instantánea, y que garantizan el buen funcionamiento, la estabilidad y la operación continua de la planta son:

- a) Definición de cada una de las variables involucradas en el diseño de una planta desaladora.

A continuación se presenta la Nomenclatura utilizada para cada una de las variables involucradas en la realización del Balance de Materia y Energía.

N O M E N C L A T U R A

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDADES
AE(50)	Area por etapa	ft ² /etapa
AEM(50)	Area por etapa	m ² /etapa
AFT	Area de flujo por tubo	in ²
AFTC	Area de flujo por tubo	cm ²
AM	Flujo de agua de mar a la entrada de la Cámara Evaporadora	lb/hr
BWG	Calibre del tubo	
CGD	Constante de Gravedad	ft/hr ²
CS(50)	Concentración de la salmuera a la salida de la C. Evaporadora	ppm
CSC(50)	Concentración de la salmuera a la salida de la C. Evaporadora - corregida	ppm
CP(50)	Capacidad Calorífica del agua de mar	BTU/lb°F
D(50)	Destilado a obtener	lb/hr
DA(50)	Densidad del agua de mar	lb/ft ³
DAK(50)	Densidad del agua de mar	kg/m ³
DE	Diámetro externo del tubo	in
DEC	Diámetro externo del tubo	cm
DI	Diámetro interno del tubo	in
DIC	Diámetro interno del tubo	cm
DK(50)	Destilado a obtener	kg/hr
DT(50)	Incremento de temperatura entre etapas.	°C
G(50)	Flujo volumétrico de agua de mar	ft ³ /seg
GAK(50)	Flujo volumétrico de agua de mar	m ³ /seg
GG(50)	Carga de condensado para tubos horizontales	lb/hr. ft
GGM(50)	Carga de condensado para tubos horizontales	kg/hr.m
HAE	Valor asignado. Entalpia de agua de mar a la entrada C. Evap.	BTU/lb
HEV	Entalpia Específica del Vapor	BTU/lb

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDADES
HAME	Entalpia del agua de mar 1° Etapa.	BTU/lb
HAMEK	Entalpia del agua de mar 1° Etapa	Kcal/kg
HAM(50)	Entalpia del agua de mar de la 1° a la última eta pa.	BTU/lb
HAMK(50)	Entalpia del agua de mar de la segunda a la últi ma etapa.	Kcal/kg
HCC	Coefficiente de Transfe - rencia de calor.	BTU/hr ft ² °F
HCCM	Coefficiente de Transfe - rencia de calor.	Kcal/hr m ² °C
HD(50)	Coefficiente de película condensante.	BTU/lb
HDM(50)	Coefficiente de película condensante.	Kcal/kg
HI	Coefficiente de película referido al interior - del tubo.	BTU/hr ft ² °F
HIM	Coefficiente de película referido al interior del tubo.	Kcal/hr m ² °C
HIO	Coefficiente de película referido a la superficie externa del tubo.	BTU/hr ft ² °F
HIOM	Coefficiente de película referido a la superficie externa del tubo.	Kcal/hr m ² °C
HLC(50)	Entalpia del destilado de la segunda a la últi ma etapa.	BTU/lb
HLE(50)	Entalpia del líquido a a la entrada de la cámara evaporadora.	BTU/lb
HLK(50)	Entalpia del destilado - de la segunda a la últi ma etapa.	Kcal/kg
HL2	Entalpia del destilado	Btu/lb
HS	Entalpia de la salmuera primera etapa.	Btu/lb
HSK	Entalpia de la salmuera primera etapa.	Kcal/kg
HSK(50)	Entalpia de la salmuera de la segunda a la últi ma etapa.	Kcal/kg
HVC	Entalpia del vapor en el calentador.	Btu/lb

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDADES
HVCK	Entalpia del vapor en el calentador.	Kcal/kg
HVEM	Entalpia a la entrada del cambiador de calor	Btu/lb
HVEI	Entalpia vapor a la entrada de la cámara e vaporadora.	Btu/lb
K	Conductividad del condensado.	Btu/hrft°F
KC(50)	Conductividad de cada etapa. (condensado)	Btu/hrft°F
KCM(50)	Conductividad de cada etapa. (condensado)	Kcal/hrm°C
L3	Entalpia de vaporización.	Btu/lb
L3M	Entalpia de vaporización.	Kcal/kg
LE(50)	Entalpia de vaporización en cada etapa.	Btu/lb
LOE(50)	Longitud de cada etapa	ft
LOEM(50)	Longitud de cada etapa	m
MV	Masa de vapor necesaria	Lb/hr
MVK	Masa de vapor necesaria	Kg/hr
N	Número de etapas en la cámara evaporadora.	
NT	Número de tubos por etapa.	
NTI	Número de tubos por etapa (Aproximación a entero).	
PS(50)	Presión del sistema	N/m ²
PSL(50)	Presión del sistema	Lb/in ²
PSK(50)	Presión del sistema	Kg/cm ²
PVI	Presión a la que se dispone el vapor.	Lb/in ²
PVIK	Presión a la que se dispone el vapor.	Kg/cm ²

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDADES
Q(50) QM(50)	Calor intercambiado Calor intercambiado	Btu/hr Kcal/hr
RC	Factor técnico de concentración de agua de mar.	
S(50) SK(50)	Salmuera producida Salmuera producida	lb/hr kg/hr
TC(50)	Temperatura de entrada del agua de mar a la cámara evaporadora	°C
TCD(50)	Temperatura del desti- lado de cada etapa	°C
TDF(50)	Temperatura del desti- lado de cada etapa	°F
TECF	Temperatura del agua de mar en la primera etapa.	°F
TEC	Temperatura del agua de mar a la entrada del calentador	°C
TEF	Temperatura del agua de mar a la entrada del calentador	°F
TF(50)	Temperatura de entrada del agua de mar a la cámara evaporadora.	°F
TM(50)	Temperatura promedio del fluido frío.	°F
TMC(50)	Temperatura promedio del fluido frío.	°C
TP(50)	Temperatura de película	°F
TPC(50)	Temperatura de película	°C
TSC(50)	Temperatura de salida de la salmuera de la cámara evaporadora.	°C
TSF(50)	Temperatura de salida de la salmuera de la cámara evaporadora.	°F
TV	Temperatura del agua de mar a la salida del cambia- dor.	°C
TVF	Temperatura del agua de mar a la salida del cambia- dor.	°F

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDADES
TW(50)	Temperatura de pared del tubo.	°F
TWC(50)	Temperatura de pared del tubo.	°C
UC(50)	Coefficiente de transferencia de calor (limpio)	BTU/hrft ² °F
UCM(50)	Coefficiente de transferencia de calor (limpio)	Kcal/hrm ² °C
UD(50)	Coefficiente de transferencia de calor (sucio)	BTU/hrft ² °F
UDM(50)	Coefficiente de transferencia de calor (sucio)	Kcal/hrm ² °C
VT	Velocidad en los tubos de la cámara evaporadora	ft/seg
VTM	Velocidad en los tubos	m/seg
W(50)	Flujo másico del fluido caliente.	lb/hr
WM(50)	Flujo másico del fluido caliente.	kg/hr
XC(50)	Concentración del agua de mar a la entrada de cada etapa de la cámara evaporadora.	ppm

b) DEFINICION DE LOS DATOS NECESARIOS PARA REALIZAR EL BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

Los datos que se deben tener para poder realizar el Balance de Materia y Energía son:

Flujo másico del destilado a obtener.- Está en función de las necesidades específicas del lugar donde se instalará la planta.

Temperatura del agua de mar a la entrada de la Cámara Evaporadora.- Está en función de las condiciones geográficas y de la fuente de abastecimiento de agua de mar.

Temperatura del agua de mar a la salida del intercambiador.- Depende del método antiincrustante seleccionado; sea por medio ácido ó bien a base de polifosfatos.

Concentración del agua de mar a la entrada de la Cámara Evaporadora.- Está en función de las condiciones geográficas y de la altitud de la fuente de abastecimiento de agua de mar.

Temperatura de la salmuera a la salida de la Cámara Evaporadora.- Se recomienda que éste valor corresponda a 10°C más que la temperatura de entrada del agua de mar a la Cámara Evaporadora.

Diámetro externo/interno de los tubos de la Cámara Evaporadora.- Se recomienda que el diámetro externo de los tubos sea de 5/8". Así mismo, se deberán obtener a partir de éste dato: diámetro interno, área de flujo por tubo, calibre del tubo, de los valores tabulados en la Ref. Bibliográfica no. 6. Calibre recomendado 20 BWG.

Velocidad en los tubos de la Cámara Evaporadora.- Se recomienda, por razones de evitar las incrustaciones y de que se tenga un tamaño adecuado de las cámaras, el tener una velocidad en los tubos en un rango de 5 - 7 ft/seg.

Coefficiente de transferencia de calor.- Se obtiene de la gráfica no. 25 de la Ref. Bibliográfica No. 6. Así como su factor de corrección.

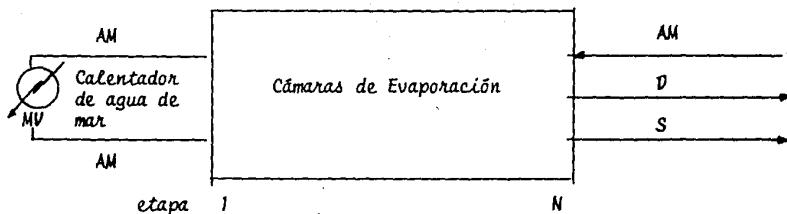
Coefficiente de transferencia de calor.- Para realizar el cálculo del coeficiente de calor se debe de tener en un principio un valor supuesto, el cual se corregirá por un método iterativo.

Factor de ensuciamiento.- Se define de acuerdo a lo reportado en la literatura como el valor óptimo recomendado. Dicho valor es de 0.0005-0.001.

Presión y temperatura a la que se dispone el vapor necesario para el calentador de agua de mar.- Está en función de las características propias de la planta en donde se instalará el sistema de evaporación instantánea.

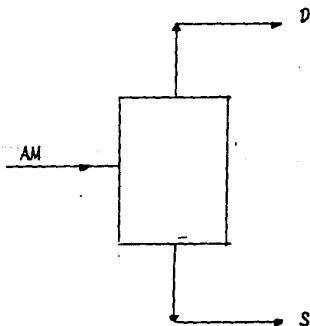
c) DEFINICION DE LAS CORRIENTES DEL SISTEMA.

Las corrientes involucradas en el sistema de evaporación son:



d) DESCRIPCION DEL METODO DE CALCULO DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DE UNA CAMARA DE EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES.

El balance global de la unidad evaporadora es:



BALANCE GLOBAL DE MASA:

$$AM = D + S$$

(ec. 3.1)

donde,

$$S = AM - D \quad (\text{ec. 3.2})$$

BALANCE DE CALOR.

$$AM(\text{HAE}) = D(\text{HEV}) + S(\text{HS}) \quad (\text{ec.3.3})$$

Sustituyendo (ec. 3.2) en (ec.3.3) :

$$AM(\text{HAE}) = D(\text{HEV}) + (AM-D)(\text{HS})$$

$$AM(\text{HAE}) = D(\text{HEV}) + AM(\text{HS}) - D(\text{HS})$$

Factorizando:

$$AM(\text{HAE} - \text{HS}) = D(\text{HEV} - \text{HS})$$

donde,

$$AM = \frac{D(\text{HEV} - \text{HS})}{(\text{HAE} - \text{HS})} \quad (\text{ec.3.4})$$

Con la temperatura del agua de mar a la salida del intercambiador y la concentración de la misma, se obtiene la entalpía del agua de mar HAE.

Se debe calcular la concentración de la salmuera a la salida de la cámara evaporadora. Se calcula con el siguiente método iterativo:

1. Suponer la concentración de la salmuera. Como primer cálculo, se puede utilizar la concentración del agua de mar a la entrada.
2. Con esta concentración supuesta y la temperatura de la salmuera a la salida de la cámara, se obtiene la entalpía HS.
3. Se calcula el incremento en la temperatura de ebullición de la solución (ver punto (v) del Anexo 1), con la temperatura de la salmuera y el factor técnico de concentración, dado por:

$$R = \text{Conc. salmuera} / 34416.$$

Y se obtiene TEB1.

4. Se calcula la temperatura del destilado a la salida de la cámara evaporadora por:

$$\text{TCD} = \text{TSC} - \text{TEB1}$$
 y se obtiene la entalpía correspondiente a esta temperatura. (HEV).
5. Los valores obtenidos se sustituyen en la ecuación (3.4), y se obtiene el flujo de agua de mar.
6. Con el valor anterior, y con la ec. (3.2) se calcula la cantidad de salmuera producida S.

7. Se calcula la concentración de la salmuera por:

$$CSC = AM(C)/S$$

Si el valor de CSC calculado es igual al que -
supuesto en (1.), el valor es correcto, si no,
se supone otro valor de concentración de la -
salmuera, el cual se calcula como la media -
aritmética del primer valor supuesto con el cal-
culado; con el nuevo valor obtenido, se regre-
sa al punto (2.) hasta que sean iguales dichas
concentraciones.

Del resto de las corrientes involucradas en el sistema de
evaporación, se calcula la cantidad de vapor necesaria en
el calentador de agua de mar, como sigue:

$$MV(L3) + AM(HAME) = S(HS) + D(HL2) \quad (\text{ec. 3.5})$$

donde,

$$MV = \frac{S(HS) + D(HL2) - AM(HAME)}{L3} \quad (\text{ec. 3.6})$$

Con la presión del vapor disponible conocida, -
se obtiene la entalpía de vaporización L3.

Con la temperatura del destilado conocida, se
calcula la entalpía correspondiente, HL2.

Con la temperatura y la concentración del agua
de mar a la entrada de la cámara, se obtiene la
entalpía HAME.

Y se calcula la temperatura del agua de mar a la en-
trada del calentador, por:

$$MV(L3) = AM(CP5)(TV - TEF) \quad (\text{ec. 3.7})$$

donde,

$$TEF = TV - [(MV(L3)) / (AM(CP5))] \quad (\text{ec. 3.8})$$

Con la temperatura TV y la concentración del
agua de mar a la entrada, se obtiene CP5.

AREA POR ETAPA.

Se calcula por:

$$AE = (DE/12)(PI)(NTI)(LOE) \quad (\text{ec. 3.9})$$

donde,

$$NTI = G/(AFT)(V)$$

$$G = AM(1/3600)(DA)$$

Los otros términos son ya conocidos.

TEMPERATURA DEL AGUA DE MAR A LA SALIDA DE CADA ETAPA.

A partir de:

$$Q = AM(CP)[TF(SS+1) - TF(SS)] \quad (\text{ec. 3.10})$$

$$\text{y } Q = U(AE)(DT) \quad (\text{ec. 3.11})$$

donde,

$$DT = \frac{[TDF(SS) - TF(SS)] - [TDF(SS) - TF(SS+1)]}{\ln \frac{TDF(SS) - TF(SS)}{TDF(SS) - TF(SS+1)}}$$

(ec. 3.12)

Sustituyendo (3.12) en (3.11):

$$Q = U(AE) \frac{[TDF(SS) - TF(SS)] - [TDF(SS) - TF(SS+1)]}{\ln \frac{TDF(SS) - TF(SS)}{TDF(SS) - TF(SS+1)}}$$

(ec. 3.13)

Iguando (3.13) y (3.10):

$$AM(CP)[TF(SS+1) - TF(SS)] = U(AE) \frac{[TDF(SS) - TF(SS)] - [TDF(SS) - TF(SS+1)]}{\ln \frac{TDF(SS) - TF(SS)}{TDF(SS) - TF(SS+1)}}$$

donde,

$$\ln \frac{TDF(SS) - TF(SS)}{TDF(SS) - TF(SS+1)} = \frac{U(AE)}{AM(CP)}$$

$$\frac{TDF(SS)-TF(SS)}{\frac{U(AE)}{E \cdot AM(CP)}} = TDF(SS)-TF(SS+1)$$

y finalmente,

$$TF(SS+1) = TDF(SS) - \frac{TDF(SS)-TF(SS)}{\frac{U(AE)}{E \cdot AM(CP)}} \quad (\text{ec. 3.14})$$

Para el cálculo de esta temperatura, se debe de seguir el siguiente método iterativo:

1. Se supone un valor de U.
2. Se calcula TF(SS+1) de la ec. (3.14)
3. Se calcula el coeficiente de condensación por:

$$Q(SS) = AM(CP(SS)) [TF(SS+1) - TF(SS)]$$

4. Se calcula el flujo másico del fluido caliente:

$$W(SS) = Q(SS) / LE(SS)$$

5. Se calcula la carga de condensado para tubos horizontales:

$$GG(SS) = W(SS) / [VT(NTI(SS))^{2/3}]$$

6. Se calcula la temperatura promedio del fluido frío:

$$TM(SS) = [TF(SS+1) + TF(SS)] / 2$$

7. Se calcula la temperatura de la pared del tubo:

$$TW(SS) = TM(SS) + [HIO / (HIO + HI)] [TDF(SS) - TM(SS)]$$

$$HIO = HI (DI / DE)$$

8. Se calcula la temperatura de película:

$$TP(SS) = 0.5 [TM(SS) + TW(SS)]$$

9. Se calcula el valor promedio de la película condensante:

$$HD(SS) = [1.5 (4GG(SS) / (MM(SS) (2.42))^{-1/3}) [(MM(SS) (2.42))^2 / (KC(SS)^3 \times VEE(SS)^2 (CGD))]^{1/3}]$$

Las propiedades físicas de la ecuación anterior, se evalúan a la temperatura TP(SS).

10. Se calcula el coeficiente de transferencia de calor:

$$UC(SS) = 1 / [(1/HIO) + (1/HD(SS))]$$

$$UD(SS) = 1 / [(1/UC(SS)) + 0.001]$$

11. Se compara el valor de la U supuesta con la UC(SS) calculada; si no son iguales, se hace una media aritmética entre ambos, con el valor obtenido, se sustituye en (ec. 3.14), para obtener otra TF(SS+1), y se calcula todo nuevamente hasta que el valor supuesto de U sea igual al calculado.
12. Una vez que se llega a igualar el valor de U, se calcula el incremento de temperatura entre las etapas, por:

$$\Delta T(SS) = TC(SS+1) - TC(SS)$$

Con las ecuaciones anteriores, se determinan las condiciones de operación de cada etapa.

Estas ecuaciones, son las principales para la realización del Balance de Materia y Energía. Se utilizan para - cada etapa de la Cámara Evaporadora, para conocer las condiciones de temperatura y flujo presentes en cada una de ellas, como si fueran independientes tomándo los datos - de la etapa previamente calculada.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5. PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA EL CALCULO DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA, EN UNA CAMARA DE EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES, DE UNA CAPACIDAD DADA .

El programa para el cálculo del Balance de Materia y Energía en una Cámara de Evaporación Instantánea, se realizó en lenguaje Basic, en discos flexibles.

A continuación, se presenta: El Diagrama de Bloques, El Diagrama de Flujo, La Descripción del Programa y la Codificación. A partir de la Descripción del Programa, se puede asimilar la estructura del mismo; qué datos debe de introducir el usuario y qué es lo que va a obtener. Se presenta en forma detallada, paso a paso, lo que el programa realiza, para que en un futuro, si se quiere hacer una ampliación o bien una adaptación al programa, se pueda hacer sin dificultad.

Por razones implícitas en el programa, éste trabaja las variables en unidades de los siguientes sistemas: Sistema Internacional, Sistema Inglés y Sistema Métrico. La impresión de resultados se hace en los Sistemas Métrico e Inglés.

Una vez que el usuario introduce todos los datos requeridos y se procede a la ejecución del programa, deberá accesar los datos que durante ésta se le preguntará; es decir, la longitud de cada etapa (ft). Posteriormente, se presentarán las Tablas que muestran los resultados del Balance en cada una de las corrientes involucradas en el sistema.

DIAGRAMA DE BLOQUES.

DIAGRAMA DE BLOQUES

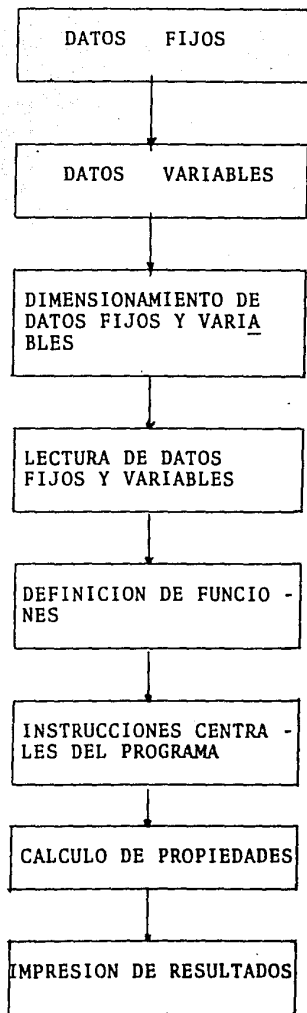
GENERAL

DIAGRAMA DE BLOQUES

PARTICULAR.

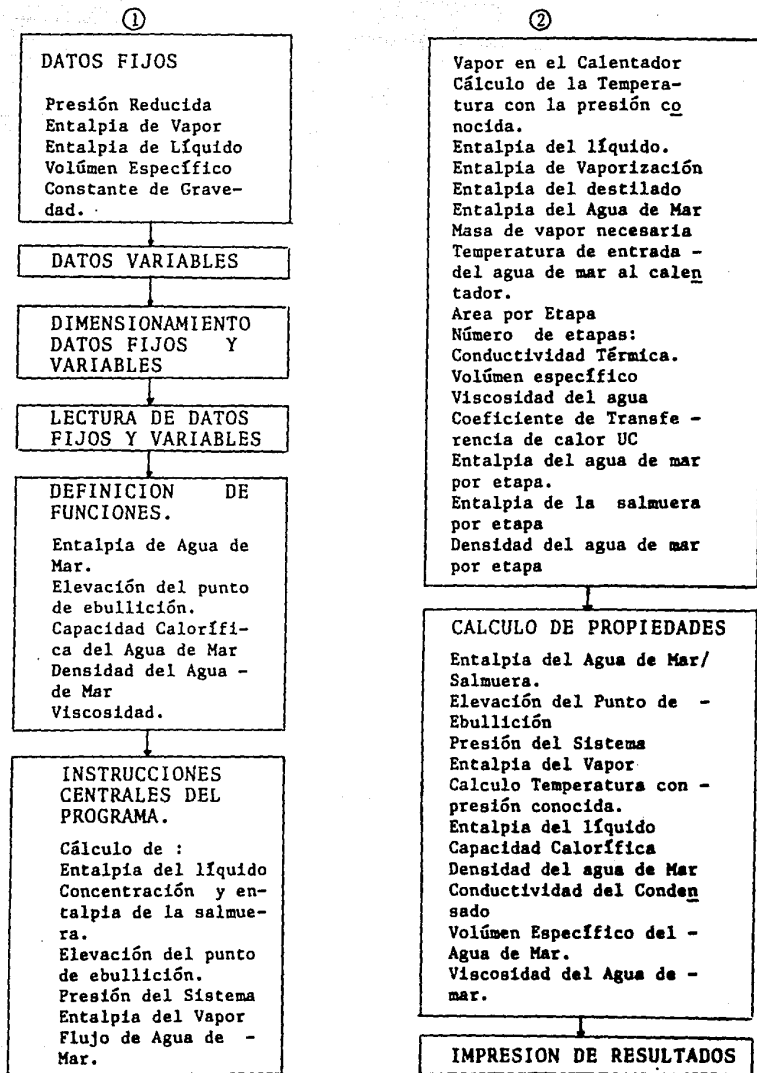
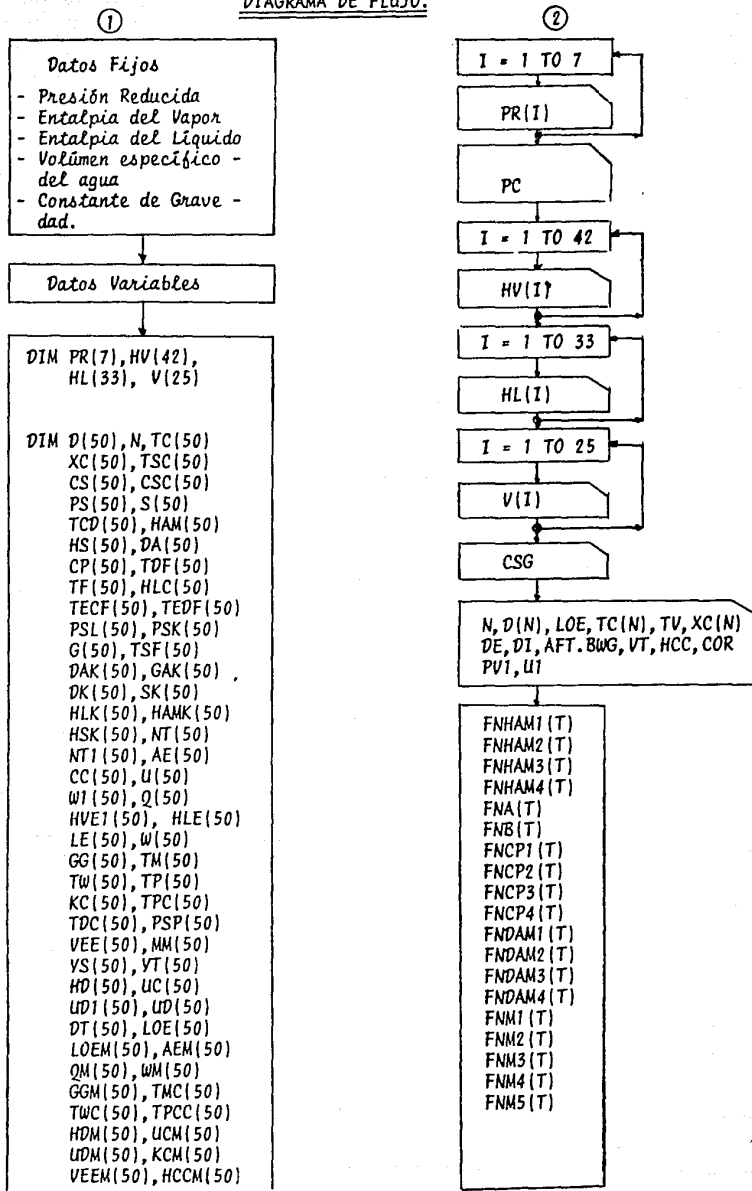
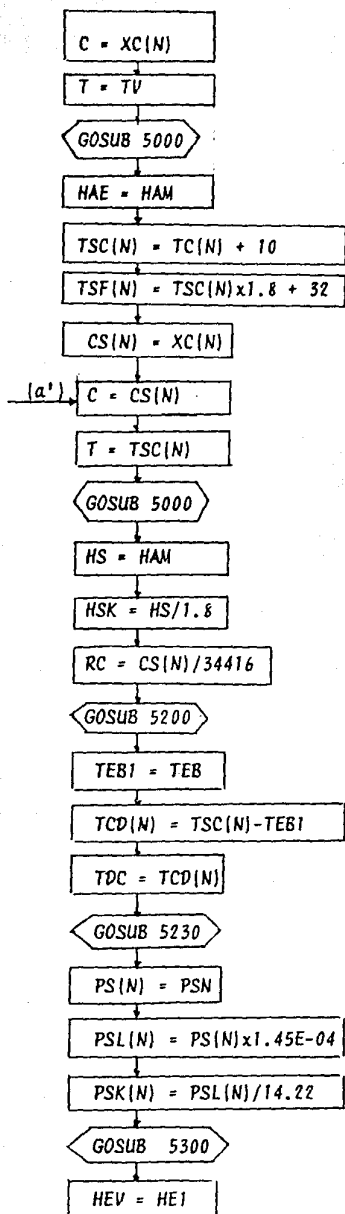


DIAGRAMA DE FLUJO

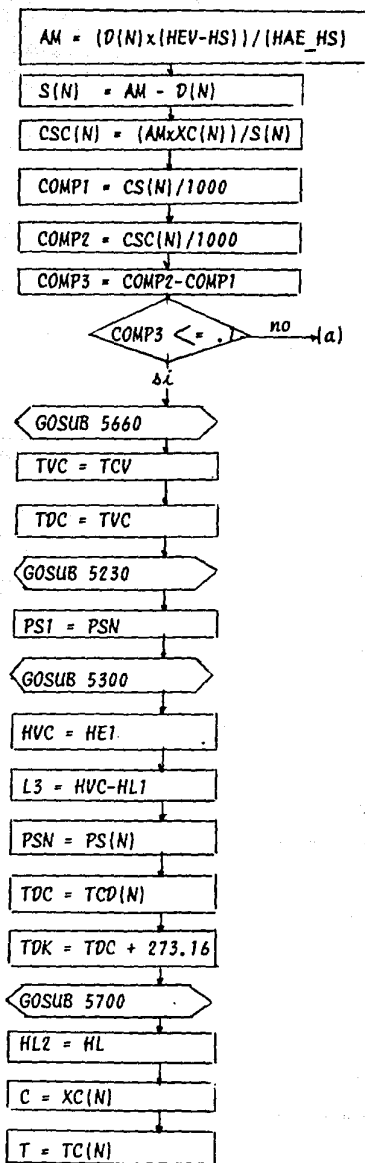
DIAGRAMA DE FLUJO.



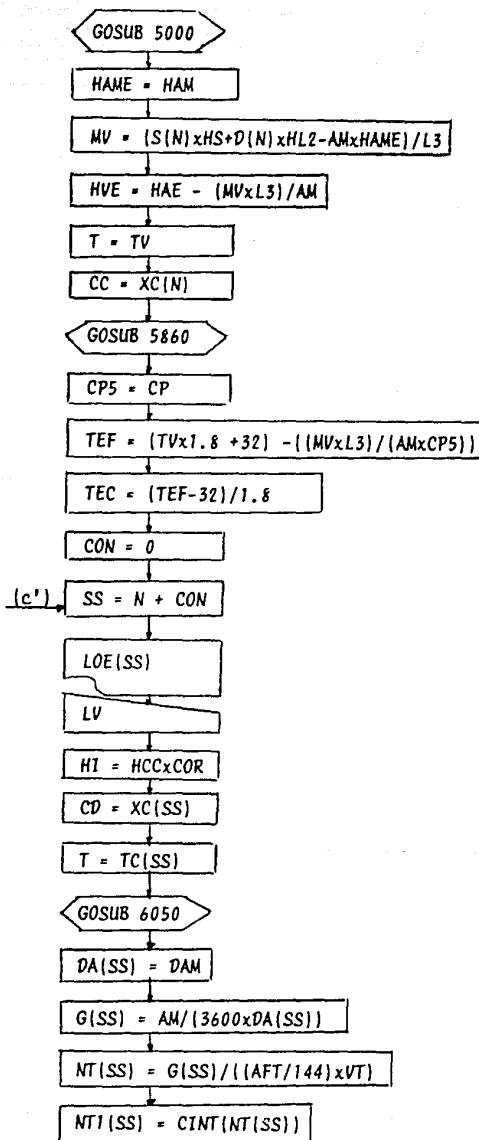
③



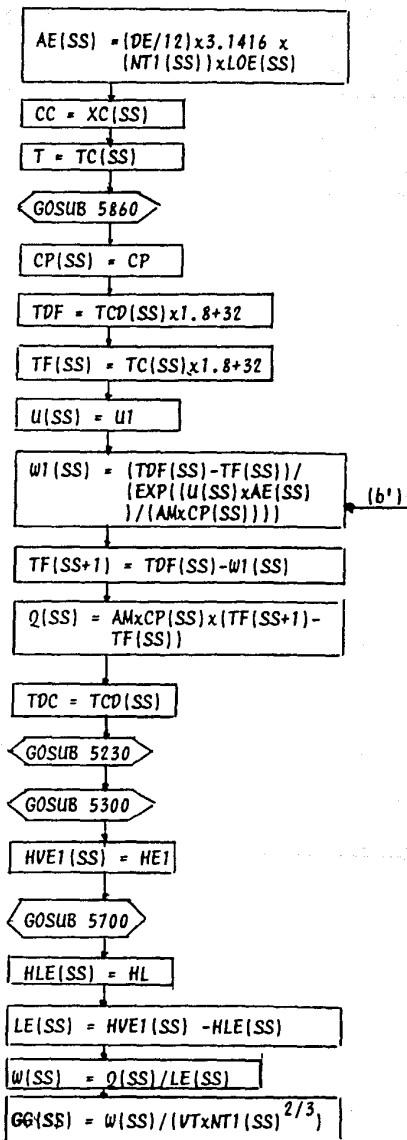
④



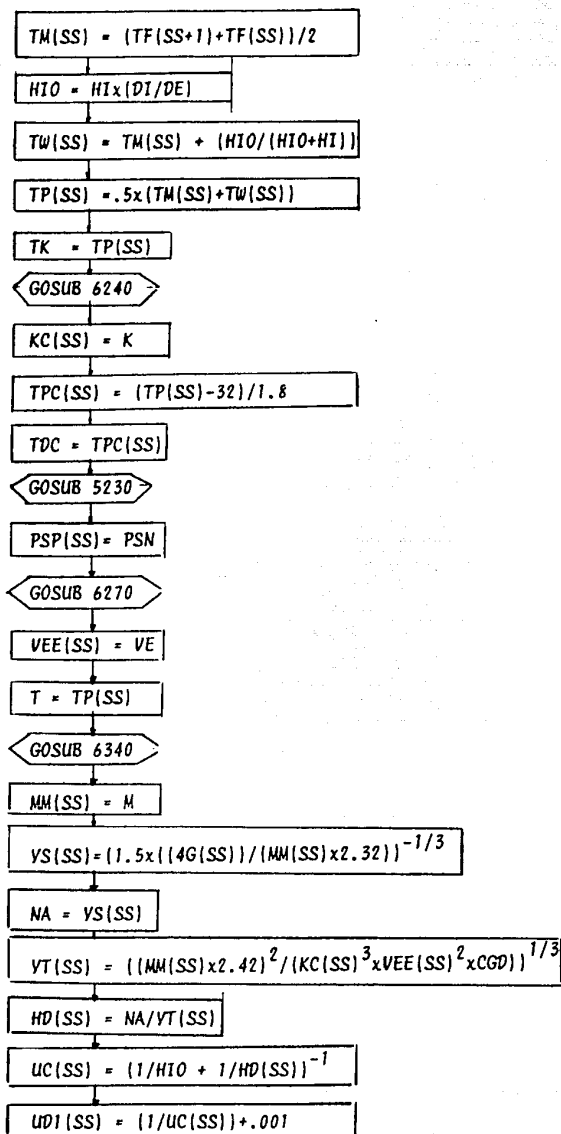
⑤



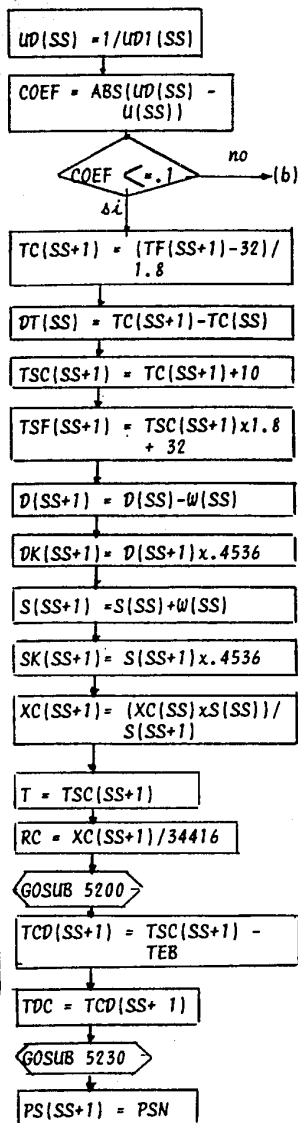
⑥



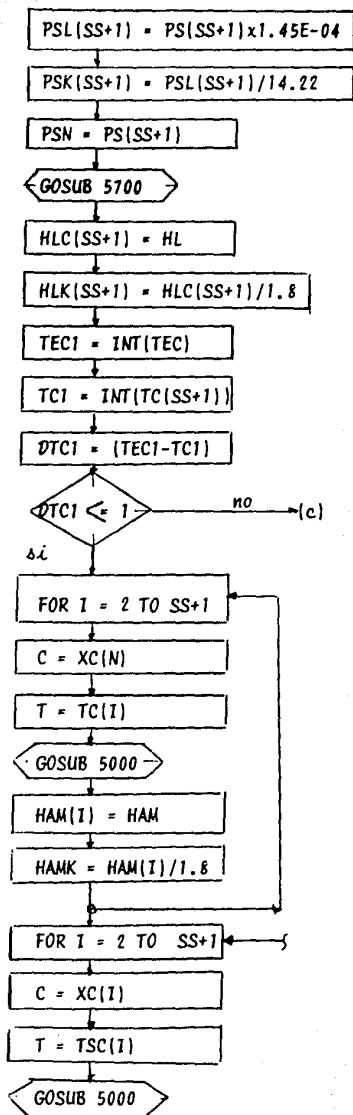
⑦



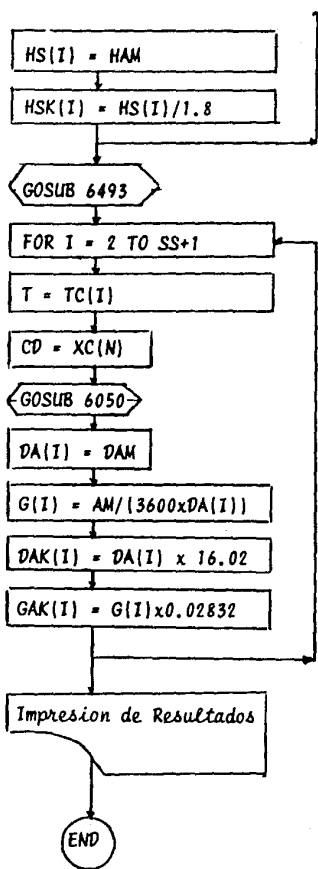
⑧



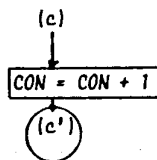
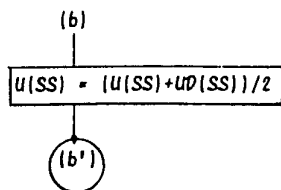
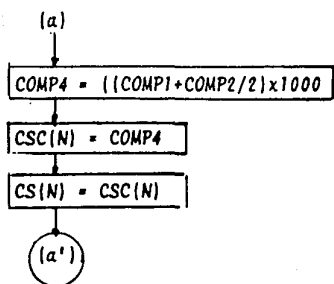
9



10



Secuencia de los ramales de cada condicional presente en el programa.



Identificación de Subrutinas empleadas en el programa.

(NOTA.- No se realiza el desgloce de instrucciones de cada subrutina por simplificación)

NUMERO DE SUBRUTINA	DESCRIPCION
5000	Cálculo de la Entalpia de Agua de Mar/Salmuera.
5200	Elevación del Punto de Ebullición.
5230	Presión del Sistema.
5300	Entalpia del Vapor.
5660	Cálculo de la <u>Temperatura</u> a partir de su <u>presión</u> conocida.
5700	Entalpia del Líquido.
5860	Capacidad Calorífica.
6050	Densidad del agua de Mar.
6240	Conductividad del <u>Condensado</u> .
6270	Volúmen específico del - agua de mar.
6340	Viscosidad del Agua de Mar .

DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

1. En la primera parte del listado, se encuentran los datos fijos que el programa emplea para el cálculo de : la presión reducida, la entalpia del vapor, el volúmen específico del agua y la constante de gravedad. Enseguida de los datos fijos se encuentran los datos variables, los cuales se describen en el punto No.2; así como el dimensionamiento y lectura de los mismos.

2. El usuario debe introducir en la parte de "DATOS VARIABLES", dentro del programa, separados por coma, la información siguiente, en el mismo orden como se presentan a continuación:

a) Flujo másico de destilado a obtener, en lb/hr.	[D]
b) Longitud de la etapa, en ft.	[LOE]
c) Temperatura del agua de mar a la entrada de la cámara evaporadora, en °C.	[TC(N)]
d) Temperatura del agua de mar a la salida del intercambiador de calor - entrada a la primera tapa de la evaporadora de agua de mar. Considerar que dicha temperatura está en función del método antiincrustante seleccionado. Se expresa en °C.	[TV]
e) Concentración del agua de mar a la entrada de la cámara evaporadora, en ppm.	[XC(N)]
f) Diámetro externo de los tubos de la cámara evaporadora en pulgadas. Se recomienda de 5/8".	[DE]
g) Diámetro interno de los tubos de la cámara evaporadora en pulgadas.	[DI]
h) Area de flujo por tubo, en pulgadas cuadradas.	[AFT]
i) Calibre del tubo.	[BWG]
j) Velocidad en los tubos de la cámara evaporadora, en ft/seg. Se recomienda un rango de 5 - 7 ft/seg.	[VT]
k) Coeficiente de transferencia, leído de la gráfica Fig. 25 de la Ref. Bibliográfica No. 10. Así como su factor de corrección. Se expresa en BTU/hr.ft ² °F.	[HCC] [COR]

- 1) Presión a la que se dispone el vapor en lb/in^2 . [PV1]
 m) Coeficiente de transferencia de calor U^* (supues- [U1]
 ta), en $\text{BTU/hr.ft}^2\text{°F}$.
3. Se tiene una sección de definición de funciones, las cuales se describirán posteriormente, según las utilice el programa.
4. El programa calcula con TV [=] °C y C(N) [=] ppm, la entalpia del agua de mar : HAE [=] BTU/lb ; con las opciones de interpolar para concentraciones entre 20, 30, 34.416, y 40 ppm.

El programa asigna $T=TV$ y $C=C(N)$. Las ecuaciones de entalpia para cada una de las concentraciones antes mencionadas y para un rango de temperatura de $20\text{°C} - 90\text{°C}$, dadas en cal/g , se calcularon por regresión lineal de los datos mostrados en el Anexo I, punto vii, Tabla 7.B "PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR".

Dichas ecuaciones, se presentan a continuación:

CONCENTRACION (ppm)	ECUACION DE ENTALPIA DEL AGUA DE MAR COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA. (cal/g)
20,000	HAM1(T) = -0.084047619 + 0.976369047.T
30,000	HAM2(T) = -0.164761904 + 0.964904761.T
34,416	HAM3(T) = -0.224166666 + 0.960416666.T
40,000	HAM4(T) = -0.550593406 + 0.959443956.T

Estas ecuaciones se encuentran definidas en la sección de funciones como: FNHAM1(T), FNHAM2(T), FNHAM3(T) y FNHAM4(T).

En la Subrutina No. 5000, se calcula la Entalpia del Agua de mar/Salmuera.

Si el valor de la concentración del agua de mar a la que se va a calcular la entalpia en BTU/lb, es exactamente igual a : 20 000.0 , 30 000.0 , 34 416 ó 40 000 ppm, lo calcula directamente en las líneas No. 5010, 5030, 5050 y 5070 respectivamente.

Si el valor de la concentración del agua de mar, está entre las mencionadas anteriormente, hará una interpolación lineal - con las siguientes ecuaciones:

INTERVALO (ppm)	ENTALPIA DEL AGUA DE MAR. (cal/g)
20,000-30,000	$H_{12} = [(C-20000)/10000][HAM2(T)-HAM1(T)]+HAM1(T)$
30,000-34,416	$H_{23} = [(C-30000)/4416][HAM3(T)-HAM2(T)]+HAM2(T)$
34,416-40,000	$H_{34} = [(C-34416)/5584][HAM4(T)-HAM3(T)]+HAM3(T)$

Para cada caso, C corresponde a la concentración en ppm. a la que se quiere evaluar la entalpia y que no es 20,000 ; 30,000 ; 34,416 ni 40,000. El programa asigna :

$$C = XC(N)$$

* El subíndice 12 indica que es la entalpia interpolada entre la ecuación 1 y 2 (HAM1 y HAM2) , que corresponden a la concentración de 20,000 y 30,000 respectivamente .

El programa calcula la entalpia en BTU/lb :

$$HAM = H_{12} \times 1.8$$

* Así mismo, los subíndices 23 y 34 , indican que es la entalpia interpolada entre las ecuaciones 2 y 3 ó 3 y 4, según sea el caso; y corresponden a la concentración de 30,000 y 34,416- ó 34,416 y 40,000, respectivamente.

El programa calcula las entalpias en BTU/lb:

$$\text{HAM} = \text{H23} \times 1.8$$

$$\text{HAM} = \text{H34} \times 1.8$$

Estas entalpias, las calcula en las subrutinas No. 5100, 5130 y 5160.

El valor de entalpia calculado, lo asigna a :

$$\text{HAE} = \text{HAM}$$

en donde HAE corresponde a la entalpia del agua de mar a la entrada de la primera etapa.

5. El programa calcula la concentración de la salmuera a la salida de la cámara evaporadora CS(N), por el siguiente método iterativo:

- a) Suponer un valor de concentración a la salida. Como primer cálculo, se utilizará el valor de la concentración de entrada, el cual será posteriormente corregido:

$$\text{CS}(N) = \text{C}(N)$$

- b) El incremento de temperatura, entre la temperatura del agua de mar a la entrada de la cámara evaporadora y la temperatura de la salmuera a la salida de la misma, es de 10°C, por lo que:

$$\text{TSC}(N) = \text{TC}(N) + 10$$

A esta TSC(N) [=]°C, y a la CS(N) supuesta - (ppm), calcula la entalpia de la salmuera, con las mismas ecuaciones definidas en el punto anterior; para lo cual, tiene que asignar estos nuevos valores a las variables definidas en la ecuación, es decir:

$$\text{C} = \text{CS}(N)$$

$$\text{T} = \text{TSC}(N)$$

Calcula con esto la entalpia de la salmuera - HS en BTU/lb. Asignando el valor que obtuvo en la subrutina a la variable HS:

$$\text{HS} = \text{HAM}$$

- c) Cálculo del incremento en la temperatura de ebullición de la solución. (TEB [=]°C)

[Ver Anexo I, punto v, Tabla
5.A "PROPIEDADES DEL AGUA -
DE MAR"]

ECUACION QUE DE- FINE TEB [=]°C .	CONSTANTES DE LA EC. COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA
TEB = A.RC + B.RC ²	$A(T) = 0.2009 +$ $0.2867E(-2).TSC +$ $0.0020E(-4).TSC^2$ $B(T) = 0.0257 +$ $0.1930E(-2).TSC +$ $0.0001E(-4).TSC^2$

Factor técnico de concentración :

$$RC = CS(N)/34,416.$$

Dichas constantes, se tienen definidas - como funciones de la temperatura, en la sección correspondiente del programa como:

FNA (T)
FNB (T)

En la subrutina No. 5200, se calcula la elevación en la temperatura de ebullición TEB [=]°C.

La temperatura del destilado a la salida de la cámara evaporadora, TCD(N) [=]°C lo calcula por:

$$TCD(N) = TSC(N) - TEB1$$

donde, TEB1 es el valor asignado de TEB, a esa variable. Y asigna el valor calculado:

$$TDC = TCD(N)$$

- d) Se calcula la entalpia del vapor a la temperatura de TDC.

El programa calcula, a esa temperatura, la presión del sistema por medio de las ecuaciones de la IFC - 1967 para uso Industrial- Propiedades Termodinámicas del agua - [Ver Anexo II].

Estas ecuaciones, están definidas, para utilizar - el Sistema Internacional de Unidades (SI), por lo - que, en la subrutina No. 5230, donde se calcula la presión del sistema, calcula la temperatura en °K :

$$TDK = TDC + 273.16 .$$

Al principio del programa, en los datos fijos, se - tienen los datos con los cuales el programa calcula la presión reducida (BK), y con la Presión Crítica, (PC), obtiene la Presión del Sistema (PSN), en N/m²:

$$PSN = \exp(BK) .PC$$

donde PC está definida en las líneas de datos fijos:

$$PC = 22,120.000.0$$

El programa asigna PSN a:

$$PS(N) = PSN$$

Con esta PS(N), calcula la entalpia del vapor en la Subrutina 5300.

Para el conocimiento de las fórmulas empleadas para el cálculo de la entalpia, referirse al Anexo - II.

De manera general, el cálculo de la entalpia del - vapor consiste en:

Se calcula primero la entalpia reducida, la cual - está constituida por 42 constantes, definidas en la sección de datos fijos del programa. Así mismo, se tienen definidos en esa sección:

$$\text{Presión Crítica : } PC = 22\ 120\ 000.0 \text{ J/m}^3$$

$$\text{Volúmen Crítico : } VC = 0.00317 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Y finalmente, con los valores anteriores, se calcula la entalpia específica del vapor (J/kg) :

$$HE = H.PC.VC \quad ; \text{ donde H = entalpia reducida}$$

Calcula la entalpia específica del vapor en BTU/lb:

$$HE1 = \frac{\text{Joule}}{\text{kg}} \times \frac{0.0009478 \text{ BTU}}{\text{Joule}} \times \frac{1\text{kg}}{2.205 \text{ lb}}$$

$$HE1 = HE \times 4.298412698E(-04)$$

El programa asigna el valor calculado a :

$$HEV = HE1$$

- e) Una vez obtenida la entalpia especifica del vapor, el programa calcula el flujo de agua de mar necesario a alimentar a la cámara evaporadora por la siguiente ecuación:

$$AM = [D(N) \cdot (HEV - HS)] / [HAE - HS]$$

$$AM [=] \text{ lb/hr}$$

De la cual, ya conoce cada término que la constituye.

- f) Calcula la cantidad de salmuera producida por :

$$S(N) = AM - D(N) [=] \text{ lb/hr}$$

- g) Se hace la comparación de concentraciones para corregir la primera que se supuso, a partir de:

$$AM \cdot C(N) = S(N) \cdot CSC(N)$$

$$CSC(N) = AM \cdot C(N) / S(N)$$

donde, $CSC(N)$ = concentración de la salmuera corregida.

Si $CSC(N)$ es igual a la que supusimos en el punto 5.a [$CS(N)$], entonces está correcto, si no, se supone otro valor de concentración de la salmuera, que está dado por:

$$COMP4 = \frac{\frac{CS(N)}{1000} + \frac{CSC(N)}{1000}}{2} \times 1000$$

y asigna éste último valor a la variable:

$$CSC(N) = COMP4$$

$$y \quad CS(N) = CSC(N)$$

Con este valor, se hacen nuevamente los cálculos descritos en el punto 5, hasta que resulten iguales la concentración de la salmuera a la salida de la cámara evaporadora supuesta con la calculada.

6. Cálculo de la cantidad de vapor en el Intercambiador de Calor.

La cantidad de vapor necesaria para el intercambiador de calor se calcula por:

$$MV = \frac{S.HS + D.HD - AM.HAM}{L}$$

El programa ya conoce los siguientes valores:

S, HS, D y AM .

- a) Con la presión que introduce el usuario, como la de vapor disponible, se calcula la temperatura que le corresponde a esa presión, y con estos datos, se obtendrá la entalpia del vapor y del líquido. La diferencia de estas, nos dará la entalpia de vaporización, L .

El cálculo de la temperatura, con la presión conocida, se hace en la Subrutina No. 5660, a partir de:

Correlación de Antoine:	$\log p^{\circ} \text{ (mmHg)} = A - B/[T(^{\circ}\text{C})+C]$
Rango de temperatura :	60-150 $^{\circ}\text{C}$ (140-302 $^{\circ}\text{F}$)
Rango de presión :	(2.8890-69.033 PSIA)
Constantes de la ecuación de Antoine:	A = 7.96681 B = 1668.21 C = 228.00

Sustituyendo los valores, y dejando la correlación como función de la presión , se tiene:

$$T(^{\circ}\text{C}) = [1668.21/[7.96681 - \log P1]] - 228.0$$

$$\text{donde, } P1 = [PVI(\text{lb}/\text{in}^2) + 14.7][51.171 \text{ mmHg}/\text{lb}/\text{in}^2]$$

$$P1 = (PVI + 14.7)(51.171) \quad [=] \text{ mmHg}$$

por lo que:

$$TCV = [1668.21/[7.96681 - \log[(PVI+14.7)(51.171)]]] - 228.00$$

Este valor calculado en la subrutina descrita, lo asigna a :

$$TVC = TCV$$

Con ésta temperatura calcula la presión del sistema en S.I. en la subrutina 5230: PSI = PSN ; y con estos valores, calcula la entalpia del vapor en la Subrutina 5300, en BTU/lb como HVC.

Del mismo modo, calcula la entalpia del líquido (HL1) en la subrutina 5700. A semejanza del cálculo de la entalpia del vapor, se tiene:

Se calcula primero, la entalpia reducida, con las constantes anteriormente definidas; y con la presión y el volumen críticos, se obtiene la entalpia específica del líquido por:

$$HEL = HRL \cdot PC.VC \quad , \text{ donde: HRL= entalpia reducida del líquido.}$$

$$HEL [=] \text{ J/Kg}$$

$$HL = HEL \times 4.298412698E(-04)$$

Asigna el valor obtenido a : HL1 = HL

Con lo anterior, se puede calcular la entalpia de vaporización, por:

$$L3 = HVC-HL1$$

b) Cálculo de la entalpia del destilado.

Con la temperatura ya calculada TDC = TCD(N), se obtiene la entalpia del destilado en la Subrutina 5700, calculando previamente la presión en la subrutina 5230, antes mencionada, y asigna el valor a:

$$PSN = PS(N)$$

$$HL2 = HL$$

c) Cálculo de la entalpia del agua de mar.

Con la temperatura TC(N) y la concentración C(N), calcula la entalpia del agua de mar a la entrada de la cámara evaporadora, en la Subrutina No. 5000 (HAME).

Con lo anterior, ya se puede calcular la cantidad de vapor necesario:

$$MV = \frac{S.HS + D.HL2 - AM.HAME}{L3}$$

7. Cálculo de las condiciones de entrada del agua de mar al calentador.

Del Balance de Materia y Energía se tiene que:

$$HVE = HAE - [MV.L3/AM]$$

$$MV.L3 = AM.(CPAM)(TV-TEF)$$

La primera ecuación, la calcula el programa directamente, ya que cada término es conocido.

En la segunda ecuación se tienen los siguientes términos:

L3, calor en el intercambiador. Corresponde al valor calculado anteriormente.

AM, flujo de agua de mar, ya conocido.

TV, temperatura a la salida del intercambiador, ya conocida.

TEF, temperatura a la entrada del intercambiador, la cual, es la variable que se va a calcular.

CPAM, capacidad calorífica del agua de mar, evaluada a las condiciones de TV y la concentración del agua de mar a la entrada C(N).

El programa asigna: T=TV, y CC=XC(N)

- a) Evaluación de la Capacidad Calorífica , en función de la temperatura y la concentración.

El programa calcula, con T y CC, la Capacidad Calorífica en BTU/lb°F, con opciones de interpolar para concentraciones entre 20, 30, 34.416 y 40 ppm.

Las ecuaciones de Capacidad Calorífica para cada una de las concentraciones mencionadas, y para un rango de temperatura de 20-90°C, se calcularon por regresión lineal, de los datos mostrados en el Anexo I , punto vii, Tabla 7.A .

A continuación se presentan dichas ecuaciones:

CONCENTRACION (ppm)	ECUACION DE CAPACIDAD CALORIFICA COMO FUN - CION DE LA TEMPERATU - RA. (BTU/lb°F)
20,000	CP1(T) = 0.970166666 + 0.000108333.T
30,000	CP2(T) = 0.958464285 + 0.000114285.T
34,416	CP3(T) = 0.952547619 + 0.000130952.T
40,000	CP4(T) = 0.946428571 + 0.000128571.T

Estas ecuaciones se encuentran definidas en la sección de funciones como: FNCP1(T), FNCP2(T), FNCP3(T), FNCP4(T).

El cálculo de la Capacidad Calorífica del agua de mar, lo realiza en la Subrutina 5860.

Si el valor de la concentración del agua de mar a la que se va a evaluar la capacidad calorífica, es exactamente 20,000 ; 30,000 ; 34,416 ó 40,000 ppm lo calcula directamente en las líneas 5870, 5890, 5910 y 5930.

Si el valor de la concentración del agua de mar está entre las mencionadas anteriormente, el programa hará una interpolación lineal con las siguientes ecuaciones:

INTERVALO (ppm)	CAPACIDAD CALORIFICA DEL AGUA DE MAR (BTU/lb°F)
20,000-30,000	$CP12 = [(CC-20,000)/1000][CP2(T)-CP1(T)]+CP1(T)$
30,000-34,416	$CP23 = [(CC-30,000)/1000][CP3(T)-CP2(T)]+CP2(T)$
34,416-40,000	$CP34 = [(CC-34,416)/5,584][CP4(T)-CP3(T)]+CP3(T)$

Para cada caso, CC corresponde a la concentración (ppm) , a la que se quiere evaluar la capacidad calorífica, y no es : 20,000; 30,000; 34,416 ni 40,000.

Cada subíndice, corresponde al número de ecuación con las que se está interpolando. Es decir, 12 significa que se utilizó la ecuación 1 y 2, que corresponden a las concentraciones de 20,000 y 30,000. De la misma forma los subíndices 23 y 34 según se utilicen las ecuaciones 2 y 3 ó 3 y 4 para cada intervalo de concentración descrito anteriormente.

El programa asigna, según el rango que se encuentre:

$$\begin{aligned}
 & CP = CP12 \\
 & CP = CP23 \\
 \text{y} & CP = CP34 \\
 & CP5 = CP
 \end{aligned}$$

b) Cálculo de la temperatura a la entrada del intercambiador de calor.

De la ecuación anteriormente presentada, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 TEF &= TV - [(MV.L3)/(AM.CP5)] \\
 TEF [=] &^{\circ}F
 \end{aligned}$$

***** Termina Balance de Masa y Energía *****

8. Cálculo del área por etapa.

En esta parte del programa, el usuario deberá acceder la longitud de cada etapa, según se la pregunte el programa, en ft. [LOE (SS)]

El programa asigna:

$$\begin{aligned} CD &= XC(N) \\ T &= TC(SS) \end{aligned}$$

donde, SS es un contador para cada etapa.

a) Cálculo del número de Tubos.

El número de tubos se calcula por:

$$\text{No. Tubos} = G / (A_t \cdot V)$$

donde, G = flujo volumétrico de agua de mar, (ft³/seg).
 A_t = área por tubo ; término conocido, (ft²/tubo).
 V = Velocidad del fluido; término conocido, (ft/seg).

El flujo volumétrico se calcula por:

$$G = AM \text{ (lb/hr)} \times \text{1hr/3600seg} \times \text{1ft}^3/\text{lb}$$

De ésta ecuación se debe de calcular la densidad del agua de mar.

- Densidad del agua de mar.

El programa tiene definidas, las funciones que representan la densidad del agua de mar, para concentraciones de 20, 30, 34.416 y 40 ppm; en un rango de temperatura de 20-70°C. Las ecuaciones se obtuvieron por regresión lineal de los datos mostrados en el Anexo I, punto iii Tabla 3.A.

Dichas ecuaciones se presentan a continuación:

CONCENTRACION (ppm)	ECUACION DE DENSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA (lb/ft ³)
20,000	DAM1(T) = 1.022773333 - 0.000422.T
30,000	DAM2(T) = 1.030190476 - 0.000425714.T
34,416	DAM3(T) = 1.033520952 - 0.000423428.T
40,000	DAM4(T) = 1.037756190 - 0.000428285.T

Estas ecuaciones se encuentran definidas en la sección de funciones como: FNDAM1(T) , FNDAM2(T), FNDAM3(T) y FNDAM4(T).

En la Subrutina No. 6050 se calcula la densidad del agua de mar.

Si el valor de la concentración del agua de mar a la que se va a evaluar la densidad es exactamente 20,000; 30,000 ; 34,416 ó 40,000 ppm, la calcula directamente en las líneas: 6060, 6080, 6100 y 6120.

Si el valor de la concentración del agua de mar está entre los mencionados anteriormente, hará una interpolación lineal con las siguientes ecuaciones:

INTERVALO (ppm)	DENSIDAD DEL AGUA DE MAR
20,000-30,000	$D12 = [(CD-20,000)/10,000][DAM2(T)-DAM1(T)] + DAM1(T)$
30,000-34,416	$D23 = [(CD-30,000)/4,416][DAM3(T) -DAM2(T)] + DAM2(T)$
34,416-40,000	$D34 = [(CD-34,416)/5,584][DAM4(T) -DAM3(T)] + DAM3(T)$

Para cada caso, CD corresponde a la concentración ,ppm. a la que se desea evaluar la densidad; y no es 20000 30000, 34416 ni 40000.

Como en los casos anteriores, el subíndice indica el número de la ecuación a la que se está interpolando: 12 , 23 y 34 , según sean las ecuaciones 1, 2, 3 ó 4 con sus respectivas concentraciones.

El programa calcula la densidad en lb/ft³ :

$$DAM = D12 \times 62.4$$

$$DAM = D23 \times 62.4$$

$$DAM = D34 \times 62.4$$

y asigna el valor a:

$$DA(SS) = DAM$$

Así, ya se puede calcular el flujo volumétrico del agua de mar, por:

$$G(SS) = AM/[3600 \times DA(SS)]$$

Y con éste valor, se calcula el número de tubos, con la ecuación antes presentada.

El programa hace la aproximación a número entero, para el número de tubos por:

$$NT1(SS) = CINT[NT(SS)]$$

Finalmente, se calcula el área por etapa, por:

$$AE(SS) = (DE/12) \times PI \times NT1(SS) \times LOE(SS)$$

$$AE [=] \text{ft}^2/\text{etapa}$$

$$PI = \text{cte. } 3.141592654$$

9. Cálculo de la temperatura del agua de mar a la salida de cada etapa.

Del Balance de Materia y Energía, se tiene la sig. - ecuación para el cálculo de la temperatura de salida de cada etapa:

$$TF(SS+1) = TDF(SS) - \frac{[TDF(SS) - TF(SS)]}{EXP\{(U(SS) \times AE)/(AM \times CP(N))\}}$$

$$TDF(SS) = TCD(SS) \times 1.8 + 32$$

$$TF(SS) = TC(SS) \times 1.8 + 32$$

Se inicia el siguiente método iterativo:

- Se comienza con un valor de U^* (supuesto, introducido por el usuario anteriormente).
- Con éste valor de U^* se calcula $TF(SS+1)$.
- Se calcula el coeficiente de condensación.
- Se calcula: el flujo másico del fluido caliente, la carga de condensado, la temperatura de la pared del tubo, la temperatura de película, el coeficiente de película condensante y el coeficiente de transferencia de calor U_c y U_d .
- Se compara el valor de U^* con el calculado, si es igual, el valor es correcto, sino, se supone otro valor y se calcula desde el inciso b) hasta que sea igual el valor de U supuesto con el calculado.
- Cuando sean iguales, la Temperatura calculada con esa U será la temperatura que se tiene a la salida de la etapa SS .

Desgloce del cálculo por el método iterativo:

- a) El valor de U^* lo tiene el programa en la sección de datos variables, introducidos previamente por el usuario .
- b) Se calcula el primer valor de la temperatura $TF(SS+1)$, de la ecuación dada anteriormente.
- c) Se calcula el coeficiente de condensación por:

$$Q(SS) = AM \times CP(SS) \times [TF(SS+1) - TF(SS)]$$

- d)-El flujo másico del fluido caliente está dado por:

$$W(SS) = Q(SS)/LE(SS)$$

donde, $LE(SS)$ es el calor latente de vaporización a la temperatura $TCD(SS)$; por lo que el programa calculará primero la entalpia del vapor y del líquido (Subrutinas No. 5230 y 5300) y su diferencia es $LE(SS)$.

- Se calcula la carga de condensado para tubos horizontales, por:

$$GG(SS) = W(SS)/[VT \times NT1(SS)^{2/3}]$$

- Temperatura promedio del fluido frío:

$$TM(SS) = [TF(SS+1) + TF(SS)] / 2$$

- Temperatura de la pared del tubo:

$$TW(SS) = TM(SS) + [HIO/(HIO+HI)][TDF(SS)-TM(SS)]$$

donde, $HIO = HI \times (DI/DE)$

- Temperatura de película:

$$TP(SS) = 0.5 [TM(SS) + TW(SS)]$$

- Valor promedio del coeficiente de película condensante

$$HD(SS) = [1.5(4GG(SS)/(MM(SS) \times 2.42)^{-1/3}) / YT(SS)$$

$$YT(SS) = [(MM(SS) \times 2.42)^2 / (KC(SS)^3 \times VEE(SS)^2 \times CGD)]^{1/3}$$

A la temperatura de película TP(SS) se evalúan las propiedades que se utilizan en la ecuación anterior; las propiedades son:

- * Conductividad térmica [KC(SS)].- Se evalúa en la subrutina No. 6240, por medio de la siguiente ecuación:

$$K = 0.315116402 + 0.000471277 TK$$

$$K [=] \text{BTU/hr.ft}^2\text{°F}$$

$$TK = TP(SS) ; \text{Rango aplicable : } 32 - 176\text{°F} .$$

- * Volúmen específico del agua [VEE(SS)].- Se evalúa en la subrutina No. 6270. Se basa en las ecuaciones de la IFC'67 (Ref. Bibliográfica no. 20). La ecuación general para su obtención es:

$$v = x.vc$$

$$v = \text{volúmen específico}$$

$$x = \text{volúmen reducido}$$

$$vc = \text{volúmen crítico}$$

A la temperatura de película, evalúa la presión del sistema en la subrutina No. 5230, en grados centígrados:

$$TPC(SS) = [TP(SS) - 32]/1.8$$

$$TDC = TPC(SS)$$

Con la presión conocida, se calcula el volúmen reducido . El desarrollo de dicha ecuación no se presenta aquí , ya que su desarrollo es amplio y se puede consultar en la referencia citada.

De manera general, se puede decir , que es una ecuación, que utiliza 25 datos fijos; los cuales están contenidos en la sección correspondiente en el programa.

Para obtener el volúmen específico en lb/ft³ se tiene:

$$VEE = [(X1 \times 0.00317)^{-1}][0.06243]$$

y asigna el valor obtenido a:

$$VEE(SS) = VEE$$

- * Viscosidad del agua {MM(SS)}.- Se evalúa en la subrutina No. 6340.

El programa con $T = TP(SS)$, en °F, calcula la viscosidad del agua en centiPoises (cP), con las opciones de inter polar sobre un rango de temperaturas, que se muestran a continuación:

Rango de Temperatura (°F)	Viscosidad del agua $f(T)$ (cP)
70 - 100	$M1(T) = 1.581 - 0.0091T$
100 - 150	$M2(T) = 1.160 - 0.0048T$
150 - 200	$M3(T) = 0.860 - 0.0028T$
200 - 300	$M4(T) = 0.520 - 0.0011T$
300 - 400	$M5(T) = 0.340 - 0.0005T$

Estas ecuaciones se encuentran definidas en la sección de funciones como: FNM1(T), FNM2(T), FNM3(T), FNM4(T), FNM5(T).

Si el valor de la temperatura está entre el rango de 70 - 100 °F, la viscosidad la calcula en la línea 6400; en el rango de 100 - 150 °F, lo calcula en la línea 6420; para el rango de 150 - 200 °F, lo calcula en la línea 6440; para el rango de 200 - 300 °F, lo calcula en la línea 6460; para el rango de 300 - 400 °F, lo calcula en la línea 6480.

y finalmente asigna el valor obtenido a :

$$MM(SS) = M$$

- * Constante de gravedad [CGD] .- El programa lo tiene ya definido en la sección de datos variables.

Con la información anterior, se calcula el coeficiente de película condensante, anteriormente definido.

Se calcula el Coeficiente de Transferencia de Calor por:

$$UC(SS) = \frac{1}{\frac{1}{HIO} + \frac{1}{HD(SS)}}$$

$$UD(SS) = \frac{1}{\frac{1}{UC(SS)} + 0.001}$$

- e) Compara el valor de U^* con la $UC(SS)$ calculada; si no son iguales, hace una media aritmética entre ambos y calcula con el valor obtenido desde b) hasta que sean iguales. Si el valor de la U^* con el calculado es igual, se calcula el incremento de temperatura entre las etapas por:

$$DT(SS) = TC(SS + 1) - TC(SS)$$

10. Finalmente, calcula las condiciones de cada etapa: temperatura, concentración, presión, entalpía del agua de mar, entalpía de la salmuera, y densidad del agua de mar, así como el destilado obtenido y la salmuera producida en cada etapa. Todo esto se logra utilizando las subrutinas descritas anteriormente para cada concepto.

En la parte final del programa, se encuentra la sección de las Subrutinas empleadas en el mismo, así como una sección de conversiones de cada dato obtenido. Seguida de ésta, se tiene la parte de Impresión de Resultados, que no será desarrollada en este manual. De manera general, se puede decir que la secuencia de impresión es:

- Condiciones a la entrada de la Cámara Evaporadora,
- Condiciones de Diseño.
- Balance en la Cámara Evaporadora:
 - Condiciones del agua de mar a la entrada de cada etapa (Sistema Inglés y S. Métrico)
 - Condiciones en la salida del Destilado de cada etapa (S. Inglés y Métrico)
 - Condiciones en la salida de la Salmuera de

cada etapa (S. Inglés, S. Métrico).

- Condiciones en la Cámara Evaporadora: (S. Métrico, S. Inglés)
 - Longitud por etapa.
 - Número de tubos.
 - Area por etapa.
 - Coefficiente de Condensación.

CODIFICACION (Listado)

* PROGRAMA DE CARLA JANET FRIDA WESTPHAL CARDENAS

* CALCULO DEL NUMERO DE ETAPAS PARA LA DESALINIZACION
 * DE AGUA DE MAR POR EL METODO DE EVAPORACION
 * INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES

* * * * *
 * D A T O S F I J O S
 * * * * *

DATOS PARA ECUACION DE PRESION REDUCIDA

DATA -7.691234564,-26.08023696,-168.1706546,64.23285504
 DATA -118.9646225,4.16711732,20.97506760

DATA 22120000

DATOS PARA ENTALPIA DE VAPOR

DATA 0.763333333,16.83599274, -28.56067796,0.4330662834
 DATA -1.309542339,0.2569554617,0.06670375918,1.388983801
 DATA 0.08390104328,0.02614670893,-0.03373439453,0.04520918904
 DATA 0.1069036614,-0.5975336707,-0.08847535804,0.5958051609
 DATA -0.5159303373,0.2075021122,0.4006073948,0.1190610271
 DATA -0.09867174132,0.08636081627,0.1683998803,-0.05809438001
 DATA -46.074543770,9.342563925,-0.8532322921,0.3460208861
 DATA 0.006552390126,0.0005710218649,15.743733270,34.17061978
 DATA 19.31380707,-34.170619780,38.62761414,193.6587558
 DATA -1388.522425,4126.607219,-6508.211677,5745.984054
 DATA -2693.088365,523.5718623

DATOS PARA ENTALPIA DE LIQUIDO

DATA 0.8438375405,0.0005362162162,0.07342278489,0.04975858870
 DATA 6824.687741,542.2063673,39412.86787,67332.77739
 DATA 99023.81028,109391.1774,85908.41667,45111.68742
 DATA 14181.38926,2017.271113,7.982692717,0.07342278489
 DATA -0.02616571843,0.02284279054,242.1647003,0.65371543
 DATA 1.269716088E-10,1.15E-06,1.5108E-05,2.074838328E-07
 DATA 2.17402035E-08,1.105710498E-09,12.93441934,0.14188
 DATA 7.002753165,0.0002995284926,1.308119072E-05,0.204,6.047626338E-14

DATOS PARA VOLUMEN ESPECIFICO DEL AGUA

DATA 0.8438375405,5.362162162E-04,1.72,0.07342278489
 DATA 0.0497585887,7.982692717,0.0497585887,-0.02616571843
 DATA 0.00152241179,0.02284279054,0.02421647003,0.65371543
 DATA 1.269716088E-10,1.15E-06,1.5108E-05,2.074838328E-07
 DATA 2.174020350E-08,1.105710498E-09,12.93441934,0.14188
 DATA 7.002753165,2.995284926E-04,1.308119072E-05,0.204
 DATA 6.047626338E-14

CONSTANTE DE GRAVEDAD

DATA 4.18E+08

PRINT

PRINT

PRINT

PRINT

' * * * * *

' DATOS VARIABLES

' * * * * *

DATA 1.0,113000.0,15.0,27.0,82.0,35638.0,0.625

DATA 0.555,0.2419,20.0,7.0,1375.0,1.04,9.0,456

' ^ ^ ^ ^ ^

' DIMENSIONAMIENTO

' DATOS FIJOS

' ^ ^ ^ ^ ^

DIM PR(7), HV(42), HL(33), V(25)

' ^ ^ ^ ^ ^

' DIMENSIONAMIENTO

' DATOS VARIABLES

' ^ ^ ^ ^ ^

DIM D(50), N, TC(50), XC(50), TSC(50), CS(50), CSC(50), PS(50)

DIM S(50), TCD(50), HAM(50), HS(50), DA(50), CF(50), TDF(50)

DIM TF(50), HLC(50), TECF(50), TEDF(50), PSL(50), PSK(50)

DIM G(50), TSF(50), DAK(50), GAK(50), DK(50), SK(50), HLK(50)

DIM HANK(50), HSK(50), NT(50), NT1(50), AE(50), CC(50), U(50)

DIM W1(50), Q(50), HVE1(50), HLE(50), LE(50), W(50), GG(50)

DIM TM(50), TW(50), TP(50), KC(50), TPC(50), TDC(50), PSP(50)

DIM VEE(50), MM(50), YS(50), YT(50), HD(50), UC(50), UD1(50)

DIM UD(50), DT(50), LOE(50), LOEM(50), AEM(50), DM(50), WM(50)

DIM BGM(50), TMC(50), TWC(50), TPCC(50), HDM(50), UCM(50), UDM(50)

DIM KCM(50), VEEM(50), HCCM(50)

```

' ~ ~ ~ ~ ~
'   LECTURA DE DATOS FIJOS
' ~ ~ ~ ~ ~

```

```

FOR I = 1 TO 7: READ PR(I): NEXT I
READ PC
FOR I = 1 TO 42: READ HV(I): NEXT I
FOR I = 1 TO 33: READ HL(I): NEXT I
FOR I = 1 TO 25: READ V(I): NEXT I
READ CGD
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT
' ~ ~ ~ ~ ~

```

```

'   LECTURA DE DATOS VARIABLES
' ~ ~ ~ ~ ~

```

```

READ N, D(N), LOE, TC(N), TV, XC(N), DE
READ DI, AFT, BWG, VT, HCC, COR, PV1, UI

```

```

' -----
'   DEFINICION DE FUNCIONES
' -----

```

```

DEF FNHAM1 (T) = (-.084047619# + .976369047# * T)
DEF FNHAM2 (T) = (-.164761904# + .964904761# * T)
DEF FNHAM3 (T) = (-.224166666# + .960416666# * T)
DEF FNHAM4 (T) = (-.550593406# + .959443956# * T)
DEF FNA (T) = (.2009 + .00287 * T + .0000002 * T ^ 2)
DEF FNB (T) = (.0257 + .000193 * T + 1E-08 * T ^ 2)
DEF FNCP1 (T) = (.970166666# + .000108333# * T)
DEF FNCP2 (T) = (.958464285# + .000114285# * T)
DEF FNCP3 (T) = (.952547619# + .000130952# * T)
DEF FNCP4 (T) = (.946428571# + .000128571# * T)
DEF FNDAM1 (T) = (1.022773333# - .000422# * T)
DEF FNDAM2 (T) = (1.030190476# - .000425714# * T)
DEF FNDAM3 (T) = (1.033520952# - .000423428# * T)
DEF FNDAM4 (T) = (1.03775619# - .000428285# * T)
DEF FNM1 (T) = (1.581 - .0091 * T)
DEF FNM2 (T) = (1.16 - .0048 * T)
DEF FNM3 (T) = (.86 - .0028 * T)
DEF FNM4 (T) = (.52 - .0011 * T)
DEF FNM5 (T) = (.34 - .0005 * T)

```



```

PRINT " * * * * "          flujo de agua de mar          * * * * "

AM = (D(N) * (HEV - HS)) / (HAE - HS): 'PRINT "AM="; AM

S(N) = AM - D(N): 'PRINT "S("; N; ")="; S(N)
CSC(N) = (AM * XC(N)) / S(N): 'PRINT "CSC("; N; ")="; CSC(N)
COMP1 = CSC(N) / 1000: 'PRINT "COMP1="; COMP1
COMP2 = CSC(N) / 1000: 'PRINT "COMP2="; COMP2
COMP3 = COMP2 - COMP1: 'PRINT "COMP3="; COMP3

IF COMP3 <= .1 THEN 3330
COMP4 = ((COMP1 + COMP2) / 2) * 1000
CSC(N) = COMP4
CS(N) = CSC(N): 'PRINT "CS("; N; ")="; CS(N)

GOTO 3050

3330 'PRINT "CS("; N; ")="; CS(N)
3332 PRINT " * * * * "      termina cal. conc. salmuera      * * * * "

PRINT " * * * * "          vapor en el calentador          * * * * "

PRINT " * * * * "          calculo de T con P conocida      * * * * "

GOSUB 5660
TVC = TCV: 'PRINT "TVC="; TVC
TDC = TVC: 'PRINT "TDC="; TDC

GOSUB 5230
PS1 = PSN: 'PRINT "PS1="; PS1
GOSUB 5300
HVC = HE1: 'PRINT "HVC="; HVC

PRINT " * * * * "          entalpia del liquido            * * * * "

PSN = PS1
GOSUB 5700
HL1 = HL

PRINT " * * * * "          entalpia de vaporizacion        * * * * "

L3 = HVC - HL1
'PRINT "L3="; L3

PRINT " * * * * "          entalpia del destilado          * * * * "

PSN = PS(N): 'PRINT "PSN="; PS(N)
TDC = TCD(N): 'PRINT "TDC="; TCD(N)
TDK = TDC + 273.16: 'PRINT "TDK="; TDK
GOSUB 5700
HL2 = HL: 'PRINT "HL2="; HL2

```

```

PRINT " * * * * entalpia del agua de mar * * * * "
C = XC(N): 'PRINT "C="; C
T = TC(N): 'PRINT "T="; T
GOSUB 5000
HAME = HAM: 'PRINT "HAME="; HAME

PRINT " * * * * masa de vapor necesaria * * * * "
MV = (S(N) * HS + D(N) * HL2 - AM * HAME) / L3
'PRINT "MV="; MV

PRINT " * * * * cond. de ent. de a.de mar al calentador * * * * "
HVE = HAE - (MV * L3) / AM
'PRINT "HVE="; HVE

PRINT " * * * * temp. de ent.. agua mar al calentador * * * * "
T = TV: 'PRINT "T="; T
CC = XC(N): 'PRINT "CC="; CC
GOSUB 5860
CP5 = CP: 'PRINT "CP5="; CP5
TEF = (TV * 1.8 + 32) - ((MV * L3) / (AM * CP5)): 'PRINT "TEF="; TEF
TEC = (TEF - 32) / 1.8
'PRINT "TEC="; TEC

PRINT " * * * * termina balance global de masa y energ. * * * * "

```

```

PRINT " * * * * *          area por etapa          * * * * *"
' LOE(N) = LOE: PRINT "LOE("; N; ")="; LOE(N)

CON = 0: PRINT "CON="; CON

4000  SS = N + CON: 'PRINT "SS="; SS

PRINT "LOE("; SS; ")";
INPUT LV
LOE(SS) = LV
'PRINT "LOE("; SS; ")="; LOE(SS)

'
' IF SS = 9 THEN 4020
' IF SS > 9 THEN 4025
' IF SS > 1 AND SS < 9 THEN 4010
' LOE(SS) = LOE(N): PRINT "LOE("; SS; ")="; LOE(SS): GOTO 4015

'4010  LOE(SS) = LOE(SS - 1): PRINT "LOE("; SS; ")="; LOE(SS)

'4015  LC = LOE(SS) * SS: GOTO 4030
'4020  PRINT "LC="; LC
' LOE(SS) = LOE(SS - 1) * 4 / 3: PRINT "LOE("; SS; ")="; LOE(SS)
' LC = LC + LOE(SS): PRINT "LC="; LC: GOTO 4030
'4025  LC = LC + LOE(SS - 1): LOE(SS) = LOE(SS - 1)

4030  HI = HCC * COR: PRINT "HI="; HI
'PRINT "HCC="; HCC: 'PRINT "COR="; COR
'PRINT "HI="; HI

PRINT "LOE("; SS; ")="; LOE(SS): PRINT "N="; N

CD = XC(SS): 'PRINT "CD="; CD
T = TC(SS): 'PRINT "T="; T

GOSUB 6050
DA(SS) = DAM: 'PRINT "DA("; SS; ")="; DA(SS)

G(SS) = AM / (3600 * DA(SS)): 'PRINT "G="; G(SS)
NT(SS) = G(SS) / ((AFT / 144) * VT): 'PRINT "NT("; SS; ")="; NT(SS)

NT1(SS) = CINT(NT(SS)): 'PRINT "NT1("; SS; ")="; NT1(SS)

```



```

PRINT " * * * * "          volumen especifico          * * * * "
TPC(SS) = (TP(SS) - 32) / 1.8: 'PRINT "TPC("; SS; ")="; TPC(SS)
TDC = TPC(SS): 'PRINT "TDC="; TDC

GOSUB 5230
PSP(SS) = PSN: 'PRINT "PSP="; PSP

GOSUB 6270
VEE(SS) = VE: 'PRINT "VEE("; SS; ")="; VEE(SS)

PRINT " * * * * "          viscosidad del agua          * * * * "

T = TP(SS): 'PRINT "T="; T
GOSUB 6340
MM(SS) = M: 'PRINT "MM("; SS; ")="; MM(SS)

YS(SS) = (1.5 * ((4 * GG(SS)) / (MM(SS) * 2.42)) ^ (-1 / 3))
NA = YS(SS)

'PRINT "YS("; SS; ")="; YS(SS)

YT(SS) = ((MM(SS) * 2.42) ^ 2 / (KC(SS) ^ 3 * VEE(SS) ^ 2 * CGD)) ^ (1 / 3)

'PRINT "YT("; SS; ")="; YT(SS)
HD(SS) = NA / YT(SS): 'PRINT "HD("; SS; ")="; HD(SS)

PRINT " * * * * "          calculo de UC          * * * * "

UC(SS) = (HIO ^ (-1) + HD(SS) ^ (-1)) ^ (-1): 'PRINT "UC("; SS; ")="; UC(SS)
UD1(SS) = (1 / UC(SS)) + .001: 'PRINT "UD1("; SS; ")="; UD1(SS)

UD(SS) = 1 / UD1(SS): 'PRINT "UD("; SS; ")="; UD(SS)

COEF = ABS(UD(SS) - U(SS)): 'PRINT "COEF="; COEF

IF COEF <= .01 THEN 4540
U(SS) = (U(SS) + UD(SS)) / 2: PRINT "U("; SS; ")="; U(SS)

GOTO 4170
40 'PRINT "U1="; U1: 'PRINT "U("; SS; ")="; U(SS)
'PRINT "UD("; SS; ")="; UD(SS)

TC(SS + 1) = (TF(SS + 1) - 32) / 1.8: 'PRINT "TC("; SS + 1; ")="; TC(SS + 1)

DT(SS) = TC(SS + 1) - TC(SS): 'PRINT "DT("; SS; ")="; DT(SS)
TSC(SS + 1) = TC(SS + 1) + 10: 'PRINT "TSC("; SS + 1; ")="; TSC(SS + 1)
TSF(SS + 1) = TSC(SS + 1) * 1.8 + 32

```



```

D(SS + 1) = D(SS) - W(SS): 'PRINT "D(SS+1)="; D(SS + 1)
DK(SS + 1) = D(SS + 1) * .4536
S(SS + 1) = S(SS) + W(SS): 'PRINT "S("; SS + 1; ")="; S(SS + 1)
SK(SS + 1) = S(SS + 1) * .4536
XC(SS + 1) = (XC(SS) * S(SS)) / S(SS + 1)
'PRINT "XC("; SS + 1; ")="; XC(SS + 1)

T = TSC(SS + 1)
RC = XC(SS + 1) / 34416
GOSUB 5200
TCD(SS + 1) = TSC(SS + 1) - TEB: 'PRINT "TCD("; SS + 1; ")="; TCD(SS + 1)
TDC = TCD(SS + 1)
GOSUB 5230
PS(SS + 1) = PSN: 'PRINT "PS("; SS + 1; ")="; PS(SS + 1)
PSL(SS + 1) = PS(SS + 1) * .0001450376808#
PSK(SS + 1) = PSL(SS + 1) / 14.22
PSN = PS(SS + 1): 'PRINT "PSN="; PSN
GOSUB 5700
HLC(SS + 1) = HL: 'PRINT "HLC("; SS + 1; ")="; HLC(SS + 1)
HLK(SS + 1) = HLC(SS + 1) / 1.8

TEC1 = INT(TEC): 'PRINT "TEC1="; TEC1
TC1 = INT(TC(SS + 1)): 'PRINT "TC1="; TC1

DTC1 = (TEC1 - TC1): 'PRINT "DTC1="; DTC1

570 IF DTC1 <= 1 THEN GOTO 4600

CON = CON + 1
GOTO 4000

PRINT " * * * $termina temp.sal. ; temp.am. ;sal. ;dest. ;/etapa $ * $"

600 PRINT " * * * $ entalpia del agua de mar/ etapa $ * * * $"

FOR I = 2 TO SS + 1
C = XC(N): 'PRINT "C="; C
T = TC(I): 'PRINT "T="; T

GOSUB 5000
HAM(I) = HAM: 'PRINT "HAM("; I; ")="; HAM(I)
HAMK(I) = HAM(I) / 1.8
NEXT I

```

```

PRINT " * * * * * entalpia de salmuera / etapa * * * * *"

FOR I = 2 TO SS + 1

C = XC(I): 'PRINT "C="; C
T = TSC(I)
GOSUB 5000
HS(I) = HAM: 'PRINT "HS("; I; ")="; HS(I)
HSK(I) = HS(I) / 1.8
NEXT I
GOSUB 6493

PRINT " * * * * * Calculo de la densidad agua mar en cada etapa * * * * *"

FOR I = 2 TO SS + 1

T = TC(I)
CD = XC(N)
GOSUB 6050
DA(I) = DAM
B(I) = AM / (3600 * DA(I))
DAK(I) = DA(I) * 16.02
BAK(I) = B(I) * .02832
NEXT I

GOSUB 7000

' END
' ***** FIN DE PROGRAMA PRINCIPAL *****

```

S U B R U T I N A S

```

i000 *# Calculo de la Entalpia de Agua de Mar / Salmuera
i010 IF C = 20000 THEN HAM = (FNHAM1(T)) * 1.8
i020 IF C > 20000 AND C < 30000 THEN GOSUB 5100
i030 IF C = 30000 THEN HAM = (FNHAM2(T)) * 1.8
i040 IF C > 30000 AND C < 34416 THEN GOSUB 5130
i050 IF C = 34416 THEN HAM = (FNHAM3(T)) * 1.8
i060 IF C > 34416 AND C < 40000 THEN GOSUB 5160
i070 IF C = 40000 THEN HAM = (FNHAM4(T)) * 1.8
i080 RETURN
i090 * I N T E R P O L A C I O N
i100 H12 = ((C - 20000) / 10000) * (FNHAM2(T) - FNHAM1(T)) + FNHAM1(T)
i110 HAM = H12 * 1.8
i120 RETURN
i130 H23 = ((C - 30000) / 4416) * (FNHAM3(T) - FNHAM2(T)) + FNHAM2(T)
i140 HAM = H23 * 1.8
i150 RETURN
i160 H34 = ((C - 34416) / 5584) * (FNHAM4(T) - FNHAM3(T)) + FNHAM3(T)
i170 HAM = H34 * 1.8
i180 RETURN

i200 * ~ ~ ~ ~ ~ Elevation del Punto de Ebullicion ~ ~ ~ ~ ~
i210 TEB = FNA(T) * RC + FNB(T) * RC ^ 2
RETURN
i230 * - - - - - Presion del Sistema - - - - -
i240 TDK = TDC + 273.16
i242 *PRINT "TDK="; TDK
i250 PV = 1 - TDK / 647.3

251 *PRINT "PV="; PV
252 F1 = PR(1) * PV + PR(2) * PV ^ 2 + PR(3) * PV ^ 3; *PRINT "F1="; F1
254 F2 = F1 + PR(4) * PV ^ 4 + PR(5) * PV ^ 5; *PRINT "F2="; F2
256 F3 = (647.3 / TDK) * F2; *PRINT "F3="; F3
258 F4 = 1 + PR(6) * PV + PR(7) * PV ^ 2; *PRINT "F4="; F4
260 BIKAI = F3 / F4; *PRINT "BIKA1="; BIKAI
270 BK = BIKAI - (PV / (1E+10 * PV ^ 2 + 6)); *PRINT "BK="; BK
272 BIKA = EXP(BK); *PRINT "BIKA="; BIKA
280 PSN = BIKA * PC; *PRINT "PSN="; PSN
290 RETURN

```

```

5300 ' > > > >          Entalpia del Vapor          < < < <
5310 H1 = TDK / 647.3: 'PRINT "H1="; H1
5320 X = EXP(HV(1) * (1 - H1)): 'PRINT "X="; X
5330 H2 = HV(1) * H1: 'PRINT "H2="; H2
5332 F5 = HV(3) + HV(4) * H1 ^ 2 + HV(5) * H1 ^ 3 + HV(6) * H1 ^ 4
5333 'PRINT "F5="; F5
5340 I = (HV(2) * H1) - F5: 'PRINT "L="; I
5342 F6 = HV(7) * (1 + 13 * BIKA) * X ^ 13: 'PRINT "F6="; F6
5344 F7 = F6 + HV(8) * (1 + 3 * BIKA) * X ^ 3: 'PRINT "F7="; F7
'5348 GOTO B100

5350 H3 = BIKA * F7: 'PRINT "H3="; H3
5352 F8 = HV(9) * (1 + 18 * H2) * X ^ 18: 'PRINT "F8="; F8
5354 F9 = F8 + HV(10) * (1 + 2 * H2) * X ^ 2: 'PRINT "F9="; F9
5356 F10 = F9 + HV(11) * (1 + H2) * X: 'PRINT "F10="; F10
5360 L1 = BIKA ^ 2 * F10: 'PRINT "L1="; L1
5362 F11 = HV(12) * (1 + 18 * H2) * X * 18: 'PRINT "F11="; F11
5364 F12 = F11 + HV(13) * (1 + 10 * H2) * X ^ 10: 'PRINT "F12="; F12
5370 H4 = BIKA ^ 3 * F12: 'PRINT "H4="; H4
5372 F13 = HV(14) * (1 + 25 * H2) * X ^ 25: 'PRINT "F13="; F13
5374 F14 = F13 + HV(15) * (1 + 14 * H2) * X ^ 14: 'PRINT "F14="; F14

5380 H5 = BIKA ^ 4 * F14: 'PRINT "H5="; H5
5382 F15 = HV(16) * (1 + 32 * H2) * X ^ 32: 'PRINT "F15="; F15
5384 F16 = F15 + HV(17) * (1 + 28 * H2) * X ^ 28: 'PRINT "F16="; F16
5386 F17 = F16 + HV(18) * (1 + 24 * H2) * X ^ 24: 'PRINT "F17="; F17
5390 L2 = BIKA ^ 5 * F17: 'PRINT "L2="; L2
5400 LT = -(H3 + L1 + H4 + H5 + L2): 'PRINT "LT="; LT
5410 C2 = 14 * HV(19) * X ^ 14: 'PRINT "C2="; C2
5420 C3 = BIKA ^ (-4) + (HV(19) * X ^ 14): 'PRINT "C3="; C3
5422 F18 = (HV(20) * X ^ 12) + ((1 + 12 * H2) - (H2 * C2) / C3)
5424 'PRINT "F18="; F18
5430 H6 = (F18) / C3: 'PRINT "H6="; H6
5432 F19 = (HV(21) * X ^ 11) * ((1 + 11 * H2) - (H2 * C2) / C3)

5434 'PRINT "F19="; F19
5440 H7 = (F19) / C3: 'PRINT "H7="; H7
5450 C4 = 19 * HV(22) * X ^ 19: 'PRINT "C4="; C4
5460 C5 = BIKA ^ (-5) + (HV(22) * X ^ 19): 'PRINT "C5="; C5
5462 F20 = (HV(23) * X ^ 24) * ((1 + 24 * H2) - ((H2 * C4) / C5))
5464 'PRINT "F20="; F20
5470 H8 = (F20) / C5: 'PRINT "H8="; H8
5474 F21 = (HV(24) * X ^ 18) * ((1 + 18 * H2) - ((H2 * C4) / C5))
5476 'PRINT "F21="; F21

5480 H9 = (F21) / C5: 'PRINT "H9="; H9
5490 C6 = (HV(25) * X ^ 54) + (HV(26) * X ^ 27): 'PRINT "C6="; C6
5595 C7 = BIKA ^ (-6) + (HV(27) * X ^ 54) + HV(28) * X ^ 27
5500 'PRINT "C7="; C7

```

```

5501 LOD = HV(29) * X ^ 24
5502 F22 = (LOD) * ((1 + 24 * H2) - (H2 * C6) / C7); 'PRINT "F22="; F22
5510 H10 = (F22) / C7; 'PRINT "H10="; H10
5512 F23 = (HV(30) * X ^ 14) * ((1 + 14 * H2) - (H2 * C6) / C7)
5514 'PRINT "F23="; F23
5520 H11 = (F23) / C7; 'PRINT "H11="; H11
5530 H12 = HV(31) - HV(32) * H1 + HV(33) * H1 ^ 2; 'PRINT "H12="; H12
5540 H13 = HV(34) + HV(35) * H1; 'PRINT "H13="; H13
5550 CB = (10 * (H13 / H12)); 'PRINT "CB="; CB
5552 F24 = (1 + H1 + CB) * HV(36); 'PRINT "F24="; F24
5560 H14 = F24 + (1 + H1 * (CB + HV(1))) * (HV(37) * X); 'PRINT "H14="; H14
5562 F25 = H14 + (1 + H1 * (CB + 2 * HV(1))) * (HV(38) * X ^ 2)
5564 'PRINT "F25="; F25
5570 H15 = F25 + (1 + H1 * (CB + 3 * HV(1))) * (HV(39) * X ^ 3)
5571 'PRINT "H15="; H15
5572 F26 = H15 + (1 + H1 * (CB + 4 * HV(1))) + (HV(40) * X ^ 4)
5573 'PRINT "F26="; F26
5574 F27 = F26 + (1 + H1 * (CB + 5 * HV(1))) * (HV(41) * X ^ 5)
5575 'PRINT "F27="; F27
5580 H16 = F27 + (1 + H1 * (CB + 6 * HV(1))) * (HV(42) * X ^ 6)
5582 'PRINT "H16="; H16
5590 H17 = (BIKA * (BIKA / H12) ^ 10) * H16; 'PRINT "H17="; H17
5600 H = 1 + LT - (H6 + H7 + H8 + H9 + H10 + H11) + H17; 'PRINT "H="; H

```

```

5610 ' @ @ @ @          Entalpia en J/Kg          @ @ @ @
5620 HE = H * 22120000 * .00317; 'PRINT "HE="; HE
5630 ' @ @ @ @          Entalpia en Btu/lb          @ @ @ @
5640 HE1 = HE * .0004298412698; 'PRINT "HE1="; HE1
5650 RETURN
5660 '( ( ( ( Temperatura con presion vap. conocida ) ) ) )
5670 P1 = (PV1 + 14.7) * 51.171; 'PRINT "P1="; P1

```

```

5675 LOG10 = LOG(P1) / LOG(10); 'PRINT "LOG(P1)="; LOG10
5680 TCV = (1668.21 / (7.96681 - LOG10)) - 228; 'PRINT "TCV="; TCV
5690 RETURN

```

```

5700 ' < < < <          Entalpia del liquido          > > > >
5710 EL1 = TDK / 647.3; 'PRINT "EL1="; EL1
5720 EL2 = PSN / PCI; 'PRINT "EL2="; EL2
5730 y = 1 - HL(1) * (EL1 ^ 2) - HL(2) * (EL1 ^ (-6)); 'PRINT "Y="; y
5732 F2B = 1.72 * y ^ 2 - 2 * HL(3) * (EL1) + 2 * HL(4) * (EL2)
5734 'PRINT "F2B="; F2B

      Z = (y + (F2B) ^ .5); 'PRINT "Z="; Z
5750 Y1 = -2 * HL(1) * (EL1) + 6 * HL(2) * (EL1 ^ (-7)); 'PRINT "Y1="; Y1

5752 F29 = HL(6) + HL(7) * (EL1 ^ 2) - 2 * HL(8) * EL1 ^ 3
5753 'PRINT "F29="; F29

5754 F30 = F29 + 3 * HL(9) * EL1 ^ 4 - 4 * HL(10) * EL1 ^ 5
5755 'PRINT "F30="; F30

5756 F31 = F30 + 5 * HL(11) * EL1 ^ 6 - 6 * HL(12) * EL1 ^ 7
5757 'PRINT "F31="; F31

5758 F32 = F31 + 7 * HL(13) * EL1 ^ 8 - 8 * HL(14) * EL1 ^ 9
5759 'PRINT "F32="; F32
      'PRINT "HL(5)="; HL(5)
5761 E1 = (HL(5) * EL1) - F32; 'PRINT "E1="; E1

5762 F33 = Z * (17 * ((Z / 29) - (y / 12)) + 5 * EL1 * Y1 / 12)
5763 'PRINT "F33="; F33
5764 F34 = F33 + HL(16) * EL1 - .72 * EL1 * y * Y1
5765 'PRINT "F34="; F34; 'PRINT "HL(16)"; HL(16)
5770 E2 = HL(15) * (F34) * (Z ^ -(5 / 17)); 'PRINT "E2="; E2; 'PRINT "HL15="; HL(15)
5772 F35 = HL(17) - HL(18) * EL1 ^ 2; 'PRINT "F35="; F35

5774 F36 = F35 + HL(19) * (9 * EL1 + HL(20)) * (HL(20) - EL1) ^ 9
5775 'PRINT "F36="; F36

5776 F37 = HL(21) * (20 * EL1 ^ 19 + HL(22)) * (HL(22) + EL1 ^ 19) ^ (-2)
5777 'PRINT "F37="; F37

5780 E3 = EL2 * (F36 + F37); 'PRINT "E3="; E3

5782 F38 = (12 * EL1 ^ 11 + HL(23)) * ((HL(23) + EL1 ^ 11) ^ (-2))
5783 'PRINT "F38="; F38

5784 F39 = F38 * (HL(24) * EL2 + HL(25) * EL2 ^ 2 + HL(26) * EL2 ^ 3)
5785 'PRINT "F39="; F39
5790 E4 = -(F39); 'PRINT "E4="; E4

5792 F40 = HL(27) * EL1 ^ 18 * (17 * HL(28) + 19 * EL1 ^ 2)
5793 'PRINT "HL(27)="; HL(27); 'PRINT "HL(28)="; HL(28); 'PRINT "F40="; F40

```

5794 F41 = F40 * ((HL(29) + EL2) ^ (-3) + HL(30) * EL2)
 5795 'PRINT "F41="; F41

5796 E5 = E4 + (F41); 'PRINT "E5="; E5

5800 F42 = (HL(31) * HL(32) * EL2 ^ 3 + (21 * HL(33) * EL1 ^ (-20)) * EL2 ^ 4)
 5801 'PRINT "F42="; F42

5802 E6 = E5 + F42; 'PRINT "E6="; E6

5810 HRL = E1 + E2 + E3 + E6; 'PRINT "HRL="; HRL

5820 ' ~ ~ ~ ~ ~ Entalpia del liquido en J/Kg ~ ~ ~ ~ ~
 5825 HEL = HRL * PC * .00317; 'PRINT "HEL="; HEL

5830 ' ~ ~ ~ ~ ~ Entalpia del liquido en Btu/lb ~ ~ ~ ~ ~
 5840 HL = HEL * .0004298412698; 'PRINT "HL="; HL
 5850 RETURN

5860 ' * * * * * Capacidad Calorifica con Temp. u Conc * * * * *

5870 IF CC = 20000 THEN CP = FNCP1(T)

5880 IF CC > 20000 AND CC < 30000 THEN GOSUB 5960

5890 IF CC = 30000 THEN CP = FNCP2(T)

5900 IF CC > 30000 AND CC < 34416 THEN GOSUB 5990

5910 IF CC = 34416 THEN CP = FNCP3(T)

5920 IF CC > 3416 AND CC < 40000 THEN GOSUB 6020

5930 IF CC = 40000 THEN CP = FNCP4(T)

5940 RETURN

5950 ' I N T E R P O L A C I O N

5960 CP12 = ((CC - 20000) / 10000) * (FNCP2(T) - FNCP1(T)) + FNCP1(T)

5970 CP = CP12

5980 RETURN

5990 CP23 = ((CC - 30000) / 4416) * (FNCP3(T) - FNCP2(T)) + FNCP2(T)

6000 CP = CP23

6010 RETURN

6020 CP34 = ((CC - 34416) / 5584) * (FNCP4(T) - FNCP3(T)) + FNCP3(T)

6030 CP = CP34

6040 RETURN

6050 ' (((((Densidad del Agua de Mar)))))

6060 IF CD = 20000 THEN DAM = (FNDAM1(T)) * 62.4

6070 IF CD > 20000 AND CD < 30000 THEN GOSUB 6150

6080 IF CD = 30000 THEN DAM = (FNDAM2(T)) * 62.4

6090 IF CD > 30000 AND CD < 34416 THEN GOSUB 6180

6100 IF CD = 34416 THEN DAM = (FNDAM3(T)) * 62.4

6110 IF CD > 34416 AND CD < 40000 THEN GOSUB 6210

6120 IF CD = 40000 THEN DAM = (FNDAM4(T)) * 62.4

6130 RETURN

```

6140 ' I N T E R P O L A C I O N
6150 D12 = ((CD - 20000) / 10000) * (FNDAM2(T) - FNDAM1(T)) + FNDAM1(T)
6160 DAM = D12 * 62.4
6170 RETURN
6180 D23 = ((CD - 30000) / 4416) * (FNDAM3(T) - FNDAM2(T)) + FNDAM2(T)
6190 DAM = D23 * 62.4
6200 RETURN
6210 D34 = ((CD - 34416) / 5584) * (FNDAM4(T) - FNDAM3(T)) + FNDAM3(T)
6220 DAM = D34 * 62.4
6230 RETURN
6240 ' ^ ^ ^ ^ ^      Conductividad del Condensado      ^ ^ ^ ^ ^
6250 K = .315116402# + .000471277# * TK
6260 RETURN
6270 ' + + + + +      Volumen especifico Agua de Mar      + + + + +
6280 TPR = TDK / 647.3; 'PRINT "TPR="; TPR
6290 Y2 = 1 - V(1) * (TPR ^ 2) - V(2) * (TPR ^ (-6)); 'PRINT "Y2="; Y2
6300 Z1 = Y2 + (V(3) * Y2 ^ 2 - 2 * V(4) * TPR + 2 * V(5) * BIKA) ^ .5
        'PRINT "Z1="; Z1
6302 F44 = V(6) * V(7) * Z1 ^ (-5 / 17); 'PRINT "F44="; F44
6303 F45 = F44 + (V(8) + V(9) * TPR + V(10) * TPR ^ 2 + V(11) * (V(12) - TPR) ^ 10)
        'PRINT "F45="; F45
6304 F46 = F45 + V(13) * (V(14) + TPR ^ 19) ^ -1; 'PRINT "F46="; F46
6305 F47 = (V(15) + TPR ^ 11) ^ -1
        F47 = (F471 * (V(16) + 2 * V(17) * BIKA + 3 * V(18) * BIKA ^ 2))
        'PRINT "F47="; F47
6306 F48 = F46 - F47; 'PRINT "F48="; F48
6307 F49 = (V(19) * TPR ^ 18) * (V(20) + TPR ^ 2); 'PRINT "F49="; F49
6308 F50 = F49 * (-3 * (V(21) + BIKA) ^ (-4) + V(22)); 'PRINT "F50="; F50
        FF5 = F48 - F50; 'PRINT "FF5="; FF5
6309 F511 = 3 * V(23) * (V(24) - TPR) * BIKA ^ 2
        F51 = F511 + 4 * V(25) * (TPR ^ (-20)) * BIKA ^ 3
        'PRINT "F51="; F51
6310 X1 = FF5 + F51; 'PRINT "X1="; X1

6320 VE = ((X1 * .00317) ^ (-1)) * .06243; 'PRINT "VE="; VE

6330 RETURN

6340 ' ~ ~ ~ ~ ~      Viscosidad del Agua de Mar      ~ ~ ~ ~ ~
6350 IF T >= 70 AND T <= 100 THEN GOSUB 6400
6360 IF T >= 100 AND T <= 150 THEN GOSUB 6420
6370 IF T >= 150 AND T <= 200 THEN GOSUB 6440
6380 IF T >= 200 AND T <= 300 THEN GOSUB 6460
6390 IF T >= 300 AND T <= 400 THEN GOSUB 6480
6395 RETURN
6400 M = FNM1(T)
6410 RETURN
6420 M = FNM2(T)
6430 RETURN
6440 M = FNM3(T)
6450 RETURN
6460 M = FNM4(T)
6470 RETURN
6480 M = FNM5(T)
6490 RETURN

```



```
UCM(I) = UC(I) * FAC
UDM(I) = UD(I) * FAC
KCM(I) = KC(I) * 1.48816
VEEM(I) = VEE(I) * 16.02
NEXT I
```

```
RETURN
```

CAPITULO IV

CAPITULO IV

UN CASO EN ESTUDIO

El presente capítulo, tiene como finalidad el desarrollar un caso práctico en donde se aplique el método de desalinización en estudio. Se pretende, obtener el diseño básico de la planta desaladora enfocada a un área en especial: la de Proceso, por lo que los demás factores que constituyen una ingeniería básica no se contemplan aquí; tal como el diseño mecánico de cada recipiente en detalle, el alambrado y la interconexión eléctrica, el arreglo de tuberías y la cimentación. Se dá de manera general, la especificación de los instrumentos y se profundiza en todas las actividades que deben ser realizadas por la parte de proceso; las cuales son:

- BASES DE DISEÑO
- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
- DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA DE OPERACIÓN
- BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.
- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
- DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (D.T.I.)
- ARREGLO DE EQUIPO
- LISTA DE EQUIPO
- LISTA DE MOTORES
- MEMORIAS DE CÁLCULO:

DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS
DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS
CÁLCULO DE BOMBAS

- HOJAS DE DATOS DE EQUIPOS
- HOJAS DE DATOS DE INSTRUMENTOS

A continuación se presenta una descripción breve de lo que cada actividad comprende; seguida de la aplicación práctica que tiene nuestro caso en estudio, con las siguientes excepciones:

1° Para el apartado de Bases de Diseño, no se resuelve el cuestionario correspondiente a los datos geográficos de la planta, tales como: localización, altitud, condiciones climatológicas, etc.; ya que como se mencionó anteriormente, el diseño de esta planta no está ubicado en ningún lugar geográfico en especial, por lo que hace que este diseño sea para una planta universal.

Sin embargo, sí se resuelve el cuestionario correspondiente a los datos de proceso y condiciones de diseño, que son indispensables para el diseño.

2° No se desarrolla el apartado de la Descripción del Proceso, ya que se le dedicó un Capítulo en específico de éste trabajo (CAPITULO I).

Así, todos los demás apartados se desarrollan de manera secuencial al orden que toda ingeniería debe realizarse. La perfecta definición y limitación de cada una de las actividades hace que la comprensión de la misma se facilite, así como el resultado de la ingeniería en su conjunto.

BASES DE DISEÑO.- Las Bases de Diseño de un proceso, como su nombre lo indica, comprende todos aquellos conceptos básicos y por ende indispensables, para considerarlos en el diseño que se va a realizar. De manera general, comprende datos geográficos del lugar; la capacidad de la planta que se desea diseñar; las condiciones de los servicios auxiliares; y todos aquellos datos específicos de diseño para los equipos (tal como tamaño de los tubos, velocidad en los tubos, materiales recomendados, pruebas requeridas, etc.).

A continuación, se presenta un cuestionario que conforma las bases de diseño para cualquier proceso; el cual debe ser completamente resuelto, ya que es de gran importancia el tener perfectamente definidos todos los parámetros que deben seguirse para cumplir con los objetivos planteados.

Estas Bases de Diseño, incluyen al llamado "Cuestionario General"; ya que comprende los aspectos geográficos del lugar donde se va a instalar la planta, los datos climatológicos y otra información que le es de utilidad a todas las disciplinas que intervendrán para desarrollar una ingeniería básica. También incluyen un "Cuestionario de Proceso e Instrumentación", en el cual se asentarán las bases para el diseño de los equipos, controles e instrumentos involucrados en la planta.

CUESTIONARIO GENERAL

1. DATOS GENERALES, LOCALIZACION DE LA PLANTA Y COMUNICACIONES.

Razón Social del Cliente _____

Nombre de la Planta ó Proyecto _____

Localización _____

País/ Estado / Ciudad _____

Municipio _____

Domicilio-Kilométraje-carretera _____

Coordenadas: _____

 Latitud _____

 Longitud _____

Límites de Propiedad: _____

 Al Norte _____

 Al Sur _____

 Al Este _____

 Al Oeste _____

Altura sobre el nivel del mar _____

Area de la propiedad _____

Teléfono / Télex _____

Aeropuertos próximos _____

2. DATOS TOPOGRAFICOS.

Plano topográfico No. _____

Estudio Mecánica de Suelo _____

Sismicidad -Zona- _____

3. DATOS METEREOLÓGICOS.

Temperatura (°C)

máxima extrema _____

mínima extrema _____

máxima promedio anual _____

mínima promedio anual _____

promedio anual _____

promedio del mes más caliente _____

promedio del mes más frío _____

de bulbo seco máximo anual _____

de bulbo seco mínimo anual _____

de bulbo húmedo en verano _____

de bulbo húmedo de diseño _____

Humedad Relativa (%)

máxima anual _____

mínima anual _____

medio anual _____

promedio mensual máxima _____

promedio mensual mínima _____

promedio mensual media _____

de diseño _____

Precipitación pluvial (mm)

máxima/ mínima por día _____

total anual _____

Atmósfera (mmHg)

presión atmosférica media anual _____

presión barométrica máx. diseño _____

presión barométrica mín. diseño _____

presión barométrica máx. anual _____

Vientos (Km/hr)

velocidad máxima registrada _____

velocidad media registrada _____

vientos dominantes (vel/dir) _____

velocidad de diseño _____

4. OPERACION DE LA PLANTA.

Horas de operación por año _____
 Capacidad: _____

diseño _____
 normal _____
 mínima _____

Flexibilidad de operación.

La planta deberá seguir operando
 bajo las siguientes condiciones-
 anormales:

a) Falla de energía eléctrica	Sí _____	No _____
b) Falla de vapor	Sí _____	No _____
c) Falla de agua de enfriamiento	Sí _____	No _____
d) Falla de aire de instrumentos	Sí _____	No _____

Previsiones para ampliaciones fu-
 turas _____

Número de turnos _____

5. ELECTRICIDAD

volts/ fases / hertz _____

6 . PROTECCION.

nivel de riesgo _____
 manejo de materiales de alto _____
 riesgo _____
 toxicidad _____

7. ESPECIFICACION DE EFLUENTES

depósito en: _____

8. PRESENTACION DEL TRABAJO.

Sistema de Unidades _____
 Documentos técnicos _____

Así mismo, se deben de incluir, todas las características - de la (s) materia (s) prima (s) y de el (los) producto (s)- a obtener: edo. físico, líquido, sólido, gaseoso, gano, polvo, solución; empaquetadura.

También se tendrá un apartado para especificar todos los servicios auxiliares de que se dispone: presión, temperatura-disponibilidad, etc.; por ejemplo del agua de enfriamiento, - vapor o aire de instrumentos.

A continuación, se presenta lo que correspondería los Cuestionarios de Diseño de Proceso e Instrumentación, de manera conjunta, por lo que no se separan en dos diferentes, sino que se desglosan ambos dentro de lo que se llamó Bases de Diseño.

CUESTIONARIO DE PROCESO E INSTRUMENTACION

OBJETIVO.- Se desea instalar para una Central Termoeléctrica, un sistema para obtener agua de repuesto a partir de agua de mar para ser utilizada en unidades generadoras de vapor.

PROCESO SELECCIONADO.- El sistema consiste en una planta desaladora de agua de mar, por el método de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples sin recirculación de salmuera.

ALCANCE/LIMITE.- El sistema comienza con las bombas de alimentación del agua de mar a la cámara evaporadora; las bombas que succionan directamente del mar y envían el flujo a las primeras, es por otros.

Así mismo, el destino de: la salmuera, destilado, y condensado del calentador de agua de mar está fuera del límite de baterías. El agua destilada producida por la cámara evaporadora, se almacenará en tanques de agua destilada, de donde se transfiere, mediante bombas, al límite de baterías.

TRATAMIENTO.- El agua de mar que será alimentada a las Cámaras Evaporadoras, deberá tratarse previamente, con polifosfatos.

COMPONENTES DEL SISTEMA.- Está constituido por:

- a) Cámara Evaporadora de agua de mar, con haces de tubos, condensadores, eliminadores de agua del vapor y tubería integral.
- b) Calentador de agua de mar.
- c) Sistema de vacío, constituido por eyectores operados con flujo de vapor o agua, y sus respectivos condensadores.

- d) Equipo completo de tratamiento químico; el cual incluye:
- Tanque de solución de polifosfatos con agitador.
 - Bombas dosificadoras de polifosfatos.
- e) Sistema de bombeo completo: para agua de mar, purga de salmuera, destilado y condensado, - con sus respectivas bombas de respaldo y motores.
- f) Sistema de control e Instrumentación local.

C O N D I C I O N E S D E D I S E Ñ O

Capacidad de destilado de la Cámara Evaporadora de agua de mar .		50.0 m ³ /hr
Tipo de operación		Continua

1.- Disponibilidad.

Se dispone de agua de mar con las siguientes características:

Temperatura		27.0 °C
Concentración		35 638 ppm
Presión de suministro		0.35 kg/cm ²

ANALISIS DEL AGUA DE MAR DISPONIBLE

CATIONES	EN TERMINOS	[ppm]
Calcio (Ca^{++})	CaCO_3	1960.0
Magnesio (Mg^{++})	"	5379.0
Sodio (Na^{+})	"	23664.0
TOTALES	"	31003.0

ANIONES		
Bicarbonatos (HCO_3^-)	CaCO_3	122.0
Carbonatos (CO_3^{--})	"	10.0
Hidróxidos (OH^-)	"	0.0
Sulfatos (SO_4^{--})	SO_4	2400.0
Cloruros (Cl^-)	Cl	28124.0
Nitratos (NO_3^-)	NO_3	347.0
TOTALES	CaCO_3	31003.0

DETERMINACIONES.

DUREZA TOTAL	CaCO_3	7360.0
DUREZA DE NO CARBONATOS	"	7238.0
DUREZA DE CARBONATOS	"	122.0
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	"	10.0
ALCALINIDAD AL ANARANJADO DE - METILO	"	122.0
SILICE	SiO_2	0.22
ANHIDRIDO CARBONICO LIBRE	CO_2	3.00
FOSFATOS	PO_4	0.00
SULFITOS	SO_3	0.00
MATERIA ORGANICA	O_2	3.70
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	CaCO_3	35,638.00
pH	--	7.90

2. Destilado.

- Se deberá obtener un destilado con una pureza de sólidos totales disueltos de 5ppm.
- Temperatura límite máximo : 40°C
- Presión de descarga de la tubería en el límite del suministro: 2.0 kg/cm²

3. Datos de diseño.

- La velocidad en los tubos de los calentadores y condensadores será: 1.83 m/s mínima, y 2.4 m/s máxima.
- Temperatura operación del agua de mar a la salida del calentador de agua de mar con tratamiento de polifosfatos, debe ser: 80°C mínima y 82°C máxima.
- El diámetro nominal de los tubos del evaporador, calentador y condensadores, debe ser de 15.8 mm mínimo y 22.2 mm máximo.
- Los registros hombres en cada sección debe ser de 457 mm de diámetro como mínimo.
- La temperatura máxima del condensado a la salida del calentador de agua de mar debe ser de 87°C.

4. Especificación de Motores.

- Los motores que accionan a las bombas y al agitador, deben ser trifásicos, de inducción de jaula de ardilla, 60 Hz. La tensión nominal de los motores debe ser:

Trifásicos	460V (de 1/3 -250 HP)
Monofásicos	115V (de 1/4 -menores HP)

- La potencia de cada motor debe ser la adecuada para que el equipo trabaje en forma continua y eficiente. No deberá sufrir calentamiento, ni esfuerzos mecánicos que lo dañen.

5. Materiales de Construcción.

A continuación se presentan los materiales básicos para los equipos principales de éste proceso.

CAMARAS DE EVAPORACION
INSTANTANEA

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
Carcaza	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Charolas colec- toras de desti- lado.	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Eliminadores de agua del vapor.	níquel-cobre 70-30	ASTM B-127-400
Cajas de agua	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Espejos	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Estructura, so- porte y base	acero al carbón	ASTM A-36
Orificios ajus- tables para des- tilado.	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Placas de sopor- te de los tubos	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Tubos (salmuera en el interior)	cupro-níquel 90-10 mínimo 20 BWG	ASTM B-111-706

CALENTADOR DE AGUA DE
MAR

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
Caja de agua	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Carcaza	acero al carbón	ASTM A-515 gra- do 70
Espejos	cupro-níquel 90-10	ASTM B-171-706
Tubos (agua de mar en el inte- rior)	cupro-níquel 90-10 mínimo 20 BWG	ASTM B-171-706

EYECTORES

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
Caja de vapor o agua	acero al carbón	-----
Difusor y bo quillas	acero inoxidable	ASTM A-240.316

SISTEMA DE TRATAMIENTO QUIMICO
PARA EL AGUA DE MAR

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
Agitador	acero inoxidable	ASTM A-240.316
Tanque de po- lifosfatos	fibra de vidrio	-----

BOMBAS CENTRIFUGAS

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
Bomba de a- gua de mar y purga de salmuera	Base.- FoFo o Ac. estruc- tural.	ASTM A-36 ASTM A-48 C1.30
	Carcaza.- Ac. Inox.	ASTM A-743 GR. CF8M
	Flecha.- Ni-Cu 70- 30 o Ac. Inox.	ASTM B-127.400 ASTM A-276.316
	Impulsor.- Ac. Inox.	ASTM A-743 GR. CF8M
Bomba de - condensado y destilado	Base.- FoFo o Ac.estruc- tural.	ASTM A-36 ASTM A-48 C1.30
	Carcaza.- Ac. Inox.	ASTM A-743 GR. CF8M
	Flecha.- Ac. Inox.	AISI-416
	Impulsor.- Ac.Inox.	ASTM A_743 GR. CF8M

TUBERIAS

COMPONENTE	MATERIAL
Agua de mar	Ac. al carbón cédula 40 re- cubierta inte- riormente con neopreno.
Destilado	Ac. Inox.
Vapor y Condensado	Ac. carbón Cd.40
Salmuera o agua de mar (Temp. igual o mayor a 80 grados centí- grados)	cupro-níquel 90- ASTM B111-706 10
Salmuera (con temp. inferior a 80°C)	Acero al carbón cédula 40 recubierta interiormente con neopreno.

6.- Salmuera y Condensado.

La presión a la que se deberá entregar la salmuera y el condensado es:

Salmuera	_____	1.0 kg/cm ²
Condensado	_____	3.0 kg/cm ²

La temperatura a la que se deberá entregar la salmuera y el condensado es:

Salmuera	_____	10°C arriba de la tempera tura del agua de mar que se alimenta a la Evaporadora. (37.0 °C)
Condensado	_____	87.0 °C

7.- Vapor para el calentador de agua de mar.

Presión del vapor disponible _____ 0.6329 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

8.- Condiciones del Vapor Motriz del Sistema de Vacío:

Presión	_____	4.46 kg/cm ²
Temperatura	_____	266.4 °C
Calidad	_____	Sobrecalentado

INSTRUMENTACION Y CONTROL.

La instrumentación deberá ser del tipo electrónica; con señal de 4 - 20 mA. Los puntos de control necesarios son:

- a) Presión del vapor al calentador de agua de mar con alarma por alta y baja e indicador local.
- b) Temperatura del agua de mar a la entrada de los tubos - condensadores, e indicador local.
- c) Indicador local de la temperatura del agua de mar a la entrada y a la salida del calentador de agua de mar con registro y alarma por alta y baja a la salida.
- d) Indicación local de nivel de salmuera con protección de la bomba para salmuera; alarma por bajo y alto nivel.
- e) Indicación local de nivel de destilado con protección de la bomba para destilado; alarma por bajo nivel.
- f) Conductividad del destilado con registro y alarma por alta conductividad.
- g) Conductividad del condensado del calentador de agua de mar con alarma por alta conductividad.
- h) Temperatura del condensado a la salida del calentador de agua de mar.
- i) Indicación local de nivel del condensado del calentador de agua de mar con protección de la bomba de condensado, alarma por bajo nivel.
- j) Registro del flujo de agua de mar, con alarma por bajo flujo.
- k) Temperatura del vapor en el calentador de agua de mar, - con alarma y bloqueo del suministro de vapor por alta y alarma por baja temperatura.
- l) Indicación local de flujo de destilado , con registro.
- m) Indicación de presión de succión de las bombas de agua - de mar con protección por baja presión.
- n) Indicación local de nivel en el tanque de dosificación - de químicos, con alarma por bajo nivel.
- o) El Cuadro de alarmas debe ser suficiente para alojar las señales consideradas.
- p) Los sistemas de control deben cubrir las siguientes funciones:

- regular la presión del vapor al calentador de agua de mar .
- regular la temperatura del agua de mar a la salida del calentador de la misma .
- mantener el nivel de la salmuera.
- mantener el nivel de destilado.
- enviar al drenaje el destilado por alta conductividad.
- enviar al drenaje el condensado del calentador de agua de mar, cuando se contamine.
- mantener el nivel de condensado en el calentador de agua de mar .

q) El Tablero de control debe ser de un solo ensamble, auto-soportado. Los gabinetes deben tener frentes removibles y puertas posteriores. El diseño del gabinete debe ser modular con los aparatos, instrumentos y controles dispuestos en grupos funcionales, debidamente identificados. El tablero de control deberá contener botones de arranque y paro de cada bomba de la planta.

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.- A continuación se presenta los resultados obtenidos en el programa descrito en el Capítulo anterior, mediante el cual se realiza el Balance de Materia y Energía en la Cámara de Evaporación Instantánea.

El Balance muestra los datos que se tienen fijos, es decir, los datos que constituyen las condiciones de diseño. - Posteriormente se presenta:

- Condiciones del agua de mar a la entrada de cada etapa: flujo másico, concentración, temperatura, entalpia, densidad y flujo volumétrico. Se presenta en Sistema Métrico y en Sistema Inglés.
- Condiciones en la corriente de salida del destilado de cada etapa: flujo másico, temperatura, entalpia y presión. Se presenta en Sistema Métrico y en Sistema Inglés.
- Condiciones en la corriente de salida de la salmuera de cada etapa: flujo másico, concentración, temperatura y entalpia. Se presenta en Sistema Métrico y en Sistema Inglés.
- Condiciones en la Cámara Evaporadora - Balance de Energía:

Longitud por etapa.

Número de tubos.

Area por etapa.

Coefficiente de Condensación por etapa.

Capacidad calorífica del agua de mar.

Flujo másico del fluido caliente.

Carga de condensado en tubos horizontales por etapa.

Temperatura promedio del fluido frío por etapa.

Temperatura de pared por etapa.

Temperatura de película por etapa.

Propiedades del condensado evaluadas a la temperatura de película, por etapa: conductividad, densidad y viscosidad.

Coefficientes de transferencia de calor, por etapa: coeficiente dentro de los tubos referido a la superficie externa del tubo, coeficiente de película referido al interior del tubo, coef. de película condensante, coef. global de transferencia de calor (limpio y sucio).

Se tabulan en Sistema Métrico y en Sistema Inglés.

3.) BALANCE EN LA CAMARA EVAPORADORA.

3.1a CONDICIONES DEL AGUA DE MAR A LA ENTRADA DE CADA ETAPA

a) Sistema Ingles

N	WAM	CAM	TAM	HAM	DAM	GAM
	(lb/hr)	(ppm)	(°F)	(Btu/lb)	(lb/ft ³)	(ft ³ /seg)
20	1506677	35638	80.6	46.13382	63.83436	6.556364
19	1506677	35638	84.4855	49.8647	63.77719	6.562241
18	1506677	35638	88.39606	53.61964	63.71964	6.568168
17	1506677	35638	92.32674	57.39388	63.66179	6.574136
16	1506677	35638	96.27206	61.18219	63.60374	6.580136
15	1506677	35638	100.2313	64.98388	63.54548	6.58617
14	1506677	35638	104.1986	68.79324	63.48709	6.592227
13	1506677	35638	108.1801	72.61633	63.4285	6.598316
12	1506677	35638	112.1761	76.4533	63.3697	6.604439
11	1506677	35638	116.1806	80.29845	63.31077	6.610586
10	1506677	35638	120.2	84.15788	63.25163	6.616767
9	1506677	35638	124.2283	88.02589	63.19234	6.622975
8	1506677	35638	128.2719	91.9086	63.13284	6.629218
7	1506677	35638	132.325	95.80038	63.07319	6.635486
6	1506677	35638	136.394	99.70741	63.01332	6.641791
5	1506677	35638	140.4792	103.6301	62.9532	6.648133
4	1506677	35638	144.5747	107.5626	62.89293	6.654505
3	1506677	35638	148.687	111.5112	62.83242	6.660913
2	1506677	35638	152.8052	115.4655	62.77181	6.667345
1	1506677	35638	156.9358	119.4317	62.71103	6.673807
ent.	1506677	35638	161.0789	123.4099	62.65006	6.680301

3.1b CONDICIONES DEL AGUA DE MAR A LA ENTRADA DE CADA ETAPA

b) Sistema Metrico

N	WAM	CAM	TAM	HAM	DAM	GAM
(Kg/hr)	(ppm)	(°C)	(Kcal/kg)	(Kg/m ³)	(m ³ /seg)	
20	683428.5	35638	27	25.6299	1022.627	18567.62
19	683428.5	35638	29.15862	27.70261	1021.711	1858427
18	683428.5	35638	31.33115	29.78869	1020.789	1860105
17	683428.5	35638	33.51485	31.88549	1019.862	1861795
16	683428.5	35638	35.7067	33.9901	1018.932	1863495
15	683428.5	35638	37.90628	36.10216	1017.999	1865203
14	683428.5	35638	40.11031	38.21847	1017.063	1866919
13	683428.5	35638	42.32227	40.34241	1016.125	1868643
12	683428.5	35638	44.54227	42.47406	1015.183	1870377
11	683428.5	35638	46.767	44.61025	1014.239	1872118
10	683428.5	35638	49	46.75438	1013.291	1873869
9	683428.5	35638	51.23795	48.90327	1012.341	1875627
8	683428.5	35638	53.48441	51.06033	1011.388	1877394
7	683428.5	35638	55.73612	53.22243	1010.433	1879169
6	683428.5	35638	57.99666	55.39301	1009.473	1880955
5	683428.5	35638	60.26622	57.57225	1008.51	1882751
4	683428.5	35638	62.5415	59.75699	1007.545	1884556
3	683428.5	35638	64.82609	61.95065	1006.575	1886371
2	683428.5	35638	67.114	64.14751	1005.604	1888192
1	683428.5	35638	69.40877	66.35096	1004.631	1890022
ent.	683428.5	35638	71.71049	68.56108	1003.654	1891861

3.2a CONDICIONES EN LA CORRIENTE DE SALIDA DEL DESTILADO

a) Sistema Ingles

N	D	TD	HDL	F
(lb/hr)	(°F)	(Btu/lb)	(lb/in ²)	
20	113000	97.90837	65.97537	.8915609
19	107618	101.8395	69.88495	1.003613
18	102187.5	105.7404	73.79997	1.12663
17	96715.02	109.6615	77.68315	1.26318
16	91208.16	113.5972	81.60822	1.414367
15	85667.57	117.547	85.55225	1.581478
14	80101.34	121.5047	89.54465	1.765671
13	74500.26	125.4769	93.47368	1.968737
12	68864.27	129.4635	97.47104	2.192338
11	63201.27	133.4587	101.4043	2.437858
10	57502.48	137.4688	105.4708	2.70753
9	51775.46	141.4879	109.4866	3.002918
8	46011.24	145.5224	113.5168	3.326596
7	40218.02	149.5664	117.5173	3.680314
6	34386.56	153.6263	121.5016	4.067036
5	28516.31	157.7025	125.7564	4.489399
4	22614.05	161.7891	129.7372	4.949497
3	16671.97	165.8925	133.9212	5.450933
2	10704.24	170.0019	138.0219	5.995384
1	4702.004	174.1237	142.09	6.586745

3.2b CONDICIONES EN LA CORRIENTE DE SALIDA DEL DESTILADO

b) Sistema Metrico

```

*****
*           *           *           *           *           *
*   N       *   D       *   TD       *   HDL       *   P       *
*   *       *   *       *   *       *   *       *   *       *
*   *       *   *       *   *       *   *       *   *       *
*   *   (Kg/hr) *   (°C ) *   (Kcal/Kg) *   (Kg/cm^2) *
*****
*   20 *   51256.8 *   36.61576 *   36.65298 *   6.269767E-02 *
*   19 *   48815.54 *   38.79973 *   38.82497 *   7.057758E-02 *
*   18 *   46352.26 *   40.9669 *   40.99998 *   7.922853E-02 *
*   17 *   43869.93 *   43.14526 *   43.15731 *   8.863178E-02 *
*   16 *   41372.02 *   45.33179 *   45.3379 *   9.946321E-02 *
*   15 *   38858.81 *   47.52608 *   47.52903 *   .1112151 *
*   14 *   36333.97 *   49.72485 *   49.74703 *   .1241681 *
*   13 *   33793.32 *   51.93159 *   51.92982 *   .1384484 *
*   12 *   31236.83 *   54.14638 *   54.15058 *   .1541729 *
*   11 *   28668.09 *   56.36594 *   56.33571 *   .1714387 *
*   10 *   26083.12 *   58.5938 *   58.59489 *   .190403 *
*   9 *   23485.35 *   60.82663 *   60.8259 *   .2111757 *
*   8 *   20870.7 *   63.06802 *   63.0649 *   .2339378 *
*   7 *   18242.89 *   65.31467 *   65.28737 *   .2588125 *
*   6 *   15597.74 *   67.57019 *   67.50092 *   .2860081 *
*   5 *   12935 *   69.83475 *   69.86468 *   .3157102 *
*   4 *   10257.73 *   72.10507 *   72.07619 *   .3480659 *
*   3 *   7562.406 *   74.38471 *   74.40064 *   .3833286 *
*   2 *   4855.443 *   76.66772 *   76.67883 *   .4216163 *
*   1 *   2132.829 *   78.95761 *   78.93887 *   .4632029 *
*****

```

3.3a CONDICIONES EN LA CORRIENTE DE SALIDA DE SALMUERA

a) Sistema Ingles

* no.	* (lb/hr)	* (ppm)	* (°F)	* (Btu/lb)
* 20	* 1393677	* 38527.55	* 98.6	* 63.09065
* 19	* 1399059	* 35500.9	* 102.4855	* 67.16447
* 18	* 1404489	* 35363.64	* 106.3961	* 70.93572
* 17	* 1409962	* 35226.38	* 110.3267	* 74.72648
* 16	* 1415469	* 35089.33	* 114.2721	* 78.53146
* 15	* 1421009	* 34952.52	* 118.2313	* 82.34998
* 14	* 1426575	* 34816.14	* 122.1986	* 86.17631
* 13	* 1432177	* 34679.97	* 126.1801	* 90.01652
* 12	* 1437813	* 34544.03	* 130.1761	* 93.87078
* 11	* 1443476	* 34408.51	* 134.1806	* 97.73341
* 10	* 1449174	* 34273.2	* 138.2	* 101.6116
* 9	* 1454901	* 34138.29	* 142.2283	* 105.4994
* 8	* 1460666	* 34003.57	* 146.2719	* 109.4031
* 7	* 1466459	* 33869.23	* 150.325	* 113.3168
* 6	* 1472290	* 33735.08	* 154.394	* 117.2469
* 5	* 1478161	* 33601.11	* 158.4792	* 121.1937
* 4	* 1484063	* 33467.48	* 162.5747	* 125.1515
* 3	* 1490005	* 33334.01	* 166.687	* 129.1264
* 2	* 1495973	* 33201.03	* 170.8052	* 133.1081
* 1	* 1501975	* 33068.35	* 174.9358	* 137.1028

3.2b CONDICIONES DE LA CORRIENTE DE SALIDA DE LA SALMUERA

b) Sistema Metrico

N	S	CS	TS	HS
20	632171.7	38527.55	37	35.05036
19	634613	35500.9	39.15862	37.3136
18	637076.3	35363.64	41.33115	39.40874
17	639558.6	35226.38	43.51485	41.51471
16	642056.5	35089.33	45.7067	43.62859
15	644569.8	34952.52	47.90628	45.74999
14	647094.6	34816.14	50.11031	47.87573
13	649635.3	34679.97	52.32227	50.00918
12	652191.8	34544.03	54.54227	52.15044
11	654760.5	34408.51	56.767	54.29634
10	657345.4	34273.2	59	56.4509
9	659943.2	34138.29	61.23795	58.61079
8	662557.9	34003.57	63.48441	60.77948
7	665185.7	33869.23	65.73611	62.95378
6	667830.8	33735.08	67.99666	65.13717
5	670493.6	33601.11	70.26622	67.32983
4	673170.9	33467.48	72.5415	69.52859
3	675866.2	33334.01	74.82609	71.73689
2	678573.2	33201.03	77.114	73.94897
1	681295.8	33068.35	79.40877	76.16823

4.) CONDICIONES EN LA CAMARA EVAPORADORA

Sistema Ingles

```

*****
$      $      $      $      $      $
$  N    $Long/etapa $ No. tubos $ Area/etapa $Coef.Cond $
$      $      $      $      $      $
*****
$      $ ft      $      $ ft^2      $ Btu/hr $
*****
$      $      $      $      $      $
$ 20 $      10 $      558 $ 913.0253 $ 5589182 $
$ 19 $      10 $      558 $ 913.0253 $ 5627777 $
$ 18 $      10 $      559 $ 914.6616 $ 5659300 $
$ 17 $      10 $      559 $ 914.6616 $ 5682991 $
$ 16 $      10 $      560 $ 916.2979 $ 5705674 $
$ 15 $      10 $      560 $ 916.2979 $ 5719824 $
$ 14 $      10 $      561 $ 917.9341 $ 5743065 $
$ 13 $      10 $      562 $ 919.5703 $ 5766574 $
$ 12 $      10 $      562 $ 919.5703 $ 5781539 $
$ 11 $      10 $      563 $ 921.2066 $ 5805687 $
$ 10 $      10 $      563 $ 921.2066 $ 5821272 $
$ 9  $      10 $      564 $ 922.8428 $ 5846126 $
$ 8  $      10 $      564 $ 922.8428 $ 5862478 $
$ 7  $      10 $      565 $ 924.4791 $ 5888208 $
$ 6  $      10 $      566 $ 926.1153 $ 5914452 $
$ 5  $      10 $      566 $ 926.1153 $ 5932152 $
$ 4  $      10 $      567 $ 927.7516 $ 5959155 $
$ 3  $      10 $      567 $ 927.7516 $ 5970638 $
$ 2  $      10 $      568 $ 929.3878 $ 5991336 $
$ 1  $      10 $      569 $ 931.024  $ 6012300 $
*****

```

Sistema Metrico

N	Long/etapa	No. tubos	Area/etapa	Coef. Cond
	m		m ²	Kcal/hr

20	3.040	558	84.82283	1408474
19	3.048	558	84.82283	1418200
18	3.048	559	84.97484	1426144
17	3.048	559	84.97484	1432114
16	3.048	560	85.12685	1437830
15	3.048	560	85.12685	1441396
14	3.048	561	85.27887	1447252
13	3.048	562	85.43088	1453177
12	3.048	562	85.43088	1456948
11	3.048	563	85.58289	1463033
10	3.048	563	85.58289	1466961
9	3.048	564	85.7349	1473224
8	3.048	564	85.7349	1477344
7	3.048	565	85.88692	1483828
6	3.048	566	86.03893	1490442
5	3.048	566	86.03893	1494902
4	3.048	567	86.19094	1501707
3	3.048	567	86.19094	1504601
2	3.048	568	86.34296	1509817
1	3.048	569	86.49496	1515100

***** TEMPERATURA *****							
N	CP	W	GG	TM	TW	TP	
	Btu/(lb°F)	lb/hr	lb/(hrft)		°F		
20	.9547302	5381.976	11.34369	82.54276	89.76981	86.15628	
19	.9551637	5430.502	11.44596	86.44078	93.6834	90.06209	
18	.9555994	5472.497	11.52072	90.3614	97.59476	93.97808	
17	.9560369	5506.864	11.59307	94.29939	101.5248	97.91209	
16	.9564754	5540.589	11.65018	98.25168	105.4693	101.8605	
15	.956915	5566.225	11.70408	102.2149	109.4262	105.8206	
14	.9573548	5601.086	11.76338	106.1893	113.3928	109.791	
13	.9577958	5635.982	11.82263	110.1781	117.3737	113.7759	
12	.9582378	5663.006	11.87931	114.1783	121.3675	117.7729	
11	.9586802	5698.788	11.94021	118.1903	125.3716	121.781	
10	.9591237	5727.02	11.99937	122.2141	129.389	125.8016	
9	.9595677	5764.214	12.06302	126.2501	133.4171	129.8336	
8	.9600129	5793.221	12.12372	130.2985	137.4589	133.8787	
7	.9604585	5831.458	12.18934	134.3595	141.5119	137.9357	
6	.9609054	5870.249	12.25596	138.4366	145.5809	142.0088	
5	.9613535	5902.265	12.32281	142.5269	149.6646	146.0958	
4	.9618022	5942.076	12.39133	146.6308	153.7604	150.1956	
3	.9622523	5967.731	12.44483	150.7461	157.87	154.308	
2	.9627025	6002.236	12.50209	154.8705	161.9874	158.4289	
1	.9631535	6036.953	12.55967	159.0073	166.1171	162.5622	

Nomenclatura

CP = capacidad calorifica (agua de mar)

W = flujo masico fluido caliente

GG = carga condensado en tubos horizontales

TM = temperatura promedio del fluido frio

TW = temperatura de pared del fluido

TP = temperatura de pelicula

Propiedades del Condensado evaluadas a T de película						
N	Conductividad		Densidad		Viscosidad	
	Btu	Kcal	lb	Kg		cP
	hrft ² F	hrm ² C	ft ³	m ³		
20	.3557199	.5293681	62.16259	995.8447	.7969778	
19	.3575606	.5321074	62.11962	995.1563	.7614349	
18	.3594061	.5348538	62.07406	994.4265	.7257994	
17	.3612601	.5376129	62.02591	993.6551	.6899999	
16	.3631209	.540382	61.97525	992.8436	.6710696	
15	.3649872	.5431594	61.92215	991.9929	.6520613	
14	.3668584	.545944	61.86671	991.1047	.6330029	
13	.3687364	.5487387	61.80886	990.178	.6138756	
12	.3706201	.551542	61.7487	989.2141	.5946898	
11	.372509	.5543529	61.68628	988.2143	.5754513	
10	.3744038	.5571728	61.62161	987.1782	.5561524	
9	.376304	.5600005	61.55475	986.1071	.5367987	
8	.3782103	.5628375	61.48568	985.0007	.5173822	
7	.3801223	.5656828	61.41447	983.8599	.4979086	
6	.3820419	.5685394	61.34105	982.6836	.4783579	
5	.383968	.5714058	61.2655	981.4734	.4587401	
4	.3859001	.5742812	61.18785	980.2293	.4394524	
3	.3878382	.5771654	61.10813	978.9523	.4279375	
2	.3897803	.5800555	61.02646	977.6439	.416399	
1	.3917283	.5829543	60.94276	976.3031	.4048258	

* Coeficientes transferencia de calor *							
N	HIO	HI	HCC	HD	UC	UD	
* Btu/(hr ft ² °F) *							

20	1269.84	1430	1375	1410.108	668.1516	400.5341	
19	1269.84	1430	1375	1434.164	673.5044	402.4515	
18	1269.84	1430	1375	1460.893	679.3416	404.5285	
17	1269.84	1430	1375	1489.514	685.4664	406.6924	
16	1269.84	1430	1375	1507.839	689.3217	408.0464	
15	1269.84	1430	1375	1526.95	693.2884	409.4331	
14	1269.84	1430	1375	1546.496	697.2899	410.8254	
13	1269.84	1430	1375	1566.787	701.3854	412.2437	
12	1269.84	1430	1375	1587.98	705.601	413.6964	
11	1269.84	1430	1375	1609.832	709.8826	415.1645	
10	1269.84	1430	1375	1632.688	714.2921	416.6688	
9	1269.84	1430	1375	1656.338	718.7821	418.1927	
8	1269.84	1430	1375	1681.223	723.4288	419.7614	
7	1269.84	1430	1375	1707.074	728.1737	421.3545	
6	1269.84	1430	1375	1734.216	733.0679	422.9886	
5	1269.84	1430	1375	1762.809	738.1287	424.6686	
4	1269.84	1430	1375	1792.394	743.2657	426.364	
3	1269.84	1430	1375	1813.226	746.8237	427.5324	
2	1269.84	1430	1375	1834.536	750.4139	428.7065	
1	1269.84	1430	1375	1856.561	754.0732	429.8983	

Nomenclatura

N	=	numero de etapa
HIO	=	coef. dentro de los tubos referido a la superficie externa del tubo
HI	=	coef. de pelicula referido al interior del tubo (corregido)
HCC	=	coef. transferencia de calor
HD	=	coef. de pelicula condensante
UC	=	coef. global de transf. de calor (limpio)
UD	=	coef. global de transf. de calor (sucio)

# Coeficientes de transferencia de calor #							
# N	# HIO	# HI	# HCC	# HD	# UC	# UD	#
# Kcal/(hr m ² °C) #							

# 20	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 6884.866	# 3262.257	# 1955.612	#
# 19	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7002.319	# 3288.392	# 1964.973	#
# 18	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7132.825	# 3316.892	# 1975.114	#
# 17	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7272.567	# 3346.796	# 1985.68	#
# 16	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7362.041	# 3365.62	# 1992.291	#
# 15	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7455.347	# 3384.987	# 1999.061	#
# 14	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7550.782	# 3404.524	# 2005.859	#
# 13	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7649.854	# 3424.521	# 2012.784	#
# 12	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7753.33	# 3445.104	# 2019.877	#
# 11	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7860.021	# 3466.009	# 2027.045	#
# 10	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 7971.616	# 3487.538	# 2034.39	#
# 9	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8087.087	# 3509.461	# 2041.83	#
# 8	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8208.586	# 3532.148	# 2049.489	#
# 7	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8334.804	# 3555.315	# 2057.267	#
# 6	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8467.328	# 3579.211	# 2065.246	#
# 5	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8606.932	# 3603.921	# 2073.448	#
# 4	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8751.38	# 3629.002	# 2081.726	#
# 3	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8853.092	# 3646.374	# 2087.431	#
# 2	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 8957.138	# 3663.903	# 2093.164	#
# 1	# 6200.006	# 6981.989	# 6713.451	# 9064.677	# 3681.77	# 2098.983	#

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO. - Es el documento donde se señala la secuencia en que los materiales se acondicionan, transforman, mezclan, purifican ó almacenan, desde que son materias primas, hasta productos finales, así como los equipos principales que integran las diferentes etapas del proceso.

Además, muestran las condiciones de operación que deben prevalecer en cada etapa ó equipo, y la cantidad de calor que habrá de retirarse / suministrarse para favorecer la realización del proceso.

El Diagrama de Flujo y Balance de Materia y Energía, es el documento básico a partir del cual, se elaboran los siguientes documentos:

1. Lista de Equipo.-Es el primer documento en donde se identifican los equipos de proceso principales.
2. Diseño y/o cálculos de equipos para cumplir con los requerimientos de composición en el diagrama señalado.
3. Hojas de datos y especificaciones de equipos, a partir de los flujos, condiciones de operación y naturaleza de los materiales que se involucren en las corrientes descritas en el diagrama.
5. Arreglos de equipo, en los que se definen las localizaciones relativas entre equipos, para favorecer el flujo por gravedad, y las rutas de interconexión de equipo más cortas ó favorables.
6. Diagrama de Tuberías e Instrumentación, para el dimensionamiento de tuberías, espesores de aislamiento, lazos de control, identificación del servicio y especificación de tuberías de acuerdo al fluido conducido y a las condiciones de operación.
7. Índice de Servicios, que indicará con una clave el fluido que conducirá un sistema de tuberías así como las condiciones de operación y diseño esperadas para cada fluido, con el fin de que se puedan agrupar varios fluidos que puedan ser conducidos en tubería del mismo material y que por sus condiciones de operación, requiere del mismo espesor de pared de la tubería.

8. Hojas de datos para la especificación de instrumentos.

El Diagrama de Flujo y Balance de Materia y Energía, tiene como característica principal, el de ser claro, conciso y completo.

Se muestra en el diagrama, todas las piezas de equipo en que los materiales en proceso sufran cambios de:

- 1.Composición, ya sea por una reacción química, por mezclarse entre sí ó por separarse unos de otros.
- 2.De condiciones de operación, que pueden ser un aumento ó disminución de temperatura y presión , que favorezcan un cambio de composición deseado.

En caso de que un equipo requiera tener uno de repuesto, se debe mostrar sólo uno de ellos.

Todas las corrientes de proceso deben ser mostradas e identificadas con un número de corriente a toda aquella que sea diferente en flujo ó composición de las demás.

En lo que se refiere a la instrumentación, únicamente se mostrarán interruptores, controladores y válvulas de control necesarios para una correcta interpretación del proceso. No deberán mostrarse elementos primarios, transmisores, u otro instrumento, que como parte del lazo de control, se incluirán en el D.T.I.

En la parte inferior del diagrama, se tiene un cuadro , que marca las características del fluido en cada corriente (composición, densidad, viscosidad,etc), así como las condiciones de operación (presión, temperatura,flujo) , correspondientes a cada corriente previamente identificadas.

A continuación se presenta el Diagrama de Flujo y Balance de Materia y Energía del Proceso de Evaporación Instantánea en etapas Múltiples, para una planta desaladora de agua de mar.

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION (D.T.I.).- Es el documento en donde se representa gráficamente la secuencia de equipos, tuberías y accesorios que conforman una planta.

Se clasifican en:

1. D.T.I. de Proceso .- Representan los componentes de la planta que intervienen directamente en el proceso.
2. D.T.I. de Servicios.- Representan los componentes necesarios para la generación de servicios que se requieren para llevar a cabo un proceso determinado (agua , vapor, aire, etc.)
3. Diagramas de Distribución.- Representan los sistemas de interconexión entre los diferentes diagramas de proceso y/o servicios. (Representación de cabezales que unen entre sí a las plantas de proceso ó a éstas con las de servicios, ó bien, sólo conectan áreas de servicios.

Para la elaboración del D.T.I. se requiere de la siguiente información:

Diagramas de Flujo y Balance de Materia y Energía.

Bases de Diseño.

Lista de Equipo.

El Diagrama de Tuberías e Instrumentación deberá contener la siguiente información:

- Todos los equipos que se muestran en los Diagramas de Flujo, incluyendo unidades de repuesto, unidades en paralelo, equipo mecánico y equipo auxiliar.
Cuando sea necesario, se incluirá también el equipo futuro.
- Todas las líneas que se requieran para la operación de la planta, tanto de proceso, como de servicios, incluyendo líneas de derivación, recirculaciones, venteos, drenes, tomas de muestra, etc.
- Los accesorios requeridos en el proceso, tales como: filtros, trampas de vapor, mangueras flexibles, juntas de expansión, etc.
- Toda la instrumentación requerida para el control del proceso, con cada elemento que constituya los lazos de control.

- Las líneas completamente identificadas con diámetro, servicio, número y especificación; y cuando se requiera: trazado, aislamiento, cambio de especificación y cambio de diámetro.

La información contenida en el D.T.I. sirve para:

- El diseño de los sistemas básicos de control requerido.
- La determinación del número y clases de equipos.
- El conocimiento de la trayectoria y componentes de las líneas.
- El obtener información para el diseño básico de los equipos.
- El obtener información para la elaboración de los arreglos de equipo.
- La elaboración del manual de arranque, operación y mantenimiento de la planta.
- Definir la instrumentación detallada requerida en el proceso ; numeración de instrumentos y elaboración del índice de instrumentos.
- Elaboración del índice de líneas, elaboración de planos de rutas de tuberías, arreglos en planta y elevación de tuberías , elaboración y codificación de isométricos, colocación de instrumentos en maqueta.
- La determinación de la cantidad de equipo accionado por motor eléctrico, y sistemas de control eléctrico.
- Cuantificación de materiales y accesorios.

Cada equipo presente en el D.T.I. , debe estar identificado con un número, debajo del símbolo que representa al mismo , el cual se obtiene de la Lista de Equipo. En la parte superior del diagrama, se tiene un cuadro de datos de los equipos involucrados. En dicho cuadro se tiene: el número de equipo, el nombre del equipo, y los datos básicos del mismo : dimensiones, material, condiciones de operación, y características propias del equipo.

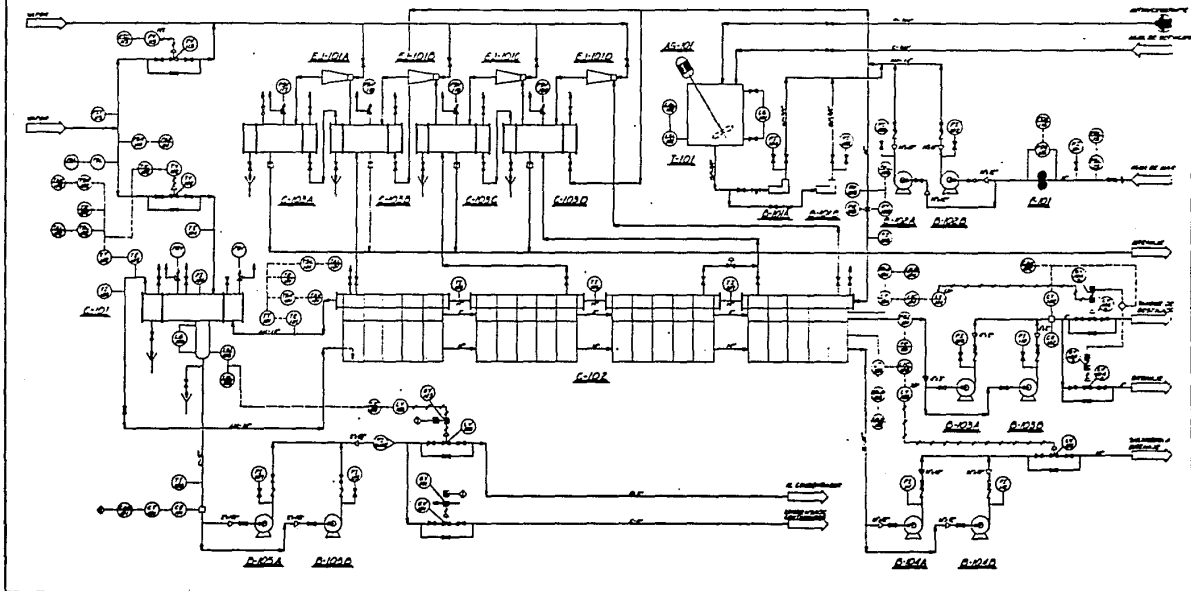
En la elaboración de un D.T.I. se deben considerar, los siguientes puntos:

- Los equipos mostrados sean proporcionales en tamaño y posición.
- La distribución correcta de los equipos.
- La indicación de las líneas de proceso y servicios con un gro


- sor mayor que las de instrumentos.
- Debe evitarse el cruce de líneas; pero en caso de presentarse, la línea dibujada en sentido horizontal siempre es continua, seccionando la que cruza en sentido vertical .
- Se debe indicar el sentido de flujo de la corriente por medio de una flecha pequeña encima de la línea, mostrándola en cada cambio de dirección.
- La interconexión de líneas, ya sea a otros diagramas ó al límite de baterías, deberán estar identificadas con el número de diagrama con el que se interconecta o bien la identificación de lo que es el límite de baterías.
- La identificación de la secuencia de control, por medio de rombos numerados según sea el control.

A continuación se presenta el Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Proceso de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples, para una planta desaladora de agua de Mar.

Nº EQUIPO	C-01	Nº EQUIPO	D-02AD	Nº EQUIPO	E-03ACD	Nº EQUIPO	K-04BCEJ	Nº EQUIPO	C-05E	Nº EQUIPO	F-01	Nº EQUIPO	AG-01	Nº EQUIPO	C-06AE	D-07AD	D-08AD	D-09AE	Nº EQUIPO	F-01
DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION	DESCRIPCION
...



UNIVERSIDAD DE AGUA CALIENTE	
FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN CIENCIAS QUIMICAS	
LABORATORIO DE INSTRUMENTACION	
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION	
FECHA	01
PROYECTO	OT-PO
ESCALA	1:1



UNIVERSIDAD DE AGUA CALIENTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA EN CIENCIAS QUIMICAS

LABORATORIO DE INSTRUMENTACION

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

FECHA: 01

PROYECTO: OT-PO

ESCALA: 1:1

Es el documento en el cual, se tienen distribuidos - todos los equipos, en el área disponible de la planta, del proceso específico.

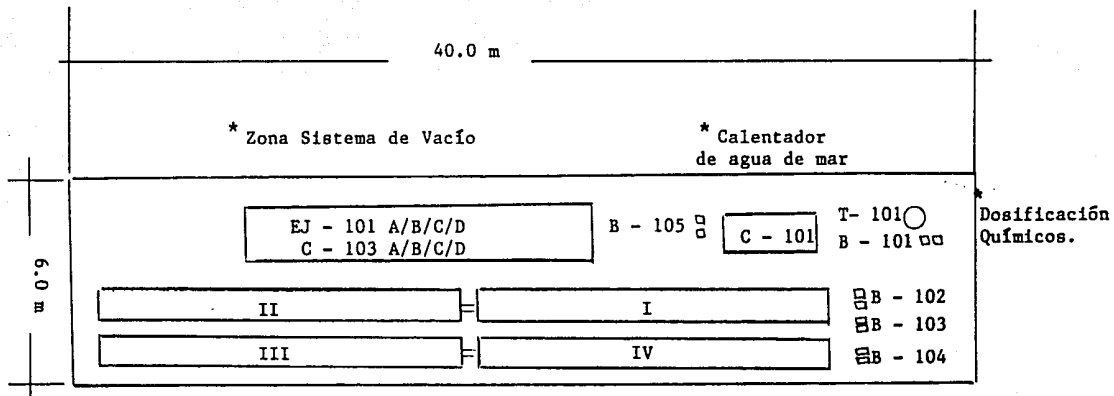
Este documento debe hacerse a escala y con acotaciones a línea de centros de cada equipo involucrado; además deberá contener:

- Vista en planta de todos los equipos presentes en el proceso, incluyendo los equipos de repuesto.
- Acotaciones para cada uno de los equipos, con referencia al área disponible.
- Identificación de cada uno de los equipos.
- En caso de existir escalera, ésta deberá mos - trarse , así como las acotaciones de nivel con respecto al piso terminado.

La elaboración del arreglo de equipo, requiere de la siguiente información:

- Información del área disponible en la planta.
- Diagrama de Tuberías e Instrumentación.
- Hojas de datos de los equipos.

A continuación, se presenta un arreglo preliminar de equipo, del caso en estudio; en donde se muestra las dimensiones del área disponible y la posible distribución de - los equipos, no se presenta a escala, ni se acotan las di - mensiones de los equipos, por ser sólo desquemático.



* Cámaras de desalinización de agua de mar por evaporación instantánea en etapas múltiples.

ARREGLO PRELIMINAR DE EQUIPO

LISTA DE EQUIPO.- En éste documento, se presentan todos los equipos que se encuentran en el D.T.I.; sirve para verificar, en la etapa de construcción, que todos los equipos necesarios estén presentes.

Se puede hacer la Lista de Equipo, ordenándolo según la clase de equipo: Agitadores, Bombas, Cambiadores de Calor, etc.; y a su vez, se enlista cada equipo en orden secuencial de su numeración; por ejemplo, en la sección de agitadores, se deberá tener primero el AG - 101, y después el AG - 102; y así hasta el último agitador que se tenga.

La Lista de Equipo, contiene a manera de columnas la siguiente información:

- Identificación del Equipo.
- Número de Especificación.
- Descripción (servicio)

Una vez que se tiene definido el D.T.I., se procede a hacer la Lista de Equipo, a partir de la cual se elaborará la Lista de Motores.

LISTA DE MOTORES.- Es aquel documento en donde se presentan todos los motores que existen en la planta. Sirve para proporcionar a los Ingenieros Eléctricos la información necesaria para que ellos puedan realizar el diseño de las instalaciones eléctricas. La Lista de Motores, contiene la siguiente información:

- Identificación de los motores.
- Servicio.
- Potencia (HP)
- Si es motor principal ó de repuesto.

A continuación, se presentan la Lista de Equipo y de Motores de nuestro caso en estudio.

L I S T A D E E Q U I P O

IDENTIFICACION	ESPECIFICACION	SERVICIO
AG-101	EV-1	Agitador tanque de polifosfatos.
AG-101M	EV-1	Motor de AG-101
B-101-A/B	EV-1	Bomba de dosificación de polifosfatos.
B-101-AM/BM	EV-1	Motor bomba B-101-A/B
B-102-A/B	EV-1	Bomba de alimentación de agua de mar a la cámara evaporadora.
B-102-AM/BM	EV-1	Motor bomba B-102-A/B
B-103-A/B	EV-1	Bomba de destilado
B-103-AM/BM	EV-1	Motor bomba B-103-A/B.
B-104-A/B	EV-1	Bomba de purga de salmuera.
B-104-AM/BM	EV-1	Motor bomba B-104-A/B.
B-105-A/B	EV-1	Bomba de condensado del calentador de agua de mar.
B-105-AM/BM	EV-1	Motor bomba B-105-A/B.
C-101	EV-1	Calentador de agua de mar.
C-102	EV-1	Cámara Evaporadora de agua de mar.
C-103-A/B/C/D	EV-1	Condensadores del Sistema de Vacío.

LISTA DE EQUIPO

IDENTIFICACION	ESPECIFICACION	SERVICIO
EJ-101-A/B/C/D	EV-1	Eyectores del - Sistema de Vacío.
F-101	EV-1	Filtro en la suc- ción Bomba B-102- A/B.
T-101	EV-1	Tanque de solu - ción de <u>polifosfa</u> tos.

 LISTA DE MOTORES

IDENTIFICACION	SERVICIO	POTENCIA (HP)	PRINC.	REPUESTO
AG-101M	Motor del agitador del tanque de polifosfatos.	1/4	SI	-----
B-101-AM	Motor de la bomba de dosificación de polifosfatos.	1/4	SI	-----
B-101-BM	Motor de la bomba de dosificación de polifosfatos.	1/4	-----	SI
B-102-AM	Motor bomba de alimentación de agua de mar a la evaporadora.	100	SI	-----
B-102-BM	Motor bomba de alimentación de agua de mar a la evaporadora.	100	-----	SI
B-103-AM	Motor bomba de destilado	7½	SI	-----
B-103-BM	Motor bomba de destilado	7½	-----	SI
B-104-AM	Motor bomba-purga de salmuera.	50	SI	-----

 LISTA DE MOTORES

IDENTIFICACION	SERVICIO	POTENCIA (HP)	PRINC.	REPUESTO
B-104-BM	Motor bomba purga de - salmuera.	50	-----	SI
B-105-AM	Motor bomba condensado- del calenta dor de agua de mar.	5	SI	-----
B-105-BM	Motor bomba condensado- del calenta dor de agua de mar.	5	-----	SI

ESPECIFICACIONES Y HOJAS
DE DATOS DE LOS EQUIPOS DE
PROCESO

ESPECIFICACION Y DATOS DE :
EVAPORADORA DE AGUA DE MAR

IDENTIFICACION DEL EQUIPO C - 102
 SERVICIO Cámara Evaporadora de Agua de Mar
 No. REQUERIDO Un sistema de 4 módulos de 5 etapas cada uno.

C O N D I C I O N E S D E
 O P E R A C I O N

FLUJO DE AGUA A OBTENER 50.0 m³/hr (220.15 GPM)
 PUREZA DEL DESTILADO REQUERIDA 5,0 ppm
 TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION 27 °C (80.6 °F)
 CONCENTRACION DEL AGUA DE ALIMENTACION 35, 638 ppm
 FLUJO DE AGUA DE MAR A LA ENTRADA 668.34 m³/hr (2943 GPM)
 FLUJO DE SALMUERA 619 m³/hr (2726 GPM)
 CONCENTRACION DE SALMUERA 38,528 ppm
 TEMPERATURA DE SALIDA DE SALMUERA 37°C (98.6 °F)

C O N D I C I O N E S D E
 D I S E N O

NUMERO DE MODULOS 4.0 (Cuatro)
 No. ETAPAS/MODULO 5.0 (Cinco)
 LONGITUD/ETAPA 3.048 m (10 ft)
 DIAMETRO DE TUBOS 5/8"
 VELOCIDAD EN LOS TUBOS 2.13 m/seg (7 ft/seg)
 NUMERO DE TUBOS 563.0
 ARREGLO DE TUBOS Triangular ; Paso = 1.25

M A T E R I A L E S

CUERPO	ASTM B - 171-706
CABEZALES	ASTM B - 171-706
TAPAS DE CABEZALES	ASTM B - 171-706
ESPEJOS	ASTM B - 171-706
BRIDAS DEL CABEZAL	ASTM B - 171-706
TUBOS INTERIORES	<i>(salmuera en el interior)</i> ASTM B - 111-706
PLACA SOPORTE DEL HAZ	ASTM B - 171 - 706
CHAROLAS COLECTORAS DE DESTILADO	ASTM B - 171 - 706
ELIMINADORES DE AGUA DEL VAPOR	ASTM B - 127 - 400
CAJAS DE AGUA	ASTM B - 171 - 706
ESTRUCTURA, SOPORTE, Y BASE	ASTM A - 36
ORIFICIOS PARA DESTILADO	ASTM B - 171 - 706

En las siguientes hojas, se presentan los esquemas correspondientes a la Cámara de Evaporación Instantánea. Dichos esquemas son:

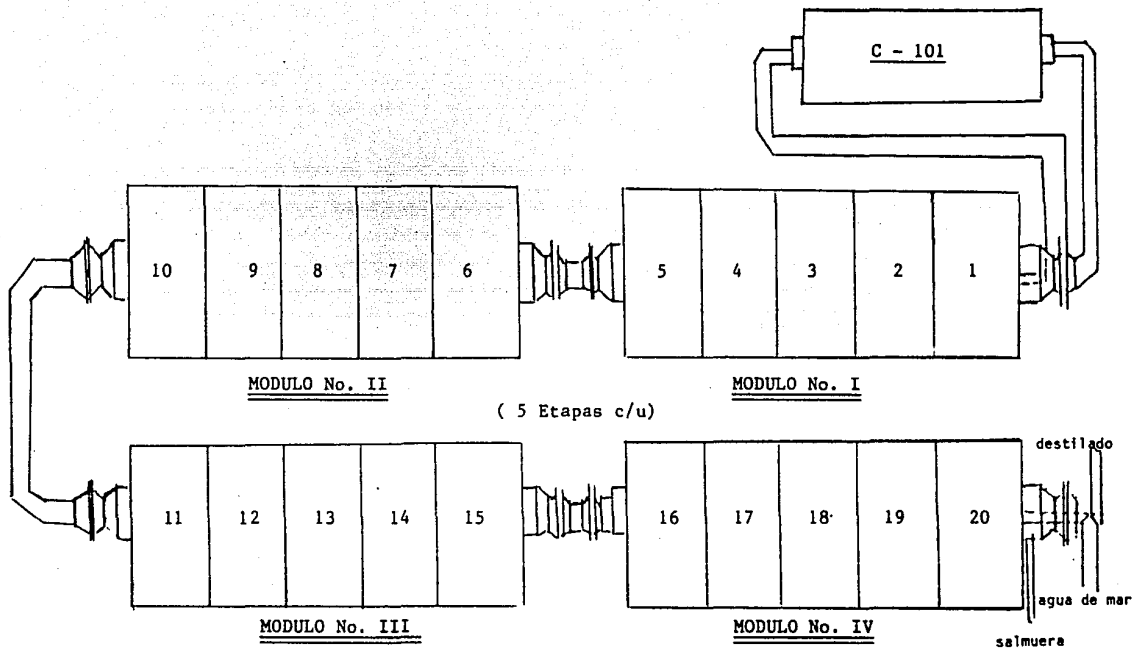
1. Identificación de Módulos y Etapas de la Unidad Evaporadora.
2. Localización de boquillas en cada Cámara de Evaporación.
3. Vista frontal de la Cámara de Evaporación. Caja de agua y Espejo.
4. Localización de eliminadores de agua del vapor.Registro Hombre.
5. Vista Externa/Interna de la Cámara de Evaporación Instantánea.

A continuación , se presenta el cuadro de boquillas, correspondiente a los esquemas antes mencionados.

No.	IDENTIF.	CANT.	DIAM.	CLASE-CARA	SERVICIO
A	UNA	14"	150 #	RF	Entrada Agua de Mar
B	UNA	14"	150 #	RF	Salida Agua de Mar
C	UNA	14"	150 #	RF	Salida Destilado
D	UNA	14"	150 #	RF	Salida de Salmuera
E	UNA	1"	150 #	RF	Ventoe caja de agua
F	UNA	1"	150 #	RF	Ventoe caja de agua
G	UNA	1½"	NPT		Conexión para vacío
H	UNA	18"	B. Ciega		Entrada Hombre.
I	UNA	1½"	150 #	RF	Transmisor de Nivel
J	UNA	1½"	150 #	RF	Transmisor de Nivel
K	UNA	4"	150 #	RF	Entrada Salmuera
L	UNA	14"	150 #	RF	Entrada Destilado

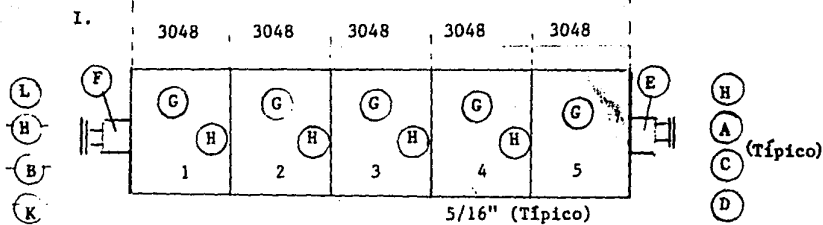
Notas.- Se tendrá aislamiento de 38 mm de espesor sólo en los Módulos I y II.
 La boquilla "L" , existente a partir del Módulo II. (Módulo I carece de ella).
 Las boquillas "I" , "J" son existentes únicamente en el Módulo IV.

CALENTADOR DE AGUA DE MAR

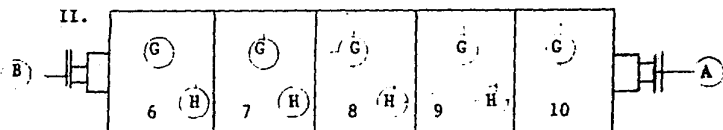


CAMARA EVAPORADORA DE AGUA DE MAR

15240.0 (TIPO)

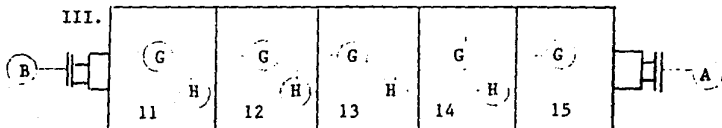


II.

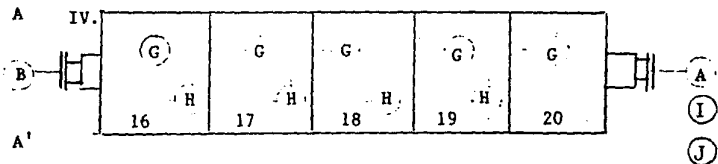


CAJA DE AGUA

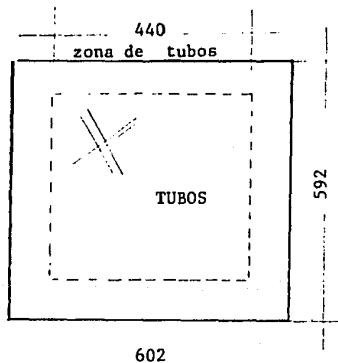
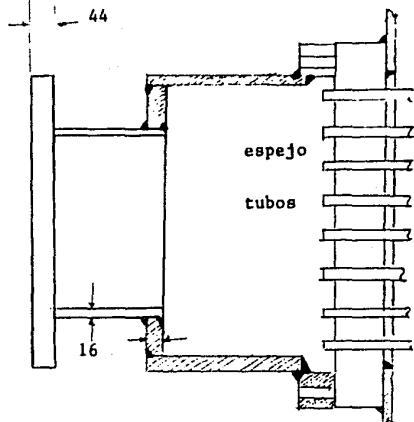
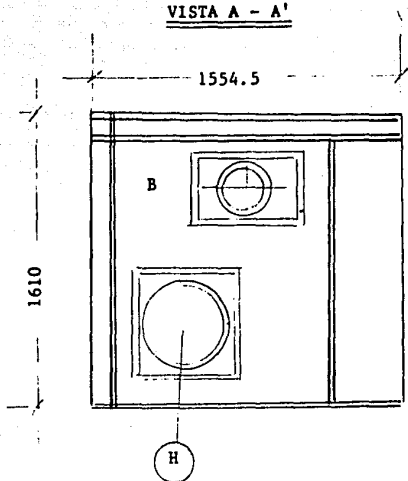
III.



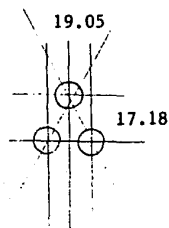
IV.

PLANTA

ACOTACIONES [-]mm

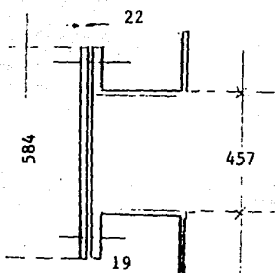
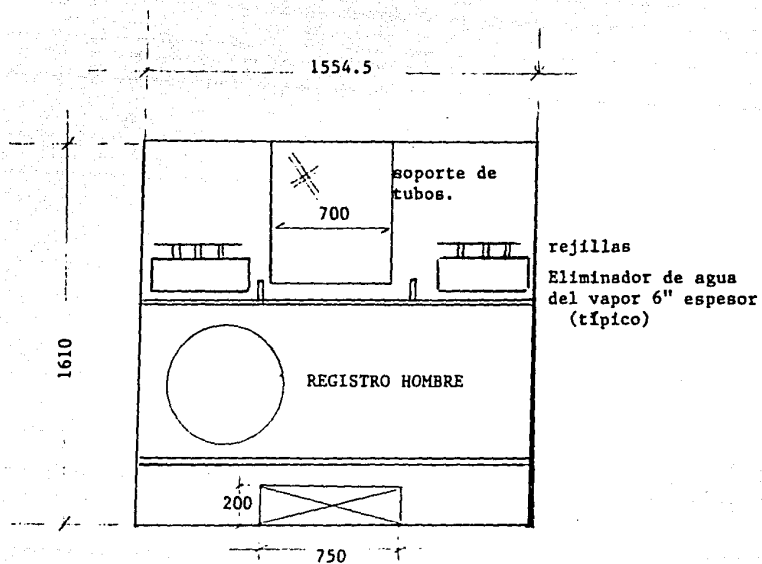
VISTA A - A'ESPEJOCAJA DE AGUA.

No. REQUERIDO : 2 por Módulo.
 Total : 8.0

PASO

paso = 1.2 x Ø tubing

ACOTACIONES [=] mm

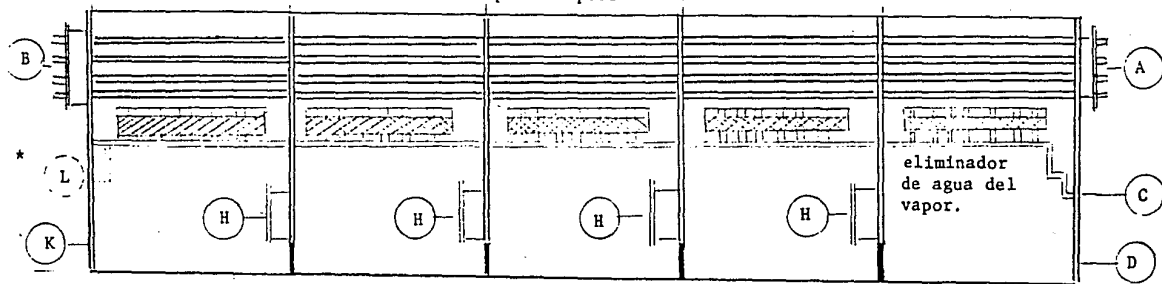


Cada Etapa tiene
dos eliminadores
de agua del vapor
Total : 40 pzas.

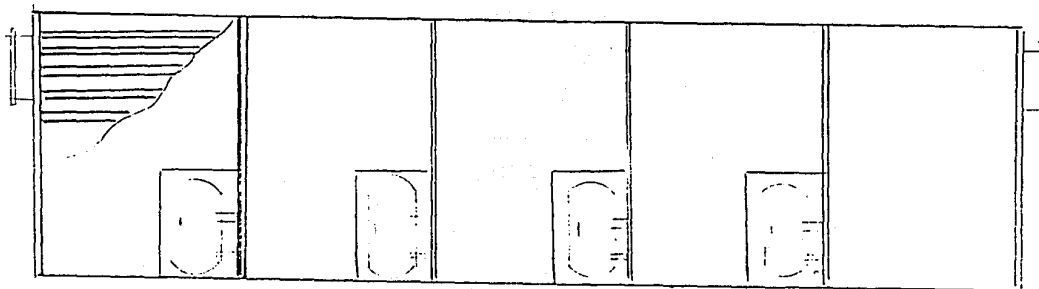
ACOTACIONES [=] mm

REGISTRO HOMBRE

3048
placa soporte



* Boquilla no existente en el Módulo I.



VISTA EXTERNA/ INTERNA CAMARA DE EVAPORACION
INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES.

ESPECIFICACION Y DATOS DE:

BOMBAS CENTRIFUGAS

IDENTIFICACION DEL EQUIPO	B-102 A/B
SERVICIO	Bomba de alimentación de agua de mar a la Evaporadora
No. REQUERIDO	2.0 (Dos)

CONDICIONES DE
OPERACION

FLUIDO MANEJADO	Agua de Mar a una concentración de 35,638 ppm
TEMPERATURA DE BOMBEO	27°C (80.6 °F)
DENSIDAD RELATIVA	1.02278
PRESION DE VAPOR	0.03675 kg/cm ² (0.523 lb/in ²)
VISCOSIDAD	1.08 cP
FLUJO	668.34 m ³ /hr (2943 GPM)
PRESION DE SUCCION	0.352 kg/cm ² (5.0 lb/in ²)
PRESION DE DESCARGA	3.0 kg/cm ² (43.0 lb/in ²)
PRESION DIFERENCIAL	2.648 kg/cm ² (37.65 lb/in ²)
CARGA DIFERENCIAL	25.9 m (85.0 ft)
NPSH disponible	9.20 m (30.19 ft)

CONDICIONES DE
DISEÑO

TIPO DE BOMBA	Centrífuga Horizontal
SOPORTE DE LA BOMBA	Pie
PARTICION	Axial ; doble voluta.
BOQUILLAS	
diámetro/posición	
SUCCION	12" / Horizontal
DESCARGA	10" / Horizontal
TIPO DE IMPULSOR	Cerrado

TIPO DE LUBRICACION	Grasa
EMPAQUE/ SELLO MECANICO	Empaque
MOTOR IDENTIFICACION	B-102 - AM/BM
TIPO	Inducción
ENCAPSULADO	Totalmente cerrado con ventilación
VOLTS/FASES/CICLOS	460/ 3/ 60
R.P.M.	1780.0
POTENCIA	75 KW (100 HP)
MATERIALES	
CARCAZA	Acero Inoxidable ASTM A-743 Gr CF8M
IMPULSOR	Acero Inoxidable ASTM A-743 Gr CF8M
FLECHA	Ni-Cu 70-30 ASTM B-127. 400
PARTES INETRIORES	Acero Inoxidable 316
COMPORTAMIENTO	
NPSH requerido	5.5 m (18 ft)
R.P.M.	1780 .0
EFICIENCIA	85 %
DIAM. IMPULSOR	10 1/2"
MAXIMA CARGA AL IMPULSOR DE DISEÑO	36.0 m (118 ft)
FLUJO MINIMO CONTINUO	363.4 m ³ /hr (1600 GPM)
PESOS	
BOMBA	623.0 kg (1385 lb)
BASE	473.0 kg (1050 lb)
MOTOR	522.0 kg (1150 lb)

IDENTIFICACION DEL EQUIPO	B - 103 A/B
SERVICIO	Bomba de Destilado
No. REQUERIDO	2.0 (Dos)

C O N D I C I O N E S D E
O P E R A C I O N

FLUIDO MANEJADO	Destilado
TEMPERATURA DE BOMBEO	36.62 °C (97.91 °F)
DENSIDAD RELATIVA	1.0
PRESION DE VAPOR	0.0633 kg/cm ² (0.90 lb/in ²)
VISCOSIDAD	0.7 cP
FLUJO	50 m ³ /hr (220.15 GPM)
PRESION DE SUCCION	0.40 kg/cm ² (6.0 lb/in ²)
PRESION DE DESCARGA	3.0 kg/cm ² (43 lb/in ²)
PRESION DIFERENCIAL	2.6 kg/cm ² (36.972 lb/in ²)
CARGA DIFERENCIAL	25.9 m (85.29 ft)
NPSH _{disponible}	8.97 m (29.43 ft)

C O N D I C I O N E S D E
D I S E Ñ O

TIPO DE BOMBA	Centrífuga horizontal
SOPORTE DE LA BOMBA	Pie
PARTICION	Axial, voluta sencilla
BOQUILLAS	
diámetro/posición	
SUCCION	3" / Horizontal
DESCARGA	2" / Horizontal
TIPO DE IMPULSOR	Cerrado

TIPO DE LUBRICACION	<u>Grasa</u>
EMPAQUE/SELO MECANICO	<u>Empaque</u>
MOTOR	
IDENTIFICACION	<u>B - 103 AM/ BM</u>
TIPO	<u>Inducción</u>
ENCAPSULADO	<u>Totalmente cerrado con ventilación</u>
VOLTS/FASES/CICLOS	<u>460/ 3/ 60</u>
R. P. M.	<u>3500</u>
POTENCIA	<u>7½ HP</u>
MATERIALES	
CARCAZA	<u>Acero Inoxidable ASTM A-743 Gr. CF8M</u>
IMPULSOR	<u>Acero Inoxidable A-743 Gr CF8M</u>
FLECHA	<u>Acero Inoxidable AISI 416</u>
PARTES INTERIORES	<u>Acero Inoxidable ASTM A-743</u>
COMPORTAMIENTO	
NPSH _{requerido}	<u>3.66 m (12 ft)</u>
R. P. M.	<u>3500</u>
EFICIENCIA	<u>68%</u>
DIAM. IMPULSOR	<u>5"</u>
MAXIMA CARGA AL IMPULSOR DE DISEÑO	<u>36.57 m³ (120 ft³)</u>
FLUJO MINIMO CONTINUO	<u>13.62 m³/hr (60 GPM)</u>
PESOS	
BOMBA	<u>82.0 kg (180 lb)</u>
BASE	<u>48.0 kg (105 lb)</u>
MOTOR	<u>63.5 kg (160 lb)</u>

IDENTIFICACION DEL EQUIPO B-104 A/BSERVICIO Bomba de Purga de SalmueraNo. REQUERIDO 2.0 (Dos)C O N D I C I O N E S D E
O P E R A C I O NFLUIDO MANEJADO Salmuera a una concentración de 38, 528 ppmTEMPERATURA DE BOMBEO 37 °C (98.6°F)DENSIDAD RELATIVA 1.0215025PRESION DE VAPOR 0.06451 kg/cm² (0.9173 lb/in²)VISCOSIDAD 1.0904 cPFLUJO 619.2 m³/hr (2726.3 GPM)PRESION DE SUCCION 0.4 kg/cm² (6.0 lb/in²)PRESION DE DESCARGA 2.0 kg/cm² (28.44 lb/in²)PRESION DIFERENCIAL 1.6 kg/cm² (22.752 lb/in²)CARGA DIFERENCIAL 15.66 m (51.38 ft)NPSH_{disponible} 8.93 m (29.298 ft)C O N D I C I O N E S D E
D I S E Ñ OTIPO DE BOMBA Centrifuga HorizontalSOPORTE DE LA BOMBA PiePARTICION Axial, doble voluta.

BOQUILLAS

diámetro/posición

SUCCION 12 " / horizontalDESCARGA 10 " / HorizontalTIPO DE IMPULSOR Cerrado

TIPO DE LUBRICACION
EMPAQUE/SELLO MECANICO

Grasa

Empaque

MOTOR

IDENTIFICACION

B - 104 AM/8M

TIPO

Inducción

ENCAPSULADO

Totalmente cerrado con ventilación

VOLTS/FASES/CICLOS

460/ 3/ 60

R. P. M.

1150

POTENCIA

50 HP

MATERIALES

CARCAZA

Acero Inoxidable ASTM A-743 Gr CF8M

IMPULSOR

Acero Inoxidable ASTM A-743 Gr CF8M

FLECHA

Ni-Cu 70-30 ASTM B-127. 400

PARTES INTERIORES

Acero Inoxidable 316

COMPORTAMIENTO

NPSH requerido

2.13 m (7.0 ft)

R. P. M.

1150

EFICIENCIA

79%

DIAM. IMPULSOR

13 3/4 "

MAXIMA CARGA AL
IMPULSOR DE DISEÑO27.43 m³ (90 ft³)

FLUJO MINIMO CONTINUO

386 m³/hr (1700 GPM)

PESOS

BOMBA

623 kg (1385 lb)

BASE

383 kg (850 lb)

MOTOR

379 kg (835 lb)

IDENTIFICACION DEL EQUIPO	<u>B - 105 A/B</u>
SERVICIO	<u>Bomba de condensado del calentador de agua de mar.</u>
No. REQUERIDO	<u>2.0 (Dos)</u>

C O N D I C I O N E S D E
O P E R A C I O N

FLUIDO MANEJADO	<u>Condensado</u>
TEMPERATURA DE BOMBEO	<u>87°C (188.6°F)</u>
DENSIDAD RELATIVA	<u>0.9676</u>
PRESION DE VAPOR	<u>0.6329 kg/cm² (9.0 lb/in²)</u>
VISCOSIDAD	<u>0.33 cP</u>
FLUJO	<u>12.62 m³/hr (55.58 GPM)</u>
PRESION DE SUCCION	<u>0.6 kg/cm² (8.5 lb/in²)</u>
PRESION DE DESCARGA	<u>4.0 kg/cm² (56.88 lb/in²)</u>
PRESION DIFERENCIAL	<u>3.4 kg/cm² (48.34 lb/in²)</u>
CARGA DIFERENCIAL	<u>35.13 m (115.27 ft)</u>
NPSH _{disponible}	<u>2.4 m (7.87 ft)</u>

C O N D I C I O N E S D E
D I S E N O

TIPO DE BOMBA	<u>Centrifuga horizontal</u>
SOPORTE DE LA BOMBA	<u>Pie</u>
PARTICION	<u>Radial, voluta sencilla</u>
BOQUILLAS	
diámetro/posición	
SUCCION	<u>1½" / horizontal</u>
DESCARGA	<u>1" / vertical</u>
TIPO DE IMPULSOR	<u>abierto</u>

TIPO DE LUBRICACION	Grasa
EMPAQUE/ SELLO MECANICO	Empaque
MOTOR	
IDENTIFICACION	B - 105 AM/BM
TIPO	Inducción
ENCAPSULADO	Totalmente cerrado con ventilación
VOLTS/FASES/CICLOS	460 / 3 / 60
R.P.M.	3500
POTENCIA	5 HP
MATERIALES	
CARCAZA	ASTM A - 743 Gr. CF8M
IMPULSOR	ASTM A - 743 Gr. CF8M
FLECHA	ASTM B-127-400
PARTES INTERIORES	ASTM A-743 Gr CF8M
COMPORTAMIENTO	
NPSH _{requerido}	0.91 m (3.0 ft)
R.P.M.	3500
EFICIENCIA	56%
DIAM. IMPULSOR	5½"
MAXIMA CARGA AL IMPULSOR DE DISEÑO	43 m (140 ft)
FLUJO MINIMO CONTINUO	6.0 m ³ /hr (25.0 GPM)
PESOS	
BOMBA	38 kg (84 lb)
BASE	36 kg (80 lb)
MOTOR	43 kg (95 lb)

ESPECIFICACION Y DATOS DE:

SISTEMA DE DOSIFICACION DE QUIMICOS

IDENTIFICACION DEL EQUIPO Sistema DQ -1
 SERVICIO Dosificación de solución antiincrustante al agua de mar.
 No. REQUERIDO 1.0 (Un paquete)

C O N D I C I O N E S D E
 O P E R A C I O N

PRODUCTO QUIMICO A EMPLEAR Solución de Polifosfatos
 DOSIFICACION 2 - 4 ppm
 TEMPERATURA DE OPERACION 27°C (80.6°F)
 FRECUENCIA DE DOSIFICACION Continua

C O N D I C I O N E S D E
 D I S E N O

TANQUE DE QUIMICOS.

IDENTIFICACION T - 101
 CAPACIDAD 0.3 m³ (10.5 ft³)
 DIMENSIONES Cilindrico Vertical
 ALTURA 0.8184 m (2.68 ft)
 DIAMETRO 0.682 m (2.24 ft)
 MATERIAL Fibra de Vidrio
 ESPESOR 3/16 "
 BOQUILLAS entrada/salida : 1" diam.

AGITADOR

IDENTIFICACION AG - 101
 TIPO Propela
 R.P.M . 350.0
 POTENCIA 1/4 HP

BOMBA DOSIFICACION DE QUIMICOS

IDENTIFICACION B - 101 A/B
 TIPO Diafragma
 MATERIAL Impulsor y Flecha : ASTM A- 240-316
 R.P.M. /POTENCIA 1725/ 1/4 HP

ESPECIFICACION Y DATOS DE:

FILTROS CANASTA.

IDENTIFICACION DEL EQUIPO

F - 101

SERVICIO

Filtro en la succión de la bomba de agua de mar.

No. REQUERIDO

1.0 (Uno)

C O N D I C I O N E S D E
O P E R A C I O N

FLUIDO MANEJADO

Agua de mar a una concentración de 35,638 ppm.

TEMPERATURA DE OPERACION

27°C (80.6°F)

PRESION DE OPERACION

0.352 kg/cm² (5.0 lb/in²)

FLUJO

668.34 m³/hr (2943 GPM)

CAIDA DE PRESION PERMISIBLE

0.14 kg/cm² (2.0 lb/in²)

C O N D I C I O N E S D E
D I S E Ñ O

TIPO DE FILTRO

Filtro Canasta tipo Duplex.

TAMANO DE PERFORACION DE MALLA

1/8 " . Malla No. 100

MATERIAL

CUERPO

Acero Inoxidable 316

CANASTA

Acero Inoxidable 304

ACCESORIOS

VALVULAS

Requeridas

MANOMETRO

Requerido

ESPECIFICACION Y DATOS DE:

CALENTADOR DE AGUA DE MAR.

IDENTIFICACION DEL EQUIPO C - 101
 SERVICIO Calentador de agua de mar
 No. REQUERIDO 1.0 (Uno)

CONDICIONES DE

OPERACION

TIPO Coraza y Tubos . BEM

a) CORAZA.

FLUIDO Vapor de agua
 TEMPERATURA entrada/salida 87°C
 PRESION DE DISEÑO 5.0 kg/cm²
 GRAVEDAD ESPECIFICA 0.3
 FLUJO 12224.2 kg/hr

b) TUBOS.

FLUIDO Agua de mar
 TEMPERATURA entrada/salida 71.71°C / 82°C
 PRESION DE DISEÑO 3.0 kg/cm²
 GRAVEDAD ESPECIFICA 1.003
 FLUJO 683 428.5 kg/hr

c) No. DE PASOS CORAZA/ TUBOS 1 / 4

VELOCIDAD EN LOS TUBOS 2.1336 m/seg

FACTOR DE INCRUSTACION EN LOS TUBOS 0.001

CALOR INTERCAMBIADO 6 683 864.3 Kcal/hr

CORROSION PERMISIBLE Coraza : 1.0 mm ; Tubos : 0.0 mm

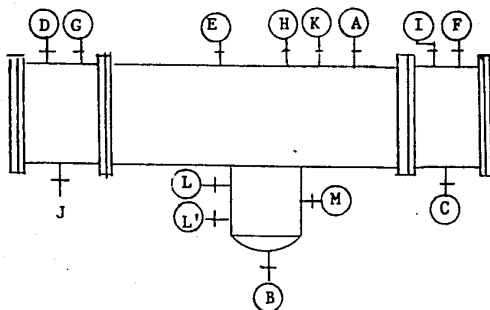
DIAM. TUBOS / BWG 3/4 " / 18

CODIGOS REQUERIDOS ASME TEMA C

ARREGLO Triangular. 23.8 mm

MATERIALES.

CUERPO	ASTM A - 515 grado 70 (Acero al Carbon)
CABEZALES	ASTM B - 171 -706
ESPEJOS	ASTM B - 171 -706
TUBOS INTERIORES	ASTM B - 171 -706
CAJA DE AGUA	ASTM B 171 -706
EMPAQUES	Asbesto



IDENTIFICACION DE BOQUILLAS.

No. IDENTIF.	CANT.	DIAM.	CLASE/CARA	SERVICIO
A	UNA	12"	150# RF	Entrada de Vapor
B	UNA	2"	150# RF	Salida de Condensado
C	UNA	14"	150# RF	Entrada Agua de Mar
D	UNA	14"	150# RF	Salida de Agua de Mar
E	UNA	3/4"	150# Rosc.	Válvula de Seguridad
F	UNA	3/4"	150# Rosc.	Válvula de Seguridad
G	UNA	1 1/2"	150# RF	Venteo
H	UNA	1 1/2"	150# RF	Venteo
I	UNA	1 1/2"	150# RF	Venteo
J	UNA	1 1/2"	150# RF	Drenaje
K	UNA	1/2"	NPT	Manómetro
L, L'	DOS	1"	3000# Rosc	Indicador de nivel.
M	UNA	1"	150# Rosc	Interruptor de nivel

ESPECIFICACION Y DATOS DE:

SISTEMA DE VACIO

IDENTIFICACION DEL EQUIPO EJ - 101 A
 SERVICIO Eyector de la etapa número 1 de la cámara Evaporadora
 CANTIDAD (1.0) Uno

C O N D I C I O N E S D E
 O P E R A C I O N

PRESION DE SUCCION 0.4627 kg/cm² (6.58 lb/in²)
 TEMPERATURA DE SUCCION 79.0 °C (174.12 °F)

FLUIDO DESPLAZADO	P.M.	FLUJO (kg/hr)	CP (Kcal/kg°C)
Aire	29.0	11.62	
CO ₂	44.0	4.53	
Agua	18.0	240.40	

T O T A L

----- 256.55 -----

VAPOR MOTRIZ: PRESION 4.46 kg/cm² (63.4 lb/in²)
 TEMPERATURA 266.4 °C (511.5 °F)
 CALIDAD Sobrecalentado

PRESION BAROMETRICA 760 mm Hg abs

No. DE ETAPAS Cuatro EYECTORES / ETAPA Uno

FUGA DE AIRE PROBABLE Total : 35.0 kg/hr (77.0 lb/hr)

M A T E R I A L E S

ENTRADA DIFUSOR ASTM A - 240 Tipo 316

DESCARGA ASTM - A 240 Tipo 316

CAMARA DE SUCCION Acero al Carbón

TOBERA DE VAPOR Acero Inoxidable

CONDENSADOR DE SUPERFICIE

CANTIDAD Uno

CORAZA

FLUIDO Vapor e Incondensables

TEMPERATURA entrada/salida _____

PRESION DE DISEÑO _____

GRAVEDAD ESPECIFICA _____

FLUJO _____

TUBOS

FLUIDO Agua de mar

TEMPERATURA entrada/salida _____

PRESION DE DISEÑO _____

GRAVEDAD ESPECIFICA _____

FLUJO _____

NUMERO DE PASOS CORAZA/TUBOS 1 / 2

VELOCIDAD EN LOS TUBOS _____

FACTOR DE INCRUSTACION 0.001

CALOR INTERCAMBIADO _____

DIAMETRO DE TUBOS/ BWG 3/4" / 18

CODIGOS REQUERIDOS ASME. TEMA C

ARREGLO Triangular

MATERIALES

CUERPO Acero al Carbón

CABEZALES B - 171-706

TUBOS B - 171 -706

ESPEJOS B - 171 -706

Nota : La información faltante debe ser proporcionada por el proveedor del Equipo.

EJ - 101 B

IDENTIFICACION DEL EQUIPO

SERVICIO Eyector de la Etapa Número 10 de la Cámara EvaporadoraCANTIDAD Uno

C O N D I C I O N E S D E
O P E R A C I O N

PRESION DE SUCCION 0.19 kg/cm² (2.71 lb/in²)TEMPERATURA DE SUCCION 58.5 °C (137.46 °F)

FLUIDO DESPLAZADO	P.M.	FLUJO (kg/hr)	CP (Kcal/kg°C)
Aire	29.0	11.74	
CO ₂	44.0	4.59	
Agua	18.0	103.32	
T O T A L		----- 119.65	-----

VAPOR MOTRIZ : PRESION 4.46 Kg/cm² (63.4 lb/in²)TEMPERATURA 266.4 °C (511.5 °F)CALIDAD SobrecalentadoPRESION BAROMETRICA 760 mm HgNo. DE ETAPAS Cuatro EYECTORES/ETAPA UnoFUGA DE AIRE PROBABLE Total : 35.0 kg/hr (77.0 lb/hr)

M A T E R I A L E S

ENTRADA DIFUSOR ASTM A-240 Tipo 316

DESCARGA ASTM A 240 Tipo 316
 CAMARA DE SUCCION Acero al Carbón
 TOBERA DE VAPOR Acero Inoxidable
 CONDENSADOR DE SUPERFICIE _____
 CANTIDAD Uno
 CORAZA
 FLUIDO Vapor e Incondensables
 TEMPERATURA entrada/salida _____
 PRESION DE DISEÑO _____
 GRAVEDAD ESPECIFICA _____
 FLUJO _____
 TUBOS
 FLUIDO Agua de Mar
 TEMPERATURA entrada/salida _____
 PRESION DE DISEÑO _____
 GRAVEDAD ESPECIFICA _____
 FLUJO _____
 NUMERO DE PASOS CORAZA/TUBOS 1 / 2
 VELOCIDAD EN LOS TUBOS _____
 FACTOR DE INCRUSTACION 0.001
 CALOR INTERCAMBIADO _____
 DIAMETRO DE TUBOS/BWG 3/4" /18
 CODIGOS REQUERIDOS ASME.TEMA C
 ARREGLO Triangular
 MATERIALES
 CUERPO Acero al Carbón
 CABEZALES B- 171 - 706
 TUBOS B - 171 -706
 ESPEJOS B - 171- 706

Nota: La información faltante debe ser proporcionada por el proveedor del Equipo.

DESCARGA	ASTM A 240 - Tipo 316
CAMARA DE SUCCION	Acero al Carbón
TOBERA DE VAPOR	Acero Inoxidable
CAJA DE VAPOR	Acero al Carbón
CONDENSADOR DE SUPERFICIE	
CANTIDAD	Uno
CORAZA	
FLUIDO	Vapor e Incondensables
TEMPERATURA entrada/salida	
PRESION DE DISEÑO	
GRAVEDAD ESPECIFICA	
FLUJO	
TUBOS	
FLUIDO	Agua de Mar
TEMPERATURA entrada/salida	
PRESION DE DISEÑO	
GRAVEDAD ESPECIFICA	
FLUJO	
NUMERO DE PASOS CORAZA/TUBOS	1 / 2
VELOCIDAD EN LOS TUBOS	
FACTOR DE INCRUSTACION	0.001
CALOR INTERCAMBIADO	
DIAMETRO DE TUBOS / BWG	3/4 " / 18
CODIGOS REQUERIDOS	ASME . TEMA C
ARREGLO	triangular
MATERIALES	
CUERPO	Acero al Carbón
CABEZALES	B - 171 -706
TUBOS	B - 171 -706
ESPEJOS	B - 171 -706

Nota: La información faltante debe ser proporcionada por el proveedor del -
Equipo.

IDENTIFICACION DEL EQUIPO EJ - 101 D
 SERVICIO Eyector de la Etapa Número 20 de la Cámara Evaporadora
 CANTIDAD Uno

C O N D I C I O N E S D E
 O P E R A C I O N

PRESION DE SUCCION 0.063 kg/cm² (0.89 lb/in²)
 TEMPERATURA DE SUCCION 36.6 °C (97.9°F)

FLUIDO DESPLAZADO	P.M.	FLUJO (kg/hr)	CP(Kcal/6kg°C)
Aire	29.0	1.3151	
CO ₂	44.0	0.9070	
Agua	18.0	4.4	
T O T A L	-----	6.6221	-----

VAPOR MOTRIZ : PRESION 4.46 kg/cm² (63.4 lb/in²)
 TEMPERATURA 266.4 °C (511.5 °F)
 CALIDAD Sobrecalentado

PRESION BAROMETRICA 760 mm Hg

No. DE ETAPAS cuatro EYECTORES/ETAPA Uno

FUGA DE AIRE PROBABLE Total : 35.0 kg/hr (77.0 lb/hr)

M A T E R I A L E S

ENTRADA DIFUSOR	<u>ASTM A 240 Tipo 316</u>
DESCARGA	<u>ASTM A 240 Tipo 316</u>
TOBERA DE VAPOR	<u>Acero Inoxidable</u>
CAJA DE VAPOR	<u>Acero al Carbón</u>

CONDENSADOR DE SUPERFICIE

CANTIDAD Uno

CORAZA

FLUIDO Vapor e Incondensables

TEMPERATURA entrada/salida _____

PRESION DE DISEÑO _____

GRAVEDAD ESPECIFICA _____

FLUJO _____

TUBOS

FLUIDO Agua de Mar

TEMPERATURA entrada/salida _____

PRESION DE DISEÑO _____

GRAVEDAD ESPECIFICA _____

FLUJO _____

NUMERO DE PASOS CORAZA/TUBOS 1 / 2

VELOCIDAD EN LOS TUBOS _____

FACTOR DE INCRUSTACION 0.001

CALOR INTERCAMBIADO _____

DIAMETRO DE LOS TUBOS / BWG 3/4" / 18

CODIGOS REQUERIDOS ASME. TEMA C

ARREGLO Triangular

MATERIALES

CUERPO	<u>Acero al Carbón</u>
CABEZALES	<u>B - 171 - 706</u>
TUBOS	<u>B - 171 - 706</u>
ESPEJOS	<u>B - 171 - 706</u>

Nota: La información faltante debe ser proporcionada por el proveedor del Equipo.

I N S T R U M E N T A C I O N

INDICE DE INSTRUMENTOS

HOJAS DE DATOS.

I N S T R U M E N T A C I O N

- 1.) Índice de Instrumentos. - Es aquél documento, en el cual se agrupan todos los instrumentos necesarios para el control de un proceso específico. Sirve como referencia en planos, dibujos, etc. de la ingeniería en donde se presenten instrumentos.

La instrumentación se agrupa por variable a controlar : flujo, presión, temperatura, etc. La numeración de los instrumentos que corresponden a una misma variable, se hará en forma progresiva.

Cada instrumento, deberá ser identificado de acuerdo a las normas de la ISA, las cuales son universalmente aceptadas y se aplican a nuestro país. En el Diagrama de Tuberías e Instrumentación se encuentra cada instrumento, representa do por un símbolo y con una etiqueta de identificación; la cual será la misma en el índice de instrumentos.

La información que se presenta en el índice de instrumentos, es :

- a) Identificación del instrumento.
- b) Servicio.
- c) Localización (línea o equipo).
- d) Ubicación (local, atrás o frente de Tablero).
- e) Marca (cuando ya se tiene seleccionado el proveedor)

Además se debe de indicar en qué número de D.T.I. se encuentran; en nuestro caso, por simplificación y por ser sólo un D.T.I. se omitirá ésta información.

A continuación, se presenta el Índice de Instrumentos correspondiente a la Planta Evaporadora de Agua de Mar, por el Proceso de Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples.

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
CE- 101	Conductividad del condensado de C-101	C-2" Ø	Campo
CT- 101	" "	C-2" Ø	Campo
CAH-101	Alarma por alta - conductividad del condensado de C-101	---	Frente Tab.
CV- 101	Control de flujo por conductividad del - condensado de C-101	C-2" Ø	Campo
SV-101	" "	C-2" Ø	Campo
CE- 102	Conductividad del destilado de C-102	D-4" Ø	Campo
CT-102	" "	D-4" Ø	Campo
CAH-102	Alarma por alta - conductividad del destilado de C-102	---	Frente Tab.
FQI-101	Totalizador de flujo del destilado de C-102	D-4" Ø	Campo
FR- 101	Registro flujo de destilado de C-102	---	Frente Tab.
FI- 102	Medidor de flujo de - condensado del C-101	C-2" Ø	Campo

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
FE- 103	Sensor de flujo - de agua de mar a la Evaporadora.	AM-14"Ø	Campo
FT- 103	Transmisor de flu jo de agua de mar a la Evaporadora.	AM-14"Ø	Campo
FAL- 103	Alarma por bajo - flujo de agua de mar.	---	Frente Tablero
FR- 103	Registrador de - flujo de agua de mar a la Evapora dora.	---	Frente Tablero
LG -101	Indicador de Nivel del Tanque de Poli fosfatos T-101.	T-101	Campo
LSL/LAL- 102	Interruptor y alar ma por bajo nivel en el T-101.	T-101	Campo/Frente Tab.
LSL/LAL-103	Interruptor y alar ma por bajo nivel en el calentador de agua de mar C-101	C-101	Campo/Frente Tab.
LIC- 103	Controlador Indica dor de nivel en el calentador de agua de mar C-101	C-101	Frente Tablero

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
LV-103	Transductor nivel en el C-101.	-----	Atrás de Tablero
LV-103	Válvula de- control de flujo por - nivel en C-101	C-2"Ø	Campo
SV-103	Válvula sole- noide de LV-103	LV-103	Campo
LT-104	Transmisor nivel de destilado en- la Cámara Evapo- radora C-102	C-102	Campo
LSL/H -104	Interruptor por bajo y alto ni- vel en C-102	C-102	Campo
LAL/H -104	Alarma por bajo y alto nivel en C-102	C-102	Frente Tablero
LTC- 104	Controlador in- dicador de nivel en C-102	----	Frente Tablero
LV-104	Transductor - nivel en C-102	----	Atrás de Tablero
LV- 104 a	Válvula de control nivel en C-102	D-4"Ø	Campo
LV- 104 b	" "	D-4"Ø	Campo
SV- 104 a	Válvula Solenoide de LV- 104 a	LV-104 a	Campo
SV- 104b	Válvula Solenoide de LV- 104 b	LV-104b	Campo

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
LT-105	Transmisor nivel de Salmuera de		
	C-102	C-102	Campo
LSL/H-105	Interruptor por bajo y alto nivel		
	en C-102	C-102	Campo
LAL/H-105	Alarma por bajo y alto nivel en		
	C-102	C-102	Frente Tablero
LIC -105	Controlador in- dicador de nivel		
	en C-102	---	Frente Tablero
LY -105	Transductor ni- vel en C-102		
		---	Atrás de Tablero
LV-105	Válvula de control nivel C-102		
		S-14"Ø	Campo
LG-106	Indicador de nivel en C-101		
		C-101	Campo
PI- 101	Indicador de Pre- sión, alim. de - agua de mar a fil- tros.		
		AM-14"Ø	Campo
PI- 102/103	Indicador de Pre- sión, descarga - bombas de alim. de agua de mar B-102A/B		
		AM-10"Ø	Campo
PI- 104/105	Indicador de Presión descarga bomba de Polifosfatos B-101 A/B		
		SP-3/4"	Campo

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
PI -106	Indicador de Presión Calentador de agua - de mar C-101	C-101	Campo
PI-107/108	Indicador de Presión descarga de condensa - do B-105 A/B	C-1"Ø	Campo
PI-109/110	Indicador de Presión descarga bomba de - destilado B-103A/B	D-2"Ø	Campo
PI-111/112	Indicador de Presión descarga bomba de Salmuera B-104A/B	S-10"Ø	Campo
PT. - 113	Transmisor de Presión vapor motriz a Siste- ma de Vacío.		Campo
PIC-113	Controlador indicador de Presión del vapor motriz a S. Vacío.		Frente Tablero
PV -113	Transductor, presión vapor motriz a S.V.		Atrás de Tablero
PV -113	Válvula de control presión de vapor - motriz a S. Vacío.		Campo
PSH/PAH-114	Interruptor y alarma alta presión de va - por motriz a S. Vacío		Campo/Tablero
PSL/PAL-115	Interruptor y alarma baja presión vapor		

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
	motriz a S. de Vacío.		Campo/Tablero
PDSH/PDAH -116	Interruptor de presión dife - rencial, entra da/salida del filtro de agua de mar; y alarma	AM-14"Ø	Campo/Tablero
PSV -117	Válvula de se - guridad del condensador del S. de Vacío C-103A		Campo
PSV - 118	Válvula de se - guridad del condensador del S. de Vacío C-103B		Campo
PSV -119	Válvula de se - guridad del condensador del S. de Vacío C-103C		Campo
PSV -120	Válvula de se - guridad del condensador del S. de Vacío C-103D		Campo

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
TE- 101	Sensor de temperatura del agua de mar al calentador C-101		Campo
TT- 101	Transmisor de temperatura del agua de mar al calentador C-101		Campo
TSH- 101	Interruptor por alta temperatura del agua de mar al calentador C-101.		Campo
TAH- 101	Alarma por alta temperatura del agua de mar al calentador C-101		Tablero
TSL- 101	Interruptor por baja temperatura del agua de mar al calentador C-101		Campo
TAL- 101	Alarma por baja temperatura del agua de mar al calentador C-101		Tablero Tablero
TR- 101	Registrador.		Tablero Tablero
TE- 102	Sensor de temperatura del vapor al sistema de vacio.		Campo
TT- 102	Transmisor de temperatura del vapor al		

INDICE DE INSTRUMENTOS

IDENTIFICACION	SERVICIO	LOCALIZACION	UBICACION
	<i>sistema de vacío</i>		<i>Campo</i>
TR- 102	<i>Registrador de la temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		
TSH- 102	<i>Interruptor por alta temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Tablero</i>
TAH- 102	<i>Alarma por alta temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Campo</i>
TSL- 102	<i>Interruptor por baja temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Tablero</i>
TAL- 102	<i>Alarma por baja temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Campo</i>
TIC- 102	<i>Controlador - Indicador de temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Tablero.</i>
TV- 102	<i>Transductor para la medición de temperatura del vapor al sistema de vacío.</i>		<i>Campo</i>
			<i>Atrás Tablero</i>

ANALIZADOR DE
CONDUCTIVIDAD

ELEMENTO SENSOR.

No. DE IDENTIFICACION	CE- 101 / CE- 102
SERVICIO	Conductividad del condensado C- 101 / Conductividad del destilado C- 102
FUNCION	Inserción
COMPENSADOR AUTOMATICO DE TEMPERATURA	Integrado a las Celdas
TEMPERATURA DE OPERACION	87°C / 36.62 °C
PRESION DE OPERACION	4.0 kg/cm ² / 3.0 kg/cm ²
CONSTANTE DE LA CELDA	10.0 cm ⁻¹
CONEXION A PROCESO	3/4" NPT
MATERIAL	
CUERPO	Estándar del fabricante
ELECTRODO	Titanio
CONEXIONES ELECTRICAS	
MATERIAL	Cable de PVC
LONGITUD	6.1 m
TIPO DE MEDICION	Continua
TIEMPO DE RESPUESTA	menos de 2.0 seg.
RANGO	0 - 250 microS/cm

TRANSMISOR.

No. DE IDENTIFICACION	CT- 101 / CT- 102
INTERRUPTOR SELECTOR	Integrado
COMPENSADOR DE TEMPERATURA	Integrado
MATERIAL	Estándar del fabricante
MODULOS DE ALARMA Y CONTROL	Integrados
SALIDA	4 - 20 mA

ANUNCIADORES DE ALARMA

No. DE IDENTIFICACION AA- 1000
 LOCALIZACION Tablero Local
 No. DE HILERAS Cuatro
 No. DE COLUMNAS Cinco
 MONTAJE Embutido
 ESTILO GABINETE Ventanilla con lámparas
 CLASIFICACION Propósitos Generales
 SUMINISTRO ELECTRICO 117V / 60Hz
 LOGICA Circuito eléctrico en estado sólido . En Gabinete de señales.
 CIRCUITO DE RETORNO A NORMALIDAD Via señal de alarma audible
 PRUEBAS Operacional y de lámparas.
 RECONOCIMIENTO Común audible.
 RESTABLECIMIENTO Luz, remoto, audible.
 SECUENCIA :

ESTADO	SEÑAL VISIBLE	SEÑAL AUDIBLE
Normal	Apagada	Apagada
Alerta Inicial	Prendida	Prendida
Alerta Subsecuente	Prendida	Apagada
Reconocimiento Inicial	Prendida	Prendida
Reconocimiento Subsec.	Prendida	Apagada
Retorno a Normal	Apagada	Apagada
Restablecimiento	Apagada	Apagada
Prueba	Intermitente	

OPCIONES:

BOCINA Requerida REDUCTOR DE LUZ ---
 LOCALIZACION DEL SUMINISTRO ELECTRICO En tablero

CUADRO DE ALARMAS

		1	2	3	4	5	COLUMNAS
HILERAS	1	X	X	X	X	X	
	2	X	X	X	X	X	
	3	X	X	X	X	X	
	4						

No. IDENTIFICACION ALARMA	LEYENDA	FILA	COLUMNA	No. IDENTIFICACION CONTACTO
CAH- 101	Alta Conductividad			
	Condensado C- 101	1	1	CT- 101
CAH- 102	Alta Conductividad			
	Destilado C- 102	1	2	CT- 102
PAH- 114	Alta presión del			
	vapor motriz S.V.	1	3	PSH-114
PAL- 115	Baja presión del			
	vapor motriz S.V.	1	4	PSL-115
PDAH- 116	Alta presión di-			
	ferencial filtro.	1	5	PDSH-116
TAH- 101	Alta temperatura			
	agua de mar a C-101	2	1	TSH-101
TAL- 101	Baja temperatura			
	agua de mar a C-101	2	2	TSL-101
TAH- 102	Alta temperatura			
	vapor a S.V.	2	3	TSH-102
TAL- 102	Baja temperatura			
	vapor a S.V.	2	4	TSL-102
FAL- 103	Bajo flujo de agua			
	de mar	2	5	FT-103
LAL- 102	Bajo nivel T-101	3	1	LSL-102
LAL- 103	Bajo nivel C-101	3	2	LSL-103
LAL- 104	Bajo nivel C-102	3	3	LSL-104

No. IDENTIFICACION ALARMA	LEYENDA	FILA	COLUMNA	No. IDENTIFICACION CONTACTO
	<i>destilado</i>			
LAH- 104	Alto nivel			
	C-102. Dest.	3	4	LSH -104
LAL- 105	Bajo nivel			
	C-102. Sal-			
	muera.	3	5	LSL-105
LAH- 105	Alto nivel			
	C-102. Sal-			
	muera.	4	1	LSH-105
FUTURO		4	2	
FUTURO		4	3	
FUTURO		4	4	
FUTURO		4	5	

INDICADORES DE NIVEL TIPO VIDRIO

VIDRIOS INDICADORES.

TIPO Reflex

CONEXION

TAMAÑO/TIPO 1" / NPT

ORIENTACION lateral

VENTEO/PURGA Requerido

MATERIAL Ac. Inoxidable

VALVULAS DE CORTE.

TIPO descentrada

CONEXION

RECIPIENTE 3/4" NPT

INDICADOR 1/2" NPT

MATERIAL

CUERPO Ac. Inox.

INTERNOS Ac. Inox.

No. IDENTIFICACION.	LONGITUD VISIBLE	CONEXION	OPERACION		SERVICIO
			TEMP. °C	PRES. Kg/cm ²	
LG- 01	0.50 m	3/4"	27.0	atm	Nivel tanque de polihosatos, T- 101.
LG- 06	0.40 m	3/4"	87.0	3.0	Nivel calentador de agua de mar C- 101

INTERRUPTORES DE NIVEL

TIPO	<u>Desplazador</u>	MATERIAL CUERPO	<u>Ac. Carbón</u>
TAMAÑO DE CONEXION	<u>1" Rosc.</u>	INTERRUPTOR TIPO	<u>Micro</u>
CANTIDAD	<u>1</u> FORMA <u>SPDT</u>	CONEXION CONDUIT	
RANGO	<u>120V / 60Hz / 10 A</u>	TAMAÑO	<u>3/4"</u> TIPO <u>NPT</u>
TIPO DE CARGA	<u>Inductiva</u>	AJUSTE	<u>Interno</u>

No. DE IDENTIFI- CACION.	SERVICIO	FLUIDO	PRESION OP. kg/cm ²	TEMPERA- TURA OP.
LSL- 102	Bajo nivel en T- 101	Polifosfatos	atm.	25°C
LSL- 103	Bajo nivel en C-101	Condensado	5.0	87.0
LSL-104	Bajo nivel en C- 102	Destilado	0.4	36.62
LSH- 104	Alto nivel en C- 102	Destilado	0.4	36.62
LSL- 105	Bajo nivel en C- 102	Salmuera	0.4	37.0
LSH- 105	Alto nivel en C- 102	Salmuera	0.4	37.0

MANOMETROS

TIPO Directo MONTAJE Local
 DIAMETRO CARATULA 4 1/2" CAJA Fenol
 ANILLO A presión. PROTECCION Atrás, disco
 LENTE Vidrio ELEMENTO DE PRESION Bourdon
 MATERIAL DEL ELEMENTO Acero Inox. CONEXION 1", inferior.

CANTIDAD	No. IDENTIFICACION.	RANGO kg/cm ²	PRESION DE OPERACION.	SERVICIO
UNO	PI- 101	0 - 1	0.352	Alimentación agua de mar a filtros.
DOS	PI- 102/ 103	0 - 7	3.0	Descarga bomba de - alimentación agua de mar B- 102 A/B.
DOS	PI- 104/ 105	0 - 2	1.0	Descarga bomba dosificadora de polifosfatos.
UNO	PI- 106	0 - 7	3.0	Calentador de agua de mar C - 101.
DOS	PI- 107/ 108	0 - 7	4.0	Descarga de condensado bomba B -105 A/B
DOS	PI- 109/ 110	0 - 7	3.0	Descarga bomba de - destilado B-103 A/B
DOS	PI- 111/ 112	0 - 4	2.0	Descarga bomba de - salmuera B-104 A/B.

PLACA DE ORIFICIO

234

PLACA.		BRIDA.	
TIPO	<u>Concéntrica</u>	TOMAS EN	<u>Bridas</u>
ORIFICIO	<u>1/8"</u>	TAMANO DE TOMAS	<u>1/2"</u>
MATERIAL	<u>Acero Inoxidable 316</u>	MATERIAL	<u>Acero</u>

No. DE IDENTIFICACION

FE/FT - 103

SERVICIO

Flujo de agua de mar a la Evaporadora

TAMANO DE LINEA

14"

FLUIDO/ ESTADO

Agua de mar / liquido

FLUJO NORMAL

668.3 m³/hr

PRESION/ TEMPERATURA

3.0 kg/cm² / 27°C

DENSIDAD RELATIVA

1.02278

PESO MOLECULAR/VISCOSIDAD

18.0 / 1.08 cP

MEDIDOR

TIPO

Celda de Presión Diferencial

RANGO

0 - 100" H₂O

PLACA

BETA = d/D

0.5528

DIAMETRO

ORIFICIO

8"

INTERNO LINEA

13.124"

REGIMEN DE BRIDAS

300#

DREN O VENTEO

venteo

ESPESOR DE LA PLACA

1/8"

ROTAMETROS

No. DE IDENTIFICACION	FQI - 101
SERVICIO	Totalizador de flujo del destilado de C-102
TAMANO DE LINEA	D - 4"
FUNCION	Totalizador indicador
MONTAJE	En línea
TAMANO CONEXION/TIPO	4"
DIRECCION ENTRADA/SALIDA	vertical/ vertical
MATERIAL DE LA CONEXION	Acero inoxidable 316
EMPAQUE	Teflón
MEDIDOR.	
MATERIAL TUBO	Vidrio
MATERIAL FLOTADOR	Acero inoxidable
ESCALA DE MEDICION	10" en placa
FACTOR DE ESCALA	Directa
DATOS DEL FLUIDO	
FLUIDO	Destilado
COLOR	Transparente
CAPACIDAD MAXIMA	50 m ³ /hr
DENSIDAD RELATIVA	1.0
PRESION DE OPERACION	0.4 kg/cm ²
TRANSMISOR	
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA
RANGO DE ESCALA	1 - 7 x 10
OPCIONES	
VALVULAS	Requerido
FILTRO REGULADOR	Requerido
PURGOMETRO	

ROTAMETROS

236

No. DE IDENTIFICACION	FI- 102
SERVICIO	Medidor de flujo de condensado de C- 101
TAMANO DE LINEA	C- 2"ø
FUNCION	Indicador de Flujo
MONTAJE	En línea
TAMANO CONEXION/TIPO	2"
DIRECCION ENTRADA/SALIDA	Vertical/ vertical
MATERIAL DE LA CONEXION	Acero Inoxidable 316
EMPAQUE	Teflón
MEDIDOR	
MATERIAL DEL TUBO	Vidrio
MATERIAL FLOTADOR	Acero Inoxidable
ESCALA DE MEDICION	10" en placa
FACTOR DE ESCALA	Directa
DATOS DEL FLUIDO	
FLUIDO	Condensado
COLOR	Transparente
CAPACIDAD MAXIMA	12 m ³ /hr
DENSIDAD RELATIVA	1.0
PRESION DE OPERACION	4.0 kg/cm ²
TRANSMISOR	
SEÑAL DE SALIDA	-----
RANGO DE ESCALA	-----
OPCIONES	
VALVULAS	Requerido
FILTRO REGULADOR	Requerido
PURGOMETRO	

TERMOMETROS

TERMOMETRO.

VASTAGO: TIPO Roscado
 MATERIAL Acero inoxidable
 DIAMETRO CARATULA 5"
 TIPO Ajustable

TERMOPOZO.

INCLUIDO Si POR OTROS ---
 MATERIAL Acero Inoxidable 304
 CONEXION 3/4" roscada

No. IDENTIFICACION.	RANGO °C	TEMPERATURA OPERACION	LONGITUD VASTAGO	SERVICIO
TI- 103	0 - 120	87.0	7"	Alimentación de agua de mar del calentador a la Evaporadora.
TI- 104	0 - 120	84.0		Vapor al Sistema de Vacío.
TI- 105	0 - 100	56.0	7"	Temperatura entre el Módulo I y II.
TI- 106	0 - 100	47.0	7"	Temperatura entre el Módulo II y III
TI- 107	0 - 80	36.0	7"	Temperatura entre el Módulo III y IV
TI- 108	0 - 120	87.0	1"	Temperatura del condensado.
TI- 109	0 - 50	27.0	7"	Alimentación de agua de mar a la Evaporadora.

TRANSMISORES

No. DE IDENTIFICACION LT- 104
 FUNCION Transmisor ciego
 MONTAJE En yugo
 TIPO DE CAJA estándar del fabricante
 SENAL DE SALIDA 4 - 20 mA
 SERVICIO Transmisor de nivel del destilado de la Cámara Evap.
 TIPO DE ELEMENTO Diafragma
 MATERIAL ELEMENTO Acero Inoxidable 316
 TEMPERATURA OPER. 36.62°C
 PRESION OPER. 0.4 kg/cm²
 CONEXIONES A PROCESO ½" NPT
 OPCIONES
 FILTRO REGULADOR Requerido
 VALVULA MANIFOLD 3 vías ½"NPT

RECEPTORES

No. DE IDENTIFICACION LIC- 104
 FUNCION Controlador Indicador
 MONTAJE Bastidor
 TIPO DE CAJA Estándar del fabricante
 TIPO ESCALA Lineal uniforme
 PUNTO DE AJUSTE Manual, Remoto
 SENAL
 ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 4 - 20 mA

TRANSDUCTORES

No. DE IDENTIFICACION LV- 104
 SERVICIO Transductor nivel en C- 102
 TIPO I / P
 SEÑAL ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 3 - 15 PSI
 SUMINISTRO 1.41 kg/cm²
 CAJA Propósitos Generales

TRANSMISORES

No. DE IDENTIFICACION LT- 105
 FUNCION Transmisor ciego
 MONTAJE En yugo
 TIPO DE CAJA estándar del fabricante
 SENAL DE SALIDA 4 - 20 mA
 SERVICIO Transmisor nivel de Salmuera de C-102
 TIPO DE ELEMENTO Diafragma
 MATERIAL ELEMENTO Acero Inoxidable 316
 TEMPERATURA DE OPERACION 37°C
 PRESION DE OPERACION 0.4 kg/cm²
 CONEXIONES A PROCESO 1/2" NPT
 OPCIONES
 FILTRO REGULADOR Requerido
 VALVULA MANIFOLD 3 vías 1/2" NPT

R E C E P T O R E S

No. DE IDENTIFICACION LIC- 105
 FUNCION Controlador Indicador
 MONTAJE Bastidor
 TIPO DE CAJA estándar del fabricante
 TIPO DE ESCALA Lineal uniforme
 PUNTO DE AJUSTE Manual , Remoto
 SENAL
 ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 4 - 20 mA

T R A N S D U C T O R E S

NO. DE IDENTIFICACION LV- 105
 SERVICIO Transductor nivel de C-102
 TIPO I/P
 SENAL
 ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 3 - 15 PSI
 SUMINISTRO 1.41 kg/cm²
 CAJA Propósitos Generales

TRANSDUCTORES

No. DE IDENTIFICACION LV- 103
 SERVICIO Transductor nivel en C- 101
 TIPO I/P
 SENAL
 ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 3 - 15 PSI
 SUMINISTRO 1.41 kg/cm²
 CAJA Propósitos Generales

RECEPTORES

No. DE IDENTIFICACION LIC- 103 / TIC-102
 FUNCION Controlador Indicador / Controlador Indicador
 MONTAJE Bastidor / Bastidor
 TIPO DE CAJA Estándar del fabricante / Estándar del Fabricante
 TIPO DE ESCALA Lineal uniforme / Lineal uniforme
 PUNTO DE AJUSTE Manual, remoto / Manual, remoto
 SENAL
 ENTRADA 4 - 20 mA
 SALIDA 4 - 20 mA

No. DE IDENTIFICACION FR- 101 / FR- 103 / TR-101 / TR- 102
 FUNCION Registradores
 SERVICIO Flujo destilado. C-102/Flujo agua de mar a Evaporadora /
 Temperatura de agua de mar a C- 101/ Temp. vapor al S. de Vacío
 TIPO DE CAJA Estándar del fabricante
 TIPO DE ESCALA Lineal
 SENAL DE ENTRADA 4 - 20 mA
 MONTAJE Multicaja

TRANSMISORES - RECEPTORES

241

No. DE IDENTIFICACION	RANGO DE ESCALA (Factor de - lectura)	
LT - 104		
LIC - 104	1 - 7	x 10
LT - 105		
LIC - 105	1 - 11	x 100
LIC - 103	1 - 15	x 10
TIC - 102		
FR - 101	1 - 7	x 10
FR - 103	1 - 11	x 100
TR - 101	1 - 11	x 100
TR - 102		

TRANSDUCTORESTERMOPARES

No. DE IDENTIFICACION	<u>TT- 101 / TT- 102 (TY- 102)</u>
SERVICIO	<u>Agua de mar al calentador C-101 / vapor al Sistema de Vacío.</u>
ACCION	<u>Termopar</u>
SEÑAL DE ENTRADA	<u>milivolt (mv)</u>
TERMOPAR TIPO	<u>"J"</u>
SEÑAL DE SALIDA	<u>4 - 20 mA</u>
SUMINISTRO	<u>120 V / 60Hz</u>
CLASIFICACION CAJA	<u>Propósitos Generales</u>
MONTAJE	<u>Rack</u>
TEMPERATURA NORMAL DE OPERACION	<u>72°C</u>

VALVULAS DE CONTROL

No. DE IDENTIFICACION	LV- 103 / CV- 101
SERVICIO	Condensado de C-101 / Condensado contaminado de C-101
TAMAÑO DE LINEA	2" Ø
TIPO DE CUERPO	Globo
TAMAÑO	
CUERPO	1½"
PUERTO	1½"
CONEXIONES	150 #
MATERIAL	
CUERPO	Ac. al Carbón
EMPAQUE	Teflón
INTERIORES	Ac. Inoxidable
CIERRE HERMETICO	No
NIVEL MAXIMO DE RUIDO	85 dBA
TIPO DE ACTUADOR	Diafragma
POSICION A FALLA	abre
SEÑAL	
ENTRADA	3 - 15 PSI
SALIDA	3 - 15 PSI
CONDICIONES DE SERVICIO	
FLUIDO	Condensado
FLUJO DE OPERACION	12.62 m ³ /hr
Cv DE LA VALVULA	28.1
Cv A FLUJO OPERACION	14.8
PRESION DE ENTRADA	4.0 kg/cm ²
PRESION DE SALIDA	3.0 kg/cm ²
TEMPERATURA DE OPER.	87°C
DENSIDAD RELATIVA	0.9676
PESO MOLECULAR	18.0
% SOLIDOS	----
VISCOSIDAD	1.0
OPCIONES	
VALVULA SOLENOIDE	Montada en Válvulas: SV- 103 / SV- 101
	3 Vías; operación normalmente cerradas;
	1" roscada. Bobina para trabajo pesado,
	cuerpo de bronce. Sum. 120 V/60Hz.

VALVULAS DE CONTROL

No. DE IDENTIFICACION	<u>LV- 104 a/b</u>
SERVICIO	<u>Destilado de C- 102</u>
TAMAÑO LINEA	<u>4"Ø</u>
TIPO DE CUERPO	<u>Globo</u>
TAMAÑO	
CUERPO	<u>4"</u>
PUERTO	<u>2"</u>
CONEXIONES	<u>150#</u>
MATERIAL	
CUERPO	<u>Ac. al Carbón</u>
EMPAQUE	<u>Teflón</u>
INTERIORES	<u>Ac. Inoxidable</u>
CIERRE HERMETICO	<u>No</u>
NIVEL MAX. RUIDO	<u>85 dBA</u>
TIPO DE ACTUADOR	<u>Diafragma</u>
POSICION A FALLA	<u>abre</u>
SEÑAL ENTRADA	<u>3 - 15 PSI</u>
SALIDA	<u>3 - 15 PSI</u>

CONDICIONES DE SERVICIO.

FLUIDO	<u>Destilado</u>
FLUJO OPERACION	<u>50.0 m³/hr</u>
Cv Válvula	<u>72.7</u>
Cv a flujo op.	<u>58.37</u>
PRESION DE ENTRADA	<u>3.0 kg/cm²</u>
PRESION DE SALIDA	<u>2.0 kg/cm²</u>
TEMPERATURA DE OPER.	<u>36.62°C</u>
DENSIDAD RELATIVA	<u>1.0</u>
PESO MOLECULAR	<u>18.0</u>
‡ SOLIDOS	<u>-----</u>
VISCOSIDAD	<u>1.0</u>
OPCIONES	

VALVULA SOLENOIDE

Montada en Válvula :SV- 104 a/b ; 3 vías
operación normalmente cerrada; 1" roscada
Bobina para trabajo pesado, cuerpo de bronce . Sum. 120V / 60Hz

MEMORIAS DE CALCULO

MEMORIAS DE CALCULO.

DIMENSIONAMIENTO DE LINEAS.

Para el dimensionamiento de líneas, se deben de considerar los siguientes factores:

- la diferencia de presiones disponibles entre el punto final y el punto inicial de la línea.
- la longitud de la línea, junto con sus accesorios.
- la velocidad recomendada, caída de presión, flujo, y las propiedades del fluido a manejar.

Criterios de diseño.- Para un sistema de bombeo, se recomiendan que la caída de presión en las tuberías de succión y descarga sea:

Tubería de succión : 0.5 - 1.25 psi/100 ft

Tubería de descarga: 1.0 - 3.00 psi/100 ft

Considerar las siguientes velocidades recomendadas para el cálculo de líneas:

agua de mar $V = 5 - 8$ ft/seg

agua servicio general 3 - 8 ft/seg

Vapor:

0-30 psi 67 - 100 ft/seg

30-150 psi 100 - 167 ft/seg

de 150 psi en adelante 108 - 250 ft/seg

Considerar las siguientes caídas de presión recomendadas para el cálculo de líneas:

agua de mar $DP = 1.0 - 2.0$ psi/100 ft

vapor 1.3 - 3.0 psi/100 ft

SECUENCIA DE CALCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LINEAS.

A) LIQUIDOS

- * Calcular diámetro aproximado con el flujo y la velocidad:

$$d = 0.639(Q/v)^{1/4}$$

donde,

d = diámetro interno de la tubería (in)
 Q = flujo volumétrico (GPM)
 v = velocidad del fluido (ft/seg)

- * Con el diámetro calculado, tomar el diámetro interno comercial más próximo (d') y con éste calcular el número de Reynolds:

$$Re = 50.6 Qf / (d' m)$$

donde,

f = densidad del fluido (lb/ft³)
 m = viscosidad absoluta del fluido (cP)

- * Con el Número de Reynolds obtener el factor de fricción, (f).
- * Calcular la caída de presión:

$$DP_{100} = 0.0216 f f Q^2 / d'^5$$

Al resultado obtenido, se deberá de considerar un factor de +20% , por ensuciamiento y envejecimiento de la tubería.

- * Obtener la velocidad con el diámetro comercial fijado:

$$v = 0.408Q/d^2$$

Si la caída de presión y la velocidad calculada , está dentro de los rangos de la presión y velocidad recomendada, el diámetro calculado en el primer punto, es correcto; si no está dentro de los rangos fijados , se calculará nuevamente, hasta que cumpla con la velocidad y la presión recomendada.

B) GASES O VAPORES.

- * Calcular el diámetro, en función del gasto y de la velocidad recomendada:

$$d = 0.226 [w/(\rho v)]^{1/2}$$

donde,

$$w = \text{flujo másico (lb/hr).}$$

- * Obtener el diámetro comercial próximo al calculado, y obtener el número de Reynolds:

$$Re = 6.31 w/(d'm)$$

- * Con el número de Reynolds obtener el factor de fricción (f).
- * Calcular la caída de presión:

$$DP_{100} = 3.36 \times 10^{-4} fw^2/(\rho d^5)$$

El resultado obtenido, multiplicarlo por 1.2 (factor de corrección por ensuciamiento y envejecimiento de la tubería).

- * Calcular la velocidad con el diámetro comercial:

$$v = 0.051w/(\rho d^2)$$

El diámetro correcto, será aquel que cumpla con la caída de presión y velocidad recomendada.

- * Para sistemas de vapor de agua, cuya presión de operación no sea mayor de 500 psia, se recomienda calcular la caída de presión por:

$$DP = 3.63 \times 10^{-6} [1 + (3.6/d)] [(w^2 \bar{v})/d^5]$$

donde,

$$\bar{v} = \text{volúmen específico ft}^3/\text{lb}$$

a la presión y temperatura de operación.

CÁLCULO DE BOMBAS.

A continuación, se presenta la secuencia que se debe de seguir en el cálculo de bombas:

1. Definir las condiciones de operación:
 - a) Fluído
 - b) Flujo (GPM)
 - c) Temperatura (°F)
 - d) Densidad Relativa
 - e) Viscosidad (cP)
 - f) Factor de Servicio
2. Evaluar las pérdidas por fricción en el trayecto más crítico, tanto del lado de la succión como el de descarga. Así, se obtienen:
 - a) Diámetro de la línea (in)
 - b) Velocidad (ft/seg)
 - c) Longitud Total (longitud de la línea recta más la longitud equivalente de los accesorios presentes en la tubería - ft); L_t .
 - d) Caída de presión por 100 ft (DP_{100}).
 - e) Caída de presión total:

$$DP_t = (DP_{100})(L_t/100)$$

3. Cálculo de la Presión de Succión.

- a) Calcular la presión inicial:

$$P_i = P_{i_{min}} + \text{CHS} \quad [=] \text{PSI}$$

donde,

$P_{i_{min}}$ = presión inicial mínima. Es la presión mínima bajo la cual opera el recipiente ó equipo del que succiona la bomba.

CHS = Columna hidrostática en la succión. Para bombas horizontales se calcula por:

$$\text{CHS} = (\text{s.g.}/2.307)(L1 - L2)$$

[=] PSIG

donde,

s.g. = gravedad específica.

L1 = nivel mínimo de operación del equipo de donde succiona ó nivel

- de la boquilla del recipiente. (ft).

L2 = Nivel de boquilla de succión de la bomba medido respecto al nivel de piso (ft)

- b) Con las pérdidas por fricción evaluadas en el punto (2), se calcula la caída de presión en la línea a la capacidad de diseño de la bomba:

$$DP_{\text{cap. dis.}} = (\text{PFS})(\text{F.S.})^2$$

donde,

PFS = Pérdidas por fricción en la línea de succión (PSI)

F.S. = Factor de Seguridad. Se establece en las Bases de Diseño generalmente su valor es 1.1

NOTA.- En caso de existir algún equipo entre la trayectoria de la succión, se deberá indicar la caída de presión en ese equipo y calcular las pérdidas en el equipo a la capacidad de diseño de la bomba por:

$$DP_{\text{Eq. dis.}} = (\text{PFE})(\text{F.S.})^2$$

donde,

PFE = Pérdidas por fricción en el Equipo.

- c) Calcular la Presión de Succión por:

$$P_s = P_i - \text{PFS} - \text{PFE} \quad [=] \text{PSIG}$$

- d) Calcular la Presión de Succión a la capacidad de Diseño, por:

$$P_{s\text{dis}} = P_i - DP_{\text{cap. dis.}} - DP_{\text{Eq. dis.}}$$

4. Cálculo de la Presión de Descarga.

- a) Calcular la presión total fija, por:

$$\text{PTF} = \text{PTM} + \text{CHD} + \text{PO}$$

donde,

- PTF = Presión total fija.
 PTM = Presión terminal Máxima. Es la presión de operación máxima del equipo al cual se está bombeando (PSIG). - En condiciones atmosféricas = 0 -
 CHD = Columna hidrostática a la descarga, se calcula para bombas horizontales por:

$$CHD = (s.g./2.307)(L4-L3)$$

[=] PSIG

donde,

- L4 = Nivel de la boquilla de entrada ó punto de descarga de la bomba en un recipiente (ft).
 L3 = Nivel de la boquilla de descarga en bombas horizontales, referido al nivel de piso (ft)

PO = Pérdidas en orificio. En caso de que exista en la línea un elemento sensor de flujo.

b) Calcular las pérdidas totales variables:

$$PTV = DP_{CC} + DP_{eq.} + PFD$$

donde,

DP_{CC} = caída de presión en cambiadores de calor.

$DP_{eq.}$ = caída de presión en los equipos que se encuentren en la ruta crítica.

$PFLD$ = Pérdidas por fricción en la línea de descarga. Cálculada en el punto (2)

c) Calcular las pérdidas totales variables a condiciones de diseño:

$$PTV_{dis} = PTV(F.S.)^2$$

d) Calcular las pérdidas totales:

$$PT = PTF + PTV$$

- e) Calcular las pérdidas totales a condiciones de diseño:

$$PT_{dis} = PTF + PTV_{dis}$$

- f) Calcular la presión diferencial:

$$PDIF = PT_{dis} - P_{s_{dis}} \quad (\text{PSIG})$$

$$PDIF' = (PDIF)(2.307)/\text{s.g.} \quad (\text{ft})$$

el valor obtenido se aproxima al múltiplo de 5 más cercano = PDIFAPROX. (ft)

$$PDIFAPROX' = PDIFAPROX (\text{S.G.})/2.307$$

- g) Calcular la presión de descarga:

$$P_d = PDIFAPROX' + P_s$$

- h) Calcular la presión de descarga de diseño:

$$P_{d_{dis}} = PDIFAPROX' + P_{s_{dis}}$$

5. Cálculo del NPSH.

- a) Calcular la presión disponible por:

$$P_{disponible} = PR - PV + L1 - EBS \quad [=] \text{ ft}$$

donde,

PR = presión mínima bajo la cual opera el recipiente del que succiona la bomba. Equivale a $P_{i_{min}}$ expresada en ft.

PV = Presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo. (ft)

EBS = Elevación de la boquilla de succión. (ft)

- b) Calcular el NPSH_{disp.} :

$$NPSH_{disp.} = P_{disponible} - DP_{cap.dis.}' - DP_{Eq.dis.}'$$

donde,

$DP_{cap.dis.}'$ y $DP_{Eq.dis.}'$, equivalen a los ya calculados en el punto 3.b pero expresados en ft.

NOTA.- Siempre debe de cumplirse la siguiente expresión:

$$NPSH_{disp.} = NPSH_{req.} + 2 \text{ ft de fluido}$$

El $NPSH_{req.}$ es el requerido por la bomba (dato del fabricante).

Si no se cumple, se presentará en la bomba el fenómeno de cavitación, producido debido a que la presión de succión es menor que la presión de vapor del fluido a su temperatura de bombeo, por lo que el fluido comenzará a vaporizar.

6. Cálculo de la Potencia al freno.

Se calcula, por:

$$BHP = (Q \times PDIF_{APROX} \times s.g.) / (3960 \times \text{eficiencia})$$

con el valor de BHP obtenido, se obtiene los HP del motor.

Cálculo de Bombas.

a) Bomba de alimentación de agua de mar a la Cámara Evaporadora.

Tag. No. B-102 A/R

Flujo volumétrico de agua de mar:

$$1'506,667 \text{ kg/hr} = 1'506,677 \text{ lb/hr} \times \text{ft}^3/63.83436 \text{ lb} \times \frac{0.02832 \text{ m}^3/\text{hr}}{\text{ft}^3/\text{hr}}$$

$$= 668.34 \text{ m}^3/\text{hr} = 2943 \text{ GPM}$$

Presión de descarga (dato) : 0.352 kg/cm^2 (5.0 lb/in^2)
 Presión terminal máxima : 0.560 kg/cm^2 (8.0 lb/in^2)
 (dato obtenido del Balance)

Columna hidrostática en la descarga:

$$\text{CHD} = [1.02278/2.307][5.25 - 1.64] = 1.6 \text{ lb/in}^2$$

Presión Total Fija:

$$\text{PTF} = (8.0 + 1.6) \text{ lb/in}^2 = 9.6 \text{ lb/in}^2$$

Cálculo de la caída de presión.

Considerar la caída de presión tanto de la línea como la que se presenta en el interior de la cámara evaporadora.

* Dimensionamiento de línea:

Velocidad recomendada: 5 - 8 ft/seg

$$d = 0.639[2943.0/8]^{\frac{1}{2}} = 12''$$

$$d_1 = 11.626''$$

$$\text{Re} = (50.6)(2943)(1.02278)(62.4)/(11.626)(1.08)$$

$$\text{Re} = 7.57 \text{ E} +05$$

$$f = 0.015$$

$$\text{DP} = 0.0216(0.015)(62.4)(1.02278)(2942.701)^2/(11.626)^5$$

$$\text{DP} = 0.843 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{DP}_{\text{env.}} = 0.843 \times 1.2 = 1.012 \text{ lb/in}^2$$

$$\frac{\text{DP}}{100}$$

Longitud Recta Equivalente considerando 2 codos, una

válvula check y una de compuerta: $L_{r_e} = 178.0 \text{ ft}$

Longitud recta considerada : $L_r = 10.1705 \text{ ft}$

Longitud total : $L_t = 178.0 + 10.1705 = 188.17 \text{ ft}$

$$\text{DP} = 188.17(1.012)/100 = 1.90 \text{ lb/in}^2$$

* Caída de presión en la Cámara Evaporadora.

Flujo total entrada a la cámara : 1'506,677 lb/hr

Número total de tubos : 563

Flujo aprox. por tubo: 2676.0 lb/hr = 5.227 GPM

Diámetro de tubos 5/8" ; $d_i = 0.555$ " (diámetro interno)

$Re = 3.8 E+04$

$d = 0.625$ "

$f = 0.03$

$$DP = (0.216)(0.03)(62.4)(1.02278)(5.227)^2/(0.625)^5 = 12 \text{ lb/in}^2$$

100

Se tienen 20 etapas de 10 ft cada una, por lo que la longitud total es de 200 ft. Así, la caída de presión a lo largo de toda la cámara evaporadora es:

$$DP = (200)(12)/100 = 24 \text{ Lb/in}^2$$

Caída de presión total = 1.9 + 24 = 31.5 lb/in²

Caída de presión diseño = 31.5(1,1)² = 41.1 lb/in²

Pérdidas Totales = 9.6 + 31.5 = 36.1 lb/in²

Presión diferencial = 41.1 - 5 = 36.1 lb/in²

$$36.1 \text{ lb/in}^2 = 36.1(2.307)/1.02278 = 81.43 \text{ ft}$$

Aprox. a 5 ft : 85.0 ft = 26 m

$$85 \text{ ft} = 38 \text{ Lb/in}^2$$

Presión de descarga : 38 + 5 = 43 lb/in² = 3.0 kg/cm²

NPSH disponible.

Presión del recipiente donde succiona : 14.7 PSIA = 33.15 ft

Presión de vapor del agua de mar:

a 27°C y a una concentración de 35638 ppm se lee:

$$27.025 \text{ mmHg} = 27.025 \text{ mmHg} \times 1/10 \times 0.1934 \text{ lb/in}^2/\text{cmHg}$$

$$= 0.523 \text{ Psia} = 0.0367 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1.1796 \text{ ft}$$

Caída de presión en la succión considerando 2.0 m a partir del límite de

baterías ; $DP_g = (2.0)(3.28083)(1.012)/100 = 0.066 \text{ PSI} = 0.14 \text{ ft}$

Presión disponible = 33.15 - 1.1796 - 0.14 = 30.33 ft

elevación de la boquilla de succión = 0.5 m = 3.64 ft

$$NPSH_{disp} = 30.33 - 0.14 = 30.19 \text{ ft} = 9.2 \text{ m}$$

Potencia al freno:

$$BHP = (Q)(Pd_{if})(S.G.)/(3960 \times \text{eff})$$

$$\text{BHP} = 2943(81.43)(1.02278)/[(3960)(0.85)] = 97.42$$

Potencia nominal del motor 100 HP.

b) Bomba de destilado.

Tag. No. B-103 A/B

Flujo de destilado : 113,000 lb/hr \approx 50.0 m³/hr (dato fijo)

Temperatura : 36.62 °C

Presión de descarga : 3.0 kg/cm²

Presión de succión : 0.4 kg/cm² = 6.0 lb/in² (del Balance)

Presión diferencial = 3.0 - 0.4 = 2.6 kg/cm² = 36.972 lb/in²

Columna diferencial = (36.972)(2.307) = 85.29 ft = 25.9 m

NPSH_{disp} = 33.15 - 2.0753 - 1.64 = 29.43 ft = 8.97 m

$$P_{\text{agua}} = 0.9 \text{ lb/in}^2 = 2.0763 \text{ ft}$$

$$\text{BHP} = (227.02)(85.29)(1.0)/[(39600)(.85)] = 6.0$$

Potencia nominal del motor 7½ HP

c) Bomba de purga de Salmuera.

Tag. No. B -104 A/B

Flujo de salmuera : 1'393,677 lb/hr x ft³/63.74171b x 0.02832 m³/hr
ft³/hr

$$= 619.2 \text{ m}^3/\text{hr} = 2726.3 \text{ GPM}$$

Presión de descarga : 2.0 kg/cm² (28.44 lb/in²) (dato fijo)

Presión de succión : 0.4 kg/cm² (6.0 lb/in²) (del Balance)

Presión diferencial = 2.0 - 0.4 = 1.6 kg/cm² = 22.752 lb/in²

Columna diferencial = 51.38 ft = 15.66 m

NPSH_{disp} = 33.15 - 2.072 - 1.64 = 29.438 ft = 8.97 m

$$P_{\text{salm.}} = 0.06451 \text{ kg/cm}^2 = 0.9173 \text{ PSIA} = 2.072 \text{ ft}$$

$$\text{BHP} = (2726.3)(51.38)(1.0215025)/[(3960)(0.85)] = 43.0$$

Potencia nominal del motor: 50 HP

$$\begin{aligned}\text{Flujo de agua a alimentar} &= 1'506,677 \text{ lb/hr a } T = 80.6^\circ\text{F} \\ P = \text{atm} &= 14.7 \text{ lb/in}^2 = 760 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ cmHg}}{10 \text{ mmHg}} \times \frac{1 \text{ inHg}}{2.54 \text{ cm Hg}} \\ &= 30 \text{ in Hg}\end{aligned}$$

De la Gráfica del Anexo I (xi)

Con la Presión y la temperatura conocida, se lee el contenido de aire en agua : 21.5 ppm

* Contenido de aire (N_2 y O_2) en el agua de mar :

$$(21.5)(1.506677) = 32.4 \text{ lb/hr de aire}$$

Además del aire contenido en el agua de mar, los eyectores deben de extraer el aire, que por fugas entra a la Cámara Evaporadora (bridas, uniones, etc).

Este aire se calcula por:

Destilado a obtener = 113000 lb/hr en 20 etapas

La razón de condensación es = $113000/20 = 5650 \text{ lb/hr}$

Para plantas a base de tratamiento de Polifosfatos, se tiene:

$$\begin{aligned}20 \text{ etapas} \times 0.5 \text{ ft}^3/\text{min} \times 0.0741 \text{ lb}/\text{ft}^3 \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \\ = 45.0 \text{ lb/hr}\end{aligned}$$

Aire total = $(45.0 + 32.4) \text{ lb/hr} = 77.0 \text{ lb/hr}$ aire (eyectores)

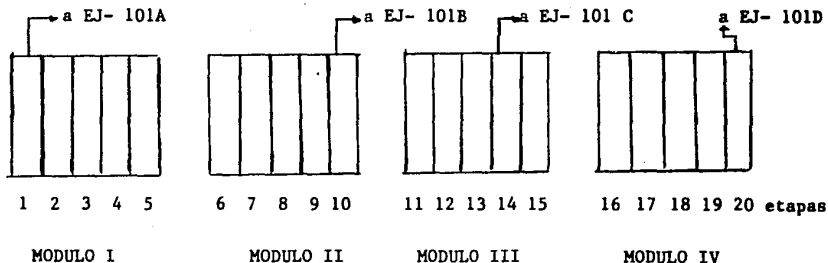
* Otro incondensable presente en el agua de mar es el CO_2 . Se considera, que la solubilidad del CO_2 en agua de mar es de 20 ppm. Por lo tanto, el contenido de CO_2 en la alimentación es:

$$CO_2 = (1.506677)(20) = 30.13 \text{ lb/hr } CO_2$$

Se tiene un Sistema de 20 etapas con 4 módulos de 5 etapas cada uno. El vacío se obtendrá por un sistema de cuatro eyectores conectados en serie. Del Balance obtenido en el programa, se tienen los siguientes datos:

No. de Etapa	Presión de Op. (lb/in ²)	Temperatura (°F)
1	6.586745	174.1237
10	2.707530	137.4688
14	1.765671	121.5047
16	1.414367	113.5972
20	0.891561	97.9084

- E S Q U E M A -



CAMARAS EVAPORADORAS PARA LA DESALINIZACION DE AGUA DE MAR POR EVAPORACION INSTANTANEA EN ETAPAS MULTIPLES .

- CONEXION A SISTEMA DE VACIO -

Cálculo del aire, CO₂ y agua a extraer en cada etapa.

ETAPA 1.

Presión de vapor del agua a T = 174.1237 °F

$$P^{\circ} = 6.5 \text{ lb/in}^2 = 13.23 \text{ inHg}$$

Se asume, que se deberá trabajar 0.5" Hg más arriba el sistema de vacío :

$$13.23 + 0.5 = 13.73 \text{ in Hg} = 6.745 \text{ lb/in}^2$$

Por lo tanto, la presión parcial del aire es:

$$6.745 - 6.5 = 0.2454 \text{ PSIA}$$

$$\text{moles de CO}_2 = 30.13/44 = 0.684$$

$$\text{moles de aire} = 77/29 = 2.655$$

$$\text{TOTAL} = 3.339$$

Por Ley de Gases Ideales, se tiene:

$$PV = nRT$$

$$P = (n/V)RT \quad \text{y} \quad PM = m/n$$

$$\text{donde } n = m/PM$$

$$P = (m/PMV)(RT)$$

$$P = D/PM (RT)$$

$$\text{donde } D = \text{densidad}$$

despejando, se obtiene:

$$D = (P)(PM)/RT$$

Densidad del vapor del agua:

$$\frac{(6.5 \text{ lb/in}^2)(144)}{86(460 + 174.1237)} = 0.0172 \text{ lb/ft}^3$$

Densidad del aire:

$$\frac{(0.1952)(144)}{53.3(460 + 174.1)} = 8.3165 \text{ E } -04 \text{ lb/ft}^3$$

Densidad del CO₂ :

$$\frac{(0.0502)(144)}{35(460 + 174.1)} = 3.257 \text{ E } -04 \text{ lb/ft}^3$$

$$\frac{\text{Peso de vapor}}{\text{lb de aire}} = 1.72/1.045 = 1.64 \text{ lb agua/lb aire}$$

$$P \text{ parcial del CO}_2 = (0.684/3.339)(0.2454) = 0.0502 \text{ PSIA}$$

$$P \text{ parcial del aire} = 0.2454 - 0.0502 = 0.1952 \text{ PSIA}$$

$$P \text{ agua} = 6.5$$

$$\bar{P} \text{ CO}_2 = 0.0502$$

$$\bar{P} \text{ aire} = \frac{0.1952}{+ 6.7454}$$

Por Ley de Dalton , se tiene:

$$\frac{\text{presión parcial agua}}{\text{presión parcial CO}_2} = \frac{\text{moles de agua}}{\text{moles de CO}_2}$$

$$= 6.5/0.0502 = 129.5$$

Por lo tanto, el contenido de agua debe ser de 129.5 moles de agua/mol de CO₂ , o bien:

$$(129.5)(18)/(1)(144) = 53.0 \text{ lb agua/lb CO}_2$$

$$6 \text{ lb agua/lbCO}_2 = 0.0172 \text{ lb/ft}^3/3.257\text{E}-04 = 53.0$$

$$\text{lb agua/lb aire} = 0.0172/8.3165\text{E} -04 = 20.6817$$

Se tiene un total de 30.0 lb/hr de CO₂ para extraer en toda la Cámara. Si en la primera etapa se extraen 10.0 lb/hr de CO₂ el contenido de agua es:

$$\begin{aligned} \text{lb de agua} &= (53.0 \text{ lb agua/lbCO}_2)(10 \text{ lbCO}_2) \\ &= \underline{530.0 \text{ lb de agua}} \end{aligned}$$

El aire que desalojará en 530 lb de agua es:

$$\frac{1 \text{ lb aire}}{20.6817 \text{ lb agua}} \times 530 \text{ lb agua} = \underline{25.62 \text{ lb aire}}$$

ETAPA 10.

Presión de vapor del agua a $T = 137.4688^{\circ}\text{F}$

$$p^{\circ} = 2.71 \text{ lb/in}^2 = 5.5 \text{ in Hg}$$

$$5.5'' \text{ Hg} + 0.5'' \text{ Hg} = 6'' \text{ Hg} = 2.95 \text{ PSIA}$$

$$\text{Presión parcial del aire} = 2.95 - 2.71 = 0.24 \text{ PSIA}$$

Moles de CO_2 = se extrajeron de las 30 lb/hr , 10 lb/hr; por lo que quedan:

$$\begin{aligned} 30.13 - 10 &= 20.13 \text{ lb/hr} \\ &= 20.13/44 = 0.4575 \text{ moles } \text{CO}_2 \end{aligned}$$

Moles de aire: de las 77 lb/hr de aire, se extrajeron 25.62 lb/hr, por lo tanto quedan:

$$\begin{aligned} 77.0 - 25.62 &= 51.38 \text{ lb/hr} \\ &= 51.38/29 = 1.77 \text{ moles de aire} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 0.4575 + 1.77 = 2.2275$$

$$p_{\text{parcial del } \text{CO}_2} = (0.4575/2.2275)(0.24) = 0.04029$$

$$p_{\text{parcial del aire}} = 0.24 - 0.04029 = 0.1907$$

$$p_{\text{parcial agua}} / p_{\text{parcial } \text{CO}_2} = 2.71/0.04929 = 54.98$$

$$\text{Contenido de agua} = 54.98(18)/144 = 22.49 \text{ lbagua/lbCO}_2$$

$$\text{Densidad del agua} = 7.59483 \text{ E } -03 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Densidad del aire} = 8.62324 \text{ E } -04 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{lb de agua/lb aire} &= 7.595\text{E-}03/8.623\text{E-}04 \\ &= 8.81 \text{ lb agua /lb de aire} \end{aligned}$$

Si se extraen 10.13 lb CO₂:

$$\begin{aligned} \text{lb de agua} &= 22.49 \text{ lb agua/lbCO}_2(10.13 \text{ lb CO}_2) \\ &= \underline{227.82 \text{ lb de agua}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lb de aire} &= \text{lb aire}/8.81 \text{ lb agua (227.82)} \\ &= \underline{25.88 \text{ lb de aire}} \end{aligned}$$

ETAPA 14.

Presión de vapor del agua a $T = 121.5047^\circ\text{F}$

$$p^\circ = 1.76 \text{ lb/in}^2 = 3.5 \text{ in Hg}$$

$$3.5'' \text{ Hg} + 0.5'' \text{ Hg} = 4.0'' \text{ Hg} = 1.965 \text{ PSIA}$$

$$\text{presión parcial del aire : } 1.965 - 1.76 = 0.205 \text{ PSIA}$$

Moles de CO₂: De los 20.13 lb/hr se extrajeron 10.13
por lo tanto, quedan:

$$20.13 - 10.13 = 10 \text{ lb/hr}$$

$$= 10/44 = 0.2272 \text{ moles de CO}_2$$

Moles de aire : De los 51.38 lb/hr se extrajeron
25.88 lb/hr :

$$51.38 - 25.88 = 25.5 \text{ lb/hr}$$

$$= 25.5/29 = 0.8793 \text{ moles de aire}$$

$$\text{Total : } 0.8793 + 0.2272 = 1.1065$$

$$P \text{ parcial de CO}_2 = (0.2272/1.1065)(0.205) = 0.0421$$

$$P \text{ parcial aire} = 0.205 - 0.0421 = 0.1629$$

$$p \text{ parcial agua}/p \text{ parcial CO}_2 = 1.76/0.0421 = 41.8$$

$$\text{contenido de agua} = 41.8(18)/(1)(44) = 17.0 \text{ lbagua/lbCO}_2$$

$$\text{Densidad del agua} = 5.06784 \text{ E } -03 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Densidad del aire} = 1.15255 \text{ E } -03 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{lb de agua/lb aire} = 5.06784\text{E}-03/1.1523\text{E}-03$$

$$= 4.4$$

Si se extraen 5.0 lb/hr de CO₂:

$$\text{lb de agua} = 17.0 \text{ lb agua/lb CO}_2 (5) = \underline{85.0 \text{ lb/hr agua}}$$

$$\text{lb de aire} = \text{lb aire}/4.4 \text{ lb agua (85 lb agua)}$$

$$= \underline{19.3 \text{ lb/hr aire}}$$

ETAPA 16.

Presión de vapor del agua a $T = 113.59^\circ\text{F}$

$$p^\circ = 1.41 \text{ lb/in}^2 = 2.87 \text{ in Hg}$$

$$2.87 \text{ "Hg} + 0.5 \text{ "Hg} = 3.4 \text{ "Hg} = 1.67 \text{ PSIA}$$

$$\text{Presión parcial del aire} = 1.67 - 1.41 = 0.26 \text{ PSIA}$$

Moles de CO₂ : Se extraen 5.0 lb/hr de las 10.0 lb/hr que había, por lo que quedan:

$$10 - 5 = 5.0 \text{ lb/hr}$$

$$= 5/44 = 0.1136 \text{ moles de CO}_2$$

Moles de aire : de los 25.5 lb/hr de aire, se extraen

19.3 lb/hr, por lo que quedan:

$$25.5 - 19.3 = 6.2 \text{ lb/hr}$$

$$= 6.2/29 = 0.2138 \text{ moles de aire}$$

$$\text{Total} = 0.1136 + 0.2138 = 0.3274$$

$$P \text{ parcial del CO}_2 = (0.1136/0.3274)(0.26) = 0.0902$$

$$P \text{ parcial aire} = 0.26 - 0.0902 = 0.1698$$

$$P \text{ parcial agua/ } p \text{ parcial CO}_2 = 1.41/0.0902 = 15.63$$

$$\text{Contenido de agua} = (15.63)(18)/(1)(44) = 6.4 \text{ lbagua/lbCO}_2$$

$$\text{Densidad del agua} = 4.11605 \text{ E}^{-03}$$

$$\text{Densidad del aire} = 7.23434 \text{ E}^{-04}$$

$$\begin{aligned} \text{1b agua/ 1b aire} &= 4.11605\text{E-03}/7.23434\text{E-04} \\ &= 5.6896 \end{aligned}$$

Si se extraen 3.0 lb/hr de CO₂ :

$$\text{1b de agua} = 6.4 \text{ lb agua/lb CO}_2(3.0 \text{ lb/hr CO}_2)$$

$$= \underline{19.2 \text{ lb/hr agua}}$$

$$\text{1b de aire} = \text{1b aire/ } 5.6896 \text{ lb agua (19.2 lb agua)}$$

$$= \underline{3.4 \text{ lb de aire}}$$

ETAPA 20.

Presión de vapor del agua a T = 97.91 °F

$$p^\circ = 0.89 \text{ lb/in}^2 = 1.81 \text{ " Hg}$$

$$1.81 \text{ " Hg} + 0.5 \text{ " Hg} = 2.31 \text{ "Hg} = 1.13 \text{ PSIA}$$

$$P \text{ parcial del aire} = 1.13 - 0.89 = 0.24 \text{ PSIA}$$

Moles de CO₂: Se extraen 3.0 de las 5.0 lb/hr,
por lo que quedan:

$$5.0 - 3.0 = 2.0 \text{ lb/hr de CO}_2$$

$$= 2/44 = 0.04545 \text{ moles de CO}_2$$

Moles de aire : De las 6.3 lb/hr se extraen 3.4 lb/hr,
por lo que quedan:

$$6.3 - 3.4 = 2.9 \text{ lb/hr de aire}$$

$$= 2.9/29 = 0.1 \text{ moles}$$

$$\text{Total} = 0.1 + 0.04545 = 0.14545$$

$$P \text{ parcial de CO}_2 = (0.04545/0.14545)(0.24) = 0.075$$

$$P \text{ parcial del aire} = 0.24 - 0.075 = 0.165$$

$$P \text{ parcial agua}/p \text{ parcial CO}_2 = 0.89/0.075 = 11.86$$

$$\text{Contenido de agua} = (11.86)(18)/(1)(44) = 4.85 \frac{\text{lbagua}}{\text{lb CO}_2}$$

Densidad del agua = 2.67109 E -03

Densidad del aire = 7.99015 E -04

lb agua/lb aire = $2.67109E-03/7.99015E-04$
= 3.342

Se extraen las 2.0 lb/hr de CO₂ que quedan:

lb de agua = 4.85 lbagua/lbCO₂ (2.0 lb CO₂)
= 9.7 lb agua

lb de aire = lb aire/3.342 lb agua (9.7 lb agua)
= 2.9 lb/hr aire (que corresponden
a las lb/hr de -
aire, calculadas
anteriormente, y
que faltaban por-
extraer)..

A continuación se presenta un a Tabla con los resultados obtenidos:

No. Etapa	T (°F)	Aire	CO ₂ (lb/hr)	Agua	Presión (PSIA)
1	174.12	25.62	10.0	530.0	6.58
10	137.46	25.88	10.13	227.82	2.71
14	121.50	19.30	5.00	85.00	1.76
16	113.50	3.40	3.00	19.20	1.41
20	97.90	<u>2.90</u>	<u>2.00</u>	9.70	0.89
		+ 77.00	30.13		

Cálculo del Calentador de Agua de Mar.

1. El agua de mar es el fluido, que por sus características corrosivas, se selecciona para ir por los tubos. Además de que tiende a la incrustación.
2. Las condiciones que se tienen en el calentador de agua de mar, obtenidas en el Balance de Materia y Energía de la Cámara Evaporadora de Agua de Mar, son:

- Temperatura:

Agua de Mar

entrada: $71.71^{\circ}\text{C} = 161.078^{\circ}\text{F} = t_1$

salida: $82.0^{\circ}\text{C} = 179.6^{\circ}\text{F} = t_2$

Vapor de agua $87.0^{\circ}\text{C} = 188.6^{\circ}\text{F} = T_1, T_2$

- Flujo Másico

Agua de Mar 683,428.50 kg/h

Vapor de Agua 12,224.20 kg/h

3. Cálculo de la Temperatura diferencial media logarítmica:

$$\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)]} = \frac{(188.6 - 179.6) - (188.6 - 161)}{\ln[(188.6 - 179.6)/27.522]}$$

$$\text{LMTD} = 16.5702$$

4. Cálculo de la carga térmica.

$$Q = (12224.2 \text{ kg/h})(2.2031 \text{ lb/kg})(984.9 \text{ BTU/lb})(0.252 \text{ Kcal/BTU})$$

$$Q = 6\,683,864.3 \text{ Kcal/h} = 26\,523,271 \text{ BTU/h}$$

5. Características de los tubos a emplear.

Diámetro externo: 3/4"

Diámetro interno: 0.652"

BWG : 18

Longitud : 20 ft

Superficie exterior: 0.1963 ft²/ ft lineal.

Area de flujo/tubo : 0.3340 in².

Velocidad recomendada 7.0 ft/seg

6. Flujo volumétrico del agua de mar.

$$F = 683,428.50 \text{ kg/h} (2.2031\text{b/kg}) (\text{ft}^3/62.650061\text{b}) (1\text{h}/3600\text{seg})$$

$$F = 6.6815 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

7. Propiedades del Agua de mar (ver Anexo I).

$$(\bar{T} = 76.855^\circ\text{C})$$

-Conductividad Térmica:

$$k = 583.238/1\text{E}+05 = 0.00583238 \text{ watt/cm}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$k = (0.00583238)(57.78) = 0.3369 \text{ BTU/hft}^\circ\text{F}$$

- Viscosidad

$$m = 0.36989 \text{ cP}$$

- Capacidad Calorífica

$$\text{CP} = 0.96205 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

8. Cálculo del Area de Transferencia.

$$A = Q / (\text{LMTD}) (\text{UD})$$

Descripción del método.

- Suponer un valor de UD^* . - Como primer valor, se puede considerar el reportado en la literatura para el agua de mar el cual incluye:

Coefficiente de transferencia interfacial:

$$h_i = 20,000 \text{ BTU/hft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

Coefficiente de transferencia de calor de película de condensado:

$$h_1 = 2000 - 2500 \text{ BTU/hft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

Coefficiente de transferencia de calor de salmuera:

$$h_w = 23000 \text{ BTU/hft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

Coefficiente de transferencia de calor de la pared del tubo:

$$h_t = 12000 \text{ BTU/hft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

Por lo que:

$$1/\text{Uc} = 1/h_i + 1/h_1 + 1/h_t + 1/h_w$$

$$1/U_c = 1/20000 + 1/2000 + 1/12000 + 1/2300$$

$$U_c = 936.0 \text{ BTU/hft}^2\text{°F}$$

Considerando un factor de ensuciamiento de 0.001 hft²°F/BTU para tubos, y para lado coraza, se tiene:

$$UD = 1/[(1/U_c) + ff] = 1/[1/936 + 0.002]$$

$$UD^* = 326 \text{ BTU/hft}^2\text{°F}$$

Calcular el área de transferencia:

$$A = 26\,523,271.0 / (16.57062)(326) = 4910 \text{ ft}^2$$

- Calcular el área por coraza:

$$\text{área/coraza} = 4910 \text{ ft}^2 / 1 \text{ coraza} = 4910 \text{ ft}^2/\text{coraza}$$

- Calcular el número de tubos/coraza:

$$\begin{aligned} \text{No. Tubos/coraza} &= (\text{área/coraza}) / (\text{área/tubo}) \\ &= (\text{área/coraza}) / [(\text{long-ft})(\text{s.ext./ft tubo})] \\ &= (4910 \text{ ft}^2) / [(20 \text{ ft})(0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft})] \\ &= 1251 \text{ tubos} \end{aligned}$$

- Cálculo del área requerida para dar velocidad adecuada a los tubos:

$$\begin{aligned} \text{Area Requerida} &= \text{Flujo volumétrico agua mar} / \text{Velocidad}_{\text{tubos}} \\ &= (6.6815 \text{ ft}^3/\text{seg}) / (7 \text{ ft}/\text{seg}) \\ &= 0.9545 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

- Cálculo del número de tubos por paso:

$$\begin{aligned} \text{No. tubos/paso} &= (\text{área requerida}) / (\text{área flujo por tubo}) \\ &= 0.9545 \text{ ft}^2 / (0.334 \text{ in}^2)(1 \text{ ft}^2/144 \text{ in}^2) \\ &= 412 \end{aligned}$$

- Cálculo del número de pasos por coraza:

$$\begin{aligned} \text{No. pasos/coraza} &= (\text{No. tubos/coraza}) / (\# \text{tubos/paso}) \\ &= 1251/412 \\ &= 4 \end{aligned}$$

- Cálculo del Coeficiente lado tubos:

$$\begin{aligned} \text{Area, tubos} &= [(\text{No. tubos/coraza})/(\text{No.paso/tubos})] \times \\ & \quad [(\text{área de flujo/tubo})] \\ &= [1251/4][0.334/144] \\ &= 0.747125 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Masa velocidad:

$$\begin{aligned} G_{\text{agua de mar}} &= (\text{masa de agua de mar})/(\text{área f./ tubo}) \\ &= 1\,506\,959.81 \text{ lb/h}/(0.757125 \text{ ft}^2) \\ &= 1\,545\,083.1930 \text{ lb/hft}^2 \end{aligned}$$

Número de Reynolds:

$$\begin{aligned} \text{NRe} &= \text{DG/m} = (0.652/12)(1\,545\,083.19)/(0.36989)(2.42) \\ &= 93778.57 \end{aligned}$$

Número de Prantl:

$$\begin{aligned} \text{NPr} &= \text{Cpm/k} = [(0.06105)(0.36989)(2.42)/0.3360] \\ &= 2.5527 \end{aligned}$$

Coeficiente de película lado tubos:

$$\begin{aligned} h_i &= k/D (0.027)(\text{NRe})^{0.8}(\text{NPr})^{1/3} \\ &= (0.3369/0.05433)(0.027)(93778.57)^{0.8}(2.55)^{1/3} \\ &= 2173.598626 \text{ BTU}/^\circ\text{Fft}^2\text{h} \\ h_{i0} &= h_i (\text{Dint}/\text{Dext}) = 2173.5986(0.652/(3/4)) \\ h_{i0} &= 1889.581739 \text{ BTU}/^\circ\text{Fhft}^2 \end{aligned}$$

- Cálculo del coeficiente lado coraza:

Carga de condensado:

$$\begin{aligned} G_{\text{condensado}} &= W/[L(N)^{2/3}] \\ &= (12224)(2.205)/[(20)(1251)^{2/3}] \\ &= 11.607902 \text{ lb/hft lineal} \end{aligned}$$

$$h(m^2/k^3d^2g_c)^{1/3} = 1.5(4G/m)^{-1/3}$$

donde,

$$h = \frac{1.5[(4)(11.6079)/(0.32)(2.42)]^{1/3}}{[(0.32)(2.42)]^2/(0.38)^3(62.65)^2g_c)^{1/3}}$$

$$g_c = 32.2 (3600)^2$$

$$h = 0.383243/1.8606192E-04$$

$$= 2059.76 \text{ BTU}/^\circ\text{Fft}^2\text{h}$$

- Cálculo del Coeficiente Global de transferencia de calor:

$$UD = 1/[(1/1889.581) + (1/2059.76) + 0.002]$$

$$UD = 332 \text{ BTU}/\text{hft}^2^\circ\text{F} \quad (\text{el cual es aprox. el } UD^*)$$

9. Características finales del calentador de agua de mar.

Se tiene un calentador de agua de mar con 1 paso en la coraza y 4 pasos por los tubos. Estos últimos tienen un diámetro externo de 3/4", arreglo triangular de 15/16. Con estos datos se obtiene de la literatura:

Diámetro interno de coraza: 39 in.
Número de tubos : 1258

Cálculo de la velocidad en los tubos, de acuerdo a las características anteriores:

$$\begin{aligned} \text{Número de tubos/paso} &= 1258/4 \\ &= 314 \end{aligned}$$

$$\text{Area} = (314 \text{ tubos/paso})(0.334/144) = 0.7283 \text{ ft}^2$$

$$\text{Velocidad} = 6.6814/0.7283 = 9.17 \text{ ft/seg}$$

10. Cálculo de la caída de presión.

Lado Tubos:

$$DP_{\text{tubos}} = \frac{(f)(G)^2(L)(n)}{5.22E10(D)(S)}$$

donde,

n = número de pasos = 4

L = longitud del tubo = 20 ft

G = masa velocidad = 1 545083.193 lb/hft²

f = factor de fricción.

(fig. 26 D.Kern): con $NRe = 9.4E+04$:

$$f = 0.00015 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

D = diámetro interno de los tubos:

$$= (0.652/12)$$

$$= 0.05433 \text{ ft}$$

S = gravedad específica = $62.65/62.4$

$$= 1.004$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} DP_{\text{tubos}} &= \frac{(0.00015)(1545083.193)^2(20)(4)}{5.22E+10(0.5433)(1.004)} \\ &= 10.0 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

$$DP_{\text{tubos r.}} = [(4)(n)/S]\{V^2/2g\}$$

$$\text{(Fig. 27 D. Kern: } V^2/2g = 0.32)$$

$$= [4(4)/1.0]\{0.32\}$$

$$= 5.1 \text{ lb/in}^2$$

Por lo que la caída de presión total en los tubos es:

$$DPT_{\text{tubos}} = DP_{\text{tubos}} + DP_{\text{tubos r.}}$$

$$= 15 \text{ lb/in}^2 = 1.05 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la caída de presión lado Coraza:

$$DP_{\text{Coraza}} = \frac{\frac{1}{2}(f)(G^2)(Ds)(N+1)}{5.22E+10(De)(S)}$$

$$NRe = De(G)/\mu ; \text{ donde } De = 0.55/12 = 0.0458333 \quad (\text{Kern})$$

$$\text{paso } 15/16 = 0.9375$$

$$NRe = (0.045833)(63786.31)/(0.012)(2.42) = 1E+05$$

$$f = 0.0014 \quad (\text{fig. 29 Kern})$$

$$D_s = \text{Diámetro de coraza} = 39/12 = 3.25 \text{ ft}$$

$$B = \text{espaciamiento entre deflectores:}$$

$$(\text{TEMA pto. 4.5})$$

$$B = 1/5(D_s) = 1/5(39) = 7.8''$$

$$C = \text{Claro} = 1.25(3/4) - (3/4) = 0.1875$$

$$AF = \text{Area de flujo:}$$

$$\text{área de flujo} = [D_s(B)(C)/Pt(144)]$$

$$= [39(7.8)(0.1875)/(0.9375)(144)]$$

$$= 0.4225 \text{ ft}^2$$

$$G = \text{Masa velocidad}$$

$$G = (12224.2)(2.205)/0.4225$$

$$= 63786.31 \text{ lb/hft}^2$$

$$N + 1 = \text{número de cruces:}$$

$$N + 1 = 12(L/B) = 12(20/7.8) = 31$$

$$S = \text{Gravedad específica del vapor: (a } 87^\circ\text{C)}$$

$$S = 0.02372959/0.07 = 0.31012$$

Sustituyendo:

$$DP_{\text{coraza}} = \frac{(0.0014)(63786.31)^2(3.25)(31)}{(2)(5.22E+10)(0.045833)(0.31)}$$

$$= 0.386 \text{ lb/in}^2$$

$$= 0.40 \text{ lb/in}^2 = 0.028 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de Válvulas de Control

Para el cálculo de las válvula de control en servicio de líquidos, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$FpCv = \frac{Q}{Fr C1 (DP/G)^{\frac{1}{2}}}$$

donde:

Q = flujo en m³/hr

Fr = Factor de número de Reynolds = 1.0

C1 = Constante de proporcionalidad = 0.8566

DP = Caída de presión en la válvula = kg/cm²

G = densidad relativa

Con el FpCv calculado, se selecciona de catálogos de proveedores, una válvula cuyo Cv 100% (Cvs) sea un poco mayor a FpCv. Con el valor seleccionado, se calcula la capacidad unitaria de la válvula de control (Cd) por :

$$Cd = Cvs/d^2 \quad d = \text{diámetro de la válvula seleccionada en mm.}$$

Se calcula los coeficientes de carga de velocidad:

$$K = 1.5 [1 - (d/D)^2]^2$$

D = diámetro nominal de la tubería de entrada.

Se calcula el factor geométrico de la tubería:

$$Fp = [(KCd^2 / C2) + 1]^{-\frac{1}{2}}$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de la válvula a condiciones de flujo:

$$Cv = FpCv / Fp$$

Cálculo de placas de orificio.

Para el cálculo de placas de orificio en servicio de líquidos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{Q G_1}{(N D^2 F_a F_m (G))^{\frac{1}{2}} F_c F_p (h_m)^{\frac{1}{2}}}$$

donde:

S = factor para obtener la relación $B = d/D$

d = diámetro de la placa.

D = diámetro interno de la tubería

G_1 = densidad relativa del líquido, a 60°F

N_1 = constante de proporcionalidad = 5.667

$F_a, F_m = 1.0$

G = densidad relativa del líquido a temperatura de operación.

F_c = Factor de corrección por Reynolds. En el primer cálculo = 1.0

$F_p = 1.0$

h_m = diferencial de presión máxima del rango seleccionado. Los más utilizados son :
0-20, 0-50 , 0-100 , 0-200 " agua.

Con el primer cálculo de S , se obtiene el número de Reynolds estimado, por:

$$(R_d/F_c) = [K D S F_m (h_w)^{\frac{1}{2}} (G)^{\frac{1}{2}}] / M$$

donde:

K = 17920.0

h_w = diferencial de presión a flujo normal
 $h_w = 0.5 h_m$

M = viscosidad

R_d = No. de Reynolds

De gráfica (R_d/F_c) vs B se obtiene F_c , y con éste último se calcula el valor correcto de S :

$$S' = S / F_c$$

Y finalmente de tablas de S vs B, se obtiene B , y con éste, se obtiene el diámetro de la placa:

$$d = B D$$

B. CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES

1. El objetivo que se plantea en el inicio de la realización de éste trabajo, se ha cumplido; ya que se tiene un procedimiento para el Diseño Básico de Plantas Desaladoras de Agua de Mar, el cual reproduce los datos presentados por compañías extranjeras para el diseño de éste tipo de plantas; con lo que dá la posibilidad de que no se requiera el pagar el importe por la tecnología a extranjeros.

En nuestro país no se cuenta con una compañía nacional que realice éste tipo de evaporadores de agua de mar; con éste trabajo, se pueden iniciar estudios para el desarrollo de la Tecnología de Desalinización de agua de mar por Evaporación Instantánea en Etapas Múltiples, y pueda llegar a ser 100% nacional.

2. Este trabajo es de aplicación inmediata; fue utilizado, cuando todavía no estaba concluído, en el desarrollo de una oferta llave en mano para la Comisión Federal de Electricidad, para generar agua de repuesto en Plantas Generadoras de Electricidad de 160 y 350 MW, localizadas en sitios sin disponibilidad de agua dulce, siendo similares a los presentados por los fabricantes extranjeros.
3. El presente trabajo, es práctico, accesible y confiable en su aplicación.

4. Siguiendo los pasos y criterios mostrados en el caso en estudio, se pueden modificar capacidades y condiciones de operación, con lo que se obtienen resultados que permitan controlar o evaluar el comportamiento de instalaciones existentes y determinar las óptimas para instalaciones en proyecto.
5. La velocidad de agua de mar dentro de los tubos de la cámara evaporadora, es un factor determinante en la longitud de la misma. Esta velocidad es la que determina el coeficiente de transferencia de calor; cuando se tiene una velocidad mayor, el coeficiente es más grande y la cámara evaporadora es más pequeña. Sin embargo, deben ser respetados los límites de velocidad recomendados para atenuar la corrosión.
6. La temperatura del agua de mar a la salida del calentador y entrada a la primera etapa de la cámara evaporadora es un factor determinante de la cantidad de agua de mar que se debe alimentar a la cámara de evaporación.

Los procesos de evaporación instantánea en etapas múltiples, se caracterizan por necesitar una cantidad grande de agua de mar en relación a la cantidad de destilado que se obtiene.

Esta cantidad de agua de mar, no puede ser menor, porque ésto implica que para obtener la misma

cantidad de destilado, la temperatura de agua de mar a la entrada de la primera etapa de la cámara evaporadora debe ser mayor a la fijada por el tratamiento antiincrustante seleccionando, lo cual favorece a la incrustación.

Por otro lado, una mayor cantidad de agua de mar provoca que se utilicen mayor cantidad de tubos .

Además, con una cantidad de agua de mar mayor, se necesita mayor carga térmica en el calentador; y los costos de operación aumentan.

7. El hecho de tener un proceso con varias etapas, tiene por objeto el mayor aprovechamiento de energía. En una sólo etapa, el agua de mar que entra en ella, al estar a una presión menor, evaporará instantáneamente, pero la temperatura que alcanza el agua de mar que entra al calentador será muy baja, y se necesitará más energía para elevarla hasta la fijada por el tratamiento antiincrustante. Por otro lado, cuando se tienen muchas etapas, se presenta el efecto cascada en el cual se tiene un reuso de la energía , con lo que la temperatura que alcanza el agua de mar a la entrada del calentador es alta y cercana a la fijada por el método antiincrustante, por lo que se tiene un ahorro de energía en el calentador de agua de mar.

Con menos etapas, se necesita mayor cantidad de agua de mar y la temperatura del agua de mar a la entrada del calentador disminuye.

8. Se tiene al final de éste estudio, un trabajo en el cual, se aplica de manera general, las actividades a las que se enfrenta un ingeniero químico en el Area de Diseño: dimensionamiento de equipos y tuberías, balance de materia y energía, programación, consideraciones y criterios de selección de materiales de construcción, - velocidades recomendadas, utilidad, funcionamiento y factibilidad de un proyecto seleccionado, especificación de equipos, instrumentación y control, y los aspectos que se deben tener presentes en el desarrollo de una Ingeniería Básica, para servir como punto de partida a la ejecución de la Ingeniería de Detalle.

INDIVISA MANENT

U L S A

C. ANEXOS.

ANEXO I

ANEXO I

PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR.

1) INTRODUCCION.

EL CONOCIMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR Y SUS CONCENTRACIONES , Y DE LAS SOLUCIONES DE LAS SALMUERAS ES IMPORTANTE EN EL DESARROLLO, DISEÑO Y OPERACIÓN DE LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN.

AUNQUE LA LITERATURA CONTIENE MUCHOS DATOS DE PROPIEDADES DE SOLUCIONES ACUOSAS ELECTROFÍLICAS Y DEL AGUA DE MAR, HAY EN ELLOS UN LÍMITE DENTRO DE LOS RANGOS DE TEMPERATURA Y CONCENTRACIONES. SE CUENTA CON ALGUNAS PUBLICACIONES, LAS CUALES MUESTRAN ALGUNA DESVIACIÓN ENTRE LOS DATOS DE DIFERENTES AUTORES.

EL INGENIERO SE ENCARA CON EL PROBLEMA DE OBTENER A PARTIR DE UNA LITERATURA BASTANTE GENERAL DATOS INTERPOLANDO Y EXTRAPOLANDO DE LOS REPORTADOS; A LOS CUALES DEBE DE CONSIDERARLOS DE CONFIANZA POR SER LOS ÚNICOS QUE POSEE. ES MUY PROBABLE QUE UN ERROR EN UN DATO USADO EN UNA CIERTA TAREA DE DISEÑO NO SE EXCEDA EN LA PRECISIÓN DEL MÉTODO, PERO EN CASOS DE CÁLCULOS ACUMULADOS (SUMATORIAS ,P.EJ.) , SÍ REPRESENTA UN FACTOR DE MUCHA IMPORTANCIA.

FRECUENTEMENTE, LOS DATOS DISPONIBLES NO PUEDEN SER DEL TODO CONFIABLES; ADEMÁS DE SER POBREMENTE DEFINIDOS. EN LA PRÁCTICA-TEMPRANA DE LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR, LAS PROPIEDADES DE LA SOLUCIÓN FUERON SUSTITUIDAS CON LAS DE CLORURO DE SODIO EQUIVALENTE AL CONTENIDO DE SALINIDAD Y CLORINIDAD DEL AGUA DE MAR. HACE TIEMPO SE JUSTIFICABA ESTA FORMA DE OBTENCION DE DATOS, SIN EMBARGO AHORA SE DISPONE DE DATOS MAS EXACTOS PARA EL AGUA DE MAR.

SE PRETENDE PRESENTAR LOS DATOS MAS EXACTOS ENCONTRADOS HASTA AHORA, PARA EL AGUA DE MAR ; SE DAN ALGUNOS DATOS PARA SOLUCIONES DE CLORURO DE SODIO CON EL FIN DE COMPARARLOS CON LOS PRIMEROS.

ii) COMPOSICION DEL AGUA DE MAR.

AUNQUE HAY DIFERENCIAS CONSIDERABLES EN LA CONCENTRACION DE SALES DEL AGUA DE MAR, LA RELATIVA ABUNDANCIA DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL AGUA DE MAR ES CASI LA MISMA EN TODOS LADOS. LA CONCENTRACION DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES PUEDE OBTENERSE DE LA SIGUIENTE TABLA:

ELEMENTO	PPM (MILIGRAMO/KILOGRAMO)
Cl	18980
Na	10561
Mg	1272
S	884
Ca	400
K	380
Br	65
C	28
Sr	13
B	4.6
Si	0.02-4.0
N	0.01-0.7
Al	0.5
Li	0.1
P	0.001-0.1
Ba	0.05
I	0.05
As	0.01-0.02
Fe	0.002-0.02
Mn	0.001-0.01
Cu	0.001-0.01
Zn	0.005
Pb	0.004
Se	0.004
Ce	0.002
U	0.0015
Mo	0.0005
Te	0.002-0.02
Ce	0.0004
Ag	0.0003
La	0.0003
Y	0.0003
Se	0.00004
Au	0.000006
Ra	0.2-3.0 x 10 ⁻¹⁰

TABLA 2.A

COMPOSICION TIPICA DEL AGUA DE MAR MOSTRANDO LOS
PRINCIPALES COMPONENTES SALINOS.

<u>COMPONENTE</u>	<u>CONCENTRACION mg/l</u>	<u>% SALINIDAD TOTAL</u>
Cl ⁻	18,980	55.04
Br ⁻	65	0.19
SO ₄ ⁼	2,649	7.68
HCO ₃	140	0.41
F ⁻	1	0.00
H ₃ BO ₃	26	0.07
Mg ⁺⁺	1,272	3.69
Ca ⁺⁺	400	1.16
Sr ⁺⁺	13	0.04
K ⁺	380	1.10
Na ⁺	10,556	30.61
TOTAL	34,482	99.99

iii) DENSIDAD.

LA SIGUIENTE TABLA (3.A) MUESTRA LAS DENSIDADES DEL AGUA DE MAR COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA , EXPRESADA EN GRADOS CENTIGRADOS, Y DE LA CONCENTRACION (PPM).

LA DENSIDAD ESTA EXPRESADA EN GRAMO POR CENTIMETRO CÚBICO. PARA CONVERTIR EL DATO A LIBRAS POR GALÓN MULTIPLICA POR 8.345 ; PARA OBTENER EL VALOR EN LIBRAS POR PIE CÚBICO MULTIPLICA POR 62.43 .

CORRELACIÓN DE DATOS.- ESTA TÉCNICA SE BASA APARENTEMENTE EN LOS VOLÚMENES MOLALES DE LOS COMPONENTES SALINOS DISUELTOS. EL VOLÚMEN MOLAL APARENTE DE UN COMPONENTE DISUELTO EN UNA SOLUCIÓN BINARIA ESTÁ DADO POR:

$$V_i = (V-V_0)/m_i \quad (\text{ec. 3.1})$$

V = volúmen de la solución binaria, conteniendo m_i moles de sal en 1000 g de agua, en cm^3 .

V_0 = volúmen de 1000g en cm^3 a la misma temperatura.

m_i = molalidad de los componentes d_i sueltos.

EL VOLÚMEN MOLAL APARENTE DEL COMPONENTE SALINO DADO, SE EXPRESA COMO FUNCIÓN DE LA FUERZA IÓNICA DE LA SOLUCIÓN:

$$\bar{V}_i = A_{0i} + B_{0i} \cdot I^{1/2} \quad (\text{ec. 3.2})$$

donde,

$$I = \frac{1}{2} \sum_0^i n_i v_i^2 \quad (\text{ec. 3.3})$$

I = fuerza iónica.

n_i = concentración iónica de unas especies iónicas dadas (en g-ión/1000g de agua)

v_i = valencia.

LAS CONSTANTES A_0 , B_0 SE EXPRESAN COMO FUNCIONES DE LA TEMPERATURA :

$$A_0 = A_{1i} + A_{2i} \cdot t + A_{3i} \cdot t^2 \quad (\text{ec. 3.4})$$

$$B_0 = B_{1i} + B_{2i} \cdot t + B_{3i} \cdot t^2 \quad (\text{ec. 3.5})$$

donde,

COMPONENTE	A_1	A_2	A_3
NaCl	13.726	0.16713	-0.00142
KCl	23.468	0.17248	-0.00161
CaCl ₂	17.080	0.08700	-0.00100
MgCl ₂	12.340	0.17500	-0.00198
NaBr	18.810	0.16700	-0.00103
Na ₂ CO ₃	-17.685	0.57100	-0.00457
Na ₂ SO ₄	8.427	0.22648	-0.00282
MgSO ₄	2.667	-0.12350	-0.00102

	B_1	B_2	B_3
NaCl	2.965	-0.06557	0.00062
KCl	3.529	-0.07457	0.00076
CaCl ₂	5.540	-0.31500	-0.00002
MgCl ₂	8.180	-0.10810	0.00092
NaBr	4.040	-0.05300	0.00032
Na ₂ CO ₃	9.077	-0.36900	0.00287
Na ₂ SO ₄	7.172	-0.05009	0.00111
MgSO ₄	-0.102	0.13842	0.00008

PARA UNA SOLUCIÓN BINARIA DADA, LA DENSIDAD PUEDE EXPRESARSE COMO:

$$d = (1000 + m_i M_i) / (V_0 + m_i \bar{V}_i) \quad (\text{ec. 3.6})$$

PARA UNA MEZCLA DE MULTICOMPONENTES , LA DENSIDAD PUEDE SER -
CALCULADA POR LA SUMATORIA DE LOS PESOS Y LOS VOLÚMENES MOLARES
APARENTES. POR LO QUE LA ECUACIÓN (3.6) SE EXPRESARÍA :

$$d = (1000 + \sum \bar{z}_i m_i M_i) / (V_0 + \sum \bar{z}_i m_i \bar{V}_i)$$

M_i = peso molecular del componente puro.

DE ACUERDO A LA ECUACIÓN (3.3), LA FUERZA IÓNICA DE UNA SOLU-
CIÓN 0.5 MOLAL DE CLORURO DE SODIO ES:

$$I = \frac{1}{2}(0.5 \times 1 + 0.5 \times 1) = 0.5$$

Y LA FUERZA IÓNICA DE UNA SOLUCIÓN 0.2 MOLAL DE Na_2SO_4 , A PAR-
TIR DE Na_2SO_4 DISOCIADO EN DOS IONES SODIO MONOVALENTES Y UN -
IÓN SULFATO DIVALENTE ES:

$$I = \frac{1}{2}(0.4 \times 1 + 0.2 \times 2^2) = 0.6$$

TABLA 3.A

DENSIDAD DEL AGUA DE MAR

S A L I N I D A D						
TEMPERATURA	20.0	30.0	34.416	40.0	50.0	60.0
20.0	1.0132	1.0206	1.0239	1.0281	1.0356	1.0432
30.0	1.0104	1.0177	1.0210	1.0252	1.0326	1.0402
40.0	1.0068	1.0140	1.0173	1.0215	1.0289	1.0364
50.0	1.0025	1.0097	1.0138	1.0171	1.0245	1.0320
60.0	0.9976	1.0048	1.0081	1.0122	1.0196	1.0270
70.0	0.9922	0.9994	1.0027	1.0068	1.0141	1.0216
80.0	0.9863	0.9935	0.9968	1.0010	1.0083	1.0158
90.0	0.9800	0.9872	0.9905	0.9947	1.0021	1.0096
100.0	0.9732	0.9805	0.9838	0.9980	0.9955	1.0030
110.0	0.9661	0.9735	0.9768	0.9811	0.9886	0.9961
120.0	0.9588	0.9662	0.9696	0.9739	0.9815	0.9891
130.0	0.9509	0.9585	0.9619	0.9663	0.9739	0.9816
140.0	0.9424	0.9502	0.9536	0.9581	0.9658	0.9736
150.0	0.9337	0.9416	0.9451	0.9496	0.9575	0.9653

TABLA 3.A (CONT.)

DENSIDAD DEL AGUA DE MAR

S A L I N I D A D							
TEMPERATURA	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
20.0	1.0509	1.0585	1.0664	1.0740	1.0821	1.0897	1.098
30.0	1.0478	1.0554	1.0632	1.0708	1.0789	1.0865	1.095
40.0	1.0439	1.0515	1.0593	1.0669	1.0750	1.0826	1.091
50.0	1.0395	1.0470	1.0548	1.0624	1.0705	1.0781	1.087
60.0	1.0345	1.0421	1.0499	1.0574	1.0655	1.0731	1.082
70.0	1.0292	1.0367	1.0445	1.0520	1.0601	1.0676	1.076
80.0	1.0233	1.0308	1.0387	1.0461	1.0543	1.0617	1.071
90.0	1.0172	1.0246	1.0325	1.0399	1.0482	1.0555	2.064
100.0	1.0106	1.0181	1.0260	1.0334	1.0417	1.0489	1.058
110.0	1.0038	1.0113	1.0193	1.0266	1.0350	1.0420	1.051
120.0	0.9969	1.0044	1.0124	1.0197	1.0281	1.0351	1.044
130.0	0.9894	0.9969	1.0051	1.0122	1.0308	1.0276	1.037
140.0	0.9815	0.9890	0.9972	1.0043	1.0130	1.0196	1.029
150.0	0.9733	0.9808	0.9891	0.9962	1.0049	1.0114	1.021

iv) PRESION DE VAPOR.

LA TABLA (4,A) MUESTRA LA PRESION DE VAPOR DEL AGUA-DE MAR COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE LA SALINIDAD. LA TEMPERATURA ESTÁ DADA EN GRADOS CENTÍGRADOS, LA SALINIDAD EN PARTES POR MILLON Y LA PRESIÓN EN MILÍMETROS DE MERCURIO.

PARA CONVERTIR EL DATO A ATMÓSFERAS DIVIDIR ENTRE 760 ; PARA CONVERTIR A LIBRAS POR PULGADA CUADRADA MULTIPLICAR EL DATO POR 0.01934 .

CORRELACIÓN DE DATOS.- SE BASA EN LAS DEPRESIONES RELATIVAS MOLALES DE PRESIONES DE VAPOR. LA DEPRESIÓN RELATIVA MOLAL DE PRESION DE VAPOR, TIENE UNA CONSTANTE DE UN COMPONENTE EN UNA SOLUCIÓN BINARIA:

$$k_i = (p^0 - p) / p^0 \cdot m_i \quad (\text{ec. 4.1})$$

p^0 = presión de vapor del agua

p = presión de vapor de la solución a la misma temperatura.

m_i = molalidad del soluto.

LA CONSTANTE RELATIVA MOLAL DE LAS PRESIONES DE VAPOR SE EXPRESA COMO FUNCIÓN DE LA FUERZA IONICA:

$$k_i = a_{oi} + b_{oi} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{ec. 4.2})$$

LAS CONSTANTES DE LA EC. (4,2) ,SON CORRELACIONADAS COMO FUNCIONES DE LA TEMPERATURA POR :

$$a_{oi} = a_{1i} + a_{2i} \cdot t + a_{3i} \cdot t^2 \quad (\text{ec. 4.3})$$

$$b_{oi} = b_{1i} + b_{2i} \cdot t + b_{3i} \cdot t^2 \quad (\text{ec. 4.4})$$

donde,

COMPONENTE	$a_1 \times 10^3$	$a_2 \times 10^3$	$a_3 \times 10^6$
NaCl	27.318	0.0851	-0.3813
KCl	29.163	0.0315	---
CaCl ₂	39.345	----	---
MgCl ₂	41.518	-0.1505	---
NaBr	31.329	----	---
Na ₂ SO ₄	46.583	-0.0294	---
MgSO ₄	21.334	-0.0232	---

	$b_1 \times 10^3$	$b_2 \times 10^3$	$b_3 \times 10^3$
NaCl	4.234	-0.0155	0.0189
KCl	2.601	-0.0199	---
CaCl ₂	8.667	----	---
MgCl ₂	1.841	----	---
NaBr	3.193	----	---
Na ₂ SO ₄	-6.817	0.0182	---
MgSO ₄	-1.163	-0.0111	---

PARA MEZCLAS MULTICOMPONENTES LA ECUACIÓN (4.1) SE MODIFICA QUEDANDO:

$$k_m = (p^0 - p) / p^0 \cdot \bar{z} m_i \quad (\text{ec. 4.5})$$

DE ACUERDO CON ROBINSON Y BOWER, k_m PUEDE SER CALCULADA POR LA SUMATORIA DE LOS VALORES DE k_i DE LOS COMPONENTES :

$$k_m = \bar{z} \left((k_i \cdot m_i) / \bar{z} m_i \right) \quad (\text{ec. 4.6})$$

TABLA 4.A
PRESION DE VAPOR DEL AGUA DE MAR

TEMPERATURA	S A L I N I D A D				
	AGUA	20.0	30.0	34.416	40.0
20.0	17.54	17.36	17.27	17.23	17.17
30.0	31.82	31.50	31.33	31.25	31.15
40.0	55.32	54.76	54.46	54.32	54.14
50.0	92.51	91.56	90.81	90.51	89.96
60.0	149.40	147.80	147.00	146.60	146.10
70.0	233.70	231.50	230.00	229.40	228.60
80.0	355.10	351.40	349.40	348.50	347.30
90.0	525.80	520.30	517.30	515.90	514.20
100.0	760.00	752.10	747.80	745.80	743.30
110.0	1074.60	1063.40	1057.30	1054.50	1050.90
120.0	1489.00	1474.00	1465.00	1461.00	1456.00
130.0	2026.00	2005.00	1994.00	1988.00	1982.00
140.0	2711.00	2683.00	2668.00	2661.00	2652.00
150.0	3570.00	3534.00	3514.00	3505.00	3493.00

TABLA 4.A (CONT.)

PRESION DE VAPOR DEL AGUA DE MAR

S A L I N I D A D					
TEMPERATURA	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
20.0	17.07	16.96	16.85	16.74	16.62
30.0	30.96	30.77	30.57	30.36	30.14
40.0	53.81	53.47	53.12	52.74	52.37
50.0	89.96	89.38	88.78	88.16	87.51
60.0	145.20	144.30	143.30	142.30	141.30
70.0	227.20	225.70	224.10	222.60	220.90
80.0	345.10	342.80	340.50	338.10	335.50
90.0	510.90	507.60	504.10	500.50	496.70
100.0	738.60	733.70	728.60	723.40	717.90
110.0	1044.30	1037.80	1030.20	1022.70	1015.00
120.0	1447.00	1438.00	1428.00	1417.00	1407.00
130.0	1969.00	1956.00	1943.00	1929.00	1914.00
140.0	2635.00	2618.00	2600.00	2581.00	2562.00
150.0	3472.00	3449.00	3425.00	3401.00	3375.00

TABLA 4.A (CONCLUSION)
 PRESION DE VAPOR DEL AGUA DE MAR

S A L I N I D A D				
TEMPERATURA	100.0	110.0	120.0	130.0
20.0	16.50	16.37	16.24	16.11
30.0	29.92	29.69	29.45	29.20
40.0	51.98	51.57	51.15	50.71
50.0	86.85	86.16	85.45	84.72
60.0	140.20	139.00	137.90	136.70
70.0	219.20	217.40	215.60	213.70
80.0	332.90	330.20	327.40	324.50
90.0	492.80	488.80	484.60	480.30
100.0	712.30	706.40	700.30	694.00
110.0	1007.00	998.70	990.10	981.20
120.0	1395.00	1384.00	1372.00	1360.00
130.0	1891.00	1883.00	1867.00	1850.00
140.0	2541.00	2520.00	2499.00	2476.00
150.0	3348.00	3321.00	3292.00	3263.00

v) ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA DE MAR.

EN LA TABLA 5.A SE MUESTRAN LOS DATOS DE ELEVACION DE LA TEMPERATURA DE EBULLICION DEL AGUA DE MAR COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE LA CONCENTRACION, LA TEMPERATURA ESTÁ DADA EN GRADOS CENTIGRADOS.

CORRELACION DE DATOS.- LOS DATOS PARA LA ELEVACION DE LA TEMPERATURA DE EBULLICION FUERON CORRELACIONADOS POR FABUS Y KOROSI, CON LA ECUACION:

$$DT = a_0.C + b_0.C^2 \quad (\text{ec. 5.1})$$

C = factor técnico de concentración del agua de mar.

LAS CONSTANTES a_0 y b_0 SE EXPRESAN COMO FUNCIONES DE LA TEMPERATURA DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$a_0 = a_1 + a_2.t + a_3.t^2 \quad (\text{ec. 5.2})$$

$$b_0 = b_1 + b_2.t + b_3.t^2 \quad (\text{ec. 5.3})$$

donde:

$$a_1 = 0.2009$$

$$a_2 = 0.2867 \times 10^{-2}$$

$$a_3 = 0.0020 \times 10^{-4}$$

$$b_1 = 0.0257$$

$$b_2 = 0.0193 \times 10^{-2}$$

$$b_3 = 0.0001 \times 10^{-4}$$

TABLA 5.A

ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
TEMPERATURA											
20.0	0.118	0.160	0.203	0.247	0.293	0.340	0.388	0.437	0.488	0.539	0.592
30.0	0.131	0.177	0.225	0.274	0.324	0.376	0.429	0.483	0.538	0.595	0.654
40.0	0.144	0.195	0.247	0.300	0.355	0.412	0.470	0.529	0.589	0.651	0.715
50.0	0.157	0.212	0.269	0.327	0.387	0.448	0.511	0.575	0.640	0.708	0.776
60.0	0.170	0.229	0.291	0.354	0.418	0.484	0.552	0.621	0.691	0.764	0.838
70.0	0.183	0.247	0.313	0.380	0.449	0.520	0.593	0.667	0.743	0.820	0.899
80.0	0.196	0.264	0.335	0.407	0.481	0.556	0.634	0.713	0.794	0.876	0.961
90.0	0.209	0.282	0.357	0.434	0.512	0.593	0.675	0.759	0.845	0.933	1.022
100.0	0.222	0.299	0.379	0.460	0.544	0.629	0.716	0.805	0.896	0.989	1.084
110.0	0.235	0.317	0.401	0.487	0.575	0.666	0.758	0.852	0.948	1.046	1.146
120.0	0.248	0.334	0.423	0.514	0.607	0.702	0.799	0.898	0.999	1.103	1.208
130.0	0.261	0.352	0.445	0.541	0.639	0.738	0.840	0.945	1.051	1.159	1.270
140.0	0.274	0.370	0.468	0.568	0.670	0.775	0.882	0.991	1.102	1.216	1.332
150.0	0.287	0.387	0.490	0.595	0.702	0.812	0.923	1.038	1.154	1.273	1.394

TABLA 5.A (CONT)

ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	70.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	105.0	110.0	115.0	120.0	130.0
20.0	0.647	0.759	0.817	0.876	0.937	0.999	1.062	1.126	1.191	1.258	1.395
30.0	0.713	0.836	0.900	0.965	1.031	1.098	1.167	1.237	1.309	1.382	1.531
40.0	0.780	0.914	0.983	1.053	1.125	1.198	1.273	1.349	1.427	1.506	1.668
50.0	0.846	0.991	1.066	1.142	1.219	1.298	1.379	1.461	1.545	1.630	1.804
60.0	0.913	1.069	1.149	1.231	1.314	1.399	1.485	1.573	1.663	1.754	1.941
70.0	0.980	1.146	1.232	1.319	1.408	1.499	1.591	1.685	1.781	1.878	2.078
80.0	1.047	1.224	1.315	1.408	1.503	1.599	1.698	1.798	1.899	2.003	2.215
90.0	1.114	1.302	1.399	1.497	1.598	1.700	1.804	1.910	2.018	2.127	2.352
100.0	1.181	1.380	1.482	1.587	1.693	1.801	1.911	2.023	2.137	2.252	2.489
110.0	1.248	1.458	1.566	1.676	1.788	1.902	2.018	2.135	2.255	2.377	2.627
120.0	1.315	1.536	1.650	1.765	1.883	2.002	2.125	2.248	2.374	2.502	2.765
130.0	1.382	1.614	1.734	1.855	1.978	2.104	2.232	2.361	2.493	2.628	2.902
140.0	1.450	1.693	1.817	1.944	2.074	2.205	2.339	2.475	2.613	2.753	3.041
150.0	1.517	1.771	1.902	2.034	2.169	2.307	2.446	2.588	2.732	2.879	3.179

vi) VISCOSIDAD.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA VISCOSIDAD DINÁMICA DEL AGUA DE MAR EN CENTIPOISES COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA EXPRESADA EN GRADOS CENTÍGRADOS:

TEMPERATURA	VISCOSIDAD
20.0	1.0020
30.0	0.7999
40.0	0.6554
50.0	0.5484
60.0	0.4762
70.0	0.4041
80.0	0.3542
90.0	0.3141
100.0	0.2813
110.0	0.2542
120.0	0.2315
130.0	0.2074
140.0	0.1959
150.0	0.1818

LA TABLA 6.A PRESENTA LA VISCOSIDAD RELATIVA DEL AGUA DE MAR COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS) Y DE LA CONCENTRACIÓN (PPM).

LA VISCOSIDAD DINÁMICA DE UNA SOLUCIÓN PUEDE OBTENERSE MULTIPLICANDO LA VISCOSIDAD RELATIVA OBTENIDA EN LA TABLA 6.A POR LA VISCOSIDAD DEL AGUA PRESENTADA EN LOS DATOS ANTERIORES. PARA CONVERTIR LOS DATOS DE VISCOSIDAD DINÁMICA A (lb masa) / (ft)(seg) MULTIPLICA POR 0.672E-3 PARA CONVERTIR A (lb masa) / (ft)(hr) MULTIPLICA POR : 2.42 .

CORRELACION DE DATOS.- SE BASA EN LA REGLA DE OTHMER, LA CUAL SEÑALA QUE EL LOGARITMO DE LA VISCOSIDAD RELATIVA DE UNA SOLUCIÓN DE UNA CONCENTRACIÓN DADA, ES FUNCIÓN LINEAL DEL LOGARITMO DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA A LA MISMA TEMPERATURA. DE ESTA MANERA, SE TIENE:

$$\log n_r = A'_{oi} + B'_{oi} \cdot \log n_w \quad (\text{ec.6.1})$$

n_r = viscosidad relativa, n_s/n_w

n_w = viscosidad del agua

n_s = viscosidad de la solución.

LAS CONSTANTES A'_{oi} y B'_{oi} SE EXPRESAN COMO FUNCIONES DE LA FUERZA IÓNICA DE LA SOLUCIÓN:

$$A'_{oi} = A'_{1i} + A'_{2i} + A'_{3i} \quad (\text{ec.6.2})$$

$$B'_{oi} = B'_{1i} + B'_{2i} + B'_{3i} \quad (\text{ec.6.3})$$

Y LA VISCOSIDAD DEL AGUA PUEDE DARSE POR (KOROSI Y FABUSS):

$$\log n_w = -1.64779 + 262.37/(139.18 + t) \quad (\text{ec.6.4})$$

LAS CONSTANTES DE LAS ECUACIONES 6.2 Y 6.3 SE DAN A CONTINUACIÓN, PARA LOS DIFERENTES COMPONENTES SALINOS DEL SISTEMA DE AGUA DE MAR:

COMPONENTE	A'1	A'2	A'3
NaCl	0.03550	0.00231	-0.00003
KCl	-0.00522	0.00175	0.00016
CaCl ₂	0.04241	-0.00051	---
MgCl ₂	0.05508	-0.00045	0.00050
Na ₂ SO ₄	0.06672	-0.00721	0.00176
MgSO ₄	0.07341	-0.00278	0.00063

COMPONENTE	B' 1	B' 2	B' 3
NaCl	-0.04753	0.01598	-0.00194
KCl	-0.09677	0.03215	-0.00547
CaCl ₂	-0.01450	---	---
MgCl ₂	-0.00682	0.01614	-0.00212
Na ₂ SO ₄	-0.01547	0.01356	-0.00189
MgSO ₄	-0.01104	0.03467	-0.00740

PARA SOLUCIONES DE MULTICOMPONENTES, LAS CONSTANTES DE LA ECUACION (6.1), PUEDEN CALCULARSE A PARTIR DE LOS VALORES DE LAS CONSTANTES DE LOS COMPONENTES COMO LA MISMA TOTAL FUERZA IÓNICA POR:

$$A'_m = \bar{Z} ((A'_{oi} \cdot I_i) / (\bar{Z} I_i)) \quad (\text{ec. 6.5})$$

$$B'_m = \bar{Z} ((B'_{oi} \cdot I_i) / (\bar{Z} I_i)) \quad (\text{ec. 6.6})$$

SI LA SOLUCIÓN CONTIENE SULFATO DE MAGNESIO, LA FUERZA IÓNICA DEBE SER REDUCIDA, YA QUE EL SULFATO DE MAGNESIO ES SOLAMENTE PARCIALMENTE DISOCIADO. SE PUEDE OBTENER UNA BUENA APROXIMACIÓN SI SE CONSIDERA, QUE SÓLO 72.8% DEL SULFATO SE DISOCIA. BAJO ESTA CONDICIÓN, LAS ECUACIONES (6.5) Y (6.6) SE MODIFICAN A:

$$A'_m = \bar{Z} ((A'_{oi} \cdot I_i) / ((\bar{Z} I_i) - I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d))) - ((A'_{o\text{MgSO}_4} \cdot I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d)) / ((\bar{Z} I_i) - I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d))) \quad (\text{ec. 6.7})$$

$$B'_m = \bar{Z} ((B'_{oi} \cdot I_i) / ((\bar{Z} I_i) - I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d))) - ((B'_{o\text{MgSO}_4} \cdot I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d)) / U) \quad (\text{ec. 6.8})$$

$$U = (\bar{Z} I_i) - I_{\text{MgSO}_4} \cdot (1-d) \quad (\text{ec. 6.9})$$

DONDE $d = 0.728$. EN ÉSTE CÁLCULO, LA SUMATORIA SE HACE PRI-

-MERO PARA TODOS LOS COMPONENTES, INCLUYENDO EL SULFATO DE MAGNESIO, Y DESPUÉS SE HACE LA CORRECCIÓN RESTÁNDO EL SULFATO NO DISOCIADO.

LA PRECISIÓN DE LA CORRELACIÓN SE ESTIMA DE SER $\pm 0.4\%$.

TABLA 6.A
 VISCOSIDAD RELATIVA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD TEMPERATURA	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0
20.0	1.031	1.041	1.052	1.064	1.075	1.087	1.100	1.110	1.126
30.0	1.033	1.044	1.056	1.068	1.080	1.092	1.105	1.118	1.131
40.0	1.035	1.047	1.059	1.071	1.084	1.096	1.110	1.123	1.136
50.0	1.037	1.049	1.062	1.074	1.087	1.100	1.114	1.127	1.141
60.0	1.038	1.051	1.064	1.077	1.090	1.104	1.117	1.131	1.145
70.0	1.040	1.053	1.066	1.080	1.093	1.107	1.121	1.135	1.149
80.0	1.041	1.055	1.068	1.082	1.096	1.110	1.124	1.138	1.152
90.0	1.042	1.056	1.070	1.084	1.098	1.112	1.127	1.141	1.155
100.0	1.043	1.058	1.072	1.086	1.101	1.115	1.129	1.144	1.158
110.0	1.044	1.059	1.074	1.088	1.103	1.117	1.132	1.146	1.161
120.0	1.045	1.060	1.075	1.090	1.104	1.119	1.134	1.148	1.163
130.0	1.046	1.061	1.076	1.091	1.106	1.121	1.136	1.151	1.165
140.0	1.047	1.062	1.078	1.093	1.108	1.123	1.138	1.153	1.168
150.0	1.048	1.063	1.079	1.094	1.109	1.124	1.140	1.155	1.170

TABLA 6.A (CONT.)

VISCOSIDAD RELATIVA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD TEMPERATURA	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	100.0	105.0
20.0	1.139	1.153	1.168	1.183	1.198	1.214	1.230	1.247	1.265
30.0	1.145	1.159	1.174	1.189	1.204	1.220	1.236	1.253	1.271
40.0	1.150	1.165	1.179	1.194	1.210	1.225	1.242	2.259	1.276
50.0	1.155	1.169	1.184	1.199	1.214	1.230	1.247	2.264	2.281
60.0	1.159	1.174	1.188	1.203	1.219	1.235	1.251	2.268	2.285
70.0	1.163	1.178	1.192	1.208	1.223	1.239	1.255	2.272	2.289
80.0	1.167	1.181	1.196	1.211	1.227	1.242	1.259	2.275	2.293
90.0	1.170	1.185	1.199	1.215	1.230	1.246	1.262	2.279	2.296
100.0	1.173	1.188	1.202	1.218	1.233	1.249	1.265	2.282	2.299
110.0	1.175	1.190	1.205	1.221	1.236	1.252	1.268	2.284	2.301
120.0	1.178	1.193	1.208	1.223	1.239	1.254	1.270	2.287	2.304
130.0	1.180	1.195	1.210	1.226	1.241	1.257	1.273	2.289	2.306
140.0	1.182	1.197	1.213	1.228	1.243	1.259	1.275	2.292	2.309
150.0	1.185	1.200	1.215	1.230	1.245	1.261	1.277	2.294	2.311

TABLA 6.A (CONCLUSION)
 VISCOSIDAD RELATIVA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	105.0	110.0	115.0	120.0	125.0	130.0
TEMPERATURA						
20.0	1.283	1.302	1.322	1.343	1.364	1.386
30.0	1.289	1.308	1.328	1.348	1.369	1.391
40.0	1.294	1.313	1.333	1.353	1.374	1.396
50.0	1.299	1.318	1.337	1.357	1.379	1.401
60.0	1.303	1.322	1.341	1.361	1.382	1.405
70.0	1.307	1.326	1.345	1.365	1.386	1.408
80.0	1.310	1.329	1.348	1.368	1.389	1.411
90.0	1.314	1.332	1.351	1.371	1.392	1.414
100.0	1.316	1.335	1.354	1.374	1.395	1.417
110.0	1.319	1.337	1.357	1.377	1.398	1.420
120.0	1.322	1.340	1.359	1.379	1.400	1.422
130.0	1.324	1.342	1.361	1.381	1.402	1.424
140.0	1.326	1.344	1.363	1.383	1.404	1.426
150.0	1.328	1.346	1.365	1.385	1.406	1.428

vii) CAPACIDAD CALORÍFICA Y ENTALPIA.

LOS DATOS DE CAPACIDAD CALORÍFICA DEL AGUA DE MAR, SE PRESENTA EN LA TABLA 7.A , COMO FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (PPM) Y DE LA TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS); TAL Y COMO FUE DETERMINADA POR BROMLEY Y ASOCIADOS (1970). LOS DATOS DE CAPACIDAD CALORÍFICA SON DADOS EN CALORÍAS DEFINIDAS (4,1849 JOULES ABSOLUTOS) POR GRAMO POR GRADO CENTÍGRADO : cal/g.°C (Btu/lb.°F) .

SE CONSIDERA TENER UNA PRECISIÓN DE ± 0.001 cal/g.°C , CON UN ERROR MÁXIMO DE ± 0.003 .

LAS ENTALPÍAS DEL AGUA DE MAR COMO FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y TEMPERATURA, Y LAS ENTALPÍAS DEL AGUA, SE DAN EN LA TABLA 7.B . EL AGUA PURA Y LAS SALES EN INFINITA DILUCIÓN TIENEN UNA ENTALPÍA DE CERO A 0°C. LOS DATOS SE EXPRESAN EN cal/g ; PARA CONVERTIR EL DATO A Btu/lb MULTIPLICAR POR 1.8 .

CORRELACION DE DATOS.- SE UTILIZÓ LA TEORÍA DE DEBYE Y HÜCKEL PARA CORRELACIONAR LOS DATOS DE CAPACIDAD CALORÍFICA. LA CAPACIDAD CALORÍFICA DE UNA SOLUCIÓN A PRESIÓN CONSTANTE, SE CALCULA USANDO LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL AGUA Y EL APARENTE VALOR DE CAPACIDAD CALORÍFICA DE LAS SALES. ASÍ, LA CAPACIDAD CALORÍFICA DE LA SOLUCIÓN ES :

$$C_p = (1-x) \cdot C_{p_w}^0 + x \cdot (C_{p_s}) \quad (\text{ec. 7.1})$$

C_p = capacidad calorífica de la solución. (cal/g.°C)

$C_{p_w}^0$ = capacidad calorífica del agua pura. (cal/g.°C)

C_{p_s} = capacidad calorífica aparente de las sales. (cal/g_{sal}.°C)

x = fracción masa de la sal en la solución.

LA APARENTE CAPACIDAD CALORÍFICA DE LAS SALES, SE EXPRESA COMO FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA PARCIAL DE LA SAL A DILUCIÓN INFINITA, A UNA TEMPERATURA DADA, Y A UNA FUERZA IÓNICA DE LA SOLUCIÓN.

TABLA 7.A
CAPACIDAD CALORIFICA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	AGUA	10.0	20.0	30.0	34.416	40.0	50.0	60.0	70.0
TEMPERATURA									
20.0	0.9995	0.986	0.973	0.961	0.955	0.949	0.937	0.926	0.915
30.0	0.9987	0.986	0.974	0.962	0.957	0.950	0.939	0.928	0.918
40.0	0.9987	0.986	0.974	0.963	0.958	0.952	0.941	0.930	0.920
50.0	0.9992	0.987	0.975	0.964	0.959	0.953	0.942	0.931	0.921
60.0	1.0001	0.988	0.976	0.965	0.960	0.954	0.943	0.932	0.922
70.0	1.0013	0.989	0.977	0.966	0.961	0.955	0.944	0.934	0.923
80.0	1.0030	0.991	0.979	0.968	0.963	0.957	0.946	0.935	0.925
90.0	1.0051	0.993	0.981	0.969	0.965	0.958	0.947	0.937	0.926
100.0	1.0076	0.995	0.983	0.972	0.967	0.960	0.949	0.939	0.928
110.0	1.0107	0.998	0.986	0.974	0.969	0.963	0.952	0.941	0.930
120.0	1.0145	1.001	0.989	0.977	0.972	0.966	0.954	0.943	0.933
130.0	1.0189	1.005	0.993	0.981	0.975	0.969	0.957	0.946	0.935
140.0	1.0240	1.010	0.997	0.985	0.979	0.973	0.961	0.949	0.938
150.0	1.0300	1.016	1.002	0.989	0.984	0.977	0.965	0.953	0.941

TABLA 7.A (CONCLUSIÓN)
CAPACIDAD CALORIFICA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0
TEMPERATURA					
20.0	0.904	0.894	0.885	0.876	0.867
30.0	0.907	0.897	0.888	0.879	0.870
40.0	0.909	0.900	0.890	0.881	0.872
50.0	0.911	0.901	0.891	0.882	0.873
60.0	0.912	0.902	0.893	0.883	0.874
70.0	0.913	0.903	0.894	0.884	0.875
80.0	0.915	0.905	0.895	0.885	0.876
90.0	0.916	0.906	0.896	0.887	0.878
100.0	0.918	0.908	0.898	0.889	0.879
110.0	0.920	0.910	0.900	0.890	0.881
120.0	0.922	0.912	0.902	0.892	0.882
130.0	0.924	0.914	0.904	0.894	0.884
140.0	0.927	0.916	0.906	0.895	0.885
150.0	0.930	0.919	0.908	0.898	0.887

TABLA 7.B
ENTALPIA DEL AGUA DE MAR

SALINIDAD	AGUA	10.0	20.0	30.0	34.416	40.0	50.0	60.0	70.0
TEMPERATURA									
20.0	20.06	19.77	19.48	19.17	19.03	18.87	18.55	18.22	17.89
30.0	30.05	29.63	29.21	28.79	28.60	28.37	27.93	27.50	27.05
40.0	40.04	39.49	38.96	38.42	38.18	37.88	37.33	36.79	36.24
50.0	50.03	49.36	48.71	48.05	47.76	47.40	46.75	46.10	45.45
60.0	60.03	59.24	58.47	57.70	57.36	56.94	56.18	55.42	54.67
70.0	70.04	69.13	68.24	67.36	66.98	66.49	65.62	64.76	63.90
80.0	80.07	79.03	78.03	77.03	76.06	76.05	75.07	74.10	73.14
90.0	90.12	88.95	87.83	86.72	86.28	85.63	84.54	83.47	82.40
100.0	100.23	98.94	97.70	96.48	95.95	95.27	94.08	92.89	91.72
110.0	110.29	108.87	107.51	106.17	105.59	104.85	103.55	102.26	100.98
120.0	120.42	118.87	117.39	115.93	115.30	114.50	113.08	111.68	110.30
130.0	130.60	128.92	127.31	125.74	125.05	124.18	122.66	121.14	119.66
140.0	140.84	139.02	137.28	135.58	134.84	133.91	132.26	130.64	129.04
150.0	151.13	149.19	147.31	145.48	144.69	143.69	141.92	140.18	138.46

TABLA 7.B (CONCLUSIÓN)
 ENTALPIA DE AGUA DE MAR.

SALINIDAD	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0
TEMPERATURA					
20.0	17.54	17.19	16.83	16.46	16.08
30.0	26.61	26.15	25.69	25.24	24.77
40.0	35.69	35.14	34.58	34.03	33.48
50.0	44.80	44.15	43.50	42.85	42.21
60.0	53.91	53.16	52.42	51.68	50.94
70.0	63.04	62.19	61.35	60.52	59.69
80.0	72.19	71.24	70.30	69.37	68.45
90.0	81.35	80.30	79.26	78.24	77.23
100.0	90.57	89.42	88.28	87.16	86.06
110.0	99.72	98.47	97.24	96.02	94.82
120.0	108.93	107.58	106.25	104.94	103.64
130.0	118.18	116.73	115.29	113.88	112.49
140.0	127.46	125.89	124.35	122.84	121.35
150.0	136.77	135.10	133.45	131.83	130.24

viii) CONDUCTIVIDAD TERMICA.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL AGUA EN watt/cm.°C COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA:

TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD
20.0	605.0 E+05
30.0	617.0
40.0	629.0
50.0	639.0
60.0	647.0
70.0	655.0
80.0	662.0
90.0	667.0
100.0	671.0
110.0	674.0
120.0	676.0
130.0	677.0
140.0	678.0
150.0	675.0

PARA CONVERTIR ESTOS DATOS A :

cal/(cm.seg.°C) MULTIPLICA POR 0.23885

Btu/(ft. hr.°F) MULTIPLICA POR 57.78

LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL AGUA PUEDE SER CALCULADA -
SOBRE UN RANGO DE TEMPERATURA DE 20-150°C (KOROSI Y -
FABUS) POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$10^5.k = 577 + 1.522.t - 0.00581.t^2$$

(ec. 8.1)

LA ECUACIÓN 8.1 TIENE UNA PRECISIÓN DE $\pm 0.8\%$.

LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ES UNA DE LAS PROPIEDADES MÁS DIFÍCILES DE MEDIR. LOS DATOS DE AGUA DE MAR Y DE SOLUCIONES DE CLORURO DE SODIO SON MUY ESCASAS. NO SE TIENEN BASES EXPERIMENTALES QUE TENEGAN CORRELACIONES PARA OBTENER ESTA PROPIEDAD PARA EL AGUA DE MAR.

SÓLO SE DISPONE DE LOS SIGUIENTES DATOS REPORTADOS POR NUKI - YAMA Y YOSHIZAWA :

TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD
20.0	580.0 $\times 10^5$
30.0	586.0
40.0	590.0
50.0	592.0
60.0	590.0
70.0	586.0
80.0	582.0
90.0	575.0
100.0	570.0
110.0	560.0
120.0	550.0
130.0	540.0
140.0	532.0
150.0	510.0

LOS DATOS ANTERIORES CORRESPONDEN AL AGUA DE MAR Y ESTÁN DADOS EN $\text{watt/cm}^{\circ}\text{C}$.

ix) CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

EL AGUA PURA ES LIGERAMENTE CONDUCTORA, SU COMPORTAMIENTO SE RIGE POR LA LEY DE OHM.

LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA MAS PURA QUE SE HA OBTENIDO - ES DE $K = 4,2 \times 10^{-6}$ SIEMENS POR METRO, A 20°C (CORRESPONDIENTE A UNA RESISTIVIDAD DE 23,8 MEGOHM-CENTIMETRO).

LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA AUMENTA CUANDO SE DISUELVEN SALES EN EL AGUA, Y VARIA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.

TABLA 9.A

SALINIDAD (%)	RESISTIVIDAD (mmho/cm)
4.94	7.8
9.92	15.2
14.91	22.0
19.89	28.4
24.87	34.5
29.86	40.4
34.84	46.3
39.82	52.4
44.81	58.6
49.79	64.2
54.78	68.7
59.76	72.6

x) POTENCIALES DE CORROSION EN AGUA DE MAR .
 (2.4 a 4.0 m/seg) . Temp. 10° - 27°C.
 Voltios: Electrodo de referencia. Media Celda Calomel
 Saturado.

TABLA 10.A

ALEACION	POTENCIAL.
Manganeso	-1.6 a -1.65
Zinc	-1.0
Berilio	-0.98
Aleaciones de aluminio	-0.75 a -1.0
Cadmio	-0.70 a -0.75
Acero Blando FoFo.	-0.60 a -0.71
Acero de Alea ción Baja.	-0.6
FoFo. Níquel Austenítico.	-0.45 a -0.55
Bronce de - aluminio.	-0.31 a -0.42
Bronce Naval. Bronce Amarillo. Bronce Rojo.	-0.30 a -0.40
Estaño	-0.30 a -0.35
Cobre	-0.30 a -0.37
Soldadura Pb-Sn	-0.27 a -0.35
Bronce de Mn	-0.20 a -0.33
Bronce Silicio	-0.25 a -0.38
Bronce Estaño	-0.25 a -0.35
	(-0.45 a -0.55)*
Níquel Plateado	-0.24 a -0.28
Cupro-Níquel 90/10	-0.22 a -0.28
Cupro-Níquel 80/20	-0.21 a -0.27
Acero Inox. 430	-0.20 a -0.27
	(-0.45 a -0.55)*
Plomo	-0.19 a -0.25

TABLA 10.A
(CONT)

ALEACION	POTENCIAL
Cupro-Níquel 70/30	-0.18 a -0.24
Níquel-Bronce de - Aluminio.	-0.15 a -0.21
Níquel Cromado - aleación 600	-0.14 a -0.18 (-0.35 a -0.50)*
Aleaciones Bronce Plata.	-0.10 a -0.20
Níquel 200	-0.10 a -0.20
Plata	-0.10 a -0.15
Acero Inoxidable 302, 304, 321, 347	-0.05 a -0.10 (-0.45 a -0.55)*
Cupro Níquel alea- ciones 400, K-500	-0.02 a -0.13
Aceros Inoxidables 316, 317	0.00 a -0.10 (-0.35 a -0.55)*
Titanio	0.05 a -0.05
Ni-Cr-Mo	+0.1 a -0.50
Platino	+0.25 a +0.18
Grafito	+0.30 a +0.20

NOTAS.

- LAS ALEACIONES ESTAN ORDENADAS SEGUN EL POTENCIAL QUE EXHIBEN EN EL AGUA DE MAR.
- * INDICA ALEACIONES, QUE EN CONDICIONES TALES COMO AGUA A BAJA VELOCIDAD O MAL AEREADEA, O ZONAS ESTANCADAS, PUEDEN ACTIVARSE Y EXHIBIR UN POTENCIAL DE CERCA DE -0.5 VOLTIOS.

xi) CONTENIDO DE AIRE EN AGUA DE MAR COMO FUNCION
DE LA TEMPERATURA Y PRESION.

(PPM)

TEMPERATURA (°F)	32	40	50	60	70
PRESION ABS. AGUA (IN HG)					
2	2.5	2.0	1.9	1.0	0.9
4	4.5	4.0	3.9	2.5	2.1
6	6.7	6.0	5.9	5.0	4.0
8	10.0	8.2	8.0	6.0	5.8
10	12.5	11.0	8.9	8.0	7.8
12	14.5	13.0	11.9	10.0	8.2
14	16.8	15.7	13.9	12.0	10.0
16	20.0	18.0	15.9	11.9	11.8
18	22.5	20.0	17.9	15.0	14.0
20	25.3	22.2	19.9	17.0	15.0
22	28.0	25.0	21.9	19.0	17.0
24	30.0	27.0	24.0	20.5	19.0
26	33.0	29.0	25.9	23.0	21.0
28	35.6	31.5	27.9	24.5	22.0
30	38.0	34.0	30.0	26.0	23.9
32	40.0	36.0	31.9	28.0	25.0
34	42.0	38.0	33.9	30.0	27.0

CONTENIDO DE AIRE EN AGUA DE MAR
 COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA Y
 DE LA PRESION (conclusión)

(PPM)

TEMPERATURA (°F)	80	90	100	110	120
PRESION ABS. AGUA (IN Hg)					
2	0.5	0.2	0.1	0.09	0.08
4	2.0	1.6	1.5	1.00	0.50
6	3.8	3.0	2.5	2.00	1.50
8	5.0	4.0	3.9	3.0	2.50
10	7.0	6.0	5.0	4.5	4.00
12	8.0	7.0	6.0	5.7	5.00
14	8.9	8.2	8.0	6.5	6.00
16	11.0	10.0	9.0	8.0	7.00
18	13.0	11.0	10.0	9.0	8.00
20	14.0	13.0	11.0	10.0	9.70
22	16.0	14.0	13.0	12.0	10.50
24	18.0	16.0	14.0	13.0	12.00
26	19.0	17.0	15.0	14.0	13.00
28	21.5	18.0	17.0	15.0	14.00
30	21.0	20.0	18.0	16.0	15.00
32	23.0	21.0	19.0	17.0	16.00
34	24.0	22.0	20.0	18.0	17.90

ANEXO II

ANEXO II

FORMULAS DE LAS PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AGUA PURA

EN ESTE TRABAJO, SE PRESENTA EL USO DE FORMULAS QUE PREDICEN LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA EN EL PROGRAMA CORRESPONDIENTE AL CAPITULO III. ESTAS FÓRMULAS FUERON EDITADAS POR EL COMITE INTERNACIONAL DE FORMULAS (IFC) , EN EL AÑO DE 1967.

EN MARZO DE 1966 SE EDITÓ POR PRIMERA VEZ LAS FÓRMULAS DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA PURA PARA QUE SE EMPLEARAN EN LAS COMPUTADORAS; SE LLAMO IFC 1966. POSTERIORMENTE, SE EDITÓ EN FEBRERO DE 1967 LA SEGUNDA FÓRMULA QUE SE BASABA EN LA EC. IFC 1966, LA CUAL FUE LIGERAMENTE CORREGIDA.

LAS FÓRMULAS DESCRIBEN LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA A LO LARGO DE PRESIONES DESDE LA DEL GAS IDEAL (PRESIÓN - CERO) HASTA UNA PRESIÓN DE 10^8 N/m² (1000 BAR), Y ABARCA EN TEMPERATURAS DESDE 273.16°K (0.01°C) HASTA 1,073.15 °K (800°C) . LA UNIDADES EMPLEADAS CORRESPONDEN A LAS DEL SISTEMA INTERNACIONAL.

LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS UTILIZADAS EN ESTAS FÓRMULAS SON:

- Presión Reducida.
- Temperatura Reducida.
- Volúmen Reducido.
- Entalpia Reducida.
- Entropia Reducida.
- Entalpia libre reducida - Función Gibbs)
- Energía libre reducida - Función Helmholtz)
- Constante Universal de los gases reducida.
- Presión de saturación reducida.
- Temperatura de saturación reducida.
- Temperatura del punto Triple reducida.
- Presión del punto Triple reducida.

LA FINALIDAD DE ESTE TRABAJO NO ES EL DE PRESENTAR EL DESARROLLO DE CADA UNA DE LAS FÓRMULAS EMPLEADAS CON SUS CONSTANTES CORRESPONDIENTES. SI SE DESEA UNA MAYOR INFORMACIÓN SOBRE ESTAS FÓRMULAS SE RECOMIENDA EL CONSULTAR LA OBRA CORRESPONDIENTE A LA REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA (No. 20).

ANEXO III

ANEXO III

FACTORES QUE DETERMINAN EL USO INDUSTRIAL
DEL AGUA.

LO QUE DETERMINA SI EL AGUA ES APROPIADA PARA APLICACIONES - INDUSTRIALES ESPECÍFICAS ES LA CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS, Y DE LA DUREZA.

DE ACUERDO CON EL MÉTODO ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) D-1129 : " DEFINICIONES DE TÉRMINOS RELACIONADOS CON EL AGUA INDUSTRIAL Y EL AGUA INDUSTRIAL DE DESECHO", LA DUREZA DEL AGUA ES UNA CARACTERÍSTICA QUE SE EXPRESA COMO LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE CALCIO Y MAGNESIO.

LA DUREZA SE PUEDE DIVIDIR EN DOS TIPOS: LA DE CARBONATOS Y - LA DE NO CARBONATOS. LA PRIMERA, ES AQUELLA PARTE DE LA DUREZA DEL AGUA QUE SE DEBE A LA PRESENCIA DE CARBONATOS Y DE BICARBONATOS; EL RESTO CONSTITUYE LA DUREZA DE LOS NO CARBONATOS. ESTA ÚLTIMA, PUEDE DAR COMO RESULTADO LA FORMACIÓN DE ESCAMAS DURAS EN LAS CALDERAS Y OTRAS PARTES DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR. ESTE TIPO DE DUREZA ES MÁS COSTOSA Y MÁS DIFÍCIL DE ELIMINAR.

EL AGUA SE CLASIFICA SEGÚN EL RANGO DE DUREZA EN :

RANGO DE DUREZA (mg/l)	DESCRIPCION
1-60	Suave
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
superior a 180	Muy dura

OTROS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL AGUA SON :

- 1) CONCENTRACIÓN DE SÍLICE 1 a más de 75 mg/l
promedio: 5-15 mg/l
- 2) CONTENIDO DE: HIERRO, -
MANGANESO Y ALUMINIO 1.01 - 0.5 mg/l
- 3) SODIO 5 mg/l en agua dulce

LA ALCALINIDAD DEL AGUA SE DEBE A LA PRESENCIA DE CARBONATOS DE CALCIO (CaCO_3) . SE RELACIONA CON LA CAPACIDAD AMORTIGUADORA DEL AGUA, ES DECIR, LA CAPACIDAD QUE TIENE EL AGUA PARA REDUCIR ÁCIDOS.

EL CLORURO SE ENCUENTRA EN TODAS LAS AGUAS NATURALES EN CONCENTRACIONES VARIADAS. UNA CONCENTRACIÓN DE 50 MILIGRAMOS POR LITRO NO TIENE EFECTOS PERJUDICIALES EN LA MAYORÍA DE LAS APLICACIONES INDUSTRIALES.

USOS BASICOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA.- SE PUEDE CLASIFICAR EN TRES ÁREAS EL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA:

- 1° TRANSFERENCIA DE CALOR: En procesos para calentar o enfriar. El método más común para suministrar calor a las diversas áreas de un complejo industrial es la generación de vapor
- 2° GENERACIÓN DE ENERGÍA : En Plantas Termoeléctricas .
- 3° APLICACIÓN A PROCESOS : En la mayoría de los procesos - el agua está presente ya sea para transporte, lavado o materia prima.

ANEXO IV

ANEXO IV

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS

- AIRE EQUIVALENTE.**- Es el flujo en lb/hr de aire a 70°F que es equivalente al flujo de gases manejados por el eyector a las condiciones reales de la succión.
- ALCALINIDAD TOTAL.**- Es la suma de las concentraciones de carbonato , bicarbonato e hidróxidos, todos expresados como partes por millón (mg/l), al equivalente de carbonato de calcio.
- BOMBA** .- Dispositivo empleado para transferencia de flujos de un lugar a otro a través de tuberías. Esta transferencia se lleva a cabo por la adición de energía; la cual , se transforma en energía de presión, posición o velocidad.
- CONCENTRACION** .- Es el proceso por el cual, se incrementan los sólidos disueltos por unidad de volumen en una solución; por lo general mediante la evaporación del líquido. También se dice de la cantidad de material disuelto por unidad de volumen en una solución.
- CONDENSADO** .- Líquido (agua), que se obtiene por evaporación y condensación subsecuente.
- CLORONIDAD** .- Se define por la cantidad total de cloro (g), contenido en un kg de agua de mar, después de que todo el bromuro y el yoduro han sido reemplazados por cloruro. Es la masa en gramos de plata requerida para precipitar los halógenos en 328.5233 gramos de agua de mar.
- DESALACION** .- También llamado desalinización o desalinación ; - es la separación de las impurezas disueltas en el agua.
- EDUCTOR** .- Es un eyector, en el cual el fluido motriz es un líquido. El más común es el que utiliza agua como medio de arrastre de cualquier otro material.
- ESTABILIDAD** .- Es la característica de operación de un eyector - que produce una presión de succión sin fluctuaciones significativas.

- EXAUSTOR** .- Es un eyector en el cual, el fluido de la succión es un gas. El fluido motriz puede ser un líquido o un gas.
- EYECTOR** .- En términos generales, cubre todos los tipos de equipos de chorro, los cuales descargan a una presión intermedia a la presión motriz y de succión.
- FACTOR DE CONCENTRACION.**- Es la relación de concentración de sales de agua con respecto a la concentración en agua de mar normal. Se acepta como agua normal, a aquella agua de mar cuyo contenido de clorinidad sea de 19.0, una salinidad de 3.4325% y una cantidad total de sólidos disueltos (salinidad) de 3.4483% (aproximadamente 35000 ppm).
- INYECTOR** .- Es un tipo especial de equipos de chorro, con un gas condensable como fluido motriz, el cual arrastra un líquido y descarga contra una presión más alta que la presión motriz o la presión de succión.
- NO CONDENSABLE** .- Materia gaseosa que no puede licuarse bajo las condiciones existentes.
- PRESION DE DESCARGA** .- Es la presión de salida de la última etapa de un sistema de eyectores.
- PRESION DEL FLUIDO MOTRIZ** .- Es la presión que se tiene en la caja de admisión, producida por el fluido motriz.
- PRESION DE RECUPERACION.**- Es la presión a la descarga del eyector a la cual, éste recupera su condición de operación estable.
- PRESION DE RUPTURA** .- Es la presión a la descarga del eyector que causa una operación inestable en el mismo; es provocado por el fluido motriz.
- PRESION DE SUCCION.**- Es la presión a la entrada de la primera etapa de un sistema de eyectores.
- PRESION DE VAPOR** .- Es la presión que ejerce un vapor en equilibrio con un líquido puro del cual proviene, a una temperatura dada.
- PUNTO DE EBULLICION.**- De un líquido, es la temperatura a la cual la presión de su vapor es igual a la presión exterior.
- RELACION DE RENDIMIENTO.**- Se define como la cantidad de lb de destilado producido, por lb de vapor usado en el calentador de salmuera; es decir, lb de destilado -

producido por 1000 BTU de vapor consumido.

**RANGO DE VAPORIZACION
INSTANTANEA**

.-Es el rango de temperatura sobre la cual la planta opera. Para cualquier proyecto termodinámico, en el cual se utilice el principio de temperaturas máximas y mínimas, el rango máximo posible de temperaturas sobre el cual el proyecto puede operar es $T_{max} - T_{min}$.

TEMPERATURA DE SATURACION

.-Es la temperatura a la cual una fase puede existir en equilibrio con una o más fases distintas.

**VALVULA DE ENTRADA -
DE AIRE**

.-Es una válvula usada para permitir la entrada de aire dentro de un sistema de vacío. También se le llama válvula rompedora de vacío ó válvula de relevo de vacío.

E. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1) AMETEK.

EJECTORS AND THEIR APPLICATIONS.
SCHUTTE & KOERTING DIVISION.

2) A.S.T.M.

(AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)
"MANUAL PARA AGUAS DE USOS INDUSTRIALES"
1982, EDITORIAL LIMUSA S.A.
MÉXICO D.F.
TERCERA EDICIÓN. 457 P.

3) COMISION PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SALINAS.

S.R.H.

"DESALACIÓN"
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.
ISRAEL- MÉXICO.
1973. 316 P.

4) CRANE

"FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS AND PIPE"
CRANE Co.

5) CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS.

SYMPOSIUM SERIES.

"SCALE CONTROL IN SALINE WATER EVAPORATORS"
JOSEPH W. Mc, CUTCHAN & EVERETT N. SIEDER.
VOL. 64 # 90. 1968. 255 - 260 P.

6) DEGREMONT.

"MANUAL TECNICO DEL AGUA"
1950, 1979. ARTES GRÁFICAS GRIJELMO S.A.
ESPAÑA.
CUARTA EDICIÓN ESPAÑOLA, QUINTA EDICIÓN
INGLESA. 1216 P.

- 7) FONTANA, MARS G. & GREENE, NORBERT D.

"CORROSION ENGINEERING"

1967,1978, Mc. GRAW-HILL INC.

NEW YORK.

SECOND EDITION, 465 P.

- 8) GIBBS, CHARLES W.

"COMPRESSED AIR AND GAS DATA"

1971,INGERSOLL - RAND COMPANY

WOODCLIFF LAKE, NEW JERSEY.

SECOND EDITION. THIRD PRINTING.

- 9) INSTRUMENTS SYMBOLS AND IDENTIFICATION.

NORMA I.S.A. No. S5.1 Y S 5.3

- 10) KERN, DONALD Q.

"PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR"

1965,1982.EDITORIAL C.E.C.S.A.

EDICIÓN AUTORIZADA POR Mc.GRAW-HILL INC.

NEW YORK.

DECIMASEXTA IMPRESIÓN, 980 P.

- 11) LEEDS & NORTHRUP INSTRUMENTS.

LIQUID ANALYSIS INSTRUMENTATION.

- 12) LUDWIG, ERNEST E.

"APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND
PETROCHEMICAL PLANTS".

1964, GULF PUBLISHING COMPANY.

HOUSTON, TEXAS. 248 P.

- 13) Mc. ADAMS, WILLIAM H.

"TRANSMISION DE CALOR"

1978. Mc. GRAW-HILL DE MÉXICO S.A. DE C.V.
MÉXICO D.F.
TERCERA EDICIÓN. 557 P.

- 14) NORDEL, ESKEL.

" TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA
Y OTROS USOS".

1981, EDITORIAL C.E.C.S.A.
SÉPTIMA EDICIÓN.

- 15) PERRY, ROBERT H. & CHILTON, CECIL H.

" MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO"

1986. Mc. GRAW-HILL DE MÉXICO S.A.
MÉXICO D.F.
QUINTA EDICIÓN EN INGLÉS, SEGUNDA
EN ESPAÑOL.

- 16) PORTEUS, ANDREW.

" SALINE WATER DISTILLATION PROCESSES"

1975, LONGMAN GROUP LIMITED.
LONDON,
FIRST EDITION. 150 P.

- 17) SPIEGLER, S.K. & LAIRD K.A.

" PRINCIPLES OF DESALINATION"

PART A & B.
1980, ACADEMIC PRESS.
LONDON.
SECOND EDITION, 566 P.

18) SUREX.

MANÓMETROS SUPRA.

19) SUREX ASHCROFT.

TERMÓMETROS BIMETÁLICOS.

20) THE ELECTRICAL RESEARCH ASSOCIATION.

"TABLAS DE VAPOR"

1970, REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE
INGENIERÍA S.A.

1967, PRIMERA EDICIÓN EN LA GRAN BRETAÑA
Y EN ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA.

1970, PRIMERA PUBLICACIÓN EN ESPAÑOL.
MÉXICO, D. F. 146 P.