



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**“Diseño, Construcción y Montaje de una
Planta de Refinación de Sal por el Método
de Cristalización Fraccionada”**

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

ROBERTO VILLAQUIRÁN B.

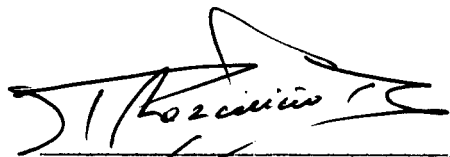


1987

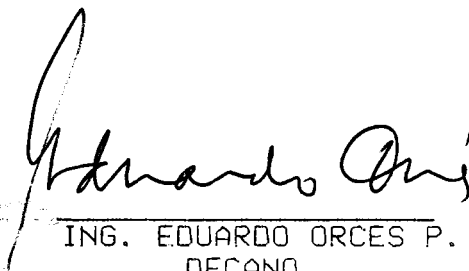
Guayaquil - Ecuador

AGRADECIMIENTO

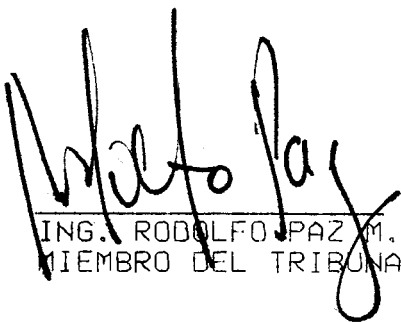
Al Ing. Marco Pazmiño E.
Director de Tesis, por
su ayuda y colaboración
para la realización de
este trabajo.



ING. MARCO PAZMINO B.
DIRECTOR DE TESIS



ING. EDUARDO ORCES P.
DECANO



ING. RODOLFO PAZ M.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JORGE DUQUE
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

A MIS HERMANOS

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



ROBERTO VILLAGUIRAN BANDERAS

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio del ^{le} ~~diseño~~, construcción y montaje de una planta Refinadora de sal por el método de **CRISTALIZACION FRACCIONADA**, el que consiste en ir refinando la sal de acuerdo al grado de concentración ya que debido a este se van decantando y eliminando impurezas por métodos industriales. Por este método se obtienen sales con un grado de refinación del 99% de cloruro de sodio (ClNa) puro.

* Se realiza un análisis del cálculo del área de transferencia y cantidad de vapor consumidos en el primer intercambiador de calor del triple efecto el cual está dado por la capacidad de producción en un momento determinado, teniendo una producción máxima de 50 ton. en 24 horas, también se calculan las bombas más importantes de esta Planta, así como el filtro, secadores, sinfines, elevadores y otros equipos que intervienen en el proceso.*
Para finalizar se realiza un análisis de las construcciones y montajes tanto económicamente como los métodos y técnicas utilizadas,* así como también las pruebas realizadas y la puesta en marcha de esta Planta.*

INDICE GENERAL

RESUMEN	
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCION	
1. DESCRIPCION DEL TRABAJO	
1.1. Análisis de una Planta de sal por el método de Cristalización Fraccionada	
1.2. Maquinarias y sistemas que conforman esta Planta	
1.3. Función de cada una de estas máquinas y sistemas	
1.3.1. Generador de vapor y línea de vapor vivo	
1.3.2. Triple efecto	
1.3.3. Filtro secador	
1.3.4. Sistema de enfriamiento de condensado	
1.3.5. Sistema de disolución y decantación	
1.3.6. Sistema de llenado y vaciado de los Evaporadores	
1.3.7. Sistema de condensado retornable a la caldera	
1.3.8. Sistema de condensado de tercer efecto	
1.3.9. Sistema de agua potable	
1.3.10. Sistema de aire	
1.3.11. Sistema de filtrados	

- 1.3.12. Sistema de transporte y entolvado de sal
- 1.3.13. Sistema de Yodatación
- 1.3.14. Sistema de Embolsado
- 2. TRIPLE EFECTO
- 2.1. Cálculo del triple efecto
- 2.2. Selección de la caldera
- 2.3. Selección de sistemas complementarios
- 2.3.1. Condensador barométrico con eyectores y bombas de recirculación
- 2.3.2. Cálculo de rotámetros
- 2.3.3. Sistema de llenado y vaciado
- 3. SELECCION DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO, FILTRADO, TRANSPORTE, YODATACION Y EMBOLSADO DE SAL
- 3.1. Selección de bombas y tuberías
- 3.1.1. Sistema de disolución y decantación
- 3.1.2. Sistema de agua potable
- 3.1.3. Sistema de filtrados
- 3.1.4. Sistema de alimentación a evaporadores .
- 3.2. Sistema de filtrado y secado
- 3.3. Selección de sinfines transportadores y mezcladores
- 3.3.1. Selección de SC # 1, SC # 2, SC # 3
- 3.3.2. Selección del SC # 4
- 3.4. Selección de elevadores
- 3.5. Sistema de yodatación

3.6.	Instrumentación	
3.7.	Selección de máquinas de embolsado	
4.	CONSTRUCCIONES Y MONTAJES	
4.1.	Análisis económico de las construcciones y montajes	
4.1.1.	Diagramas de Gantt y personal necesario	
4.2.	Análisis y métodos usados para las construcciones	
4.3.	Análisis y métodos usados para el montaje	
4.4.	Análisis de cada uno de los equipos construidos	
4.4.1.	Limpieza de evaporadores, tuberías y accesorios	
4.4.2.	Limpieza y cambio de tubos en los intercambiadores de calor	
4.4.3.	Reparación de tolvas y tanques	
4.4.4.	Limpieza y reparación de bombas	
4.4.5.	Limpieza y reparación de filtros y complementarios	
4.4.6.	Limpieza y reparación de los sinfines y elevadores	
4.4.7.	Armado y reforzado de tanque de 50000 galones y procedimiento para armar todos los demás tanques	
4.4.8.	Condensador barométrico	

- 4.4.9. Estructura del triple efecto y condensador barométrico
- 4.4.10. Tolvas de máquinas de embolsado
- 4.5. Análisis de cada uno de los equipos montados .
 - 4.5.1. Caldera y sistemas complementarios
 - 4.5.2. Montaje del triple efecto
 - 4.5.3. Montaje de tolvas
 - 4.5.4. Montaje del filtro, bomba de vacío y accesorios
 - 4.5.5. Condensador barométrico con eyectores .
 - 4.5.6. Montaje de los sinfines
 - 4.5.7. Montaje de bombas
 - 4.5.8. Montaje de elevadores
 - 4.5.9. Montaje de máquinas embolsadoras
- 4.6. Análisis de los sistemas de tuberías
- 4.6.1. Tubería soldada
- 4.6.2. Tubería roscada
- 5. PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA
- 5.1. Pruebas neumáticas y de vacío
- 5.1.1. Pruebas neumáticas
- 5.1.2. Pruebas de vacío
- 5.2. Puesta en marcha de cada uno de los equipos ..
 - 5.2.1. Caldera y accesorios
 - 5.2.2. Triple efecto
 - 5.2.3. Prueba de motores
 - 5.2.4. Filtro, bomba de vacío y

complementarios	
5.2.5. Sistema de transporte y embolsado de sal	
5.3. Puesta en marcha, carga y producción de sal ..	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
APENDICE	
BIBLIOGRAFIA	

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.- Gráfico de precipitación vs concentración.
- Figura 2 .- Triple efecto.
- Figura 3 .- Arreglo general.
- Figura 4 .- Filtro secador.
- Figura 5 .- Sistema de enfriamiento de condensado.
- Figura 6 .- Sistema de disolución y decantación.
- Figura 7 .- Sistema de llenado y vaciado.
- Figura 8 .- Sistema de agua potable.
- Figura 9 .- Sistema de filtrados.
- Figura 10.- Sistema de sal a granel.
- Figura 11.- Diagrama de Dhüring.
- Figura 12.- Condensador barométrico.
- Figura 13.- Gráfico entalpia-concentración.
- Figura 14.- Gráfico de barras mostrando los niveles de temperatura.
- Figura 15.- Curva característica de bombas.
- Figura 16.- Diagrama de Moody.
- Figura 17.- Coeficiente de resistencia.
- Figura 18.- Viscosidad del agua.
- Figura 19.- Alimentación a evaporadores.
- Figura 20.- Hp de sinfines.
- Figura 21.- Partes de un sinfín.
- Figura 22.- Medida de Elevadores.
- Figura 23.- Gráfico para Hp-Bomba de vacío.

- Figura 24.- Sistema de Yodatación.
- Figura 25.- Cronógrama de reparaciones.
- Figura 26.- Cronógrama de construcciones.
- Figura 27.- Cronógrama de montaje.
- Figura 28.- Reparación de bomba de vacío (foto).
- Figura 29.- Elemento de armado de tanques.
- Figura 30.- Construcción estructura triple efecto (foto).
- Figura 31.- Sección transporte y entolvado de sal (foto).
- Figura 32.- Caldera York-Shipley 450Hp (foto).
- Figura 33.- Evaporadores (foto).
- Figura 34.- Piernas elutriadoras (foto).
- Figura 35.- Construcciones y limpieza (foto).
- Figura 36.- Sección de embolsado (foto).
- Figura 37.- Vista general en planta (plano).

INTRODUCCION

En este trabajo nosotros nos hemos propuesto varios fines como son:

- 1.- Calcular el área de transferencia y consumo de vapor en el triple efecto.
- 2.- Calcular tuberías, bombas, filtro y secador, sinfines, elevadores y máquinas de empaquetado.
- 3.- Análisis económico de las construcciones y montaje.

Las Plantas de refinación de sal son de diversos tipos, pero la más utilizada industrialmente es la de cristalización fraccionada, inclusive estas Plantas pueden ser tan grandes que tienen 2, 3 ó 4 efectos en serie y con evaporadores tan grandes como son de 10 pies de diámetro, dependiendo este de la capacidad de producción deseada, también las instalaciones físicas llegan a ser muy grandes y algunas están montadas junto a los patios solares.

Los procesos de transferencia de calor son muy utilizados aquí, así como el teorema de Bernoulli para calcular los cabezales de las bombas y también catálogos suministrados por los fabricantes de los equipos como es el caso de los sinfines y elevadores.

En los últimos dos capítulos se utilizan la experiencia y práctica del suscrito que ha realizado varios montajes en la República del Ecuador, realizando el que aquí se presenta, en la República de Honduras (América Central).

CAPITULO 1

DESCRIPCION DEL TRABAJO

1.1.-ANALISIS DE UNA PLANTA DE SAL POR EL METODO DE CRISTALIZACION FRACCIONADA.

La sal que es cloruro de sodio (NaCl), puede contener de no ser debidamente procesada y purificada, materias extrañas que afectan su calidad.

La mejor actitud del productor es buscar el cloruro de sodio puro (NaCl), lo que no sucede con prácticas rudimentarias o simple cristalización en planchas y piscinas; por lo que las personas que se dedican a esta actividad deben conocer una serie de métodos científicos.

- Es a través del proceso industrial que se puede llegar a eliminar gran porcentaje de las sales impuras contenidas dentro del agua de mar y el método mas eficaz es el de "CRISTALIZACION FRACCIONADA", por medio del cual se van dejando en el proceso las impurezas como son: oxido de hierro (Fe_2O_3), sulfato de calcio (CaSO_4), carbonato de calcio (CaCO_3), magnesio (Mg), yoduro de potasio (KI), y otras, productos de arrastre del propio mar y de los pisos en los patios solares, antes que precipite el

CRISTALIZACION FRACCIONADA

cloruro de sodio que es el que necesitamos.

Dentro de estas sales impuras hay dos que ocupan un lugar preponderante porque afectan en gran medida el producto final en las siguientes formas:

1.- El cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y el cloruro de calcio ($CaCl_2$) los cuales crean una distorsión en la salinidad que nos debe dar el cloruro de sodio.

2.- El cloruro de magnesio también causa Higroscopía lo que hace que por más que se seque la sal, así sea por los métodos más modernos siempre recupera la humedad presente en el ambiente, lo que hace que se formen terrones en el producto.

Después de este breve análisis de lo que es la cristalización fraccionada realizamos un análisis de las secciones que forman esta planta:

- 1.- Disolución y Decantación de sal,
- 2.- Generación de vapor,
- 3.- Triple efecto,
- 4.- Secado, empaquetado y embodegado de sal.

El proceso en este tipo de plantas comienza con la disolución y decantación de la sal producida en los patios solares, hasta que tenga una concentración de 26 grados baumé (=1.1972) lo cual corresponde al punto de saturación de la salmuera. Introducir salmueras con grados menores a 26°Be equivale a consumir más vapor para la evaporación, lo cual no

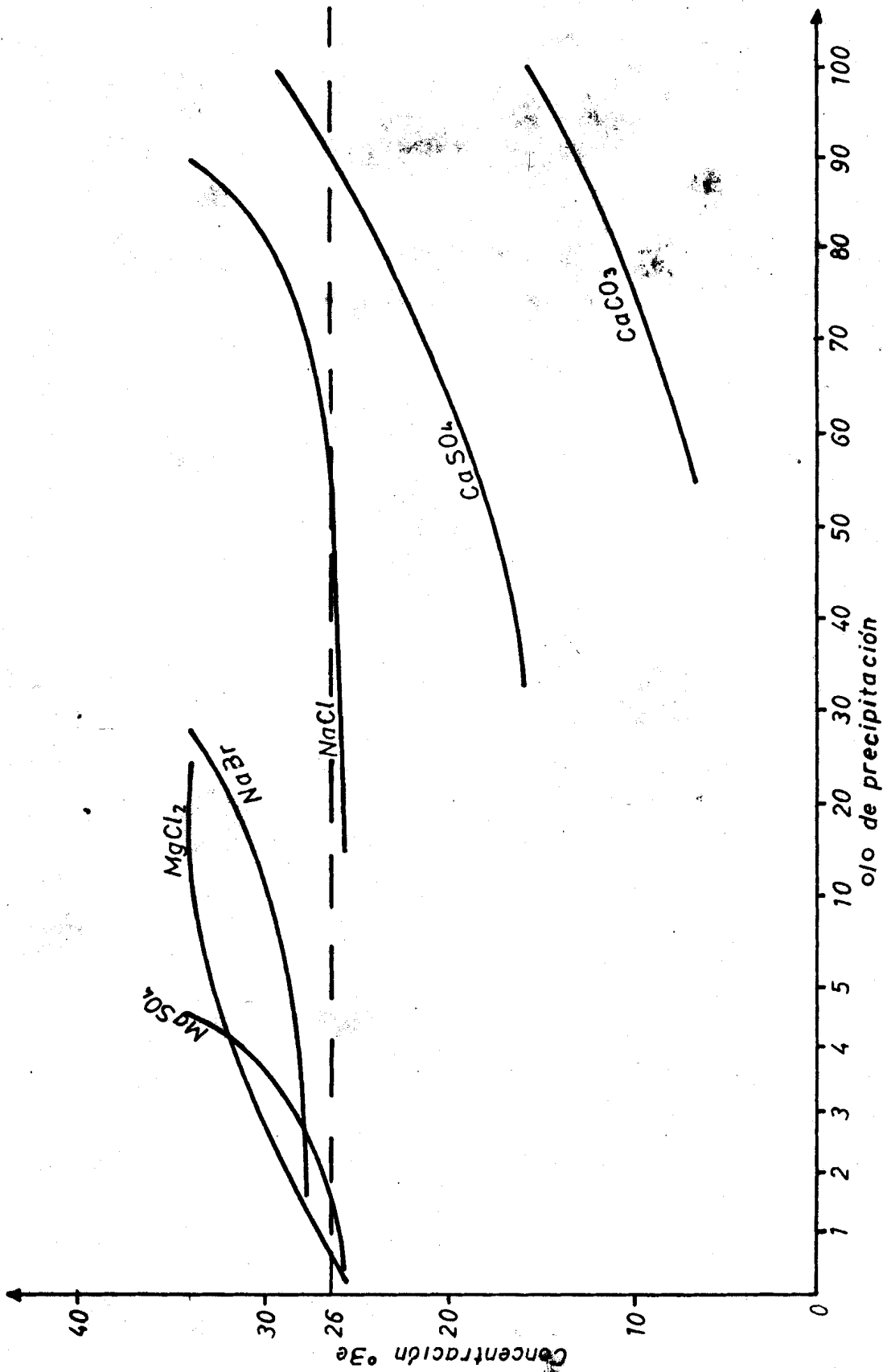
es rentable. En la disolución a 26° Be se eliminan unas sales totalmente y de otras se elimina una gran parte (ver figura # 1) quedando las restantes sales por eliminar.]

Con la decantación se eliminan productos arrastrados por el mar y en los pisos de los patios solares.

Las salmueras disueltas en las pilas de disolución son bombeadas a un tanque de salmuera que es el de materia prima, luego se las bombea a la alimentación del triple efecto. En este triple efecto lo que se aprovecha es el vapor generado por el efecto anterior para hacer el calentamiento de la salmuera, y ya que existe un vacío en los últimos dos efectos, la evaporación se produce a temperaturas más bajas, debido a lo cual el punto de ebullición baja también, pero no hasta el del agua pura por el efecto de tonometría.

Como podemos observar en el triple efecto solo se calienta con vapor vivo procedente de la caldera el primer efecto, lo que hace que las condiciones de evaporación sean las normales para una salmuera, y es ahí donde la mayor cantidad de sal se produce.

En el triple efecto se hacen purgas continuas para eliminar sales como el sulfato de calcio y el cloruro de magnesio, los cuales se eliminan en gran parte en el tanque de lavado del filtro, o por lo



Fig#1 Precipitación = VS = concentración

menos quedarán en proporciones muy bajas. Estas sales dentro del triple efecto son muy dañinas debido a que forman incrustaciones en los tubos de los intercambiadores de calor y paredes de evaporadores. Un esquema del triple efecto se puede observar en la figura # 2.

Debido a que en el evaporador existe una evaporación y una cristalización sacamos salmueras con concentraciones de 50° Be o más, lo que hace que el grano de sal este en su tamaño óptimo para ser secado y embolsado, dependiendo este tamaño del tiempo que permanezca la sal en el evaporador y de la cantidad de alimentación que estemos bombeando. La salmuera con esta concentración es bombeada a un tanque de lavado el cual se encarga de eliminar casi todos los sulfatos presentes, así como también alguna impureza que se arrastre desde el evaporador, además este tanque se encarga también de dejar la sal completamente blanca, y sirve como alimentación a un filtro secador, para ahí terminar el proceso de cristalización fraccionada, para luego solo hacer el transporte de la sal por medio de tornillos sinfines y elevadores, hasta que se llega a la zona donde se entolva la sal, dejandola enfriar para introducirla en bolsas de polietileno, y embodegarla como producto terminado.

1.2.-MAQUINARIAS Y SISTEMAS QUE CONFORMAN ESTA PLANTA.

Esta planta para su operación normal esta formada de las siguientes maquinarias y sistemas:

Ver figura # 3.

1.- GENERADOR DE VAPOR Y SISTEMA DE TUBERIA DE VAPOR VIVO.

El cual comprende una caldera con sus sistemas de condensados, tratamientos químicos de las aguas de Make-up sus sistemas de tuberías para alimentar vapor vivo, tanque de combustible, bombas de alimentación de agua y combustible.

2.- TRIPLE EFECTO.

3.- FILTRO SECADOR.

El cual utiliza una bomba de vacío, un tanque de vacío, un tanque de salmuera para garantizar el sello en el sistema, la bomba de vacío tiene un motor de 3600 RPM y 50HP .

4.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE CONDENSADO.

El mismo que está compuesto por una pila de enfriamiento, un condensador barométrico, bombas, intercondensadores y un juego de eyectores.

5.- SISTEMA DE DISOLUCION Y DECANTACION.

El cual comprende una pila de decantación, un tanque y las bombas centrifugas.

6.- SISTEMA DE LLENADO Y VACIADO DE EVAPORADORES.

El cual se hace con un solo juego de bombas y

comprende también un tanque de salmuera.

7.- SISTEMA DE CONDENSADOS RETORNABLES A LA CALDERA.

El cual esta formado por trampas y filtros.

8.- SISTEMA DE CONDENSADOS DEL TERCER EFECTO.

El cual una parte puede ser retornable a la caldera y esta formado por dos bombas y dos tanques asi como también por un tanque de cabeza.

9.- SISTEMA DE AGUA POTABLE.

Está comprendido por un tanque y bombas.

10.- SISTEMAS DE AIRE.

Que comprende el de aire general de la planta y de instrumentación.

11.- SISTEMAS DE FILTRADO.

El cual comprende tanque y bombas.

12.- SISTEMA DE TRANSPORTE Y ENTOLVADO DE SAL.

Está compuesto por dos sinfines, un elevador y un juego de tolvas de almacenamiento.

13.- SISTEMA DE YODATACION.

Está compuesto de tanques de mezcla, tanque presurizado y toberas .

14.- SISTEMA DE EMBOLSADO.

Lo constituyen un elevador, un sinfin, tres máquinas embolsadoras y una de ensacado.

1.3.-FUNCION DE CADA UNA DE ESTAS MAQUINAS Y SISTEMAS.

1.3.1.- GENERADOR DE VAPOR Y LINEA DE TUBERIA DE VAPOR VIVO.

El generador de vapor es una caldera que su tamaño depende de la capacidad de la planta, su función es generar vapor vivo a 125 psig para la alimentación al primer efecto, a los eyectores que son los que se encargan de hacer el vacío y a los calentadores de aire del filtro que es donde se seca la sal.

El tamaño de nuestra caldera lo calcularemos en el capítulo 2, ya que con el triple efecto hacen un solo conjunto. Ver figura # 3.

1.3.2.- TRIPLE EFECTO.

Es la parte más importante de la planta. Está formado por tres evaporadores, tres bombas de recirculación, tres piernas elutriadoras y tuberías de interconexión. Su función básica es evaporar y cristalizar para formar los granos de sal.

Al primer efecto introducimos vapor vivo para crear una evaporación por flasheo lo cual se realiza debido a cambios bruscos de presión y temperatura. El vapor generado en el primer efecto pasa al intercambiador de

calor del segundo efecto y realiza el calentamiento de la salmuera en el segundo evaporador, la cual está sometida a condiciones de vacío aproximadamente de 10 pulg. de Hg. lo que hace que el punto de ebullición de la salmuera caiga, por lo que se necesita una temperatura más baja para evaporar el agua, este vapor liberado pasa al intercambiador de calor del tercer efecto para realizar el calentamiento de la salmuera contenida en el tercer evaporador, en este se mantiene un vacío de aproximadamente 25 pulg. de Hg. por lo que el punto de ebullición es más bajo que en el segundo efecto necesitando mucha menor temperatura para conseguir la evaporación. Los tres cuerpos están siendo purgados por las piernas elutriadoras cada cierto tiempo para extraer la sal en cristales muy pequeños y uniformes, la alimentación a los evaporadores se la realiza por medio de rotámetros ubicados en la pierna elutriadora cumpliendo una doble función, enfriar la sal antes de la salida del evaporador y regulando el tamaño de grano ya que la inyección de salmuera fresca mantiene a los

granos en suspensión lo que ayuda a la unión con otros granos para crecer, esta alimentación depende de la cantidad de sal que estemos produciendo y debe mantenerse entre 2 y 15 Gpm, alimentaciones mayores ocasionan tamaños de grano demasiado grandes lo que causa dificultades para el bombeo y el filtrado.

Los niveles en los evaporadores se los mantiene normalmente a un 50%, siendo compensado con salmuera que es extraída en el sistema de filtrados, inyectandola por bajo para que tenga un mayor tiempo de recirculación y el sulfato de calcio que contiene en gran cantidad está salmuera sea extraído por la purga.

Un arreglo de lo que es un triple efecto se lo puede ver en la figura # 2.

1.3.3.- FILTRO SECADOR.

- Para esta planta en particular existia un top feed filter el cual funciona junto con una bomba de vacío y lo que realiza es un secado de la sal hasta un 2.5 % de humedad, el mismo filtro tiene incorporado un sistema de radiadores de vapor los cuales calientan aire tomado de la atmósfera hasta una

temperatura de 325 °F. Este aire es pasado a través de la capa de sal la cual esta adherida a las mallas del filtro lo que nos produce un secado aproximadamente de hasta 0.5%.

Es importante anotar que la sal nunca debe ser calentada a más de 250 °F debido a que sobre esa temperatura el agua que queda en el interior del grano se evapora y quiebra el grano quedando una gran cantidad de granos muy pequeños por lo que se absorbe más fácilmente la humedad del ambiente. La humedad relativa más baja a la que se puede llevar la sal es de 0.04% , pero sacar sales con esa humedad es demasiado costoso y no necesario. El arreglo del sistema de filtro secador lo podemos observar en la fig. # 4 .

1.3.4.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE CONDENSADO.

Cuando se produce la evaporación en el tercer efecto, estos vapores tienen que ser condensados para nuevamente recircularlos o aprovecharlos . En base a esto se diseña un sistema de enfriamiento que funciona con un condensador barométrico en el cual se mezcla agua fresca con estos vapores produciendose la condensación, también se enfrían los

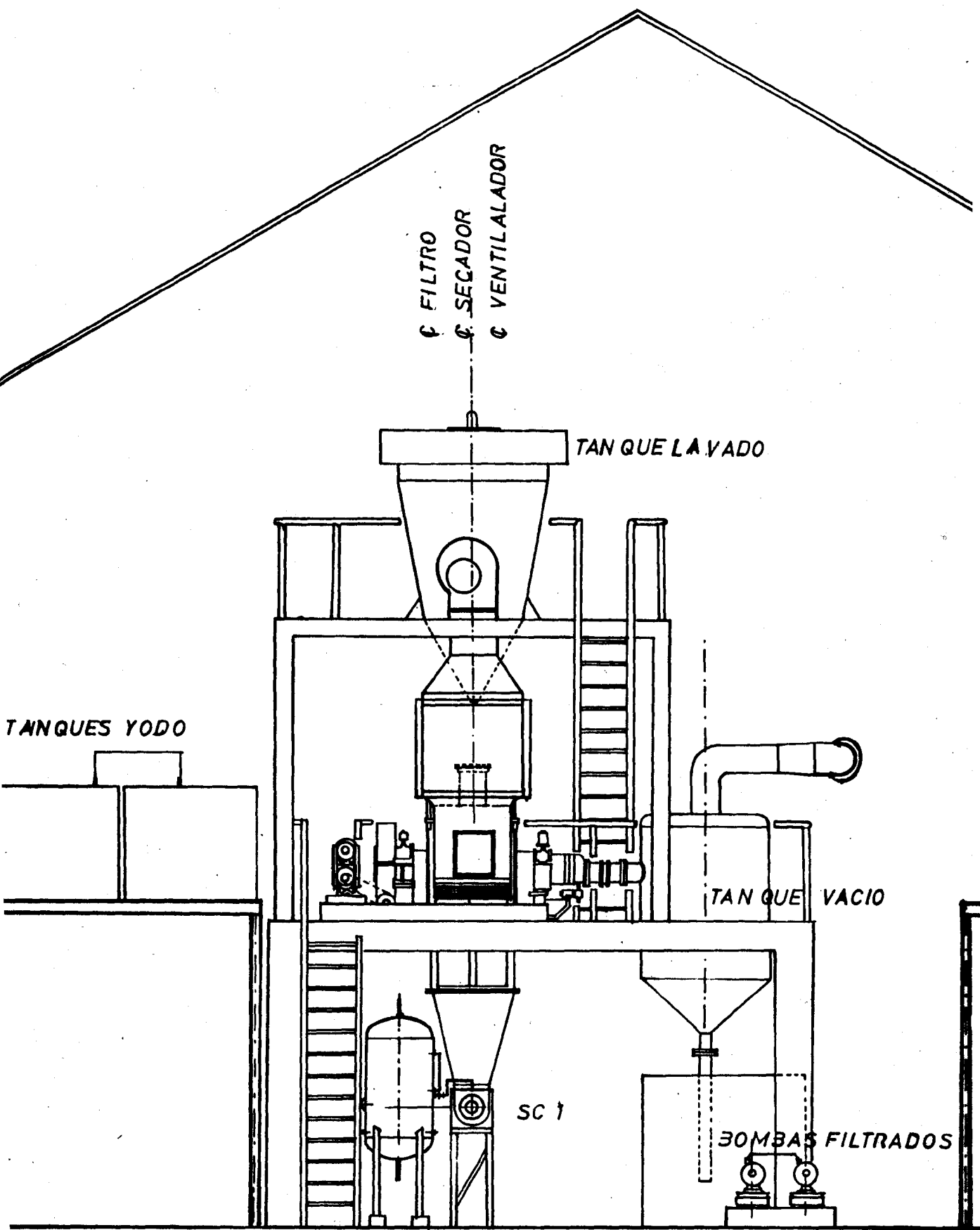


Fig. # 4 vista frontal seccion filtrados

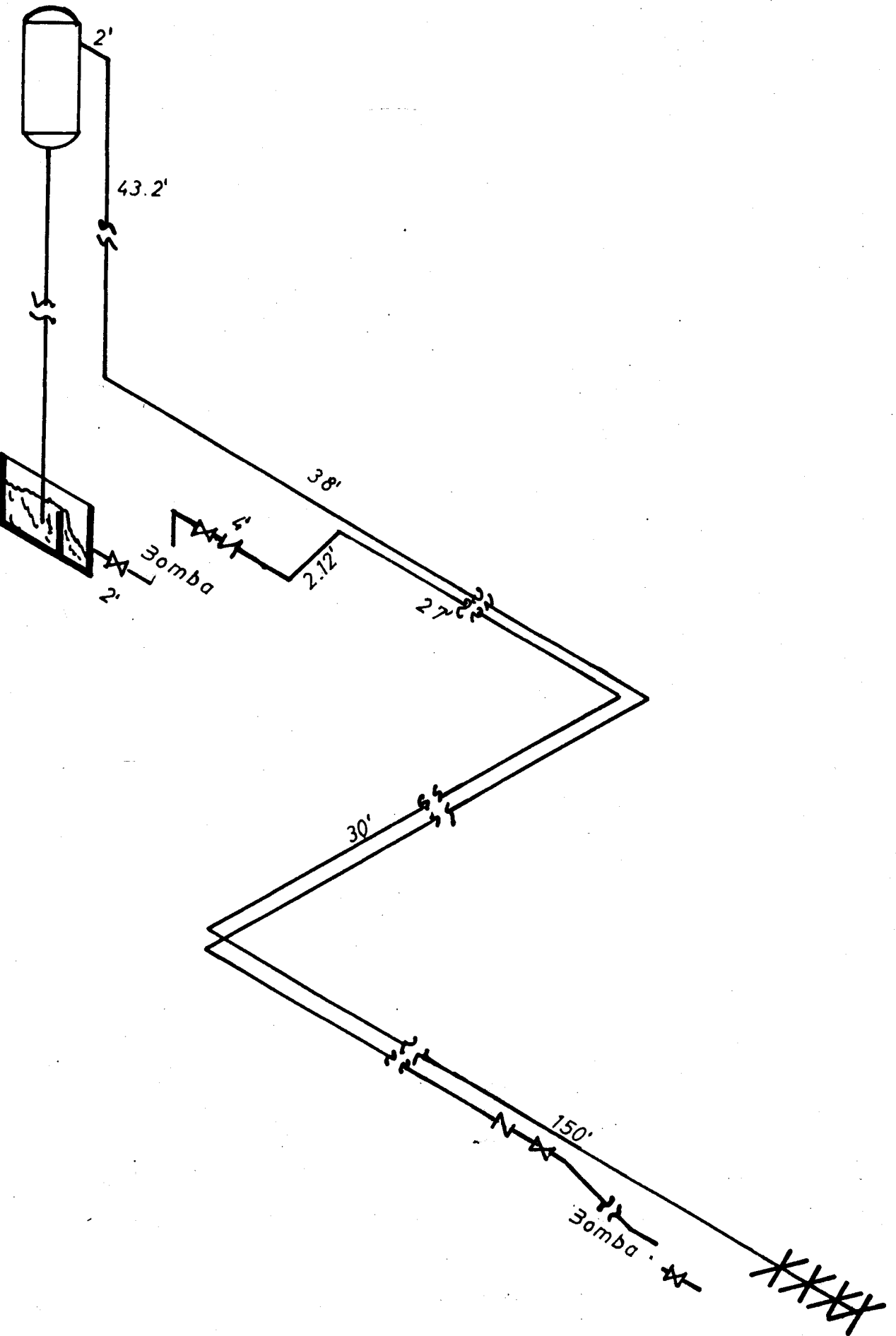
vapores que salen de los eyectores y del intercondensador.

Debido a que el proceso de enfriamiento consume una gran cantidad de agua, se utiliza agua recirculada, como siempre se está aumentando la cantidad de la misma, parte de esta agua se la utiliza para la disolución y como es agua caliente esto la ayuda.

Este sistema se puede ver graficamente en la figura # 5.

1.3.5.- SISTEMA DE DISOLUCION Y DECANTACION.

La función básica de este sistema es disolver y decantar la sal que llega de los patios solares. Este sistema consiste de dos piscinas una para disolver y la otra para decantar, a la piscina de disolución se le inyecta agua por debajo de la pila de sal de tal manera que al rebosar esta pila el agua llega completamente saturada. El punto de saturación varia con la temperatura a la que está la salmuera, (ver figura # 13), la salmuera pasa a la piscina de decantación, donde los granos y suciedades se asientan para poder bombear solo salmuera. Debemos recordar que en la disolución eliminamos algunas sales



Fig# 5 Sistema enfriamiento condensado.

perjudiciales para el proceso. El arreglo de este sistema lo podemos observar en la figura # 6.

1.3.6.- SISTEMA DE LLENADO Y VACIADO DE LOS EVAPORADORES.

Este sistema cumple dos funciones:

1.- El llenado de los evaporadores antes de iniciar operaciones. Existe un tanque de salmuera de 10000 galones, un poco más que la capacidad de los evaporadores el cual cuando se terminan las operaciones es llenado con la salmuera que tienen en ese momento los efectos para evitar desperdiciar esa salmuera sobresaturada y en el inicio de operaciones no desperdiciar vapor.

2.- Cuando se detienen las operaciones o durante el proceso los intercambiadores de calor tienden a incrustarse ya sea de sal o de sulfato de calcio, por lo que hay que lavar el sistema y esto se lo hace con condensados recogidos del tercer efecto. Si el lavado se lo hace en la parada, los efectos se los llena completamente de agua de condensado y la hervimos con vapor durante siete horas, si el lavado se lo realiza en medio de la producción a los

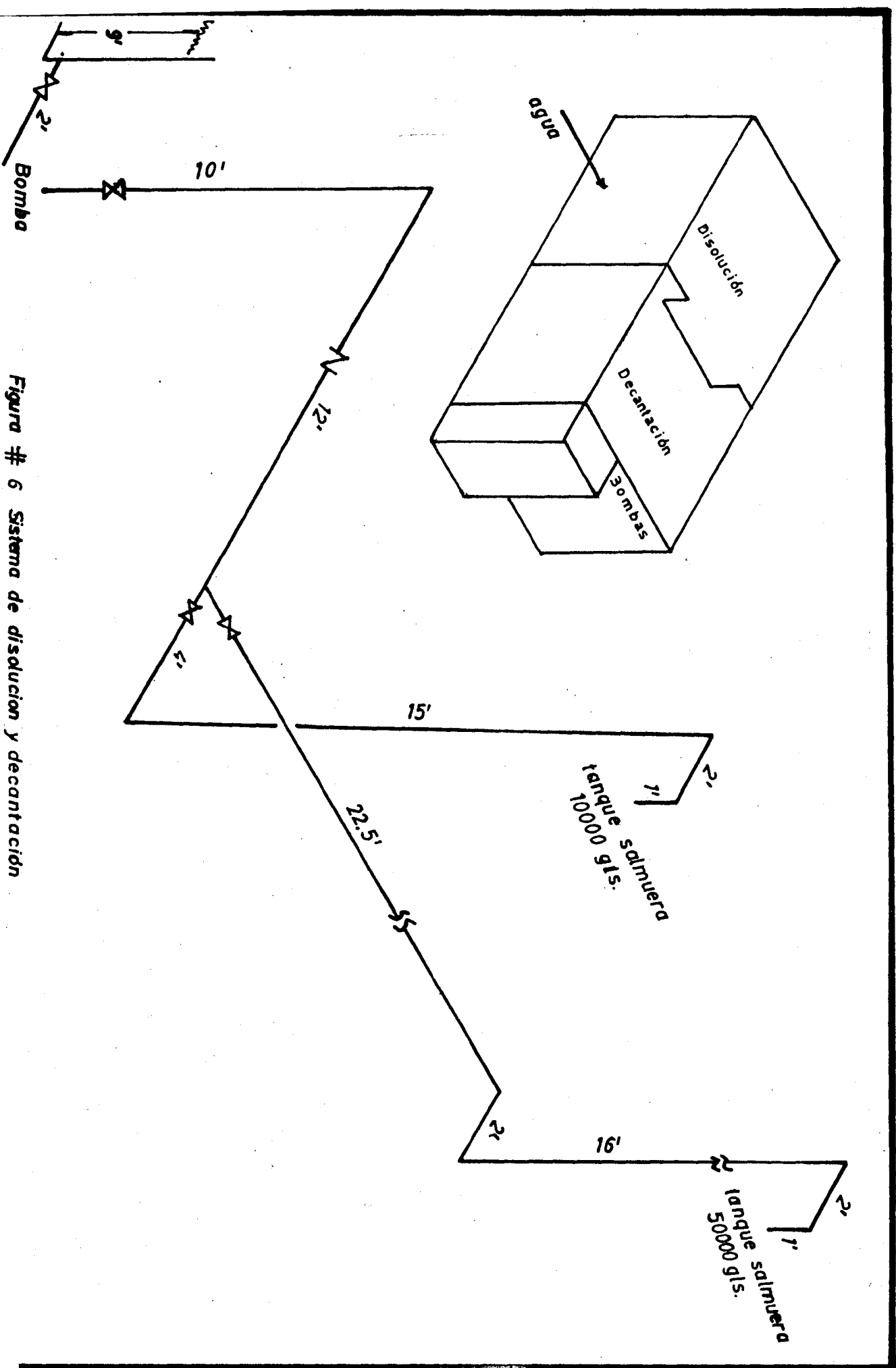


Figura # 6 Sistema de disolución y decantación

evaporadores se les baja la concentración de las salmueras y se recirculan durante 2 horas. Un arreglo del sistema lo podemos ver en la figura # 7.

1.3.7.- SISTEMA DE CONDENSADO RETORNABLE A LA CALDERA.

Como se utiliza vapor vivo en varias partes de la planta y cuando condensa no se contamina con sal u otro compuesto químico, este es retornable a la caldera en un 100% , los condensados recuperables son los del primer efecto y los de los radiadores de vapor para el secado de la sal. El condensado del primer efecto regresa sin necesidad de trampas de condensado ya que está a una presión un poco mayor a la atmosférica 15 psig, pero los del secador de sal están a 125 psig. por lo que se necesitan trampas de vapor para que solo sea purgado el condensado de la línea y no pase vapor vivo. Un arreglo de este sistema se lo puede observar en la figura # 3.

1.3.8.- SISTEMA DE CONDENSADO DEL TERCER EFECTO.

Los vapores que están en los intercambiadores del segundo y tercer efecto son contaminados debido al arrastre de sal y

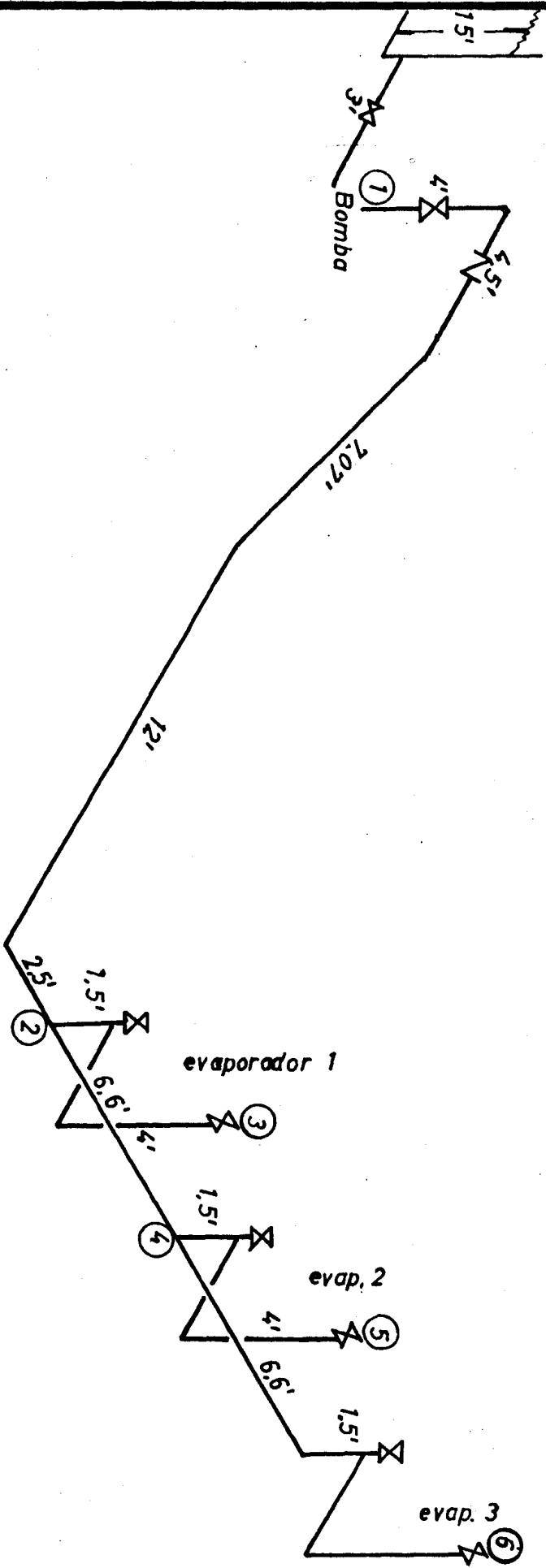


Fig. # 7 Sistema de llenado y vaciado

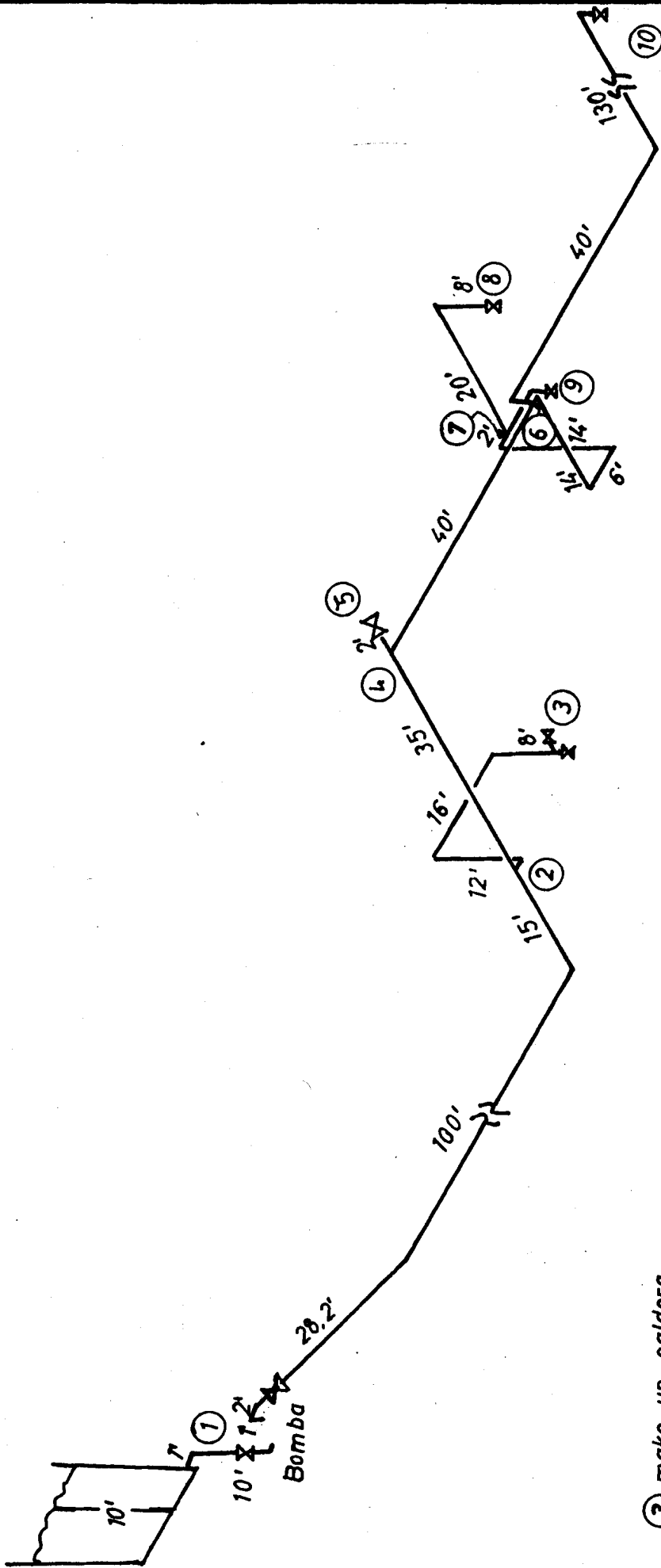
gases incondensables, los cuales todos no se pueden retornar directamente a la caldera por cuanto esta salinidad la dañaría, lo que se hace es hacerlos pasar por un medidor de conductividad de manera que los que tienen una conductividad muy baja son retornados a la caldera y los otros son almacenados en un tanque para utilizarlos como agua de lavado de los evaporadores o son devueltos a la piscina de disolución. La forma de operar este sistema es trasladando los condensados del segundo efecto al tercer efecto por medio de trampas de condensados, para que por gravedad caigan a un pequeño tanque intermedio y ser bombeados a un tanque de cabeza, cuando este se llena el rebose es almacenado en el tanque grande de condensados. Es de tener mucho cuidado con estos porque si no son bombeados a tiempo, el vacío se pierde y se paraliza la producción de sal. éstos condensados son bombeados por varios tanques debido a que no se desea pérdidas de vacío. Un arreglo de este sistema se lo puede observar en la figura # 3.

1.3.9.- SISTEMA DE AGUA POTABLE.

Este como su nombre lo indica nos suministra agua limpia, en esta planta en particular existen 2 bombas sumergidas a 180 ft. cada una, y un tanque situado en la parte más alta de la planta para bombear y suministrar agua de make-up a la caldera, la pila de decantación, piscina de enfriamiento de condensado, baños, servicios higiénicos y agua para limpieza. Un arreglo de este sistema se lo puede observar en la fig.# 8.

1.3.10.-SISTEMA DE AIRE.

Este comprende aire general de la planta, el cual se utiliza como de limpieza, destapar tubos obstruidos por la sal, muchas veces se le pone la presión a la piscina de disolución para destapar huecos obstruidos, y también para la limpieza de máquinas. Este aire necesita 120 psig. , mientras que el aire de instrumentación solo necesita 15 psig y es suministrado para todos los controles automáticos de la planta. Este sistema está dotado de un compresor de 80 CFM y 120 psig.



- ③ make-up caldera
- ⑤ disolución
- ⑧ limpieza
- ⑨ filtro
- ⑩ enfriamiento condensado

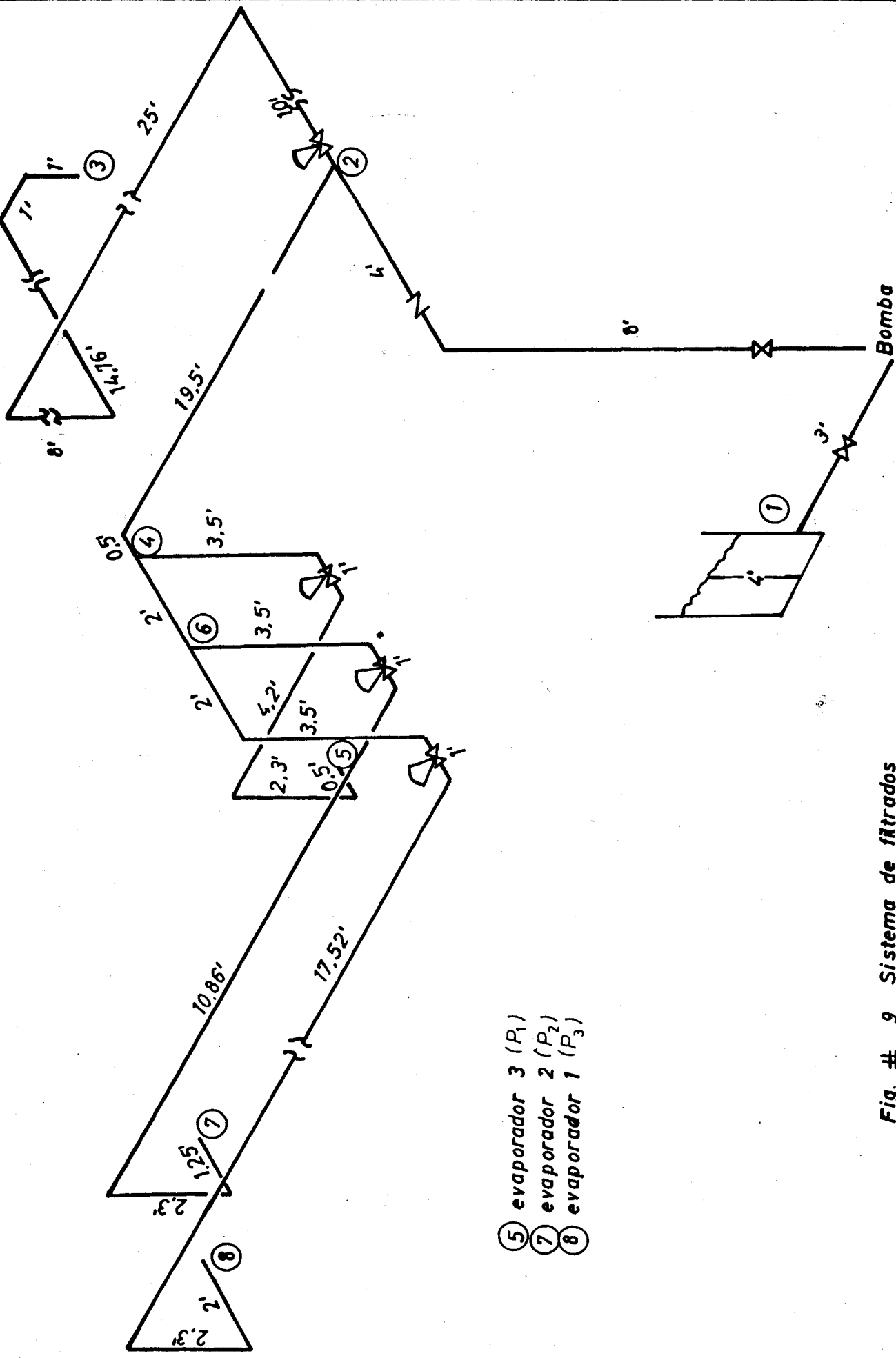
Fig. # 8 Sistema de agua potable

1.3.11.-SISTEMA DE FILTRADOS.

Este sistema es el que mantiene los niveles en los evaporadores constante, trabaja con válvulas neumáticas las cuales reciben señal del control de nivel para que se abran o se cierren dependiendo del nivel del evaporador. Cuando las válvulas están cerradas se abre otra valvula que permite el paso de la salmuera para enviarlas a la piscina de disolución. Estas salmueras son muy contaminadas de sulfato de calcio que procede del tanque de lavado del filtro. Este sistema está provisto de un tanque de filtrados que se utiliza para realizar un sello de agua en el tanque de vacío del filtro y evitar perder vacío, estos sellos se realizan normalmente con un mínimo de 2 pulgadas de agua. Este sistema se lo puede observar en la figura # 7.

1.3.12.-SISTEMA DE TRANSPORTE Y ENTOLVADO DE SAL.

Después que la sal es secada en el filtro es transportada por un sinfín, el cuál descarga a un elevador y este a su vez descarga a otro sinfín para luego descargar a un juego de 6 tolvas. Estas tolvas no son una sola



- ⑤ evaporador 3 (P₁)
- ⑦ evaporador 2 (P₂)
- ⑧ evaporador 1 (P₃)

Fig. # 9 Sistema de filtrados

debido a que está planta produce sal para ganado, sal de mesa y sal industrial, entonces para planificar la producción, se seca la sal de acuerdo a una programación. Esto también se hace para facilitar la descarga, es más fácil descargar tolvas pequeñas que una tolva tan grande. Este sistema lo podemos observar en la fig. # 10.

1.3.13.-SISTEMA DE YODATACION.

Su función es proveer el yoduro de potasio para que la sal sea apta para el consumo humano . La sal seca salida del proceso no tiene yodo suficiente, por lo que se lo aplica a través de un rotámetro que se controla con valvulas de aguja, para luego hacerlo spray en una tobera y mezclarlo con la sal en un sinfín mezclador para ser embolsada como sal yodada.

Este sistema utiliza un tanque presurizado a 80 psig. para que la tobera trabaje en forma eficiente. Este sistema lo podemos ver en la figura # 24.

1.3.14.-SISTEMA DE EMBOLSADO.

Después de que la sal ha sido yodada se embolsa ya sea en bolsas de polietileno hasta 1 libra y también se lo hace en bolsas

de 100 libras para consumo industrial. Este sistema consiste en dos sinfines, un elevador y un cuarto de máquinas embolsadoras, la cantidad de ellas depende de la capacidad de la planta. Un diagrama de este sistema lo observamos en la fig.# 10.

CAPITULO 2

TRIPLE EFECTO

2.1.-CALCULO DEL TRIPLE EFECTO.

Calcular el triple efecto equivale a calcular:

- 1.- Cálculo del consumo de vapor
- 2.- Cálculo de la superficie de calentamiento por efecto.

Estos cálculos los vamos a realizar teóricamente y luego se va a establecer una comparación con los que están fabricados montados y trabajando, para así darnos cuenta si son efectivos o no. Nosotros conocemos que nuestra Planta produce 50 toneladas de sal por día, la cual se obtiene de salmuera saturada a 80 °F (36 libras de cloruro de sodio por 100 libras de agua).

El método el cual vamos a utilizar es haciendo un balance de calor para todo el sistema, (ver fig. # 2) por lo que tenemos que asumir ciertos parámetros que rectificaremos de acuerdo como se vayan presentando los resultados. Estas asunciones son:

- 1.- Las superficies de calentamiento en cada efecto son iguales.
- 2.- La sal será removida desde las piernas elutriadoras en cada efecto.
- 3.- La salmuera será bombeada desde el evaporador a través de la pierna elutriadora sin pérdidas de

temperatura.

4.- Los cristales serán filtrados con un 5% de humedad relativa, la salmuera filtrada será retornada al evaporador sin pérdida de calor.

5.- El vapor será suministrado a 15 psig y el condensador será mantenido a 2 psig.

6.- Se asumen los coeficientes de transferencia de calor como 300 en el primero, 250 en el segundo y 150 en el tercero, todos BTU/hr-ft²-°F y estos serán corregidos con la elevación del punto de ebullición debido al efecto de tonometría.

7.- El condensador barométrico será usado con agua de enfriamiento a 100°F.

Estas asunciones las hemos podido comprobar prácticamente durante la operación de la Planta. Para facilitar el entendimiento y cálculo vamos a dividir este problema en 6 etapas:

SOLUCION: Como tenemos 36 libras de Cloruro de Sodio (ClNa) por 100 libras de agua en la salmuera de alimentación, la sal contenida en la salmuera será:

$$36 / (100 + 36) = 26.45 \%$$

Para obtener 50 toneladas de sal por día el total de alimentación será : $50 / 0.2645 = 189.03$ ton. de salmuera/día. El total de agua a evaporar será :

$$189.03 - 50 = 139.03 \text{ ton.}$$

Como los cristales tienen 5% de humedad relativa, la

cantidad de agua devuelta después de la filtración será: $50 * 0.05/0.95 = 2.632 \text{ ton./día.}$

Por lo que la cantidad neta de agua a evaporar es:
 $139.03 - 2.632 = 136.40 \text{ ton./día.}$

$$136.40 * 2000/24 = 11366.67 \text{ lb/hr.}$$

Con estos valores ya bien claros comenzamos cada una de las 6 etapas en que dividimos nuestro problema.

ETAPA # 1.-CALCULO DE LA EVAPORACION POR EFECTO.

Asumiendo igual evaporación por efecto, la cantidad de agua evaporada en cada uno de ellos será:

$$11366.67/3 = 3788.89 \text{ lb/hr.}$$

ETAPA # 2.-DETERMINACION DEL BPR TOTAL (ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION.

Un método es determinar el BPR para el primer efecto y luego multiplicar este por el número de efectos.

En este caso la solución saturada es ebullida en el primer efecto a la presión atmosférica, por lo que utilizando la carta de Dühring en la fig. # 11 .

Temperatura de evaporación de agua pura = 212°F

Salmuera saturada a 26 % = 226°F

Elevación punto de ebullición = 14°F

Por lo que el total estimado de BPR para el sistema será : $14 * 3 = 42 \text{ °F.}$

Dado que el BPR baja cuando el punto de ebullición baja, en el primer efecto es mayor que en los otros efectos por lo que manteniendo la misma relación

podemos decir :

$$\text{BPR1} = 16^{\circ}\text{F}$$

$$\text{BPR2} = 14^{\circ}\text{F}$$

$$\text{BPR3} = 12^{\circ}\text{F}$$

$$\hline 42^{\circ}\text{F}$$

La caída total de temperatura en el sistema es:

$$\text{Temp. vapor saturado a 15 psi} = 250.34^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Temp. vapor saturado a 2 psi} = 126.04^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Incremento de temperatura} = 124.30^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Menos BPR total} = 42.00^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Caída total de temperatura} = 82.30^{\circ}\text{F}$$

ETAPA # 3

CONSTRUCCION GRAFICO DE BARRAS DE TEMPERATURA.

$$\text{Nosotros asumimos : } U1 = 300 \text{ BTU/hr}^{\circ}\text{F-pie}^2$$

$$U2 = 250 \text{ BTU/hr}^{\circ}\text{F-pie}^2$$

$$U3 = 150 \text{ BTU/hr}^{\circ}\text{F-pie}^2$$

Para encontrar la caída de temperatura en el primer, segundo y tercer efecto, dividimos en forma proporcional la caída de temperatura total; esto lo haremos mediante la siguiente formula;

$$\Delta T_1 = T_t \frac{1}{U_1 (1/U_1 + 1/U_2 + 1/U_3)}$$

Por lo que aplicando esta formula tenemos:

$$\Delta T_1 = \frac{82.3}{300 (1/300 + 1/250 + 1/150)} = 19.6^{\circ}\text{F}$$

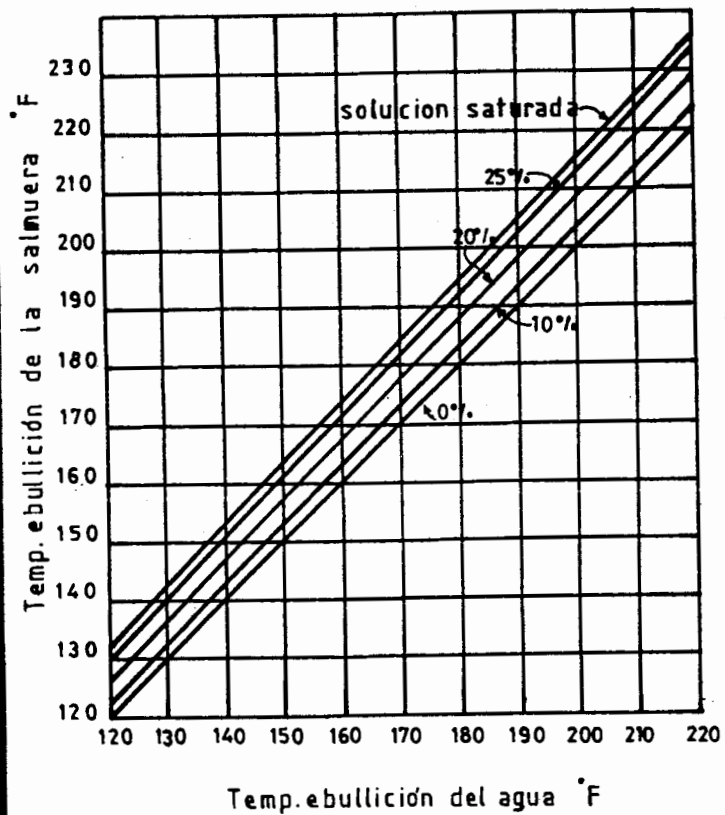


Fig. 11 Diagrama de Dühring

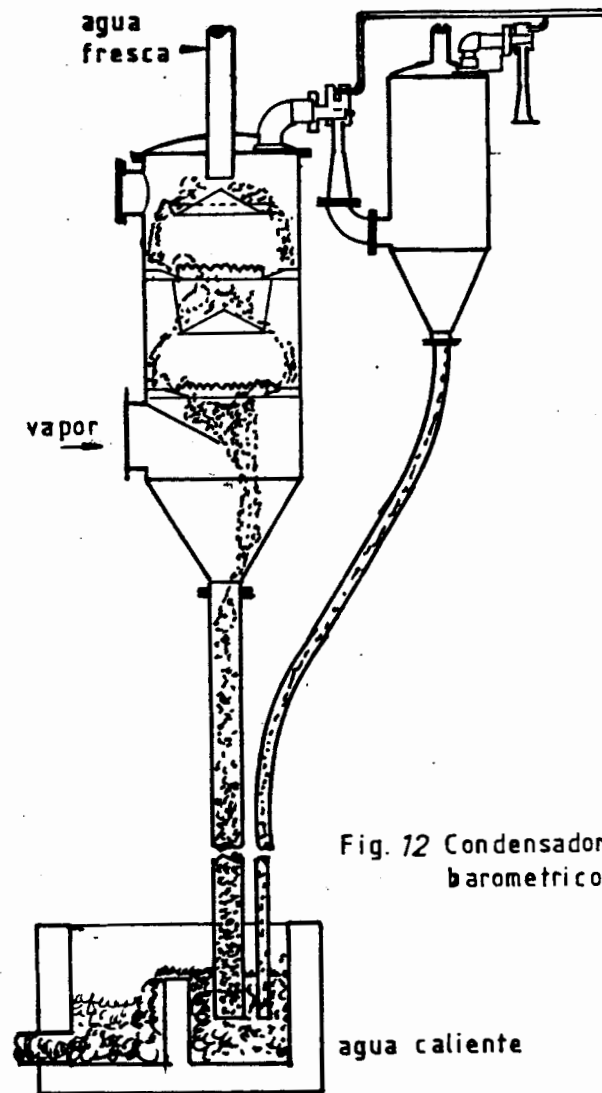


Fig. 12 Condensador barometrico

$$\Delta T_2 = \frac{82.3}{250 \left(\frac{1}{300} + \frac{1}{250} + \frac{1}{150} \right)} = 23.51^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_3 = \frac{82.3}{150 \left(\frac{1}{300} + \frac{1}{250} + \frac{1}{150} \right)} = 39.19^\circ\text{F}$$

Estos valores debido a la experiencia son ajustados. Las bases de ajuste son la experiencia y el entendimiento de las características de operación de un evaporador. Estos valores en nuestro caso los ajustamos a valores reales.

$$\Delta T_1 = 18.0^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 24.3^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_3 = 40.0^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_t = 82.3^\circ\text{F}$$

Ahora podemos construir un gráfico de barras de temperatura ver figura # 14 . Dados que la temperatura en el vapor y condensado son fijas nosotros podemos comenzar con ella y luego restarle las diferencias de temperaturas calculadas:

Temperatura del vapor	= 250.34°F
menos ΔT_1	= 18.00°F
Temp. de ebullición primer efecto	= 232.34°F
menos BPR1	= 16.00°F
temp. condensación del vapor 2° efecto	= 216.34°F
menos ΔT_2	= 24.30°F
Temp. ebullición del 2° efecto	= 192.04°F

menos BPR2	=	14.00°F
Temp. condensación vapor 3° efecto	=	178.04°F
menos ΔT_3	=	40.00°F
Temp. ebullición tercer efecto	=	138.04°F
Menos BPR3	=	12.00°F
Temp. condensación de vapor en conden.	=	126.04°F

En este momento sabemos que nuestras asunciones fueron correctas debido a que la presión en el condensador es de 2 psi y la temperatura del vapor saturado a esa presión es 126.04 °F.

ETAPA # 4

BALANCE DE CALOR

Para realizar el balance de calor necesitamos conocer las entalpias de todos los fluidos que intervienen en el evaporador por lo que tenemos :
Estos valores para el vapor fueron tomados (1) y para la sal de la figura # 13.

ENTALPIA

Salmuera saturada a 80°F (h)	=	32.00 BTU/Hr
Salmuera a temp. ebul. 1° efecto	=	136.00 BTU/Hr
Salmuera a temp. ebul. 2° efecto	=	110.00 BTU/Hr
Salmuera a temp. ebul. 3° efecto	=	82.00 BTU/Hr
Vapor a 250.34 °F (h1)	=	1164.20 BTU/Hr
Vapor a 216.34 °F (h2)	=	1152.00 BTU/Hr
Vapor a 178.04 °F (h3)	=	1137.40 BTU/Hr
Vapor condensador 126.04°F (h4)	=	1116.10 BTU/Hr

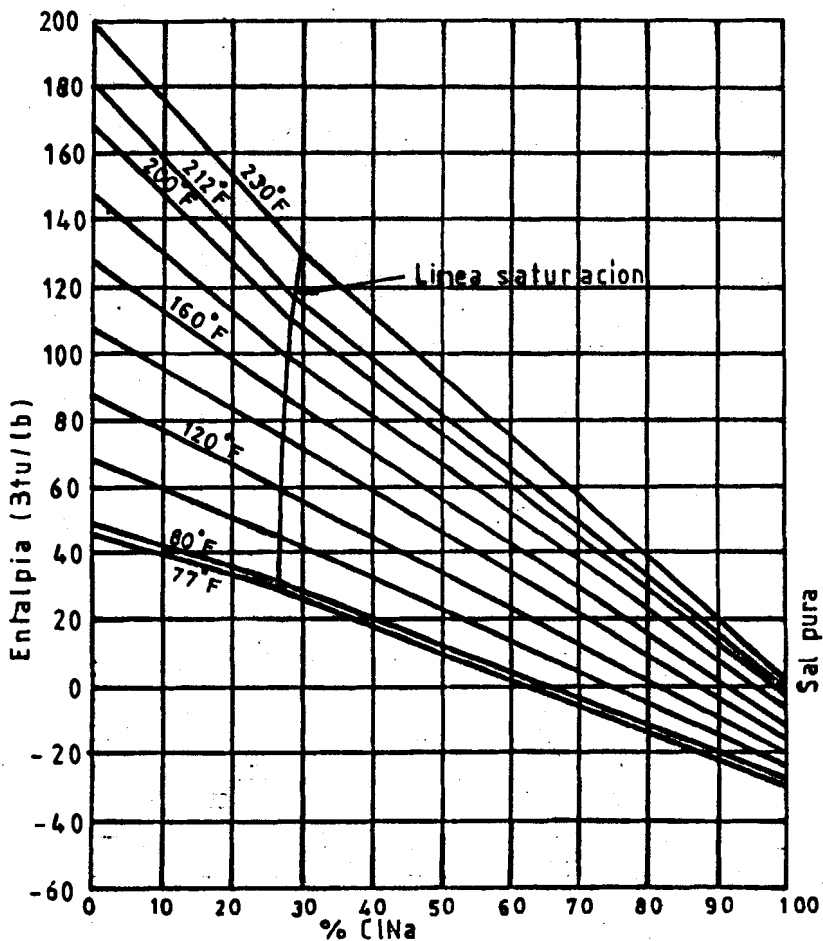


Fig.13 Gráfico Enthalpia-Concentración

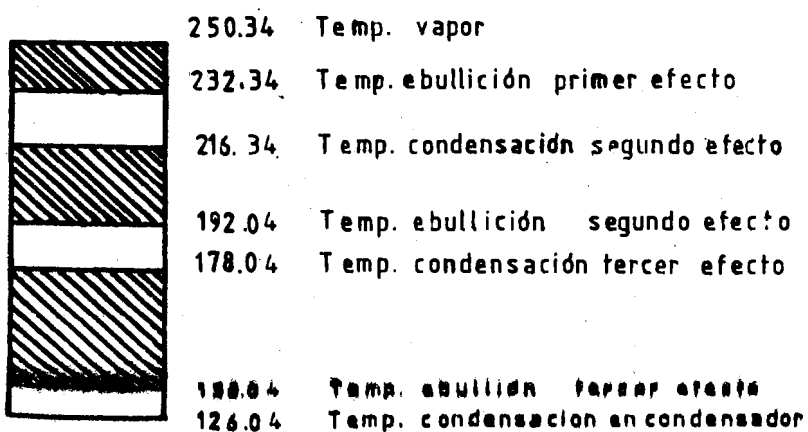


Fig.74 Gráfico de barras mostrando los niveles temp.

Condensado a 250.34°F (h5)	=	218.59 BTU/Hr
Condensado a 216.34°F (h6)	=	184.18 BTU/Hr
Condensado a 178.04°F (h7)	=	145.99 BTU/Hr
Condensado a 126.04°F (h8)	=	93.99 BTU/Hr
Sal de salida 1° efecto 232.34 °F	=	4.00 BTU/Hr
Sal de salida 2° efecto 192.04 °F	=	-4.00 BTU/Hr
Sal de salida 3° efecto 138.04 °F	=	-16.00 BTU/Hr

Con estos valores podemos escribir las ecuaciones para cada uno de los efectos: ver figura # 2.

$$Q(\text{entrada}) = m * h_1 = 1164.20 \text{ m}$$

La cantidad total de salmuera alimentada será:

$$(100+36)/100 * m_1$$

Donde m_1 es la cantidad de agua evaporada, por lo que para el primer efecto tenemos:

$$Q_1 = m_1 * h = 1.36 m_1 * 32 = 43.52 m_1 .$$

Para el vapor que se libera en el primer efecto tenemos:

$$Q(\text{vapor}) = 1152.0 * m_1$$

Asumiendo que todo el vapor es condensado tenemos:

$$Q_1(\text{condensado}) = m * h_5 = 218.59 \text{ m}$$

Para la sal saliendo del evaporador número 1 tenemos:

$$Q_1(\text{salida}) = (36/100) * m_1 * 4 = 1.44 m_1$$

De esto podemos concluir que para el primer efecto la ecuación de balance de calor será:

$$1164.20 \text{ m} + 43.52 m_1 = 1152.0 m_1 + 218.59 \text{ m} + 1.44 m_1$$

$$945.61 \text{ m} = 1109.92 \text{ m}_1$$

Para el segundo efecto tenemos:

$$Q(\text{entrada}) = 1152.0 \text{ m}_1$$

Para el condensado será:

$$Q2(\text{condensado}) = 184.18 \text{ m}_1$$

Para la salmuera de entrada tenemos:

$$Q2(\text{salmuera}) = 1.36 \text{ m}_2 * 32 = 43.52 \text{ m}_2$$

Para el vapor que se genera tenemos:

$$Q2(\text{vapor}) = 1137.40 \text{ m}_2$$

Para la sal que sale del segundo efecto tenemos:

$$Q2(\text{salida}) = (36/100) * (-4) \text{ m}_2 = -1.44 \text{ m}_2$$

Por lo que podemos escribir la ecuación para el segundo efecto así:

$$1152.0 \text{ m}_1 + 43.52 \text{ m}_2 = 1137.40 \text{ m}_2 + 184.18 \text{ m}_1 - 1.44 \text{ m}_2$$

$$967.92 \text{ m}_1 = 1092.44 \text{ m}_2$$

Para el tercer efecto tenemos:

$$Q(\text{entrada}) = 1137.40 \text{ m}_2$$

Para el condensado tenemos:

$$Q3(\text{condensado}) = 145.99 \text{ m}_2$$

Para la salmuera de entrada tenemos:

$$Q3(\text{salmuera}) = 1.36 \text{ m}_3 * 32 = 43.52 \text{ m}_3$$

Para el vapor que se genera tenemos:

$$Q3(\text{vapor}) = 1116.10 \text{ m}_3$$

Para la sal que sale del evaporador tenemos:

$$Q3(\text{salida}) = 0.36 \text{ m}_3 (-16) = -5.76 \text{ m}_3$$

Por lo que la ecuación para el último efecto se

escribe de la siguiente manera:

$$1137.40 m_2 + 43.52 m_3 = 145.99 m_2 + 1116.10 m_3 - 5.76 m_3$$

$$991.41 m_2 = 1066.82 m_3$$

La última ecuación sería la ecuación de masa:

$$m_1 + m_2 + m_3 = 11366.67$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones con 4 incógnitas tenemos:

$$m = 4943.00 \text{ lb/hr}$$

$$m_1 = 4211.25 \text{ lb/hr}$$

$$m_2 = 3726.77 \text{ lb/hr}$$

$$m_3 = 3428.62 \text{ lb/hr}$$

En este momento nosotros sabemos que el consumo de vapor es de 4943.00 lb/hr el cual era una de nuestras incógnitas. Este vapor es el que se consume en el primer efecto.

ETAPA # 5.-

CALCULO DE LAS AREAS DE CALENTAMIENTO.

Por inspección se puede observar que el valor calculado de masa es aproximadamente un 10% mayor que el asumido en la etapa #1 y que es de 3788.89 lb/hr. Con esto nosotros podemos ahora evaluar el flujo de calor y la superficie de calentamiento para cada efecto.

Para el primer efecto:

$$\begin{aligned} Q_1 &= m (h_1 - h_5) = 4943.00 (1164.2 - 218.59) \\ &= 4674150.23 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

$$A_1 = Q_1 / (U_1 * \Delta T_1) = 4674150.23 / (300 * 18)$$

$$= 865.58 \text{ ft}^2$$

Para el segundo efecto:

$$Q_2 = m_1 (h_2 - h_6) = 4211.25 (1152.00 - 184.18)$$

$$= 4075731.98 \text{ B.T.U}$$

$$A_2 = Q_2 / (U_2 * \Delta T_2) = 4075731.98 / (250 * 24.30)$$

$$= 670.90 \text{ ft}^2$$

Para el tercer efecto:

$$Q_3 = m_2 (h_3 - h_7) = 3726.77 (1137.40 - 145.99)$$

$$= 3694757.05 \text{ B.T.U.}$$

$$A_3 = Q_3 / (U_3 * \Delta T_3) = 3694757.05 / (150 * 40)$$

$$= 615.79 \text{ ft}^2$$

ETAPA # 6.-

CALCULO DE UN AREA PROMEDIO.

Un promedio de estas áreas se puede obtener utilizando las caídas de temperatura T de tal manera que los evaporadores sean iguales y que satisfagan nuestras necesidades.

$$A(\text{promedio}) = (A_1 \Delta T_1 + A_2 \Delta T_2 + A_3 \Delta T_3) / (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3)$$

$$= [865.58 * 18 + 670.90 * 24.30 + 615.79 * 40] / (18 + 24.3 + 40)$$

$$A(\text{promedio}) = 686.69 \text{ ft}^2$$

En este momento hemos calculado nosotros el consumo de vapor y el área promedio requerida por cada efecto. Vamos a realizar ahora una comparación entre lo que está construido y montado, y estos cálculos teóricos:

TRIPLE EFECTO MONTADO

Número de tubos	108
Diámetro interior del tubo	1-5/8"
Diámetro exterior del tubo	1-3/4"
Espesor de pared del tubo	1/16"
Material	metal monel
Longitud de los tubos	20 ft
Area del tubo = $\pi \cdot \text{diám} \cdot L =$	8.51 ft ² /tubo
Area total = $8.51 \cdot 108 =$	919.08 ft ²

Comparando estas dos superficies de calentamiento vemos que hay una diferencia de $919.08 - 686.69 = 232.39$ ft². Esto es justificable debido a la seguridad que hay que tener cuando se construye un equipo, lo que nos dice también, que si a esta Planta la ponemos a trabajar a un 100% de su producción nos daría:

$$(919.08/686.60) \cdot 50 = 66.92 \text{ ton./día}$$

Para tener un valor estándar de producción en este momento aseguramos una producción de 60 ton. por 24 horas. Todos nuestros cálculos posteriores se harán en base a esta producción.

2.2.-SELECCION DE LA CALDERA

La cantidad de vapor que debe manejar la caldera será:

$$\begin{aligned} m(\text{caldera}) &= m(1^\circ \text{efecto}) + m(\text{eyectores}) + m(\text{secador}) \\ &= 4943.00 + 1000 + 200 \end{aligned}$$

$$= 6143.00 \text{ lb/hr de vapor}$$

Por factor de seguridad y posibles ampliaciones vamos a considerar un 30% más del consumo de vapor, lo que nos deja vapor extra para cualquier otro uso como es precalentar el bunker de combustión o la salmuera de alimentación lo que nos da:

$$6143.00 * 1.3 = 7985.9 \text{ lb/hr de vapor}$$

Nosotros necesitamos vapor saturado a 340°F para que la sal en el secador del filtro tenga una temperatura promedio de 230°F, esto lo demostraremos más adelante, y vapor a más de 100 psi para una eficiente operación de los eyectores por lo que seleccionamos la caldera a una presión de generación de vapor de 125 psi.

La capacidad de la caldera será:

$$\begin{aligned} \text{HP(caldera)} &= m(hg-hf)/(970.3*34.5) \\ &= [7985.9(869.2)]/(970.3*34.5) \\ &= 207.35 \text{ HP} \end{aligned}$$

Las calderas normalmente vienen fabricadas de 200, 300, 400, y 500 HP por lo que nosotros escogimos una caldera de 300HP.

En esta planta existe una caldera de 13800 lb/hr de vapor y 450 Hp, que utiliza aceite # 6 (bunker) y esta es la que vamos a utilizar.

Para calcular la cantidad de combustible por tonelada de sal tenemos:

$$60/24 = 2.50 \text{ ton/hr}$$

$$m = 6143/2.50 = 2457.20 \text{ lb/hr de vapor}$$

por tonelada de sal.

La cantidad de calor necesaria será igual a:

$$Q = m c_p \Delta T = m h = 2457.20 (869.2)$$
$$= 2135798.24 \text{ B.T.U.}$$

El poder calorífico del bunker con un API de 15 será de aproximadamente 150000 B.T.U./galon, por lo tanto:

$$\text{Galones} = 2135798.24/150000 = 14.23 \text{ gal. de}$$

bunker por tonelada de sal.

2.3.-SELECCION DE SISTEMAS COMPLEMENTARIOS

Seleccionar los sistemas complementarios consiste en diseñar los siguientes sistemas:

- 1.- Condensador barométrico con eyectores y bombas de recirculación
- 2.- Rotametros de alimentación
- 3.- Sistema de llenado y vaciado

2.3.1.- CONDENSADOR BAROMETRICO CON EYECTORES Y BOMBAS DE RECIRCULACION.

La cantidad de agua requerida nos da un conocimiento del tipo y tamaño del condensador. Dado que un condensador con eyectores es usado, es posible operar con una caída de temperatura de 10°F, con esta

temperatura la entalpía de este líquido será igual a 84.01 BTU/lb (h9).

El calor Q será extraído por el agua de enfriamiento para condensar el vapor que sale del tercer efecto y este es:

$$\begin{aligned} Q &= m_3 (h3-h9) \\ &= 3428.62(1137.4-84.01) \\ &= 3611674.02 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

Para encontrar la cantidad de agua requerida en el condensador utilizamos la siguiente formula:

$$Q = Mc \times Cpc (To - Ti)$$

Por lo que nos da :

$$\begin{aligned} mc &= 3611674.02 / (116.04-100) \\ &= 225116.70 \text{ lbs agua/hr.} \\ &= 449.97 \approx 450 \text{ Gpm.} \end{aligned}$$

Para seleccionar el condensador necesitamos conocer que hay de dos tipos, los cuales son de superficie o de contacto directo. Los condensadores de superficie son utilizados cuando la mezcla de condensado con agua de enfriamiento no es deseada, normalmente se utilizan para enfriar agua potable y debido a que usan tubos este tipo de condensador es mucho más caro (2).

En los condensadores de contacto directo hay

mezcla condensado agua de enfriamiento y el más utilizado es el condensador barométrico debido a su efectividad, a su bajo costo y cuando la recuperación del condensado no es un factor de importancia. Este último condensador fue el elegido por nosotros (2). En la figura # 12. se muestra el condensador barométrico que fue seleccionado, el cual es a contracorriente autosoportado, con tubo de aspiración, depósito de agua caliente y eyector de aire. El agua caliente y el vapor circulan en sentido contrario, empleando el agua más fría para la condensación final y el enfriamiento de los productos no condensables. Los eyectores deben de ser capaces de manejar tanto el aire liberado por el agua de enfriamiento como las fugas de aire. La altura requerida para la bomba de agua, esta dada por la fricción en el tubo más la carga estática, el condensador barométrico casi siempre se coloca en el exterior y la columna debe tener una altura de 34 ft.

Para seleccionar las bombas del agua de enfriamiento, las cuales deben ser una que eleve el agua hasta el condensador y otra

que lleve el agua desde el depósito de agua caliente hasta donde va a ser enfriada, ver figura # 5, utilizamos las siguientes condiciones de diseño.

1.- La descarga del condensador barométrico es por gravedad.

2.- La velocidad del fluido dentro del tubo debe estar entre 4 y 7 ft/seg

3.- Todos los tubos son cédula 40.

Calculemos primero la bomba que lleva el agua entre el depósito de agua caliente y la pila de enfriamiento de condensado.

El diámetro de la tubería sería:

$Q = \text{agua recirculando} + \text{agua que se libera en el tercer efecto.}$

$$Q = 450 + [(3428.62 * 7.48) / (60 * 61.54)] \\ = 456.94 \approx 460 \text{ Gpm.}$$

$$d^2 = 0.408 * 460 / 6 = 31.28 \text{ pulg}^2$$

Lo que nos da un diámetro de 6 pulgs con una caída de presión de 0.653 psi y una velocidad de 5.21 ft/seg. Ver tablas # 13,14.

Esta bomba maneja agua a 126.04 °F, por lo que haciendo un corrección por temperatura para la caída de presión tenemos:

$$[(460 + 126.04) / 520] * 0.653 \\ = 0.736 \text{ psi/100ft}$$

Longitud del tubo = 216.12 ft

Número de codos de 90° = 4

Número de codos de 45° = 2

Número de válvulas de compuerta convencional = 2

Número de válvulas check = 1

$$\Delta P_1 = 216.12 \times 0.658 / 100 = 1.42 \text{ psi}$$

$$\rho = 61.54 \text{ lb/ft}^3 \text{ .Ver tabla \# 6.}$$

$$\mu = 0.5 \text{ centipoises. Ver figura \# 18.}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 50.6 (\rho Q / d\mu) \\ &= 477468.35 \end{aligned}$$

Del diagrama de la fig # 16. obtenemos el coeficiente de fricción.

$$f = 0.0163$$

La caída de presión debido a estos factores será :

$$\Delta P_{100} = 0.0216 f (0.2 \rho L / d^5) = 0.59 \text{ psi}$$

$$\Delta P_1 = 0.59 \times 216.12 / 100 = 1.28 \text{ psi.}$$

De la tabla # 4, encontramos las longitudes equivalentes para los codos y válvulas :

$$(L/D) \text{ codos de } 90^\circ = 30 \times 4 = 120$$

$$(L/D) \text{ codos de } 45^\circ = 16 \times 2 = 32$$

$$(L/D) \text{ válvula comp.} = 13 \times 2 = 26$$

$$(L/D) \text{ válvula check} = 135 = 135$$

$$\Sigma(L/D) = \underline{\quad\quad\quad} \quad \underline{\quad\quad\quad} \quad 313$$

$$L = 313 \times 6/12 = 156.50 \text{ ft}$$

$$\Delta P_{100} = 156.50 (0.736 / 100) = 1.15 \text{ psi.}$$

Para el sistema de toberas según datos del fabricante necesitamos 10 psi con una caída de presión por tobera de 0.7 psi, por lo que la caída de presión en las 16 toberas será:

$$0.7 * 16 = 11.20 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 1.59 + 1.28 + 1.15 + 11.20 = 15.22 \text{ psi}$$

$$\text{long. equiv.} = (15.22 * 144) / 61.54 = 35.61 \text{ ft}$$

$$L \text{ total} = 35.61 + 216.12 = 251.73 \text{ ft.}$$

$$h_1 = 0.1861 f (L v^2 / d) = 0.663 \text{ ft}$$

$$H = Z_2 - Z_1 + h_1 + 144 P / \rho$$

$$= 3.12 - 0.00 + 24.06 + 0.663 = 27.84 \text{ ft}$$

$$\text{HP} = 460 * 27.84 * 61.57 / 247000 * 0.60$$

$$= 5.32 \text{ Hp}$$

De (3) seleccionamos la bomba :

modelo : 3LR impeller A

tamaño : 5 x 3 x 9 pulgadas

RPM : 1170 HP = 5

La curva característica de esta bomba se puede ver en la figura # 15.

Para seleccionar la bomba que lleva el agua desde la piscina de enfriamiento de condensados a el condensador barométrico tenemos los siguientes datos :

$$Q = 450 \text{ gpm.}$$

$$v = 6 \text{ pies/seg.}$$

Teniendo una tubería de 6 pulgadas de diámetro y 450 Gpm. da una caída de presión de 0.590 y una velocidad de 5.0 pies/seg. Como esta agua es bombeada a 100°F corregimos por temperatura la caída de presión :

$$\Delta P = (460 + 100) / 520 * 0.590 = 0.63 \text{ psi}$$

$$\text{Longitud del tubo} = 245.34 \text{ ft}$$

$$\text{Número de codos de } 90^\circ = 5$$

$$\text{Número de codos de } 45^\circ = 2$$

$$\text{Número de válvulas de compuerta convencionales} = 2$$

$$\text{Número de válvulas check} = 1$$

$$\Delta P_{245} = 0.63 \times 245.34 / 100 = 1.54 \text{ psi}$$

$$\rho = 62 \text{ lb/ft}^3, \text{ Tabla \# 6.}$$

$$\mu = 0.68 \text{ centipoise. Figura \# 18.}$$

$$Re = 50.6 \rho v / d \mu$$

$$Re = 50.6 * 450 * 62 / 6 * 0.68$$

$$= 346014$$

De la fig. # 16. obtenemos el valor del coeficiente fricción.

$$f = 0.0168$$

La caída de presión debido a estos factores será :

$$\Delta P_{100} = 0.0216 f (L Q^2 / d^5) = 0.59 \text{ psi}$$

Corrigiendo por temperatura :

$$0.59 * (460+100)/520 = 0.64 \text{ psi}$$

De la tabla # 4 obtenemos las longitudes equivalentes para codos, válvulas y accesorios.

$$(L/D) \text{ codos de } 90^\circ = 30 \times 5 = 150$$

$$(L/D) \text{ codos de } 45^\circ = 16 \times 2 = 32$$

$$(L/D) \text{ válvula comp. } 13 \times 2 = 26$$

$$(L/D) \text{ válvula check} = 135 = 135$$

$$\Sigma(L/D) = \frac{\quad}{\quad} = 343$$

$$L = 343 \times 6/12 = 171.50 \text{ ft}$$

$$\Delta P_{f1} = 0.63 * 171.50/100 = 1.08 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 1.54 + 1.57 + 1.08 = 4.19 \text{ psi.}$$

$$\text{long. equiv.} = 4.19 * 144/62 = 9.73 \text{ ft.}$$

$$L \text{ total} = 245.34 + 9.73 = 255.07 \text{ ft.}$$

$$h_1 = 0.1861 fLv^2/d - 12.7 * 144/62 \\ = - 26.17 \text{ ft.}$$

$$H = Z_2 - Z_1 + h_1 = 54.2 - 26.17 \\ = 28.03 \text{ ft.}$$

$$HP = Q * H * \rho / 247000 \quad p = 5.27$$

Seleccionamos una bomba idéntica a la anterior por facilidad de mantenimiento.

MODELO : 3LR impeller A

TAMANO : 5 x 3 x 9 pulg.

RPM : 1170 HP = 5

2.3.2.- CALCULO DE ROTAMETROS

La función de los rotámetros es alimentar de salmuera el evaporador, enfriar la sal que sale y controlar el tamaño de grano. Se va a utilizar un valor de producción de 60ton/24 horas.

$$60/0.2645 = 226.84 \text{ ton. de salmuera/día}$$

$$\text{Por cada evaporador } (226.84/3) * (2000/60 * 24) \\ = 105 \text{ lbs./min.}$$

$$= 10.55 \text{ gal./min. por evaporador}$$

Como al salir del evaporador la sal sale en una proporción del 50%, por lo que los controladores de nivel manejan 30 ton. de salmuera por día, por lo tanto:

$$(30 * 2000) / (3 * 60 * 24) = 13.89 \text{ lbs./min. por evaporador.}$$

$$(13.89 * 7.48) / (1.1972 * 62.19) = 1.40 \text{ Gpm.}$$

por evaporador.

Los filtrados que regresan al evaporador seran:

$$(2.632 * 2000) / (60 * 3 * 24) = 1.22 \text{ lbs./min. por evaporador.}$$

$$(1.22 * 7.48) / (1.1972 * 62.19) = 0.12 \text{ Gpm.}$$

$$\text{La capacidad} = 10.55 - 1.40 - 0.12 = 9.03 \text{ Gpm.}$$

Seleccionamos un rotámetro para un 25% más de su capacidad:

$$9.03 \times 1.25 = 11.29 \text{ Gpm.}$$

En los catálogos de selección de rotámetros (4) la capacidad mínima superior es de 15 Gpm. por lo que ese seleccionamos. Este rotámetro debe ser industrial y de acero inoxidable debido a la alta corrosión.

2.3.3.- SISTEMA DE LLENADO Y VACIADO.

El llenado y el vaciado de los evaporadores se lo realiza por medio de bombas y tuberías, para que la salmuera que esta en el evaporador durante una parada no sea devuelta a la piscina de decantación ya que esta es sobresaturada y para esto se ha consumido una cantidad de dinero. Tanto la llenada como la vaciada se la realiza por la parte de abajo, el tiempo de llenado y vaciado será escogido de tal manera que no salgan bombas muy grandes ni se pierda mucho tiempo de producción. Para este tipo de Plantas el tiempo que se utiliza es de 3/4 de hora, la capacidad de los evaporadores a sus niveles normales es de 9000 galones. Para poder depositar la salmuera que sale del evaporador se utiliza un tanque vertical de 10000 galones para ahorrar espacio, teniendo un diámetro de 10 ft.

$$\phi = 10 \text{ ft.}$$

$$V = 10.000 \text{ galones} = 1337 \text{ ft}^3.$$

$$V = \pi D^2/4 * h = 1337 = \pi (10)^2/4 * h$$

$$h = 14.48 \text{ ft} \approx 15 \text{ ft.}$$

$$P(\text{fondo}) = 14.7 + gh = 2116.8 + 1116.8 \\ = 3233.6 \text{ lb/ft}^2 = 22.45 \text{ psi.}$$

$$e = Pr / (FE - 0.6P), \quad (5) \quad \text{por lo tanto}$$

$$e = (22.45 * 60) / (13700 * 0.7 - 0.6 * 22.45) \\ = 0.1406 \text{ pulg.} \approx 1/8 \text{ pulg.}$$

De las tablas de (6), obtenemos γ y E para ASTM A-36.

Como el efecto de la corrosión es muy alto hemos considerado un incremento de un 100% en el espesor por lo que el espesor del tanque sería: 1/4 pulg.

Para calcular las bombas y tuberías de este sistema tenemos:

$$Q = 9000 / (0.75 * 60) = 200 \text{ Gpm.}$$

Tomando velocidad promedio entre 4 y 7 ft/seg:

$$d^2 = 0.408 Q/v = 0.408 * (200/6) \\ = 13.6 \text{ ft}^2$$

De las tablas 13,14 obtenemos un diámetro de 4 pulg. y una velocidad de 5.04 ft/seg, la cual está dentro del rango de velocidad. Calculemos para la succión : ver fig.# 7.

$$h_v = v^2/2g = (5.04)^2/(64.4) = 0.394 \text{ ft.}$$

Las long. equivalentes son: (ver tabla 4)

$$(L/D) \text{ válvula de compuerta} = 13L = 13*4/12 \\ = 4.33 \text{ ft.}$$

$$Re = (50.6*73.3*200)/(4*1.3) = 142653$$

De la tabla # 16 obtenemos:

$$f = 0.0192$$

$$L_t = 4.33 + 3 = 7.33$$

$$h_f = 0.1861 * f * L * v^2/d \\ = 0.1861 * (0.0192*73.3*5.04^2)/4 \\ = 1.66 \text{ ft.}$$

$$h_s = 0 - 7.5 + 0.394 + 1.66 = - 5.44 \text{ ft.}$$

El cabezal para la descarga será:

Los evaporadores se llenan de uno en uno y solo por la válvula que esta en la pierna elutriadora por lo que calculando la bomba para el llenado del tercer efecto nos da para todos los efectos por lo tanto:

$$h_v = v^2/2g = 0.394 \text{ ft.}$$

Las long. equiv. serán : (ver tabla #4)

$$(L/D) \text{ codos de } 90^\circ = 30*5 = 150$$

$$(L/D) \text{ codos de } 45^\circ = 2*16 = 32$$

$$(L/D) \text{ valv. de comp.} = 2*13 = 26$$

$$(L/D) \text{ valv. cheque} = 135*1 = 135$$

$$\Sigma (L/D) = 343$$

$$L = 343*4/12 = 114.33 \text{ ft.}$$

$$L_t = 114.33 + 51.27 = 165.6 \text{ ft.}$$

$$h_f = 0.1861 f L v^2 / d = 3.76 \text{ ft.}$$

$$h_D = 38.49 - 0 + 3.76 + 0.394 = 42.64 \text{ ft.}$$

$$H = h_s + h_D = -5.44 + 42.64 = 37.2 \text{ ft.}$$

$$H_p = Q \rho H / (247000 p)$$

$$= (200 * 73.3 * 37.2) / (247000 * 0.71)$$

$$= 3.11 \text{ HP.}$$

De (3) seleccionamos la bomba:

Módulo : D-800

Tamaño : 2 1/2" x 2 1/2" x 4"

RPM. : 3530 3 HP.

La curva característica de esta bomba la podemos ver en la figura # 15.

CAPITULO 3

SELECCION DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO, FILTRADO, TRANSPORTE, YODATACION Y EMBOLSADO DE SAL.

3.1.-SELECCION DE BOMBAS Y TUBERIAS

Esta parte del presente capítulo vamos ha seleccionar una bomba y su tubería correspondiente para los sistemas mas importantes que fueron enumerados en el capítulo 1, y los cuales forman parte de esta planta. Para esto vamos ha utilizar los siguientes datos (7):

- 1.- Tabla # 13 - Selección del diámetro.
- 2.- Selección de la velocidad entre 4 y 7 ft/seg.
- 3.- Toda la tubería es de acero comercial SCH 40.
- 4.- Tabla # 4 - Selección de long. equivalentes
- 5.- Fig. # 16 - Selección de coef. de fricción
- 6.- Fig. # 17 - Selección del coef. K para reducciones.
- 7.- Número de Reynolds = $50.6 \times Q \times \text{densidad} / dx$.
- 8.- $d^2 = 0.408 \times Q / v$.
- 9.- $h_v = v^2 / 2g$.
- 10.- $P_f = 0.0216 \times f \times L \times Q^2 / d^5$
- 11.- $h_f = 0.1861 \times f \times L \times v^2 / d$
- 12.- $H_p = Q \times \rho \times H / 247000 \epsilon_p$
- 13.- $H = \text{Cabezal total} = H_D + H_s$

3.1.1.- SISTEMA DE DISOLUCION Y DECANTACION.

La cantidad de salmuera que se utiliza para producir 60 ton. de sal por día son 226.84 ton., eso quiere decir que debemos estar bombeando constantemente:

$$226.84/24*2000/60*(7.48/73.3)=31.65 \text{ Gpm}$$

Como podemos ver esta es una bomba muy pequeña por lo que es preferible hacer tres bombeos durante 24 horas, cada uno de 2 horas .

La temperatura de la salmuera está a 80°F .

$$(226.84/3*1.5)*(2000/60)*(7.48/73.3) =$$

$$168.81 \text{ Gpm.}$$

Esto lo podemos hacer con una bomba de 150 Gpm, por lo tanto;

$$Q = 150 \text{ Gpm}$$

$$v = 6 \text{ ft/seg.}$$

$$d^2 = 0.408 Q/v = 0.408* 150/6 = 10.2 \text{ plg}^2$$

De la tabla # 13,14 tenemos un diámetro de 3 pulgadas con una velocidad de 6.51 ft/seg y una caída de presión de 2.24 psi/100ft.

Observando la figura # 6. vemos que hay dos descargas, pero en producción solo se bombea al tanque de salmuera y al otro tanque solo se bombea cuando se va a iniciar la producción . Cuando tenemos un

problema en el tanque grande se puede hacer un by-pass por este tanque y no parar la producción .

Número de codos (90°) en la línea = 6

Número de válvulas de compuerta = 3

Número de válvulas check = 1

Longitud de la tubería = 67.5 ft

$$\Delta P_{67} = 67.5 * 2.24 / 100 = 1.51 \text{ psi}$$

Corrigiendo por temperatura

$$\Delta P_{67} = (460+80) / 520 * 1.51 = 1.57 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 50.6 \text{ Q} * \rho / d * \mu = 50.6 * 150 * 73.3 / 3 * 130 \\ &= 144898.68. \end{aligned}$$

$$f = 0.02 \text{ (figura \# 16)}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{100} &= 0.0216 f L^3 * Q / d \\ &= 0.0216 * 0.02 * 73.3 * 150 / 3 = 2.93 \text{ psi} \end{aligned}$$

Corrigiendo por temperatura :

$$\Delta P_{67} = (460+80) / 520 * 2.24 * 67.5 / 100 = 1.57 \text{ psi}$$

Las longitudes equivalentes para codos y válvulas son:

$$(L/D) \text{ codos de } 90^\circ = 16 * 3 = 48$$

$$(L/D) \text{ valv. de comp.} = 3 * 13 = 39$$

$$(L/D) \text{ valv. cheque} = 135 * 1 = 135$$

$$\Sigma (L/D) = 222$$

$$L = 222 * 3 / 12 = 55.5 \text{ ft.}$$

Corrigiendo por temperatura :

$$(460+80) / 520 * 2.93 * 55.5 / 100 = 1.29 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{total} = 1.56 + 1.57 + 1.29 = 4.42$$

$$L = 144 * 4.42 / 73.3 = 8.68 \text{ ft.}$$

$$L_t = 89.5 + 8.48 = 98.18$$

$$h_f = 0.1863 f L v^2 / d = 5.05 \text{ ft.}$$

$$H = 26 - 0 + 5.05 = 31.05 \text{ ft.}$$

$$H_p = Q \rho H / (247000 \epsilon_p)$$

$$= (150 * 73.3 * 31.05) / (247000 * 0.6)$$

$$= 2.3 \approx 3 \text{ HP.}$$

De (3) seleccionamos la bomba:

Modelo: D-800

Tamaño: 3 x 3 x 4

RPM: 3550

Hp: 3.

La curva característica para esta bomba la podemos ver en la figura # 15.

3.1.2.- SISTEMA DE AGUA POTABLE

Este sistema alimenta varios puntos por lo cual el caudal total es la suma de los caudales parciales por lo tanto :

Para la pila de decantación :

$$Q_{decantación} = Q_{necesaria} - Q_{3^\circ \text{ efecto.}}$$

$$= 31.65 - 6.85 = 24.79 \approx 25 \text{ Gpm}$$

El cálculo del make-up para la caldera es el 3% del volumen total de vapor por lo que siendo la caldera de 13800 lb/hr. tenemos :

$$13800 * 0.03 / 60 = 6.9 \quad 7 \text{ Gpm.}$$

Para el filtro tenemos que el agua de limpieza es la que puede pasar por 10 toberas cada una manejando 2 Gpm.

$$10 * 2 = 20 \text{ Gpm.}$$

El make-up para la pila de enfriamiento de condensado se considera el 1.2% del agua total en recirculación por lo tanto:

$$450 * 0.012 = 5.4 \text{ Gpm} \approx 6 \text{ Gpm}$$

La suma total de los galones necesitados es 68 Gpm. Ver figura # 8.

Los cálculos para la succión serán:

$$h_s = v^2/2g = 6.49 / 2 * 32.2 = 0.654 \text{ ft}$$

$$(L/D) \text{ codos de } 90^\circ = 30 * 3 = 90$$

$$(L/D) \text{ valv. de comp.} = 1 * 13 = 13$$

$$\Sigma(L/D) = 103$$

$$L = 103 * 2/12 = 17.16 \text{ ft.}$$

$$\text{Re} = 50.6 * Q * \rho / d * \mu$$

$$= 125872$$

$$f = 0.0305 \text{ (figura 16)}$$

$$L_t = 21.25 + 17.16 = 38.41 \text{ ft.}$$

$$h_f = 0.1863 f L v^2 / d = 4.57 \text{ ft.}$$

$$h_s = 4.57 + 0 - 20 + 0.654 = -14.77 \text{ ft.}$$

Para la descarga de la tabla # 1 tenemos:

$$H_D = 70.66 + 3.68 = 74.34 \text{ ft}$$

Por lo tanto el cabezal total será :

$$H = h_s + h_D = -14.77 + 74.34 = 59.57 \text{ ft.}$$

$$H_p = Q \rho H / (247000 \epsilon_p) \\ = 1.44 \approx 2 \text{ HP.}$$

De (3) seleccionamos la bomba:

Modelo: D-520

Tamaño: 1 1/2 * 1 * 4

RPM: 3500 HP: 2

La curva característica para esta bomba la podemos ver en la figura # 15.

3.1.3.- SISTEMA DE FILTRADOS. *NO*

La cantidad de filtrados a mover será igual

$$a: \quad Q = 20 + 4.86 = 24.86 \approx 25 \text{ Gpm}$$

Lo cual vamos a considerar que se va a repartir por partes iguales en cada evaporador por lo tanto:

$$25/3 = 8.33 \text{ GPM}$$

En este sistema la salmuera va al evaporador o a la pila de decantación, nunca trabajan los dos sistemas juntos por lo que vamos a calcular la bomba para el sistema de mayor cabezal el cual es la alimentación a los evaporadores.

De la figura # 9. tenemos:

$$\Delta P_1 = 73.3 * 38.44 / 144 = 19.59 \text{ psi}$$

$$\Delta P_2 = (72.54 * 38.44) / 144 - 4.91 = 14.48 \text{ psi}$$

$$\Delta P_3 = (71.74 * 38.49) / 144 - 13.75 = 5.42 \text{ psi}$$

El cabezal en la succión será:

$$h_v = v^2 / 2g = (5.36)^2 / 2 * 32.2 = 0.45 \text{ ft}$$

La longitud equivalente (ver tabla # 4),
debido a codos, válvulas será:

$$(L/D) \text{ válvula compuerta} = 13$$

$$L \text{ equivalente} = 13 * 1.25 / 12 = 1.35 \text{ ft}$$

$$L_t = 1.35 + 3 = 0.45 \text{ ft}$$

$$Re = 57061$$

$$f = 0.0243$$

$$h_f = 1.66 \text{ ft}$$

$$h_s = 0 - 4 + 0.45 + 0.45 = - 3.1 \text{ ft}$$

Para la descarga tenemos,

Todos los valores estan tabulados en la
tabla # 2.

$$h_D = 38.49 - 0 + 2.72 + 41.64 = 82.85 \text{ ft.}$$

$$H = 82.85 - 3.1 = 79.75 \text{ ft}$$

$$HP = 25 * 79.75 * 73.3 / 247000 * 0.7 = 0.85 \text{ HP}$$

$$\approx 1 \text{ HP}$$

De (3) seleccionamos la bomba:

Modelo: D-512

Tamaño: 1 1/4" X 1" X 4"

RPM : 3550 HP : 1.5

La curva característica para esta bomba la
podemos ver en la figura # 15.

3.1.4.- SISTEMA DE ALIMENTACION A EVAPORADORES

$$Q(\text{rotametros}) = 11.29 * 3 = 36.87 \text{ GPM}$$

$$Q(\text{tanque lavado}) = 7 \text{ GPM}$$

$$Q(\text{total}) = 43.89 \approx 45 \text{ GPM} \quad d = 2"$$

Para la succión tenemos: Ver figura # 19.

$$v = 4.59 \text{ ft/seg} \quad h_v = v^2/2g = 0.28 \text{ ft}$$

Las longitudes equivalentes para codos, compuertas serán:

$$(L/D) \text{ válvula de compuerta} = 13$$

$$L = 13 * 2/12 = 2.16 \text{ ft}$$

$$L(\text{total}) = 2.16 + 2 = 4.16 \text{ ft}$$

$$h_L = 0.66 \text{ ft}$$

$$h_s = 0.66 + 0.28 + 0 - 15 = -14.06 \text{ ft}$$

Para la descarga tenemos:

Los valores están tabulados en la tabla # 3.

$$h_f = 70.73 + 35.49 + 2.12 = 111.34 \text{ ft}$$

$$H = 11.34 - 14.06 = 97.28 \text{ ft}$$

$$HP = 92.78 * 45 * 73.3 / 247000 * 0.51 = 2.54 \text{ HP}$$

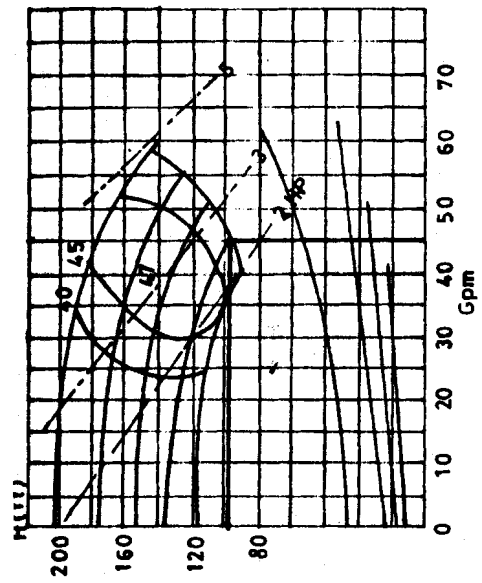
De (3) seleccionamos la bomba:

Modelo: D-800

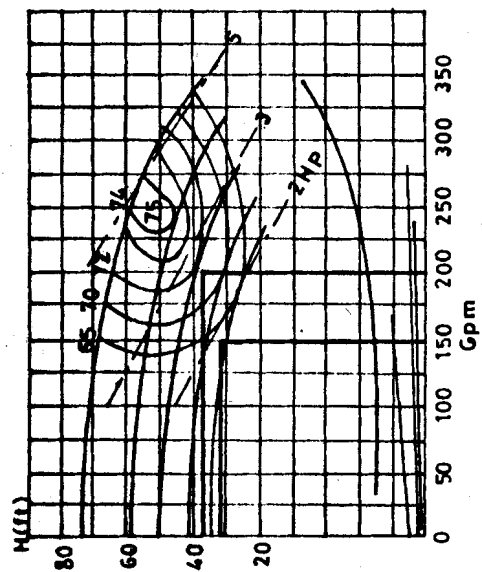
Tamaño: 1 1/2" x 1" x 6"

RPM: 3530 HP : 3

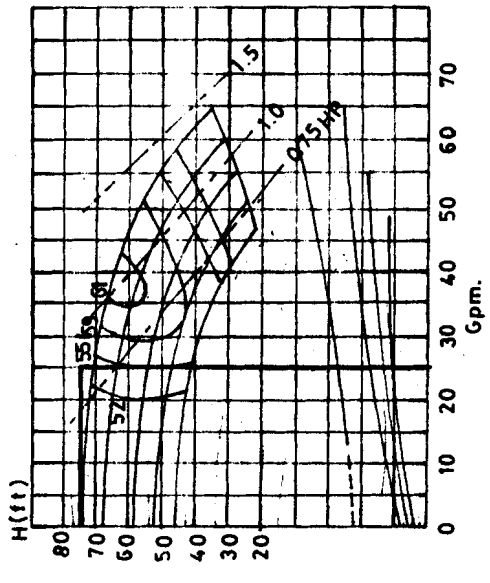
La caída de presión a través del rotámetro esta entre 30 y 3" de H₂O según (4).



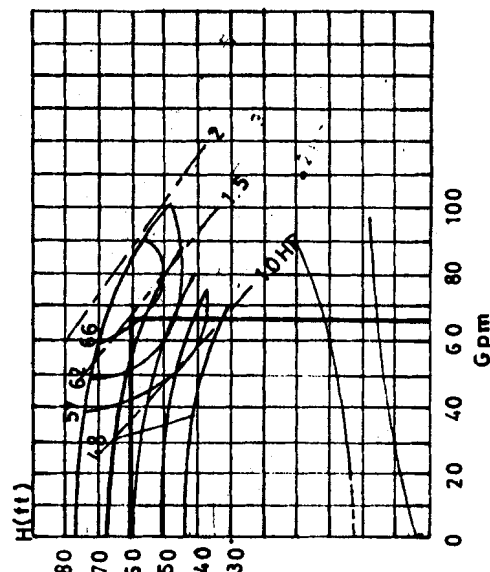
Bomba D-800



Bomba D-800



Bomba D-500



Bomba D-500

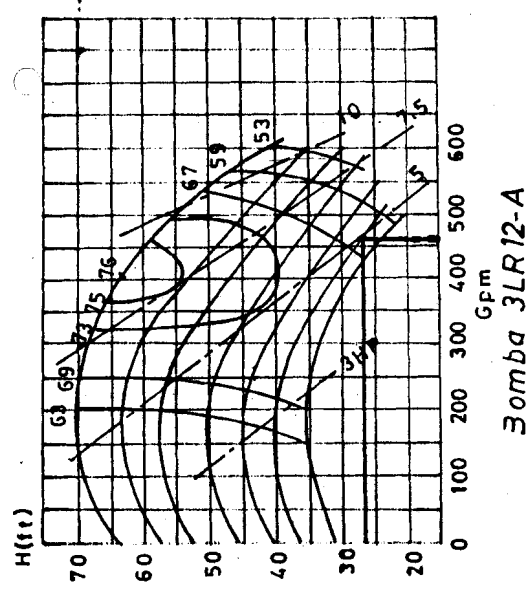


Fig. 15 Curvas características de bombas.

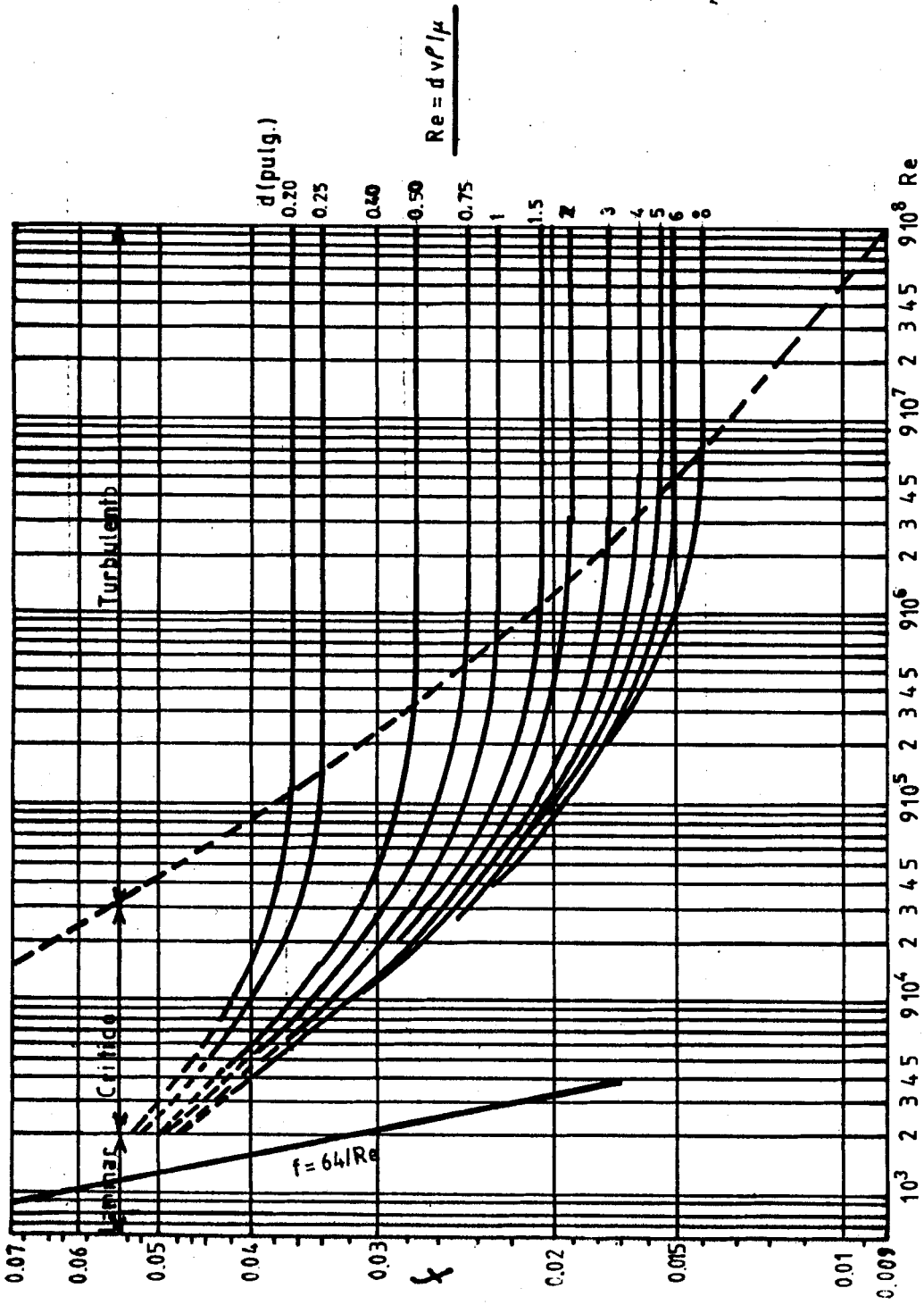


Fig. 16 Diagrama de Moody

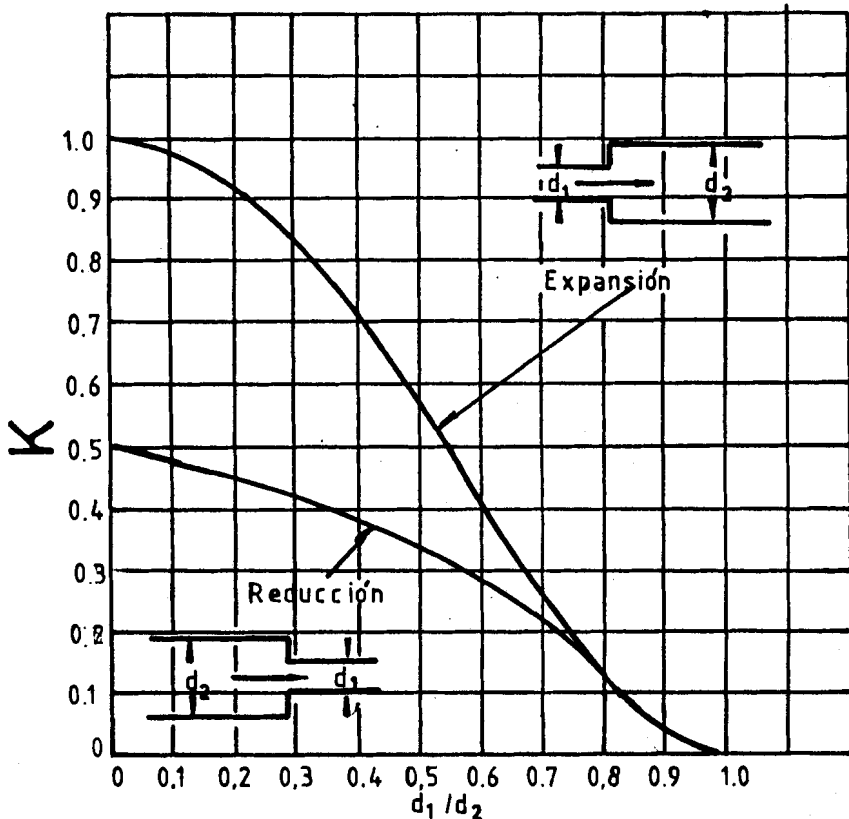


Fig. 17 coeficiente de resistencia

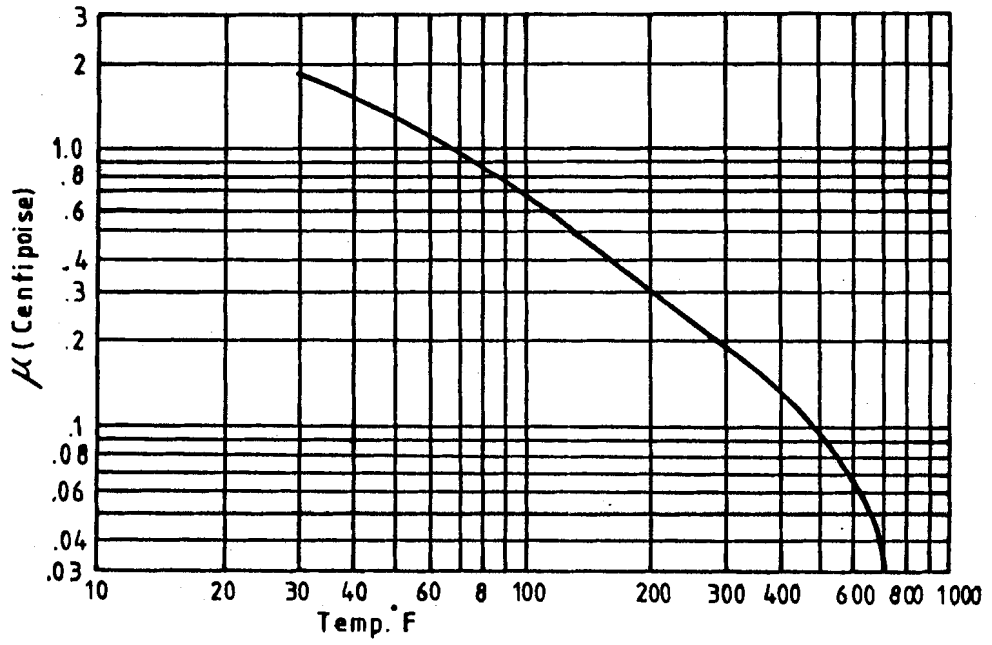


Fig. 18 viscosidad del agua

Asumiendo $30''$ de $H_2O=1.08$ psi = 2.12 ft.

La curva característica de esta bomba la podemos observar en la figura # 15.

3.2.-SELECCION DEL SISTEMA DE FILTRADO Y SECADO.

Como la sal sale del evaporador con 50% de agua, debe de haber una separación por lo que se utilizan varios métodos:

- 1.- Centrifugación y secador rotativo
- 2.- Desaguado con secador rotativo
- 3.- Filtro-secador

El sistema que se ha utilizado en esta Planta es un filtro secador, el cual es un sistema que filtra la sal hasta un 2.5% de humedad relativa, luego el secador incorporado evapora agua hasta tener una humedad relativa entre 0.1 y 0.5% .

La evaporación del agua en la sal se la hace por medio de un flujo de aire pasando a través de ella con una temperatura próxima a los $325^{\circ}F$, ya que la temperatura de la sal no debe exceder de los $250^{\circ}F$ y no debe ser menor de los $220^{\circ}F$, esto se debe a que a mas de $250^{\circ}F$ el grano de sal se rompe en granos muy pequeños debido al recalentamiento, y a menos de $220^{\circ}F$ la sal no alcanza la humedad relativa apropiada.

La sal que sale del evaporador alcanza los $120^{\circ}F$ con una humedad relativa de un 5%. Todo este sistema

esta formado por un filtro con secador incorporado, una bomba de vacío, un tanque de vacío y un tanque de filtrados que sirve de sello para el tanque de vacío, para no permitir entradas de aire (fig.# 4). La capacidad del filtro la determinamos de la siguiente manera:

$$\text{RPM(máximo)} = 2.5$$

$$\text{Tamaño} = 2' \text{ de ancho} \times 3' \text{ de diámetro}$$

$$\text{Area de filtrado} = 18.85 \text{ ft}^2$$

$$\text{Espesor normal del cake} = 1/2" \text{ a } 3/4"$$

$$\text{Peso de la sal} = 70 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Capacidad máx.} = 18.85[(3/4)/12]*2.5*70$$

$$= 206.17 \text{ lb/min}$$

$$= 206.17*60/2000*23=142.26\text{ton/día}$$

Se utilizan solo 23 horas/día de trabajo debido a que al filtro cada 4 a 6 horas hay que hacerle un lavado de la malla, el cual demora entre 10 y 15 minutos. Como nosotros solo vamos a filtrar una capacidad máxima de 60 toneladas escogiendo un espesor de cake de 1/2" las revoluciones en el filtro serán:

$$\text{RPM} = (60*2000) / (18.85 * [(1/2) / 12] * 70 * 60 * 23)$$

$$= 1.57 \text{ RPM}$$

La cantidad de aire caliente para secar la sal es:

$$Q(\text{sal}) = m \text{ cp } \Delta T = 5217.39 * 0.21(230-120)$$

$$= 120521.71 \text{ BTU/hr}$$

El tipo de calentadores usado es un juego de radiadores a los cuales les vamos a calcular el área de transferencia:

La temperatura de salida del aire de los calentadores es 325 °F. Esta es medida en sitio:

$$Q(\text{aire}) = Q(\text{sal}) + \text{pérdidas}$$

$$Q(\text{aire}) = 1.1 Q(\text{sal})$$

$$Q(\text{aire}) = 1.1 * 120521.71 = 132573.88 \text{ BTU/hr}$$

$$Q(\text{aire}) = m \text{ cp } \Delta T$$

$$T(\text{aire entra}) = 325 \text{ °F}$$

$$T(\text{aire sale}) = 275 \text{ °F}$$

$$132573.88 = m (0.241) * (325 - 275)$$

$$m = 11001.98 \text{ lb/hr}$$

$$m = 2398.43 \text{ CFM}$$

$$\text{HP} = 144 * \text{CFM} * (P2 - P1) / 33000$$

$$P2 - P1 = 0.5 \text{ psi}$$

$$\text{HP} = 144 * 2398.43 * 0.5 / 33000 = 5.23 \text{ HP ventilador}$$

La bomba de vacío tendrá que extraer esa cantidad de aire más un 20% aproximadamente por entrada externa de aire debido a huecos no tapados por sal en el filtro antes de entrar a la parte caliente y por empaquetaduras y sellos por lo tanto:

$$m(\text{vacío}) = 2398.43 * 1.20 = 2878.11 \text{ CFM}$$

De la figura # 23. obtenida de (8) tenemos:

$$\text{HP} = 0.8 * 2878.11 / 100 = 23.02 \approx 25 \text{ HP}$$

La cantidad de vapor necesaria para calentar el aire

será:

$$Q(\text{vapor}) = mv \quad h$$

$$Q(\text{vapor}) = Q(\text{aire}) + \text{pérdidas}$$

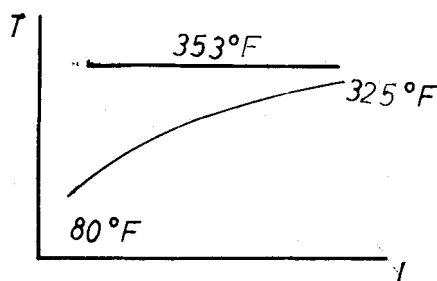
$$= 1.1 * 132573.88 = 145831.27 \text{ BTU/hr}$$

$$145831.27 = mv (868.7)$$

$$mv = 167 \text{ lb/hr}$$

U 4-10 BTU/°F lb-ft², (9) escogiendo 4 para que el área sea mucho mas grande tenemos:

$$145831.27 = U A \Delta T$$



$$\Delta T = \{[(357-80) - (353-325)] / \ln [(353-80) / (353-325)]\}$$

$$\Delta T = 107.58 \text{ °F}$$

$$A = 145831.27 / 4 * 107.58 = 338.89 \text{ ft}^2$$

3.3.-SELECCION DE SINFINES TRANSPORTADORES Y MEZCLADORES.

En esta Planta hay 4 sinfines de los cuales uno es mezclador debido a que aquí es donde se aplica el yodo impermeabilizante y minerales a la sal para ganarlo, la función de los sinfines son (fig # 10):

1.- SC # 1. Este es el que transporta la sal que sale del filtro para descargarla en el elevador #1. Este sinfin es reversible debido a que si la sal está saliendo demasiado húmeda se cambia el sentido

de transporte y descarga en el SC # 4. La longitud de este transportador es de 14 ft y transporta 60 toneladas de sal a 230°F durante 23 hr/día.

2.- SC # 2. Este es el que se encarga de llenar las tolvas con producto terminado, cuando están llenas las primeras y las segundas se encargan de llenar las terceras. Este sinfín transporta 60 toneladas de sal a 230°F durante 23 hr/día, tiene 13 ft de longitud.

3.- SC # 3. Este es el sinfín mezclador, a él descargan las tolvas y a su vez él descarga al elevador #2. En él se efectúa la yodatación, impermeabilización y mezclado de minerales. Transporta 60 toneladas de sal a 120°F durante 24 hr/día tiene una longitud de 18 ft.

4.- SC # 4. Este sinfín se encarga de regresar la sal húmeda al tanque de lechada o licor para luego volver a recircular esta sal. Este trabaja más que todo cuando se inicia la producción en el filtro, ya que por este pasa bastante sal húmeda hasta calibrar el filtro. Este sinfín debe ser capaz de devolver 60 ton. de sal durante 24 hr/día. Su longitud es de 12 pies y está inclinado un ángulo de 30°.

Para realizar los cálculos de todos estos sinfines vamos a utilizar el catálogo de la compañía Link-Belt Screw Conveyor and Screw Feeder y estos se

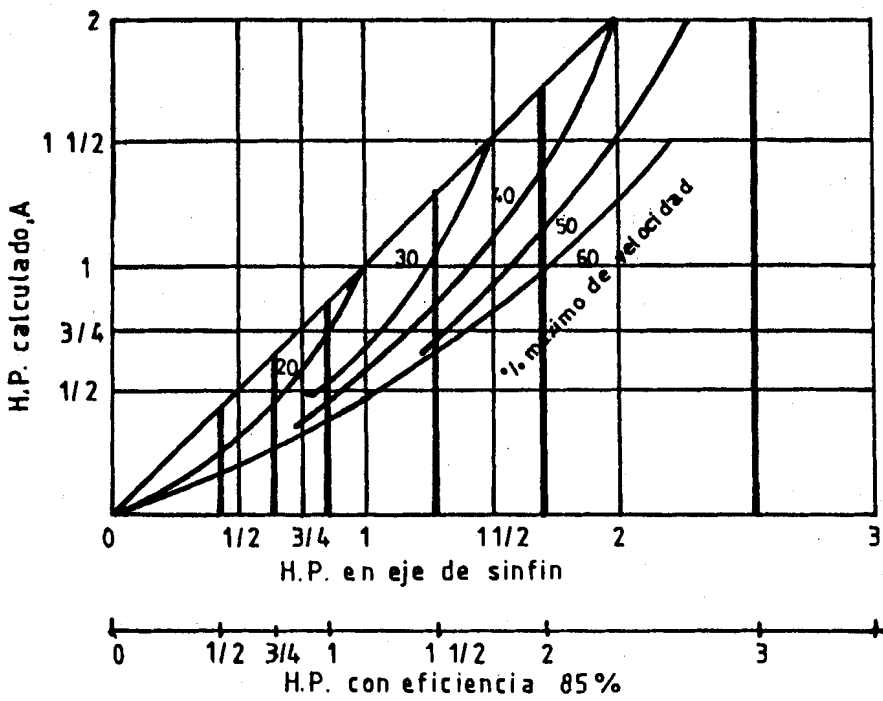


Fig 20 Grafico para calculo H.P. motor

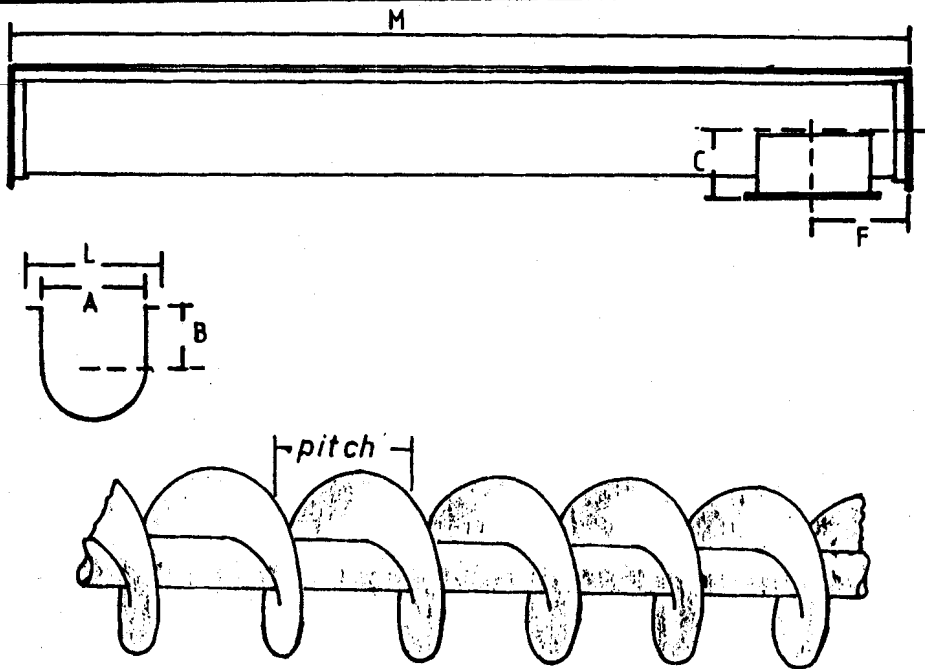


Fig. 21 Partes de un sinfin

pueden ver en la tabla # 15.

3.3.1.- SELECCION DE SC #1, SC #2, SC #3

Capacidad = 60 ton/24 hr

Longitud = 14 ft

Material = sal común fina 70 lb/pie³

Terrones, muy pocos, aproximadamente 3/4 pulg

RPM = $74.53/1.5 = 49.60$ 50 RPM.

% de velocidad = $50/60 * 100 = 83.33$

$A = 74.53 * 14 * 180/1'000,000 = 83.33$

Hp = Hp con una eficiencia del 85 % del motor tenemos : $H_0 = 3/4 Hp$.

Para el SC # 3 como es mezclador las condiciones de diseño son las mismas, lo único que cambia es que en vez de ser una sola helicoidal son paletas que están dispuestas en la forma helicoidal o también puede ser una helicoide con cortes doblados hacia atrás.

3.3.2.- SELECCION DEL SC # 4.

De (10) tenemos que un sinfín inclinando pierde capacidad de acuerdo a la inclinación, para nuestro caso inclinado 30° pierde 70% de su capacidad. Este sinfín es de la misma capacidad de los anteriores, lo único que se le debe adicionar un 70% por la inclinación , lo que nos da :

$$3/4 * 1.70 = 1.27 \text{ Hp} \quad 1.5 \text{ Hp.}$$

El caballaje del SC # 4 es de 1.5 Hp.

3.4.-SELECCION DE LOS ELEVADORES.

En esta planta existen dos elevadores de descarga centrífuga los cuales cumplen las sgtes. funciones:
Ver figura # 10.

1.- Elevador # 1. Eleva la sal esta el nivel de tolvas para que estas sean llenadas por la parte de arriba,este recibe material del SC #1 y descarga en el SC # 2. Su distancia entre ejes es de 28.75 ft.

2.- Elevador #2. Cuando la sal se enfria en las tolvas esta es descargada al SC #3 luego hay que elevar esta sal hasta el nivel de las tolvas de las máquinas embasadoras,este elevador cumple esta función. Su distancia entre ejes es de 28.75 ft Como sabemos ambos elevadores manejan la misma capacidad y su altura es igual es decir ambos elevadores son iguales por lo tanto :

Material manejado = sal

Peso = 70 lb/ft³

Capacidad = 2.6 ton/hr

Máximo tamaño de terrón = 3/4 pulgadas

Longitud entre centros = 28.75 ft

Horas de servicio = 24

Condiciones de operación = expuestos al ambiente.

Para todos estos cálculos se ha utilizado el

catálogo de la compañía WEBSTER BUCKET ELEVATOR AND COMPONENTS.

Este nos dice que para este material, el tipo de elevador a ser escogido puede ser B,C,D, escogiendo nosotros el tipo B.

Las especificaciones para este elevador son:

BB-6420, tamaño de canguilón 6x4 pulgadas y 10.4 ton/hr.

El ancho de la banda = 7 pulgadas y de 4 pliegues, con un espacio entre canguilones de 13 pulgada .

Para BB-6420 diámetro de la polea superior= 20 pulg.

RPM = 43 y número de caja = 1236.

Diámetro de la polea inferior = 16 pulg.

Diámetro del eje de la polea = 1 7/16 de pulg.

Velocidad de la banda en ft/min = 225.

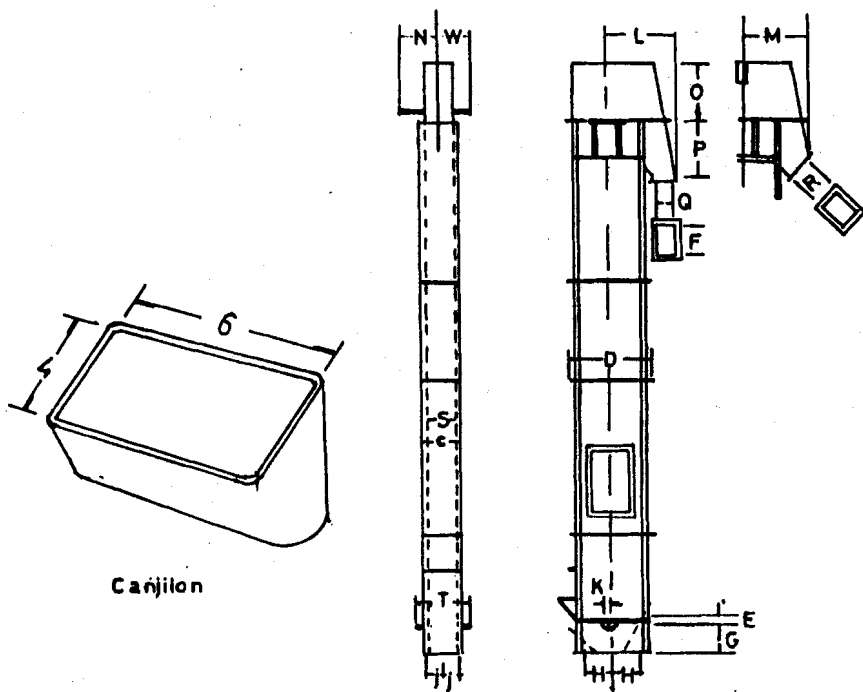
Para BB-6420 y 70 lb/ft³ con un diámetro de eje en la polea superior de 1 15/16 pulg. La máxima distancia de centro a centro es 80 ft y tenemos que por cada pie de longitud entre centros necesitamos 0.014 Hp, con un caballaje final de 0.29 Hp.

Las dimensiones de este elevador serán :

Con el número de caja 1236 tenemos que es de 11 3/4" x 36".

Seleccionamos los canguilones del tipo A que son 6"x4"x 1/4" con una capacidad de 0.03 ft³.

Ver figura # 22, para otras dimensiones.



C	D	E	F	G	H	J	K	L
16	40 VA	8	11 3/4	14	16 1/4	8	2 1/4	34

M	N	O	P	Q	R	S	T	W
32 1/2	13 1/2	28 1/2	27 1/2	10	11 1/2	11 3/4	2 8	12 1/8

Fig. 22 Medida de elevadores

3.5.-SISTEMA DE YODATACION

Este sistema como su nombre lo indica nos suministra el yodo necesario para que la sal sea apta para el consumo humano. La mezcla de yodatación es:

Agua (55 galones)	411.4 lbs.
Bicarbonato de sodio	49.5 lbs.
Dextrosa	396.0 lbs.
Yoduro de potasio	99.0 lbs.

Según las normas Hondureñas se debe usar 0.01 lbs. de yoduro de potasio por libra de sal por lo tanto:

$$60 * 2000 / (24 * 60) = 83.33 \text{ lbs. sal/min.}$$

Utilizando 0.022 lbs. de mezcla por libra de sal obtenemos:

$$83.33 * 0.022 = 1.833 \text{ lbs. de mezcla/min.}$$

Como la mezcla esta disuelta en 55 galones de agua se forman 55 galones de mezcla por lo tanto:

$$1.833 / 55 = 0.033 \text{ galones de mezcla/min.}$$

Esta es la capacidad a la que se seleccionaron tanto las toberas, rotámetros y válvulas de aguja.

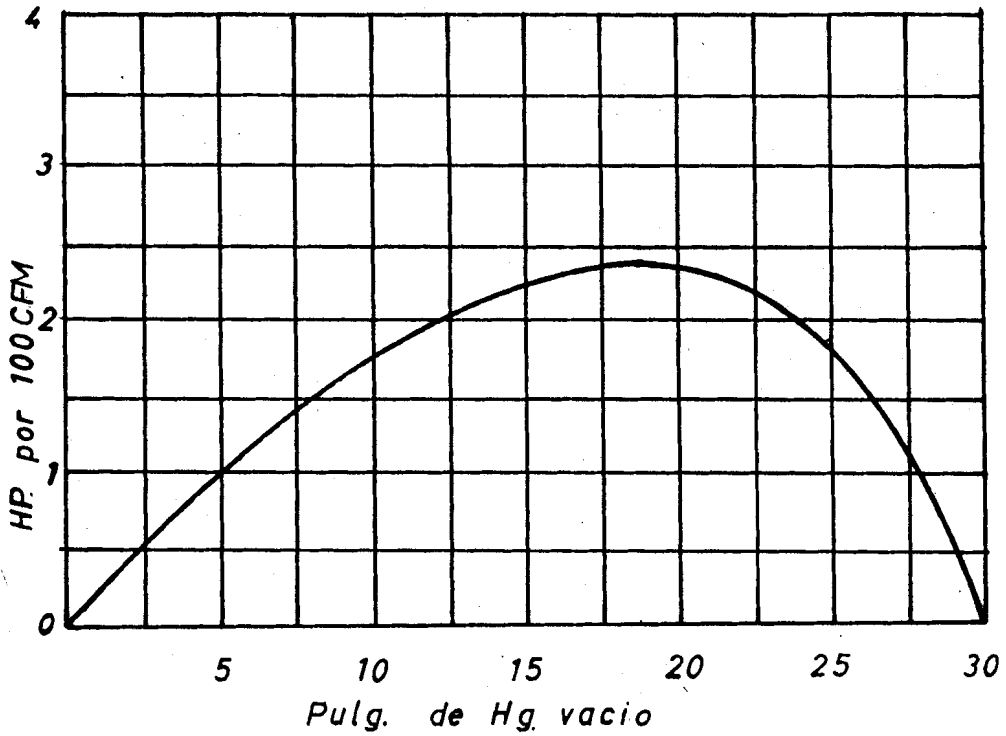


Fig. 23 Grafico para Hp bomba de vacío

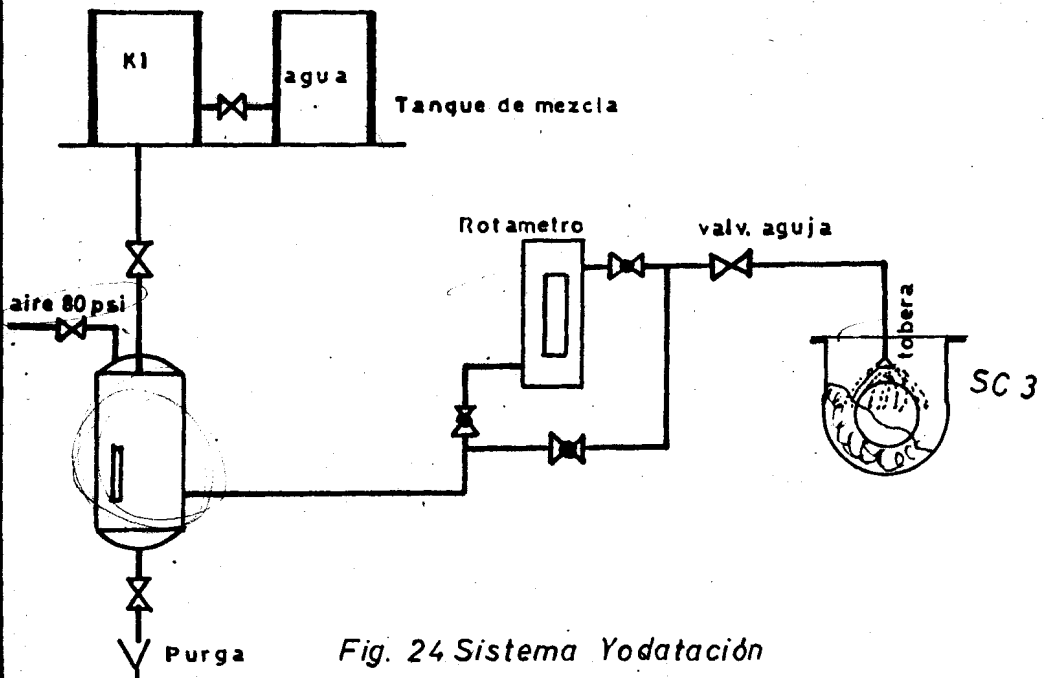


Fig. 24 Sistema Yodación

3.6.-INSTRUMENTACION.

La instrumentación en esta planta se diseño solicitando directamente a la Foxboro (Seccional Costa Rica) la selección de todo el equipo y este consistia en:

- 1.- Manómetros de 2 " y 6 " de carátula con rangos entre 30" de Hg y 50 psi.
- 2.- Termómetros de 8 " de largo con termopozo y rangos entre 100 y 360 grados fahrenheit.
- 3.- Sistema de medición de flujo de vapor con graficador hasta 12000 lbs./hr de vapor.
- 4.- Sistema de control de nivel de evaporadores el cual incluía d/p cell, válvulas neumáticas con posicionador y controlador de 0 a 100%.
- 5.- Sistema controlador-graficador de vacio en el condensador barométrico, con un rango de 0 a 30 pulgadas de mercurio.
- 6.- Control de nivel de tanque de filtrados con posicionador y controlador para válvula neumática.
- 7.- Timer para el purgado de la sal de los evaporadores teniendo un rango de 1-15 minutos.
- 8.- Control de alto y bajo nivel de tolvas con alarma y luz indicadora.

Estos fueron los equipos los cuales se seleccionaron, supervisando el montaje de estos y la puesta en marcha la Foxboro.

* 3.7.-SELECCION DE LAS MAQUINAS DE EMBOLSADO.

Después de haber realizado un análisis de mercado se determinó que los dos tipos de empaquetado que se utilizan son en 100 lbs para la industria y en funditas de 1 y 1/2 lb. Se concluyó también que el 30% de la producción total lo consume la industria y el 70% se lo consume en bolsitas para uso casero.

Para los primeros años de producción la demanda es mucho menor a la capacidad total pero vamos a calcular la máquinas como si la planta desde un principio entrara en producción total.

Producción total anual = $60 \times 300 = 18,000$ ton/año

Debido a que los dos primeros días de producción no se puede empaquetar porque la sal esta demasiado caliente, cuando se para la planta semanalmente se deja suficiente sal en las tolvas para que se embalse todos los días de la semana, por lo que el embalse se hace en año de 360 días.

$$18,000/360 = 50 \text{ ton/día}$$

$$50 \times 0.3 = 15 \text{ ton/día en qq}$$

$$50 \times 0.7 = 35 \text{ ton/día en bolsas de 1 y 1/2 libra}$$

Analizaremos la máquina empaquetadora de quintales:

$$15 \times 20 = 300 \text{ qq/día}$$

$$300/24 = 12.5 \text{ qq/hr.}$$

Estas máquinas son fácilmente operables y no se necesita mantenimiento durante su operación por eso

utilizamos 24 hr/día lo que nos da 12.50 qq/hr.

$$12.5/60 = 1 \text{ qq/min.}$$

Las máquinas embolsadoras de este tipo están en el mercado en capacidades de aproximadamente 3 qq/min o más dependiendo de la destreza del operador.

Necesitamos una máquina trabajando solo 2 hrs/día.

Analizando el empaquetado en bolsas de 1/2 y 1 libra tenemos : $35 \times 2000 = 70,000 \text{ lbs.}$

Del análisis del mercado deducimos que el consumo de paquetes de 1 lb es aproximadamente el 20 % del embolsado total por lo tanto :

$$70,000 \times 0.2 = 14,000 \text{ lbs en paquetes de 1 libra}$$

$$70,000 \times 0.8 = 56,000 \text{ lbs en paquetes de 1/2 lb.}$$

El número de paquetes de 1/2 lb = 112,000 bolsas.

$$14,000/23 \times 60 = 10.14 \text{ bolsas/min de 1 lb.}$$

$$112,000/23 \times 60 = 82 \text{ bolsas/min de 1/2 lb.}$$

Las máquinas embolsadoras están en el mercado en capacidades entre 40 y 70 bolsas de una lb/min y la misma máquina le da aproximadamente entre 50 y 80 bolsas/min de 1/2 lb, dependiendo de la habilidad del operador. Para satisfacer nuestras necesidades necesitamos 3 máquinas.

CAPITULO 4

CONSTRUCCIONES Y MONTAJES

4.1.-ANALISIS ECONOMICO DE LAS CONSTRUCCIONES Y MONTAJE.

Después de haber realizado el analisis de lo que es esta planta, se calculó su capacidad y se seleccionó ciertos equipos, pasamos a la parte práctica de este informe la cual consiste en las construcciones y montajes.

Cuando fui contratado por esta compañía para realizar el montaje de esta planta se me informo que la misma ya estaba montada por lo que habia que desarmarla y embalarla. Gran parte de esta maquinaria habia estado abandonada por espacio de 10 años, no se habia dado ningun tipo de mantenimiento ni se habia prevenido para que estuviera abandonada por tanto tiempo a orillas del mar. Al hacer la revisión previa a la compra se detecto que casi todos los equipos eran de metal monel o acero inoxidable 316L de tal manera que los daños por corrosión eran minimos, solamente en tuberias, estructuras y algunos tanques que eran de hierro negro se presentaban daños por corrosión, pero se observó que se podía solucionar el problema y poner a funcionar esta planta.

Al hacer el embalaje se escogió todo de tal manera que se lo pudiera reparar o usarlo como copia para que la planta quedara exactamente como habia estado trabajando anteriormente.

Con unos planos que se habian dibujado durante el desarme se procedió a realizar una nueva distribución adaptadas al medio donde se iba a montar y a dibujar los planos de construcciones y montaje.

Con todos los planos hechos, viajé a la República de Honduras, América Central a supervisar las construcciones civiles y proceder a planificar el montaje electromecánico.

Al haber recibido ya la maquinaria procedí a revisar equipo por equipo y a detectar las partes malas para realizar un listado de repuestos y proceder a hacer el pedido correspondiente ya sea como compra local ó a los EEUU, también se sacaron cantidades de tuberias, planchas de hierro, acero estructural y equipo adicional los cuales se tenian que adquirir nuevos.

Sabiendo ya el estado en que se encontraba la maquinaria y tomándose un tiempo prudencial para tener las compras en sitio, mas que todo lo comprado en el extranjero procedí a planificar la reparación, construcción y montajes, utilizando un gráfico de

barras o de Gantt. El tiempo para realizar las reparaciones, construcciones y montajes fué de 8 meses, trabajando un promedio de 58 horas semanales de las cuales 44 eran normales y las otras con un recargo de 25%, esto se hizo debido a la urgencia con que se quería poner a producir esta Planta.

Mientras se estaban haciendo las reparaciones de los equipos las obras civiles se estaban construyendo y se había coordinado la revisión de todo el equipo eléctrico como son: motores, tableros, etc., se estaba construyendo la obra provisional eléctrica para el montaje y la Empresa Eléctrica coordinó la instalación del banco de transformadores.

El listado de herramientas para toda la reparación y montaje se enlista a continuación:

HERRAMIENTA Y EQUIPO MEC. PARA MONTAJE	CANTIDAD
1.- Discos de pulidora y discos de corte	100
2.- Máquina de Argón	1
3.- Equipo de oxi-corte	2
4.- Guantes para soldadores y operadores	20
5.- Pulidoras grandes	4
6.- Pulidoras chicas	2
7.- Tecles 1/2", 3/4", 1, 1 1/2, 3, 5 toneladas	1
8.- 10 metros de cable de acero de 1/2" , 3/4" , 3/8" .	
9.- Grilletes para cable	

de 1/2" , 3/4" , 3/8" .	20
10.-Ues de 1/2" , 3/4" , 1" , 3/8" .	4
11.-Máquinas de soldar eléctricas hasta 250 amp. (con un portaelectrodo adición c/u., y 30 m de cable c/u.)	3
12.-Juego de boquillas para acetileno de #0 a #5	1
13.-Biseladora para cortar tubería hasta 8" .	1
14.-Roscadora para tubo hasta 3" . (eléctrica)	1
15.-Dobladora de tubo con dados para doblar hasta 2" . (hidráulica)	1
16.-Amperímetro-voltímetro	1
17.-Comprobador de corriente	1
18.-Niveles de 12" largo, imanados	2
19.-Niveles de 24" largo, imanados	2
20.-Escuadras 18" largo	2
21.-Escuadras 24" largo	2
22.-500 m de soga de 3/4"	
23.-Juegos de llaves desde 3/16 a 1"	4
24.-Juegos de llave desde 1 a 2 1/2"	2
25.-Juegos de llave desde 3 a 25mm	2
26.-Juego de desarmadores planos	1
27.-Juego de desarmadores estrella	1
28.-Playos de 8"	2

29.-Playos de presión	2
30.-Juegos de llaves de tubo desde 8 a 24"	2
31.-Llaves francesas de 8,12,18,24"	2
32.-Corta tubo de hasta 2"	1
33.-Corta tubo de 2" a 4"	1
34.-Escariador de hasta 4"	1
35.-Cortatubo de 1/8 a 3/8"	1
36.-Expandidor de tubo de cobre 1/8 a 3/8"	1
37.-Goniómetro 360° con nivel	1
38.-Escuadra nivel de 90 y 45°	1
39.-Flexómetros de 3 metros	5
40.-Flexómetros de 5 metros	2
41.-Tijeras para lata	3
42.-Caretas para soldador	5
43.-Vidrios blancos para careta de soldador	40
44.-Vidrios blancos careta de soldador #11	10
45.-Caretas para pulir	6
46.-Caretas para cortar con oxi-corte	2
47.-Compas para cortar con oxi-corte	1
48.-Guaype	
49.-Juego de sacabocados de 1/4 a 1"	1
50.-Taladro para 1/4"	1
51.-Taladro para 3/4"	1
52.-Juegos de brocas de 1/8 a 1"	2
53.-Picotas para soldador	5
54.-Cinceles de 1"	6

55.-Cepillos de alambre	20
56.-Esmeril de banco	1
57.-Juego de botadores(1/32 a 1/4")	1
58.-Taladro de banco	1
59.-Comparador de carátula o dial	1
60.-Dados para hacer roscas en pernos desde 1/8 a 2" NC20	1
61.-100 m de cable para extensiones eléctricas	
62.-Tomacorrientes y enchufes	6
63.-Juego de machuelos 3/8,1/2,5/8,3/4"	1

4.1.1.- DIAGRAMAS DE GANTT Y PERSONAL NECESARIO.

A continuación se pueden observar los diagramas de Gantt para las reparaciones, construcciones y montajes de los cuales obtenemos los tiempos para la ejecución de alguna actividad, estos tiempos se los tomo en base a experiencia del suscrito con la ayuda de una Compañía Hondureña para adaptarlos estos a La República de Honduras, resultando los gráficos # 25, 26 y 27. También se muestra en el apendice las tablas de personal necesario y el costo de la obra-hombre tanto para jornaleros como para empleados. Solo se calculan los costos directos aplicados al montaje, teniendo los costos indirectos que aplicarlos al total.

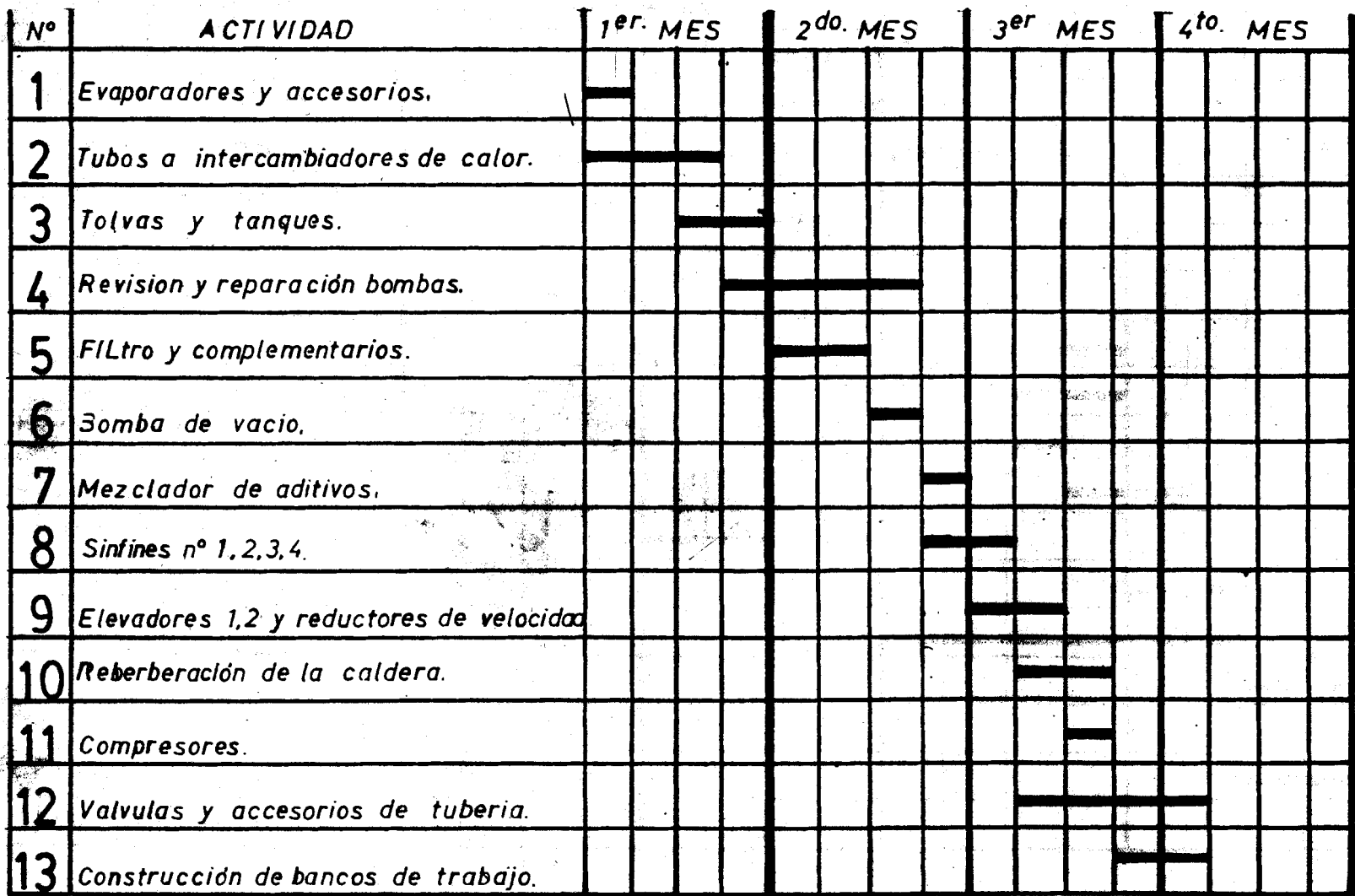


Fig. 25 Cronograma de reparación

ITEM	ACTIVIDAD	3 ^{er} MES	4 ^{to} MES	5 ^{to} MES	6 ^{to} MES	7 ^{mo} MES
1	ARMAR Y REFORZAR TANQUE 50000 gls	████████████████████				
2	TANQUE CONDENSADO DE CALDERA	████████				
3	TANQUE DE AGUA CON ESTRUCTURA 8000 gls		████████████████████			
4	CONDENSADOR BAROMETRICO			████████		
5	TANQUES CAJEZA, VACIO Y FILTRADOS			████████		
6	TANQUE AGUA HERVIDA 10000 gls			████████		
7	TANQUE DE COMBUSTIBLE 10000 gls			████████		
8	ESTRUCTURA TRIPLE EFECTO Y CONDENSADOR BAROMETRICO		████████████████████	████████		
9	ESTRUCTURA DE TOLVAS		████████			
10	ELEVADOR Nº 2				████████	
11	ESTRUCTURA TANQUE DE LAVADO Y PLATAFORMA DE ELEVADORES				████████	
12	TOLVA MAQUINAS ENSALADORA Y ESTRUCTURA DE SOPORTE			████████		
13	TOLVA MAQUINA EMBOLSADORA Y ESTRUCTURA DE SOPORTE				████████	
14	SOPORTE Y CANASTILLAS USO ELECTRICO		████████████████████			
15	TRANSCIONES PARA FILTROS				████████	
16	SOPORTES DE TUBERIA Y VARIOS			████████████████████	████████	
17	DUCTOS DE SAL					████████
18	TANQUE PRESION YODATACION				████████	
19	ESCALERAS Y PASAMANOS CASSETAS BOMBAS					████████████████████
20	BANDA TRANSPORTADORA PARA BOLSA DE SAL					████████

Fig. 26 Cronograma de construcciones

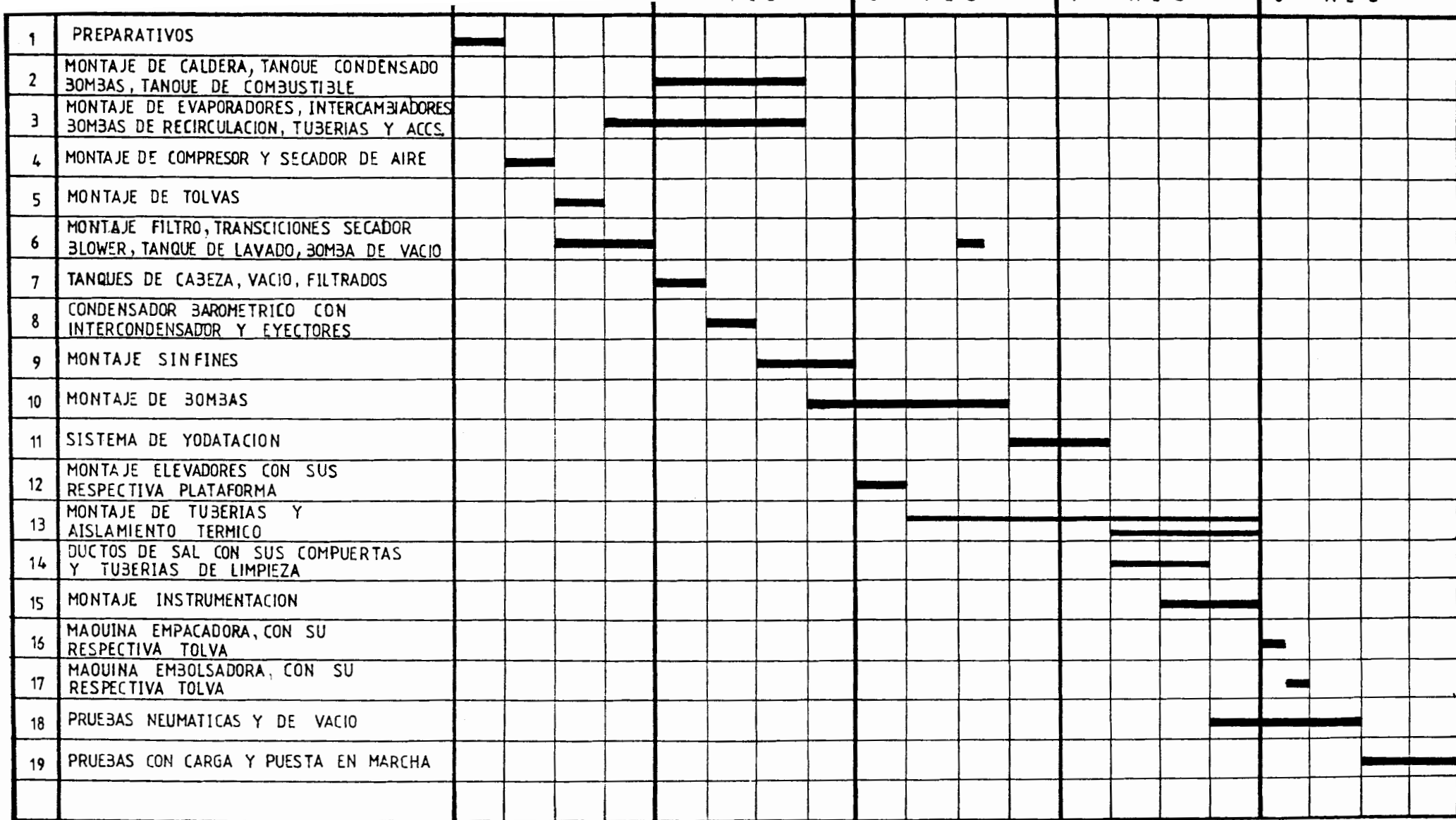


Fig. 27 Cronograma de montaje.

El costo total será:

1.- Costo reparaciones	23192.73
2.- Costo construcciones	50019.93
3.- Costo montaje	37891.12
4.- Costo administración	229500.00
5.- Costo alquiler equipo	93450.00
COSTO TOTAL	434053.00

El costo directo aplicado sobre el montaje por mano de obra será de 434.053,78 lempiras.

4.2.-ANALISIS Y METODOS USADOS PARA LAS CONSTRUCCIONES.

Las construcciones y reparaciones de esta planta corresponden al 65% del trabajo total, estas se han programado para un tiempo aproximado de 7 meses y se trabajará paralelo con el montaje ya que es factible y es la mejor forma de hacerlo. El personal seleccionado fue de lo mejor que tiene el país y dió buenos resultados a pesar de no haber una gran experiencia pero existió muy buena voluntad para trabajar. Observando los diagramas de Gantt (figura # 25), vemos que para las reparaciones tenemos suficiente tiempo debido a que hay que esperar el equipo desde el extranjero ya que equipo clave se trajo nuevo así como un lote de repuestos. Los métodos usados para estas construcciones fueron seguidos tal como lo determinan las normas internacionales de construcción esto se hizo tanto

para tubería como para tanques. Mas adelante en este mismo capítulo analizaremos más detalladamente lo que se hizo equipo por equipo.

Las construcciones fueron planificadas de acuerdo a (figura # 26) como se esperaban los materiales de los EEUU y de acuerdo a las prioridades de montaje.

4.3.-ANALISIS Y METODO USADO PARA EL MONTAJE.

Del diagrama de Gantt (figura # 27) deducimos que es un montaje bastante apretado debido a la urgencia con que se requería esta planta. Se planificó de tal manera de comenzar a montar los equipos que ya existían y estaban en la planta. Este montaje se lo realizó de acuerdo al tiempo previsto debido a que se contó con gente de primera línea la cual fue contratada localmente existiendo solo otra persona centro-americana.

Los métodos que fueron usados se apegaron estrictamente a los que dictan las normas internacionales de montaje de equipo, realizandose todas las pruebas de acuerdo a estas, mas adelante explicaremos como fueron utilizadas las normas en equipo por equipo, siguiendose también las normas que recomendara el fabricante para la instalación, mantenimiento y puesta en marcha.

4.4.-ANALISIS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS CONSTRUIDOS

Se va a realizar un análisis de los equipos

reparados y contruidos, los pasos que se siguieron para ponerlo en tal forma para que en el momento del arranque no hubiera problemas.

4.4.1.- LIMPIEZA DE EVAPORADORES, TUBERIAS Y ACCESORIOS.

Los evaporadores que venian con los manholes cerrados y atornillados se abrieron para revisarlos por dentro encontrandose una gran cantidad de tierra, los empaques no servian por lo que se rompieron, y se limpiaron las bridas así como también se reempacaron las mirillas de observación. En cuanto a las tuberias y accesorios, todas estas venian con las bridas locas completamente pegadas por el óxido y la tierra, teniendo inclusive que calentar algunas de ellas para despegarlas, algunos tubos en el viaje se habían golpeado lo que se hizo fue calentar y enfriar bruscamente para tratar de arreglarlos, dando un buen resultado.

4.4.2.- LIMPIEZA Y CAMBIO DE TUBOS EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Los intercambiadores de calor traian unos tubos de cobre los mismos que se habían instalados en vez de los de metal monel que se acostumbra. Aproximadamente el 60% de

los tubos de cada intercambiador fueron cambiados, para esto hubo que arreglarles las patas de soporte que traian ~~estos~~ equipos debido a que habian sido soldadas con soldadura AWS E-6011 y la corrosión las habia dañado, algunas de las cuales tuvimos que reemplazarlas por cuanto su estado de corrosión era crítico.

Para cambiar los tubos y debido a que los intercambiadores no estaban montados, encontrandose estos en posición horizontal en vez de la vertical se construyó un soporte provisional para sacar los tubos viejos y reemplazarlos por tubos nuevos. Para sacar los tubos achatábamos los cabezales de estos teniendo el suficiente cuidado de no cañar el espejo para su posterior expansión reemplazando tubo por tubo, haciendo primero la expansión de la parte de arriba, esta se la realizaba con un expander el cual habíamos adquirido para esto.

Teniendo ya los dos cabezales expandidos hicimos una prueba hidrostática aplicando el 100% de la presión de trabajo, lo mismo que se hizo puesto que cualquier falla hace

que salmuera pase al lado donde hay vapor, tapando tuberías y aumentando la corrosión en algunos elementos de acero, mas que todo en el primer efecto debido a que este es de acero siendo los otros de metal monel.

4.4.3.- REPARACION DE TOLVAS Y TANQUES.

Este fue un trabajo sencillo y consistió en tapar todos los agujeros existentes en tanques y tolvas así como también reemplazar las partes dañadas por la corrosión, teniendo en las tolvas grandes que cambiar gran parte de las estructuras para soporte que sirven para su levantamiento. Estas reparaciones se las hizo al tanque de condensado del tercer efecto, tanque de lavado, tanque de rebose de condensado del tercer efecto y que alimenta a la caldera, tanque de presión del compresor, tanque de salmuera concentrada y tolva de producto terminado.

4.4.4.- LIMPIEZA Y REPARACION DE BOMBAS.

Dentro del paquete que se compró llegaron un lote de bombas las cuales algunas fueron reparadas y otras solo se limpiaron ya que no se iban a utilizar quedando embodegadas. El trabajo que se les hizo a cada una de

ellas fue:

- 1) Bases nuevas con sus respectivos huecos para anclaje.
- 2) Cambio de balineras.
- 3) Adaptación del Coupling motor-bomba
- 4) Colocación de estopas nuevas
- 5) Sistemas de enfriamiento y lubricación
- 6) Alineamiento

4.4.5.- LIMPIEZA Y REPARACION DE FILTROS Y COMPLEMENTARIOS.

Este fue el trabajo más grande y cuidadoso que se hizo ya que el filtro y la bomba de vacío venían en muy mal estado, ambos equipos son de hierro fundido, teniéndose que desbaratarlos completamente para observar las partes dañadas y repararlas, siguiéndose estos pasos:

- 1) Desarmado del motor reductor de velocidad variable.
- 2) Desarmado del reductor de velocidad al eje del filtro.
- 3) Desarmado de las chumaceras del filtro.
- 4) Desarmado de las mallas interiores y exteriores así como la cobertura.
- 5) Desarmado del tambor para revisar empaques.

6) Desarmado del sistema de sellado entre la parte fija y la que rota, esta es muy importante.

Se encontró y se reparó para el filtro lo siguiente:

1) Al motor reductor hubo que mandarle a tornear todos los bujes y cuñas de las poleas, se limpió completamente y se cambiaron los pernos que regulan la velocidad.

2) El sistema de reducción fue cambiado completamente ya que su estado era muy crítico. Se reemplazó por uno nuevo.

3) Al desarmar las chumaceras del filtro me di cuenta que estas estaban completamente desgastadas, el filtro prácticamente rodaba contra el hierro fundido y los canales de lubricación tampoco existían, por lo que se mandaron a fabricar las chumaceras nuevas dejándole una tolerancia de 0.013 pulg. estas eran de metal Babitt (aleación estaño-plomo)

4) Las placas de la coberturas estaban en gran parte partidas, siendo estas de metal monel y son tan viejas que el material no tenía una buena soldabilidad, los huecos

donde van empernadas estas placas hubo que repararlos con machuelos y reforzar algunos debido a que estaban agrietados, con respecto a estas placas se tomó la decisión de mandarlas a fabricar nuevas, pero las entregaban en 10 meses por lo que se repararon las viejas hasta que llegaron las otras, las mallas interiores MESH # 18 y las mallas exteriores MESH # 30 fueron cambiadas en su totalidad.

5) Los empaques en las juntas eje-tambor fueron cambiadas completamente ya que estaban tostados.

6) Al revisar el sistema de sellado una parte de estos no existían por lo que hubo que tomar las medidas y mandarlos a torneear, esto es muy importante para mantener el vacío.

Para la bomba de vacío tuvimos lo siguiente:

- 1) Desarmado de la caja de rulimanes.
- 2) Desarmado de los sellos de aluminio y otros sellos.
- 3) Desarmado del impeller.
- 4) Revisión de excentricidad del eje

Se encontró y reparó lo siguiente: Fig. # 28

- 1) Se cambió todos los rulimanes debido a

que estos ya presentaban juego, reparandose también el sistema de lubricación.

2) Tanto el impeller como la carcasa de la bomba tenían una tolerancia de 1/4 de pulgada por lado, siendo lo permisible 1/8 de pulgada por lado por lo cual se rellenó tanto el impeller como la carcasa y luego se tornearon para dejarlos en los ajustes respectivos. El impeller junto con el eje se los mandó a balancear dinamicamente aprovechando para probar si el mismo estaba pandeado, resultando en buen estado.

3) La parte exterior de este equipo presentaba huecos debido a daños por corrosión, tapandose estos con macilla para reparar carros, dando así un mejor aspecto.

4.4.6.- LIMPIEZA Y REPARACION DE LOS SINFINES Y ELEVADORES.

En cuanto a los sinfines la cobertura exterior de estos presentaba un buen estado, más no el sinfin el cual estaba torcido, por lo que se lo calentó y se lo forzó al lado opuesto del torcimiento arreglando este en un 98% y el resto de excentricidad se lo corrigió soportando bien el sinfin. Las chumaceras se cambiaron y se les armó las

bases para el motor, limpiándose también el reductor de velocidad y fabricándose todas las tapas ya que ninguna de ellas existía. Las cajas del elevador solo presentaban suciedad y la plataforma estaba en mal estado por lo que se cortaron los residuos de hierro y se fabricó una nueva, también se cambiaron los sistemas de templado de banda ya que tenía un sistema que era muy viejo y no muy funcional, cambiándose las chumaceras de estos. Se limpió y se reparó el reductor de velocidad y la compuerta de registro.

4.4.7.- ARMADO Y REFORZADO DE TANQUE DE 50000 GALONES Y PROCEDIMIENTO PARA ARMAR TODOS LOS DEMAS TANQUES.

El tanque de 50000 galones para poder transportarlo se lo cortó en 8 partes las cuales fueron marcadas para su posterior armado.

Después de armado este tanque se procedió a soldarlo haciendo un bisel para la penetración de la soldadura de 30° soldando dos pases interiores y uno exterior. Para que la soldadura no deformará el tanque se lo reforzó con punzones los cuales se clavan en unos elementos especiales para esto y que

se ven en la fig. # 29. Después de que este tanque estuvo completamente soldado se lo reforzó con una plancha de hierro de 3/16 " de espesor ya que presentaba un gran desgaste por corrosión, se lo pinto con pintura marina.

Para armar este tanque y todos los tanques se siguieron las normas API las cuales nos especifican las normas para armado y soldado de tanques, estas establecen una abertura de 1/8" para la penetración de la soldadura, para la rolada de las planchas nos fabricamos nuestra propia roladora.

4.4.8. CONDENSADOR BAROMETRICO

Para este tanque debido a que soporta dilataciones y vacío en su interior fue uno de los que más cuidado se tuvo en el momento de la soldada, aplicandole soldadura AWS E-7018, cuidandose que el primer pase penetre lo suficiente para con una pulidora quitarle toda la escoria de la penetración .

4.4.9.- ESTRUCTURA DEL TRIPLE EFECTO Y CONDENSADOR BAROMETRICO.

Esta es la estructura más grande que se construyó, (fig.# 30) como su altura es de 32ft se compraron los perfiles lo más grande

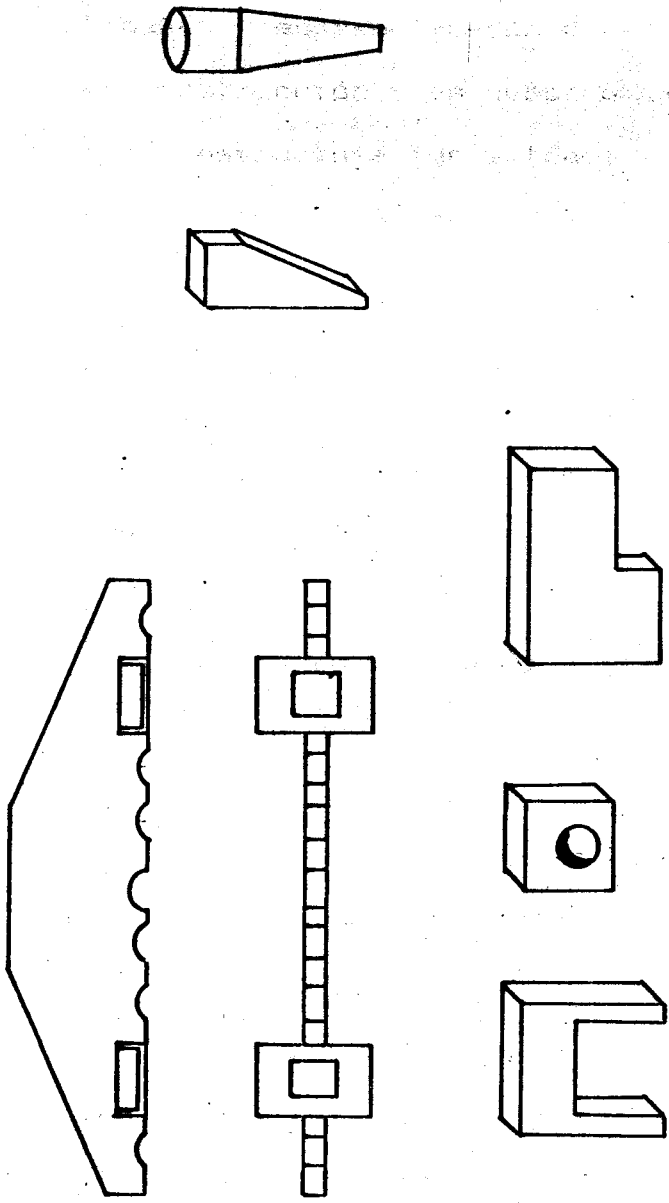


Fig. 29. Elementos para armado de tanques.

que se podían y eso fue de 30 ft, con esto también se evitaban muchos empalmes. Los empalmes a más de ser soldados entre sí fueron reforzados con una plancha el cual su tamaño y espesor fueron dadas por la norma de construcción y en nuestro caso fue 3/8", esta estructura fue soldada con soldadura AWS E-6011 con 3 pases dejando un espacio de 1/8" para penetración.

La estructura del condensador barométrico por ser de perfiles muy pesados fue prefabricada para ser montada con una grúa sobre las placas de soporte las cuales ya estaban en el sitio y niveladas, todas las demás estructuras que se soldaron se siguió el mismo método.

4.4.10. -TOLVAS DE MAQUINAS DE EMBOLSADO.

Estas tolvas se construyeron con planchas de hierro de 1/4" de espesor (fig.# 31) y fueron forradas interiormente con plancha de 1/32" de espesor de acero inoxidable 316L la cual fue soldada con el sistema TIG., la parte de hierro fue soldada con AWS E-6011 dandosele 1 pase por dentro y 1 por fuera dejando 1 espacio para la penetración. El forrado se utilizó porque estas tolvas estan

en contacto directo con la sal como producto terminado por lo que el producto de la corrosión pone amarilla la sal y le da un aspecto desagradable.

4.5.-ANALISIS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS MONTADOS.

4.5.1.- CALDERA Y SISTEMAS COMPLEMENTARIOS.

La caldera tiene un peso de 20 ton.(fig.# 32) por lo que se uso la grúa más proxima siendo una de 50 ton. La cual era suficiente para levantar la caldera de acuerdo a la tabla de capacidad de ella. Para este montaje se utilizaron estrobos de 1 1/4 " los cuales resisten una carga aproximada de 50 ton., luego de tener en sitio la caldera se la niveló continuandose montando tanque de condensado, de combustible los cuales tenían ya fundido sus bases y sus pernos de anclaje, tambien se montó la bomba de combustible, la de agua caliente, como estas bases no se habían fundido todavía se colocaron las bombas sobre el encofrado de madera con los pernos de anclaje colgados y de esa manera no fallaran la colocación de estos, luego se nivelaron y se alinearon las bombas. También se subió la chimenea de la caldera.

4.5.2.- MONTAJE DEL TRIPLE EFECTO.

Este fue el montaje más grande y complicado pues se utilizó la grúa para subir primero los intercambiadores de calor (fig. # 33 y 34) comenzando por el tercero para que no estorbará el equipo ya montado a la grúa en la subida de los otros. Al subir los intercambiadores de calor ya teníamos los ejes de montaje marcados sobre las estructuras y los llevabamos marcado en las patas soportes de estos de tal manera que coincidiendo ambos ejes podíamos acentar el equipo, estando acentado nivelar en dos sentidos a 90° cada uno, pegando un pequeño punto de soldadura para que un soldador de primera hechara todo el cordón necesario.

El mismo método que se usó en el intercambiador se usó en los evaporadores pues estos son equipos que se montan similarmente, para aprovechar la grúa toda la tubería que iba en los evaporadores fue dejada aproximadamente en sitio. Se montaron también las bombas de recirculación y debido a que estas eran muy pesadas se fundieron unos bloques de concreto a la altura correspondientes de las bombas para

dejar colgando los pernos de anclaje y fundir toda la base.

4.5.3.- MONTAJE DE TOLVAS.

El montaje de las tolvas pequeñas se hizo construyendo soportes provisionales para colgar teclés y poder elevarlas pero para las tolvas grandes cuando se realizaron las obras civiles se dejó un hueco en el techo (fig.# 35) para que la grúa las introdujera por este, para acentarlas sobre sus bases y soldarlas. Estas tolvas cuando se levantarán tenían que ir completamente a nivel para garantizar que los estrobos estuvieran cargados con la misma fuerza y no tener problemas con las tolvas elevadas ya que se levantarán por encima del techo, llevaban vientos para garantizar que no se movieran durante la izada y fueran a desbalancear o chocar contra la grúa. Esta tolva fue montada completamente a nivel

4.5.4.- MONTAJE DE FILTRO, BOMBA DE VACIO Y ACCESORIOS.

Cuando el filtro estuvo completamente desarmado para facilidad de levantamiento se fue subiendo pieza por pieza sobre su base para luego armarlo ya sobre el sitio donde

debía ser montado. Este tipo de filtro por su baja velocidad no requiere pernos de anclaje a no ser que sea montado en zona sísmica. Después de haber armado el filtro se le montaron las transiciones de aire caliente funcionando estas como base para los serpentines y en la parte de arriba montar otra transición la cual sirve también como soporte del ventilador.

Para el montaje de la bomba de vacío se fundió primero la base, dejando los huecos donde van los pernos de anclaje, estos huecos deben de ser cónicos con la parte más ancha hacia abajo de tal manera que forme un taco y no se salga posteriormente. Colocando sobre sus ejes la bomba de vacío se fijaron con soldadura los pernos de anclaje y se fundieron con concreto.

4.5.5.- CONDENSADOR BAROMETRICO CON EYECTORES.

Con este equipo tuvimos el problema que cuando se terminó de construir las tapas cabecales no habían llegado de los EEUU. por lo que tomé la decisión de subirlo tal como estaba para colocarle las tapas cuando estuviera ya en el sitio, se montaron los eyectores, intercondensador, todos estos

equipos fueron montados completamente a nivel.

4.5.6.- MONTAJE DE LOS SINFINES.

Luego de haber montado las bases completamente a nivel el sinfín ya armado y alineado se subió hasta su posición. Se lo ubicó sobre su base, se lo realineó y se lo reniveló por cualquier desperfecto. Se armó el reductor de velocidad colocando la base del motor, montándolo con sus poleas y bandas respectivas.

4.5.7.- MONTAJE DE BOMBAS.

Casi todas las bombas de esta planta son pequeñas por lo que preparabamos el encofrado de la base de la bomba y la soportabamos con una regla de lado a lado, teniendo muy en cuenta el espesor de la regla el cual la bomba tiene que bajar para que el perno de anclaje quede bien puesto por que hay la posibilidad que al bajar esta la rosca del anclaje quede muy pequeña y las tuercas no aprieten la base. Cuando eran bombas grandes fundíamos la base de estas dejando huecos cónicos en el que metiamos los anclajes y se fundía, dejando fraguar el concreto antes de apretar la bomba.

Por ambos métodos luego hay que bajar la bomba, apretarla, nivelarla y chequear los alineamientos.

4.5.8.- MONTAJE DE ELEVADORES

Los elevadores según su altura se montan en tres o cuatro partes, pero lo que si se acostumbra a montar primero es la caja de carga del elevador o el boot, nivelandola y fijando los pernos de anclaje, con esta parte ya en sitio se continua montando hacia arriba el elevador teniendo presente que las partes intermedias deben ser escogidas en lugares donde haya fácil acceso para poner todos los tornillos, es importante no asentarle las dos bridas antes de que estén puestos los tornillos, también hay que nivelar y fijar estas partes antes de seguir adelante. Por último se monta el cabezal del elevador el cual ya lleva la plataforma montada y soldada, para montar esta parte debido a que el peso es excentrico se debe tener un lado fijo y el otro con un tecele de tal manera de subir el tecele hasta que esté nivelada, es muy importante subir esta parte completamente nivelada, las dos bridas tampoco se asientan hasta no tener todos los

tornillos colocados. Para que coincidan los huecos de las bridas se los alinea con punzones.

4.5.9.- MONTAJE DE MAQUINAS EMBOLSADORAS.

El montaje de estas máquinas es muy fácil porque vienen armadas en dos partes de manera que es de montar una encima de otra. Estas máquinas traen garantía, cuando se las compra en el contrato de venta hay una cláusula en la cual especifica que la garantía funciona siempre y cuando en el momento de arrancar la máquina este presente un supervisor del fabricante para chequeos. Esto se hizo de esta manera y las máquinas estan funcionando en perfecto estado.

4.6.-ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE TUBERIA.

En esta planta hay tuberia de acero inoxidable y de hierro negro ASTM A-53 grado B las cuales eran soldadas o roscadas.

4.6.1.- TUBERIA SOLDADA.

En esta tuberia se tiene que distinguir que para pegar cualquier accesorio al tubo debe de ser soldado en forma estandar porque después no coincide con los que estan soldados y montados. Para armar esta tuberia se prefabricó casi toda abajo para luego

montarla y hacer un solo pegue ya que es muy difícil soldar en sitio, a mas de que hay que hacer soportes provisionales para el soldador debido a que es alta. En todos los pegues se dejó un espacio de 1/8" para penetración de la soldadura, recordando que hay que brescear ciertas formas irregulares debido a que la soldadura deforma en ciertos sentidos. A toda la tubería de hierro se le aplicó soldadura AWS E-7018 y en algunos casos debido a que la penetrada era muy difícil se lo hizo con AWS E-6011 y la de acero inoxidable 316L fue soldada con AWS E-308-16, para ambas soldaduras el pases de penetración se usó soldadura de 1/8" y los de relleno se hicieron con 5/32", dando un mínimo de tres pases por pega, recordando que estos dependen del diámetro del tubo y del espesor.

La soportería de estos tubos ya estaba en sitio antes de montarla y si ocurría lo contrario se hacía un soporte provisional y luego se realizaba el definitivo.

4.6.2.- TUBERIA ROSCADA

Esta tubería es más fácil de montar que la soldada, en esta lo único es que todos los

accesorios ya traen sus roscas estándar por lo que nosotros tenemos que cortar los tubos considerando que ellos se traslapan en las roscas 3/4" ó 1" para tubería pequeña como la nuestra. Las roscas se las hace con tarrajas manuales o eléctricas, nosotros utilizamos la manual.

En estos sistemas de tubería es muy importante considerar uniones universales ya que ellas facilitan el montaje y el desmontaje. Si el tubo que utilizamos es galvanizado es importante tener todos los soportes ya instalados por que esta tubería no se puede puntear debido a que se daña el galvanizado, es importante en tuberías roscadas que el largo del tubo sea correcto y que quede bien apretada porque sino posteriormente resultan fugas teniendo que cortar el tubo y montar uno mas largo y mejor apretado con una union universal.

CAPITULO 5

PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA

5.1.-PRUEBAS NEUMATICAS Y DE VACIO

5.1.1.- PRUEBAS NEUMATICAS

Con el compresor ya instalado y trabajando en perfectas condiciones hicimos pruebas neumáticas a la tuberías una por una tratando de probar soldaduras, roscas, uniones, bridas, etc. de tal manera que durante el funcionamiento no presentaran ningún tipo de problema y tuvieramos que parar la planta por fugas.

La presión a la cual probamos estas tuberías la seleccionamos por la siguiente formula:

$$P_e = 1.5 P \sigma_e / \sigma \quad (11)$$

Esta formula selecciona la presión cuando se prueba hidrostáticamente, como la prueba que realizamos fue neumática se selecciona el 110% de la presión de diseño lo que nos da :

$$P_e = 1.65 P \sigma_e / \sigma \quad (11)$$

Esta formula se utilizó para tubería de acero inoxidable como para tubería de hierro.

El trabajo hecho en la prueba consistió en aislar por medio de bridas ciegas o cerrando válvulas, el tramo de tubería el cual se iba

a: probar y presionandole con aire hasta la presión de prueba, luego con agua jabonosa se probaron todos las juntas y se observaba si se formaban burbujas, si no había burbujas la junta estaba bien pero si existian burbujas había una fuga de aire la cual teníamos que reparar.

La presión de trabajo fue calculada de la siguiente manera:

Tubería ASTM - A 53 grado B.

Todas las tuberías se probaron para la misma presión y temperatura de trabajo ya que se tomó la mayor presión para prueba.

La máxima presión fue :

$$P = P_0 + h = 14.7 + (62 * 54.2) / 144 = 38.03 \text{ psi}$$

Seleccionamos 40 psi para la presión de trabajo.

Temperatura = 140°F

$$\sigma = 15,000 \text{ psi} \quad (12)$$

$$\sigma = 15,300 \text{ psi}$$

$$P_0 = 1.65 * 40 * 15,000 / 15,300 = 64.7 \text{ psi}$$

Se probó para 65 psi

Para las tuberías de acero inoxidable tenemos:

$$P = 40 \text{ psi}$$

$$\sigma = 9,800 \text{ psi} \quad (12)$$

$$\sigma = 15,600 \text{ psi}$$

$$P_e = 1.65 \times 40 \times 9,800 / 15,600 = 41.46 \text{ psi}$$

Se probó para 45 psi.

5.1.2.- PRUEBA DE VACIO.

La prueba de vacio se la realizó a los evaporadores y se probaron las juntas, bridas, empaquetaduras, manholes y sellos de agua, de tal manera que no tuvieran entradas de aire.

Para realizar esta prueba todas las juntas donde existian empaques las cubrimos completamente con masking-tape ancho, de tal manera que al abrir un pequeño hueco en este, si hay una entrada de aire se manifestará en el hueco hecho. Para probar esto la forma más práctica es con humo de cigarrillo el cual se acerca al punto a probar, y como dentro existe un vacio de 28" de Hg al existir una entrada de aire el humo es absorbido y se detecta la fuga.

Para esta prueba antes se había probado eyectores, condensador barométrico.

5.2.- PUESTA EN MARCHA DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS.

Antes de iniciar producción pusimos a prueba y trabajo cada uno de los equipos de tal manera de

observarlos trabajando en vacío para calibrarlo y más que nada detectarle fallas y esto se hizo para cada uno de los equipos.

5.2.1.- CALDERAS Y ACCESORIOS

Se probaron las rotaciones de las bombas se llenó la caldera de agua para detectar fugas en manholes y hanholes, se probó el sistema de blow-down y con la válvula de raíz cerrada se elevó la presión hasta 125 psi y se dejó así por espacio de 24 horas para detectar si bajaba la presión, durante esta prueba se puenteó el sistema eléctrico que apaga la caldera cuando llega a 125 psi para tomar los datos de presión de disparo de las válvulas de seguridad y si no estaban calibradas, calibrarlas con carga en ese momento.

5.2.2.- TRIPLE EFECTO

Se comenzó probando el sentido de rotación de las bombas, llenándose con agua los evaporadores y poniendo a recircular el agua, se arrancó el sistema de vacío y se probó instrumentación. Esto se dejó trabajando por espacio de 24 horas continuas.

5.2.3.- PRUEBA DE MOTORES.

A todos los motores de esta planta se les probó el sentido de rotación, se los arrancaba se les tomaba amperaje y temperatura de tal manera de registrar datos de funcionamiento en vacío y saber si el motor trabajaba en perfecto estado o tenía algún problema. Esta prueba se realizó 4 horas por motor.

5.2.4.- FILTRO, BOMBA DE VACIO Y COMPLEMENTARIOS.

Al filtro se lo puso a rotar y se chequeo los RPM, al ventilador se lo puso a soplar y se le puso al filtro una pequeña capa de sal obtenida de la sal del patio que se molió para hacerla más fina de tal manera que al arrancar la bomba de vacío no chupara demasiado aire, se midió la cantidad de aire que la bomba de vacío sacaba y debería de ser mayor que la introducida por el blower de tal manera que existiera un pequeño vacío dentro de la zona de calentamiento.

Al filtro también se le calibraron las cuchillas de corte las que son dos, una a 5/16" la cual corta la primera capa de sal y la segunda 1/8" de separación del tambor del filtro.

5.2.5.- SISTEMA DE TRANSPORTE Y EMBOLSADO DE SAL

Se probaron los sinfin arrancandolos y haciendolos trabajar 24 horas, midiendole temperatura y amperaje del motor. A los elevadores también se los puso a trabajar chequeandole y corrigiendo el desplazamiento de la banda.

Para probar las máquinas embolsadoras se compró sal fina y se la embolsó de tal manera que el técnico de la máquina se diera cuenta si trabajaba bien o no, sirvió a la vez para entrenar al personal que las iba a operar. Ver figura # 36.

5.3.- PUESTA EN MARCHA CON CARGA Y PRODUCCION DE SAL.

Despues de haber concluido todas las pruebas en vacio se realizaron pruebas con carga, teniendo ya estabilizada la producción de sal se comenzó a embolsar para la venta al mercado. Los pasos que se siguieron para poner en marcha la planta con producción de sal fueron los sgtes.:

- 1.- Llenado de los evaporadores con salmuera , teniendo el tanque de 50000 galones completamente lleno.
- 2.- Presionar a 125 psi. la caldera.
- 3.- Arrancar el compresor y poner la instrumentación a trabajar.

4.- Estando llenos los evaporadores se arrancaban las bombas de recirculación y se abrían las válvulas de vapor controlando estas a solo 2,000 lbs/hr.

5.- Calentar la salmuera en el primer efecto hasta que el vapor estuviera pasando al segundo efecto, cuando esto sucedía se cerraban las válvulas de romper vacío y se arrancaba el sistema de enfriamiento de condensado, suministrando también vapor a los eyectores. El calentamiento hasta que hay sal en los efectos dura aproximadamente 2 horas.

6.- Cuando ya hay algo de sal en los efectos se arranca el filtro con el ventilador suministrando aire, abrimos un poco la válvula de vapor a los radiadores de tal manera de calentar la cámara de secado para el momento que ya hubiera producción de sal estuviera caliente, solo en ese momento se arranca la bomba de vacío.

7.- Se arrancan los sinfines y elevadores, recordando que la planta en ese momento está embolsando ya que este se realiza 24 horas durante 7 días a la semana.

8.- Cuando el filtro ya esta produciendo sal seca toda la planta esta operando y entra la etapa de producción de sal teniendo que controlar lo siguiente:

- a) Entrada de producto bruto
- b) Salida de producto terminado

c) Consumo de combustible en la caldera.

d) Consumo de vapor en el primer efecto. De este depende la producción de sal.

e) Que las bombas de recirculación estén operando con 25% de sal .

f) Yodatación

g) Temperaturas y presiones en todos los equipos.

Cuando todos estos pasos se han seguido la planta esta trabajando a 100% de producción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber participado en el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de esta planta de refinación de sal podemos obtener como conclusiones lo siguiente:

1) Esta es una planta muy complicada en su diseño pues tiene mucha maquinaria que depende en su funcionamiento de sistemas complementarios los cuales son de difícil operación.

2) A pesar de ser complicadas son plantas de alta eficiencia cuando están bien balanceadas.

3) Los costos de operación en cuanto a mano de obra son mínimos debido a que son plantas compactas y pequeñas. Estas plantas se pueden automatizar completamente, pero este costo no es rentable con la mano de obra tan barata en nuestros países.

4) Se puede diversificar los tipos de sal producida como son sal para consumo humano, sal para consumo animal y sal para consumo industrial.

5) El grado de pureza de la sal es del 98 al 99.6% de ClNa en el producto terminado lo que la hace una sal 100% pura para el consumo humano.

6) Cuando se construyen este tipo de plantas se pueden dejar interconexiones para aumentar el número de evaporadores por efecto o más efectos en un conjunto aumentando su capacidad, pues todos los equipos de transporte y manejo de sal son capaces de manejar una

producción mucho mayor.

7) La materia prima puede venir con muchas impurezas y suciedades no perdiendo ningún porcentaje en el lavado de la sal como en otras plantas.

Entre las **RECOMENDACIONES** que podemos citar tenemos:

1) No utilizar piscinas de enfriamiento de condensados, por cuanto los caudales de agua de enfriamiento no son muy grandes es preferible y más barato usar torres de enfriamiento.

2) Tratar de cambiar el sistema de filtrado, hoy existen sistemas menos complejos y con más eficiencia que este.

3) Si se utiliza filtro secador no utilizar bomba de vacío y utilizar eyectores ^{de vacío} que son menos complejos, más baratos y de un mantenimiento más bajo.

APENDICE

TABLA # 1

SISTEMA DE AGUA POTABLE

CALCULO PARA LA DESCARGA

RAMAL	Ø	Q	VELOC	LONG.	RED	COD	COD	TEE	VALV	Re	L/D	LONG.	d1/d2	k	Lk	f	v ² /2g	h _f
					90	45			COMP			EQUIV			EQUIV			
1-2	2	68	6.49	146.3	0	2	2	1	2	125872	164	27.33	-	-	-	0.0211	0.65	14.44
2-3	1	12	4.45	40.5	1	3	0	1	2	44425	162	13.50	0.50	0.34	14.78	0.0264	0.30	6.70
2-4	2	56	5.34	35.0	-	-	-	1	-	103659	20	3.33	-	-	-	0.0220	0.44	2.24
4-5	1 1/4	25	5.35	2.0	1	-	-	-	1	74042	13	1.35	0.62	0.28	12.73	0.0244	0.44	1.69
4-6	1 1/4	31	6.64	40.0	1	-	-	1	-	91812	20	2.08	0.62	0.28	12.73	0.0224	0.68	8.07
6-10	3/4	6	3.60	173.0	1	3	-	-	1	29617	103	6.44	0.60	0.29	12.60	0.0262	0.20	16.20
6-7	1 1/4	25	5.36	37.0	0	4	-	1	-	74042	140	14.58	-	-	-	0.0244	0.44	5.39
7-8	1/2	5	5.27	28.0	1	1	-	-	1	37021	43	1.79	0.40	0.38	17.39	0.0310	0.43	15.13
7-9	1 1/4	20	4.29	7 1/2	0	1	-	-	1	59234	43	4.48	-	-	-	0.0250	0.28	0.82
TOTALES																		
																	3.86	70.66

TABLA # 2

SISTEMA DE ALIMENTACION A EVAPORADORES

CALCULO PARA LA DESCARGA

MAL	Ø	Q	VEL.	LONG	RED	COD 90	COD 45	TEE	ROT	VALV COMP	VALV CHEQ	VALV GLOB	Re	L/D ACC	LONG. EQUIV	d1/d2	k	Lk EQUIV	f	v ² /2g	h	f
-2	1	45	4.59	79.8	-	4	4	1	-	2	1	-	64193	365	60.83	-	-	-	0.0225	0.28	6.20	-
-3	1	12	4.89	8.0	1	3	-	-	1	-	-	2	34236	993	82.75	0.50	0.34	12.59	0.0270	0.31	12.46	-
-4	2	33	3.37	6.6	-	-	-	1	-	-	-	-	47075	20	3.33	-	-	-	0.0241	0.15	0.67	-
-5	1	12	4.89	8.0	1	3	-	-	1	-	-	2	34236	993	82.75	0.50	0.34	12.59	0.0270	0.31	12.46	-
-6	1 1/4	21	4.50	12.6	1	1	-	1	-	-	-	-	47931	50	5.21	0.62	0.28	10.37	0.0270	0.31	3.40	-
-7	1	12	4.87	2.0	1	2	-	-	1	-	-	2	34236	963	80.25	0.80	0.13	4.81	0.0270	0.31	10.49	-
-8	3/4	9	6.53	36.0	1	4	-	-	-	-	-	1	34236	570	35.62	0.60	0.29	10.00	0.0290	0.45	25.05	-

DTALES

2.12 70.73

TABLA # 3

SISTEMA DE FILTRADOS
 CALCULO PARA LA DESCARGA

RAMAL	Ø	Q	VELOC	LONG.	RED	COD 90	TEE	VALV GLOB	VALV CHEQ	Re	L/D ACC	LONG. EQUIV	d1/d2	k	Lk EQUIV	f	$V^2/2g$	h_f
1-2	1 1/4	25	5.36	12.00	-	1	1	2	1	57061	211	21.98	-	-	-	0.0243	0.45	3.53
2-3	1 1/4	25	5.36	59.76	-	5	-	1	-	57061	163	16.98	-	-	-	0.0243	0.45	7.98
2-4	1 1/4	25	5.36	20.00	-	1	1	-	-	57061	50	5.20	-	-	-	0.0243	0.45	2.62
4-5	3/4	83	5.00	11.50	1	4	-	1	-	31688	295	18.43	0.6	0.29	9.8	0.0296	0.39	7.30
4-6	1 1/4	16	3.59	2.00	-	-	1	-	-	38048	20	2.08	-	-	-	0.0265	0.20	1.04
6-7	3/4	83	5.00	18.91	1	4	-	1	-	31688	295	18.43	0.6	0.29	9.8	0.0296	0.39	8.66
6-8	3/4	83	5.00	28.32	1	5	-	1	-	31688	325	20.31	0.6	0.29	9.8	0.0296	0.39	10.5
TOTALES																	2.72	41.6

TABLA # 2

LONGITUDES EQUIVALENTES (L/D) PARA VALVULAS CONVENCIONALES Y ACCESORIOS

VALVULA GLOBO	COMPLETAMENTE ABIERTA	450
VALVULA DE ANGULO	60 COMPLETAMENTE ABIERTA	175
	45 COMPLETAMENTE ABIERTA	145
VALVULA DE COMPUERTA	COMPLETAMENTE ABIERTA	13
VALVULA CHECK	COMPUERTA CONVENCIONAL	135
VALVULA DE PIE CON BERNISERA	COMPLETAMENTE ABIERTA	420
CODOS DE 90 ESTANDAR		30
CODOS DE 45 ESTANDAR		15
CODOS DE 90 RADIO LARGO		140
TEE ESTANDAR	EN RAMAL	60
	EN LINEA PRINCIPAL	20

TABLA # 3

DENSIDAD DE LA SALMUERA A DIFERENTE CONCENTRACION

BAUME	10	14	16	18	20	22	25	26
DENSIDAD								
Lbs/ft ³	1.0787	1.1080	1.1620	1.1319	1.1478	1.1640	1.1887	1.1972

TABLA # 4

PESO ESPECIFICO DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

TEMP OF	40	50	70	80	90	100	140	180
PESO ESPEC.								
Lbs/ft ³	62.42	62.34	62.27	62.19	62.11	62.00	61.79	60.87

TABLA

(A)

PERSONAL PARA REPARACIONES Y LIMPIEZA

ITEM	PUESTO QUE DESEMPEÑA	CANTIDAD	HR.-HONERE	SALARIO-HR.	COSTO TOTAL
1	MECANICO DE PRIMERA	2	1728	3.00	5829.00
2	MECANICO DE SEGUNDA	2	1728	1.50	2592.00
3	SOLDADOR	1	500	2.50	1250.00
4	FEANES	5	3640	2.50	8912.00
5	REBERBERADOR CALDERA	1	128	5.00	640.00
6	AYUD. REBERBERADOR	1	128	2.00	256.00
GRAN TOTAL					17179.00

EN LA REPUBLICA DE HONDURAS LOS COSTOS DE LOS BENEFICIOS SOCIALES SON EL 35% DEL

COSTO TOTAL:

$$17179.00 * 1.35 = 23192.73 \text{ LEMPIRAS}$$

TABLA # (B) 1

PERSONAL PARA CONSTRUCCIONES

ITEM	PUESTO QUE DESEMPEÑA	CANTIDAD	HR.-HOMBRE	SALARIO-HR.	COSTO TOTAL
1	ARMADOR DE TANQUE	1	680	3.50	2380.00
2	ARMADOR DE ESTRUCTURAS	1	522	3.50	1827.00
3	MECANICO DE PRIMERA	2	1792	3.00	4554.42
4	SOLDADOR DE PRIMERA	7	4274	3.00	12828.00
5	SOLDADOR DE ARBON	1	116	6.00	696.00
6	SOLDADOR DE SEGUNDA	3	1682	1.50	2523.00
7	ELECTRICISTA	1	1160	2.00	2320.00
8	AYUDANTES GENERALES	9	5668	3.75	4251.00
9	AYUDANTE DE ALTURA	5	2612	0.80	2296.80
10	BODEG. TOMADOR TIEMPO	1	1160	1.66	1925.60
11	COMPRADOR-HOTERISTA	1	1160	1.25	1450.00
GRAN TOTAL					37051.80

EN LA REPUBLICA DE HONDURAS LOS COSTOS DE LOS BENEFICIOS SOCIALES SON EL 35% DEL

COSTO TOTAL:

$$37051.80 * 1.35 = 50019.93 \text{ LEMPIRAS}$$

TABLA # 9

PERSONAL PARA MONTAJE

ITEM	PUESTO QUE DESEMPEÑA	CANTIDAD	HR.-HOMBRE	SALARIO-HR.	COSTO TOTAL
1	MECANICOS DE MONTAJE	2	2080	3.50	3788.00
2	MECANICOS DE SEGUNDA	2	2098	1.50	3132.00
3	TUBEROS	2	812	3.50	2842.00
4	SOLDADOR DE SEGUNDA	2	812	1.50	1218.00
5	INSTRUMENTISTA	1	348	8.00	2784.00
6	AYUD. INSTRUMENTISTA	1	348	3.00	1044.00
7	SOLDADORES DE TUBERIA	2	812	3.00	2436.00
8	AYUDANTES GENERALES	15	4698	0.75	3523.50
9	MAESTRO AISLADOR	1	210	6.00	1260.00
10	AYUDANTES AISLADORES	6	1260	2.00	2520.00
GRAN TOTAL					28067.50

EN LA REPUBLICA DE HONDURAS LOS COSTOS DE LOS BENEFICIOS SOCIALES SON EL 35% DEL

COSTO TOTAL:

$$28067.50 * 1.35 = 37891.12 \text{ LEMPIRAS}$$

Tanto las reparaciones, construcciones y montajes necesitan una parte administrativa por lo que esta esta formada y sus costos son:

TABLA # 18

ITEM	PUESTO QUE DESEMPEÑA	PERSONAL ADMINISTRATIVO		SUELDO-MES	COSTO TOTAL
		CANTIDAD	MES-HOMBRE		
1	GERENTE GENERAL	1	10	6000.00	60000.00
2	GERENTE DE PROYECTO	1	10	5000.00	50000.00
3	SUPERVISOR DE MONTAJE	1	8	3000.00	24000.00
4	CONTADORES	1	10	2000.00	20000.00
5	SECRETARIA	1	10	1000.00	10000.00
6	AUX. DE SECRETARIA	1	10	400.00	4000.00
7	CONSERJE	1	10	200.00	2000.00
GRAN TOTAL					170000.00

EN LA REPUBLICA DE HONDURAS LOS COSTOS DE LOS BENEFICIOS SOCIALES SON EL 35% DEL

COSTO TOTAL:

$$170000.00 \times 1.35 = 229500.00 \text{ LEMPIRAS}$$

Para construcciones y montaje se alquilaron ciertos equipos, los mismos que no serian adquiridos por REBAL y sus costos son:

TABLA 4 ~~52~~

COSTO DEL EQUIPO ALQUILADO

ITEM	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CANTIDAD	No. Hrs- EQUIPO	COSTO Hr-EQUIPO	COSTO TOTAL
1	EQUIPO DE CAICORTE	1	700	5	3500.00
2	GRUA DE 80 TONELADAS	1	150	120	18000.00
3	MAQUINA 6000 LIBRAS	1	400	50	20000.00
4	TRANSPORTE DEL EQUIPO PUERTO-PLATAFORMA	1	1000	42	42000.00
5	MAQUINA DE SOLDAR CON MOTOR INCORPORADO	1	200	20	4000.00
6	PLANTA ELECTRICADA	1	50	30	1500.00
COSTO TOTAL					89000.00

EL ALQUILER DE ESTOS EQUIPOS ESTAN SUJETOS A UN IMPUESTO DE 5% POR LO TANTO

EL COSTO TOTAL ES :

$$89000.00 * 1.05 = 93450.00 \text{ LEMPIRAS}$$

TABLA # 12

VISCOSIDAD DE LA SALMUERA A DIFERENTES TEMPERATURAS

TEMP OF	10	20	40	60	100	120	140	160	180
VISCOSIDAD Centipoise	4.5	3.3	2.25	1.30	1.10	0.87	0.70	0.61	0.52

TABLA # 13

DATOS DE INGENIERIA

DATOS PARA TUBERIA CEDULA 40

DIAMETRO NOMINAL Pulg.	DIAMETRO EXTERIOR pulg.	ESPESOR pulg.	DIAMETRO INTERIOR Pulg.	d2 pulg ²
1/4	0.540	0.098	0.364	0.1325
1/2	0.840	0.109	0.622	0.3869
3/4	1.050	0.113	0.824	0.6687
1	1.315	0.133	1.049	1.100
1 1/4	1.660	0.140	1.380	1.904
1 1/2	1.900	0.145	1.610	2.592
2	2.375	0.154	2.067	4.272
2 1/2	2.975	0.203	2.469	6.096
3	3.500	0.216	3.068	9.413
4	4.500	0.237	4.026	16.21
5	5.563	0.258	5.047	25.47
6	6.625	0.280	6.065	36.70
8	8.625	0.322	7.981	6370.00

TABLA # 14

CAIDA DE PRESION PARA 100 FT. DE TUBERIA CIEGULA 12

CAUDAL Gpm	DIAMETROS pulg.					
	1 1/2	2	3	4	6	8
5	11.12	3.75	6.733	9.223	11.104	13.472
10	11.17	6.49	11.97	16.453	21.14	26.193
15	11.22	9.99	17.99	24.733	31.76	39.284
20		14.6	26.76	36.63	45.735	56.375
25		20.6	38.5	51.78	63.18	77.87
30			53.7	71.23	84.93	105.3
35			80.2	97.98	116.64	145.35
40			111.8	133.24	157.45	198.7
45				178.69	208.86	265.37
50				229.2	270.91	336.84
60					337.71	417.7
70					417.59	512.23
80					511.9	621.37
90						744.76
100						881.79
120						1113
150						1611

TABLA # 14
 Continuacion
 CAIDA DE PRESION PARA 100 FT. DE TUBERIA CEDULA 40

CAUDAL Gpm	DIAMETROS pulg.					
	2 1/2	3	4	5	6	8
10	0.046					
15	0.094					
20	0.156	0.056				
25	0.234	0.083				
35	0.436	0.157	0.041			
42	0.556	0.192	0.052			
45	0.568	0.239	0.064			
60	1.190	0.406	0.107			
75	1.590	0.540	0.143	0.047		
90	2.030	0.697	0.189	0.060		
90	2.530	0.861	0.224	0.074		
100	3.090	1.050	0.272	0.090	0.036	
125	4.710	1.610	0.415	0.135	0.055	
150	6.690	2.240	0.580	0.190	0.077	
175	8.970	3.000	0.774	0.253	0.102	
200	11.63	3.870	0.985	0.323	0.150	
225	14.63	4.830	1.230	0.401	0.162	0.043
275		7.140	1.790	0.583	0.234	0.061
300		8.360	2.110	0.683	0.275	0.072
325		9.890	2.470	0.797	0.320	0.083
375			3.250	1.050	0.416	0.108
400			3.680	1.190	0.471	0.121
425			4.120	1.330	0.529	0.136
454			4.600	1.480	0.590	0.151
475			5.120	1.640	0.653	0.166
500			5.650	1.810	0.720	0.182
550			6.790	2.170	0.861	0.291
600			8.040	2.550	1.020	0.258
650				2.980	1.180	0.301
700				3.430	1.350	0.343

TABLA # 15

DATOS DE SELECCION PARA SINFINES

SAL COMUN SECA FINA		70-80 lbs/ft ³	
CLASE B27PL	B	GRANO FINO	
	2	ANGULO DE REPOSO 30-45 FLUYE LIBREMENTE	
	7	MATERIAL ABRASIVO	
	P	CORROSIVO	
	L	HIGROSCOPICO	
GRUPO COMPONENTE	DIAMETRO	DIAMETRO DEL COUPLING	1 1/2"
2D	6"	ESPEJOR DEL GUSANO	14 ga
		ESPEJOR DE LA COBERTURA	16 ga
		COUPLING DE ACERO Y SOPORTES DE HIERRO.	
CAPACIDADES Y VELOCIDADES PARA SINFIN HORIZONTAL	B27, 2D	DIAMETRO DEL GUSANO	6"
		MAX. TAMAÑO DE GRANO	3/4"
		MAX. VELOC. RECOMENDADA	60 RPM
		CAPACIDAD MAXIMA EN ft ³ /hr	
		A LA MAXIMA VELOCIDAD	90
		CAPACIDAD EN 1 RPM	1.5
		CARGA TRANSVERSAL	30%
LONGITUD MAXIMA Y FACTOR DE CABALLAJE	B27, 6", 1 1/2"	MAXIMA LONGITUD	100 ft
		FACTOR DE CABALLAJE k	180

CONT. TABLA # 15

SAL COMUN SECA FINA		70-80 lbs/ft ³	
SELECCION DEL GUSANO	6", 1 1/2"	LONGITUD EN fts DE CADA SECCION	9-10'
		PESO POR SECCION	62 lbs
		DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL	
		EXTERIOR	2 3/8"
		PITCH	6"
		DIAMETRO DEL PERNO EN EL	
		COUPLING	1/2"
		SEPARACION ENTRE HUECOS EN EL	
		COUPLING	2"
SELECCION DE LA FORMA Y DIMENSIONES DE COBER- TURA	6", 16 ga	PESO POR SECCION	78 lbs
		A B C F L M	
		7" 4 1/2" 5" 7 1/2" 9 7/8' 10'	
ARREGLO MÓTOR REDUCTOR		UN MOTOREDUCTOR MONTADO EN EL EJE DEL SINFIN, SOPORTANDO UN MOTOR EL CUAL SE SOPORTA POR UNA PLACA CON PERNOS LARGOS PARA FACILITAR EL TEMPLADO DE LA BANDA	

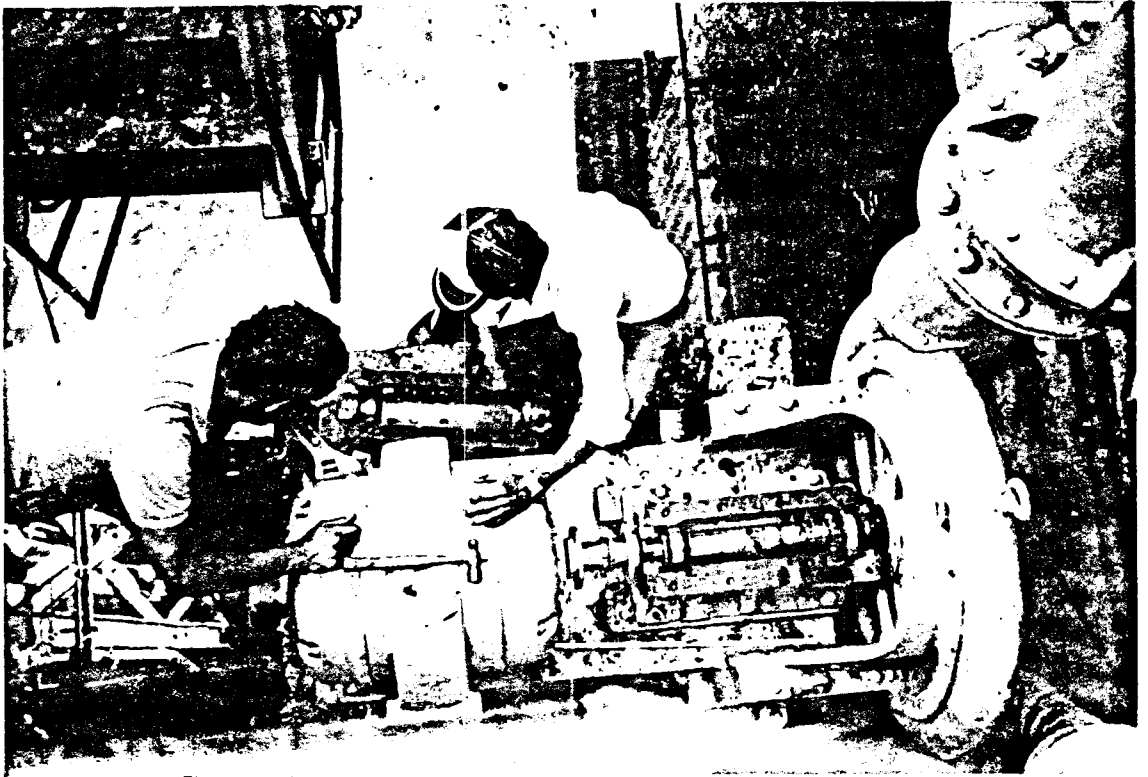


Fig.# 28. Reparación de bomba de vacío.

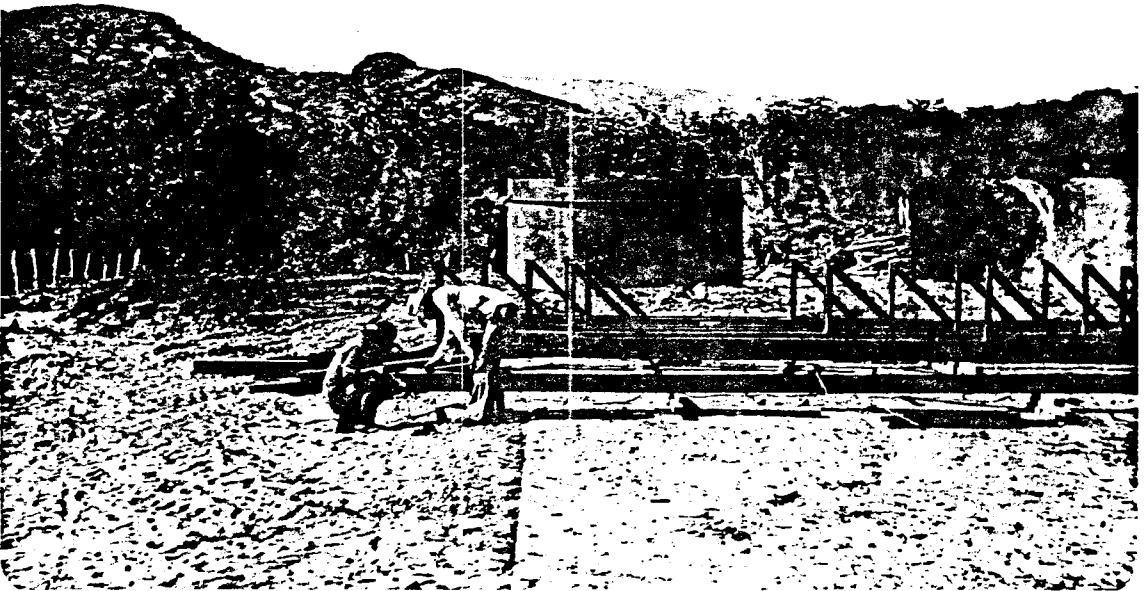


Fig. # 30. Construcciones estructura triple efecto

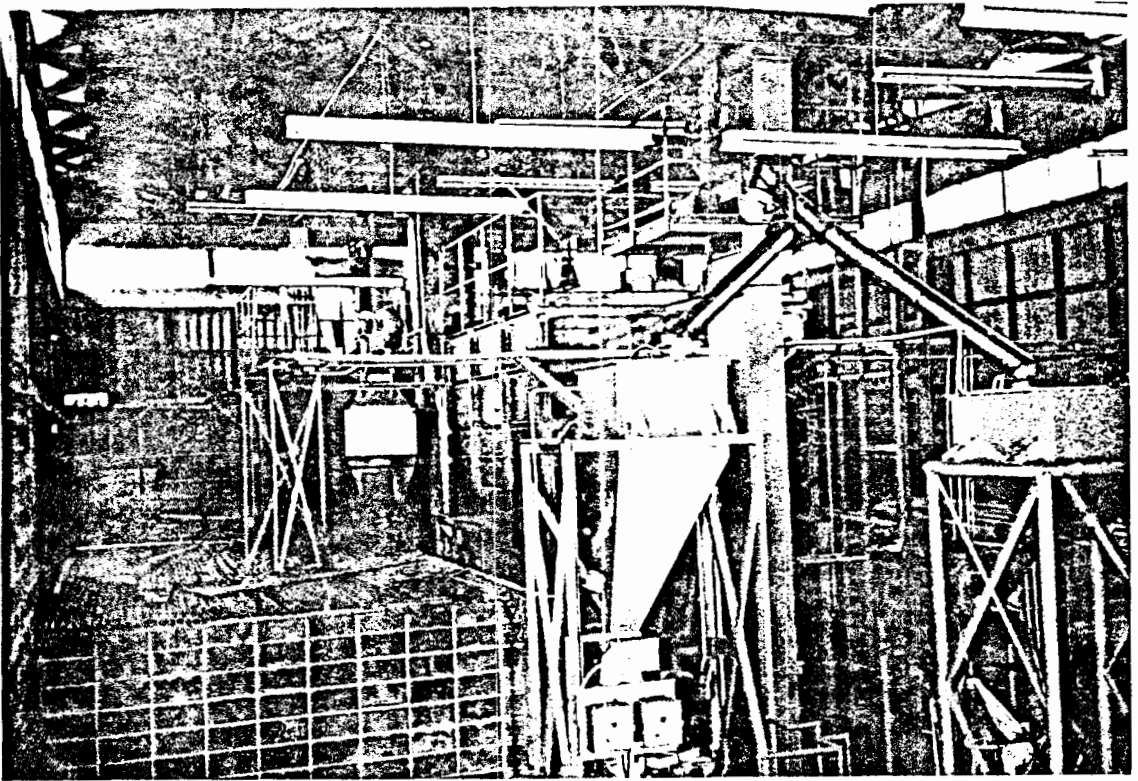


Fig. # 31. Sección de transporte y entolvado de sal.

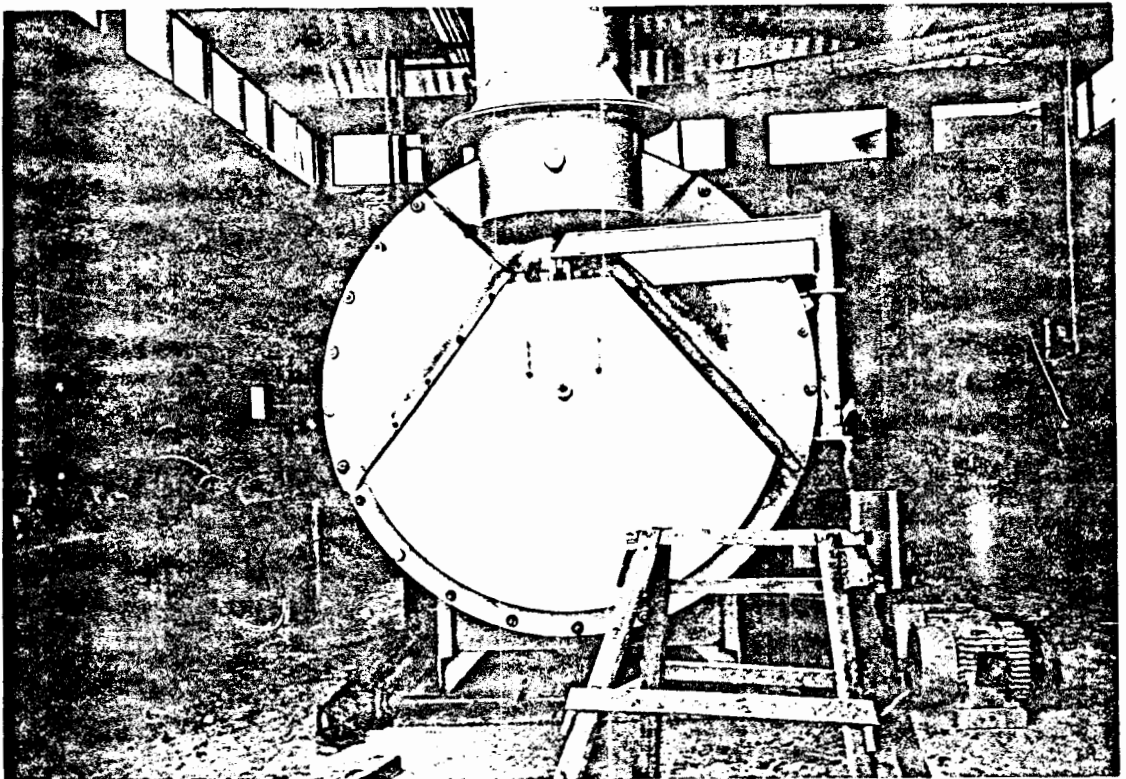


Fig. # 32. Caldera York Shipley 450 HP.

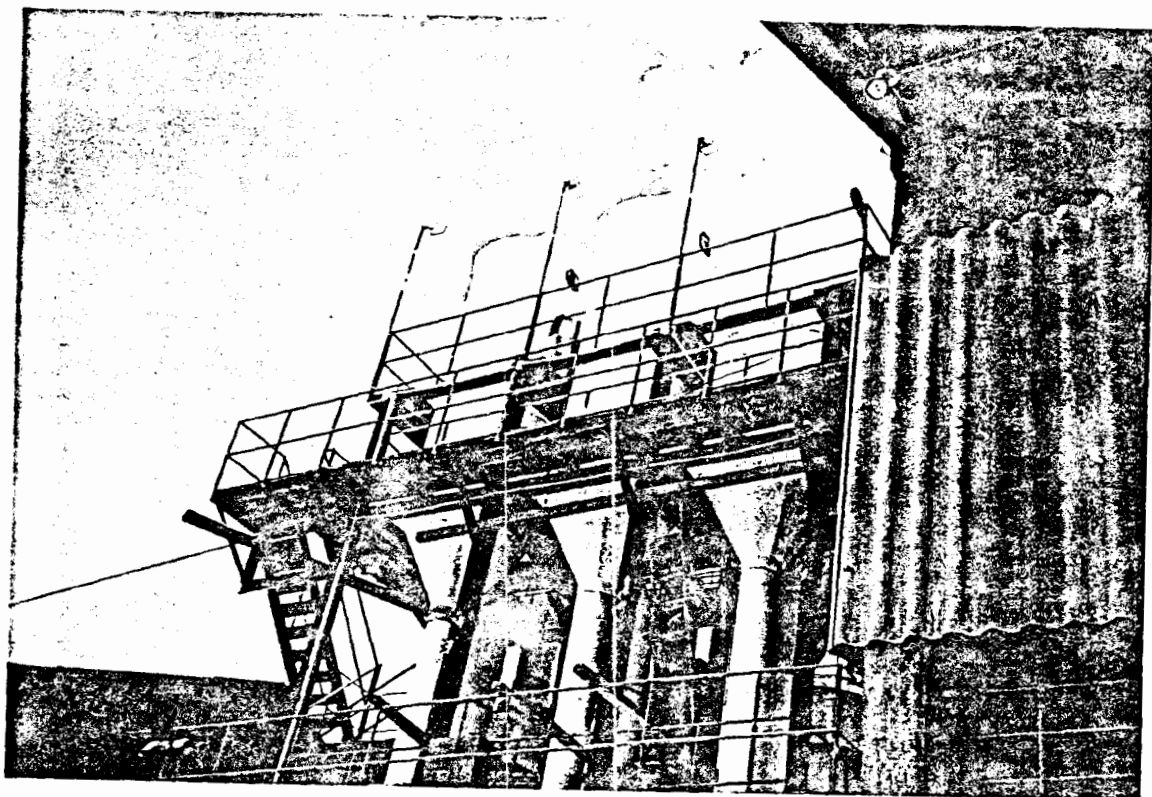


Fig. # 33. Evaporadores.

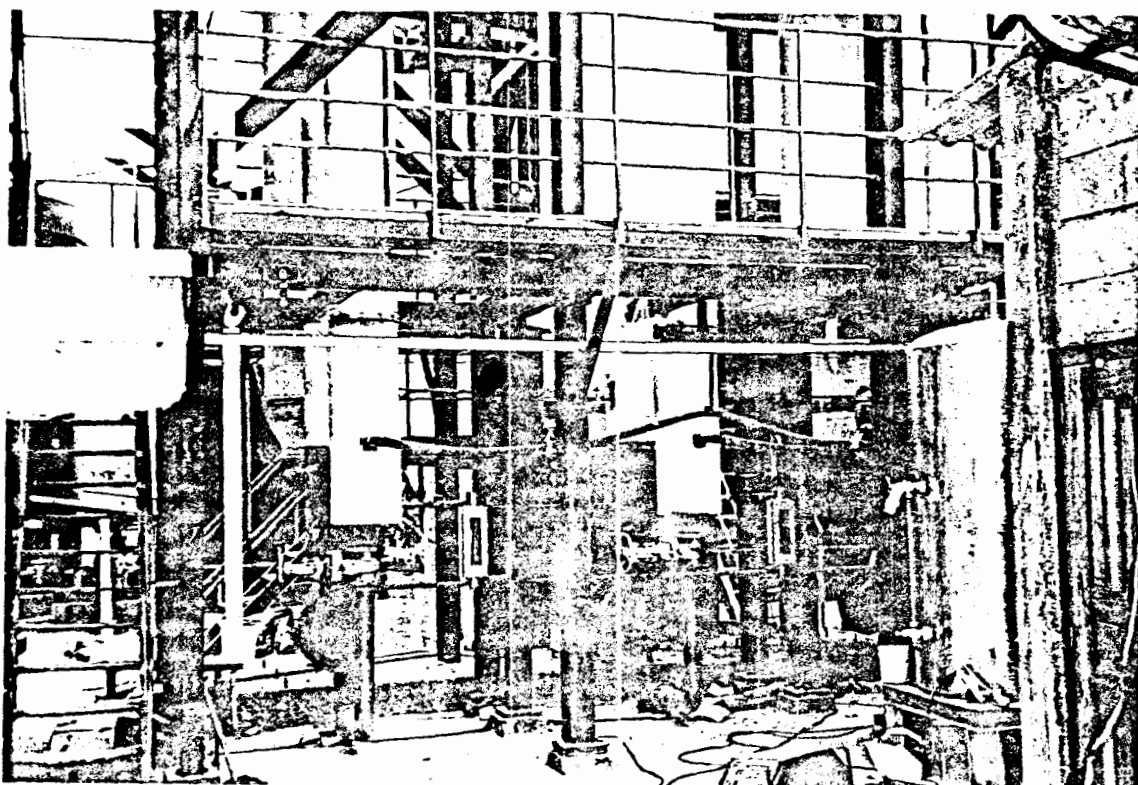


Fig. # 34. Piernas elutriadoras.

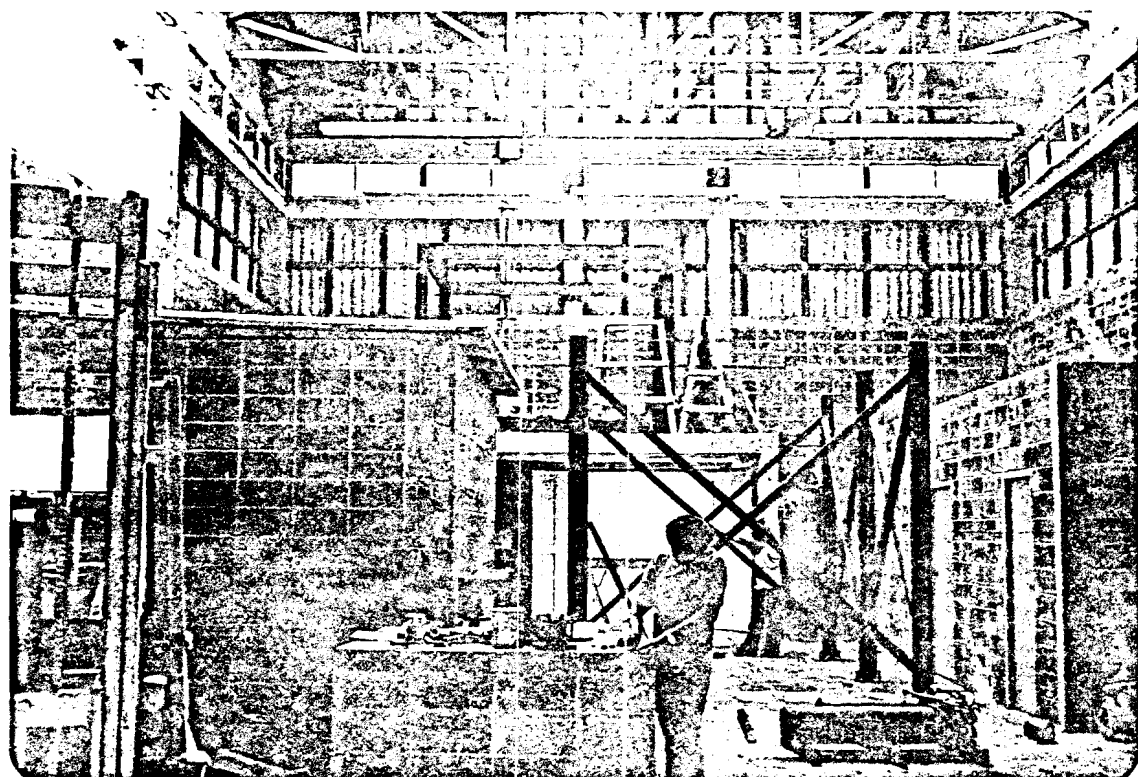


Fig. # 35. Construcciones y limpieza.

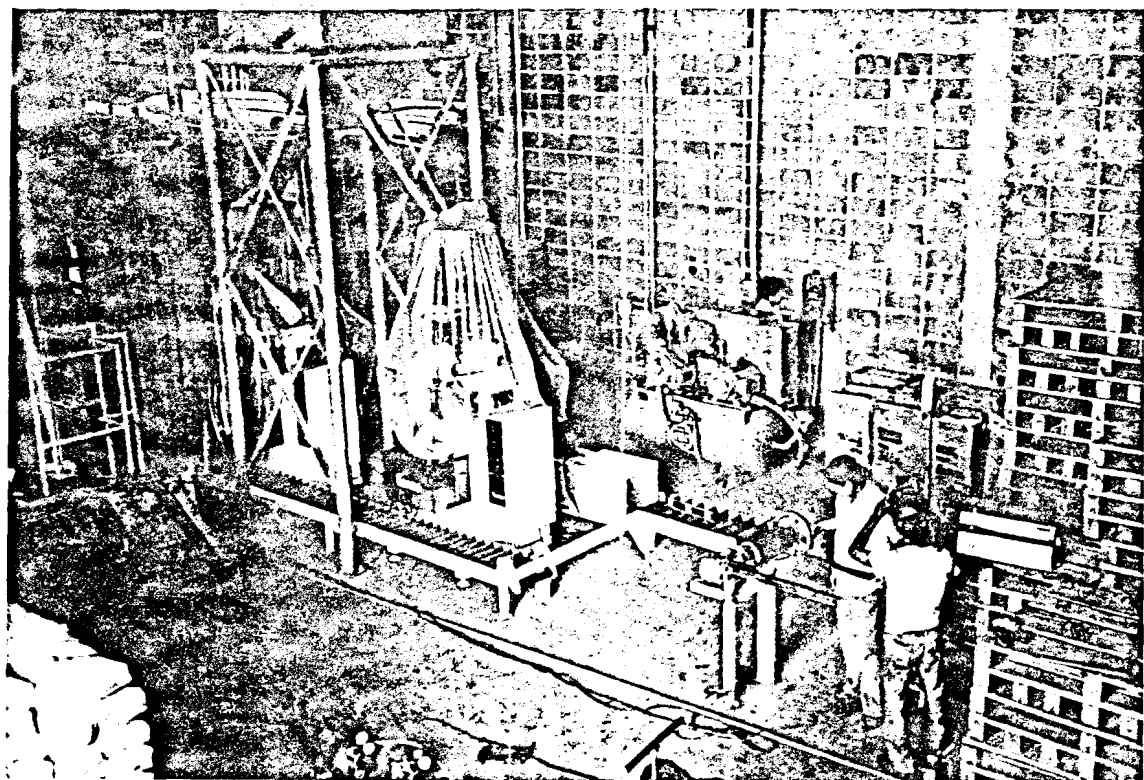


Fig. # 36 . Sección de embolsado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Keenan-Keeyes-Hill-Moore, Steam Tables, (John Wiley & Son, Inc., New York, 1969) pp. 3, 5, 8, 11.
- 2.- Marks, Manual del Ingeniero Mecánico (McGraw-Hill, México, 1982) pp. 9-69, 9-70.
- 3.- Worthington, Pump Selector for Industry (Worthington, Chicago, 1982) pp. 81, 122, 146, 226.
- 4.- Fisher & Porter, General Catalog 845, (Fisher & Porter, Costa Rica, 1984) pp. B8, B25.
- 5.- Perry, Chemical Engineers' Handbook (McGraw-Hill, New York, 1973) pp. 6, 93.
- 6.- Perry, Chemical Engineers' Handbook (McGraw-Hill, New York, 1973) pp. 6, 97.
- 7.- Crane, Flow of Fluids Through valves, fittings, and pipe (Industrial Products group, Chicago 1975)
- 8.- F. W. O'Neil, Compressed air data (Compressed air magazine Company, New York, 1980) pp. 97.
- 9.- Perry, Chemical Engineers' Handbook (McGraw-Hill, New York, 1973) pp. 10, 41.
- 10.- Marks, Manual del Ingeniero Mecánico (McGraw-Hill, México, 1982) pp. 10, 49.
- 11.- Perry, Chemical Engineers' Handbook (McGraw-Hill, New York, 1973) pp. 6, 53.
- 12.- Perry, Chemical Engineers' Handbook (McGraw-Hill, New York, 1973) pp. 6- 64, 6-65.