



MODIFICACION AL SISTEMA DE  
ENFRIAMIENTO DE UNA BATERIA  
DE MAQUINAS DE COMBUSTION  
INTERNA

Tesis

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta

JOSE LUIS CASTAÑEDA ZUÑIGA

MEXICO, D. F.

1963



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Modificación al sistema de en-  
friamiento de una batería de -  
máquinas de combustión interna.

Que para obtener el título de:  
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA  
Presenta:

JOSE LUIS CASTAÑEDA ZUÑIGA

17/54



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
Dirección  
Núm. 73-  
Exp. Núm. 73/214.2/1.-

Al Pasante señor José Luis CASTANEDA ZUÑIGA  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor profesor Ingeniero Miguel Reyes A., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA.

ESTUDIO SOBRE MODIFICACION PARA MEJORAR EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UNA BATERIA DE MAQUINAS DE COMBUSTION INTERNA.

"Deberán desarrollarse los siguientes conceptos:

I.- EXPOSICION DEL PROBLEMA.

- a)- Descripción del sistema actual
- b)- Analisis de las causas que motivan la destrucción de los radiadores
- c)- Generalidades necesarias sobre la Empresa en que se desarrolla el problema.

II.- SOLUCION DEL PROBLEMA.

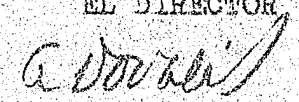
- a)- Posibilidad de mejorar las condiciones de operación del sistema actual
- b)- Posible sistemas de enfriamiento en sustitución del actual
- c)- Generalidades sobre cambiadores de calor
- d)- Cálculo de los elementos necesarios
- e)- Costos de las modificaciones propuestas

III.- CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D.F. 8 de Julio de 1963 .  
EL DIRECTOR

  
Ing. Antonio Dovalí Jaime

A mis padres

A mis hermanos

A mi escuela

# I N D I C E

	Pag.
I - INTRODUCCION AL PROBLEMA	
Prólogo	1
1.- Descripción del sistema actual	3
2.- Análisis de las causas que motivan la destrucción de los radiadores.	6
3.- Generalidades necesarias sobre la empresa.	9
II - SOLUCION DEL PROBLEMA	
4.- Posibilidades de mejorar las condiciones de operación del actual sistema.	15
5.- Posibles sistemas de enfriamiento en su situación del actual.	18
6.- Generalidades sobre cambiadores de calor.	25
7.- Cálculo de los elementos necesarios.	41
8.- Costos.	55
III - CONCLUSIONES	61
Bibliografía	62

PROLOGO

OBJETO DE LA TESIS Y EXPOSICION DEL PROBLEMA

Este Trabajo tiene como objeto la resolución de un problema que se presentó en un equipo motriz de combustión interna. Es decir, es un estudio tentativo para evaluar las diferentes posibilidades de solución que existan, descartar las no convenientes ó imprácticas, y probar las más convenientes.

Básicamente, es un estudio sobre intercambio de calor, con más precisión, es una investigación para ver la conveniencia ó capacidad de un equipo disponible de dar cierto servicio.

Asimismo, se dá un ligero repaso a los diferentes equipos de intercambio de calor del tipo de transferencia de calor sin contacto directo entre los medios frío y caliente, así como también las soluciones teóricas de los problemas y los coeficientes de diseño.

El problema que se tiene es el siguiente:

Una batería que acciona las bombas de sinfín con los que se impulsa el crudo de la estación central llamada Batería No. 1 del Campo Tamaulipas está expuesta a la acción del gas natural y éste ataca especialmente los panales de los radiadores de que consta cada máquina.

La Estación consta de cuatro grandes máquinas con sistema de enfriamiento individual.

El ataque del gas proviene principalmente del ácido sulfhídrico que tiene en cierta proporción el gas. Este ácido reacciona fácilmente con las delgadas laminillas de las aletas de los radiadores y las convierte en sulfuro de cobre, compuesto que evita la

transmisión de calor, que además es deleznable, y por lo tanto, - al tocar el panel, se deshace. El ataque es gradual y tarda -- cierto tiempo (aproximadamente dos años) en bajar la capacidad de enfriamiento de los equipos.

Como las máquinas mencionadas arriba son accionadas con gas como combustible y además se tiene una planta de compresoras de gas adyacente a la instalación, se comprenderá que siempre se tiene en el ambiente cierta proporción de gas que no puede evitarse.



1.- DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL.

La Bateria No. 1 del Campo Tamaulipas está formada por dos secciones ó cuerpos de edificio, en uno de ellos está alojado un grupo compresor de gas de los que más adelante se darán sus características, en el otro cuerpo del edificio están alojadas las motobombas que envían el aceite crudo y deshidratado al patio de tanques de almacenamiento de la Refinería Madero a través de un oleoducto de 12" de diámetro, como ya se había mencionado.

Se tienen tres motobombas funcionando continuamente y una en reserva. Las características de estas máquinas se dan a continuación:-

Marca: Fairbanks Morse

Modelo: 38 PS 5 1/4

Característica: de gas natural con ignición de bujías.

Tipo: Pistones opuestos, 2 ciclos

Número de cilindros: Cuatro

Relación de compresión: 15 - 1

BHP: Standard - 300 HP

Velocidad: 1,200 RPM

Bomba de Agua - Datos

Tipo: No reversible. Centrífuga.

Velocidad: 2,751 RPM

Capacidad: 100 gpm

Carga total: 55'

Capacidad del sistema: 40 galones.

cias que contiene y que no conviene en el proceso de utilización. Generalmente se le separa del azufre y gases azufrosos. A este proceso se le conoce con el nombre de "Endulzado".

Como se puede apreciar el Sistema de Enfriamiento es del tipo individual (cada máquina enfriada por un radiador), de circuito cerrado, con enfriamiento en radiador con panel de tubos y aletas de cobre del tipo convencional. El agua es forzada a circular por medio de una bomba centrífuga accionada por el motor a una velocidad mayor por medio de engranes. Existe también válvula de by-pass para arranque en frío.

#### Datos de Bomba de Agua.

Tipo: No reversible - Centrífuga.

Velocidad: 2,571 rpm.

Capacidad: 100 Gpm.

Carga total: 55'

Capacidad del sistema: 40 galones.

El problema que ha motivado el presente estudio, es el siguiente:

"Se observa que los paneles de los radiadores después de un tiempo de operar y continuando con buena apariencia, bajan de eficiencia, pues no enfrían el agua suficientemente y si se les toca, aún sin gran esfuerzo, por ejemplo: pasando un dedo por las aletas radiadoras, estas ceden fácilmente desmoronándose. Cuando sucede esto, hay necesidad de parar las máquinas y cambiar el panel para continuar operando satisfactoriamente".

Datos de operación

Temperatura del agua de enfriamiento saliendo de la máquina:

165° - 180°\*

\*.- Valor máximo a temperaturas ambientes elevadas.

Diferencial máximo de entrada a salida: 10° F.

NOTA No. 1: Las máquinas de esta batería trabajan con la velocidad modificada a 1,000 RPM y por lo tanto se modifica la potencia aproximadamente a 250 HP.

NOTA No. 2: El instructivo de la máquina recomienda, para enfriamiento de aceite lubricante con agua suave y enfriamiento de agua suave en dispositivo que no sea radiador:

Temperatura del agua de enfriamiento,  
saliendo de la maquinaria: 165-170° F.\*

\* Valor máximo a temperatura ambiente elevada:

Utilizaremos este dato de 170° F. basándonos en las altas temperaturas ambientes que se tienen.

NOTA No. 3: Debe hacerse notar que este gas de alimentación a las máquinas no es tratado sino que se comprime y envía tal como se toma de los separadores. También el gas que se utiliza en la alimentación de los motores es gas crudo con las mismas características. El tratamiento adecuado para utilizarlo en accionamiento de máquinas debería consistir en quitarle algunas substan

## 2.- ANALISIS DE LAS CAUSAS QUE MOTIVAN LA DESTRUCCION DE LOS RADIADORES.

Se puede comprobar que la destrucción del material de los radiadores se debe a la existencia de gases de los pozos en el ambiente de la Sala de Máquinas, ya que el grupo compresor de gas para su envío a la Refinería Madero, es adyacente a la Sala de las Motobombas de crudo, como ya habíamos mencionado. También la alimentación a las motobombas se hace por medio de gas crudo. Se tienen algunos escapes en esta instalación, además de fugas en los gasoductos de llegada a la batería y en la alimentación a las máquinas mismas, de tal manera que la atmósfera está bastante contaminada de tal gas. Ahora bien, se puede comprobar que en dicho gas existen entre las componentes ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), además de los gases hidrocarburos normales.

Como se puede ver a continuación el H<sub>2</sub>S reacciona con el cobre dando lugar a la formación de sulfuro de cobre (CuS) según las siguientes reacciones:



La comprobación de las causas mencionadas se puede hacer por análisis de laboratorio de la substancia resultante del ataque a los panales del radiador. Efectivamente, se llevaron a cabo análisis cualitativos y cuantitativos de laboratorio en la Refinería Madero y se comprobó que la substancia era sulfuro de cobre, por lo que se puede atribuir razonablemente al gas natural crudo la destrucción de los radiadores. El ataque es más notable sobre peli-

7

culas delgadas de cobre) como son las aletas de los radiadores. Casualmente y también debido a la existencia del azufre en el gas de alimentación a las motobombas, se observa otro problema: el - rapidísimo desgaste de las bujías de los mismos motores, así como de los cables de encendido de estos.

A continuación se da el análisis del gas del Campo Tamulipas y - Constituciones.

GAS CAMPO TAMAULIPAS

	<u>% Mol.</u>	<u>% Vol. líquido</u>	<u>% Peso</u>
H <sub>2</sub> S	1.30	0.76	2.20
Metano	86.31	82.36	68.76
Etano	3.68	4.33	5.49
Propano	3.65	4.68	8.00
Isobutano	2.31	3.52	6.68
N Butano	1.58	2.32	4.56
I Pentano	0.62	1.06	2.22
N Pentano	0.37	0.62	1.31
Hexano	0.18	0.35	0.78
Peso específico Liq. a 15.6/15.6°C	-	-	0.2971
Peso específico gaseoso (aire = 1)	-	-	0.6949
Fracción líquido total lt/m <sup>3</sup> .	-	-	3.0250
Fracción líquido C <sub>3</sub> y demás Gal/1000 pie <sup>3</sup> .	-	-	2.84
Poder calorífico total BTU/pie <sup>3</sup>	-	-	1210.35
" " Kcal/m <sup>3</sup> .	-	-	10769.69
" " Neto BTU/pie <sup>3</sup> .	-	-	1097.85
" " Neto Kcal/m <sup>3</sup> .	-	-	9768.67

### 3. GENERALIDADES.

Solo con objeto de dar una idea general del lugar y la industria - donde se realizó este estudio, a continuación se darán algunos da-  
tos generales.

LA INDUSTRIA.- Petróleos Mexicanos es la entidad económica que ex-  
plota, refine y distribuye el petróleo, gas y sus derivados en Mé-  
xico; habiéndose constituido con motivo de la expropiación de las-  
empresas extranjeras que explotaban dichos productos desde princi-  
pio del siglo hasta 1938, por medio de concesiones que les fueron-  
otorgadas durante Gobiernos del período Pre-Revolucionario.

Dado el gran tamaño del área donde se encuentran localizados los -  
yacimientos petrolíferos, se ha dividido el país en tres grandes zo-  
nas, Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur.

ZONA NORTE.- Comprende toda la parte Norte del país, incluyendo -  
la zona productora de gas de Reynosa, Tamps., y la región costera-  
del golfo hasta la barra norte de Tuxpan, Ver.

ZONA CENTRO.- Comprende el área desde barra norte de Tuxpan hasta  
inmediaciones de Veracruz, incluyendo el área productora de Poza -  
Rica. Además comprende las zonas de refinación de Azcapotzalco, -  
D.F., y la zona de refinación de Salamanca, Gto.; naturalmente que  
también corresponde la distribución y venta en toda la región.

ZONA SUR.- Comprende la zona costera desde Veracruz hasta el lími-  
te sur del país con Centroamérica, estando las principales áreas -  
productoras en el estado de Tabasco. Se cuenta también con equipo -  
de refinación en Minatitlán, Ver.

Además, cada zona aún es muy grande para su control desde un sólo punto, por lo que para su administración se tiene una cabecera de zona ó jefatura de zona que responde a México y el área de la zona se divide en "Distritos" con cabeceras locales en las zonas productoras y que responden a las Jefaturas de Zona.

En el caso de la Zona Norte donde se desarrolla nuestro problema, se tiene una división zonal de tres distritos:

Distrito Frontera Noreste.- Al que pertenecen los campos productores de gas de la parte Noreste del Estado de Tamaulipas y Norte de Nuevo León, extendiéndose hasta Ciudad Victoria, Tamps.

Aquí se produce la mayor parte del gas del país, donde se procesa y se envía a Estados Unidos y Monterrey, para su utilización en la Industria. Se cuenta para tal efecto con gasoductos que pronto se extenderán hasta Torreón, Coah., existiendo además el proyecto combinado México-Americano para la construcción de un gasoducto hasta California, a través del territorio de Estados Unidos y México por parte de Petróleos Mexicanos y la Compañía de Gas Tennessee.

La cabecera del Distrito es Ciudad Reynosa, Tamps.

Distrito Norte.- Comprende el área limitada por Ciudad Victoria, Tamps., al Norte y el cauce del Río Pánuco al Sur, aproximadamente, en todo el ancho de la zona costera, siendo este Distrito junto con el Distrito Sur la zona explotada durante más tiempo en la historia petrolera de México. En este área operaron las compañías extranjeras que fueron las que



introdujeron las técnicas a esta región, zona que era anteriormente completamente ajena a la civilización. La cabecera del Distrito es Ebanó, San Luis Potosí.

Distrito Sur.- Desde el límite del Distrito Norte hasta Barra Norte de Tuxpan, que es donde empieza la Zona Sur, comprendiendo la Zona Costera. La cabecera es Cerro Azul, Ver.

Para su control dada la magnitud de su tamaño y operaciones, Petróleos Mexicanos (conocido por PEMEX) se divide en la parte Administrativa y la parte Técnica en varios Departamentos y Superintendencias.

En la parte Técnica la autoridad mayor es la Gerencia de Explotación con residencia en la Ciudad de México, donde esta centraliza la autoridad de la Empresa.

La Gerencia de Explotación se divide en varias Superintendencias que abarcan todos los aspectos de la explotación del petróleo desde su búsqueda hasta la venta de los productos:

Superintendencia de Ingeniería Petrolera

Superintendencia de Exploración

Superintendencia de Producción

Superintendencia de Refinerías

Superintendencia de Construcción y Mantenimiento

La Superintendencia de Ingeniería Petrolera se encarga de hacer los estudios preliminares para la localización de nuevos yacimientos, de la interpretación de los indicios que aportan las brigadas de exploración por diferentes métodos. Toma las decisiones

para hacer la apertura de áreas de exploración y perforación. Hace los estudios de mantenimiento de producción y reservas.

La Superintendencia de Producción, mantiene en su aspecto práctico la producción de las diferentes áreas perforadas productoras y mantiene los planes de producción y bombeo a través de oleoductos a Refinerías, Campos de Almacenamiento y Embarcaderos.

La Superintendencia de Refinerías se encarga de la refinación de los productos por medio de diferentes Refinerías que mantiene en constante operación en varias partes del país: Reynosa, Tampico, Poza Rica, Atzacapozalco, Salamanca, Minatitlán, teniéndose proyectado una futura en Mazatlán.

Por último la Superintendencia de Construcción, Mantenimiento y Servicios Auxiliares se encarga de todo el vasto trabajo de mantener en condiciones de operación a una cantidad enorme de equipos de muy variadas características, construcción de nuevos equipos e instalación y además de otros servicios que no son precisamente los mencionados, como son servicios a las comunidades, investigación, planeación, etc.

Como se ha dicho la extensión de las labores de mantenimiento requiere enfrentarse a una infinidad de problemas tanto de Ingeniería Civil como Mecánica y Eléctrica y de Plantas Térmicas, debido a que existen en operación equipos muy viejos, que en muchos casos no ameritan ser cambiados por nuevos, debido a la limitada producción del Sector. También se tiene que el abastecimiento eléctrico se encuentra en muchos casos en un punto en que el avance de las redes nacionales esta a punto de surtir las necesidades de zonas

con plantas instaladas muy viejas que por lo mismo no ameritan cambio por nuevas, es decir, es una época en que se observa una fase de transición en muchos aspectos de técnicas viejas a nuevas que en bastantes casos hay que poner de acuerdo.

Otro aspecto es el de modificación de plantas y equipos, que en determinadas condiciones no funcionan correctamente debido a diferentes factores, y aun es necesario mantener en operación por falta de otro equipo, por limitada capacidad de compra o porque se tiene ese equipo disponible y se ve la posibilidad de operarlo llevándolo a cabo una serie de modificaciones.

EL LUGAR. - El campo de Tamaulipas es una nueva zona productora de petróleo y gas, situada dentro de la jurisdicción del Distrito Norte, de la Zona Norte de Pemex.

Está situado cerca del pueblo de Altamira, Tamps. a 26 Km. de la ciudad de Tampico, sobre la carretera de ese lugar a Cd. Mante, Tam. Constituye el centro de operación de los sectores de explotación denominados "Tamaulipas" y "Constituciones". Este nuevo centro productor es el resultado de las investigaciones de los técnicos para encontrar nuevos yacimientos en regiones a mayores profundidades, debido a la necesidad que se tiene de incrementar la producción. Se perforó a profundidades de 3,000 pies aproximadamente, correspondientes a capas del período jurásico. Su explotación data del año 1957.

La producción del nuevo campo es de 25,000 Bl. diarios aproximadamente, tomando en cuenta los Sectores "Tamaulipas" y "Constituciones", no así el de "Barcodón" de reciente localización y situado

al Norte de los ya mencionados y carcarrp a ellos. Esta producción se extrae de 225 pozos y es recolectada en las diversas baterías de SEPARADORES (Separan parcialmente el petróleo del gas conque sale del pozo), que reciben las líneas de descarga de 4" de los pozos, utilizándose para el flujo de la ceite la energía propia del pozo, originada por las presiones del subsuelo, salvo en algunos casos en que se extrae mecánicamente por medio de bombas.

Una vez que el petróleo llega a la batería es separado del gas, al macenado y medido en tanques instalados para tal efecto. El gas obtenido de esta separación es enviado por medio de compresoras hasta la Refinería de Ciudad Madero, por un gasoducto, aunque una parte de él se quema en el mismo campo en quemadores que le dan un aspecto especial a la región, de noche. Este desperdicio de energía se hace debido a la falta de plantas de transformación de este gas.

Existen en proyecto algunas plantas petroquímicas que le darán utilidad en un futuro cercano.

Continuando con el petróleo, una vez que ha sido colectado, en las baterías, de aquí siguiendo determinados programas de bombeo por medio de motobombas instaladas en cada batería, se bombea a la Batería No. Uno de Tamaulipas, donde después de un proceso de deshidratación debido a la gran cantidad de agua salada que contiene, se rebombee hasta la Refinería de Ciudad Madero por un oleoducto de 12" de diámetro.

#### 4.- POSIBILIDADES DE MEJORAR LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL ACTUAL SISTEMA

---

Se pueden analizar algunas posibilidades de mejorar el Sistema de enfriamiento para su mejor operación.

Naturalmente la solución más lógica del problema sería buscar una modificación en el equipo o tratar de eliminar las causas destructoras del mismo. La modificación o eliminación deben ser de bajo costo y posibles.

- 1.- Tratar de eliminar del ambiente la causa del ataque, es decir, el ácido sulfhídrico.
- 2.- Dar mayor resistencia al ataque ácido al material del panel del radiador, por recubrimiento del cobre o cambio de material.

Parece ser que la eliminación del ácido del ambiente es más bien complicada, ya que toda la región está perforada y contaminada la atmósfera, por lo que no solo el foco de la Batería es causa de la contaminación, así que aunque el "Endulzado" de los gases es una tarea demasiado costosa; si se llevara a cabo aún no se habría eliminado el factor que más perjudica, por lo tanto esta solución no nos parece recomendable.

La segunda solución parece ser más asequible ya que si existen materiales buenos conductores del calor y además resistentes al ataque del  $H_2S$ . Buscando entre los materiales más convenientes encontramos el aluminio.

A continuación damos algunas características comparadas entre el cobre y el aluminio en cuanto a la transmisibilidad para asegurar esto:

Cobre

k = 224 = 32° F.

k = 218 = 212° F.

Aluminio

k = 117 = 32° F.

k = 119 = 212° F.

Como se ve la transmisibilidad del aluminio es menor comparada con tra el cobre y podemos calcular que necesitaríamos una área transmisora un 56% más grande de radiación para igualar la cantidad de calor transmitida, si comparamos el aluminio con respecto al cobre. Es decir, con un panel más grande de aluminio adaptado al radiador actual se puede solucionar teóricamente el problema.

En la práctica, al pedir datos sobre la adquisición de paneles de este material, se encontró que no se fabrican, principalmente debido a problemas técnicos de construcción, por ejemplo: de soldadura y debido a que el aluminio es un material más duro que el cobre, lo que origina necesidad de equipos de corte más fuerte.

En realidad el aluminio ya se ha utilizado en este tipo de dispositivos, aunque sólo por emergencias con motivo de la escasez de cobre durante la guerra. Actualmente no se fabrican. Por lo tanto esta solución también fue desechada.

En cuanto a la posibilidad de aplicar recubrimientos para dar resistencia contra el ataque ácido a los radiadores no se encontró ningún dato sobre este procedimiento, ni datos de transmisibilidades de recubrimientos; así como tampoco de la influencia que tendrían este procedimiento sobre la operación de cambio de calor.

Aunque este otro método, necesariamente implicaría la necesidad de aumentar el área de transmisión, ya que cualquier recubrimiento disminuiría el coeficiente total de transmisión.

Por otra parte, también existe cierta resistencia de parte de la empresa al ensayo de métodos poco comunes o extraordinarios, cuando existe una solución común o ya ensayada. Por lo tanto esta otra posible solución ni siquiera se llegó a intentar.

## 5.- POSIBLES SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO EN SUSTITUCION DEL ACTUAL

Una vez que ya hemos desechado las soluciones más directas, nos vemos en la necesidad de tener que escoger un sistema de enfriamiento de los tipos convencionales, que sustituya ventajosamente al establecido.

Tenemos que existen dos posibles sistemas de enfriamiento que podemos ensayar:

a).- Circuito cerrado y contacto directo. Torre enfriadora.

b).- Circuito cerrado.- Intercambiadores de calor.

A continuación se discutirá brevemente la conveniencia o inconveniencias que existen para la utilización de cada uno de los dos sistemas.

El enfriamiento de contacto directo en torre enfriadora se utiliza cuando el fluido que va a ser empleado no importa que se contamine. La contaminación puede ser de varias clases y se debe al contacto de fluido enfriador con el enfriado. Se tiene el arrastre de partículas de tierra que van con el aire, que pueden llegar a causar taponamientos por lodos y sales en las tuberías, además de ser causa indirecta de algunas formaciones bacterianas.

El aire arrastrado por el agua, causa problemas de tipo corrosivo, debido a la presencia de oxígeno y bióxido de carbono libre, en las tuberías.

Las torres enfriadores se usan generalmente para enfriar agua provenientes de sistemas de procesos de enfriamiento, por medio de aire para enfriar el agua para su posterior utilización en el mis-



mo ciclo.

Aquí se tiene la ventaja de que la torre enfriadora ordinariamente reduce el requerimiento de agua fresca, alrededor del 98%, aunque se presenta la contaminación causada por la saturación del aire, con el vapor de agua.

Desde el punto de vista de la corrosión, 120° F. es la máxima temperatura a la que el agua de enfriamiento emerge del equipo tubular. Si alguno de los productos líquidos en una planta, se enfría abajo de 120° F., la temperatura de salida del agua es usualmente más baja de 120° F. para prevenir una "cross" apreciable de temperatura dentro del equipo tubular. La temperatura del agua a una torre de enfriamiento, raramente excede de 120° F. y es usualmente normal.

Cuando la temperatura del agua de un proceso es mayor de 120° F., el incremento de evaporación puede justificar el uso de un enfriador atmosférico, para prevenir el contacto directo entre agua caliente y aire.

El problema de la corrosión en circuitos abiertos de recirculación es mucho más intenso comparado con los sistemas cerrados. Influencias agravantes son la continua saturación del agua circulante con O<sub>2</sub>, la concentración de sólidos disueltos debidos al ciclo y la contaminación del agua de circulación por materias suspendidas.

La eficiencia máxima de transferencia de calor demanda la eliminación de escamas o costras en los elementos cambiadores. Se necesita también controlar la corrosión. Con respecto a esto, tenemos que altas concentraciones de cromatos; de 300 a 500 ppm. controlan la corrosión en la mayor parte de los problemas, pero en muchos

casos el costo del tratamiento no se justifica. El desarrollo del método DIANODICO permite el uso de relativamente bajas concentraciones, bajo condiciones de ph. controladas previniendo con protección contra el picado, encostrado o incrustación y ataque general.

METODO DIANODICO.— La combinación de dos inhibidores de corrosión de tipo anódico; fosfatos y cromatos a bajas concentraciones (70 ppm.) aproximadamente y condiciones de ph. controladas, reducen el picado a una fracción mucho menor que la que se obtendría utilizando cada uno de los tratamientos separadamente.

El enfriamiento en circuito cerrado por medio de intercambiadores de calor es una disposición que presenta como ventajas desde el punto de vista de operación el que mantiene sus características iniciales más tiempo, con menos mantenimiento. Estas características iniciales pueden ser: propiedades físicas y químicas del agua en circulación, agua de repuesto mínimo, contaminación mínima, derrames y filtraciones mínimas, etc.

En cuanto a la construcción el sistema tiene sus ventajas en el hecho de que es un equipo muy compacto y fácil de instalar y con una duración más grande que la torre de enfriamiento con mantenimiento mínimo.

Depende menos un equipo de este tipo de las condiciones atmosféricas, como presión, temperatura, y humedad del aire, de la velocidad del viento, etc., que en una torre de enfriamiento en la que influyen grandemente estos factores.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPO.- Debido al tamaño de la empresa, continuamente se tienen en existencia y disponibles para su utilización equipos provenientes de recuperación de desmantelamientos, equipos desmontados temporalmente, materiales de refacción, etc. En nuestro caso se contaba con dos intercambiadores de calor disponibles y nuevos, por lo que teníamos necesidad de analizar la posibilidad de utilización en ese trabajo.

En caso de que éste análisis diera resultados afirmativos, la selección del tipo de sistema de enfriamiento se podría considerar hecho, ya que no se tendrían que hacer adquisición de otro equipo similar, o en otro caso de los materiales para construir una torre.

IMPUREZAS COMUNES EN EL AGUA

CONSTITUYENTE	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES CAUSADAS	MEDIOS DE TRATAMIENTO
Turbidez	Ninguna. Se expresa en el análisis, como unidades.	Imparte apariencia sucia al agua. Se deposita en líneas de agua, equipos de procesamiento, calderas, etc. Interfiere con casi todos los procesos.	Coagulación Filtración
Color	Ninguna. Se expresa en análisis como unidades de color en escala arbitraria.	Puede causar espuma en calderas. El método Hinders de precipitación como remoción de hierro. Ablandamiento por fosfato caliente. Puede colorar productos en proceso.	Coagulación Clorinación por carbón
Dureza	Sales de calcio y magnesio expresadas como $\text{CaCO}_3$	Principal fuente de incrustación en equipo cambiador de calor, calderas, tuberías. Orma precipitados con jabón, interfiere con el lavado, etc.	Ablandamiento Tratamiento agua de Activos S
Alcalinidad	Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) Carbonato ( $\text{CO}_3$ ) e Hidrato ( $\text{OH}$ ) expresado como $\text{CaCO}_3$	Espumado y arrastre de sólidos con el vapor. Vuelve quebradizo el acero de calderas. Bicarbonato producen $\text{CO}_2$ en vapor, una fuente de corrosión.	Ablandamiento da tratamiento damiento geno. Des De alcali bio de an
Acido Mineral Libre	$\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HCl}$ , etc. expresado como $\text{CaCO}_3$	Corrosión	Neutralización
Dióxido de Carbono	$\text{CO}_2$ .	Corrosión en líneas de agua y particularmente vapor y líneas de condensado.	Aereación Neutralización Aminas brientes.

## FORMULA QUIMICA

## DIFICULTADES CAUSADAS

## MEDIOS DE TRATAMIENTO

Ninguna. Se expresa en el análisis, como unidades.

Imparte apariencia sucia al agua. Se deposita en líneas de agua, equipos de procesamiento, calderas, etc. Interfiere con casi todos los procesos.

Coagulación, Asentado y Filtración.

Ninguna. Se expresa en análisis como unidades de color en escala arbitraria.

Puede causar espuma en calderas. El método Hinders de precipitación como remoción de hierro. Ablandamiento por fosfato caliente. Puede colorar productos en proceso.

Coagulación y Filtración  
Clorinación. Adsorción por carbono activado.

Sales de calcio y magnesio expresadas como  $\text{CaCO}_3$

Principal fuente de incrustación en equipo cambiador de calor, calderas, tuberías. Forma precipitados con jabón, interfiere con el lavado, etc.

Ablandamiento, Destilación  
Tratamiento interno de agua de calderas. Agentes Activos Superficiales.

Bi carbonato. ( $\text{HCO}_3$ )  
Carbonato ( $\text{CO}_3$ ) e Hidrato ( $\text{OH}$ ) expresado como  $\text{CaO}_3$

Espumado y arrastre de sólidos con el vapor. Vuelve quebradizo el acero de calderas. Bicarbonato producen  $\text{CO}_2$  en vapor, una fuente de corrosión.

Ablandamiento por Cal-Soda  
tratamiento ácido. Ablandamiento con Zeolita Hidrogéno. Desmineralización. De alcalinización por cambio de aniones. Destilación

$\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ , etc. expresado como  $\text{CaCO}_3$

Corrosión

Neutralización con alcali

$\text{CO}_2$ .

Corrosión en líneas de agua y particularmente vapor y líneas de condensado.

Aereación. Deaereación  
Neutralización con alcali  
Aminas neutralizantes y oxidantes.

PH	Concentración de Ion Hidrógeno definido	PH. varía de acuerdo con los sólidos ácidos o alcalinos del agua. La mayoría de las aguas naturales tienen un PH. de 6-8	PH. se calis
Sulfato.	(SO <sub>4</sub> )	Se añade a sólidos contenidos en el agua pero por si mismo no tiene importancia. Se combina con calcio para formar incrustaciones de sulfato de calcio.	Desminción.
Cloro	Cl-	Se agrega a contenidos sólidos e incrementa el caracter corrosivo del agua	Desminción.
Nitrato	(NO <sub>3</sub> )	Se agrega a contenido de sólidos pero no tiene importancia normalmente. Útil para combatir el proceso "quebradizo" de metal en tubería.	Desminción.
Flour	F -	No tiene importancia industrialmente.	Absorción magnesi o negro ción al
Hierro	Fe <sup>++</sup> (ferroso) Fe <sup>+++</sup> (Ferrico)	Decolora el agua en precipitación. Fuente de depósitos en líneas de agua, calderas, etc. Interfiere en el secado, curtid, etc.	Aereación Filtrac con Cal Filtrac
Manganeso	Mn <sup>++</sup>	Lo mismo.	Lo mismo
Aceite	Expresado como Aceite o materia extraectable de cloroformo	Escamas, lodo y espuma en calderas. Impide cambio de calor Indeseable en la mayor parte de los procesos.	Separac Extrang y filtr tierras

Concentración de Ion Hidrógeno definido	PH. varía de acuerdo con los sólidos ácidos o alcalinos del agua. La mayoría de las aguas naturales tienen un PH. de 6-8	PH. se incrementa por álcalis y decrece por ácidos
(SO4)	Se añade a sólidos contenidos en el agua pero por si mismo no tiene importancia. Se combina con calcio para formar incrustaciones de sulfato de calcio.	Desmineralización Destilación.
Cl-	Se agrega a contenidos sólidos e incrementa el carácter corrosivo del agua.	Desmineralización. Destilación.
(NO3)	Se agrega a contenido de sólidos pero no tiene importancia normalmente. Util para combatir el proceso "quebradizo" de metal en tubería.	Desmineralización. Destilación.
F -	No tiene importancia industrial normalmente.	Absorción con hidróxido de magnesio, fosfato de calcio negro de humo. Coagulación alum.
Fe <sup>++</sup> (ferroso) Fe <sup>+++</sup> (Ferrico)	Decolora el agua en precipitación. Fuente de depósitos en líneas de agua, calderas, etc. Interfiere en el secado, curtido, etc.	Aereación, Coagulación, y Filtración. Ablandamiento con Cal. Cambio catiónico Filtración de contacto.
Mn <sup>++</sup>	Lo mismo.	Lo mismo.
Expresado como Aceite o materia extraeable de cloroformo	Escamas, lodo y espuma en calderas. Impide cambio de calor Indeseable en la mayor parte de los procesos.	Separación por mamparos Extrangulador. Coagulación y filtración. Filtración p tierras diatomiasas.

Oxígeno

O<sub>2</sub>

Corrosión de tuberías de agua de equipo cambiador de calor, calderas, líneas de retorno, etc.

De aereación, inhibición.

Acido sulfhídrico

H<sub>2</sub>S

Causa olor a huevos podridos. Corrosión.

Tratamiento Clorinación de aniones

Conductividad

Se expresa en Conductancia específica.

Conductividad es el resultado de sólidos ionisables en solución. Alta conductividad puede incrementar las características conductivas corrosivas del agua.

Cualquier de crecer sueltos de tividad. realización con cal,

Sólidos disueltos suspendidos

Ninguna.

Los sólidos disueltos se calculan por evaporación. Causa interferencia en procesos. Sólidos suspendidos se calculan por gravimetría. Causa taponamientos en cambiadores de calor, calderas etc.

Subsedeo usualment coagulación



Corrosión de tuberías de agua de equipo cambiador de calor, calderas, líneas de retorno, etc.

De aereación, sulfito de sodio, inhibidores de corrosión.

H<sub>2</sub>S Causa olor a huevos podridos. Corrosión.

Tratamiento de aereación. Clorinación, cambio fuerte de aniones básicos.

Expresa en  
ductancia espe  
ca.

Conductividad es el resultado de sólidos ionisables en solución. Alta conductividad puede incrementar las características conductivas corrosivas del agua.

Cualquier proceso que haga de crecer los sólidos disueltos decrecerá la conductividad. Ejemplo: desmineralización, ablandamiento con cal, etc.

ninguna.

Los sólidos disueltos se calculan por evaporación. Causa interferencia en procesos. Sólidos suspendidos se calculan por gravimetría. Causa taponamientos en cambiadores de calor, calderas etc.

Subsistencia. Filtración, usualmente precedida por coagulación y asentamiento

6.- TIPOS DE CAMBIADORES

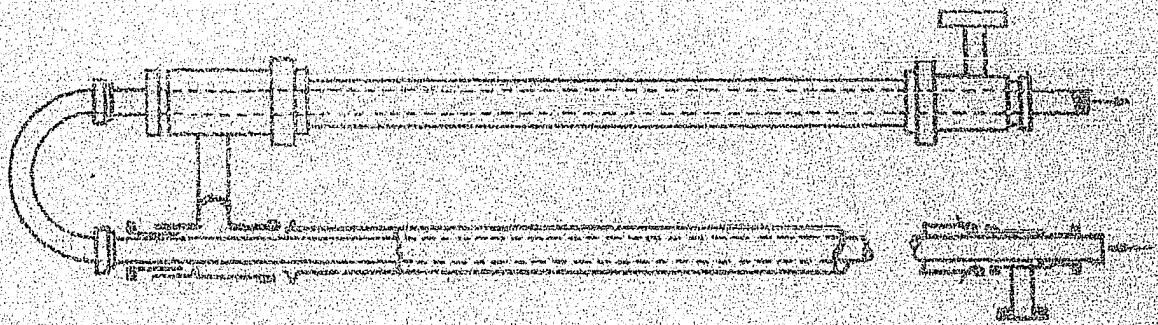
DEFINICIONES.- El equipo de transferencia de calor se define por la función que lleva a cabo en un proceso. CAMBIADORES.- Recogen el calor entre dos procesos continuos. El vapor y la agua de enfriamiento no se consideran en el mismo sentido de procesos continuos. CALENTADORES.- Se usan principalmente para calentar fluidos en proceso y el vapor se usa comunmente para éste propósito, aunque en Refinerías de aceite, el aceite caliente recirculado sirve para el mismo propósito. ENFRIADORES.- Se emplean para enfriar fluidos en proceso, siendo el agua el principal medio enfriador. CONDENSADORES.- Son enfriadores cuyo principal propósito es remover el calor latente llevándolo hasta calor sensible. RECALENTADORES.- Su propósito es abastecer los requerimientos de calor para un proceso de destilación como calor latente. EVAPORADORES.- Se emplean para la concentración de una solución por la evaporización del agua. Si cualquier otro fluido se evapora en lugar del agua, la unidad se le llama VAPORIZADOR.

CAMBIADORES DE DOBLE TUBO

Consta principalmente de dos juegos de tubos concéntricos, dos "Tees" conectoras, 1 cabezal de retorno y 1 curva de retorno. El tubo interior está soportado dentro del tubo exterior por medio de estoperos y el fluido entra al tubo interior a través de una conexión atornillada, localizada en el lado exterior de la sección del cambiador. Las "Tees" tienen toberas o conexiones atornilladas agregadas a ellas para permitir la entrada y salida del fluido any

lar que cruza de una a otra pierna a través del cabezal de retorno. Los dos tubos largos interiores están conectados por una curva de retorno que está usualmente expuesta y no provee su posible transferencia efectiva. Cuando el arreglo es en la forma en que se muestra en el dibujo, la unidad es una ("hairpin") horquilla.

El cambiador tipo doble tubo es extremadamente útil porque puede ser unido en cualquier equipo standard y provee una superficie de transferencia barata. Se ensambla generalmente en tubos de 12, 15 ó 20 pies de longitud efectiva, siendo la longitud efectiva la distancia en cada pierna por la cual la transferencia de calor ocurre. La principal desventaja del uso del cambiador de doble tubo está en la pequeña cantidad de superficie de transferencia de calor contenida en una sola "horquilla". Cuando se usa equipo de destilación o en un proceso industrial un gran número es requerida. Por lo tanto se hace necesario un espacio considerable y cada cambiador introduce aproximadamente 14 puntos en que pueden ocurrir mezclas o fugas. El tiempo y costo requerido para el mantenimiento periódico y limpieza son más altos comparados con otro tipo de equipo. Sin embargo, el cambiador de doble tubo es ampliamente usado donde la necesidad de transferencia de calor es pequeña, 100 ó 200 pies cuadrados o menos.



### COEFICIENTES DE FILM PARA FLUIDOS EN TUBOS

SIEDER Y TATE; hacen una corrección a la ecuación de MORRIS Y WIHTMAN para fluidos enfriadores y calentadores, principalmente para fracciones de petróleo en tubos verticales y horizontales, y llegan a una ecuación para fluido laminar en la siguiente forma:

para  $\frac{DG}{\mu} < 2100$

$$\frac{h_i D}{k} = 1.86 \left[ \left( \frac{DG}{\mu} \right) \left( \frac{c_p \mu}{k} \right) \left( \frac{D}{L} \right) \right]^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_0} \right)^{0.14} = 1.86 \left( \frac{4}{\pi} \frac{w_c}{kL} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_0} \right)^{0.14}$$

donde L es la longitud total de la trayectoria de transferencia de calor donde la mezcla ocurre. Esta ecuación da una desviación máxima de aproximadamente  $\pm 12\%$  para  $Re = 100$  a  $Re = 2,100$  excepto para agua. También se puede obtener la ecuación para fluidos turbulentos y es la siguiente:

$$\frac{h_i D}{k} = 0.027 \left( \frac{DE}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c\mu}{k} \right)^{1/4} \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

Esta ecuación da una desviación aproximada de +15 y -10% para números de Reynolds sobre 10,000. Estas ecuaciones fueron obtenidas para tubos y también se pueden utilizar para tuberías. Tuberías son más rugosas que tubos y producen mayor turbulencia y para número de Reynolds iguales. Se deben introducir coeficientes de corrección. Estas ecuaciones anteriores se utilizan para líquidos orgánicos, soluciones acuosas y gases. No se conservan para agua y se darán datos posteriores para éste líquido.

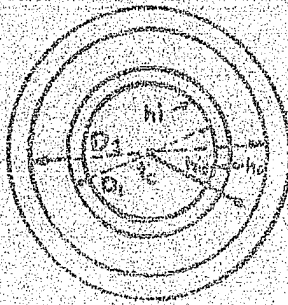
#### FACTORES DE FALLA (FOULING FACTORS)

El coeficiente total de transferencia de calor requerido para llenar las condiciones del proceso puede ser determinada de la ecuación de Fourier, cuando la superficie A es conocida y Q y  $\Delta t$  se calculan de las condiciones del proceso. Luego  $U = Q/A \Delta t$ . Si la superficie es desconocida, U puede ser obtenida independientemente de la ecuación de Fourier, de los coeficientes de doble film. Despreciando la resistencia de pared de tubo

$$\frac{1}{U} = R_{i0} + R_{o0} = \frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_{o0}} \quad U = \frac{h_{i0} h_{o0}}{h_{i0} + h_{o0}}$$

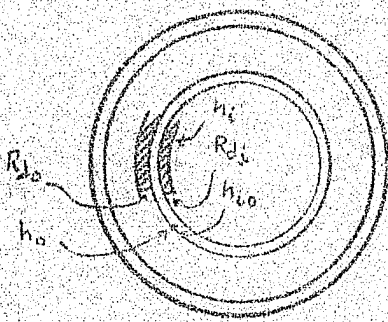
La localización de los coeficientes y temperaturas se muestran en la figura.

Fig. 6.3



Cuando  $U$  ha sido obtenida de los valores de  $h_i$ ,  $h_o$  y  $Q$  y  $\Delta t$ , son calculados de las condiciones del proceso, la superficie  $A$  requerida para este proceso puede ser calculada. El cálculo de  $A$  se conoce como diseño.

Cuando los aparatos de transferencia de calor han estado en servicio algún tiempo, sin embargo depositan capas de suciedad y escamas en el interior y exterior del tubo, añadiendo dos ó más resistencias de las que fueron incluidas en el cálculo de  $U$ . La resistencia adicional reduce el valor original de  $U$ , y



la cantidad requerida de calor no se transfiere más por la superficie original  $A$ . Los diferenciales de temperatura caen bajo las temperaturas deseadas, aunque  $h_i$  y  $h_o$  permanecen substancialmente constantes.

Para evitar esta eventualidad, se acostumbra en diseño de equipo anticipar el depósito de suciedad y escamas introduciendo una re-

sistencia  $R_d$  llamado el factor de falla, suciedad o escamas, ó resistencia. Se tiene una resistencia interior y una resistencia exterior al tubo. Estas pueden ser considerablemente delgadas para suciedad pero apreciablemente gruesas para escamas que tienen una conductividad térmica más alta que la suciedad. El valor de  $U$  obtenido de la ecuación anterior que incluye solamente los films líquidos se le llama el coeficiente total limpio y se designa por  $U_c$  para mostrar que la suciedad no ha sido tomada en cuenta. El coeficiente que incluye la resistencia de suciedad se le llama coeficiente total de sucio o de diseño  $U_d$ . El valor de  $A$  correspondiente a  $U_d$  provee la base en la cual el equipo se construye. Las relaciones entre coeficientes limpio y sucio son:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_{d_1} + R_{d_0} \quad \text{ó como } R_{d_1} + R_{d_0} = R_d$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d$$

Supongamos que para un cambiador de doble tubo  $h_{10}$  y  $h_0$  han sido calculados con valores de 300 y 100 respectivamente, entonces -

$$\frac{1}{U_C} = \frac{1}{h_{10}} + \frac{1}{h_0} = 0.0033 + 0.01 = 0.0133$$

o  $U_c = 1/0.0133 = 75 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$  De la experiencia digamos que se ha encontrado una resistencia térmica de suciedad de  $R = 0.001 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{BTU}$

Se depositará anualmente dentro del tubo; y una  $R = 0.0015$  se depositará en el exterior del tubo. Para que coeficiente total deberá

la superficie ser calculada, para que el aparato necesite ser limpiado una vez al año.

$$R_d = R_{di} + R_{do} = 0.0025$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d = \frac{1}{75} + 0.0025 = 0.0158 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{BTU}$$

$$U_D = \frac{1}{0.0158} = 63.3 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

La ecuación de Fourier para superficies en las cuales la suciedad se ha depositado, será  $Q = U_D A \Delta t$

Si se desea obtener  $A$  entonces  $h_{co}$  y  $h_c$  deben primero ser calculados de las ecuaciones anteriores que son independientes del tamaño de la superficie, pero dependen de su forma tal como el diámetro y del área del flujo. Con estos  $U_c$  se obtiene de las ecuaciones anteriores y  $U_d$  se obtiene de  $U_c$ . A veces sin embargo es deseable estudiar la relación en la cual la suciedad se acumula en una superficie  $A$ .  $U_c$  permanecerá constante si la escama ó depósitos de suciedad no alteran la masa velocidad por reducción del área del flujo.  $U_d$  y  $\Delta t$  obviamente cambiarán con la acumulación de suciedad debido a que la temperatura del fluido cambia del tiempo en que la superficie es refrescada hasta que llega a fallar. Si  $\Delta t$  se calcula de temperaturas observadas en lugar de temperaturas de proceso entonces podemos utilizar la ecuación para determinar  $R_d$  para un periodo de falla dado. Entonces:

$$R_d = \frac{1}{U_D} - \frac{1}{U_c}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c U_D}$$



Cuando  $R_d$  (depositado) mayor que  $R_d$  (permitido), para un período de un año por ejemplo, el aparato no transferirá la cantidad necesaria de calor requerida para el proceso y debe ser limpiada. Se tienen en disposición valores numéricos de los factores de suciedad para una variedad de procesos. Estos factores se calculan aproximadamente para mantenimiento en períodos de un año a año y medio.

Los valores tabulados pueden diferir de los encontrados por la experiencia en servicios particulares.

#### CAIDA DE PRESION EN TUBOS

La caída de presión permitida en un cambiador es la presión estática del fluido que puede ser gastada para conducir el fluido a través del cambiador. La bomba seleccionada para la circulación de un fluido es una que desarrolla suficiente carga a la capacidad deseada para abastecer las pérdidas de fricción causadas por conexiones, uniones, reguladores de control, y la caída de presión en el cambiador mismo. A esta carga debe ser agregada la presión estática al final de la línea, como elevación o presión del recipiente receptor general, una vez que una caída de presión definida de tolerancia ha sido designada para un cambiador como parte de un circuito de bombeo deberá ser siempre utilizado tan completamente como sea posible en el cambiador, pues de otra manera será acelerado o expansionado a través de un reductor de presión. Puesto que  $\Delta P \propto G^2$  (aproximadamente, pues  $f$  varía con  $\frac{DG}{\mu}$ ) y en ec. para fluido turbulento

$$h_i \propto G^{1.8} \quad (\text{aprox.})$$

El mejor uso de la presión disponible es incrementar la masa velocidad que también incrementa  $h_c$  y reduce el tamaño y costo del aparato. Es costumbre proporcionar una caída de presión de 5 a 10 libras para un cambiador ó batería de cambiadores que llevan a cabo un servicio de proceso simple, excepto donde el flujo es por gravedad. Para cada corriente (fluido caliente ó frío) 10 libras es aproximadamente standard. Para flujo por gravedad la caída de presión disponible está determinada por la elevación del recipiente de almacenamiento.

Para la caída de presión en flujo anular reemplace  $D$  en el número de Reynolds por  $D_e$  para obtener  $f$ . La ecuación de Fanning puede ser modificada para dar

$$F = \frac{4fG^2L}{2g_c^2 D_e}$$

La caída de presión calculada de acuerdo con la ecuación anterior no incluye la caída de presión de entrada ó salida al cambiador para cambiadores de doble tubo conectados en serie la pérdida de entrada es usualmente despreciable, pero para anular puede ser importante.

#### CAMBIADORES CON CORRECCION DE VISCOSIDAD, $\theta$

Para fluidos enfriadores ó calentadores el uso de diagramas que asumen valores de  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1.0$  también asume una desviación despreciable de las propiedades del fluido con flujo isotérmico. Para fluidos no viscosos la desviación del flujo isotérmico durante el calentamiento ó enfriamiento no introduce un error aprecia-

ble en el cálculo del coeficiente de transferencia de calor. Cuando la temperatura de pared de tubo difiere apreciablemente de la temperatura calórica del fluido y el fluido es viscoso, el valor real  $\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$  debe ser tomado en cuenta. Para incluir la corrección  $t_w$  puede ser determinado por diferentes medios. Los coeficientes corregidos son:

$$h_o = \left(\frac{h_o}{\phi_s}\right) \phi_s \quad h_{io} = \left(\frac{h_{io}}{\phi_p}\right) \phi_p$$

Similarmente para dos resistencias en serie empleando las correcciones de viscosidad por desviación de flujo isotérmico, el coeficiente total limpio es:

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o}$$

## CAMBIADORES TIPO EVOLVENTE Y TUBOS

### 1.- 2 - CONTRAFLEJO PARALELO

El elemento tubular.- Las necesidades de muchos servicios industriales requiere el uso de un gran número de cambiadores tipo hoguilla. Estos consumen considerable área e implican un gran número de puntos de fugas y mezclas. Donde se requiere grandes superficies de transferencias de calor, pueden ser mejor obtenidas por medio de equipo del tipo evolvente en tubo.

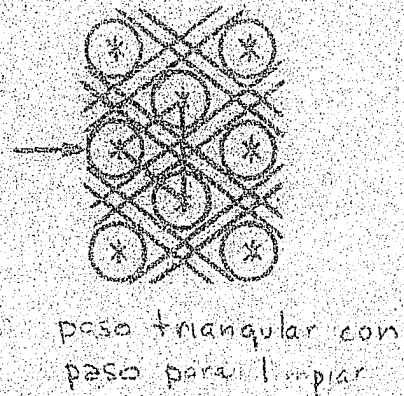
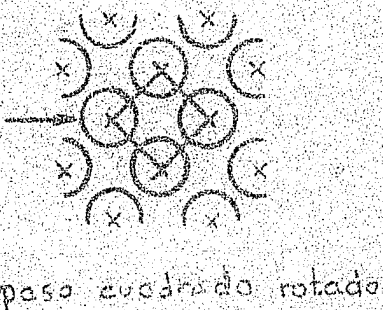
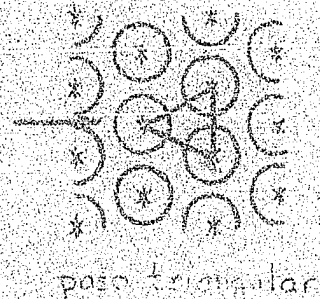
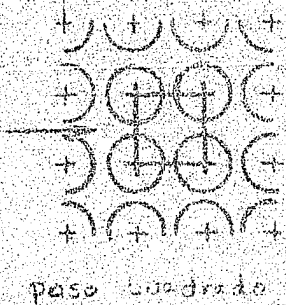
Este equipo tiene como complicaciones típicas la expansión de tubos pertenecientes a un haz de tubos resultando problemas de fugas y mezclas de líquidos cambiadores. Los diferentes tipos de cambiadores se refieren a diferentes diseños para evitar estas fallas bajo condiciones de operación normal.

Se tienen cabezales de cambiadores recambiables cada tubo, estos se pueden encontrar en equipos grandes y obedece a un cierto tipo de diseño. Similar a estos y adecuados para ciertos tipos de operación encontramos una variedad de diseños.

TUBOS EN CAMBIADORES DE CALOR.- Tubos de cambiadores de calor también conocidos como tubos de condensador no deben ser confundidos con tubos de acero o de otros tipos extruídos a tamaños de tubos de hierro. El diámetro exterior de un tubo de cambiador es el diámetro exterior real en pulgadas dentro de una tolerancia bastante pequeña. Se encuentran en una variedad de metales que incluyen acero, cobre, admiralty, metal Muntz, latón, aleación cobre-níquel 70-30, aluminio bronce, aluminio y acero inoxidable.

Se obtienen en un número de diferentes espesores de acuerdo con BWG.

PASO TUBULAR. - Los orificios de tubo no pueden ser perforados muy cercanos puesto que se crean problemas de resistencia del haz. Se define el paso tubular en función de las distancias a que están separados los tubos y la forma en que están colocados. De acuerdo con esto se tienen diferentes tipos de espacios que influyen sobre los coeficientes de transferencia y sobre el mantenimiento del equipo. A continuación se dan cuatro tipos de pasos

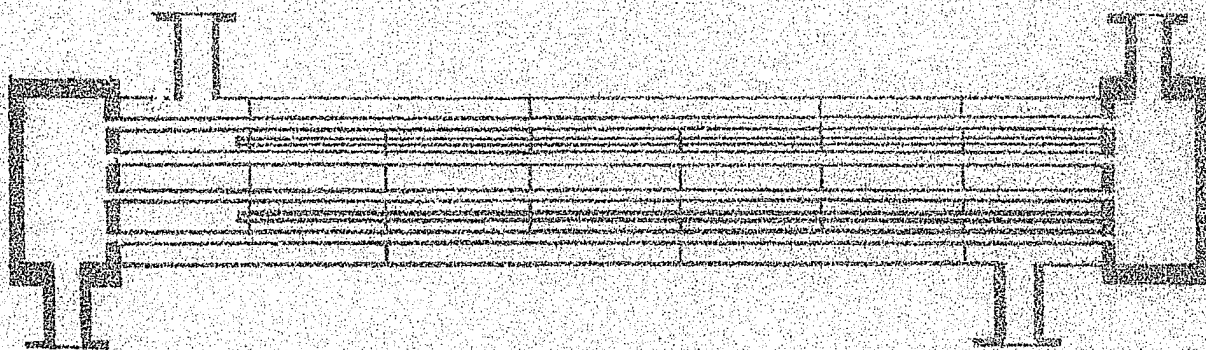


Por ejemplo, el paso cuadrado tiene como ventaja la accesibilidad para limpieza externa y causa una baja caída de presión con el --

flujo circulando, como se indica en el dibujo.

EVOLVENTES.- Evolventes son fabricadas de tubo de acero con diámetro IPS arriba de 12 pulgadas. Sobre 12 pulgadas e incluyendo 24 el diámetro interior y exterior se consideran iguales, con un espesor de  $3/8$ " que es satisfactorio para operación hasta 300 libras. Evolventes sobre 24" en diámetro se fabrican rolado lámina de acero.

CAMBIADORES DE TIPO ESTACIONARIO.- El tipo más simple del cambiador es el fijo ó estacionario del cual se muestra uno en la figura.



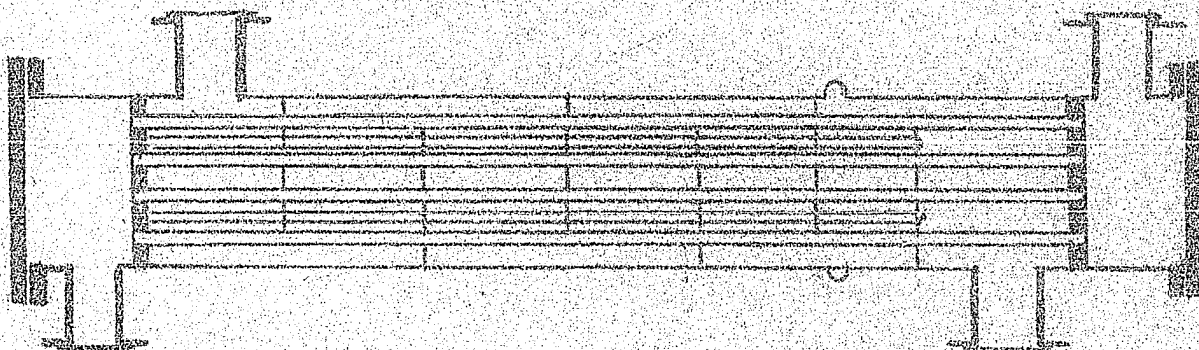
Las partes esenciales son: la evolvente, equipada con dos entradas y tiene el haz de tubos en ambos extremos que también sirve

como brida para el fijado de dos canales y sus respectivas tapas. Los tubos se expanden en las dos tapas y están equipados con mamparos transversales en el lado de envolvente. El cálculo de la superficie efectiva de transferencia de calor es basado frecuentemente en la distancia entre las caras interiores del haz de tubos en lugar de la distancia total del tubo.

MAMPAROS o DEFLECTORES. Es obvio que altos coeficientes de transferencia resulten cuando un líquido se mantiene en estado de turbulencia. Para introducir turbulencia en el lado exterior de los tubos es costumbre emplear mamparos que inducen al líquido a fluir a través del haz en ángulo recto con respecto al eje de los tubos. Esto causa considerable turbulencia aun con una pequeña cantidad de líquido fluyendo a través de la envolvente. La distancia entre mamparo y mamparo se le llama paso de mamparo. Puesto que el espaciamiento del mamparo puede ser muy variable la masa velocidad no depende entonces enteramente del diámetro de la envolvente. El espaciamiento es usualmente no mayor que el diámetro interior de la envolvente, o no menor a un quinto del diámetro interior de la misma. Se utilizan espaciadores para mantenerlos en posición.

Hay varios tipos de mamparos en cambiadores de calor, generalmente se emplean el mamparo segmentado, que es una placa circular perforada para el paso de los tubos y cortada a 75% de su altura para permitir el paso del fluido. También existe el mamparo de disco y anillo y el de orificio. Aunque se encuentren otros tipos no son de importancia.

CAMBIADOR DE TUBOS FIJOS Y CANALES INTEGRALES..- Otra variación del cambiador anterior, es uno en el cual el haz de tubos se inserta en la evolvente formando canales que son integrales con la evolvente. En esta disposición se hace necesario proveer -- por expansores térmicos a la evolvente debido a la característica fija de los cabezales del haz de tubos. Esto puede ser solucionado por el uso de junta de expansión en la evolvente de las se disponen algunos tipos.

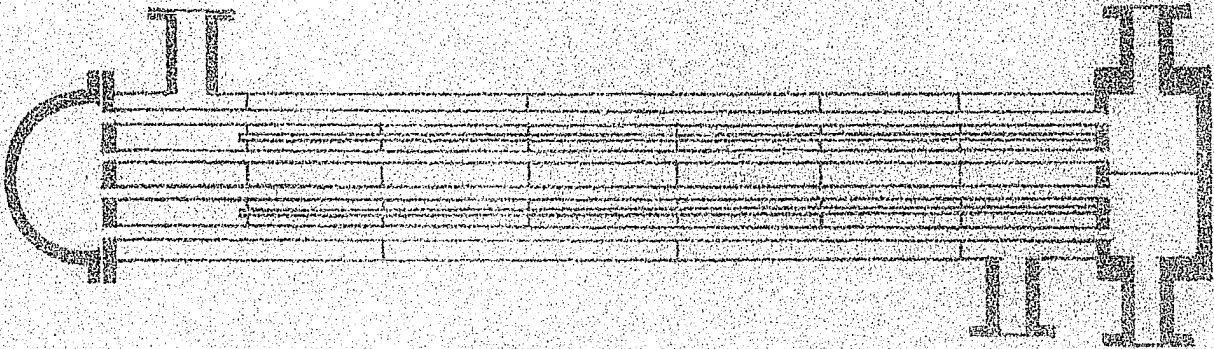


### CAMBIADOR DE TUBOS FIJOS 1 - 2

Los cambiadores anteriores se pueden considerar que operan a -- contraflujo, no obstante que los flujos son perpendiculares -- aproximadamente. Desde un punto de vista práctico es difícil -- obtener altas velocidades cuando uno de los fluidos fluye a -- través de todos los tubos en un paso simple. Esto puede ser --



evitado haciendo una modificación al diseño del equipo, precisamente en los cabezales, segmentándolos de tal manera que, obligue al fluido a hacer dos pasos ó más. Esto lo podemos observar en la figura siguiente:-



El cambiador en el cual el fluido de lado de la envolvente fluye en un paso, y el fluido dentro de los tubos en dos o más pasos, es el cambiador 1 - 2. Un canal simple segmentado se utiliza para hacer el doble paso. Con el equipo de tipo tubos fijos el exterior de los tubos es inaccesible para inspección ó limpieza mecánica, mientras que el interior puede ser limpiado mecánicamente removiendo la cubierta del canal.

## 7.- CALCULO DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS.

Una vez que se ha procedido a hacer la selección del tipo de sistema de enfriamiento que se va a utilizar se procederá a calcular los elementos necesarios para un sistema de intercambio de calor por medio de cambiadores de calor de tipo tubular. El problema se reduce a calcular los siguientes incisos:

- a) - Calcular la cantidad de calor que se transmite al agua de enfriamiento en cada máquina durante su operación normal y que posteriormente se debe disipar por algún medio intercambiador de calor.
- b) - Calcular las cantidades de agua suave y cruda necesaria para hacer el arrastre de calor manteniendo las diferenciales de temperatura recomendados por la práctica.
- c) - Calcular el área de intercambio de calor necesaria para disipar el calor mencionado en el inciso a), con base en datos constructivos de calentador igual a los disponibles y diferenciales de temperatura recomendados por la práctica.
- d) - Calcular el área de calefacción que tienen los calentadores disponibles por inspección directa de estos y ver si esta área es mayor ó igual que la necesaria para hacer el intercambio.
- e) - Calcular y disponer los demás elementos del sistema: bombas, tuberías, válvulas, depósitos de almacenamiento, etc.

CALCULO DEL CALOR ARRASTRADO POR EL AGUA DE REFRIGERACION EN MOTORES DE BATERIA.

En la Bateria No. 1 de Tamaulipas se dispone de 4 motobombas Fairbanks Morse en los siguientes datos de placa.

Marca: Fairbanks Morse

Modelo: 38 FS 5½

Características: De gas natural con ignición de bujías.

Tipo: Platonas opuestas - 2 ciclos.

No. cilindros: 4

Rel. compresión: 15 - 1

BHP Standard: 300 HP

Velocidad: 1200 rpm.

Bomba de Agua - Datos.

Tipo: No reversible. Centrífuga.

Velocidad: 2521 rpm.

Capacidad: 100 gpm

Carga Total: 55'

Capacidad del sistema: 40 galones agua suave.

Datos de Operación

Tem. del agua de enfriamiento saliendo de la máquina 165-180° F.\*

\* Valor máximo a temp. ambiente elevadas.

Diferencial máximo de entrada a salida: 10° F.

NOTA No. 1.-

Las máquinas de esta batería trabajan a la velocidad modificada a 1000 rpm y por lo tanto se modifica la potencia aproximadamente a

250 HP

BHP - 250 HP

Velocidad - 1000 rpm

NOTA No. 2.-

El instructivo de la máquina recomienda para: enfriamiento de aceite lubricante con agua suave y enfriamiento de agua suave en dispositivo que no sea radiador:

Temp. del agua de enfriamiento saliendo de la máquina: 165° - 170° F

\* valor máximo a temperatura ambiente elevada.

Utilizaremos este dato de 170° F.

De los datos más aproximados del Kent (14-76 y 77) y Marks (13), se obtuvieron los siguientes datos para máquinas similares a las nuestras.

$$\eta_{th_1} = 39.7\%$$

De acuerdo con la definición de  $\eta$  termodinámica indicada:

$$100\% - \text{Perd. cilindro} = 39.7\%$$

$$\text{Perd. cilindro} = 100 - 39.7 = 60.3\%$$

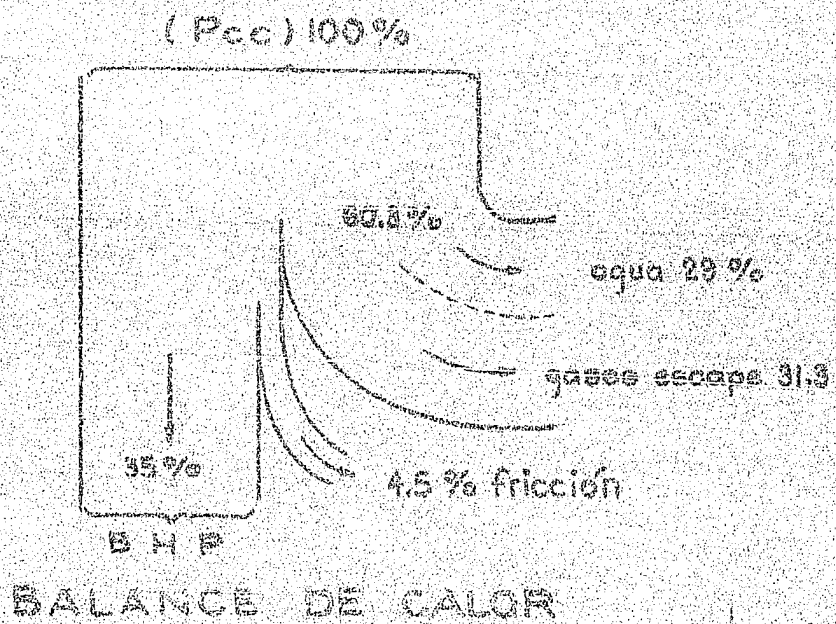
Estas pérdidas en cilindro se dividen según los mismos datos de la siguiente manera:



De acuerdo con la definición de  $\eta$  mecánica se tiene:

250 HP representa el 35% de la potencia calorífica del combustible ( PCC ) de donde:

$$\text{PCC ó Potencia de entrada} = \frac{250}{35\%} = 714 \text{ HP.}$$



Como sabemos el 29% de esta potencia de entrada se pierde en calentar el agua de refrigeración.

$$20\% 714 = 207 \text{ HP/máq.}$$

$$= 525.000 \text{ BTU/hr. /máq.}$$

Como se tienen 4 máquinas trabajando continuamente en la batería, actualmente:

$$\text{Perd. calor en agua} = 525 \times 4 = 2,100,000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = Q$$

AGUA SUAVE NECESARIA PARA ARRASTRAR Q

De acuerdo con datos proporcionados en el Instructivo de la máquina, se recomienda:

$$\Delta t = 10^\circ \text{ F}$$

$$t_s = \text{Temp. a la salida de la maq.} = 170^\circ \text{ F}$$

$$t_e = t_s - \Delta t = 170 - 10 = 160^\circ \text{ F.}$$

Aproximadamente necesitamos para elevar una libra de agua de 160 a 170° F., 10 BTU, así:

$$\text{diferencia de entalpia} = h_s - h_e = 10 \text{ BTU/lb.}$$

$$Q = W (h_s - h_e)$$

$$W = \frac{Q}{h_s - h_e} = \frac{2,100,000}{10} = 210,000 \frac{\text{lb}}{\text{hr.}}$$

peso específico agua = 62.3 lb/pie<sup>3</sup> a 160°F.

1 pie<sup>3</sup> = 7.48 US galones.

$$210,000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} = \frac{210,000}{62.3} = 3,370 \frac{\text{pie}^3}{\text{hr}} = 3370 \times 7.48 \frac{\text{gal.}}{\text{hr.}}$$

$$= 25200 \text{ gal/hr} = 420 \text{ gal/min.}$$

Gasto agua suave: 420 gpm

#### AGUA - CRUDA NECESARIA PARA ARRASTRAR O

El agua suave hará intercambio de calor en calentadores de tipo tubular, en los cuales se recomienda:

$$\Delta t = 15^\circ \text{ F}$$

El agua cruda de enfriamiento, entra su una temperatura aproximada de 80°F (26.67°)

$$t \text{ salida} = t_4 = 80 + 15 = 95^\circ \text{ F.}$$

$$h_4 - h_3 = 15 \text{ BTU/lb}$$

$$Q = W (h_4 - h_3)$$

$$W = \frac{Q}{h_4 - h_3} = \frac{2100000}{15} = 140,000 \text{ lb/hr}$$

$$W = \frac{140,000}{500} = 280 \text{ gpm}$$

$$W = \text{gasto agua cruda} = 280 \text{ gpm}$$

210.000 lb/hr de agua suave entran a cambiador a  $170^{\circ}\text{F}$  y salen a  $160^{\circ}\text{F}$ . El calor es transferido a 140.000 lb/hr de agua cruda -- que entra a  $80^{\circ}\text{F}$  y sale a  $95^{\circ}\text{F}$ . Una caída de presión de -----  $10 \text{ lb/pulg}^2$  se puede gastar en agua suave, si se tiene un factor de incrustación de 0.0005. Una caída de presión de - - - - -  $40 \text{ lb/pulg}^2$ , se puede gastar en agua cruda, si se tiene un factor de incrustación de 0.0015 cuando la velocidad de agua exceda de 6 pies/seg.

Disponible el siguiente equipo:

2 cambiadores con las características que se dan en seguida:

Diámetro interno D.I. -  $11\frac{1}{2}"$

46 tubos, 10 BWG, 1"  $\varnothing$  exterior,  $L = 14'$

paso triangular de 2.37"

El haz de tubos está arreglado para dos pasos y la concha tiene cuatro deflectores a  $3.45'$  de separación.

¿Es adecuado el equipo disponible?

Solución:

### C a m b i a d o r

#### Lado envolvente

D.I. -  $11\frac{1}{2}"$

Deflectores, separación -  $41.4"$  ( $3.45'$ )  
pasos - 1

#### Lado tubos

No. tubos - 46

Long. tubos -  $14'$   
 $\varnothing$  Ext. tubos 1" 10 BWG  
paso triangular 2.37"  
pasos - 2

(1) Balance de calor:

agua suave:  $210,000 \times 1 (170-160) = 210 \times 10^4 \text{ BTU/hr.}$

agua cruda:  $140,000 \times 1 (95 - 80) = 210 \times 10^4 \text{ BTU/hr}$

(2)  $\Delta t$  :

Agua Caliente		Agua Fría	Diferencias
170 °F	Temp. Alta	95 °f	75
160	Temp. Baja	80	80
10	Diferencias	15	-5

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta t_1}}$$

$$L = \frac{75 - 80}{2.3 \log 75/80} = \frac{-5}{2.3 \log 0.9375} = \frac{-5}{2.3 \times -7.97}$$

$$= \frac{-5}{-0.06} = \frac{500}{6} = 83.5$$

$$R = \frac{10}{15} = 0.66 \quad S = \frac{15}{170-80} = \frac{15}{90} = 0.167$$

$$F_t = 1 \quad \text{para } R = 0.66 \text{ y } S = 0.167$$

de acuerdo con diagrama 18 de Power Special Reports (Pag. 104)

$$LMTD \quad Z = \frac{t_e - t_s}{t_4 - t_3} = \frac{170 - 160}{95 - 80} = \frac{10}{15} = 0.66$$

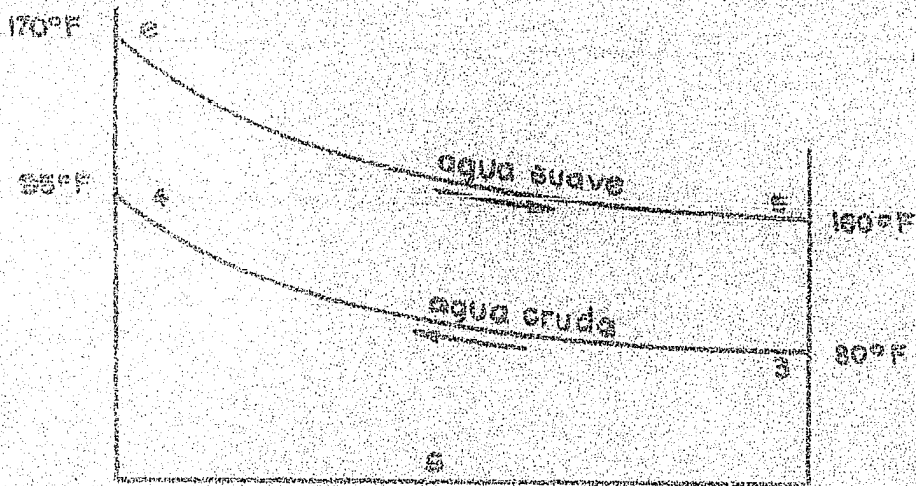
$$X = \frac{t_e - t_s}{t_e - t_3} = \frac{10}{170 - 80} = \frac{10}{90} = 0.111$$

para  $z = 0.66$  y  $x = 0.111$   $\therefore f = 1$  de acuerdo con gráfica 1 de Power Special Report (Pag. 104)

Según gráfica 2 para  $\Delta t_1 = 80$  }  $\therefore \Delta t_n = 77$   
 $\Delta t_2 = 75$  }

$$\therefore \Delta t_n = LMTD \times f = 77 \times 1 = 77$$





(3)  $T_c$  y  $t_c$  (Temperaturas calorificas)

Las temperaturas promedio  $T_a$  y  $t_a$  de  $165^\circ\text{F}$  y  $87.5^\circ\text{F}$  están satisfactoriamente del lado del rango bajo y  $Q_s$  y  $Q_t$  se toman igual a 1.

Debido a problemas de limpieza, mantendremos el agua cruda - dentro de los tubos:

Fluido Caliente: lado envolvente (agua suave)

(Process heat Transfer. Kern)

$$(4') \quad a_s = D.I. \times C' / B / 1.44 P_t \quad B = \text{espaciamiento deflectores} \\ \text{ó (baffle spacing)} \\ = \frac{11.5'' \times 1.37'' \times 41.4''}{1.44 \times 2.37} \quad c' = \text{claro ó luz} \\ a_s = 1.91 \text{ pie}^2$$

$$(5') \quad G_s = \frac{W}{a_s} = \frac{210,000}{1.91} = 110,000 \text{ lb/hr pie}^2$$

(6') Para Temp. calorífica de  $165^\circ\text{F}$

$$\mu = 0.41 \times 2 = 0.99 \text{ lb/pie-hr.}$$

$$De = 0.72/12 = 0.06 \quad (\text{Fig. 28})$$

$$Re = \frac{De G_s}{\mu} = \frac{0.06 \times 110,000}{0.99} = 6,660$$

Lo que nos determina un régimen turbulento

$$(7') \quad J_H = 44 \quad (\text{Fig. 28})$$

$$(8') \quad \text{Para } T_a = 165^\circ\text{F} \quad C = 1 \quad \text{BTU/lb}^\circ\text{F}$$

$$k = 0.36 \quad \text{BTU/hr pie}^2 \cdot ^\circ\text{F/pie} \quad (\text{Tabla 4})$$

$$\left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} = \left(\frac{1 \times 0.99}{0.36}\right)^{1/3} = (2.75)^{1/3}$$

$$= \text{ant} (1/3 \log 2.75) = \text{ant} \frac{0.44}{3} = \text{ant } 0.1465 = 1.4$$

$$(9') \quad h_o = J_H \frac{k}{De} \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_o}\right)^{0.14} \quad \text{para} \left(\frac{\mu}{\mu_o}\right)^{0.14} = \phi_s = 1$$

$$44 \times \frac{0.36}{0.06} \times 1.4 \times 1 = 370 \quad h_o = 370$$

(10') (11') (12') La pequeña diferencia en la temperatura promedio elimina la necesidad de una corrección de pared de tubo y  $\phi_s = 1$

Fluido frío. Dentro de tubos (agua cruda)

$$(4) \quad at' = 0.421 \text{ pulg}^2$$

$$at' = N_t a't/144 n = \frac{46 \times 0.421}{144 \times 2} = 0.067 \text{ pie}^2$$

$$(5) \quad G_t = \frac{W}{at} = \frac{140,000}{0.067} = \frac{140 \times 10^3}{67 \times 10^3} = 2.09 \times 10^6$$

$$= 2,090,000 \text{ lb/hr pie}^2$$

$$\text{Velocidad } V = \frac{Qt}{3600F} = \frac{2.09 \times 10^6}{3.6 \times 10^3 \times 62.5} = 9.28 \frac{\text{pie}}{\text{Seg}}$$

$$(6) \quad A t_a = 87.5^\circ\text{F} \quad \mu = 0.85 \times 2.42 = 1.96 \text{ lb/pie-hr.}$$

$$D = 0.732/12 = 0.061 \text{ pie}$$

$$\text{Re}_t = \frac{DV_t}{\mu} = \frac{0.061 \times 2.09 \times 10^6}{1.96} = \frac{6.1 \times 2.09 \times 10^4}{1.96}$$

$$= 6.5 \times 10^4 = 65,000$$

$$(7) \quad J_H = 180$$

$$(8) \quad A t_c = 87.5 \quad c = 1$$

$$k = 0.36 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \quad (\text{Approx.})$$

$$\left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} = \left(\frac{1 \times 1.96}{0.36}\right)^{1/3} = (5.44)^{1/3}$$

$$= \text{ant} \left( \frac{1}{3} \log 5.44 \right) = \text{ant} \left( \frac{0.733}{3} \right)$$

$$= \text{ant} (0.244) = 1.76$$

$$(9) \quad h_1 = J_H \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \times \phi_t \quad \phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1 \text{ (Approx.)}$$

$$h_1 = 180 \times \frac{0.36}{0.06} \times 1.76 \times 1 = 1900$$

$$h_{1c} = h_1 \frac{DI}{DE} = 1900 \times \frac{0.732}{1.000} = 1390$$

(13) Coeficiente total "Limpio" ( ) (clean)

$$\frac{h_{1c} h_o}{h_{1c} + h_o} = \frac{1900 \times 370}{1900 + 370} = \frac{70 \times 10^4}{22.7 \times 10^2} = 308 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

(14) Coeficiente total de "Diseño"

$$a'' = 0.2618$$

$$A = a'' LN_t = 0.2618 \times 46 \times 14 = 168 \text{ pie}^2$$

$$= \frac{Q}{A t} = \frac{210 \times 10^4}{168 \times 77} = 162 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ OF}$$

(15) Factor de suciedad ( $R_d$ ) ( $R_{dirt}$ )

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c U_d} = \frac{308 - 162}{308 \times 162} = \frac{146}{308 \times 162} = 0.00292$$

$$R_d = 0.003 \text{ hr-pie}^2 \text{ OF/BTU}$$

$$R_d = 0.003 \text{ (Calculada)}$$

$$R_d = 0.002 \text{ (Esperada)}$$

(14') Veamos si el área del cambiador disponible sirve para nuestras necesidades.

$$\text{Tiene una } U = 308 \text{ BTU/hr OF pie}^2$$

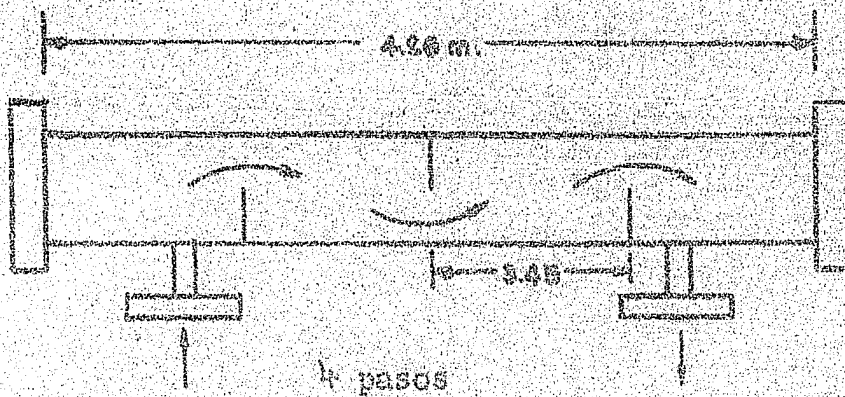
$$\text{Necesitamos cambiar } Q = 2,100,000 \text{ BTU/hr}$$

$$\Delta t \text{ calculada} = 77 \text{ OF}$$

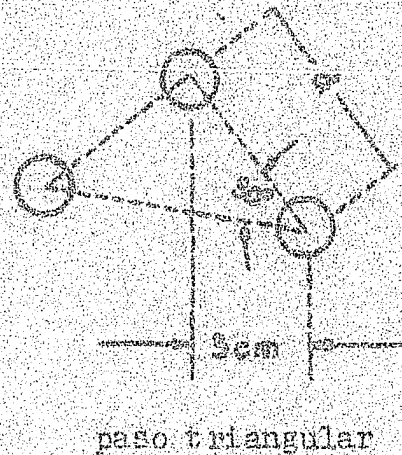
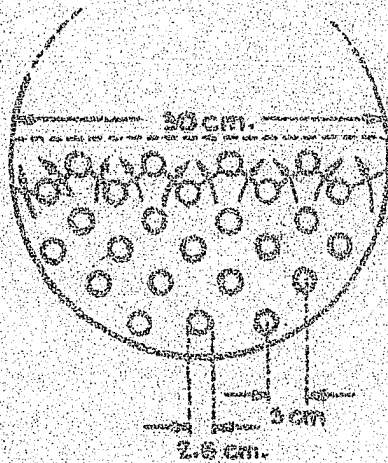
$$\text{De acuerdo con } Q = U A \Delta t$$

$$\text{necesaria} = \frac{2100000}{308 \times 77} = 89 \text{ pie}^2$$

Como en el calentador disponemos de una área de 168 pie<sup>2</sup> se concluye que este calentador nos sirve para resolver el problema -  
terminantemente.



$$\frac{4.26}{4} = 1.06 \text{ m.} = 3.45' = L$$



$$a = \frac{3}{0.866} = 3.47$$

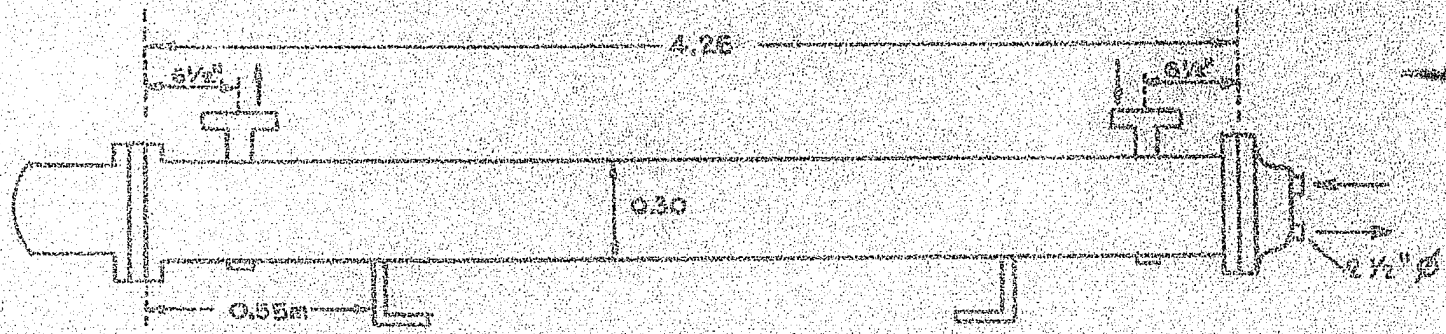
$$3.47 \times 8 = 27.76$$

$$2.6 \times 9 = 23.4$$

$$27.76 \times 6 = 33.76$$

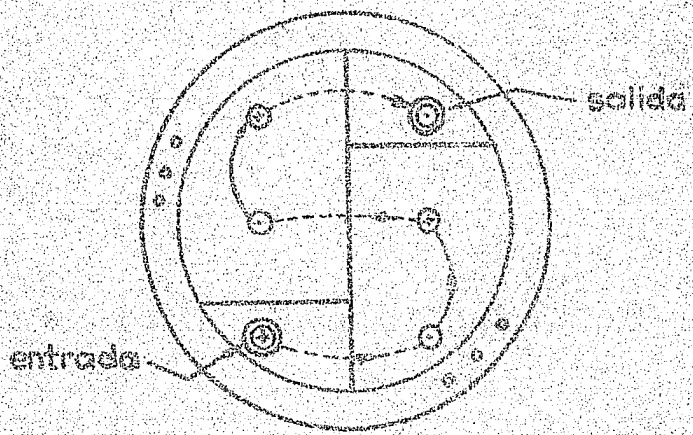
$$33.76 + 23.4 = 10.36 \text{ cm.}$$

$$\text{Espacio libre total} = 10.36 \text{ cm.} = 4.1'' = 0.342'$$

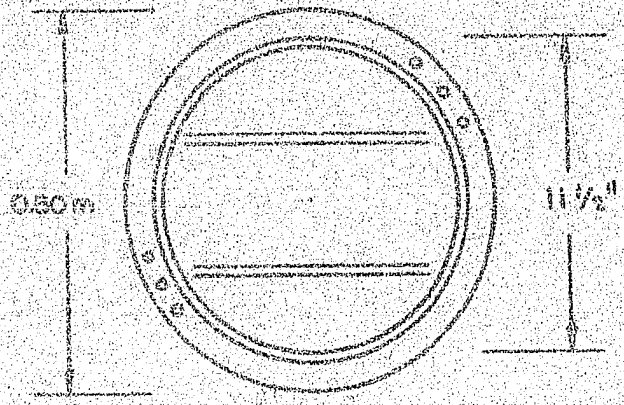


Disposición relativa  
cabezales.

Cabezal de entrada  
y salida.



6 pasos



Cabezal trasero ó  
de retornos.

DATOS DE PLACA

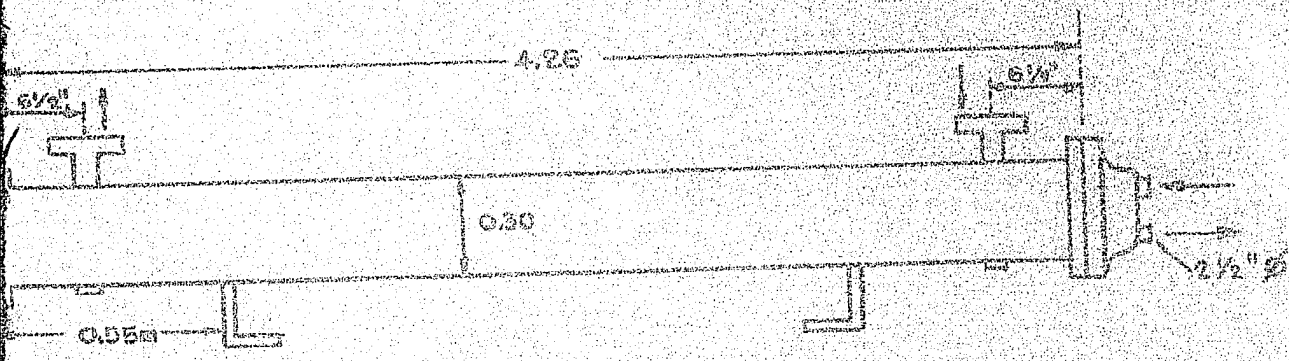
Existencia disponible:

2 calentadores

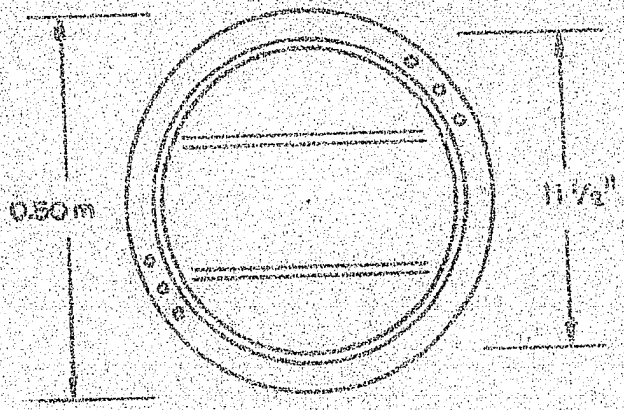
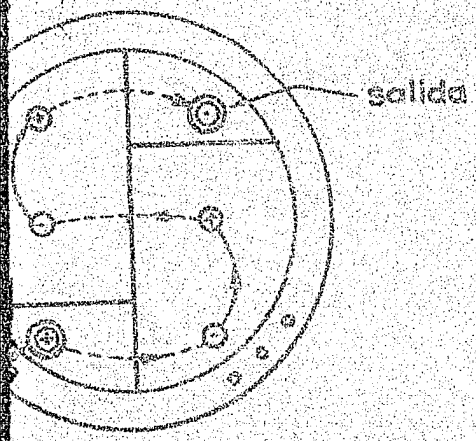
SWECO  
SERIE No. 11625  
1-5-1948  
23303-6

A S

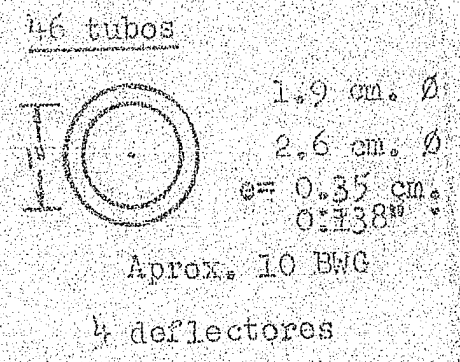
A S



ción relativa  
es.  
de entrada  
a.



Cabezal trasero ó  
de retornos.



DATOS DE PLACA

ria disponible:

adores

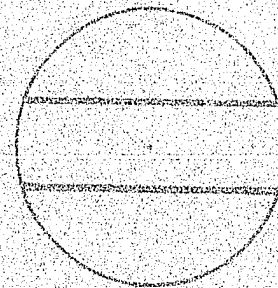
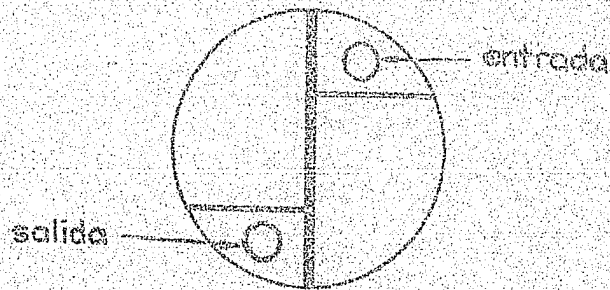
SWECO  
SERIE No. 11625  
1-5-1948  
23303-6

A S  
Ø E

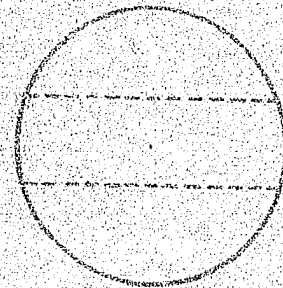
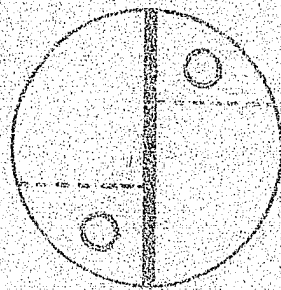
## MODIFICACION A CABEZALES DE CALENTADORES

La siguiente modificación es necesaria para producir un número reducido de pasos del agua cruda, ya que del modo como está construido, se producen 6 pasos, según se puede ver en dibujo anterior.

Para producir 2 pasos es necesario cortar en los cabezales las divisiones como se indica y construir otros que se dejan indicados también.



Trazo orig  
divisiones  
No. pasos



Trazo modifi  
divisiones  
No. pasos

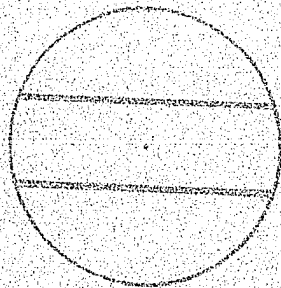
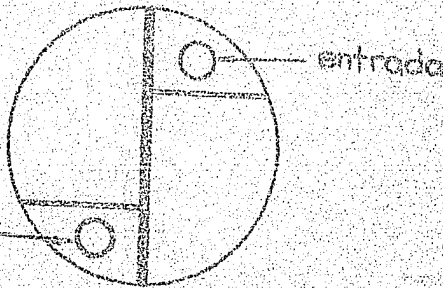
Divisiones  
División qu



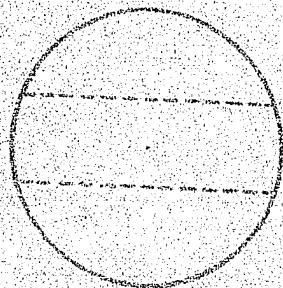
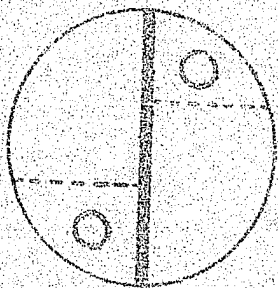
# MODIFICACION A CABEZALES DE CALENTADORES

Esta modificación es necesaria para producir un número reducido de pasos de entrada, ya que del modo como está construido, se producen 6 pasos, según se muestra en el dibujo anterior.

Para producir 2 pasos es necesario cortar en los cabezales las divisiones como se muestra en el dibujo que se deja indicado también.



Trazo original de divisiones en cabezales  
No. pasos = 6



Trazo modificado de divisiones en cabezales  
No. pasos = 2

-----

-----

Divisiones que se quitan  
División que queda.

## 8.- COSTO DE REPOSICION DE RADIADORES.

En las condiciones en que se opera actualmente se tiene lo siguiente:

Es necesario hacer el cambio de panales de los radiadores debido al ataque de los gases del ambiente cada cierto tiempo.

Este período lo hemos fijado aproximadamente, en dos años como máximo.

Se repondrá solamente el "panal" del radiador al bastidor, conexiones, tanques, etc. al bastidor, conexiones, tanques, etc. se le considera con la vida de la máquina.

Se considera que la instalación de motobombas de la batería tendrá una vida de 12 años. Esta vida de la instalación nos obliga a hacer seis cambios de panal en cada radiador.

El valor de cada panal como los que se tienen actualmente es de --  
\$6,500.00.

Con todo esto podemos calcular el costo del sistema de enfriamiento:

No. de máquinas:	4
Costo de 4 panales:	\$ 6,500 x 4 = \$26,000
6 cambios:	\$26,000 x 6 = \$156,000

### INSTALACION

Consideramos un costo de instalación de cada radiador de \$1,000.00 ó sea cada período de cambio se gastaron \$4,000.00 en instalación.

Costo total de instalación: \$4,000.00 x 6 = \$24,000

Costo total en 12 años:      \$156,000.00  
  24,000.00  
  \$180,000.00

COSTO DE INSTALACION

- a) - Se tienen disponibles 2 cambiadores de calor de capacidad - adecuada para la instalación, por lo que su costo no se cargará en la inversión.
- b) - Se considera una vida de la instalación de 12 años.

Bombas: vida útil: 7.5 años

después de 7.5 años, una reparación general con costo de - 20% del inicial.

Mantenimiento.- 3% del costo (anual)

Motores eléctricos:

vida útil: 10 años

después de 10 años, una reparación general con costo del - 20% del inicial.

Mantenimiento.- 1% del costo (anual)

B O M B A S: (Worthington)

- a) - De agua cruda.

3 Bombas CCNE - 72

175 gpm. h=237' 20HP.           \$ 14,000           \$ 42,000

- b) - De agua suave.

2 bombas CNE - 52

210 gpm h=70' 10HP.           \$ 9,000           \$ 18,000  
\$ 60,000

Reparación al cabo de 7.5 años

20% del costo inicial.           \$ 12,000

Mantenimiento. 3% anual. 12 años.           \$ 21,600

\$ 93,600

MOTORES :

3 motores para bombas CCNE - 72	\$ 6,000	\$ 18,000
2 motores para bombas CNE - 52	\$ 3,000	\$ 6,000
		<u>\$ 24,000</u>

Reparación al cabo de 10 años		\$ 4,800
20% del costo inicial		<u>5,760</u>
Mantenimiento: 1% anual. 12 años		\$ 34,560

TUBERIA :

De 4" 140 m.	\$ 59.00/m	\$ 8,400
De 6" 100 m.	\$ 53.56/m	5,300
Válvulas, codos, Tee		<u>5,000</u>
		\$18,700
Fundiciones, concreto, tanques, etc.	\$ 5,000	<u>5,000</u>
		\$23,700

	\$ 93,600	
Total materiales	34,560	
	<u>23,700</u>	\$ 151,860.00

## TUBERIA DE AGUA SUAVE DEL TANQUE ELEVADO A MAQUINAS

Tenemos una longitud de tubería de 33 m.

Tomando en cuenta codos, válvulas, etc., se obtiene una longitud efectiva de 225'

Para 320 gpm. y tubería de 6"  $\phi$

tenemos:  $f = 0,534$

$$P_f = 1.2 = 2.75' = 1.08 \text{ m.}$$

Como el tanque tiene una elevación de 1.5 m. en la base se demuestra que el agua llegará perfectamente a las bombas individuales de las máquinas.

## TUBERIA DE AGUA SUAVE DE LAS MAQUINAS A DEPOSITO PARA BOMBEO A CAMBIADORES.

El depósito será del tipo subterráneo, formado de concreto, colocado según lo indica el plano con una altura de la salida de las máquinas al nivel del suelo de 2 m.

Dimensiones del depósito de 4' diámetro. Profundidad 4'

Las pérdidas de la tubería, codos y válvulas, está sobradamente compensada con la diferencia de alturas. De esta manera se logra una instalación adecuada.

La bomba de agua suave tiene una succión de 15' con lo que queda sobrada, dado que la profundidad del pozo es de 4'

## TANQUE ELEVADO DE ALMACENAMIENTO.

Se recomienda de 5 a 12 galones / HP instalado.

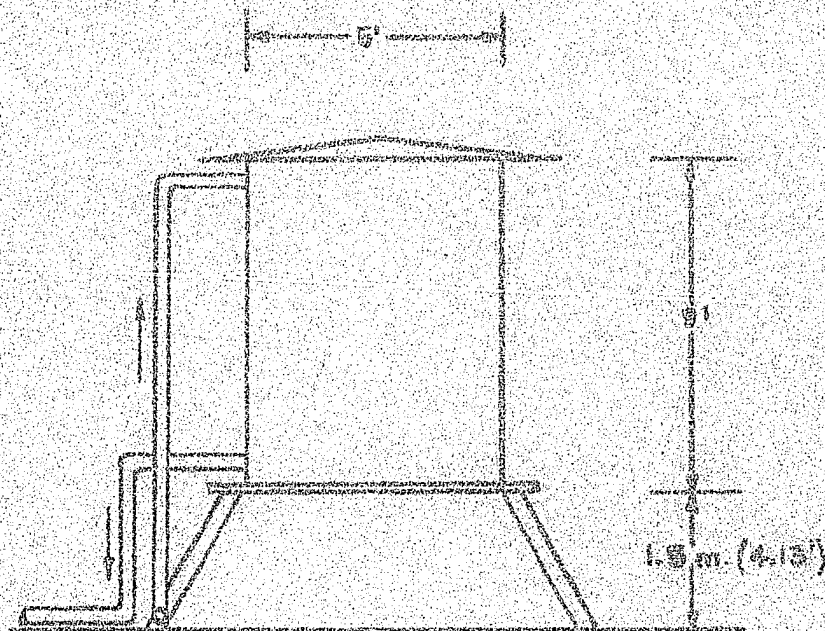
Tomando 5 galones/HP:  $5 \times 250 = 1250 \text{ gal.} = 166 \text{ pies}^3$

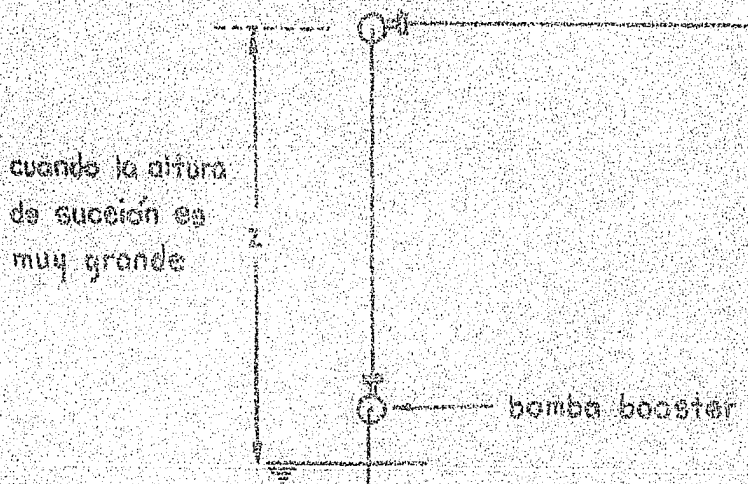
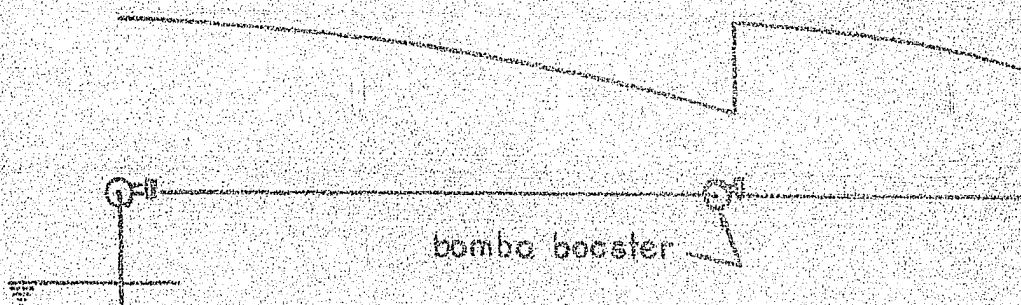
# D I M E N S I O N E S

Diámetro: 5'

Altura: 9'

La altura de la base del tanque será de 1.5 m. suficiente para compensar las pérdidas en tuberías, etc. hasta llegar a las bombas de cada máquina.





### INCONVENIENTE AL DISEÑO DEL SISTEMA DE RETORNO DE AGUA CRUDA AL ACUEDUCTO

Se emplean bombas que actúan como "booster" para levantar la presión del agua cruda para volverla a meter al acueducto. Esta agua cruda la reciben a alta presión y de este modo, la operación no se recomienda: ref. Questions and Answers. Pag. 55

Cuando una bomba "booster" tiene que incrementar la presión de una bomba de alta presión, se debe instalar de preferencia como una bomba "booster" de succión.

Si fuera instalada en la descarga de una bomba de alta presión su caja y estoperos estarían sujetos a alta presión.

En muchas instalaciones esto resultaría en alto costo y serios problemas de mantenimiento de estoperos.

### III.- CONCLUSIONES

Podemos concluir que se recomienda continuar con el uso de refrigeración individual, es decir, por medio de radiadores en cada máquina. Se descarta la instalación de otro tipo de sistema de refrigeración colectiva.

Las razones que se tienen para llegar a esta conclusión son las siguientes:-

La diferencia en costos entre dos sistemas es baja, y no compensa las desventajas que representa el uso de sistema común de refrigeración.

El sistema de refrigeración individual es un dispositivo que no requiere atención prácticamente, sino es la reposición periódica de agua de repuesto y el tratamiento químico contra incrustación y corrosión.

El sistema de refrigeración común proyectado está expuesto a defectos, ya que incluye grupos de bombas centrífugas y motores eléctricos. Está expuesto a fallas en el abastecimiento de agua cruda, a fallas en el abastecimiento de energía eléctrica, etc.

Los operadores nuevos que lleguen a la planta requieren cierto entrenamiento previo para operar las máquinas.

Por último, se puede decir que el sistema de radiadores representa un sistema técnicamente mejor, pues es más compacto, independiente y no requiere casi atención.



BIBLIOGRAFIA

Manual Ingeniería Química. John H. Perry

Manual Ingeniería Mecánica. Lionel S. Marks.

Procesos de Transferencia de calor. Kern

Reportes especiales de Potencia

Bombas. Carter

Manual Bombas. Worthington

Acondicionamiento y purificación de agua. Manuel Betz

Valuación y Depreciación en Ingeniería.  
Marston Winfrey y Kempstead

Máquinas de Combustión Interna. Lichty