

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SELECCION DEL TIPO DE AGITACION Y  
DISEÑO DEL EQUIPO PARA LA OBTENCION  
DEL TETRAACETATO DE PLOMO



QUIMICA

T E S I S  
que para obtener el título de  
INGENIERO QUIMICO  
p r e s e n t o  
JUAN SALUM NACIF  
1 9 6 8



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
Facultad de Química

SELECCION DEL TIPO DE AGITACION Y DISEÑO  
DEL EQUIPO PARA LA OBTENCION  
DEL TETRAACETATO DE PLOMO

**TESIS PROFESIONAL**

JUAN

~~SALUM~~

NACIF

México, D. F.

1968

**INTEGRANTES DE LA PLANILLA:**

**PRESIDENTE** Prof. : **ADALBERTO TIVADO ARROYAVE** .....

**VOCAL** \* : **JUAN ANTONIO GOMEZ** .....

**SECRETARIO** \* : **CARLOS H. MENA BRITO F.** .....

**1er. SUPLENTE\*** : **OSCARDO BAZAN NAVARRETE** .....

**2do. SUPLENTE\*** : **JORGE RIVERA BENTON** .....

**SITIO DONDE SE DESARROLLO LA TESIS: E Y N T E X S. A. DPTO. DE  
PROCESOS**

**SUSTENTANTE: JUAN SALUM NACIF** .....

**DIRECTOR DE TESIS**

**CARLOS H. MENA BRITO FLORES** .....

## DEDICATORIA

Con admiracion y respeto  
a mi padre Jalil Saluz  
por sus sacrificios.

Con cariño a mis hermanos  
Victor, Soralla, Laila y  
Elena, maestros, novia,  
compañeros de la escuela  
y del trabajo, por su a-  
yuda.

Con agradecimiento a  
los ingenieros Hipo-  
lito Avila L. y Carlos  
Mena B. por sus conse-  
jos y ayuda.

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. DESCRIPCION DE LOS DISTINTOS TIPOS	
DE AGITADORES EMPLEADOS COMUNMENTE EN LA INDUSTRIA.....	8
Agitadores de helice.....	9
Agitadores de turbina o turbocapitadores.....	10
Agitadores de conc.....	11
Agitadores de disco.....	11
Agitadores de paleta.....	11
Agitadores de ancla.....	12
Accesorios de los sistemas de agitación.....	14
Generalidades sobre reactores volumétricos.....	14
Componentes mecánicos.....	16
Descripción de la flecha del agitador.....	19
Transmisión de potencia.....	19
Soportes y longitud crítica de la flecha.....	20
CAPITULO II. PRUEBAS DE COMPRESION.....	26
Pruebas de compresión del material empleado para la construcción del equipo de proceso.....	26
Conclusiones.....	32
Selección del tipo mas conveniente de agitador.....	33
Conclusiones.....	45
CAPITULO III. CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE OBTENCION DE	
TETRAACETATO DE PLOMO.....	46
Calculo del reactor volumétrico y su tipo de agitador...	46
Calculo del agitador.....	53
Calculo del diametro de la flecha.....	58
CAPITULO IV. CALCULO DEL EQUIPO AUXILIAR.....	65
Calculo para la construcción del recipiente de 200 gals..	65
Calculo del agitador.....	71
Potencia necesaria del moto-reductor.....	73
Calculo del diametro de la flecha.....	76
Calculo del tanque de adición.....	80
Calculo y diseño para una caja colectora de la mezcla ácido-anhidrido acético.....	83
Calculo y selección de un condensador de grafito.....	91
Selección de un filtro centrífuga.....	115
Selección de una bomba centrífuga.....	120

CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	126
Análisis de costos.....	131
Costo de equipo hecho en el taller del reactor de 1135 lts. ....	131
Costo para el receptor en acero inox. tipo 316, con ca- pacidad de 757 lts. ....	134
Capital fijo estimado.....	136
Costo del tetraacetato de plomo por inversión permanente.	138
Costos de manufactura.....	139
Gastos de administración.....	140
Capital de trabajo.....	141

## INTRODUCCION

Si se recuerda la frecuencia con que figura en los procedimientos de laboratorio la necesidad de agitar, se podrá juzgar - la importancia de esta operación básica en la industria, donde - los mayores volúmenes manejados lo hacen todavía más imprescindible e importante.

Entendáremos por agitación, la operación por la cual creamos movimientos violentos e irregulares en el seno de una materia flúida (ó que se comporte más o menos perfectamente como tal). Mediante estos movimientos situamos las partículas o moléculas de una o más fases de tal modo que se obtenga el fin pretendido con el mínimo tiempo y con un mínimo de aportación energética.

Siendo la agitación una de las operaciones más comunmente - encontradas en procesos químicos e industriales, esta es probablemente la que menos cantidad de estudio recibe y la operación peor dominada, debido también en gran parte al número de factores y casos particulares que puedan presentarse.

La agitación es una operación por la cual puede llevarse a cabo operaciones como mezclado, dispersión, extracción, reacciones de transferencia de calor o transferencia de masa, etc.

Uno de los puntos importantes a cargo del estudio efectuado, es el cálculo, diseño y selección de un reactor volumétrico y su tipo de agitación para la obtención de Tetracetato de Plomo. Haciendo hincapié en el sistema de agitación empleado, factor impor

tante en la obtención de resultados satisfactorios.

El Tetracetato de Plomo con peso molecular de 443.39, tiene una apariencia con el ácido acético glacial de cristales húmedos, con coloración rosa débil. Su fórmula condensada es:  $Pb(C_2H_3O_2)_4$ .

El Tetracetato de Plomo es un agente oxidante muy fuerte, y se descompone tratándolo con agua y ácido clorhídrico, mezcla empleada para limpiar el equipo en el cual se realizó su obtención. En el manejo del Tetracetato de Plomo se deben tener precauciones, por que éste es venenoso y fácilmente se asimila al cuerpo humano, debiéndose tener los mismo cuidados empleados en la obtención de compuestos de plomo.

Se debe evitar cualquier contacto con la piel, acondicionándose, para el manejo de este producto, con guantes y una ventilación adecuada. Las sales de plomo son altamente tóxicas, debiéndose tener extremo cuidado en evitar cualquier ingestión o inhalación de los materiales que contengan plomo.

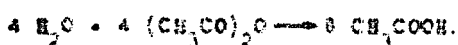
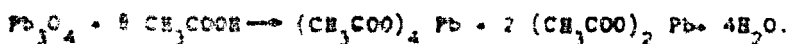
La solución de este proceso no debe tirarse a las alcantarillas (drenajes) y tener cuidado en evitar cualquier contacto del producto con el agua.

El ácido acético empleado para su obtención es un irritante, fuerte y lacrimógeno. El contacto prolongado a los vapores o una exposición de la piel debe ser evitada.

El anhídrido acético es más irritante y es un lacrimógeno más fuerte que el ácido acético.

Resumiendo las precauciones anteriormente expuestas, dará una ligera idea de la dificultad con que se lleva a cabo la obtención del Tetracetato de Plomo, siendo factor importante la seguridad.

En la obtención del Tetracetato de Plomo, se lleva a cabo la siguiente reacción:



El óxido de plomo rojo ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) es disuelto en una mezcla caliente de anhídrido acético y ácido acético. El óxido de plomo reacciona con el ácido acético, dando Tetracetato de Plomo, y Diacetato de Plomo. El agua es liberada durante la reacción, pero es inmediatamente absorbida por hidrólisis del anhídrido acético para dar ácido acético adicional.

Una de las dificultades encontradas en el proceso fué que el óxido de plomo rojo, no llegaba a reaccionar totalmente con el ácido acético, llegando a depositarse en el fondo del reactor, bajando así sensiblemente el rendimiento. La forma más adecuada a la resolución de este problema fué hecho por medio de un estudio de la agitación más adecuada, para lograr las condiciones óptimas de la reacción.

En este tipo de reacción se va a tener un cierto grado de agitación (dado en este caso por el régimen de flujo definido por el número Reynolds;  $(N_{Re} = D^2 N / \rho)$ ), cuando se está adicionando el —

$Pb_3O_4$ . La explicación de estos comportamientos es sencilla. La reacción global que se aprecia al observar estas reacciones es en realidad, el resultado de dos procesos muy distintos.

Difusión de las moléculas a través de las películas estáticas que rodean a cada fase, y reacción propiamente dicha posteriormente a esta difusión.

Al haber agitación en el sistema, disminuye el espesor de las capas estáticas, con lo que aumenta el gradiente de concentración de la sustancia que se difunde a través del espesor, con el consiguiente aumento de la velocidad de difusión, que equivale a un aporte más intenso de moléculas reaccionantes de una a otra fase — en sistemas de régimen dinámico como en el presente estudio, en donde el progreso difusional será el que regirá la reacción.

En este estudio se verá el cálculo del sistema de agitación — empleado en el reactor volumétrico, apoyándonos en diversos tipos de pruebas realizadas para lograr las condiciones óptimas del proceso tanto en el rendimiento como en el tiempo de reacción.

En el Capítulo I se ven los diferentes tipos de agitadores empleados comúnmente en la industria. Este capítulo da una somera idea de las distintas clases de agitadores que se utilizan desde procedimientos de pequeña escala hasta escala de producción, haciendo hincapié en que los modelos de agitadores expuestos pueden ser modificados de varias formas según como lo requieran nuestras necesidades.

Para la selección de cualquier material de construcción en el cual vamos a tener contacto con soluciones corrosivas, tanto alcalinas como ácidas se deben de conocer las características del material a emplearse. En el Capítulo II se estudia los diferentes materiales que pueden manejar ácido acético a una temperatura de 60°C y concentración del 100%, corriéndose unas pruebas de laboratorio para poder determinarse la corrosión al cabo de cierto tiempo y — obtener así el material de mayor resistencia.

Con la descripción de los distintos modelos de agitador, las características de cada uno de ellos y teniéndose el tipo de material a emplearse se entra al estudio del modelo de agitador que se requerirá para ayudar al aumento de nuestros rendimientos. Para — darse una idea de la importancia de la agitación en nuestro proceso (dado en el Capítulo III) se presentan varios resultados obtenidos en la planta piloto con diferentes tipos de agitadores y de — los cuales el que arrojó mayores rendimientos con menor tiempo de reacción fue el seleccionado.

Teniéndose una parte del problema, resuelto en la selección del agitador a emplearse para la obtención del tetraacetato de plomo se sigue con la selección del equipo a emplearse (Capítulo IV).

Se verá el cálculo y la selección de un reactor de 1,135 Lts. (300 Gals.) con el tipo de material para su construcción, el diseño del agitador, flecha, cortacorrientes y cálculo del motor para su impulso. En el reactor se hará la reacción del  $Pb_3O_4$  con el ácido acético y el anhídrido. Para la condensación de los vapores en

la recuperación del ácido acético se empleará un condensador tipo cúbico de grafito. Condensador muy versátil porque se puede manejar -- soluciones corrosivas y teniendo varias ventajas como se verá más -- adelante, indicándose también el cálculo para el área de condensa-- ción e indicándonos el modelo por escoger.

Para recibir el condensado del ácido acético se empleará un tanque receptor y en el cual se hará también la mezcla del ácido con -- el anhídrido acético, utilizándose además para hacer extracciones -- con el subproducto obtenido que es el diacetato de plomo.

También se hará la selección de un filtro para recibir la torta del tetraacetato de plomo, el cual se debe tener en cuenta que no esté en contacto con el filtrado la persona que se encargue de manejar el producto por la peligrosidad que involucra. Para recibir la solu-- ción del filtrado se diseñó una caja colectora construida con mate-- rial de acero inoxidable tipo-316, y con dimensiones dadas en la -- Fig. 4-9.

Como se tiene que cargar el ácido acético y el anhídrido acéti-- co desde un nivel cero hasta un nivel 5.90 Mts. se hizo el cálculo y selección de una bomba centrífuga.

Para un entendimiento más claro de lo expuesto anteriormente se presenta un diagrama de flujo con especificación del equipo empleado, localización de niveles y detalles de capacidad y material de cons-- trucción empleados. (Diagrama de flujo N° 1).

En el Capítulo V se verá el análisis de costos de la inversión del equipo, el cual es comparado el costo de equipo de importación,



con el costo del equipo hecho en México y tendremos también el costo por kilo de tetraacetato de plomo obtenido.

## CAPITULO I

### DESCRIPCION DE LOS DISTINTOS TIPOS DE AGITADORES EMPLEADOS COMUNMENTE EN LA INDUSTRIA.

Los equipos empleados para la agitación son muy diversos. Los más utilizados, que preferentemente se estudiarán los de tipo rotatorio, que consisten en general, en un sistema giratorio, al que — llamaremos rodete, que entra en movimiento impulsado por un eje.

Otros tipos de agitadores son los pendulares, que consisten en un péndulo que oscila en el seno del líquido a agitar; los de sacudidas, que no se emplean más que en trabajos en pequeña escala; los de barbotco, en los que el líquido se agita por el paso de una corriente gaseosa; los mezcladores de flujo, que consisten en la descarga tangencial y simultánea de los dos o más flúidos que se tratan de mezclar en un mismo recipiente, o uno en el seno del otro — que circula por una tubería, para cuyo fin se emplean preferentemente diafragmas.

Por último, citaremos también, entre los aparatos utilizados para agitación y mezclado, las bombas centrífugas y los molinos coloidales entre otros, y los vibradores de ultrasonido.

Los agitadores rotatorios, atendiendo a la forma de rodete o sistema giratorio y a su velocidad, se pueden clasificar así:

1°.— Muy revolucionados: De hélice, de turbina de cono y de — disco.

2°.— Poco revolucionados: De paleta y de ancla.

## Agitadores de Hélice

El rodete está constituido por una hélice de dos, tres, o hasta cuatro palas, análoga a la que impulsa a los barcos a tracción mecánica. En la figura 2-1 se ha representado un agitador de este tipo. Los agitadores de hélice trabajan a elevadas velocidades -- (100-1000 r.p.m.), por lo que crean una gran turbulencia en la zona próxima al rodete. Como indica la figura 2-1, el flujo que producen es de carácter axial (desplazamiento del líquido en el sentido del eje del rodete) pero junto a las paredes del depósito se hace tangencial, sin embargo, adaptándoles una carcasa o cortaco---rrientes puede conducirse como más convenga. Son de poco precio, pequeño consumo y gran rendimiento. Se construyen casi siempre en tamaños pequeños, de 1/8 a 5 H.P. y son portátiles. Los grandes -- hasta 50 H.P., son fijos y no se suelen accionar directamente por el motor eléctrico, sino que se unen a éste a través de un reduc---tor de velocidad. Cuando hay que mantener en suspensión una canti---dad razonable de sólidos, es conveniente tener varios agitadores -- de este tipo distribuidos adecuadamente en el recipiente para lle---nar las necesidades de agitación en determinado proceso.

Para grandes profundidades de líquido se colocan en la flecha de transmisión dos o más rodetes, disponiendo el ángulo de ataque de las palas de manera que el flujo axial que provoca el rodete su---perior sea ascendente, mientras que el producido por el inferior -- sea descendente. Su campo de aplicación principal es para líqui---dos bastante fluidos y para agitar dispersiones de sólidos en lí---quidos poco viscosos y cuando el contenido en materia sólida es pe---queño.

## Agitadores de Turbina o Turboagitadores:

Son, en esencia impulsores de paletas de diferentes formas que trabajan sin carcasa sumergidos en el líquido que se trata de agitar (fig. 2-2 y 2-3). Se usan fundamentalmente para líquidos de rangos de viscosidad del orden de 1 - 50,000 Cp.; siendo por lo tanto agitadores muy versátiles básicamente, y crean un flujo radial (el líquido se desplaza perpendicularmente a la flecha del impulsor salvo que las paletas del impulsor se dispongan con cierto ángulo de ataque respecto al plano que contiene el eje de giro. Para modificar la dirección del flujo y estabilizar la flecha del agitador se suelen disponer coronas o carcavas como la que esquemáticamente representa la figura 2-3. Las hojas o paletas pueden ser rectas, curvadas o angulares.

Los agitadores de turbina están especialmente indicados para desplazar volúmenes grandes de líquidos con dilución de sólidos y para la dispersión de gases en líquidos. Son de poco consumo. Cuando la altura del líquido es grande se montan dos o más impulsores sobre una misma flecha. En ciertos casos, se puede emplear una misma flecha. En ciertos casos, se puede emplear una combinación de impulsores: Uno de tipo hélice con flujo axial ascendente en la parte inferior de la flecha, y una de turbina en la parte superior, que toma la corriente procedente de aquella y la distribuye radialmente. El diámetro del impulsor suele ser de  $1/2$  - a  $2/3$  del diámetro del recipiente; su anchura, la décima parte de éste.

### Agitadores de cono:

Consisten como su nombre lo indica, en un impulsor con forma de tronco de cono, que gira sujeto a un eje y dispuesto con su base menor en la parte superior. La circulación del líquido se produce por la diferencia de fuerza centrífuga originada entre las dos bases del tronco de cono, como consecuencia de su distinto diámetro. Frecuentemente se emplean dos impulsores de este tipo y, en tal caso el inferior lleva su base mayor en la parte baja y el superior en la parte más alta. Su campo de aplicación principal es la agitación de sólidos muy espesos; cuando se emplean con líquidos ligeros se complementan con deflectores o cortacorrientes para desviar el flujo tangencial que produce.

### Agitadores de disco:

Constan de una o más placas circulares dentadas, montadas sobre una misma flecha que gira a elevada velocidad y se usan fundamentalmente para líquidos viscosos. Dan lugar a un flujo tangencial por frotamiento del disco con el líquido en el que está sumergido. Hay varios modelos industriales, muy utilizados en las industrias de pintura y barnices, en los cuales los discos son rugosos o están provistos de dientes angulares dispuestos en su periferia (fig. 2-3a).

### Agitadores de paleta:

El tipo fundamental consiste en una o más serie de brazos horizontales montados sobre un eje vertical; cada serie puede llevar dos, tres, o más brazos (paletas), y éstos pueden atacar al -

líquido frontalmente o con un cierto ángulo. Hay multitud de variantes de este tipo de agitadores (fig. 2-4, 2-5 y 2-6). Los agitadores de paletas producen flujo radial, y son menos eficientes y requieren más energía que los de hélice o los de turbina cuando se trata de dispersión de sólidos en solución, sin embargo, se emplean muy frecuentemente porque son adaptables a casos muy extremos, y por la facilidad con que se pueden modificar (longitud y número de paletas) y porque se pueden construir en formas muy diversas. Los de paletas cortas se suelen utilizar para disoluciones y dispersiones, y para mantener en buen estado de dispersión las suspensiones de sólidos — (incluso fibrosos); los de paletas largas y varias series de brazos se emplean para agitar masas viscosas, hasta unos 7000 poises, masas demasiado espesas para que puedan circular. En ningún momento se emplean para provocar mezclas rápidas e íntimas; en tal caso hay que acudir a los equipos muy revolucionados. En ocasiones se utilizan conjuntamente con los agitadores de ancla.

En el agitador típico de paletas, la longitud de un brazo de paleta (de punta a punta) suele oscilar entre  $1/2$  y  $1/3$  del diámetro del recipiente; el espesor de la paleta (su altura) varía entre  $1/4$  y  $1/8$  de dicha longitud.

#### Agitadores de Ancla:

Su principal característica es que trabajan a muy poca velocidad y que sus brazos se conforman de manera que se adaptan perfectamente a la forma del recipiente, consecuencia todo ello de la gran consistencia de los productos cuya agitación o mezcla se emplean. Su

capacidad de mezcla y por tanto, su rendimiento, es muy pequeño, razón por la cual se emplean cuando no es posible utilizar ningún otro tipo de agitador. Es característico de estos agitadores mantener limpia la superficie de los recipientes en los que trabajan; por esto están muy indicados cuando se desea evitar el depósito de partículas sólidas sobre las paredes del recipiente o cuando se desea una circulación muy intensa en la proximidad de las paredes de éste para forzar la transmisión de calor, evitar descomposiciones, etc. Producen flujo tangencial. La gran consistencia de los productos con los que se utiliza este tipo de agitadores obliga a emplear corrientes para elevar su capacidad agitadora de por sí muy pequeña, como ya se ha dicho. En las figuras 2-7, 2-8 y 2-9 se representan varios modelos de agitadores de ancla. La figura 2-9 representa una combinación de agitador de paletas (las dos superiores) y de ancla (la cruz inferior).

Otros agitadores que no pueden incluirse directamente en ninguno de los tipos anteriores, y de algún empleo en la industria química son los representados en las figuras 2-10 y 2-11. El primero es de flujo radial bien definido; el segundo produce un flujo mixto. El de la figura 2-12, muy utilizado para elaborar materias fibrosas (celulosa, etc.), es la llamada pila holandesa u holländer (fig. 2-13).

Hay otros muchos modelos de agitadores de aplicación industrial utilizados con fines especiales.

Citaremos, por último, el sistema representado en la figura 2-13, que consiste en un agitador de hélices de impulsor doble. La

disposición encontrada de ambos impulsores crea una alta turbulencia que permite retirar continuamente una solución en forma emulsificada.

#### Accesorios de los Sistemas de Agitación:

1.- Constan fundamentalmente de un motor eléctrico que puede estar acoplado a transmisión directa por medio de un reductor de velocidad y su flecha de mando o por medio de poleas y transmisión de bandas.

2.- Una barra de tracción entre la flecha del motor y la flecha del agitador.

3.- Un balero axial para darle estabilidad al agitador.

4.- Una caja de estoperores o sello mecánico según el caso para operar herméticamente el reactor.

5.- Y finalmente la flecha donde están insertadas las propelas de transmisión de flujo, por medio de collarines sujetos con prisioneros a la flecha ya citada.

#### Generalidades Sobre Reactores Volumétricos:

Trataremos de las condiciones que debe reunir el recipiente en el cual se practica la agitación. Este ha de ser de forma regular y no contener zonas en las que el líquido pueda permanecer estancado o forme remolinos estacionarios. Los reactores cilíndricos son preferibles a los de sección cuadrada o rectangular; el fondo no es conveniente que sea plano ni cóncavo al exterior. Al diseñar estos reactores se suelen calcular sus dimensiones de manera que la altura de líquido sea igual al diámetro del recipiente; si se emplean mayores

alturas de líquido (hasta 5:1 respecto al diámetro) se disponen más impulsores en la flecha del agitador.

Haciendo un paréntesis con respecto al número de impulsores em-pleados sobre la flecha del agitador esto nos lo da la fórmula de-terminada por Weber (Weber, A.P. Chem. Eng. 71, N°. 25 (1964) la cu-al nos dice que:

$$\text{Número de turbinas} = \text{Weib}/\text{diámetro del tanque}$$

Donde Weib es la máxima altura del líquido multiplicada por el peso específico medio del contenido en el reactor y dividido entre el diámetro del tanque, determinándonos, como dijimos anteriormente, el número de turbinas, evitándonos así regiones sin agitación.

Siempre que es posible se utilizan los agitadores apoyados en la parte superior a través de la barra de tracción. Sin embargo, cuando la resistencia del medio es grande y el diámetro de la flecha es considerable, hay necesidad de complementar los apoyos del eje de transmisión mediante apoyos o cojinetes en la parte inferior de la vasija.

Un importante accesorio de los sistemas de agitación son los artificios utilizados para cambiar la dirección de las corrientes producidas por el impulsor y aumentar la eficacia del sistema. Con tal fin se emplean brazos fijos o pantallas (cortacorrientes) convenientemente situadas en la periferia del recipiente y proyectadas hacia el interior, formando o no un cierto ángulo con la pared del recipiente. La necesidad de emplear cortacorrientes es evidente en los agitadores muy poco revolucionados, para elevar su pobre capacidad mezcladora; lo es también en los muy revolucionados, principal-

mente en los que producen flujo tangencial, para evitar que la masa líquida gire en un solo sentido, evitando por lo tanto una mezcla íntima entre ella. No hay reglas fijas en cuanto al número y disposición de los brazos fijos, pero sí para las pantallas que se sitúan en la periferia para cortar las corrientes tangenciales; su anchura se suele fijar en la décima parte del diámetro del recipiente; su número es de 4 ó 6, y se disponen regularmente. En ocasiones, cuando ha de haber transmisión de calor al líquido agotado, el calentamiento se efectúa por tubos verticales colocados dentro del recipiente en el lugar correspondiente a estas pantallas, para que al mismo tiempo actúen de cortacorrientes.

#### Componentes Mecánicos:

Tipos generales de impulsores.-

a) Propelas:

- 1.- Circulación por flujo axial paralela a la flecha, este modelo de flujo se puede modificar por medio de cortacorrientes.
- 2.- Se pueden operar con alto rango de velocidad.
- 3.- Puede tener varios ángulos de inclinación, el más comúnmente usado es el de tres paletas, con una inclinación a escuadra.
- 4.- La acción cortante es muy buena a altas velocidades.
- 5.- A bajas velocidades, no es muy eficaz.
- 6.- Económico en potencia.
- 7.- Fácilmente se puede limpiar.

- 8.- No es muy efectivo en líquidos muy viscosos, si se quisiera tratar para éstos, se hace un diseño especial.
  - 9.- Tiene un costo moderado.
- b) Turbina abierta:
- 1.- Circulación radial por fuerza centrífuga directa, -- usando paletas de turbina, tiene una circulación muy buena.
  - 2.- Limitaciones generales a una velocidad máxima, puede tener rangos limitados para algunos servicios.
  - 3.- A velocidades bajas (500-650 pies/min.) muy eficaz.
  - 4.- En sistemas de viscosidades altas es efectivo.
  - 5.- Requiere generalmente altas velocidades.
  - 6.- Tiene un costo bajo.
- c) Turbina con anillo de refuerzo:
- 1.- Circulación radial por fuerza centrífuga directa, -- usando impulsores. Su circulación es muy buena.
  - 2.- A bajas velocidades no es muy eficaz.
  - 3.- No se puede limpiar fácilmente, es muy sucio y fácilmente se tapa.
  - 4.- Está limitada su capacidad de flujo, siendo relativamente baja.
  - 5.- En sistemas de viscosidades altas es muy buena.
  - 6.- Su costo es relativamente alto.

d) Paletas:

- 1.- Su circulación la hace radialmente, no tiene circulación vertical, solamente que se le adicione cortacorriente.
- 2.- Cubre un grande rango de viscosidad.
- 3.- Tiene gran resistencia mecánica durante la operación.
- 4.- No se ensucia fácilmente.
- 5.- Su capacidad de flujo puede ser alta, acondicionando le hojas múltiples.
- 6.- Su costo es relativamente bajo.

Los tipos de impulsores usados para la agitación, están clasificados básicamente como flujo axial, radial y mezclador.

En general, los que se aplican con más frecuencia son: el de propelas con tres hojas, el de turbina con hojas planas, el de turbina con hojas curvas y el de paletas.

Se pueden encontrar muchos diseños y modificaciones, que están diseñados para propósitos muy especiales, con respecto al sistema del fluido y/o para otros desarrollos.

El uso de impulsores dobles sobre una misma flecha, está determinado por las propiedades físicas y las características de sistema, estando dadas como una función de viscosidad, diámetro de la propela y la altura del líquido contenido en el tanque. En general, el uso de impulsores dobles, puede ser indicado para fluidos de 45 centipoise y más grande.

La capacidad de circulación de las propelas inclinadas de tres hojas está dada teóricamente. Los rangos de velocidades pueden ser agrupadas como:

Altas velocidades, 800-1100 pies/min. para flúidos de viscosidad baja como el agua.

Velocidades medianas, 650-800 pies/min., para flúidos de viscosidad mediana como jarabes y barnices.

Velocidades bajas, 500-650 pies/min., para flúidos de viscosidades altas, como aceites, pinturas o para sustancias que — tienden a cristalizarse o formar fibras.

#### Descripción de la Flecha del Agitador:

El tamaño apropiado de la flecha, es muy importante para evitar cabeceos y vibraciones, destrucción de soportes y engranes de la transmisión.

Con rápido deterioro de las empaquetaduras de la caja de estoperos y en el peor de los casos, torsión de la flecha o desalineamiento; provocando con ello una falla de operación y un mantenimiento excesivo.

#### Transmisión de Potencia:

Motores y unidades de reducción de velocidad: Los motores — primarios para los agitadores incluyen motores de aire, turbinas de vapor, motores hidráulicos y máquinas de combustión interna, en adición a los motores eléctricos. Estos son los empleados comúnmente, pero tienen la desventaja que son operados a altas velocidades, si se necesitara reducción de velocidad, se tendría que usar un equipo adicional según como lo requiera el agitador.

El método más simple para la reducción de velocidad, es el de poleas con bandas de transmisión, estos son satisfactoriamente usa

dos para reducir la velocidad con una relación de 5 a 1.

Las unidades de reducción con mecanismo de transmisión, son más comúnmente usados que los de transmisión de banda. Los engranajes - cónicos en espiral y helicoidal son preferidos con rueda dentada o engranajes de ruedas dentadas, porque tienen menos movimientos, además tienen mejor eficiencia y una mayor capacidad de carga.

Haciendo varias combinaciones de engranes, la transmisión del motor puede estar localizado vertical u horizontalmente con respecto a la flecha. Para los agitadores de velocidades altas como las propelas, requieren solamente un engrane de reducción. Para agitadores de velocidades bajas como paletas, requieren dos o tres engranes de reducción.

Unidades de reducción con velocidad variables pueden ser divididos en dos grupos: Aquellos que están dando velocidades variables - continuamente y aquellos que dan rangos fijos de velocidad.

#### Soportes y Longitud Crítica de la Flecha:

La flecha del agitador cuando está en movimiento está sujeto a esfuerzos combinados de torsión y flexión, así como a vibraciones -- causadas por la resistencia del líquido sobre el impulsor motivando un momento flexionante y una torsión de la flecha. A ciertas velocidades críticas el movimiento de la flecha produce vibraciones violentas, esto ocurre cuando la velocidad rotatoria del eje del agitador y las vibraciones laterales son iguales y se suceden frecuentemente.

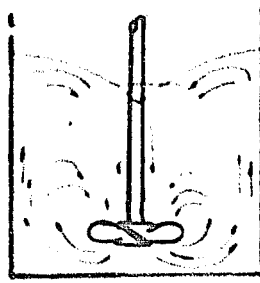


FIG. 2-1

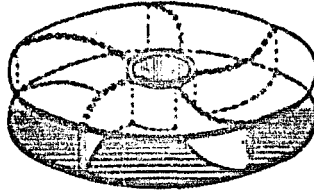


FIG. 2-2

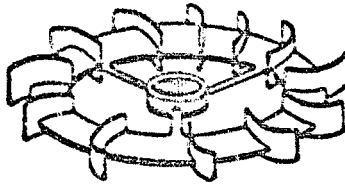


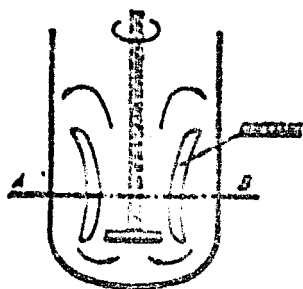
FIG. 2-3

FIG. 2-1.- AGITADOR DE HÉLICE DE TRES PALAS (CON FRECUENCIA, EL FLUJO AXIAL PRODUCIDO ES DESCENDIENTE, CONTRARIAMENTE AL REPRESENTADO EN LA FIGURA DEL LADO DERECHO).

FIG. 2-2.- EN ESTA FIGURA SE REPRESENTA UN MODELO DE IMPULSOR CON CARCASA.

FIG. 2-3.- MODELO DE IMPULSOR TURBO AGITADOR CON ANILLO ALREDEDOR DE SU CENTRO, EN EL CUAL LOS IMPULSORES ESTÁN INTERCALADOS.

FIG. 2-3A.- TURBOAGITADOR CON CARCASA PROVISTA DE COR-  
TACORRIENTES. ÉSTOS MODELOS CREAN FLUJO -  
RADIAL, EL CUAL SE DESPLAZA PERPENDICULAR-  
MENTE AL EJE DE LOS IMPULSORES.



SECCIÓN POR A-B

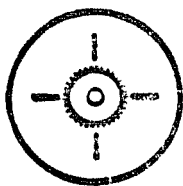


FIG. 2-3A

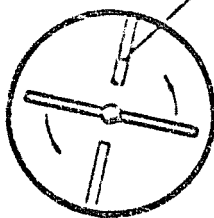
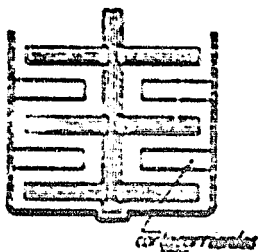


FIG. 2-4

FIG. 2-4.- AGITADOR DE PALETAS DE TRIPLE CRUZ, CON COR-  
TA-CORRIENTES. ESTE TIPO DE AGITADOR PRODU-  
CE FLUJOS TANGENCIALES.

FIG. 2-5.- AGITADOR DE PALETAS COMPUESTAS. ESTE TIPO DE AGITADOR SE UTILIZA PARA DISOLUCIONES Y DISPERSIONES.

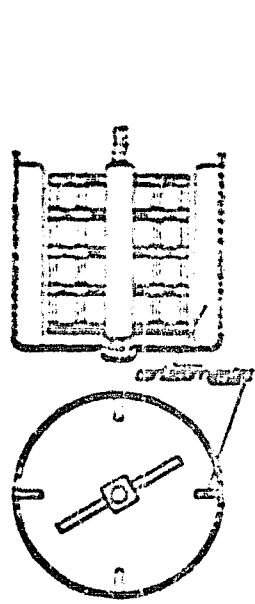


FIG. 2-5

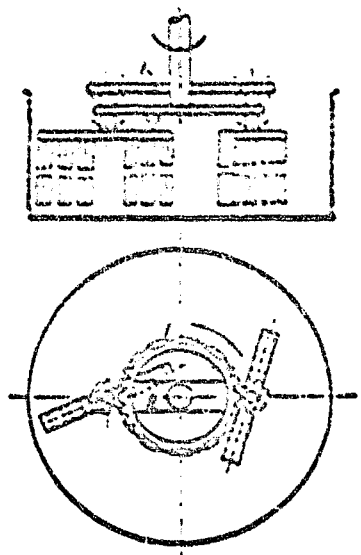


FIG. 2-6

FIG. 2-6.- AGITADOR DE PALETAS, TIPO PLANETARIO. LA CORONA ENGRANA CON DOS BASTIDORES, QUE LLEVAN POR ELLO UN DOBLE MOVIMIENTO DE ROTACIÓN.

FIG. 2-7.- AGITADOR DE ANCLA, CON PALETAS VERTICALES Y CORTACORRIENTES FIJAS A LA TAPA DEL TANQUE.

FIG. 2-8.- AGITADOR DE ANCLA CON BRAZOS EN CUÑA (UNA DE SUS FUNCIONES, ES RASPAR LAS PAREDES, PARA EVITAR CUALQUIER INCRUSTACIÓN QUE SE LLEGUE A FORMAR).

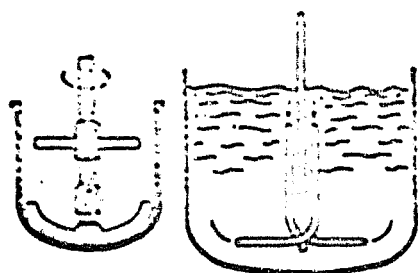


FIG. 2-9

FIG. 2-10

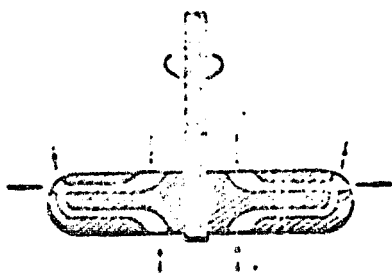


FIG. 2-11

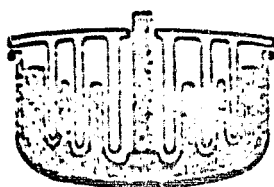


FIG. 2-7

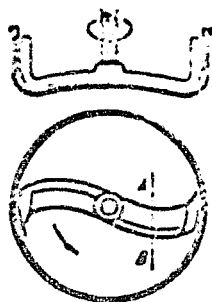


FIG. 2-8

SECCION POR A-B

FIG. 2-9.- AGITADOR MIXTO DE ANCLA Y PALETAS.

FIG. 2-10.- AGITADOR TUBULAR CENTRIFUGO.

FIG. 2-11.- IMPULSOR DE AGITADOR - MEZCLADOR DE TIPO CENTRIFUGO.

FIG. 2-33.- EMPLEO DE UN AGITADOR DE DOBLE IMPULSOR TURBO, PARA LA PREPARACIÓN CONTÍNUA DE EMULSIONES.

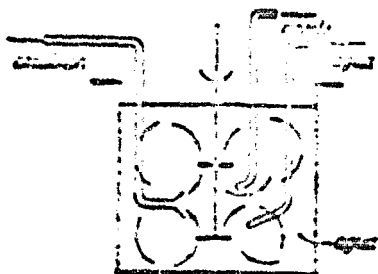


FIG. 2-13

FIG. 2-14

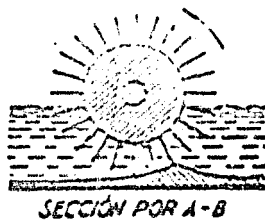
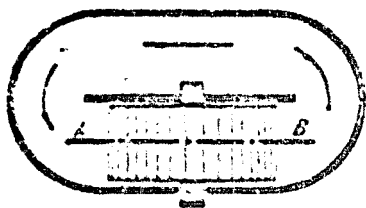
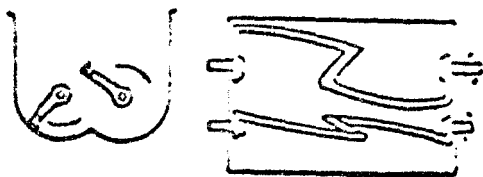


FIG. 2-15

FIG. 2-14.- AMASADORA DE DOS BRAZOS.

FIG. 2-15.- PILA HOLANDESA.

CAPITULO II

PRUEBAS DE CORROSION

11-b) Pruebas de corrosión del material empleado para la construcción del equipo de proceso.

El material para la construcción del equipo de proceso en la obtención del Tetracetato de Plomo pued ser de aluminio, acero -- inoxidable, acero vidriado, bronce, acero al carbón, materiales -- con los cuales podemos manejar ácido acético y anhídrido acético.

De varias gráficas sobre la medida de la resistencia a la corrusión, se llegaron a las siguientes conclusiones para el manejo del ácido-anhídrido acético, en su acción como corrosivo.

Tabla 1

	BRONCE	ALUMINIO	AC. AL CARBON	SS/304	SS/316
Acido Acético puro		3	4	1	1
Anhídrido Acético	2	3		1	1

	NEOPRENO	TEFLON	NYLON	VITRON
Acido Acético puro	2	1	1	4
Anhídrido Acético	2	1	1	4

1.- Excelente

2.- Bueno

3.- Regular

4.- Insatisfactorio

Temperatura promedio de

60 - 100°C

Datos suficientes

De la tabla anterior se ve que a temperaturas convenientes para nuestro sistema se podría operar con materiales, tales como aluminio, acero inoxidable, teflón y nylon.

Se descarta la posibilidad de el teflón y el nylon debido a que se va a trabajar con presión siendo estas condiciones inadecuadas para construir con los materiales mencionados.

El aluminio se eliminó y se juzgó innecesario hacer pruebas de corrosión con él, porque para una concentración del 100% y una temperatura de 37.7°C las cartas de corrosión que proporciona el manual de Ferry 4a. Edición, muestran un desgaste mayor a las 0.05 pulgadas por año (1.270 mm.) y que de acuerdo con el criterio de calificación que se sigue en la planta y que se muestra a continuación, es excesivo

CALIFICACIONES DE CORROSION

Tabla 2

Penetración en milésimas de pulgada por año.	Equivalente en mm.	Calificación
10	0.254	Muy buena
10, 25	0.254, 0.635	Aceptable
25	0.635	Dudosa

Posteriormente se procedió a realizar las pruebas para acero inoxidable 316, y la descripción del método es el siguiente:

Se diseñaron 6 rondanas para que tuvieran una medida apropiada ya que se necesitaba que fueran adecuadas para su colocación en el interior del recipiente donde se efectúa la reacción, fáciles de su jeter al interior de la vasija, que tuvieran superficie de exposición suficiente y sencilla de medir, así como que no fueran pesadas para que en caso de desprenderse, disminuyera el riesgo de la rotura en el recipiente en el que se procedió a hacer el experimento, - que es de vidrio.

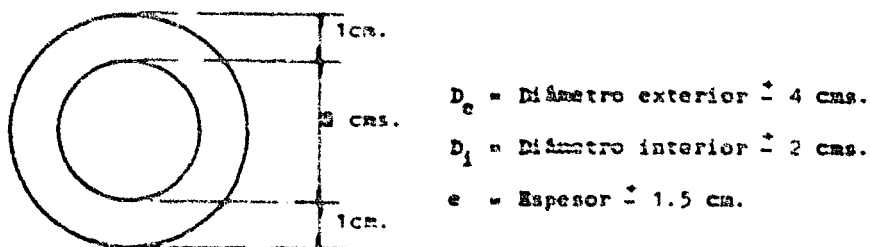


Fig. 2-16

De las muestras proporcionadas por el taller mecánico se lavaron las impurezas que contenían las muestras con el mismo solvente donde se van a correr las pruebas y se pesaron cuidadosamente en una balanza analítica. Posteriormente se colocaron un par de ellas en un matraz de bola, llevando lo mejor posible a las condiciones en que se efectúa la reacción del Tetracetato de Plomo, después de la prueba se verificaron sus medidas y se volvieron a pesar las rondanas.

Se repitió 2 veces, sujetándose las rondanas con alambre de acero inoxidable al matraz de bola.

La fórmula indicada, obtenida estadísticamente y que se aplicó

es:

$$C = \frac{5.26 \times 10^{5W}}{A \times T \times S} \quad 11-1$$

(Tomada del Perry, 4a. Edición)

- C = Corrosión en milésimas de pulgadas penetradas por año.
- W = Peso perdido en gramos.
- A = Área de la pieza en pulgadas cuadradas.
- S = Densidad de la pieza en g/cc (dato proporcionado por el distribuidor).
- T = Tiempo de la prueba en horas.

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 3

PRUEBAS DE COROSION A 60°C CON MEZCLA DE TETRAACETATO DE PLOMO.									
Material	Clave	Dimensiones D.e. D.i. e. mm. de pulg.	Area Expuesta pulg <sup>2</sup>	Peso Inicial gr.	Peso Final gr.	Diferen- cia (V) gr.	Densidad (S) g/cm <sup>3</sup>	Tiempo (T) hr.	
S/S-316	1	40.2 20.0 1.68	3.509	12.48943	12.48943	0.00003	8.05 g/cc.	48'	
S/S-316	2	40.0 20.1 1.63	3.379	12.48951	12.48747	0.00204	8.05 g/cc.	60	
S/S-316	3	42.1 20.0 1.69	3.740	12.49633	12.49629	0.00005	8.05 g/cc.	72	
C A L C U L O S									
FORMULA:		$C = \frac{5.26 \times 10^3 \times V}{A \times S \times T}$			RESULTADOS:		mm. de pulg/año		
V Peso perdido (grs.)	A (Area expuesta pulg <sup>2</sup> )	$5.26 \times 10^3 \times V$	A x S x T	COROSION (C) mm. pulg/año					
0.00003	3.509	18.8	1360	0.0116					
0.00204	3.379	21.0	1630	0.025					
0.00005	3.740	28.4	2170	0.013					

Tabla A

PERRAS DE CORROSION A LOQUE CON MEZCLA DE TETRAMETATO DE PLOMO.									
Materia	Clave	Dimensiones Dio. D. i. e. mm. de pulg.	Area expuesta pulg. <sup>2</sup>	Peso Inicial gr.	Peso Final gr.	Diferencia (V) gr.	Densidad (S) gr/cm <sup>3</sup>	Tiempo (T) hr.	
	5	40 x 20 x 1.27	1.37	10.4840	10.4840	0.0000	8.00 7.60	48	
	5	41.1 x 20.1 x 1.27	1.70	10.4404	10.4310	0.0094	8.00 7.60	48	
	6	39.8 x 20.1 x 1.27	1.31	10.3890	10.3810	0.0080	8.00 7.60	72	

FORMULA: $C = \frac{5.06 \times 10^{-4} \times V}{A \times S \times T}$			RESULTADO	
Peso perdido (grs.)	(Area expuesta pulg. <sup>2</sup> )	$5.06 \times 10^{-4} \times V$	A x S x T	CORROSION (C)
0.00000	1.37	0.00	1.92	0.00
0.00170	1.70	0.85	17.90	1.84
0.00140	1.31	0.74	19.80	4.05

C < 0.001	Muy buena
0.001 ≥ C < 0.01	Aceptable
C > 0.01	Dudosa

## Conclusiones:

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la tabla anterior podemos hacer las siguientes conclusiones:

1.- Durante las pruebas efectuadas, no se notaron cambios en las dimensiones de la rondana ni en su aspecto físico, a pesar de que se corrieron pruebas a 100°C, temperatura a la cual la reacción del Tetraacetato de Plomo no se lleva a cabo, puesto que ésta se realiza a 60°C.

2.- En la penetración no fue más allá de 25 milésimas de pulgada/año, que cae dentro del rango de aceptable, se hace la aclaración que a 60°C no es atacado por el ácido ni por el anhídrido acético, por lo cual es más aceptable pensar que no se tendrá problemas con la corrosión.

Como se puede apreciar el efecto de la mezcla ácido acético-anhídrido acético sobre el acero inoxidable, está íntimamente ligado por dos factores: la temperatura y la concentración.

La temperatura es el factor primordial en este tipo de pruebas gobernando la resistencia del acero inoxidable. El acero inoxidable resiste cualquier solución de mezcla ácido-anhídrido abajo de su punto de ebullición. Arriba del punto de ebullición de la mezcla la corrosión se incrementa gradualmente conforme aumenta la temperatura.

En el presente estudio se está trabajando a una temperatura de 60°C. En cuanto a la concentración, la corrosión disminuye conforme aumenta la concentración de la mezcla ácido-anhídrido acético.

### 11-c) SELECCION DEL TIPO MAS CONVENIENTE DE AGITADOR.

Los agitadores se clasifican por su tipo y potencia. El tipo --  
nos dá una idea del rendimiento que cabe esperar del equipo, dadas --  
las condiciones de la agitación y las características del producto --  
agitado. Para cada tipo, la mayor o menor potencia que comunique al  
líquido es función en parte de la rapidéz con que puedan lograrse --  
los efectos requeridos.

La potencia nominal con que designan los constructores a sus --  
agitadores, está referida al caso de que el agitador trabajase sumer  
gido en el agua.

Para una agitación concreta, el criterio que se sigue desde un  
punto de vista funcional es el derivado del concepto intensidad o --  
grado de agitación, que se define por la potencia suministrada a ca--  
da unidad de volumen del líquido.

La velocidad periférica del agitador dado en pies/min. es, co--  
mumente usada como una medida del grado de agitación en un sistema  
de mezclado de líquido.

$$V_p = \sqrt{11} D_a \times \text{r.p.m.} \quad (11-2)$$

donde  $D_a$  es el diámetro del agitador en pies y r.p.m. es la velocidad  
angular del agitador en revoluciones por minuto.

Ultimamente se ha adoptado el siguiente criterio para juzgar la  
intensidad o grado de agitación:

Tabla 5 (Lit.10 Pag. 16)

INTENSIDAD DE AGITACION	RIES/MIN.
Baja	500 - 650
Mediana	650 - 800
Intensa	800 - 1100

Dado un volumen de líquido a agitar; se pueden imaginar dos agitadores que introduzcan en él la misma potencia y, sin embargo, tengan distinto grado de agitación: uno podría ser de diámetro muy grande y poco revolucionado, y el otro muy pequeño y de altas revoluciones.

Si tuviéramos un impulsor de flujo axial (agitador de turbina) la potencia suministrada al líquido, se puede igualar al producto — del caudal que desplaza en el impulsor por la carga resultante si el líquido se elevara a cierta altura:

$$P = Qv \cdot H. \quad (11-4)$$

Pero como el agitador no funciona como bomba, es decir, no eleva líquido, H representa aquí la carga cinética, los frotamientos líquido-líquido y líquido-paredes y otras acciones de menor cuantía.

Evidentemente  $Qv = I \cdot L^2 \cdot N$ , siendo L el diámetro del impulsor y N el número de revoluciones por segundo.

Para una mejor selección del agitador debemos de guiarnos de ciertos factores que condicionan las características, en las cuales vamos a operar que son:

- 1.- Sistema agitador (impulsor-reactor).
- 2.- Sistema agitado.
- 3.- Efecto que se pretende obtener con el agitador.
- 4.- Tiempo en que se quiere obtener ese efecto.
- 5.- Potencia para accionar ese agitador.

Si al agitador se le modifica el número de impulsores, la longitud, ancho o inclinación del impulsor, tendremos una variación en la potencia cuando ésta ya ha sido instalada.

Ahora dentro de las variables del proceso que nos pueda afectar el sistema tendremos:

- 1.- Del líquido: Viscosidad, densidad y temperatura.
- 2.- Del sólido: Superficie específica, tamaño de la partícula forma de la misma.
- 3.- Del sólido y del líquido: Cantidades relativas, relación de densidades, tiempo de reacción.

La existencia de tantas variables, es la que nos hace que la resolución de nuestro problema se dificulte.

Para la obtención de buenos resultados podríamos basarnos en las ecuaciones encontradas por diversos autores pero tales fórmulas pueden servirnos para comparar dos agitadores, pero no, en general, para proveer el trabajo de cualquier otro tipo no sometido a comparación.

La resolución de tanta variable puede ser encontrada recurriendo a la teoría de la similitud, que basada en el análisis adimensional y por comparación de cocientes adimensionales que agrupan a varias variables, permite reducir el número de éstas. Aún así, es preciso establecer condiciones limitativas para poder llegar a resultados con-

cretos en la práctica, o también ayudarnos con resultados encontrados en planta piloto.

La teoría de la semejanza es uno de los principios más usados en escala industrial (partiendo de un modelo a escala de planta piloto), que es el principio de la similitud propuesto por Newton. En la agitación de líquidos es necesario considerar 3 tipos de similitud:

- a).- Similitud geométrica.
- b).- Similitud cinemática.
- c).- Similitud dinámica.

La similitud geométrica se refiere a dimensiones lineales, diciéndose, que dos sistemas son geoméricamente similares cuando las relaciones de las dimensiones correspondientes en un sistema son iguales a las del otro.

La similitud cinemática se refiere a los movimientos, entendiéndose se que dos sistemas son similares cinemáticamente cuando además de ser geoméricamente similares tienen la misma relación de los vectores de velocidad para puntos correspondientes de cada sistema.

La similitud dinámica se logra cuando dos sistemas geoméricamente y cinemáticamente similares, tienen también todas sus relaciones de fuerzas iguales para los puntos correspondientes de cada sistema.

En la similitud geométrica los criterios que se siguen son los siguientes:

$$\text{La similitud del número de Reynolds (NRe)} \propto N D a^2 \quad (11-6)$$

$$\text{La similitud del número de Froude (NFr)} \propto N^2 D a \quad (11-7)$$

$$\text{La similitud del número de Weber (NWe)} \propto N^2 D a^3 \quad (11-8)$$

La similitud de velocidad periférica ( $V_p$ )  $\propto$   $NDa$  (11-9)

La similitud de potencia por unidad de volumen ( $\frac{P}{V}$ )  $\propto$

$$\frac{N^3 Da^5}{Da^3} \propto N^3 Da^2 \quad (11-10)$$

La constante de flujo volumétrico por la velocidad

de cabeza  $(\frac{Q_v}{P}) \propto \frac{NDa^3}{N^3 Da^2} \propto \frac{Da}{N}$  (11-11)

El número de Reynolds representado por

$$NRe = \frac{\rho NDa^2}{\mu} \quad (11-12)$$

Nos representa el cociente entre las fuerzas de inercia y las de viscosidad.

El número de Froude dado por la siguiente ecuación:

$$NFr = \frac{N^2 D}{g} \quad (11-13)$$

Nos representa la relación de aplicación a fuerzas gravitacionales, y se aplica cuando tenemos un sistema de agitación en el cual se nos formara vortices. (Estos vortices pueden ser suprimidos por medio de brazos o cortacorrientes) que pueden ir en diferentes arreglos.

El número de Weber nos representa la relación de aplicación a -- fuerzas de tensión superficial, y es de importancia cuando tenemos se paración de fases físicas en un sistema de agitación de líquidos.

La relación del flujo volumétrico  $Q_v$  y la velocidad de la cabeza  $H$  están relacionados con la potencia de entrada "P" dada por la siguiente ecuación:

$$P = Q_v H_n \quad (11-14)$$

La velocidad de la cabeza ( $H_0$ ) dada en pies se expresa normalmente como  $u^2/2g$ ; donde  $u$  es la velocidad lineal, dada en pies/seg. y tenemos que  $g$ , es la aceleración de la gravedad, teniendo un valor de 32.2 pies/seg<sup>2</sup>.

La velocidad periférica del agitador  $V_{p\text{e}} \propto N D a$  es una velocidad lineal. Es la cabeza ( $H_0$ ) desarrollada por el agitador y es proporcional a  $N^2 D a^2$ . La relación del flujo volumétrico es proporcional a  $N D a^3$ , substituyendo los valores en la ecuación anterior de  $Q_v$  y  $H_0$  tendremos:

$$P \propto N^3 D a^5 \quad (11-15)$$

Por lo tanto, llegamos a la ecuación conocida como el número - potencia.

Para una mejor selección del tipo de agitador y diseño del equipo nos apoyaremos en los resultados obtenidos en la planta piloto, - la cual nos fijará el criterio para desarrollar un método de obtención óptimo del producto, encontrar el mejor tiempo de reacción, cantidad de materia prima empleada, temperatura de reacción, tiempo de agitación óptimo, porcentaje de pureza y porcentaje de conversión y - tratar de llevar a escala de producción las mejoras de procesos obtenidos.

En la elaboración del Tetraacetato de Plomo, se utiliza Óxido - de plomo rojo, ácido acético y anhídrido acético. El Tetraacetato - de Plomo es muy inestable en agua y se descompone en Óxido de plomo negro hidratado. Un gran exceso de anhídrido acético es usado para prevenir cualquier agua libre que se encuentre como tal.

El óxido de plomo rojo ( $Pb_3O_4$ ) se disuelve en una mezcla caliente ( $55^{\circ}C$ ) de anhídrido acético y ácido acético, la adición completa - del óxido de plomo rojo puede tomar varias horas, según el tipo de -- agitador. Es necesario tener en cuenta que se va a necesitar tener - una agitación violenta. Después de cada adición de óxido de plomo ro- jo se tendrá la necesidad de agitar hasta que desaparezca una colora- ción naranja que forma el minio al estar reaccionando, teniendo que - pasar a una coloración roja, la cual nos indica que ha reaccionado la mayor parte del óxido de plomo rojo (minio). Esta operación se conti- núa en igual forma hasta hacer reaccionar toda la cantidad de minio - con el ácido acético. Después de terminar de adicionar el minio hay que tener en agitación por lo menos dos horas para conseguir que todo el óxido de plomo rojo reaccione. En la reacción se nos formará Te- tracetato de Plomo y Diacetato de Plomo. El agua es liberada duran- te la reacción pero es inmediatamente absorbida por hidrólisis del an- hídrido acético para dar ácido acético adicional.

Como se podrá notar la agitación es una parte muy importante en la obtención del Tetraacetato de Plomo, porque es la que nos va a --- controlar y nos va a decir hasta que punto se va a llevar a cabo la - reacción completa del ácido acético y el óxido de plomo rojo y no de- jar que se formen subproductos como Diacetato de Plomo, que lo único que haría será bajar nuestros rendimientos con respecto al Tetraaceta- to de Plomo formado.

Se debe de tener mucha precaución durante la reacción del óxido de plomo rojo con el ácido acético, no dejando que la temperatura sea

superior a 60°C, porque el Tetraacetato de Plomo se descompone en la solución, pasando a formar Diacetato de Plomo, como consecuencia de esto bajará nuestro rendimiento. Después de que ya ha reaccionado totalmente el óxido de plomo con el ácido acético, se procede a bajar la temperatura lentamente hasta llegar a 35°C donde se lleva a cabo la filtración, de la cual vamos a obtener el Tetraacetato de Plomo en forma de cristales y como aguas madres obtendremos una mezcla de ácido-anhídrido acético.

La formación del Tetraacetato de Plomo se favorece por medio de la temperatura, y donde dicha reacción se lleva a cabo entre 55 y 60°C, realizándose entre estas temperaturas la reacción. En la filtración la temperatura se baja hasta 35°C para no llegar a cristalizar el diacetato de plomo con el Tetraacetato de Plomo, forma en la cual bajarían nuestros rendimientos.

Para las pruebas que se corrieron en planta piloto se utilizó el equipo siguiente:

Un reactor volumétrico enchaquetado en forma cilíndrico vertical con el fondo semicircular, con una altura del fondo a la boca de entrada de la flecha del agitador de 43 cms. con un diámetro exterior de 45.7 cm. y con un diámetro interior de 35.5 cms. para una presión de trabajo en el interior del reactor de 50 lbs/pulg<sup>2</sup>.

El material de construcción empleado era de acero inoxidable 316.

En las pruebas llevadas a cabo se utilizó primeramente un agitador del tipo propelas y después para la segunda prueba se usó del tipo turbina.

Para el uso de estos agitadores nos basamos en la literatura 10 , la cual indica que son para casos de sólido-líquido y en la cual tenemos un proceso químico de disolución.

El agitador del tipo propelas tenía las siguientes características: Se montó verticalmente y al centro del reactor, construido con material de acero inoxidable-316 la flecha y los tres impulsores de -- que constaba.

El agitador de tipo turbina era de seis aspas inclinadas a 45° -- construídas de acero inoxidable-316 igualmente la flecha; las hojas de la turbina tienen un diámetro de 16 cm., con un ancho de 7 cm., la altura de la turbina al fondo del reactor es de 5 cm. además en el reactor se utilizaron dos cortacorrientes opuestas con una altura de 32 cm. y con un ancho de 6 cm., separados de la pared del tanque a 2 cm.

Se utilizó un moto reductor de 1 h.p. para 3 fases, 220/440 volts, con motor totalmente cerrado, con reductor de velocidad variable, teniendo 340 r.p.m. de salida.

La capacidad del reactor es de 37.8 lts. (10 gal.). Como receptor de la mezcla ácido-anhídrido acético se utilizó un tanque sin chaqueta, en forma cilíndrica vertical con tapa engrapada, con una capacidad de 89 lts. (23 gals.), construído con acero inoxidable-316. El -- fondo del tanque receptor era semicircular. La altura del tanque es de 47.6 cms. y el diámetro interior de 50 cms.

Se utilizó un condensador tipo tubular con tubos en "U", espejos fijos con junta de expansión y con cabezal flotante; el haz de tubos -- estaba colocado dentro de un envolvente construído con material de fie

erro y la transferencia de calor se efectuaba entre los vapores de ácido-anhídrido acético que circulaba dentro de los tubos que estaban construídos con acero inoxidable-316 y el agua de enfriamiento que circulaba en torno de ellos, en el espacio comprendido entre dichos tubos y las paredes interiores del cuerpo de fierro.

Dimensionalmente tenemos una longitud de tubos de espejo a espejo de 60 cms. con un diámetro de entrada de boca de vapores de 6 cms. y diámetro de salida de condensados de 6 cms. Las bocas de servicio de entrada y salida de 5 cms. El diámetro del condensador era de 16 cms., con un largo total de cabeza a cabeza de 106 cms.

Para el filtrado del Tetraacetato de Plomo se usó una centrifuga, con canastilla de acero inoxidable tipo 216 con diámetro de 30 cms. La boca de salida de las aguas madres tenía un diámetro de 5 cms. El motor con el cual era accionada la canastilla era de  $\frac{1}{2}$  h.p. y de 2 velocidades.

Con el equipo descrito anteriormente se procedió a correr las pruebas, obteniendo los siguientes resultados.

La primera prueba se corrió con el agitador del tipo propelas:

Tabla 6

ACTIVADOR TIPO PROPELAS

Clase	CANTIDAD UTILIZADA		Tiempo de reacción	Tiempo de reacción	Tiempo de reacción	Cantidad obtenida de Transmutato (g/l)
	litro de Sol. Activ. A	litro de Sol. Activ. B				
A-1	0.97	0.97	1.10	1.10	1.40	3.70
A-2	0.97	0.97	1.10	1.10	1.10	7.77
A-3	0.97	0.97	1.10	1.10	1.10	7.77

TIPO DE	% CONVERSION
60X (Base Hámada)	60X
60XX (Base seca)	60.1X 60X

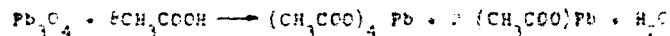
Tabla 7

AGITADOR TIPO TURBINA

Clave	A	B	C	D	E	F	G	H	I
B-1	13.2	9.97	13.6	3-20	2-10	5-10	7.92	96% (base húmeda) 97% (base seca)	90%
B-2	13.2	9.97	13.6	3-20	2-10	5-30	7.91	Idea	90.5
B-3	13.2	9.97	13.6	3-18	2-10	5-25	7.91	Idea	90.5

NOTA: El tiempo de agitación involucra el tiempo de adición del  $Pb_3O_4$  (tiempo en que tardó en disolverse el  $Pb_3O_4$  en la mezcla ácido-anhidrido acético) más el tiempo de reacción.

La conversión se sacó a partir de:



$$Pb_3O_4 = \frac{C}{P.molecular\ del\ Pb_3O_4} = X \quad Pb(C_2H_3O_2)_4 = \frac{G}{P.molecular\ del\ Pb(C_2H_3O_2)_4} = Y$$

$$X\ de\ conversión = \frac{Y}{X}$$

Conclusiones.- Como se nota en los resultados obtenidos (tabla N° 6 y 7), de la planta piloto hay cierta diferencia entre usar un agitador del tipo propelas y del tipo turbina. El agitador del tipo propelas nos dá un tiempo promedio de adición del  $Pb_3O_4$  de 3:40 hs. y la cantidad obtenida promedio del Tetraacetato de Plomo es de --- 7.71 kgs. con un porcentaje de conversión promedio de 87.5. En comparación con el agitador del tipo turbina el cual nos dá un tiempo promedio de adición del  $Pb_3O_4$  de 3:19 hs., con una cantidad obtenida promedio de Tetraacetato de Plomo de 7.925 kgs. y con un porciento de conversión promedio de 90.3.

Como se podrá apreciar el de tipo turbina es el que reúne las mejores condiciones tanto en el aumento del rendimiento, que es una parte muy fundamental en nuestros resultados, como en el tiempo que consume en disolverse.

También se corrieron pruebas con el agitador tipo de paletas cortas, pero los resultados obtenidos eran insatisfactorios, debido a que en la adición del óxido de plomo, éste se precipitaba hacia el fondo tardando demasiado tiempo en reaccionar, y otra parte quedaba sin reaccionar, entonces se creyó conveniente no seguirse realizando pruebas con este tipo de agitador por su ineficiencia y el tiempo excesivo de reacción por la ineficiencia del sistema de agitación. Esto nos indica claramente el efecto de la agitación en nuestro sistema reaccionante.

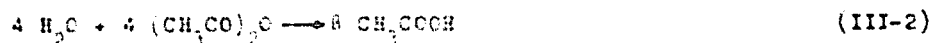
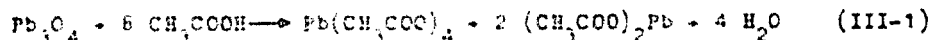
III.- CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE TETRAACETATO DE PLOMO.

III-a) Cálculo del reactor volumétrico, y su tipo de agitador:

Con los datos obtenidos en planta piloto para la selección del agitador, el cual nos indica que usaremos un agitador del tipo turbina de 6 aspas inclinadas a 45°, todos los cálculos que se realicen para el diseño del agitador van a estar basados sobre este modelo. En el cálculo del reactor volumétrico, la base para un mejor diseño van a estar fijados por volumen que vamos a manejar, y la masa manejada nos la va a limitar nuestras necesidades de capacidad.

Cálculos estequiométricos:

La reacción estequiométrica, la cual se lleva a cabo es la siguiente:



P.M. del Oxido de plomo:  $\text{Pb}_3\text{O}_4 = 685.63$

P.M. del Acido acético:  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 = 60$

Base: 440 kg. de Oxido de plomo  $\text{Pb}_3\text{O}_4$

Moles de Oxido de plomo:  $\frac{440}{685.63} = 0.642$  moles.

Moles de Acido acético:  $8 \times 0.642 \times 60 = 308$  moles.

$308 \text{ kg.} \times \frac{1}{1.049} = 294 \text{ lts.} + 10\% \text{ de exceso} = 324 \text{ lts.}$

Moles de Anhídrido acético:  $4 \times 0.642 \times 102 = 262$  moles

$262 \text{ kgs.} \times \frac{1}{1.082} = 242 \text{ lts.}$

Se van a alimentar al reactor 440 kgs. de óxido de plomo más 324 lts. de ácido acético, que se calculó estequiométricamente, además, como se había dicho anteriormente el agua va a perjudicar al Tetraacetato de Plomo, entonces se cargarán 242 lts. de anhídrido acético para poder hacer reaccionar el agua formada con el anhídrido como lo indica la reacción expuesta anteriormente.

Como se ve la capacidad a la cual vamos a trabajar va a estar absorbida por el volumen del reactor, que se fijó de 300 gals. (o sea 1,135 lts.)

III-b) Cálculo y diseño para el reactor volumétrico con capacidad de 300 gals., construido con material de acero inoxidable-316.

b-1) Selección del diámetro de la cabeza toriesférica.

Datos:

$$H = D, \quad V = 300 \text{ gals. (1,135 lts.)}$$

Fórmula:

$$V = 0.785 D^2 \times H \quad (\text{III-3})$$

Cálculos:

$$V = 1,135 \text{ lts.} = 1,135 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$H = \frac{1,135 \times 10^3}{0.785 \times D^2}$$

$$H^3 = \frac{1,135 \times 10^3}{0.785} = 1.445 \times 10^3$$

$$H_{\text{tapa}} = \sqrt[3]{1.445 \times 10^3} = 1.13 \times 10 = 11.3$$

Diámetro seleccionado: 106 cm.  $\phi = 41.7$  pulg.

con un volumen de  $\approx 26$  gals.

$$300 \text{ gals} - 26 \text{ gals} = 274 \text{ gals} = 1036 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$H = \frac{1036 \times 10^3}{0.785 \times 106^2} = \frac{1036 \times 10^3}{0.785 \times 11.23 \times 10^3} = \frac{1036}{8.82} = 117.6$$

$$H_{\text{lar}} = 118 \text{ cms.}$$

b-2) Resumen:

Datos de tapa y fondo toriesféricos:

$$D = 106 \text{ } \phi \text{ cm.} \quad F = 23 \text{ cms.}$$

Datos de la sección recta:

$$D = 106 \text{ cm.} \quad V = 1040 \text{ lts.}$$

$$V = 0.785 \times 11.23 \times 10^3 \times 118 = 1040 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$V = 1040 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen total: } 1040 \text{ lts.} = 275 \text{ gals.}$$

$$275 \text{ gals.} + 26 \text{ gals.} = 301 \text{ gals.}$$

$$V_t = 301 \text{ gals.} = 1140 \text{ lts.} = 1140 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

III-c) Cálculo de los espesores mínimos requeridos

Calibre de las placas:

c-1) Sección cabeza toriesférica bajo presión externa.

Datos:

Fórmula:

$$D = L_1 = 106 \text{ cm.} = 41.7" \quad L_1/100 \text{ th; } L_1/\text{th} \quad (\text{III-4})$$

$$P. \text{ externa} = 15 \text{ psia.} \quad Pa = \frac{B}{L_1/\text{th}} \quad (\text{III-5})$$

Cálculos:

$$\text{th supuesto: } 0.125" \text{ (3.17 mm.)}$$

$$\frac{L_1}{100 \text{ th}} = \frac{41.7}{12.5} = 3.34; \quad \frac{L_1}{\text{th}} = 334$$

B = 4900 (fig. una 28.2 pag. 151 ASME CODE  
UNFIRE PRESSURE VESSELS)

$$P_a = \frac{4900}{332} = 14.68 \text{ psia.}$$

$$f \text{ corrosión} = 1/16" (1.58 \text{ mm.})^B$$

$$0.125 = 1/8" \quad 1/8" + 1/16" = 3/16"$$

$$t_h \text{ requerido} = 3/16" (4.76 \text{ mm.})$$

c-2) Sección cilíndrica bajo presión externa.

Datos:

Fórmulas:

$$D_o = 41.7" \quad H = 118 = 46.4" \quad L/D_o; \quad D_o/t_h$$

$$\text{Presión externa} \quad P = \frac{B}{D_o/t_h}$$

$$F_c = 75 \text{ psia} (5.27 \text{ kg/cm}^2)$$

$$L = H + 2/3 F$$

(III-6)

$$F = 23 \text{ cm.} = 9.06"$$

Cálculos:

$$L = 46.4 + 2/3 (9.06) = 52.44"$$

$$L = 52.44" (133 \text{ cm.})$$

$$t_h \text{ supuesto: } 0.14" (3.57 \text{ mm.})$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{52.44}{41.7} = 1.255; \quad \frac{D_o}{t_h} = \frac{41.7}{0.14} = 298$$

$$B = 2800$$

$$P_a = \frac{2800}{298} = 9.4 \text{ psia. (No alcanza la presión deseada)}$$

$$t_h \text{ supuesto: } 0.32" (8.33 \text{ mm.})$$

$$\frac{L}{D_o} = 1.255 \quad \frac{D_o}{t} = \frac{41.7}{0.32} = 130.5$$

$$B = 8400$$

$$P_a = \frac{8400}{130.5} = 64.2 \text{ psia. (4.51 kg/cm}^2)$$

Todavía no alcanzamos la presión deseada, tendremos que aumentar el  $t_h$  supuesto:

\* Factor de corrosión para una vida de 10 años. Dato encontrado con pruebas realizadas en el laboratorio.

th supuesto: 0.35"

$$\frac{L}{D_o} = 1.255 \quad \frac{D_o}{t} = \frac{41.7}{0.35} = 119.3$$

$$B = 8600$$

$$P_a = \frac{8600}{119.3} = 72.1 \text{ psia. } (5.1 \text{ kg/cm}^2)$$

El th supuesto en este caso es el correcto entonces

tendremos que: El th requerido es el siguiente.

$$0.36" = 23/64" \quad f \text{ corrosión} = 1/8"$$

$$23/64" + 1/8" = 31/64" (12.3 \text{ mm.})$$

$$\text{th requerido} = 1/8" (12.7 \text{ mm.})$$

c-3) Fondo toricéférico bajo presión externa:

Datos:

Fórmulas:

$$D = L_1 = 41.7"$$

$$L_1/100 \text{ th}; L_1/\text{th}$$

Presión externa

$$P_a = \frac{B}{L_1/\text{th}}$$

$$P_c = 75 \text{ psia. } (5.26 \text{ kg/cm}^2)$$

#### Cálculos

Vamos a hacer los mismos tanteos con el th como en el cálculo anterior.

$$\text{th supuesto: } 0.32" (8.33 \text{ mm.})$$

$$\frac{L_1}{100 \text{ th}} = \frac{41.7}{32} = 1.305 \quad \frac{L_1}{\text{th}} = \frac{41.7}{0.32} = 130.5$$

$$B = 8700$$

$$P_a = \frac{8700}{130.5} = 66.7 \text{ psia. } (4.68 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\text{th supuesto: } 0.376" (9.52 \text{ mm.})$$

$$\frac{L_1}{100 \text{ th}} = \frac{41.7}{37.6} = 1.125 \quad \frac{L_1}{\text{th}} = \frac{41.7}{0.376} = 112.3$$

$$B = 9100$$

$$P_a = \frac{9100}{112.3} = 81.8 \text{ psia. (5.76 kg/cm}^2\text{)}$$

th supuesto: 0.36" (9.37 mm.)

$$\frac{L_1}{100th} = \frac{41.7}{36} = 1.158; \quad \frac{L_1}{th} = \frac{41.7}{0.36} = 115.8$$

$$B = 9000$$

$$P_a = \frac{9000}{115.8} = 77.6 \text{ psia. (5.35 kg/cm}^2\text{)}$$

$$0.36 \quad 23/64" \quad (9.12 \text{ mm.})$$

$$23/64" + 1/8" = 31/64 \quad \beta \text{ corrosión} = 1/8"$$

th requerido : 1/2" (12.7 mm.)

c-4) Sección cilíndrica (Bajo presión interna.) (Camisa del reactor)

Datos:

$$P \text{ interna} = 60 \text{ psia. (4.2 kg/cm}^2\text{)} \quad th = \frac{R P}{S E - 0.6 P} \quad \text{(III-7)}$$

$$R = 58 \text{ cms.} = 22.85"$$

$$S = \text{Esfuerzo máximo permisible} = 13500 \text{ lb/in} \quad P = \frac{S E t}{R + 0.6 t} \quad \text{(III-8)}$$

E = Eficiencia de la soldadura.  
Según parte UW-12<sup>m</sup> = 0.7

Material: Fe negro

$\beta = 3/16"$  (4.76 mm.) (Factor de corrosión)

Cálculos

$$th = \frac{22.85 \times 60}{13500 \times 0.7 - 0.6 \times 60} = 0.1455" = 5/32" (3.96 \text{ mm.})$$

$$5/32" + 3/16" = 11/32" (8.73 \text{ mm.})$$

th requerido = 3/8" (9.52 mm.)

(<sup>m</sup> Código ASME sección VIII Pag. 7. UNFIRE PRESSURE VESSELS)



c-5) Fondo hemisférico (bajo presión interna)

Datos:

Fórmulas:

P. interna = 60 psia.

$$t_h = \frac{0.885 P L}{S E - 0.1 P} \quad (\text{III-9})$$

L = 116 cm. = 45.6"

S = 13500 lbs/in<sup>2</sup>

$$P_c = \frac{S E t}{0.885 L + 0.1 t} \quad (\text{III-10})$$

Material: Fe negro

$\beta = 3/16"$  (4.76 mm.) (Factor de corrosión)

Cálculos:

$$t_h = \frac{0.885 \times 60 \times 45.6}{13500 \times 0.7 - 0.1 \times 60} = 0.256 = 1/4" \quad (6.35 \text{ mm.})$$

$$1/4" = 3/16" + 7/16"$$

$t_h$  requerido = 7/16" (11.11 mm.)

$$P_c = \frac{13500 \times 0.7 \times 0.4375}{0.885 \times 45.6 + 0.1 \times 0.4375} = 102.2 \text{ psia.}$$

$$= 7.2 \text{ kg/cm}^2$$

III-d) Cálculo del agitador:

En el capítulo II se dejó asentado los resultados obtenidos en la planta piloto, con respecto al tipo de agitador que se va a emplear en producción. Se utilizará un agitador del tipo turbina de 6 aspas - inclinadas a 45°, con material de acero inoxidable 316.

Para el cálculo del agitador, vamos a tener que usar los siguientes datos: densidad ( $\rho$ ) y viscosidad ( $\mu$ ) del Tetraacetato de Plomo, diámetro interior del reactor ( $D_r$ ).

Para el diámetro de la turbina se seguirá el criterio de la literatura (5), el cual nos dice que para sólidos en suspensión el diámetro del impulsor será de 1/4 a 1/3 del diámetro del tanque por lo consiguiente el diámetro del impulsor será de 16" y el ancho está dado --

por la relación  $Wl/Dl = 1/8$ , dando un ancho igual a  $Wl = 2"$ .

La densidad y viscosidad del Tetraacetato se obtuvieron en el laboratorio. En la densidad, se tomó una muestra, en un tubo de ensayo previamente tarado y se pesó en una balanza analítica dando un resultado igual a  $2.49 \text{ gr/cm}^3$  a  $21^\circ\text{C}$ .

Para la viscosidad se utilizó un viscosímetro marca "Synchro-Electric" de la cia. Brook Field (2). Se tomó una muestra del Tetraacetato y se cargó a un vaso de precipitado de 500 ml., se montó el viscosímetro sobre un tripú que quedando la flecha dentro de la solución, después se ajustó el aparato a que quedara perfectamente centrado y nivelado y después se procedió a hacerse las determinaciones dando un resultado de 300 centipoise a  $25^\circ\text{C}$ .

Ahora sacaremos la velocidad del agitador (N) en revoluciones por minuto y que está dada por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{V}{\pi \cdot D_1} \quad (\text{III-11})$$

N = Número de r.p.m.

$V_p$  = Velocidad periférica se tomará sobre la base de  $650/\text{ft}/\text{min}$ .

(198 metros/min.)

$\pi = 3.1416$

$D_1$  = Diámetro del impulsor 1.34 ft. (16 pulg.) = (40.7 cm.)

$$N = \frac{650}{3.1416 \times 1.34} = 156$$

Pasaremos a sacar el número de turbinas que se irán a utilizar sobre la flecha del agitador y que está determinada por la fórmula de Weber<sup>2</sup>

$$\text{Número de turbinas} = \frac{Wl \cdot h}{\text{diámetro del tanque}} \quad (\text{III-12})$$

donde tenemos que  $Vel_b$  es igual a la altura equivalente de la solución multiplicando por el peso específico del contenido en el reactor que - para agitar una mezcla de 440 kg. de  $Pb_3C_4$  + 510 lts. de ácido acético + 150 lts. de anhídrido acético, por lo tanto tendremos que el peso es pecífico es de 2.5.

La altura correspondiente a la del líquido es de 128 cm. (50.5"), y sabemos que el diámetro reactor es igual a 706 cm. (42") por lo tanto:

$$Vel_b = 50.5" \times 2.5 = 126" \text{ (320 cms.)}$$

$$\text{Número de turbinas} = \frac{126}{46} = 2.75 \text{ turbinas.}$$

Como el número de turbinas es de 2.75 se usaron la cifra entera - superior que es de 3.

La distancia entre cada impulsor será igual a 1.0 por el diámetro del impulsor para evitar regiones sin agitación.

En el diseño de los cortacorrientes para reducir el vortice el an cho será de  $1/20$  del diámetro del reactor, por lo que tendremos un ancho de 5" y estará separado del cuerpo del reactor a  $1/3$  del ancho -- del cortacorriente, siendo 2" de separación del cuerpo del reactor. Se instalarán 4 cortacorrientes diametralmente opuestos unos de otros, y con una altura de 118 cms. que parte al largo de la sección cilíndrica.

Como se había dicho en el capítulo II, un importante accesorio es el cortacorrientes que nos ayuda a cambiar la dirección de la corriente, aumentando la eficiencia del sistema.

Potencia necesaria del moto-reductor.

Calculando el número de Reynolds, podemos determinar el número - de potencia y con ésta obtener la potencia necesaria para el impulsor.

$$Re = \frac{N D_1^2 \rho}{\mu} \quad (\text{III-13})$$

$$\begin{aligned} \rho &= 2.5 \text{ gr/cm}^3 = 62.4 = 156 \text{ lb/ft}^3 \\ N &= 156 \text{ rpm.} = 2 \text{ min/60 seg.} = 2.6 \text{ rps.} \\ D_1^2 &= (1.34 \text{ ft})^2 = 1.78 \text{ ft}^2 \\ \mu &= 300 \text{ cps} \times 1/1488 = 0.202 \text{ lb/ft. seg.} \\ Re &= \frac{2.6 \times 1.78 \times 156}{0.202} = 3600 \\ Re &= 3600 \end{aligned}$$

$$P = \frac{N_p \rho N^3 D_1^5}{gc} \quad (\text{III-14})$$

$$\begin{aligned} N_p &= 0.98 & \rho &= 156 \text{ lb/ft}^3 \\ N^3 &= 17.6 \text{ rps}^3 & D_1^5 &= 4.34 \text{ ft}^5 \\ gc &= 32.2 \text{ ft lb/lb} \cdot \text{seg}^2 \end{aligned}$$

Substituyendo valores en la ecuación III-14 nos da:

$$P = \frac{0.98 \times 156 \times 17.6 \times 4.34}{32.2} =$$

$$P = 364 \text{ ft} \cdot \text{lb/seg.}$$

$$HP = 364 \times 1.818 \times 10^{-3} = 0.66 \text{ HP}$$

como van a ser 3 impulsores tendremos:

$$0.66 \text{ HP} \times 3 = 1.98 \text{ HP} = 2 \text{ HP.}$$

$$\text{Potencia real} = \frac{1.98}{0.8} = 2.5 = 3 \text{ HP}$$

0.8 = Eficiencia del moto-reductor.

0.5 = Pérdidas por fricción.

Especificaciones para el moto-reductor marca EyaMex<sup>B</sup> tendrá una potencia real de 3 HP, con una velocidad de salida de 161 rpm., con motor de 50/60 cps., voltaje de 220/440, tiene aproximadamente 1450/

1750 rpm a plena carga, con un peso de 28 kg. y con un amperaje a 220 volts de 9.4/8.8

El motor horizontal, totalmente cerrado de 3 fases. Chumaceras de bales prelubricadas. Modelo N° 23, longitud 58 cms. (22" 7/8), - ancho 33 cms. (9" 1/16), altura de la base a la flecha 12.7 cms. -- (5"), largo del engranaje 19 cms. (7.5").

### III-c) Cálculo del diámetro de la flecha.

Para el cálculo de la flecha se tomará en cuenta que va a estar soportada por un cojinete con suficiente flexibilidad. La unión entre la flecha y la flecha del sistema de reducción es rígida.

Se diseñará una flecha nueva, la cual va a estar sujeta a esfuerzos combinados, es decir, a torsión y deflexión. La resistencia de la flecha va a estar dado por las siguientes variables, el diámetro de la flecha  $d$  (en pulgs.), el momento de torsión  $T_c$  (en lbs. x pulgs.); momento flector máximo  $M_m$  (en lb. x pulgs.); corte normal en la flecha  $s$  (en lb/pulg<sup>2</sup>), esfuerzo cortante en la flecha  $S_c$  (en lb/pulg<sup>2</sup>); potencia transmitida (HP), revoluciones por minuto de la flecha (N).

La flecha va a estar sujeta a torsión y flexión combinada, y la resultante máxima del esfuerzo cortante va a estar dado por:

$$S_s = 0.5 \sqrt{\frac{M_m^2 + T_c^2}{d^3}} \quad (\text{Marks}^{14}, \text{ pag. } 906) \quad (\text{III-15})$$

Obteniendo los datos para la ec. III-15, tenemos que:  $M_m$  = momento flector máximo que tiene que ser resistido por la flecha inmediatamente debajo del cojinete está dado por:

$$M_m = \text{Peso total de los impulsores} \times \text{longitud del brazo de palanca.} \quad (\text{III-16})$$

Peso del impulsor:

A.- Peso del mamelón:

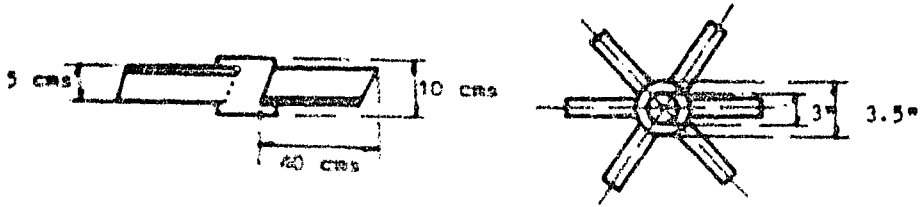


Fig. 3-3

Peso = volumen x peso específico del material (III-17)

$$\text{Volumen} = \frac{\pi H}{4} (D^2 - d^2) \times H \quad (\text{III-18})$$

Substituyendo:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= 0.785 (8.89 \text{ cm.})^2 - (7.62 \text{ cm.})^2 \times 10 \text{ cm.} \\ &= 164 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Substituyendo en la ecuación III-17 los datos tendremos:

$$\text{Peso del namelón} = 164 \text{ cm}^3 \times 8 \text{ gr/cm}^3 = 1312 \text{ gr.} \times$$

$$\frac{1 \text{ kg.}}{1000 \text{ gr.}} = 1.32 \text{ kgs.}$$

B.- Peso de la paleta:

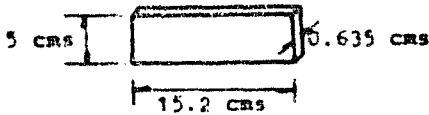


Fig. 3-4

$$\text{Peso} = (15.2 \text{ cms.} \times 5 \text{ cms.} \times 0.635 \text{ cms.}) \times 8 \text{ gr/cm}^3 = 387 \text{ gr.}$$

Como disponemos de 6 paletas tendremos:

$$0.387 \text{ kgs.} \times 6 = 2.304 \text{ kgs.}$$

Peso total del impulsor:

$$1.30 \text{ kgs.} + 2.30 \text{ kgs.} = 3.60 \text{ kgs.}$$

Peso total de los impulsores:

El peso por impulsor es de 3.6 kgs. y como vamos a requerir de 3 tendremos:

$$P_t = 3.6 \times 3 = 10.8 \text{ kgs.} \times 2.2 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} = 23.7 \text{ lb.}$$

Por lo que el momento flector máximo será:

$$M_m = 23.7 \text{ lb.} \times 57.5 \text{ pulg.} = 1360 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

Por otra parte el momento de torsión en la flecha del impulsor está dado por:

$$T_c = \frac{63000 \times \text{HP}}{N} \quad (\text{Pag. 26, Lit. 14}) \quad (\text{III-19})$$

Substituyendo valores en la ec. III-19 tendremos:

$$T_c = \frac{63000 \times 7}{167} = 117.5 \text{ lb.} \times \text{pulg.} \quad (20900 \text{ gr/cm.})$$

Substituyendo los valores obtenidos en la ec. III-15

$$S_a = \frac{3.1 \sqrt{(1360)^2 + (117.5)^2}}{1.83}$$

$$S_a = 785 \text{ psi} \quad (55.2 \text{ kg/cm}^2)$$

El código para diseño de flechas de transmisión de la "ASA", recomienda que los valores obtenidos, del momento flector máximo y el momento de torsión en la ec. III-15, sean multiplicados por factores de fatiga y de choque dependiendo de las condiciones de servicio, recomendando la siguiente ecuación:

$$d = \frac{3 \sqrt{3.1 \sqrt{(K_m M_m)^2 + (K_t T_c)^2}}}{S_a} \quad (\text{III-20})$$

Como la ecuación III-20 es para flechas sólidas se va a tener que corregir, puesto que en nuestro caso estamos calculando una fle-

cha hueca, por lo que tendremos que:

$$\text{Relación de diámetros} = n = \frac{d_1}{d_2} \quad (\text{III-21})$$

de donde:

$d_1$  = diámetro interior, en pulgs.

$d_2$  = diámetro exterior, en pulgs.

Entonces tendremos que el diámetro requerido para flechas huecas, es igual al diámetro requerido para flechas sólidas (de la ecuación III-20) multiplicada por el factor

$$\sqrt[3]{1/(1-n^4)}$$

Transformando la ecuación III-20 para flechas huecas tendremos:

$$d^3 = \frac{\sqrt[3]{5.1 \sqrt{(Lm Km)^2 + (Kl Tc)^2}}}{S_e (1-n^4)} \quad (\text{III-22})$$

Los datos de los factores  $Lm$  y  $Kl$  están dados en la tabla N° 45 pág. 907 de la literatura 14, para flechas en rotación y cargas aplicadas gradualmente ó cargas continuas, de la cual obtenemos los siguientes valores:

$$Lm = 1.5 \quad \text{y} \quad Kl = 1.0$$

Para el cálculo del diámetro de la flecha, sustituimos los datos en la ecuación III-22 y resolvemos por tanteos:

1er. tanteo: Suponemos un diámetro de 2"  $\phi$  nom. Ced. N° 40 de acero inoxidable-316 de donde tendremos:

$$\text{Diámetro exterior} = d_2 = 2.375 \text{ pulgs. (6.01 cm.)}$$

$$\text{Diámetro interior} = d_1 = 2.067 \text{ pulgs. (5.22 cm.)}$$

Por lo tanto la relación de diámetros ( $n$ ) será:

$$n = \frac{d_1}{d_2} = \frac{2.667}{3.275}$$

$$n = 0.812$$

Substituyendo en la ec. III-22:

$$d^1 = \sqrt[3]{\frac{5.1 \sqrt{(1.5 \times 1000)^2 + (117.5 \times 1)^2}}{285 \times 1 - (0.812)^4}}$$

$$d^1 = 3.2 \text{ pulgs. (8.12 cm.)}$$

De tanto. Tendremos que suponer el diámetro siguiente puesto que el diámetro calculado de 3.2 pulgs. es mayor que el supuesto.

Suponiendo un tubo de 2 1/2"  $\Phi$  nom. Ced. N° 40 de acero inoxidable-316.

$$\text{Diámetro exterior} = d^2 = 2.875 \text{ pulgs. (7.3 cm.)}$$

$$\text{Diámetro interior} = d_1 = 2.323 \text{ pulgs. (5.9 cm.)}$$

$$n = \frac{d_1}{d_2} = \frac{2.323}{2.875}$$

$$n = 0.807$$

Substituyendo en la ec. III-22

$$d^1 = \sqrt[3]{\frac{5.1 \sqrt{(1.5 \times 1000)^2 + (117.5 \times 1)^2}}{285 \times 1 - (0.807)^4}}$$

$$d^1 = 3.25 \text{ pulgs. (8.27 cm.)}$$

Por lo tanto usaremos un tubo de acero inoxidable 316 Ced. N° 40 con diámetro igual a:

$$\text{Diámetro exterior} = 2.875 \text{ pulgs. (7.3 cm.)}$$

$$\text{Diámetro interior} = 2.323 \text{ pulgs. (5.9 cm.)}$$

Siendo por lo tanto el diámetro adecuado para la flecha.



## CAPITULO IV

### IV.- Cálculo del equipo auxiliar.

Después de obtener la capacidad, dimensiones, material, tiempo óptimo de la reacción, tiempo de agitación, diseño de operación del reactor de 200 gals. con su tipo de agitador, pasaremos a calcular el equipo auxiliar que nos ayudará a obtener el producto final.

Se necesitará de un recipiente en acero inoxidable 316 con agitador que nos ayude a preparar la mezcla de ácido-anhídrido acético. Se utilizará un condensador de grafito, marca Telanium, modelo 50/50, también se empleará un tanque de adición con una capacidad de - 200 gals. y construido con material de aluminio, además se utilizará una centrifuga con una caja recolectora de 400 lbs., construida con material de acero inoxidable y una bomba centrifuga para adaptarse a la salida de la caja colectoras con extensión al tanque de adición de 200 gals.

Como se va a estar trabajando en un nivel superior se empleará un montacarga para subir los materiales necesarios para cargar al equipo.

IV-A).- Cálculo para la construcción del recipiente de 200 galones con material de acero inoxidable 316 con agitador y con chaqueta de fierro negro.

IV-a).- La capacidad del recipiente nosotros ya la tenemos fijada a partir de la mezcla a recuperar y de aquí partiremos para obtener la longitud de la sección recta, que está dado por la altura.

Datos:

200 psia. = 757 lts.

Presión interna 25 psig.

Presión interna en el Área

Cubierta por la chaqueta, 60 psig.

Con vacío total o bien 75 psig.

Sin vacío.

A-1) Determinación del diámetro:

$$\text{Volumen} = A \times H = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 \times \frac{1}{4} \times H \quad (\text{IV-1})$$

Si  $H = D$

Tenemos que:

$$\text{Vol.} = D^3 \times H \times 0.785 = D^3 \times 0.785 \quad (\text{IV-2})$$

$$D = \left(\frac{\text{Vol.}}{0.785}\right)^{1/3} = \left(\frac{200 \times 1.785}{0.785}\right)^{1/3}$$

$$D = 9.65 \text{ dm} = 96.5 \text{ cms. (38 pulg.)}$$

A-2) El volumen útil del reactor deberá ser el contenido en el cuerpo cilíndrico del mismo cubierto con la chaqueta. Tendremos entonces que el volumen de la sección recta está dado por:

$$V_{sr} = 0.785 D^2 \times L_{sr} \quad (\text{IV-3})$$

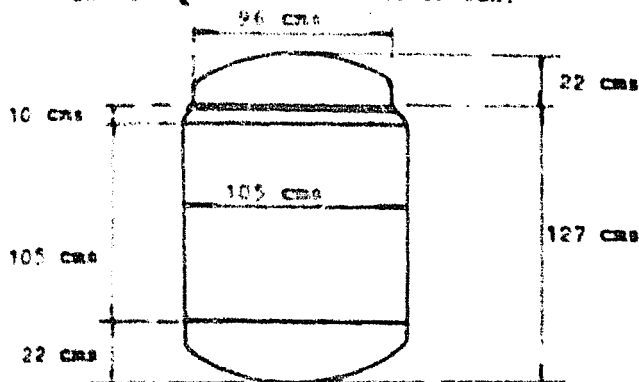
De la cual tenemos que:

$$L_{sr} = \frac{757 \text{ lts.} \times 1000 \text{ cm}^3}{0.785 \times (96.5 \text{ cm})^2 \times 1 \text{ lt.}}$$

$$L_{sr} = 104.8 \text{ cms. (41.2 pulg.)}$$

El diámetro interno de la camisa es igual a (41.5 pulg.), 105 cm.

Las dimensiones del reactor son:



IV-b).- Cálculo del calibre de placas.

b-1) Cálculo de la tapa del reactor bajo presión interna.

Presión: 45 psig.

$$t_h = \frac{0.885 P L}{3 S - 0.1 P} \quad (IV-4)$$

$t_h$  = Calibre de placa (pulg.)

$P_o$  = Presión de trabajo en lbs/pulg<sup>2</sup>

$L$  = Diámetro del reactor (pulg.)

$S$  = Valor máximo del esfuerzo permitido (lbs/pulg<sup>2</sup>)

$$t_h = \frac{0.885 \times 45 \times 48}{17000 \times 0.8 - 0.1 \times 45} = 0.112 \text{ pulgs (2.85 mm.)}$$

Después de correrse varias pruebas de corrosión se determinó que para una vida mínima de 10 años, se tomará un factor de corrosión de 62.5 mm. de pulg., o sea  $0.0625'' = \frac{1''}{16}$  (1.58 mm.)

$$t_h = 0.112'' + 0.0625 = 0.1745 \text{ pulgs. (4.36 mm.)}$$

$$t_h \text{ cab. sup.} = 3/16'' (4.76 \text{ mm.})$$

b-2) Cálculo del cuerpo del reactor: Sección recta bajo presión externa:

Presión externa = 77 psig.

Suponiendo un espesor de placa igual  $3/8"$  (0.375 pulg.) tenemos nosotros que la longitud de la sección recta es igual a 41.2 - pulg. y sabemos que:

$$D_i = D_o - 2t = 18" - 0.375" \quad (IV-6)$$

$$D_i = 17.625 \text{ pulg. (44.8 cm.)}$$

Por lo tanto:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{41.2}{18.125} = 2.27$$

$$\text{Y } \frac{D_o}{t} = \frac{18.125}{0.375} = 48.3$$

Substituyendo en:

$$P_a = \frac{H}{D_o/t} \quad (IV-7)$$

H = Se saca de las tablas del ASME pág. 151

$$\text{para } \frac{L}{D_o} = 2.27 \quad \text{y} \quad \frac{D_o}{t} = 48.3$$

$$H = 9100$$

La máxima presión para el espesor supuesto será substituyendo:

$$P_a = \frac{9100}{48.3} = 188 \text{ psig. (6.27 kg/cm}^2\text{)}$$

Tomando en cuenta que la presión máxima permitida es mayor que la presión de diseño el espesor de placa supuesto es el correcto:

$$t = 3/8" \cdot \text{factor de corrosión}$$

$$t = 3/8" \cdot 1/16"$$

$$t = 7/16" (11.11 \text{ mm.})$$

1-3) Cálculo del fondo toriesférico del reactor cabeza bajo presión externa.

Presión externa = 75 psig.

Suponiendo un espesor de placa igual a 3/8 pulg. (0.375 pulg.).

Tomando los datos anteriormente calculados tenemos que:

$$L_1 = d_0 = 18.175 \quad y \quad t_h = 0.375 \text{ pulg. (9.52 mm.)}$$

Por lo tanto:

$$\frac{L_1}{L_1 + t_h} = \frac{18.175}{18.175 + 0.375} = 1.02$$

$$\frac{L_1}{t_h} = 102 \text{ valor para encontrar B}$$

$$B = 9,200 \text{ (pág. 151 del ASME)}$$

Tendremos una presión máxima permisible para el espesor de placa supuesto anteriormente de:

$$P_0 = \frac{B}{L_1/t_h} \quad (\text{IV-8})$$

$$P_0 = \frac{9,200}{102} = 90.2 \text{ psig. (6.37 kg/cm}^2\text{)}$$

Por lo tanto tendremos que la presión obtenida basándonos en el espesor de placa de 3/8" es de 90.2 psig. siendo mayor que la presión necesaria de 75 psig., resultando que el espesor supuesto está correcto, lo cual obtenemos que el espesor de placa será:

$$t_h = 3/8" + \text{factor de corrosión}$$

$$t_h = 3/8" + 1/16" = 7/16" \text{ (11.11 mm.)}$$



b-4) Cálculo del cuerpo cilíndrico de la chaqueta.

sección recta bajo presión interna.

Presión de diseño 60 psig.

Datos:

Fórmula:

P = 60 psig.

$r = \frac{41.2}{2} = 20.6$  pulg.

S = 11500

E = 0.7

$$t_h = \frac{P \times R}{S E - 0.6 P} \quad (\text{IV-9})$$

Substituyendo los datos tendremos:

$$t_h = \frac{60 \times 20.6}{11500 \times 0.7 - 0.6 \times 60}$$

$$t_h = 0.110 \text{ pulg.} = 0.173 \text{ pulg.} =$$

$$t_h = 0.173 = 1/4 \text{ pulg. (6.35 mm.)}$$

b-5) Fondo hemisférico de la chaqueta, bajo presión interna.

Presión de diseño 60 psig.

$$t_h = \frac{0.483 P R}{S E - 0.1 P} \quad (\text{IV-10})$$

$$t_h = \frac{0.483 \times 60 \times 20.6}{11500 \times 0.7 - 0.1 \times 60} = 0.232 \text{ pulg. (5.9 mm.)}$$

$$t_h = 0.232 = \text{factor de corrosión.}$$

$$t_h = 0.232 = 0.173 =$$

$$t_h = 0.357 = 1/8 \text{ pulg. (9.53 mm.)}$$

IV-c).- Cálculo del agitador:

El receptor como se había especificado anteriormente será construido con material de acero inoxidable 316, igualmente la flecha y las paletas del agitador, así como los deflectores.

Usaremos el agitador tipo turbina abierto de 6 paletas (15). -  
 Lo que se requiere con este tipo de agitador es producir una circula-  
 ción radial y luego con el cortacorriente producir un flujo vertical,  
 para tener una mezcla más homogénea del ácido y al anhídrido acético.

El criterio a seguir para el diámetro del impulsor (5) será: -  
 $d = 1/3$  del diámetro del tanque por lo que tendremos:

$$\text{Diámetro del impulsor} = 96.5 \text{ cms} \times \frac{1}{3} = 32.2 \text{ cm.} \\ (12.7 \text{ pulg.})$$

El ancho del impulsor está dado por (5) el siguiente criterio -  
 $\frac{W_1}{D_1} = \frac{1}{4}$  en donde  $W_1$  es el ancho del impulsor y  $D_1$  es el diáme-  
 tro del impulsor.

Por lo tanto el ancho del impulsor será igual a:

$$16.1 \text{ cm. (2.5 pulg.)}$$

La velocidad que desarrollará el agitador será igual a:

$$N = \frac{V_p}{\pi D_1} \quad (\text{IV-11})$$

La velocidad periférica ( $V_p$ ) se tomará sobre la base de 600 ft/  
 min. (pág. 17 Lit. 10)

$$D_1 = \text{Diámetro del impulsor } 1.06 \text{ ft (12.7 pulg.)}$$

$$N = \frac{600}{3.14 \times 1.06} = 180 \text{ r.p.m.}$$

Por lo tanto, tendremos una velocidad en el agitador de 180 re-  
 voluciones por minuto.

El número de turbinas necesarias para formar una mezcla más ho-  
 mogénea de ácido-anhídrido acético, está dada por la fórmula de Weber  
 (10) que nos dice:

Número de turbinas =  $W_{mix} / D_1^2$  (IV-12)

$W_{mix}$  = Es la altura máxima de trabajo multiplicado por el promedio del peso específico de la mezcla ácido-anhídrido acético.

Altura máxima de trabajo = 177 cms. (69.7 pulg.)

Peso específico del ácido acético = 1.04

Peso específico del anhídrido acético = 1.06

Promedio del peso específico de la mezcla = 1.06

$W_{mix} = 49.1 \times 1.06 = 52.1$  pulg.

Entonces sabemos que el número de turbinas ( $N_t$ ) es igual a:

$$N_t = \frac{W_{mix}}{D_1^2} \quad (IV-13)$$

$D_1$  = Diámetro del tanque = 96.5 (38 pulg.)

$$N_t = \frac{52.1}{96.5^2} = 1.06$$

Se usarán para homogeneizar la mezcla 2 turbinas.

Los deflectores o cortacorrientes tendrán un ancho de  $1/30$  del diámetro del reactor y estará separado del cuerpo del reactor a  $1/3$  del ancho del deflector.

Por lo tanto, el ancho del deflector será de 1" y estará separado 1" del cuerpo del reactor.

Se pondrán 4 cortacorrientes diametralmente opuestos teniendo una altura cada uno de 40 cms., instalándose a todo lo largo del cuerpo cilíndrico.

IV-d).- Potencia necesaria del motor-reductor.

La potencia necesaria para accionar el agitador va a estar íntimamente ligada al efecto de homogeneizar la mezcla ácido-anhídrido acético, por lo que tendremos que

$$\text{velocidad angular } (N_a) = \frac{\text{velocidad periférica } \frac{V_p}{r}}{2\pi} \quad (IV-14)$$

Despejando la velocidad periférica ( $V_p$ ) tendremos que:

$$V_p = V_a \times 0.26 d \quad (\text{IV-15})$$

$$V_a = 180 \text{ r.p.m.}$$

$$d = 12.7 \text{ pulg. (32.3 cm.)}$$

Buscámonos en los catálogos para moto-reductores marca Eya-Mex<sup>8</sup>, busquemos el moto-reductor más cercano a la velocidad angular calculada de 180 rpm. y encontremos que el más cercano tiene una velocidad angular de 202 rpm. Tomando en cuenta que ésta tendrá una velocidad de salida real de  $\approx$  10% menor de la que está especificada en el catálogo; por lo que tendremos una velocidad de salida real de :  $202 - 20 = 182 \text{ rpm.}$

En los cálculos para determinar la potencia del moto-reductor - usaremos la velocidad angular teórica de 202 rpm. y por lo tanto tendremos que: Substituyendo los datos en la ecuación (IV-15):

$$V_p = 202 \times 0.26 \times 12.7 = 668 \text{ ft./min.}$$

$$\text{Potencia/turbina (H}_p) = 0.385 \left( \frac{V_p}{V_p'} \right)^{2.74} \times \rho \quad (\text{IV-16})$$

$$V_p = 668 \text{ ft./min. (338 cm/seg.)}$$

$$V_p' = \text{Velocidad periférica supuesta} = 600 \text{ ft./min. (308 cm/seg.)}$$

0.385 = Dato tomado de la tabla N° 1 pág. 175 Lit. 5

$$\rho_{\text{mezcla}} = 1.08$$

Substituyendo en la ecuación (IV-16):

$$\begin{aligned} \text{Potencia/turbina (H}_p) &= 0.385 \left( \frac{668}{600} \right)^{2.74} \times 1.08 = \\ &= 0.568 \text{ H.P.} \end{aligned}$$



Como se había calculado anteriormente, se van a necesitar 2 turbinas, entonces tendremos que la potencia teórica será: igual a  $1.136 \text{ H.P.}$

La potencia real estará dada por:

$$\text{Potencia real} = \frac{\text{Potencia teórica}}{\text{Eficiencia del moto-reductor}} = \text{pérdidas por fricción y componentes mecánicos.}$$

(IV-17)

Por lo tanto tendremos que:

$$\text{Potencia real} = \frac{1.136}{0.58} = 1.96 = 1.92 \text{ H.P.}$$

Como no se dispone de un moto-reductor de 1.92 H.P. seleccionamos el superior que en este caso es de 2 H.P. con una velocidad de salida de 200 rpm., con motor de 4 polos, 3 fases, de 50/60 cps., -- 220/440 volts., 1410/1710 rpm. a plena carga, con un peso de 28 kg., y 6.6/6.1 amperes.

Motor horizontal totalmente cerrado de 3 fases, con chumaceras de baleros prelubricados, modelo N° 23, longitud 58 cms. (22" 7/8), ancho 23 cms. (9" 1/8), altura de la base a la flecha 12.7 cms. (5"), largo del engranaje 17 cms. (7.1").

#### IV-c).- Cálculo del diámetro de la flecha:

Como se había calculado anteriormente en el capítulo III-c; el diámetro de la flecha del agitador se seguirá el mismo criterio de cálculo, empleándose igualmente una flecha hueca.

En primer término obtenemos el esfuerzo cortante que tendremos en la flecha y que está dada por la ecuación III-15.

$$I_s = 5.1 \sqrt{\frac{M_n^2 + T_n^2}{d_n^3}}$$

Para la obtención del momento flector máximo, debemos calcular el peso de los impulsores.

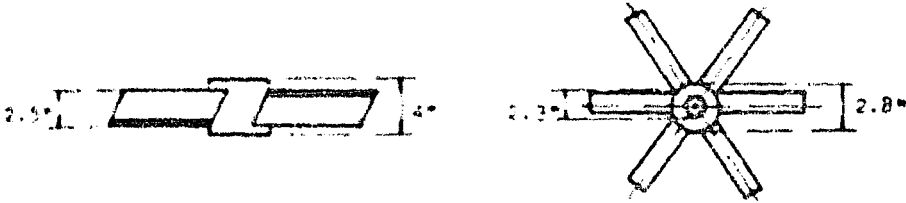


Fig. 4-4.

A.- Peso del muelón:

Peso = volumen x peso específico del material

$$\text{Volumen} = \frac{\pi H}{4} (D^2 - d^2) \times H$$

Substituyendo:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= 0.786 \left[ (7.3 \text{ cm})^2 - (2.874 \text{ cm})^2 \right] \times 10 \text{ cms} = \\ &= 148 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Por lo tanto el peso del muelón será igual a:

$$\begin{aligned} \text{Peso del muelón} &= 148 \text{ cm}^3 \times 8 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1180 \text{ gr.} \times \frac{1 \text{ kg.}}{1000 \text{ gr.}} = \\ &= 1.18 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

B.- Peso de la paleta:

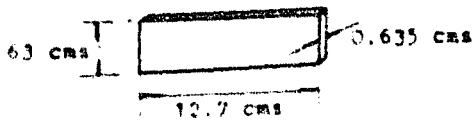


Fig. 4-5.

$$\begin{aligned} \text{Peso de la paleta} &= 12.7 \text{ cms.} \times 6.3 \text{ cms.} \times 0.635 \text{ cms.} = \\ &= 510 \text{ gr.} \end{aligned}$$

En cada impulsor tendremos 6 paletas, por lo tanto, el peso de todas las paletas está dado por:

$$0.310 \text{ kg.} \times 6 = 1.86 \text{ kg.}$$

Como se van a necesitar 2 impulsores el peso total requerido es:

$$\text{Peso total} = 1.86 \text{ kg.} \times 2 = 3.72 \text{ kg.} \times 2.2 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} = 8.18 \text{ lbs.}$$

por lo que tendremos que el momento flector máximo será:

$$M_b = 8.18 \text{ lbs.} \times 50 \text{ pulg.} = 409 \text{ lb. - pulg.}$$

Para el cálculo del esfuerzo cortante necesitaremos obtener el momento de torsión en la flecha del impulsor y que está dado por: - la ec. III-19.

$$T_c = \frac{6300 \times \text{H.P.}}{N}$$

Substituyendo valores tendremos:

$$T_c = \frac{6300 \times 2}{180} = 70 \text{ lb. } \cdot \text{pulg.} \quad (12460 \text{ gr/cm.})$$

Resolución por tanteos.-

1er. tanteo: Suponiendo un tubo de acero inoxidable 316 de 2"  $\phi$  - nom. Ced. N° 40 con diámetro de:

$$d_2 = 2.38 \text{ pulg. (diámetro exterior) (6.01 cms.)}$$

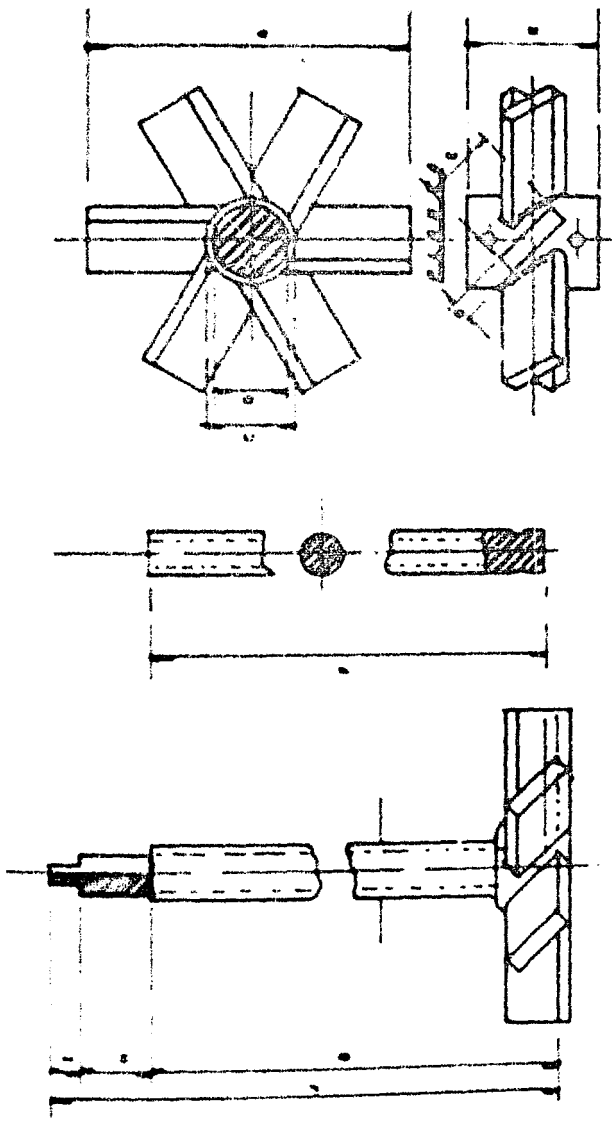
$$d_1 = 2.067 \text{ pulg. (diámetro interior) (5.22 cms.)}$$

Substituyendo en la ecuación III-15:

$$S_s = \frac{4.1}{8.83} \sqrt{(910)^2 + (70)^2}$$

$$S_s = 168 \text{ psi. (11.2 kg/cm}^2\text{)}$$

Los factores de fatiga que recomienda el código para diseño de flechas de transmisión es de  $k_m = 1.5$  y  $K_t = 1.0$ .



ELEVACION

Medida	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1000 milímetros	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1000 milímetros	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

INSTITUCION NACIONAL  
 DIMENSIONES DEL AS-  
 60 TUBO Y PLECHA EM-  
 PLEADOS EN EL  
 REACTOR Y RECIPIENTE  
 4-16 JUAN SALAS RABAT



QUIMICA

Substituyendo los datos encontrados anteriormente en la ecuación III-70 tendremos:

$$\text{Relación de diámetros} = N = \frac{2.067}{2.38}$$

$$N = 0.872$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{5.1 \sqrt{[(1.3 \times 210)^2 + (1 \times 70)^2]}}{550 \times 1 - (0.872)^2}}$$

$$d = 2.3 \text{ pulgs. (5.82 cms.)}$$

Conclusión: Se usará un tubo de acero inoxidable 316 Ced. N° 40 - con diámetros iguales a:

$$\text{Diámetro exterior} = 2.38 \text{ pulgs. (6.01 cms.)}$$

$$\text{Diámetro interior} = 2.067 \text{ pulgs. (5.22 cms.)}$$

Que corresponde a un diámetro nominal de: 2 pulgs. (5.09 cms.).

#### IV-f) Cálculo del tanque de adición:

Para las necesidades del proceso se usará un tanque de adición de 757 litros (200 gals.), construido con material de aluminio, tipo 2g-H14. Como se había especificado en el capítulo II-c, el ácido acético y el anhídrido acético a una temperatura de  $\pm 22^\circ\text{C}$  y una concentración de 100%, no tiene efectos corrosivos y como este tanque se va a utilizar para el manejo del ácido y el anhídrido acético a la temperatura ambiente, se justifica el uso del aluminio, teniendo además la ventaja de ser más barato que el acero inoxidable tipo 316.

1.- Determinación del diámetro:

$$\text{Volumen} = A \times H = \pi D^2 \times 1/4 \times H \text{ (según fórmula IV-1)}$$

Entonces:

$$\text{Volumen} = D^2 \times H \times 0.785 = D^2 \times 0.785$$

Por lo tanto:

$$D = 96.5 \text{ cms. (38 pulgs.)}$$

2.- Cálculo de la altura:

$$V_{gr} = 0.785 D^2 \times L_{gr} \text{ (según fórmula IV-3)}$$

Substituyendo los datos tendremos que:

$$\text{Longitud de la sección recta} = 104.6 \text{ cms. (41.2 pulgs.)}$$

Cálculo del espesor de placa mínimo requerido:

Para el cálculo del espesor de placa tenemos los siguientes datos: Diámetro = 96.5 cms. (38 pulgs.) =  $D$ ; Radio = 48.7 cms. (19 pulgs); Altura = 104.6 cms. (41.2 pulgs); Presión interna = 20 psia; Material de construcción = Aluminio del tipo 25-H14; Esfuerzo máximo permisible ( $S$ )<sup>m</sup> = 8850 psi; Eficiencia de la soldadura según parte - UB-12 (E)<sup>m</sup> = 0.7

Para el cálculo del espesor de placa de la sección cilíndrica - tendremos:

$$t_h = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$$

Substituyendo los datos obtenemos:

$$t_h = \frac{20 \times 48.7}{8850 \times 0.7 - 0.6 \times 20}$$

<sup>m</sup> Código ASME SECCION VIII, pág. 7

<sup>m</sup> Factor de corrosión determinado en el laboratorio para una vida de 10 años.



$$t_h = 0.0612 = 1/16" (1.58 \text{ mm.})$$

$$t_h = 1/16" \cdot \frac{300}{100} 1/16" = 1/8" (3.17 \text{ mm.})$$

$$t_h \text{ requerido} = 1/8" (3.17 \text{ mm.})$$

Cálculo del espesor de placas de las secciones torisféricas

$$t_h = \frac{0.003 \cdot P_1}{2Y - 0.1 \cdot Y}$$

$$t_h = \frac{0.003 \times 20}{8150 \times 0.1 - 0.1 \times 20}$$

$$t_h = 0.108 = 7/64" (2.77 \text{ mm.})$$

$$t_h = 7/64" \cdot \frac{300}{100} 1/16" = 11/64" (4.36 \text{ mm.})$$

$$t_h \text{ requerido} = 1/16" (4.76 \text{ mm.})$$

IV-g) Cálculo y diseño para caja colectoras de la mezcla ácido-anhídrido acético.

El uso de la caja colectoras está dado por la recuperación de las aguas madres obtenidas en la filtración del Tetraacetato de Plomo. Estas aguas madres se van a recuperar, puesto que en ellas tenemos Diacetato de Plomo, ácido acético y anhídrido acético, los cuales van a ser bombeados al tanque de adición, donde se mandarán luego al reactor para ser recuperados.

Nosotros vamos a tener que manejar un gasto de 400 litros de aguas madres, pero para fines de cálculo supondremos un 15% más de volumen.

Entonces:

Volumen necesario 400 litros

$$\cdot 15\% \quad \frac{60 \text{ litros}}{460 \text{ litros}}$$

Altura disponible:

El nivel de la boca de descarga de la centrifuga es de 88 cms. suponiendo una altura de la caja de 50 cms. tenemos:

$$\text{Volumen} = 460,000 \text{ cm}^3$$

y el ancho será, volumen entre la altura:

$$A^2 = \frac{460,000}{50}$$

Considerando una relación de 1.3 de longitud con respecto a -- el ancho tendremos:

$$B = 1.3 A \quad (\text{IV-11})$$

Por lo tanto:

$$9200 = B \times A$$

$$\frac{9200}{1.3} = A^2 = 7076 \text{ cm}^2$$

$$A = \sqrt{7076} = 84 \text{ cms.}$$

Substituyendo en la ecuación IV-11, tendremos un ancho igual a:

$$B = 1.3 \times 84 = 109 \text{ cms.}$$

Nosotros vamos a utilizar material de acero inoxidable-304 para la construcción de la caja colectora. Se tendrá que calcular el espesor de pared requerido, el cual se sacará por tanteos.

Nosotros vamos a tener que basarnos en las siguientes fórmulas:

Esfuerzo máximo de trabajo:

$$S_{\text{max}} = K_1 \frac{(D_2)^2}{t^3} \frac{P}{(1 + C)^2} \geq S_0 \quad (\text{IV-12})$$

La ecuación IV-12 (pág. 449 Lit. 14) está dada para placas rectangulares soportadas a la periferia y sujetas a una carga uniforme-

mente repartida. En nuestro caso la caja colectora va a estar apoyada por 4 soportes localizados en los cuatro extremos de la caja.

La caja va a tener una carga máxima de trabajo y para obtener esta carga máxima (ó deflexión máxima con la carga máxima) nos basamos en la ecuación dada en la tabla 4 pág. 430, del Mark's (14), que nos dice que para rectángulos huecos y carga uniformemente distribuida se aplica la siguiente ecuación:

$$\frac{1780}{L} \frac{AD}{I} \quad (IV-13)$$

De donde: A es el área seccional (pulg<sup>2</sup>), D es el espesor — (pulg) y L es la distancia entre apoyos (pies).

Esta ecuación tendrá que multiplicarse por un coeficiente de corrección (C<sup>o</sup>), para vigas continuas encima de dos soportes equidistantes, siendo un factor de corrección, dado por la siguiente relación:

$$C^o = \frac{1}{1 - \frac{1}{3} \frac{a'}{L}} \quad (IV-14)$$

De donde: l es la longitud de la caja y a' distancia entre soportes.

Quedando la ecuación IV-13 ya corregida en la siguiente forma:

$$\frac{1780}{L} \frac{AD}{I} \times C^o \quad (IV-15)$$

La caja va a estar sujeta a deflexión, por lo que se vendrá que calcular también la deflexión máxima, que va a tener que ser soportada por la placa, y la cual está dada por la siguiente relación:

$$f_{\max} = \frac{W L^3}{52 A D^2} \quad (\text{Mark's }^{14} \text{ pág. 430}) \quad (IV-16)$$

En donde:  $V$  es la carga neta de trabajo (toneladas),  $A$  es el área seccional (pulg<sup>2</sup>),  $L$  distancia entre apoyos (pies),  $D$  espesor (pulg).

Con la deflexión máxima comprobaremos si el espesor de placa su puesto es el correcto.

Basándonos en las fórmulas anteriores y suponiendo un espesor de placa de  $1/8"$  tendremos:

ter. tanteo:

a) Cálculo del esfuerzo máximo de trabajo:

Carga total = Gravedad específica de la mezcla

ácido-anhídrido acético x volumen.

(IV-17)

Substituyendo en la ecuación IV-16:

$$\begin{aligned} \text{Carga total} &= 1.08 \times 400 = 432 \text{ lbs.} \times 2.205 \frac{\text{lbs}}{\text{kgs}} = \\ &= 953 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

Nosotros tendremos que basarnos en los siguientes datos:

$A$  = Área seccional (pulg<sup>2</sup>)

$D$  = Espesor (pulg)

$L$  = Distancia entre apoyos (pies)

$b$  = Ancho (pulg)

$a$  = Largo (pies)

$K_1$  = Constante para fierro al carbón (fig. 48, pág. 488, Mark's<sup>14</sup>)  
depende del método de soporte y de la aplicación de la carga.

$P$  = Carga por pulg<sup>2</sup> de superficie.

$S_s$  = Esfuerzo de trabajo (lb/pulg<sup>2</sup>) (pág. 449 Mark's<sup>14</sup>)

$$\text{Superficie} = b \times a$$

(IV-18)

De donde.

$$\text{Superficie} = (84 \text{ cms.} \times 0.3937 \frac{\text{pulg.}}{\text{cms.}}) \times (109 \text{ cms.} \times 0.3937 \frac{\text{pulg.}}{\text{cms.}}) = 1419 \text{ pulgs}^2$$

La carga por pulgada cuadrada de superficie será:

$$P = \text{Carga total/Superficie} \quad (\text{IV-19})$$

$$P = 953/1419 = 0.673 \text{ lbs/pulg}^2 \text{ (0.0475 kg/cm}^2\text{)}$$

Substituyendo nuestros datos en la ecuación IV-12 para obtener el esfuerzo máximo será:

$$P = 0.673 \text{ lb/pulg}^2$$

$$K_1 = 0.75$$

$$b = 33.07 \text{ pulgs.}$$

$$S_n = 1500 \text{ lb/pulg}^2$$

$$C = b/a = 33.07/42.9 = 0.77$$

$$t_h \text{ supuesto} = 1/8" = 0.125 \text{ pulgs.}$$

Por lo tanto tendremos que:

$$S_{\text{max}} = 0.75 \times \frac{(33.07/8)^2}{(0.125)^2} \times \frac{2 \times 0.673}{1 + (0.77)^2} = S_s$$

$$S_{\text{max}} = 11,062 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (760 kg/cm}^2\text{)}$$

b) Cálculo de la carga máxima admitida:

Datos:

$$A = 33.07 \times 0.125 = 4.15 \text{ pulg}^2$$

$$D = 0.125 \text{ pulgs. (3.17 mm.)}$$

$$L = 2.76 \text{ pies (84 cms.)}$$

$$D' = 1/1-4 \text{ a'}$$

$$a' = 7 \text{ cms.} \times 0.3937 \frac{\text{pulg.}}{\text{cms.}} = 2.76 \text{ pulgs. (7 cms.)}$$

$$l = 42.9 \text{ pulgs. (109 cms.)}$$

$$C' = 4.25$$

Substituyendo los datos anteriores en la ecuación IV-15, tendremos una carga máxima igual a:

$$\frac{1280 \times 4.25 \times 0.125}{2.76} \times 4.25 =$$

Carga máxima admitida = 1420 lbs. (646 kgs.)

c) Cálculo de la deflexión máxima que tiene que ser soportada por la placa.

Datos:

V = Carga neta de trabajo = 0.432 toneladas

A = Área seccional = 3.84 pulg<sup>2</sup> (24.6 cm<sup>2</sup>)

D = Espesor = 0.125 pulg. (3.17 mm.)

L = Distancia entre apoyos = 2.76 ft. (84 cms.)

Substituyendo datos en la ecuación IV-16 tenemos:

$$f_{\max} = \frac{0.432 \times (2.76)^3}{52 \times 3.84 \times (0.125)^2}$$

$$f_{\max} = 2.74" (6.95 \text{ cms.})$$

Por lo tanto vemos que el espesor de placa supuesto es bajo, — tendremos que suponer uno mayor.

$$t_h = \text{Espesor de placa} = 3/16" (4.76 \text{ mm.})$$

2o. Tanteo:

a) Cálculo del esfuerzo máximo:

$$I_y = 0.75$$

$$(t_h)^2 = 0.0352 \text{ pulg}^2 (0.227 \text{ cm}^2)$$

$$P = 0.673 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (0.0475 kg/cm}^2\text{)}$$

$$c = D/A = 13.07/42.9 = 0.77$$

Substituyendo en la ecuación IV-12:

$$S_{\text{MAX}} = 0.75 \times \frac{(13.07)^2}{0.0352} \times \frac{2 \times 0.673}{1 + (0.77)^2}$$

$$S_{\text{MAX}} = 3000 \text{ psi (352 kg/cm}^2\text{)}$$

b) Carga máxima admitida:

Datos:

$$A = 13.07 \times 0.1875 = 6.2 \text{ pulg}^2 \text{ (40 cm}^2\text{)}$$

$$D = 0.1875 \text{ pulg (4.76 mm.)}$$

$$L = 2.76 \text{ pies (84 cms.)}$$

$$C = 4.25$$

Substituímos los datos anteriores en la ecuación IV-15 y tenemos que:

$$\frac{3750 \times 6.2 \times 0.1875}{2.76} \times 4.25 =$$

$$\text{Carga máxima admitida} = 3190 \text{ lbs. (1443 kg.)}$$

b) Deflexión máxima a la capacidad de trabajo:

Datos:

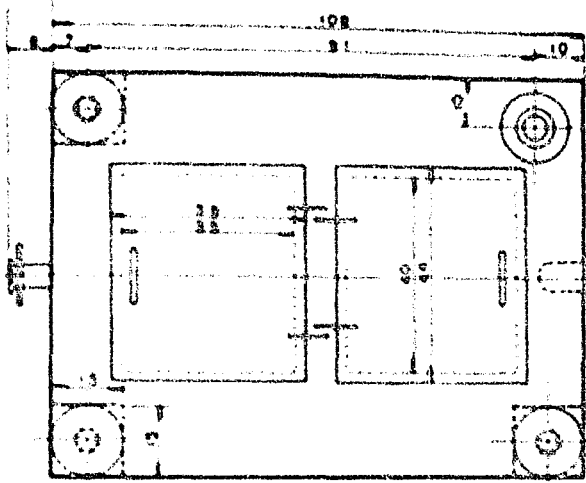
$$V = 0.432 \text{ tons. (432 kgs.)}$$

$$A = 3.84 \text{ pulg}^2 \text{ (24.6 cm}^2\text{)}$$

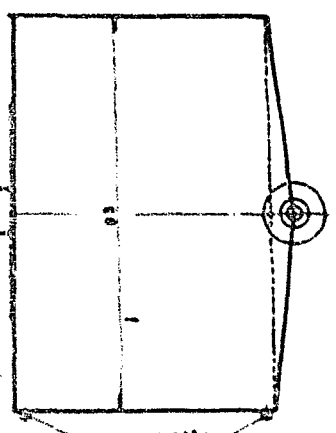
$$D^2 = 0.0352 \text{ pulg}^2 \text{ (0.227 cm}^2\text{)}$$

$$L^3 = 21 \text{ pies}^3 \text{ (0.595 cm}^3\text{)}$$

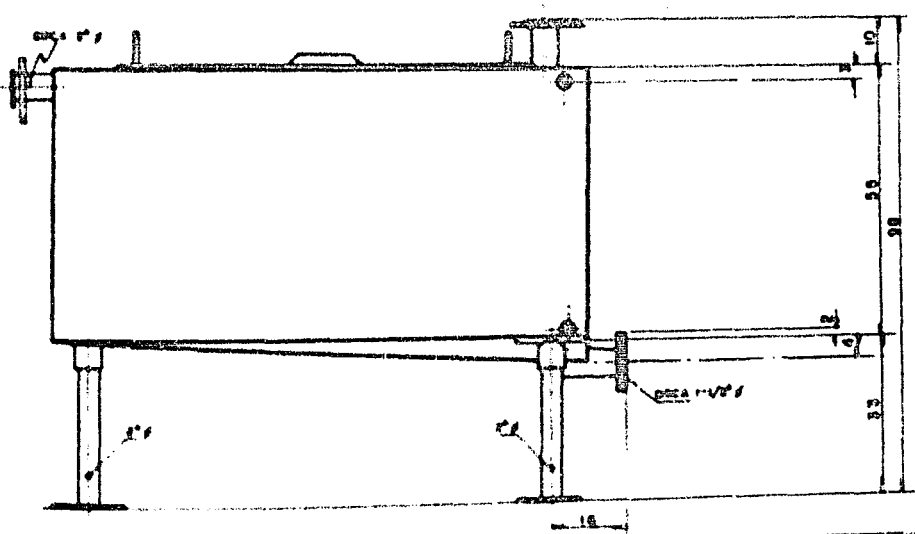
Substituyendo en la ecuación IV-16:



PLANTA



VISTA LATERAL



ELEVACION

VERSIÓN PROFESIONAL	
F	CAJA COLECTORA CON
60	CAPACIDAD DE 400
0	170, DIMENSIONES GE-
	NERALES. MAY. AC. INOX.
PK	JUAN SALON RACIF
4-9	Acot. cmg

$$f_{\max} = \frac{0.432 \times 21}{22 \times 1.64 \times 0.0352} =$$

$$f_{\max} = 0.179 \text{ pulgs.} = 1/8 \text{ pulgs. (3.17 mm.)}$$

Conclusión: Se empleará lámina de 1/16" de espesor en acero inoxidable-316, para las dimensiones finales de la caja colectora, ver. Fig.4-9.

#### IV-B) Cálculo y selección de un condensador de grafito.

Uno de los condensadores más versátiles salido a últimas fechas, es el inter-cambiador de calor tipo cúbico de grafito. Su versatilidad está dada por la alta resistencia a la corrosión pudiéndose manejar ácidos, álcalis, solventes y materiales orgánicos, operando a presiones de 75 y 100 lbs./pulgs. manométricas, -- con un rango de temperatura hasta 310°F.

Está diseñado en forma compacta ocupando pequeño espacio, -- además proporciona un área de superficie alta con un rango de tamaños desde 6 a 100 pies<sup>2</sup>, en volúmenes pequeños.

A parte de tener las especificaciones expuestas anteriormente, no produce choques térmicos, ni expansiones y ofrece excelente conductividad térmica. Sus cabezales están revestidos con grafito y empaques de asbesto del lado de proceso y cabezales de fierro con empaques de hule en el lado de servicio.

Para la selección de nuestro intercambiador de calor nos bastará en que tendremos que condensar vapores de ácido acético.

Cálculo del condensador de grafito para ácido acético modelo 50/50, marca Inianium.

Datos:

Capacidad: Condensar 400 lts/hr. de ácido acético.

Presión de destilación:

$$14 \text{ pulg. de Hg.} \times 25.4 \frac{\text{mm Hg}}{\text{pulg. Hg.}} = 356 \text{ mm. Hg.} \times$$

$$\times 0.01934 \frac{\text{lb/pulg}^2}{\text{mm. de Hg.}} = 6.9 \frac{\text{lb.}}{\text{pulg}^2}$$

Refrigerante agua a 20°C (68°F)

Características físicas del ácido acético:

Temperatura de ebullición a 356 mm. Hg = 90°C (194°F)

(Perry<sup>15</sup> pág. 153)

$H_v$  = Calor latente de evaporación: 140 Btu/lb.

(Kern<sup>11</sup> pág. 815)

1.- Peso de vapores a manejar (Pv):

Pv = Volumen a manejar x peso específico x factor de  
conversión (IV-20)

$$Pv = 400 \text{ lts/hr.} \times 1.049 \times 2.2$$

$$Pv = 923.12 \text{ lb/hr.}$$

Se resolverá el cálculo del condensador por tanteos:

1er. Tanteo: Para el condensador modelo 50/50

Área de transmisión lado de procesos 50 pies<sup>2</sup>

Área de transmisión lado de servicios 50 pies<sup>2</sup>

Número de pasos lado del proceso 4

Número de pasos lado del servicio 8

Diámetro de entrada: procesos 3" (7.6 cms.)

Diámetro de entrada: servicios 2" (5 cms.)

2.- Cálculo de la temperatura de la película ( $t_f$ )

2a) Temperatura de la pared:

$$t_w = t_a + \frac{h_c}{h_{i0} + h_c} (t_v - t_a) \quad (\text{Ec. 5.33 Kern}^{11}, \text{ pág. 98}) \quad (\text{IV-21})$$

$t_a$  = Temperatura media del agua °F

$t_v$  = Temperatura de ebullición del ácido acético °F

$h_c$  = Coeficiente de película exterior Btu/(hr) (ft<sup>2</sup>) (°F)

$h_{i0}$  = Coeficiente de película interior referido a la superficie exterior Btu/(hr) (ft<sup>2</sup>) (°F)

$$t_a = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (\text{IV-22})$$

Si suponemos un aumento en la temperatura de entrada del agua de 18°F tendremos:

$$t_1 = 68^\circ\text{F} \quad \text{y} \quad t_2 = 68 + 18 = 86^\circ\text{F} \quad (30^\circ\text{C})$$

Substituyendo en IV-22:

$$t_a = \frac{68 + 86}{2} = 77^\circ\text{F} \quad (24^\circ\text{C})$$

Suponiendo que:  $h_o = 900 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}$  y

$$h_{i0} = 400 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}$$

Tenemos los datos para substituir en la ec. IV-21:

$$t_w = 77 + \frac{900}{400 + 900} (272.9 - 77)$$

$$t_w = 213^\circ\text{F} \quad (101^\circ\text{C})$$

Para encontrar la temperatura de la película tenemos la siguiente ecuación.

$$t_f = \frac{t_v + t_w}{2} \quad (\text{IV-23})$$

Substituyendo datos tendremos:

$$t_f = \frac{204 + 212}{2}$$

$$t_f = 203^\circ\text{F} \quad (95^\circ\text{C})$$

Con la temperatura de película estimada anteriormente sacaremos las propiedades físicas del ácido acético, a  $t_f = 203^\circ\text{F} \quad (95^\circ\text{C})$

$$C_p = \text{Calor específico} = 0.522 \text{ cal/gr}^\circ\text{F} = 0.522 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \quad (\text{Lit. Perry}^{15}, \text{ pág. 225})$$

$$\mu_f = \text{Viscosidad} = 0.490 \text{ centipoises} = 0.490 \times 2.42 = 1.187 \text{ lb/pies hr.}$$

$$\mu_f = 1.187 \text{ lb/pies hr.} \times \frac{1 \text{ hr.}}{3600 \text{ seg.}} = 0.00033 \text{ lb/pies seg.}$$

$$\rho = \text{Densidad} = 1.0271$$

$$M = \text{Peso molecular} = 60.05$$

2-b) Cálculo de la conductividad por medio de la relación de Weber:

$$k_f = 4.3 \times 10^{-3} C_p \rho \left(\frac{\rho}{M}\right)^{1/3} \quad (\text{Kern pág. 226}) \quad (\text{IV-24})$$

$$k_f = 4.3 \times 10^{-3} \times 0.522 \times 1.0271 \left(\frac{1.0271}{60.05}\right)^{1/3}$$

$$k_f = 0.000595 \text{ cal/seg.} \times \text{cms.} \times ^\circ\text{C}$$

$$k_f = 0.000595 \times \frac{3600 \times 30.48}{252 \times 1.8} = 0.143 \text{ Btu/hr} \times \text{ft}^2 \times ^\circ\text{F}$$

3.- Cálculo del área de transmisión:

3-a) Cálculo de la masa velocidad (G), la cual está dada por la siguiente expresión:

$$G = \frac{W}{0.5 \cdot L \cdot N_p} \quad (\text{Eqn. pág. 269}) \quad (17-25)$$

La ec. 17-25 está dada para el caso especial, cuando la condensación se forma en el interior del tubo, en un cambiador de doble línea, con varios tubos, en el cual es preferible calcular el coeficiente promedio de película para cada paso. Las unidades de G son lb/hr x pie lineal.

W = Peso de vapor: (Pv) = 921.12 lb/hr.

L = Longitud del barreno = 15 pulgs. (38 cm.)

N<sub>p</sub> = Número de barrenos totales = 432

Suponiendo un área de transmisión = 50 pies<sup>2</sup> (lado de procesos).

La compañía Diamond Graphite<sup>2</sup> en su catálogo 180-C nos da el dato que para 15 pulgs. de tamaño del cubo de grafito, el número de barrenos es de 432.

Entonces para 4 pasos del lado de procesos tendremos:

$$N_p(\text{paso}) = \frac{\text{Número de barrenos}}{4 \text{ pasos}} = \frac{432}{4} =$$

$$N_p(\text{paso}) = 108 \text{ barrenos/paso}$$

Substituyendo los datos obtenidos anteriormente en la ecuación

17-25 tendremos

$$G = \frac{921.12 \text{ lb/hr} \times 12}{0.5 \times 15 \times 432} = 3.42 \text{ lb/hr pie lineal.}$$

1-a) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor lado de proceso usando la ecuación IV-27, pág. 266 del Kern para condensación de tubos simples, la cual está representada por:

$$h_i \times \left( \frac{\mu_f^2}{k_f^3 \rho_f^2 g} \right)^{1/3} = 1.5 \left( \frac{4G}{\mu_f} \right)^{-1/3} \quad (IV-26)$$

De la cual:

$h_i$  = Coeficiente de transmisión de calor por el lado de --  
proceso en Btu/(hr) (pie<sup>2</sup>) (°F)

$\mu_f$  = Viscosidad del líquido que condensa a la temperatura  
de la película en  $\frac{\text{lb}}{\text{pie} \times \text{seg}}$

(Viscosidad del ter. miembro de la ecuación IV-26)

= 0.00011 lb/pie x seg.

$k_f$  = Conductividad térmica = 0.143 Btu/(hr) (pie<sup>2</sup>) (°F/pie)

= 0.69 kg. - cal/(hr) (metro)<sup>2</sup> (°C)

$\rho_f$  = Densidad = 1.0271 x 62.4 = 64.09 lb/pie<sup>3</sup>

$g$  = Carga de condensados para tubos horizontales =

= 3.42 lb/hr x pie.

Substituyendo en la ecuación IV-27 tenemos:

$$h_i \left( \frac{(0.00011)^2}{(0.143)^3 (64.09)^2 (32.17)} \right)^{0.33} = 1.5 \left( \frac{4 \times 3.42}{1.182} \right)^{-1/3}$$

$$h_i \left( \frac{10.89 \times 10^{-6}}{352.8} \right)^{0.33} = \frac{1.5}{(11.6)^{0.33}}$$

$$h_i (0.002751) = 0.678$$

$$h_1 = \frac{0.0028}{0.00017} = 164 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}}$$

$$= 1000 \text{ kg.} = \text{cal}/(\text{hr}) (\text{metro})^2 (^\circ\text{C})$$

Corrección para diámetro exterior:

$$h_{1e} = 164 \times \frac{0.174}{0.17} = 167 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}} = 1030 \frac{\text{kg.} = \text{cal}}{(\text{hr})(\text{m})^2(^\circ\text{C})}$$

(c) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor por el lado de servicios:

Entonces tendremos 6 pasos del lado de servicios; con un gasto de agua, para 2 pulgs de diámetro de boca y con una velocidad del agua de 6 pies seg. tenemos:

$V_a$  = Volumen de agua requerida.

$$\text{Área} = 2 \text{ pulgs}^2 \times 0.785 \times \frac{6}{144} = 0.0218 \text{ pies}^2$$

De donde el volumen es

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{velocidad} = 0.0218 \text{ pies}^2 \times 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}} =$$

$$= 0.1308 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}} \quad (3710 \text{ cm}^3/\text{seg.})$$

$$V_a = 0.1308 \times 1600 \times 61.3 =$$

$$V_a = 129,300 \text{ lit/hr} \quad (13,300 \text{ kg/hr})$$

Para el modelo de condensador escogido, el catálogo Delanium - recomienda un área de flujo igual a 0.308 pies<sup>2</sup>, por lo que tendremos que el área de paso (Ap) será:

$$A_p = \frac{0.308}{6 \text{ pasos}} = 0.0513 \text{ pies}^2 \quad (35.7 \text{ cm}^2)$$

De la ecuación:

$$V_a = \text{Volumen (V)} \times \text{densidad del agua } (\rho_a) \times \text{área de paso (Ap)}$$

(IV-27)

De donde:

$$v = \frac{V_a}{a \times \Delta T} = \frac{79,200}{67.4 \times 0.0385 \times 3600} = 3.4 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

Con el volumen de 3.4 pies/seg. y a 80°F leemos en la fig. N° 25 del Iern<sup>11</sup>:  $h_c = 800 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}$ .

El coeficiente de transmisión de calor se multiplica por un factor de corrección, que nos dá la gráfica de la figura N° 25 del Iern, pág. 816, la cual se toma contra el diámetro interior del barrero que es de 1/8", dándonos un valor de 1.1 por lo que tendremos que  $h_c$  corregida será:

$$h_c (\text{corregida}) = 800 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \times 1.1 = 800 \text{ Btu/hr} \\ \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} (4300 \text{ kg.} - \text{cal/hr.} (M)^2 (^\circ\text{C}))$$

3-d) Cálculo del coeficiente total de transmisión de calor limpio.

Despreciando la resistencia térmica a través del grafito tenemos:

$$U_c = \frac{h_{ic} \times h_c}{h_{ic} + h_c} \quad (\text{IV-28})$$

Substituímos en IV-28:

$$U_c = \frac{212 \times 800}{212 + 800} = 172 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \\ = 840 \text{ kg.} - \text{cal/hr} (M)^2 (^\circ\text{C})$$

Usando como factor de corrosión  $E_d = 0.002$  y con la ecuación del factor de incrustación que es:

$$E_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (\text{IV-29})$$

De la cual despejamos el coeficiente de transmisión de calor de diseño ( $U_d$ ):

$$U_{\text{cálculo}} = \frac{Q_c}{F_d \times \Delta T_c} = \frac{177}{0.002 \times 172 \cdot 1} = 128 \text{ Btu/hr} \\ \times \text{pie}^2 \times \Delta T \text{ (427 esp. = cal/hr. (M)}^2 \text{ (}^\circ\text{C))}$$

Le) Cálculo de la L.M.T.C. (verdadera) condensación:

Lado de proceso  
(4 pasos)

Lado de servicios  
(2 pasos)

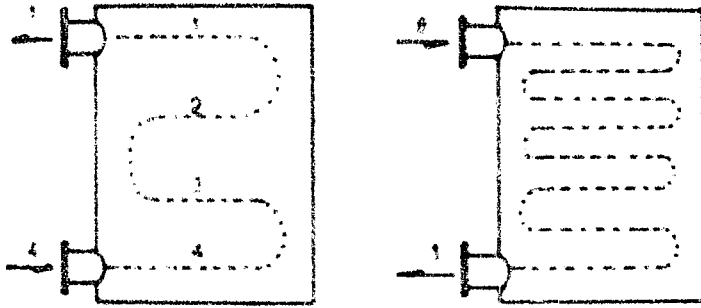


Fig. 4-10

Diagrama combinado para condensación:

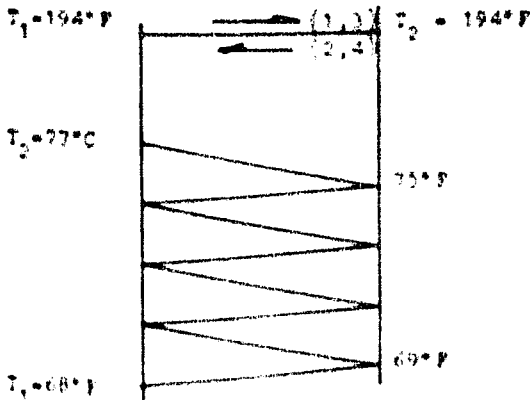


Fig. 4-11

Cálculo preliminar para determinar la temperatura de salida del refrigerante.

$$(\Delta tm)_{\log} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.3 \log \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (IV-30)$$

$$\Delta t_1 = 197 - 73 = 122^\circ F (50.1^\circ C)$$

$$\Delta t_2 = 197 - 77 = 120^\circ F (49^\circ C)$$

Substituyendo en IV-30

$$(\Delta tm)_{\log} = \frac{122 - 120}{2.3 \log \frac{122}{120}} = \frac{2}{2.3 \log 1.01} = 87^\circ F (30.6^\circ C)$$

Corrección para flujo cruzado y número de pasos:

$$F = \frac{\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_1} - \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_1}}{\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_1} - \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_1}} = 0$$

$$S = \frac{\frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_1} - \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_1}}{\frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_1} - \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_1}} = 0.0310 \text{ Si } Fc = 1$$

$$(\Delta tm)_{\log \text{ corregida}} = 87 \times \frac{1}{1} = 87 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ F$$

$$= 424 \text{ kg.} \cdot \text{cal/hr.} (M)^2 \cdot ^\circ C$$

Para el área de condensación solamente tenemos la siguiente ecuación.

$$Fv \times \Delta H_v = U_d A_c (\Delta tm)_{\log} \quad (IV-31)$$

De donde área de condensación  $A_c$  es igual a:

$$A_c = \frac{Fv \times \Delta H_v}{U_d (\Delta tm)_{\log}} \quad (IV-32)$$

Substituyendo valores en IV-32:

$$A_c = \frac{923.12 \times 140}{128 \times 87} = 11.5 \text{ pies}^2 (1.09 \text{ m}^2)$$

4.- Cálculo del área para sub-enfriar el condensado hasta 30°C x  
1.8 = 32 = 86°F.

$$F_v = C_p \text{ acético} \times \Delta t = U_2 \times A_c \times (\Delta t)_{\log} \quad (\text{IV-32-a})$$

Peso de vapores = 923.12 lb/hr.

$C_p$  del ácido acético = 0.572 Btu/lb°F

$$t = 197.86 = 111^\circ\text{F} (38.3^\circ\text{C})$$

4.a) Cálculo del coeficiente de sub-enfriamiento ( $U_2$ )

$$U_2 = \frac{h_i \times h_o}{h_i + h_o} \quad (\text{IV-33})$$

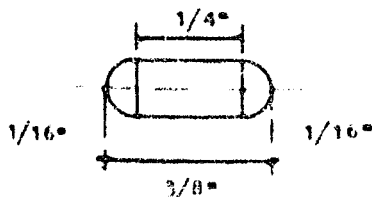
4.b) Obtención del coeficiente de transmisión de calor para el gra  
fito del lado de procesos.

$$J_h = \frac{h_i D_e}{\mu} \left( \frac{C}{\mu} \right)^{-1/3} \left( \frac{\mu}{\beta_v} \right)^{-0.14} \quad (\text{IV-34})$$

$$\text{con: } Re = \frac{D_e G_t}{\mu} \quad (\text{IV-35})$$

Pasaremos a calcular el número de Reynolds para determinar el  
factor de transmisión de calor  $J_h$ :

$D_e$  = Diámetro equivalente para ranuras



$$D_e = 4 r_n = 4 \frac{\text{Sección recta}}{\text{Perímetro húmedo}} \quad (\text{IV-36})$$

Fig. 4-12

$$\text{Perímetro} = 1/4 + 1/4 + 3.1416 \times 1/8 = 0.892 (22.6 \text{ mm.})$$

Substituyendo en IV-36:

$$D_0 = 4 \times \frac{1/8" \times 1/8" \times \frac{1}{144}}{0.002/12}$$

$$D_0 = 0.0175 \text{ pies (0.5 cm.)}$$

$$\text{Área de flujo} = \frac{\text{Diámetro del barrenado}}{\text{Número de paños de proceso}} = \frac{0.002}{4}$$

$$A_f = 0.077 \text{ pies}^2 \text{ (77.1 cm}^2\text{)}$$

$$\mu_{87^\circ\text{F}} = 1.1 C_p \times 2.42 = 2.66 \frac{\text{lb}}{\text{pie} \times \text{hr.}}$$

$$k_{87^\circ\text{F}} = 0.12 \text{ Btu/hr} \times \text{pie} \times ^\circ\text{F}$$

$$C_{p87^\circ\text{F}} = 0.520 \text{ Btu/lb} \times ^\circ\text{F}$$

$$G_t = \frac{\text{Peso de vapores}}{\text{Diámetro equivalente}} = \frac{923.12}{0.0175} = 52900 \frac{\text{lbs}}{\text{hr.} \times \text{pie}^2}$$

$$(V) = \text{Velocidad} = \frac{G_t}{3600 \times \rho} \quad (\text{IV-37})$$

Substituímos en IV-37):

$$V = \frac{52900}{3600 \times 64.1} = 0.228 \text{ pies/seg (6.94 cm/seg.)}$$

Otendremos el valor del número de Reynolds por medio de la ecuación IV-35:

$$Re = \frac{0.0175 \times 52900}{2.66} = 348$$

$$\text{Y teniendo: } L/D = 15/12 \times 0.0175 = 71.5$$

Leemos en la figura número 24, pág. 834 del Kern<sup>11</sup> el valor de  $f_h = 3$ , y substituyendo este valor en la ecuación IV-34 para poder obtener el valor de  $h_1$  que necesitamos.

$$h_1 = 1 = \frac{h_1 D_1}{k} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{-0.33}$$

Despejando  $h_1$

$$h_1 = 1 = \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{0.33} \times k \times \frac{1}{D_1}$$

Substituyendo tenemos:

$$h_1 = 1 = \left( \frac{0.579 \times 2.66}{0.17} \right)^{0.33} \times 0.12 \times \frac{1}{0.0175}$$

Por lo tanto

$$h_1 = 47.6 \text{ BTU/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \quad (233 \text{ kg.} - \text{cal/hr. M}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Lado de servicios

$$h_2 = 880 \text{ BTU/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \quad (4300 \text{ kg.} - \text{cal/hr. M}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Substituímos valores en la ecuación IV-33:

$$U_3 = \frac{47.6 \times 880}{47.6 + 880} = 43.2 \text{ BTU/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \\ = 221 \text{ kg.} - \text{cal/hr. M}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto el área de sub-enfriamiento del condensado será:

$$V_1 \times C_{p1} \times D_1 = U_3 \times A_3 \times (\Delta t \ln \log)_{\text{sub-enf.}} \quad (\text{IV-38})$$

Despejando el área de sub-enfriamiento  $A_3$ :

$$A_3 = \frac{V_{\text{acét.}} \times C_{p \text{ acét.}} \times \Delta T}{U_3 \times (\Delta t \ln \log)_{\text{sub-enf.}}} \quad (\text{IV-39})$$

4-c) Cálculo de  $(\Delta t \ln \log)_{\text{sub-enf.}}$

Haciendo un balance de calor tenemos:

$$V_{\text{acético}} C_{p \text{ acético}} (T_1 - T_2) = V_{\text{agua}} C_{p \text{ agua}} (T_x - 68^\circ\text{F}) \quad (\text{IV-40})$$

$$T_2 = 68 = \frac{V_{\text{acético}} \times C_p \text{ acético} (T_v - T_2)}{V_{\text{agua}} \times C_p \text{ agua}}$$

$$= \frac{922.12 \times 0.522 (194 - 86)}{24.300 \times 1.0} = 1.78$$

$$T_2 = 68 = 1.78 + 70^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 70^\circ\text{F} (21.1^\circ\text{C})$$

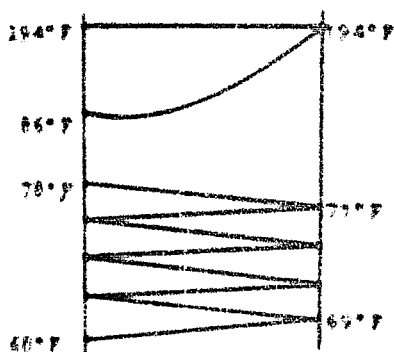


Fig. 4-11

$$\Delta T_1 = 194 - 70 = 124^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 86 - 68 = 18^\circ\text{F}$$

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{124 - 18}{2.3 \log \frac{124}{18}} = 55.2^\circ\text{F}$$

$$(\Delta T_m)_{\log} \text{ sub-inf.} = 55.2^\circ\text{F}$$

$$12.8^\circ\text{C}$$

Substituyendo valores en la ecuación IV-39 tenemos:

$$A_s = \frac{922.12 \times 0.522 \times (194 - 86)}{45 - 2 \times 55.2}$$

$$A_s = 20.8 \text{ pies}^2 (1.9 \text{ m}^2)$$

$$5.- \text{ Area total} = A_{\text{cond}} + A_{\text{sub-inf.}} \quad (\text{IV-41})$$

$$\text{Area total} = 12 + 20.8 = 32.8 \text{ pies}^2 (3.01 \text{ m}^2)$$

El condensador 30/50 trabajará al 64% de su capacidad por lo tanto tendremos que seleccionar uno de menor capacidad.

2o. Tanteo:

Cálculo de un condensador para vapores de ácido acético, con 400 lts/hr. de capacidad, con una presión de trabajo de 14 pulgs. de Hg.

Datos para un condensador modelo 20/20:

Dimensiones: 9 pulg. x 9 pulg. x 18 pulg.

Diámetro de barrenos lado de proceso: 3/8"

Diámetro de barrenos lado de servicios: 1/8"

Área efectiva de transmisión 18.6 pies<sup>2</sup>/18.8 pies<sup>2</sup>

Número de pasos lado de proceso: 2

Número de pasos lado de servicios: 4

Características físicas a 156 mm. Hg.

$$T_v = 90^{\circ}\text{C}$$

$$h_v = 140 \text{ Btu/lb.}$$

$$P_v = 923.12 \text{ lb}_v/\text{hr.}$$

$$\rho = 64.09 \text{ lb/pie}^3$$

$$k_r = 0.143 \text{ Btu/hr. pie}^2 \cdot \text{F}$$

$$C_p = 0.507 \text{ Btu/lb} \cdot \text{F}$$

$$\mu_r = 0.490 \text{ cps.}$$

1.- Cálculo de la temperatura de pared:

Suponiendo un cambio en temperatura del agua igual a 18°F -

tendremos que la temperatura media del agua es:

$$T_1 = 68^{\circ}\text{F} \qquad T_2 = 68 + 18 = 86^{\circ}\text{F} (30^{\circ}\text{C})$$

De donde:

$$t_A = \frac{68 + 86}{2} = 77^{\circ}\text{C} (25^{\circ}\text{C})$$

Suponiendo que:

$$h_o = 900 \text{ Btu/hr pie}^2 \cdot \text{F} \qquad \begin{matrix} (4390 \text{ kg.} - \text{cal/hr. m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \\ (1950 \text{ kg.} - \text{cal/hr. m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \end{matrix}$$

$$\text{y } h_{i0} = 400 \text{ Btu/hr pie}^2 \cdot \text{F}$$

Substituyendo valores en la ecuación de la temperatura de pared (ecuación IV-21):

$$t_w = 77^\circ F = \frac{900}{200 + 900} (194 - 77)$$

$$t_w = 158^\circ F (70.44^\circ C)$$

1-a) Encontrando con los valores anteriores la temperatura de película tendremos (ecuación IV-23):

$$t_f = \frac{194 + 158}{2} = 176^\circ F (80.33^\circ C)$$

2.- Cálculo del área de transmisión:

2-a) Obtención del número de taladros.

$$\text{Suponiendo un Área total} = 18.8 \text{ pies}^2 (1.74 \text{ m}^2)$$

$$\text{y Área de paso} = \frac{18.8}{2} = 9.4 \text{ pies}^2 (0.87 \text{ m}^2)$$

Tendremos que el número de taladros serán:

$$N_t = \frac{\text{Área total}}{\text{Área taladro}} = \frac{18.8}{3.14 \times \frac{6.375}{12} \times \frac{9}{12}}$$

$$N_t = 256 \text{ taladros de } 9'' \text{ de longitud.}$$

2-b) Cálculo de la masa velocidad (ecuación IV-25)

$$G = \frac{951.12 \times 12}{0.5 \times 9 \times 256} = 962 \text{ lb/hr pie lineal.}$$

2-c) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor del lado de procesos ( $h_1$ )

De la ecuación IV-27 habíamos calculado:

$$\left( \frac{\mu_f^2}{k_f^3 \rho_f^2} \right)^{1/3} = 0.000275$$

0 sea el primer miembro del lado derecho. Por lo que respecta al segundo miembro, de lado derecho tenemos:

$$h_1 = 0.00275 = 1.5 \left( \frac{4 \cdot 5}{\mu \cdot t} \right)^{1/3} = 1.5 \left( \frac{4 \times 9.62}{1.182} \right)^{-1/3}$$

$$h_1 = 0.00275 = 0.504$$

$$h_1 = 184 \text{ Btu/hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} \quad (900 \text{ kg.} \cdot \text{cal/hr. m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Corrigiendo para diámetro exterior.

$$h_{1o} = 184 \times \frac{6.625}{7.75} = 156 \text{ Btu/hr. pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} \\ = 770 \text{ kg.} \cdot \text{cal/hr. m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

2-2) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor de lado de servicio.

Volumen de paso = Número de taladros por paso  $\times$  Área de tubo.

$$A_p = \frac{226}{4} \times \left( \frac{1}{8} \right)^2 \times 0.785 = \frac{1}{144} = 0.0491 \text{ pies}^2 \quad (46.4 \text{ cm}^2)$$

Para una velocidad en la línea de alimentación de agua de 6 - pies/seg. y con un diámetro de boca de  $1 \frac{1}{2}$ ". Tendremos un volumen de

$$A_{\text{fluido}} = (1.5)^2 \times 0.785 \times \frac{1}{144} = 0.01255 \text{ pies}^2 = \\ = 1.16 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{velocidad} = 0.01255 \times 6 = 0.0753 \\ \text{pies}^3/\text{seg.} = 2130 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

De donde el volumen por hora es:

$$V_{\text{agua}} = 0.0753 \times 3600 = 270 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

Por lo tanto el gasto de agua será igual:

$$V_s = 62.4 \times 270 = 16848 \text{ lb./hr.}$$

El volumen de ecuación IV-27 es:

$$V_{\text{concentrado}} = \frac{16848}{62.4 \times (1.025 \times 7400)} = 3.522$$

Con volumen igual a 1.0 y con una temperatura de 80°F leemos en la figura número 13, pág. 825 del Iern.

$$h_c = 420 \text{ Btu/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 20000 \text{ kg. - cal/hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Y este valor de  $h_c$  multiplicado por el factor de corrección - ver 45-

$$h_c \text{ corregida} = 1.1 \times 420 = 462 \text{ Btu/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 22300 \text{ kg. - cal/hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto el coeficiente total de transmisión de calor limpio despreciando la resistencia térmica del grafito limpio es (ecuación IV-28):

$$U_c = \frac{118 \times 462}{118 + 462} = 118 \text{ Btu/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 5775 \text{ kg. - cal/hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con un factor de incrustación de  $R_c = 0.002$  y substituyendo - en la ecuación IV-29, tenemos el coeficiente de transmisión de calor de diseño:

$$U_d = \frac{118}{0.002 \times 118 + 1.0} = 95.5 \text{ Btu/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 465 \text{ kg.-cal/hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

7.- Cálculo del Área de condensado:

Diagrama combinado para condensación:

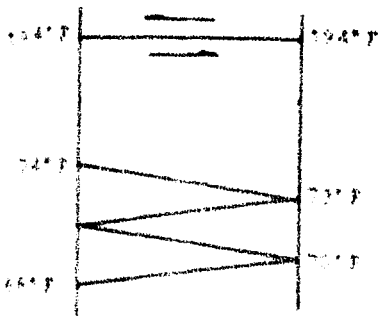


Fig. 4-14

3-a) Cálculo preliminar de la temperatura de salida del refrigerante.

$$t = \frac{F_{\text{N}} \times H_{\text{v}}}{V_{\text{agua}} \times C_{\text{p agua}}} = \frac{923.12 \times 140}{16830 \times 1}$$

$$t = 7.7 \text{ } ^\circ\text{F}$$

TEMP. salida del H<sub>2</sub>O = 66 + 7.7 = 73.7 = 76°F (24°C)

$$T_1 = 194 - 7 = 187 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (50}^\circ\text{C)}$$

$$T_2 = 194 - 76 = 118 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (48}^\circ\text{C)}$$

Cálculo de  $(\Delta t_m)_{\log}$  ecuación (IV-30)

$$(\Delta t_m)_{\log} = \frac{194 - 118}{\ln \frac{194}{118}} = \frac{76}{\ln 1.644} = 130 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (54}^\circ\text{C)}$$

3-b) Corrección por número de pasos:

$$R = \frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_1} = \frac{118 - 194}{194 - 66} = 0$$

$$S = \frac{130 - 66}{194 - 66} = 0.492$$

$$(\Delta t_m)_{\log} = 130 \times \frac{0.492}{1.025} = 130 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (54}^\circ\text{C)}$$

De la ecuación IV-32 calculamos el área de condensador que es:

$$A_c = \frac{923.12 \times 140}{95.5 \times 130}$$

$$A_c = 10.4 \text{ pies}^2 \text{ (0.964 m}^2\text{)}$$

4.- Cálculo del área para sub-enfriamiento hasta 86°F.

Despejamos  $h_1$ :

$$h_1 = 2 \frac{K_f}{L_0} \left( \frac{C_p \dot{m}}{L} \right)^{0.33} = 2 \frac{0.143}{0.0373} \left( \frac{0.522 \times 1.182}{0.143} \right)^{1/3}$$

$$h_1 = 10.7 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \quad (50.2 \text{ kg} \cdot \text{cal/hr m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$h_0 = 462 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \quad (2260 \text{ kg} \cdot \text{cal/hr m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Por lo tanto  $U_2$  será (ecuación IV-38)

$$U_2 = \frac{10.7 \times 462}{10.7 + 462}$$

$$U_2 = 10.3 \text{ Btu/hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F} \quad (50.2 \text{ kg} \cdot \text{cal/hr. m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

3.- Cálculo del área de sub-enfriamiento:

Cálculo de  $(\Delta t_m)_{\log}$  (ecuación IV-30)

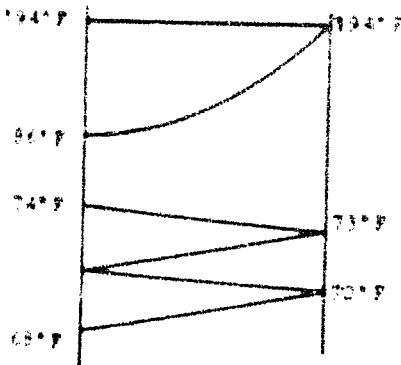


Fig. 4-15

3-a) Cálculo preliminar de la temperatura de salida del refrigerante (ecuación IV-40)

$$T_x - 68 = \frac{923.12 \times 0.522 (194 - 86)}{29,100 \times 1.0} = 1.78$$

$$T_x = 70^\circ\text{F} \quad (22^\circ\text{C})$$

Substituyendo en la ecuación (IV-30) tenemos:

$$(\Delta t_m)_{\log} \text{ sub-enf.} = 55.0^\circ\text{F} \quad (12^\circ\text{C})$$

Por lo tanto el área de sub-enfriamiento será (ecuación IV-39)

$$A_s = \frac{923.12 \times 0.522 \times 108}{(0.3 \times 55.0)}$$

$$A_s = 91 \text{ pies}^2 \quad (8.45 \text{ m}^2)$$

Entonces tendremos que:

$$A = \text{Área total del condensador} = 104 \times 91 = 101.4 \text{ pies}^2 \\ = 9.38 \text{ m}^2$$

Conclusión: Debido a que no existe un modelo de condensador intermedio entre el 50/10 marca Delantium y el de la misma marca 20/10, observamos que en los dos intentos de cálculo precedentes, el área total requerida para condensación y sub-enfriamiento de 10°C es superior con el de 20 pies<sup>2</sup>, optando por usarse el condensador 50/10 y del cual se calcula a continuación la caída de presión.

1.- Cálculo de la caída de presión en el lado de procesos para - el condensador Delantium modelo 50/10

Condiciones:

- A.- 4 pasos lado de procesos x N
- B.- 8 pasos lado de servicios.
- C.- Longitud de paso 15" = 1.15 pies (38 cm.)
- D.- Número de taladros = 462
- E.- Diámetro de taladro = 3/8" (9.52 mm.)

2-a) Área de Flujo ( $A_f$ )

$$A_f = \frac{N_t \times a^2}{144 \times n} \quad (\text{IV-42})$$

$$A_f = \frac{462 \times 1.1416 \times (1.18)^2}{144 \times 4} = 0.352 \text{ pies}^2 \quad (0.032 \text{ m}^2)$$

2-b) Paso de vapores = 923.12 lb/hr.

Temperatura de vapores: 194°F (90°C)

2-c) Densidad del vapor:

$$\rho_{\text{vapor}} = \frac{P \cdot M}{V \cdot R \cdot T} = \frac{P \cdot M}{P_0 \cdot V_0 \cdot \frac{T}{T_0}} = \frac{P \cdot M}{P_0 \cdot V_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (\text{IV-43})$$

Substituyendo en (IV-43)

$$\rho_v = \frac{60.06}{130 \cdot \frac{1.1}{490} \cdot \frac{519}{519}} = 0.704 \text{ lb/pie}^3 = 1.12 \text{ kg/m}^3$$

$s$  = Densidad relativa al agua

$$s = \frac{0.704}{0.714} = 0.00134$$

2-d) Cálculo de la masa velocidad:

$$G_v = \frac{P \cdot V}{A \cdot R \cdot T} \quad (\text{IV-44})$$

$$G_v = \frac{521.13}{0.00274} = 10.470 \text{ lb/hr} \times \text{pie}^2$$

2-e) Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot G_v}{\mu} \quad (\text{IV-45})$$

Substituímos:

$$Re = \frac{0.00134 \times 10.470}{0.0009 \times 0.42} = 12,400$$

Con el número de Reynolds buscamos en la figura N° 26, pág. 836 del Kern el factor de fricción;  $f = 0.00028$ .

Con los datos obtenidos anteriormente calculamos la caída de presión, la cual está dada en la pág. 273 del Kern.

$$\Delta P_v = \frac{f \times G_v^2 \times L \times \rho}{5.32 \times 10^{10} \times D \times S \times \rho} \quad (\text{IV-46})$$

De la cual:

$n$  = Número de pasos = 4

$L$  = Factor de fricción (adimensional)

$v_v$  = Velocidad másica = 10,490 lb/hr x pie<sup>2</sup>

$l$  = Longitud del taladro = 15 pulg/12 = 1.25 pies.

$d$  = Diámetro del taladro = 0.0313 pies.

$\rho$  = Densidad relativa = 0.00334

$\mu_r$  = Razón de viscosidades = 1.0

Por lo tanto la caída de presión será, substituyendo los datos en la ecuación IV-46.

$$\Delta P_p = \frac{0.00334 \times 10,490^2 \times 1.25 \times 4}{0.003 \times 10^4 \times 0.0313 \times 0.00334 \times 1.0}$$

$$\Delta P_p = 0.038 \text{ lb/pulg}^2 \quad (19.7 \text{ kg/m}^2)$$

Caída de presión máxima permitida.

$$\Delta h = 1 \text{ metro}$$

$$\Delta P_{(permitida)} = \rho_l h_l - \rho_v h_v \quad (\text{ecuación página 272 Kern})$$

(IV-47)

$$\Delta P_p = 64.09 \times 1 \times \frac{1}{10.48} \times \frac{1}{144} \times 0.704 \times 10 \times$$

$$\frac{1}{10.48} \times \frac{1}{144}$$

$$\Delta P_p = 1.48 \text{ lb/pulg}^2 \quad (19.40 \text{ kg/m}^2)$$

Por lo tanto:

$$\Delta P_{(permitida)} < \Delta P_{(calculada)}$$

$$1.48 \text{ lb/pulg}^2 < 0.038 \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: La columna del líquido es suficiente.

(17-1) Selección de un filtro centrífugo.

A) Por definición, la filtración es la separación del sólido en suspensión de un líquido y se efectúa haciendo pasar el líquido a través de un medio poroso. Los sólidos quedan detenidos en la superficie del medio filtrante en forma de torta.

La finalidad de la filtración en la industria es la separación del líquido de los sólidos suspendidos en él. Tanto aquél como éstos o ambos, pueden ser valiosos.

La filtración o filtros pueden ser clasificados de varias maneras: por centrifugación, por filtración mecánica, por su función, por el ciclo de operación o por la naturaleza del sólido (pág. 19-54 lit. 1<sup>a</sup>). Si se estudian detenidamente las clasificaciones hechas anteriormente, podremos darnos idea de cual o cuales equipos caen dentro de las especificaciones de la solución que se quiere filtrar.

Independientemente de lo anteriormente dicho no es una cosa determinante, pero sí podrá formarnos un juicio del equipo filtrante. Para poder nosotros determinar el equipo con que se va a filtrar debemos tener en cuenta los siguientes factores: capacidad de filtrato (kg./hr. o kg./día), costo inicial, costo de operación (incluyendo mantenimiento), confiabilidad en el servicio, eficiencia en la filtración, y tiempo de filtrado, teniendo estos datos la selección del filtro podrá ser mejor.

El hecho de emplear un filtrado en nuestro proceso está dado por la filtración del Tetraacetato de Plomo en suspensión con la mezcla ácido-anhídrido acético.

caída a través de sus paredes.

El filtro centrífugo tiene un medio filtrante (tela, papel o tela milicela) para atrapar y retener los sólidos mientras deja pasar a través los líquidos y los descarga.

Las centrifugas no suelen clasificarse en función del gas circulante, sino que se designan por el diámetro de su canasta.

b) En el mercado existen una variedad extensa de centrifugas. Para nuestro proceso se hizo la selección del tipo centrífugo, la cual tiene las siguientes especificaciones:

Todo el material de construcción es de acero inoxidable-316. La canasta es del tipo perforado y tiene un diámetro interior de 4 pies pulg. por 17 3/4 pulg. de fondo y tiene una capacidad de 4 pies cúbicos, abajo del anillo superior. El motor es a prueba de explosiones y tiene 2 velocidades periféricas, la canasta de 1000/300 rpm. con una relación de 1/1.5 H.P.

La fuerza centrífuga desarrollada es de 193 kg. por kgs. de carga en la canasta. Diámetro del tubo de venteo es de 2 pulgs. - la altura de salida del tubo es de 4 pulgs. Peso aproximado de la centrifuga 8000 kg.

El equipo de fuerza incluye 2 arrancadores de velocidad magnética a prueba de explosiones. Además el motor es operado con un voltaje de 440 ó 220 volts., de 3 fases y 50 ciclos.

c) Para la selección de la centrifuga se requirió de los siguientes datos, los cuales se le proporcionaron al proveedor.

1.- Descripción de la mezcla ácido-anhídrido acético, Tetraacetato de Plomo.

- a) Peso específico:  $1.18 \frac{gr.}{cm^3}$  de Tetraacetato de Plomo.
- b) Cantidad de sólidos presentes: Porcentaje en peso.
- c) Temperatura de filtración: 35°C
- d) Descarga del líquido después de la centrifugación: —  
El líquido descargará a una caja colectora de acero inoxidable.
- e) Las aguas madres son recuperables, ya que en éstas —  
van Diacetato de Plomo, Acido Acético, Anhídrido Acético y sales de Plomo.

2.- Descripción del Tetraacetato de Plomo:

- a) Tiene una apariencia con ácido acético glacial de —  
cristales húmedos.
- b) Su coloración es rosa débil, obteniéndose en forma de  
cristales pequeños.
- c) Después de filtrar totalmente la solución, los sólidos son lavados con una mezcla de ácido-anhídrido acético.
- e) Para el lavado de la torta se requiere de 2 horas.

3.- Los requerimientos de los sólidos filtrados es de 260 kg/día.

- a) Se usará el filtro centrífuga para proceso intermitente.



4.- Material de construcción y tipo de centrifuga. Estos datos están dados en el capítulo IV-c, inciso b.

Conclusión: Se usará un filtro centrifuga de canasta perforada y suspendida por 3 apoyos, con material totalmente de acero inoxidable-316 y con un diámetro interior de 30 pulgs. con una capacidad de filtrado de 4 pies cúbicas. Modelo Center-Slung, con motor a prueba de explosión.

#### IV-1) Selección de la bomba.

Las necesidades de usar una bomba en el proceso, está dado por el manejo de ácido acético y anhídrido que se bombeará al tanque de adición, para que éste a su vez descargue por gravedad al reactor o al extractor.

Se necesitará una bomba con un gasto de 76 lts/min. (20 gpm.) manejando ácido acético y anhídrido acético con una temperatura de operación de 25°C, con una densidad de 1.049 y con una viscosidad de 1.17 cps. La succión de la bomba va a estar conectada a la descarga del filtro centrifuga teniendo una longitud total de 8' cms. (2.6 pies), los accesorios de la instalación son 2 válvulas de compuerta, 5 codos de 90° 1/2", 1 válvula check.

#### Cálculo de la bomba.-

Para el gasto que vamos a manejar aplicaremos un factor de seguridad de 1.25.

$$\text{Gasta máximo} = Q_{\text{max}} = 1.25 \times 76 = 94.9 \text{ lts/min. (25 gal/min.)}$$

Succión de la bomba.

1-a) Cálculo del diámetro de la línea de succión:

2-a) Velocidad del fluido  $v = 45.8$  m/seg. (1.5 pies/seg.)

$$\text{Sea } d = \sqrt{0.408 \frac{Q}{v}} \quad (\text{IV-42})$$

Por lo tanto:

$$d = \sqrt{0.408 \frac{25}{1.5}} = 2.6 \text{ pulgs (6.6 cms.)}$$

Tendremos entonces 2 1/2 pulgs (6.6 cms.) de diámetro en la succión.

3-a) Cálculo del número de Reynolds:

$$\text{NRe} = \frac{v \rho}{\mu} \quad (\text{IV-43})$$

$$\text{NRe} = \frac{1.5 \times 1.17 \times 65.8}{0.72 \times 10^{-4}} = 2.7 \times 10^4$$

Con el diámetro de succión de 2.5 pulgs. (6.6 cms.) encontramos el factor de rugosidad en lit. 6 p'g. A-23, dándonos un valor de 0.00071 con el factor de rugosidad  $e/d = 0.00071$  y el número de Reynolds  $\text{NRe} = 2.7 \times 10^4$ , y encontramos en la lit. 6 p'g. A-30 y A-31,

CONCEPTO	L/D	<sup>2</sup> Le/Unidad	Le
Tubería		1	2.6
2 Válvulas de compuerta, AB.	13	2.7	5.4
1 Tee	20	4.55	4.55

longitud equivalente = 5.4 + 4.55 = 9.95 pies (3.02 mts.)

longitud total = 2.6 + 9.95 = 12.55 pies (3.81 mts.)

\* Le Unidad = L/D x diámetro (pies)

(a) Fricción en la línea de succión ( $h_{s1}$ ):-

$$h_{s1} = 0.1861 \frac{f L_e v^2}{d} \quad (\text{IV-44})$$

Substituyendo en la ecuación IV-44:

$$h_{s1} = \frac{0.1861 \times 0.026 \times 12.55 \times (1.5)^2}{2.5} = 0.55 \frac{\text{lb}}{\text{lb}} \text{ pie}$$

B.- Descarga de la bomba:

(b) Cálculo del diámetro de la línea de descarga:

Se tomará la velocidad de descarga = 1.1 m/seg. (6 pies/seg.)

dato empírico.

Substituyendo en IV-47:

$$d = \sqrt{0.438 \frac{20}{6}}$$

$$d = 1.16 \text{ pulgs. (2.96 cms.)}$$

El diámetro de descarga será de 1.16 pulgs. pero comercialmente no existe ese diámetro de tubería, por lo que se tomará 1.25 --- pulgs. (3.18 cms.) de diámetro.

(c) Cálculo del número de Reynolds:

Usando la ecuación IV-43 tenemos:

$$N_{Re} = \frac{1.16 \times 6 \times 65.8}{12 \times 1.17 \times 6.72 \times 10^{-4}}$$

$$N_{Re} = 4.91 \times 10^4$$

Con el diámetro de succión encontramos  $e/d = 0.00017$ , entonces con el  $N_{Re}$  y  $e/d$  tendremos el valor de  $f = 0.0216$ .

3-b) Cálculo de la longitud equivalente (Le)

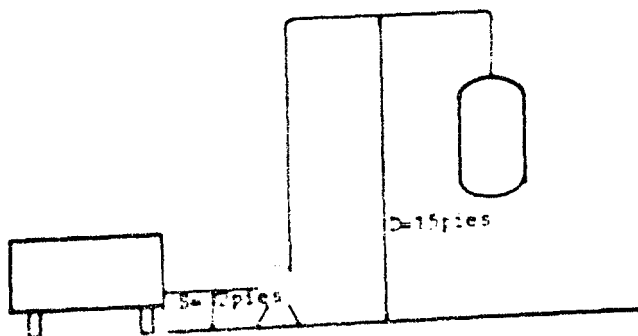
CONCEPTO	L/D	Le/Unidad	Le
Tubería		1	20
2 válvulas de compuerta, AB.	13	2.7	5.4
3 codos de 90°	30	2.9	14.5
1 Tee	20	1.94	1.94
1 válvula check	135	13.0	13.0

Longitud equivalente = 5.4 + 14.5 + 1.94 + 13 = 34.94  
pies (10.6 metros).

Longitud total = 20 + 34.94 = 55 pies (16.7 mts.)

4-b) Fricción en la línea de descarga:

$$h_{d1} = 0.1863 \frac{0.0276 \times 55 \times (16)^2}{1.16} = 6.85 \frac{\text{lb}}{\text{lb}} \text{ pie}$$



Cálculo de la cabeza (H) a la carga:

$$H = d + h_{d1} + \frac{P_1 - P_{dv}}{\rho} - \left[ s - a_{s1} + \frac{P_{sv}}{\rho} \right] \quad (\text{IV-45})$$

$$P_1 = \text{Presión barométrica} = 585 \text{ mm Hg} = 11.3 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$P_v = \text{Presión de vapor del ácido acético a } 194^\circ\text{F} = 356 \text{ mm. Hg}$$

$$\rho = 6.9 \text{ lb/pulg}^2$$

$\rho$  = Densidad relativa a 68°F =  $1.027 \times 62.4 = 64.2 \text{ lb/pie}^3$

Substituyendo en la ecuación IV-45:

$$H = 10 + 6.85 + \frac{11.3 - 6.9 \times 144}{64.2} - 0.55 + \frac{6.9 \times 144}{64.2}$$

$$H = 14 \text{ pies (4.25 metros)}$$

(c) Cálculo del NPSH disponible (cabera de succión positiva neta)

$$\text{NPSH} = Z_1 - \left( \frac{P_1}{\text{Sp. Gr.}} - P_v \right) \times 2.31 - P_0 \quad (\text{IV-46})$$

Donde:

$$Z_1 = \text{Cabeza estática mínima} = 2 \text{ pies (60.5 cms.)}$$

$$P_1 = 11.3 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (585 mm. Hg.)}$$

$$P_v = 6.9 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (356 mm. Hg.)}$$

$$= 64.2 \text{ lb/pie}^3$$

$$P_0 = H_{a1} = 0.55 \text{ lb/lb} \times \text{pie}$$

Substituyendo en IV-46 tenemos:

$$\text{NPSH} = 2 + \left( \frac{11.3 - 6.9}{1.027} \right) \times 2.31 - 0.55$$

$$\text{NPSH} = 10.4 \text{ pies (3.17 metros)}$$

Con los datos de capacidad 94.9 lts/min. (25 gals/min.) y con la cabeza total  $H = 4.25$  metros (14 pies) leemos en la gráfica del catálogo Worthington<sup>12</sup> el NPSH necesario = 2 pies.

$$\text{NPSH (disponible)} = 10.4 \text{ pies contra } 2 \text{ pies de } H_2O$$

El valor del NPSH es checado con la curva 1-DN-2 pág. 6 del -

catálogo para las condiciones de operación nos dá un valor de 2 — pies de NPSM requerido, con lo cual un motor de 1/4 de HP. y a 3600 rpm. es adecuada para las condiciones de servicio requerido.

Conclusión. Se usará un motor de 1/4 HP., 3600 rpm., 220/440 volts, 3 fases, 60 ciclos/seg., y una bomba de 14 pies de cabeza.

Dimensionalmente, el grupo motor-bomba queda:

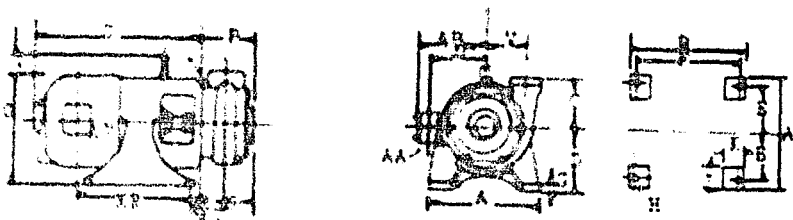


Fig. 4-16

DIMENSIONES DEL MOTOR ELECTRICO

A	H	C	D	E	F	G	H	J	K	O	T	AB	AC
27.3	26.4	40.4	11	11.4	15	12	1.03	5.3	5	26	5.5	16	13
				AF	AE	AC	AA						
				1.6	26.1	3.3	1.9						
Tamaño de la bomba			P	B	S	U	V						
1 1/2 NPSM.			11.6	7.3	6.3	12.7	10						

Acotaciones del grupo motor bomba están dados en centímetros

## CAPÍTULO V

E D E N O L O G I A D E L A

Se considera conveniente hacer un resumen de los datos sobre los diseños y cálculos efectuados en esta Tesis, con el equipo de proceso representado

TABLA N.º 1

EQUIPO	USOS	VEV CAPÍTULO	VEV FIGURA	ESPECIFICACION
Reactor volumétrico de 1,116 lts. const. con material de ac. inox. T-316, motor de 2 HP., 220/440 volt., 1,400 rpm., 50/60 ciclos, 3 fases.	Reacción del $Pb(CH_3COO)_2$ con el ácido acético	III-A	3-1	60# presión interna 50# presión en cañi- sa & 45# presión en la cañisa con vacío total en la vasija.
Agitador tipo turbina	Asamblea en el rendimiento de la reacción del Tetraacetato de Plomo.	III-B	3-2 3-3 3-4	Material de acero - inox. T-316 con 6 - aspas de 0.615 cms. de espesor.
Heccha		III-B	3-5	Tubo de 2 1/2" p com. construido con mate- rial de ac. inox. T 316.
Recididor de 757 lts. const. con material de ac. inox. T-316, motor de 2 HP., 220/440 volts, --- 1,400 rpm. 50/60 ciclos 3 fases.	Recibir conden- sados de ac. acé- tico; hacer me- clas de ac-anh. acético. Extrac- ción del $Pb(CH_3COO)_2$	IV-A	4-7	60# presión interna 45# presión en la - cañisa.



Los problemas que se encontraron para la obtención del Tetraacetato de Plomo fueron:

- a) Bajo rendimiento en la obtención del Tetraacetato de Plomo.
- b) Tiempo de adición del  $Pb_3O_2$  demasiado alto.
- c) Selección del material empleado para la construcción del equipo.
- d) Selección del tipo de agitador.

Las soluciones dadas para los problemas encontrados fueron:

- a) Se estudió en la planta piloto las distintas variables que intervenían en el proceso (temperatura, viscosidad, densidad, tiempo de reacción, concentración) de las cuales se vio que la temperatura afectaba al Tetraacetato de Plomo; otro de los factores era que el  $Pb_3O_2$  llegaba a depositarse al fondo de la vasija sin llegar a reaccionar con el ácido acético.

En el caso de la temperatura se estuvieron corriendo varios lotes, hasta que se encontró la temperatura óptima, la cual debería ser no más de  $60^{\circ}C$  y no menos de  $55^{\circ}C$ . En caso de que la temperatura subiera más de  $60^{\circ}C$  la reacción se continuaba hasta Diacetato de Plomo no dejándose formar el Tetraacetato de Plomo, bajándose así nuestros rendimientos.

En la adición del óxido de plomo rojo se tenía que alimentar muy lentamente, porque no llegaba a formarse la reacción con el ácido acético, precipitándose éste hacia el fondo. Una de las soluciones fue que teniendo una agitación eficiente para

tener un contacto más íntimo entre los dos componentes, era mantener el sólido en suspensión con el líquido, sin dejar que éste llegara a depositarse en el fondo.

Se corrieron pruebas con diversos modelos de agitadores (capítulo II) encontrándose que el agitador tipo turbina de 6 aspas inclinadas a 45° era el más eficiente, ya que este modelo de agitador crea un flujo radial en el cual cuando llega el sólido al flujo que está creando el agitador con la solución, éste lo impulsa horizontalmente con respecto a la flecha, y al llegar a la pared de la vasija y chocar contra el verticilar éste cambia su dirección haciendo lo que regrese hacia donde se está creando el flujo para volver a repetirse el ciclo, haciendo que de esta manera el  $Pb_3O_4$  reaccione si no totalmente, por lo menos la mayor parte con el ácido acético, aumentándose así el rendimiento.

- b) Como se dijo anteriormente el  $Pb_3O_4$  se alimentaba muy lentamente por la ineficiencia de la agitación. Pero teniendo resuelto este problema se tenía que resolver el tiempo de adición. Se vió que aumentando las revoluciones de salida del agitador y teniendo los agitadores la separación adecuada entre cada uno de ellos partiendo desde el fondo de la vasija, el tiempo de adición disminuía notablemente (capítulo II).

- c) El ácido acético y el anhídrido acético a una temperatura de 60°C y 100% de concentración es corrosivo para cierto tipo de materiales. Como se tenía que diseñar nuestro propio equipo se tuvo que hacer la selección de material que fuera resistente a la corrosión. Se corrieron varias pruebas con el ácido acético (capítulo II) y se llegó a la conclusión que el acero inoxidable tipo-316 no se veía afectado, inclusive a una temperatura de 100°C.
- d) En las soluciones tomadas anteriormente se vió la importancia de la selección del tipo de agitador. En la industria existen problemas tan complejos que se podría decir que para cada problema existe un tipo de agitador.
- La selección del agitador tipo turbina de 6 aspas inclinadas a 45° fue hecha después de haberse probado la eficiencia de otros tipos de agitadores, con pruebas corridas en planta piloto, y apoyándonos en literatura especializada para la selección de este agitador, así como el estar en contacto con varios fabricantes de agitadores.

#### Conclusiones finales:

En cualquier elaboración de un producto uno de los aspectos más importantes está dado por un análisis de costos, el cual nos determinará su rentabilidad.

Como conclusión final de esta Tesis, se hará un análisis del costo por kilo de Tetraacetato de plomo obtenido.

Análisis de costos.-

1.- Costos de equipo hecho en el taller en acero inoxidable T-304, con camisa de fierro negro, con capacidad de 1,135 lts. Hecho en México. (Ver fig. 3-1).

$$(1) A_{\text{tanque}} = \pi D \times L = 3.1416 \times 1.06 \times 1.18 = 3.82 \text{ M}^2$$

$$(2) A_{\text{cabeza sup.}} = 0.785 D^2 \times 1.7 = 0.785 \times (1.06)^2 \times 1.7 = 1.04 \text{ M}^2$$

$$(3) A_{\text{cabeza inf.}} = 0.785 D^2 \times 1.5 = 0.785 \times (1.06)^2 \times 1.5 = 1.32 \text{ M}^2$$

$$(4) A_{\text{camisa}} = \pi D \times L = 3.1416 \times 1.16 \times 1.16 = 4.23 \text{ M}^2$$

$$(5) A_{\text{cabeza camisa}} = 0.785 \times 1.5 \times 0.75 \times (1.16)^2 \times 1.5 = 1.51 \text{ M}^2$$

Peso total de placas de acero inoxidable:

$$(1) 3.82 \text{ M}^2 \text{ Placa } \frac{1}{2}'' = 3.82 \text{ M}^2 \times 20.4 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 398 \text{ kgs.}$$

$$(2) 1.04 \text{ M}^2 \text{ Placa } 3/16'' = 1.04 \text{ M}^2 \times 7.6 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 38.8 \text{ kgs.}$$

$$(3) 1.32 \text{ M}^2 \text{ Placa } \frac{1}{2}'' = 1.32 \text{ M}^2 \times 20.4 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 131.5 \text{ kgs.}$$

$$(4) 4.23 \text{ M}^2 \text{ Placa } 3/8'' = 4.23 \text{ M}^2 \times 15.3 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 316 \text{ kgs.}$$

$$(5) 1.51 \text{ M}^2 \text{ Placa } 7/16'' = 1.51 \text{ M}^2 \times 17.85 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 132 \text{ kgs.}$$

Peso de las bocas:

$$4 \text{ bocas de 3 pulgs. para 150 psi.} \times 12 \text{ lbs.} = 48 \text{ lbs.}$$

$$1 \text{ boca de 4 pulgs. para 150 psi.} \times 19 \text{ lbs.} = 19 \text{ lbs.}$$

$$1 \text{ boca para-hombre de 16" } \phi \text{ con mirilla} \times 155 \text{ lbs.} = \frac{155 \text{ lbs.}}{222 \text{ lbs.}}$$

$$222 \text{ lbs.} \times \frac{.45 \text{ kg.}}{2.205 \text{ lbs}} = 105 \text{ kgs.}$$

$$\text{Peso total} = 198 \text{ kgs} + 18.8 \text{ kgs.} + 131.5 \text{ kgs.} + 105 \text{ kgs.} = 673.3 \text{ kgs.}$$

$$\text{Tipo S, S} - 316 - 673.3 \times \$50.00 \text{ kg. maquinado} = \underline{\underline{\$ 33,665.00}}$$

$$\text{Fierro negro} - 137 \text{ kgs.} = 316 \text{ kgs.} = 448 \text{ kgs.}$$

$$448 \text{ kgs.} \times \$10.00 = \underline{\underline{\$ 4,480.00}}$$

Costo para construir el reactor de 300 gals. en S/S-316:

$$\$33,665.00 + \$4,480.00 = \$ 38,145.00$$

$$2 \text{ agitadores tipo turbina y motor 2 HP.} \quad \$ 10,000.00$$

$$\text{Soporte para el agitador} \quad \$ 2,000.00$$

$$\text{Flanquea de } 2\frac{1}{2}'' \text{ S nom. en ac. inox. Tipo 316} \quad \$ 2,000.00$$

$$\text{Costo total del reactor} \quad \underline{\underline{\$ 52,145.00}}$$

Costo para el recipiente en acero inoxidable tipo 316, con camisa de fierro negro, capacidad de 750 lts. Hecho en México. (Ver fig. 4-23).

Construido con placa de acero inoxidable tipo-316:

$$(1) A_{\text{tanque}} = \pi D \times L = 3.1416 \times 96.5 \times 105 = 3.17 \text{ M}^2$$

$$(2) A_{\text{cabeza sup.}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.7 = 0.785 \times (96.5)^2 \times 1.7 = 1.24 \text{ M}^2$$

$$(3) A_{\text{cabeza inf.}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.5 = 0.785 \times (96.5)^2 \times 1.5 = 1.1 \text{ M}^2$$

Construido con placa de fierro negro:

$$(4) A_{\text{camisa}} = \pi \times D \times L = 3.1416 \times 105 \times 105 = 3.47 \text{ M}^2$$

$$(1) \text{ cabeza camisa} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.5 = 0.785 \times (105)^2 \times 1.5 = 1.3 \text{ M}^2$$

Peso total de placas de acero inoxidable:

$$(1) 3.17 \text{ M}^2 \text{ Placas } 7/16" = 3.17 \text{ M}^2 \times 17.85 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 276 \text{ kg.}$$

$$(2) 1.24 \text{ M}^2 \text{ Placas } 3/16" = 1.24 \text{ M}^2 \times 7.65 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 46.4 \text{ kg.}$$

$$(3) 1.1 \text{ M}^2 \text{ Placas } 7/16" = 1.1 \text{ M}^2 \times 17.85 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 96 \text{ kg.}$$

Peso de las bocas:

$$4 \text{ bocas de 2 pulgas para 150 psi.} \times 12 \text{ lbs.} \times \frac{1}{2.2} = 21.8 \text{ kgs.}$$

$$1 \text{ boca de 2 pulgas. para 150 psi.} \times 19 \text{ lbs.} \times \frac{1}{2.2} = 8.6 \text{ kgs.}$$

$$1 \text{ boca pasa-hombre } 10" \text{ } \varnothing \text{ con mirilla} \times 155 \text{ lbs.}$$

$$\times \frac{1}{2.2} = 70.5 \text{ kgs.}$$

Peso total del acero inoxidable:

$$276 + 46.4 + 96 + 8.6 + 70.5 = 519.3 \text{ kgs.}$$

Costo de maquinado:

$$519.3 \text{ kgs.} \times \$ 50.00 \text{ kgs.} = \underline{\underline{\$ 25,965.00}}$$

Peso total de placas de fierro negro:

$$(4) 3.47 \text{ Placas } 1/4" = 3.47 \text{ M}^2 \times 10.2 \frac{\text{lb/ft}^2}{} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 172.6 \text{ kg.}$$

$$(5) 1.3 \text{ Placas } 3/8" = 1.3 \text{ M}^2 \times 15.3 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^2} \times 4.883 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{lb/ft}^2} = 97 \text{ kg.}$$

Peso total del fierro negro:

$$172.6 \text{ kgs.} + 97 \text{ kgs.} = 269.6$$

Costo de maquinado:

2000 lbs. x \$1.08/lbs. = \$ 2,696.00

Costo por la construcción del recipiente de 200 gal. en S/S-316:

\$25,965.00 - \$2,696.00 = \$ 28,661.00

2 agitadores tipo turbina y motor de 2 HP. \$ 8,000.00

1 soporte para el agitador \$ 2,000.00

1 flecha de 2"  $\phi$  nom. en ac.inox. T-316 \$ 1,500.00

Costo total del reactor \$ 40,161.00

Costo para el tanque de adición con capacidad de 757 lts. (200 - gal.), construido con material de aluminio 7S-H14. (Hecho en México). (Ver fig. 4-3)

(1)  $A_{\text{tanque}} = \pi \times L \times D = 3.1416 \times 96.5 \times 104.8 = 3.18 \text{ M}^2$

(2)  $A_{\text{cabeza sup.}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.7 = 0.785 \times (96.5)^2 \times 1.7 = 1.24 \text{ M}^2$

(3)  $A_{\text{cabeza inf.}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.5 = 0.785 \times (96.5)^2 \times 1.5 = 1.1 \text{ M}^2$

Peso total de las placas de aluminio:

(1) Placas laterales =  $3.18 \text{ M}^2 \times 12.6 \frac{\text{kg}}{\text{M}^2} = 40 \text{ kgs.}$

(2) Placas superior =  $1.24 \text{ M}^2 \times 16.8 \frac{\text{kg}}{\text{M}^2} = 20.8 \text{ kgs.}$

(3) Placas inferior =  $1.1 \text{ M}^2 \times 16.8 \frac{\text{kg}}{\text{M}^2} = 18.4 \text{ kgs.}$

Peso total = 40 kgs. + 20.8 kgs. + 18.4 kgs. = 79.2 kgs.

Costo del total:

79.2 kgs. x \$25.00/kg. = \$ 1,980.00

4 placas de 1/2"  $\phi$  nom. \$ 800.00

4 apoyos acero bajo al carbón \$ 300.00

1 boca para-hombre de 12" ø

\$ 500.00

\$ 3,580.00

Costo para una caja colectorora con capacidad de 460 lts. y material de acero inoxidable tipo 316. Hecho en México. (Ver fig. 4-9).

Superficie de la caja:

Fondo =  $108 \times 83 =$

8,960 cm<sup>2</sup>

Tapa =  $108 \times 83 =$

8,960 cm<sup>2</sup>

Paredes laterales =  $2 \times 83 \times 55 =$

9,100 cm<sup>2</sup>

Paredes laterales =  $2 \times 108 \times 55 = 11,900 \text{ cm}^2$

38,920 cm<sup>2</sup>

Superficie total de la caja = 3.89 M<sup>2</sup>

Peso total =  $3.89 \text{ M}^2 \times 17.4 \frac{\text{kg}}{\text{M}^2} = 112 \text{ kgs.}$

Costo total de la caja:

112 kgs. x \$50.00 de maquinado =

\$ 5,600.00

soportes y boca =

\$ 300.00

\$ 5,900.00

2.- Capital fijo estimado:

Base de producción 750 kg/día de Tetraacetato de Plomo. Costos del equipo de producción hecho en México y de importación.

1.- EQUIPO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	COSTOS DEL EQUIPO		COSTO DE INSTALACIÓN
	HECHO EN MÉXICO	DE IMPORTACIÓN	
	\$	M. N. \$	
1.- Reactor de 200 gal. en acero inoxidable enchapado, con motor de 3 HP., con flecha buca de 1" y nom. y 2 agitadores tipo turbina con accesorios.	24,000.00	100,000.00	1,500.00
2.- Reactor de 100 gal. en acero inoxidable T-316 enchapado con motor de 3 HP., con flecha buca de 1" y nom. y 2 agitadores tipo turbina con accesorios.	10,000.00	75,000.00	1,000.00
3.- Tanque de adición de 200 gal. en aluminio	1,000.00	10,000.00	500.00
4.- Condensador cónico de grafito modelo 30/50	25,000.00	25,000.00	500.00
5.- Centrifuga con descarga inferior en acero inoxidable-316 carcasa y canastilla Tubo de lavado removible Motor a prueba de explosiones de 3 HP.	60,000.00 1,000.00 11,000.00	81,000.00	1,500.00
6.- Bomba centrifuga para 20 gpm. y 20 pies en acero inoxidable T-316.	12,500.00	12,500.00	500.00
7.- Caja colectoras con capacidad de 460 lbs. construida con material de acero inoxidable T-316.	5,900.00	5,900.00	500.00
8.- Montacargas operación manual	10,000.00	10,000.00	1,500.00
TOTAL DEL EQUIPO	234,700.00	319,400.00	7,700.00
* Equipos de importación no se fabrican en México.	136		

II.- TUBERIA

DESCRIPCION	COSTO DEL MATERIAL \$	COSTO DE INSTALACION \$
1.- Tuberia de procesos en acero inoxidable 7'-11"	45,000.00	13,500.00
2.- Valvulas de control y especiales.	5,000.00	3,000.00
3.- Diversos	<u>1,000.00</u>	<u>500.00</u>
T o t a l	51,000.00	17,000.00

III.- INSSTRUMENTACION

TIPO DE INSTRUMENTACION	COSTO DEL INSTRUMENTO \$
1.- Termoprotector de tiempo dura	5,000.00
2.- Indicador de temperatura	1,000.00
3.- Tres indicadores de presión	<u>1,000.00</u>
T o t a l	7,000.00

IV.- ELECTRICAL

EQUIPO ELECTRICO	COSTO DEL MATERIAL \$	COSTO DE INSTALACION \$
1.- Lote de material eléctrico	15,000.00	5,000.00
2.- Tres lámparas a prueba de explosiones.	<u>5,000.00</u>	<u>5,000.00</u>
T o t a l	20,000.00	10,000.00

V.- ESTRUCURAS, ESTRUCTURAS DE ACEROS, ETC.:

M A T E R I A L	COSTO DEL MATERIAL \$	COSTO DE INSTALACION \$
1.- Plataforma y estructuras	30,000.00	10,000.00
2.- Itenerales	2,500.00	1,000.00
3.- Pisos	<u>2,500.00</u>	<u>700.00</u>
T o t a l	35,000.00	11,700.00

VI.- CONTINGENCIAS:

Costo estimado de la inversión permanente:

Total con equipo  
construido en México

\$ 406,481.00

Total con equipo  
de importación.

\$ 491,375.00

3.- Costo del Tetraacetato de Plomo por inversión permanente:

A) Amortización a 10 años del equipo.

a) Equipo construido en México:

$$406,481 \times 0.00834 = \$ 3,400.00$$

b) Equipo de importación:

$$491,375 \times 0.00834 = \$ 4,100.00$$

B) Inversión del capital al 1%.

a)  $406,481 \times 0.01 = \$ 4,066.00$

b)  $491,375 \times 0.01 = \$ 4,913.00$

Equipo construido en México:

$$\$ 3,400.00 + \$ 4,066.00 = \$ 7,466.00$$

Equipo de importación:

$$\$ 4,100.00 + \$ 4,913.00 = \$ 9,013.00$$

Costo por kilo de Tetraacetato de Plomo al nivel de producción de 16,500 kgs/mes:

a)  $7,466/16,500 = \$ 0.45/\text{kg.}$

b)  $9,033/16,500 = \$ 0.55/\text{kg.}$

4.- Costos de manufactura:

Base de procesamiento 250 kgs/turno (3 turnos/día):

A) Materias primas:

a) Óxido de plomo rojo: 440 kg. x \$ 3.48/kg. = \$ 1,537.00

b) Ácido acético: 510 lts. x \$ 4.90 = \$ 2,500.00

c) anhídrido acético: 237 lts. x \$ 5.20 lt. =  $\frac{\$ 1,230.00}{\$ 5,267.00}$

d) recobro de mezcla ácido acético-anhídrido

480 lts. x \$ 3.85 = \$ 1,845.00

Costo de materia prima = \$ 5,267.00 - \$ 1,845.00 = \$ 3,422.00

Costo por kilo de Tetraacetato de Plomo:  $\frac{\$ 3,422.00}{250 \text{ kg.}}$   
= \$ 13.70

B) Costos de servicios:

a) Consumo de vapor

Reactor de 1,125 lts:  $620 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times 6 \text{ hr.} = 3,720 \text{ lbs.}$

Costo del vapor = \$ 14.00/1,000 lbs. x 3,720 lbs.  
= \$ 52.10

b) Consumo de agua fría:

Reactor de 1,125 lts:  $150 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr.}} \times 2 \text{ hrs} = 18,000 \text{ lbs}$

Recibidor de 237 lts:  $150 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr.}} \times 1 \text{ hr.} = 9,000 \text{ lbs}$

Condensador mod. 50/50:  $265 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr.}} \times 2 \text{ hrs} = \frac{31,800 \text{ lbs}}{58,800}$

Costo del agua = \$ 0.75/M<sup>3</sup> x 58.8 M<sup>3</sup> = \$ 44.00

c) Consumo de energía eléctrica:

Reactor de 1,105 lts: 3 HP. x 8 hrs. = 24 HP - hr.

Recibidor de 757 lts: 2 HP. x 3 hrs. = 6 HP - hr.

Centrífuga: 3 HP. x 2 hrs. = 6 HP - hr.

$1 \text{ hp} = 0.746 \text{ kw}$   
 $1 \text{ kw} = 1.341 \text{ hp}$   
 $1 \text{ hp} = 0.746 \text{ kw}$   
 $1 \text{ kw} = 1.341 \text{ hp}$

Costo de energía eléctrica: \$ 0.60/kw - hr. x 26.5 Kw - hr. = \$ 15.90

d) Consumo del aire:

Soplado  $36 \text{ pies}^3/\text{min.} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr.}} \times 6 \frac{\text{hr.}}{\text{día}} = 20,200 \text{ pies}^3/\text{día}$

Costo del aire: \$ 2.36/1,000  $\text{pies}^3$  de aire a  $4\frac{1}{2} \text{ kgs/cm}^2$   
 $= 20,200 = \$ 47.60$

e) Costos de operación:

48 hrs/hombre x \$ 15.00/hr. hombre = \$ 720.00

Personal técnico:

\$ 10,000.00/mes x 3 mes/30 días = \$ 1,000.00/día

Costo por kilo de Tetraacetato de Plomo:

$$\frac{\$ 1,000.00 \frac{\$}{\text{día}}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} = \$ 2.30/\text{kg.}$$

Costo de manufactura por kilo: \$ 161.90/250 kg. = \$ 0.65/kg

5.- Gastos de administración:

Estos gastos se prorratean entre todos los compuestos obtenidos

en la planta a nuestro proceso le tocan:

$$\frac{\$ 500.00 \frac{\$}{\text{día}}}{700 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} = \$ 0.70/\text{kg.}$$

6.- Capital de trabajo:

$$\text{Costo por kilo de Tetraacetato} = \frac{\$800,000.00 \times 0.01}{22 \text{ días} \times 720 \text{ kg.}} = \$ 0.51$$

Per capital de trabajo al 1% mensual

Costo total por kilo obtenido:

\$/kg.

1.- Inversión permanente:	0.45
2.- Costos de manufactura:	14.35
3.- Gastos de administración:	0.70
4.- Capital de trabajo:	<u>0.51</u>
T o t a l :	16.01

El costo de venta por kilo de Tetraacetato de Plomo en el mercado es de \$ 16.75, con lo cual se verá que el obtenido por nosotros es mucho más barato.

Como conclusión final queda demostrado la rentabilidad de la planta.

S U M A R I O   D E   V A R I A B L E S

A	-	Área pulg. <sup>2</sup> , cm. <sup>2</sup> .
Ac	-	Área de condensación pies <sup>2</sup> , cm. <sup>2</sup> .
Ap	-	Área de paso pies <sup>2</sup> , cm. <sup>2</sup> .
C	-	Corrosión, milésimas de pulgadas.
Cp	-	Calor específico Btu/lb°F, cal/gr°C.
Da	-	Diámetro del agitador, pies.
De	-	Diámetro exterior, cms. pulgs.
Di	-	Diámetro interior, cms. pulgs.
Di	-	Diámetro del impulsor, pulgs. cms.
e	-	Espesor mm., pulgs.
E	-	Eficiencia de la soldadura.
F	-	Altura de la cámara terciotérmica, pulgs., cms.
Fo	-	Factor de fricción, adimensional.
G	-	Carga de condensados para tubos horizontales lb/hr pie.
G'	-	Masa velocidad lb/hr. pie lineal.
Gc	-	Aceleración de la gravedad.
H	-	Altura, pies, metros, cms.
H10	-	Coefficiente de película interior referido a la superfi- cie exterior Btu/hr. pie <sup>2</sup> °F, K-cal/hr. M <sup>2</sup> °C.
H1	-	Coefficiente de transmisión de calor por el lado de pro- cesos Btu/hr. pie <sup>2</sup> °F, K-cal/hr. M <sup>2</sup> °C.
H01, Hs1	-	Fricción en la línea de succión y descarga, pies, me- tros.
Ho	-	Velocidad de cabeza, pies
HO	-	Coefficiente de película exterior Btu/hr. pies <sup>2</sup> °F, K-cal /hr. M <sup>2</sup> °C.
Jh	-	Factor para transmisión de calor, adimensional.
Kf	-	Conductividad térmica Btu/hr. pies <sup>2</sup> °F, K-cal/seg. cms°C.
Kn, Kt	-	Factores de fatiga y choque.
Le	-	Longitud equivalente, pies, metros.
LeR	-	Longitud de la sección recta, cms.

$L_1 = D$	•	Diámetro: pies, pulgs, cms.
$M$	-	Peso molecular
$M_n$	-	Momento flector máximo lbs/pulgs.
$N$	•	Velocidad angular, pies/min.
$NFr$	-	Número de Froude
$N_G$	-	Número de Grashof
$NRe$	•	Número de Reynolds
$Np$	-	Número de potencia
$Nt$	-	Número de turbinas ó número de barrenos totales
$NWe$	-	Número de Weber.
$P$	•	Potencia, H.P.
$P_e$	•	Presión externa, psia. $kg/cm^2$
$P_i$	•	Presión interna, psia. $kg/cm^2$
$P_l$	•	Presión diferencial, mm. de Hg, lb/pulg <sup>2</sup>
$P_o$	•	Presión de trabajo, mm. Hg.
$P_t$	•	Peso total, lbs, kgs.
$P_v$	•	Peso de vapores lbs. hr.
$Q_v$	•	Caudal desplazado lbs. hr.
$R$	•	Radio, pulgs. cms.
$R_d$	•	Factor de incrustación hr. $pies^2 \cdot F/Btu$ .
$S$	•	Esfuerzo máximo permisible lb/pulgs <sup>2</sup> , $kg/cm^2$
$S_s$	•	Esfuerzo constante en la flecha, lb/pulg <sup>2</sup>
$T$	•	Tiempo, horas.
$T_c$	•	Momento de torsión, lb. x pulgs.
$T_a$	•	Temperatura media del agua °C, °F.
$T_f$	•	Temperatura de la película °C, °F.
$T_h$	•	Espesor de placa, pulgs. mm.
$T_w$	•	Temperatura de la pared °C, °F.
$T_1, T_2$	•	Temperatura de entrada y salida °C, °F.
$T_v$	•	Temperatura de ebullición del ácido acético °C, °F.
$U_c, U_d$	•	Coefficiente total de transmisión de calor limpio y de diseño $Btu/hr. pie^2 \cdot F$ , $K-cal/hr. M^2 \cdot C$ .
$U_s$	•	Coefficiente de subenfriamiento $Btu/hr. pie^2 \cdot F$ , $K-cal/hr. M^2 \cdot C$ .
$V$	•	Volumen, lbs, gals.

$\omega$	-	Velocidad angular R.P.M.
$\omega_p$	-	Velocidad periférica pies/min.
$\dot{V}$	-	Peso perdido, gramos.
$\dot{V}_a$	-	Volumen de agua lbs/hr., kgs/hr.
$\omega_s$	-	Ancho de paleta pulps, cms.
$z$	-	Cabeza estática, pies, cms.
$\rho$	-	Densidad lbs/pie <sup>3</sup> , kgs/cms <sup>3</sup> , grs/cms <sup>3</sup>
$\mu$	-	Viscosidad $\text{Cp}$
$\phi$	-	Espesor, mm, pulps.
$\mu_1$	-	Viscosidad del líquido que condensa a la temperatura de la película lbs/pie seg.
$\Delta P$	-	Caída de presión total lbs/pulg <sup>2</sup> , kgs/cm <sup>2</sup>
$\phi_v$	-	Razón de viscosidades.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) ASME - "ASME CODE FOR UNFIRED PRESSURE VESSELS" - American Soc. Mechanical, Engineers. - New York - 1952 y 1956.
- (2) BROOKFIELD - SYNCHRO-ELECTRIC VISCOMETER - Brookfield Engineering Lab. Stoughton, Mass. U. S. A.
- (3) BROW & ASSOCIATES - "UNIT OPERATIONS" - Jhon Wiley - New York 1958.
- (4) BROWNELL E.L., YOUNG H.E - PROCESS EQUIPMENT DESIGN - Jhon - Wiley & Sons Inc. New York - 1959.
- (5) CHEMICAL ENGINEERING - CHEMICAL ENGINEERING "LIQUID MIXING" - January 7 of 1964 - N° 17, Vol. 71.
- (6) CRANE - TECHNICAL PAPER 410 - "FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTING AND PIPE" - 1957.
- (7) DELANTUM - Catálogo 180-C - HEAT EXCHANGER DELANTUM GRAPHITE. - 196
- (8) EVA MEX - Catálogo General - MOTORREDUCTORES EVA MEX - MEXI CO, D.F. - 1962.
- (9) FAIRES V.M. - "ELEMENTOS DE DISEÑO DE MAQUINAS" - McMillan - Company - New York - 1960.
- (10) HOLLAND F.A & CHAPMAN F.S. - "LIQUID MIXING AND PROCESSING IN - STIRRED TANKS" - Leaver Brothers - Company - New York - 1966.

- (11) IRVING C. G. - "PROCESS HEAT TRANSFER" - Mc Graw Hill - New York  
1950.
- (12) LIGHTNING MIXER - HULLITON H-501, SERIES S.E. - Mixing Equipment  
Co., Inc. - Rochester, N.Y. 14603
- (13) CHEWIS E. HERBERT - "TYPICAL PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PE-  
TROCHEMICAL PLANTS" VOL. I "MIXING OF FLUIDS"  
Gulf Publishing Company - Houston, Tex - 1964
- (14) MARKS S.L. - MECHANICAL ENGINEER'S HANDBOOK, FIFTH EDITION - Mc  
Graw Hill Company Inc. - New York - 1951.
- (15) TERRY J.R. - CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK, FOURTH EDITION - Mc  
Graw Hill - New York - 1963.
- (16) TOLHURST - CATALOGUE N° 1M - "CENTRIFUGAL TOLHURST" - American -  
Tool & Machine Company - New York - 1959.
- (17) WEBER A.P. - "SELECTING TURBINE AGITATOR" - Chemical Engineering  
December 7 of 1964.
- (18) WORTHINGTON - CATALOGUE N° 2005 - BI - "CENTRIFUGAL PUMPS" -  
Worthington Corp. Harrison, New Jersey.