

7658.65  
MAZ.

Diseño de una Planta destinada a la preparación de  
Insecticidas y Pesticidas para uso Agrícola.

TESIS DE GRADO  
Previa a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico.

*Presentado por:*

**Julio Enrique Marchán Pérez**

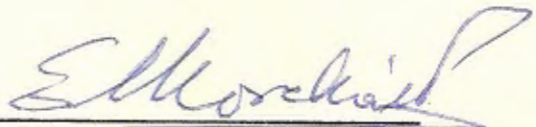
Egresado de la Escuela Superior  
Politécnica del Litoral.

GUAYAQUIL, AGOSTO DE 1973

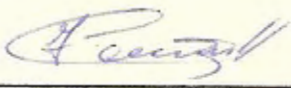
DI SEÑO DE UNA PLANTA DESTINADA A LA PREPARACION  
DE INSECTICIDAS Y PESTICIDAS PARA USO AGRICOLA

DISEÑO DE UNA PLANTA DESTINADA A LA PREPARACION  
DE INSECTICIDAS Y PESTICIDAS PARA USO AGRICOLA

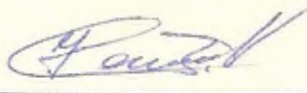
A U T O R

  
\_\_\_\_\_  
JULIO E. MARCHAN PEREZ

CERTIFICADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
INGENIERO MECANICO  
FREDDY CEVALLOS  
DIRECTOR DE TESIS

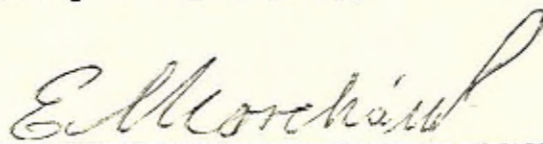
ACEPTADA POR

  
\_\_\_\_\_  
INGENIERO MECANICO  
FREDDY CEVALLOS  
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO  
DE INGENIERIA MECANICA

El patrimonio intelectual de la presente  
Tesis de Grado pertenece a la Escuela Su  
perior Politécnica del Litoral.

La responsabilidad por todos los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente al autor. ( Artículo 6º del reglamento de exámenes y títulos profesionales.)

Firma

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'E. Marchán', written over a horizontal line.

Julio Enrique Marchán Pérez

El autor de este trabajo deja constancia de agradecimiento a los profesores del departamento de Ingeniería Mecánica, especialmente al ingeniero Freddy Cevallos Director de Tesis por su valiosa cooperación en el proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos para mi apreciado amigo Ing. Marcos Ribadeneira Jones por su valiosa ayuda para la culminación de esta obra.

A mis padres y hermanos

## CONTENIDO

- I.- DESCRIPCIÓN GENERAL
- II.- FACTIBILIDAD DEL PROYECTO
  - a.- Materia prima
  - b.- Análisis de manufactura
  - c.- Productos elaborados
  - d.- Estudio de mercado
- III.- SELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN
  - a.- Condiciones climáticas
  - b.- Mano de obra
  - c.- Energía eléctrica
  - d.- Vías de comunicación
  - e.- Aprovechamiento de agua
  - f.- Terreno
- IV.- CAPACIDAD DEL PROYECTO
  - a.- Antecedentes
  - b.- Capacidad inicial
  - c.- Posibilidades de expansión
- V.- INGENIERÍA DEL PROYECTO
  - a.- Diagrama de flujo
  - b.- Selección de la maquinaria
  - 1.- Cálculo de las capacidades de las bombas
  - 2.- Cálculo y determinación de las tuberías
  - 3.- Determinación de los equipos de control
  - 4.- Cálculo y determinación de los filtros
  - c.- Distribución de equipos
  - d.- Diseño y cálculo de los intercambiadores de calor  
Diseño y cálculo de las bases y estructuras de los depósitos.
  - e.- Control de calidad
  - f.- Técnica de seguridad de la planta
- VI.- ANÁLISIS FINANCIERO
  - a.- Inversión y costos de obra; equipos y materiales; financiación y período de prueba.
  - b.- Operación; administración; personal; flujo de materia prima; mantenimiento e ingreso de producción
- VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- VIII.- APÉNDICE: Planos, Diagramas, Bibliografía y Anexos.



## LISTA DE SIMBOLOS

A = Area  
A = Factor tamaño  
BHP = Potencia areal  
c = Capacidad  
cp = Calor específico  
D = Diámetro  
Ø = Diámetro  
e = Aspereza absoluta  
e/D = Aspereza relativa  
E = Módulo de elasticidad  
E = Eficiencia de la unión  
f = Coeficiente de fricción  
F = Factor corrección  
g = Gravedad  
ge = Gravedad específica  
Ht = Columna hidráulica ó cabeza total  
Hs = Cabeza estática  
hf = Pérdidas por fricción  
he = Pérdidas de entrada  
hex = Pérdidas de salida  
H = Altura  
h = Coef. de transferencia de calor  
h = Coeficiente de película  
hd = Coeficiente de escala  
h = Altura de la base de un tanque  
h = Entalpía  
I = Momento de inercia  
K = Factor de diámetro  
k = Conductividad térmica  
LHP = Potencia ideal  
L, l = Longitud  
M = Factor de seguridad  
M = Momento flector  
Nr = Número de Reynolds  
N = Velocidad

Nst = Número de Stanton  
Npr = Número de Prandtl  
Nnu = Número de Nusselt  
p = Presión  
p = Incremento de presión  
Q = Razón de flujo  
q = Razón de flujo de calor transferido  
r = Radio  
Rc = Radio de la corona  
St = Esfuerzo tensor  
Sc = Esfuerzo Compresor  
Ss = Esfuerzo de corte  
Sy = Esfuerzo permisible  
Sd = Esfuerzo de diseño  
s = Espacio entre tubos  
t = Espesor  
T = Temperatura  
 $\Delta T$  = Incremento de temperatura  
 $\Delta T_m$  = Temperatura logarítmica media  
U = Coeficiente global de transferencia de calor  
V = Velocidad  
w = Peso  
w = Razón de flujo  
y = Deflección  
Z = Energía potencial  
Z = Cabeza estática  
GPM = caudal  
R = Resistencia térmica  
 $\eta$  = Eficiencia  
 $\rho$  = Densidad  
 $\nu$  = Viscosidad cinemática  
 $\mu$  = Viscosidad dinámica

## DISEÑO DE UNA PLANTA DESTINADA A LA PREPARACION DE INSECTICIDAS Y PESTICIDAS PARA USO AGRICOLA

### I.-DESCRIPCION GENERAL

La estructura económica del Ecuador se ha basado tradicionalmente en la agricultura. Más de un cincuenta por ciento de la población se dedica a las labores agrícolas, permitiendo que los productos que son exportados constituyan la base de la economía nacional.

Desde 1870 hasta 1922 el Ecuador fue el primer país exportador de cacao, hasta que una peste muy conocida diezmo casi todas las plantaciones. Desde 1952 el cultivo del banano se ha desarrollado en gran escala, permitiendo a nuestro país ocupar el primer puesto en la exportación.

El Ecuador ha tenido el privilegio de no ser atacado por fenómenos naturales del tipo de los huracanes, pero en cambio males y pestes han ido apareciendo poco a poco en los sembríos de los diferentes productos, siendo el banano una de las plantas más afectadas por parásitos que aparecen ya sea en el subsuelo ó en la planta misma.

Para combatir las diversas pestes de la agricultura, el gobierno y entidades privadas han desarrollado un amplio plan de exterminación, empleando numerosos compuestos químicos del tipo de insecticidas, cuya bondad ha sido muy efectiva en la mayoría de los casos. El control químico ha introducido cada vez medidas más eficaces para obtener niveles más estables de producción.

Existe una gran cantidad de pesticidas, los cuales están clasificados de acuerdo al tipo de organismo a combatir, divididos así en insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.

Con el advenimiento de los pesticidas sintéticos, el control de los diferentes males que afectan a las plantaciones ha sido más efectivo, en la mayoría de los casos eliminándolos completamente.

El desarrollo e investigación de la serie de hidrocarburos clorinados y toxafenos se llevó a cabo a partir de los estudios realizados sobre el DDT en 1940.

Una segunda serie basada en la estructura de los organofosfatos contiene compuestos tales como parathion, malathion y diazimon. Estos compuestos químicos son empleados mayormente en la fumigación de cultivos afectados por insectos ó plantas parásitas. Mediante el control químico se ha logrado una constante prevención de pérdidas en las cosechas, consiguiendo también mejor calidad del producto y menores gastos en la producción.

El principal objeto de este proyecto consiste en diseñar si no bien una planta elaboradora de insecticidas con todos los detalles, por lo menos las características de las principales secciones de proceso del producto.

## CAPITULO II

### FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

#### a. - Materia Prima

En el proyecto se empleará materia prima nacional e importada.

Los descubrimientos de petróleo llevados a cabo en 1.967 y comenzados a explotar recientemente, permitirán utilizar algunos de los derivados en el proceso de este proyecto, tales como el alcohol metílico ó metanol y el tolueno.

#### Alcohol Metílico ó Metanol.-

Es un líquido inflamable, claro, incoloro, móvil, volátil y venenoso. Es soluble en agua. El punto de fusión es de  $-97,8^{\circ}\text{C}$ ; el punto de ebullición es  $64,7^{\circ}\text{C}$ .

Se lo obtiene por síntesis catalítica a presión elevada a partir del monóxido de carbono e hidrógeno y en la forma más usual, por la oxidación parcial de hidrocarburos del gas natural. La gravedad específica es de 0,81. A continuación se seguirá describiendo cada uno de los componentes que toman parte en el proceso.

Tolueno (CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>).- Es un líquido incoloro, refractario e inflamable. Punto de fusión, -94,5°C.; punto de ebullición, 110,7°C Se lo obtiene principalmente a partir de la destilación del petróleo. La gravedad específica es de 0,89.

Otros componentes tales como el Pentasulfito de fósforo (P<sub>2</sub>S<sub>5</sub>) y Diethylmaleate (D.E.M.) serán importados.

El P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> es un compuesto de consistencia arenosa de color blanco deliciente y amorfo. La gravedad específica es de 2,0 y el punto de sublimación es de 250°C.

El Diethylmaleate es un éster, ó sea un compuesto que resulta de sustituir átomos de hidrógeno de un ácido por radicales alcohólicos. La distribución exclusiva de este compuesto la tiene la firma PRAMID de Morristown, N.J., USA.

#### b) ANALISIS DE MANUFACTURA

La producción de insecticidas para uso agrícola es una industria de proceso continuo, pero ya que el presente proyecto es de una industria naciente, se trabajará ocho horas diarias durante seis días de la semana, 330 por año. Este horario se cumplirá por lo menos durante el primer período de funcionamiento. Este tipo de producción encierra una consecuencia de integración, es decir que de la unión de varios materiales resulta un nuevo producto el cual no se encuentra en estado natural. En el transcurso de preparación del producto se realizarán las siguientes fases: ( Ver diagrama # 1 )

1.- Preparación de ácido; 2.- Condensación y lavado; 3.- Purificación y terminado y 4.- Embase y almacenamiento.

Durante la primera etapa de proceso, el reactor se carga con Pentasulfito de fósforo (P<sub>2</sub>S<sub>5</sub>) y Metanol(CH<sub>2</sub>OH). Estos dos compuestos se agitan durante 90 minutos para formar Dimethylerephthalate (DMT). De la reacción de esta mezcla se desprende sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), elcual es expelido desde la parte superior del reactor hacia el exterior , incinerándose en el momento de la descarga.

Al compuesto obtenido anteriormente le agregamos Tolueno para estabilizar más el ácido fosfórico. La reacción se verifica a presión y temperatura atmosféricas. El compuesto en estas condiciones es filtrado para separar las partículas no disueltas e impurezas antes de pasar al respectivo tanque de almacenamiento.

En la segunda etapa se agregan al mismo reactor DMT ácido y DEM. Esta reacción tiene lugar bajo una atmósfera de vacío a una temperatura de 212°F. Para esta operación la cobertura del reactor se calienta con vapor. Como resultado de este proceso se obtiene el producto en estado crudo. Un exeso de tolueno que se evapora en esta reacción es luego recuperado. Continuando con la operación, el producto crudo pasa a través del lavado en donde una solución de soda y agua ionizada diluyen los residuos e impurezas existentes. Luego el producto se lo traslada a un tanque de almacenamiento por intermedio de una bomba. En el siguiente paso de la operación el producto se calienta por intermedio de un calentador hasta alcanzar una temperatura de 230°F.

En estas condiciones se llega a la etapa de purificación en la cual el producto pasa a través de una columna de separación en la cual se purifica. Por intermedio de este proceso las impurezas se depositan en la parte superior y el producto ya apto para el consumo se lo deposita en un tanque de almacenamiento ó directamente en algún medio de transporte.

#### a) ESTUDIO DE MERCADO

Por información obtenida en las oficinas de la Dirección General del Banano y Frutas Tropicales, en el programa relacionado con los plaguicidas a utilizarse durante la campaña fitosanitaria 1971 - 1972, se solicitaron 206.000 Kgs. y 236.231 Gls. de diferentes plaguicidas para el programa nacional del banano, según lo demuestra la información adjunta (ver anexo #1). En dicho informe se puede apreciar que casi todos los pesticidas a utilizarse tienen procedencia extranjera.

Se podría hacer realidad éste en beneficio de la industria nacional y también como fuente creadora de nuevos trabajos amparados en la Ley de Desarrollo Industrial, promulgada en 1967 la cual ofrece crédito y asistencia técnica en favor de las nuevas empresas productoras. Desde 1962, el gobierno ha encargado oficialmente al Centro de Desarrollo Industrial, CENDES, la función de asistir en el programa de implantación de nuevas industrias que podrían operar con éxito en el Ecuador.

En menos de una década no menos de 260 nuevas empresas industriales recibieron beneficios dentro de este plan de ayuda económica y técnica. Así tenemos que en Quito se estableció la industria Ecuatoriana de Piretro, destinada a producir insecticidas de uso doméstico, para cuyo proyecto se invirtió la cantidad de 6.500.000 sucres.

Para el presente proyecto, a más de la asistencia técnica del organismo antes mencionado, se ha tomado también en cuenta el diseño y proceso empleados por la firma PRAMID, situada en Morristown, N.J., que elabora un producto similar.

#### e) PRODUCTOS ELABORADOS

El diseño de la planta se basa en la producción de un pesticida del tipo Malathion, el cual tendrá un volumen anual de producción igual a 5'000.000 de libras. Tan solo pequeñas variaciones en el proyecto se requerirían para la producción de pesticidas del tipo Parathion, Toxafeno, Strobane, etc.

Este producto es también considerado como un intermedio de la materia prima básica usada con frecuencia en la producción de compuestos y fórmulas que se expenden en el mercado en enbases del tipo Aerosol.

Después de terminada la elaboración, el insecticida será depositado en tanques de almacenamiento para de allí envasar en pequeños tanques de 55 galones ó también en carros tanques que transportarán el producto a los lugares de consumo.



## CAPITULO III

### SELECCION DE LOCALIZACION

Para seleccionar el posible sitio de erección del proyecto se han tomado en consideración factores económicos y técnicos que determinarían el sitio de localización de la planta.

Referente a los factores técnicos, hay que analizar los factores primarios y específicos. Entre los factores específicos se mencionara las vías de comunicación para el fácil acceso al centro de producción, mano de obra, características del terreno, a-provisionamiento de agua, clima, etc.

Entre los factores primarios se tomará en cuenta la provisión de materia prima, recursos energéticos, mercados de consumo, com-petencia, etc.

Tres lugares fueron analizados para el sitio de localización de la planta, Guayaquil, Babahoyo y Esmeraldas, en base a la pro-ducción agrícola existente en dichas zonas.

De estas tres zonas, la que ofrece las mejores condiciones co-mo centro manufacturero y productor es la ciudad de Guayaquil en las zonas aledañas, por las siguientes razones:

- 1.- Encontrarse en la parte central de los centros de producción como son las zonas de El Oro, Quevedo, Babahoyo, Santo Domingo, Esmeraldas, etc. co las cuales se puede enlazar mediante las dife-rentes vías de comunicación.
- 2.- El carácter de puerto marítimo y fluvial permite la fácil en-trada de maquinaria y materia prima procedente del exterior.
- 3.- Se puede obtener fácilmente la mano de obra necesaria para los diferentes trabajos a realizarse, ya sean de tipo obrero o profesional.

Se puede anotar también que esta región posee condiciones a-propiadas para la construcción de cualquier tipo de edificio ya que no es un terreno pantanoso.

En cuanto a condiciones metereológicas, las temperaturas os-cilan entre 18,2°C y 35°C. Los vientos tienen una velocidad máxi-ma de 18,4 Km/hr\*.

---

\* Ver referencia #

La ubicación más precisa dentro del área de Guayaquil podría ser en la vía a Daule, en los lugares cercanos a la población de Pascuales.

De acuerdo al Pre-Plan General Urbano de Guayaquil, aprobado por el Consejo de la ciudad, se puede observar las zonas industriales, una de las cuales coincide con el sitio de elección, según se puede ver en el plano # 1

Este sitio por la proximidad al río Daule proveerá el agua necesaria para los diferentes procesos de la planta. El agua potable es también de fácil obtención.

La energía eléctrica está bastante próxima al sitio de la planta.

La materia prima se la puede obtener en el mercado local y en el exterior como se mencionó anteriormente.

El mercado consumidor lo constituirán todos los centros productores de banano y frutas tropicales. También se podría vender el artículo a pequeñas industrias productoras de repelentes y productos aromáticos.

Para evitar el problema de la contaminación, la planta dispondrá del equipo necesario que exige la técnica moderna para una industria química.

Como competidores citaremos a Insecticidas del Ecuador y Ecuatoriana de Piretro, ambas compañías situadas en Quito y a las diversas casas importadoras que adquieren el producto principalmente en EE.UU. y Alemania.

## CAPITULO IV

### CAPACIDAD DEL PROYECTO

Antecedentes: Con la información obtenida en las oficinas de la DIRECCION NACIONAL DEL BANANO, dijimos anteriormente que fueron necesarias 206.000 Kgs. y 236.231 Gls. de distintos compuestos, los cuales equivalen a 6'819.510 libras de pesticidas.

Capacidad Inicial: En base de estos datos se puede presentar para el presente proyecto las siguientes características de operación y producción:

Producción Anual	5'.000.000 lbs.
Aplicación	Turnos regulares de 8 horas ó más
Días laborales	330 por año
Producción diaria	$\frac{5'.000.000}{330} = 15.150$ lbs.

Este estimado podría ser variado de acuerdo a las exigencias del proyecto. Se ha tomado como base tal cantidad ya que en una primera etapa la competencia será interna e intensa.

Posibilidades de expansión: Se tratará de una posibilidad de expansión después del primer año de producción.

El producto a elaborarse está dentro de la categoría de insecticida y herbicida en estado líquido.

## CAPITULO V

### INGENIERIA DEL PROYECTO

El análisis de mercado realizado anteriormente ha permitido estar en condiciones de producir pesticidas para consumo interno.

#### Análisis de Producción, Datos de Laboratorio y Especificaciones

Con datos obtenidos en el laboratorio de investigación química de PRAMID, ha sido posible realizar algunos cálculos referentes al balance del material a utilizarse.

Se sabe ya de antemano la materia prima a emplearse al hablar de la factibilidad del proyecto .

#### PROCESO CUALITATIVO

El diagrama # 1 nos da una idea del proceso cualitativo a seguirse en el diseño de la planta, el cual consta de las siguientes etapas: Preparación del ácido; condensación y lavado; purificación y terminado; envase y almacenamiento, las cuales ya fueron mencionadas al hablar del análisis de manufactura.

#### BALANCE DEL MATERIAL

Para tener una idea del balance del material y del flujo entrante y saliente, se ha hecho referencia a un ejemplo básico obtenido de la colega de N.J., la cual presento los siguientes datos:

##### FLUJO ENTRANTE

Materia prima:	peso
P2S5	222,34 lbs.
CH3OH	128,16 "
CH3C6H5	35,00 "
D.E.M.	310,00 "
	<u>695,50 "</u>

##### FLUJO SALIENTE

Productos:	peso
Malathion	661,50 lbs.
H2S (se incinera)	34,00 "
	<u>695,50 "</u>

Con estos datos y conociendo la producción anual y diaria se puede establecer las proporciones de materia prima a emplearse.

695,50 lbs. de materia prima producen 661,50 lbs. de insecticida ( 34,00 lbs. de H<sub>2</sub>S se incineran). Luego para las 15.150 lbs. de producción diaria se necesitarán 15.907 lbs. de materia prima

$$\frac{695,50 \times 15.150}{661,50} = 15.907 \text{ lbs.}$$

Pentasulfito de Fósforo P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> :  $\frac{222,34 \times 15.907}{695,50} = 5100 \text{ lbs.}$

Metanol CH<sub>3</sub>OH  $\frac{128,16 \times 15.907}{695,50} = 2.863 \text{ lbs.}$

Tolueno CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>  $\frac{35 \times 15.907}{695,50} = 795 \text{ lbs.}$

DEM  $\frac{310,00 \times 15.907}{695,50} = 7.100 \text{ lbs.}$

Para tener una idea más clara acerca del diagrama de flujo se ha confeccionado un diagrama ( #2 ) en el cual se puede apreciar el flujo del material con los equipos e instrumentos.

#### SELECCION DE LA MAQUINARIA

Este tópicó requiere de especial atención por el trabajo al que será sometida como también en ella empleada. Para facilitar la selección y clasificación de la maquinaria y equipos se ha analizado las diversas partes que intervienen en cada una de las etapas del proceso.

Las dimensiones y demás especificaciones referente a la maquinaria y equipos están anotadas en la sección referente a Maquinaria , Equipo y Costos.

En la primera etapa se utilizará un tanque para almacenar Tolueno de acero carbón, un tanque para el Diethylmaleate, también de acero carbón. Cada uno de estos depósitos dispondrá de la respectiva bomba para abastecer a las otras secciones del proceso, cuyas características y capacidades se mencionará en el capítulo respectivo.

El acero carbón ó acero al carbono es un acero que debe las características a la proporción de carbono contenida sin expresar el mínimo porcentaje de otros metales. El acero al carbono está dividido en tres grupos. 1.- El grupo de bajo contenido de carbono; 2.- Acero de maquinaria y 3.- Acero de herramientas, en el cual el contenido de carbono es alto.

En el primer grupo la proporción de carbono alcanza hasta 0,30%. Es uno de los materiales más usados en la industria por la excelente ductibilidad como también por la facilidad de aplicar soldadura.

Para mezclar en proporciones adecuadas metanol y tolueno se dispondrá de los respectivos tanques volumétricos, cuyo material será el mismo acero carbón de bajo contenido de carbono.

El pentasulfito de fósforo será transportado hacia la tolva mediante una banda transportadora de acero inoxidable 304, de este lugar el producto irá al reactor mediante un transportador tipo tornillo de acero inoxidable 304 (Ver diag. # 3)

El acero inoxidable 304 contiene una proporción baja de carbono, 0,08%. Es menos propenso a deteriorarse por efecto de la corrosión. Se usa mayormente en la construcción de equipo químico incluyendo tubería y demás componentes, evaporadores.

El reactor químico en el cual reaccionan  $P_2S_5$  y  $CH_3OH$  para formar el DMT ácido es de acero carbón revestido de vidrio con una capacidad de 600 a 1.000 galones. El contenido del reactor será removido por un agitador.

El DMT es transferido desde el reactor al respectivo tanque de almacenamiento mediante una bomba construida de acero inoxidable 316, pasando primeramente por un filtro de hoja simple de acero inoxidable 316 ya que la operación requiere de filtración para eliminar las impurezas.

El DMT ácido es transportado de nuevo al reactor por intermedio de una bomba de acero inoxidable 316 para la segunda fase. El sulfuro de hidrógeno se quema en un incinerador de acero inoxidable 316.

El DEM que se vierte en el reactor en unión del DMT ácido emplea otra bomba de acero inoxidable 316.

El DEM a igual que el DMT ácido tienen también el respectivo tanque volumétrico de acero carbón revestido de vidrio.

El reactor descarga por intermedio de una bomba a un tanque receptor de Malathion crudo de acero inoxidable 316. El producto es luego transferido al tanque de lavado el cual está construido de acero inoxidable 316 combinado con acero carbón. Este tanque está provisto de un agitador de acero inoxidable 316.

Una vez que el producto ha sido tratado en la operación del lavado, es receptado en un envase de acero inoxidable 316, este proceso requiere la acción de una bomba del mismo material que las anteriores. Luego el producto es enviado al precalentador construido con tubos de acero inoxidable y coraza de acero carbón. Acto seguido el producto es transportado hacia una columna de separación para la purificación final. Este dispositivo trabaja en conjunto con un sistema de vacío que produce una presión negativa de 15 psig. Luego el líquido es depositado en un tanque de acero inoxidable 316. Continúa con el proceso el producto es enviado al enfriador del tipo coraza y tubos desde donde se lo envía a un tanque de almacenamiento intermedio finalizando así la tercera etapa.

Por último, en la cuarta etapa el producto es envasado en recipientes menores ó en carros tanque por intermedio de una bomba centrífuga de acero inoxidable 316. En esta etapa se usará también una balanza que tenga una tolerancia de  $\pm 0,1$  lb.

El acero inoxidable 316 posee resistencia superior para la corrosión química ya que en la composición esta presente molibdeno en la proporción de 18 - 8.

## 1.- CALCULO DE LAS CAPACIDADES DE LAS BOMBAS.

### Control de flujo ó Capacidad

Uno de los términos más empleados en hidráulica es la ecuación de la continuidad, la cual se basa en el principio de que en cualquier sistema establecido de flujo continuo, el peso de fluido por unidad de tiempo en cualquier punto es constante.

Ya que la mayoría de los líquidos son considerados incomprensibles, la ecuación de la continuidad se expresa así:

$$Q = AV \quad (1)$$

Q = Flujo, pies cúbicos por segundo

A = Area seccional, pies cuadrados

V = Velocidad, pies por segundo

La velocidad se expresa también en la siguiente forma:

$$V = \frac{0.34 Q}{a} \quad (2)$$

a = Area de la tubería

### INCREMENTO DEL CONTENIDO DE ENERGIA

También conocido como columna ó altura de fluido circulante, es igual a la energía por unidad de peso del fluido. Se expresa por unidades de longitud. La columna hidráulica puede expresarse bajo tres formas que son:

1.- Altura potencial ó estática que puede ser positiva ó negativa según se trate de una columna de succión ó descarga respectivamente.

2.- Columna hidráulica cinética ó de velocidad que es la energía por unidad de peso del fluido debido al movimiento.

3.- Columna hidráulica de presión, que es la energía por unidad de peso del fluido debido a la presión.

Se define columna hidráulica total  $H$ , a la diferencia total de energía entre los puntos de succión y descarga de la bomba, está expresada por la fórmula:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{w} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) \quad (3)$$

---

\* Ver referencia # 1



p = presión

v = velocidad

z = energía potencial

Potencia ó fuerza requerida : El trabajo realizado por una bomba depende de la columna hidráulica total y del peso ó volumen del fluido a ser tratado en un determinado tiempo, se expresa por la fórmula:

$$\frac{\text{LHP} \cdot \text{WH}}{33.000} \quad \text{ó} \quad \frac{\text{GPM} \times \text{H} \times \text{sg}}{3960} \quad (4)$$

W = peso del líquido bombeado por minuto.

H = columna hidráulica total, en pies.

sg = gravedad específica del líquido tratado.

Eficiencia.- La eficiencia de la bomba está dada por la relación del poder indicado ó teórico LHP al poder impuesto a la bomba BHP.

$$\text{Eficiencia } \eta = \frac{\text{LHP}}{\text{BHP}} \times 100 \quad (5)$$

LHP = Potencia teórica del líquido

BHP = Potencia real de entrada ó potencia requerida \*

$\eta$  = Eficiencia de la bomba

Para efectuar una selección apropiada de un sistema de bombas, se tomará en cuenta primeramente la capacidad ó razón de flujo al cual deberá trabajar. Una bomba es tan solo una parte integrante del sistema de maquinaria. Es necesario realizar un estudio general de todo el sistema para obtener la adecuada disposición de equipos que satisfaga tanto económica como técnicamente.

El diagrama # 3 muestra un posible arreglo del sistema de tuberías y equipos principales empleados en la instalación de la planta.

Primeramente se analizará la bomba destinada a transportar metanol, desde el tanque principal de almacenamiento situado a 128 pies del edificio hasta el respectivo tanque volumétrico situado en el primer piso del edificio a 15 pies de altura.

\*Ver referencia # 2

Para encontrar la cabeza de trabajo de la bomba, se aplica la fórmula # (3).

Ya que las secciones de succión y descarga de la bomba están expuestas a la presión atmosférica, la cabeza total estática  $H$ , será igual a la diferencia vertical de elevación entre estas dos secciones tomando como línea de referencia el eje de la bomba.

De acuerdo a esta especificación

$$H = Z_2 - Z_1$$

$$Z_2 = \text{Cabeza estática de descarga} = 24 \text{ pies}$$

$$Z_1 = \text{ " " " succión} = 2 \text{ pies}$$

Luego:

$$H = 24 - 2 = 22 \text{ pies}$$

La bomba que transporta tolueno hace el mismo recorrido que la anterior. Las dimensiones son:

$$Z_2 = 21 \text{ pies}$$

$$Z_1 = 2 \text{ pies}$$

$$H = 21 - 2 = 19 \text{ pies}$$

Utilizando el mismo procedimiento se encuentra la cabeza de trabajo para las demás bombas del sistema.

Para transportar el éster Diethylmaleate (DEM) hasta el reactor se procurará tener la misma cabeza estática de succión.

$$Z_1 = 2 \text{ pies}$$

$$Z_2 = 18 \text{ pies}$$

$$H = 18 - 2 = 16 \text{ pies}$$

Bomba situada entre el reactor y el filtro:

$$Z_1 = 5,5 \text{ pies}$$

$$Z_2 = 1 \text{ pie}$$

$$H = 5,5 - 1 = 4,5 \text{ pies}$$

La función principal de esta bomba será forzar el líquido DMT desde el reactor hacia el filtro y también desde el reactor al tanque de lavado en la segunda etapa.

Bomba para transportar DMT.- En fluido circula desde el tanque de almacenamiento hasta el reactor. Las características son:

$$Z1 = 1 \text{ pies}$$

$$Z2 = 3 \text{ pies} \quad H = 3 - 1 = 2 \text{ pies}$$

Bomba situada entre el tanque de lavado del producto y el tanque de almacenamiento del mismo.

$$Z1 = 2 \text{ pies}$$

$$Z2 = 6 \text{ pies} \quad H = 6 - 2 = 4 \text{ pies}$$

Bomba situada entre el tanque del producto crudo y el precalentador

$$Z1 = 2 \text{ pies}$$

$$Z2 = 13 \text{ pies} \quad H = 13 - 2 = 11 \text{ pies}$$

Bomba situada entre el tanque del producto caliente y el enfriador.

$$Z1 = 1 \text{ pie}$$

$$Z2 = 2 \text{ pies} \quad H = 2 - 1 = 1 \text{ pie}$$

Bomba situada entre el enfriador del producto y el tanque de almacenamiento del producto terminado.

$$Z1 = 2 \text{ pies}$$

$$Z2 = 13,5 \text{ pies} \quad H = 13,5 - 2 = 11,5 \text{ pies}$$

Para calcular la cabeza total de trabajo en la bomba hay que calcular también las pérdidas por fricción en el sistema de tuberías considerando al líquido incomprensible que fluye a través de un conducto cerrado. En hidráulica las cañerías ó tuberías son considerados como conductos cerrados de sección transversal circular que conducen flujo a baja presión.

Para el caso de flujo adiabático,  $Q_{12} = 0$  y  $Wk_{12} = 0$  sin cambios de energía interna  $U_2 = U_1$ , la ecuación de la energía para un líquido está dada por la siguiente formula:

$$\frac{P_2}{W} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_1}{W} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \quad (6)$$

conocida con el nombre de Ecuación de Bernoulli, aplicable a casos de flujo constante en tuberías, cañerías y canales abiertos.

Ya que el fluido realiza trabajo contra la fricción, la ecuación anterior es modificada en la siguiente forma:

$$\frac{P_2}{W} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_f = \frac{P_1}{W} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \quad (7)$$

En donde  $H_f$  representa las pérdidas de energía causadas por cambios de área en la tubería, acoples, pérdidas friccionales, pérdidas de entrada, etc., llamándose también a este término cabeza de fricción.

Se sabe que existe dos clases de flujo: laminar y turbulento. El flujo laminar es característico para un fluido de alta viscosidad, fluyendo a baja velocidad a través de un canal.

Para líquidos a diferente temperatura existe una línea divisoria entre flujo laminar y turbulento. Esto puede ser expresado en términos de flujo - velocidad.

La expresión conocida como Número de Reynolds:

$$NR = \frac{\text{Fuerzas de Inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}}$$

Es una relación no dimensional y proporcional entre las fuerzas de inercia y fuerzas viscosas. Se expresa mediante la fórmula:

$$NR = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{o} \quad NR = \frac{V D}{\nu} \quad (8)$$

$\rho$  = densidad del fluido que atraviesa la cañería

$V$  = velocidad promedio de la cañería

$D$  = diámetro interno en la cañería

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido

El flujo se considera laminar cuando el valor de NR es menor ó igual a 2000. El flujo es turbulento cuando NR es mayor ó igual que 3.000. La velocidad crítica está entre estos dos límites. Cuando predominan las fuerzas de inercia el flujo es turbulento.

#### PERDIDAS POR FRICCIÓN

La resistencia de un fluido a través de la tubería se ex-

presa por medio de la ecuación de Darcy - Weisbach.

$$hf = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

$l$  = longitud de la tubería incluyendo la línea central de las válvulas y acoples.

$D$  = diámetro interior de la tubería

$V$  = velocidad promedio del fluido en la tubería, pies por segundo.

$g$  = aceleración debido a la gravedad, 32,17 pies/segundo<sup>2</sup>

$f$  = coeficiente de fricción cuyo valor está en función del diámetro y calidad de la tubería y el número de Reynolds.

$\frac{V^2}{2g}$  = energía cinética del fluido que se la llama generalmente cabeza de velocidad.

Para todos los valores de un número de Reynolds menores que 2.000 el coeficiente de fricción está específicamente dado por la relación:

$$f = \frac{64}{NR} \quad (10)$$

Para flujo turbulento, el coeficiente de fricción está dado por la expresión de Kármán, Nikuradse y Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} ( NR \sqrt{f} ) - 0,8 \quad (11)$$

Esta relación ha sido modificada por la relación de Colebrook, aplicada a una zona de transición entre un NR bajo y una sección de tubería áspera:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{e}{3,7D} + \frac{2,51}{NR \sqrt{f}} \right) \quad (12)$$

según consta en el libro de Mecánica de Fluidos de R. C. Binder pag. 115

$\frac{e}{D}$  = aspereza relativa de la pared de la tubería

$e$  = aspereza absoluta, pies

Los coeficientes de fricción determinados a partir del número de Reynolds pueden tener una variación del 10%.

Un valor de aspereza absoluta,  $e = 0,00015$  pies se usa para una tubería de acero forjado ó acero comercial estandar 40 (40S);  $e = 0,0004$  pies se usa para una tubería de acero fundido sumergido en asfalto según normas del Instituto Americano de Regulaciones (ASA).

PERDIDAS POR FRICCIÓN

Para efectuar este cálculo hay que determinar primeramente el factorfricción  $f$ .

Analizando en primer término la tubería que transportará metanol desde el tanque de almacenamiento al tanque volumétrico.

Metanol:

Consumo diario ..... 2.863 lbs.

Densidad ..... 50,5 lbs/pie<sup>3</sup>

$$\text{volumen, } V = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}} = \frac{2863 \text{ lbs.}}{50,5 \text{ lbs/pie}} = 57,26 \text{ pies}^3$$

$$57,26 \text{ pies}^3 \times \frac{7,5 \text{ galones}}{\text{pie}^3} = 429,54 \text{ galones}$$

Luego el volumen diario será de aprox. 430 galones.

Si la transportación del líquido se realiza a un ritmo de 30 galones por minuto,  $\frac{430 \text{ glns.}}{30 \text{ glns/min.}} = 15$  minutos aprox.

El tiempo requerido para la operación será de aprox. 15 minutos

Para líquidos considerados incompresibles el peso específico es constante. Luego se procede a calcular la velocidad a la cual irá el líquido en la tubería para lo cual se hace uso de la ecuación de la continuidad (1). Teniendo como datos  $Q = 30$  GPM y asumiendo que se va a emplear una tubería de acero estandar 40 de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro nominal exterior, cuyos valores reales son de 1,90" d.e. y 1,61" d.i. \* Ver ref. # 1

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{\text{GPM} \times 0,0022}{\frac{\pi}{4} (D)^2}$$

0,0022 factor de conversión para transformar GPM en pie/seg.

La fórmula anterior suele ser simplificada por la siguiente para fines de cálculo:

$$V = \frac{GPM}{2,448 D^2} = \text{pies/seg.} \quad (13)$$

Luego:

$$\frac{V}{A} = \frac{30 \text{ GPM}}{2,448 (1,61)^2} = 4,7 \text{ pies/seg.}$$

Luego se procede a calcular el número de Reynolds para este fluido. Aplicando la fórmula # 8:

$$NR = \frac{V D}{\nu} = \frac{4,7 \text{ pies/seg.} \times 1,61 \text{ pulg}/12}{1,45 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg.}} = 0,43 \times 10^5$$

$\nu = 1,45 \times 10^{-5}$  para el metanol. (pies<sup>2</sup>/seg.)

Para acero comercial 40 la aspereza absoluta tiene un valor  $e = 0,00015$  pies. La aspereza relativa  $\frac{e}{D}$  tendrá el sig. valor:

$$\frac{e}{D} = \frac{0,00015 \text{ pies} \times 12}{1,61 \text{ pulg}} = 0,0037$$

Analizando el diagrama correspondiente al NR, usando los valores de la aspereza relativa se ubica el valor correspondiente a la fricción  $f = 0,04$

Ya que se ha obtenido el valor del coeficiente de fricción se procede a encontrar el valor de la longitud total de la tubería usada en el circuito del metanol, para lo cual se analiza el plano # 3 correspondiente a tuberías y equipo del sistema. Sumando todos los tramos de tubería, comenzando desde el tanque de succión hasta el punto de descarga se tiene:

$$\text{Longitud total } L_t = 4' + 5' + 2' + 4' + 24' + 89' = 128'$$

A esta longitud se debe añadir la longitud equivalente de los acoples y válvulas del circuito. Para el presente caso se han obtenido los siguientes valores:

$$5 \text{ codos de } 90^\circ \text{ de tamaño regular} \dots\dots\dots 5 \times 7,4' = 37'$$

$$1 \text{ válvula de cheque} \dots\dots\dots = 15'$$

$$1 \text{ válvula de compuerta} \dots\dots\dots = 1,2'$$

$$\text{Las pérdidas de entrada } h_e = \frac{K V^2}{2g}$$

K = factor de diámetro.

Para una tubería de d.i. igual a 1,61" , K = 1,8

$$h_e = \frac{(1,8) \times (4,7)^2 (\text{pies/seg.})^2}{64,4 \text{ pies/seg.}^2} = 0,60 \text{ pies}$$

Pérdidas de salida:

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2g} = \frac{22,09 (\text{pies/seg.})^2}{64,4 \text{ pies/seg.}^2} = 0,34 \text{ pies.}$$

La longitud total equivalente será :

$$L_t = 128' + 37' + 15' + 1,2' + 0,60' + 0,34' = 182,84 \text{ pies}$$

$$L_t = 182,84 \text{ pies} \approx 183 \text{ pies.}$$

Con las válvulas de cheque se consigue que el flujo se mueva en una sola dirección y cualquier posible fuga se amenore.

En las válvulas de compuerta, los tipos más comunes son el de cuña y el de doble disco. Esta válvula trabaja en buenas condiciones ya sea en posición abierta ó cerrada ya que el

flujo es directo a través de esta válvula. La caída de presión es tan solo 1/50 de una válvula de globo de las mismas dimensiones.

Empleando la fórmula (9), se obtiene la pérdida de presión a lo largo de la tubería.

$$H_f = \frac{f L}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{0,04 \times 183 \text{ pies} \times 12}{1,61 \text{ pulg.}} \times \frac{22,09 \text{ pies}^2/\text{seg.}^2}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg.}^2}$$

$$H_f = 19,4 \approx 20 \text{ pies}$$

#### CALCULO DE LA CABEZA TOTAL DE TRABAJO DE LA BOMBA

$$H_t = H_s + H_f \quad (14)$$

H<sub>t</sub> = cabeza total de trabajo

H<sub>s</sub> = cabeza estática = 22 pies

H<sub>f</sub> = cabeza de fricción = 20 pies

$$H_t = 20 + 22 = 42 \text{ pies.}$$

El término cabeza total de trabajo es conocido también por algunos ingenieros como cabeza dinámica total para distinguir de cabeza total de fricción y cabeza total estática.



## DETERMINACION DE LA POTENCIA REQUERIDA

La potencia requerida por una bomba depende de la cabeza total de trabajo y del peso ó volumen del líquido a ser tratado.

La potencia ideal para un fluido, Lhp, está dada por la fórmula (4).

$$Lhp = \frac{GPM \times H \times ge}{3960} = \frac{30 \times 42 \times 0,81}{3960} = 0,26 \approx 30 \text{ HP}$$

gravedad específica del metanol  $ge = 0,81$

Generalmente la eficiencia en una bomba centrífuga es del 50%. Luego la potencia requerida en la bomba será según (5)

$$BHP = \frac{LHP}{\eta} = \frac{0,30}{0,50} = 0,60 \text{ Hp.}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que para transportar 430 galones de metanol desde el reservorio principal hasta el tanque volumétrico se necesita una bomba que conduzca el fluido a una razón de flujo de 30 GPM en un tiempo mínimo de 15 minutos.

Para una bomba centrífuga que presente las condiciones anteriores: cabeza de trabajo igual a 44' y flujo de 30GPM se considera aconsejable emplear una bomba montada sobre una base cuya descripción es la siguiente:

1  $\frac{1}{2}$  CN - 84, 1 HP, 750 RPM según el catálogo referente a bombas para industria química publicado por la casa Worthington de NJ, USA.

La anotación CN significa que la bomba tiene extremo estándar de succión e impulsor cerrado.

El tipo de bombas montadas sobre base reúnen las siguientes ventajas:

1.- Tiene ya diseñada la base que soportará el peso del motor y el cuerpo de la bomba conjuntamente.

2.- El nivel entre el motor y la bomba es estable, lo cual permite un alineamiento perfecto.

## BOMBA PARA TRANSPORTAR TOLUENO

La bomba destinada a transportar tolueno desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque volumétrico será también una bomba centrífuga del mismo tipo que la anterior.

Los cálculos referentes a la potencia requerida y la selección del tipo a utilizarse se realizará siguiendo un procedimiento en lo posible similar al usado anteriormente.

Previamente ya se determinó el valor de la cabeza estática de trabajo,  $H_s = 19'$ .

Si la bomba trabaja a una razón de 20 galones/min., y si se conocen las características del fluido a tratarse que son:

Consumo diario.....	795 lbs.
Densidad .....	55,9 lbs/pie <sup>3</sup>
Gravedad específica .....	0,89

$$V = \frac{795 \text{ lbs.}}{55,9 \text{ lbs/pie}^3} = 14,3 \approx 14,5 \text{ pies}^3$$

$$14,5 \text{ pies}^3 \times \frac{7,5 \text{ glns.}}{\text{pie}^3} = 110 \text{ galones}$$

El tiempo empleado en la operación será

$$\frac{110 \text{ glns.}}{20 \text{ glns./min.}} = 5,5 \approx 6 \text{ minutos}$$

Empleando una tubería de un diámetro nominal de  $1\frac{1}{2}"$  ( d.e. = 1,9"; d.i. = 1,61"), la velocidad a la que operará el fluido será:

$$V = \frac{\text{GPM}}{2,448 D^2} = \frac{20}{2,448(1,61)^2} = 3,14 \text{ pies/seg.}$$

La longitud total de la tubería es de 139 pies constando además de:

6 codos angulares de 90°, 7,4' c/u .....44,5'

1 válvula de cheque .....15'

1 válvula de compuerta .....1,5'

Pérdida de entrada  $h_e = K \frac{V^2}{2g}$  ;  $K = 1,8$  ;  $V = 3,14 \text{ pies/seg.}$

$$h_e = \frac{(3,14 \text{ pies/seg.})^2 \times 1,8}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg.}^2} = 0,27 \text{ pies.}$$

Pérdida de salida ..... $h_{ex} = \frac{V^2}{2g} = \frac{9,85}{64,4} = 0,15 \text{ pies}$

La longitud total de la tubería sumando el valor lineal de todos los acoples, válvulas y demás pérdidas será:

$$L_t = 139' + 44,5' + 15' + 1,5' + 0,27' + 0,15' = 200,42 \text{ pies.}$$

$$L_t = 200,42' \approx 201 \text{ pies}$$

La viscosidad cinemática considerada a una temperatura de 15,5 °C. es igual a  $1 \times 10^{-5}$ , según la fig # 3 de Marks' \*

El número de Reynolds será:

$$NR = \frac{V D}{\nu} = \frac{3,14 \text{ pies/seg.} \times 1,61 \text{ pies}}{1 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg.} \times 12}$$

$$NR = 0,42 \times 10^5$$

La aspereza para acero forjado o acero comercial 40,  $e = 0,00015'$  luego la aspereza relativa tendrá el siguiente valor:

$$\frac{e}{D} = \frac{0,00015 \text{ pies} \times 12}{1,61 \text{ pies}} = 37 \times 10^{-4}$$

Con los dos datos obtenidos anteriormente analizo el diagrama del factor de fricción para flujo en tuberías y se ve que le corresponde un valor de  $f = 0,031$ . Luego la cabeza total de fricción será igual a:

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = 0,031 \times \frac{201 \text{ pies} \times 12}{1,61 \text{ pies}} \times \frac{(3,14 \text{ pies/seg.})^2}{64,4 \text{ pies/seg.}^2}$$

$$H_f = 6,96 \text{ pies} \approx 7 \text{ pies}$$

La cabeza total de trabajo será igual :

$$H_t = H_s + H_f = 19' + 7' = 26 \text{ pies.}$$

La potencia ideal para esta bomba será :

$$LHP = \frac{GPM \times H_t \times \rho g}{3960}$$

$$LHP = \frac{20 \text{ glns./min} \times 26 \text{ pies} \times 0,89}{3960} = 0,12 \text{ HP}$$

Ya que la potencia es baja, sería aconsejable trabajar con una potencia ideal de  $\frac{1}{2}$  HP.

Según la información para bombas de la casa Worthington, esta bomba tiene una eficiencia del 50%. Luego la potencia requerida en la bomba será:

\* Ver ref. #1

$$\text{BHP} - \frac{\text{LMP}}{0,50} - \frac{0,12}{0,50} - 0,24 \text{ HP}$$

Para una bomba centrífuga que tiene  $H_t = 26$  pies y un ritmo de flujo de 20 GPM conviene usar una de la siguiente descripción como indica el catálogo de la casa Worthington:

$1 - \text{CN} - 52$  de  $\frac{1}{3}$  HP ó  $1 - \text{CN} - 2$  de  $\frac{1}{4}$  HP, que son bombas de las mismas características que la usada en el metanol.

**BOMBA TRANSPORTADORA DEL ESTER DIETHILMALEATE ( D.E.M. )**

Las características de este fluido en proceso son las siguientes:

- Consumo diario ..... 7100 lbs.
- Densidad ..... 56 lbs/pie<sup>3</sup>
- Gravedad específica ..... 0,9

El volumen será igual  $v = \frac{7100}{56} = 126 \text{ pies}^3$

$126 \text{ pies}^3 = 945 \text{ glns.}$

Trabajando con un flujo de 50 GPM el tiempo requerido para la operación será:

$$\frac{945 \text{ glns/min.}}{50 \text{ glns}} = 19 \text{ minutos.}$$

Para la operación de este fluido se empleará también una tubería de  $1\frac{1}{2}$ " de diámetro nominal, en el cual el diámetro interior d.i. = 1,61".

La velocidad de operación del fluido será:

$$V = \frac{\text{G P M}}{2,448 D^2} = \frac{50}{2,448 (1,61)^2} = 7,7 \text{ pies/seg.}$$

- Longitud total de la tubería ..... 165 pies
- 11 codos angulares de 90° de 7,4'c/u ..... 81,4 pies
- una válvula de cheque ..... 15 pies
- una válvula de compuerta ..... 1,5 pies

Pérdida de entrada  $h_e = \frac{K V^2}{2g}$  ;  $K = 1,8$  ;  $V = 7,7 \text{ pies/seg.}$

$$h_e = \frac{1,8 \times (7,7 \text{ pies/seg.})^2}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg.}^2} = 1,2 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas de salida, hex.} = \frac{V^2}{2g} = \frac{(7,7 \text{ pies/seg.})^2}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg.}^2} = 0,92 \text{ pies}$$

Luego, la longitud total equivalente de la tubería es de 265 pies.

La cabeza total de fricción para esta tubería tiene un valor de  $H_f = 41,25$  pies.

La cabeza total de trabajo será igual a:

$$H_t = H_s + H_f = 16 + 41,25 = 57,25 \approx 57,30 \text{ pies.}$$

Admitiendo que el DEM tiene una gravedad específica de 0,9; la potencia hidráulica ó ideal será igual a:

$$\text{LHM} = \frac{\text{G P M} \times H_t \times g_e}{3960} = \frac{50 \times 57,30 \times 0,90}{3960}$$

$$\text{L H P} = 0,63 \text{ HP}$$

Para una eficiencia de un 50%, la potencia de entrada es:

$$\text{B H P} = \frac{\text{L H P}}{\eta} = \frac{0,63 \text{ HP}}{0,50} = 1,26 \text{ HP.}$$

Para una bomba centrífuga con una cabeza total de trabajo  $H_t = 57,30$  pies y una razón de flujo  $Q = 50$  glns/min. sería aconsejable emplear un modelo de la siguiente descripción:

$1\frac{1}{2}$  - C N - 84 de  $1\frac{1}{2}$  HP. y 1750 RPM. de acuerdo al catálogo en uso.

BOMBA TRANSPORTADORA DE DMT ACIDO DESDE EL REACTOR HASTA EL FILTRO.

Como se dijo en un primer momento esta bomba está destinada a forzar el fluido DMT ácido desde el reactor hasta el filtro en la primera etapa y también desde el reactor al tanque de lavado en la segunda etapa. Esta bomba está colocada en una posición ventajosa, situada a 5,5 pies debajo del reactor lo cual permite al líquido bajar por la propia gravedad. El trabajo realizado en el reactor es efectuado a presión atmosférica, por lo tanto la presión en el sector de succión es desestimable, en cambio, la sección de descarga estará sometida a

una presión que varía de 20 a 25 lbs/pulg<sup>2</sup> que se estima necesaria para realizar la filtración del líquido.

La cantidad de fluido que impulsará esta bomba está estimada en 855 galones.

Trabajando a una razón de flujo de 50 GPM la operación durará aprox. 18 minutos.  $\frac{855 \text{ GPM}}{50 \text{ glns}} = 17,5 \approx 18 \text{ minutos.}$

Se considera que el D M T ácido tiene un peso específico de  $w = 77 \text{ lbs/pie}^3$ . La gravedad específica será igual:

$$g_e = \frac{w_{DMT}}{w_{H2O}} = \frac{77 \text{ lbs/pie}^3}{62,4 \text{ lbs/pie}^3} = 1,202 \quad (15)$$

Para obtener la altura equivalente en la sección de descarga debido a la presión, se reduce el valor de la presión a la correspondiente longitud y luego se divide para la gravedad específica del fluido.

$$1 \text{ psi} = 2,31 \text{ pies}$$

$$H = \frac{2,31 \times \text{presión}}{g_e} \quad (16)$$

$$H = \frac{2,31 \times 20 \text{ lbs/pulg}^2}{1,2} = 38,5 \text{ pies} \approx 39 \text{ pies}$$

Si utilizo para este caso una tubería de  $d.i = 2''$ , la velocidad de operación será:

$$V = \frac{Q}{2,448 D^2} ; D = 2'' ; Q = 50 \text{ GPM}$$

$$V = \frac{50}{2,448 (2)^2} = 5,1 \text{ pies/seg}$$

La tubería para esta sección tiene las siguientes especificaciones respecto a la longitud:

Longitud de la tubería ..... 23'

6 codos angulares de 90° de 8,5' c/u ..... 51 pies

1. válvula de cheque ..... 17 pies

1 válvula de compuerta ..... 2,8 pies

Pérdidas de entrada  $h_e = \frac{K V^2}{2g} ; K = 1,5$

$$h_e = \frac{K (5,1 \text{ pies/seg.})^2}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg}^2} = 0,61 \text{ pies.}$$

$$\text{Pérdidas en la salida hex} = \frac{v^2}{2g} = \frac{26,01 \text{ pies}^2/\text{seg.}^2}{2 \times 32,2 \text{ pies/seg}^2} =$$

$$= 0,4 \text{ pies.}$$

La longitud total equivalente será igual :

$$L_t = 23' + 51' + 2,8' + 17' + 0,61' + 0,40' = 94,8' \approx 95'$$

Para esta sección de tubería la cabeza de fricción es igual:

$$H_f = 4,67 \text{ pies que aproximado da } 4,7 \text{ pies.}$$

La cabeza total de trabajo será igual a :

$$H_t = H_s + H_f + H = - 5,5' + 4,7' + 39' = 38,2' \approx 39 \text{ pies.}$$

Según los datos obtenidos al analizar el catálogo referente a bombas centrífugas se aconseja usar un modelo de la siguiente descripción :

1 - CN - 32 de  $1\frac{1}{2}$  HP y 1.700 RPM, cuyo tipo será similar a las anteriores.

Las bombas restantes a ser usadas en el sistema tienen especificaciones iguales a la tratada anteriormente, por lo tanto se las mencionará al hablar acerca de la lista general de equipos a utilizarse en el proceso.

## TRANSPORTADOR DE PENTASULFITO DE FOSFORO (P2S5)

En la primera etapa del proceso hay que transportar el P2S5 desde la planta baja del edificio hasta el reactor situado en el primer piso. La cantidad de este material a utilizarse diariamente está estimada en 5100 lbs.

El peso específico del P2S5 es de 144,8 lbs/pie<sup>3</sup>.

El transportador utilizado en este proceso constará de dos partes:

- 1.- Un elevador tipo balde, el cual descargará en:
- 2.- Un transportador horizontal, el cual desplazará el material hasta el reactor. Hay numerosos tipos de elevadores para transportar material en dirección vertical. El elevador más apropiado sería el de tipo de balde pivoteado o continuo, cuya sección receptora de carga está en un nivel bajo y es diseñado para transportar materiales abrasivos y pesados y descargar en un nivel horizontal. \*

El material a ser transportado tiene un peso específico de 144 lbs/pie<sup>3</sup> y está clasificado dentro de las arenas finas, clase B 28 .\*\*

La distancia vertical a ser recorrida será de 20 pies, pero para una operación satisfactoria esta distancia suele ser incrementada de 3 a 5 pies; luego la distancia correcta sería de 23 pies.

### CALCULO DE LA POTENCIA DEL ELEVADOR

$$\text{Empleando la relación } hp = \frac{2 C H}{1000} \quad (17)$$

en la cual C = capacidad tons/hora; H = altura.

La capacidad del elevador está estimada en 10,5 tons/hora

$$hp = \frac{3 \times 10,5 \times 23}{1.000} = 0,5 \text{ hp.}$$

### SELECCION DEL TRANSPORTADOR HORIZONTAL

Ya que el elevador descarga en el transportador horizontal, la capacidad de éste será la misma.

Existen varios tipos de transportadores horizontales, para

---

\* Ver ref. # 3 ; \*\* Ver ref. # 4



el proyecto elegiremos el transportador de tornillo. Este modelo es uno de los más conocidos y versátiles tipos de transportador. Consiste de una trayectoria helicoidal de láminas planas como se puede ver en el diagrama # 4

Los transportadores de tipo tornillo son fabricados en una vasta variedad de materiales, desde el hierro fundido hasta el acero inoxidable, siendo la clase 304 el más aconsejable tipo de acero inoxidable por ofrecer buenas condiciones contra la corrosión, tener excelente dureza a altas y bajas temperaturas (-452°F y 2000°F).

#### POTENCIA Y CAPACIDAD PARA EL TRANSPORTADOR

Para un material pesado como P2S5, según la tabla de capacidades para un transportador de tornillo, el grupo al cual pertenece este material es el # 5 (\*). Para este factor de material se aconseja emplear un eje elicoidal de 6 pulgadas de diámetro con una velocidad de 30 R.P.M.

El factor de tamaño del transportador está en función del diámetro del transportador de tornillo. Para un diámetro de 6" el factor de tamaño es 54.

La relación  $hp = 10^{-6} (A L N + C W L F)$  (18) del manual de Cálculos de Ingeniería da la fórmula para encontrar la potencia.

A = factor de tamaño; L = longitud del transportador; N = velocidad del transportador; C = calidad del material en uso, pies<sup>3</sup>/hora; W = densidad del material, lbs/pie<sup>3</sup>; F = factor del material (grupo al que pertenece). Luego:

$$hp = 10^{-6} (54 \times 5 \text{ pies} \times 30 \text{ RPM} + 165 \text{ pie}^3/\text{hora} \times 144 \text{ lbs}/\text{pie}^3 \times 5 \text{ pies} \times 5) = 0,602 \text{ hp.}$$

Por lo tanto será necesario emplear un motor de más de 0,602 hp aprox.  $\frac{3}{4}$  hp.

\* Ver referencia # 3

## CALCULO Y DETERMINACION DE LA TUBERIA

Las tuberías ó conductores de fluido son consideradas en un proceso químico como las arterias y venas de la planta. Los conductores de fluido pueden ser tuberías ó cañerías. Las cañerías tienen gran flexibilidad. Las tuberías son preferidas para industrias de tipo estacionario por la rigidez y bajo costo.

Dos factores básicos deben ser considerados en una línea hidráulica: caída de presión y golpe de martillo.

La caída de presión es la cantidad total de presión suplida a la línea. Es igual a la presión requerida ó presión de impulso más las pérdidas de presión ocurridas en la transmisión del fluido.

El golpe de martillo es el máximo nivel de presión que puede ocurrir en un sistema hidráulico. Se produce cuando aumenta considerablemente la presión en el ritmo normal de operación debido a un cierre brusco de válvula generalmente. El fluido se detiene y se origina una onda de presión de velocidad sónica por la energía cinética del fluido.

Para tener una eficiencia máxima el sistema debe ser analizado en la escala natural del proyecto para tener una idea más clara acerca de la caída de presión.

## SELECCION DE TUBERIAS

Los tipos más importantes que se conocen son:

- 1.- Tubería soldada, la cual es fabricada siguiendo el método eléctrico de resistencia, en donde los bordes de la tubería son unidos bajo alta presión.
- 2.- Tubería sin costura, que es un tubo laminado que se caracteriza por carecer de unión longitudinal soldada. Es más fuerte que la anterior ya que la resistencia en las paredes es uniforme en toda la sección.

La Organización Americana Probadora de Materiales (ASTM), da especificaciones para varios tipos de tubería utilizados en la industria. Cuando los conductores no están sometidos a altas

temperaturas y presiones, el tipo A 53 y A 106 corresponden a una tubería de acero comercial de acero al carbono (porcentaje bajo de Ca) soldada ó sin costuras empleada para uso general como también para industrias químicas. Esta tubería está en condiciones de soportar presiones internas de hasta 600 psi. El equipo a usarse en la industria estará sometido a presiones bajas por lo tanto se está en condiciones de usar el tipo de tubería antes mencionado.

#### ESPESOR DE LA PARED DE LA TUBERIA

El objetivo principal del sistema de tuberías es que a más de ofrecer resistencia a la presión y temperatura a la que está sometida, resista también a la corrosión y sea de un material económico.

$$\text{Mediante la formula } t = \frac{pD}{2S} \quad (19)$$

se encuentra el valor del espesor de la pared de la tubería en la cual:

$t$  = espesor de la pared

$p$  = presión interna del fluido

$D$  = diametro interno de la tubería

$S$  = esfuerzo tensor en la sección longitudinal de la pared, psi.

Para encontrar la presión interna del fluido se emplea la ecuación :

$$p_1 - p_2 = \Delta p = wh \quad (20) *$$

$w$  = peso específico del fluido

$h$  = cabeza por pérdidas de fricción en la tubería.

Como ejemplo básico se analizará la tubería que conduce el éster Diethylmaleate DEM por presentar las condiciones más re cargadas.

$$h = f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} = 41,25 \text{ pies}$$

$w = g_e \times w_{H2O}$  ; para el DEM,  $g_e = 0,9$

$w = 0,9 \times 62,4 = 56,2 \text{ lbs/pie}^3$  Luego

$$\Delta p = 56,2 \times \frac{41,25}{144} = 16 \text{ lbs/pulg}^2$$

\* Ver ref. # 5

Assumiendo que se usará tubería soldada sin costura de ace al carbón, la cual en una temperatura entre  $-20^{\circ}\text{F}$  y  $650^{\circ}\text{F}$  tiene un esfuerzo tensor de  $10.200 \text{ lbs/pulg}^2$  \*

El espesor requerido por la tubería de  $D = 1,61''$  será:

$$t = \frac{p D}{2 S} = \frac{16 \text{ lbs/pulg}^2 \times 1,6 \text{ pulg}}{2 \times 10.200 \text{ lbs/pulg}^2} = 0,0012''$$

En el mercado se encuentra este material en diferentes espesores. Si se elige un espesor de  $\frac{1}{4}'' = 0,125''$  representa gran seguridad en el proceso. Si a esta tubería le recargo con un factor de seguridad  $M = 6$ , la fórmula anterior se expresaría:

$$t = \frac{p D M}{2 S} = \frac{16 \times 1,6 \times 6}{2 \times 10.200} = 0,007 \text{ pulgadas.}$$

Para tuberías de distinto diámetro los cálculos se obtendrán en igual forma que el caso anterior.

#### INSTALACION DE LA TUBERIA

Ya que la tubería no tendrá soporte natural, hay que proporcionar al sistema los soportes necesarios como también de a brazaderas, procurando alejar a la tubería de los diferentes mecanismos sujetos a vibración.

Los soportes que más se usarán serán los soportes de tube ría múltiple y el soporte de anclaje.

En el diseño del presente proyecto, la tubería elevada en tre los tanques de almacenamiento situados fuera del edificio y los tanques volumétricos tendrá una altura de  $26'$  para así permitir el libre tráfico de vehículos grandes.

Para calcular la longitud a la que deben ir colocados los soportes, se aplicará la fórmula de Sweeney  $L = \sqrt{\frac{8mS}{w}}$  \*\* (21) que se basa en el peso de la tubería, el contenido y la fuerza del viento. La longitud permisible en cada soporte se puede calcular partiendo del estudio de una viga continua con los momentos flexores máximos en los soportes. En la fórmula anterior,  $L$  = distancia de los soportes, pulg.;  $S$  = esfuerzo flexor de las fibras, libra/pulg<sup>2</sup>.;  $m$  = módulo de la sección del tubo, pulg<sup>3</sup>.;  $w$  = peso del tubo y el fluido, lbs/pie.

\* Ver referencia # 1; \*\* 6

El peso de la tubería de  $1\frac{1}{2}$ " de acero 40 es de 2,72 lbs/pie. La tubería elevada será la que transporta metanol, tolueno y Dietilmaleate DEM.

El peso del líquido en c/u de las tuberías de  $1\frac{1}{2}$ " de diámetro interno es el siguiente:

Metanol en 1 pie de tubería.....	0,71 lbs.
Tolueno " " " " " .....	0,79 "
DEM " " " " " .....	0,89 "

Luego el peso de los tres tubos será:

$$w = (2,72 + 0,71) + (2,72 + 0,79) + (2,72 + 0,88)$$

$$w = 10,55 \text{ lbs/pie}$$

$$m = 3,26 \text{ pulg}^3$$

$$L = \sqrt{\frac{8mS}{w}} = \sqrt{\frac{8 \times 0,326 \text{ pulg}^3 \times 10200 \text{ lb/pulg}^2 \times 12}{10,55 \text{ lbs/pie}}} = 174 \text{ pulg}$$

$$L \approx 15 \text{ pies.}$$

PENDIENTE REQUERIDA POR LA TUBERIA PARA LA DISTANCIA ENTRE LOS SOPORTES.

Con el objeto de evitar la formación de bolsillos de líquido con la condensación en el punto más bajo de la tubería, ésta debe ser colocada en tal forma que el punto más bajo sea el de salida del fluido. Cuando la tubería no tiene cargas concentradas, la deflexión está dada por la expresión:

$$Y = \frac{2,25 w l^4}{E I} \quad * \quad (22)$$

w = peso de la tubería, lb/pie

l = distancia entre soportes, pies

E = módulo de elasticidad, lb/pulg<sup>2</sup>. (Para el acero  $30 \times 10^6$ )

I = momento de inercia de la tubería. (0,310 pulg<sup>4</sup>)

Analizando la tubería del metanol:

$$Y = \frac{2,25 \times 3,43 \times (15)^4}{30 \times 10^6 \times 0,31} = 0,15 \text{ pies} = 1,8 \text{ pulgadas.}$$

\* Ver ref. # 6

## DISEÑO Y CALCULO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Toda planta de poder ó industrial contiene equipo cuya función principal es transferir calor de un fluido a otro.

En este proceso están comprendidas calderas, calentadores, enfriadores, evaporadores, etc. a todos se les da el nombre genérico de intercambiadores de calor.

Industrias químicas y de petróleo requieren de la condensación de vapores ó del enfriamiento y calentamiento de líquidos ó gases, en los diversos procesos a efectuarse.

Las mismas leyes que rigen el movimiento de fluidos y transferencia de calor se aplican a los intercambiadores de calor.

Transferencia de calor es la materia que estudia las formas de transmitir calor a través de los cuerpos.

Calor es la energía que se transmite de un cuerpo ó sistema a otro a causa de la diferencia de temperatura llamada gradiente.

La transferencia de calor puede ocurrir por medio de convección, conducción ó radiación ya sea separadamente ó asociadas.

La transferencia de calor por conducción en un sólido es el resultado de una colisión molecular ó flujo de electrones asociados por una diferencia de temperatura. Los metales que son buenos conductores de electricidad, son también buenos conductores de calor. En los fluidos el calor es transmitido por un movimiento elástico de moléculas ó por un proceso de difusión de energía.

La transferencia de calor por convección ocurre por la acción combinada de un fluido que se mueve liberando energía. Este fenómeno puede ser causado por la diferencia de densidad, la cual es convección libre ó natural, ó por intermedio de un mecanismo que cause el movimiento de masa, en cuyo caso la convección es forzada.

La transferencia de calor por radiación está relacionada con la energía a través del espacio que se transmite en forma de onda electromagnética, que se diferencia de la emisión de la luz tan solo en la frecuencia. La teoría moderna explica el fenómeno de la energía radiante en base de la teoría cuántica.

La energía radiante se transmite en línea recta con la velocidad de la luz.

Por lo general todos los cuerpos emiten radiaciones, unos lo hacen con mayor intensidad y se los llama cuerpos calientes, otros emiten en menor cantidad y se los llama cuerpos fríos.

En termodinámica se puede considerar a la conducción y a la radiación como auténticas formas de transferencia de calor.

Por lo general un intercambiador de calor consta de una pared metálica a través de la cual se transmite el calor entre dos fluidos siguiendo las leyes de la conducción. La transferencia de calor entre el fluido en movimiento y la pared se relaciona con la convección y puede estar asociada con la radiación operando a altas temperaturas.

En el presente proyecto será considerada la transferencia de calor aplicada a un estado estacionario.

La ecuación básica para la transferencia de calor por conducción es la ecuación de Fourier:

$$q = -k A \frac{dt}{dx} \quad (23)$$

En donde,  $q$  = razón de flujo de calor transferido a través de un material particular;  $x$  = cualquier dirección en el espacio;  $A$  = área normal a la trayectoria  $x$ ;  $k$  = factor de proporcionalidad denominado conductividad térmica.

La resistencia térmica está definida por la relación:

$$R = \frac{T_i - T_o}{q}$$

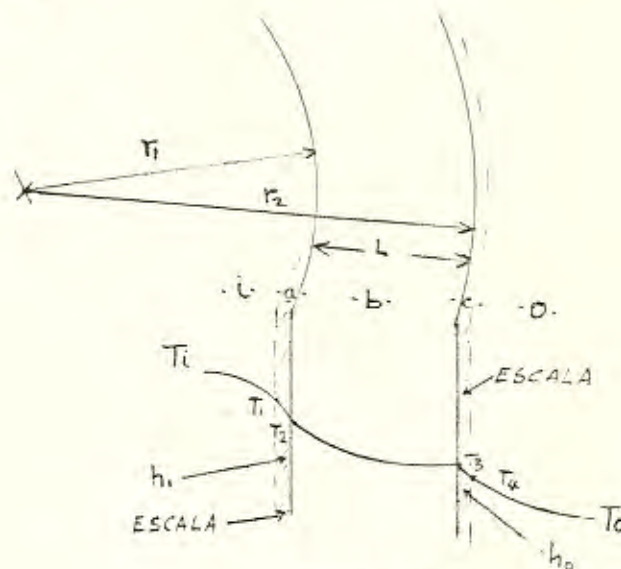


FIGURA Nº 2

En un cilindro formado por capas compuestas de diferentes materiales como en la figura anterior, las resistencias que actúan en cada sección son: ( ver figura nº 2 )

$$\begin{aligned} (T_i - T_1) &= q R_i & (T_3 - T_4) &= q R_c \\ (T_1 - T_2) &= q R_a & (T_4 - T_o) &= q R_o \\ (T_2 - T_3) &= q R_b \end{aligned}$$

La resistencia total será:

$$(T_i - T_o) = q (R_i + R_a + R_b + R_c + R_o) \quad (23 A)$$

La resistencia en un cilindro infinito viene dada por la expresión:

$$R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k} \quad \begin{array}{l} r_1 = \text{radio interior del tubo} \\ r_2 = \text{radio exterior del tubo} \end{array}$$

La resistencia para una superficie en contacto con un fluido tiene la siguiente expresión:

$$R = \frac{1}{A h}$$

Para capas cilíndricas compuestas el razonamiento de la ecuación 23A es también aplicable y las resistencias están dadas por las dos expresiones anteriores. Luego, la ecuación 23A se transforma en la ecuación:

$$q = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{2\pi L r_1 h_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k_a} + \frac{1}{2\pi r_2 h_o}} \quad (24)$$

h<sub>o</sub> y h<sub>1</sub> = coef. de película.

La ecuación general para flujo de calor a través de una pared de un fluido a otro es:

$$q = A U (T_i - T_o) \quad (25)$$

A = área de transferencia

U = coeficiente global de calor transferido

T<sub>i</sub> - T<sub>o</sub> = diferencia de temperatura de los fluidos = Δt<sub>m</sub>

Despejando el valor de U y reemplazando el valor de q de (24)

$$U = \frac{\Delta t_m}{\frac{1}{2\pi L r_1 h_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k_a} + \frac{1}{2\pi r_2 h_o}} \cdot \frac{1}{A \Delta t_m}$$

Ya que  $2\pi L r_1 = A$  ;  $U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k_a} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{h_o} \frac{r_1}{r_2}}$  (26)

Ya que todo intercambiador de calor está afectado por la



resistencia térmica llamada escala  $hd$ , debido a la formación de una capa delgada de materias extrañas. Esta resistencia se expresa por medio de los valores de escala ó depósito que se han determinado experimentalmente. Asumiendo que existe estos depósitos en el lado interno y externo del tubo, la ecuación anterior se modificaría a:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{hd_i} + \frac{r_1}{ka} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{r_2 h_{do}} + \frac{r_1}{r_2 h_o}}$$

(27)

Un intercambiador de calor puede trabajar en distintas formas, ya sea como calentador, enfriador, condensador, etc. Los intercambiadores de calor más usados en la industria química son los calentadores accionados con agua ó vapor y los enfriadores que generalmente trabajan con agua.

Por lo general los intercambiadores de calor se clasifican en base de las características de diseño. Hay intercambiadores de superficie y cerrados, los cuales son de coraza y tubos. En cuanto a los tubos los intercambiadores de calor pueden ser de tubo múltiple ó de un solo tubo. Los tubos pueden ser rectos ó en forma de U. Respecto a la dirección del flujo, el intercambiador de calor de contraflujo es el más aceptado en el mercado por producir la mejor transferencia de calor en un área reducida.

Se ha establecido que un volumen de sustancia estimado en 1890 galones son obtenidos después de la operación de lavado, los cuales serán tratados en el intercambiador de calor, que en este caso será un calentador primeramente.

Si se tienen 1890 galones para ser procesados en el calentador, se determinará primeramente el flujo al trabajará la bomba impulsora. Operando el flujo a un ritmo de 40 glns/min:

$$\frac{1890 \text{ glns.}}{40 \text{ glns.}} = 47, 25 \text{ minutos} \approx 50 \text{ minutos.}$$

$$\frac{40 \text{ glns.}}{\text{min}}$$

$$40 \text{ glns./ min} = 2400 \text{ glns./hora}$$

Se considera que la sustancia a trabajar tiene una gravedad específica  $g_e = 1,14$ . Usando como referencia el peso del agua, (1 galón de agua = 8,33 lbs.) y la gravedad específica,  $g_e = 1$  procedemos a calcular el peso de la sustancia que fluirá por el calentador.

$$w = 2400 \frac{\text{glns.}}{\text{hora}} \times 1,14 \times 8,33 \frac{\text{lbs.}}{\text{gln.}} = 22.800 \text{ lbs./hora.}$$

De la ecuación general de calor suministrado a un proceso isobárico :

$$q = w c \Delta t \quad (28)$$

$q$  = razón de flujo de calor transferido

$w$  = razón de flujo del fluido a calentarse

$c$  = calor específico del fluido

$\Delta t$  = diferencia de temperatura.

El fluido se encuentra a una temperatura de 70 °F antes de ser procesado y durante la operación alcanzará una temperatura de 230 °F. La gradiente de temperatura del vapor saturado será de 300 °F a 212 °F. según muestra la figura adjunta.

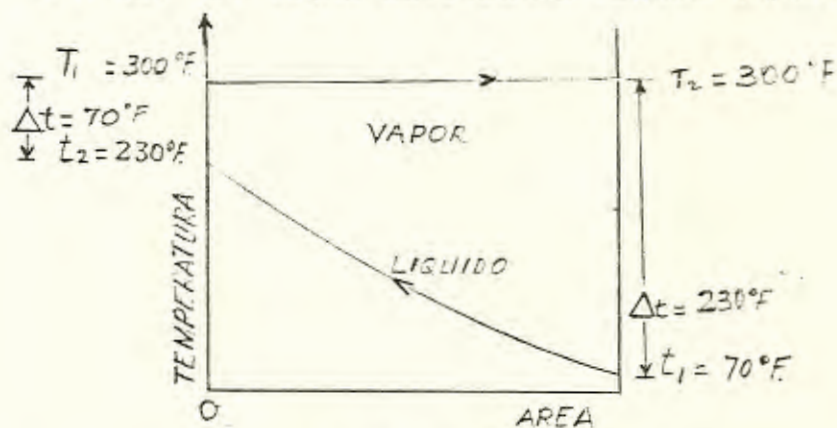


FIG. N° 3

Según información proporcionada,  $c = 0,45 \frac{\text{BTU}}{\text{lb. } ^\circ\text{F}}$

$$\Delta t = 230 - 70 = 160 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$q = w c \Delta t = 22.800 \frac{\text{lbs}}{\text{hora}} \times 0,45 \frac{\text{BTU}}{\text{lb. } ^\circ\text{F}} \times 160 \text{ } ^\circ\text{F} = 1'641'600 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$$

Ya sea para flujo paralelo ó contraflujo el valor de la temperatura logarítmica media viene dado por la fórmula:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\text{max.}} - \Delta t_{\text{min.}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{max.}}}{\Delta t_{\text{min.}}}} \quad (29)$$

$\Delta t_m$  = diferencia de temperatura logarítmica media

$\Delta t_{\text{máx.}}$  = diferencia de temperatura máxima

$\Delta t_{\text{mín}}$  = diferencia de temperatura mínima

Aplicando las condiciones del problema:

$$t_m = \frac{\Delta t_{\text{máx.}} - \Delta t_{\text{mín}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{máx.}}}{\Delta t_{\text{mín}}}} = \frac{230 - 70}{\ln \frac{230}{70}} = \frac{160}{1,2} = 133^\circ\text{F}$$

El valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor transferido en este sistema se expresa por medio de la formula (27). La mayoría de los valores de esta ecuación están establecidos en tablas de valores estandar.

Para encontrar el valor correspondiente al coeficiente de película del lado de la pared de los tubos en contacto con el líquido, hay que hacer uso del esquema de flujo normal a un conjunto de tubos escalonados. Para un conjunto de tubos que tengan doble espacio entre fila y columna (dos pulgadas) los autores del libro Compact Heat Exchangers, Kays & London, corresponde la trayectoria D. (fig. 10-11, pag. 187)\*

Para encontrar el valor de la relación  $N_{st}(N_{pr})^{1/2}$  hay que encontrar primeramente el Número de Reynolds correspondiente al flujo del líquido que circula por el intercambiador.

$N_{st}$  = Número de Stanton

$N_{pr}$  = Número de Prandtl

El área de entrada del líquido que sera procesado en el calentador es de 6 pulgadas de diámetro, según se muestra en el diseño del calentador.

Si se somete el proceso a un flujo de  $Q = 50$  G.P.M. la velocidad será:

$$V = \frac{Q}{2,44 d^2} \quad \text{según (13)}$$

Reemplazando valores:

$$V = \frac{50 \text{ G.P.M.}}{2,44 \times 36} = 0,57 \text{ pies/segundo.}$$

Se considera la viscosidad cinemática para el líquido con un valor  $\nu = 0,5 \times 10^{-5}$  pies<sup>2</sup>/seg

Luego el  $N_r$  será:

$$N_r = \frac{V D}{\nu} = \frac{0,57 \text{ pies/seg} \times 6 \text{ pulg}}{0,5 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg.} \times 12} = 57 \times 10^3$$

Analizando la figura de la referencia anterior,  $N_r = 57 \times 10^3$  se intercenta con la trayectoria D en un punto cuyo valor corres

ponde a la ordenada  $N_{st}$   $N_{pr}$  en un punto cuyo valor es igual a 0.008 . Luego  $N_{st} N_{pr}^{2/3} = 0.008$  (23B)

El  $N_{pr}$  para el líquido en porceso se estima que tiene un valor igual a  $N_{pr} = 4$

La expresión  $(N_{pr})^{2/3} = (4)^{2/3} = 2.5$

Despejando el valor de  $N_{st}$  de (23B)

$$N_{st} = \frac{0.008}{(N_{pr})^{2/3}} = \frac{0.008}{2.5} = 0.003$$

$$\text{De la relación } N_{st} = \frac{h}{\rho c_p V} \quad (23C)$$

$h$  = coef. de transferencia de calor( coef. de película)

$\rho$  = densidad del líquido = 71.1 lbs/pie<sup>3</sup>

$c_p$  = calor específico del fluido = 0.45 BTU/lb. °F

$V$  = velocidad del líquido = 0.57 pies/ seg.

Despejando  $h$  de 23C

$$h = 0.003 \times 71.1 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3} \times 0.45 \frac{\text{BTU}}{\text{lb. } ^\circ\text{F}} \times 0.57 \frac{\text{pie}}{\text{seg.}} \times 3600$$

$$h = 180 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

que es el coeficiente de película.

Para los valores restantes de los factores de transferencia de la ecuación (27) se han tomado los valores que constan en las tablas de información como aceptables. Dicha información es la siguiente: \*

$$h_1 = \text{coeficiente de película para el vapor} = 2000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$h_o = \text{coeficiente de película del líquido} = 180 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$h_{do} = \text{coeficiente de escala para el vapor} = 1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$h_{do} = \text{coeficiente de escala del fluido} = 2000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$r_1 = \text{radio interior del tubo} = 3/8 \text{ pulg.}$$

$$r_2 = \text{radio exterior del tubo} = 1/2 \text{ pulg.}$$

$$k_a = \text{conductividad térmica del acero inoxidable} = 10.9 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie } ^\circ\text{F}}$$

Reemplazando estos valores en la fórmula (27)

$$\frac{1}{\frac{1 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{2000 \text{ BTU}} + \frac{1}{1000} \frac{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}} + \frac{0,375 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{10,9 \times 12 \text{ BTU}} \ln \frac{0,5 \text{ pulg.}}{0,375 \text{ pulg.}}}$$

$$\text{cont.} \frac{1}{\frac{0,375}{0,5} \frac{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{2000 \text{ BTU}} + \frac{0,375}{0,5} \frac{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{180 \text{ BTU}}}$$

$$\frac{1}{0,0005 + 0,001 + 0,0028 \ln 1,33 + 0,00037 + 0,0041}$$

$$\frac{1}{0,0066} = \frac{152 \text{ BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

El área requerida por el intercambiador de calor será según(25):

$$A = \frac{q}{U \text{ Atm}} = \frac{1'641.600 \text{ BTU/hr}}{\frac{152 \text{ BTU} \times 133 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}}$$

$$A = 81.2 \text{ pies } 2$$

Número de tubos requeridos para el área de transferencia.-  
Estableciendo que el intercambiador de calor será de ocho  
pies de longitud, se facilita el cálculo del número de tubos.

Aplicando la fórmula  $A = n \pi l d$ , (31)

En la cual A= área de transferencia; n= n° de tubos;

d= diámetro del tubo; l= longitud del tubo

$$n = \frac{A}{l \times \pi \times d} = \frac{81.2 \text{ pies}^2 \times 12}{8 \text{ pies} \times \pi \times 1 \text{ pulg.}} = \frac{974}{25.13} = 39$$

Entonces se necesitan 39 tubos de 8 pies de largo y una pulgada  
de diámetro exterior.

El intercambiador con 40 tubos es el más fácil de obtener-  
lo en el mercado.

Cantidad requerida de vapor.-

El calor requerido para calentar el líquido es

$$\frac{1'641.600 \text{ BTU}}{\text{hr.}}$$

La entalpía de vaporización que corresponde al vapor saturado a 300°F tiene un valor de  $hfg = 910,1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb.}}$

$$\text{La relación } W = \frac{q}{hfg} \quad (32)$$

$W$  = razón de flujo de vapor

$hfg$  = entalpía de vaporización

$q$  = razón de calor transferido

$$W = \frac{11.641.600 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}}{910,1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb.}}} = 1.804 \frac{\text{lb.}}{\text{hr.}}$$

### DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

La mayoría de los intercambiadores de calor de tipo líquido a líquido ó vapor a líquido son del tipo de coraza y tubos. El tipo de intercambiadores de calor a usarse en el proceso será de un solo paso de fluido tanto en el lado de la coraza como en la sección de los tubos y placas deflectoras como se indica en la figura 11:4

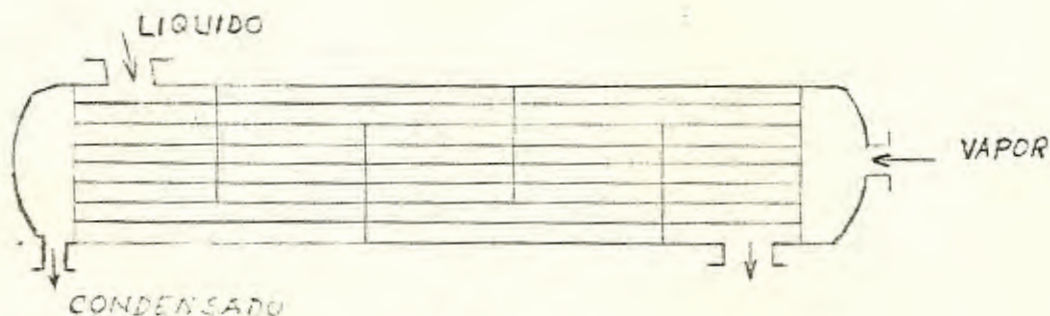


FIG. N° 4

La forma más empleada en la disposición de tubos es la forma escalonada, la cual ofrece una buena mezcla del fluido a través del conjunto de tubos. Usando para esta disposición de tubos la forma equilátera como se ve en la fig # 5, en la cual se han distribuido los tubos en forma escalonada.

Se sabe que el diámetro exterior de cada tubo es de 1 pulg. Empleando la distribución 2 x 2 S (doble espacio entre cada fila y columna) se necesitará una longitud de 14 pulgadas.

Usando la configuración equilátera en la distribución de tubos para los 37 tubos que requieren una envoltura de 14" de diámetro, debe cumplirse la siguiente razón: \*

$$\frac{D}{S} = 7$$

D = diámetro de la envoltura de tubos

S = espacio de centro a centro de tubos

En el presente caso, D = 14"; S = 2". Luego:

$$\frac{14}{2} = 7$$

La razón dimensión entre el diámetro de la coraza al diámetro de la matriz de tubos, debe reunir la siguiente condición:

$$\frac{d_s}{d_m} = 1,08 \text{ (como mínimo)}$$

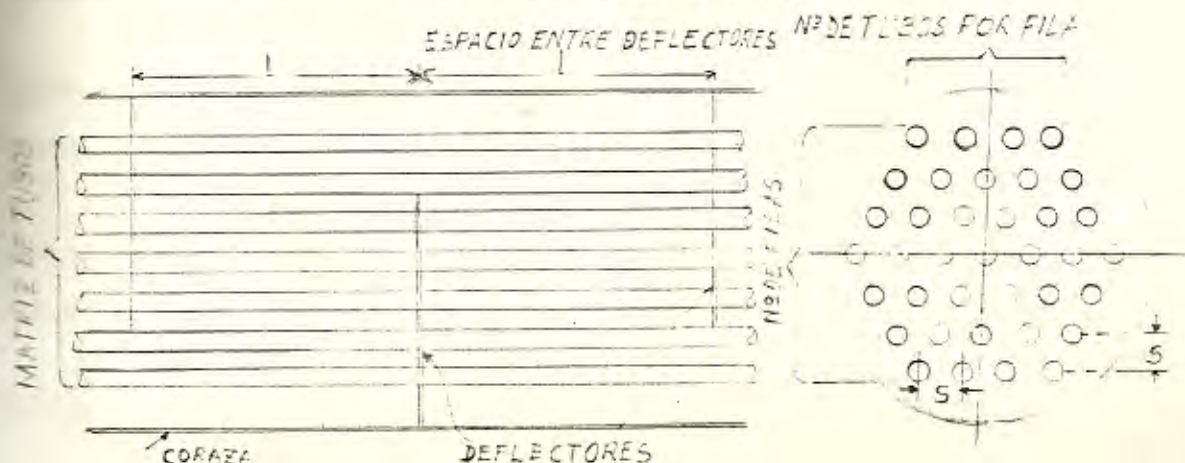
Empleando  $d_s = 18"$  y  $d_m = 14"$ ;  $\frac{d_s}{d_m} = 1,28"$ . Valor que se mantiene sobre el mínimo requerido.

Con el objeto de dotar al diseño de una adecuada mezcla de fluido circulante del lado de la coraza, hay que suministrar el número necesario de pantallas deflectoras.

Ya que la caída de presión es considerable a través de las pantallas deflectoras, ésta se reduce si se incrementa el paso del fluido, es decir disminuyendo el área de las pantallas deflectoras, consiguiéndose así un flujo axial en mayor grado. El claro entre el orificio del baffle a través del cual pasa cada tubo y el diámetro exterior del tubo debe ser de un valor mínimo de 0,0045."

La cantidad necesaria de pantallas deflectoras del intercambiador es igual a la longitud de los tubos dividido para el número de pasos que realice el fluido a través del haz de tubos. También se puede aplicar el criterio de que la distancia entre deflectores será igual al diámetro del conjunto ó matriz de tubos. Al intercambiador del diseño se le dotará de 4 ó 5 deflectores.

\* Ver ref #9



La variedad de diseño de un intercambiador de calor radica principalmente en la expansión diferencial termal entre los tubos y la coraza.

#### Esfuerzos en la Coraza de un Intercambiador de Calor.-

Para cilindros en los cuales el espesor de las paredes es menor que el 10% del diámetro, el valor del esfuerzo al que estará sometida dicha pared está dado por la expresión:

$$S = \frac{p \text{ di}}{2 t}$$

De acuerdo al código de ASME para recipientes a presión \*

S = esfuerzo en las paredes del cilindro, lbs./pulg<sup>2</sup>.

p = presión diferencial a través de las paredes, lbs./pulg<sup>2</sup>.

di = diámetro interno de la coraza, pulg.

t = espesor de la coraza, pulg.

Para el material empleado en el diseño, acero inoxidable 316 el esfuerzo de diseño S = 24.400 lbs./pulg<sup>2</sup>.; el diámetro de la coraza di = 18 pulg. La presión diferencial p = 67,01 lbs./pulg<sup>2</sup>. que es la presión de entrada del vapor saturado en el extremo del intercambiador. ( Ver plano # 2 )

Si a la fórmula anterior se la provee de una eficiencia en la unión, E= 90% y de un factor permisible de corrosión c = 3/32" = 0,1" el valor del espesor de las paredes sería:

$$t = \frac{p \text{ di}}{2 S E} + 0,1 = \frac{67 \text{ lbs./pulg}^2. \times 18 \text{ pulg.}}{2 \times 24.400 \text{ lbs./pulg}^2. \times 0,90} + 0,1 \text{ pulg.}$$

$$t = 0,127 \text{ pulg.}$$

Si se emplean en la construcción del intercambiador paredes de 3/16 pulg. se tiene una ventaja sobre el valor requerido.

Por lo general los extremos ó cabezas de un intercambiador de calor tienen la forma elipsoidal ya que así se obtiene en esta sección la misma presión que en la sección cilíndrica.

La coraza de un intercambiador de calor tiene por lo general soldadura eléctrica de arco en las uniones, las cuales se acostumbra a hacerlas en forma de J como se ve en la fig. N<sup>o</sup> 6

Hay que tener cuidado que la soldadura tenga suficiente penetración en toda la sección, para lo cual se la inspecciona por medio del sistema de rayos X.

Los cálculos referente a soldadura se verán más adelante.

\* Ver referencia # 9



El tipo de soldadura más usado en la construcción de corazas para un intercambiador de calor es la soldadura de tope en forma de J como se mencionó anteriormente.

La soldadura de tope tiene los esfuerzos trabajando en tensión con un valor igual a 18.000 ó 20.000 lbs./pulg<sup>2</sup>.

Escogiendo el valor mínimo y empleando la fórmula de la soldadura de tope, la resistencia será:

$$P = S_t \times l \times t = 18.000 \text{ lbs./pulg}^2. \times 1 \text{ pulg.} \times \frac{3}{16} \text{ pulg.} = 3.375 \text{ lbs. por cada pulgada lineal en uniones de } \frac{3}{16} \text{ de espesor.}$$

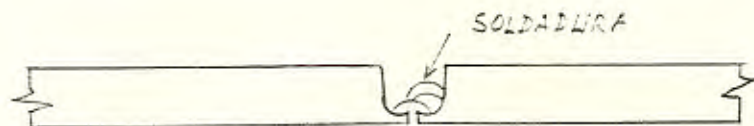


FIG. Nº 6

UNION EN J PARA CORAZA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

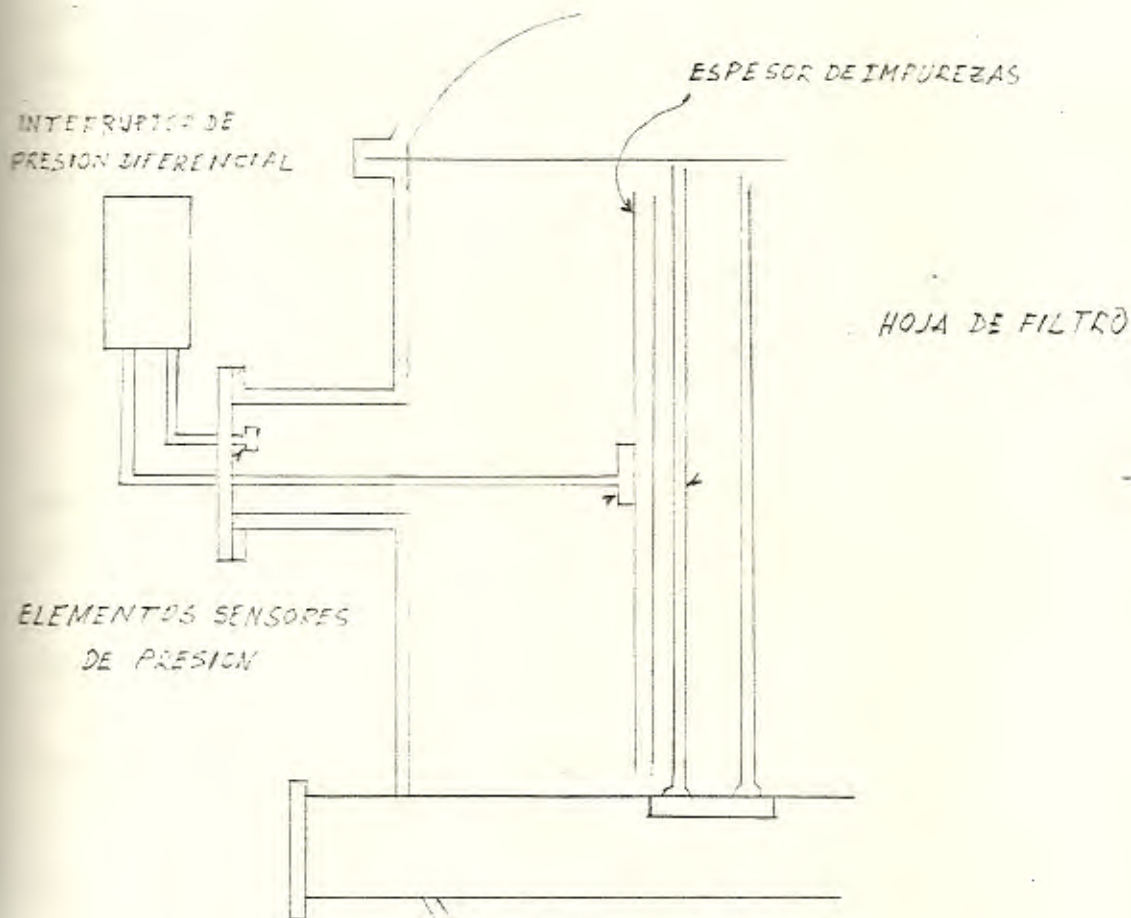


FIG. Nº 7

DETECTOR DE FILTRADO

## CALCULO Y DETERMINACION DE LOS FILTROS

Un filtro hidráulico es un mecanismo cuya función principal es retener partículas insolubles por medio de membranas porosas, mientras el líquido pasa por éstas usualmente bajo presión. El tipo de filtración más generalizado en una industria química está relacionada con la sustancia coloidal ó insoluble, el diámetro de cuyas partículas varían de 0,001 a 1 micrón.

De los diferentes tipos de filtros que se conocen, los más usados tanto en industrias químicas como de petróleo son los filtros a presión que pueden ser de una ó varias membranas estacionarias. Se diferencian de los filtros de vacío tan solo en que la presión en éstos es negativa,

El material más usado en la fabricación de filtros a presión para industrias químicas es el acero inoxidable 316 por ser resistente al uso y a la corrosión.

El filtrado a presión permite una relativa filtración rápida que opera con gran flexibilidad a un costo moderado.

Entre los filtros a presión, el de tipo de hoja es uno de los más generalizados. Consta de una ó varias hojas que pueden ser colocadas en posición horizontal ó vertical en la cámara a presión, la cual tendrá en el diseño un diámetro aproximado de 24 pulgadas para los 855 galones de sustancia que serán filtrados.

Para controlar el ciclo de filtración, el filtro dispondrá de un sistema de detección, basado en el espesor del material que se retiene en la membrana, la cual se aprecia en la fig.7

Este mecanismo causa una diferencia de presión que puede ser detectado por una alarma, deteniéndose la operación ó desviándose el circuito.

La presión que opera en el filtro es generada por una bomba que trabaja a un ritmo de 20 a 25 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Se asumirá que solamente  $\frac{1}{2}$ " de espesor se depositará en la membrana de detención en un tiempo de 8 horas.

Los filtros del material que será usado son también aptos para filtración de sustancias a altas temperaturas.

## CALCULO Y DISEÑO PARA EL ENFRIADOR DEL PRODUCTO

Luego que el producto ha pasado por la columna de separación, en donde las impurezas y partículas no disueltas son separadas del líquido. El fluido pasa a un tanque colector desde donde es transferido por intermedio de una bomba al enfriador. Este mecanismo tiene la finalidad de reducir la temperatura del líquido, haciéndolo maniobrable en el proceso de bodegaje y embasamiento.

Para tratar lo referente al enfriador de calor se empleará los mismos conceptos y fórmulas empleadas anteriormente en el estudio del calentador.

El líquido a tratarse llega a la parte inicial del enfriador con una temperatura de aproximadamente  $212^{\circ}\text{F}$ . La temperatura del líquido en el punto de salida es de  $100^{\circ}\text{F}$ .

Para este proceso se tiene un volumen de 1800 galones de fluido que impulsados por una bomba a un ritmo de 40 GPM, la operación duraría un tiempo mínimo de 45 minutos.

Considerando a la sustancia con un mismo valor de gravedad específica que en el proceso anterior  $g.e = 1,14$ ; 1 gln. ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 8,33 lbs). El peso de la sustancia que fluirá por el enfriador será:

$$w = 40 \times 60 \text{ glns/hr} \times 1,14 \times 8,33 \text{ lbs/hr.} = 22.800 \text{ lbs/hr.}$$

Aplicando la ecuación (28)

$$Q = wc t$$

$$c = \text{calor específico del fluido} = 0,45 \text{ BTU/lb. F.}$$

$$\Delta t = \text{dif. de temperatura.} = T_1 - T_2 = 212 - 100 = 112^{\circ}\text{F.}$$

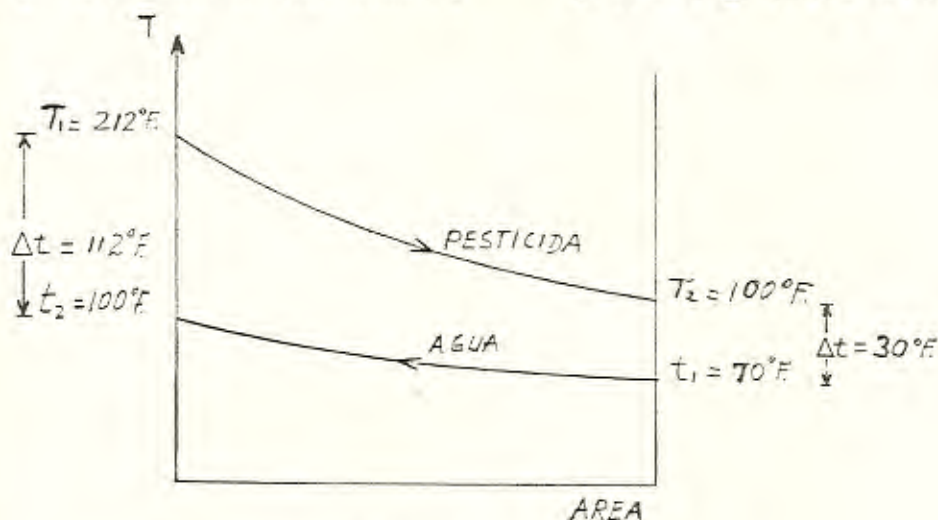


FIG. Nº 8

RELACIONES DE TEMPERATURA PARA EL ENFRIADOR.

$$q = 22.800 \frac{\text{lbs.}}{\text{hr.}} \times 0,45 \frac{\text{BTU}}{\text{lb.}^\circ\text{F}} \times 112^\circ\text{F}$$

$$q = 1'108.800 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$$

Para encontrar el coeficiente global de transferencia de calor U, se aplica la fórmula (27) usada ya anteriormente.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_{d1}} + \frac{r_1}{k_a} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{r_2} h_{do} + \frac{r_1}{r_2} h_o}$$

Los coeficientes de flujo y escala que aparecen en el enfriador han sido tomados de la misma referencia anterior. Para este diseño se emplearán tubos de acero inoxidable 304 de igual dimensión que los empleados en el calentador. Los valores para la ecuación anterior serán los siguientes:

$$h_{d1} = (\text{coef. de escala del fluido caliente}) = 2000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$k_a = (\text{conductividad térmica para el acero inox.}) = 10,9 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie }^\circ\text{F}}$$

$$h_{do} = (\text{coef. de escala del agua de enfr.}) = 1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$r_1 = (\text{radio int. del tubo}) = \frac{3}{8} \text{ pulgada}$$

$$r_2 = (\text{radio exterior del tubo}) = \frac{1}{2} \text{ pulgada}$$

Para obtener valores más exactos tanto el coeficiente de película del fluido caliente  $h_1$  y el coeficiente de película del agua de enfriamiento hay que calcularlos en base de las fórmulas indicadas. Para calcular el coeficiente de película del líquido caliente tenemos que considerar el caso de flujo circulando en el interior de un tubo.

$$\text{La relación } N_{nu} = \frac{h_i D_h}{K} \quad (\text{Kays \& London pag. 99})$$

en la cual:  $N_{nu}$  = número de Nusselt

$D_h$  = diámetro interior del tubo

$K$  = conductividad térmica del fluido

$h_i$  = factor coeficiente de película del fluido

Los tubos del intercambiador que este caso es un enfriador tiene las siguientes dimensiones:

$$d_i = (\text{diámetro interior}) = 3/4 \text{ pulg.}$$

$$d_o = (\text{diámetro exterior}) = 1 \text{ pulg.}$$

Para el líquido en consideración se le asume los valores

$N_{pr} = (\text{número de Prandtl}) = 4$

$$K = 0,34 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^{\circ}\text{F.}}$$

Asumiendo que se trabaje con flujo  $Q = 40 \text{ G.P.M.}$  la velocidad será igual:

$$V = \frac{Q}{2.44d^2} = \frac{40}{2.44 \times 0.56} = \frac{40}{1.36} = 29.4 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

El número de Reynolds será igual a:

$$N_r = \frac{VD}{\nu} \quad \nu = 0.5 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg.}$$

$$N_r = \frac{29.4 \text{ pies/seg.} \times 0.75 \text{ pulg.}}{0.5 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg.} \times 12} = \frac{22.05}{6 \times 10^{-5}} = 366 \times 10^3$$

Analizando la figura 6-7 de la pag. 108 de Kays & London para  $N_{pr} = 4$  y  $N_r = 366 \times 10^3$ , se obtiene un valor de  $N_{nu} = 90$

De la expresión  $N_{nu} = \frac{h_i D_h}{k}$  se despeja el factor de transferencia de calor  $h_i$ .

$$h = \frac{N_{nu} \times K}{D_h} = \frac{90 \times 0,34 \text{ BTU /hr.pie}^{\circ}\text{F} \times 12}{0.75 \text{ pulg.}}$$

$$h = 490 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}}$$

Que es el coeficiente de película del líquido que circula en el interior de los tubos.

Para encontrar el coeficiente de película en el lado exterior de los tubos del enfriador se aplica un razonamiento similar al usado en el caso del calentador.

El área del tubo de entrada del líquido tiene un diámetro  $d = 6$  pulgadas.

Si se asume tener un caudal de  $Q = 50 \text{ G.P.M.}$  la velocidad de entrada del líquido será igual  $V = \frac{Q}{2.44d^2} = \frac{50}{2.44 \times 36} = 0,57 \frac{\text{pie}}{\text{seg.}}$

$$N_r = \frac{VD}{\nu} \quad \nu = 0.5 \times 10^{-5} \frac{\text{pies}^2}{\text{seg.}}$$

$$N_r = \frac{0.57 \text{ pies/seg.} \times 6}{0.5 \times 10^{-5} \text{ pie}^2 \times 12} = 57 \times 10^3$$

Utilizando la trayectoria de la recta D del flujo normal a tubos escalonados de doble espacio entre fila y columna nos da un valor de 0.008 para la expresión  $N_{st}(N_{pr})^{2/3}$

Para el agua de enfriamiento el número de Prandtl es igual

$$N_{pr} = 8$$

$$(a) \quad N_{st} = 4$$

$$N_{st} = \frac{0,008}{(N_{pr})^{2/3}} = \frac{0,008}{4} = 0,002$$

Aplicando la ecuación  $N_{st} = \frac{h}{\rho c_p V}$

$$h = N_{st} \rho c_p V$$

Para el agua de enfriamiento  $\rho = 62.4 \text{ lbs./pie}^3$

$c_p = 1 \text{ BTU/lb} \cdot \text{°F}$  ;  $V = 0,57 \text{ pie/seg.}$

$$h = 0,002 \times 62,4 \frac{\text{lbs.}}{\text{pie}^3} \times 1 \frac{\text{BTU}}{\text{lbs.} \cdot \text{°F}} \times 0,57 \text{ pie / seg.} \times 3.600$$

$$h = 255 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}}$$

Reemplazando estos dos valores de coeficiente de película obtenido en la ecuación (27) se obtiene

$$\frac{1}{\frac{1 \text{ hr pie}^2 \text{°F}}{490 \text{ BTU}} + \frac{1 \text{ hr pie}^2 \text{°F}}{2.000 \text{ BTU}} + \frac{0,375 \text{ hr pie}^2 \text{°F}}{10,9 \text{ BTU} \times 12} \ln \frac{0,5}{0,375}}$$

$$\frac{1}{\frac{0,375 \text{ hr pie}^2 \text{°F}}{0,5 \times 1.000 \text{ BTU}} + \frac{0,375}{0,5} \times \frac{1}{255} \frac{\text{hr pie}^2 \text{°F}}{\text{BTU}}}$$

$$\frac{1}{0,002 + 0,0005 + 0,0007 + 0,00065 + 0,003}$$

$$= \frac{1}{0,00685}$$

$$= 167 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{°F}}$$

Para encontrar el valor de la temperatura logarítmica media se aplica la fórmula (29)

Según la condición del problema

$$\Delta t_{\text{máx.}} = 112 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_{\text{mín.}} = 30 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_{\text{m.}} = \frac{112 - 30}{\ln \frac{112}{30}} = 66 \text{ } ^\circ\text{F}$$

El área requerida para el enfriador según (25) será igual a:

$$A = \frac{q}{\Delta t_{\text{m}} \times U} \quad ; \quad A = \frac{1'103.800 \text{ B T U /hr}}{66 \text{ } ^\circ\text{F} \times 167 \text{ B T U/hr. pie } 2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$A = 97 \text{ pies } 2$$

Ya que para el enfriador el factor de corrección es igual a la unidad por ser un movimiento de contraflujo, el valor del área encontrada anteriormente se mantiene en 97 pies<sup>2</sup>.

Para encontrar el número de tubos que tendrá el enfriador se establecerá primeramente que la longitud de los tubos es de 8 pies.

$$\text{Aplicando la fórmula (31) } n = \frac{A}{l \times \pi \times d. e.}$$

$$A = 97 \text{ pies}^2; \quad l = 8 \text{ pies}; \quad d. e = 1 \text{ pulgada. Luego:}$$

$$n = \frac{97 \text{ pies}^2}{8 \text{ pies} \times 3,14 \times 1/12 \text{ pie}} = 1.164 / 25.12$$

$$n = 46 \text{ tubos de 1 pulgada de diámetro}$$

El material de los tubos será de acero inoxidable 304 que tiene alta resistencia a la corrosión.

Flujo de agua requerido para el enfriamiento del fluido

En el intercambiador de calor tratado con agua se aplica el criterio de que el calor transferido del líquido debe ser igual al calor sensible adquirido por el agua de tratamiento. Este criterio se basa en la primera ley de la termodinámica sin considerar los cambios que se producen en el intercambiador de calor. Refiriendo a lo enunciado se puede escribir la siguiente igualdad:

$$W_1 \times C_{p1} \times \Delta t_1 = W_w \times C_{pw} \times \Delta t_w \quad ( 33 )$$

Trabajando con las condiciones establecidas las temperaturas del líquido en tratamiento en la entrada y salida del intercambiador son 212 °F y 100 °F respectivamente.

En general la distribución de temperatura en un intercambiador de calor ideal paralelo ó de contra flujo, el calor que absorbe el fluido frío es igual al que pierde el fluido caliente, según se demuestra con ( 33 ).

Según valores de datos obtenidos para líquidos similares al insecticida en tratamiento le corresponde un calor específico,  $C_{p1} \approx 0,45 \text{ BTU/Lb.}^\circ\text{F}$ .

$$W_1 = 22.800 \text{ Lb/hr.}$$

$$\Delta t_w = 30 \text{ }^\circ\text{F}$$

Reemplazando valores en ( 33 )

$$W_w = \frac{W_1 \times C_{p1} \times \Delta t_1}{C_{pw} \times \Delta t_w} = \frac{22.800 \text{ Lb/hr.} \times 0,45 \text{ BTU/Lb.}^\circ\text{F} \times 112^\circ\text{F}}{1 \text{ BTU/lb.}^\circ\text{F} \times 30^\circ\text{F}}$$

$$W_w = 38.300 \text{ Lb/hr.}$$

Que transformado a galones por minuto nos da :

$$W_w = 77 \text{ galones/minuto.}$$

Lo referente al agua para el enfriador se tratará cuando se mencione las utilidades de la planta.



Es necesario variar el espesor de la pared del tanque desde el fondo hasta la parte superior, pero ya que las planchas de acero son fabricadas a un espesor uniforme, se mantendrá el mismo espesor de la pared en toda la extensión.

Las especificaciones para construcción de tanques dadas por el código de API 650 especifica que para un tanque cuyo diámetro sea menor de 50 pies y que no sea sometido a una temperatura mayor de 750°F, el espesor no será mayor de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas ni menor de  $\frac{3}{16}$  pulgada.

según las regulaciones del código de ASME, se empleará un espesor de  $1/8$  pulg. para paredes de tanques que tengan uniones soldadas y  $3/16$  pulg. para uniones empernadas.

En el diseño de estos tanques se tomará también en cuenta el factor permisible de corrosión  $c$ . Luego la formula (34) sería:

$$t = \frac{2.6 \times H \times D \times G}{E \times S} + c \quad (34 a)$$

Tomando como primer ejemplo el diseño del tanque destinado a almacenar metanol, para cuyo caso:

Consumo diario ..... 430 glns.

" mensual ..... 12.900 glns.

Dándole a este tanque las siguientes dimensiones

D = 12 pies

H = 16 pies

Se obtiene una capacidad de 13.572 galones

Si g.e. = 0,81 (para el metanol)

$c = 3/32 = 0,10$  pulg.

E = 90%

$S_d =$  Esfuerzo de diseño = 24.400  $\frac{\text{lbs.}}{\text{pulg}^2} = \frac{S}{M}$

$$t = \frac{2.6 \times 16 \text{ pies} \times 12 \text{ pies} \times 0,81}{0,9 \times 24400 \text{ lbs./pulg}^2} + 0,1 = 0,017 + 0,1 = 0,117 \text{ pulgadas}$$

El espesor de que constara el tanque será de  $3/16$  pulg. = 0,18 " se está dentro del límite de diseño.

Tanque para almacenar tolueno.

Razonando en forma similar a la anterior

Consumo diario ..... 110 glns.

" mensual ..... 3.300 glns.

D = 7½ pies

H = 10 pies

Capacidad = 3.300 glns.

E = 90%

S<sub>d</sub> = 24.400 lbs./pulg<sup>2</sup>.

g.e. = 0,89 (G)

$$t = \frac{2,6 \times H \times D \times G}{E \times S_d} + c = \frac{2,6 \times 10 \times 7,5 \times 0,89}{0,9 \times 24.400} + 0,1 = 0,107$$

t = 0,107 pulg.

Valor que también se mantiene dentro del límite de diseño.

Tanque para almacenar DEM.

Consumo diario ..... 945 glns.

" mensual ..... 27.420 glns.

D = 16 pies

H = 18,5 pies

Capacidad = 27.888 glns.

E = 90%

S<sub>d</sub> = 24.400 lbs./pulg<sup>2</sup>.

g.e. = 0,9 , c = 0,1

$$t = \frac{2,6 \times 18,5 \times 16 \times 0,9}{0,9 \times 24400} + 0,1 = 0,135 \text{ pulgadas}$$

que es un valor inferior al valor límite de 0,18 pulgadas.

Para los demás tanques se seguirá con un proceso similar en el cálculo y especificaciones. Los detalles aparecen en la lista de equipos a usarse en la planta.

#### CUBIERTA PARA LOS TANQUES

En una industria química la mayoría de las cubiertas para tanques son seleccionadas tanto para disminuir la evaporación del líquido como para proteger a la sustancia de impurezas.

Las cubiertas serán diseñadas para soportar el peso del material

ó carga muerta, más una carga viva ó efectiva de no menos  $25 \frac{\text{lbs.}}{\text{pie}^2}$

El material de la cubierta de un tanque debe tener un espesor mínimo de 3/16 pulg. según los códigos de regulaciones.

### CUBIERTAS REGULARES

En cubiertas regulares el radio de curvatura  $R_c$  no debe ser mayor que el radio exterior de la cabeza ó parte superior del tanque según se muestra en la figura.

CUBIERTA DE LOS TANQUES EN FORMA DE PLATO

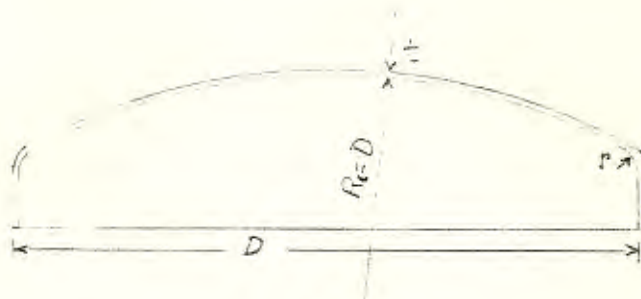


FIG. Nº 9

El radio de la esquina ó mudo  $r$ , no debe ser menor que  $0,06D$  o tres veces el espesor de la tapa.

Espesor y presión en el lado cóncavo de la tapa.-

Según especificaciones del código de ASME, el espesor de una tapa regular en forma de plato está dado por la fórmula:

$$t = \frac{0,885 p R_c}{S E - 0,1p} \quad (35)$$

$$\text{presión } p = \frac{S E t}{0,885 R_c + 0,1t} \quad (35 a) *$$

$t$  = espesor

$p$  = presión de diseño

$S$  = esfuerzo de diseño

$E$  = eficiencia de la unión

$R_c$  = radio interior de la corona

Ver ref. # 10

Para encontrar la presión en el lado cóncavo de la cubierta se aplica la ecuación (35a). Si se toma como ejemplo la cubierta que llevará el tanque que almacena DEM, los datos serían:

$$S = 24.400 \text{ lbs./pulg}^2.$$

$$E = 90\%$$

$$t = 0,18 \text{ pulg.}$$

$$Rc = 16 \text{ pies}$$

$$p = \frac{24.400 \text{ lbs/pulg}^2 \times 0,9 \times 0,18 \text{ pulg}}{0,885 \times 16 \text{ pies} \times 12 - 0,1 \times 0,18 \text{ pulg.}} = 23,6 \text{ lbs/pulg}^2.$$

Por lo general el fondo de un tanque se construye con planchas de acero de  $\frac{1}{2}$  pulg. de espesor. El diseño más sencillo del fondo de un tanque<sup>4</sup> es aquel que tiene la forma plana. ( Ver fig.10)

#### SOLDADURA

Los tanques a emplearse en el proyecto como también otros accesorios tendrán la estructura completamente soldada. La Sociedad Americana de Soldadura A W S como otras organizaciones especifican normas y regulaciones respecto a este tópico.

Para un esfuerzo permisible en tensión o compresión el valor fluctua entre 18.000 y 20.000 lbs./pulg<sup>2</sup>. El esfuerzo de corte tiene un valor entre los 12.000 y 15.000 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Los tipos más usados de soldadura son, soldadura de tope, soldadura de filete y soldadura superpuesta.

La resistencia de la soldadura de tope es igual al esfuerzo permisible del tipo de soldadura por el area de la unión a ser unida. Las uniones más empleadas en la industria son los tipos en V y en W.

La soldadura de filete por lo general trabaja al corte. El esfuerzo de corte esta localizado en la garganta de la soldadura la cual tiene una longitud igual al valor del lado por  $\cos 45^\circ$  ( $L \times 0,707$ ). El area de la soldadura de corte a través de la garganta es igual  $A = L \times h = L \times t \times 0,707$ . (36)

Usando el esfuerzo permisible de corte igual a 13.600 lbs/pulg<sup>2</sup>, la resistencia de la soldadura de filete es:

$$P = A \times S_s \quad (37)$$

$$P = L \times t \times 0,707 \times 13.600 = 9600 \text{ t L}$$

$$S_s = \text{esfuerzo de corte; } t = \text{espesor; } L = \text{longitud}$$

La resistencia de la soldadura de filete es expresada también como resistencia por pulgada lineal de soldadura. Así:

Tamaño de la soldadura	Resistencia por pulgada
1/8"	1.200 lbs.
3/16"	1.800 lbs.
1/4"	2.400 lbs.

La soldadura de filete que se aplicará en las uniones de las paredes del tanque con el fondo, tendrá un espesor de 1/4". Para 1" de longitud el valor de la resistencia será:

$$P = 9600 \times t \times L = 9600 \times 1/4" \times 1" = 2400 \text{ lbs. Según (37).}$$

Asumiendo que  $S_s = 13.600 \text{ lbs/pulg}^2$ .

La resistencia en las planchas que forman las paredes de los tanques corresponden a una soldadura de tope, para la cual el esfuerzo tensor tiene un valor  $S_t = 18.000 \text{ lbs/pulg}^2$ . El valor de la resistencia de la soldadura será:

$$P = L \times t \times S_t = 1" \times 3/16" \times 18.000 = 3240 \text{ lbs. Para una pulgada de longitud y } 3/16" \text{ de espesor.}$$

Para obtener un diseño económico en la soldadura hay que tener presente:

- 1.- Emplear el tamaño mínimo de soldadura
- 2.- Colocar la soldadura eliminando exentricidades y
- 3.- Balancear la soldadura para controlar la distorsión.

El proceso de soldadura puede ser efectuado empleando ya sea el arco eléctrico ó el soplete a gas. La soldadura de arco eléctrico es la más usual y efectiva para la aplicación en la industria.

Los aceros ó electrodos utilizados en la soldadura de arco eléctrico tiene una resistencia en el rango de 60.000 a 100.000 lbs/pulg<sup>2</sup>. Los factores permisibles de seguridad que se deben dar a los esfuerzos arriba indicados para obtener efectividad en la soldadura pueden ser evaluados en la siguiente forma de acuerdo a las normas del Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC).

<u>Tipo de carga</u>	<u>Tipo de soldadura</u>	<u>Esfuerzo permisible</u>
Tensión ó compresión	De Tope	0,60 $S_y$
Al corte	De tope ó filete	0,40 $S_y$

Los tipos de soldadura que más se usan son:

<u>Tipo de Electrodo</u>	<u>Esfuerzo de Tensión</u> ( psi )	<u>Punto de Cedencia</u> (psi)
E 6010, E 6011	62.000	50.000
E 6012, E 6013	67.000	55.000
E 7014, E 7024	72.000	60.000
E 7015, E 7028	72.000	60.000

En nuestro país, la compañía AGA fabrica un electrodo designado como AWS- E 6011, el cual proporciona soldadura de condiciones aceptables en grandes y pequeñas estructuras. Con este electrodo de tipo celulósico se puede soldar en cualquier posición empleando corriente alterna ó continua.

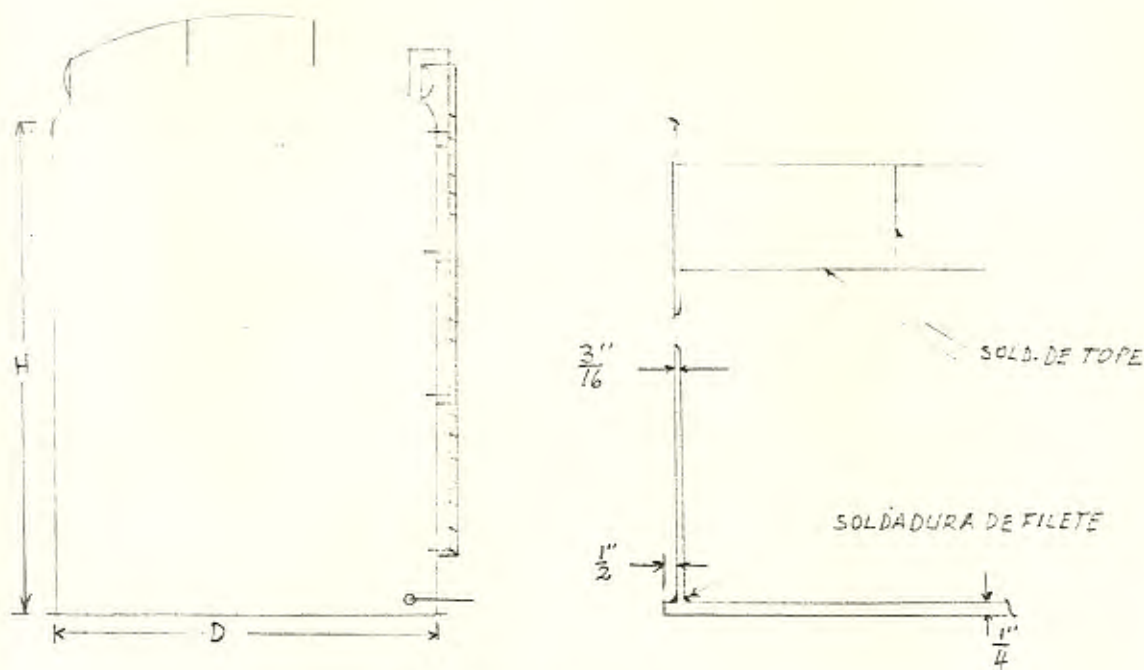


FIG. Nº 10

ESTRUCTURA DE LOS TANQUES EMPLEADOS EN EL PROCESO

Todos los tanques han sido instalados en sitios en donde hay amplio espacio alrededor de la estructura para facilidad de operación y mantenimiento.

Tapas de registro serán dotadas a los tanques de volumen mayor para realizar inspecciones periódicas. La mayoría de los tanques cilíndricos tienen la tapa registro en la cubierta ó en la parte inferior de las paredes. Esta por lo general tiene un diámetro de 20 a 25 pulgadas.

Para la inspección necesaria y operaciones de mantenimiento los tanque también dispondrán de escaleras.

#### DETERMINACION DE LOS EQUIPOS DE CONTROL

Un equipo de control consta de varios instrumentos los cuales determinan el valor ó magnitud del flujo empleado en un proceso.

En un proceso industrial el control de propiedades tales como presión, temperatura, flujo, etc. determinan la calidad y eficiencia de la producción.

Medidas de temperatura.- Se emplearan termómetros ya sea en escala Fahrenheit ó Celsius.

Los termómetros que se usarán con mas frecuencia son el termómetro de mercurio, el cual será colocado en dispositivos tales como tanques de almacenamiento, tanque de lavado, etc. En estos termómetros se pueden leer temperaturas entre los  $-30^{\circ}\text{F}$  y  $900^{\circ}\text{F}$ . Para protección en el uso industrial, estos termómetros se los coloca en cajas metálicas. En lugares en donde existan elevadas temperaturas se emplearán termómetros de termocopla, cuyo límite de acción oscila entre los  $-300^{\circ}\text{F}$  y  $3.200^{\circ}\text{F}$ .

Medidor de presión.- Las presiones serán chequeadas generalmente por instrumentos que posean columna líquida en donde la densidad y longitud de determinado fluido se usa para medir la presión en los diferentes mecanismos de la planta. Uno de los termómetros de más uso es el barómetro metálico de diafragma de Bourdon.

Medidores de flujo.- Son usados para dosificar la cantidad correcta de flujo en el proceso. Entre los más conocidos se cita aquel basado en el tubo de Pitot. Este dispositivo se usará con mas frecuencia en los tanques volumétricos como también en los intercambiadores de calor.

Medidores de nivel.- Los controles de nivel se colocarán en los tanques para arrancar y detener la acción de las bombas en los niveles bajo y alto respectivamente. El control de nivel puede ser un interruptor flotante, un interruptor de presión ó cualquier dispositivo eléctrico aceptable.

Los tanques también deben ser equipados con alarmas para ambos niveles. La alarma de nivel bajo indicará que la bomba no trabaja debidamente por efecto de una válvula ó tubería defectuosa. Si la bomba no arranca automáticamente habrá que operarla manualmente. La alarma de nivel superior indicará que el líquido ha alcanzado el nivel máximo y hay peligro de que se derrame.

Estas alarmas se conectarán a un control central, el cual emite señales visuales y auditivas.\*

---

\* Ver referencia # II



En tanques cilíndricos de medidas proporcionales, es decir que la altura no excede en gran proporción al diámetro de la base, el empleo de soportes de sustentación es raramente usado.

Existe un límite sobre el cual un tanque vacío es volcado por la acción del viento. Está dado por la ecuación:

$$c = \frac{2 M}{D w} \quad (38)$$

M = Momento flector debido a la acción del viento, lb.-pie.

D = Diámetro de la estructura del tanque, pies.

w = Peso del tanque vacío, lbs.

Si c en la fórmula anterior excede de 0,66 se usarán en la base soportes de sustentación.

El momento flector debido a la acción del viento está dado por la fórmula:

$$M = \frac{1}{2} p D H^2 \quad (\text{lb.-pie})$$

Para saber si alguno de los tanques puede ser volcado por la acción del viento, se ha tomado como ejemplo el tanque de mayor tamaño, el tanque que almacena DEM. Este tanque tiene una altura H = 18,5 pies y el diámetro de la base es D = 16 pies. La presión normal del viento tiene un valor de 10 lbs./pie<sup>2</sup> en regiones en donde la velocidad del viento es mayor de 45 millas/hora. Luego:

$$M = \frac{1}{2} \times 10 \text{ lbs./pie}^2 \times 16 \text{ pies} \times (18,5 \text{ pies})^2 = 27.380 \text{ lb-pie.}$$

Peso del tanque vacío:

$$\text{Area lateral, } A = \pi D L = 3,14 \times 16 \text{ pies} \times 18,5 \text{ pies} = 937 \text{ pies}^2$$

Cubierta del tanque.- Para cubiertas en forma de plato, el área es :

$$A = 0,9286 D^2 = 0,9286 (16 \text{ pies})^2 = 235,5 \text{ pies}^2$$

Area del fondo.-

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 201 \text{ pies}^2.$$

El área lateral y la cubierta del tanque tienen un espesor de 3/16" = 0,015'. El volumen de esta sección será:

$$V = (937 \text{ pies}^2 + 235,5 \text{ pies}^2) 0,015 \text{ pies} = 17,6 \text{ pies}^3.$$

El espesor del área del fondo es de 1/4" = 0,02'

El volumen de esta sección será:

$$V = 201 \text{ pies}^2 \times 0,02 \text{ pies} = 4,02 \text{ pies}^3.$$

Según las especificaciones de ASTM sec. A 285 , el acero al carbón usado en la construcción de tanques tiene una densidad de  $0,2284 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$ , una gravedad específica  $g.e. = 7,86$ . Luego el peso específico de este material es:

$$w = g.e. \times w(\text{H}_2\text{O}) = 7,86 \times 62,4 \text{ lbs/pie}^3 = 493,25 \text{ lbs/pie}^3.$$

El peso del tanque será:

$$w = 21,62 \text{ pies}^3 \times 493,25 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3} = 10.413,4 \text{ lbs.}$$

El valor de  $c$  según (38) será:

$$c = \frac{2 \times 27.380 \text{ lb-pie}}{16 \text{ pies} \times 10.413 \text{ lbs}} = 0,31$$

Ya que el valor de  $c$  obtenido es menor del valor límite, los tanques no requieren pernos de anclaje ó sustentación.

Especial consideración debe observarse en las bases sobre las cuales descansan los tanques, ya sea que tengan columnas de soporte ó estén colocados simplemente en el suelo. Los tanques de fondo plano son empleados con más frecuencia por la gran flexibilidad para adaptarse a cambios que pueda experimentar el suelo.

La primera consideración será determinar la capacidad de soporte que experimenta el suelo en el sitio elegido. Para presiones ocasionadas por planchas de acero sobre estructuras de albañilería los siguientes valores son los más usados:

Ladrillo sobre mezcla de cemento	200 lbs/pulg <sup>2</sup>
Hormigón con cemento Portland 1-2-4	500 "
Piedra arenisca de primera clase	300 "
Piedra de limo	400 "
Piedra de granito	600 "

Asumiendo que las condiciones del terreno son aceptables, hay que buscar cual sería la cimentación más adecuada tanto en seguridad como en economía.

Se ha observado que bases de cemento en forma de pared circular distribuyen el peso del tanque sobre un área que es igual a la superficie transversal del tanque.

Entre las múltiples ventajas que ofrece esta base (ver figura # 11) se puede mencionar:

Apariencia estética, excelente soporte para la estructura del tanque, eliminación de lavado periódico de las bases.

Las bases de tipo de pared circular son tan proporcionales que la superficie de suelo bajo el concreto tiene la misma consistencia que la superficie de suelo encerrada en la pared.

Teniendo en cuenta que la pared del tanque será colocada en el centro de la base circular, el peso de la tierra y el concreto serán 100 lbs./pie<sup>3</sup> y 140 lbs./pie<sup>3</sup> respectivamente.

El espesor de la pared circular de concreto puede ser determinado siguiendo la fórmula dada por el código API 650\*

$$t = \frac{24 w}{g H - 80 h} \quad (39)$$

w = peso del material de las paredes y cubierta asentado en la base — — — — — lbs./pie de circunferencia

H = altura del tanque — — — — — pies

h = altura de la pared circular — — — — — pies

g = peso específico del líquido almacenado en el tanque  $\frac{\text{lbs.}}{\text{pie}^3}$

En ningún caso el espesor de la base deberá ser menor de 10". La altura de la pared circular será de 4 pies ( 2 pies introducidos y 2 pies sobre el suelo)

Analizando el tanque que se ha puesto de ejemplo, en el cual

H = 18,5 pies

D = 16 pies

g = 0,9 x 62,4 lbs./pie<sup>3</sup> = 56,2 lbs./pie<sup>3</sup>. ( para el DEM),

El peso por unidad de longitud será:

$$w = \frac{8434,6 \text{ lbs.}}{D} \quad \text{peso esp. del acero } 493,25 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$$

volumen de paredes y cubierta  
17,1 pies<sup>3</sup>

$$w = \frac{8434,6 \text{ lbs.}}{3,14 \times 16 \text{ pies}} = 168 \text{ lbs./ pie de pared}$$

t, según ( 39) será:

$$t = \frac{24 \times 168 \text{ lbs./pie}}{56,2 \text{ lbs./pie}^3 \times 18,5 \text{ pies} - 80 \times 4 \text{ pies}} = 5,7 \text{ pulg.}$$

que es el espesor de la pared que servirá de base del tanque.

\* Ver referencia # 12

Ya que el espesor de la pared debe tener un valor mínimo de 10 pulgadas, si se emplea este espesor el diseño se mantiene dentro de los límites de seguridad.

Si hay aberturas en la pared, se debe reforzar la estructura de ésta para mantener la continuidad de forma de arco mediante barras de acero alrededor de la estructura.

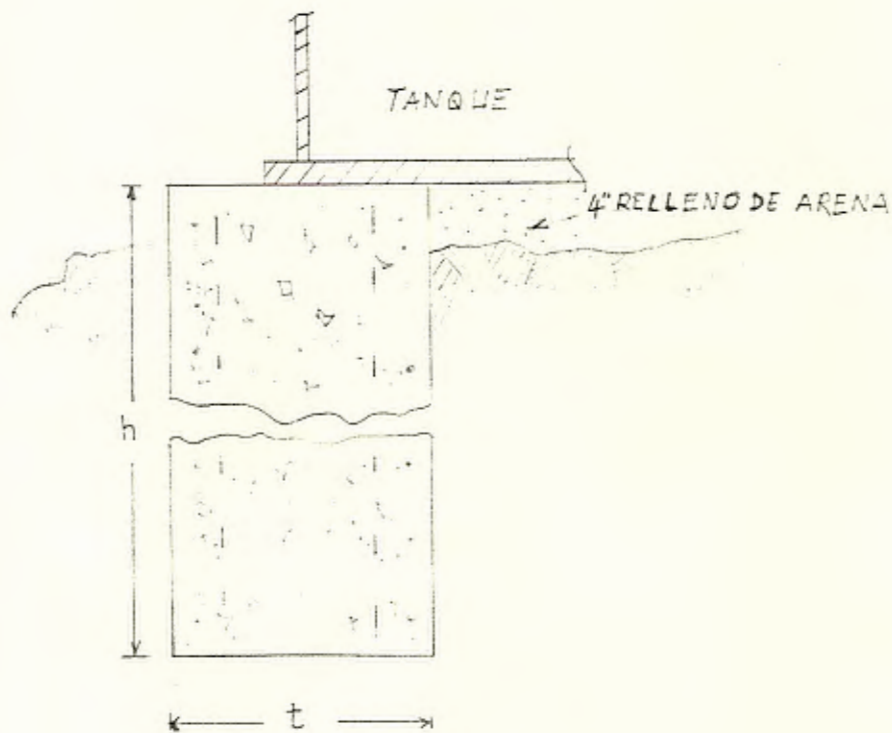


FIG. N° II

BASE DE LOS DEPOSITOS

### Control de Calidad.-

Control de calidad efectiva es el sistema de actividades coordinadas, las cuales evalúan, controlan y detectan la calidad del producto.

El producto a elaborarse en la planta de pesticidas tendrá el cuidado requerido en la elaboración para obtener una aceptable calidad y así poder competir con los similares importados.

Periodicamente se elaborarán reportes de tabulaciones para averiguar la calidad del artículo en producción.

El valor de un producto viene dado por la expresión:

$$\text{Valor del producto} = \frac{\text{calidad} + \text{seguridad}}{\text{costo}}$$

Las pruebas de análisis de laboratorio se realizarán dos veces por día. Si los resultados obtenidos no son satisfactorios, se tomarán las debidas medidas para asegurar la calidad del artículo.

La responsabilidad de la calidad del producto lo tiene en primer lugar la sección técnica de la planta. Mediante el uso del análisis estadístico se determinarán con proligidad las tolerancias de entrada y salida del producto.

La sección manufactura tiene la función de preparar con toda eficiencia lo dispuesto por la sección técnica.

La tolerancia principal para que el control de calidad opere con eficiencia, es la tolerancia por las características finales del producto tales como rendimiento, apariencia y costo.

### Seguridad de la Planta.-

Se tomarán las más grandes precauciones con el fin de evitar accidentes personales y materiales ya por consecuencia de incendios, explosiones y en general cualquier causa que altere el desenvolvimiento de las labores a efectuarse.

Ya que en el proceso de fabricación se emplean sustancias inflamables, se tomará una marcada seguridad y prevención contra incendios.

La planta estará dotada de un equipo completo contra incendio. Habrá extinguidores estacionarios y portátiles.

Los extinguidores portátiles que ofrecen más eficacia en instalaciones de este tipo son los extinguidores de espuma, la cual

es una solución química formada de agua y bióxido de carbono. Este compuesto ofrece también eficacia en equipo eléctrico. Estas unidades portátiles se colocaran en los lugares más estratégicos de la planta.

Para los extinguidores estacionarios ó hidrantes, la planta contará con un reservorio de agua que abastecerá una bomba de incendio con una capacidad de dos horas de descarga a una presión de 60 lbs./pulg<sup>2</sup>. ( Ver diagrama de flujo de vapor y agua )

El área de producción tendrá pisos constituidos de concreto a prueba de ácido. Las paredes del edificio estarán aisladas con asbesto-cemento transita que es una sustancia densa , homogénea de extraordinaria tenacidad y resistencia a la corrosión y fuego.

Todos los aparatos sujetos a presión estarán dotados de un control automático de válvulas de seguridad, las cuales previenen un incremento de presión en un 10% sobre la presión permisible de diseño. En todo tanque se colocará la correspondiente válvula de drenaje y las diversas medidas de control.

Dos veces al año se realizarán simulacros de incendio para tener al personal precavido para un caso real. En horas hábiles se dará instrucción del trabajo en función a todo el personal, especialmente a los obreros.

Se elaborarán simples pero significativos records de accidentes para conocer las causas y tratar de eliminarlas en la totalidad.

Toda maquinaria y equipo serán inspeccionados con regularidad para seguridad de trabajo.

Se ha estimado que se requieren 5.000 lbs./hora de vapor para la operación de mayor demanda. Esta capacidad podría ser aumentada para mayores requerimientos de vapor.

El generador de vapor tendrá una presión de 80 a 120 lbs/pulg<sup>2</sup>. El combustible a usarse en la caldera será el petróleo, el cual será almacenado en el tanque respectivo.

El ciclo del vapor es el siguiente:

El vapor sale con la presión de diseño, la cual puede ser reducida en los lugares que se requiera. Luego de abastecer a las diferentes secciones del circuito el vapor condensado se deposita en un tanque de almacenamiento de condensado. De este depósito el condensado va al desmineralizador y de aquí a la caldera mediante la bomba de alimentación.

Utilizando el vapor condensado en el circuito se logra aumentar la eficiencia del ciclo.

Para compensar las pérdidas debido a purga y fugas en la caldera se requiere de un tanque de abastecimiento de agua, el cual se suple del agua de retorno proveniente del enfriador y el agua ya tratada proveniente del río.

## CAPITULO VI

### ANALISIS FINANCIERO

En la administración de la empresa el mayor objetivo será aminorar el beneficio a largo plazo para utilidad de la empresa.

Es de extrema importancia estimar y analizar los gastos y utilidades que tendría la empresa antes de comenzar con el levantamiento del proyecto.

Existen algunos procedimientos para establecer la utilidad que tiene una empresa. El más generalizado suele ser el de obtener la máxima ganancia en relación a la inversión empleada. De este estudio se deduce que las utilidades de retorno a una inversión son el medio más adecuado para analizar la marcha de la empresa.

Hay algunos factores de gran influencia que pueden ser previstos con razonable exactitud como son el costo de la estructura inicial, período de construcción, costo de materia prima, etc. Se puede decir que los factores de un análisis financiero se basan casi siempre en estimaciones y naturalmente no son absolutamente exactos. El análisis financiero se puede definir como el informe de déficits y superábits.

Déficits ó superábits son la diferencia entre el ingreso total por venta del producto y los gastos que demandan la preparación y venta del mismo.

En el presente proyecto hay que hacer algunas inversiones referentes a manufactura y venta del producto. Entre las principales mencionaré las siguientes:

- 1.- Costos de materia prima
- 2.- Costos por elaboración del producto

Costos de materia prima.- En el mercado local se vende metanol en unidades de 55 glns. a un precio de \$1.925 cada unidad, lo que representa \$5,10 por libra, que comprando al por mayor se puede adquirir a un precio de \$3 por libra. \*

Toluenos se puede comprar a \$1.710 los tambores de 55 glns. lo que equivale \$4,16 por libra, que al por mayor, hay una rebaja de \$1,66, o sea que se puede conseguir hasta \$2,50 c/lb.

---

\* Todos los precios están en base a listas publicadas en 1972



El D.E.M. (Diethylmaleate) se lo puede conseguir al mismo precio del metanol en el mercado exterior. El P205 también hay que importar. El precio varía entre \$1,50 y \$2,0 c/lb. Lo dicho anteriormente se puede sumarizar en la siguiente forma.

#### CALCULO APLICADO A UN AÑO DE DURACION

Materia Prima	Proporcion \$. por 1.000	Lbs o Glns. cant. en 1.000	Valor \$.
Metanol	3.000	716,25	2'.148.000
Tolueno	2.500	200	500.000
P205	1.500	1.277,5	1'.915.000
D.E.M.	3.000	1.775	5'.425.000
		Total	9'.988.000
Gastos por concepto de prueba y desperdicios, 5%			500.000
Gran Total			10'.488.000

Costos de producción.- En esta sección están considerados algunos tipos de inversiones que se realizarán en la planta, los cuales se pueden clasificar en la siguiente forma:

- a.- Costos de equipo, instalaciones, terreno, construcción, etc.
- b.- Salario del personal ( técnico, administrativo, obreros)
- c.- Costos de servicios prestados: electricidad, agua, etc.
- d.- Mantenimiento y reparación.
- e.- Costos de venta y distribución.
- f.- Gastos imprevistos.

El costo de la proyectada planta no puede ser elaborado con exactitud al presente ya que existen muchos factores desconocidos. El costo total referente a producción de la planta será tomado en base a la experiencia de organizaciones similares.

Un porcentaje parcial es destinado a cada sección del proyecto. Un cálculo bastante aceptable resulta de poner un gasto conocido como base y los demás gastos relacionarlos con ese dato.

La organización ha elaborado el presupuesto para los gastos de producción gracias a la información suministrada por

casas distribuidoras y algunos amables competidores.

El equipo de proceso según la lista elaborada tiene un valor aproximado de 2'.400.000 sucres, lo cual representa un 25% del costo total de equipo, instalaciones, terreno, construcción, etc.

El siguiente cuadro servirá para dar una idea de los demás gastos de esta sección.

<u>Sección</u>	<u>% del valor</u>	<u>Costo estimado \$.</u>
Equipo de proceso	25%	2'.400.000
Instalación del equipo	2,5%	240.000
Tubería y soporte	10,5%	1'.008.000
Aislamiento y cobertura de instalaciones	2,5%	240.000
Instrumentación	5%	480.000
Instalación eléctrica	6,5%	624.000
Subestructuras	3,5%	336.000
Terreno (sitio)	2,5%	240.000
Auxiliares ó servicios de planta	5%	480.000
Planta , Superestructuras	6,5%	624.000
Costo de construcción	20,5%	1'.968.000
	Total	9'.640.000
Gastos imprevistos		100.000
	Gran Total	9'.740.000

#### DEPRECIACION

Como procedimiento usual, el tiempo útil que tendrá una fábrica se estima en 10 años. La depreciación se calculará en la proporción del 10% de los costos de producción.

Cantidad por depreciación 974.000

Salario del personal.- El salario de un trabajador varía de acuerdo a la región. En la zona donde estará situada la planta, los salarios y el tipo de personal que trabajará en la planta se puede estimar en la siguiente forma:

<u>Tipo y Nde Empleados</u>	<u>Sueldo Mensual \$.</u>	<u>Cantidad Anual \$.</u>
Operadores y obreros 25	3.000	900.000
Técnicos y Estudiantes- Practicantes 5	5.000	300.000
Ingenieros Regulares 4	12.000	576.000
Personal Ejecutivo 4	9.000	432.000
Gerente	15.000	180.000
		2'.384.000
Gastos de labor indirecta más bonos y beneficios sociales 50% salario		1'.192.000
	Total	3'.576.000

#### SERVICIOS PRESTADOS

<u>Tipo</u>	<u>Consumo Anual</u>	<u>Valor Unit. \$.</u>	<u>Valor Total \$.</u>
Electricidad	500.000 KWH	0,70	350.000
Combustible	200.000 Glns.	2,50	500.000
Agua de Proceso	8'000.000 Glns.		100.000
		Total	950.000
Gastos Imprevistos			100.000
		Gran Total	1'.050.000

#### Gastos de venta y distribución.-

La localización de la planta tiene apreciada influencia en el mercado del producto. Es muy prematuro señalar algun presupuesto para esta sección. Es bastante usual asumir para gastos de venta y distribución el 15% de los gastos de producción del producto.

#### BALANCE GENERAL

<u>Gastos</u>	<u>Precio</u>
Materia Prima	10'.488.000
Depreciacion (10% de equipo, estruct., inst.)	974.000
Salario del Personal	3'.576.000
Servicios Prestados	1'.050.000
Venta y Distribución (15% de gastos de prod.)	840.000

Continua... ..

<u>Gastos</u>	<u>Precio \$.</u>
Seguros	
3/4% del valor de los edificios ( 1'.200.000)	9.000
1% del valor de los equipos ( 2'.400.000 )	24.000
Total	16'.961.000

#### INGRESOS DE PRODUCCION

Se dijo en un primer momento que la planta produciría un volumen de 5'.000.000 de libras por año. Si se planea vender cada libra al precio módico de \$ 5,00 el valor de las ventas sería de .....

S/. 25'.000.000

Lo cual indica que se obtendría una ganancia neta de .....

\$ 8'.039.000

A esta cantidad hay que restar los valores por concepto de préstamos bancarios e intereses fijados por el gobierno, los cuales sufren variaciones con mucha frecuencia.

Cont. LISTA GENERAL APROXIMADA DEL EQUIPO A UTILIZARSE EN EL PROCESO

CODIGO	Nº	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PODER H.P	COSTO SUCHIS
2-07	1	Filtro horizontal, 1 hoja 316 SS.				20.000
2-08	1	D/TA, enfriador (opcional)				30.000
2-09	1	Tanque para D/TA (G.I.)	9534 glns.	$\phi$ 4,5' x 8'		100.000
2-10	1	Bomba D/TA TDH = 25 316 SS.	5 GPM.	27 <sup>1/2</sup> " x 12"	1/5	5.000
2-11	1	Condensador cilíndrico de grafito, para Metanol				35.000
2-12	1	quemador con control y soporte. 316 SS.	0-500 lbs/h			8.000
2-13	1	Bomba de salmuera. C.I.	80 GPM.	35" x 12	1,5HP	18.000
3-01	1	D/TA. tanque vol.	500 glns	$\phi$ 4' x 6'6"		12.000
3-02	1	Tanque vol. para D/TA. C-S vertical	600 glns.	$\phi$ 4' x 7,5'		15.000
3-03	1	Bomba de descarga del reactor 50 TDH aleación 20	80 GPM	35" x 12"		12.000
3-04	1	Tanque de Melathión crudo, 316 SS.	10.000 glns.	$\phi$ 5' x 8'		100.000
3-05	1	Tanque de lavado con agitador, 316 SS con C.I.	10.000 glns.	$\phi$ 5' x 8'		120.000
3-06	1	Bomba para el tanque lavado TDH = 26' 316 SS.	20GPM.	27 <sup>1/2</sup> " x 12"	1/3HP	5.000

Cont. LISTA GENERAL ALMACENADA DEL EQUIPO A UTILIZARSE EN EL PROCESO

CODIGO	Nº	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CAPACIDAD	DIMENSIONES	H.P.	COSTO (Suces)
3-07	1	Tanque del pro <sup>o</sup> ducto lavado 316 SS, presión abierta.	10.000 glns.	φ 5' x 8'		100.000
3-08	1	Bomba Transport. del producto 316 SS.	80 GPM.	27 1/2" x 12"	1 1/2	15.000
3-10	1	Bomba para el tanque de separación 316 SS.		5" x 8"	1/3	5.000
3-09	1	Tanque de separación 316 SS.	12.000	φ 5' x 10'		120.000
3-11	1	Condensador de Reflujo del Tolueno C.S. Shell Aleación 20 tubos				80.000
3-12	1	Recibidor de Tolueno C.S vacío/completo.	468 glns.	φ 3'6" x 6'6"		10.000
3-13	1	Sistema de vacío 10 mm. Hg. Abs. Material Standard.				8.000
3-14	1	Hotwell C.S.	50 glns.			4.000
4-01	1	Separador de va <sub>o</sub> por 316 SS.		φ 18" x 10'h		40.000
4-02	1	Calentador de Kalation 300 SF 316 SS.	80 pies <sup>2</sup>	φ 1 1/2' x 9'		50.000
4-03	1	Condensador de Separación	120 pies <sup>2</sup>	φ 3' x 8'		60.000
4-04	1	Sist. de Separación de vacío	100 lbs./hr.			80.000

Cont. LISTA GENERAL APROXIMADA DEL EQUIPO A UTILIZARSE EN EL PROCESO

CODIGO	Nº	DESCRIPCION	CAPACIDAD	DIMENSIONES	H.P.	(COSTO Suces)
4-05		Kotwell #2 CS. vacío completo	50 glns.			4.000
4-06		Tanque reci- bido del prod. de se- paración.	100 glns.			6.000
4-07	1	Bomba para el enfriado 316 SS. Cen- trífuga 40 TMI.	10 GPM.	27 $\frac{1}{2}$ " x 12"	1 $\frac{1}{2}$	10.000
4-08	1	Enfriador del produc- to, 316 SS. Coraza y tu- bos	76 pies <sup>2</sup>			38.000
4-09	1	Tanque de al- macenaje del producto y a- gitador 316 SS. Presión de líquido a abierto.		φ 10' x 12'		400.000
4-10	1	Bomba para almacenar el product. cen- trífuga 316 SS.		27 $\frac{1}{2}$ " x 12"		10.000
4-11	1	Pasadora (ba- lanza).	0-750lbs.			<u>36.000</u> 21.369.000

Conclusiones y Recomendaciones.-

Se puede decir que el presente proyecto cumple los propósitos para los cuales fue creado.

En el proyecto se está empleando no solo materia prima importada sino que se está aprovechando de las riquezas naturales de nuestro suelo como son los derivados del petróleo.

Ya que el banano sigue constituyendo una fuente de riqueza, merece que se le provea de todo cuidado para el buen rendimiento.

Hay que anotar que el costo al cual será expendido el artículo es bastante económico si se compara con cualquiera de los similares importados.

Con la creación de esta nueva industria se dará oportunidad al advenimiento de otras nuevas relacionadas con los productos repelentes y aromáticos.

La utilidad que aportará el proyecto es bastante buena, por lo tanto habrá mucho interés en la participación de capitales y con la creación de nuevas fuentes de trabajo, se contribuirá al bienestar social.



## CAPITULO VIII

### BIBLIOGRAFIA

- 1.- Manual para Ingenieros Mecánicos de Marks 7ª edición, 1966, páginas 3-51; 8-98, tabla # 2; 6-39; 6-63, tabla # 7; 9-45, 49.
- 2.- Manual de Ingeniería de De Laval, 3ª edición, 1970, páginas 6-6; 6-9.
- 3.- Manual de Cálculos de Ingeniería de Tyler J. Hicks, edición de 1972, páginas 3-306; 3-308, 9 tablas 6, 7 y 8
- 4.- Manual de Ingeniería Química de Perry, página 7, tabla 8-4
- 5.- Mecánica de Fluidos de R. Binder 3ª edición página 118
- 6.- Diseño de Plantas en Ingeniería Química de Wilbrandt y Dryden, páginas 372; 374, tabla 7-2
- 7.- Ingeniería Térmica de Solberg, Cromer y Spalding, edición de 1960. Páginas 366; 449
- 8.- Transferencia de Calor de Rohsenow y Choi, edición de 1965
- 9.- Diseño de Intercambiadores de Calor de A. Frass y M. Ozisic, página 147, tabla 9-1; 217.
- 10.- Manual de Recipientes a Presión de Carl Siemon.
- 11.- Revista Plant Engineering, volumen 27, pag. 75-76, feb. '73
- 12.- Diseño para Tanques de Almacenamiento de Líquidos, volumen #1, publicado por el Instituto Americano de Hierro y Acero, edición de 1970
- 13.- Informe meteorológico de la Sub-Dirección de Aviación Civil del Litoral, 1972.
- 14.- Informe de la Dirección Nacional del Banano 1971
- 15.- The New York Times, en la edición dedicada al Ecuador, 7 de abril de 1968.
- 16.- Revista National Geographic, edición dedicada al Ecuador febrero de 1968.
- 17.- Compact Heat Exchangers de Kays & London.

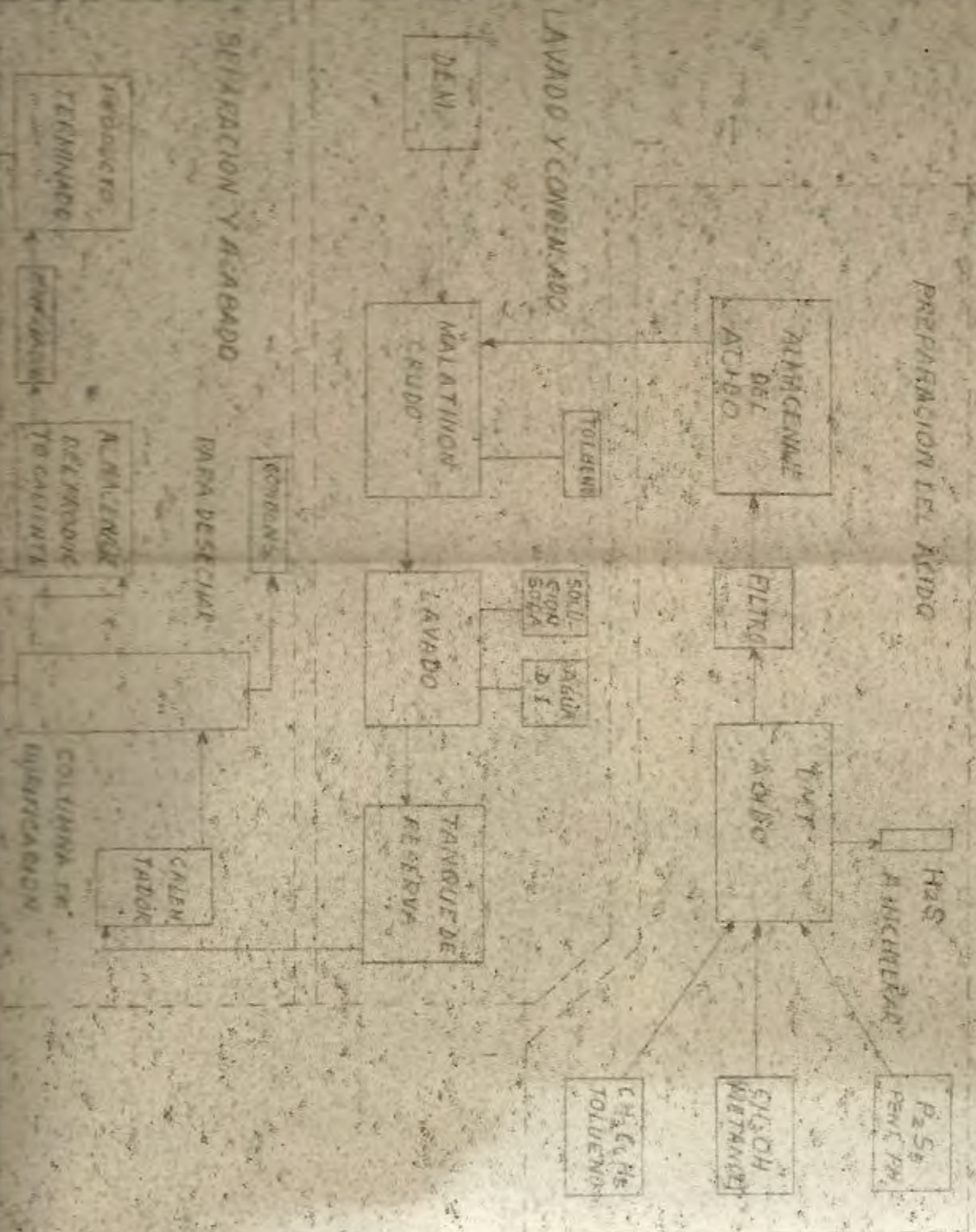
## PROGRAMA NACIONAL DE MANEJO Y CONTROL DE PLAGAS

PLAGUICIDAS REGISTRADOS Y OPERACIONES EN EL REGISTRO NACIONAL DE PLAGUICIDAS EN GUATEMALA, 1971 - 72

PLAGUICIDAS (Nombre Científico)	PLAGAS (Nombre Científico)	SUPERFICIE A TRATAR (Has)	Nº DE HECTÁREAS MIG. CULTIVADA (Has.)	HECTÁREAS MIG. CULTIVADA (Has.)	DOSIS PRODUCTO COMERCIAL POR HECTÁREAS	CANTIDAD DE PLAGUICIDA POR HAS.	TOTAL
6,0, dimetil-1 Hidroxi-2,2,2, tricloro- etil-fosfato Dipterex 40.15 c/ K.	<u>Ceratitis viridis</u>	100.000	3	300.000	0.50 lbs. (80% I.P.)	150.000 lbs.	
	<u>DIPLOLEPSIA</u>	5.000	1	5.000	0.70 " " "	3.500 "	
	<u>MOCINTELLA</u>	20.000	1	20.000	0.70 " " "	14.000 "	
	<u>CALICO SP., Carpobora tarsalis dis. FLEDER</u>	5.000	1	5.000	0.70 " " "	3.500 "	171
Confeno clorato Strobane P - Fenafeno 577 c/galón	<u>Ceratitis viridis</u>	100.000	3	300.000	0.75 Glns. (60% I.P.)	225.000 Glns.	
	<u>Ballanocoryps nassae FROD</u>	20.000	1	20.000	0.50 " " "	10.000 "	235
1, naftil-2, metil- carbato Dicarben - sevin 370 c/K.	<u>Sibine spicalis</u>	20.000	1	20.000	1.00 kilo (85% I.P.)	20.000 lbs.	
	<u>MOCINTELLA SP.</u>	15.000	1	15.000	1.00 " " "	15.000 "	35
UNIFLORIN 50 *	.....	100.000	3	300.000	20.00 cc.	1.500 Glns.	
PIB 500	.....	35.000	1	35.000	5.00 cc.	46 "	
Terracur P 50	20.000 cc. 1000 c/cc.						
Mapone 50	20.000 cc.						

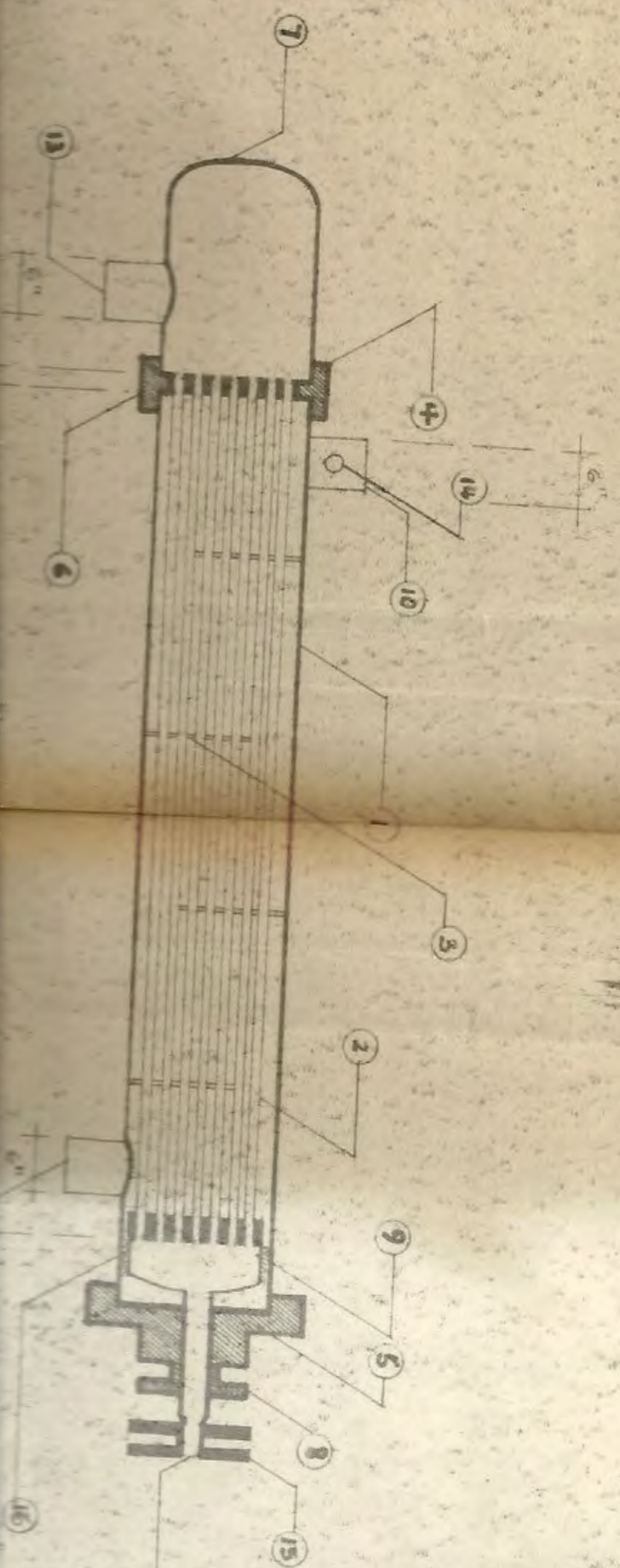
\* Se empleará en el caso del Dipterex en operación de emulsión en aceite agrícola.

Guayaquil, 27 de Julio de 1971.



CORAZA  
TUBOS

PANTALLAS REFLECTORAS  
PARED PORTADORA DE TUBOS  
BORDO POSTERIOR DE CORAZA  
BORDO ANTERIOR DE CORAZA  
BOQUERITA DE CORAZA.  
BORNETA DE EMPAQUE  
CABEZA FLOTANTE  
CANAL DE LA CORAZA. ENTR. LIQUIDO  
SALIDA DEL LIQUIDO  
ENTRADA DE VAPOR.  
SALIDA DE VAPOR.  
CONEXION PARA MEDIDORES.  
BRIDA DE CONEXION.  
SELLO DE ASBESTO



PLANO N° 2

ESOR  
LARGO ENTRE TUBO Y  
DEFLECTOR  $\frac{1}{64}$ "

$\frac{3}{4}$ "



$\frac{1}{8}$ "



ESPEESOR COLAZO  $\frac{3}{16}$ "

ESPEESOR TUBOS  $\frac{1}{8}$ "

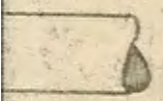
TUBOS DISTRIBUIDOS EN FORMA  
EQUILATERA TRIANGULAR



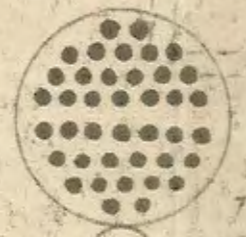
PLANO N° 2

ESPEdor

CLARO ENTRE TUBO Y DEFLECTOR  $\frac{1}{64}$ "  $\frac{3}{4}$ "



$\pm \frac{1}{8}$ "



ESPEdor CORAZA  $\frac{3}{16}$ "

ESPEdor TUBOS  $\frac{1}{8}$ "

TUBOS DISTRIBUIDOS EN FORMA EQUILATERA TRIANGULAR

