

300617
9.
2g



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA UNAM

“ PROYECTO DE INSTALACION DE UN EVAPORADOR VERTICAL DE PELICULA AGITADA ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA MECANICA

P R E S E N T A:
JORGE ALEJANDRO BLEDT BLANCO

Director de Tesis: ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROYECTO DE INSTALACION DE UN EVAPORADOR
VERTICAL DE PELICULA AGITADA

Introducción	1
Capitulo I Generalidades	4
Capitulo II Funcionamiento y Descripción de un Evaporador de Pelicula	37
Capitulo III Descripción de el Proceso y sus Equipos	52
Capitulo IV Instalación de el Evaporador	83
Capitulo V Análisis Económico	156
Conclusiones	171
Bibliografía	174

INTRODUCCION

La instalación de un evaporador de película involucra equipos de proceso y equipos auxiliares para funcionar adecuadamente. Para realizar una instalación debe conocerse el proceso, cada uno de los equipos, el volumen de la obra y principalmente el costo de la inversión, así como la rentabilidad del proyecto y las utilidades que producirá la adquisición del equipo para así proceder a su instalación. Cada equipo de proceso produce sustancias y materiales con un valor de uso y un valor de cambio bien definidos por lo que son también bienes de capital.

El capítulo I se titula generalidades y muestra los conceptos de la teoría de evaporación explicando los principios básicos de flujo de fluidos y transferencia de calor y masa en un evaporador de película agitada; presentando un bosquejo matemático para el fenómeno. Aparece además la clasificación de máquinas evaporadoras y las características más generales y sobresalientes del Evaporador de Película Agitada; así como las configuraciones comerciales de este tipo de equipo.

El Capítulo II describe el funcionamiento general del Evaporador de Película, muestra sus partes principales y variables críticas de operación. Se señalan además sus ventajas y desventajas con respecto a equipos de evaporación convencionales, ya que el evaporador de película ha sido desarrollado recientemente.

El Capítulo III muestra el Proceso Industrial donde se instalará el Evaporador de Película, mismo que obtiene como producto final de este proceso una sustancia conocida como antiozonante (Difenildiamina); que es una materia prima en el proceso de fabricación del hule. Se describe la importancia y utilidad de los antiozonantes.

En los diagramas de flujo y de bloques del proceso de obtención del antiozonante se define el bloque o sistema, en el que se encuentra el Evaporador, ubicando el trabajo de tesis en el bloque de evaporación. Además se muestra un diagrama de flujo del sistema de evaporación y posteriormente se explica el funcionamiento y relación de cada equipo de proceso o servicio dentro de este diagrama.

El Capítulo IV trata de la instalación del Evaporador de Película. Describe como realizar el montaje de los equipos y tuberías, definiendo que para esto es necesario conocer: los planos, las especificaciones y condiciones de operación del equipo, las listas de tuberías y de materiales; así como las condiciones de proceso que generalmente fijan la posición de el equipo.

La instalación también comprende la puesta en marcha (arranque) y paro del equipo; así como las recomendaciones para el buen funcionamiento del sistema y sus dificultades de operación.

Se muestra además, un Programa de Instalación que describe la secuencia y duración de las actividades del proyecto.

El Capítulo V se plantea un análisis económico, considerando los factores que intervienen en el proyecto de inversión para la adquisición e instalación del Evaporador de Película. Este análisis permite determinar las utilidades que producirá el sistema de evaporación propuesto en el capítulo 4.

Esta tesis pretende optimizar la instalación y funcionamiento de un equipo de proceso utilizando recursos técnicos y económicos.

CAPITULO I
GENERALIDADES

Tabla de Notación

1.1 Transmisión de Calor por Convección

1.1.1 Capa límite

1.2 Transferencia de Calor en Cambio de Fase

1.3 Evaporación

1.3.1 Clasificación de Evaporadores

1.3.2 Balance de Masa y Energía en un Evaporador

1.4 Descripción del Fenómeno de Película

Agitada.

1.4.1 Coeficiente Global de Transferencia "U"

1.4.2 Transferencia de Masa

1.4.3 Modelos Teóricos de flujo

1.4.4 Modelo Matemático

1.5 Historia del Evaporador de Película Agitada

1.5.1 Configuraciones Comerciales

Tabla de Notación

A continuación aparecen los símbolos que serán utilizados en el desarrollo de este capítulo. Las dimensiones están dadas en términos de longitud, masa, tiempo y temperatura en el sistema de unidades inglés.

A	Area de Transferencia (pies ²)
q	Flujo de Calor (BTU/hr)
U	Coefficiente Global de Transferencia (BTU/hr °F pie ²)
x	Distancia (pie)
K	Conductividad Térmica (BTU/hr pie °F)
h	Coefficiente Individual Transferencia (BTU/hr pie °F)
δ_m	Espesor de Película (pie)
ts	Temperatura de superficie o de pared (tw) (°F)
to	Temperatura fuera de la capa limite (°F)
m	Flujo de masa de A (lb/hr)
Dv	Difusividad (pie ² seg)
g	Aceleración debido a la gravedad (pie/seg ²)
ρ_{liq}	Densidad en la fase líquida (lb/pie ³)
ρ_{vap}	Densidad en la fase vapor (lb/pie ³)
hfg	Calor Latente de Vaporización (BTU/lb)
μ	Viscosidad Dinámica del fluido (lb s /pie ²)
Lc	Longitud Característica
Re	Número de Reynolds (adimensional)
u	Velocidad (pie/seg)

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Transmisión de Calor por Convección

El mecanismo de convección de la transferencia de calor no es un mecanismo "básico" como la conducción y la radiación, sino que es una combinación de ambos ya que lo dirige el proceso de la conducción que se presenta a través de una capa delgada y estática de fluido, que se localiza junto a la superficie del recipiente que lo contiene o transporta, mientras el fluido restante se encuentra en movimiento. Esquemáticamente lo anterior significa lo siguiente:

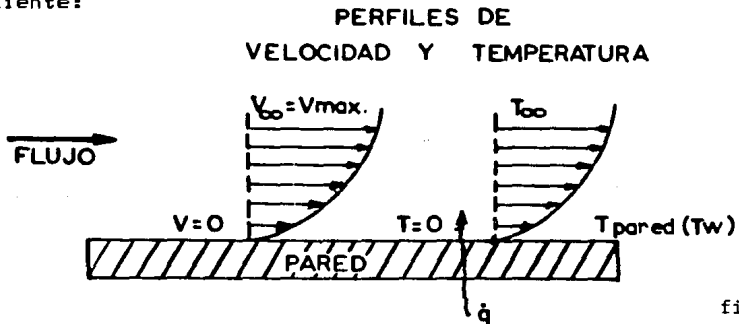


fig. 1.1

La convección es un mecanismo de transferencia de energía debido al movimiento de los grupos de moléculas que tiene un fluido cuyo estado físico es siempre líquido o gaseoso. La convección es un proceso que depende fundamentalmente de los siguientes conceptos:

- a) materia constituyente del fluido
- b) Tipo de movimiento del fluido
- c) Propiedades hidráulicas y térmicas del fluido
- d) Potencial existente de temperatura
- e) Valor de su constante o coeficiente "h"
- f) Area disponible para el proceso

Cuando el proceso de convección se efectúa a régimen permanente, lo cual quiere decir que $dQ/dt = \text{constante}$, la relación existente entre las variables que la afectan esta determinada por la ecuación de Newton :

$$q_{\text{conv.}} = \frac{dQ}{dt} = h A dt = h A (T_w - T_{\infty}) \dots \dots (1.1)$$

donde:

- $q_{\text{conv.}}$ = Flujo en BTU/hr
- $(T_w - T_{\infty})$ = Potencial de temperatura en °F
- h = Coeficiente en $\text{BTU/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$
- hA = Conductancia en $\text{hr-}^\circ\text{F/BTU}$

En la ecuación de Newton la constante de proporcionalidad es h y se conoce como coeficiente individual de transferencia de calor por convección, o bien en ocasiones se le denomina como "Conductancia de Película por su relación con el proceso de conducción de calor que se presenta en la capa estacionaria del fluido que se encuentra en la superficie de la pared de calentamiento o

transferencia. La conductancia de película junto con la fricción que produce el movimiento del fluido define una interfase.

1.1.1 Capa límite

Hidráulicamente, lo que sucede cuando se tiene un flujo de un fluido sobre una capa sólida estacionaria puede esquematizarse en la figura siguiente, considerando que la velocidad de dicho flujo no es uniforme, sino que varía desde cero hasta alcanzar su máximo valor en su centro, a consecuencia de los efectos que produce la fricción por rozamiento.

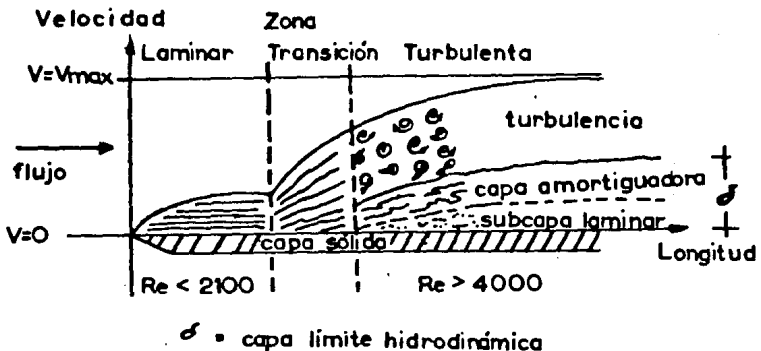


figura 1.2

Comparando esta situación hidráulica contra lo que sucede en la transferencia de calor, así como se tiene una Capa Límite Hidrodinámica en la cual se presentan los cambios de flujo por las fuerzas de corte debido a la viscosidad y a la presión que tiene el movimiento del fluido; también existe una "Capa Límite Térmica, que es aquella región en donde varían los gradientes de temperatura por efecto de la transferencia de calor que ocurre por conducción y convección.

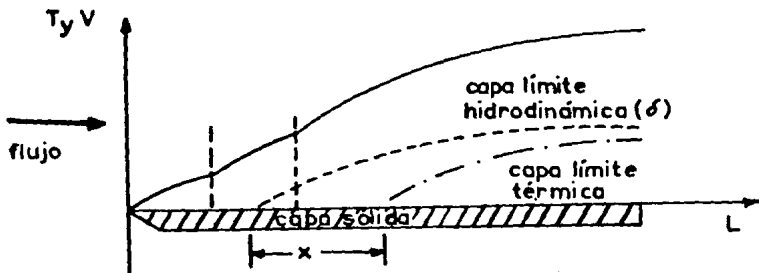


figura 1.3

La interpretación que tiene la figura anterior es que, en general, la cantidad de calor que se transmite por el proceso de Convección ocurre después del movimiento que tiene el fluido, por lo que la resistencia primaria que se presenta a la transmisión depende de el fluido que esta

localizado dentro de la capa límite creada por el movimiento del fluido. Esto determina que la transferencia de calor en este proceso dinámico depende en alto grado del espesor que tenga tal "Capa límite" y por tanto, los procesos de flujo de fluidos y de transferencia de calor están totalmente interrelacionados.

De lo anterior podemos decir, que de acuerdo con la velocidad con la cual se mueve un fluido y la forma como se lleva a cabo la transferencia de calor la convección puede ser de los tipos natural o forzada; presentandose mas comunmente en equipos industriales la convección forzada, ya sea con flujo laminar o turbulento.

1.2 Transferencia de Calor en Cambio de Fase

La transferencia de calor por convección aplicada a un fluido provoca un cambio de fase, presentandose alguno de los siguientes dos fenómenos: Condensación o Ebullición.

La ebullición o evaporación es el cambio que experimenta un fluido del estado líquido al estado vapor o gas, cuando se calienta. El concepto de evaporación es mas entendible por medio de la interpretación que se le da a la curva de ebullición desarrollada por Faber-Scorah, quienes analizaron en forma exhaustiva el fenómeno que se presenta cuando se sumerge un alambre de Platino calentando eléctricamente en agua. Dicha curva tiene la siguiente forma:

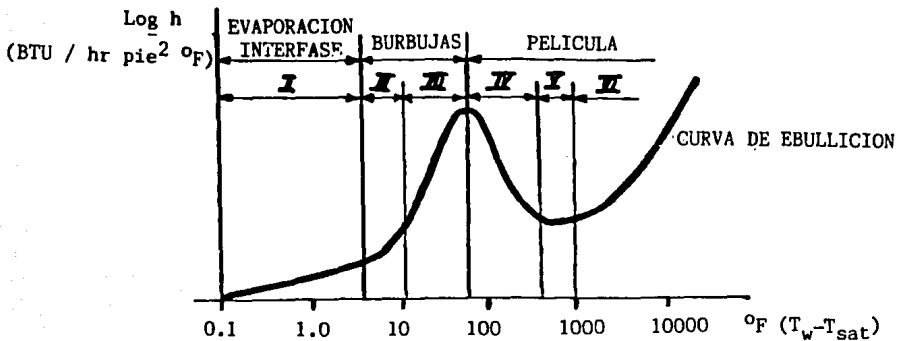


figura 1.4

Región I.- Las corrientes de convección libre (o natural) producen el movimiento del agua hacia la superficie. En esta región, el fluido próximo a la superficie caliente está ligeramente sobrecalentado y por ello se evapora cuando sube a la superficie por diferencia de densidad.

Región II.- Se empiezan a formar burbujas sobre la superficie del alambre y se disipan en el líquido después que se desprenden del alambre. En esta región comienza la Ebullición Nucleada ó por Burbujas.

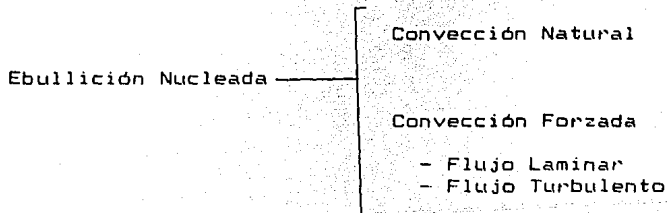
Región III.- Se incrementa el exceso de temperatura, con lo cual las burbujas se forman mas rapidamente y suben a la superficie donde se disipan.

Región IV.- Las burbujas se forman tan rápidamente que cubren la superficie calentada (o de agua) y evitan el flujo de líquido fresco que las reemplazaría. En este punto, las burbujas se unen y forman una película superficial de vapor que causa una reducción al flujo de calor por la resistencia que presenta. Esta región es la zona de transición entre la Ebullición Nucleada y la Ebullición en Película.

Región V.- Aquí se tiene ya, por efecto de alta temperatura, una Ebullición en Película estable.

Región VI.- En este punto una porción significativa del calor perdido por la superficie resulta en radiación térmica debido a la diferencia tan grande que existe de temperatura.

De lo anterior, resulta obvio concluir que a nivel industrial el tipo de ebullición usualmente utilizado es el que corresponde a la región III de la gráfica y en ocasiones especiales se lleva a cabo en la región IV. Esto significa que un proceso industrial normal, se trabaja siempre con una Ebullición Nucleada o en Burbujas, la cual puede efectuarse a alta o baja velocidad dependiendo del movimiento que tenga el fluido que se está evaporando, lo cual determina:

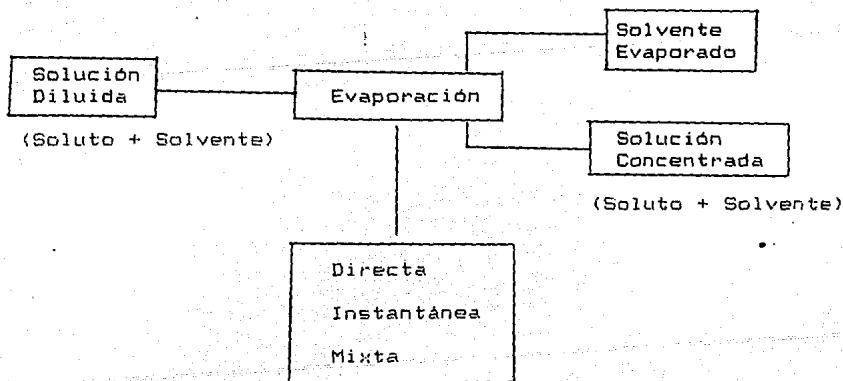


1.3 Evaporación

La Evaporación es una de las operaciones unitarias de la Ingeniería de Procesos Industriales cuyo objetivo es concentrar una solución, la cual está formada por un soluto (o compuesto no volátil) y por un solvente (o compuesto volátil) que es el componente a separar mediante una transferencia de calor, o bien por disminución de la presión existente en la solución (presión de vapor).

Existen tres tipos principales de evaporación:

1. Evaporación directa.-Cuando la transferencia de calor es directa.
2. Evaporación Instantánea ó Flash.-Cuando disminuye la presión de vapor de la solución.
3. Evaporación Mixta.-Es la combinación de la evaporación directa e instantánea.



múltiple efecto, la cual puede ser de doble, triple, cuádruple, etc. efecto.

Con el fin de lograr los rendimientos ó eficiencias mas altos posibles, una evaporación industrial se efectúa en forma mixta, esto es, utilizando tanto una transferencia de calor como una disminución de presión en el equipo, que casi siempre funciona a presiones de vacío.

1.3.2 Balance de Masa y Energía en un Evaporador

El balance de masa y energía para un evaporador de simple efecto se puede plantear a partir del siguiente esquema.

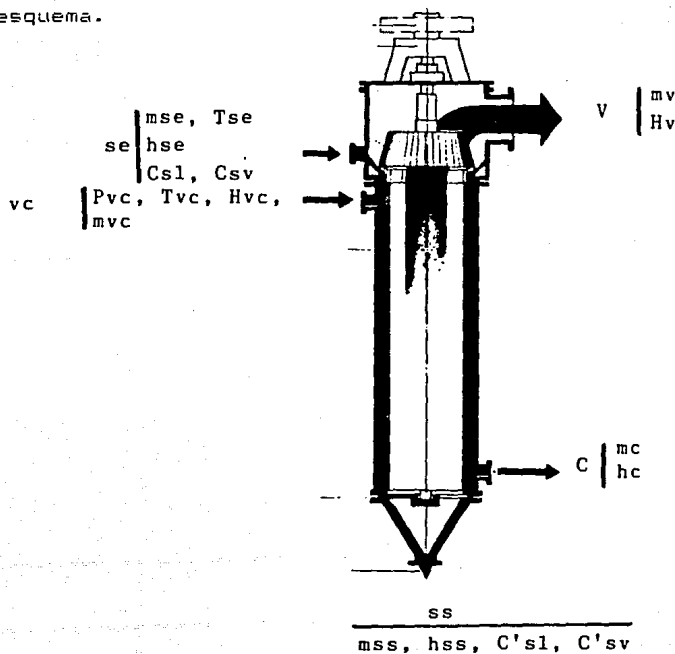


figura 1.5

En donde:

V = vapor

ss = solución de salida

vc = vapor de calentamiento

c = condensado

se = solución de entrada

m = flujo másico lb/hr

H, h = entalpia BTU/lb

C's1, Csl = concentración soluto, % en peso

C'sv, Csv = concentración solvente, % en peso
en la entrada y la salida

P, T = Presión y Temperatura

a) Balance de Materiales: lbs/hr

Balance de la solución.- $m_{se} = m_{ss} + m_v \dots\dots (1.2)$

Evaporación.- $m_v = m_{se} - m_{ss} \dots\dots (1.3)$

Balance del soluto.- $m_{se}C_{s1} = m_{ss}C'_{s1} \dots\dots (1.4)$
por lo tanto $C'_{s1} = C_{s1}$

Balance del solvente.- $m_{se}C'_{sv} = m_{ss}C_{sv} + m_v \dots\dots (1.5)$
por lo tanto $C'_{sv} = C_{sv}$

Balance del vapor de calentamiento.- $m_{vc} = m_c \dots\dots (1.6)$

Balance total del equipo.- $m_{se} + m_{vc} = m_{ss} + m_v + m_c \dots\dots (1.7)$

b) Balance de Energía o Entalpías : BTU/hr

$$\text{Balance de solución.-} \quad m_{se}h_{se} = m_{ssh}h_{ss} + m_{VH}v_{HV} \dots (1.8)$$

$$\text{Balance de vapor calentamiento.-} \quad m_{VCH}h_{VC} = m_{CH}h_{C} \dots (1.9)$$

Balance total del equipo.-

$$m_{se}h_{se} + m_{VCH}h_{VC} = m_{ssh}h_{ss} + m_{VH}v_{HV} + m_{CH}h_{C} \dots (1.10)$$

$$\text{donde: } m_{VC} = m_{C} \dots (1.11) \quad \text{entonces:}$$

Calor total transferido

$$q = m_{VC}(h_{VC} - h_{C}) = m_{VC}(h_{fg})_{VC} \dots (1.12)$$

$$q = UA(T_{VC} - T_o) \dots (1.13)$$

$$\text{y , } q = m_{ssh}h_{ss} + m_{VH}v_{HV} - m_{se}h_{se} \dots (1.14)$$

En cuanto a la ecuación de la capacidad de equipo se puede utilizar la ecuación fundamental de Newton :

$$q = UA(\Delta T) = UA(T_{VC} - T_o) \dots (1.15)$$

En este caso, el valor del coeficiente total combinado U se puede determinar de la gráfica de la figura 1.7 .

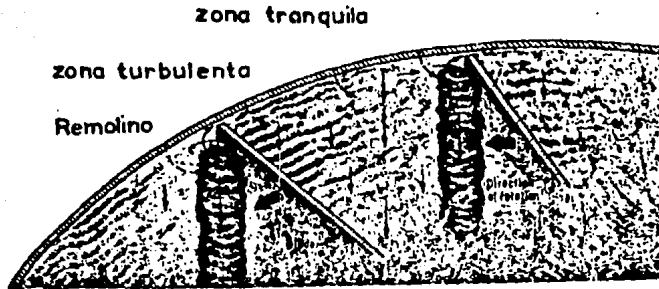
1.4 Descripción del Fenómeno de Película Agitada

El evaporador de película delgada agitada ha sido diseñado para esparcir una capa delgada o película líquida a un lado de una superficie metálica; suministrando calor al otro lado de dicha superficie por medio de otro fluido como por ejemplo vapor saturado o aceite caliente, estableciéndose así un mecanismo de transferencia de calor por convección entre dos fluidos distintos que tienen diferente temperatura y movimiento como ya se mencionó anteriormente.

El aspecto más importante en un evaporador de película agitada no es la formación de la película delgada en sí misma; ya que, los evaporadores del tipo película ascendente y descendente también utilizan películas líquidas delgadas. La diferencia es que en este equipo en particular se presenta un flujo altamente turbulento debido a la agitación producida por un rotor. En términos generales se presenta un fenómeno de convección forzada a flujo turbulento. Sin embargo, el patrón de flujo de fluidos que se presenta en el equipo es complejo, ya que el flujo usual resultante de la gravedad o de algún mecanismo de bombeo se complica al adicionarle agitación por medio de álabes rotatorios que esparcen y "aran o rasuran" la película líquida.

El flujo de fluidos típico en evaporador vertical de este tipo se muestra en la siguiente figura.

FLUJO DE FLUIDOS TIPICO EN EL EQUIPO



El rotor tiene cuatro álabes que giran a una velocidad lineal de 30 a 40 pies por minuto. Estos álabes empujan a un remolino, cuya longitud se determina por las propiedades del fluido y la tasa o velocidad del flujo líquido vertical. Se ha observado experimentalmente que la longitud de estos remolinos varía de 1 a 4 pulgadas. Junto al remolino y detrás del álabes se observa una zona altamente turbulenta y compacta seguida de una zona tranquila. El flujo de fluidos en este equipo se puede resumir en un ciclo de tres estados, que es repetido cada vez que un álabes ataca el flujo.

Los principios del funcionamiento de un evaporador de película agitada se basan en conceptos de transferencia de masa, transferencia de calor y flujo de fluidos.

1.4.1 Coeficiente Global de Transferencia de Calor U

En la realidad los problemas de transferencia de calor se presentan en forma combinada; es decir, se presentan al mismo tiempo mecanismos de transferencia de calor por conducción y por convección. Las ecuaciones de Fourier y de Newton son las que rigen estos mecanismos:

$$\text{Fourier.- } q = \frac{kA}{x} \Delta T \quad \dots(1.16)$$

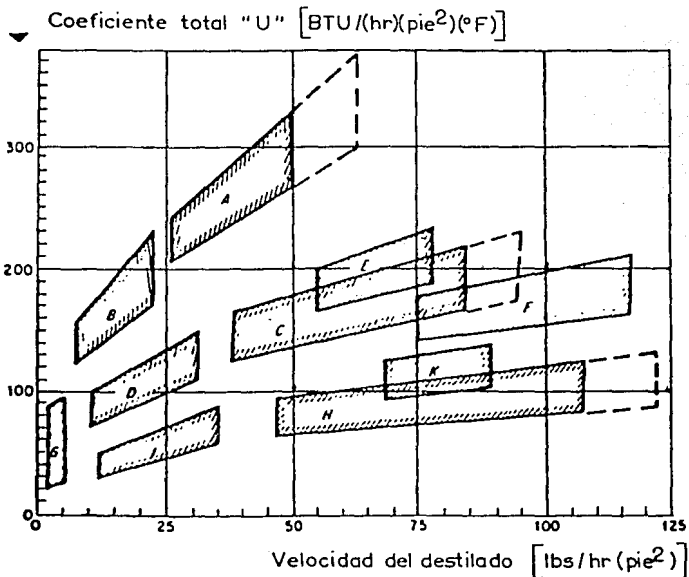
$$\text{Newton.- } q = hA(\Delta T) \quad \dots(1.1)$$

En estos casos, es conveniente expresar a la cantidad de calor que se está transmitiendo mediante una combinación simultánea de conducción y convección, reemplazando al total de resistencias existentes en el proceso por un Coeficiente Global de Transferencia y se identifica como "U".

El coeficiente global de transferencia de calor (U) en los evaporadores de película es determinado por el flujo de calor entre la superficie térmica y el producto.

La figura muestra el coeficiente total de transferencia de calor (U), de algunos grupos de productos, para varias aplicaciones y a diversas velocidades de evaporación.

TRANSFERENCIA DE CALOR EN EVAPORADORES VERTICALES DE PELICULA AGITADA PARA DIVERSAS APLICACIONES



Vapor como medio de calentamiento

- A Concentración de soluciones acuosas
- B Deshidratación de sustancias orgánicas
- C Destilación de sustancias orgánicas
- D Separación de materiales con bajo punto de ebullición de sustancias orgánicas
- E Servicio de rehedidor
- F Recuperación de solventes
- G Desodorización

Aceite a alta temperatura como medio de calentamiento

- H Destilación de materiales con alto punto de ebullición de sustancias orgánicas
- I Separación de materiales de bajo punto de ebullición
- K Servicio de rehedidor

figura 1.7

Los valores, en el eje de las ordenadas para cada banda, reflejan las diferencias de los productos en calor de vaporización, conductividad térmica, viscosidad, desviaciones en sus puntos de ebullición y tensiones superficiales. Los valores de U incluyen la conductividad térmica de una pared calentada de 1/4 pulg. de espesor de acero inoxidable ó de 1/2 pulg. de espesor de acero suave con revestimiento de acero inoxidable. Los valores de U para las bandas A a F incluyen al vapor como medio de calentamiento; las bandas H a K incluyen Downtherm o algún líquido de transferencia de calor como medio de calentamiento.

La gráfica de la figura anterior puede permitir realizar una estimación preeliminar acerca de la capacidad del evaporador adecuado a cierto proceso; aunque en realidad, la selección de un evaporador de película agitada para cada caso específico, se fundamenta en un estudio exhaustivo de planta piloto que permite encontrar las variables críticas de operación y su extrapolación a unidades comerciales de muy alta eficiencia.

1.4.2 Concepto de Transferencia de Masa

El fenómeno de transferencia de masa es la tendencia de un componente de una mezcla a viajar de una región de alta concentración a una región de baja concentración. Por ejemplo, si en un tubo de ensayo con agua en el fondo se coloca en un cuarto en donde el aire es relativamente seco; el vapor de agua se difundirá hacia afuera a través de la columna de aire en el tubo; se dice entonces que existe una transferencia de masa de un lugar donde la concentración es alta; es decir justo arriba en la superficie líquida, a un lugar donde la concentración es baja como a la salida del tubo. Si la mezcla de gas en el tubo es estacionaria, la transferencia ocurre por difusión molecular. Si existe un flujo homogéneo de las capas de gas en el tubo debido a agitación mecánica o por un gradiente de densidad, la transferencia de masa ocurre por el mecanismo de convección natural o forzada. Estos mecanismos son análogos a la transferencia de calor por conducción y por convección; sin embargo no existe una analogía para el fenómeno de radiación de la transferencia de calor.

1.4.3 Modelos teóricos de flujo

Para entender mejor el comportamiento del flujo líquido, se explicará brevemente el siguiente experimento.

Se inyecta una pequeña cantidad de una solución

electrolítica en la corriente de alimentación de un evaporador de película y se instaló una celda de conductividad en la parte inferior del equipo, que registrará continuamente los valores de conductividad del concentrado, proporcionando la distribución del tiempo de residencia de la solución inyectada dentro del equipo. Observándose la siguiente gráfica.

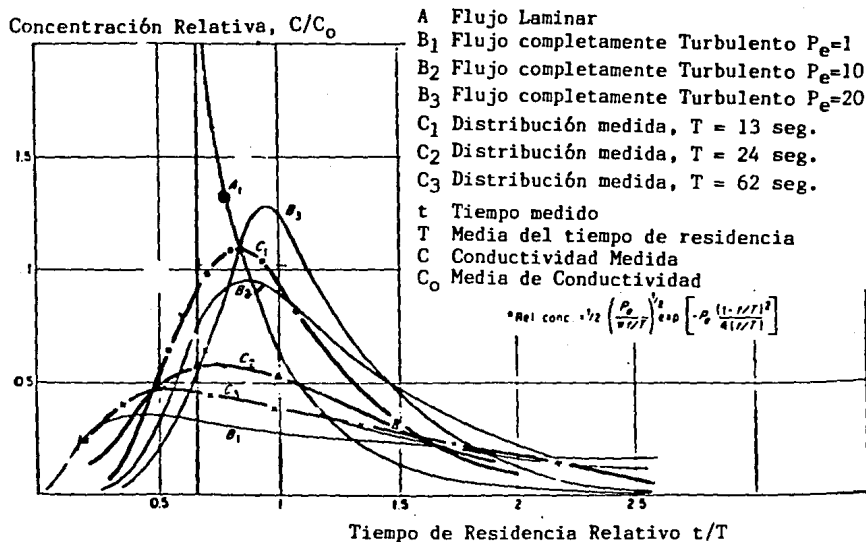


figura 1.8

En la figura anterior los resultados típicos han sido transformados a cantidades adimensionales: el tiempo de residencia es dividido entre la media de los tiempos de residencia y del mismo los valores de conductividad.

La figura muestra también varios modelos de flujo teóricos para comparación. El flujo laminar es la curva A. El flujo turbulento con diferentes grados de difusión de remolino es la curva B y el parámetro aquí es un grupo adimensional:

$$(u) (L) / D_v$$

donde:

u = Velocidad media del flujo vertical ($L \theta^{-1}$)

L = Longitud (L)

D_v = Difusividad del remolino ($L^2 \theta^{-1}$)

Un componente volátil tiene que ser transportado dentro de la película hacia la interface vapor-liquido donde entonces es evaporado. El transporte de el componente volátil dentro de la película es llevado a cabo por difusión molecular o difusión de remolino.

Los resultados obtenidos en las gráficas del modelo anterior son observaciones globales del fenómeno de evaporación de película agitada, considerando todas las posibles variaciones sin llegar a un modelo riguroso; sin embargo, en el siguiente punto se dará una solución aproximada para obtener una ecuación para este fenómeno.

1.4.4 Modelo Matemático del Fenómeno

Se analizará el fenómeno que se presenta cuando un líquido fluye formando una película sobre una superficie vertical y se evapora cuando la temperatura de saturación del líquido es menor que la temperatura de la superficie de calentamiento. Para este caso aplicaremos la teoría de Nusselt.

Además se determinará el espesor de la película líquida de acuerdo a un balance entre las fuerzas de gravedad y de fricción.

En este modelo supondremos que una película estacionaria se encuentra intercambiando calor con la superficie de calentamiento. Como el flujo en el líquido es laminar, consideraremos que las velocidades son tan pequeñas que se despreciará la inercia del fluido.

El número de Reynolds está dado por:

$$Re = \frac{\rho_{li} U_{\text{PROMEDIO}} L_c}{\mu_{li}} \dots\dots (1.17)$$

Como en este fenómeno el flujo no es a través de una tubería, sino alrededor de la pared interna de un recipiente cilíndrico (el evaporador) se tendrá una longitud característica de acuerdo a la geometría del equipo.

La longitud característica es:

$$L_c = \frac{4 \text{ \u00c1rea transversal}}{\text{per\u00edmetro h\u00famedo}} = \frac{4A}{P} \quad \dots\dots(1.18)$$

La raz\u00f3n de flujo de masa es:

$$\dot{m} = \rho A U_{\text{PROMEDIO}} \quad \dots\dots(1.19)$$

Combinando las ecuaciones 1.17 y 1.18 se obtiene una expresi\u00f3n del n\u00famero de Reynolds para el flujo de la pel\u00edcula.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{P\mu_{\text{li\u00e1}}} \quad \dots\dots(1.20)$$

Por otra parte, la energ\u00eda transferida por convecci\u00f3n al l\u00edquido como resultado del proceso de evaporaci\u00f3n es igual a:

$$\dot{m} h_{fg} = (T_{\text{SAT}} - T_w) h_{\text{PROMEDIO}} \quad \dots\dots(1.21)$$

Por lo que:

$$Re = \frac{4 h_{\text{PROMEDIO}} L (T_{\text{SAT}} - T_w)}{h_{fg} \mu_{\text{li\u00e1}}} \quad \dots\dots(1.22)$$

Se deducir\u00e1 una ecuaci\u00f3n para la evaporaci\u00f3n de pel\u00edcula en una placa vertical. En la siguiente figura se muestra un bosquejo esquem\u00e1tico del fen\u00f3meno.

DESCRIPCION DEL FENOMENO

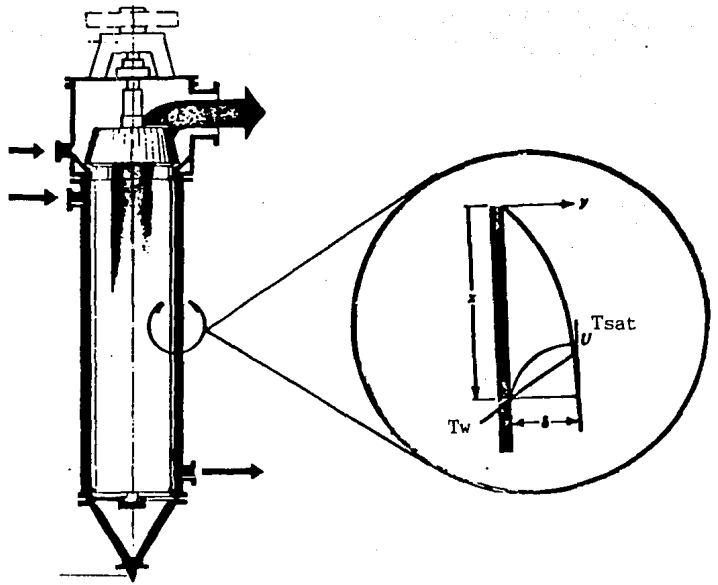


figura 1.9

parabólico, se puede escribir:

$$u = U \left[2 \frac{y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2} \right] \quad \dots\dots(1.23)$$

Como se postula que el mecanismo de transferencia de calor dominante en el fenómeno es conducción; escribimos la ecuación de Fourier de la siguiente forma:

$$dQ = \left(\frac{K_{liq}}{\delta} \right) dx (T_{SAT} - T_w) \quad \dots\dots(1.24)$$

en donde U es la velocidad en la orilla de la película, δ es el espesor de la película, y dQ es la razón de transferencia de calor en la longitud dx .

El coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la superficie de la pared de calentamiento y el vapor esta dado por la ecuación de Newton en la siguiente forma:

$$dQ = h dx (T_{SAT} - T_w) \quad \dots\dots(1.25)$$

Como el calor dQ transmitido en el fenómeno es el mismo se igualaran las ecuaciones 1.24 y 1.25 para obtener la siguiente relación:

$$h = \frac{K L \rho a}{\delta} \dots\dots\dots (1.26)$$

Ahora se determinará el espesor de película ; a partir de un balance de fuerzas, en el cual la fuerza cortante de la pared se hace igual al tirón descendente de la gravedad.

$$\frac{1}{g_c} \rho L \rho a g \delta dx = T_w dx \dots\dots\dots (1.27)$$

Si sustituimos la ecuación de viscosidad de Newton en la ecuación 1.23 obtendremos:

$$T_w = (1/g_c) \mu L \rho a (\partial u / \partial y) y = 0$$

$$T_w = \frac{\mu L \rho a}{g_c} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (1.28)$$

Sustituyendo este resultado en la ecuación 1.27 obtenemos

$$\rho L \rho a g \delta dx = \mu L \rho a \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) dx \dots\dots\dots (1.29)$$

o bien :

$$u = \frac{\rho L \rho a g (\delta^2)}{2 \mu L \rho a}$$

La ecuación 1.23 se puede escribir como:

$$u = \frac{\rho_{Lia} g \delta^2}{2 \mu_{Lia}} \left(\frac{2y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2} \right) \dots\dots\dots(1.30)$$

Como la distribución de velocidad es parabólica, su valor promedio es:

$$u_{PROM} = \frac{2}{3} u = \frac{\rho_{Lia} g \delta^2}{3 \mu_{Lia}} \dots\dots\dots(1.31)$$

Por lo que la razón de flujo de masa del fluido fluyendo a través del área transversal en x es:

$$\dot{m} = \rho_{Lia} u_{PROMEDIO} \delta = \frac{\rho_{Lia}^2 g \delta^3}{3 \mu_{Lia}} \dots\dots\dots(1.32)$$

Si nos movemos en la placa hacia abajo una distancia dx encontramos una disminución del flujo de masa dada por:

$$d\dot{m} = \frac{\rho_{Lia}^2 g}{\mu_{Lia}} (\delta^2 d\delta) \dots\dots\dots(1.33)$$

La evaporación de el líquido provoca esta disminución. La cantidad de líquido evaporado es igual a la razón de transferencia de calor dividida entre el calor latente de vaporización; esto se puede escribir así:

$$dm = dQ/hfg \dots\dots\dots(1.34)$$

Combinando las ecuaciones 1.24, 1.33 y 1.34 se tiene:

$$K_{Liq} dx (T_{SAT} - T_w) = \frac{hfg \rho_{Liq}^2 g \delta^3 d\delta}{\mu_{Liq}} \dots\dots\dots (1.35)$$

Separando variables e integrando

$$\frac{\delta^4}{4} = \mu_{Liq} K_{Liq} (T_{SAT} - T_w) x + C \dots\dots\dots (1.36)$$

en esta expresión C es la constante y es igual a cero, porque en $x = 0$, $\delta = 0$, por lo que se tiene:

$$\delta = \left[\frac{4 \mu_{Liq} K_{Liq}}{\rho_{Liq}^2 g hfg} (T_{SAT} - T_w) x \right]^{1/4} \dots\dots\dots (1.37)$$

Sustituyendo la ecuación 1.26 en la 1.37 se obtiene

$$h = \left[\frac{K_{Liq}^3 \rho_{Liq} (\rho_{Liq} - \rho_{VAP}) g hfg}{4 \mu_{Liq} (T_{SAT} - T_w) x} \right]^{1/4} \dots\dots\dots (1.38)$$

Que es el coeficiente de transferencia de calor a una distancia x , de la parte superior de la placa.

1.5 El Evaporador de Película Agitada

El evaporador más recientemente desarrollado es el Evaporador de Película Delgada Agitada, que ha demostrado sus ventajas sobre los equipos de evaporación convencionales: corto tiempo de procesamiento del fluido en una sola etapa, no presenta incrustaciones en la superficie térmica, procesamiento a temperaturas de equilibrio y la más importante es la amplia gama de productos en que puede ser utilizado, destacando su capacidad para manejar materiales sensibles al calor, fluidos muy viscosos de hasta 10000 centipoises.

Las aplicaciones del Evaporador de Película Delgada Agitada puede agruparse en cuatro grupos generales:

- Productos sensibles al calor
- Materiales que tienden a incrustarse
- Líquidos viscosos
- Materiales Diversos

A partir de los años cuarentas, más de 10000 Evaporadores de Película Agitada en todas sus versiones, han sido instalados y puestos en servicio en todo el mundo.

La tecnología de procesos y la mecánica empleada en una unidad de este tipo, es confiable y ha sido probada. Así, el uso de esta técnica de evaporación debe ser considerada, cuando los equipos convencionales de evaporación son ineficientes.

Los Evaporadores de Película Delgada Agitados fueron desarrollados primeramente para vencer las desventajas de los evaporadores de película ascendente y descendente. Ni las unidades de película ascendente y descendente son completamente adecuados para manejar fluidos altamente viscosos, líquidos con baja conductividad térmica, líquidos que contienen sólidos que probablemente pueden ser cristalizados durante el proceso de evaporación o materiales sensibles a altas temperaturas.

El Evaporador de Película Agitada fue desarrollado en Europa durante los años cuarentas por el Dr. Hans Muller, la patente fue adquirida por una compañía de Zurich, Suiza; quien a comercializado este equipo. A finales de los sesentas el primer diseño de una máquina evaporadora de película delgada fue modificado, y la tecnología de película delgada fue aplicada a secadores y reactores para materiales polímeros.

1.5.1 Configuraciones Comerciales

Existen principalmente cinco productores de este tipo de equipos en el mundo: Buflovak Div. of Blawknok, Votator Div. of Chemetron, Luwa, Kontro y Pfaudler.

Chemetron es ahora quien fabrica el equipo de película delgada agitada o turbopelícula y es formalmente producido por Rodney Hunt.

Luwa tuvo la primera producción de unidades a contracorriente en 1946 en Suiza.

La unidad de turbopelícula fue la primera en los Estados Unidos en el año de 1951; y fue construido bajo licencia de Luwa. El diseño Pfaudler está basado en el trabajo de Arthur Smith. Buflovak introdujo su diseño con la transmisión del en la parte inferior del evaporador a mediados de los cincuentas. Los diseños de cuerpo cónico de Kontro fueron tomados o desarrollados de diseños cilíndricos estándar.

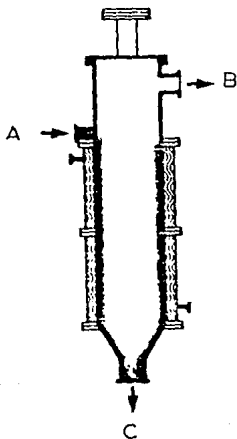
Las configuraciones de diseño básico de estas cinco compañías son mostradas en la tabla siguiente:

CONFIGURACIONES DE UNIDADES DE PELICULA AGITADA
COMERCIALES

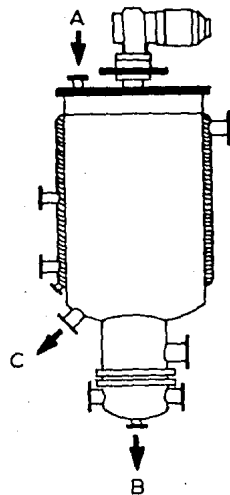
CONFIGURACION	FABRICANTE	ARREGLO DE LOS FLUJOS
1. Cuerpo cilíndrico y vertical, separador integral.	Luwa Chemetron	Contracorriente Contracorriente
2. Cuerpo cilíndrico y vertical, separador y condensador internos.	Pfaudler	Separado
3. Cuerpo cónico vertical	Kontro	Paralelo ó Contracorriente
4. Cuerpo cónico horizontal, separador integral.	Kontro	Paralelo ó Contracorriente

CONFIGURACIONES DE EVAPORADORES DE PELICULA AGITADA COMERCIALES

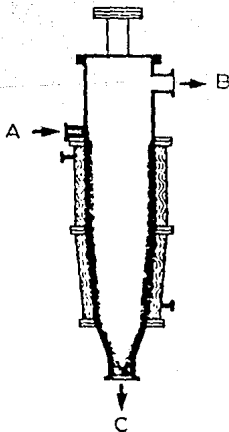
1.



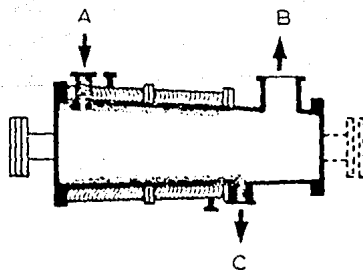
2.



3.



4.



A		ALIMENTACION
B		VAPOR
C		RESIDUOS

CAPITULO II

FUNCIONAMIENTO Y DESCRIPCION DE UN EVAPORADOR DE PELICULA

2.1 Funcionamiento General del Evaporador de Película

2.1.1 Variables Principales en el Funcionamiento

2.1.1.1 Dispositivo de Control de Tiempo de Residencia.

2.1.1.2 Espacio Libre de los Alabes del Rotor.

2.1.1.3 Limitación de Tamaño del Cuerpo.

2.2 Descripción Física del Evaporador de Película

2.3 Ventajas y Desventajas del Evaporador de Película

2.1 Funcionamiento General del Evaporador de Película

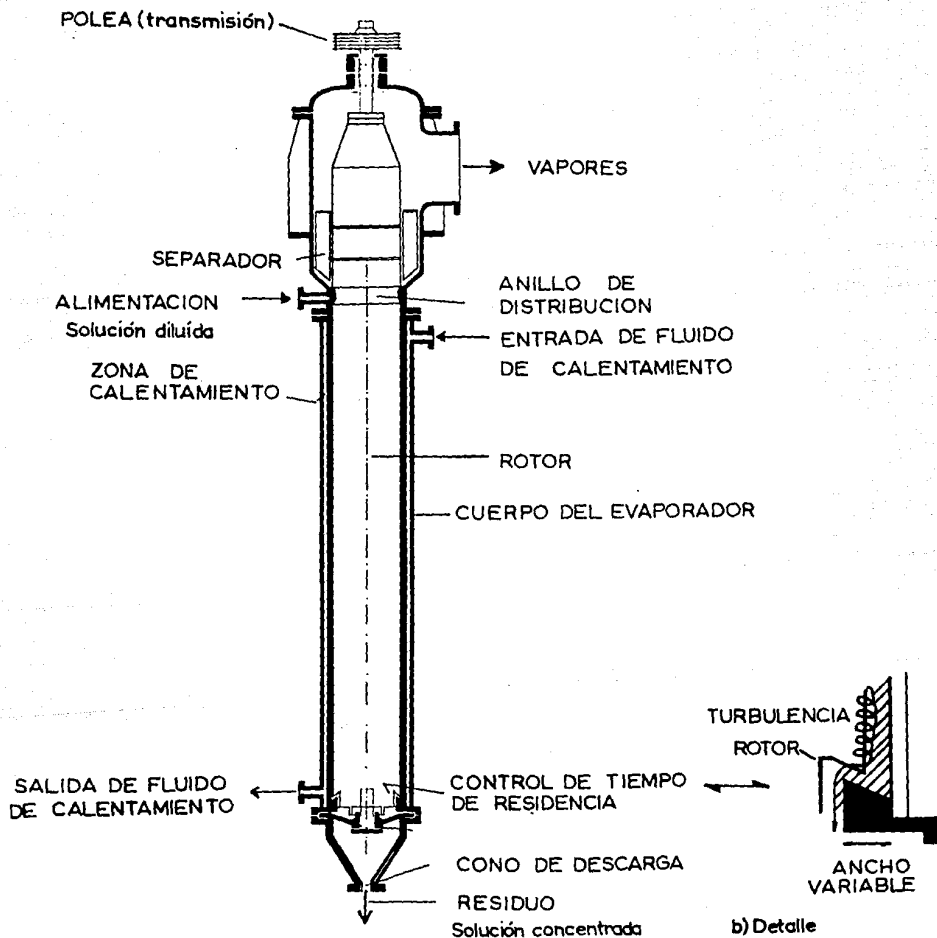
El producto entrará en el evaporador en forma tangencial, por la boquilla de alimentación que se encuentra colocada por arriba de la sección de transferencia de calor. El producto es uniformemente distribuido en forma de película delgada sobre la superficie interna del cuerpo; esto se debe a un "anillo de distribución" que se encuentra a la misma altura de la boquilla de alimentación y asegura la formación de la película; como se muestra en la figura 2.1.

Por efecto de la gravedad, el producto fluye hacia abajo en forma helicoidal y los álabes del rotor desarrollan un flujo altamente turbulento en la película. Esta turbulencia expone continuamente cada partícula del producto a la superficie de transferencia de calor. Esta exposición protege al producto de sobrecalentamientos locales, lavando además la superficie térmica continuamente; esto previene de incrustaciones o ensuciamientos y del requemado del producto, así como otros depósitos sobre la pared, que pudieran provocar una disminución de su capacidad. Bajo condiciones favorables de un alto flujo de calor y un corto tiempo de residencia se produce una rápida evaporación.

Los vapores que escapan viajan hacia arriba manteniéndose alejados de la boquilla de alimentación por el anillo de distribución. Arriba de dicha boquilla los vapores entran a un separador de doble acción (fuerza centrífuga y

FUNCIONAMIENTO Y DESCRIPCION DEL EVAPORADOR DE PELICULA

PARTES PRINCIPALES



a) Descripción

drenará directamente dentro de la sección de transferencia de calor. Los vapores libres de líquido pasan del separador a la cámara de succión colocada en la parte más alta de la unidad.

Por el fondo de la unidad el producto procesado o residuo, sale del evaporador a través del cono de descarga.

El estudio profundo del funcionamiento de un evaporador de película involucra complicados procesos de mecánica de fluidos, transferencia de calor y masa; como el fin de la tesis es la instalación del equipo, bastará conocer el funcionamiento y descripción general del equipo.

2.1.1 Variables Principales en el Funcionamiento

Las variables principales que afectan el funcionamiento de este tipo de evaporadores son: el control del tiempo de residencia del fluido, el espacio libre o separación entre los álabes del rotor y el cuerpo del evaporador, el coeficiente total de transferencia de calor (U) y el tamaño del cuerpo.

2.1.1.1 Dispositivo de Control del Tiempo de Residencia

Existe un dispositivo de control de película independiente de cualquier variable de diseño como longitud, velocidad de alimentación, rpm., etc. ; este dispositivo está patentado por un fabricante de este tipo de equipos y se

trata de un "anillo de retención" colocado al final de la sección térmica (fig. 2.1.b). El grado de formación de la película puede ser variado por el ancho del anillo evitando una superficie seca o canalizaciones reduciendo las zonas de menos efectividad entre los álabes del rotor y el cuerpo; además el anillo de retención permite obtener niveles muy altos de concentración en el fondo. En procesos que usualmente son llevados a cabo mediante evaporación de múltiple efecto como: desodorización o procesos de reacción, el anillo de retención del evaporador de película permite operar con un mayor tiempo de residencia para operar en una sola etapa sin descomposición del producto. Además permite operar en niveles más bajos de diseño, que comunmente son de un 20%. Esto asegura una formación de flujo turbulento en la película.

2.1.1.2 Espacio Libre del Alabe del Rotor

Cuando el espacio libre entre el álabes del rotor y el cuerpo de el evaporador tiene alguna variación debida a desbalanceo del rotor o alineación de el evaporador , el proceso de evaporación será ineficiente, ya que se presentará la formación de canalizaciones o surcos ; es decir, zonas secas sobre la pared de el cuerpo. El espacio libre entre la periferia del círculo descrito por el movimiento del álabes del rotor y la superficie interna del cuerpo del evaporador; en condiciones reales de operación puede tener una de las siguientes configuraciones:

- a) Espacio ajustable
- b) Espacio fijo
- c) Espacio mínimo

a) El espacio ajustable es empleado en unidades en que el cuerpo es ligeramente cónico, y la flecha del rotor tiene juego axial que le permite moverse para lograr la separación adecuada entre el álabe del rotor y el cuerpo. (fig.2.2)

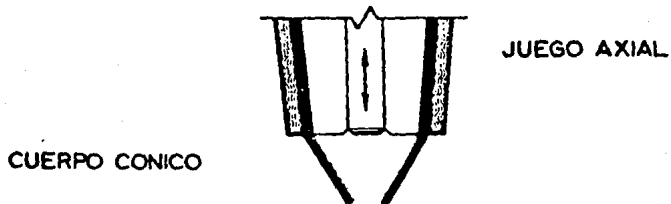


figura 2.2

b) El Espacio fijo se emplea en unidades que tienen el dispositivo de control de tiempo de residencia; que se encargará de mantener mojada toda la pared del cuerpo de el evaporador y evitar canalizaciones ó zonas secas. (fig. 2.3)



figura 2.3

c) El Espacio mínimo se logra utilizando rotores con características especiales que radican en la forma y material de construcción del álabe. (figura 2.4)

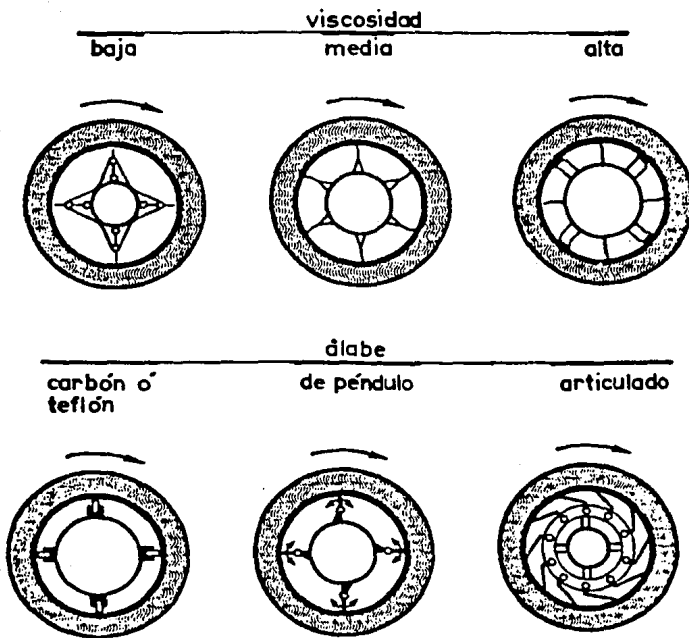


figura 2.4

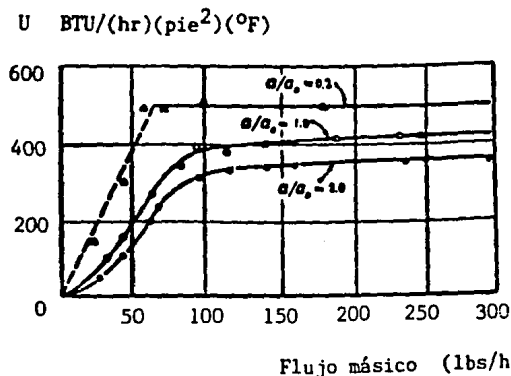
La parte interior del cuerpo y el exterior del rotor requieren de maquinados, los cuales aseguren concentricidad y balanceo dinámico del mismo, así como para evitar efectos de expansión diferencial del rotor y el cuerpo. Los espacios libres pueden variar en un rango muy limitado que es determinado por la viscosidad, tensión superficial y conductividad térmica del producto.

El espacio entre los álabes del rotor y la superficie de transferencia no es una variable para la mayoría de los evaporadores de película.

Los fabricantes indican las siguientes consideraciones debidas a expansión térmica y contracción tanto del rotor como del cuerpo: se recomienda un espacio libre óptimo de 1.25 mm (0.040 pulg) para unidades con 1.4 pies cuadrados de área de transferencia y 5 mm (0.20 pulg) para un área de transferencia de 430 pies cuadrados.

Las gráficas en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7 son el resultado de pruebas experimentales, realizadas por un fabricante de evaporadores de película; en donde, "a" representa el espacio libre del álabe del rotor en unidades comerciales y "a " es un espacio libre estandard (o de referencia) por lo que la relación de a/a es la variación del espacio libre entre el álabe del rotor y el cuerpo del evaporador.

La relación entre el espacio libre del rotor y la eficiencia térmica ha sido estudiada en estos evaporadores. En las gráficas se observa, que si el espacio es duplicado la eficiencia cae un 20%; y si el espacio es disminuido en un 80%, la eficiencia se incrementará en un 20%.

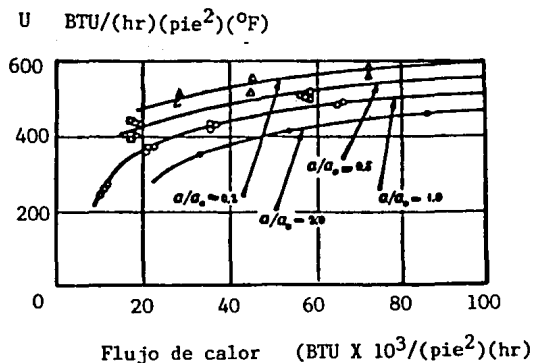


Relación del coeficiente total de transferencia de calor (U) con el flujo másico de alimentación. La velocidad del rotor es de 2400 rev./min. y T es 126 °F.

figura 2.5

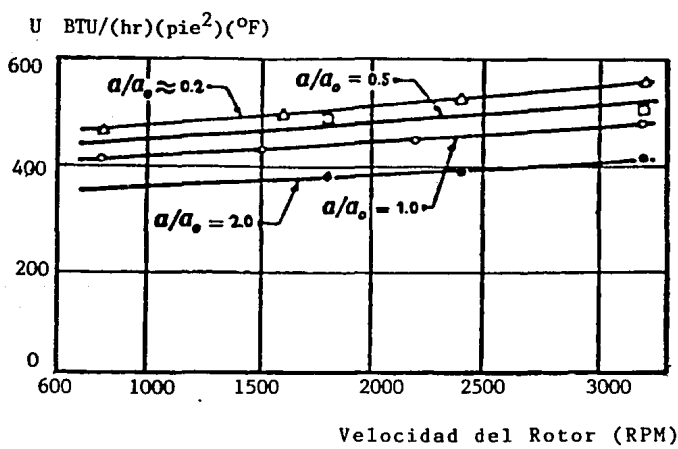
Estos espacios libres tan pequeños enfatizan la importancia de las operaciones de maquinado.

El rotor de un equipo original puede funcionar de diez a treinta años con poco o con ningún mantenimiento; pueden ser inspeccionados sin ser desmontados de la máquina, y si fuese necesario pueden ser fácilmente removidos. El mantenimiento y reparación del rotor no es común pero cuando llega a ser necesario solo los fabricantes de este tipo de equipo pueden repararlo.



Relación del coeficiente total de transferencia de calor (U) con el flujo de calor. La velocidad del rotor es de 3200 rev./min.

figura 2.6



Relación del coeficiente total de transferencia de calor (U) con la velocidad del rotor. El flujo de calor es constante a 55000 BTU/(pie²)(hr).

figura 2.7

2.1.1.3 Limitación de Tamaño

La principal limitación en todos los evaporadores de película agitados es de tamaño. Esto limita la superficie máxima de transferencia de calor que es de 430 pies cuadrados.

Dos factores contribuyen a esta limitación:

- Espesor del cuerpo
- Diseño mecánico

Si el tamaño del equipo se incrementa, el espesor de la pared del cuerpo se incrementará, pero la película líquida se mantiene en un espesor mínimo. En tamaños grandes el espesor de la pared del cuerpo llega a ser una parte importante de la resistencia del coeficiente total de transferencia de calor (U).

Cuando el tamaño del cuerpo de un evaporador de película se incrementa en longitud o diámetro, los problemas mecánicos de diseño del rotor, flechas, chumaceras, así como las operaciones de manufactura del evaporador tales como el balance del rotor y concentricidad del cuerpo también se incrementan.

El problema de transferencia de calor a través del cuerpo es más fácil de solucionar que los problemas de diseño mecánico. Existen dos soluciones:

- 1.- El uso de una placa de acero suave con revestimiento de acero inoxidable en el cuerpo.
- 2.- El uso de anillos externos reforzados, o chaquetas agujeradas (dimpled jackets) que reduzcan el espesor del cuerpo.

2.2 Descripción Física del Evaporador de Película

El evaporador de película consiste de seis partes o subensambles estandarizados. (figura 2.9).

Cuerpo (101 - 102)

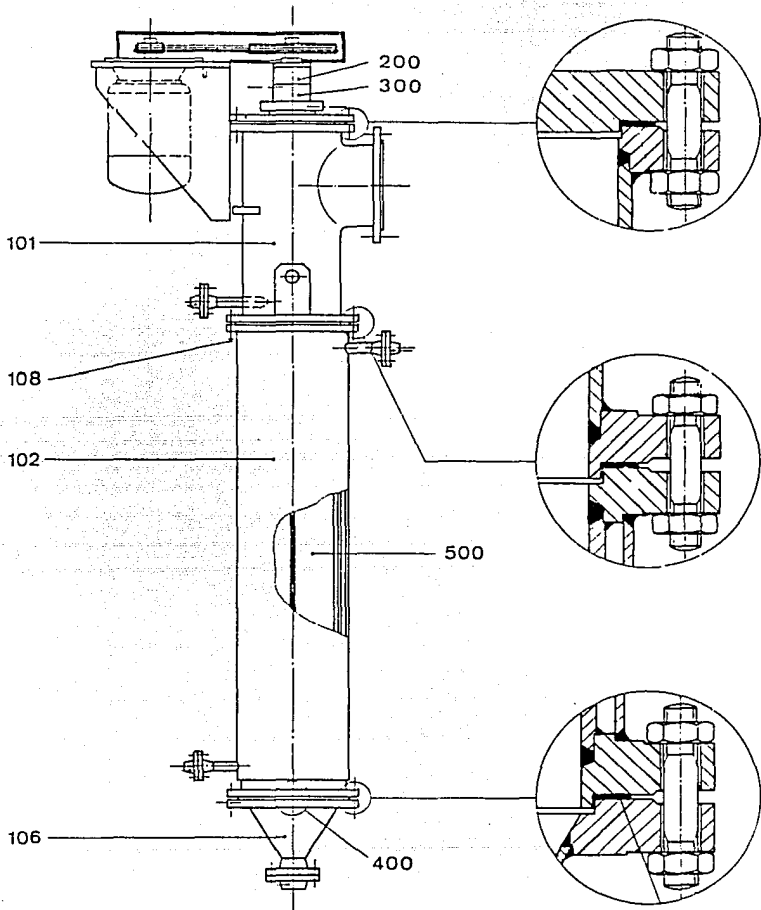
La sección de transferencia de calor está encaquetada y es calentada con vapor saturado o con un líquido de transferencia como aceite Dowtherm. La parte inferior de el cuerpo (101) tiene las bridas de alimentación y de descarga localizadas por arriba de dicha sección.

Fondo Cónico (106)

Es la parte mas baja de el evaporador por donde se descarga el residuo.

Rodamiento Superior (200)

Es una chumacera de rodillos en la que se apoya la flecha de el rotor ya sea en forma radial o axial.



LA SALLE
 ESCUELA DE INGENIERÍA

INSTALACION DE UN
 EVAPORADOR DE PELICULA

PARTES DEL EVAPORADOR

ENSAMBLE

PROYECTO
 DE TESIS
 HOJA ___ DE ___

H-

Sello Mecánico de la flecha (300)

Tiene conexiones para entrada y salida de el refrigerante.

Rodamiento Inferior (400)

Tiene una conexión para el lubricante.

Rotor (500)

Los álabes de el rotor son del tipo espacio fijo, mínimo o ajustable. En la parte mas alta del rotor se encuentra un separador centrifugo de arrastre.

2.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas:

- Corto tiempo de residencia
- Mezcla óptima equivalente a flujo turbulento o flujo tapón (Near Plug Flow-minimum backmixing).
- Procesamiento a temperaturas de equilibrio
- Exposición continua de cada particula de fluido hacia la superficie térmica, evitando incrustaciones y ensuciamiento.
- Proceso en una sola etapa.
- Alta transferencia de calor debido a la película delgada del producto y a la turbulencia impartida por el rotor.

- Altos rendimientos debido al corto tiempo de proceso evitando: reacciones secundarias, descomposición y polimerización.
- Bajo volumen del producto en la zona de proceso.
- Amplia gama de viscosidades.
- Caída de presión despreciable permite operar en condiciones de equilibrio.

Desventajas:

- Alto costo de inversión.
- Partes internas móviles, las cuales pueden necesitar un mantenimiento considerable, cuando llega a presentarse.
- Su pequeña capacidad en unidades simples, la cual está muy por abajo de los evaporadores multitubulares.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE EL PROCESO Y SUS EQUIPOS

3.1 El Producto y su Importancia

3.2 Sistema de Evaporación

3.3 Funcionamiento de los Equipos del Sistema de Evaporación.

3.3.1 Tanque de Alimentación del Producto

3.3.2 Tanque Separador de Arrastre
(Demister)

3.3.2.1 Junta de Expansión

3.3.3 Tanques de Residuo

3.3.4 Condensador

3.3.4.1 Tanque de Condensado y
Condensador de Serpentin.

3.3.5 Tanques Recibidores

3.3.6 Eyectores de Vacío

3.1 El Producto y su Importancia

En la planta donde se requiere instalar un evaporador de película se obtiene un antiozonante como producto final de este proceso que tiene su aplicación final en la industria del hule.

La estabilidad de los compuestos del caucho ante la acción del tiempo está afectada por factores tales como el calor, la luz y las condiciones atmosféricas, que provocan la pérdida de la resistencia a la tracción y dureza del vulcanizado del caucho. El alcance y naturaleza de la degradación dependen del tipo de caucho y de las condiciones de exposición.

La estructura química no saturada del caucho da lugar también al agrietamiento de sus productos, cuando se hallan sometidos a tracción (llantas) y expuestos a concentraciones muy bajas de ozono, como las que existen en la atmósfera. Algunos tipos de ceras son capaces de proteger la masa del caucho y de aminorar los efectos perjudiciales del ozono; pero tal clase de protección no favorece las características dinámicas del caucho. En cambio ciertos aceleradores tienen propiedades antiozonantes, pero estos productos comerciales suelen substituirse en su mayoría por las alquil-diaminas.

El mecanismo de la acción antiozonante no se conoce bien, aunque se ha comprobado que es distinto del que rige la acción antioxidante. Se considera que el efecto protector del antiozonante, es consecuencia de la preferencia del

ozono a combinarse con el antiozonante en vez de hacerlo con el caucho.

La oxidación fotoquímica de los compuestos del caucho resultante de la exposición a la radiación solar, produce una reacción que da a la superficie un aspecto resinoso y agrietado. La degradación o alteración del caucho debida a los agentes atmosféricos es debido a las propiedades oxidantes del ozono atmosférico, durante la fabricación del hule natural y sintético. Los fabricantes han intentado mejorar la resistencia de sus productos a la degradación del ozono utilizando aditivos químicos conocidos como antiozonantes. No obstante, la adición de químicos tales como aminas aromáticas han aumentado considerablemente la vida de los hules vulcanizados y ellos son todavía sujetos de estudios para superficies prematuramente agrietadas (early surface cracking).

La fabricación de compuestos antiozonantes tiene como base la obtención de la N-fenil para-fenilendiamina (Difenildiamina) $C_{12}H_{12}N_2$, a través de un proceso químico que se describirá en forma breve como sigue:

- 1.- Nitrosación.
- 2.- Rearreglo.
- 3.- Caustificación.
- 4.- Reducción.
- 5.- Filtración.
- 6.- Lavado (extracción).
- 7.- Destilación

y como se muestra en los siguientes diagramas de flujo y de bloques (figuras 3.1 y 3.2).

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE OBTENCION DE DIFENILDIAMINA
($C_{12}H_{12}N_2$)

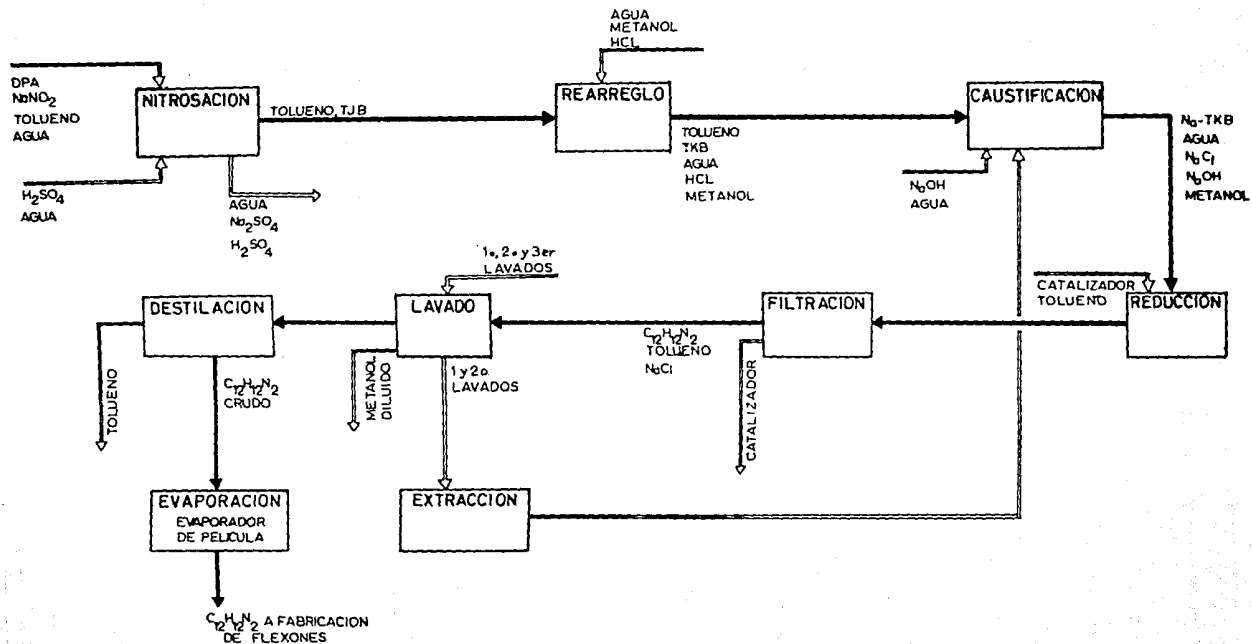


figura 3.1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE
OBTENCION DE DIFENILDIAMINA ($C_{12}H_{12}N_2$)

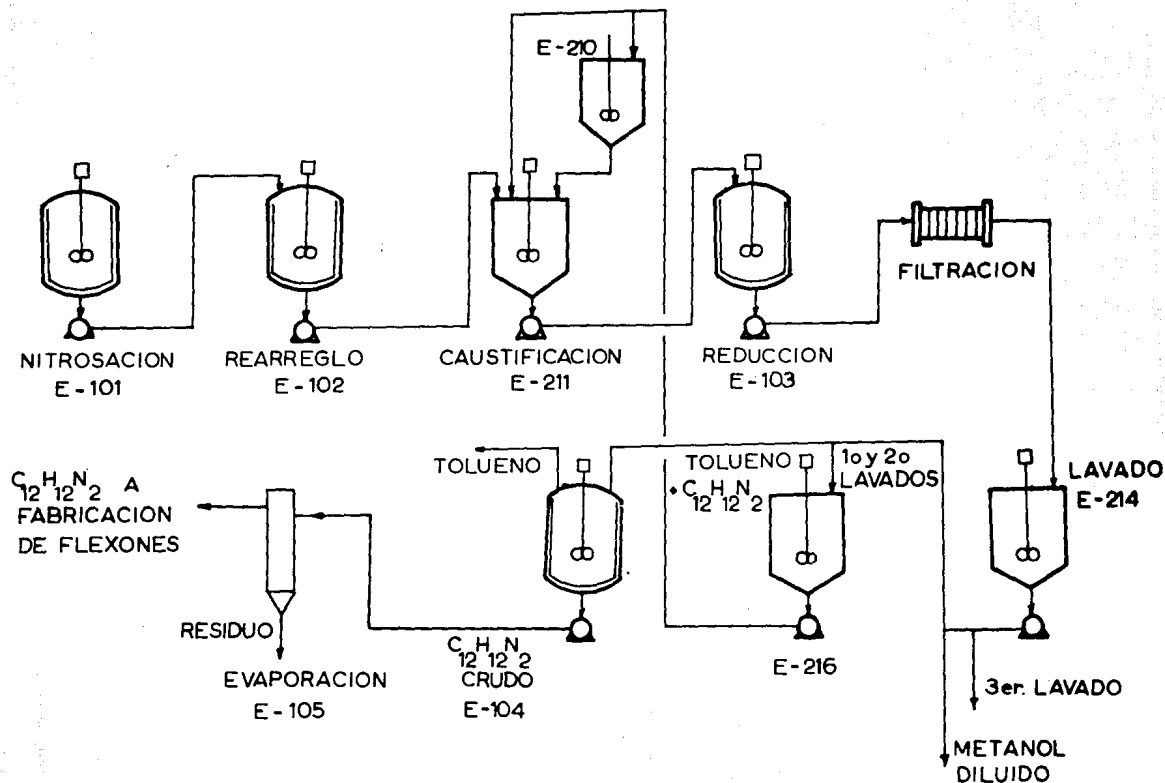


figura 3.2

Para la distribución final del área de proceso de la planta (obtención de Difenildiamina) deben observarse las operaciones que se realizan en cada equipo, haciendo notar las relaciones existentes entre unos y otros, que puedan originar un problema ó contribuir a agravarlo, y la ubicación de los equipos cuya cercanía pueda ser peligrosa.

Con objeto de definir el diagrama de flujo del proceso, el fabricante del evaporador de película efectúa estudios profundos desarrollados a nivel laboratorio y planta piloto, así como estudios de escalación al tamaño de la planta industrial extrapolando los resultados a una programación lineal de la producción para poder detectar posibles cuellos de botella y su solución, antes de iniciar la construcción, lo cual reditirá en una eficiente instalación. A continuación se enumera una lista de las variables que pueden aumentar los riesgos de que ocurran reacciones indeseadas, descomposición de el producto, explosión, flamabilidad o cualquier otro incidente:

- 1.- Temperaturas anormales.
- 2.- Presiones anormales.
- 3.- Adición de reactivos anormales, ya sea en mayor o menor cantidad, o en otro orden.
- 4.- Paro del flujo de material.
- 5.- Fugas o derrames.
- 6.- Fallas de equipo.
- 7.- Errores, taponamientos ó suspensión de energía.

- 8.- Reacción incompleta ó sobrepasada.
- 9.- Aumento de velocidad de la reacción, de corrosión ó inestabilidad.
- 10.- Presencia de materiales extraños ó catalizadores, incluyendo el material seleccionado para cada equipo.
- 11.- Protecciones necesarias para prevenir los riesgos que se encuentren, determinando las probabilidades de que una etapa del proceso salga de control.
- 12.- Definición de la instrumentación necesaria de cada equipo para controlar el proceso y descubrir anomalías.
- 13.- Eliminación de desperdicios flamables, tóxicos o dañinos.
- 14.- Determinación de las áreas de operación para cada equipo y las facilidades de efectuar un mantenimiento rápido para cada una de las unidades de proceso; contemplando facilidades para el cambio de cualquier unidad sin obstáculos y al mínimo costo.
- 15.- Determinación de las rutas de escape y procedimientos para casos de emergencia, evitando posibles fatalidades y permitiendo el rápido acceso para el control de accidentes.

El control de las variables anteriores y la utilización de los códigos actuales para instalación de tuberías, equipos a presión y la seguridad de los mismos, permite reducir la posibilidad de bloqueos a la producción.

También debe contarse con los siguientes servicios en la planta como: consumo de vapor, agua de enfriamiento, agua de servicio, energía eléctrica, aire a presión, etc. Ya que todo esto es la base de una buena instalación industrial.

3.2 Sistema de Evaporación

En este sistema el proceso de Evaporación se lleva a cabo en forma mixta; es decir, una transferencia de calor directa en la chaqueta del evaporador y la disminución de la presión del sistema por medio de un sistema de vacío de eyectores de triple etapa (E-403).

El producto crudo y listo para procesarse; proviene de un reactor de destilación de tolueno (E-104) (fig.3.3) donde la difenildiamina cruda se separó del tolueno. De aquí el producto se traslada a un tanque de alimentación para precalentarse antes de ser alimentado al evaporador de película (E-105); donde, se separara el solvente en forma de vapor y pasa a un tanque de separación de arrastre (E-222) para separar el líquido que arrastra la corriente de vapor que no pudo ser evaporado y recircularlo al evaporador. El vapor seco que sale del tanque separador se dirige hacia un condensador (E-305) donde el producto en forma de vapor se convierte a líquido y se transporta por gravedad hacia los tanques recibidores (E-224 y 225); después de esto, el producto es pesado y envasado en

tambores para enviarlo al proceso de fabricación de flexones; producto que es utilizado en el proceso de vulcanización del hule en la industria llantera.

Por otro lado el residuo (soluto) se separa de la Difenildiamina, por gravedad hacia los tanques de residuo (E-220 y 221). Este residuo es desechado más tarde o es recirculado al tanque de alimentación (E-219) en caso de ineficiencia en el proceso ó situaciones de arranque y paro del sistema de evaporación.

3.2.2 Lista de los Equipos del Sistema

Item	E Q U I P O
- E-219	Tanque de Alimentación (Difenildiamina)
- E-105	Evaporador de Película Agitada
- E-220/221	Tanques de Residuos
- E-222	Tanque Separador de Arrastre (Demister)
- E-223	Tanque de Recirculación
- E-224/225	Tanques Recibidores (Difenildiamina)
- E-226	Tanque de Condensado (Agua)
- E-304	Condensador de Tolueno
- E-305	Condensador de Difenildiamina
- E-306	Condensador de Agua
- E-403	Sistema de Eyectores de Vacío de Triple Etapa.
- E-404	Eyector de Vacío de simple etapa.
- E-519	Bomba de trasvase (Difenildiamina)
- E-520	Bomba de Alimentación (Difenildiamina)
- E-521	Bomba de Recirculación
- E-522	Bomba de Descarga de Residuos.
- E-523	Bomba de Agua de enfriamiento

3.3 Funcionamiento de los Equipos del Sistema de Evaporación

3.3.1 Tanque de Alimentación (E-219)

La función de el tanque de alimentación es la de recibir la Difenildiamina cruda que está siendo concentrado en el reactor de destilación de tolueno (E-104); donde el tolueno es separado de la Difenildiamina como se muestra en el diagrama de flujo del sistema de evaporación. (fig. 3.3).

Este tanque de alimentación opera a presión atmosférica y tiene un enchaquetado por el que circula vapor de caldera para mantener la temperatura de la Difenildiamina a 275 F, ya que debe estar cerca de su punto de ebullición antes de entrar al evaporador de película para optimizar el proceso de transferencia de calor; además, el tanque contiene un agitador que asegura la transferencia de calor por convección en todo el fluido. En el tanque de alimentación se inyecta gas nitrógeno que evitará que el producto se oxide al entrar en contacto con el aire. Como el nitrógeno es un gas inerte no se combinará con el producto.

3.3.2 Tanque Separador de arrastre (E-222)

El evaporador de película que se instalará, necesita un separador de arrastre adicional al separador integral de doble acción del evaporador, debido a que los vapores generados en el evaporador arrastran partículas líquidas, mismas que deben ser recirculadas al evaporador con objeto

de aumentar la eficiencia del mismo y reducir pérdidas del material. El producto que no pudo ser procesado es descargado por la parte inferior del tanque separador de arrastre y trasvasado a otro tanque donde el líquido será recirculado al tanque de alimentación.

La experiencia ha demostrado que los separadores del tipo Demister proporcionan la eficiencia de separación requerida a los más bajos costos de instalación, por lo que se decidió instalar este equipo.

Conceptos Generales.

Arrastre.- En cualquier equipo de proceso donde un gas entra en contacto con un líquido, el gas siempre arrastrará algo de líquido.

Velocidad de Arrastre.- Es la cantidad de líquido transportada por un gas o una corriente de vapor, y se expresa en lb/hr.

Re-arrastre.- Es el líquido que es atrapado nuevamente por la corriente de vapor en el tanque de separación de arrastre; después de haber sido separados por "primera vez" de la mezcla líquido-vapor y que continúa a través del separador (demister), esta condición se atribuye al flujo turbulento causado por la velocidad de la corriente de vapor.

Arrastre Residual.- Es el arrastre presente en la corriente de gas que sale del separador en la parte superior. El arrastre residual puede consistir de partículas líquidas que son rearrastradas o partículas que siguen la corriente de vapor a través del separador y no son colectadas.

Eficiencia de Colección.- La eficiencia de un eliminador de arrastre (separador o Demister) se expresa usualmente como un porcentaje.

$$\text{Colección} = 100 \left(1 - \frac{E_r}{E} \right)$$

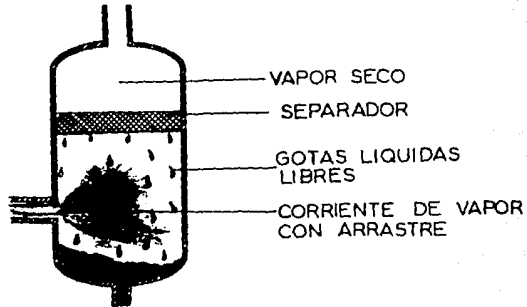
donde : E_r = lb/hr de arrastre residual

E = lb/hr del arrastre total.

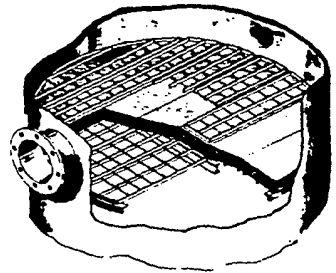
Caída de Presión.- La caída de presión está definida por la ecuación $h = v^2 / 2g$ y tiene como unidades ft liq.

Los separadores de arrastre (demister) son diseñados para separar partículas líquidas de un gas o corriente de vapor, se les llama también separadores tipo malla de alambre. Consiste en un cojín que se encuentra en un tanque presurizado que puede ser nuevo o existente. Estos cojines están formados por una o más capas de alambre o cintas metálicas. Usualmente tienen un espesor de 4 a 6 pulgadas y son soportados por una parrilla o enrejado abierto (open grids). (fig.3.4)

FUNCIONAMIENTO DEL SEPARADOR ARRASTRE. (DEMISTER)



MALLA DE ALAMBRE
(DEMISTER)



SEPARADOR EN UN
TANQUE A PRESION

figura 3.4

Los Demisters se utilizan en evaporadores donde las velocidades del vapor son relativamente bajas. El flujo de vapor debe ser vertical, con la succión o corriente de aire hacia arriba; con el cojín de malla de alambre en posición normal al flujo de vapor. Las instalaciones horizontales o inclinadas tienen eficiencias bajas por lo que deben ser evitadas en lo posible. Normalmente estos "Demisters" se instalan de manera que el flujo de vapor viaja hacia arriba a través de la malla. Cuando la corriente de vapor y las gotas líquidas rearrastradas pasan a través de la malla eliminadora, las gotas no pueden pasar a través del separador debido a que tienen mayor inercia que el vapor. Como resultado de este fenómeno, las gotas son lanzadas en contacto con las superficies de alambre de la malla donde son brevemente detenidas. En el choque, se encuentran otras fuerzas además que la de inercia que ayudan a la separación como la gravedad y la fusión (coalescence). El principio básico predominante en todos los separadores es el choque de una partícula líquida en contra de un álabe director estacionario, que en este caso, es la superficie de la malla de alambre. Mientras más gotas entren en el cojín, éstas serán colectadas en la malla de alambre, crecerán en tamaño y correrán hacia el fondo del tanque y saldrán del mismo siendo tiradas al drenaje o recirculadas según sea el caso. El vapor en la parte superior de la unidad está ahora libre de arrastre (seco).

Los cojines de malla de alambre tienen una velocidad de

vapor límite, máxima y mínima. Las eficiencias son pobres cuando las partículas líquidas tienden a seguir la corriente de vapor a través de la malla, haciendo imposible la separación. Para velocidades del vapor por arriba del límite máximo, aumenta la cantidad de líquido rearrastrado de la superficie alta del cojín, obteniéndose eficiencias bajas.

La densidad, área y espesor de la malla afecta su comportamiento. Los cojines pueden ser fabricados en cualquier dimensión o configuración que sea requerida.

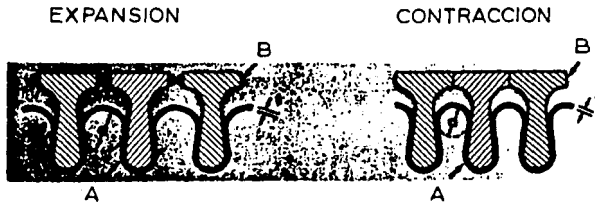
Los separadores de malla de alambre deberán ser localizados por arriba de la superficie líquida, tan alto como sea posible, sin estar cerca de la corriente de vapor convergente que se dirige hacia la salida.

3.3.2.1 Junta de Expansión

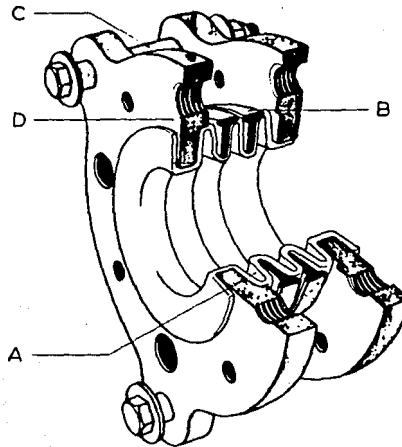
El evaporador de película y el tanque de separación de arrastre (Demister) se encuentran conectados por medio de una junta de expansión simple bridada, ya que los efectos de expansión y contracción no son considerables, este tipo de junta es adecuada para este caso. Como estas juntas absorben prácticamente el movimiento axial, es recomendable utilizar otra junta en la parte inferior del evaporador.

Es preferible una junta de expansión a un lazo de expansión, por su bajo costo y su menor requerimiento de

FUNCIONAMIENTO DE LA JUNTA DE EXPANSION.



JUNTA SIMPLE CON BRIDAS



- A) ELEMENTO CORRUGADO
- B) ANILLO
- C) GUIAS
- D) BRIDAS

figura 3.5

espacio. La necesidad de juntas de expansión en tanques de proceso, puede ser eliminada por medio de un cuidadoso diseño de los componentes internos del tanque (agitadores, rotores, etc.), conexiones de tuberías, soportes y anclajes. Sin embargo resulta más práctico y económico el uso de una junta. (fig. 3.5)

3.3.3 Tanques de Residuo (E-220/221)

La función de los tanques de residuo es la de recibir el concentrado del proceso de evaporación (solute), que deberá ser desechado ó recirculado si el proceso fuera ineficiente ó en situaciones de arranque y paro del sistema de evaporación.

Si al descargar estos tanques se encuentra que el residuo está mojado (de Difenildiamina), significará que el proceso de evaporación fué ineficiente debido a:

- a) Problemas de Vacío
- b) Vapor de calentamiento no suficientemente caliente
- c) Flujo másico mayor al de operación

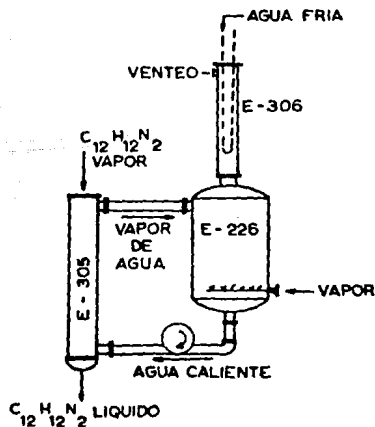
Se cuenta con dos tanques para descarga de residuos enchaquetados y colocados justamente por abajo de el cono de descarga de el evaporador que trabajan en forma alterna; es decir, mientras uno de los tanques es descargado, el otro tanque está siendo llenado y viceversa para asegurar la continuidad del proceso.

3.3.4 Condensador (E-305)

El condensador convierte la difenildiamina de vapor a líquido bajando su temperatura de 450 F hasta aproximadamente 225 F. Esto es llevado a cabo por la circulación de agua caliente a través de el cuerpo del condensador (fig.3.6). El agua caliente que entra a el intercambiador de calor (condensador), se encuentra en el punto de ebullición. Mientras los vapores de difenildiamina se condensan a la salida de los tubos del condensador, el agua caliente que va por el lado del cuerpo comienza a hervir, presentandose a la salida de los tubos del condensador una mezcla de vapor y agua. En el fondo del condensador se suministra vapor a 30 psig para calentar el tanque de condensado a 200 F antes de que el evaporador arranque.

SISTEMA DE CONDENSADO

fig. 3.6



Condiciones de Operación del Condensador E-305

		TUBOS (Difenildiamina)	CUERPO (Agua caliente)
PRESION	ENTRADA	10 - 15 mm	5 - 10 psig
	SALIDA	5 - 10 mmhg	5 - 10 psig
TEMPERATURA	ENTRADA	430 - 450 °F	210 - 212 °F
	SALIDA	220 - 225 °F	215 - 220 °F

3.3.4.1 Tanque de Condensado (E-226)

El tanque de condensado actúa como un depósito para suministro de agua de enfriamiento para el condensador. Como se vió en el funcionamiento del condensador, el agua de enfriamiento es continuamente destilada mientras los vapores de Difenildiamina caliente son condensados y enfriados. La parte de agua de enfriamiento que se pierde como vapor es repuesta por el suministro de vapor. (fig. 3.6)

En la parte superior del tanque se encuentra un condensador de serpentín como se muestra en la figura 3.6. En los tubos del serpentín circula agua fría que condensa el agua destilada que sirve de enfriamiento al condensador E-305 (Difenildiamina). Esta agua baja al fondo del tanque de condensado donde vuelve a ser calentada por el suministro de vapor vivo, que entra al tanque. Es conveniente utilizar una bomba de recirculación de agua caliente, del tanque de condensado al condensador E-305.

(difenildiamina) para asegurar la transferencia de calor.

El condensador E-305 o de proceso (difenildiamina), trabaja con agua caliente como medio de enfriamiento, porque los vapores de difenildiamina tienen una temperatura de 450 °F que debe ser disminuida a 225 °F aproximadamente, condensando la difenildiamina para trasvasarlo hasta los tanques recibidores por gravedad.

El proceso de condensación de la difenildiamina es delicado, ya que si ésta llega a su temperatura de fusión que es de 170 °F, se tapaná la tubería ocasionando graves problemas en el proceso.

3.3.5 Tanques Recibidores (E-224/225)

La difenildiamina líquida sale del condensador y fluye por gravedad hacia dos tanques recibidores. Mientras uno de los tanques recibe el producto líquido, el otro se encuentra descargando con objeto de asegurar la continuidad de el proceso. El producto se descarga de los recibidores a un tanque de pesado, para su envase.

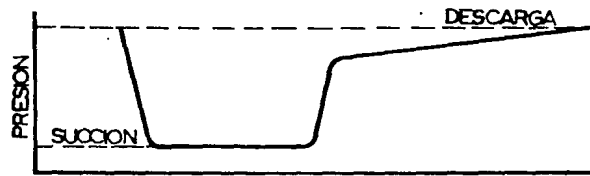
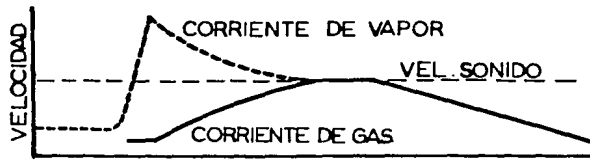
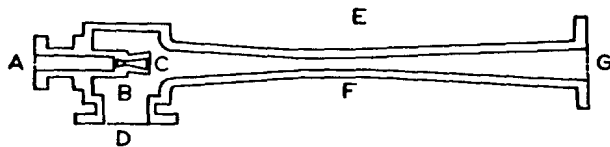
El sistema de vacío succiona de los tanques recibidores por medio de eyectores. En los tanques recibidores, al igual que en el tanque de alimentación y en los tanques de residuos se inyecta nitrógeno con objeto de proteger al producto de oxidación en presencia de aire.

3.3.6 Eyectores de Vacío

El proceso de obtención de difenildiamina requiere en la etapa de evaporación trabajar a alto vacío para mantener baja su temperatura, ya que este es un material sensible al calor que puede ser quemado. De este modo el proceso de evaporación se lleva a cabo en forma mixta, es decir, una transferencia de calor directa y una disminución de presión.

Se optó por utilizar eyectores de vacío en lugar de una bomba de vacío, ya que se cuenta en la planta con la capacidad de vapor para su operación (200 psi). Un eyector de vacío es un equipo de proceso que bombea fluidos compresibles (aire, gas o vapores), por lo general desde presiones subatmosféricas hasta la presión atmosférica de descarga. La mayoría de los eyectores se operan principalmente con vapor de caldera. Prácticamente cualquier fluido a presión se puede utilizar para operar un eyector. Si se dispone de un fluido motriz es posible producir vacío con un equipo diseñado especialmente para satisfacer las necesidades del proceso. El diseño de los eyectores se basa en el principio del Venturi. Vapor de caldera a una presión determinada y constante se alimenta por una tobera para incrementar la velocidad de la corriente de vapor hasta velocidades supersónicas (900 a 1400 m/seg) y provocar su expansión en la cámara de succión, en donde parte de la entalpía del vapor se convierte en energía cinética, con entropía casi constante (Fig. 3.7)

FUNCIONAMIENTO DE EYECTORES DE VACIO



- A. ENTRADA DE VAPOR
- B. CAMARA DE SUCCION
- C. TOBERA
- D. ENTRADA GAS
- E. DIFUSOR
- F. GARGANTA
- G. DESCARGA

Esta corriente provoca una disminución de la presión en la succión del eyector que induce una corriente secundaria de aire, gases o vapores que se mezclan con el vapor de caldera y la corriente total entra en el difusor por el lado convergente, aquí el impulso del vapor produce un cambio en la cantidad de movimiento de la mezcla. Pasa después a la garganta que es la sección más reducida en diámetro y descarga, por el lado divergente del difusor en donde se completa la transmisión de energía reduciendo su velocidad progresivamente, una porción de la mezcla se convierte nuevamente en aumento de entalpía elevando la presión. Los eyectores transforman la presión de la corriente motriz en velocidad. El resultado de esta transformación de energía, es la elevación de la presión absoluta de descarga de la mezcla, dicha presión puede ser incrementada varias veces la presión de entrada.

El funcionamiento del eyector se puede resumir en tres pasos: expansión a través de la tobera, inducción de la nueva corriente en la cámara de succión (mezcla) y compresión en el difusor, como se observa en la figura 3.8.

Los eyectores, consecuentemente no tienen partes mecánicas en movimiento tales como pistones, válvulas o rotores, lo cual favorece una larga vida del equipo, prácticamente no requieren mantenimiento, son de sencilla operación, manejan mezclas gaseosas, secas y húmedas, vapores corrosivos y no corrosivos, inducen presiones absolutas o de vacío constantes sin variaciones; por abajo

PARTES DE UN EYECTOR DE VACIO

- A) CAMARA DE VAPOR
- B) TOBERA DE VAPOR ————— EXPANSION
- C) CAMARA DE AIRE O SUCCION
- D) DIFUSOR ————— COMPRESION

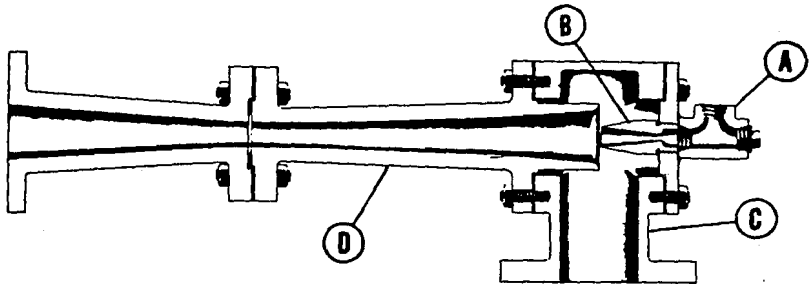


figura 3.8

de la presión atmosférica.

Sus costos de inversión inicial e instalación son menores al compararlo con bombas mecánicas de vacío, además de la simplicidad de su funcionamiento, poco volumen y seguridad; en general los eyectores son más adecuados para manejar presiones absolutas tan bajas, suelen ser fabricados para cualquier presión de descarga o de succión así como para cualquier capacidad (lb/hr). Los eyectores tienden a manejar flujos másicos constantes mientras que las bombas de vacío manejan flujos volumétricos constantes.

Un eyector de vapor a chorro se emplea principalmente para mantener el vacío en equipos de proceso en los que se efectúan evaporación y condensación.

Etapas múltiple

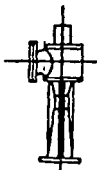
Las relaciones de compresión que se eligen para cada etapa de un eyector de vapor a chorro varían comúnmente de 4 a 7. Pueden disponerse de dos o más etapas en serie, de acuerdo con la relación de compresión total que se deseé.

Dos o más juegos de etapas en serie se pueden instalar en paralelo para acomodarse a las distintas capacidades (lb/hr). (figuras 3.9 a y b)

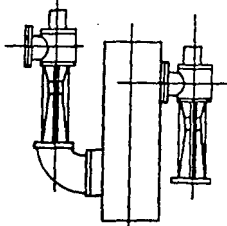
A partir del arreglo de dos etapas, los sistemas de vacío se diseñan en los tipos condensables y no condensables. En los condensables suelen intercalarse

ARREGLOS DE EYECTORES DE MULTIPLE ETAPA

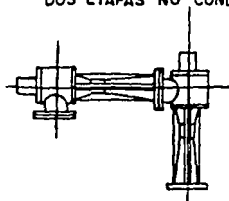
ETAPA SIMPLE



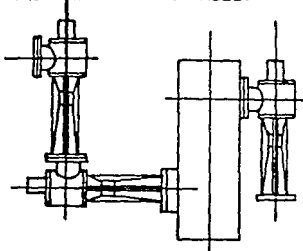
DOS ETAPAS CONDENSABLES



DOS ETAPAS NO CONDENSABLES



TRES ETAPAS CONDENSABLES



ESTA TERCERA DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TRES ETAPAS CONDENSABLES
(2 UNIDADES)

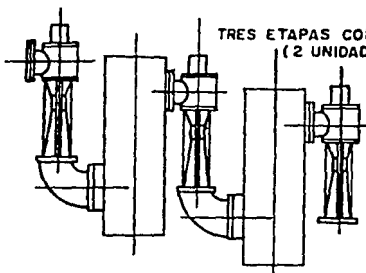


figura 3.9 a)

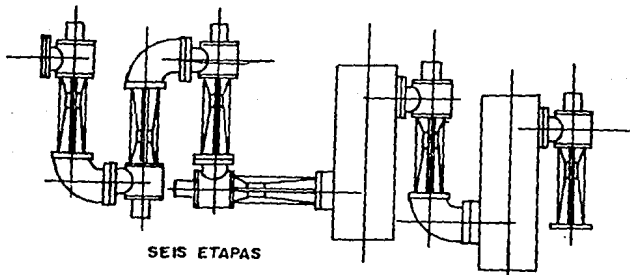
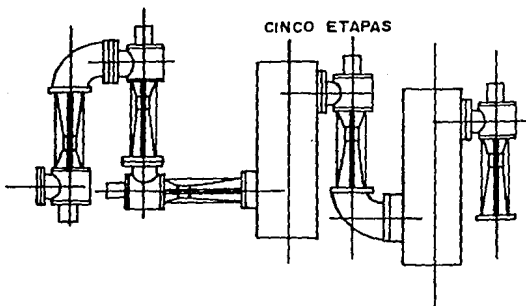
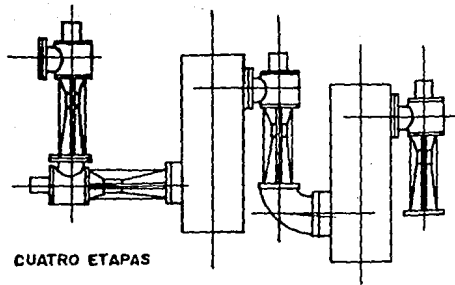


figura 3.9 b)

condensadores de vapor entre las etapas de compresión de los eyectores de vapor a chorro de varias etapas para condensar y eliminar una parte considerable del vapor motriz y de los otros vapores condensables. Con ésto, se consigue disminuir la cantidad de fluido que ha de comprimirse en la próxima etapa y, por tanto, reducir el vapor motriz necesario. Se emplean para ello intercondensadores del tipo barométrico o de superficie.

Los eyectores no condensables se reconocen porque la descarga de la primera etapa se acopla directamente a la succión de la segunda etapa y así sucesivamente. Los tipos no condensables necesariamente requieren equipo de mayor tamaño que los de tipo condensable, ya que el sistema se opera con cargas mayores y su consumo de vapor motriz es también mayor.

En lo general, los sistemas de vacío del tipo condensable requieren menores costos de operación que los de tipo no condensable, sin embargo la inversión inicial es mayor.

TABLA DE PRESIONES DE VACIO DE ACUERDO AL NUMERO DE ETAPAS

Número de Etapas	Presión de Succión
1	75 - 750 mmHg abs.
2	10 - 100 "
3	1 - 25 "
4	0.15 - 3 "
5	20 - 300 "
6	5 - 20 "
7	1 - 5 "

Evaporación a Alto Vacío

La evaporación es otra operación de separación similar a la destilación, la principal diferencia es que, en procesos de evaporación el residuo, o solución concentrada es el producto deseado en lugar de los vapores condensados o el destilado. La evaporación al alto vacío reduce el punto de ebullición de el líquido, dando las siguientes ventajas para muchos productos:

1. La diferencia de temperatura entre el vapor de calentamiento y el punto de ebullición del líquido se reduce, resultando un incremento en la velocidad de evaporación.

2. Baja presión de operación, por lo que algunas veces el consumo de vapor de calentamiento es menor.

Algunos materiales son degradados cuando sus soluciones son calentadas a temperaturas correspondientes a la presión atmosférica.

Nomenclatura

En la nomenclatura para designar sistemas de vacío es usual utilizar las últimas letras del alfabeto para identificar la posición de los eyectores de etapa múltiple, por ejemplo: una etapa será siempre la letra "Z", en dos etapas la primera será "Y", y la segunda será "Z", en tres etapas la primera será "X", la segunda será "Y" y la tercera será "Z", y así sucesivamente.

CAPITULO IV

INSTALACION DE EL EVAPORADOR DE PELICULA

4.1 Montaje y Localización del Equipo

4.2 Instalación de Tuberías

4.2.1 Recomendaciones de Instalación

4.2.2 Instalación de Válvulas

4.2.3 Lubricación del Evaporador

4.2.3.1 Sello Mecánico de la flecha

4.2.3.2 Chumacera Inferior

4.2.4 Suministro de Vapor

4.2.4.1 Estaciones Reductororas de Presión

4.2.4.2 Retorno de Condensados

4.2.5 Montaje de Tuberías

4.3 Operación del Sistema de Evaporación

4.3.1 Prueba del Sistema

4.3.2 Arranque del Sistema

4.3.3 Paro del Sistema

4.3.4 Operación

4.3.4.1 Dificultades de Operación

4.4 Programa de Instalación

4.1 Montaje y Localización del Equipo

Para la distribución y montaje del equipo es indispensable conocer el proceso de obtención de difenildiamina junto con los principios de instalación y funcionamiento de los sistemas de tuberías y equipos (orientación de boquillas y especificaciones).

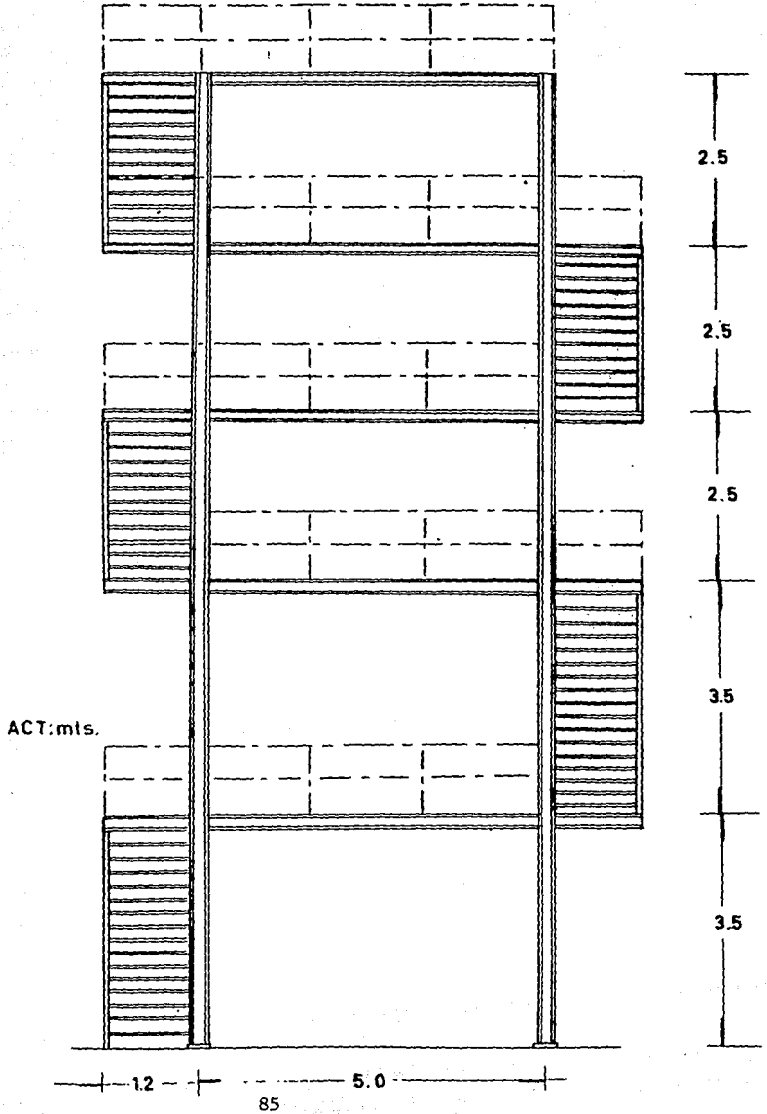
Esta fase preliminar a la instalación, requiere de una cuidadosa planificación para llegar a la óptima opción de la disposición de la planta.

Algunos equipos tienen determinada su elevación por el proceso y por tanto, la elevación debe ser mantenida ya que alguna variación afectará su operación. Normalmente la razón de elevar los equipos, es de proveer al fluido con una presión hidrostática suficiente.

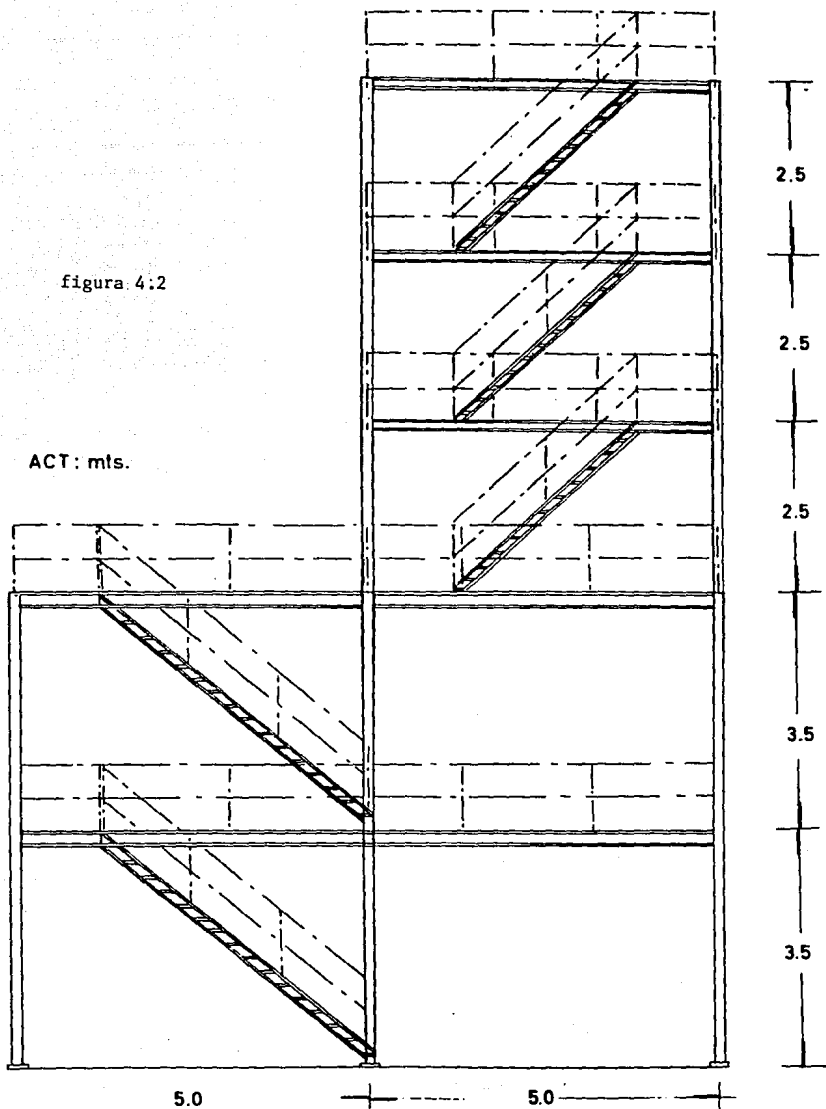
Es recomendable montar los equipos próximos al suelo, cuando las condiciones del proceso lo permitan, resultando esto en ahorro de estructuras y sencillez en el mantenimiento. Sin embargo el sistema de evaporación de difenildiamina tiene destinada como área de proceso un edificio industrial existente de seis niveles. El sistema de evaporación es una parte de toda la planta y para el montaje del equipo se tiene disponible toda el área de este edificio como se muestra en las figuras 4.1 y 4.2.

VISTA FRONTAL DE LA ESTRUCTURA

figura 4.1



VISTA LATERAL DE LA ESTRUCTURA



Los equipos de este proceso son todos verticales, por lo que se soportarán en su parte media aproximadamente, por medio de cartabones o soportes soldados al cuerpo del equipo que descansan sobre vigas instaladas al nivel del piso. Lo anterior permitirá operar correctamente el equipo y realizar fácilmente el mantenimiento. Todo esto respetando las condiciones de proceso o requerimientos como la presión positiva de succión (NPSH) para bombear fluidos.

Para poder instalar tuberías, así como para desmontarlas, la distancia mínima entre el fondo de la tubería y el suelo debe ser de 6 pulgadas; considerando la posible existencia de algún aislamiento, instrumento de medición o válvula. En el caso de que exista una válvula de control esta distancia será como mínimo de 12 pulgadas (fig. 4.3).

MONTAJE DE EQUIPOS VERTICALES

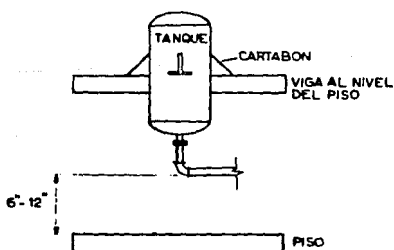


figura 4.3

Los factores más importantes que hay que considerar para los espacios horizontales del equipo son: facilidad de construcción y montaje, mantenimiento y seguridad. El equipo debe ser dispuesto de tal manera que el acceso para el mantenimiento y operación, se realice sin dificultad pudiendo desmontar las partes del evaporador y de los otros equipos para darles servicio.

Para la localización del evaporador deben considerarse los siguientes puntos.

- El evaporador puede trabajar a la intemperie.
- Debe proveerse de suficiente espacio libre por arriba de la parte más alta del evaporador (Top Cover) ó hacer un agujero en el techo para poder retirar el rotor.

Se requiere retirar el rotor para:

- + Inspeccionar el rotor y el espacio libre entre el rotor y el cuerpo.
 - + Reparar o ajustar (alineación y balanceo del rotor).
 - + Limpieza periódica.
- Analizar la orientación de boquillas, bridas o conexiones del evaporador y de los demás equipos del sistema de evaporación, para realizar el tendido de tuberías por lo que a continuación se muestran las especificaciones de todos los equipos del sistema.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION EVAPORADOR DE PELICULA
LUWA TIPO LN - 0200
SERVICIO DIFENILDIAMINA
CAPACIDAD GAL. ITEM No E-105

E S P E C I F I C A C I O N E S G E N E R A L E S

1. Area de Transferencia: 21.6 pies²
2. Rangos de Presión:
Cuerpo.- Alto vacío (4 mmhg) hasta la presión atmosférica.
Sección enchaquetada.- 150 psig. de vapor saturado.
3. Peso:
Vacío.- 1700 lbs
Inundado.- 2300 lbs
Rotor y Cubierta superior.- 500 lbs
4. Condiciones de Operación:
Alimentación.- DIFENILDIAMINA
Flujo másico = 600 lbs/hr.
Temperatura = 275 °F
Destilado.- Flujo másico = 570 lbs/hr.
Temperatura = 400 °F
Punto de Fusión = 170 °F
Residuo.- Flujo másico = 30 lbs/hr.
Temperatura = 360 - 450 °F

M A T E R I A L E S D E C O N S T R U C C I O N

1. Partes mojadas: acero inoxidable T-316L
2. Chaqueta de calentamiento: acero inoxidable
3. Bridas: acero al carbón
4. Empaques: Asbesto
5. O - Rings: Viton A (sello mecánico)

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION EVAPORADOR DE PELICULA
LUWA TIPO LN - 0200

SERVICIO DIFENILDIAMINA .

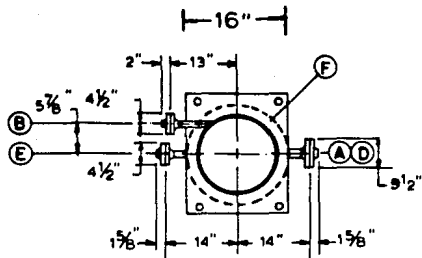
CAPACIDAD GAL. ITEM No E-105

PARTES PRINCIPALES

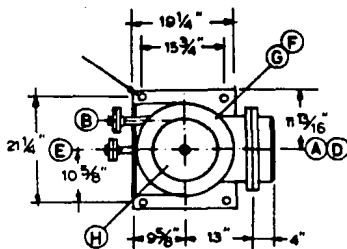
1. Sección térmica: Cuerpo cilindrico y boquillas radiales.
2. Separador: Radial.
3. Fondo cónico: No encaquetado (60 °)
4. Rotor: Balanceado dinamicamente, asentado sobre chumacera inferior.
5. Sello Mecánico: Crane 109.
6. Anillo de retención (Control de tiempo de residencia): 20 mm.

CUADRO DE CONEXIONES

BOQUILLA	DI	SERVICIO	
A	12 "	SALIDA DE VAPOR	142 lbs DIN
B	1 "	ENTRADA DE SOLUCION	227 lbs DIN
C	3 "	SALIDA DE RESIDUO	227 lbs DIN
D	1 1/4 "	ENTRADA DE VAPOR DE CALENTAMIENTO	568 lbs DIN
E	1 "	SALIDA DE CONDENSADO	568 lbs DIN
F	1 1/4 "	ENTRADA PARA LUBRICACION (HEMBRA)	
G	3/8 "	ENTRADA REFRIGERANTE DE SELLO MECANICO (HEMBRA)	
H	3/8 "	SALIDA REFRIGERANTE DE SELLO MECANICO (HEMBRA)	

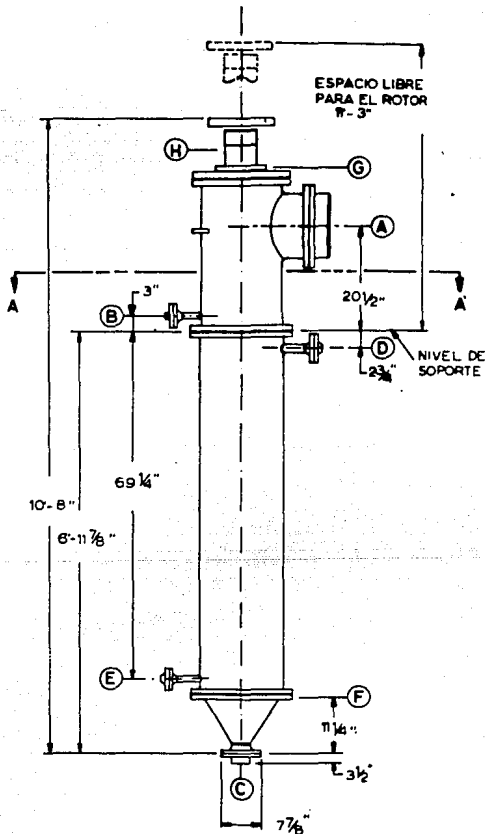


CORTE A-A



ORIENTACION DE BOQUILLAS

VER CUADRO ANEXO



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUE DE ALIMENTACION

SERVICIO DIFENILDIAMINA

CAPACIDAD 1000 GAL. **ITEM No** E-219

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION Y TEMPERATURA

TANQUE ATM. PSIG A 275 °F

CHAQUETA 50 PSIG A 275 °F

EFICIENCIA SOLDADURA

CUERPO 70 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C

TAPAS TIPO PLATO

ESPESOR 5/16 " 5/16 "

F. CORROSION 1/16 " 1/16 "

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 **RELEVADO DE ESFUERZOS** NO.

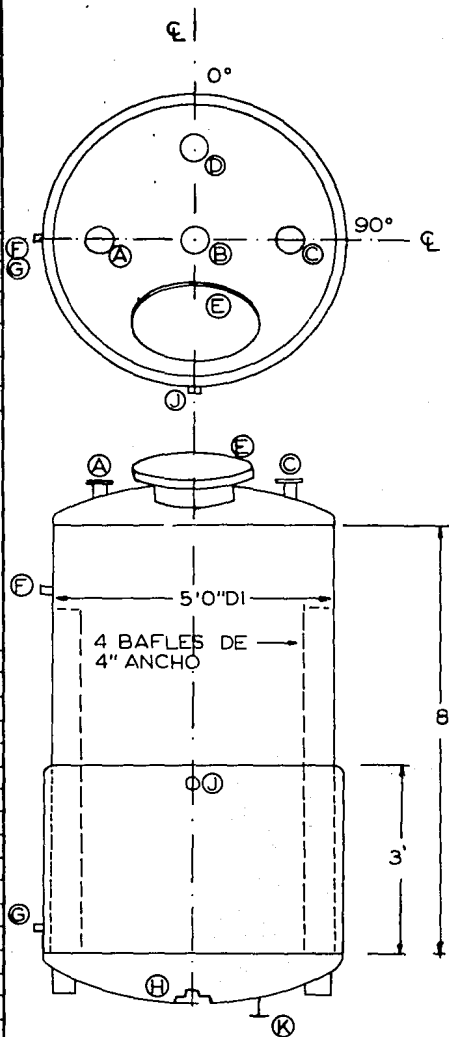
EMPAQUES 1/16 " ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIO
(SOLO EXTERIOR)

***NOTA:** DISEÑO DE ACUERDO AL CODIGO ASME Y
NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

	DI	L	SERVICIO	
A	2 "	6 "	ENTRADA	150 lbs
B	8 "	6 "	AGITADOR	150 lbs
C	2 "	6 "	VENTEO	150 lbs
D	2 "	6 "	TERMOPOZO	150 lbs
E	12x16	4 "	REGISTRO	150 lbs
F	3/4 "		I. NIVEL	COPE
G	3/4 "		I. NIVEL	COPE
H	2 "	6 "	SALIDA	150 lbs
I				
J	1 1/2 "	6 "	ENTRADA VAPOR	150 lbs
K	1 1/2 "	6 "	SALIDA CONDEN.	150 lbs
L				
M				



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUES DE RESIDUO (2)
SERVICIO RESIDUO
CAPACIDAD GAL. ITEM No. E-220
E-221

CONDICIONES DE OPERACION
PRECISION Y TEMPERATURA
TANQUE VAC - 35 PSIG A 550 °F
CHAQUETA 150 PSIG A 550 °F

EFICIENCIA SOLDADURA
CUERPO 85 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C
TAPAS	TIPO PLATO	
ESPESOR	1/4 "	1/4 "
F. CORROSION	1/16 "	1/16 "

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 RELIEVADO DE ESFUERZOS NO

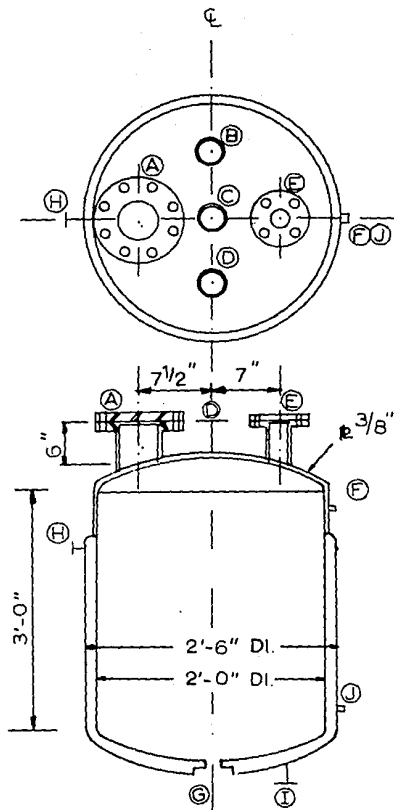
EMPAQUES ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIO
(SOLO EXTERIOR)

*NOTA: DISEÑO DE ACUERDO A CODIGO ASME Y
NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

	D.I.	L	SERVICIO	
A	4 "	6 "	REGISTRO	150 lbs
B	2 "	6 "	ENTRADA	150 lbs
C	2 "	6 "	TOMA DE VACIO	150 lbs
D	2 "	6 "	VENTEO	150 lbs
E	3 "	6 "	DISPONIBLE	150 lbs
F	3/4 "		IND. DE NIVEL	COPLÉ
G	2 "	6 "	SALIDA	150 lbs
H	1 1/2 "	6 "	ENTRADA DE VAPOR	150 lbs
I	1 1/2 "	6 "	SALIDA CONDEN.	150 lbs
J	3/4 "		IND. DE NIVEL	COPLÉ
K				
L				
M				



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUE SEPARADOR DE
ARRASTRE (DEMISTER)
DIFENILDIAMINA

SERVICIO

CAPACIDAD GAL. ITEM No E-222

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION Y TEMPERATURA
TANQUE VACIO-15PSIG A 400 °F

EFICIENCIA SOLDADURA
CUERPO 85 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C
TAPAS	PLANA(SUP)-PLATO(INF)	
ESPESOR	5/16 "	5/16 "
F. CORROSION	1/16 "	1/16 "

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 **RELEVADO DE ESFUERZOS** NO

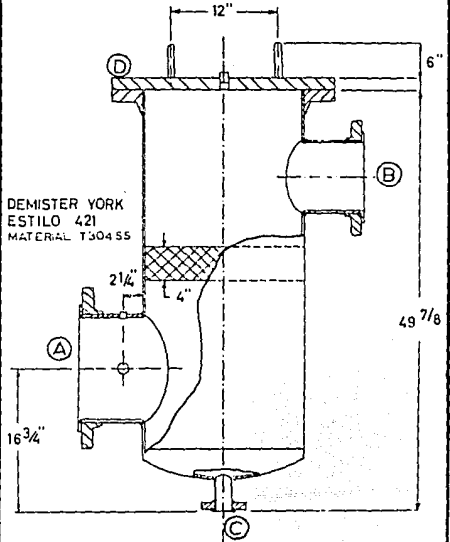
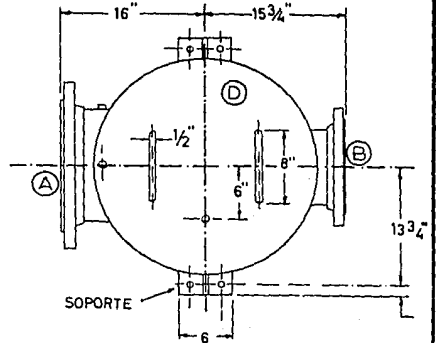
EMPAQUES 1/8 " ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIC
(SOLO EXTERIOR)

*NOTA: DISEÑO DE ACUERDO AL CODIGO ASME Y
NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

	D.I.	L	SERVICIO	
A	12 "	6 "	ENTRADA VAPOR	150 lbs
B	10 "	6 "	SALIDA VAPOR	150 lbs
C	11/2"	6 "	SALIDA LIQUIDO	150 lbs
D	18 "		TAPA PLANA	150 lbs
E				
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUE DE RECIRCULACION

SERVICIO DIFENILDIAMINA

CAPACIDAD GAL. ITEM No E-223

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION Y TEMPERATURA
TANQUE VAC - 35 PSIG A 275 °F
CHAQUETA 50 PSIG A 275 °F

EFICIENCIA SOLDADURA
CUERPO 85 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C
TAPAS	TIPO PLATO	
ESPESOR	1/4 "	1/4 "
F. CORROSION	1/16 "	1/16 "

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 **RELEVADO DE ESFUERZOS** NO

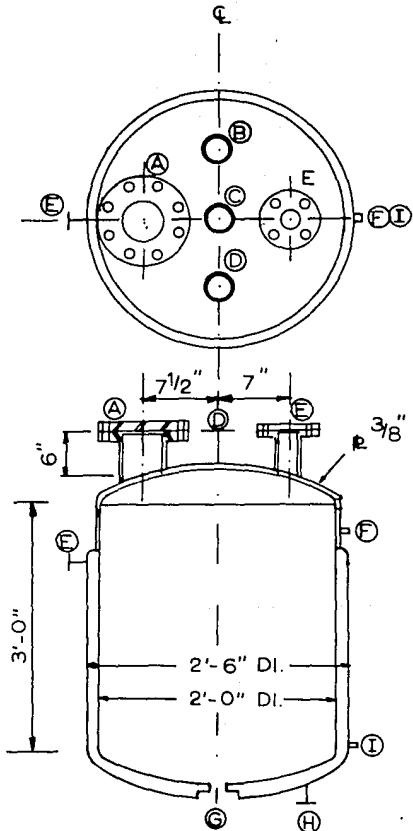
EMPAQUES ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIO
(SOLO EXTERIOR)

***NOTA:** DISEÑO DE ACUERDO AL CODIGO ASME Y
NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

	D.I.	L	SERVICIO	
A	4 "	6 "	REGISTRO	150 lbs
B	2 "	6 "	ENTRADA	150 lbs
C	2 "	6 "	TOMA DE VACIO	150 lbs
D	2 "	6 "	VENTEO	150 lbs
E	2 "	6 "	ENTRADA VAPOR	150 lbs
F	3/4 "		IND. DE NIVEL	COPLÉ
G	2 "	6 "	SALIDA	150 lbs
H	1 1/2 "	6 "	SALIDA DE COND.	150 lbs
I	3/4 "		IND. DE NIVEL	COPLÉ
J				
K				
L				
M				



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUES RECIBIDORES (2)

SERVICIO DIFENILDIAMINA E-224

CAPACIDAD 1000GAL. ITEM No E-225

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION Y TEMPERATURA

TANQUE VAC-25 PSIG A 225 °F

CHAQUETA 30 PSIG A 225 °F

EFICIENCIA SOLDADURA

CUERPO 85 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C

TAPAS TIPO PLATO

ESPESOR 5/16 " 5/16 "

F. CORROSION 1/16 " 1/16 "

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 **RELEVADO DE ESFUERZOS** NO

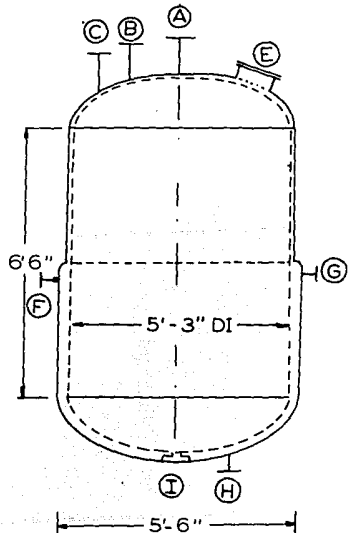
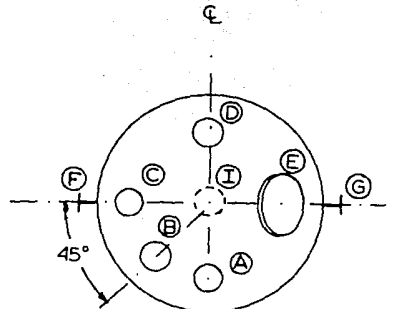
EMPAQUES ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIO
(SOLO EXTERIOR)

***NOTA :** DISEÑO DE ACUERDO AL CODIGO ASME Y
NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

D.I.	L	SERVICIO	150 lbs
A	2 " 6 "	VENTEO	150 lbs
B	2 " 5 "	TOMA DE VACIO	150 lbs
C	2 " 6 "	ENTRADA	150 lbs
D	2 " 6 "	TERMOPOZO	150 lbs
E	18 " 6 "	REGISTRO	150 lbs
F	11/2" 6 "	ENTRADA VAPOR	150 lbs
G	11/2"	MANOMETRO	
H	11/2" 6 "	SALIDA CONDENSADO	150 lbs
I	2 " 6 "	SALIDA	150 lbs
J			
K			
L			
M			



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO

INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION TANQUE DE CONDENSADO
(Y CONDENSADOR E-306)
SERVICIO AGUA

CAPACIDAD GAL. ITEM No E-226

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION Y TEMPERATURA
TANQUE ATM. PSIG A 200 °F

EFICIENCIA SOLDADURA
CUERPO 70 % TAPAS 100 %

	CUERPO	TAPAS
MATERIAL	A-285C	A-285C

TAPAS TIPO PLATO

ESPESOR	1/4 "	1/4 "
----------------	-------	-------

F. CORROSION	1/16 "	1/16 "
---------------------	--------	--------

NOTAS GENERALES

SOPORTES 4 RELEVADO DE ESFUERZOS NO

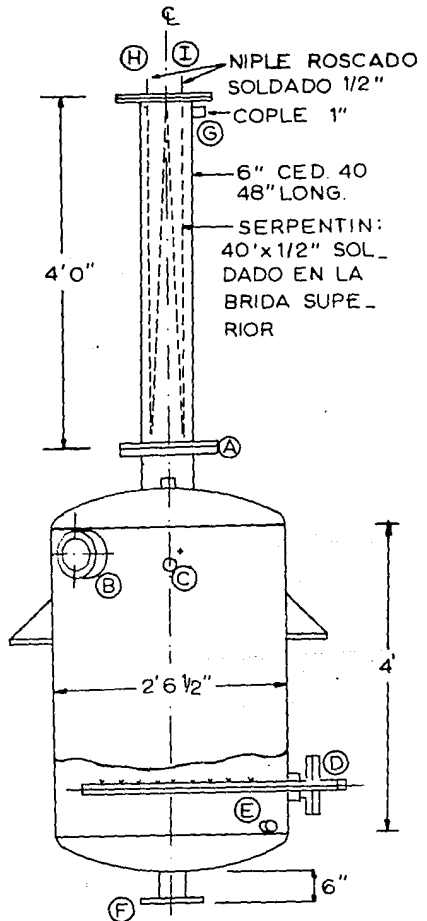
EMPAQUES ASBESTO

PINTURA UNA CAPA DE PRIMARIO EXTERIOR

*NOTA: DISEÑO DE ACUERDO AL CODIGO ASME Y NORMAS ASA.

CUADRO DE CONEXIONES

	D.I.	L	SERVICIO	
A	6"	6"	CONEXION CONDEN	150 lbs
B	4"	6"	ENTRADA CONDEN.	150 lbs
C	3/4 "		I. NIVEL	COPLE
D	2"	6"	ENTRADA VAPOR	150 lbs
E	1/2 "		TERMOMETRO	COPLE
F	2"	6"	SALIDA AGUA C.	150 lbs
G	1"	6"	VENTEO	150 lbs
H	1/2 "		ENTRADA AGUA F.	
I	1/2 "		SALIDA AGUA C.	
J	3/4 "		I. NIVEL	COPLE
K				
L				
M				



HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO

INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

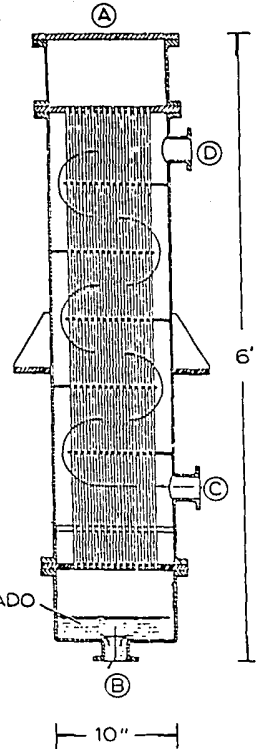
DESCRIPCION	CONDENSADOR
SERVICIO	DIFENILDIAMINA / AGUA
CAPACIDAD	GAL. ITEM No E-305
CONDICIONES DE OPERACION	

TIPO: TUBOS Y ENVOLVENTE
 CABEZA FLOTANTE: NO
 HAZ REMOVIBLE: NO
 SUPERFICIE: 96.4 pies²

TUBOS No. 83 3/4 " OD. BWG 14
 LONGITUD: 6'-0"
 ARREGLO TRIANGULAR: 15/16 "
 DIAMETRO INT. DEL CUERPO: 10.020 "
 DIAMETRO EXT. DEL CUERPO: 10 3/4 "
 EMPAQUES: ASBESTO

DATOS DE DISEÑO

LADO	CUERPO	TUBOS
FLUIDO	AGUA CALIENTE	DIFENILDIAMINA
TEMPERATURA F	T1 = 200 °F T2 = 212 °F	T1 = 450 °F T2 = 220 °F
VISCOSIDAD	1.1 CPS	12.3 CPS a 176 °F
PESO MOLECULAR	18	184
PRESION OPERACION	ATM.	5 mmhg.
No. DE PASOS	1	1
RESISTENCIA AL ENSUCIAMIENTO	0.003	0.001
PRESION DISEÑO	150 psig.	VAC - 150 psig.
PRUEBA HIDROSTATICA	225 psig	225 psig.
TOLERANCIA A LA CORROSION	1/16 "	1/16 "



CUADRO DE CONEXIONES			
	DI.	L	SERVICIO
A	10 "		ENTRADA VAPOR 150 lbs.
B	2 "	6 "	SALIDA CONDEN. 150 lbs.
C	2 "	6 "	ENTRADA AGUA C. 150 lbs.
D	4 "	6 "	SALIDA AGUA C. 150 lbs.
E			
F			
G			

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO

INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION EYECTORES DE VACIO
DE TRIPLE ETAPA.
SERVICIO SUMINISTRO DE VACIO AL SISTEMA
DE EVAPORACION.
CAPACIDAD GAL. **ITEM No** E-403

SISTEMA DE VACIO

Tipo: Eyector a chorro de vapor.

Número de etapas: 3 (condensables)

Condensadores: barométricos, verticales y para alto vacío.

Descarga: en pozo caliente por medio de piernas barométricas.

Condiciones de Operación:

Operación continua

125 psig. de vapor saturado

Temperatura del agua de enfriamiento.- 70 ° F

5 lbs de aire / hr.

Presión de succión.- 4 mmhg.

Materiales de Construcción:

Tobera.- Acero inoxidable

Cono de descarga.- Acero al carbón

Cuerpo.- Hierro fundido.

Cuadro de Conexiones

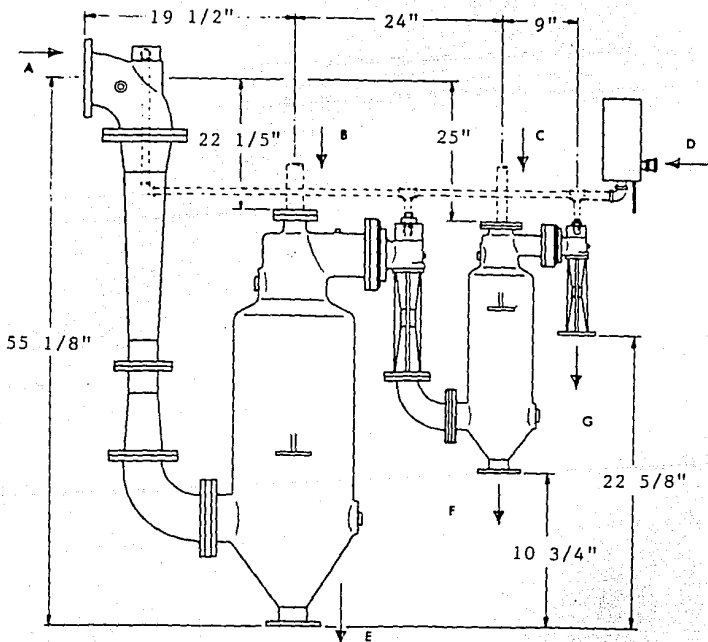
DI S E R V I C I O

A	4 "	Succión
B	1 "	Entrada de agua
C	1 "	Entrada de agua
D	1 1/4"	Entrada de vapor motriz
E	2 "	Descarga del condensador
F	2 "	Descarga del condensador
G	2 "	Descarga atmosférica

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

PROYECTO
INSTALACION DE UN
EVAPORADOR DE PELICULA

DESCRIPCION EYECTORES DE VACIO
DE TRIPLE ETAPA
SERVICIO SUMINISTRO DE VACIO AL
SISTEMA DE EVAPORACION
CAPACIDAD GAL. ITEM No E-403



En cuanto al sistema de vacío de triple etapa y condensación (E-403), cuya especificación se muestra en la página anterior ; debe instalarse verticalmente con la descarga de vapor hacia abajo. Este sistema de vacío funciona con condensadores barométricos que deben instalarse a una altura no menor de 34 pies; por lo que, todo el sistema de vacío se montará en el último nivel de la estructura. Para eliminar el agua de enfriamiento de los condensadores se utilizarán piernas barométricas, que consisten de tuberías largas y verticales que descargan por gravedad el agua, evitando el uso de bombas y conservando la condición de vacío, como se ilustra en la figura 4.4 en la siguiente página. Las piernas barométricas descargan el agua sobre un pozo de agua caliente (ó fosa de asentamiento) instalado en la planta baja y abajo directamente de los condensadores para evitar desviaciones en dichas tubería.

Ubicando al evaporador en el área de proceso y considerando su relación con todos los equipos de proceso y sus especificaciones, que se mostraran a continuación; se llegó a la óptima distribución y montaje de los equipos del sistema de evaporación, que aparece en las figura 4.5 a 4.9.

INSTALACION PARA UN SISTEMA DE VACIO DE TRIPLE ETAPA (CON EYECTORES)

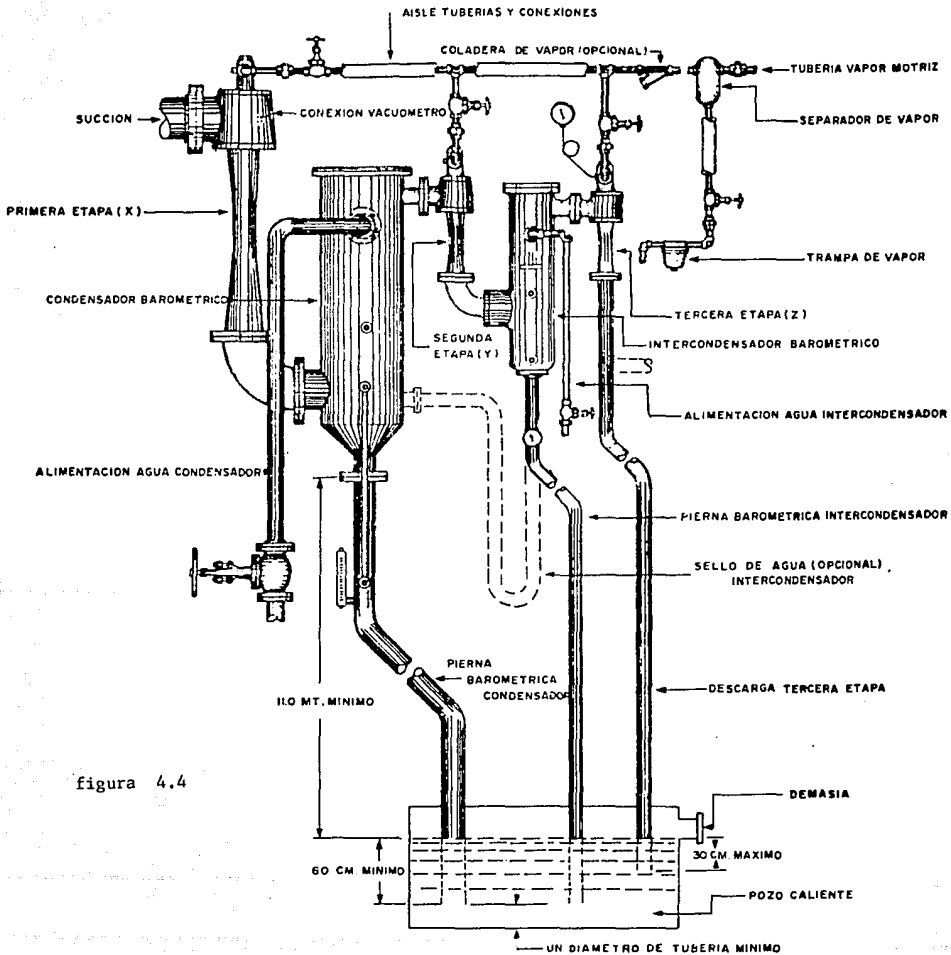
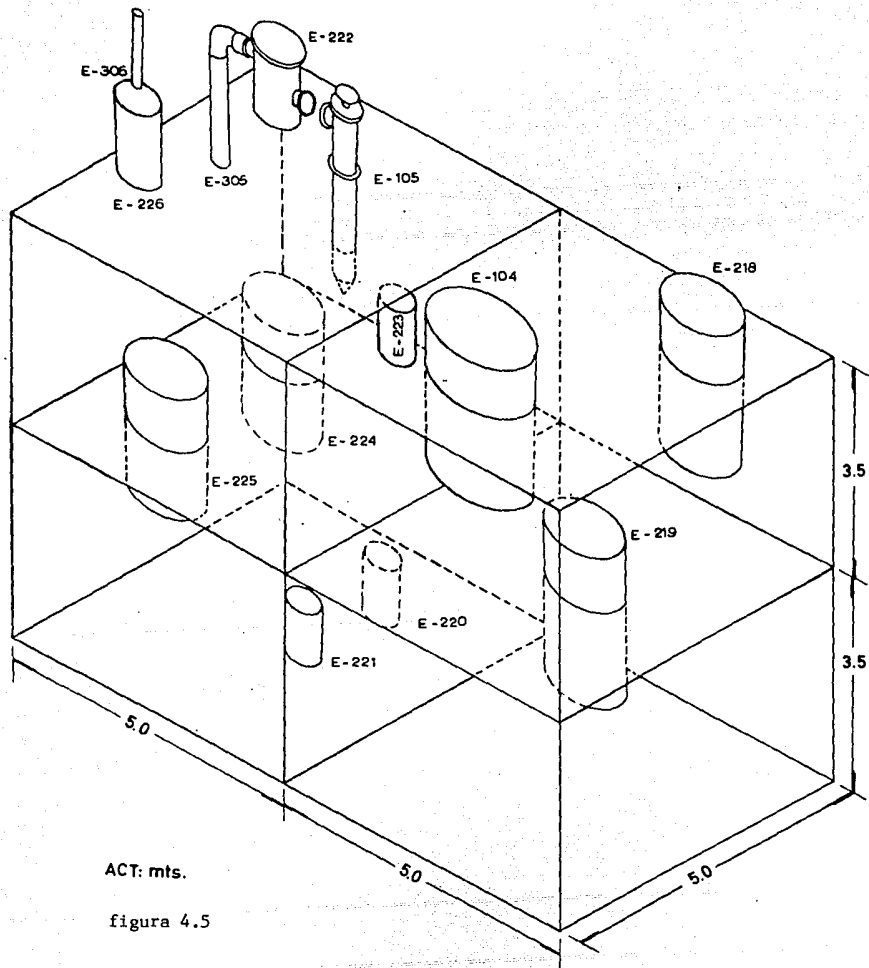


figura 4.4

PROYECCION ISOMETRICA DEL MONTAJE



ACT: mts.

figura 4.5

VISTA FRONTAL DEL MONTAJE

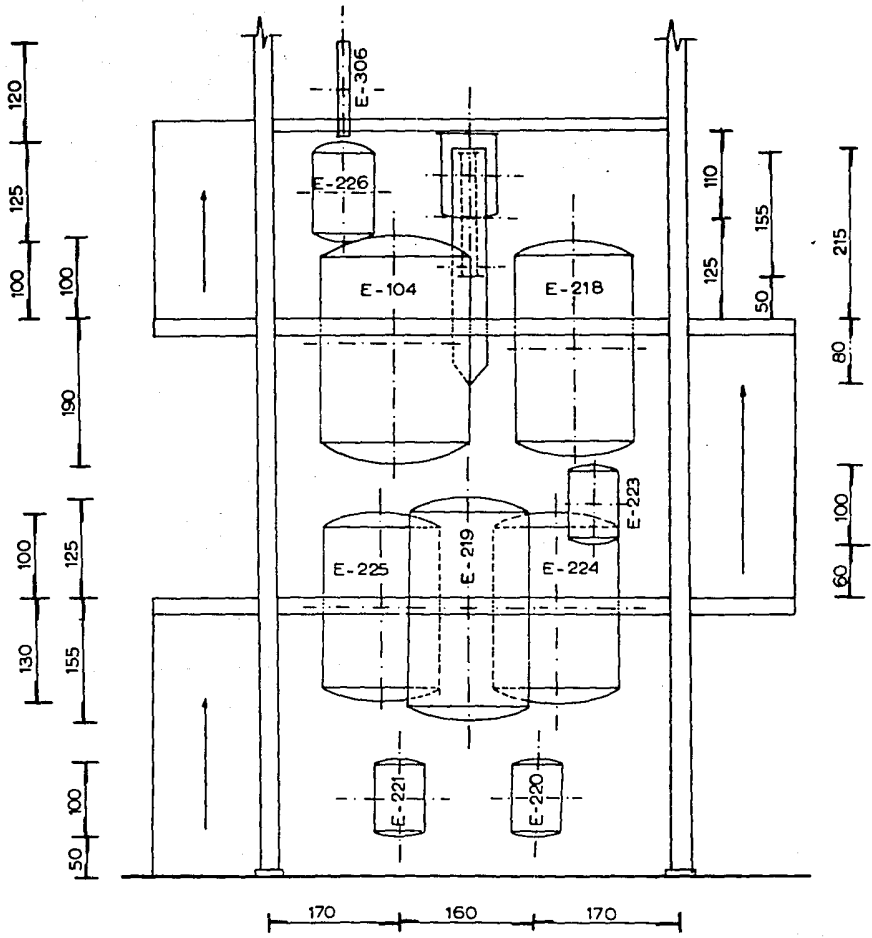


figura 4.6

Acotaciones: cms

VISTA LATERAL DEL MONTAJE

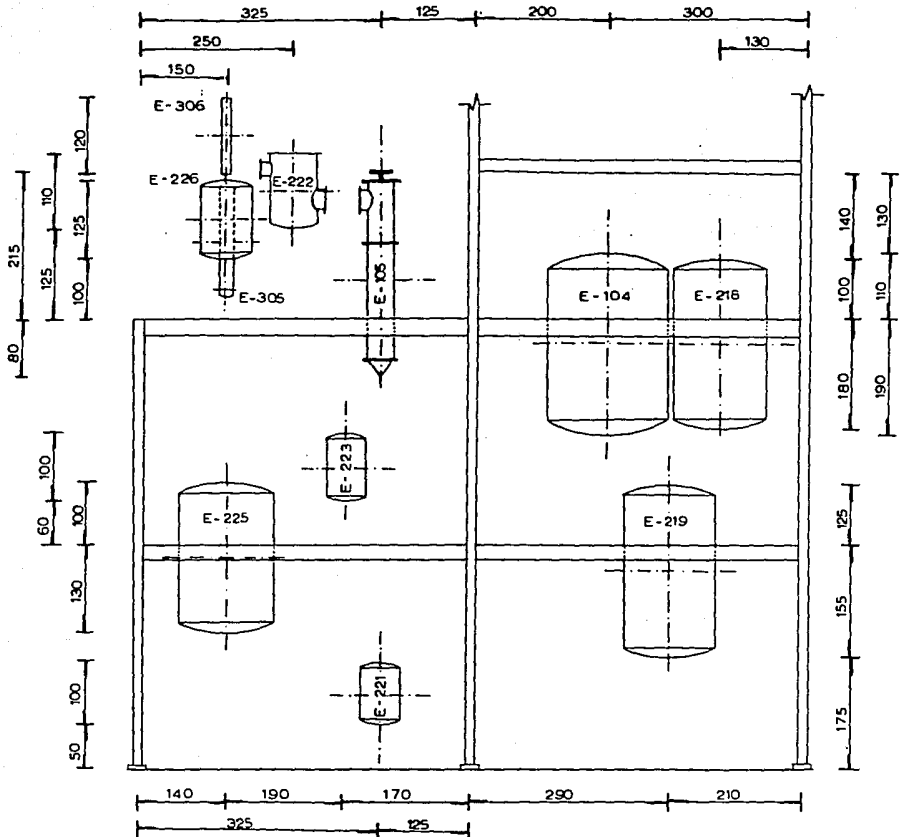
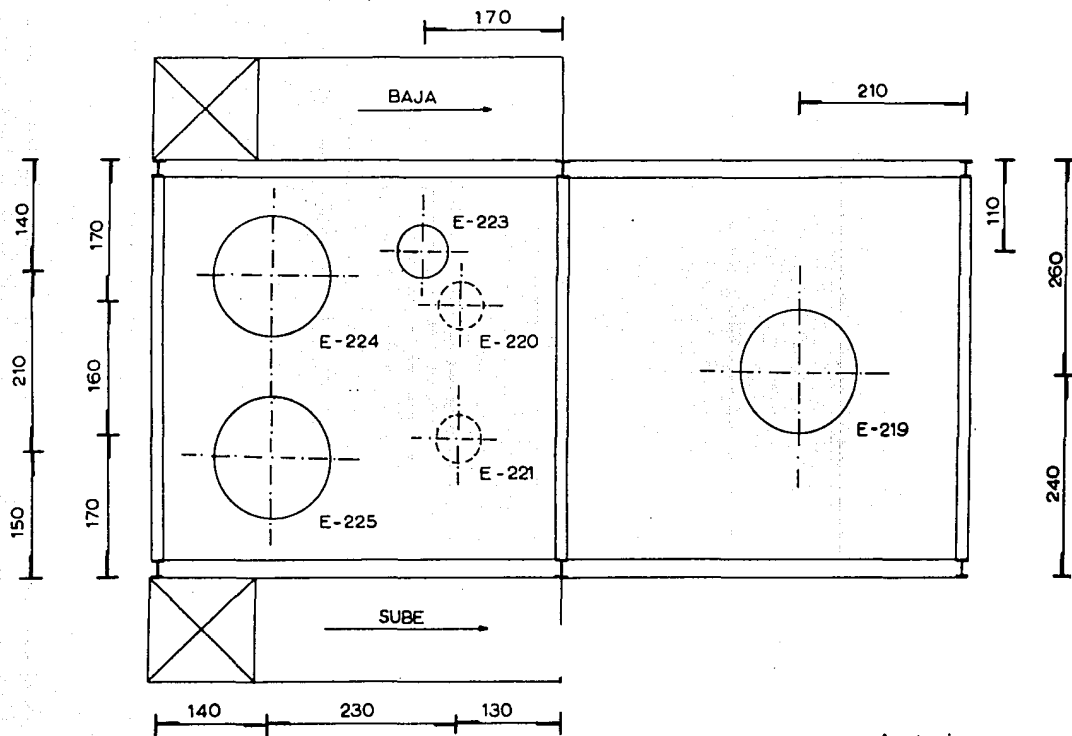


figura 4.7

Acotaciones: cms

VISTA DE PLANTA DEL NIVEL 1



Acotaciones: cms

*NOTA: LOS EQUIPOS SEÑALADOS CON LINEA PUNTEADA SE ENCUENTRAN UBICADOS EN LA PLANTA BAJA.

figura 4.8

VISTA DE PLANTA DEL NIVEL 2

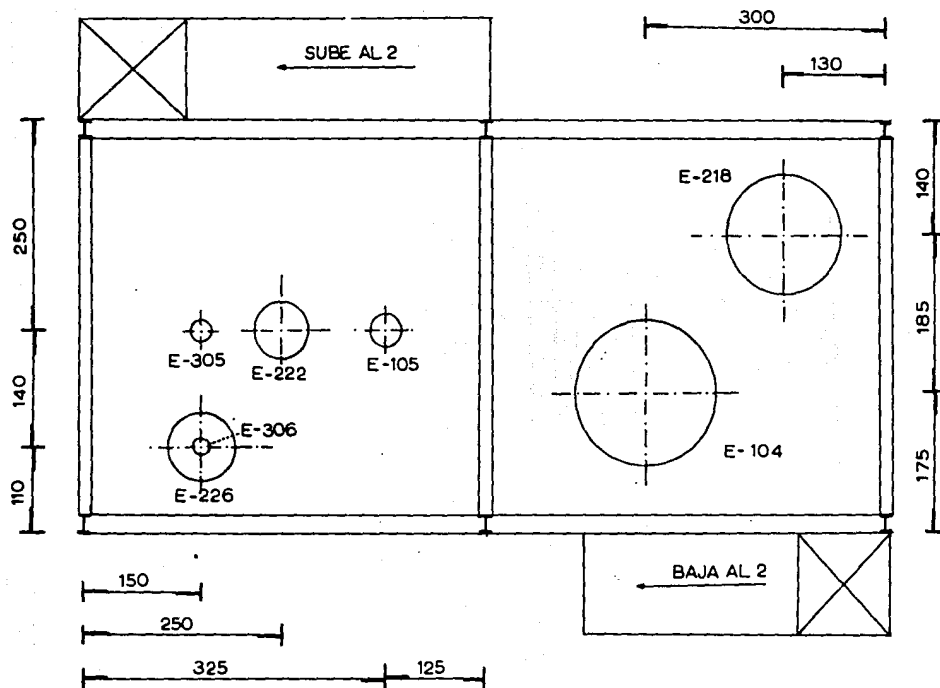


figura 4.9

Acotaciones: cms

Las tuberías constituyen una parte muy importante en la instalación de una planta de proceso; ya que, comúnmente representan del 25 % al 35 % del costo de material de la instalación, requieren de un 30 % a un 40 % del trabajo de montaje y del 40 % al 48 % de las horas-hombre en ingeniería.

Para poder empezar a estudiar los trazos de tuberías del sistema de evaporación es necesario conocer el diagrama de flujo del proceso, el diagrama de tuberías e instrumentación (fig. 4.10), las especificaciones de tuberías y las listas de líneas y de materiales; así como las especificaciones del fabricante de cada equipo y los planos ortogonales de ubicación de equipos (Lay Out de proceso) en planta, en secciones e isométrico ó modelo. Estos planos deben mostrar claramente la elevación y orientación de cada equipo de proceso.

Para desarrollar el trazado de la instalación de las tuberías utilizaré un método tridimensional a base de dibujos isométricos.

Una vez que los dibujos de tuberías sean verificados, todo el material deberá ser listado para proceder a su compra. Todos los materiales y accesorios necesarios para la instalación del sistema de evaporación deben figurar en las listas de materiales. Cada línea en particular deberá tener su propia lista de materiales.

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTAÇÃO

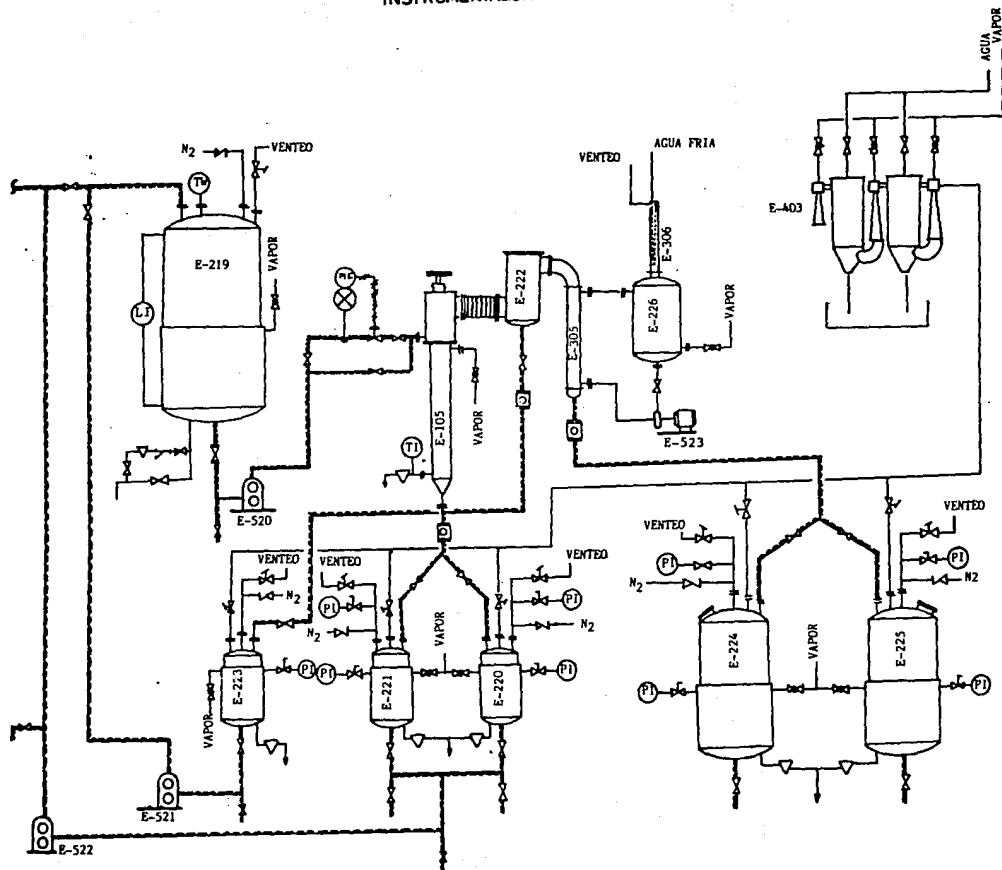


figura 4.10

S I M B O L O G I A























<u>Válvulas y accesorios</u>	<u>Tuberías</u>
 Válvula de control	 Línea principal del proceso.
 Válvula de compuerta	 Línea secundaria del proceso
 Válvula de globo	 Línea de vacío
 Válvula de retención	 Línea aislada
 Válvula de aguja	 Línea trazada
 Válvula de macho	 Línea neumática
 Válvula de bola	
 Mirilla de vidrio	
 Trampa de vapor	
 Filtro en Y	
 Brida	
 Reducción	
 Eyector	
 Instrumento local	
 Transmisor	
 Válvula de seguridad	

figura 4.11

Las especificaciones de tuberías junto con las listas de materiales y los planos isométricos de tuberías proporcionan todos los datos necesarios para la compra y erección del sistema de tuberías.

4.2.1. Recomendaciones para la Instalación de Tuberías

1. Las tuberías deberán ser lo más lineales posibles, evitando configuraciones complicadas en el tendido de tuberías que provoquen dificultad en su operación. Lo anterior debe ser considerado principalmente en líneas que requieran una caída de presión mínima como es el caso de líneas de vacío.

2. Las válvulas principales del proceso como la de alimentación al evaporador, descarga del producto, etc. deben ser situadas con fácil accesibilidad para evitar el uso de cadenas o extensores de husillo.

3. Procurar colocar válvulas de purga en los puntos inferiores de la tubería.

4. Las válvulas situadas en la bandeja o cama de tuberías de servicio deberán colocarse fuera de la bandeja como se muestra en la figura 4.12 para mayor accesibilidad.

5. No se deben situar válvulas en tuberías verticales que bajen; ya que al cerrar la válvula el líquido quedará atrapado en el tramo A como se muestra en la figura 4.13.

SITUACION DE VALVULAS EN LA BANDEJA DE TUBERIAS

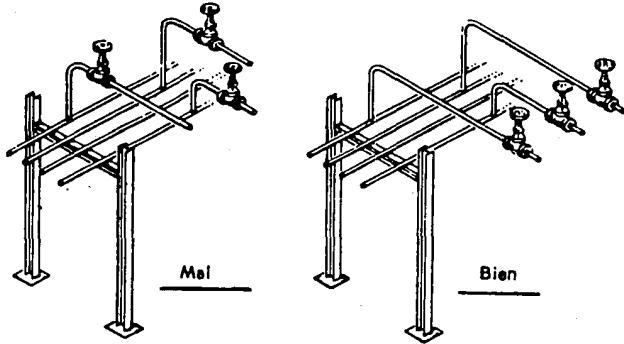
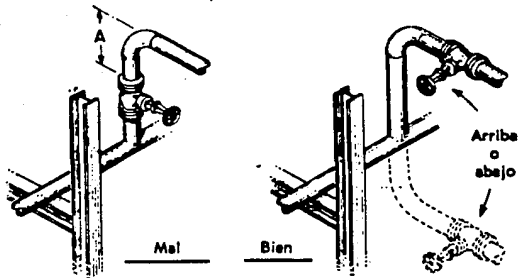


figura 4.12

EVITAR COLOCAR VALVULAS EN TRAMOS VERTICALES



(El líquido quedaría retenido en el tramo A.)

figura 4.13

Lo anterior puede provocar taponamientos ó bloqueos en la tubería; en el caso de que el líquido de proceso llegará a su punto de congelación (175 F).

6. Las válvulas de bloque o de purga que son de uso poco frecuente, "pueden" ser situadas en lugares poco accesibles si fuese necesario.

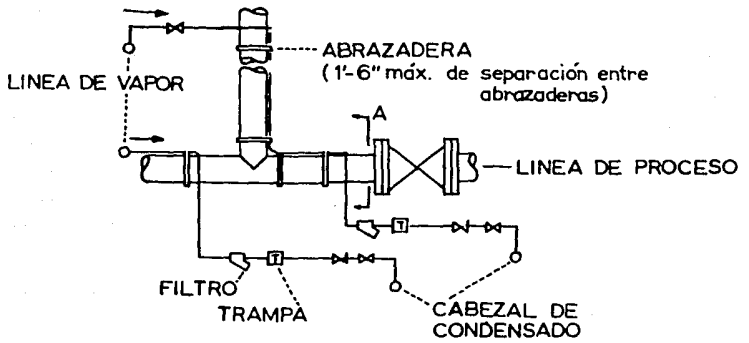
7. Debe procurarse guiar las tuberías a lo largo de elementos estructurales; donde, es mas fácil soportarlas.

8. Instalar una válvula de control en la boquilla de alimentación de el evaporador con válvulas de compuerta (ó cierre) tanto corriente arriba y abajo de la válvula de control. Las válvulas de compuerta que se instalen deberán ser del mismo diámetro que la válvula de control.

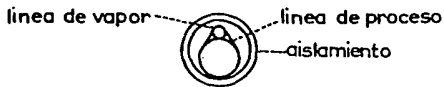
Cuando el proceso es interrumpido ó cuando se desea desmontar la válvula de control para mantenimiento deberá contarse con una línea de desvío (By pass) con una válvula de control idéntica ó al menos con una válvula que pueda ser operada manualmente como una válvula de aguja por ejemplo.

9. Las tuberías, instrumentos y bombas tienen que ser calentados para prevenir bloqueos por congelación del producto; esto se logra por medio de enchaquetado ó trazado de vapor. Las líneas trazadas ó aisladas se muestran claramente en el diagrama de tuberías e instrumentación ó en las listas de líneas y su detalle aparece en la figura 4.14.

TRAZADO DE VAPOR DE TUBERIAS



SECCION TRANSVERSAL



SECCION A.A.



figura 4.14

10. Instalar tuberías para servicio de inyección de nitrógeno en los tanques de proceso con objeto de:

- a) Regular la presión de operación del tanque.
- b) Evitar bolsas de vacío cuando el tanque esta siendo descargado.
- c) Proteger al producto de oxidación en presencia de aire.

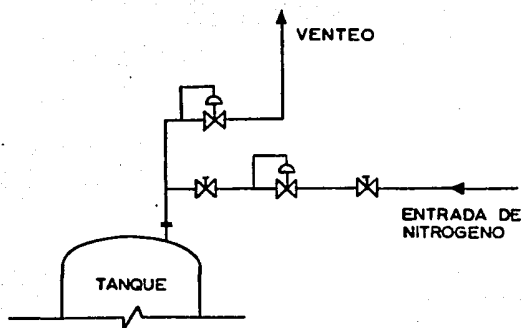


figura 4.15

Una vez que el tanque se encuentre lleno, deberá procederse de la siguiente manera:

1. Cierre la línea de succión.
2. Abra la válvula manual de entrada de nitrógeno y el tanque quedará presurizado a una presión ligeramente superior al valor de la presión atmosférica.
3. Abra la válvula de compuerta instalada en la línea de descarga en la parte inferior del tanque, envase el producto y entonces cierre esta válvula.
4. Cierre la válvula manual de nitrógeno y abra la línea de succión y el nitrógeno será evacuado; entonces, el tanque está listo para ser llenado de nuevo.

El venteo permanece cerrado en operación normal.

11. Las líneas de tubería de proceso que tengan que instalarse en posición horizontal, deben tener una ligera pendiente con objeto de que el fluido pueda ser drenado inmediatamente, por las válvulas de purga instaladas en los puntos inferiores de la tubería, cuando ocurra un paro de la planta ya sea previsto o inesperado.

Lo anterior es de suma importancia ya que el fluido de proceso (Difenildiamina) es muy viscoso (12.3 cps). En las plantas de proceso que operan continuamente y con materiales de esta naturaleza, los paros del sistema son ocasionales y cuando estos se realizan, representan un trabajo exhaustivo de "purga" o limpieza de todos los equipos y tuberías.

4.2.2 Instalación de Válvulas

En forma general, debe procurarse la instalación de válvulas de bola, para las líneas de vacío. Estas válvulas son de abertura rápida y pueden instalarse en cualquier posición. En las líneas de proceso también pueden ser utilizadas ya que son buenas para manejar fluidos viscosos; pueden instalarse en la descarga a tanques al igual que las válvulas de compuerta que son de frecuente cierre y abertura y paso total.

Las válvulas de globo deben instalarse en las entradas de las chaquetas de calentamiento, ya que son buenas para producir estrangulamiento, debido a la resistencia que presenta al flujo. Estas válvulas a diferencia de las

válvulas de compuerta, de bola y de macho no son buenas para frecuente cierre y abertura.

Las válvulas de macho son de cierre y abertura total y deberán utilizarse para servicio de instrumentos como: medidores de presión, indicadores de nivel, etc. Las válvulas de macho abren ó cierran con un mínimo esfuerzo de un cuarto de vuelta.

Con objeto de garantizar la alimentación uniforme al evaporador se instalará una válvula de control de diafragma actuada neumáticamente para controlar el caudal, como la válvula que se muestra en la figura 4.16.

VALVULA DE CONTROL DE DIAFRAGMA PARA LA ALIMENTACION DEL EVAPORADOR

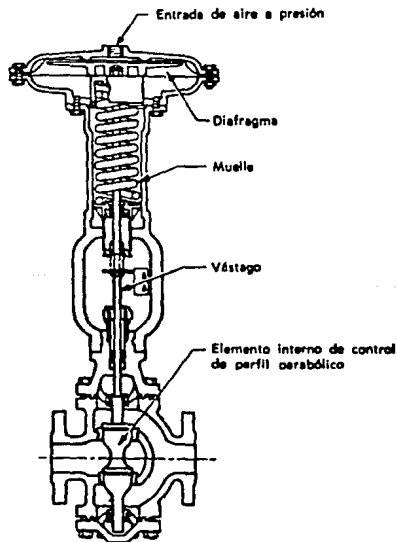


Figura 4.16

Esta válvula cierra ó abre por un vástago unido a un disco ó diafragma, el cual forma la parte móvil de la cámara del diafragma. La fuerza necesaria para mover el vástago es producida por la presión del aire dentro de de la cámara del diafragma y en sentido opuesto por un muelle.

El movimiento del vástago hace que el cuerpo parabólico en el interior de la válvula abra ó cierre el orificio de la misma, esta válvula es de cierre perfecto y puede controlar perfectamente pequeños caudales.

La presión del aire para el diafragma es transmitida por un instrumento de control, el cual, a su vez recibe los impulsos del elemento primario de medición.

La válvula de control regula el flujo de alimentación al evaporador. Cuando la válvula cierra el flujo de alimentación disminuye. Es necesario eliminar ó aliviar el sobreflujo que la válvula reduce con su cierre. Para que esto sea posible debe instalarse una línea de desvío (ó by pass) en la bomba de alimentación (E-520), instalando una válvula de seguridad en esa línea que abrirá automáticamente cuando la fuerza provocada por un sobreflujo sobre el asiento de la válvula de seguridad exceda la fuerza de su muelle, y se cerrará cuando el exceso de presión haya sido aliviado. De esta manera el sobreflujo podrá ser recirculado en la bomba y se evitarán condiciones de sobrepresión en la tubería de alimentación y en la b6mbo como se muestra en la figura 4.17.

INSTALACION DEL SISTEMA DE ALIMENTACION AL EVAPORADOR

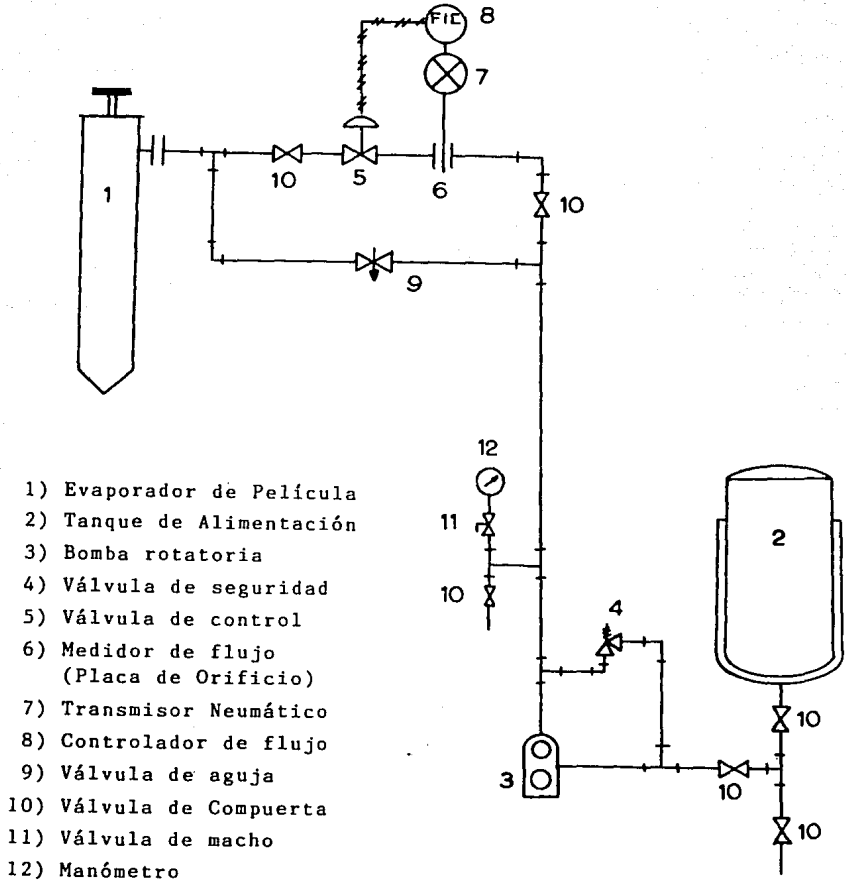


figura 4.17

4.2.3 Lubricación del Evaporador

La lubricación de las partes mecánicas del evaporador de película como las chumaceras y el sello mecánico de la flecha requieren de automatización en sus sistemas de lubricación para asegurar el incremento de la velocidad y precisión de la máquina (evaporador). Estos sistemas de lubricación deberán funcionar óptimamente en el momento oportuno, con el tipo y cantidad correcta de lubricante.

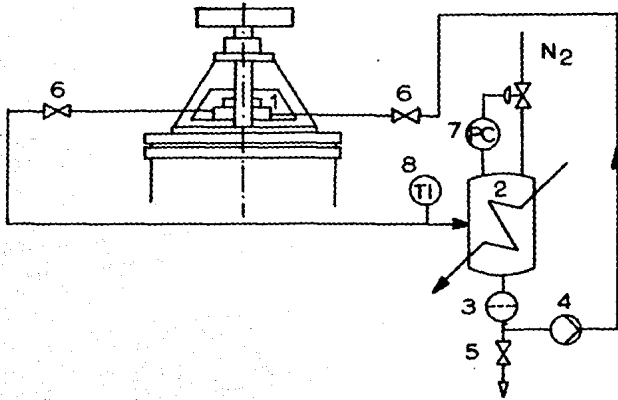
La chumacera superior del evaporador es lubricada con grasa en periodos aproximados de un mes y en forma manual; por lo que, no se requiere de alguna instalación adicional para su lubricación. Por otro lado, el sello mecánico y la chumacera inferior requieren de lubricación continua por medio de aceites, mientras el evaporador esté operando. Esto último hace necesario la instalación de sistemas de lubricación independientes para cada una de estas partes, que trabajen en forma automática.

A continuación se mostrará el sistema de tuberías y equipo necesario como válvulas e instrumentos para estos dos sistemas de lubricación.

4.2.3.1 Sello Mecánico

La flecha de la transmisión del rotor es instalada con un sello mecánico que sella ó aísla el interior del evaporador de la atmósfera manteniendo la condición de vacío

INSTALACION PARA LUBRICACION DEL SELLO MECANICO



1. Sello Mecánico
2. Tanque de enfriamiento
3. Filtro
4. Bomba
5. Válvula de purga
6. Válvulas de cierre
7. Control de presión
8. Termómetro

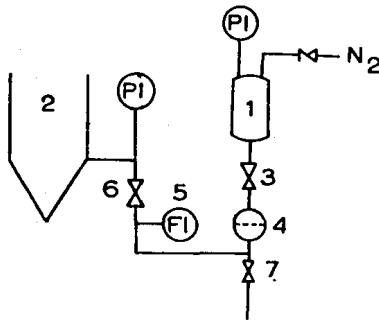
figura 4.18

requerida (4 mmhg) en el interior del evaporador. El sello mecánico debe ser lubricado y enfriado continuamente con un "sellador" el cual opera a una presión de uno ó dos bars por arriba de la presión interna del evaporador en este caso el sellador es aceite de silicon. La alimentación de este sellador (ó lubricante) se realiza en un circuito cerrado como se muestra en la figura 4.18. La circulación del sellador se hace por medio de la inyección de nitrógeno en un pequeño tanque que contiene al sellador; evitando el uso de una bomba y aprovechando el servicio de nitrógeno con que cuenta la planta.

4.2.3.2 Chumacera Inferior

El rotor asienta sobre una chumacera que se encuentra en la parte inferior del evaporador. Esta chumacera debe ser lubricada mientras el evaporador este trabajando. En la fig. 4.19 se muestra la instalación necesaria para realizar esta operación. Una válvula de aguja debe ser instalada para controlar la presión e implícitamente el flujo de la alimentación del lubricante a la chumacera. Se utiliza una línea de nitrógeno en el tanque "1" de la figura con objeto de hacer circular el lubricante. Es importante el control de flujo del lubricante, ya que esto redituará en la vida útil de la chumacera.

INSTALACION PARA
LUBRICACION DE LA
CHUMACERA INFERIOR



1. Tanque para lubricante
2. Evaporador de Película
3. Válvula de cierre
4. Filtro
5. Medidor de flujo
6. Válvula de aguja
7. Válvula de purga
8. Manómetro

figura 4.19

4.2.4 Suministro de Vapor

Para controlar la presión y temperatura del vapor de calentamiento que se suministra al sistema de evaporación, se utilizarán cuadro o estaciones reductoras de presión (fig. 4.20), en las que, el elemento principal es una válvula reductora ó reguladora de presión. Estas válvulas disminuyen la presión desde 200 psig. de vapor saturado que es la capacidad de la caldera de la planta, hasta la presión deseada en cada tanque como se indicó en las especificaciones del equipo.

4.2.4.1 Estaciones Reductoras de Presión

Se utilizarán cuatro estaciones reductoras de presión. Una que controle la presión del suministro de vapor para los tanques recibidores y de condensado (E-224/225 y E-226) hasta 30 psig. Otra estación para regular la presión de los tanques de alimentación y de recirculación (E-219 y E-223) que operan a la misma presión de 50 psig. y temperatura de 275 F. Se necesitará una estación mas para regular la presión de los tanques de residuo y otra para la presión del vapor de calentamiento para el evaporador de película. La línea de vapor que llega a la estación reductora de presión para el evaporador, debe ser tomada directamente de la línea (ó cabezal) de servicio de vapor de la bandeja o cama de tuberías. Lo anterior es con el fin de evitar caídas de presión excesivas que provoquen pérdidas del vapor de calentamiento del evaporador.

INSTALACION DE ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESION

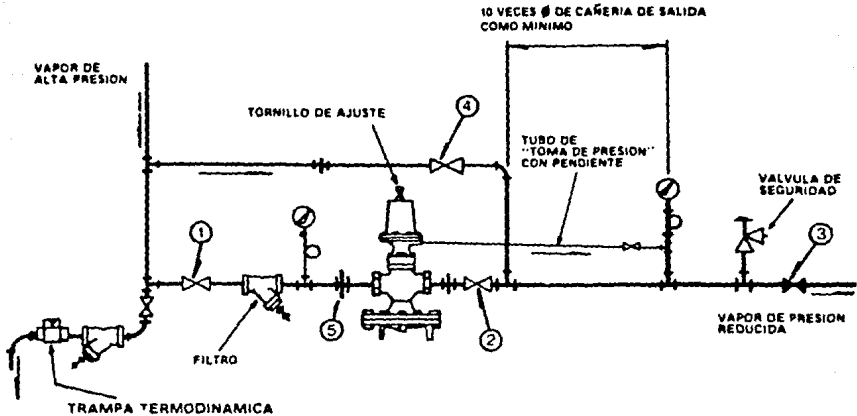


Figura 4.20

Instalación

La válvula reguladora se debe instalar siempre en una tubería horizontal. Se recomienda la instalación de una línea de desvío (By Pass), que es necesario para que la estación pueda ser operada en forma manual, mientras la válvula reductora este fuera de servicio.

Las válvulas de cierre (1 y 2) colocadas a ambos lados de la válvula reductora, serán preferiblemente de paso total (compuerta ó macho).

Debe instalarse una trampa termodinámica (con su correspondiente filtro) al final de la línea de vapor de alta presión (purga). Esta trampa eliminará el condensado que pueda existir en la tubería, como en el caso del arranque de la planta, ya que el calentamiento de la tubería provoca la condensación del vapor. Además, es necesario instalar otro filtro en la tubería de entrada a la válvula reductora para evitar que las impurezas y suciedades afecten su funcionamiento.

El tubo de toma de presión deberá estar conectado a la tubería de salida a una distancia de por lo menos diez veces el diámetro de dicha tubería. No debe existir ningún cambio de dirección, válvulas ó variación de diámetro en esa distancia. El tubo de toma de presión debe tener una pendiente para evitar que el condensado se acumule en el piloto de la válvula.

Si la válvula reductora suministra vapor a un solo equipo, el tubo de toma de presión puede estar conectado directamente al equipo. En cualquier caso, es indispensable un manómetro para poder regular la presión de salida. Instalando una válvula en el tubo de toma de presión, es posible desmontar la válvula reguladora y al mismo tiempo abastecer el consumo de vapor por medio de la línea de desvío (By Pass).

Regulación

1. Las válvulas 1, 3 y 4 deben estar cerradas.
2. Se desenrosca el tornillo de ajuste hasta que el resorte quede sin comprimir.
3. Se abre la válvula 1.
4. Se enrosca lentamente el tornillo de ajuste hasta leer en el manómetro de salida la presión deseada. Fijar esa posición del tornillo con la contratuerca.
5. Se abre la válvula (3) al consumo.

Al instalar una válvula nueva, es aconsejable realizar un "purgado" o drenado de la tubería. Esto se logra desconectando la entrada a la válvula (punto 5), y permitiendo que el vapor circule por la tubería. Debe dejarse escapar el vapor hasta que las suciedades hayan sido eliminadas; después de esto debe volverse a conectar y regular la válvula como se indicó anteriormente.

4.2.4.2 Retorno de Condensados

Todos los equipos calentados por vapor como: el evaporador, el tanque de alimentación, los tanques recibidores, el tanque de recirculación y los tanques de residuo; tienen que ser drenados instantáneamente de aire y condensado que pueden ser acumulados en los enchaquetados reduciendo la eficiencia del equipo. Este desalojo o drenado

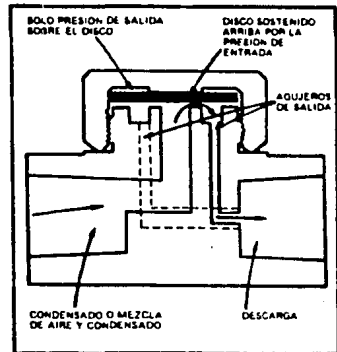
debe realizarse sin pérdidas de vapor; para lo que se utilizarán trampas de vapor termodinámicas (de disco) que emplean la energía calorífica en el vapor y condensado caliente para controlar su abertura y cierre. La trampa termodinámica para vapor se basa en el teorema de Bernoulli que define que en un fluido en movimiento, la presión es igual en todos los puntos. Esta presión esta compuesta de presión estática y presión dinámica; la reducción en una ocasiona el aumento en la otra.

El flujo de condensado revaporizado a alta velocidad a través de la trampa hace variar la presión estática y dinámica ocasionando que el disco se eleve para descargar cualquier condensado presente pero evitando la fuga de vapor, lo anterior se ilustra claramente en la figura 4.21 a y b.

Es importante que el condensado de la sección térmica sea descargado por la línea de retorno de condensado. Puede colocarse una trampa de vapor en esta línea con un termómetro antes de la trampa para indicar la temperatura de saturación del vapor cuando la trampa se encuentra trabajando, en la figura 4.22 se muestra la instalación típica de trampas de vapor termodinámicas, en la salida del enchaquetado de un tanque.

FUNCIONAMIENTO DE LA TRAMPA TERMODINAMICA PARA VAPOR

1. La presión del condensado y/o aire levanta el disco de su asiento. El flujo es radial debajo del disco, hacia las salidas. La descarga prosigue hasta que el condensado se acerca a temperatura de vapor.



2. Un chorro de vapor entra a la cámara de control arriba del disco. La presión del vapor en esta cámara empuja el disco contra su asiento asegurando un cierre perfecto sin pérdida de vapor.

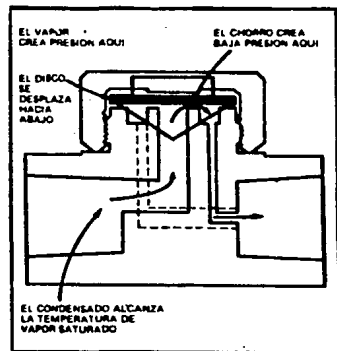
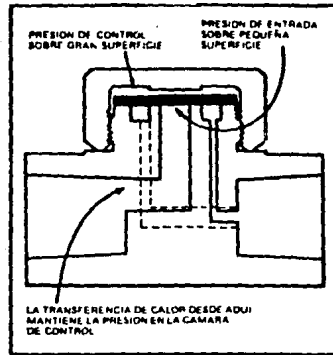


figura 4.21 a

3. La presión del vapor en la cámara de control actuando sobre toda la su superficie del disco, lo mantiene cerrado contra la presión de entrada que actúa sobre un área menor.



4. Al acumularse condensado se reduce el calor en la cámara de control, conforme se va condensando el vapor bloqueado en la cámara, la presión se reduce. El disco es levantado por la presión de entrada y se descarga el condensado.

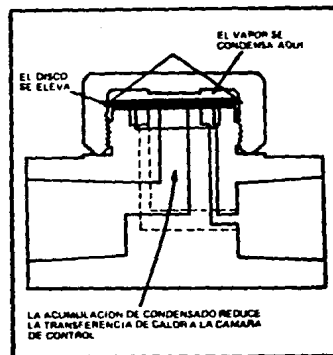
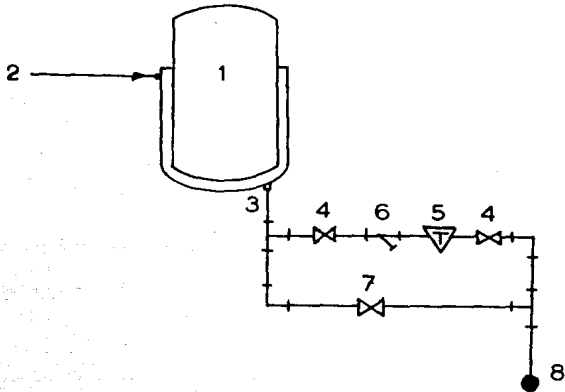


figura 4.21 b

INSTALACION DE TRAMPAS TERMODINAMICAS PARA VAPOR



- 1) Tanque Enchaquetado
- 2) Entrada de Vapor
- 3) Salida de Condensado.
- 4) Válvulas de cierre (de compuerta)
- 5) Trampa Termodinámica para Vapor
- 6) Filtro "Y"
- 7) Válvula de desvío (by pass)
- 8) Cabezal de Condensado

figura 4.22

4.2.5 Montaje de Tuberías

Una vez que los dibujos de tuberías han sido terminados debe proceder a la compra de materiales de tuberías y accesorios para comenzar la fabricación y después pasar al montaje de estas. Por fabricación se entiende el ensamble de tuberías y accesorios hasta construir una parte del sistema que sea manejable, parte que al montarse junto con otras partes formará un sistema completo.

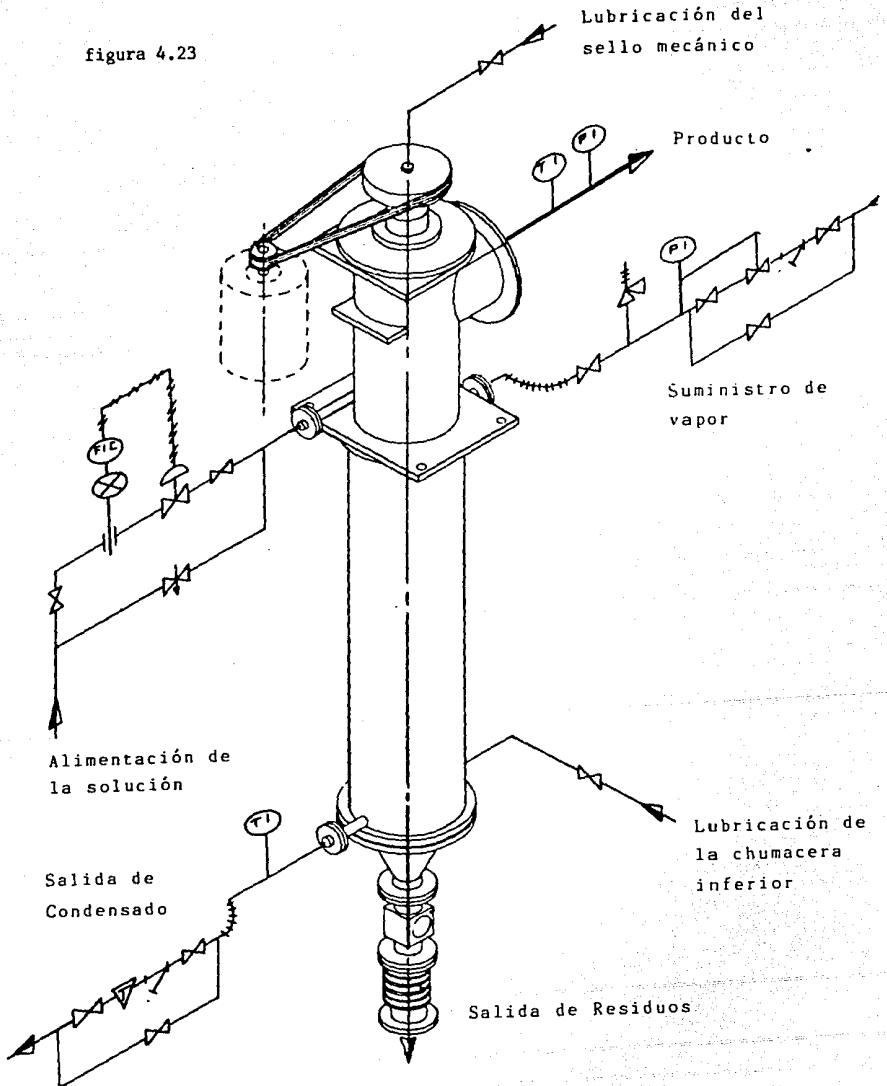
Las tuberías roscadas ó soldadas son hechas en campo, ya que los obreros montadores son los que miden, cortan, roscan, aprietan y hacen el tendido, tal y como lo indican los planos. A pesar de que las dimensiones (longitudes) están indicadas en los dibujos, los montadores lo manejan de manera que varían algunas dimensiones para mayor facilidad de montaje.

Dada la menor necesidad de espacio que existe para este sistema de tuberías (pequeñas), la situación exacta de las líneas no es extremadamente importante.

En la siguiente hoja aparece un arreglo esquemático y general de tuberías (fig. 4.23) para el evaporador, y posteriormente se mostrarán los planos isométricos de tuberías de proceso, de vacío, de suministro de vapor de nitrógeno y de retorno de condensado; para todo el sistema de evaporación con sus respectivas listas de materiales.

INSTALACION GENERAL DE TUBERIAS PARA EL EVAPORADOR

figura 4.23



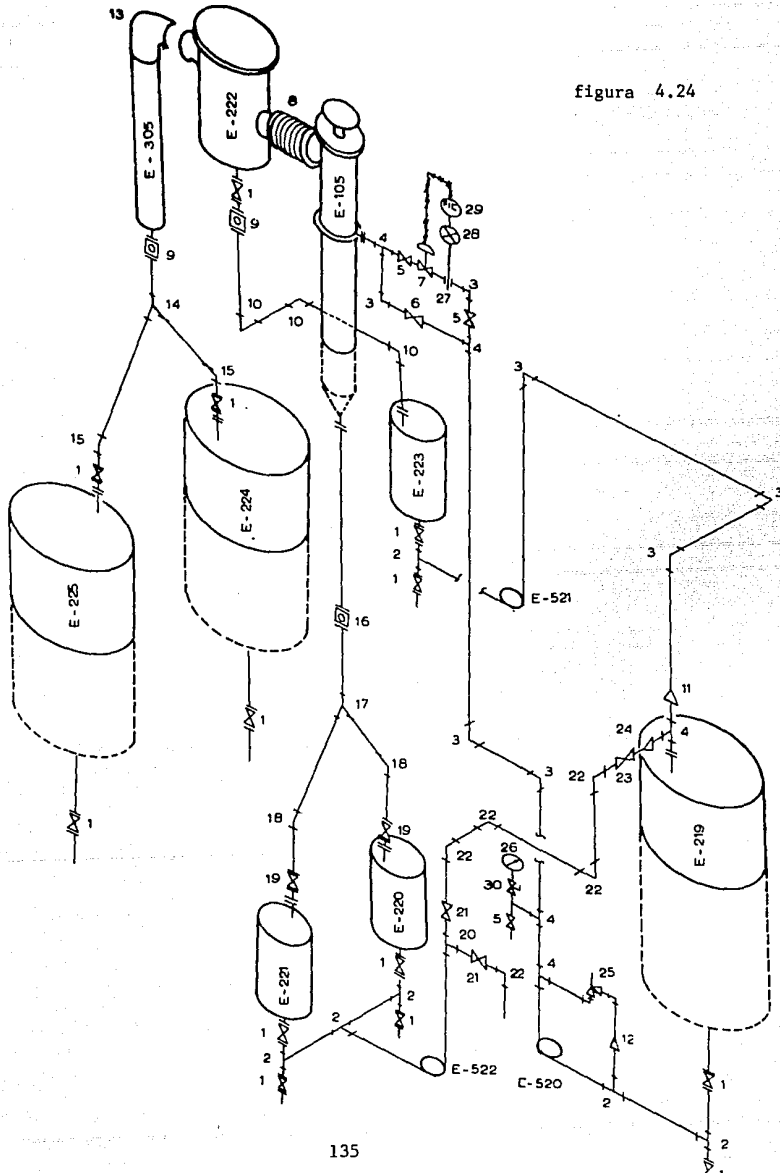
LISTA DE LINEAS DE PROCESO DEL SISTEMA DE EVAPORACION

No. LINEA	TAMAÑO	SERVICIO	DE	A	ESTADO	°F
P-901	2 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-219	E-520	L	280
P-902	1 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-520	E-105	L	280
P-903	12 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-105	E-222	V	400
P-904	2 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-222	E-223	L	360
P-905	2 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-223	E-521	L	360
P-906	1 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-521	E-219	L	360
P-907	10 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-222	E-305	V	400
P-908	2 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-305	E-224 225	L	225
P-909	2 " CED 40	DIFENILDIAMINA	E-224 225	ENVASE	L	225
P-910	1 " CED 40	RESIDUO	E-105	E-220 E-221	S	360 450
P-911	2 " CED 40	RESIDUO	E-220 221	E-522	S	360 450
P-912	1 1/2" CED 40	RESIDUO	E-522	E-219	S	360 450

NOTA: Todas la líneas de proceso deben ser trazadas con vapor y aisladas termicamente.

ISOMETRICO DE TUBERIAS DE PROCESO

figura 4.24



LISTA DE MATERIALES
LINEAS DE PROCESO

LINEA P-901

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	2	Válvula de compuerta bridada 2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
2	1	Conexión "T" soldable 2 " cédula 40, acero al carbón

LINEA P-902

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
3	6	Codos radio largo 90 roscados de 1 " cédula 40, acero al carbón.
4	4	Conexión "T" roscada 1 " ced. 40, A/C
5	3	Válvula de compuerta roscada de 1 " ASA 150 lbs, acero al carbón.
6	1	Válvula de aguja roscada 1 " ASA 150 lbs, acero al carbón
7	1	Válvula de control roscada 1 " ASA 300 lbs, acero inoxidable
12	1	Reducción de 2" x 1", ced 40, A/C
25	1	Válvula de seguridad roscada 1" x 1" ASA 150 lbs, acero inox. y al carbón
26	1	Manometro Bourdon 0 - 21 kg/cm2, 1/4" DI, 4" de caratula
27	1	Bridas orificio 1" acero inoxidable T 316L de .440 " DI.
28	1	Transmisor de flujo
29	1	Controlador de flujo
30	1	Válvula de macho roscada 1 " ASA 150 lbs, acero al carbón

LINEA P-903

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
8	1	Junta de expansión simple bridada 12" ASA 300 lbs, corrugada

LINEA P-904

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	Válvula de compuerta bridada 2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
9	1	Mirilla de vidrio bridada 2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
10	3	Codo radio largo 90 roscados 2 " cédula 40, acero al carbón

LINEA P-905

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	2	Válvula de compuerta bridada 2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
2	1	Conexión "T" soldable 2 " cédula 40, acero al carbón

P-906

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
3	3	Codos 90 radio largo roscados 1 " cédula 40, acero al carbón
12	1	Reducción roscada de 2 " x 1 " acero al carbón
4	1	Conexión "T" roscada 1 " cédula 40, acero al carbón

LINEA P-907

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
13	1	Codo de 90 radio largo bridado 10 " cédula 40, acero al carbón

LINEA P-908

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
9	1	Mirilla vertical de vidrio bridada 2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
14	1	Conexión "Y" 60 soldable (en campo)
15	2	Codo 150 soldable 2 " (en campo) A/C
1	2	Valvula de compuerta bridada 2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón

LINEA P-909

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	2	Válvula de compuerta bridada 2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón

LINEA P-910

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
16	1	Mirilla de vidrio vertical bridada 1 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
17	1	Conexión "Y" 60 soldable 1 "
		(en campo) acero al carbón
18	2	Codo 150 soldable 1 " A/C (campo)
19	2	Válvulas de compuerta bridadas 1 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón

LINEA P-911

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	4	Válvula de compuerta bridada 2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
2	3	Conexión "T" soldable 2 "
		cédula 40, acero al carbón

LINEA P-912

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
20	1	Conexión "T" roscada 1 1/2 " cédula 40, acero al carbón
21	2	Válvula de compuerta roscada 1 1/2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
22	5	Codo 90° radio largo roscado 1 1/2 " cédula 40, acero al carbón
23	1	Válvula de globo 1 1/2 " ASA 150 lbs, acero al carbón
24	1	Reducción 2 " x 1 1/2 " A/C

LISTA DE LINEAS DE SERVICIOS PARA EL SISTEMA DE EVAPORACION

No. LINEA	TAMAÑO	SERVICIO	DE	A	AISLADA
C-901	1 1/2" CED 40	VAPOR	BANDEJA DE TUBERIAS	E-219,223,224,225,226	X
C-902	1 1/4" CED 40	VAPOR	BANDEJA DE TUBERIAS	E-105	X
C-903	1 1/2" CED 40	VAPOR	BANDEJA DE TUBERIAS	E-220,221	X
R-901	1 1/2" CED 40	RETORNO DE CONDENSADO	CABEZAL CONDENSADO	E-105,224,225	X
R-902	1 1/2" CED 40	RETORNO DE CONDENSADO	CABEZAL CONDENSADO	E-219,220,221,223	X
V-901	2 " CED 40	VACIO	E-403	E-220,221,223,224,225	
N-901	2 " CED 40	NITROGENO	BANDEJA DE TUBERIAS	E-219,220,221,223,224 E-225	

ISOMETRICO DE TUBERIAS DE
SUMINISTRO DE VAPOR

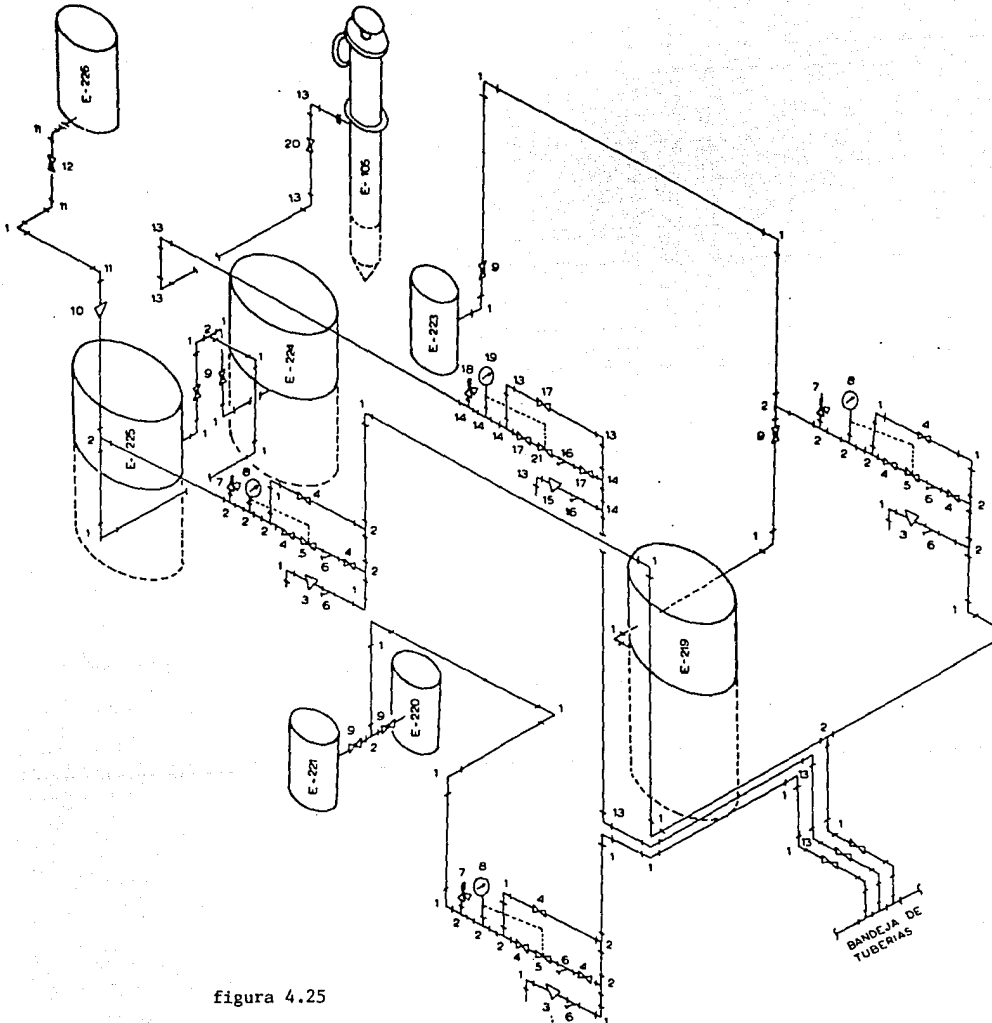


figura 4.25

LINEAS DE SUMINISTRO DE VAPOR

LINEA C-901

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	25	Codo 90 radio largo roscada 1 1/2" cédula 40, acero al carbón
2	14	Conexión T roscada 1 1/2" cédula 40, acero al carbón
3	2	Trampa de vapor termodinámica roscada 1 1/2 " acero inoxidable
4	7	Válvula de compuerta roscada 1 1/2" cédula 40, acero al carbón
5	2	Válvula reductora de presión roscada de 1 1/2" acero inoxidable
6	4	Filtro "Y" roscado 1 1/2" ASTM-278
7	2	Válvula seguridad roscada 1 1/2" x 2"
8	2	Manómetro Bourdon 0 a 21 kg/cm 1/4" DI 4" de caratula
9	4	Válvula de globo roscada 1 1/2" ASA 150 lbs, acero al carbón
10	1	Reductor concéntrico 2" x 1 1/2" A/C
11	4	Codo 90 radio largo soldable 2 " cédula 40, acero al carbón
12	1	Válvula de globo roscada 2 " cédula 40, acero al carbón

LINEA C-902

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
13	12	Codo 90 radio largo roscado 1 1/4 " cédula 40, acero al carbón
14	5	Conexión "T" roscada 1 1/4" cédula 40, acero al carbón
15	1	Trampa de vapor termodinámica de 1 1/4 " roscada, acero inoxidable
16	2	Filtro "Y" roscado de 1 1/4 " ASTM 278
17	4	Válvula de compuerta roscada 1 1/4 " cédula 40, acero al carbón
18	1	Válvula seguridad roscada 1 1/2 " x 2 " ASA 150, acero inox. y al carbón
19	1	Manómetro Bourdon 0 a 21 kg/cm 1/4 " DI 4 " de caratula
20	1	Válvula de globo roscada 1 1/4 " ASA 150 lbs, acero al carbón
21	1	Válvula reductora de presión de 1 1/4 " roscada ASA 150 lbs, A/C

LINEA C-903

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	12	Codo 90 radio largo 1 1/2 "
		Cédula 40, acero al carbon
2	6	Conexión "T" roscada de 1 1/4 "
		Cédula 40, acero al carbón
3	1	Trampa de vapor termodinámica de
		1 1/2 " roscada, acero inoxidable
4	4	Válvula de compuerta roscada 1 1/2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
5	1	Válvula reductora de presión de
		1/2." roscada, ASA 150 lbs, A/C
6	2	Filtro "Y" roscado de 1 1/2 " ASTM 278
7	1	Válvula seguridad roscada 1 1/2" x 2"
		ASA 150 lbs, acero al carbón
8	1	Manómetro Bourdon 10 kg/cm 1/4" DI
		4 " de caratula
9	2	Válvula de globo roscada 1 1/2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón

LISTAS DE MATERIALES

LINEAS DE RETORNO DE CONDENSADO

LINEA R-901

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	Trampa de vapor termodinámica de
		1 1/2 " roscada, acero inoxidable
2	1	Filtro "Y" roscado 1 ", ASTM 278
3	4	Conexión "T" roscada 1", ced 40, A/C
5	1	Termómetro
6	4	Codo 90 radio largo roscado 1 "
		cédula 40, acero al carbón
7	1	Reducción 1 1/2 " x 1" roscada A/C
8	3	Válvula de compuerta roscada 1 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
9	4	Conexión "T" roscada 1 1/2 "
		cédula 40, acero al carbón
10	2	Trampa de vapor termodinámica de
		1 1/2 " roscada, acero inoxidable
11	2	Filtro "Y" roscado 1 1/2", ASTM 278
12	7	Codo 90 radio largo roscado 1 1/2 "
		cédula 40, acero al carbón
13	16	Válvula de compuerta roscada 1 1/2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
14	5	Válvula de retención roscada 1 1/2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón

ISOMETRICO DE TUBERIAS
DE RETORNO DE CONDENSADO

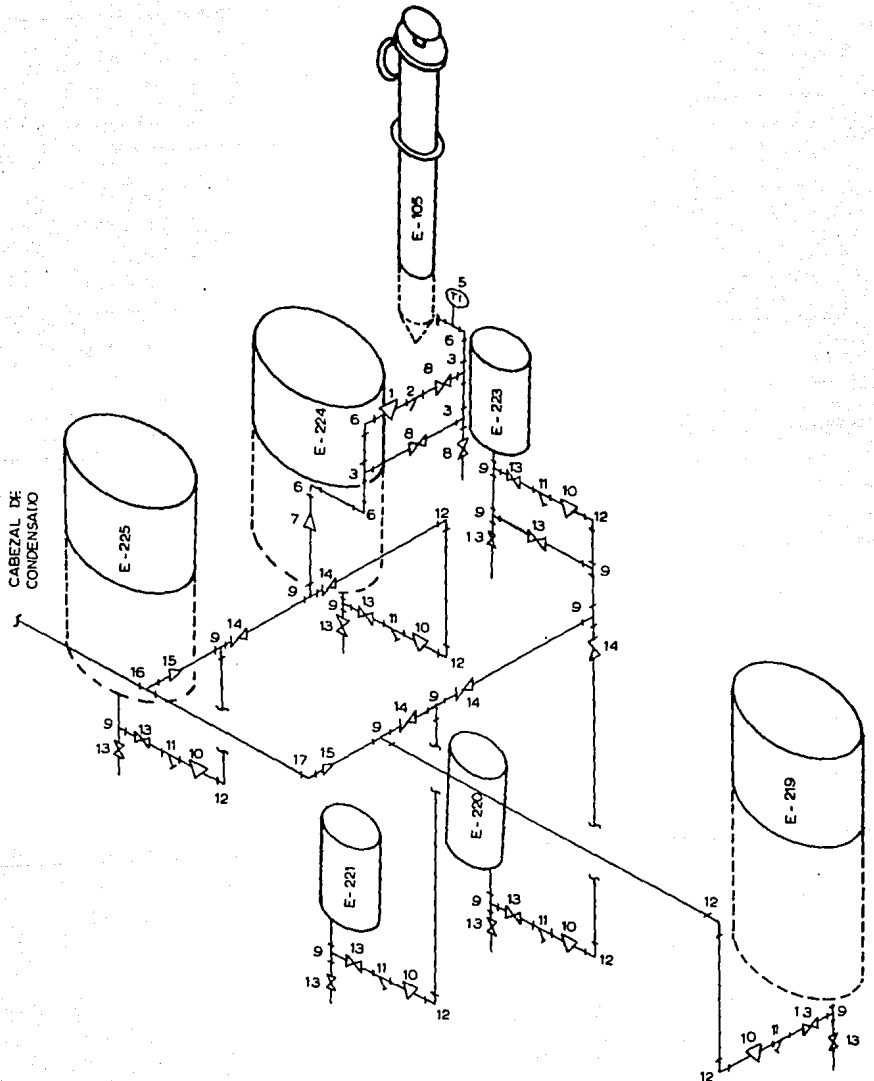


figura 4.26

LISTA DE MATERIALES

LINEAS DE VACIO

LINEA V-901

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	5	Válvula de bola bridada 2 "
		ASA 150 lbs, acero al carbón
2	11	Codo 90 radio largo soldable 2 "
		cédula 40, acero al carbón
3	3	Conexión "T" soldable 2 "
		cédula 40, acero al carbón

LISTA DE MATERIALES

LINEAS DE NITROGENO

LINEA N-901

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	6	Válvula de Control de presión 1 1/2 "
		bridada ASA 150 lbs, acero inoxidable
2	18	Válvula compuerta soldable a/c 1 1/2 "
3	6	Conexión "T" soldable a/c 1 1/2 "
		ced. 40
4	20	Codo 90 radio largo soldable a/c
		1 1/2 " ced. 40
5	4	Codo 90 radio largo soldable a/c
		3 " ced. 40
6	2	Codo 90 radio largo soldable a/c
		2 " ced. 40

ISOMETRICO DE TUBERIAS
DE SERVICIO DE VACIO

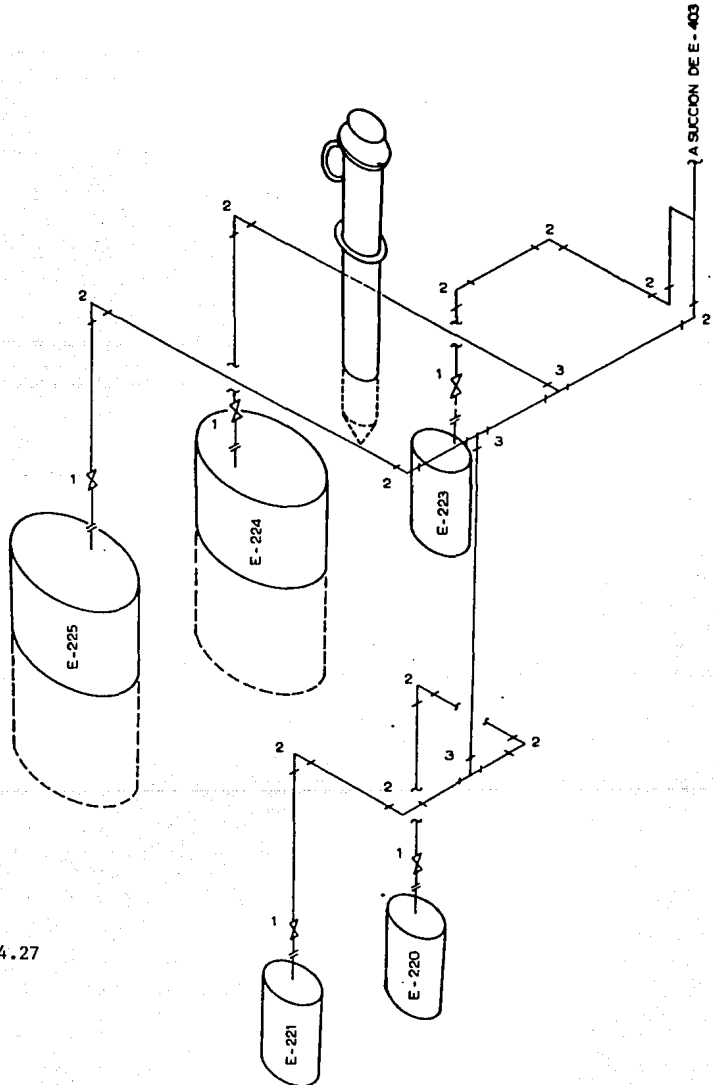


figura 4.27

ISOMETRICO DE TUBERIAS
SERVICIO DE NITROGENO

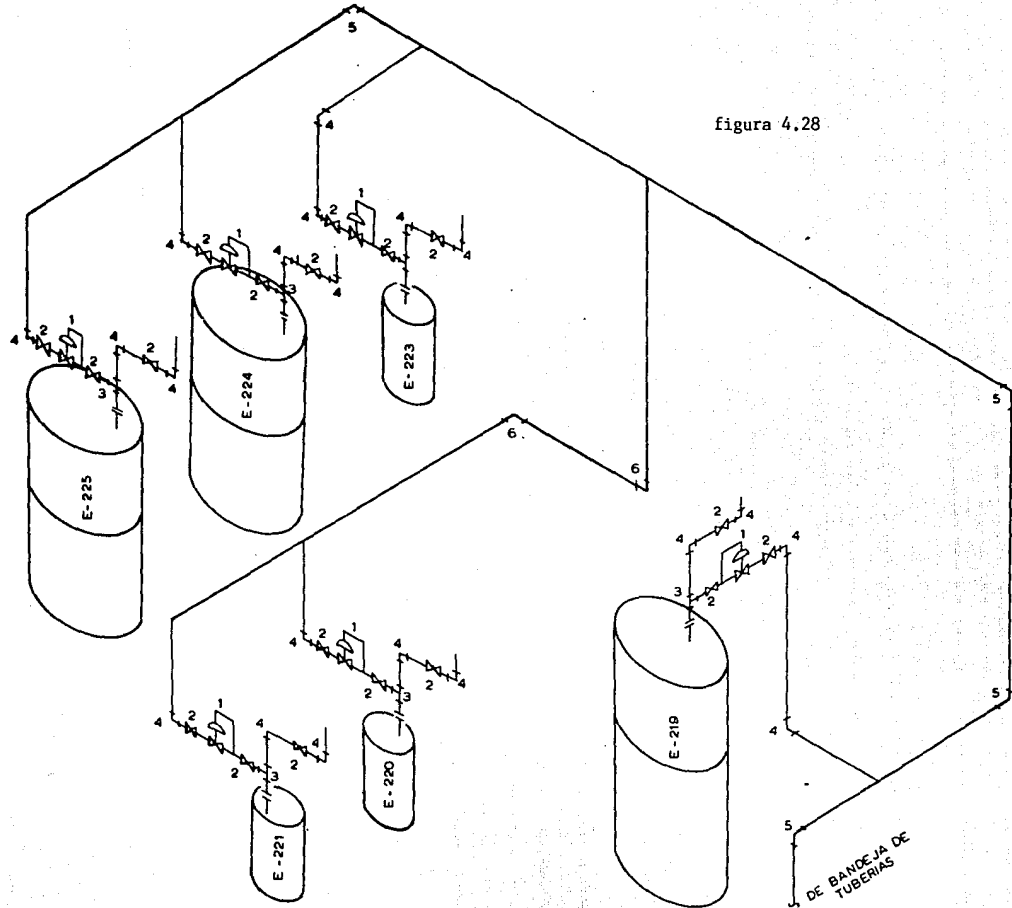


figura 4.28

4.3 Operación del Sistema de Evaporación

4.3.1. Prueba del Sistema

Después de terminada la instalación del evaporador de película y antes de que la planta sea arrancada con el producto (difenildiamina) tienen que verificarse los siguientes puntos:

- Lavar todas las tuberías y equipos con agua con objeto de eliminar suciedades, polvo, escoria o viruta que haya quedado de la instalación.
- Preparar los diversos sistemas y partes auxiliares del sistema como: suministro de vapor, vacío, abertura de válvulas manuales, reductores de velocidad y lubricación en general, etc.
- Verificar el sentido de rotación de todos los motores con un breve encendido.
- Realizar una prueba de vacío.

Las fugas de vacío en las conexiones bridadas y roscadas o en los cordones de soldadura pueden ocasionar grandes dificultades cuando se arranque la planta. Para realizar la prueba de vacío se procede como sigue:

1. Aislar a la planta ó sistema de evaporación cerrando las válvulas necesarias para esto.
2. Arrancar el sistema de vacío (E-403) suministrando el vapor para los eyectores y el agua de los condensadores para comenzar a succionar del sistema de evaporación y alcanzar

una presión de vacío de 4 mmhg.

3. Dejar trabajar al sistema de vacío (E-403) indefinidamente y verificar cada 2 horas la pérdida de vacío. Si existen pérdidas de vacío deberán detectarse las fugas sometiendo al sistema a una presión neumática de .5 ATM y entonces aplicar una solución jabonosa en las partes donde se sospeche una fuga para detectarla.

4.3.2 Arranque

- Encender el sistema de lubricación del sello mecánico
- Abrir la válvula de la línea de lubricación de la chumacera inferior.
- Verificar si el rotor puede girar libremente 180 (manualmente).
- Encender el motor del evaporador.
- Arrancar el sistema de vacío
- Suministrar vapor a las chaquetas de calentamiento.
- Checar abertura de válvulas manuales.
- Alimentar el producto crudo.

* Nota: El evaporador nunca debe ser alimentado cuando el rotor se detiene.

4.3.3 Paro

- Reducir la temperatura de calentamiento y la velocidad de alimentación del producto.
- Si se planea realizar un breve paro del sistema, el

suministro de vapor de calentamiento puede ser mantenido mientras el rotor sigue girando.

- Si se planea realizar un paro prolongado del sistema, el vapor de calentamiento deberá ser suspendido totalmente.
- Desfogar y apagar el sistema de vacío.
- En caso de formación de depósitos en la pared de calentamiento debido a congelamiento del producto; el evaporador deberá ser inundado con un solvente, con el motor funcionando. Un solvente adecuado es el tolueno ya que el producto fue separado del mismo tolueno en un proceso de destilación previo en el reactor E-104, como se estudió en el capítulo 3 (figura 3.3).
- Apagar el motor del evaporador.
- Detener el suministro de lubricante y de agua de enfriamiento.
- Drenar las líneas de proceso con las válvulas de "purga" colocadas en los puntos inferiores de la tubería.

4.3.4 Operación del Sistema

Para garantizar la calidad del producto los siguientes parámetros deben mantenerse constantes durante la operación:

- Temperatura del producto de alimentación.
- Composición del producto de alimentación.
- Velocidad del flujo del producto de alimentación.
- Temperatura de calentamiento.
- Presión de operación interna.

Cuando la planta se encuentre en operación normal los siguientes puntos deberán ser verificados periódicamente:

- Velocidad de alimentación.
- Temperatura y Presión de entrada del vapor de calentamiento.
- Temperatura y presión del vapor condensado que sale del evaporador.
- Presión de vacío en el tanque separador de arrastre, en el evaporador y en los tanques recibidores.
- Temperatura del tanque de condensado.
- Temperatura del producto condensado.
- Lubricación de la chumacera inferior.
- El Color del producto en la mirilla de vidrio instalada en la línea P-908.

Si el color del producto (difenildiamina) en la mirilla colocada abajo del condensador (E-305) es rojo, se deberá verificar la existencia de fugas de aire al sistema de evaporación ó fugas de vapor a través de los enchaquetados de los tanques. El color rojo significa oxidación del producto.

4.3.4.1 Dificultades de Operación

Son cuatro los principales problemas operacionales del sistema de evaporación:

- A) Reducción de la velocidad de Evaporación.
- B) Deterioro del Vacío.
- C) Vibración del Evaporador.
- D) Paro del Motor.

A) La reducción de la velocidad de evaporación puede ser ocasionada por un mal funcionamiento de las trampas de vapor instaladas a la salida de las chaquetas de calentamiento. El condensado será atrapado en las chaquetas disminuyendo la eficiencia del equipo. Cuando esto se detecte se deberán operar las trampas con la válvula de desvío (Ey Pass).

La reducción de la velocidad de evaporación puede también ser ocasionada por la formación de incrustaciones en la superficie térmica. Cuando esto suceda se deberá lavar con un solvente el evaporador, mientras el rotor está girando. Si esto no da resultados, el rotor deberá ser desmontado y las incrustaciones deberán ser removidas mecánicamente.

B) Cuando se detecte un cambio en la presión de vacío de operación, deberá realizarse un paro en el sistema de evaporación y arrancar el sistema de vacío nuevamente aislando al sistema de evaporación, cerrando las válvulas instaladas en todas las líneas de vacío. El cambio de vacío deberá ser medido sistema de evaporación y en el sistema de vacío para detectar donde esta la falla. Una rápida caída en el vacío de la planta puede ser ocasionada por:

1. Un sello mecánico de la flecha del evaporador defectuoso.
2. Alguna parte o conexión de la planta está fugando.

Si el vacío de la planta continúa en el mismo valor y el sistema de vacío opera satisfactoriamente, el problema puede ser causado por gases no condensables contenidos en el producto de alimentación que aumentan la presión del sistema.

C) La vibración del evaporador puede ser ocasionada por las siguientes causas:

- Una chumacera desgastada.
- Vapor condensado atrapado en la chaqueta del evaporador.
- Desbalanceo del rotor.

D) El paro de la transmisión del evaporador puede ser ocasionado por:

- Cuello de botella en la descarga del residuo; que provoque su acumulación en el fondo del evaporador y por su estado sólido provoque la detención del rotor.
- Formación de incrustaciones en la superficie de calentamiento causando el contacto del rotor con la superficie.
- Excesiva velocidad de alimentación.

Cuando la carga acoplada al eje del motor se incrementa, la corriente que demanda el motor también se incrementará, provocando que la protección del motor conocida como elemento térmico se sensibilice por un

incremento de calor e interrumpa el circuito derivado de este motor. Debe verificarse siempre la corriente que demande el motor del evaporador en un amperímetro.

4.4 Programa de Instalación

El proyecto de instalación del evaporador de película debe desarrollarse en un tiempo preestablecido, dentro de un plan de trabajo aproximado o "programa de instalación" que contempla una ruta crítica para la terminación del proyecto.

Previo al trabajo de instalación deben coordinarse las diferentes actividades del proyecto con el departamento de compras para definir las fechas de entrega de materiales y disponibilidad de mano de obra, así como con el departamento de producción para definir la fecha de entrega del proyecto.

Durante el desarrollo del trabajo de instalación del evaporador, debe verificarse el cumplimiento de actividades y especificaciones de acuerdo al programa de instalación y al proyecto mismo respectivamente, con objeto de modificar el programa en caso de gastos imprevistos y así permanecer dentro del presupuesto del proyecto de inversión que se detalla en el próximo capítulo.

En la tabla siguiente se muestra el programa de instalación del evaporador de película señalando el tiempo en el que debe terminarse cada una de las actividades del proyecto.

**PROGRAMA DE INSTALACION
EVAPORADOR DE PELICULA**

DESCRIPCION		1a semana							2a semana							3a semana									
1	liberación de equipos	P	X																						
		R																							
2	acercar equipos	P	X																						
		R																							
3	desmontar equipos	P	X																						
		R																							
4	acondicionamiento de área	P	X																						
		R																							
5	montaje, nivelación y pruebas hidrostáticas de equipos	P	X	X	X																				
		R																							
6	prefabricación de tuberías	P			X	X	X	X																	
		R																							
7	montaje de tuberías	P						X	X	X	X														
		R																							
8	conexión de equipo eléctrico, mecánico e instrumentos	P								X	X														
		R																							
9	instalación de barandales	P																X							
		R																							
10	aislamientos térmicos y limpieza del área	P																X	X	X					
		R																							
11	pruebas	P																X	X	X					
		R																							
12	arranque y entrega del proyecto	P																			X	X	X		
		R																							

P programado

R real

CAPITULO V
ANALISIS ECONOMICO

- 5.1 Consideraciones Económicas
- 5.2 Proyecto de Inversión
- 5.3 Precio de Venta y Costo del Producto
- 5.4 Estado de Resultados Presupuesto
- 5.5 Determinación de Razones Financieras

5.1 Consideraciones Económicas

Los evaporadores de película agitada representan un costo de inversión inicial elevado; por lo que este tipo de equipo de proceso de evaporación no ha sido muy difundido en la industria de México hasta ahora; a pesar de su alta eficiencia de operación. En nuestro país los evaporadores de película comienzan a ser empleados frecuentemente en la industria alimenticia y farmacéutica principalmente; por lo que, estos equipos deben ser considerados cada vez más en evaluaciones económicas de proyectos en los que el evaporador de película sea aplicable al proceso en cuestión y competitivo con evaporadores convencionales. Sin embargo el costo de inversión inicial de este evaporador, no es el factor determinante y único para su elección. Existen otros puntos importantes a considerar que básicamente son:

- Proceso automatizado ó manual
- Evaporación a alto vacío ó en condiciones atmosféricas.
- Vapor ó aceite como medio de calentamiento
- Viscosidad del fluido de proceso (solución)

Los puntos anteriores pueden variar dependiendo del proceso de evaporación específico que se analice. En la instalación del sistema de evaporación que se describió en los capítulos anteriores; el proceso y el fabricante del evaporador definen la viscosidad del fluido, el medio de calentamiento y la presión de evaporación; y únicamente el

sistema de control del proceso de evaporación puede ser variado. Este sistema se opera casi en su totalidad manualmente.

En la tabla siguiente se muestra en forma general, una distribución de costos de inversión iniciales de instalaciones de evaporadores de película. Los datos están basados en proyectos reales que involucran este tipo de equipo.

TABLA 5.1
DISTRIBUCION DE COSTOS EN INSTALACIONES DE
EVAPORADORES DE PELICULA

Descripción	Instalación	
	*Sencilla	+Compleja
- Evaporador de Pelicula	41.0 %	26.6 %
- Equipos auxiliares principales		
+ Condensador		
+ Bombas	12.4 %	40.0 %
+ Sistema de Vacío		
- Tuberías y accesorios (solo materiales)	4.0 %	5.3 %
- Estructura	2.0 %	1.3 %
- Cimentación, montaje de tuberías y equipos	41.0 %	26.6 %
* Incluye vapor como medio de calentamiento, operación manual y producto con baja viscosidad.		
+ Incluye aceite como medio de calentamiento, elevada viscosidad del producto, automatización y al alto vacío.		

Fuente Luwa Corporation

5.2 Proyecto de Inversión

El proyecto de inversión para la adquisición del equipo de proceso de evaporación contempla los siguientes aspectos: costo de inversión y costo total del Producto.

El costo de inversión del proyecto incluye dos aspectos; una inversión inicial para la adquisición del equipo de proceso, que constituye el activo fijo y el otro aspecto lo constituyen los gastos de instalación que se generan del mismo equipo.

Por otro lado se encuentran los costos del producto, que son el resultado del proceso de transformación de una o varias materias primas, mediante el equipo que se adquirió por un costo de inversión.

El importe que generan todos los conceptos anteriores en el proyecto de instalación del evaporador de película deberá ser analizado con objeto de obtener las siguientes razones financieras: Rentabilidad y Utilidad bruta para así definir la factibilidad del proyecto.

A continuación se muestra un cuadro sinóptico en donde se muestran los aspectos principales de un proyecto de inversión.

Proyecto de Inversión

Activo Fijo:

Costo de
Inversión

Equipo principal (o de Proceso)
Equipo menor

Gastos de Instalación

Costos Totales
del Producto

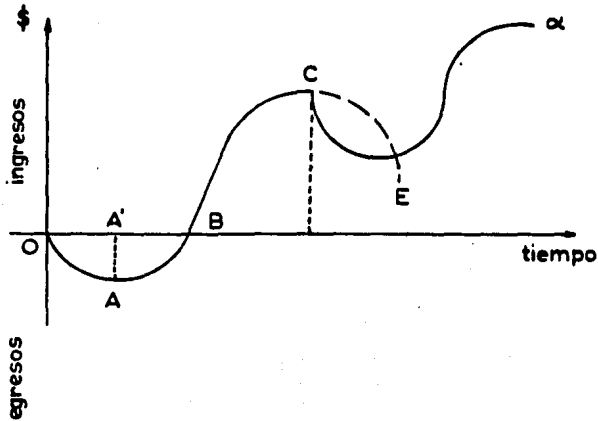
Costos de Materias Primas

Costos de Producción:

Mano de obra directa
Supervisión
Mantenimiento
Depreciación del Equipo
Seguro e Impuestos

En la figura 5.1 se muestra gráficamente el comportamiento de la inversión del evaporador de película a través del tiempo. En la gráfica aparecen diversos factores; de los cuales nos interesa conocer primordialmente: la inversión inicial y el tiempo de recuperación de esta inversión. En cuanto a la vida económica o útil del equipo se entiende por esta, que es el tiempo que pasará antes de que el equipo propuesto sea desplazado por otro equipo, como resultado de un análisis económico. La predicción del periodo de vida económica del evaporador de película o de cualquier equipo no se puede basar en alguna fórmula; ya que depende de factores tales como: mantenimiento, operación e instalación.

COMPORTAMIENTO DE LA INVERSION



- A inversión inicial
- B recuperación de la inversión
- C ingresos máximos
- O-A' período de inversión
- A'-B período de recuperación
- B-C período de ingresos
- E obsolescencia
- O-C vida útil del equipo
- C- α período de reinversión { mantenimiento
reemplazo

figura 5.1

Costo de Inversión

Costo de Equipos de Proceso

EQUIPO	\$ US DOLARES
- E-105 Evaporador de Película	68,000.00
- E-219 Tanque de Alimentación	6,190.00
- E-220 Tanque de Residuo	2,180.00
- E-221 Tanque de Residuo	2,180.00
- E-222 Tanque Separador de Arrastre	2,882.00
- E-223 Tanque de Recirculación	2,180.00
- E-224 Tanque Recibidor	7,945.00
- E-225 Tanque Recibidor	7,945.00
- E-226 Tanque de Condensado	1,838.00
- E-305 Condensador (difenildiamina)	5,875.00
- E-306 Condensador (agua)	3,750.00
- E-403 Sistema de Vacío	35,000.00
- E-520 Bomba Rotatoria (1 HP)	636.00
- E-521 Bomba Rotatoria (1 HP)	636.00
- E-522 Bomba Rotatoria (1 HP)	636.00
- E-523 Bomba Centrifuga (2 HP)	380.00
- E-219 Agitador (tanque Alimentación)	3096.00
<hr/>	
SUBTOTAL	\$ 151,349.00

Costo de Equipo Menor

EQUIPO	\$ US DOLARES
+ Válvulas, Instrumentos y Accesorios.	30,000.00
+ Tubería y Accesorios Empacues y Tornillería.	3,700.00
+ Aislamiento Térmico de Tubería y Equipo.	7,500.00
+ Trazado de Vapor de tubería de Proceso.	10,000.00
+ Equipo Eléctrico.	13,304.00
SUBTOTAL	\$ 64,504.00

Gastos de Instalación y Mano de Obrá

CONCEPTO	\$ US DOLARES
+ Honorarios de Ingeniería (10% del costo del equipo)	21,538.00
+ Montaje y Nivelación de Equipos, incluye instalación soportería, pruebas.	7,391.00
+ Montaje y Fabricación de Tuberías de :	
- Proceso	6,605.00
- Condensados	3,461.00
- Vapor	3,575.00
- Vacío	1,256.00
- Nitrógeno	3,003.00
+ Mano de obra de Instalación Eléctrica.	1,478.00
SUBTOTAL	\$ 48,307.00

Determinación del costo de la Inversión

Costo de Equipo de Proceso	151,349.00
Costo de Equipo Menor.....	64,504.00
Gastos de Instalación.....	48,307.00
Imprevistos (10% del equipo)	26,416.00

Costo Inicial de Inversión..... \$ 290,576.00 DLS

4.3 Precio de Venta y Costo del Producto

Considerando llevar a cabo el proyecto de inversión descrito, el precio de venta y costo del producto se estima de la siguiente manera.

El Evaporador de Pelicula de esta planta produce 570 lbs/hr de difenildiamina como producto destilado y trabaja durante las 24 horas del día en 3 turnos de 8 horas cada uno, 338 días al año representando el 100 % de la capacidad de producción instalada por lo que se tiene:

Producción Anual

(570 lbs/hr) (24 horas) (338 días) = 4,623,840 lbs anuales

Precio de Venta

(4,623,840 lbs) (4 DLS) = \$ 18,495,360 DLS

Nota: El precio unitario por libra del producto (\$ 4 DLS), es un precio no controlado en México.
(Referencia: Chemical Marketing Reporter, Schnell Publishing Company, Inc. 25 Dec. 89, Vol. 236, No.26.)

Costo de Producción de Difenildiamina

- Consumo Anual de Materias Primas 15,704,640 DLS
- Mano de Obra Directa 34,130 "

Cargos Indirectos

- Supervisión 15,000 "
- Mantenimiento 14,529 "
- Depreciación 26,416 "
- Seguros e Impuestos 14,348 "

* 15,809,063 DLS

Costo total del Producto

A continuación se desglosará el importe generado por los conceptos anteriores.

Materias Primas

El consumo anual de materias primas se ilustra en la siguiente tabla (5.2).

TABLA 5.2

Consumo Anual de Materias Primas

Materia Prima	\$ DLS/lb	lbs/año	\$ DLS/año
Acido Clorhídrico	0.210	4,866,694	1,022,006
Acido Sulfúrico	0.112	1,959,484	219,462
Catalizador	1998.0	291	582,324
Difenilamina	1.5	5,805,881	8,708,821
Nitrato de Sodio	0.284	2,561,418	727,443
Metanol	0.058	4,512,364	261,717
Sosa Caústica	0.12	9,613,856	1,153,663
Tolueno	0.2	15,146,519	3,029,304
SUBTOTAL			15,704,640

Mano de obra directa

El sistema de evaporación de la planta requiere del siguiente personal para su operación, de acuerdo al sistema de evaporación propuesto en el capítulo 4.

PERSONAL	SUELDO/DIA	TOTAL
9 Obreros Calificados	\$ 27,000 pesos	\$ 243,000 pesos
3 Ayudantes	\$ 10,080 pesos	\$ 30,240 pesos
		\$ 273,240 pesos/día

$$\$ 273,240 \frac{\text{pesos}}{\text{día}} \frac{(338 \text{ días})}{\text{año}} = \$ 92,355,120 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Mano de obra directa = \$ 34,130 Dolares

Supervisión

El concepto de supervisión se estimará en 15,000 Dolares anuales.

Mantenimiento

El mantenimiento se estima en el 5 % del costo de inversión.

$$290,576 (0.05) = \$ 14,529.00 \text{ Dólares}$$

Depreciación

La depreciación del equipo se estima en el 10 % del costo inicial del equipo.

$$264,160 (0.1) = \$ 26,416.00 \text{ Dólares}$$

Seguros e Impuestos

Los seguros e impuestos incluyen : seguro social de trabajadores, impuesto sobre productos del trabajo y cargas sociales mexicanas como 1 % sobre remuneraciones, 5 % infonavit y 2 % nóminas.

$$\$ 14,348.00 \text{ Dólares}$$

5.4 Estado de Resultados Presupuesto

Ventas Netas	15,058,944 DLS
Costos de Producción.....	15,809,063 "
	<hr/>
Utilidad Bruta	2,680,297 DLS
Gastos de Administración	670,587 DLS
	<hr/>
Utilidad Bruta	2,015,710 DLS
Impuestos	1,232,658 "
	<hr/>
Utilidad Neta	783,052 DLS

Costo por libra de Difenildiamina

Costo de Producción	15,809,063.00 DLS
Libras Producidas	4,623,840.00 "
Costo por libra de difenildiamina ...	3.41 DLS

Utilidad Bruta por libra

Precio Unitario de Venta	4.0 DLS
Costo Unitario	3.41 "
	<hr/>
Utilidad Bruta por libra	0.58 DLS

5.5 Determinación de Razones Financieras

$$\begin{aligned}\text{Rentabilidad} &= \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión Total}} \times 100 \\ &= \frac{783,052}{290,576} \times 100 = 2.69 \%\end{aligned}$$

Este valor nos indica que obtendremos 2.69 veces la inversión inicial realizada durante el primer año de operación del nuevo equipo.

Tiempo en que se paga la Inversión

$$\frac{\text{Inversión Total}}{\text{Utilidad Neta}} = \frac{\$ 290,576}{\$ 783,052/\text{año}} = 0.3711 \text{ años}$$

$$0.3711 \text{ años} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 135 \text{ días}$$

Lo anterior significa que la inversión del evaporador de película se recupera en 135 días de operación al 100 % de la capacidad instalada, por lo que se recomienda proceder a la compra e instalación del equipo.

Conclusiones

El funcionamiento de este equipo involucra complicados procesos de flujo de fluidos, transferencia de masa y calor; con los que hasta ahora no se ha determinado un modelo matemático riguroso para el fenómeno. Por lo que se ha preferido la experimentación que la teoría para el estudio del equipo.

La selección de un Evaporador de Película Agitada para cada caso específico, se fundamenta en estudios exhaustivos de planta piloto que permiten encontrar las variables críticas de operación estudiadas en el capítulo II, tales como: velocidad del rotor, tipo de rotor, flujo de alimentación, velocidad de evaporación, etc. Estas variables son extrapoladas a equipos de película comerciales de alta eficiencia para su aplicación industrial.

Aún cuando la tarea de seleccionar un Evaporador de Película es realizada por el fabricante, el buen funcionamiento del mismo depende de una instalación "segura y operable", basada en el trabajo de ingeniería de detalle del capítulo IV; realizado de acuerdo a las normas, códigos y reglamentos de ingeniería nacionales e internacionales que determinan la vida efectiva del equipo y la seguridad del

personal que opera el sistema de evaporación de esta planta.

La ingeniería de detalle del proyecto de instalación del Evaporador de Película proporciona la información constructiva que permite ser interpretada correctamente para ser evaluada por el constructor en el trabajo de campo.

Las características deseadas en cualquier instalación industrial de equipo de proceso son : operabilidad, seguridad y economía.

El costo de inversión de un Evaporador de Película Agitada es elevado y puede variar dependiendo de los siguientes factores : viscosidad de la solución, sistema de calentamiento, sistema de vacío; así como, los sistemas de control e instrumentación elegidos.

A pesar del alto costo de inversión que representa un Evaporador de Película Agitada resulta una inversión rentable como se muestra en el análisis económico del capítulo V; por lo que este tipo de equipo de evaporación debe considerarse en México como una opción en estudios económicos de proyectos industriales en los que el Evaporador de Película tenga aplicación.

Con la adquisición e instalación del equipo se obtendrá: volúmenes de producción elevados con alta y uniforme calidad, debido a una rápida velocidad de evaporación en una sola etapa y a la continuidad y estabilidad de las condiciones de operación del proceso;

eliminando la posibilidad de cuellos de botella en el sistema.

Aún cuando esta tesis trata de la instalación de un Evaporador de Película Agitada para un proceso de evaporación específico; la mayoría de los conceptos y recomendaciones empleados en la tesis pueden ser aplicadas a cualquier instalación de un evaporador de este tipo.

BIBLIOGRAFIA

1. Howard F. Rase, Diseño de tuberías para plantas de proceso, 1a. edición en español, México, D.F.; Editorial Blume, 1956.
2. H.L. Freese, W.B. Glover, Mechanically Agitated Thin Film Evaporators, Charlotte N.C. U.S.A., Luwa Corporation Report, Enero 1979.
3. Norman Parker, Roland Fisher, Chemical Engineering Magazine, Agitated Thin-Film Evaporators, Editorial Mc. Graw Hill, Inc., Septiembre 13 de 1965.
4. Perry John H., Chemical Engineer's Handbook, 3a. edición, U.S.A., 1950.
5. Luwa Corporation, Process Equipment and Systems, Plant Manual Luwa, 1979.
6. McCabe and Smith, Unit Operations of Chemical Engineering, 2a. edición, U.S.A.; editorial Mc Graw-Hill Company 1956.
7. Enciclopedia Salvat Ciencia y Tecnología, 1a. edición en español, Barcelona, Salvat Editores S.A., 1964.

8. Giral José, Barnés Francisco, Ramírez Alejandro, Ingeniería de Procesos, 2a. edición, México, D.F., Editorial Alhambra Mexicana, S.A., 1979.
9. B.V. Karlekar, R.M. Desmont, Transferencia de Calor, 2a. edición, México, D.F., Editorial Interamericana, 1986.
10. R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, Transport Phenomena, 3a. edición, U.S.A., John Wiley & Sons, Inc., 1960.
11. Williams, Momentum, Heat and Mass Transfer, 3a. edición, U.S.A., Editorial Mc Graw-Hill Company, 1969.