

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Diseño del Equipo Periferico en la Elaboración de un Copoli-  
mero de Acetato de Vinilo y 2-Etilhexil Acrilato  
para Impermeabilización

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A :

JAIME IGNACIO GONZALEZ VALDES

Asesor: I.Q. María Consuelo López Limón

GUADALAJARA, JAL., 1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
I.- GENERALIDADES.....	3
II.- TEORIA .....	15
III.- PARTE EXPERIMENTAL.....	41
IV.- DISEÑO DEL EQUIPO INDUSTRIAL.....	53
V.- RESUMEN .....	76
CONCLUSIONES .....	78
APENDICES.	
I.- FORMULAS EMPLEADAS EN EL DISEÑO DE UN CONDENSADOR VERTICAL DE REFLUJO.....	79
II.- FORMULAS EMPLEADAS EN EL DISEÑO DE RECIPIENTES DE PARED DELGADA.....	82
III.- FORMULAS EMPLEADAS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA DE LAS BOMBAS.	84
BIBLIOGRAFIA.....	86

## I N T R O D U C C I O N

## I N T R O D U C C I O N

El gran avance en la investigación, y las múltiples aplicaciones que se han encontrado para las macromoléculas - debido a sus propiedades y características, ha originado un gran desarrollo tecnológico y la creación de nuevas industrias.

Este trabajo forma parte de un estudio más amplio, enfocado hacia la obtención, por el método de emulsión, del copolímero formado por el acetato de vinilo y el 2-etilhexil acrilato; además de dar a conocer sus propiedades y aplicaciones como impermeabilizante; así como del diseño del equipo industrial.

El objetivo de ésta parte del estudio, es el de diseñar el equipo periférico de la planta industrial, tomando como base los mejores resultados de laboratorio obtenidos; en éste equipo se incluye: el condensador, tanques de almacenamiento y bombas.

En primer lugar, se hace una exposición de las materias primas empleadas en la elaboración del copolímero, así como del equipo industrial necesario en su manufactura; haciendo énfasis en los tipos de condensadores, bombas y tanques de almacenamiento, así como en la forma de diseñarlos.

Experimentalmente se determinan las condiciones bajo las cuales se obtiene el producto con las mejores propiedades físico químicas y mecánicas para aplicarse como impermeabilizante. En base a éstos resultados, se procede a hacer el diseño del equipo.

No fué posible realizar el estudio de costeabilidad del proceso, debido a que no existe un control de precios sobre las materias primas y el equipo industrial, dada la situación actual de la economía del país.

## GENERALIDADES

## I.- GENERALIDADES

Dada la considerable importancia industrial que tienen los copolímeros del acetato de vinilo con algún acrilato, han sido objeto de estudios muy extensos. Ha habido una gran demanda en la industria y en operaciones manufactureras, superando a otros productos predecesores.

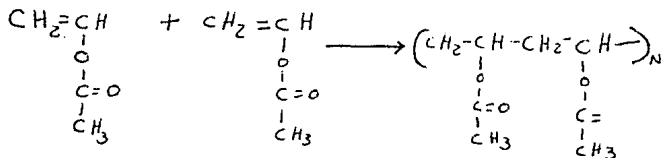
Sus principales aplicaciones han sido: como base para pinturas vinilacrílicas, en la industria de la construcción para darle mayor resistencia al concreto, en recubrimientos industriales, adhesivos, selladores, etc.; en éste trabajo se presenta una aplicación más, en la industria de la construcción, como impermeabilizante.

Los monómeros vinílicos, como el acetato de vinilo y los ésteres acrílicos, polimerizan por el proceso de adición. El proceso por condensación no es aplicable a estos tipos de monómeros.

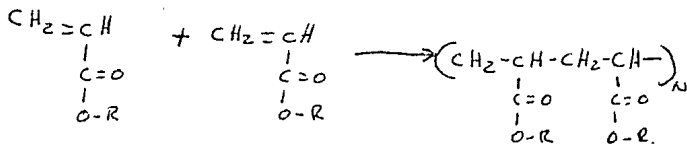
La polimerización por adición, se induce produciendo radicales libres.

La polimerización por adición del acetato de vinilo se puede representar de la siguiente manera:





La polimerización por adición de los ésteres acrílicos, se puede representar del modo siguiente:



El proceso de polimerización se inicia con la formación de monómero con radical libre, que tiene un electrón libre. Estos monómeros con radical libre, se obtienen por medio del empleo de un iniciador. Una vez formado éste monómero, se adicionan las demás moléculas de monómero, una tras otra, al monómero con radical libre. Esta etapa se conoce como propagación. La propagación continúa hasta que reacciona con otro radical libre, o tiene lugar alguna reacción de cadena, que termina al crecimiento de la cadena.

El tiempo que se requiere para la formación de una molécula específica de polímero, es fracción del tiempo total de conversión y, generalmente, la cadena de la molécula del-

polímero, es fracción del tiempo total de conversión y, generalmente, la cadena de la molécula del polímero ya formado - o aumenta la longitud durante el resto del proceso de polimerización.

Hay cuatro principales métodos de polimerización de monómeros vinílicos: en bulto, en solución, en suspensión y látex (emulsión).

La polimerización en emulsión de los monómeros vinílicos, es la que tiene mayor importancia industrial. Las emulsiones son líquidos lechosos, que están compuestos generalmente por monómero(s), agua, coloide protector, surfactante, iniciador, regulador de acidez y auxiliares antiespumantes. El monómero puede consistir entre el 30-60% de los sólidos - totales de la carga, pero la mayoría de emulsiones comerciales contienen el 55% de sólidos. Las emulsiones ofrecen la ventaja de que el producto tenga un alto contenido en sólidos, pero, además, muy buena fluidez.

Una polimerización se puede llevar a cabo simplemente cargando todos los ingredientes en el reactor, calentando -- on reflujo y manteniendo la agitación hasta que la reacción termine. Este proceso tan simple se ha dejado de usar. Actualmente, sólo una porción del monómero y del catalizador -

se cargan en el reactor y el resto se va añadiendo durante el transcurso de la reacción. Se puede mantener un mejor control del rango de polimerización por éste método, y es particularmente importante a escala industrial, donde cantidades grandes de materia están involucradas. La adición continua de monómero en la polimerización por emulsión trae como resultado un tamaño de partícula más pequeño y una dispersión más estable. En lo que respecta al aspecto molecular, un retraso en la alimentación del monómero trae como consecuencia que la cadena del polímero está muy ramificada. Como resultado de esto la forma de adición del monómero tiene efectos en las propiedades finales del polímero. Otra práctica común consiste en que, una vez que se ha llevado a cabo la polimerización a una determinada temperatura, al final de la polimerización, se aumenta la temperatura para así asegurar que no existe monómero sin reaccionar.

En seguida se presenta una breve revisión del papel de cada componente en la copolimerización por emulsión del acetato de vinilo y el 2-etilhexil-acrilato.

## ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS.

### 1.- Monómeros.

#### 1.1.- Acetato de Vinilo.

- Coeficiente de expansión por °C (20-40°C)	1.52X10 <sup>-3</sup>
- Presión crítica, atmosferas	41.9
- Temperatura crítica, °C	228.9
- Límite explosivo, bajo, % volumen en aire	2.6
- Límite explosivo, alto, % volumen en aire	13.4
- Calor de combustión, calorías por gramo	5750
- Calor de formación, calorías por gramo, calculado	-999
- Calor latente de evaporación, calorías por gramo a 72.7°C	90.6
- Punto de fusión, °C	-100.2
- Peso molecular, calculado	86.088
- Índice de refracción, $n_D^{20}$	1.3952
- Solubilidad a 20°C, en agua, % peso	2.30
- Solubilidad a 20°C, del agua, % peso	0.96
- Peso específico, 20/20°C	0.9338
- Calor específico del líquido, calorías por gramo por °C	0.46
- Tensión superficial, dina por centímetro a 20°C	23.95
- Viscosidad a 20°C Ostwald-Fenske, centipoises	0.432
- Solubilidad:	

Agua	Insoluble en caliente
Alcohol Etilico	muy soluble
Eter Dietilico	soluble
Acetona	soluble
Benceno	soluble
Solventes Orgánicos	soluble

## 1.2.- 2-Etilhexil Acrilato.

Este acrilato es un líquido claro, incoloro y con olor característico. En forma de polímeros, homopolímeros, en combinación con otros monómeros tiene las siguientes aplicaciones:

- Base de pinturas acrílicas y vinil acrílicas.
- Recubrimientos industriales con y sin ligaduras tridimensionales.
- Acabados en papel "couche", textiles y de pieles.
- Adhesivos.
- Selladores.
- Productos calefactores.
- Pulidores de piso.
- Resinas para purificación y tratamiento de agua.
- Plásticos.

### Propiedades Físicas.

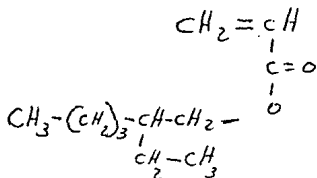
- Punto de ebullición a 760 mm Jg abs, °C	213.5
- Coeficiente de expansión por °C(15-60°C)	0.00105
- Punto de inflamación Tag copa abierta, °F	200
- Punto de congelación, °C	-76
- Peso molecular, calculado	184.16
- Densidad a 20°C	0.8861
- Solubilidad en agua, a 20°C, % peso	0.34
- Solubilidad del agua, a 20°C, % peso	0.23
- Viscosidad a 25°C, Cp	1.54

### Propiedades Químicas.

Teniendo un grupo vinílico reactivo, los ésteres acrílicos polimerizan y tienen las reacciones típicas de adición a través del doble enlace, igual que otros monómeros vinílicos. Los acrilatos polimerizan en presencia de persulfatos, peróxidos o sistemas catalíticos del tipo redox, para formar largas cadenas de moléculas, teniendo propiedades físicas características. Los polímeros del 2-etilhexilo tienden a producir películas con superficies suaves y pegajosas.

Los polímeros acrílicos son resistentes al calor, luz solar y humedad, y tienen una resistencia sobresaliente al agua. También, bajo condiciones ordinarias, los polímeros -- tienen excelente resistencia a los ácidos, alcalis y aceites.

La fórmula estructural del 2-etil acrilato es la siguiente:



### II.- Surfactantes o Emulsificantes.

Los surfactantes desempeñan una función muy importante en la polimerización en emulsión. Es una sustancia cuya -

presencia, aun en cantidades pequeñas altera el comportamiento en la superficie de un sistema.

En la copolimerización del acetato de vinilo con el 2-etilhexil acrilato, se usó una mezcla de surfactantes, como son: el crisanol (nonil fenol etoxilado) y un aerosol.

Algunas de las propiedades del crisanol son las siguientes:

- Color: de amarillo claro a incoloro; a altas temperaturas en presencia de oxígeno se torna café.
- Rango de ebullición: inicio, 287°C
  - 5% 292°C
  - 95% 301°C
  - final, 306°C
- Punto flash: 286°F
- Gravedad específica: 0.945<sup>20</sup>
- Índice de refracción: 1.512<sup>20</sup>
- Viscosidad Cinemática: 300 cp, a 100°F.
- Poco soluble en agua fría o caliente, en soluciones acuosas forma fenolitos jabonosos de solubilidad inestable.
- Soluble en la solución Claisen, y en solventes orgánicos comunes.
- Sufre las reacciones normales del grupo hidroxil fenólico, así como de sustitución en el anillo bencé-

nico.

- Tiene buena estabilidad química y propiedades de emulsificante y de detergente.

### III.- Iniciador o Catalizador.

Las polimerizaciones en emulsión han sido restringidas casi por completo a catálisis por iniciación de radical libre. Se utilizan peróxidos, persulfatos o combinaciones reductoras.

En la copolimerización del acetato de vinilo y el 2-etilhexil acrilato, se utilizó el persulfato de amonio, y a continuación se presentan algunas de sus propiedades:

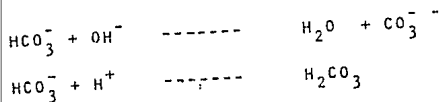
- Fórmula química:  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Peso molecular: 228.20 gr/mol
- Es una sal blanca, de excelente estabilidad si se mantiene seca.
- Es higroscópica y tiende a hacerse pastel, si está en una atmósfera húmeda.
- No es explosivo.
- Es usado como catalizador en polimerización; como reactivo de laboratorio; como blanqueador, como oxidante, para disolver cobre en tableros electrónicos, etc.



#### IV.- Regulador de pH

Las emulsiones son usualmente reguladas hacia el lado ácido a un pH entre 4 y 5, con acetato o fosfato, por ejemplo, pero regulando a un pH neutro con bicarbonato, también da muy buenos resultados. El pH de las emulsiones comerciales, mayormente disponibles varía entre 4 y 6.

En seguida se describirán algunas propiedades de bicarbonato de sodio, ya que es un compuesto que reúne las características de regulador, pues posee características ácidas y básicas apropiadas:



- El bicarbonato de sodio, es una sal "semineutralizada" de un ácido débil diprótico.
- Sustancia alcalina suave.
- Sus cristales son monoclinicos de color blanco.
- Estable a temperatura ambiente, pero empieza a descomponerse con el aumento de la temperatura.
- Densidad a 20°C: 2.217 gr/cm<sup>3</sup>
- Capacidad calorífica: 20.94 cal/mcl °C.
- Sus principales usos son:

40% en alimentos.

15% en productos farmacéuticos.

10% en extinguidores de fuego.

Se usa también en la industria del hule, del plástico, en la industria textil y en productos de limpieza.

#### V.- Coloide Protector.

Los coloides protectores son usados para estabilizar las dispersiones de emulsión. Los más comunmente usados son los alcohóles polivinílicos, o derivados de la celulosa, como la metil celulosa, hidroxipropil celulosa, etc.; aunque hay muchos otros y se usan dependiendo de la aplicación requerida.

En el caso de nuestra polimerización, se usa el natro sol, que es la hidroxipropil celulosa.

#### VI.- Antiespumante.

El uso de surfactantes en determinadas condiciones -- del proceso, puede llevar a la formación excesiva de espuma; para lo cual, y para contrarrestarla, es necesario el uso de un antiespumante. En éste caso en particular se utilizó el DWH que es un aceite de alto peso molecular.

II

T E O R I A

## II.- T E O R I A.

En ésta época moderna de gran competencia industrial, es necesario tener conocimientos que van más allá de los fundamentales en termodinámica, cinética de reacción, etc. El ingeniero, debe de tener la habilidad de aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas, con el propósito de complementar algo que beneficie a la sociedad. Sin embargo, al llevar a cabo dichas aplicaciones, se debe de reconocer la importancia del aspecto económico, y, actuar de acuerdo a éste.

El desarrollo del diseño de una nueva planta, siempre comienza con el plan o idea inicial. La idea debe de estar claramente establecida en orden de poder definir claramente el objetivo del proyecto. Especificaciones generales y sus correspondientes datos de laboratorio, deben de presentarse junto con la idea inicial.

La idea inicial, en éste proyecto, es la de crear una fábrica productora de impermeabilizante, utilizando como materias primas acetato de vinilo y 2-etilhexil acrilato, y, empleando el método de polimerización por emulsión.

Un diseño óptimo se basa en las más favorables condiciones. En la mayoría de los casos, éstas condiciones óptimas pueden ser reducidas a hacer una consideración de costos

o de ingresos. Por lo tanto, un diseño económico óptimo puede estar basado en las condiciones que den el menor costo -- por unidad de tiempo o la máxima utilidad por unidad de producción.

Es por ésto que las consideraciones de costos y los balances económicos, son la base de muchos diseños óptimos. - Esto quiere decir que, en base a las necesidades de la planta, se diseñe el equipo y se reduzcan al máximo los costos.

A continuación se presentan una serie de especificaciones y recomendaciones para diseñar y seleccionar el equipo industrial adecuado.

#### RECIPIENTES.-

El almacenamiento de materias líquidas, dentro de las plantas industriales, se lleva a cabo mediante el uso de tanques cilíndricos, esféricos o rectangulares. Estos tanques pueden construirse de diferentes tipos de materiales siendo los metálicos los más comunes. En el diseño de tanques de almacenamiento se deben de considerar detalles tales como: el espesor de pared, tipo de cabezales, tamaño y número de aberturas, controles de temperatura y presión, y la acción corrosiva del contenido.

Los mismos principios de diseño se aplican para otros tipos de tanques, incluyendo los recipientes de presión, usados como reactores químicos, mezcladores, y columnas de destilación. Para estos casos la coraza es diseñada, y su costo es estimado de forma separada con respecto a los otros componentes, tales como agitadores, unidades de empacado, etc. Los recipientes a presión son diseñados normalmente de acuerdo ASME. Usualmente la coraza es cilíndrica, cubierta con cabezales elípticos o hemisféricos a cada uno de los lados. Pueden ser instalados en posición vertical u horizontal. Un punto de suma importancia en el diseño, es el de tener la plena seguridad de que el espesor de las paredes del recipiente es el adecuado, para trabajar sin peligro, bajo todas las condiciones de operación.

El espesor de la pared de un recipiente metálico está en función de:

- 1.- El esfuerzo de tensión del metal a la temperatura de operación.
- 2.- La presión de operación.
- 3.- El diámetro del tanque.
- 4.- La eficiencia de las uniones o soldadura.

En el apéndice número 1, se presenta un sumario de ecuaciones de diseño y de constantes, para ser usadas en el-

diseño de tanques y de recipientes a presión, basadas en el código ASME.

A continuación se hace una reseña de la forma de fabricar un recipiente:

**Coraza.**- Como ya se dijo antes, la mayoría de los recipientes y depósitos usados en las plantas de procesos son de forma cilíndrica, y, para darles ésta forma, se usan rodillos dobladores para flexionar la lámina. La fuerza para flexionar la lámina se aplica a través del rodillo superior, y el diámetro de la coraza o cubierta se controla de acuerdo a la distancia que exista entre el rodillo superior y el inferior. Antes del rolado, se cortan los extremos de la placa de una longitud tal, que permita construirse la cubierta de acuerdo al radio deseado; con éste procedimiento se pueden construir recipientes perfectamente redondeados. Terminado el rolado se soldan los extremos de la placa.

**Soldadura.**- Se usan diferentes procesos de soldadura. La soldadura de arco es la más utilizada en la construcción de recipientes; el arco se produce entre el electrodo metálico y el metal de la base, el calor producido causa la unión de los metales. Los electrodos son cubiertos con un fundente que cuando se calienta, produce un gas alrededor del arco y

deposita una cubierta protectora sobre el cordón de soldadura, protegiéndola contra la corrosión. Para cordones circunferenciales, el soplete permanece fijo y el cilindro tiene movimiento; para cordones longitudinales el procedimiento es inverso. En la soldadura de recipientes se requiere la aplicación de varios cordones superpuestos de soldadura, después de haber aplicado el primer cordón, la superficie de éste deberá limpiarse y examinarse antes de la aplicación del segundo cordón, que va superpuesto; hay que evitar grietas e inclusión de escorias que debiliten la unión. La soldadura oxiacetilénica es muy común, sobre todo para soldar placas de poco espesor y piezas pequeñas.

Placas de la Cubierta.- Las placas para los recipientes, se ordenan de acuerdo al espesor de las mismas; se usan placas de tamaño grande, para luego cortarlas, ya que éstas son de mejor calidad y se pueden conseguir en gran número de tamaños, éstas pueden obtenerse en gran variedad de espesores, siendo los más comunes los de 3/16 plg a 1 plg, en incrementos de 1/4 plg; de 1 plg a 1 1/2 plg, en incrementos de 1/8 plg y de 1 1/2 plg a 4 plg en incrementos de 1/4 plg. Las placas más delgadas se producen en longitudes hasta de 800 plg. El ancho máximo obtenible es de 195 plg, aunque se considera un cobro extra para las de más de 100 plg de ancho.



Cabezales de los Recipientes.- El recipiente cilindrico es el más extensamente usado. Los cabezales de éstos cilindros, pueden ser planos, elipsoidales, cóncavo hemisféricos o cónicos. El cabezal cónico es muy económico, se le emplea para recipientes pequeños (3 pies máximo) o en recipientes sujetos a presiones bajas. Los cabezales que no son planos pueden construirse troquelados o repujados, aplicando fuerza a una placa que tenga rotación hasta darle la forma deseada. Por lo general, las necesidades del proceso indican el cabezal que debe usarse; en caso de poder escoger, se escogerá el más económico de entre el hemisférico, cónico estándar y elíptico, como el espesor necesario para resistir una presión dada, se incrementa en el orden de hemisférico, elíptico y cónico, el costo de su fabricación aumenta en el mismo orden.

Toberas.- Todos los recipientes de un proceso utilizan toberas para la entrada de los fluidos, y desagües en las salidas del recipiente, para su inspección necesitan agujeros hombre y registros de mano. Las toberas pueden fabricarse de tubo, de uniones de tubos, de acero forjado, de acero fundido o de algún otro material apropiado que esté de acuerdo a lo especificado en los códigos. Aún cuando los códigos permiten el uso de aditamento soldados o enroscados, por lo general se evita el uso de éstos últimos.

Además de las toberas, registro de Inspección y orificios de limpieza, se necesitan de ciertos accesorios exteriores, tales como ángulos para soportar el aislamiento, orejas y ménsulas para soportar plataformas y escaleras que deben ir fijadas a los recipientes y placas para soportar la torre a la elevación requerida.

El método más eficaz en la estimación de costos de tanques y de recipientes a presión, es el de obtener la asistencia de un representante de la fábrica. En muchos casos, el representante puede hacer un presupuesto basándose en el costo por unidad de peso del recipiente en cuestión. Por otra parte, es necesaria la supervisión de una persona con experiencia, para hacer la selección adecuada del material de construcción del tanque, así como del margen de corrosión que se debe de tomar.

#### AGITADORES.-

Los impulsores se pueden dividir en dos grandes grupos: impulsores de flujo axial e impulsores de flujo radial. La clasificación depende del ángulo que forma la paleta con el plano de rotación del impulsor.

Impulsores de Flujo Axial.- En éste grupo se incluyen

todos los impulsores en los cuales la pala forma un ángulo - menor de 90 grados con el plano de rotación. Los impulsores - pueden ser con paletas en forma de hélice o bien paletas fi - jas como turbina.

La hélice se usa para agitación en tanques menores de 1000 galones (3785), o de un diámetro menor de 6 pies (1.83- m), ésto es, cuando con una potencia de 3 hp se logran los - resultados del proceso deseado. Están disponibles en dos ran - gos de velocidad, 1150 ó 1750 r.p.m. con manejo directo, y -- 350 ó 420 r.p.m. con manejo de engranaje.

Las turbinas con paletas fijas, se usan cuando se de - sea una circulación axial mayor, y la potencia necesaria es - mayor de 5 hp.

Impulsores de Flujo Radial.- Estos impulsores tienen - paletas paralelas al eje de la flecha. Los más pequeños con - varias aspas se conocen como "turbinas" los más grandes, de - baja velocidad, con dos o cuatro aspas se conocen comunmente como de "paletas" o de "remos". El diámetro de la turbina va - ría normalmente entre 0.3 y 0.6 del diámetro del tanque. Hay gran variedad en los tipos de impulsores puede variar desde - 1 hp hasta 1000 hp. La velocidad típica varía entre 50 y 150 r.p.m.; pero, dependiendo de las condiciones del proceso, se puede aumentar hasta 400 r.p.m. o disminuir hasta 15 r.p.m.

Para procesos en los cuales la corrosión de metales - es común, impulsores con una cubierta de vidrio son adecuados y económicos.

Diseño del Equipo de Agitación.- En primer lugar hay que seleccionar el equipo adecuado. Los factores que influyen en la selección del equipo son:

- 1.- Necesidades del proceso.
- 2.- Propiedades de los fluidos.
- 3.- Costo del equipo.
- 4.- Material de construcción requerido.

Idealmente, el equipo escogido debe ser aquél del menor costo total y que reúna todos los requerimientos del proceso. Usualmente, se recurre a la experiencia en otras operaciones similares de mezclado, es común basarse en otros procesos para escoger el equipo, pero algunas veces son necesarias pruebas para identificar un diseño adecuado y encontrar el potencial y rotación mínimos.

No existe una guía satisfactoria para seleccionar el equipo de mezclado adecuado, ya que los rangos de aplicación de los distintos agitadores se confunden, y los efectos sobre los fluidos durante el proceso aún no se han definido adecuadamente. Lo que frecuentemente se hace en la selección del equipo se describe en los siguientes párrafos.

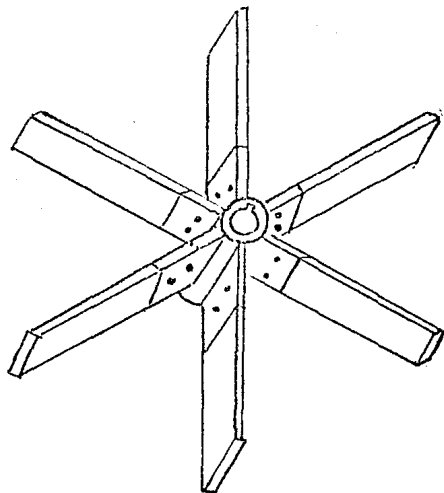
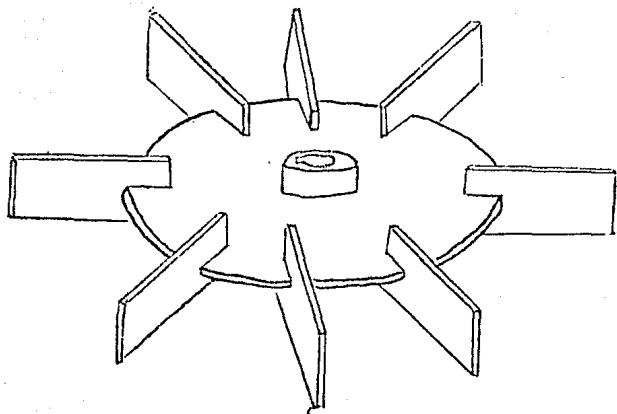


Fig. 1. Impulsos de seis y ocho aspas.

Turbinas.- Para recipientes de volumen entre 1000 y - 50000 galones, ( $3.785$  y  $189.25 \text{ m}^3$ ), un mezclador de turbina- montado coaxialmente dentro del recipiente, y éste provisto- con cuatro o más mamparas, es la primera opción. Además, la- relación entre la altura del tanque y el diámetro del mismo- debe ser entre  $0.75$  y  $1.5$ . Cuatro mamparas verticales deben- de asegurarse a la pared del recipiente, con una abertura en- tre la pared y la mampara igual a  $1/24$  del diámetro del reci- piente ( $D_t/24$ ), y la anchura radial de la mampara igual a  $-- D_t/12$ . Lo que se debe usar es un impulsor de seis aspas como el que se muestra en la figura 1. Para una mayor eficiencia- el diámetro de la turbina debe ser entre  $D_t/3$  a  $D_t/2$ .

Para obtener un mezclado y una circulación uniforme,- el impulsor debe de colocarse a un tercio de la profundidad- del líquido sobre el fondo del recipiente, a menos que se -- trate de un material de rápida sedimentación, o que el reci- piente esté casi vacío y sea necesario bajar su localización.

#### CONDENSADORES.-

Un fluido puede existir como gas, vapor o líquido. El cambio de líquido a vapor es vaporización, y el cambio de va- por a líquido es condensación. Las cantidades de calor invo- lucradas en la condensación o vaporización de un kilogramo -

de un fluido dado son idénticas. Para fluidos puros a una -- presión dada, el cambio de líquido a vapor o de vapor a lí-- quido ocurre sólo a una temperatura, que es la temperatura - de saturación o de equilibrio.

La condensación tiene lugar a muy diferentes velocida des de transferencia de calor. El coeficiente de película en la condensación está influido por la textura de la superfi-- cie en la cual tiene lugar la condensación y también si la - superficie condensante está montada verticalmente u horizon-- talmente.

Los condensadores se clasifican mejor por lo que pasa dentro de ellos, que por los procesos o servicios que pres-- tan. A menudo, además de la condensación, pueden también de-- sobrecalentar el vapor o subenfriar los condensados, de mane-- ra que no se necesita otra unidad para recuperar el calor -- sensible.

Generalmente los condensadores son cambiadores están-- dares con un paso de coraza y dos pasos de tubos, y pueden - referirse como condensadores 1-2. El uso de un intercambia-- dor 1,2 como condensador requiere usualmente modificaciones - en la entrada para que el vapor no esté sujeto a caídas de - presión considerables al entrar a la coraza. Esto puede lle-- varse a efecto, introduciendo el vapor a través de una boqui

lla abocinada o mediante el uso de un cinturón de vapor; - otro método es la eliminación de alguno de los tubos del haz situados cerca de la boquilla de entrada.

Algunas veces es necesario tratar un material sólido con un líquido volátil en su punto de ebullición o mantener una mezcla de líquido en su punto de ebullición, hasta completar una reacción química. Para mantener una presión constante el líquido volátil se hierve en el reactor y se regresa continuamente. La velocidad a la cual el líquido se hierve se llama razón de ebullición y se expresa usualmente el peso por unidad de tiempo por unidad de superficie líquida. Un condensador operado en circuito cerrado en ésta forma se llama condensador de reflujo. Este tipo de condensadores verticales que trabajan con condensado dentro de sus tubos, no tienen más que un paso en los tubos de ésta forma las pérdidas por fricción en el lado de los tubos se mantienen al mínimo.

#### Procedimiento de Diseño.-

Antes de comenzar el diseño de un intercambiador se debe de recopilar cierta información:

Fluido en circulación. Es necesario una descripción completa de los materiales en el intercambiador. Si el flui-



do es una mezcla compleja, se debe dar su composición, y si está compuesto de diversas fases (vapor y líquido), éstas deben ser definidas y establecerse la cantidad de cada una de ellas, incluyendo la cantidad de condensación que se espera en el proceso de enfriamiento. Para estimar la mayoría de las propiedades físicas de hidrocarburos cuando se conocen el peso específico y el punto de ebullición, se dispone de ciertas correlaciones generalizadas. Pero, es preferible proporcionar la mayor cantidad posible de datos físicos y químicos.

Densidad. Esta información se requiere para el cálculo de la masa que fluye y para la estimación de otras propiedades a partir de tablas y nomogramas generalizados.

Peso molecular. El peso molecular es importante para definir las propiedades de un gas.

Viscosidad. La viscosidad es significativa tanto en las ecuaciones de transmisión de calor, como en las de caída de presión. Se debe proporcionar cuando menos dos valores de viscosidad a diferentes temperaturas, dentro del rango de operación.

Calores latentes y calores específicos. Aunque en la tabulación se incluye la carga del cambiador (calor intercamb

biado en Btu/h, o en W), también se deben proporcionar los calores latentes y los calores específicos. Así, de ésta forma, el fabricante puede verificar los cálculos de la carga del cambiador.

**Corrosión.** Se debe de reportar la información sobre las características corrosivas del fluido y cualquier riesgo asociado con el transporte del fluido.

Puesto que el cálculo de los coeficientes de película depende del tipo y diseño de cambiador, para determinar, por cálculo, el coeficiente total, es necesario suponer un tipo y tamaño de cambiador. El procedimiento general es como sigue:

1.- Se especifican las condiciones de proceso. Especificar las cantidades que circulan de fluidos, así como las temperaturas de entrada y salida de todas las corrientes.

Se han preparado algunas gráficas para la determinación de la temperatura óptima de salida del agua de enfriamiento. Empero, los factores económicos no están bien definidos y el uso de tales gráficas es cuestionable. En base a ciertas condiciones se puede hacer la selección de la temperatura del agua de salida. Muchas veces es necesario mante-

ner la velocidad de flujo por encima de 1.22 m/s con objeto de prevenir el desarrollo de algas, además hay que evitar el calentamiento del agua a temperaturas mucho mayores a 120°C para no tener una corrosión excesiva. Donde se emplea torre de enfriamiento de agua, la operación de la torre debe considerarse junto con la selección de la temperatura del agua de salida. Cuando entre dos corrientes de proceso se está efectuando un intercambio de calor, las temperaturas óptimas deben ser determinadas por medio de un estudio económico, haciendo un balance entre los costos del cambiador y los costos de los servicios. Este estudio debe incluir los cambiadores, enfriadores y calentadores requeridos para las dos corrientes consideradas, ya que una alteración en las temperaturas de salida y de entrada del cambiador de calor, afectará el tamaño de las otras unidades.

2. Establecer el recorrido de los fluidos. Los fluidos de alta presión y los fluidos corrosivos deben ser dirigidos por el interior de los tubos, ya que es más barato diseñar un tubo para alta presión que una coraza para el mismo efecto; circulando el fluido por el interior de los tubos, sólo éstos deben ser resistentes a la corrosión. Fluidos que produzcan mucho ensuciamiento también se deben dirigir por el interior de los tubos. Volúmenes grandes o muy pequeños de fluidos, así como fluidos viscosos, circulan mejor a través de la carcasa.

3. Suponer un coeficiente total de diseño y se calcula una área tentativa.

4. Seleccionar la longitud, arreglo, espaciamiento y diámetro de los tubos. Se recomienda la estandarización; ya que facilita el mantenimiento, requiere el almacenamiento de menos partes y le da un aspecto más atractivo a la planta. Es bueno mencionar, que los tubos cortos son más caros, por pie cuadrado, que los tubos más largos (de 12 a 16 pies, o sea de 3.66 a 4.87m).

5. Determinar el número mínimo de pasos, con base en el número total de tubos correspondientes al área tentativa. El número de pasos de tubos depende de la caída permisible de presión y del costo de construcción. En este punto, se debe hacer una verificación de la caída de presión en los tubos, para tener la certeza de que el número escogido de pasos de tubos es satisfactorio.

6. Se selecciona el número de pasos de carcasa que dé un factor de corrección ( $F_t$ ) de 0.75 a 0.80 o mayor, para la diferencia media logarítmica de temperaturas.

7. Seleccionar un cambiador estándar que satisfaga lo mejor posible los requerimientos de los incisos 3,4,5 y 6. Determinar el coeficiente de transmisión del lado de los tubos.

8. Se prosigue con la carcasa y se supone, un espaciamiento de deflectores, utilizando un espaciamiento pequeño - para una cantidad pequeña de fluido y un espaciamiento grande para una cantidad grande. Estos espaciamientos pueden ser variados desde una quinta parte del diámetro de la carcasa - hasta un diámetro de la misma, con objeto de satisfacer los requerimientos de transmisión de calor y caída de presión de la carcasa.

9. Determinar el coeficiente del lado de la carcasa.

10. Determinar el coeficiente total, "limpio", luego - un coeficiente de diseño basado en factores apropiados de espaciamiento.

11. Determinar el área requerida. Se compara ésta con el área superficial de la unidad seleccionada. La selección ideal, es la mínima área que produzca la transmisión de calor requerida. Si el cambiador seleccionado no satisface los requerimientos, es necesario suponer una unidad con mayor -- área superficial y repetir el procedimiento.

Costos del Equipo de Transferencia de Calor. Los factores que más afectan el costo del equipo de transferencia de calor, se indican en la siguiente lista:

1. Area de transferencia de calor.
2. Diámetro de los tubos.
3. Longitud de los tubos.
4. Presión.
5. Materiales de construcción de los tubos y coraza.
6. Cantidad y tipo de baffles.
7. Soportes, auxiliares, e instalación.
8. Equipo especial, tal como: cabezas flotantes; cubiertas móviles; vueltas en U, etc.

Algunas firmas constructoras, se especializan en cierto tipo de intercambiadores y, por lo tanto, pueden dar una cotización menor en su especialidad que otros fabricantes. Como resultado de ésto, se deben obtener cotizaciones de precios de varios fabricantes, antes de decidirse por alguno.

En el apéndice número 1, se presenta una tabla con las ecuaciones de diseño para un intercambiador.

#### SISTEMA DE TUBERIA.

En el desarrollo de un sistema de tubería se deben de tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Selección de los materiales y tamaño requerido.
2. Efectos del nivel y cambios de temperatura:

- a. Aislamiento.
  - b. Expansión térmica.
  - c. Enfriamiento.
3. Flexibilidad del sistema para cambios físicos y térmicos.
  4. Soportes adecuados.
  5. Alteraciones en el sistema y en el servicio.
  6. Mantenimiento e inspección.
  7. Fácil instalación.
  8. Líneas auxiliares.
  9. Seguridad.

Originalmente, se enterraban las líneas de tubería, - aunque las ventajas de un costo inicial bajo, ya que no requiere de soportes y la tierra provee el aislamiento, éste - tipo de instalación tiene las desventajas de que es difícil la reparación de fugas y algunas veces imposible. Las líneas de tubería sobre la tierra han resultado ser más económicas, y ahora la mayoría de las plantas han adoptado éste sistema.

La expansión térmica y la resistencia de la tubería - se debe considerar en cualquier sistema de tubería. La flexibilidad necesaria se puede obtener mediante el uso de abrazaderas de expansión, cambios en la dirección, uniones con fuelle, etc.

Para evitar la solidificación de un fluido en la tubería, el uso de válvulas de drenado, y el tener un buen aislamiento es recomendable.

Se debe de evitar la formación de bolsas de líquido - en las líneas de vapor, mediante el uso de trampas de vapor.

El sistema de tubería se debe de diseñar de tal forma que el mantenimiento y la inspección sean fácil de realizar. Las consideraciones de seguridad, dependen del tipo de fluido, de la temperatura y de la presión.

Uniones y Auxiliares en Sistema de Tubería. Uniones, rebordes, válvulas, medidores de flujo, trampas de vapor, y muchos otros auxiliares son usados en un sistema de tubería, para unir piezas de tubería, cambiar la dirección del flujo, regular el flujo, u obtener determinadas condiciones en el sistema. Los rebordes se usan para conexiones, cuando el diámetro del tubo es de 3 pulgadas o mayor, mientras que uniones de rosca se usan para diámetros menores.

El equipo auxiliar en los sistemas de tubería, debe tener la suficiente resistencia para soportar la presión o cualquier otro factor que surja en el proceso; a éste equipo se le debe de dar un gran margen de seguridad. Uniones, - -



trampas de vapor, válvulas y objetos similares, se clasifican de acuerdo a la presión de operación en la cual son seguros: (a) baja presión,  $1.724 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> (25 psia), (b) estándar,  $8.619 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> (125 psia), (c) extra fuerte,  $1.724 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> (250 psia), (d) hidráulico,  $2.068 \times 10^6$  a  $6.895 \times 10^7$  (300 a 10000 psia).

#### Costos del Sistema de Tubería.

La tubería es uno de los factores más importantes en el costo de una planta química. Estos costos pueden ser tan altos como el 80% del costo total del equipo comprado. Existen métodos para hacer un costo estimado de la tubería; pero para encontrar costos reales para tubos, válvulas y auxiliares del sistema de tubería, se pueden obtener solamente por una cotización directa del fabricante.

#### BOMBAS.

Las bombas son usadas para transportar fluidos de un lugar a otro. El transporte se lleva a cabo, aumentando la presión del fluido y con ello se proporciona la fuerza necesaria para fluir.

Varios factores influyen en la selección final de una bomba en una operación particular. En la siguiente lista se indican, los factores principales en una selección:

1. La cantidad de fluido que se debe bombear. Este -- factor determina el tamaño necesario de la bomba.

2. Las propiedades del fluido. La densidad y la visco sidad del fluido influyen sobre la potencia requerida en la bomba para determinado proceso; la corrosividad de los flui dos determinan el material de construcción indicado. Si hay partículas sólidas suspendidas en el fluido, éste factor de termina la cantidad de espacio necesario y puede eliminar la posibilidad de usar cierto tipo de bombas.

3. El aumento de la presión del fluido proporcionado por las bombas. El cambio de cabezal en la entrada y en la salida de la bomba, está directamente relacionado a la pre-- sión de entrada del fluido y la presión de salida requerida, de acuerdo a los cambios de altura en la tubería y efectos de fricción. Este factor determina los requerimientos de potencia.

4. Tipo de distribución de flujo.

5. Forma de proporcionar la energía a la bomba.

6. Costo y eficiencia mecánica de la bomba.

Tipos de Bombas Químicas.

Debe notarse que no todos los tipos de bombas se en-- cuentran disponibles en cualquier material de construcción,

y la selección final del tipo de bomba puede depender de la disponibilidad de diseño en el material adecuado.

**Bombas centrífugas.** Las bombas centrífugas se usan extensamente en la industria química porque son adecuadas para prácticamente cualquier servicio. Existen en infinidad de materiales resistentes a la corrosión. Aunque no se construyen en tamaños demasiado grandes, son comunes las bombas con capacidades en las gamas de  $0.315 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$  (5000 a -- 6000 gpm). Las cargas pueden ser tan altas como de 152.4 a 182.88 m (500 a 600 pies), a las velocidades normales de los motores eléctricos. Las bombas centrífugas están normalmente montadas en posición horizontal, pero también se pueden instalar en forma vertical, suspendidas en un tanque o colgadas en una tubería, en forma similar a una válvula. Son simples, económicas, confiables y eficientes. Las desventajas son: un rendimiento reducido cuando manejan líquidos muy viscosos y la tendencia a perder el cebado cuando en un líquido hay cantidades relativamente pequeñas de aire o vapor.

**Bombas rotatorias.** Para el servicio de alta presión, se usan las bombas del tipo de engrane, tornillo, álabe flexible, pistón axial y de leva. Son particularmente adecuadas para el bombeo de líquidos de alta viscosidad, o baja presión de vapor. Su desplazamiento constante a velocidades fi-

jas las hace ideales para el dosificado de pequeñas cantidades de líquido. Puesto que operan bajo el principio del desplazamiento positivo, son inherentemente de autocebado. Cuando se construye de materiales que tienden a gastarse, o, a adherirse al contacto por frotación, los claros entre las superficies en contacto deben incrementarse, con el resultado de una disminución en la eficiencia. Por lo general, las unidades de engranes, de álabes deslizantes y de levas, están limitadas a usarse en líquidos claros y no abrasivos.

Bombas de diafragma. Estas unidades también están clasificadas dentro de las bombas de desplazamiento positivo, puesto que el diafragma actúa como un pistón de desplazamiento limitado. La acción de bombeo se logra cuando el diafragma es forzado al movimiento recíprocante por medio de un sistema mecánico, aire comprimido o aceite de una fuente externa de pulsación. Este tipo de construcción elimina cualquier conexión entre el líquido que se está bombeando y la fuente de energía eliminando así la posibilidad de fugas. Esta característica es de gran importancia cuando se manejan líquidos tóxicos o muy caros. Las desventajas son: una selección limitada de materiales resistentes a la corrosión, una gama limitada de carga y capacidad, y la necesidad de usar válvulas de retención en las boquillas de succión y de descarga.

Bombas de turbina regenerativa. Con éste tipo de bombas se manejan fácilmente flujos hasta de  $6.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  - (100 gpm) y cargas hasta de 213.36 m (700 pies). Cuando se usan para servicio químico, los claros internos deben aumentarse para evitar el contacto por frotación, lo que origina una disminución en la eficiencia. Estas bombas son generalmente adecuadas para mezclas de sólidos con líquidos, a cualquier concentración.

#### COMPRESORES DE GAS.

El traslado de gases se puede llevar a cabo mediante el uso de ventiladores, sopladores, bombas de vacío y compresores. Los ventiladores se usan para mover gases cuando las diferencias de presión son menores de  $3447.4 \text{ N/m}^2$  (0.5 psia). Sopladores centrífugos pueden manejar grandes volúmenes de gases, pero la presión de salida está limitada a  $3.447 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  (50 psia). Los compresores recíprocos, se pueden usar en un gran rango de capacidad y de presión, y además pueden operar en un gran número de procesos industriales; los tamaños pueden variar desde menores de 745.7 W hasta  $2.237 \times 10^6 \text{ W}$  (1 hp a 3000 hp), y algunos tipos pueden entregar presiones hasta de 4000 atm.

## PARTE EXPERIMENTAL

## III.- PARTE EXPERIMENTAL.

Con el fin de obtener las mejores propiedades en la película del producto final, se realizaron cinco experimentos, variando la forma de adición de los monómeros. Estos experimentos son la base para diseñar el equipo industrial.

A continuación se expone una descripción de la experimentación:

## APARATO UTILIZADO:

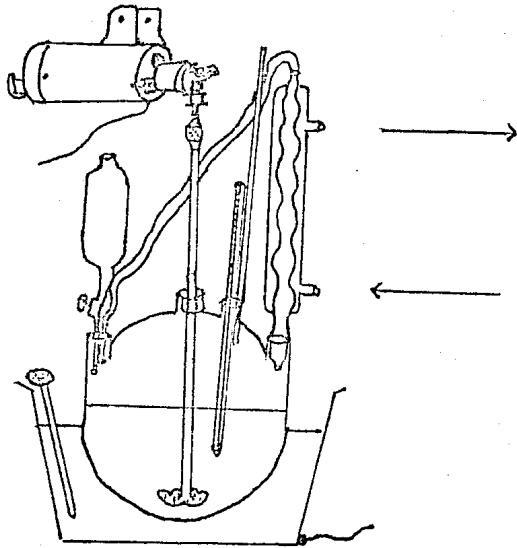


Fig. 2. Aparato de laboratorio.

#### MATERIAL EMPLEADO.

Un matraz de cuatro bocas de 2000 ml, 2 termómetros - de -10 a 110°C, 1 refrigerante, 1 agitador de velocidad variable y flecha de acero inoxidable, embudo de separación de 250 ml, 1 baño de agua con calentador de resistencia 1 tubo de vidrio que actúa como válvula de escape.

#### SUSTANCIAS.

Acetato de vinilo, acrilato de 2-etilhexilo, natrosol, crisanol, aerosol, persulfato de amonio, antiespumante NDW, bicarbonato de sodio y agua.

#### PROCEDIMIENTO.

En 550 ml de agua disolver, el natrosol, crisanol, -- aerosol y parte del bicarbonato de sodio; calentar la solución hasta 92°C, agitar durante aproximadamente 30 minutos y dejar enfriar. Mientras tanto, mezclar el acetato de vinilo y el acrilato de 2-etilhexilo y, cuando la solución esté a - 68°C agregar el 10% de la mezcla; un poco antes (2 minutos), agregar aproximadamente la mitad de persulfato de amonio. Calentar, cuidando que la temperatura en el baño no sobrepase 85°C; cuando deje de reflujar, se comienza con la adición de la mezcla de monómeros, tratando de que ésta termine en - cuatro horas. Si no hay reacción agregar un poco de persulfato



to, bicarbonato y agua, esperar 20 minutos continuando la --  
agitación y enfriar. Es recomendable, que al final se le ha-  
ga vacfo para extraer el monómero no reaccionado.

#### FORMULACION.

Emulsión vinil-acrílica, con 55% de sólidos totales.

Para un reactor de dos litros:

agua. . . . .	675g.
natrasol (hidroxipropil celulosa)	15g.
crisanol. . . . .	15g.
aereosol (alcohol láurico). . . .	9g.
bicarbonato de sodio. . . . .	1.5 g
persulfato de amonio. . . . .	3g.
2-etilhexil acrilato. . . . .	165 g
acetato de vinilo . , . . . . .	630 g

#### CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO.

Se busca un producto que reúna las siguientes caracte-  
rísticas:

1. Buena fluidez, viscosidad entre 2000 y 3000 centi-  
poises.
2. El pH ligeramente ácido entre 5.0 y 6.0.
3. Sólidos totales 55%.
4. El tamaño de partícula entre 0.018 y 0.022 mm.
5. El tiempo óptimo en la adición de la mezcla de mo-  
nómero es de 4 horas.

En base a los parámetros anteriores, se determinará - el experimento en el cual se obtiene el mejor producto final.

#### Experimento No. 1.-

En este experimento la adición de la mezcla de monóme ro fué constante, durante todo el transcurso de la reacción:

Se tuvieron varios problemas en el transcurso del ex- perimento; ya que hubo momentos en los cuales se tuvo que -- suspender la adición de monómeros debido a que subió mucho -- el nivel de la solución formando mucha espuma, y no habfa -- reacción; se controló el problema añadiendo unas gotas de an tiespumante y un poco de persulfato de amonio para provocar la reacción. Debido a ésto, el tiempo empleado en completar la adición de la mezcla de monómeros fué de 5:45 hrs. y no -- de 4:00 hrs. como se pretendía.

Al finalizar la prueba, no se le hizo vacío al reac-- tor, la emulsión presentaba en su superficie una gran canti- dad de pequeñas burbujas de aire, lo cual no es recomendable ya que la película no tiene uniformidad. Los resultados de - las pruebas al producto terminado fueron los siguientes:

Viscosidad (aguja número 4, 30 r.p.m.) = 3000 cp

Tamaño de partícula = 0.014 mm

Sólidos totales = 51.00%

pH = 4.0

Se obtuvo un rendimiento aproximado de 1.380 Kg.

Los resultados muestran, que el producto tiene un pH bajo, debido a que le quedó monómero sin reaccionar; además, la viscosidad es alta, y, por lo tanto no se tiene la fluidez requerida en la película.

#### Experimento No. 2.-

Se repitieron las condiciones del experimento No. 1, - la alimentación de la mezcla de monómeros fué constante durante todo el trayecto de la reacción.

En ésta prueba, se tuvieron los mismos problemas de - que subió el nivel de la emulsión y se tuvo que aumentar la velocidad de agitación, así como agregarle persulfato de amonio. El tiempo transcurrido durante la adición de monómeros fue de 6:30 Hrs.

El tiempo que duró el reflujo fué de 30 minutos; con un flujo de agua en el condensador de 40 ml/s. El reflujo comenzó con una temperatura de 67°C en el reactor y 74°C en el baño, y, dejó de reflujar con una temperatura en el baño de -

82°C y 78°C en el reactor.

Durante la reacción, la temperatura se mantuvo la mayor parte del tiempo en el baño a 74°C, y en el reactor en 76°C.

Al término del experimento, se procedió a hacerle vacío al reactor, y extraer el monómero no reaccionado. La presión se bajó de 640 mm Hg a 390 mm Hg, haciendo un vacío de 250 mm de Hg.

Los resultados de las pruebas a la emulsión final son:

Viscosidad (aguja número 4, 30 r.p.m.) = 3100 cp

Tamaño de partícula = 0.016 mm

Sólidos totales = 53.00 %

pH = 5.0

Se tuvo un rendimiento aproximado de 1.390 Kg.

Las propiedades del producto, son muy parecidas a las obtenidas en el experimento número 1.

## Experimento No. 3.-

La forma de adición fué de menos a más; los caudales de alimentación varían en intervalos de 30 minutos, aumentando en cada intervalo. El flujo de la mezcla de monómeros fué de acuerdo al siguiente orden:

1.- 63 ml/30 min	_____	2.1 ml/min
2.- 73 ml/30 min	_____	2.43 ml/min
3.- 83 ml/30 min	_____	2.77 ml/min
4.- 93 ml/30 min	_____	3.10 ml/min
5.- 103 ml/30 min	_____	3.43 ml/min
6.- 113 ml/30 min	_____	3.77 ml/min
7.- 123 ml/30 min	_____	4.10 ml/min
8.- 130 ml/30 min	_____	4.33 ml/min

El tiempo transcurrido en la adición fué de 4:19 hrs., únicamente en los tres últimos intervalos se desestabilizó un poco el sistema, subiendo el nivel de la emulsión dentro del reactor, pero fué en períodos pequeños y, se controló aumentando la agitación mientras se volvía al estado normal.

El reflujo duró 35 minutos con un flujo de agua en el condensador de 27 ml/s; al iniciarse la temperatura en el reactor era de 66°C y en el baño de 71°C, y al dejar de reflujar la temperatura en el baño y en el reactor era de 79°C.

La temperatura en el reactor durante la reacción osciló entre 76°C y 78°C; y en el baño se mantuvo entre 73°C y 76°C.

Se le hizo vacío al sistema y extraer el monómero no-reaccionado; de 640 mm de Hg se bajó la presión a 480 mm de Hg, haciéndose un vacío de 160 mm de Hg.

Los resultados de las pruebas al producto final son:

Viscosidad (aguja número 4, 30 r.p.m.) = 2300 cp

Tamaño de partícula = 0.020 mm

Sólidos totales = 53.25%

El rendimiento aproximado en este experimento fué de , 1.405 kg.

Los resultados de éste experimento se acercan más a los óptimos.

#### Experimento No. 4.-

La adición de monómeros fué variando de más a menos; los caudales de alimentación fueron en orden inverso que en el experimento número 3, comenzando con el de mayor cantidad y finalizando con el de cantidad mínima.

Se buscó que cada período de alimentación fuera de 30 minutos, pero fué imposible ya que se tuvieron problemas desde el comienzo de la adición, ésto es, subió mucho el nivel de la emulsión y hubo momentos en los que era demasiado el flujo de monómeros y éstos no reaccionaban, sino que se formó una capa transparente de monómeros sin reaccionar, ocasionando un aumento en la temperatura, pues hubo momentos en que llegó hasta 82°C, dentro del reactor. Se controló el problema, aumentando la agitación en el sistema, agregándolo persulfato de amonio y unas gotas de antiespumante, así como disminuyendo el caudal de alimentación. El tiempo transcurrido en la adición de la mezcla de monómeros fué de 5:15 hrs.

El reflujo, al añadirle el 10% de la mezcla de monómeros duró 30 minutos con un flujo de agua en el condensador de 28 ml/s, al iniciarse, la temperatura en el baño era de 83°C, y en el reactor de 80°C. Durante la reacción, también hubo reflujo, pues el contenido de monómeros en el reactor era muy grande.

Al concluir la adición de monómeros, se le hizo vacío al sistema, y extraer el monómero sin reaccionar; el vacío fué de 175 mm Hg.

Los resultados de las pruebas a la emulsión final son:

Viscosidad (aguja número 4, 30 rp.p.m.) = 2200 cp

Tamaño de partícula = 0.020 mm

Sólidos totales = 52.50%

pH = 5.0

Se obtuvo un rendimiento aproximado de 1.400 kg.

#### Experimento No. 5.-

Se repitieron las condiciones del experimento número 3, la adición de la mezcla de monómeros se hizo aumentando - cada 30 minutos el caudal, utilizando los mismos volúmenes - uegen dicho experimento.

El tiempo empleado en la alimentación de los monóme-- meros fué de 4:24 hrs., hubo momentos en que subió el nivel - de la emulsión y la temperatura en el reactor, pero se con-- troló aumentando la agitación y disminuyendo el caudal de -- alimentación de monómeros, hasta volver al estado estaciona-- rio.

El reflujo duró 28 minutos, con un flujo de agua en - el condensador de 25 ml/s, al iniciarse la temperatura en el reactor era de 65°C y en el baño de 74°C, y, al finalizar de 80°C en el baño y de 76°C en el reactor.



Al terminar la reacción se le hizo vacfo al sistema, bajando la presión hasta 465 mm de Hg, siendo el vacfo de -- 175 mm de Hg.

Los resultados de las pruebas al producto final son:

Viscosidad (aguja número 4, 30 r.p.m.) = 2300 cp

Tamaño de partícula = 0.018 mm.

Sólidos totales = 53.00

pH = 5.0

Se obtuvo un rendimiento aproximado de 1.405 Kg de po límero.

#### OBSERVACIONES CUALITATIVAS EN LOS EXPERIMENTOS.

1. La forma de adición de la mezcla de monómeros, es muy importante, ya que tiene gran influencia en las propiedades y en el comportamiento del producto final. Según los resultados obtenidos la mejor forma de adición es de menos a más, es decir comenzar la adición con el caudal más pequeño y finalizar con el mayor.

2. El control de temperatura debe ser estricto, ya que la reacción es exotérmica, y un aumento descontrolado en la temperatura puede ocasionar una explosión, o en el menor de los casos un producto de baja calidad.

3. El caudal de alimentación debe ser controlad, ya que un exceso de monómeros inhiben la reacción.

4. Debe de variarse la velocidad de agitación, ya que conforme avanza la polimerización, aumenta la viscosidad de la emulsión, y es necesaria una mayor agitación y así provocar una mayor interacción entre las partículas favoreciendo la reacción.

IV

DISENO DE EQUIPO INDUSTRIAL

## IV.- DISEÑO DE EQUIPO.

En el siguiente esquema, se representa el diagrama de flujo de la planta productora del impermeabilizante.

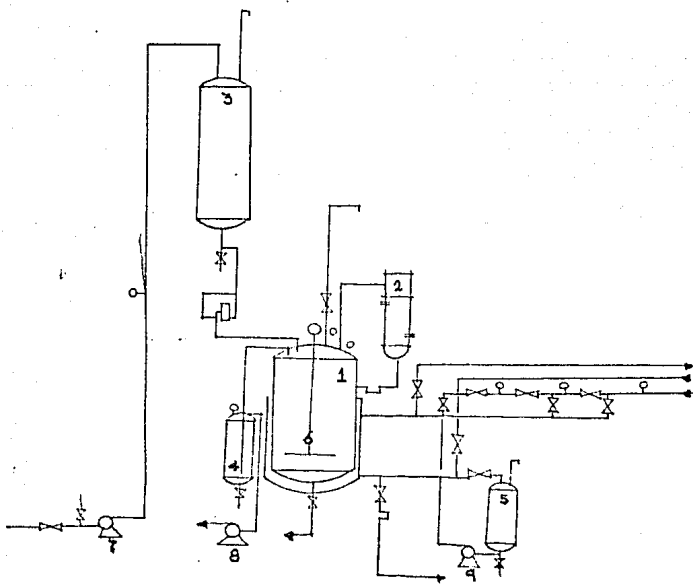


Fig. 3. Diagrama de flujo.

En la siguiente lista se enumera el equipo industrial de más importancia en la planta de proceso:

- 1.- Reactor.
- 2.- Condensador.
- 3.- Tanque de alimentación.
- 4.- Tanque de la bomba de vacfo.
- 5.- Tanque del agua caliente.
- 6.- Agitador.
- 7.- Bomba de alimentación.
- 8.- Bomba de vacfo.
- 9.- Bomba del agua caliente.

#### REACTOR.-

Para la producción del impermeabilizante, se utilizará un reactor con revestimiento calefactor para el control de temperatura. El volumen del reactor se ha fijado, en 5000 litros, teniendo una producción aproximada de impermeabilizante, de 3500 litros por carga; utilizando las siguientes cantidades de reactivos:

agua: 1687.5 kilogramos

hidroxi-propil celulosa (natrasol 250): 37.5 kilogramos.

nonil fenol etoxilado-10 moles (aerosol): 22.5 kilogramos.

alcohol oleico etoxilado-10 moles (aerosol): 22.5 kilogramos.

bicarbonato de sodio: 3.75 kilogramos.

persulfato de amonio: 7.50 kilogramos

acetato de vinilo: 1575.00 kilogramos

acrilato de 2-etilhexilo: 412.5 kilogramos.

Dimensiones básicas.-

El reactor es un tanque cilíndrico, con cabezales elipsoidales y con una relación de largo a ancho,  $L/D = 1.5$

$$V = 1/4 \pi D^2 L = 5000 \text{ litros} = 5.0 \text{ m}^3$$

$$V = 1/4 \pi D^2 (1.5 D) = 5.0$$

$$D^3 = 5.0 / 1.178 = 4.244$$

$$D = 1.619 \text{ m}$$

$$L = 2.429 \text{ m.}$$

Espesor de la coraza:

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6P} + C \quad (1)$$

El material de construcción seleccionado es el acero inoxidable 304, ya que ofrece gran resistencia a la corrosión, y evita una posible contaminación del producto.

La presión de operación del reactor es de  $3.447 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  (50 psia), y la temperatura de  $82^\circ\text{C}$ ; la tolerancia a la

corrosión es de 0.318 cm (0.125 plg), eficiencia de las juntas de 0.80 y el esfuerzo admisible para el acero inoxidable de  $7.24 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  (10500 psia).

$$t = \frac{50 (31.870)}{10500(0.80) - 0.6(50)} + 0.125 = 0.315 \text{ plg}$$

$$= 0.800 \text{ cm.}$$

Espesor del cabezal elipsoidal:

$$t = \frac{P D}{2SE - 0.2P} + C \quad (1)$$

$$t = \frac{50(63.74)}{2(10500)(0.80 - 0.2(50))} + 0.125 = 0.315 \text{ plg}$$

$$= 0.800 \text{ cm.}$$

Peso de la coraza:

$$W'' = \pi D L t \rho_m \quad (1)$$

$$W'' = \pi (63.74) (95.630) (0.315) (0.290) = 1749.301 \text{ lbm}$$

$$= 794.183 \text{ Kg}$$

Peso de los cabezales:

$$W''' = \rho_m \left( \frac{\pi (nD + t)^2 t}{4} \right) \quad (1)$$

$$W''' = 0.29(2) \left( \frac{\pi (1.21(63.740) + 0.315)^2 (0.315)}{4} \right) = 712.393 \text{ lbm}$$

$$= 323.426 \text{ Kg}$$

Peso total:

$$W'' + W''' = 1749.301 + 712.393 = 2461.694 \text{ lbm}$$

$$= 1117.609 \text{ kg}$$

a éste peso, se le aumenta un 20% debido a los accesorios,

$$\begin{aligned}\text{Peso total} &= 2461.649 (1.20) = 2953.979 \text{ lbm} \\ &= 1341.131 \text{ Kg.}\end{aligned}$$

#### SISTEMA DE AGITACION.

El sistema de agitación consta de cuatro baffles verticales y una turbina de seis aspas.

La distancia de los baffles a la pared del reactor será:

$$\frac{D}{12} = \frac{1.6191}{12} = 0.135 \text{ m.}$$

Diámetro de la turbina:

$$\frac{D}{2} = \frac{1.6191}{2} = 0.810 \text{ m}$$

La distancia del fondo del reactor a las aspas, es un séptimo de la profundidad del líquido:

$$\frac{2.4286(0.75)}{7} = 0.260 \text{ m}$$

NOTA: En las ecuaciones de diseño se están usando unidades del Sistema Inglés, debido a que muchas constantes y propiedades de las materias primas; por costumbre se siguen usando en éste Sistema. Al final de cada ecuación, se presenta el resultado en unidades del Sistema Inglés y su equivalente en unidades del Sistema Internacional.



## TANQUE DE ALIMENTACION.

Este tanque servirá para alimentar al reactor el agua y los monómeros, su máxima capacidad de operación será cuando se haga la mezcla de dichos monómeros, ésto es:

412.500 kg de acrilato de 2-etilhexilo

1575.000 kg de acetato de vinilo

SUMA: 1987.500 kg

teniendo la mezcla una densidad de  $917 \text{ kg/m}^3$ , el volumen que ocupa es de,

volumen = masa/densidad

$$V = 1987.500/917.000 = 2.167 \text{ m}^3$$

por lo que un recipiente de 2500 litros, satisface las necesidades de la planta-

## DIMENSIONES BASICAS.

$$L/D = 2.9$$

$$V = 1/4 \pi D^2 L$$

$$V = 1/4 \pi D^2 (2.9D)$$

$$V = 2.278 D^3 = 2.500$$

$$D = 1.031 \text{ m}$$

$$L = 2.991 \text{ m.}$$

Espesor de la coraza:

Con el fin de evitar que se contaminen los monómeros,

el material seleccionado para la construcción de éste recipiente es el acero inoxidable 304. Ya que se trata de un tanque atmosférico, se utiliza la siguiente ecuación.

$$t = \frac{(2.6)(D)(L-1)(G)}{(E)(21000)} + C \quad [14]$$

$$t = \frac{(2.6)(3.383)(0.813 - 1)(1)}{0.80(21000)} + 0.125 = 0.130 \text{ plg}$$

$$= 0.329 \text{ cm}$$

Espesor del cabezal:

Se usarán cabezales elipsoidales. La presión de diseño es de  $1.379 \text{ N/m}^2$  (20 psia).

$$t = \frac{P D}{2SE - 0.2P} + C \quad [1]$$

$$t = \frac{20(40.591)}{2(10500)(0.8) - 0.2(20)} + 0.125 = 0.173 \text{ plg}$$

$$= 0.439 \text{ cm}$$

Peso de la coraza:

$$W' = \pi D L t \rho_m \quad [1]$$

$$W' = \pi(40.591)(117.756)(0.130)(0.29) = 566.115 \text{ lbm}$$

$$= 257.325 \text{ kg}$$

Peso de los cabezales:

$$W'' = \rho_m \left( \frac{\pi (nD + t)^2 t}{4} \right) \quad [1]$$

$$W'' = 2(0.29) \left( \frac{\pi (1.2(40.591) + 0.173)^2 0.173}{4} \right) = 188.307 \text{ lbm}$$

$$= 85.491 \text{ kg}$$

Peso total, incluyendo un 20% de los accesorios:

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= (566.115 + 188.307)(1.20) = 905.306 \text{ lbm} \\ &= 411.503 \text{ kg} \end{aligned}$$

TANQUE DEL AGUA CALIENTE Y TANQUE DE LA BOMBA DE VACIO.

Estos son dos tanques necesarios en el proceso, ya -- que uno facilita el control de temperatura en el reactor, -- manteniendo agua caliente en su interior; y el otro es un auxiliar en la etapa de extracción del monómero no reaccionado o etapa de vacío. Los dos recipientes se construirán del mismo volumen y éste se ha fijado en 400 litros. El material de construcción será acero al carbón en ambos. La presión de diseño en el tanque de agua caliente es de  $1.379 \text{ N/m}^2$  (20 psia) y en el de la bomba de vacío de  $6.205 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  (90 psia).

Dimensiones básicas.

$$L/D = 2.0$$

$$V = 1/4 D^2 L \pi$$

$$D^3 = 0.400/1.571$$

$$D = 0.634 \text{ m}$$

$$L = 1.268 \text{ m}$$

Espesor de la coraza:

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P} + C$$

{ 1 }

Para el tanque de agua caliente,

$$t = \frac{20(12.480)}{12000(0.80) - 0.6(20)} + 0.125 = 0.151 \text{ plg}$$

$$= 0.384 \text{ cm}$$

Para el tanque de la bomba de vacío,

$$t = \frac{90(12.480)}{12000(0.80) - 0.6(90)} + 0.125 = 0.243 \text{ plg}$$

$$= 0.616 \text{ cm}$$

Espesor de cabezales elipsoidales:

$$t = \frac{P D}{2SE - 0.2P} + C \quad (1)$$

Para tanque de agua caliente,

$$t = \frac{20(24.960)}{2(12000)(0.80) - 0.2(20)} + 0.125 = 0.151 \text{ plg}$$

$$= 0.384 \text{ cm}$$

Para el tanque de la bomba de vacío,

$$t = \frac{90(24.960)}{2(12000)(0.80) - 0.2(90)} + 0.125 = 0.242 \text{ plg}$$

$$= 0.615 \text{ cm}$$

Peso de la coraza:

$$W' = \widetilde{11} D L t \rho_m \quad (1)$$

Para el tanque de agua caliente,

$$W' = \widetilde{11} (24.960) (50) (0.151) (0.283) = 167.544 \text{ lbm}$$

$$= 76.065 \text{ Kg}$$

Para el tanque de la bomba de vacío,

$$W' = \widetilde{11} (24.960) (50) (0.243) (0.283) = 269.623 \text{ lbm}$$

$$= 122.409 \text{ Kg}$$

Peso de los cabezales:

$$W'' = \rho_m \left( \frac{11(nD + t)^2}{4} \right) \quad (1)$$

Para el tanque de agua caliente,

$$W'' = 2(0.283) \left( \frac{11(1.2(24.960) + 0.151)^2}{4} \cdot 0.151 \right) = 60.828 \text{ lbm} \\ = 27.616 \text{ kg}$$

Para el tanque de la bomba de vacío,

$$W'' = 2(0.283) \left( \frac{11(1.2(24.960) + 0.242)^2}{4} \cdot 0.242 \right) = 98.076 \text{ lbm} \\ = 44.527 \text{ kg}$$

Peso total incluyendo un 20% de accesorios:

Para el tanque de agua caliente,

$$W \text{ total} = (60.828 + 167.544)(1.2) = 274.046 \text{ lbm} \\ = 124.417 \text{ kg}$$

Para el tanque de la bomba de vacío,

$$W \text{ total} = (269.623 + 98.076)(1.2) = 441.239 \text{ lbm} \\ = 200.322 \text{ kg.}$$

CONDENSADOR.-

Para completar la reacción química es necesario mantener la mezcla de monómeros en su punto de ebullición. Para mantener una presión constante, el líquido volátil se hierve en el reactor y se regresa continuamente.

En este proceso el líquido volátil es el acetato de -

vinilo, siendo la mayor velocidad de evaporación en el momento de la adición del 10% de la mezcla. Tomando como base los resultados del experimento número 3, se obtuvo la siguiente velocidad de evaporación:

acetato de vinilo en el proceso =	1575 kg
acrilato de 2-etilhexilo =	<u>412,5 kg</u>
mezcla total =	1987.5 kg
10 % de la mezcla =	198.750 kg
acetato de vinilo en el 10% de mezcla =	198.750(0.79)
=	157.013 kg.

Ya que el reflujo duró 30 minutos, la velocidad de evaporación es:

$$157.013 \text{ kg}/30 \text{ min} = 3414.026 \text{ kg/h}$$

Con el margen de seguridad del 100%

$$\begin{aligned} \text{velocidad de evaporación} &= 3414.026(2) = 6828.052 \text{ kg/h} \\ &= 1381.714 \text{ lbm/h} \end{aligned}$$

(1) Balance de calor:

El acetato de vinilo va por dentro de los tubos.

$$Q = W\lambda = w c \Delta t = U_D A \Delta t_m \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{628.052(90.6)}{252} = 225799.650 \text{ Btu/h} \\ &= 66175.103 \text{ W} \end{aligned}$$

El agua va por el lado de la coraza, y entra a una temperatura de 77°F, y sale a 104°F.

$$w = 225799.650 / (1)(104 - 77) = 8362.95 \text{ lbm de agua}$$

$$= 3796.779 \text{ kg de agua}$$

(2) Cálculo de MLDT:

De acuerdo a las condiciones del sistema, la temperatura de ebullición del acetato de vinilo es de  $66^\circ\text{C}$  ( $150.8^\circ\text{F}$ ).

$$\text{MLDT} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}\right)} \quad [2]$$

$$\text{MLDT} = \frac{(150.8 - 77) - 150.8 - 104}{\ln\left(\frac{150.8 - 77}{150.8 - 104}\right)}$$

(3) Cálculo de la temperatura promedio:

$$t_a = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [2]$$

$$t_a = \frac{104 + 77}{2} = 90.5 \text{ } ^\circ\text{F} = 305.65 \text{ } ^\circ\text{K}$$

(4) Se usará un condensador vertical, con un paso en la cora za y un paso en los tubos, éstos tendrán una longitud supues ta de 5.5 pies, con un diámetro externo de  $3/4$  plg, 16 BWG, - arreglados con una separación de 1 plg.

Prueba:

(a) Suponer  $U_D = 100$

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta t_m} = \frac{225800}{(100)(59.28)} = 38.09 \text{ ft}^2 = 3.54 \text{ m}^2$$

(b) Número de tubos:

$$N_t = \frac{A}{L S_t} \quad [2]$$

$$S_t = 0.1963 \text{ ft} = 0.0598 \text{ m} \quad [2]$$

$$N_t = \frac{38.09}{(5.5)(0.1963)} = 35.280$$

Del número de tubos, [2]

Cantidad más cercana, 52 tubos, en una coraza de 10" D.I.

(c) coeficiente corregido:

$$A = 52(5.5)(0.1963) = 56.142 \text{ ft}^2 = 5.216 \text{ m}^2$$

$$U_D = \frac{225800}{56.142(59.280)} = 67.847 \text{ Btu/h(pie}^2)(^{\circ}\text{F)}$$

$$= 384.995 \text{ W/m}^2 (^{\circ}\text{K)}$$

Se calculará primero al lado de la coraza, ya que es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor - del lado del agua, para así establecer la temperatura de la pared del tubo en la condensación.

El espaciado de los deflectores se estableció en 2 -- pulgadas, para provocar una mayor turbulencia en el flujo y exista una mejor transferencia de calor.



$$(5) \quad a_s = \frac{D \cdot l \cdot (C \cdot B)}{144 P_t} \quad [2]$$

$$a_s = \frac{10(0.25)(2)}{144(1)} = 0.035 \text{ ft}^2 = 0.003 \text{ m}^2$$

$$(6) \quad G_s = w/a_s \quad [2]$$

$$G_s = 8362.950/0.035 = 238941.43 \text{ lb/(h)(ft}^2) = 1.168 \times 10^6 \text{ kg/h(m}^2)$$

$$(7) \quad A t_a = 90.5 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.80(2.42) = 1.936 \text{ lb/ft(h)}$$

$$De = 0.95/12 = 0.079 \text{ ft} = 0.024 \text{ m} \quad [2]$$

$$Re_s = De G_s / \mu \quad [2]$$

$$Re_s = 0.079(238941.43)/1.936 = 9750.193$$

$$(8) \quad J_H = 35 \quad [2]$$

$$(9) \quad A t_a = 90.5 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k = 0.36 \text{ Btu/h(ft}^2)(^\circ\text{F/ft)}$$

$$(c\mu/k) = (1(1.936)/0.36)^{1/3} = 1.752$$

$$(10) \quad h_o = J_H (k/De) (c\mu/k)^{1/3} = 1.752 \quad [2]$$

$$h_o = 35(0.36/0.079)(1.752) = 279.433 \text{ Btu/H(ft}^2)(^\circ\text{F)} = 1585.633 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

El fluido caliente (acetato de vinilo), va por dentro - de los tubos.

$$(11) \quad \text{Suponer } h_{i0} = 200$$

$$t_w = t_a + \frac{h_{i0}}{h_{i0} + h_o} (T_v - t_a) \quad [2]$$

$$t_w = 90.5 + \frac{200}{200 + 279.433} (150.8 - 90.5) = 115.65 \text{ }^\circ\text{F} \\ = 319.62 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$(12) \quad t_f = (t_w + T_v) / 2 \quad [2]$$

$$t_f = (115.65 + 150.80) / 2 = 133.21 \text{ } ^\circ\text{F} = 329.38 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$(13) \quad A \quad t_f = 134 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\mu_f = 0.33(2.42) = 0.80 \text{ lb/ft(h)}$$

$$k_f = 0.10 \text{ Btu/h(ft}^2\text{)} (^\circ\text{F/ft)}$$

$$s_f = 0.93$$

$$\rho_f = 0.93(62.5) = 58.125 \text{ lb/ft}^3$$

(14) El diámetro interno de un tubo de 3/4" es: [2]

$$D = 0.62 / 12 = 0.052 \text{ ft}$$

$$(15) \quad G' = W / N_t D \sqrt{T} \quad [2]$$

$$G' = 1381.714 / (52)(0.052) \sqrt{T} = 162.653 \text{ lb/(h)(ft)}$$

$$= 242.272 \text{ kg/(h)(m)}$$

$$(16) \quad Re_t = 4 G' / \mu_f \quad [2]$$

$$Re_t = 4(162.653) / 0.80 = 813.265$$

(17) Usando [2]

$$\bar{h} (\mu_f^2 / k_f^3 \rho_f^2 g)^{1/3} = 0.20$$

$$(18) \quad h_i = \bar{h} = \bar{h} (\mu_f^2 / k_f^3 \rho_f^2 g)^{1/3} (k_f^3 \rho_f^2 g \mu_f^2)^{1/3} \quad [2]$$

$$h_i = 0.20(0.10^3 \times 58.125^2 \times 4.17 \times 10^8 / 0.80^2)^{1/3}$$

$$= 260.168 \text{ Btu/h(ft}^2\text{)} (^\circ\text{F}) = 1476.314 \text{ W/m}^2 - ^\circ\text{K}$$

$$(19) \quad h_{i0} = h_i (D/D_{ext}) \quad [2]$$

$$h_{i0} = 260.168(0.62/0.75) = 215.072 \text{ Btu/h(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F})$$

$$= 1220.419 \text{ W/m}^2 - ^{\circ}\text{K}$$

Coefficiente total limpio:

$$U_C = h_{i0}(h_o)/(h_{i0} + h_o) \quad [2]$$

$$U_C = 215.072(279.433)/(215.072+279.433) = 121.532 \text{ Btu/h(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F})$$

$$= 689.629 \text{ W/m}^2 - ^{\circ}\text{K}$$

Factor de obstrucción:

$$R_D = (U_C - U_D)/U_C U_D \quad [2]$$

$$R_D = (121.532 - 67.847)/(121.532)(67.847)$$

$$= 0.007 \text{ h(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F})/\text{Btu} = 1.234 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{-}^{\circ}\text{K/W}$$

Caída de presión:

A.- En los tubos:

(1) Area de flujo:

$$a_t = 0.302 \text{ plg}^2 \quad [2]$$

$$a_t = N_t a_c / 144 \text{ in} \quad [2]$$

$$a_t = 52(0.302)/144(1) = 0.109 \text{ ft}^2 = 0.010 \text{ m}^2$$

(2)  $G_t = W/a_t$  [2]

$$G_t = 1381.714/0.109 = 12676.275 \text{ lb/h(ft}^2\text{)}$$

$$= 61946.615 \text{ kg/h (m}^2\text{)}$$

A la entrada:

$$\mu = 0.0097(2.42) = 0.0235 \text{ lb/ft(h)}$$

$$D = 0.62/12 = 0.0517 \text{ ft}$$

$$Re = 0.0517(20622.597)/0.0235 = 45369.713$$

$$f = 0.00019 \text{ ft}^2/\text{plg}^2$$

peso molecular, acetato de vinilo = 86.1

$$\rho = (86.1)(1)/(1.314)(339.15) = 0.1932 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = 0.1932/62.5 = 0.0031$$

$$(3) \Delta P_t = f G_t^2 L n / 2(5.22 \times 10^{10})(D)(s) \quad [2]$$

$$\Delta P_t = \frac{0.00018(12676.275)^2(5.5)(1)}{2(5.22 \times 10^{10})(0.0517)(0.0031)} = 0.0095 \text{ lb/plg}^2 = 65.501 \text{ N/m}^2$$

B.- En la coraza:

$$(1) \text{ Para } Re_s = 9750.193 \quad [2]$$

$$f = 0.0021 \text{ ft}^2/\text{plg}^2$$

$$(2) \text{ No. de cruces, } (N+1) = 12L/B \quad [2]$$

$$(N+1) = 12(5.5)/2 = 33$$

$$D_s = 10/12 = 0.833 \text{ ft}$$

$$s = 1$$

$$\rho_s = 1$$

$$(3) \Delta P_s = f G_s^2 D_s (N+1) / 5.22 \times 10^{10} (De)(s)(\rho_s)$$

$$\Delta P_s = \frac{0.0021(238941.43)^2(0.833)(33)}{5.22 \times 10^{10}(0.0792)(1)(1)} = 0.797 \text{ lb/plg}^2 = 5495.156 \text{ N/m}^2$$

## S U M A R I O

Lado de los tubos		lado de la coraza
215.072	h exterior	279.433
0.0095	P	0.797
$U_C$		121.532
$U_D$		67.847
$R_D$		0.007

## BOMBAS.-

Primeramente se calculará la potencia de la bomba requerida en el transporte de los monómeros.

Se usará tubería de 1 pulgada de diámetro (diámetro interno = 2.664 cm); el flujo de monómero se mantendrá en -- 28.317 lt/min (1 ft<sup>3</sup>/min). La diferencia de elevación entre la bomba y el punto de descarga es de 10 m (32.808 ft). La longitud total de la línea de tubería es de 25 m (82.021 ft); y, en el sistema se incluyen 3 codos de 90° y 1 válvula de globo. La temperatura se mantiene constante en 25°C.

(1) Velocidad promedio:

$$\bar{v} = \frac{Q}{\pi R^2}$$

[3]

$$\bar{v} = \frac{28.317/1000}{\pi(2.664/2(100))^2(60)} = 0.847 \text{ m/s}$$

A una  $t = 25^{\circ}\text{C}$ :

$$\rho \text{ (acetato de vinilo)} = 930.865 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ (acetato de vinilo)} = 0.432 \text{ cp}$$

$$(2) \quad \text{Re} = \frac{D \bar{v} \rho}{\mu} \quad [3]$$

$$\text{Re} = \frac{2.664(0.847)(930.865)}{100(4.32 \times 10^{-4})} = 48620.630$$

De [1]:

$$f = 0.0065$$

(3) La fricción debido a las distintas longitudes de tubería será:

$$E_v = \frac{2 \bar{v}^2 f \rho}{D} L_1 \quad [3]$$

$$E_v = \frac{2(0.847)^2(0.0065)(100)}{2.664} (25) = 8.752 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

(4) La fricción debido a la contracción brusca, a los 3 codos de  $90^{\circ}$ , a la válvula de globo y el ensanchamiento brusco será:

$$E_v = \sum_i (1/2 \bar{v}^2 e_{v_i}) \quad [3]$$

$$E_v = 1/2(0.847)^2(0.45 + 3(0.5) + 1 + 8) = 3.928 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$(5) \quad E_v = 8.752 + 3.928 = 12.680 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

(6) Balance total de energía:

$$\Delta(1/2 \bar{v}^2) + g \Delta h + \Delta(PV) + W_o + \sum E_v \quad [3]$$

Los puntos 1 y 2, se toman donde la velocidad lineal del fluido es despreciable, por lo tanto:

$$\frac{v_2^2}{2} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{v_1^2}{2} = 0$$

$P_1 = P_2 =$  presión atmosférica;  $V_1 = V_2$ , ya que se trata de un fluido incompresible.

$$-W_o = (9.81)(10) + 12.680 = 110.78 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Este es el trabajo (por unidad de masa) producido por el fluido en la bomba. Por lo tanto, la bomba comunica al fluido un trabajo de  $+ 110.78 \text{ m}^2/\text{s}^2$  o sea,  $110.78/0.81 = a - 11.293 \text{ m kgf/kgm}$ .

La velocidad de flujo de masa es,

$$w = Q\rho = (28.317/60(1000))930.865 = 0.439 \text{ kgm/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Por lo tanto } W_o &= (11.293)(0.439) = 4.961 \text{ kgf-m/s} \\ &= 0.066 \text{ hp} \end{aligned}$$

Dado que en el mercado no existen bombas con un motor de una potencia tan específica; se usará un motor de 0.5 hp de potencia, ya que en comparación con un motor más chico no hay mucha diferencia en el precio y ofrece un mayor servicio.

#### BOMBA DEL AGUA CALIENTE.

Esta bomba se usará para transportar el agua hacia el revestimiento calefactor del reactor.

Para hacer una buena selección de la bomba se requiere de la colaboración de los fabricantes. Por lo que en el caso de ésta bomba en donde se tiene que tomar en cuenta la presión que ejerce el vapor proveniente de la caldera, se ha determinado que con una bomba de 1 hp de potencia, se satisfacen las necesidades de la planta.

#### BOMBA DE VACIO.

El vacío se realiza con el fin de extraer el monómero (acetato de vinilo) no reaccionado, esto ayudará a obtener un producto más puro y evitar una posible degradación.

Se usará una bomba de 4 hp, de potencia ya que son las más comúnmente usadas en las plantas de proceso y más fáciles de conseguir con los fabricantes.

#### CALDERA.

El vapor es el medio más útil de calentamiento en esta planta. Un generador de vapor se compone de dos partes principales: el hogar, que proporciona el calor, y la caldera, en la cual el calor se transmite al agua en circulación.



para formar vapor.

Se producen diseños diferentes de generadores de vapor y cada uno es aplicable a una situación particular. Por lo que para hacer una buena selección es necesario consultar a los fabricantes y estudiar varias ofertas.

La selección del generador de vapor y de la presión de generación depende de los requerimientos de la planta y de los costos de operación.

En la planta se requiere vapor únicamente para el calentamiento del agua en la chaqueta del reactor, por lo que no se requiere una gran producción de aquél.

Se ha seleccionado una caldera de tubos de humo, ya que tienen un bajo costo inicial y operan bien bajo las cargas que son comunes en las plantas de proceso. Tienen una capacidad de producción de vapor de 454 a 6800 kg/h; y trabajan en un rango de presión de generación de vapor entre 1.05 y 17.7 kgf/cm<sup>2</sup>. En la planta se requiere una caldera que pueda generar vapor a una presión de 7 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Para tener un buen sistema de enfriamiento de agua en

la planta, se requiere una torre de enfriamiento que reúna las siguientes características.

Temperatura del agua caliente: 65°C (149°F)

Temperatura del agua fría: 25.55°C (78°F)

Temperatura de bulbo húmedo: 21.11°C (70°F)

Flujo de agua, litros/min: 150 (39.63 gal/min)

Usando[4]

Concentración de agua: 170 gal/(min)(sq.ft)

Area de la torre: 23.312 sq.ft(2.166 m<sup>2</sup>)

Potencia del ventilador: 1.00 hp

V

R E S U M E N

## V.- RESUMEN

En la siguiente lista, se enumera el equipo y materias necesarias para la realización del proyecto:

- Reactor de acero inoxidable, de 5000 litros de capacidad y equipado con chaqueta calefactora.
- Tanque de alimentación de acero inoxidable, de 2500 litros de capacidad.
- Tanque del agua caliente y tanque de la bomba de vacío, ambos de 400 litros de capacidad y hechos de acero al carbón.
- Condensador de reflujo.
- Bomba centrífuga, con un motor de 0.5 hp y un impulsor de 1 plg.
- Bomba de vacío, con una potencia de 4 hp.
- Bomba de 1 hp de potencia e impulsor de 1 plg.
- Medidor de flujo.
- 7 medidores de presión.
- 1 regulador y controlador de temperatura.
- 18 válvulas de globo y 1 válvula mezcladora.
- Caldera
- Torre de enfriamiento.

**Materias Primas:**

Se tomará como base un mes de producción (26 días laborables).

Si se producen 3500 kilos diarios de impermeabilizantes, se estima una producción mensual de:

$(3500)(26) = 91000$  kilos = 91.00 toneladas de impermeabilizante.

Para ésta producción se consumirán aproximadamente, - según los cálculos experimentales:

- 43.875 toneladas de agua
- 0.975 toneladas de hidroxipropil celulosa
- 0.975 toneladas de nonil fenol etoxilado-10 moles
- 0.585 toneladas de alcohol oleico etoxilado-10 moles
- 0.0975 toneladas de bicarbonato de sodio.
- 0.195 toneladas de persulfato de amonio
- 40.950 toneladas de acetato de finilo
- 10.725 toneladas de acrilato de 2-etilhexilo.

## C O N C L U S I O N E S

## C O N C L U S I O N E S

1.- El trabajo presenta las herramientas prácticas necesarias, para escoger el equipo industrial adecuado de la planta productora del copolímero de acetato de vinilo y acrilato de 2-etilhexilo por el método de emulsión, para utilizarlo como impermeabilizante.

2.- La experimentación se realizó con el fin de obtener una base para el cálculo del equipo industrial, determinando la forma óptima de adición de la mezcla de monómeros, tomando en cuenta la calidad del producto final así como sus propiedades.

3.- El control de temperatura dentro del reactor debe ser muy estricto, ya que la reacción es muy exotérmica y puede causar daños si no se tienen los cuidados requeridos.

4.- Con una producción de 91 toneladas mensuales de impermeabilizante, en poco tiempo se recuperará el capital invertido, ya que el producto ofrece ventajas sobre los impermeabilizantes ya existentes, además de que existe mucha demanda en el mercado para éstos productos.

## A P E N D I C E S



TABLA I

FORMULAS EMPLEADAS EN EL DISEÑO DE UN CONDENSADOR VERTICAL DE REFLUJO.

NOMENCLATURA.

- A : Superficie de transferencia de calor,  $ft^2$
- $a'_s$  : Sección transversal sumergida de la coraza,  $ft^2$
- $a'_t$  : Area de flujo por tubo,  $ft^2$
- $a_s$  : Area de flujo en la coraza,  $ft^2$
- $a_t$  : Area de flujo en los tubos,  $ft^2$
- B : Espaciado de los deflectores, plg
- $C'$  : Espaciado entre tubos, plg
- c : Calor específico del fluido frío,  $Btu/(lbm)(^{\circ}F)$
- D : Diámetro interior del tubo, ft
- $D_{ext}$  : Diámetro exterior del tubo, ft
- $D_e$  : Diámetro equivalente para transferencia de calor y caída de presión, ft
- f : Factor de fricción
- $G_s$  : Velocidad másica en la coraza,  $lbm/(h)(ft^2)$
- $G_t$  : Velocidad másica en los tubos,  $lbm/(h)(ft^2)$
- $G'$  : Carga de condensado para tubos verticales,  $lbm/(h)(ft)$
- g : Aceleración de la gravedad,  $ft/h^2$
- $h, h_i, h_o$  : Coeficiente de transferencia de calor: en general, para el flujo interior y para el exterior, respectivamente,  $Btu/h-ft^2-^{\circ}F$

- $h_{i0}$  : Valor de  $h_i$ , cuando se refiere al diámetro exterior, Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F  
 $\bar{h}$  : Valor promedio del coeficiente de película condensante entre dos puntos, Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F  
 $J_H$  : Factor para transferencia de calor, adimensional  
 $k$  : Conductividad térmica, Btu/(h)(ft<sup>2</sup>)(°F/ft)  
 $L$  : Longitud del tubo, ft  
 $MLDT$  : Media logarítmica de la diferencia de temperatura, °F  
 $N$  : Número de deflectores en 1 coraza  
 $n$  : Número de pasos en los tubos  
 $N_t$  : Número de tubos efectivos para la condensación.  
 $P_t$  : Espaciado de los tubos, plg  
 $P$  : Caída de presión, en general, lbr/plg<sup>2</sup>  
 $Q$  : Flujo de calor, Btu/h  
 $R_D$  : Factor de obstrucción combinado, (h)(ft<sup>2</sup>)(°F)/Btu  
 $Re$  : Número de Reynolds, adimensional  
 $s$  : Gravedad específica, adimensional  
 $T_1, T_2$  : Temperatura de entrada y salida del fluido caliente, respectivamente, °F  
 $t_1, t_2$  : Temperatura de entrada y salida del fluido frío, respectivamente, °F  
 $t_a$  : Temperatura promedio del fluido frío, °F  
 $t_f, t_w$  : Temperatura de la película y de la pared del tubo, respectivamente, °F  
 $T_v$  : Temperatura de ebullición del fluido caliente, °F

$U, U_c, U_D$ : Coeficiente total de transferencia de calor, coeficiente limpio y coeficiente de diseño, respectivamente, Btu/h( $^{\circ}$ F)

$W$  : Peso del flujo del fluido caliente, lbm/h

$w$  : Peso del flujo del fluido frío, lbm/h

$S_t$  : Superficie de los tubos por pie lineal, ft<sup>2</sup>

$\lambda$  : Calor latente de vaporización o condensación, Btu/lbm

$\mu$  : Viscosidad, lbm/(h)(ft)

$\rho$  : Densidad, lbm/ft<sup>3</sup>

$\varphi$  : Relación de viscosidad,  $(\mu/\mu_r)^{0.14}$ , adimensional.

$$1.1.- Q = W\lambda = w c \Delta t = U_D A \Delta t_m$$

$$1.2.- \text{MLDT} = \Delta t_m = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left( \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right)}$$

$$1.3.- t_a = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$1.4.- a_s = \frac{D.L. (C \cdot B)}{144 P_t}$$

$$1.5.- G_s = \frac{w}{a_s}$$

$$1.6.- \text{Re}_s = \frac{D_e G_s \rho}{\mu}$$

$$1.7.- h_o = J_H \frac{k}{D_e} \left( \frac{c \mu}{k} \right)^{1/3}$$

$$1.8.- t_w = t_a + \frac{h_{i0}}{h_{i0} + h_o} (T_v - t_a)$$

$$1.9.- t_f = \frac{t_w + T_v}{2}$$

$$1.10.- G' = \frac{W}{N_t \text{ DIT}}$$

$$1.11.- \text{Re}_t = \frac{4G'}{\mu_f}$$

$$1.12.- h_i = \bar{h} = \bar{h} \left( \frac{\mu_f^2}{k_f^3 \rho_f^2 g} \right)^{1/3} \left( \frac{k_f^3 \rho_f^2 g}{\mu_f^2} \right)^{1/3}$$

$$1.13.- h_{i0} = h_i \left( \frac{D}{D_{\text{ext}}} \right)$$

$$1.14.- A = N_t L S_t$$

$$1.15.- U_C = \frac{h_{i0} h_o}{h_{i0} + h_o}$$

$$1.16.- R_D = \frac{U_C - U_D}{U_D}$$

$$1.17.- a_t = \frac{N_t a'_t}{144 n}$$

$$1.18.- G_t = \frac{W}{a_t}$$

$$1.19.- (N + 1) = \frac{12 L}{B}$$

$$1.20.- \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{2 (5.22 \times 10^{10} D_s)}$$

$$1.21.- \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N + 1)}{5.22 \times 10^{10} D_e S \rho_s}$$

## A P E N D I C E II

## TABLA II.-

FORMULAS EMPLEADAS EN EL DISEÑO DE RECIPIENTES DE PARED DELGADA.

## NOMENCLATURA.

- C : Tolerancia por corrosión, plg  
 $D_1$  : Diámetro interior de la coraza, plg  
 E : Eficiencia de la junta, expresada como fricción.  
 n : 1.2 para  $D_1$  - 60 plg; 1.21 para  $D_1$  = 61-79 plg; 1.22 para  $D_1$  = 80-106 plg; 1.23 para  $D_1$  - 106 plg.  
 P : Presión de trabajo, lbf/plg<sup>2</sup>  
 R : Radio interior de la cubierta, plg  
 t : Espesor de la coraza o del cabezal, plg  
 W : Peso de la coraza, lb  
 W' : Peso de los cabezales, lb  
 L : Longitud del recipiente, plg.  
 $\rho_M$  : Densidad del metal, lb/plg<sup>3</sup>

II.1.- Espesor de coraza cilíndrica:

$$t = \frac{P R}{SE - 0.6P} + C$$

II.2.- Espesor de cabezales elipsoidales:

$$t = \frac{P D_1}{2SE - 0.2P} + C$$

III.3.- Peso de la coraza:

$$W = \pi D L t \rho_M$$

11.4.- Peso de los cabezales:

$$W_c = \rho_m \left( \frac{\pi (n D + t)^2 t}{4} \right)$$

## A P E N D I C E III

TABLA III

FORMULAS EMPLEADAS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DE  
 POTENCIA DE LAS BOMBAS.

## NOMENCLATURA

- D : Diámetro interno de la tubería, m
- $e_v$  : Factor de pérdidas por fricción
- $E_v$  : Pérdidas por fricción, kgf-m/kgm
- f : Factor de Fanning de la fricción
- h : Distancia vertical sobre un plano arbitrario, m
- L : Longitud de la tubería, m
- P : Presión interna sobre el líquido, kgf/m<sup>2</sup>
- Q : Flujo de líquido en la tubería, m<sup>3</sup>/s
- R : Radio interno de la tubería, m
- $\bar{v}$  : Velocidad media del fluido en la tubería, m/s
- V : Volumen específico del fluido, m<sup>3</sup>/kgm
- W<sub>o</sub> : Trabajo mecánico producido por la bomba sobre el fluido,  
 kgf-m/kgm
- $\rho$  : Densidad del fluido, kgm/m<sup>3</sup>
- $\mu$  : Viscosidad del fluido, kg/m-s

III.1.- Balance total de energía:

$$W_o = g \Delta h + \Delta 1/2(\bar{v})^2 + \Delta(PV) + \Delta E_v$$

### III.2.- Pérdidas por fricción:

Causa	Expresión general
-------	-------------------

Flujo a través de una  
conducción recta de  
tubo, de diámetro  
constante.

$$E_v = \frac{2 \bar{v}^2 f}{D} \sum_i L_i$$

Flujo a través de válv  
ulas, uniones, etc.

$$E_v = \sum_i (1/2 \bar{v}^2 e_v)_i$$

### III.3.- Velocidad media en la conducción:

$$\bar{v} = \frac{Q}{\pi R^2}$$

### III.4.- Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \bar{v} \rho}{\mu}$$

### III.5.- Velocidad de flujo másico:

$$w = \rho Q$$



## B I B L I O G R A F I A

## B I B L I O G R A F I A

1. Peters M., Timmerhaus K., Plant Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw Hill Book Co, New York, 1980.
2. Kern D., Procesos de Transferencia de Calor, C.E.C.S.A., México, 1976.
3. Bird R., Stewart W., Lightfoot E., Fenómenos de Transporte, Editorial Reverté, S.A., España, 1980.
4. Perry R., Chilton C., Chemical Engineers' Handbook, McGraw Hill Book Co, New York, 1973.
5. Karassik I., Krutzsh W., Fraser W., Messina J., Manual de Bombas, McGraw Hill Book Co, México, 1983.
6. Richardson H., Watson J., Plásticos Introducción a su Tecnología, Ediciones Aguillar, S.A., Madrid.
7. Badger W., Banchemo J., Introducción a la Ingeniería Química, McGraw Hill Book Co, México 1979:
8. Rase H., Barrow M., Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso, C.E.C.S.A., México, 1982.
9. Holman J., Transferencia de Calor, C.E.C.S.A., México, -- 1980.
10. Kirk, Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, Editorial Board, Vol. 1, 2, 15, 18, 21.

11. Grasselli J., Ritchey W., Atlas of Spectral Data and -- Physical Constants for Organic Compounds, C.R.C. Press.
12. Angove S., Developments in Spread Foam, Polysar International S.A.
13. Clark R., Greer D., Pole E., The Use of Latices in the- Industry, polymer Corporation Limited, Canada, 166.
14. Welded Steel Tanks for Oil Storage, A.P.I. Standard 650, Washington, 1980.