

300618

17

24

UNIVERSIDAD LA SALLE  
ESCUELA DE QUIMICA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

" DISEÑO, CONSTRUCCION Y ANALISIS DE RIESGO DE PROCESO  
PARA UN REACTOR DE POLIMERIZACION PARA EL  
LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA  
UNIVERSIDAD LA SALLE "

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

JORGE LECHUGA SALCEDO

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. JOSE LUIS GONZALEZ DIAZ

MEXICO, D.F., ENERO DE 1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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.

# INDICE

Tema	Página
I.- INTRODUCCION .....	1
II.- SISTEMAS DE REACCION .....	2
III.- PRINCIPIOS GENERALES DE LA POLIMERIZACION EN EMULSION	
3.1.- INTRODUCCION .....	5
3.2 TECNICAS .....	7
3.3 CONTROL DE TAMAÑO DE PARTICULA .....	9
3.4 PRUEBAS Y PROPIEDADES RELEVANTES .....	10
3.5 ACETATO DE VINILO .....	11
3.6 PROPIEDADES QUIMICAS .....	14
3.7 APLICACIONES .....	17
IV.- RESINAS ACRILICAS.	
4.1 TERMINOLOGIA .....	19
4.2 ESTRUCTURA DEL POLIMERO .....	25
4.3 PROPIEDADES QUIMICAS .....	27
4.4 MECANISMO DE POLIMERIZACION .....	29
4.5 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES .....	31
4.6 EFECTO DE LOS INICIADORES .....	32

## **V.- RESINAS ALQUIDALES**

5.1 INTRODUCCION .....	36
5.2 ACEITES Y ACIDOS GRASOS .....	37
5.3 PRUEBAS Y PROPIEDADES .....	40

## **VI.- REACTOR EXPERIMENTAL**

6.1 COMPONENTES DEL EQUIPO .....	42
6.2 MANUFACTURA DE RESINAS .....	42
6.3 MANUFACTURA DE RESINAS ALQUIDALES .....	44
6.4 MANUFACTURA DE RESINAS ACRILICAS .....	45

## **VII.- EQUIPO DE POLIMERIZACION INDUSTRIAL.**

7.1 TIPOS DE REACTORES .....	47
7.2 REACTOR UNIVERSAL .....	47
DIAGRAMAS DE PROCESO .....	51
DIAGRAMAS DE FLUJO .....	52
GRAFICAS DE CALENTAMIENTO .....	53

## **VIII.- ANALISIS DE RIESGO DE PROCESO**

8.1 INTRODUCCION .....	54
8.2 CONCEPTOS BASICOS .....	55
8.3 TIPOS DE REVISIONES .....	56

8.4	FORMA DE INICIO .....	57
8.5	METODOS DE REVISION .....	60
8.6	ESTUDIO DE RIESGOS Y OPERABILIDAD .....	61
8.7	SISTEMAS DE SEGURIDAD EN REACTORES INDUSTRIALES .....	64
8.8	ANALISIS HAZOP AL REACTOR EXPERIMENTAL .....	68
	CONCLUSIONES .....	69
	ANEXO PRACTICAS PROPUESTAS .....	70
	BIBLIOGRAFIA .....	73

# I.- INTRODUCCION

## I.- INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo de tesis es diseñar, construir y hacer un análisis de Riesgo de Proceso a un reactor intermitente para el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad La Salle, anexando una práctica experimental con el fin de complementar la cátedra de Ingeniería de Reactores, así como iniciar una nueva etapa en la Escuela de Química, que es la investigación de Cinética Química.

Dicho reactor tiene que ser pequeño, demostrativo y flexible en su diseño, para que se puedan estudiar, fenómenos cinéticos desde un punto de vista cualitativo así como de ser rentable en su mantenimiento y operación para poder aprovechar, tanto su objetivo didáctico como de investigación.

No se puede descuidar el aspecto de tener un equipo confiable, es decir, que mediante un análisis riguroso de riesgo de proceso tengamos una operación segura, por lo que tener siempre en mente la seguridad industrial como parte integral, en la formación de un ingeniero químico, convierte este punto en la parte medular de esta tesis.

Se eligió un sistema de reacción de polimerización como base de diseño y practica propuesta dada la importancia de estos compuestos a nivel industrial, así como ser una guía excelente para de desarrollo de una guía de seguridad de Reactores.

Se desarrollarán prácticas para efectuar polimerizaciones via radicales libres y por condensación. Se escogieron resinas de tipo acrílico, de tipo alquidal y poliésteres, se mencionará sobre el efecto inhibitor de las quinonas sobre reacciones que proceden via radicales libres.

## **II.- SISTEMAS DE REACCION**

## II.- SISTEMAS DE REACCION.

Muchos de los problemas que tiene que enfrentar el diseño mecánico de los sistemas de polimerización son comunes a las reacciones orgánicas ordinarias. En plantas químicas y en refinerías se manejan rutinariamente monómeros tóxicos e inflamables, catalizadores cuyo almacenamiento y manejo requiere de cuidados especiales.

En la mayoría de los casos los polímeros no presentan estos problemas (toxicidad e inflamabilidad). Por otra parte, a diferencia de los productos de bajo peso molecular, los polímeros generalmente no se someten a procesos de purificación por extracción, destilación o cristalización después de que se han formado. Se usan varias técnicas para la producción de los polímeros, polimerización en masa, solución, suspensión y en emulsión. Algunos de los criterios para el uso de estas técnicas están relacionadas con efectos de temperatura.

La conversión de un doble enlace a un enlace sencillo se acompaña de una reacción exotérmica, el calor de polimerización es del orden de 10 a 20 kcal/mol. Con monómeros de peso molecular alrededor de 100 g/gmol, calor específico de .5 cal/Cg. lo cual significa una elevación adiabática de temperatura de 200 a 400 grados centígrados.

A medida que el monómero se convierte en polímero, en un sistema homogéneo, la viscosidad tiende a aumentar rápidamente sin embargo se puede controlar dependiendo de la naturaleza de la reacción y de las propiedades que se le quiera impartir al polímero.

En la polimerización en fase condensada en monómero y el iniciador se combinan en un recipiente y se calientan a la temperatura necesaria. Este procedimiento, aunque es el más sencillo no siempre es el mejor. El polímero que se forma se puede disolver en el monómero obteniéndose una masa viscosa, que dificulta la transferencia de calor. El calor no puede escapar, por lo que el polímero puede carbonizarse. Cuando no se puede controlar la energía exotérmica el sistema se presuriza por incremento de temperatura y puede explotar.

Aún teniendo en cuenta los inconvenientes anteriores, la polimerización de etileno por el método de altas presiones es una polimerización en fase condensada y se efectúa a gran escala. Por fortuna este polímero no se disuelve en el

monómero. Es vez de ello se precipita en el fondo del reactor, y de ahí se retira.

La energía exotérmica constituye un problema, por lo cual es necesario controlar la temperatura y la transferencia de calor en forma estricta.

Los demás procedimientos de polimerización están diseñados para resolver el problema de transferencia de calor. En la polimerización en solución la reacción se efectúa en un disolvente que absorbe el calor y también reduce la viscosidad de la mezcla de reacción. No obstante, la polimerización en solución presenta ciertos problemas; con frecuencia es difícil eliminar las últimas huellas de disolvente del polímero, y también el disolvente puede participar en reacciones de transferencia de cadena, provocando la formación de polímeros de bajo peso molecular, no obstante, la polimerización en solución se emplea para polimerizaciones de etileno. El monómero se obtiene una mezcla de catalizador y polímero.

En la polimerización en suspensión, el monómero y el catalizador se suspenden en forma de gotitas en una fase continua, como el agua. Estas gotitas tienen una superficie considerable con respecto a su volumen, por lo que la transferencia de calor al agua es rápida. Las gotitas se mantienen en suspensión mediante agitación continua y también, de ser necesario, añadiendo un polímero soluble en agua como la metilcelulosa para aumentar la viscosidad de la misma.

Materiales inorgánicos como la arcilla, el óxido de aluminio y carbonato de magnesio, ejercen en efecto estabilizante similar en la suspensión. La necesidad de eliminar estas sustancias es una de las desventajas asociadas a su empleo.

El cloruro de polivinilo se fabrica con frecuencia por polimerización en suspensión.

El último procedimiento es la polimerización en emulsión, técnica que se desarrolló como parte del programa para la obtención de hule sintético durante la segunda guerra mundial.

Como implica su nombre, se emplea un agente emulsificante que suele ser un tipo de jabón. En la solución se forman micelas en las cuales las terminales hidrofóbicas no

polares de las moléculas de jabón se orientan hacia el interior y los grupos hidrofílicos polares se orientan hacia el exterior e interactúan con el agua. Si se añade monómero, este se absorbe en el interior de la micela formándose una partícula emulsionada estable. Si se añade más monómero del que pueda ser absorbido por las micelas se puede formar una fase separada del monómero que también se estabiliza gracias a las moléculas de jabón, y las gotitas tienen un diámetro de un micrómetro. Esta etapa se añade un iniciador soluble en agua denominado catalizador redox. Estas polimerizaciones deben de efectuarse en ausencia rigurosa de oxígeno, por que es un inhibidor del proceso.

Los radicales libres se difunden al interior de las micelas y la polimerización se efectúa en este sitio. La polimerización en el interior de una micela puede requerir hasta 10 segundos.

Se producen pesos moleculares muy altos, mayores que por cualquiera de los procesos anteriores. El producto es un látex, una dispersión de partículas sólidas en agua. Por ejemplo las redes cristalinas de acetato de polivinilo se emplean como tales para pinturas en emulsión.

Existen dos diferencias importantes entre la polimerización en emulsión y en suspensión. En la polimerización en emulsión el catalizador o iniciado se encuentra en fase acuosa, no disuelto en el monómero, y las partículas de polímero que se producen son cuando menos un orden de magnitud menor que las que se obtienen en la polimerización en suspensión.

El método de polimerización en solución es el más empleado en la fabricación de resinas para la manufactura de pintura automotriz y de repintado ya que el polímero se obtiene en solución con solvente. Es de fácil control de temperatura por medio de solvente y la pureza es aceptable.

### **III.- PRINCIPIOS GENERALES DE LA POLIMERIZACION EN EMULSION**

### **III.- PRINCIPIOS GENERALES DE LA POLIMERIZACION EN EMULSION.**

#### **3.1.- INTRODUCCION**

La polimerización en emulsión de los monómeros de vinilo para producir redes poliméricas son usadas intensamente para producir pinturas, papel y en aplicaciones adhesivas.

Una polimerización en emulsión esta compuesta por una dispersión discreta de partículas (.05 - 1 micra ) en un medio continuo, usualmente agua. El surfactante se absorbe en la interfase agua/polímero abatiendo la tensión superficial. Los polímeros en emulsión se formulan a base de monómeros de vinilo, agua, surfactantes e iniciadores. Actualmente se formula adicionando componentes "buffers" y coloides protectores.

**AGUA** - El agua provee un medio continuo en el cual las partículas de polímero se dispersan. En general representa el 80% del total del látex. También provee un medio polar en el cual los surfactantes, coloides protectores e iniciador se solubilizan además de que es un excelente medio para disipar el calor de polimerización.

**MONOMEROS** - Reaccionan con el iniciador vía radicales libres formando las cadenas del polímero. Si el polímero formado tiene una temperatura de transición vítrea elevada sera una resina si es baja sera un polímero elástico (goma).

**SURFACTANTES** - La función de un surfactante en una polimerización en emulsión es crítica ya que determina el tamaño de las partículas en el látex y las mantiene en una forma discreta, además de la estabilidad mecánica.

Los surfactantes se distinguen por tener una parte hidrofílica combinada acon una lipofílica. Cuando se disuelven en agua tienden a agregarse en la interfase aire/agua orientandose la parte lipofílica al aire y la hidrofílica al seno del líquido.

El efecto del exceso de surfactante rompe la estructura del agua abatiendo la tensión superficial. A los agregados de surfactante en una fase acuosa se le llama micelas.

La estructura de estos agregados micelares es rigurosamente esférica. El punto en donde cualquier aumento de la concentración de la fase acuosa debido a agregados micelares es una propiedad única de cada surfactante y se llama concentración micelar crítica.

Los surfactantes se dividen de acuerdo a su estructura molecular en :

1. ANIONICOS.- Son los más usados en la polimerización por emulsión como lo son las sales de ácido sulfónico.

2. CATIONICOS.- Son empleados en aplicaciones especiales en donde es deseable impartir una carga positiva en las partículas.

3. ANFORETICO.- Poseen una carga negativa y positiva en la misma molécula. No son empleados en la polimerización en Emulsión.

4. NO IONICOS.- No tienen carga y se están usando en lugar de los iónicos.

**INICIADORES.-** Los más usados son los peroxidisulfatos de sodio, potasio y amonio. Reaccionan vía radicales libres.

**CONTROLADORES DE PH.-** Muy frecuentemente en la polimerización de las emulsiones se usan monómeros los cuales pueden ser hidrolizados por el exceso de acidéz siendo originados tanto por los residuos del iniciador así como por los productos de la hidrólisis de los monómeros los cuales son ácidos. Adicionalmente, la mayoría de las velocidades de descomposición catalítica dependen del pH.

Por todas estas razones es deseable mantener la acidéz o pH durante la polimerización dentro de un margen generalmente entre 4 y 5. Los sistemas más comunes son los del acetato\ácido acético difosfato/monofosfato y ácido bórico\borax.

## **COLOIDE PROTECTOR**

Son agentes hidrofílicos o polímeros sintéticos que pueden ser usados para reemplazar a los surfactantes en la polimerización en emulsión. El mecanismo de acción no está bien comprendido sin embargo estabiliza al látex. El coloide protector más usado es el alcohol polivinílico y la hidroxietil celulosa los cuales al mezclarse con surfactantes se incrementa la viscosidad y el tamaño de partícula.

### **3.2.- TECNICAS DE LA POLIMERIZACION EN EMULSION.**

Las técnicas de la polimerización en emulsión se dividen en dos tipos de acuerdo a la forma de alimentar el catalizador.

#### **CATALISIS TERMICA**

Los peróxidos inorgánicos e orgánicos son los iniciadores de radicales libres como un resultado de la inestabilidad térmica provocada por una elevación de temperatura. En el sistema reaccionante la presión es atmosférica por lo que la limitante de la temperatura es el reflujo del sistema. Por esta razón se le llama a este método "de reflujo".

#### **METODO DE OXIDACION - REDUCCION**

El uso de un agente reductor en combinación con un peróxido como iniciador causa una aceleración en la generación de radicales libres a una temperatura dada.

Temperatura bajas de polimerización se favorece la formación de polímeros de alto peso molecular.

#### **PROCESO BATCH**

En este proceso todas las materias primas son cargadas desde el inicio dejando que la reacción llegue al final mediante una eficiente agitación. Un sistema de enfriamiento es necesario para poder disipar el calor de polimerización.

Este procedimiento es el mas utilizado para la fabricacion de látex de estireno-butadieno debido a la lentitud de la reaccion.

La emulsion del polímero formado es generalmente de una viscosidad alta.

#### PROCEDIMIENTO GENERAL

- a) Se carga al reactor agua, surfactante y el buffer, se sube la temperatura de reaccion con agitacion continua.
- b) Los monómeros son cargados y emulsificados por medio de la agitacion en el medio reactante.
- c) El catalizador es adicionado para iniciar la polimerizacion.
- d) Se suspende el calentamiento ya que la reaccion generara energia en forma de calor por lo que el sistema de enfriamiento es muy importante.
- e) El grado de conversion se monitorea mediante chequeos periodicos determinando el % de sólidos y viscosidad.
- f) Cuando la polimerizacion llega a su fin el látex una vez frio se descarga del reactor.

#### ADICION RETARDADA DE MONOMERO

En este procedimiento una porcion de los monómeros es adicionada durante el proceso obteniendose un mejor control en la exoterma de la reaccion.

Una modificacion a este metodo consiste en cargar el 10 o el 20 % de los monómeros y despues el porcentaje restante durante el transcurso de la reaccion .

## PROCEDIMIENTO GENERAL

- a) Se carga el agua, surfactante, catalizador y otros componentes al reactor y se eleva la temperatura.
- b) Si un sistema redox es usado, una porción del agente reductor es adicionado.
- c) El 20% de los monómeros es adicionado y se deja que reaccione hasta que la exoterma disminuya.
- d) El resto de los monómeros es adicionado en un periodo determinado de tiempo adicionandose el del agente reductor.
- e) Cuando la adición es completada se deja reaccionar al sistema media hora para llegar a la conversión deseada.
- f) Después de que finaliza la polimerización se enfria el látex y se descarga del reactor.

Si el sistema requiere surfactantes se adicionan junto con el monómero.

Una variante es pre-emulsionar el monómero y consiste en adicionar el monómero, surfactantes y agua, estos compuesto se pre-emulsionan y se adicionan en forma controlada. Esto tiene el objeto de uniformizar el tamaño de partícula.

### 3.3.- CONTROL DE TAMAÑO DE PARTICULA

El tamaño de partícula juega un papel importante en la preparación y utilización de la polimerización en emulsión.

Propiedades como la viscosidad, tensión superficial y estabilidad dependen del tamaño de partícula.

En producto terminado juega un importante roll en el recubrimiento de la partícula, intensidad de brillo, en la estabilidad del pigmento y la resistencia al agua.

- a) CANTIDAD DE SURFACTANTE.- De acuerdo a la teoría micelar, el tamaño de partícula decrece cuando se incrementa la cantidad de surfactante. Esto es el resultado de la presencia de un gran número de

micelas de donde se desprende la formación de un gran número de partícula formadas durante la polimerización.

- b) **NATURALEZA DEL SURFACTANTE.**- Los surfactantes no iónicos requieren niveles mayores que los aniónicos para producir tamaños menores de partículas. Una combinación de surfactantes aniónicos con no-aniónicos generalmente produce tamaños grandes de partícula.
- c) **METODO DE POLIMERIZACION.**- Cuando se carga todo el surfactante inicialmente se producen tamaños pequeños de partícula. Cargando solo una parte del surfactante al inicio se reducen el número de micelas y de aquí las partículas producidas.
- d) **TEMPERATURA.**- El efecto de incrementar la temperatura durante la reacción incrementa el tamaño de partícula. Para la mayoría de los surfactantes incrementar la temperatura causa una reducción en su eficiencia. En el estado de iniciación la tendencia de aglomeración es mayor, por lo tanto reduce el número de partículas incrementandose el tamaño.
- e) **ELECTROLITOS.**- La adición de 0.1-1 parte por cada 100 de monómeros de cloruro de sodio incrementa el tamaño de partícula.  
Si se agrega en exceso puede afectar la eficiencia del surfactante.
- f) **MONOMEROS.**- El efecto del tipo de monómero en el tamaño de partícula es un fenómeno complejo. Sin embargo se ha observado que mientras menos soluble sea en agua produce un tamaño menor de partícula en relación a los monómeros solubles.

### 3.4.- PRUEBAS Y PROPIEDADES RELEVANTES

Un número de pruebas se han desarrollado para caracterizar los productos del látex producidos por la polimerización en emulsión. Muchas de estas pruebas están escaminadas a establecer la reproducibilidad de un proceso para someterlo a control estadístico y así controlar la calidad del producto. Algunas de estas propiedades son comunes a otros métodos de polimerización como se vera más adelante.

1) PORCENTAJE DE SÓLIDOS.- El contenido de sólidos del látex es una medida útil para la conversión de monómero ya que las moléculas de monómero que no han reaccionado son volátiles y se pierden al aplicar calentamiento. La prueba consiste en secar la muestra durante 30 minutos y por diferencia de pesos se calculan los sólidos totales.

2) pH.- Cualquier medidor analítico de pH sirve para determinar los rangos de operación.

3) VISCOSIDAD.- El método de viscosidad empleado es el Brookfield que es de tipo rotacional. La velocidad de rotación y el número de spindle debe de ser especificado para cada látex.

4) TAMAÑO DE PARTICULA.- Un método rápido es el turbidimétrico. Este método utiliza principios de refracción de luz y se basa en que una partícula grande de látex refleja más luz que una pequeña. Una muestra de látex de sólidos conocidos es diluida a una concentración de peso conocido tal que la densidad óptica se encuentre entre .1 y 1 cuando se mide una longitud de onda de luz visible. La longitud de onda más sensible es función de la composición del polímero pero generalmente el rango más satisfactorio es de 500 a 700 nanómetros.

La turbidez específica es obtenida dividiendo la densidad óptica entre la concentración. La turbidez aumenta cuando el tamaño de partícula aumenta.

5) ESTABILIDAD MECANICA.- El término estabilidad mecánica se refiere a la habilidad que tiene el polímero a resistir la precipitación bajo la influencia de fuerzas mecánicas como la agitación y el bombeo. La prueba más utilizada consiste en agitar el polímero a gran velocidad durante 10 minutos. La cantidad precipitada se determina mediante filtración con malla 200 micras.

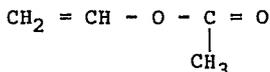
6) ESTABILIDAD QUIMICA.- Esta propiedad describe la habilidad del látex para soportar la descomposición por otros agentes químicos.

### 3.5.- ACETATO DE VINILIO

El acetato de vinilo es un líquido claro, incoloro de olor característico, que en forma de polímero, homopolímero o en combinación con otras resinas tiene diversas aplicaciones:

- 1.- Resina base para pinturas vinílicas y vinil acrílicas.
- 2.- Acabados para papel.
- 3.- Adhesivos.
- 4.- Acabados Textiles.
- 5.- Resistencia al Concreto.
- 6.- Películas Flexibles.
- 7.- Materia prima para la manufactura de acetales.

La fórmula estructural del acetato de vinilo es la siguiente:



#### ESPECIFICACIONES DEL ACETATO DE VINILO

% peso	99.85 mín
Humedad	.01 máx
Peso específico	.9330
Color Natural	5 máx

#### PROPIEDADES FISICAS

Temperaturas de Autoignición	447 C
Punto de Ebullición	72.7 C
Coefficiente de Expansión	1.52 X 10 <sup>-3</sup> a 20 C
Presión Crítica	41.9 atm
Temperatura Crítica	228.9 C
Límite Exploxivo, Bajo	2.6 % volumen en aire

Límite Explosivo, Alto	13.4	% volumen en aire
Calor de Combustión	5750	calorias por gramo
Calor de Formación	- 999	calorias por gramo
Calor Latente de Evaporación	90.6	calorias por gramo
Punto de Fusión	- 100.2	C
Peso Molecular Calculado	86.088	
Indice de Refracción	1.3952	N 20 d
Solubilidad a 20 C en agua	2.3	% peso
Solubilidad a 20 C del agua	.96	% peso
Calor Específico del Líquido	.46	calorias por gramo
Tensión Superficial	23.95	dinas/cm a 20C.
Densidad de vapor, aire=1	2.97	
Viscosidad a 20 C	.432	Oswald-Fenske, centiposies

MEZCLAS AZEOTROPICAS QUE FORMA EL ACETATO DE VINILO.

compuesto	punto de ebullición	punto de ebullición azeótropo	% en peso del acetato vinilo	% en peso componente
Acetato de vinilo	72.7		100	
Azeótropo binario				
Acetaldehido	20.2	NO FORMA	0	100
Acetato de etilo	77.1	NO FORMA	100	0
Acetato de Metilo	57.1	NO FORMA	0	100

compuesto	punto de ebullición	punto de ebullición azeótropo	% en peso del acetato vinilo	% en peso componente
Acetona	56.5	NO FORMA	0	100
Agua	100	65.2	95.1	4.9
Benceno	80.1	72.4	96.1	3.9
Metanol	64.7	REACCION	---	---
Metil-etil cetona	79.6	NO FORMA	100	0.0
Tolueno	110.8	NO FORMA	100	0.0

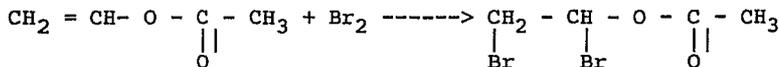
#### AZEOTROPO TERNARIO

Agua	100			1.7
		65.8		86.5
Benceno	80.1			11.8

### 3.6.- PROPIEDADES QUIMICAS

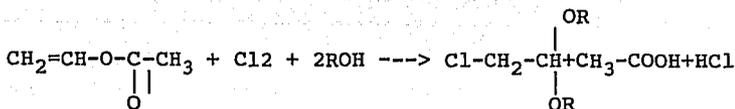
#### HALOGENACION:

Las reacciones de adición del acetato de vinilo, útiles para la manufactura de productos intermedios químicos, son típicamente aquellas de hidrocarburos etilénicos. Estas incluyen la rápida adición del cloro y del bromo, siendo mas lenta para el yodo para producir el dihaluro.



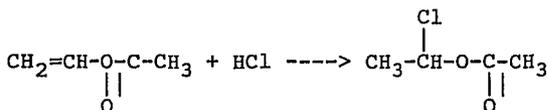
#### HALOGENACION EN UN ALCOHOL:

La cloración en un alcohol en la ausencia de luz, produce el acetal clorado correspondiente en la reacción.



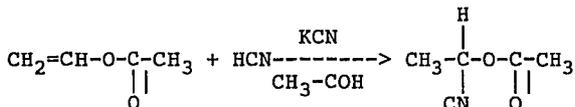
#### HIDROHALOGENACION:

El Acetato de vinilo reacciona fácilmente con el ácido clorhídrico o bromídrico, formando a bajas temperaturas el acetato haloetílico:



#### ADICION DE ACIDO CIANHIDRICO.

El ácido cianhídrico se agrega al acetato de vinilo en una mezcla de reacción conteniendo acetaldehído y un catalizador alcalino (cianuro de potasio), manteniéndose a temperatura ambiente por enfriamiento, para producir acetato de lactonitrilo:

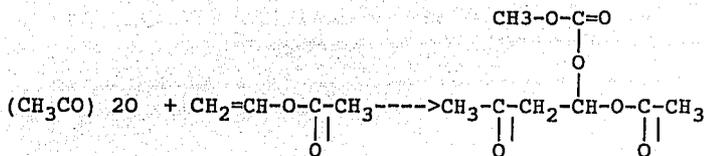


#### ADICION DE ACETALDEHIDO:

El acetato de vinilo se agrega al acetaldehído en la presencia de sodio metálico para formar un acetal cíclico:

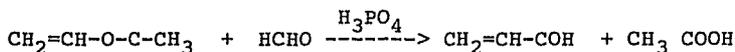
#### ADICION DE ANHIDRIDOS:

Un ácido carboxílico anhídrido se agrega al acetato de vinilo en la presencia de catalizador. La reacción, por ejemplo, de anhídrido acético frío, al cual se le han agregado unas gotas de ácido perclórico del 70 % es como sigue:



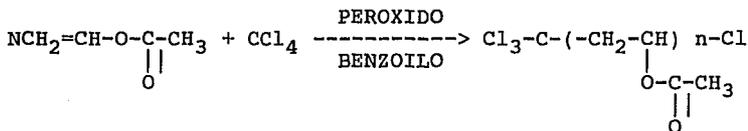
#### PREPARACION DE ACROLEINA:

El formaldehído, reacciona con el acetato de vinilo en solvente de ácido graso como el ácido acético glacial en presencia de ácido fosfórico como catalizador, para producir la acroleína:



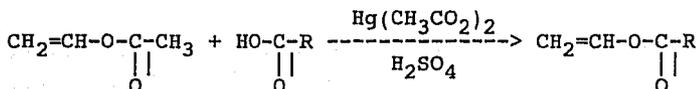
#### PREPARACION DE TELOMEROS:

Catalizada con peróxido de benzoilo, una reacción entre el acetato de vinilo y tetracloruro de carbono, forma un producto de adición y los productos químicos llamados telómeros, de acuerdo, con la siguiente ecuación el valor de n puede ser de 2 a 8 :



#### INTERCAMBIO DE ESTER:

El acetato de vinilo sobrelleva las reacciones de intercambio con otros ésteres y ácidos. Conducida en una atmosfera de nitrógeno, esta reacción es útil para sintetizar ésteres vinílicos más grandes, tales como el vinil laureato y vinil estearato.



### 3.7.- APLICACIONES DEL ACETATO DE VINILO

El acetato de vinilo puede ser polimerizado bajo la influencia de iniciadores de radicales libres para producir el acetato de polivinilo. Estos polímeros, hechos como emulsiones, soluciones o resinas sólidas, tienen aplicaciones diversas:

- Pintura para interior y exterior.
- Acabado para papel.
- Recubrimiento para cuero.
- Adhesivos base agua y base solvente.
- Acabados textiles.

Las emulsiones de acetato de vinilo, son líquidos lechosos, de color blanco, conteniendo la mayoría de los casos de 50 a 55 por ciento en sólidos. El empleo de emulsiones de acetato de vinilo como componente de mezcla del cemento, le imparte una resistencia extraordinaria al concreto, por lo que se ha encontrado una gran aplicación en piezas prefabricadas y para unir concreto viejo con nuevo.

En general los polímeros producidos en solventes son de un peso molecular relativamente bajo, comparados con los polímeros obtenidos en forma de emulsión. El polímero sólido puede ser recuperado evaporando el solvente. Estos sólidos podrán ser convertidos, entonces, en acetatos polivinílicos y podrán ser usados como adhesivos en la manufactura del papel, hojas de metal laminados de celofán. Grandes cantidades de polímero de acetato de peso molecular bajo, son usados como base para para goma de mascar.

Las características de los polímeros de acetato de polivinilo pueden ser alteradas para un uso final específico, por la incorporación de plastificantes u otros aditivos. Para pinturas estos agentes pierden su efecto por la tendencia a migrar durante los cambios atmosféricos o por envejecimiento. Una modificación de la propiedades más satisfactorias se obtiene por medio de la copolimerización del acetato de vinilo con otros monómeros, como lo son los acrilatos, meleatos y fumaratos.

Con una elección correcta de monómero para la copolimerización se obtienen resinas las cuales son resistentes al

medio ambiente y al envejecimiento por que en su estructura molecular llevan monómeros que no migran.

Acetato de vinilo es solo moderadamente tóxico absorbido por la piel y ojos; sin embargo, como en el caso de la mayoría de los productos químicos se debe evitar el contacto prolongado o repetitivo con la piel. El vapor no es especialmente irritante a nariz y garganta, sin embargo deben observarse las reglas de una buena higiene industrial.

## **IV.- RESINAS ACRILICAS**

#### IV.- RESINAS ACRILICAS

##### 4.1- TERMINOS USADOS FRECUENTEMENTE EN LA QUIMICA DE RESINAS

A continuación se presenta un resumen en los términos más usados para un mejor conocimiento de la materia.

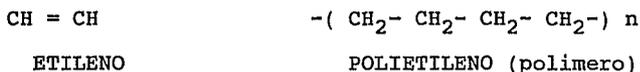
**POLIMERO.-** Es una molécula gigantesca, contituida por pequeñas unidades que se repiten constantemente a lo largo de la molécula.

Por ejemplo, en el polietileno, la unidad repetitiva será:



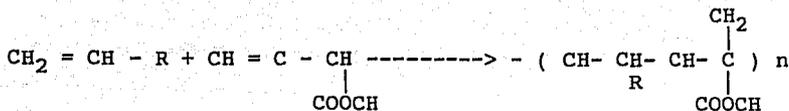
**MONOMERO.-** Es la unidad repetitiva a partir de la cual se forma el polímero.

El caso del polietileno; el monómero será el etileno:



**HOMOPOLIMERO.-** Polimero constituido por unidades repetitivas idénticas, o sea es el resultado de la polimerización de un solo monómeros, como por ejemplo el polietileno.

**COPOLIMERO.-** Es un polímero que contiene dos o más tipos de unidades monoméricas en la misma molécula, es el resultado de la polimerización de dos o más monómeros; por ejemplo:



ESTIRENO

METIL METACRILATO

COPOLIMERO

ESTIRENO METIMETA  
ACRILATO

**PESO MOLECULAR.**- (MW) Es el producto del peso molecular de la unidad repetitiva multiplicado por el grado de polimerización.

Existen varios métodos directos para medir el peso molecular.

Osmometría. Mide el número de moléculas y nos da el promedio de peso molecular.

b) Dispersión ligera/sedimentación.- Función de la masa, nos da el peso promedio de peso molecular.

c) Viscosidad de la solución.- Mide el tamaño y nos da la viscosidad del peso molecular promedio.

d) Análisis químico de los grupos finales.

**VISCOSIDAD DE LA SOLUCION.**- Generalmente se usa como una medida indirecta del peso molecular del polímero y básicamente compara una viscosidad conocida de un polímero de concentración similar.

Las medidas de viscosidad comúnmente usadas son:

a) GARDNER-HOLT. Compara el despegue de una burbuja de una solución conocida del polímero contra tubos estándar de viscosidad conocida. Comprende una escala que va desde A-5 hasta Z-10 siendo A de baja viscosidad y Z de alta viscosidad.

TABLA DE EQUIVALENCIA PARA VISCOSIDADES:

POISE	GARDNER-HOLT
0.5	A
0.65	B
0.85	C
1.00	D
1.25	E
1.40	F
1.65	G
1.80	G-H
2.00	H
2.25	I
2.50	J
2.75	K
3.00	L
3.20	M
3.40	N
3.70	O
4.00	P
4.35	Q
4.70	R
4.80	1/2+R
5.00	S
5.50	T
6.27	U
8.00	U-V
8.84	V
10.70	W
12.90	X
14.40	X
17.60	1/2+X
22.70	Z
23.50	1/2+Z
27.00	Z1
34.00	Z2
36.20	1/2+Z2
40.30	Z3
63.00	Z4
63.40	1/2+Z4
98.50	Z5
120.00	1/2+Z5
148.00	Z6

b) VISCOSIDAD RELATIVA. Compara el tiempo "t" que tarda en fluir una solución de polímero de una concentración determinada a través de un tubo capilar con el tiempo "to" que tarda en fluir el solvente solo en el mismo capilar.

$$VR = t \text{ (solución de polímero)} / t_o \text{ (solvente)}$$

- c) VISCOSIDAD INHERENTE. Derivada matemáticamente de la viscosidad relativa, es más representativa del peso molecular promedio ya que elimina la influencia de variaciones de sólidos de resina y tipo de solventes. lo que no se obtiene con la viscosidad Gardner-Holt.

FUNCIONALIDAD (f). Es el número de sitios reactivos o grupos reactivos en el monómero.

Los grupos reactivos más comunes son:

CARBOXILO	- COOH
HIDROXILO	- OH
AMINO	- NH <sub>2</sub>
ISOCIANATO	- NCO
EPOXICO	- CH-CH- $\begin{array}{c}   \quad   \\ \quad \quad O \end{array}$

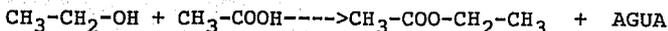
INSATURACION VINILICA -CH = CH -

Dependiendo del número de grupos reactivos en una molécula, tendremos monómeros monofuncionales, difuncionales y polifuncionales.

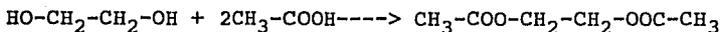
- a) MONOMEROS MONOFUNCIONALES. Contienen un solo grupo reactivo (f=1) teniendo las siguientes características.

- 1.- Cuando reacciones dan productos de bajo peso molecular.
- 2.- No forman polímeros.
- 3.- Si se usan en reacciones de polimerización actúan como terminadores de cadena.

Ejemplo:



ETANOL            AC ACETICO    ACETATO DE ETILO

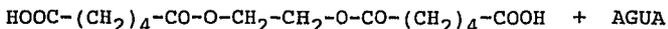
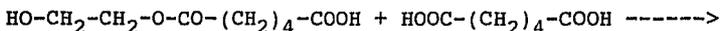


etilen glicol        ac acetico            diacetato de etileno

b) MONOMEROS BIFUNCIONALES. Contienen dos grupos reactivos ( $f=2$ ) presentan las siguientes características:

- 1.- Al reaccionar dan polímeros lineales.
- 2.- No pueden ser gelados o intercruzados.
- 3.- Secan por evaporación de solventes.

ejemplo:



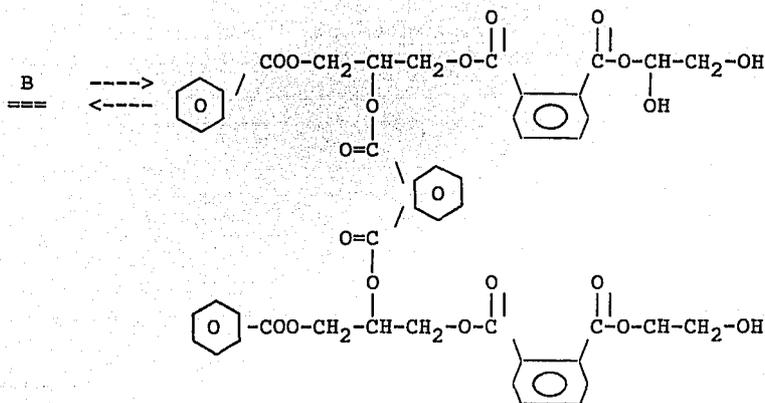
P O L I E S T E R

c) MONOMEROS POLIFUNCIONALES. Contienen más de dos grupos reactivos ( $f>2$ ) y presentan las siguientes características:

- 1.- Al reaccionar dan:
  - a) Polímeros ramificados.
  - b) Polímeros intercruzados.

ejemplo :





#### 4.2.- ESTRUCTURA DEL POLIMERO

La estructura del polímero dependerá de la funcionalidad de los monómeros y nos dará las siguientes características:

ESTRUCTURA	CARACTERISTICA
Lineal	termoplástico fundible y soluble
Ramificada	Termoplástico fundible y soluble
Intercruzada	Termofijo fundible y soluble

Un polímero termoplástico será aquel que bajo el efecto del calor recobra sus propiedades originales y puede reprocesarse.

Un polímero termofijo será aquel que bajo el efecto del calor se descompone sin recobrar sus propiedades originales por lo cual no puede reprocesarse.

% de sólidos o contenido no volátil. La mayoría de las

resinas sintéticas se manejan en forma de solución en solventes volátiles. Es importante que el contenido de sólido de estas soluciones permanezca uniforme de lote a lote.

Existe una importante relación entre el contenido de sólidos y la viscosidad. Si la resina ha sido sobrepolimerizada durante el proceso, la viscosidad estará por encima de lo normal cuando se corte al contenido estandar de proceso ( a una concentración equivalente de sólidos a mayor viscosidad se tendrá un mayor peso molecular.

**NUMERO ACIDO.** El número ácido es el número de gramos de una solución de hidróxido de potasio 0.1N requeridos para neutralizar los ácidos libres en un gramo de resina.

$$N. A. = (VKOH * N * 56.11) / W$$

DONDE VKOH = Volumen requerido de KOH ( ml)

N = Normalidad de la solución de potasa

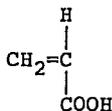
W = Peso de la muestra (g) en base sólida

56.11 = Equivalente de neutralización de la potasa  
(Peso molecular/número de protones)

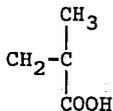
El número ácido debe expresarse con base en componentes sólidos. Usualmente se usa fenolftaleina como indicador, localizandose el punto final de neutralización al obtenerse una coloración rosada.

En términos generales, la acidéz se debe a presencia de materiales carboxílicos y es importante mantener el número ácido lo más bajo posible con el fin de prevenir la reacción de la resina con diversos compuestos ( pigmentos básicos ) y para impartir resistencia al agua.

Las Resinas Acrílicas son polímeros de los ésteres de los ácidos acrílico y metacrílico.



ACIDO ACRILICO

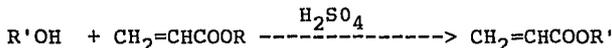


ACIDO METACRILICO

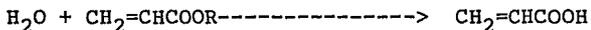
### 4.3 PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS ACRILATOS

Teniendo un grupo vinílico reactivo, los ésteres acrílicos pueden polimerizar y someterse a reacciones típicas de adición a través del doble enlace igual que otros monómeros vinílicos. El grupo de ésteres se somete a reacciones típicas de intercambio de ésteres.

Transesterificación para producir ésteres acrílicos.



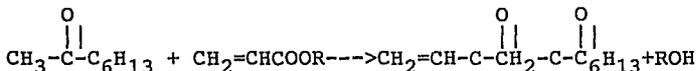
hidrólisis para producir ácido acrílico.



saponificación para obtener acrilato de sodio.



reacción con cetonas para obtener dicetonas.



Todas las resinas acrílicas tienen un excelente color inicial y son estables a la luz ya que no se decoloran o degradan por envejecimiento o por exposición a la intemperie. Poseen una buena resistencia al calor ya que no muestran cambios de color a temperaturas arriba de los 177 C. La descomposición ocurre a temperaturas superiores a 260 C.

Son materiales termoplásticos, por lo tanto sensibles a algunos solventes, sin embargo presentan buena resistencia al ataque por ácidos, alcalis, agua y alcohol.

Poseen una buena resistencia a los aceites vegetales y a las grasas. Además tienen un número ácido bajo, y por consiguiente una baja reactividad.

Los principales tipos de resinas acrílicas tienen las siguientes características:

- a) RESINAS ACRILICAS TERMOPLASTICAS. De estructura lineal o ramificada; secan por evaporación de solventes.

1.- Ventajas

- + Buena apariencia.
- + Capacidad para fluir a temperaturas mayores de 120 C.
- + Excelente durabilidad exterior.
- + Resistencia al amarillamiento.
- + Costo moderado.

2.- Desventajas

- + Quebradizas a altas temperaturas.

3.- Usos

- + En la industria de pintura de repintado y automotriz.

- b) RESINAS ACRILICAS TERMOFIJAS. Contienen sitios reactivos a lo largo de la cadena de polímero inter cruzamiento externo.

1.- Ventajas.

- + Resistencia al calor.
- + Imparten dureza a la película.
- + Costo moderado.

2.- Desventajas.

- + Requerimientos críticos de aplicación.
- + Carecen de flexibilidad.

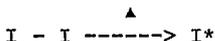
3.- Usos.

- + En la industria de recubrimientos de mantenimiento industrial.

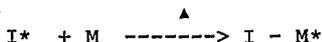
#### 4.4.- MECANISMO DE POLIMERIZACION

El mecanismo de polimerización es via radicales libres. La reacción se realiza en los carbonos con doble enlace, por lo que se denomina polimerización vinílica. La polimerización implica la adición de radicales libres al doble enlace del monómero: primero la adición del radical libre generando con el iniciador y después la de la molécula creciente del polímero.

- 1.- El Iniciador se convierte en Radical Libre cuando se aplica calor



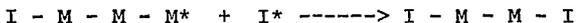
- 2.- El Radical Libre ataca a una molécula de monómero.



- 3.- La cadena de polímero crece.



- 4.- Fin de la Reacción.



I = Iniciador.

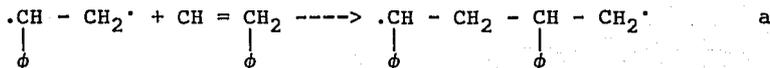
M = Monómero.

#### PASOS QUE TERMINAN LA CADENA.

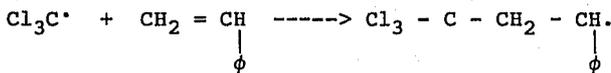
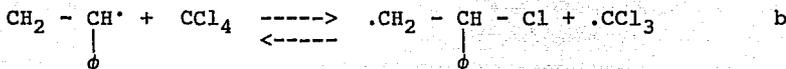
El consumo de un radical libre es acompañado en cada paso por la formación de otro, más grande. En un instante determinado, se interrumpe la cadena debido a etapas de que se consumen pero no se generan radicales libres: combinación o desproporción de dos radicales.

Al agregar ciertos compuestos, se puede modificar drásticamente el proceso de polimerización. Por ejemplo, en presencia de tetracloruro de carbono, el estireno polimeriza con la misma rapidéz que en su ausencia, pero el poliestireno resultante tiene un peso molecular promedio inferior. Esto constituye un ejemplo de transferencia de cadenas o sea, la terminación de una cadena de polimerización con la iniciación simultánea de otra.

#### POLIMERIZACION.



#### TRANSFERENCIA DE CADENA.



ESTIRENO

↓  
POLIMERO

Generalmente se adiciona un radical poliestirénico en crecimiento a estireno para continuar la reacción en cadena. Algunas veces, sin embargo, el radical sustrae un átomo del agente de transferencia, para terminar la cadena en polimerización original y genera a la vez una partícula nueva (en este caso  $\text{CCl}_4$ ), la cual inicia una nueva cadena de polimerización. No se afecta la rapidéz de la polimerización, puesto que es reemplazada una reacción en cadena por otra. Puesto que se reduce el número promedio de pasos propagadores de la cadena en cada reacción por consiguiente disminuye el peso molecular promedio del polímero. De este modo, compite el agente de transferencia con el monómero por los radicales en crecimiento. Se llama constante de transferencia a la razón entre las constantes de velocidad de reacción de (b) y (a) y representa una medida de efectividad del agente de transferencia de cadena para reducir el peso molecular del polímero.

#### 4.5.- CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES

Las características y propiedades de las resinas acrílicas se encuentran relacionadas con el tipo de monómero empleado, así como de la estructura del polímero. De esta forma, los polímeros derivados de ésteres acrílicos y metacrílicos varían desde materiales suaves y elásticos y formadores de película, hasta materiales duros.

Entre los múltiples usos que tiene estos polímeros, pueden mencionarse:

Hojas plásticas y polvos para moldeo, pinturas, recubrimientos termoplásticos y termofijos para automóviles, adhesivos etc.

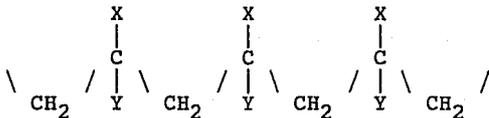
Los ácidos metacrílico y acrílico pueden polimerizarse con otros monómeros y proveer medios para introducir grupos carboxilos dentro de los copolímeros, de tal manera que puedan dar propiedades de adhesión y solubilidad en álcalis y permiten el inter cruzamiento a través de sus centros reactivos.

El hidroxietil acrilato, hidroxietil metacrilato y el hidroxipropil metacrilato permiten la introducción de grupos hidroxilo dentro del copolímero, ofreciendo así posibilidad de inter cruzamiento con un agente reactivo bifuncional en grupos hidroxilo como ejemplo tenemos las resinas melamina-formaldehído.

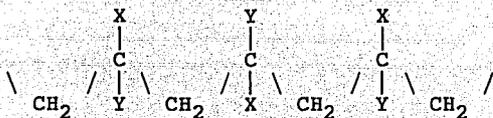
Los usos más comunes son el revestimientos acrílicos termofijos para autos y fibras sintéticas.

En cuanto a la estructura del polímero podemos decir que el arreglo espacial o distribución estereoquímica se distinguen tres tipos de polímeros:

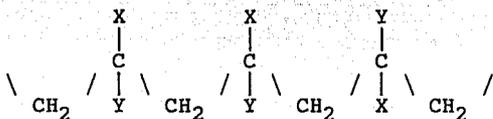
a) Isotácticos.



b) Sindiotácticos.



c) Atácticos.



La mayoría de los polímeros para pinturas son del tipo atáctico ya que la estereo-regularidad (que dan por resultado polímeros isotácticos y sindiotácticos) origina polímeros menos solubles, más cristalinos, de mayores puntos de fusión y más quebradizos.

Se pueden obtener cada uno de estos tres isómeros eligiendo las condiciones apropiadas de temperatura, presión y concentración de catalizador para dar lugar a un polímero con ciertas características.

#### 4.6.- EFECTO DE LOS INICIADORES SOBRE LAS RESINAS ACRILICAS

El tipo de monómero y su concentración determinan el valor de la temperatura de transición vítrea, es decir que podemos tener monómeros duros, suaves, con grupos COOH, para promover adhesión y curado, con grupos oxidrilos funcionales etc. Los iniciadores de polimerización, por lo general son activados por la acción del calor, generando radicales libres, existen dos grandes familias, los peróxidos y los compuestos AZO.

#### TIEMPO DE VIDA MEDIA.

Es el tiempo necesario para que la concentración del iniciador disminuya en un 50% a una temperatura dada.

**MECANISMO.**- Cuando se rompe el iniciador por efecto de energía calorífica, genera dos moléculas de radicales libres, un radical libre ataca a una molécula de monómero y la activa, esta molécula activada comienza a atacar a otras por lo que la cadena aumenta, esta dejará de aumentar cuando active a otro radical, la cadena se detendrá y la reacción terminará. Esta cadena ya no reaccionará.

La reacción de polimerización por radicales libres son exotérmicas por lo que si no se manejan adecuadamente la concentración se puede provocar una reacción fuera de control.

Las velocidades de reacción de los iniciadores más comunes son las siguientes:

**PEROXIDO DE BENZOILO.**- 50 lb generan 25 lb de radicales libres en 25 min.

**VAZO COMPUESTOS.**- 50 lb generan 25 lb radicales libres en 25 min.

**BENZOATO DE TERBUTILO.**- 50 lb general 25 lb de radicales libres en 1.5 días.

MONOMERO	ABREVIATURA	TG	TG
		°C	G KELVIN
ACRYLIC	AA	106	379.00
ACRYLONITRILE	AN	100	373.00
BUTIL ACRYLATE	BA	- 54	219.00
BUTADIENE	BD	- 78	195.00
BUTYL METHACRYLATE	BMA	20	293.00
2- BUTOXETHYL ACRYLATE	BOFA	- 72	201.00

MONOMERO	ABBREVIATURA	TG °C	TG G KELVIN
BROMOETHYL METHACRYLATE	BREMA	52	325.00
CYCLOHEXYL ACRYLATE	CHA	15	286.00
CYCLOHEXYL METHACRYLATE	CHMA	104	377.00
DECYL METHACRYLATE	DMA	70	203.00
EHELENE	E	125	140.00
ETHYL ACRYLATE	EA	- 22	251.00
2-ETHYL HEXYL ACRYLATE	EHA	- 85	188.00
2-ETHYL HEXILMETACRYLATE	EHMA	- 65	208.00
ETHYL METHACRYLATE	EMA	65	338.00
2-ETHOXYETHYL ACRYLATE	EOEA	- 50	223.00
ETHOXYETHYL METHACRYLATE	EOEMA	- 15	258.00
GLYCIDYL METHACRYLATE	GMA	46	319.00
HYDROXYETHYL ACRYLATE	HEA	- 15	258.00
2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE	HEMA	55	268.00
HEXYL METHACRYLATE	HMA	- 5	268.00
HYDROXYPROPYL ACRYLATE	HPA	- 7	266.00
HYDROXYPROPYL METHACRYLATE	PHMA	73	346.00
ISOBUTYL ACRYLATE	IBA	- 43	230.00
ISOBUTYL METHACRYLATE	IBMA	48	321.00
ISOBORNYL METHACRYLATE	IBRNMA	170	443.00
ISODECYL METHACRYLATE	IDMA	- 41	232.00
ISOPROPYL ACRYLATE	IPA	- 5	268.00
ISOPROPYL METHACRYLATE	IPMA	81	354.00
LAURYL METHACRYLATE	LMA	- 65	208.00
METHYL ACRYLATE	MA	8	281.00

MONOMERO	ABREVIATURA	TG	TG
		°C	G KELVIN
METHACRYLIC ACID	MAA	185	458.00
METHACRYLONITRILE	MAN	120	393.00
METHYL METHACRYLATE	MMA	105	378.00
2-MET OXYETHYL ACRYLATE	MOEA	- 49	224.00
METHOXYTHYL METHACRYLATE	MOEMA	- 10	263.00
OCTYL METHACRYLATE	OMA	- 20	253.00
PROPYL ACRYLATE	PA	- 48	225.00
PHENYL METHACRYLATE	PHMA	112	385.00
PROPYL METHACRYLATE	PMA	35	308.00
S-BUTYL ACRYLATE	SBA	- 20	253.00
S-BUTYL METHACRYLATE	SBMA	60	330.00
STEARYL METHACRYLATE	STMA	- 38	235.00
STYRENE	STY	100	373.00
T-BUTYL ACRYLATE	TBA	41	314.00
T- BUTYLAMINOETHYL METHA- CRYLATE	TBAEMA	33	306.00
T-BUTYL METHACRYLATE	TBMA	107	380.00
TRIDEXYL METHACRYLATE	TDMA	- 46	227.00
3,3,5-TRIMETHYLCYCLOHEXYL METHACRYLATE	TMCHMA	125	398.00
VINYL ACETATE	VAC	29	302.00
VINYL CHLORIDE	VCL	80	353.00
VINYLDINE CHLORIDE	VCL2	- 19	254.00

## **V.- RESINAS ALQUIDALES**

## V.- RESINAS ALQUIDALES.

### 5.1 INTRODUCCION

Estas resinas también son fundamentales para la manufactura de recubrimientos y pinturas. El proceso de polimerización es completamente diferente al de las resinas acrílicas ya que el mecanismo de reacción no es por medio de radicales libres sino por reacciones de condensación. Existen reactores llamado Universales capaces de procesar resinas acrílicas y alquidales. Las características de estos reactores se discutirán posteriormente.

Para la manufactura de resinas alquidales se requieren tres componentes básicos:

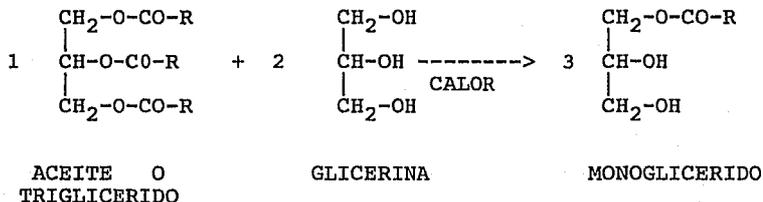
- a) Diácido.
- b) Polialcohol.
- c) Un aceite o ácido graso.

El polialcohol puede ser un glicol, generalmente se utiliza pentaeritritol o glicerina.

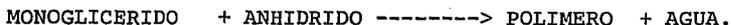
El tener un ácido graso o un aceite es función de la calidad de la resina que queremos obtener, se tiene que tener en cuenta aspectos de capacidad de planta y costos de proceso ya que el ácido graso es más caro que su aceite, sin embargo en la mayoría de los casos el proceso con aceites dura el doble ya que tenemos que lograr un monoglicérido para poder formar el polímero.

#### PROCESO VIA ACEITES ORGANICOS:

##### 1.- Formación del Monoglicérido.



2.- Formación del Polímero a partir de la reacción del monoglicérido con el diácido; el diácido más común es el anhídrido ftálico.



Dependiendo del tamaño de la cadena de ácido graso, número de insaturaciones y cantidad de ramificaciones serán las propiedades del polímero.

Estas resinas se clasifican en tres tipos dependiendo de la concentración de aceite que utilizamos.

- 1.- Cortas de aceite.
- 2.- Medianas de aceite.
- 3.- Largas de aceite.

## 5.2 ACEITES Y ACIDOS GRASOS

Definición:

ACIDO GRASO .- Son entidades químicas que se constituyen del grupo carboxilo unido a una cadena hidrocarbonada larga.

Generalmente dicha cadena tiene de 6 a 7 átomos de carbono, siendo la cadena de 18 carbonos la más abundante y representativa en la industria de los recubrimientos orgánicos.

Adicionalmente la cadena hidrocarbonada puede tener de 1 a 6 insaturaciones o dobles ligaduras, algunos ácidos grasos pueden tener grupos hidroxilo o carbonilo en la cadena.

ACEITES.- Los aceites son el resultado de la esterificación de ácidos grasos con el 1,2,3, trihidroxi propanol o glicerina también llamado propanotriol. Estos compuestos son conocidos con el nombre de triglicéridos, sus propiedades van a ser función de los ácidos grasos que esterifican a la molécula de glicerina.

**GRASA.-** Son de la misma naturaleza química que los aceites, a diferencia que su estado físico es sólido mientras que los aceites son líquidos.

**CLASIFICACION.-** Tanto los aceites como los ácidos grasos son clasificados de acuerdo a las propiedades de secado que imparten al polímero. Dichas divisiones son:

1.- **NO SECANTES:** Son aquellos aceites o ácidos grasos que no presentan insaturaciones o cuentan solamente con una doble ligadura.

2.- **SEMISECANTES:** Son aquellos ácidos o aceites que tienen en su cadena hasta tres insaturaciones dobles.

3.- **SECANTES:** Son aquellos productos que cuentan con tres o más insaturaciones, por lo que secan extremadamente rápido.

**ACEITES NORMALES:** Siguen un orden determinado y aunque el número de carbonos varíe, los más comunes son de 18 átomos.

ejemplo:

Ac. Oléico:

- Linaza.
- Safflower.
- Soya.
- Talloil.

Ac. Linoléico.

- Algodón.
- Coco.

**ACEITES ANORMALES:** No tiene una línea establecida.

ejemplo :

Ac. Eliosteárico:



- China.
- Pescado.
- Castor.

COMPOSICION DE ACEITES.

NOMBRE	No. CARBONOS	DOBLE ENLACE	FORMULA
Esteárico	18	0	$\text{HOCC}(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$
Oléico	18	1	$\text{HOO}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$
Linoléico	18	2	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$
Linolénico	18	3	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$
Palmítico	16	0	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$
Mirístico	14	0	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_{12}\text{CH}_3$
Laúrico	12	0	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$
Cáprico	10	0	$\text{HOCC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$
Caprílico	8	0	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$

Es de hacerse notar que a mayor abundancia de dobles ligaduras se tienen más sitios reactivos que reaccionan con el oxígeno para promover el entrecruzamiento. Adicionalmente si las insaturaciones son alternadas la reactividad se incrementa considerablemente, pasando de un aceite o ácido graso semisecante.

Vale la pena mencionar que a los aceites semisecantes y secantes se les llama "Duros", ya que producen recubrimientos duros que polimerizan a menor temperatura, mientras que los no secantes son llamados "Blandos" por razones similares.

**PROPIEDADES DE LOS ACEITES:** La experiencia que se ha tenido en la practica muestra que el aceite de soya es el que ofrece propiedades estándar, por esta razón es frecuente que se le tome como punto de comparación y base para formulaciones.

**ACEITE DE CHINA:** El principal componente es el ácido elioesteárico por lo que seca rápidamente. presenta buena dureza, resistencia a la intemperie y flexibilidad.

**ACEITE DE LINAZA:** Este aceite presenta un alto grado de amarillamiento debido a la presencia de ácido linoleico. Su aplicación más importante es en la manufactura de recubrimientos domesticos.

**ACEITE DE SAFFLOWER:** Se usa como sustituto del aceite de linaza cuando se requieren recubrimientos más finos, ya que el grado de amarillamiento es menor.

**ACEITE DE SOYA:** Es el aceite industrialmente mas empleado. Presenta excelentes propiedades de secado; sus aplicaciones están dentro del campo de recubrimientos interiores y exteriores así como en recubrimientos marinos. Su grado de amarillamiento es considerable.

**ACEITE DE PESCADO:** Es un buen sustituto del aceite de soya ya que es más económico pero la duración de los recubrimientos es menor ya que es más blando.

### 5.3- PRUEBAS Y PROPIEDADES DE LOS ACEITES

**Valor ácido:** Indica la cantidad de ácido graso libre en el aceite; se define como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar los ácidos de un gramo de aceite.

**Valor de Iodo:** Puesto que la solución de iodo reacciona con insaturaciones del aceite se considera como un índice del número de dobles ligaduras. El resultado es expresado en miligramos de iodo absorbido por un gramo de aceite bajo condiciones controladas. Este índice nos habla de la reactividad de los aceites, por lo que esta prueba es fundamental.

**Título (TITER):** Se aplica principalmente a grasa y ácidos grasos, también se especifica para aceites que se encuentran en la línea de separación entre grasa y aceite. Es la temperatura a la cual la muestra cambia de sólido a líquido cuando se calienta gradualmente.

**Selección de Aceites:** En el proceso de selección de un material se tiene que dar especial atención a cuatro puntos:

- 1.- Propiedades de secado.
- 2.- Velocidad de polimerización.
- 3.- Retención de color.
- 4.- Fuerza de película.

## **VI.- REACTOR EXPERIMENTAL**

## **VI.- EQUIPO EXPERIMENTAL PARA LA MANUFACTURA DE RESINAS.**

### **6.1.- COMPONENTES DEL EQUIPO**

El sistema de reacción para la manufactura de resinas consta de los siguientes componentes:

- Reactor.
- Pinzas.
- Embudo de Adición de 1000 ml.
- Embudo de Adición de 500 ml.
- Condensador Friederich
- Equipo sobre diseño.
- Tapón de frasco lavador.
- Tapones de teflón 24/40.
- Tapon de teflón guía para agitador 34/32.
- Tapones esmerilados 24/40.
- Tubos conectores de 3 vias .
- Tubo conector de 3 vias empacado.
- Mantilla para reactor.
- Transformador para mantilla.
- Agitador multivariador.
- Nuéz para soporte.

### **6.2.- MANUFACTURA DE RESINAS EN EL REACTOR DE VIDRIO**

#### **A.- OBJETIVO**

El mostrar el procedimiento para la manufactura de resinas en el reactor de vidrio, de manera que se haga en forma segura y eficiente, para que se logre la experimentación deseada.

## B.- CONSIDERACIONES GENERALES

Todo el equipo deberá de estar en buen estado, limpio y sin muestras de deterioro.

Verificar que se tenga ventilación adecuada y que los contactos eléctricos estén en buen estado.

Tener a la mano un extinguidor de tipo ABC ya que los materiales con los que se trabaja son inflamables.

Debido a la diferencia que existe entre las manufacturas de las resinas alquídicas y acrílicas, es necesario considerar cada una por separado de tal manera que nos permita entender mejor el funcionamiento y las necesidades de cada una.

### CONSIDERACIONES DE OPERACION PARA EL ENSAMBLE DEL EQUIPO

- 1.- Identificar el tipo de resina a fabricar, para seleccionar el sistema a usar.
- 2.- Revisar el estado del reactor de vidrio en cuanto a limpieza y rotura de sus piezas, así como los accesorios.
- 3.- Colocar el reactor de vidrio el cual contiene los ingredientes de la resina, dentro de la malla de calentamiento y montarlos sobre el soporte.
- 4.- Instalar los accesorios del reactor, siguiendo el orden que se menciona.
  - a) Colocar el empaque a la boca del reactor.
  - b) Introducir la flecha del agitador por el orificio central de la tapa del reactor.
  - c) Instalar la tapa fijandola con los tornillos opresores.
  - d) Colocar y fijar la flecha del agitador. Fijar el multivariador al soporte.
  - e) Instalar el termómetro en el orificio correspondiente.

- f) Instalar el equipo correspondiente adicional para la manufactura de la resina correspondiente ( mangueras para el agua de enfriamiento, tanques de alimentación, columna de destilación empacada, condensadores, tanque separador, equipo de muestreo, etc. )
- g) Colocar la mantilla de calentamiento al reostato y el reostato al contacto eléctrico.

### 6.3.- MANUFACTURA DE RESINAS ALQUIDALES

El equipo que se emplea para su manufactura se encuentra en la figura No. 1. Las instrucciones de manufactura de la resina deberan de ser leidas antes del desarrollo de la práctica. Evitar presurizar el reactor de vidrio, esto es importante para no tener algun accidente por ruptura del recipiente.

#### O P E R A C I O N

Los materiales a usar deberan de ser pesados y reunidos para asegurar que no existan faltantes.

Cargar de acuerdo a la fórmula. Enjuagar los recipientes con un poco de solvente de fórmula. Arme el reactor de acuerdo a la figura, revise que no existan fugas o desacoplamiento y que todo el sistema este debidamente soportado.

Comenzar el calentamiento, checando que el reóstato este debidamente conectado colocando la perilla en el número 8 al inicio del proceso. Una vez que se haya alcanzado el reflujo, ajuste la perilla del mismo al número 4, es importante fijar la temperatura que pide la fórmula de la resina. Observe el burbujeo dentro del reactor ya que un calentamiento excesivo provoca un aumento de volumen del contenido del reactor pudiendo provocar graves quemaduras o riesgo de incendio. Si se presenta este problema espere a que se modere el reflujo apagando el reóstato.

En ocasiones es necesario agregar líquidos a temperaturas elevadas durante el proceso de una resina; por lo que es indispensable usar un embudo separador para adicionar dicho material.

Generalmente y de acuerdo a la fórmula es necesario agregar sólidos al reactor, para lo anterior es necesario bajar la temperatura del reactor por abajo del punto de ebullición, el reflujo se detendra y es cuando se agrega el material sólido.

Una vez alcanzada la temperatura de proceso con todos los materiales en el reactor se comenzará a muestrear checan do las propiedades que pida la práctica. Una vez alcanzado en número ácido y la viscosidad se procederá a cortar la resina colocando un embudo en el reactor con el solvente de corte. Apagar el sistema de calentamiento y se comienza a agregar el solvente lentamente para evitar la formación de espuma. Una vez que la temperatura del reactor sea de 160 °C, completar con el solvente faltante y agitar durante media hora.

#### 6.4.- MANUFACTURAS DE RESINAS ACRILICAS

##### 1.- INFORMACION GENERAL

Existen dos tipos de manufactura:

- a) Sin alimentación de monómeros.
- b) Con alimentación de monómeros.

##### 2.- CARGA DE MATERIALES

Los materiales deberán ser cargados de acuerdo a la fórmula y dependiendo del tipo de proceso se utilizarán los tanques de alimentación (FT's), en el número uno se cargan los monómeros, en el número dos se cargan los iniciadores y los mercaptanos así como solvente.

**N O T A :** Este tipo de recciones son muy violentas por lo que se tiene que tener mucho cuidado con la adición de catalizador para no tener una reacción fuera de control.

##### 3.- CALENTAMIENTO Y PROCESO

- 3a.- Calentamiento y proceso para resinas acrílicas sin alimentación de monómeros.

Agregue al reactor a una temperatura menor a 40 °C los monómeros y solventes indicados en la práctica. Cargue en el FT- 2 el iniciador y solvente indicado en la práctica, agite y alimente al reactor en el tiempo especificado.

Inicie el calentamiento a la temperatura indicada, cuando se llegue a la temperatura, suspenda el calentamiento ya que la reacción que es exotérmica dará la temperatura final de proceso. Se mantendrá la reacción hasta la temperatura de corte.

Mantener agitado el reactor durante 20 minutos y después se procede a desarmar el equipo.

El equipo utilizado se muestra en al figura No. 2.

# EQUIPO PARA RESINAS ALQUIDALES Y POLIESTER

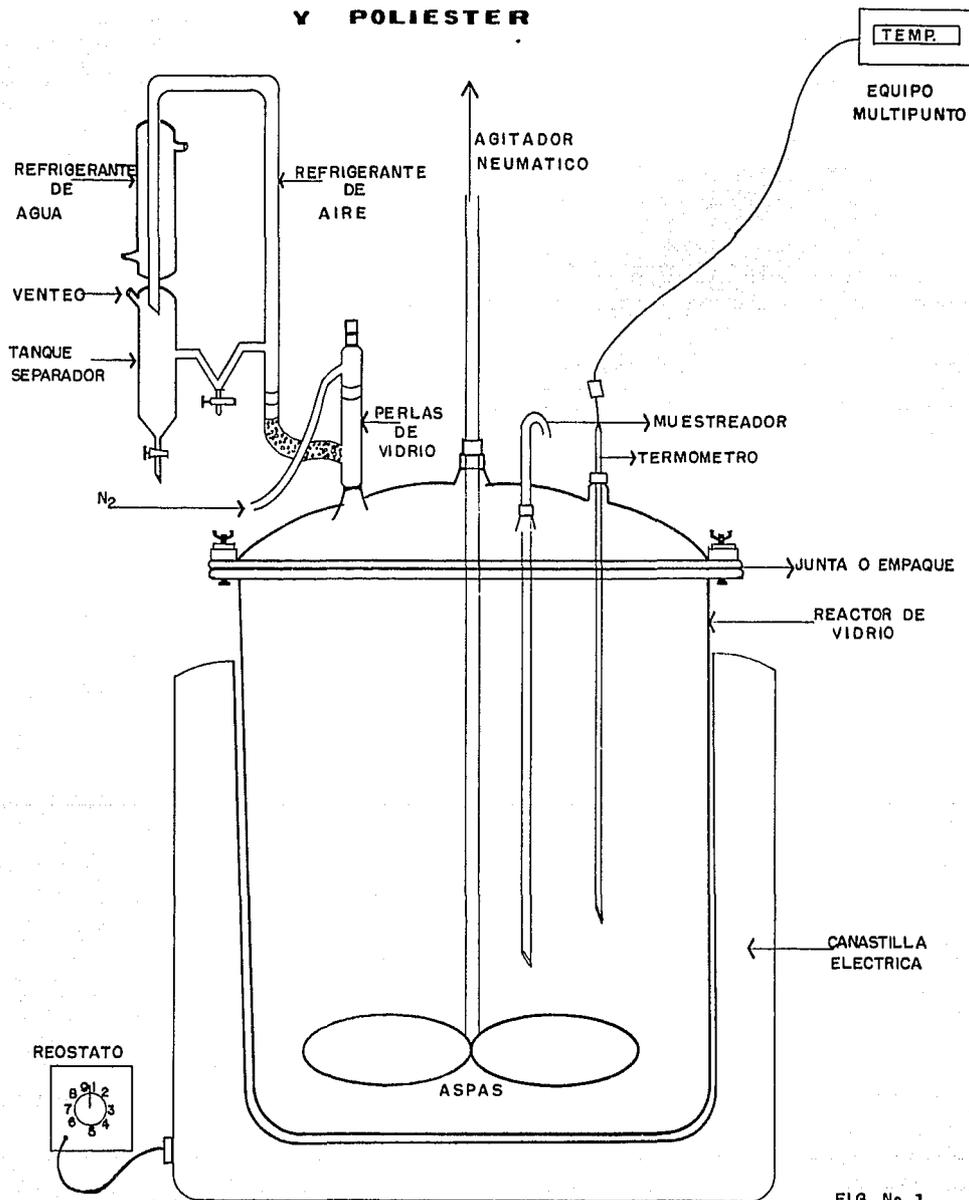


FIG. No. 1

# EQUIPO PARA RESINAS ACRILICAS

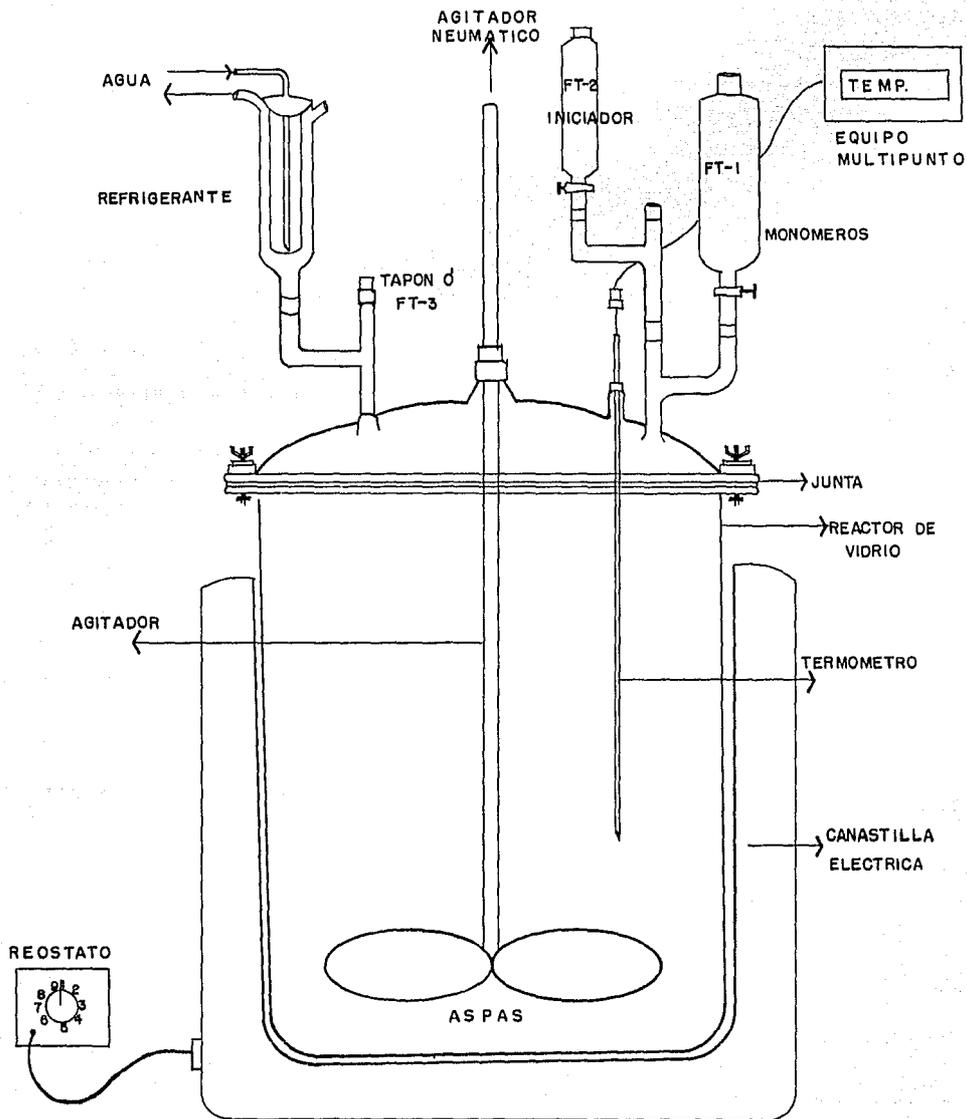


FIG. No. 2

## **VII.- EQUIPO DE POLIMERIZACION INDUSTRIAL**

## VII.- EQUIPO INDUSTRIAL UTILIZADO EN LA MANUFACTURA DE RESINAS.

### 7.1 - TIPOS DE REACTORES.

El proceso de manufactura de resinas a sufrido varias modificaciones, haciendo el proceso más rápido, seguro y al menor costo. La tecnología actual se basa en procesos tipo Batch, sin embargo compañías como Dupont cuenta con los recursos para arrancar una serie de reactores en operación continua, sin embargo estudiaremos el proceso tipo Batch ya que es el más común.

Dentro de la operación Bath tenemos diferentes filosofías de operación de las cuales destacan los reactores de recirculación, de combustión directa, agitados con medias canas, sin embargo los altos costos de operación debido a paros y la falta de un control de proceso el cual garantizará la reproducibilidad de la resina así como la falta de versatilidad hacer obsoletos estos equipos. Actualmente se encuentran en operación en la mediana industria.

### 7.2.- REACTOR UNIVERSAL.

Dada las condiciones de mercado, el tener un solo equipo en el cual se puedan procesar los diferentes tipos de resinas (alquidales, acrílicas y poliéster) dió como consecuencia el diseño de un tipo de reactor llamado universal.

#### FILOSOFIA OPERATIVA Y DESCRIPCION DEL EQUIPO

El sistema de reacción Universal, consta de los siguientes equipos:

- 1.- Reactor de agitación variable.
- 2.- Scrubber para la manufactura de resinas alquidales.
- 3.- Condensador de tubos de un solo paso.
- 4.- Tanques de alimentación controlada.
- 5.- Tanque separador.
- 6.- Tanque de solventes.

- 7.- Tanques de corte.
- 8.- Sistemas de bombeo.
- 9.- Sistemas auxiliares.
  - De calentamiento.
  - De Enfriamiento.
  - Gas Inerte.
  - Agua de Enfriamiento.
- 10.- Sistemas de control computarizado.
- 11.- Manifolds de carga y descarga.
- 12.- Sistemas de seguridad (variable).
- 13.- Sistemas de presurización.
- 14.- Sistemas de venteo.
- 15.- Filtros Sparkler.

Los sistemas de seguridad seran tratados mas adelante por la relevancia que tienen sin embargo, no todas las compañías que se dedican a la manufactura de resinas tienen la misma política de seguridad, lo cual a provocado a lo largo de la historia lamentables incidentes.

La filosofía de operación es el mantener operando el equipo las 24 horas del día durante tres turnos en sistema azteca. Se deberán de evitar paros innecesarios por incompatibilidad de resinas, se pueden alternar resinas tanto alquidales, poliesteres y acrílicas cuidando la compatibilidad de las mismas por lo que la solventación con la que se formule deberá ser cuidadosamente seleccionada, ya que de lo contrario se pueden tener problemas de filtrado y contaminación en el producto terminado.

### Reactores

El equipo tiene una presión de diseño de 67 psi, la máxima presión de operación es de 30 psi y además puede operar hasta 12 pulgadas de agua de vacío, es de acero inoxidable y soporta altas temperaturas. Cuenta con tres chaquetas de calentamiento así como los equipos de seguridad. Ver tipos en las figuras No. 3 y No. 4.

## **Scrubber**

El scrubber tiene la función de lavar los vapores evitando que el anhídrido ftálico incrustará el condensador, debido al equilibrio ayuda a mantener la temperatura del reactor, cuenta con cuatro niveles de platos de capucha alimentándose los vapores en el plato inferior y el solvente en el plato superior. Cuenta con válvulas de compuerta las cuales tienen la función de aislar este equipo del sistema en caso de proceso acrílico.

## **Condensador**

Es un intercambiador de calor que se emplea para condensar los vapores de solventes que se generan durante el calentamiento o reacción de una resina.

Esta formado por un haz de tubos de acero inoxidable, cubiertos por una coraza de acero al carbón, por la cual circula agua de enfriamiento a contracorriente.

Para el suministro de agua de enfriamiento se cuenta con bombas centrífugas de 10 H.P.

## **Bomba del tanque se solventes**

Esta bomba es de tipo contrifugo y se emplea para alimentar el solvente condensado al scrubber y al reactor.

Los flujos de solvente al reactor es de 4 a 5 litros por minuto y al scrubber de 7 a 8 litros por minuto. Es caso de resinas acrílicas será de 12 litros por minuto.

La bomba cuenta con dos derivaciones que desembocan al tanque de solventes para evitar daños por sobrepresión.

## **Tanque de Separador y Tanque de Solventes**

El tanque separador tiene la función de separar por diferencia de pesos específicos el agua generada como producto de reacción en un proceso alquidal con los vapores de reflujo de la resina, el agua se extrae mediante una válvula de dren a un tanque receptor y el solvente pasa a un tanque

cuya función es suministrar solvente a la bomba y solventes para mantener las condiciones de operación para cada resina en particular. En el caso de resinas alquidales el tanque separador pierde su función ya que no hay generación de agua, sin embargo el suministro de solvente se conserva en el proceso.

### **Tanque de Corte**

Este equipo tiene como función recolectar la resina alquidal durante la etapa de corte. La transferencia se hace mediante bombas Viking. En el se carga el solvente de corte y al recibir la resina a su temperatura de proceso (230 °C) ocurre un choque térmico por lo que cuenta con un condensador vertical.

### **Tanques de alimentación**

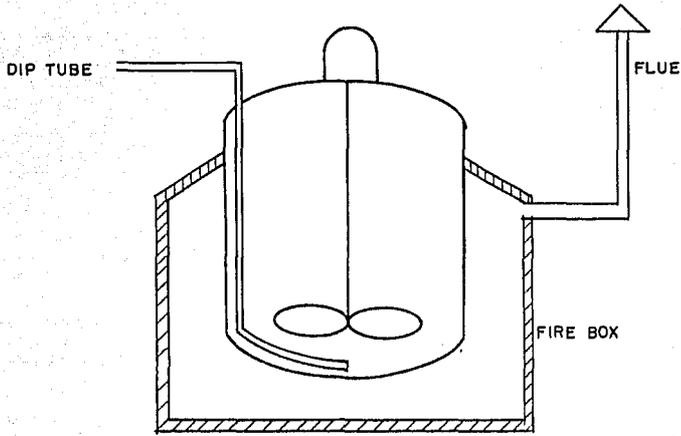
Son recipientes a presión de acero inoxidable, su función es la de contener los monómeros y el iniciador de un proceso acrílico, cuentan con agitación para evitar asentamientos. La dosificación se hace mediante bombas con válvulas de control de flujo las cuales operan neumáticamente, en caso de una reacción fuera de control este sistema cuenta con una recirculación al tanque Ft que esté alimentando en ese momento.

### **Filtros Sparkler**

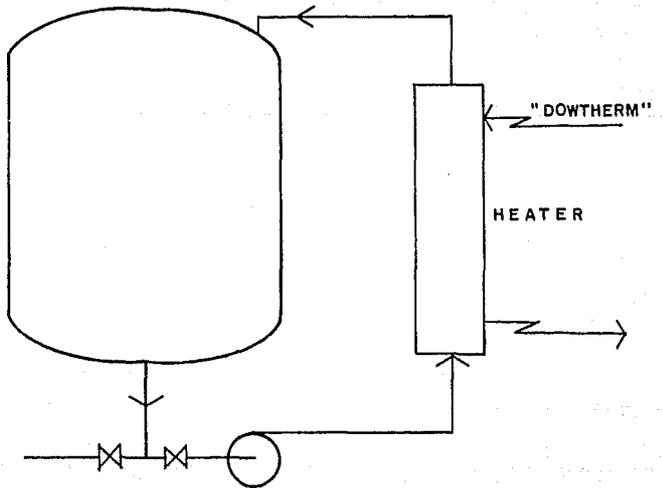
Son equipos que se emplean para remover partículas sólidas y geles durante la etapa de filtración.

Son recipientes a presión y cuentan con 13 platos donde es colocado el papel filtro, cuenta con una válvula de seguridad calibrada a 5 kg/cm<sup>2</sup> de presión.

# REACTOR TYPES



DIRECT FIRED



RECIRCULATING

FIG. No. 3

# REACTOR TYPES (CONT'D)

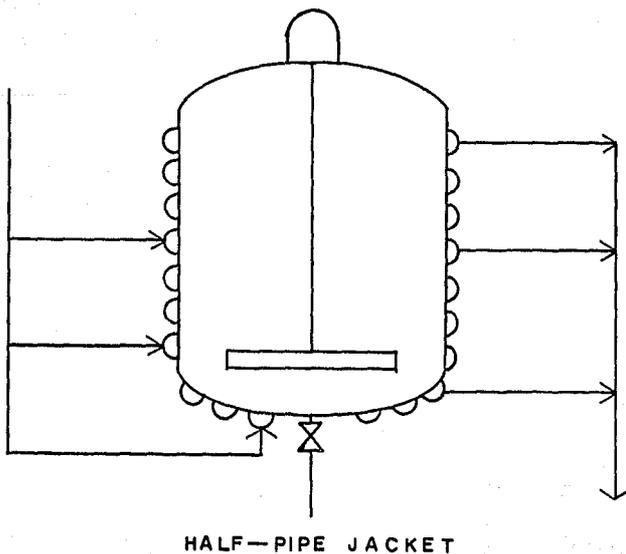
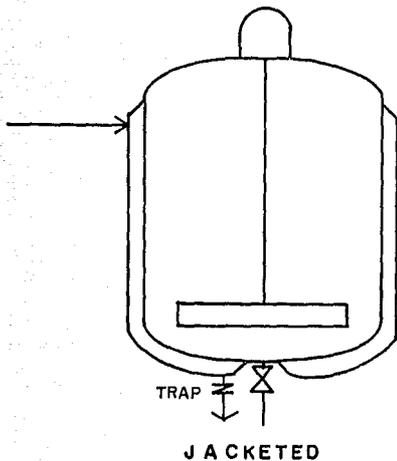


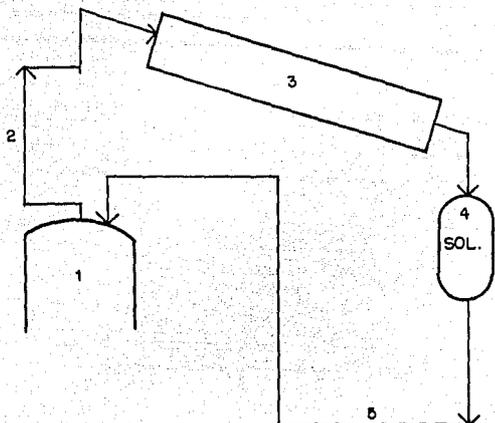
FIG. No. 4

\*\*\*\*\*  
\*  
\*       D I A G R A M A S       \*  
\*  
\*               D E               \*  
\*  
\*       P R O C E S O       \*  
\*  
\*\*\*\*\*

Resinas Acrílicas  
Resinas Alquidales  
Resinas Poliésteres

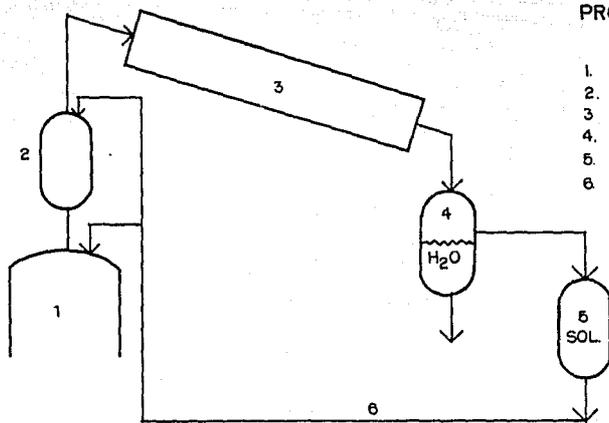
\*\*\*\*\*  
\*  
\*       D I A G R A M A S       \*  
\*                   D E               \*  
\*                   F L U J O           \*  
\*                                   \*  
\*\*\*\*\*

Proceso de Acrílicos  
Proceso de Alquidales  
Proceso de Poliésteres



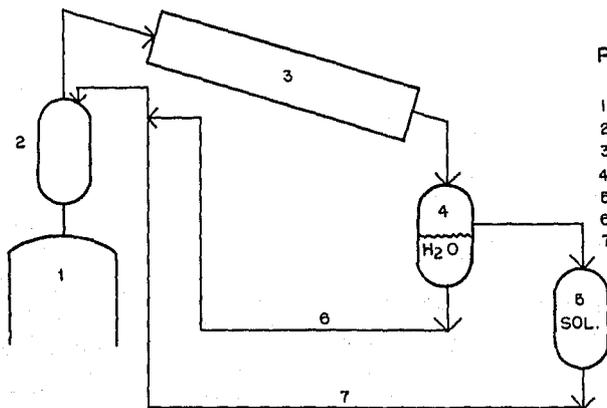
### PROCESO DE ACRILICOS

1. REACTOR
2. LINEA DIRECTA AL CONDENSADOR
3. CONDENSADOR
4. TANQUE SEPARADOR
5. REFLUJO DE SOLVENTE



### PROCESO DE ALQUIDALES

1. REACTOR
2. SCRUBBER
3. CONDENSADOR
4. TANQUE SEPARADOR
5. TANQUE DE SOLVENTES
6. REFLUJO DE SOLVENTE



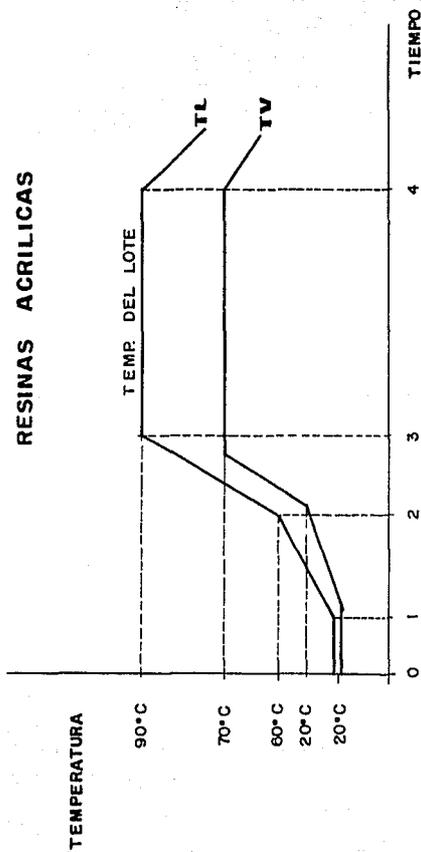
### PROCESO DE POLIESTERES

1. REACTOR
2. SCRUBBER
3. CONDENSADOR
4. TANQUE SEPARADOR
5. TANQUE DE SOLVENTES
6. REFLUJO DE AGUA
7. REFLUJO DE SOLVENTE

\*\*\*\*\*  
\*  
\*                    G R A F I C A S                    \*  
\*                    D E                    \*  
\*                    C A L E N T A M I E N T O                    \*  
\*                    \*                    \*  
\*\*\*\*\*

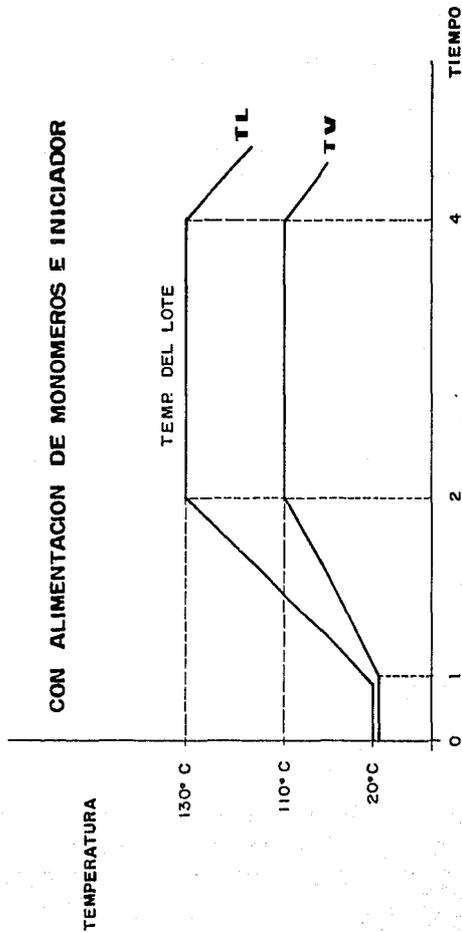
Resinas Acrílicas  
Resinas Alquidales  
Resinas Poliésteres

## RESINAS ACRILICAS



1. INICIA CALENTAMIENTO
2. SE CORTA CALENTAMIENTO, INICIA EXOTERMA DE LA REACCION.
3. TEMP DE REACCION, SE MANTIENE EL REFLUJO.
4. CORTE Y ENFRIAMIENTO HASTA LA VISCOSIDAD CONSTANTE.

## CON ALIMENTACION DE MONOMEROS E INICIADOR

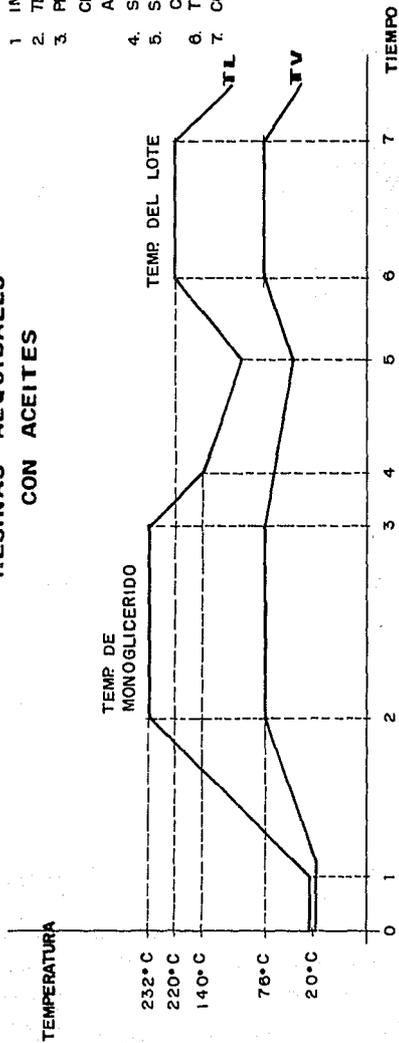


1. INICIA CALENTAMIENTO.
2. TEMPERATURA DE REFLUJO, INICIA ALIMENTACION ( CALENTAMIENTO\_ SI ES NECESARIO).
3. TERMINA ALIMENTACION.
4. CORTE Y ENFRIAMIENTO HASTA LA VISCOSIDAD CONSTANTE.

TV TEMP. DE VAPORES  
TL TEMP. DEL LOTE

## RESINAS ALQUIDALES CON ACEITES

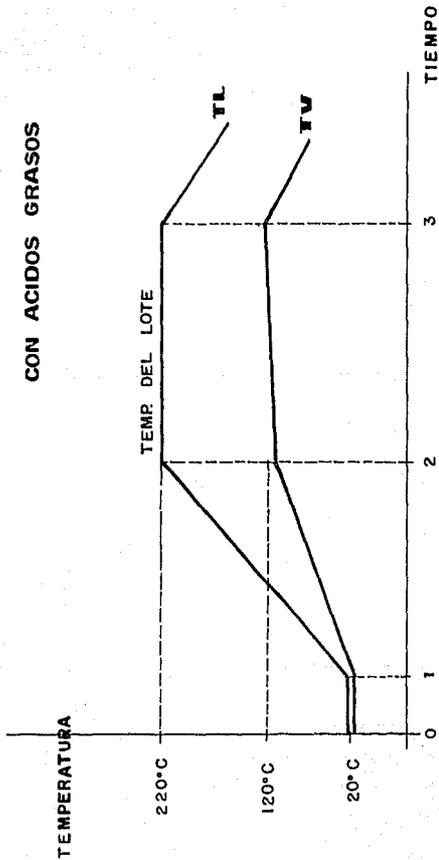
- 1 INICIA CALENTAMIENTO
- 2 TEMP DE MONOGLICERIDO
- 3 PRUEBA POSITIVA DEL MONOGLICERIDO. SE BAJA TEMP PARA AGREGAR ANHIDRIDO.
- 4 SE CARGA ANHIDRIDO
- 5 SE CALIENTA HASTA TEMP. DE COCINADO.
- 6 TEMP DE COCINADO.
- 7 CORTE.



53-B

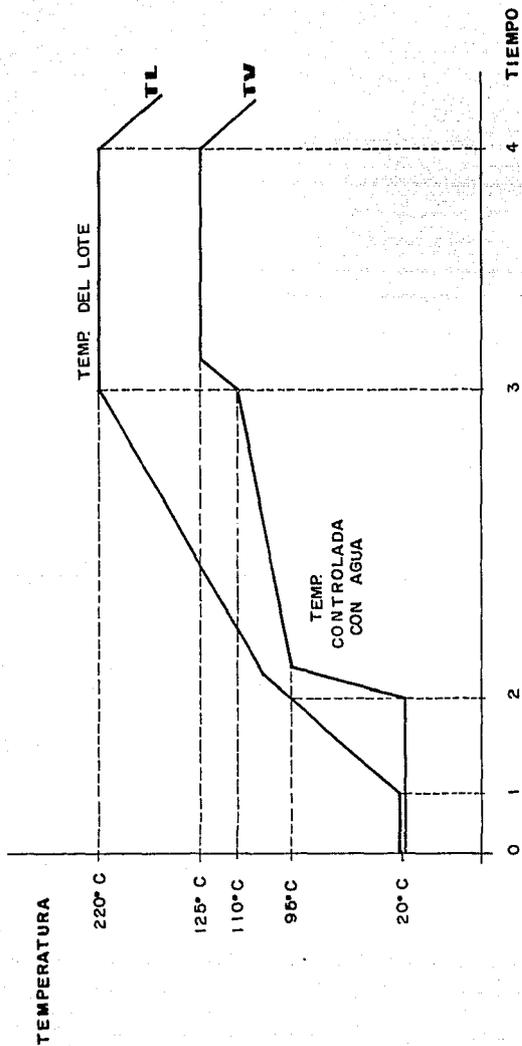
## CON ACIDOS GRASOS

1. INICIA CALENTAMIENTO
2. SE LLEGA A TEMPERATURA DE COCINADO.
3. CORTE



**TV** TEMP. DE VAPORES  
**TL** TEMP. DEL LOTE

# RESINAS POLIESTERES



- 1 INICIA CALENTAMIENTO
2. REFLUJO DE AGUA
3. TEMPERATURA DE REACCION Y REFLUJO AGUA/SOLVENTE
4. CORTE

TV TEMP DE VAPORES  
TL TEMP DEL LOTE

## **VIII.- ANALISIS DE RIESGO DE DE PROCESO**

## VIII.- ANALISIS DE RIESGO DE PROCESO.

### 8.1.- INTRODUCCION.

En este capítulo se expondra la relevancia de considerar los análisis de riesgo de proceso para cualquier sistema de reacción. Desgraciadamente la asignatura de Seguridad Industrial en las Universidades del país es una materia optativa y no todos los egresados tienen una cultura de la relevancia de la seguridad, tanto desde el concepto de diseño, construcción y operación de plantas químicas como en la vida personal y familiar.

No es hasta que en el ejercicio de la vida profesional se encuentra la necesidad de disminuir las lesiones y los riesgos de proceso dadas por amargas experiencias que invitan a la reflexión y aprender de ellas para evitar repetición.

Desafortunadamente no todas las empresas tienen definida una política de seguridad con una infraestructura que genere un cambio de mentalidad en todo el personal que labore en una empresa. Un ejemplo de dicho sistema lo tiene la organización Du Pont en donde se vive la seguridad como una responsabilidad de línea y con la premisa de que todos los incidentes y accidentes pueden y deben evitarse, siendo una condición de empleo. Las estadísticas muestran que Du Pont es una organización líder y nivel mundial en Seguridad y Control Ambiental. Específicamente en sistemas de reacción la seguridad muestreo un papel primordial, ya que el potencial de daño es enorme, a continuación se muestran algunos ejemplos:

- 1.- Flixbough. Inglaterra 1974: explosión de una nube de vapor 28 muertos.
- 2.- Phillips, Pasadena Texas 1989: explosión de nube de vapor de monómeros, 23 muertos, \$ 800 MM en daños.
- 3.- Basf, Cincinnati 1990: explosión de reactor de polimerización, 2 muertos 70 heridos.
- 4.- Norway: rompimiento de línea de solvente.- Perdida total de la planta.

En todos los casos fue muy difícil realizar y determinar las causas de los incidentes, dada la magnitud de los mismos, el común denominador fue: falla o ausencia de sistemas de seguridad.

Lo anteriormente descrito nos lleva a considerar a los sistemas de seguridad como parte imprescindible en el diseño de procesos químicos. Existen técnicas o métodos que nos permiten realizar con eficiencia, que riesgos podemos tener en una operación, en este caso trataremos sobre reactores de polimerización, tanto industriales como experimentales, la seguridad no trata de ocultar situaciones de riesgo, por el contrario, los busca, los controla y vive con ellos.

## 8.2.- CONCEPTOS BASICOS.

### RIESGO DE PROCESO:

Los riesgos de proceso son exposiciones, inherentes a un proceso u operación, con potencial de causar lesiones serias o daños substanciales a las instalaciones.

### ALGUNOS RIESGOS CRITICOS DE PROCESO:

#### 1.- EFECTOS DE EXPLOSIONES.

(ondas de choque, proyectiles, daños estructurales).

- a.- Explosiones de equipo o tubería,
  - 1.- Reacción interna fuera de control.
  - 2.- Sobrepresurización.
  - 3.- Falla mecánica.
- b.- Explosiones de vapor, polvos etc. en áreas confinadas.
- c.- Explosiones de nubes de vapor con confinadas.
- d.- Explosiones de rápida transición de fase incluyendo explosiones de líquido en ebullición con vapor de expansión.
- e.- Detonación de materiales en fase condensada. (explosivos).

## 2.- EXPOSICIONES TERMICAS O RADIOACTIVAS.

- a.- Riesgo de quemaduras térmicas.
- b.- Riesgo de quemaduras criogénicas.
- c.- Radiación nuclear o Electromagnética.

## 3.- EXPOSICIONES QUIMICAS, TOXICAS O CORROSIVAS.

- a.- Efecto de toxicidad aguda.
- b.- Quemaduras químicas o corrosividad.
- c.- Sofocación o asfixia.

## 4.- RIESGO DE PROCESOS MECANICOS.

## 5.- RIESGOS DE PROCESOS ELECTRICOS.

### REVISIONES DE RIESGOS DE PROCESO

Una revisión de riesgos de proceso es definida como el estudio sistemático y profundo de un proceso, usando métodos reconocidos de análisis para:

- \* Identificar Riesgos de Proceso.
- \* Evaluar la posibilidad de ocurrencia y el potencial de la consecuencias.
- \* Desarrollar recomendaciones prácticas para eliminar o controlar los riesgos.

### 8.3.- TIPOS DE REVISIONES DE RIESGOS DE PROCESO.

Se tienen dos tipos de revisiones de Riesgos de Proceso según la situación de la Instalaciones de ser analizadas:

- Revisión a una Instalación existente.
- Revisión de un Proyecto en su etapa de Ingeniería.

La revisión a una instalación existente se realiza de acuerdo a la periodicidad presentada en un programa establecido en cada empresa. Dicha reprogramación esta definida por la valoración potencial de riesgo.

La clasificación de un proceso puede ir disminuyendo en severidad dependiendo del avance que se vaya teniendo en el control de los riesgos involucrados.

Lo anterior implica que puede llegar el momento en que una cierta instalación actualmente clasificada como de riesgo alto puede alcanzar con el tiempo y el control de los riesgos detectados la clasificación mínima.

#### **8.4.- FORMA DE INICIO DE LA REVISION DE RIESGOS DE PROCESO.**

##### **1.- DETERMINACION DE LOS LIMITES DE BATERIA.**

Debe delimitarse con la mayor precisión posible las dimensiones del proceso a analizar con objeto de establecer implícitamente el alcance de la revisión.

La determinación de los límites puede ser a un grado tal que lleguen a especificarse desde válvulas de inicio o de descarga.

##### **2.- SEGMENTACION DEL PROCESO.**

Una vez definidos los límites de batería del proceso a analizar es conveniente segmentarlos con objeto de simplificar su revisión. Dicha segmentación puede ser por ejemplo, en el caso de una revisión a un proceso de descarga, transferencia y almacenamiento de materia prima la siguiente:

- 1er. Segmento: Descarga de pipas y/o carros tanque.
- 2do. Segmento: Bombeo de materia prima a tanque de almacenamiento.
- 3er. Segmento: Almacenamiento de la materia.
- 4to. Segmento: Bombeo a proceso productivo.

### **3.- IDENTIFICACION DE RIESGOS.**

Se deberá intentar identificar todos los riesgos de proceso, desde las etapas iniciales de la revisión.

De esta manera, serán factibles manejar y analizar los riesgos identificados en las siguientes etapas de revisión.

Dentro de la identificación de riesgos, los siguientes puntos son claves:

- 1.- No trate de resolver el problema.
- 2.- Listar para cada segmento del proceso los riesgos que involucran.
- 3.- No deseches ningún riesgo, por pequeño que pudiese parecer.
- 4.- Establecer "suposiciones clave". Dichas suposiciones son aquellas que se establecen al principio de la revisión y de antemano se sabe que serán válidas durante la misma.

Ejemplos:

- " El proceso a analizar es un proyecto".

### **4.- CLASIFICACION DE RIESGOS DE PROCESO.**

Básicamente es un resumen numérico de la hoja de seguridad de los materiales que se están manejando.

Las categorías estudiadas incluyen el análisis de los siguientes factores:

#### **A.- RIESGO A LA SALUD**

- 1.- Ruta tóxica.
- 2.- Límites de toxicidad.
- 3.- Exposición (número de empleados expuestos).

## B.- FLAMABILIDAD

- 1.- Punto de inflamación (flash Point) para líquidos.
- 2.- Variación de Presión para polvos (DP/DT).

## C.- ESTABILIDAD

- 1.- Grado de Autoreacción.

## 5.- MATRIZ DE INTERACCION QUIMICA.

La matriz de interacción es otra herramienta usada para la identificación de riesgos y consiste en listar en renglones y columnas todos los materiales que intervienen en la operación o proceso que están siendo analizado, para detectar incompatibilidad o reacciones no deseadas y que pudieran constituir un riesgo, ejemplo:

	1	2	3	4	5
1.- Bronce.	N	N	N	N	N
2.- Teflón.		N	N	N	N
3.- Acero.			N	N	N
4.- Madera.				N	N
5.- Aluminio.					N

## 6.- NIVEL DE RIESGO Y FRECUENCIA DE REVISION.

La clasificación del riesgo de operación se hace de acuerdo a cuatro consideraciones basadas en el riesgo más severo que se detectó para ese proceso en los anteriores pasos de análisis.

- Lesiones y Fatalidades.
- Pérdida o daño potencial a las Instalaciones.
- Riesgos ambientales a comunidades vecinas a las instalaciones.

- Riesgo químico.

### 8.5 METODOS DE REVISION.

Los métodos de análisis para una revisión deberán de ser correctamente seleccionados. Algunas empresas utilizan un check list en donde se revisan los siguientes puntos:

- Compara el proceso con la experiencia de la compañía.
- Identifica riesgos obvios en el mínimo de tiempo para áreas grandes.

### METODOS HAZOP Y FALLA MODO Y EFECTO.

#### Características Generales :

HAZOP- Analiza la desviación para llegar a la falla y las consecuencias.

- Proceso estructurado en base a palabras guía.
- Formato no cuantitativa de discusión.

#### Falla, Modo y Efecto (FMEA).

- Considera la forma del componente y las consecuencias de la falla.
- Análisis tabulando cada componente del sistema.
- Clasificación aproximada de los riesgos probabilidad y severidad.
- Consideración limitada a fallas humanas, componentes faltantes y pérdida de re-entrenamiento.

Estos métodos de análisis deberán de ser utilizados cuando existan segmentos de la operación con un alto riesgo de proceso. Una consideración importante con respecto a estos dos métodos es que debe preferirse el análisis HAZOP cuando el sistema presenta mayor intervención humana que instrumentación automatizada y el FMEA cuando la instrumentación del sistema es mayor que la intervención humana requerida por la operación.

Dos métodos que no se emplean por su desuso o su complejidad son " ¿ que pasa si ?, el cual carece de una metodología y por lo tanto es muy tardado y el Análisis por árbol de falla el cual requiere un entrenamiento especial.

Para efectos de el reactor experimental se escogio hacer un análisis HAZOP en virtud de los anteriormente expuesto, por lo que revisaremos este método a detalle.

## **8.6 ESTUDIO DE RIESGOS Y OPERABILIDAD.**

El estudio de riesgos y operabilidad (HAZOP) es la técnica de análisis que se basa en la aplicación de ciertas palabras guía para encontrar desviaciones a la operación de una línea o recipiente de manera de detentar las causas posibles de dicha desviación. En análisis se complementa con un estudio de las consecuencias potenciales adversas de las protecciones disponibles, generándose recomendaciones para reducir o eliminar los riesgos inherentes a la operación.

Este análisis se efectua llevando las hojas de tabulación específicas.

Los principios involucrados se pueden resumir de la siguiente manera.:

### **A.- PALABRAS CLAVE:**

**NO REVERSO.**

**MAS DE.**

**MENOS DE.**

**PARTE DE.**

**MAS QUE .**

**OTROS.**

Las palabras clave cubren todo parámetro relevante al sistema bajo revisión: Grado de Viscosidad, Flujo, Presión, etc.

El análisis se puede simplificar de la siguiente manera.

CAUSA <-----DESVIACION-----> CONSECUENCIAS

El significado de las palabras clave es el siguiente:

**NO, REVERSO.**- No hay flujo en la dirección correcta, se presenta flujo inverso.

**MAS DE** .- Más de cualquier parámetro físico relevante del que debiera haber:ejem. más flujo, presión etc.

**MENOS DE** .- El opuesto a "Mas de ".

**PARTE DE** .- Composición del sistema diferente del que debiera haber.

**MAS QUE** .- Más cosas presentes de las que debiera haber.

ejemplo: impurezas.

**OTROS.**- Que necesita pasar otras cosas en vez de la operación normal: ejem: arranque, paro, omitir equipo o instrumentación.

#### **B.- SECUENCIA DE PALABRAS CLAVE SUGERIDAS.**

- 1.- No hay Flujo.
- 2.- Flujo Reverso.
- 3.- Menor Flujo.
- 4.- Mayor Flujo.
- 5.- Mayor Presión.
- 6.- Menor Presión.
- 7.- Mayor Temperatura.
- 8.- Menor Temperatura.
- 9.- Mas de/Menos de (cualquier otro parámetro físico relevante).
- 10.- Diferencias de composición (parte de).

11.- Cosas extras presentes (más que).

12.- Otros.

**C.- PALABRAS DE APOYO DURANTE EL USO DEL ESTUDIO HAZOP.**

1.- ¿ Cual es la intención específica de la línea de proceso, equipo o procedimiento?.

2.- ¿ Al aplicar la palabra guía, que cambio en la intención se puede identificar ?.

3.- ¿ Cuáles son las causas de ese cambio ?.

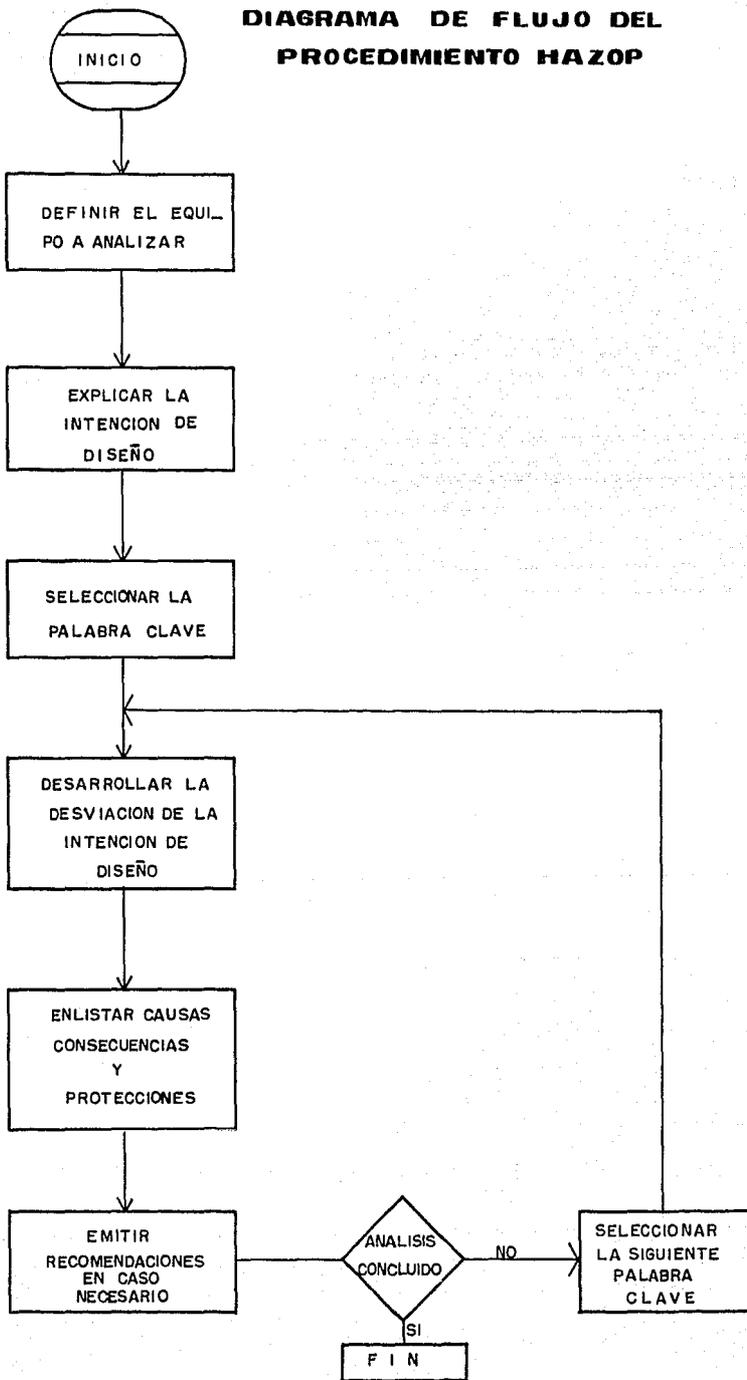
4.- ¿Cuál es la peor catástrofe que razonablemente puede ocurrir ?, ( Asumiendo que la protección disponible no funciona ).

5.- ¿ Qué protecciones se tiene? (habilitadores).

6.- ¿ Que protección adicional se requiere ?

**NOTA:** La clave para llevar a cabo exitosamente un análisis de riesgo mediante HAZOP es el ser específico con la oración de intención o propósito de la línea.

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO HAZOP



## 8.7 SISTEMAS DE SEGURIDAD DE REACTORES INDUSTRIALES.

Antes de hacer el estudio de análisis de riesgo de proceso a nuestro reactor experimental, es necesario hacer una revisión de los sistemas de seguridad que se tienen disponibles a nivel industrial. La causa principal de incidentes en el área de reacción es debida a las reacciones fuera de control.

Una reacción fuera de control está definida por los siguientes puntos:

- Un incremento excesivo de temperatura y presión.
- Los métodos de enfriamiento normalmente usados son capaces de controlar la reacción.

Es en el proceso de resinas acrílicas en donde se encuentra el mayor potencial de daño ya que termodinámicamente son reacciones endotérmicas, y por el mecanismo de reacción son susceptibles a salirse fuera de control.

Las causas potenciales para tener reacciones fuera de control son las siguientes:

- Tubos del condensador taponeados.
- Falla en el sistema de bombeo de agua de enfriamiento.
- Falla de instrumentos.
- Generación de espuma en el proceso.
- Mala carga de material primas.
- Velocidad de alimentación de monómeros inadecuada.
- Reacción exotérmica espontánea.
- Falla en la limpieza de los equipos.
- Falla en el sistema de agitación.

Estas causas son las más comunes, por lo que los sistemas de seguridad estarán enfocados a prevenir las reacciones fuera de control, a controlarlas cuando estas se presenten y a evitar una conflagración cuando esta no se puedan controlar.

## LOS SISTEMAS MAS UTILIZADOS SON:

- a.- Venteos.
- b.- Válvulas de Alivio.
- c.- Discos de Ruptura.
- d.- Sistemas Inhibidor de reacciones vía radicales libres.

### a: Venteos.

Un venteo es un sistema de tubería que sirve para desfogar la presión de un sistema a otro, en nuestro caso al tanque receptor. El tamaño de dicho sistema se determina empíricamente. Es el primer recurso en el caso de una reacción fuera de control y nos ayuda a equilibrar presiones, ayuda a remover del sistema gases no condensables como el nitrógeno y el dióxido de carbono favoreciendo la eficiencia del condensador.

Sus desventajas son las siguientes:

- La línea puede obstruirse fácilmente ya que generalmente están equipados con arrastraflamas.
- Si no se tiene el arrastraflamas se tiene el potencial de fuego.
- El diámetro de la tubería no permite manejar grandes cantidades.
- Si la descarga es a un tanque atmosférico, se tienen problemas de contaminación ambiental.
- Se tiene que contar con un sistema de válvulas que permita manejar el sistema para evitar rupturas de tanque por vacío.
- Se recomienda su uso en sistemas de reacción y tanques de alimentación.

### b: Válvulas de alivio.

Las válvulas de alivio son dispositivos calibrados que abren a una presión especificada y cierran abajo de ella.

Son usadas en tanques de almacenamiento, alimentación y su función es la de prevenir la ruptura del contenedor provocada por una presión. como ventaja se tiene el hecho de abrir a una presión especificada sin embargo fallan fácilmente, su mantenimiento es caro y fugan con facilidad.

#### c.- Discos de Ruptura.

El disco de ruptura es un dispositivo instalado en una línea del sistema de reacción el cual se rompe a una determinada presión desfogando grandes cantidades de material. Sus ventajas son enormes ya que no es caro, permite desfogar grandes cantidades de material y no falla fácilmente. Su eficiencia se puede ver afectada por pobre mantenimiento ya que la corrosión puede dañarlo. Es necesario revisarlos cuando menos cada 6 meses.

Este dispositivo deberá estar conectado a un tanque receptor, el cual evitará la fuga del material al medio ambiente, se recomienda que dicho tanque tenga tres veces la capacidad del reactor, a este tanque deberán de estar conectados la línea de los venteos y de las válvulas de relevo.

#### d.- Sistema Inhibidor de Reacciones.

Como se ha discutido con anterioridad en nuestro sistema podemos tener reacciones fuera de control en procesos acrílicos.

Los sistemas de seguridad anteriormente descritos son mecánicos y ajenos al proceso en sí. Desde el punto de vista químico, podemos controlar las reacciones fuera de control adicionando un compuesto químico el cual inhiba la reacción.

Dado el mecanismo, la reacción avanza por la generación de un electrón desapareado el cual al reaccionar con otra molécula, hace la cademas más grande. En una reacción fuera de control, se tiene una generación muy grande de radicales libres los cuales provocan un aumento excesivo en la temperatura y por consiguiente en la presión. El objetivo de esta solución inhibidora es el de captar ese electrón. La familia de las quinonas son dicetonas cíclicas conjugadas las cuales captan al electrón libre, entrando la molécula en resonancia.

## Conclusion

En un sistema de reacción de polimerización a nivel industrial, se tienen que contar con todos los sistemas de seguridad anteriormente descritos para garantizar una operación segura y eficiente. Por desgracia las políticas de seguridad no son uniformes en la Industria Nacional.

## **8.8 ANALISIS HAZOP DEL REACTOR EXPERIMENTAL.**

# ESTUDIO DE HAZOP DE RIESGOS DE PROCESO

PHR No.:

# 1

TITULO:

PROCESO ACRILICO

HOJA CONSECUTIVA #: 68-A

AREA:

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA V.L.S.A.

DTI No.:

NO APLICA

EQUIPO O LINEA No.:

REACTOR DE VIDRIO

DESCRIPCION:

REALIZAR UN ANALISIS DE

FECHA:

30/X/92

INTENCION DE DISEÑO:

RIESGO AL SISTEMA DE

HOJA:

1

GRUPO REVISOR:

JORGE LECHUGA / CARLOS ROMO / JOSE LUIS GONZALEZ

POLIMERIZACION

DE:

2

PALABRA GUIA	DESVIACION DE LA INTENCION	CAUSAS DE LA DESVIACION	CONSECUENCIAS DE LA DESVIACION	PROTECCIONES DISPONIBLES	RECOMENDACION (ES)
NO O REVERSO	* NO HAY FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	* VALVULA CERRADA * FUGA EN MANGUERAS * SUSPENSION DEL SISTEMA * DESCUIDO DE LA OPERACION	* REACCION FUERA DE CONTROL	* VENTEOS	* SEGUIR UN CHEQUEO ANTES DE OPERAR
	* NO HAY REFLUJO EN LA OPERACION	* MALA SELECCION DE SOLVENTES EN LA FORMULACION * ERROR EN LA CARGA	* REACCION FUERA DE CONTROL * BAJA TEMPERATURA		* SUSPENDER EL PROCESO
	* FLUJO INVERSO POR FORMACION DE ESPUMA	* ERROR EN LA MANUFACTURA * MALA CARGA + SOLVENTE MUY VOLATIL * ALTA TEMPERATURA	* REACCION FUERA DE CONTROL	* VENTEOS	* APAGAR EL AGITADOR * ENFRIAR LA CARGA
MAS DE	* MAS FLUJO DURANTE LA ALIMENTACION	* DESCUIDO DEL OPERADOR	* REACCION FUERA DE CONTROL	* VALVULA DOSIFICADORA	* CERRAR LA VALVULA * AUMENTAR FLUJO DE ENFRIAMIENTO
	* MAYOR CONCENTRACION DE INICIADOR DURANTE LA ALIMENTACION	* MALA CARGA	* REACCION FUERA DE CONTROL	* VENTEO * BALANCEAR VELOCIDADES DE ADICION	* AGREGAR SOLUCION DE QUINONAS * CHECAR BASCULA
MENOS DE	* MENOR CANTIDAD DE MONOMERO EN LA CARGA	* MALA CARGA	* RESINA FUERA DE ESPECIFICACION	* VENTEO	
PARTE DE	* EQUIPO MAL INSTALADO	* DECISION DEL OPERADOR	* FUGA DE VAPORES * POSIBLES QUEMADURAS	* INSPECCION FINAL ANTES DE PROCESO	* SEGUIR EL PROCEDIMIENTO
MAS QUE	* NO APLICA				
OTROS	* ABANDONO DEL AREA	* FALTA DE ALERTA PERSONAL	* POTENCIAL DEL DAÑO		* AVISAR AL PROFESOR A LA BREVEDAD POSIBLE

# ESTUDIO DE HAZOP DE RIESGOS DE PROCESO

PHR No.: # 1  
 AREA: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA V.L.S.A.  
 DTT No.: NO APLICA  
 EQUIPO O LINEA No.: REACTOR DE VIDRIO  
 INTENCION DE DISEÑO:  
 GRUPO REVISOR: JORGE LECHUGA / CARLOS ROMO / JOSE LUIS GONZALEZ

TITULO: PROCESO ACRILICO  
 DESCRIPCION: REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGO AL SISTEMA DE POLIMERIZACION

HOJA CONSECUTIVA #: 68-B

FECHA: 30/X/92  
 HOJA: 2  
 DE: 2

PALABRA GUIA	DESVIACION DE LA INTENCION	CAUSAS DE LA DESVIACION	CONSECUENCIAS DE LA DESVIACION	PROTECCIONES DISPONIBLES	RECOMENDACION (ES)
NO O REVERSO	* NO HAY FLUJO DURANTE LA ALIMENTACION  	* VALVULA CERRADA * DESCUIDO DEL OPERADOR  	* RESINA FUERA DE PROPIEDADES * POTENCIAL DE REACCION VIOLENTA  		* CHEQUEO PERIODICO DEL SISTEMA  
MAS DE	* MAYOR TEMPERATURA DE PROCESO  	* DESCUIDO DE LA OPERACION  	* REACCION FUERA DE CONTROL  	* VENTEO  	* ENFRIAR CON SOLVENTE PESADO (XILOL, TOLUENO)  
MENOS DE					
PARTE DE					
MAS QUE					
OTROS					

# ESTUDIO DE HAZOP DE RIESGOS DE PROCESO

PHR No.: # 2  
 AREA: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA V.L.S.A.  
 DTI No.: NO APLICA  
 EQUIPO O LINEA No.: REACTOR DE VIDRIO  
 INTENCION DE DISEÑO:  
 GRUPO REVISOR: JORGE LECHUGA / CARLOS ROMO / JOSE LUIS GONZALEZ

TITULO: PROCESO ALQUIDAL  
 DESCRIPCION: REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGO AL SISTEMA DE POLIMERIZACION

HOJA CONSECUTIVA #: 68-C  
 FECHA: 30/X/92  
 HOJA: 1  
 DE: 1

PALABRA GUIA	DESVIACION DE LA INTENCION	CAUSAS DE LA DESVIACION	CONSECUENCIAS DE LA DESVIACION	PROTECCIONES DISPONIBLES	RECOMENDACION (ES)
NO O REVERSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NO HAY FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO</li> <li>* FORMACION DE ESPUMA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* VALVULA CERRADA</li> <li>* DESCUIDO DEL OPERADOR</li> <li>* VELOCIDAD BAJA DE AGITACION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* GELAMIENTO (FUGA DE GLICOL)</li> <li>* REACCION FUERA DE CONTROL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* VERIFICACION ANTES DE COMENZAR</li> <li>* ADICION DE GLICOLES</li> <li>* VENTEO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ALERTA PERSONAL</li> <li>* APAGAR AGITADOR</li> </ul>
MAS DE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ACEITE EN LA CARGA</li> <li>* ACIDO EN LA CARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* MALA CARGA</li> <li>* MALA CARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* RESINA FUERA DE ESPECIFICACIONES</li> <li>* GELAMIENTO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NINGUNA</li> <li>* ADICION DE ACEITES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* INSPECCION DE BASCULAS</li> <li>* INSPECCION DE BASCULAS</li> </ul>
MENOS DE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ACEITE EN LA CARGA</li> <li>* ACIDO EN LA CARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* MALA CARGA</li> <li>* MALA CARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* GELAMIENTO</li> <li>* RESINA FUERA DE ESPECIFICACIONES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NINGUNA</li> <li>* NINGUNA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* CUIDADO CON EL PESADO</li> <li>* CUIDADO CON EL PESADO</li> </ul>
PARTE DE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* EQUIPO MAL INSTALADO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* DESCUIDO DE LA OPERACION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* FUGA Y QUEMADURAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* USAR E.P.P.</li> <li>* VERIFICAR ANTES DE COMENZAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ALERTA DURANTE EL PROCESO</li> </ul>
MAS QUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NO APLICA</li> </ul>				
OTROS	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NO REMOVER AGUA DE REACCION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* DESCUIDO DE LA OPERACION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* NO HAY AVANCE DE REACCION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* TANQUE SEPARADOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ALERTA DURANTE EL PROCESO</li> </ul>

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Los objetivos de este trabajo se cumplieron, ya que se diseño y se construyo un reactor de polimerización adecuado a las necesidades didácticas y de investigación de la Universidad La Salle.

Asimismo, se elaboraron prácticas representativas de dichos sistemas (acrílico - poliéster), las cuales complementan la cátedra de Ingeniería de Reactores y Polímeros. Es importante recalcar que las materias primas se encuentran disponibles en cualquier laboratorio por lo que el costo de las mismas disminuye, haciendo la operación rentable.

Finalmente se llevo a cabo una revisión de riesgo de proceso del equipo experimental mediante el metodo "HAZOP" debido a la relevancia de la seguridad industrial como parte fundamental de la formación de un ingeniero químico, dado que la tendencia actual es la de resolver problemas de Salud Ocupacional, Control de desechos y preservación del medio ambiente.

Este trabajo cumple con su objetivo formativo ya que maneja disciplinas como lo es química orgánica, fisicoquímica, cinética, ingeniería de reactores, polímeros y seguridad industrial.

**ANEXO PRACTICAS  
PROPUESTAS**

PRACTICA 3 PROCESO DE POLIMERIZACION DE RESINA ALQUIDAL POLIESTER

PASO A.- CARGAR AL REACTOR INICIANDO CALENTAMIENTO A FUNDICION.  
NO ARRANCAR EL AGITADOR.

NEOPENTIL GLICOL    18 %  
TRIMETIOL PROPANO    20 %  
ACIDO ISOFTALICO    42 %  
XILOL                3 %

PASO B.- CUANDO EL MATERIAL ESTE FUNDIDO ARRANCAR EL AGITADOR Y CALENTAR A REFLUJO A 160 C.

COMENZAR A CHECAR VISCOSIDAD Y N.A. HASTA ALCANZAR LA VISCOSIDAD DE CORTE. REMOVER EL AGUA DE REACCION MEDIANTE EL EMBUDO DE SEPARACION.

PASO C.- CORTAR LA RESINA Y TRANSFERIRLA DEL REACTOR CUANDO ESTE A UNA TEMPERATURA MENOR A 100 C.

N O T A : LAVAR MUY BIEN EL EQUIPO YA QUE PUEDE FACILMENTE QUEDAR INCRUSTADO POR RESINA.

ESTA RESINA SE PUEDE GELAR FACILMENTE POR LO QUE ES MUY IMPORTANTE CORTAR EN LA VISCOSIDAD DE CORTE:

VISCOSIDAD DE CORTE        : X  
NUMERO ACIDO DE CORTE    : 10 A 5  
VISCOSIDAD FINAL            : Z

U N I V E R S I D A D L A S A L L E

PRACTICA 2 PROCESO DE POLIMERIZACION DE RESINA ACRILICA CON ALIMENTACION CONTROLADA DE MONOMEROS.

PASO A .- CARGAR AL REACTOR INICIANDO CALENTAMIENTO A REFLUJO 160 C.

XIOL 33 %

PASO B .- CARGAR AL TANQUE DE MONOMEROS ALIMENTANDO EN 4 HORAS

METIL META ACRILATO 29 %

HIDROXI ETIL ACRILATO 10 %

BUTIL ACRILATO 24 %

PASO C .- CARGAR AL TANQUE DE INICADORES ALIMENTANDO EN 4 HORAS SIMULTANEAMENTE CON EL PASO B.

PEROXIDO TERCIARIO DE BUTILO 1. %

XIOL 3 %

PASO D.- AGREGAR PARA LAVAR A LOS TANQUES DE ALIMENTACION

XIOL EN CADA TANQUE

PROPIEDADES FINALES:

% SOLIDOS : 60 % A 65 %

VISCOSIDAD : Y A Z

PRACTICA 1 PROCESO DE POLIMERIZACION DE RESINA ACRILICA SIN ALIMENTACION.

PASO A.- CARGAR AL REACTOR INICIANDO AGITACION SIN CALENTAMIENTO.

METIL META ACRILATO 40 %

TOLUENO 18 %

PASO B.- EN UN VASO DE PRECIPITADO DISOLVER Y ADICIONAR AL REACTOR.

TOLUENO 7 %

ACETONA 1.5 %

PEROXIDO DE BENZOILO 0.1 %

PASO C.- COMENZAR EL CALENTAMIENTO HASTA 60 C. SUSPENDER EL CALENTAMIENTO. LA TEMPERATURA DEL AUMENTARA HASTA 80 C.

PASO D.- MANTENER LA REACCION DURANTE 2 HORAS.

PASO E.- USAR PARA ENJUAGAR EL EQUIPO:

TOLUENO 16 %

ACETONA 16 %

CHECAR PROPIEDADES FINALES.

VISCOSIDAD : X A Z

% DE SOLIDOS : 35 % A 45 %

PASO F.- DESCARGAR LA RESINA DEL REACTOR Y LAVAR EL EQUIPO.

## **BIBLIOGRAFIA**

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

- 1.- Reaction Kinetics for Chemical Engineers.  
Stanley Walas. Mc Graw-Hill.
- 2.- Ingenieria de la Cinetica Quimica.  
J.M. Smith. CECSA 1987.
- 3.- Ingenieria de Reacciones Quimicas.  
O. Levenspiel Repla 1987.
- 4.- Omnilibros de los Reactores Quimicos.  
O. Levenspiel. Reverte 1989.
- 5.- Manual del Ingeniero Químico.  
Perry-Chilton Mc Graw-Hill 1975.
- 6.- Introduction to Polymers and Resins.  
Joseph Prane. Federation Series on Coatings Technology.
- 7.- Engineering Aspects of Emulsion Polymerization and Monomers. Celanese Chemical Company.
- 8.- Productos Quimicos Industriales.  
Limusa 1985.
- 9.- Procesos de Polimerizacion.  
Ferdinand Rodriguez. 1982.
- 10.- Reaction Kinetics for Chemical Engineers.  
Holland 1986.

- 11.- Kinetic Study of Processes in Solution.  
Julio Casado. Journal of Chemical Education.
- 12.- Molecular Weight Distribution Control in a Batch.  
Polimerization Reactor.  
Takamatsu-Shtuya-Okada. Ind. Eng. Chem Res. 1988.
- 13.- A New Perspective on Kinetic and Thermodynamic.  
Control of Reactions.  
B. Snadden Journal of Chemical Education.
- 14.- Manual de Analisis de Riesgo de Proceso.  
Sub comite PHR. Du Pont S.A. de C.V.
- 15.- Sizing Emergency Relief Systems on Vessels  
Containing Monomers.  
Harmon and Wanee. C.E.P. 1984.