

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**Alcance de Proyecto para la Instalación de
una Planta Piloto de Polimerización**

59

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTAN
AUGUSTO ANTONIO CARMONA CUERVO
FRANCISCO MORENO BARROSO

MEXICO, D. F.

1 9 7 4



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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


JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE	Prof. JULIO TERAN ZAVALETA
VOCAL	Prof. HECTOR SOBOL ZASLAV
SECRETARIO	Prof. FERNANDO ITURBE HERMANN
1er. SUPLENTE	Prof. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE
2o. SUPLENTE	Profa. MARGARITA GONZALEZ TERAN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA


SUSTENTANTE:


AUGUSTO ANTONIO CARMONA CUERVO

SUSTENTANTE:


FRANCISCO MORENO BARROSO

ASESOR DEL TEMA:


QUIM. JULIO TERAN ZAVALETA

A MIS PADRES:

VICTORIA Y ERNESTO

A M I M A D R E

A M I S H E R M A N O S

CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO I.- INTRODUCCION.	
A. Generalidades.	2
B. Objetivos de la Tesis.	7
CAPITULO II.- TECNICAS DE POLIMERIZACION.	
A. Polimerización en Solución.	11
B. Polimerización en Suspensión.	39
C. Polimerización en Emulsión.	47
CAPITULO III.- PAQUETE DE DISEÑO PARA LA PLANTA PILOTO DE POLIMERIZACION.	
A. Descripción del Proceso.	62
B. Descripción de Materias Primas	64
C. Descripción de Facilidades	65
1. Descripción de equipo	67
2. Diagrama de Flujo.	103
3. Diagrama de Ingeniería.	105
4. Diagrama de Localización de Equipo.	109
5. Lista de Instrumentos.	115
6. Localización de la Planta Piloto.	117
D. Requerimientos y Resumen de Servicios.	119
E. Organización y Forma de Trabajo.	126
CAPITULO IV.- ESTIMACION DE COSTO.	
A. Inversión Total.	130
B. Costo de Servicio.	135
CONCLUSIONES.	136
BIBLIOGRAFIA.	138

CAPITULO I

INTRODUCCION

A. GENERALIDADES

B. OBJETIVOS DE LA TESIS

INTRODUCCION

A. GENERALIDADES

La posibilidad de desarrollar un proceso químico surge de la necesidad de establecer una empresa comercial, la manufactura de un producto determinado o la satisfacción de una demanda social. El diseño de todo nuevo proceso, en nuestros días se lleva a cabo en la gran mayoría de los casos, en los países de mayor desarrollo económico, siguiendo en forma general la siguiente secuencia:

a) Investigación en Laboratorio.

En esta etapa se hace el estudio de las reacciones químicas y conversiones de productos y subproductos.

b) Diseño Básico

En esta otra se hace el estudio de los balances de materia y energía así como el mercadeo de materias primas y producto terminado.

c) Planta Piloto

En esta fase del nuevo proceso, se diseña en forma preliminar el diagrama de flujo; se estudia la cinética de la reacción y las condiciones óptimas de operación del reactor. Se analizan las operaciones más críticas y se realiza un estudio más cuidadoso de mercado para determinar las capacidades de producción.

d) Planta Comercial

Se hace el diseño final del diagrama de flujo; se realiza el diseño de detalle, se construye y se arranca la planta. Por último se optimiza el proceso.

Este procedimiento del desarrollo de un proceso, en donde se estudian en forma sistemática las alternativas y se selecciona la más económica posible para las condiciones del país en que se desarrolla, contrasta con el procedimiento que se suele seguir en los países poco industrializados que importan la tec-

nología del proceso, escogiendo exclusivamente entre aquellas alternativas que han sido comercializadas por los proveedores de tecnología pero que no siempre son las más adecuadas para las condiciones locales.

Es un hecho que la industria de resinas termoplásticas en México obtiene absolutamente toda su tecnología con base en patentes extranjeras de las grandes compañías internacionales como son: Dupont, Celanese, Monsanto, ICI, Goodyear por nombrar algunas.

La adquisición de tecnología extranjera trae consigo dos consecuencias adversas para el desarrollo: la limitación de la información por un lado, y la fuga de divisas por otro. La primera consiste en una entrega incompleta de la información básica, que no incluye todas las modificaciones recientes hechas al proceso; y que normalmente se reciben después de largo tiempo de haberse implantado con éxito en el proceso del licenciador. Esta es la razón por la que el soporte tecnológico de la producción de resinas termoplásticas en México, esté a la zaga del nivel de tecnología que se practica en aquellas compañías que la proporcionan.

En lo que se refiere a la fuga de divisas, desde hace algunos años y repetidamente se ha mencionado por representantes de instituciones privadas y gubernamentales, que el pago que nuestro país hace por la adquisición de tecnología significa una sangría muy crítica para la economía del país.

Hay además otras desventajas en la compra de tecnología que son:

1. Siempre se está en permanente dependencia de otros, los que

en un momento dado pueden suspender el servicio o limitarlo.

2. La capacidad creativa de los técnicos se inhibe. Esto se puede contrarrestar tratando de modificar la tecnología recibida y mejorarla a nivel planta.
3. Se pierde la posibilidad de encontrar otras alternativas y otros productos para el proceso en operación.
4. No siempre hay tecnologías adecuadas al mercado mexicano y muchas veces se corre el riesgo de tenerlas que adaptar a nivel planta.
5. Se tiene que mantener vigilancia permanente de la información que se recibe para evitar conflictos y demandas.
6. Cualquier mejora realizada al proceso tiene que mandarse al licenciador en forma gratuita.

Nuestra industria debe buscar los medios de desarrollo tecnológico para evitar la importación de tecnología y hacer que sus procesos sean dinámicos para obtener productos competitivos en calidad y costo a nivel internacional inclusive.

Puede decirse que el desarrollo de tecnología requiere básicamente de la investigación en laboratorio y de la investigación dirigida en Planta Piloto. En el laboratorio se estudian las reacciones químicas ya que son estas las que tienen una influencia mucho mayor sobre la estructura del proceso. Es indispensable contar con laboratorios que estén perfectamente equipados para poder llevar a cabo las síntesis seleccionadas y los análisis de los productos y subproductos obtenidos; con lo cual se obtendrá la información necesaria para desarrollar un nuevo proceso.

Por otro lado, las plantas piloto son unidades de proceso de media escala que contienen todos los elementos esenciales incluyendo el control.

El equipo de una planta piloto siempre cae dentro de alguna de las siguientes categorías:

- (a) Es capaz de producir resultados traducibles al diseño de una planta comercial.
- (b) Se diseña y se construye para permitir un rango mucho mayor de variación de las variables de proceso, del que normalmente se dispone en los modelos de producción a escala comercial.

La conversión de los datos de laboratorio, transmitidos por el grupo de investigación; a los datos para el diseño de la planta comercial, es solamente una de las funciones de la planta piloto. Tal tarea requiere establecer un programa definido que incluya la investigación completa de las reacciones y reactivos básicos, tiempo, temperatura, concentración y factores de catálisis; un estudio de las materias primas, las operaciones necesarias, las especificaciones de control, los riesgos a la salud y la seguridad que presenta el nuevo proceso. El proceso debe ser investigado con la dedicación y el celo de un investigador puro, pero desde el punto de vista del ingeniero químico. La planta piloto en tales casos es una unidad de investigación y debe usarse para la selección del equipo adecuado, información de requerimientos de mano de obra y facilitar un estudio de recuperación de subproductos y problemas de desechos. Después que se diseña una nueva planta o un nuevo proceso, la planta piloto continúa las investigaciones para seguir evolucionando el proceso y evitar que este se estacione en unas condiciones no optimizadas.

Los procesos en operación usan la planta piloto como un medio para resolver problemas o desarrollar trabajos en la evaluación de materias primas alternativas, en el mejoramiento de

productos y subproductos, en la disminución de costos, para mejorar la seguridad y tener la operación al día.

Cuando el proceso se transfiere del laboratorio a la planta piloto normalmente hay cambio de personal y a menudo los ingenieros químicos forman parte integral del grupo de observación de la planta piloto; sin embargo en algunas compañías el grupo de la planta piloto está dirigido por el químico o el ingeniero investigador que estuvo a cargo del laboratorio, puesto que él está más familiarizado con todos los detalles del proceso.

El estudio del proceso y el producto, por el ingeniero químico, constituye una evaluación desde un punto de vista diferente de aquel que tiene el químico investigador; pero finalmente lo que se desea al operar la planta piloto es QUE TODOS LOS RIESGOS TANTO ECONOMICOS COMO TECNICOS DE LA PLANTA COMERCIAL SE MINIMICEN Y DE PREFERENCIA SE ELIMINEN. La planta piloto debe ser capaz de operar durante periodos relativamente largos, bajo condiciones que no cambien frecuentemente, para obtener una buena aproximación de los costos de mano de obra y gastos de manufactura. En una planta piloto los equipos se seleccionan específicamente para el trabajo que va a desarrollar y no deben desmantelarse una vez que la planta comercial esté en operación, ya que es el lugar en donde se llevarán a cabo las mejoras de calidad y manufactura. Algunas veces el departamento de ingeniería se brinca la etapa de planta piloto pasando directamente al diseño de la unidad comercial y en ocasiones hasta la construcción de la misma. Este es un procedimiento razonable cuando se trata de un proceso similar en muchos aspectos.

tos a otro ya establecido y en el cual existen suficientes datos técnicos de diseño. Sin embargo, la información necesitada puede ser de dificultades muy peculiares que no hayan aparecido en el proceso existente y que requieren solución antes de pasar a la siguiente etapa. Es cuando se justifica nuevamente la fase de planta piloto.

B. OBJETIVOS DE LA TESIS

El objetivo principal de esta tesis es proporcionar las bases de diseño para la instalación de una planta piloto implementada con todas las facilidades de proceso que requieren las polimerizaciones por los métodos de suspensión, solución y emulsión.

La construcción de esta planta piloto, vendría a resolver en parte el problema actual por el que atraviesa la industria nacional de los plásticos, al tener que importar tecnología. Por otro lado la utilidad de este proyecto, sería su aplicación como un medio para la realización de prácticas académicas y trabajos de investigación a nivel profesional de cualquier institución educativa ya sea universitaria o tecnológica.

Desde el punto de vista comercial, con las facilidades de esta planta piloto de polimerización se podrían efectuar las siguientes actividades de interés industrial:

- (a) Evaluación de materias primas alternativas.
- (b) Investigación de nuevos productos para su implantación a nivel comercial.
- (c) Determinación empírica de ecuaciones de velocidad, como una guía para los cálculos de diseño de reactores comerciales.
- (d) Simulación de procesos en operación, con nuevas condiciones.

- (e) Reproducción de fallas del proceso por errores de operación.
- (f) Entrenamiento de personal.

La ventaja de poder efectuar estas actividades en planta piloto y no a nivel comercial, es que se minimizan los riesgos económicos y de seguridad al personal e instalaciones.

Se contará con un área de almacenamiento para recibir todos los materiales necesarios que el cliente vaya a usar durante el tiempo de investigación en la planta piloto, de tal forma que tenga a la mano las materias primas en las cantidades y condiciones requeridas.

Habrà otra sección de la planta piloto que tendrá un sistema de purificación de monómeros y un sistema de medidores pre via adición al reactor o tanques de disolución.

Existirán cuatro reactores de tamaños diferentes, encaquetados para calentamiento y enfriamiento, de agitación contfnuua y con la instrumentación suficiente para medir, controlar y registrar las variables de proceso más significativas de interés para el usuario.

En ciertas ocasiones será necesario guardar el material po limerizado, por lo que se tendrán tanques de almacenamiento con agitación para evitar aglomeraciones del material y atmósfera - inerte cuando se trabaje con materiales que produzcan mezclas - tóxicas o explosivas.

Se proporcionarán los servicios indispensables y básicos para el buen funcionamiento de cualquier proceso de polimerización, como son: Vapor de calentamiento, aire de servicio, aire de instrumentos, electricidad, agua desmineralizada, agua de en-

friamiento, nitrógeno a presión y sistemas de vacío.

El personal administrativo se encargará de tratar con los usuarios lo que respecta al uso de las facilidades proporcionadas por las instalaciones, programar el tiempo de operación de la planta y dirigir las actividades del personal a su cargo. El personal de operación tendrá como función primordial, la de conocer y manejar correctamente todas las instalaciones existentes para proporcionar las facilidades que el usuario solicite, de tal forma que éste, aún sin conocerlas pueda realizar sus experimentaciones y obtener resultados que le ayuden a alcanzar sus objetivos. Otra responsabilidad de este personal, será la de mantener el equipo en sus condiciones óptimas de operación.

Cada uno de los puntos anteriormente mencionados serán desarrollados al detalle en los incisos correspondientes del alcance de proyecto, incluido en este trabajo.

CAPITULO II

TECNICAS DE POLIMERIZACION

- A. Polimerización en Solución
- B. Polimerización en Suspensión
- C. Polimerización en Emulsión
- D. Polimerización en Masa

A. POLIMERIZACION EN SOLUCION

Con este método de polimerización se pueden llevar a cabo, tanto reacciones de adición como reacciones por condensación. La técnica más sencilla para la polimerización por el método de solución, consiste en mezclar el monómero, el catalizador y un solvente para formar una solución que reacciona sin necesidad de calentamiento o enfriamiento y sin requerir ningún cuidado especial. En el otro extremo se tiene un método sofisticado, como es el caso de la fabricación de hule sintético, en donde se utiliza un catalizador de coordinación. Este método requiere de una técnica y un equipo muy elaborados. Es indispensable eliminar todos los deactivadores del catalizador (humedad, aire, CO₂ ...) que pudieran encontrarse como contaminantes del monómero, solvente o cualquier otro ingrediente con el que vaya a estar en contacto el catalizador de coordinación antes de iniciarse la reacción. Algunas veces es necesario asegurar concentraciones tan bajas como de 10 ppm de estos deactivadores, para eliminar cualquier interferencia con la actividad del catalizador. Todos los factores que afectan la calidad del producto, son rigurosamente controlados y la selección de los materiales de construcción requiere de gran cuidado, para evitar contaminaciones de los productos.

La diversidad de los métodos utilizados en la polimerización por solución y la amplia variedad de polímeros que se pueden producir, se muestra en la TABLA I.

El proceso de polimerización por solución tiene algunas ventajas sobre las técnicas de emulsión, masa y suspensión, por ejemplo:

TABLA # 1

<u>Monómeros</u>	<u>Producto</u>	<u>Solvente</u>	<u>Catalizador Coordinación</u>	<u>Presión</u>	<u>Temp.</u>	<u>Separación</u>
Isopreno 1-3 Butadieno $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CA}=\text{CH}_2$ CH_3 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}=\text{CH}_2$	Hule sintético	Hexano, Heptano, Olefinas Benceno-RX; deben estar libres - de H_2O , O_2 o inhibidor.	Ti11 ₄ , R.A1 CoX, R-Li	# Kg/Cm ²	10°C	Se coagula con vapor, la suspensión en agua caliente se extruye y finalmente se seca en secador de tambores.
Isobutileno + Isopreno $\text{CH}-e(\text{CH}_3) =$ CH_2	Hule butílico	$\text{CH}_3 \text{cl}$	AlCl_3	Atm.	-95°C	Suspensión en agua caliente.
Etileno $\text{CH}_2 =$ CH_2	Polietileno	Ciclo hexano Pentano o - Octano C_5H_2 ó C_8H_{18}	Cr_2O_3 Sobre una - base de silico alumina	30-35 atm.	135-190 °C	Precipitación con - agua y lavado con- vapor.
Etileno $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	Polietileno	Etileno	Peróxido	500-2000 atm.	100-250	?
Acetato de vinilo $\text{CH}_2 = \text{CH}$	PV Acetato	Alcohol, eter o aromático	Peróxido	?	? 75-85 en la chaqueta	Precipitación
Ureo (NH_2) CO Formaldehido CH_2O	Resina U-F	Agua	?	?	?	?

T A B L A # 1 (Cont'n.)

<u>Monómeros</u>	<u>Producto</u>	<u>Solvente</u>	<u>Catalizador Coordinación</u>	<u>Presión</u>	<u>Temp.</u>	<u>Separación</u>
Bisfenol A. Fosgeno CH ₃ CH ₃ CO11 ₂	Policarbonato (Makrolon)	?	?	?	40	Precipitación
Dimetil Terefta- lato + Etilengli- col	Poliéster (Dacrón)	Etilen- glicol	Sal inorgáni- ca o sus alcô- xidos (en, -- Pb, Cr ó Mn 7	20-40 Kgs/Cm		Destilación del -- solvente y recupe- ración del políme- ro como un fundi- do.
Resoreinol + Formaldehido OH OH CH ₂ O	Adhesivos	Agua	NaOH	Atm.	Amb.	Se usa como -- solución.
Melamina Formaldehido N NH ₂ C C - NH ₂ | | 1 11 N N c NH ₂	Resina lami- nable w	H ₂ O		Why Oil		Se usa como solu- ción o se seca en un secador por as- persión.
CH ₂ = CH-CN CH ₂ = CH-CONH ₂	Adhesivos y recubri- mientos	Acetato de - etilo Tolueno Xileno	Peróxido o Azo com-- puesto	Atm.	Temp. de reflujo	Se usa como solución.

TABLA No. 1 (Cont'n.)

<u>Monómeros</u>	<u>Producto</u>	<u>Solvente</u>	<u>Catalizador Coordinación</u>	<u>Presión</u>	<u>Temp.</u>	<u>Separación</u>
Anhídrido Maleico $\begin{array}{c} \text{O} \\ | \\ \text{11} \\ \text{C} - \text{C} \\ | \quad | \\ \text{11} \quad \text{O} \\ \text{C} - \text{C} \\ | \quad | \\ \text{O} \\ | \\ \text{CH}=\text{CH}^2 \end{array}$	Adelgazador de pintura soluble en agua	Acetona de Benceno $\text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3$ 11 O O	Peróxido de benzoilo	Atmf.	Temp. de Reflujo	Neutralizado con NH y OH y se usa como una solución, o se precipita con de petróleo.
Estireno						
Divinil Benceno $\text{Ø} (\text{CH}=\text{CH}_2)_2$						
Etileno Propileno Dieno	Hule EPT	Hidrocarburo	Coordinación	15-35 Kg/Cm ²	38°C	Coagulación con vapor.
Epiclohidrina $\text{CH} - \text{CH} - \text{CH}$ $\text{Cl} \quad \text{O}$	Elastomero de Poliepicloro	Ciclohexanona ó Eter	Compuesto Organometálico de Al.	Presión que se genera.	-29 a 100°C	
Fenol + Aceite secante + Hexametileno tetramina	Resinas Termofijas	Alcohol + Eter	Acido Fosfórico H_3PO_4	Atm.	175, 105 85°C por pasos	Se usa como vehículo para pinturas (en forma desal)
Propileno	Polipropileno	Hexano	Coordinación	12 Kg./Cm ²	65-80°C	Se precipitó al formarse.
Formaldehído	Polioximetileno	Hexano	Tipo anionico amina arsina estiaínofosfina	Atm.	52 a 71°C	Se precipitó al formarse.

- (a) En la polimerización por solución, el catalizador no es cubierto por el polímero; así que su eficiencia no se disminuye y cuando se necesita eliminar los residuos es más sencilla la operación.
- (b) Los procesos de polimerización por solución, se pueden observar en forma continua por sensores ópticos, tales como espectrómetros y refractómetros para análisis automáticos de control y alarma.
- (c) En sistemas como las soluciones, es más fácil el control de la temperatura, la transferencia de calor y la velocidad de reacción.
- (d) Es más sencillo trabajar con soluciones que manejar sistemas de dos fases o sistemas en masa.

Por otro lado, también es conveniente mencionar las desventajas de este método de polimerización:

- (a) Dado que la solubilidad de los monómeros es limitada, especialmente a pesos moleculares altos, se requieren de recipientes grandes para obtener una capacidad de producción determinada.
- (b) La viscosidad de la solución aumenta a niveles muy altos, a medida que se incrementa el peso molecular del soluto. Esto hace difícil el manejo de este sistema.
- (c) El producto muchas veces debe separarse de su solvente para su uso y venta posteriores. Los solventes normalmente presentan riesgos de toxicidad, fuego, explosión, corrosión y olores no asociados con el producto en sí.
- (d) El manejo de solventes requiere de tanques adicionales, facilidades de descarga y transferencia; lo que implica gastos adicionales de mantenimiento, mano de obra y diseño.
- (e) En muchos casos, la eliminación total del solvente no es posible.
- (f) Con ciertos monómeros, por ejemplo los acrilatos, la polimerización por solución se lleva a cabo a bajas velocidades de reacción dando polímeros de bajo peso molecular, comparados con aquellos que se obtienen a través de los métodos de emulsión o suspensión.
- (g) La limpieza del equipo y la eliminación del solvente sucio, son operaciones bastante difíciles.

Es muy importante que el ingeniero de diseño tenga información suficiente, ya sea de laboratorio o de reportes técnicos, -

acerca del solvente o solventes con los que vaya a trabajar para el diseño de la planta de polimerización. Cada solvente afecta el diseño de la planta en forma diferente y tiene una influencia característica en la reacción; de tal manera que la elección del solvente puede en muchos casos determinar las presiones y temperaturas de operación, la protección adecuada a la corrosión, los valores de viscosidad de trabajo, y las áreas de riesgos en la planta.

ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

El almacenamiento de las materias primas en una planta de polimerización es una operación que necesita gran atención, tanto desde el punto de vista del proceso y su control, como de la seguridad del personal y las instalaciones. Algunas veces se deben eliminar atmósferas de aire o atmósferas explosivas para poder almacenar alguna materia prima en especial. Para esto se utiliza una purga continua de un gas inerte en el recipiente de almacenamiento. Como ejemplo se tienen los monómeros diénicos conjugados (1,3 butadieno) que deben almacenarse en recipientes libres de oxígeno, no únicamente por los efectos adversos en la actividad del catalizador, sino también por la tendencia peligrosa que presentan de formar peróxidos explosivos.

Cuando un líquido hierve a temperaturas abajo de cero, como el 1,3 butadieno, usualmente se mantienen arriba de su punto de ebullición, bañando el recipiente que los contiene con agua caliente o usando una traza de vapor y en esta forma evitar la formación de un vacío que provocaría entradas de aire al recipiente. Si se tiene la sospecha de la formación de peróxidos o se desea asegurar

la no formación de ellos, se recomienda normalmente enjuagar las líneas y los recipientes con solución de sosa al 50%.

Algunos monómeros tienden a polimerizar en los recipientes que los contienen si no se les elimina del interior el oxígeno, - compuestos peróxidos ácidos, bases o sales metálicas; pudiéndose dar el caso de una reacción violenta y explosiva.

Deben prevenirse los derrames de monómeros y catalizadores hacia el piso, por lo que será necesario tomar las debidas precauciones en el diseño de las trincheras y drenajes.

El ingeniero de diseño tendrá que conocer todos los riesgos asociados con los materiales que se van a manejar en la planta, - para lo cual dispone de varias fuentes de información: proveedores, publicaciones de asociaciones especializadas y sus propios recursos. Si se van a usar compuestos tóxicos el diseño del equipo deberá proporcionar la protección adecuada al personal. El diseño de la planta incluirá sistemas de ventilación y sistemas fijos contra incendios; por las características de alta inflamabilidad que presentan casi todos los materiales polimerizables.

Los monómeros y los catalizadores frecuentemente tienen que almacenarse abajo de una temperatura máxima, debido a la tendencia a polimerizarse y descomponerse, así como por las limitaciones de la presión de diseño de los recipientes que los contienen. Por esta razón los tanques deben pintarse de color blanco en sus paredes externas, provistos con espesas de agua, situados bajo techo, algunas veces recubiertos con aislantes y aún con sistema de enfriamiento interno. Muchos de los equipos usados requieren de protección contra electricidad estática en transferencia de tambo

res, carros tanques o pipas hacia los tanques de almacenamiento. Los tambores, los carros tanque o las pipas vacías pueden contener en su interior mezclas explosivas si su contenido ha sido desplazado por el aire; en estos casos se recomiendan facilidades de enjuague con vapor y/o agua.

Los tanques de almacenamiento para monómeros frecuentemente requieren un disco de ruptura abajo de una válvula de seguridad que evite la polimerización de vapores y/o condensados en el interior de la válvula de seguridad. Cuando se manejan fluidos tóxicos o inflamables, las válvulas de alivio descargan a chimeneas o sistemas semejantes, en lugar de hacerlo hacia la atmósfera.

En ciertos monómeros se necesita eliminar el inhibidor por lo que para tal servicio la plata de polimerización deberá estar provista de un sistema de enjuague con sosa, para extraer en forma continua el inhibidor. Este sistema consiste básicamente de una torre empacada en donde se pone en contacto el monómero y la solución de sosa. Posteriormente el monómero recibe un lavado con agua para eliminar el exceso de sosa que hubiera quedado en el monómero. Tanto la solución cáustica como el agua de lavado para esta operación deberán ser degaseados antes de ponerse en contacto con el monómero. Los tanques que almacenan la solución cáustica se diseñan para vacío completo y para soportar presiones positivas provocadas por alguna purga continua de un gas inerte.

El monómero ya desinhibido no deberá almacenarse por períodos largos y si se hace, la temperatura deberá mantenerse lo su-

ficientemente baja, entre 5 y 10°C, para evitar posibles polimerizaciones dentro de los tanques de almacenamiento; o en su defecto volverle a cargar el inhibidor.

El monómero y el solvente algunas veces se cargan al reactor individualmente o en forma de premezclas. Algunas veces los componentes individuales entran dosificados y el premezclado puede hacerse en forma de cochuras o continuo, usualmente bajo el control y registro de flujo por equipo automático. De esta manera, usando equipo automático analizador se pueden cambiar las proporciones de carga y/o enviar alguna señal de alarma de corrección. Si algún ingrediente debe enfriarse antes de entrar al reactor y se trata de un monómero en ebullición, el enfriamiento de preferencia se hace en la succión de la bomba de transferencia para evitar problemas con el NPSH de ésta.

Si la polimerización se está realizando en forma de cochuras el catalizador se adiciona a la mezcla reaccionante en un tiempo determinado del ciclo; en cambio si se trata de una operación continua la adición se hace proporcional a la corriente de monómeros o solvente. Puede cargarse al reactor por medio de una bomba o por presión con un gas inerte.

OPERACIONES POR COCHURAS O CONTINUAS

La polimerización en solución se puede efectuar en forma de cochuras o continua. Si se trata de cochuras todas las materias primas, solvente, monómero y aditivos se cargan al reactor para mezclarse y mantenerse a una temperatura constante durante un tiempo pre-establecido. A medida que la polimerización avanza la viscosidad de la mezcla aumenta, y siendo una reacción al-

tamente exotérmica se genera una gran cantidad de calor. El diseño del reactor depende en gran parte de como disipar o eliminar este calor. Algunas veces se emplean reactores provistos de chaqueta, serpentines internos, enfriadores y recondensadores, con o sin recompresión externa de vapores y combinaciones de estos. Un reactor de diseño interesante es aquel que cuenta con un tanque - separador a donde llegan los vapores provenientes del reactor, en contrándose el tanque separador siempre a una presión menor que la del reactor. El servicio de enfriamiento puede emplear agua fría de torre o una unidad de refrigeración. Es de suma importancia que la coadura permanezca siempre bien agitada y con un control de temperatura muy cuidadoso.

Para la polimerización continua se utiliza una serie de reactores con sistemas de transferencia de la carga, de un reactor a otro.

En la polimerización por solución, la cantidad de solvente que se use afecta considerablemente la velocidad de reacción. A medida que el sistema es más diluido la velocidad de reacción es menor; y en algunos casos este principio se emplea como un indicador para el control del proceso. Conforme va transcurriendo la reacción de polimerización la solución se va haciendo más diluida hasta el punto de alcanzar valores muy bajos en la velocidad de reacción; en donde por control del proceso el solvente en exceso se destila automáticamente. Esta destilación se hace con dos objetos, por un lado incrementar la velocidad de reacción y por otro separar el polímero como una masa fundida. Para lograr esto se requiere de un agitador al cual se le registre en forma continua la potencia que consume. Cuando aumenta la conversión o el -

peso molecular, la potencia consumida se incrementa también dada la velocidad de agitación constante (RPM) Figura # 1, región A. Llegándose el momento se aplica vacío y automáticamente la velocidad del agitador se va disminuyendo, mientras se mantiene la potencia consumida por el motor del agitador. Figura # 1, Región B. Finalmente, la velocidad del agitador se mantiene en un mínimo mientras el consumo de potencia crece hasta un máximo permisible, en el cual, el agitador se para automáticamente. Todo este programa se hace con base a una correlación empírica entre la potencia (o la intensidad de corriente), la velocidad del agitador, la temperatura de la carga y las variables controlables que sean un índice del peso molecular. Este sería un proceso de reacción programada automáticamente; en otras ocasiones la terminación de la reacción se basa en una disminución de presión mínima, debida al agotamiento del monómero volátil que se acaba por reacción y forma el polímero con un cambio de fase vapor-líquido-sólido.

Los efluentes de una polimerización por solución, varían ampliamente de un tipo a otro. Algunas propiedades típicas se pueden observar en la tabla II.

TERMINACION DE LA REACCION

Cuando se ha alcanzado la conversión adecuada o el peso molecular del polímero deseado, la reacción debe ser detenida en forma conveniente dependiendo de la naturaleza de los reactivos. A veces para detener la reacción se emplean inhibidores del tipo de la acetona, alcoholes o soluciones acuosas de un catalizador de coordinación. En otras reacciones, digamos una del tipo fenólica, se terminan por una disminución de la temperatura y adición de más solvente. Con una reacción iniciada y propagada por radi-

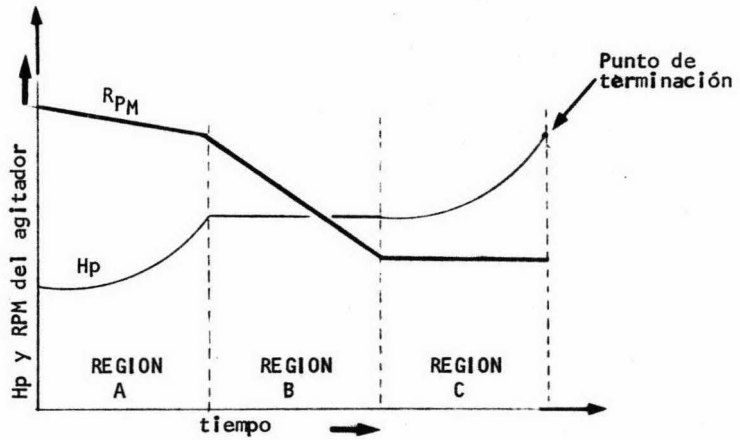


fig.#1 La velocidad de reacción determina la potencia y la velocidad del agitador.

T A B L A II
CARACTERISTICAS DE EFLUENTES TÍPICOS DE UNA POLIMERIZACION EN SOLUCION

SOLUTO HULE SINTETICO	% SOLIDOS	VISCOSIDAD C_p	TEMPERATURA °F
Cis-polibutadieno	14	20 000	35
Cis-poliiisopreno	15-17	100 000	140
Cis-poliiisopreno	12	700 000	130

cales libres, la terminación de la polimerización se logra cargando un receptor de radicales libres.

Los aditivos que se usan para detener una reacción de polimerización se introducen de preferencia, después de que la carga ha salido del reactor; sin embargo, se pueden cargar al reactor - en caso de emergencia, como es una falla de corriente eléctrica o una falla del equipo de agitación. Cuando la reacción se va a detener en un tren de reactores, el reactor en el cual la velocidad de polimerización sea la más alta, se descarga a un tanque de mucho mayor capacidad que el reactor y la reacción se termina ahí.

Una falla en detener una reacción de polimerización altamente exotérmica, por ejemplo: en una pérdida de corriente eléctrica prolongada dá lugar a una situación muy peligrosa, ya que en ese momento todo el equipo eléctrico (agitadores, bombas y compresores) han dejado de trabajar y no se tienen medios de enfriamiento para la carga; y la reacción puede llegar hasta un estado de violencia, o completarse al grado de formar una masa solidificada en el interior del reactor.

Una vez que ha terminado el ciclo de polimerización, el producto se transfiere directamente del reactor, a través de un filtro clasificador o eliminador de pedacera de gran tamaño; hacia tambores de embarque o almacenamiento. Normalmente el efluente - del reactor se envían a tanques mezcladores, cada uno de los cuales recibe el contenido de un número de reactores. Los aditivos tales como antioxidantes, cargas, aceites u otros agentes modificadores se mezclan en la línea de efluente en su camino al tanque de retención o pueden incorporarse posteriormente.

Para la transferencia del producto se pueden utilizar bom-

bas, presión con gas inerte (N_2) o descarga por gravedad. Ya con el reactor vacío se adiciona vapor para eliminar los residuos de solvente que hubieran quedado en el interior.

Para la filtración que se hace durante la descarga del reactor se utilizan diferentes tipos de filtros, ya sean mangas de tela, que se colocan en la tubería de descarga hacia un tambor; o - filtros de cartuchos, filtros prensa o filtros de hoja.

Como un servicio auxiliar a la reacción existe un tanque que puede recibir producto fuera de especificaciones en una operación continua o el contenido defectuoso de una cohura. Este tanque deberá estar equipado con:

- (a) Un sistema de bombeo para regresar el producto ajustado a especificaciones, hacia la corriente de producción.
- (b) Un sistema de bombeo que proporcione una dosificación adecuada, si el producto está ligeramente fuera de especificaciones.
- (c) Un sistema de coagulación y separación del producto, con recuperación de materias primas volátiles si el producto está totalmente fuera de especificaciones.
- (d) Un sistema de recuperación completa de materias primas volátiles si aún no han sido polimerizadas.

RECUPERACION DEL PRODUCTO

Si el efluente del reactor no se va a utilizar como tal, será necesario efectuar una separación del producto polimerizado; algunas veces éste puede ser soluble a temperatura de reacción y - precipitar cuando la temperatura de finalización disminuye. Esta técnica tiene la ventaja de poder recuperar la parte de catalizador que va con el solvente recuperado. Otro tipo de polímeros cuando se polimerizan por solución precipitan a un peso molecular que es característico para el producto. Para modificar la conducta de - precipitación en los productos polimerizados por solución, se usa

la adición de un no-solvente como lo es el metanol o el benceno, permitiéndonos además controlar la distribución del peso molecular; puesto que para una mezcla de solvente-no solvente dada, habrá en solución un rango de peso molecular característico del polímero y un rango mayor en el precipitado. El solvente que queda en el producto semi-seco se podría recuperar en un secador de tambores si el producto no contiene residuos de catalizador o volátiles que se degraden.

Otro método de separación consiste en hacer caer la solución de polímero en agua caliente o ponerla en contacto con vapor en eyectores, para formar suspensiones acuosas del mismo y evaporar el solvente que lo contenía. Este solvente evaporado se condensa y se trata para que sea nuevamente utilizado por el sistema. La técnica anterior no es recomendable cuando se trata de solventes halogenados; porque al ponerse en contacto con el agua caliente o vapor se presenta la hidrólisis que ocasiona corrosión en el equipo. De manera similar los residuos de catalizador que contienen halógeno pueden ser corrosivos en agua y debe considerarse esto para el diseño de la planta.

La suspensión de agua caliente se separa en sus componentes por varios métodos dependiendo de la naturaleza de los sólidos, pueden emplearse decantadores y cribas vibratorias. Si el producto es pegajoso se recomienda utilizar cribas vibratorias y el agua se recircula a los tanques de suspensión en donde se mantiene caliente para eliminar los volátiles.

En operación continua se usan eyectores en serie para disminuir el consumo de vapor, produciéndose grumos apropiados para se

carce. Si se desea facilitar la coagulación o formación de grumos en esta técnica de separación, se deberán adicionar a la corriente de proceso, pequeñas cantidades de ácidos grasos de 18 a 20 carbonos en concentraciones de 2 a 6 % en peso de polímero. Se obtienen productos finales sin aglomeraciones y con bajos contenidos de ácidos grasos, del orden de 0.05% en peso.

Algunas veces las soluciones de polímero que se obtienen, con viscosidades arriba de 500,000 Cp se extruyen a través de orificios hacia un baño de agua caliente, dando como resultado cuerdas de polímero que pueden formar cintas o bandas. El solvente se evapora instantáneamente y el agua se mantiene caliente por inyección de vapor. Las láminas contienen 10 a 15% de agua y en el caso del poli-isopreno se secan durante 7 minutos a una temperatura de 82 - 93°C.

Una técnica más, para lograr la separación de polímero y solvente es el secado por aspersión; en donde por medio de boquillas o discos aspersores se imparte gran velocidad de centrifugado a la solución alimentada y se separan las fases sólida y volátil. Al mismo tiempo se inyecta una corriente de aire caliente en paralelo hacia el interior de la cámara de aspersión, para secar las partículas de sólido que se separan.

El monómero y el solvente evaporados se pueden recuperar por compresión, condensación, destilación y secado; cuidando siempre de eliminar las cabezas y las colas de las corrientes recuperadas. Si se lleva a cabo estas operaciones de recuperación de solvente y monómero, puede haber contaminación de la corriente recirculada con arrastres de DI, TRI o TETRAMEROS y polímeros que se forman donde el monómero ha sido destilado y no contiene inhibidor.

Estos factores frecuentemente no pueden considerarse en estudios preliminares, pero no deben olvidarse para el diseño de la planta de polimerización por solución; aunque todos estos factores dependen de la experiencia acumulada y piden mucho criterio por parte del diseñador para analizarlos. De no hacerse pueden ocasionar problemas de taponamientos de filtros, mallas o líneas, atascamiento de equipo y/o acumulamiento de polímeros y peróxidos en el fondo de las columnas de destilación y sus rehervidores.

REACTORES

Existen básicamente dos tipos de reactores para la polimerización en solución, aquellos que operan en forma continua y los de cochuras; en uno o más pasos. El recipiente y su agitador deben ser apropiados para poder trabajar con el incremento de viscosidad que se va presentando progresivamente y contar con la capacidad de enfriamiento suficiente para controlar el aumento rapidísimo del desprendimiento de calor.

Los reactores en un tren continuo de polimerización se pueden diseñar en forma separada e individual o en grupos, dependiendo de su contenido. Por ejemplo un tren de ocho reactores en línea continua, pueden ser cuatro recipientes con agitadores de turbina, diseñados para alta transferencia de calor; seguidos de otros cuatro con agitación especial, tal vez agitadores de paleta de bastante potencia para requerimientos de baja transferencia de calor y alta viscosidad de solución.

Un reactor típico de polimerización en solución está provisto de: un sistema de agitación continua, facilidades de enfriamiento y calentamiento, conexiones para alivio de presión, conexiones para control de temperatura, conexiones de nivel y presión y

frecuentemente conexiones para su limpieza, a veces se tienen facilidades para muestreo y análisis de vapores y líquidos.

Los fluidos de alta viscosidad requieren agitadores de alta potencia que implican boquillas de conexión para el agitador, de gran refuerzo para soportar el sobrepeso del motor, reductor y flecha; y sobre todo soportar el torque desarrollado por la flecha del agitador. El diseño generalmente provee de las facilidades para desmontar el sistema de agitación. Cuando los fluidos son extremadamente viscosos se usan propelas del tipo herradura, ancla, doble helicoidal o gusano; de tal manera que dejen un claro mínimo entre las paredes del recipiente. La tecnología de nuestros días ha desarrollado impulsores de doble hélice de configuración esférica, para trabajar con viscosidades de 200,000 Cp en reactores de hasta 4.00 m. de diámetro y 9.00 m. de longitud. La literatura reporta agitadores de este tipo para manejar mezclas de 20⁴000,000 Cp y una velocidad de agitación de 100 RPM. La forma del agitador debe ser de fácil limpieza, especialmente si el polímero tiende a formar películas insolubles y pegajosas; para lo que se recomienda un recubrimiento de vidrio sobre la flecha y el impulsor, así como sobre las paredes internas del reactor.

Los agitadores y las bombas que se usan para dar servicio en plantas de polimerización por solución, normalmente tienen un sistema de sello lubricado con aceite. Este líquido sellante se almacena en un tanque en donde se purga continuamente con un gas inerte si se quiere evitar que contenga trazas de aire, oxígeno o vapor de agua.

Los reactores de polimerización por solución, pueden tener como medio de enfriamiento: una chaqueta o un serpentín interno o

un serpentín externo o un circuito de recirculación evaporación-compresión-enfriamiento de una corriente de vapores que salen del reactor. Para regular el sistema de enfriamiento recirculante se emplea un módulo de control en cascada para la temperatura.

El cálculo de la carga térmica se basa en el calor de polimerización, el calentamiento ocasionado por el agitador y el calor absorbido de los alrededores. En un cálculo típico el calor que proviene del agitador se estima en un 75% de la carga térmica total, ejemplo:

Agitador.....	30 Hp x 2,545 BTU/Hp-Hr.....	76,350 BTU/Hr
Polimerización...	590 BTU/lb x 4,000 lb. x 0.01..	23,600 BTU/Hr
Alrededores.....		2,620 BTU/Hr
T O T A L.....		102,570 BTU/Hr

En este ejemplo se ha considerado 1% de conversión por hora de ciclo, un calor de polimerización de 590 BTU/Hr; los alrededores se han supuesto a una temperatura de 75°F y 25°F en la carga de un reactor aislado adecuadamente. Algunos monómeros se subliman y se depositan en el domo del reactor, es el caso del dimetil-terftalato, esto deberá tomarse en consideración para instalar trazas, serpentines o enchaquetados para calentar las paredes del recipiente lo suficiente para fundir los sublimados pero sin llegar a degradarlos.

Cuando se instala un sistema de reflujo, debido a la evaporación del solvente se forma gran cantidad de espuma que reduce la capacidad volumétrica de llenado. Esta espuma es posible eliminarla por medio de una agitación vigorosa o bien usando un antiespumante adecuado para el caso. Si existen superficies de ebullición se prefieren recipientes "cuadrados", es decir, de una relación de diámetro a longitud de uno. En los sistemas de recupera-

ción para evitar arrastres de polímero hacia el compresor y/o condensados de reflujo, se recomienda un eliminador de niebla excepto en donde fuera taponado fácilmente.

Si la resina que se va a producir es un material pegajoso, los reactores deberán construirse con metales altamente pulidos o vidriados, para que su limpieza sea fácil y evitarse al mismo -- tiempo problemas de corrosión con las paredes. De ser vidriados su tamaño y por consiguiente su número estarán determinados por - el tamaño máximo en que se puedan construir. El reactor deberá estar provisto con facilidades de entrada de vapor y conexiones para limpieza con fluidos. Tales conexiones deberán hacerse con un juego de dobles válvulas o bridas ciegas removibles para evitar posibles contaminaciones de la carga. Para la limpieza interior de los reactores la literatura reporta chorros de agua que operan a 3,000 o 5,000 lb/in², pero son altamente peligrosas para el personal de operación. Si la limpieza del reactor es defectuosa y quedan en su interior residuos de polímero, aceites secos gelatinosos o cualquier otro material, pueden servir como semillas en las cargas posteriores afectando la velocidad de reacción o dando lugar a descontrol en la carga o resultando materiales insolubles.

BOMBAS

Las soluciones de polímero que finalmente se obtienen en la polimerización por solución siempre son de alta viscosidad y varra ampliamente de una velocidad de rotación a otra. Una solución de polímero puede mostrar una viscosidad de 4,000 Cp a 1,000 Seg⁻¹ de velocidad de desgarramiento y 250,000 Cp a 1 Seg⁻¹ estando a - la misma temperatura. Es por esto difícil para el ingeniero de -

diseño, especificar adecuadamente una bomba para el manejo de fluidos viscosos. Estas consideraciones afectan de igual forma al diseño de agitadores, tuberías y cualquier otro equipo que esté en contacto con el fluido en movimiento. Las bombas para el manejo de fluidos viscosos son generalmente de desplazamiento positivo del tipo de gusano o engranes con sellos mecánicos en las flechas. Este tipo de bombas son apropiadas para manejar fluidos con viscosidades de 1×10^6 Cp (5×10^6 SSU), gastos de 2,460 lpm y presiones de descarga de 23.8 Kg/cm^2 .

Cuando se trata de manejar fluidos poco viscosos pero que presentan riesgos de toxicidad y/o explosión si hay fugas, se recomiendan bombas totalmente cerradas o selladas, o transferirlos por medio de un gas inerte presionado.

CAMBIADORES DE CALOR

Otro servicio que se requiere en una planta de polimerización, es el calentamiento o el enfriamiento de las corrientes polimerizables. Estas corrientes pueden polimerizar en lugares estancados y calientes, por lo que no es recomendable que en los cambiadores de calor circulen por el lado de la coraza y se prefiere que lo hagan por el lado de los tubos. En esta forma se facilita la limpieza de estas unidades. Cuando no se permiten fugas o entradas de vapor de calentamiento o agua de enfriamiento hacia el fluido de proceso se recomiendan cambiadores de calor de doble espejo, con facilidad de drenaje intermedio. De igual forma con recipientes donde no se toleran contaminaciones con vapor o agua se recomiendan chaquetas o serpentines de enfriamiento exteriores.

Los fluidos viscosos se prefiere pasarlos a través de la coraza para obtener buenos coeficientes totales de transferencia de calor, debido al flujo transversal y Reynolds bajos. Cuando -

se quiere disminuir la viscosidad de bombeo se acostumbra encaquetar o instalar trazas de calentamiento en la tubería, válvulas y recipientes. De la misma manera en los cabezales de las válvulas de alivio en donde se puede depositar polímero fundido arrastrado por la corriente de vapores. Con esto el polímero permanece fundido y regresa hacia el interior del reactor o recipiente.

BOMBAS DE VACIO

Algunos procesos de polimerización por solución necesitan facilidades para hacer vacío en los reactores. Para este servicio se emplean eyectores o bombas de vacío; si se usan los primeros a veces es necesario encaquetar las boquillas de descarga para fugir cualquier polímero que tienda a adherirse a las paredes de esta; si se emplean bombas de vacío con sello de agua, ésta deberá ser desaireada para sistemas que empleen catalizadores de coordinación o alquillos de litio.

RECIPIENTES Y EYECTORES DE COAGULACION

Una de las formas para la separación del producto y el solvente, consiste en mezclar vapor, agua y la solución de polímero en eyectores o boquillas de mezcla; en donde por la acción de corte y la gran velocidad de mezclado se separan las pequeñas partículas de la solución. El tamaño de las partículas resultantes depende de la cantidad de vapor que se adiciona al eyector o la boquilla.

Para eliminar el monómero residual y el solvente volátil que haya permanecido en el producto, se agrega vapor al recipiente que lo contiene. A estos mismos recipientes, cuando se desea prevenir la acumulación de polímero en las paredes, se le instalan rociadores de enjuague.

En los recipientes de coagulación se emplean agitadores estabilizados con anillos o cojinetes; los primeros se prefieren para cuando se maneja vapor de calentamiento o polímero que pudiera acumularse y pudiera ocasionar desbalanceo del agitador. Para este caso, los cojinetes se construyen con material vidriado impregnado con teflón.

Hablando de los agitadores, los más usuales son los del tipo de propela y de turbina. Los más recomendados son los del tipo de propela, ya que pueden dispersar y romper los grumos de polímero que se forman. Las propelas de paso ajustable son muy apropiadas para posibilitar el control de la potencia consumida por el agitador y en esta forma regular el tamaño de la partícula por obtener.

RECIPIENTES AUXILIARES

Los recipientes auxiliares para el proceso son: los tanques de mezclado, los recipientes de extracción, las cámaras de sedimentación y los tanques de emergencia de gran capacidad para material fuera de especificaciones.

Los tanques de mezclado están provistos para recibir cargas de distintos reactores y darle continuidad de operación a la secuencia del proceso o vaciar el tren de reactores para mantenimiento o en un paro general. Estos tanques están provistos con bombas de descarga que tienen velocidades variables, controlada por el nivel del tanque receptor e instrumentado de tal manera que descarga lentamente a límites de nivel bajo y viceversa.

Los recipientes de extracción se usan para eliminar o separar únicamente ciertos materiales que se presentan en pequeñas cantidades, tales como residuos de catalizador que pueden ayudar

a la oxidación o impartir alto contenido de cenizas. Si se usa agua para la extracción deberá estar deaerada. El recipiente empleado puede ser de varias etapas o sin etapas. En el primer caso se trata de un recipiente horizontal con varias zonas separadas previstas con agitación vigorosa para un mayor contacto de polímero y el fluido extractor.

El tanque de emergencia es necesario para ayudar a recuperar materias primas y producto con valor, así como para confinar y tratar el material difícil o peligroso para manejarlo en cualquier otra forma en caso de emergencia por falla del equipo o de corriente eléctrica. La presión y la temperatura de diseño de estos recipientes es la misma que la de los reactores.

Cuando los vapores de monómero o de solvente se tienen que pasar a través de una bomba de vacío, es necesario asentar y separar el polímero en tanques denominados cámaras de sedimentación. El tamaño de estas unidades se basa en la siguiente relación:

$$F_p = k (D_p/D_v)^{0.5}$$

F_p Flujo permisible, m/seg.

k Constante, función del tamaño de partícula

D_p Densidad de la partícula, cualquier unidad

D_v Densidad del vapor, cualquier unidad.

La constante "k" depende del tamaño de la partícula y como primera estimación se usa un valor de 0.038 dando una velocidad de flujo en m/seg, densidad en cualquier unidad, para un tamaño de partícula supuesto a 0.05 mm.

El área de la cámara, perpendicular a la dirección del flujo de vapor es la relación de flujo volumétrico de vapor en m^3/seg al flujo permisible en m/seg. Una regla de dedo para una buena y

efectiva longitud de la cámara de sedimentación, es de tres veces el diámetro obtenido.

FACTORES GENERALES DE DISEÑO

En una planta de polimerización el equipo se diseña para evitar zonas de estancamiento donde el polímero en otra forma se depositaría. Los acumulamientos de material en regiones estacionarias presentan problemas de incrustación, taponamientos o partes pegadas y peligros a la seguridad al manejar ciertos monómeros capaces de formar peróxidos explosivos.

Los polímeros pegajosos presentan problemas de incrustación especialmente cuando hay tendencia a depositarse por evaporación del solvente o separación como producto insoluble. Como una medida para resolver este problema se emplea equipo vidriado que ayuda a tener limpiezas sencillas y fáciles aunque esto limita el tamaño de los recipientes que pueden fabricarse o embarcarse, ya que no es posible ensamblarse en el campo.

Cuando una solución de solventes volátiles entra a un recipiente por arriba del nivel del líquido, o si el recipiente se vacía periódicamente; la válvula en la línea de entrada deberá estar tan cerca como sea posible del recipiente, para minimizar la incrustación de la boquilla y tubería cercanas a la válvula. Las tapas de recipientes pequeños deberán estar montadas sobre bridas, para facilitar la limpieza; y proporcionar mirillas y puertas de inspección.

Al manejar suspensiones de polímeros pegajosos, la incrustación es un problema, particularmente en la operación de separación del producto. Existe una temperatura arriba o abajo de la cual la tendencia a pegarse es especialmente problemática, esta temperatu

ra se debe determinar en trabajos preliminares o de planta piloto. Para separar polímeros pegajosos de suspensiones, se usan con éxito, cribas vibratorias que pueden ser proporcionadas con sistema de enfriamiento y espumas de lavado si se desea. Dependiendo de la superficie pegajosa, el grumo húmedo resultante podrá ser transportado por un gusano, transporte neumático, transportador vibratorio u otros.

Las válvulas de seguridad para un sistema polimérico están equipadas con un disco de ruptura para prevenir taponamientos del cuerpo de la válvula, puesto que algunos monómeros polimerizan en la fase de vapor y otros se condensan en el domo y polimerizan también. Para detectar cualquier fuga del disco de ruptura se instala un manómetro o un orificio de inspección entre la válvula de alivio y el disco de ruptura. La válvula de alivio se diseña para manejar la solución polimérica y la gran cantidad de espuma que se forma durante el venteo. Cuando se manejan polímeros en solución, las válvulas de alivio generalmente descargan a un quemador o una chimenea. En este sistema de quemador o chimenea, existe una trampa de sólidos y líquidos entre la descarga de la válvula y la chimenea que evitan taponamientos en las líneas y combustiones incompletas de la corriente gaseosa.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Dos son las consideraciones más importantes que deben hacerse para la selección de los materiales de construcción: el grado de corrosión o la degradación de los componentes del equipo y la coloración ocasionada en los productos por estos componentes. Por ejemplo, el ataque del acero al carbón que no afecta a la resistencia del equipo puede colorear el producto. Los empaques de color

oscuro (hule negro) podrían ser atacados por el solvente lo suficiente para contaminar el producto, pero no para producir una fuga. Las pruebas de laboratorio, las referencias de trabajos preliminares y la experiencia de trabajos en planta, son de suma importancia para una buena elección de los materiales de construcción. Una valiosa fuente de información para la selección de equipo que maneje monómeros, catalizadores y solventes son los propios fabricantes de tales sustancias químicas. En el campo de los productos poliméricos es muy frecuente utilizar acero inoxidable y aluminio en lugar de acero al carbono. Si se usa aluminio con un polímero que contiene catalizador halogenado, es posible que el polímero pegado en la pared, atrape agua ocasionando la formación de ácido clorhídrico que atacaría a su vez al metal. Cuando se usa acero al carbono en algunos recipientes y tuberías es recomendable utilizar un factor de corrosión permisible de 3 mm. para el diseño del espesor de placa.

Cuando se trabaja con hules diénicos o algún otro tipo de polímero deberán evitarse compuestos de cobre y manganeso aún en pequeñas cantidades, ya que son promotores fortísimos de la oxidación, pudiendo provocar reacciones violentas y aún explosivas.

En presencia de monómeros y solventes que contienen cloro, algunas veces no es recomendable usar acero inoxidable debido a la posibilidad de un rompimiento de la cadena. Si el acero inoxidable no puede ser utilizado, el ingeniero de diseño se ve en la necesidad de seleccionar metales extremadamente caros, metales con recubrimientos poliméricos, metales vidriados o incluso no metales.

En los tanques de almacenamiento, en muchas ocasiones es apropiado usar acero con recubrimiento epoxi o fenólico para evitar pro

blemas de corrosión.

La selección de empaques para bridas es difícil porque las mezclas de solventes actúan en forma diferente a los componentes individuales y se ven muy afectados por las condiciones de temperatura y presión a las que se estén usando.

PROBLEMAS DE VISCOSIDAD

La polimerización por solución presenta un marcado incremento de viscosidad en el reactor durante el transcurso de la reacción, esta característica tiene una gran influencia en el diseño de la planta. Se requieren grandes consumos de potencia eléctrica y un sobrediseño en agitadores y bombas. Esta es la razón por la que en muchas ocasiones el número de boquillas en el domo del reactor es reducido, ya que es necesario reforzar la boquilla del agitador.

Las transmisiones de las bombas requieren soportes adecuados. Por otro lado los problemas de espumado se agravan a viscosidades altas y al mismo tiempo la solubilidad del monómero que de por sí es baja, es aún menor. Esto ocasiona pérdidas de solvente y depósitos del mismo en el polímero formado, en decremento de la calidad del producto. En estos rangos de viscosidad las temperaturas bajas causan problemas, de tal forma, que es necesario un nivel mínimo de temperatura. Lo que implica facilidades de calentamiento y aislamiento. Aumenta la confusión, el hecho de que diferencias en la distribución de peso molecular para supuestamente un mismo producto, puede alterar las características de viscosidad. Por ejemplo, una mayor proporción de especies con peso molecular bajo, proporcionará valores de viscosidad más bajo que otra muestra con especies de peso molecular bajo en menor proporción.

B. POLIMERIZACION EN SUSPENSION

La polimerización por el método de suspensión es el proceso más usado en la elaboración de resinas plásticas, tanto en tipos de resinas poliméricas como a toneladas producidas. Prácticamente todas las resinas termoplásticas comunes, incluyendo algunos de los polímeros recientes, se hacen por este método. Es aplicable para algunos tipos de policloruro de vinilo (PVC), polimetacrilato y polietileno. La polimerización en suspensión, originalmente fue desarrollada para el poliestireno, que en la actualidad se fabrica en su mayoría por el proceso en masa. En realidad este proceso de suspensión, es una polimerización en masa donde pequeñas gotas de monómero líquido se dispersan en el agua y polimerizan formando esferitas sólidas de polímero.

El problema principal que se tiene en este método, es la formación y mantenimiento de una suspensión uniforme de las pequeñas gotas líquidas de monómero para que sean transformadas poco a poco, desde un líquido inmiscible moviéndose rápidamente, pasando por una dispersión muy viscosa, hasta alcanzar un estado granular completamente sólido y rígido; sin que haya aglomeración de partículas. Además, la operación requiere de una agitación apropiada y un agente estabilizante para mantener la suspensión de las gotas o de las partículas con un mínimo de interacción de una con otra.

Las ventajas del método de polimerización por suspensión son:

- (a) Es el método de polimerización más económico, ya que usa agua como medio de suspensión en la mayoría de los casos.
- (b) La eliminación del calor excesivo de polimerización no representa problemas y el control de la temperatura es relativamente fácil. El agua que se emplea como medio dispersante se usa también como medio de transferencia de calor.

- (c) Por este método se obtiene producto poco contaminado, únicamente con trazas de catalizador, agente dispersante y agentes de suspensión. Y muchos de estos contaminantes se eliminan en los subsiguientes pasos de purificación: lavado, centrifugado, cribado y secado.

DETALLES DE PROCESO PARA LA POLIMERIZACION POR SUSPENSION

El procedimiento que se usa en la polimerización en suspensión es el mismo en casi todos los casos, y generalmente comprende:

- (a) Una dispersión del monómero, como pequeñas gotas de líquido - en un medio estabilizante agitado; usualmente se usa agua que contiene pequeñas cantidades de agentes dispersantes y agentes de suspensión.
- (b) El catalizador o iniciador se disuelve en el monómero, si este es líquido, o se adiciona al medio reaccionante si el monómero es un gas.

Esencialmente el único secreto que es un factor importante para el control del proceso, es el AGENTE DE SUSPENSION, el cual se guarda y se considera de alta confidencialidad por muchos productores de resinas poliméricas.

El control de calidad de las materias primas es muy importante para la uniformidad de calidad del producto, Por ejemplo el agua - debe ser ultrapura y no debe contener materiales orgánicos, ni sales minerales, ni compuestos sulfurados o materiales en suspensión. Para purificarla se pasa primero por un filtro de arena fina, después a través de una unidad intercambiadora de iones y finalmente se deaerea. Los monómeros algunas veces se purifican de forma semejante por destilación fraccionada a baja temperatura para eliminarle cualquier clase de inhibidor o contaminante.

CATALIZADORES

Los catalizadores o iniciadores de la polimerización que se emplean, son principalmente del tipo peróxido, aunque también se usan compuestos AZO y catalizadores iónicos. Estos catalizadores

incluyen: PEROXIDO DE BENZOILO, PEROXIDO DE DIACETILO, PEROXIDO DE LAURILO, PEROXIDO DE CAPROILO, PEROXIDO DE TERBUTILO y algunos otros peróxidos más sofisticados, tales como: PEROXIDICAR BONATO DE DI-ISOPROILO o PERPIVALATA DE TERBUTILO. Del tipo AZO el más común es el ISOBUTILOAZONITRILLO (IBAN). Existe una gran variedad de catalizadores iónicos tales como: ALQUILANTIMONIO, ALQUIL-ALUMINIO, CLORURO DE TITANIO y OXIDOS DE CROMO.

La cantidad de catalizador que se emplea depende de la reactividad del monómero y el grado de polimerización deseado, pero en general puede variar desde 0.1 % a 0.5 % en peso de la carga total del monómero. Deben evitarse sobrecargas de catalizador por los efectos no deseados que se presentan:

- (a) Formación de polímero de bajo peso molecular, debido a la terminación de cadenas.
- (b) Dificultad en el control de la temperatura, debido al incremento de la velocidad de reacción con un incremento en el calor generado, que trae como resultado formación de geles y aglomeraciones.
- (c) Decremento de la estabilidad térmica del polímero, debido a la presencia de peróxidos que causan degradación del producto a la temperatura de procesamiento del compuesto.

AGENTES DE SUSPENSION

El ingrediente más importante en la polimerización por suspensión, a parte del monómero, es el agente de suspensión y aunque se usa cantidades relativamente pequeñas, desde 0.01 % a 0.50 % en peso de la carga total de monómero; es la clave para el buen control del proceso y la uniformidad del producto obtenido. Hay una gran variedad o tipos de agentes de suspensión, por ejemplo: METIL-CELULOSA, ACIDOS POLIACRILICOS Y SUS SALES, ALCOHOL POLIVINILICO, GELATINAS, ALMIDONES, GOMAS, CEINA Y CASEINA. También se incluyen compuestos inorgánicos insolubles como: CARBONATO DE CALCIO, SILI-

CATOS, BENTONITA, TALCOS y BARROS. De todos los anteriormente mencionados los que se emplean normalmente son: el ALCOHOL POLIVINILICO, las GELATINAS y los ESTERES DE CELULOSA. Los dos primeros dan resinas relativamente no-absorbentes a temperatura ambiente y por lo tanto en el caso de policloruro de vinilo, son excelentes para producir resinas tipo plastisoles. Sin embargo, para plastificarlas es necesario un tratamiento de mezclado muy eficiente y frecuentemente se usa una pre-molienda en un mezclador intensivo o una extrusora. Para mejorar la cualidad de absorción en la resina, se adicionan pequeñas cantidades de agentes dispersantes o emulsificantes, del tipo aceites sulfonados, ésteres sulfonados, productos de condensación del óxido de etileno, sulfatos orgánicos y fosfatos. Cuando se usa una combinación de agente dispersante y agente de suspensión se obtienen partículas de gran tamaño, arriba de 40 mallas, de gran fluidez y sin polvos; lográndose resina de mayor absorción. Este tipo de resina es apropiada para aplicarse en mezcladores modernos automáticos de alta velocidad. En algunos casos a los sistemas de suspensión se adicionan pequeñas cantidades de diluyentes como glicerol, glicoles, y poliglicoles. Los agentes de suspensión sintéticos totalmente son los más efectivos y se prefieren en lugar de los productos naturales. Algunas veces se requieren soluciones controladoras del Ph, cuando se utilizan gelatinas como agentes de suspensión; para poder controlar la velocidad de reacción y el tamaño de la partícula.

Idealmente, las gotas iniciales de monómero permanecen físicamente iguales durante toda la polimerización, dando origen a una partícula de resina sólida igual. Si el sistema de suspensión se

diseña adecuadamente, este serfa el caso de muchas partículas, con un mfnimo de aglomeración o unión.

TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE REACCION

La temperatura en muchas de las reacciones de polimerización, si no es que en todas, es una variable crftica que debe ser controlada con lfmities muy estrechos. El grado de polimerización es una función directa de la temperatura, así como de la configuración o - estructura del polfmero. Las temperaturas altas incrementan la velocidad de reacción y dan productos de bajo peso molecular que presentan un gran número de ramificaciones y una distribución muy amplia de pesos moleculares. Para cada monómero o mezcla de monómeros hay una temperatura óptima, dependiendo de su reactividad, que debe ser usada para asegurar el tipo correcto de producto. Esto - requiere de un sistema adecuado de calentamiento y enfriamiento para el control automático de la temperatura dentro de un pequeño ran- go de variación. Los rangos de las temperaturas de polimerización en muchos monómeros, andan entre 50° y 82°C dependiendo de la reac- tividad y volatilidad del monómero.

La velocidad de reacción para la polimerización no es constante a través de todo el ciclo del proceso, sino que al principio, la reacción es muy lenta (ETAPA DE INICIACION) y se va acelerando a me- dida que la polimerización prosigue. Para que se considere que la reacción ha terminado, algunos procesos tardan entre 12 a 16 horas; y es raro encontrar que el 100% del monómero haya reaccionado. Du- rante las primeras 4 o 5 horas de la reacción solo ocurren pequeñas conversiones y en la última hora puede darse hasta un 25% de conve- r- sión. Cuando se usan temperaturas y presiones muy altas, así como

catalizadores muy reactivos, algunas polimerizaciones pueden darse en minutos y aún en segundos; tal es el caso del polietileno - que se produce a 175 - 200°C y 800 atm usando un catalizador del tipo AZO.

PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas de la resina terminada tales como la POROSIDAD, la DENSIDAD y el PESO MOLECULAR dependen de interacciones complejas entre los muchos factores que controlan la polimerización. En polimerizaciones por suspensión estos factores consisten de:

- (a) La composición de los sistemas de suspensión, esto es, - tipos y cantidades de agentes de dispersión y estabilizantes.
- (b) El grado de agitación.
- (c) La relación de monómero y medio de suspensión.
- (d) El sistema de catalizador, tipo y cantidad.
- (e) La temperatura de polimerización.
- (f) La presión del sistema reaccionante.
- (g) La presencia de cualquier impureza.

Cada uno de estos factores tiene un efecto determinado en las características finales de la resina. Así por ejemplo, el tamaño de la partícula del polímero está determinado principalmente por - la velocidad de agitación y el arreglo de este sistema. En otras - palabras, el grado de turbulencia y la tensión interfacial entre - las gotas de monómero y el agua, son controladores del tamaño de la partícula. Durante la transformación de las gotas líquidas de monómero a resina sólida, se presenta una fase pegajosa cuando se ha realizado el 10 o 20% de conversión; y persistirá hasta que se haya

alcanzado una conversión del 75 u 80% donde la partícula habrá adquirido la consistencia de sólido.

La relación de monómero a medio de suspensión varía en un rango del 10 al 40% de monómero suspendido o del total de sólidos contenidos al final de la polimerización. Después de terminada la reacción, la suspensión de polímero se envía a un tanque-rehervidor en donde se elimina el monómero que permaneció sin reaccionar, empleando vacío y un agente antiespumante.

La carga se pasa después a un tanque de retención en donde se mezcla con otras cargas iguales de resina terminada. Finalmente la suspensión se bombea a una centrifuga continua del tipo de canasta o a una criba lavadora en donde el polímero se separa, se lava y se medio seca. El producto húmedo que contiene hasta un 30% de agua o solvente, se seca en una corriente de aire caliente de 65-150°C en un secador rotatorio o cualquier otro tipo de secador. La resina se almacena en silos, de donde se pasa a tolvas para empacarse como polvo o se pone en extrusoras para granularse.

Las condiciones que se usan para varios procesos de polimerización por el método de suspensión se puede observar en la tabla - III . Esta tabla ilustra la amplia variación de la composición en los sistemas de suspensión así como los tipos de catalizadores y condiciones de polimerización. El diagrama de bloques de la página contigua, muestra los pasos que requiere la polimerización en suspensión del metil-metacrilato, el cual es típico para muchos procesos que se emplean en la obtención de resinas termoplásticas.

EQUIPOS COMPONENTES Y SUS CARACTERISTICAS

La mayoría de los reactores para la polimerización en suspensión son del tipo TANQUE AGITADO, construídos en acero inoxidable,

acero monel o acero vidriado. Normalmente están enchaquetados o provistos con serpentines internos de enfriamiento, para eliminar el calor de reacción. Usan agitadores del tipo de ancla, hélice o paleta con velocidades moderadas entre 20 a 100 RPM y en algunos casos se incluyen deflectores para ayudar a una mejor dispersión. Las capacidades de los reactores varían entre 3,700 litros a 75,000 litros, con diámetros de 1.6 m. a 3.0 m. y alturas de 2.0 a 4.0 m. El espesor de pared del reactor varía desde 6 mm. a 25 mm. dependiendo de las presiones de operación. Para suministrar la potencia a la flecha del agitador se monta un motor-reductor en la parte superior del reactor. Y para poder descargar la suspensión de producto al tanque de retención, el reactor debe contar con una boquilla inferior de descarga.

Como equipo auxiliar para el reactor se tienen: tanque de almacenamiento, tanques de pesado, controladores y registradores de temperatura y presión, así como tanques de mezcla para la preparación de los sistemas de catalizador y agentes de suspensión. Los tanques de retención para la suspensión se fabrican normalmente de acero inoxidable o acero vidriado provistos de medios de agitación para mantener la resina en suspensión. Y son tan grandes como para recibir de 4 a 5 cargas de los reactores.

Lo más importante en el diseño de un reactor para la polimerización por suspensión es el control de la temperatura que debe tener una precisión de más o menos 1.0°C . Se usa agua de torre o de unidad de refrigeración para eliminar el calor en exceso de la polimerización, dentro de un circuito de control automático en cascada. En la etapa inicial del ciclo de reacción se calienta la carga del reactor inyectando a la chaqueta agua caliente o vapor de baja presión.

C. POLIMERIZACION EN EMULSION

La polimerización por el método de emulsión consiste básicamente en la dispersión del monómero o monómeros, por medio de emulsificantes adecuados en una fase acuosa, en donde se lleva a cabo la reacción. Este método de polimerización es muy empleado para obtener polímeros de adición y no así para polímeros de condensación, usando catalizadores o iniciadores que originan radicales libres.

La polimerización por emulsión tiene las siguientes ventajas:

- (a) Se pueden producir pesos moleculares relativamente altos, con una alta velocidad de reacción. En las polimerizaciones por suspensión, solución y en masa, solo se pueden obtener velocidades de reacción altas a costa de pesos moleculares bajos.
- (b) Se tiene una excelente transferencia de calor. Uno de los factores que determinan la velocidad a que puede producirse el polímero a escala comercial, es la eliminación eficiente del calor de polimerización; ya que se pueden usar velocidades muy altas sin sobrecalentar la masa reaccionante con degradación del polímero y aún pérdida del control de la reacción.
- (c) Se obtienen "soluciones" o emulsiones de baja viscosidad con sólidos poliméricos de alto peso molecular. Esto es muy ventajoso en muchas aplicaciones ya que las soluciones de polímero en los mismos rangos de peso molecular serían extremadamente viscosas e inapropiadas para el uso requerido.
- (d) Por medio de este método, se pueden obtener polímeros muy suaves y pegajosos que por otros métodos se aglomerarían durante la reacción.

A esta lista de ventajas debemos agregar los problemas de este proceso para llegar a una explicación de porqué la polimerización por emulsión no es el único método. Sus desventajas son las siguientes:

- (a) Debido a los agentes de superficie activa que se usan en este método de polimerización, se producen polímeros algo sensibles al agua y no pueden emplearse en formulaciones para compuestos que se vayan a aplicar en piezas finales de uso a la intemperie.
- (b) La presencia de materiales iónicos tales como los agentes de superficie activa y sales inorgánicas dan como resultado polí-

meros finales con pobres propiedades eléctricas.

- (c) Solo se pueden usar iniciadores del tipo de radicales libres con la posibilidad de producir polímeros estereoregulares.

Comparando las ventajas y las desventajas de la polimerización por emulsión, es relativamente fácil reconocer las áreas en las que este proceso es más apropiado. Los volúmenes comerciales más grandes de polímeros de adición se producen por el método de suspensión, quedando en segundo lugar la polimerización por emulsión.

EQUIPO PARA PROCESO

Los reactores para la producción de polímeros por el proceso de emulsión, varían en tamaño dependiendo de los requisitos de producción entre 3,000 y 15,000 litros. Con volúmenes de 3,000 litros los costos de producción son muy elevados y con volúmenes mayores de - 15,000 litros el control del proceso resulta difícil. Dependiendo del tipo de polímero que se vaya a producir, los reactores pueden - ser construídos en acero vidriado o de acero inoxidable. Para la - producción de polímeros acrílicos por emulsión se prefieren los reactores vidriados. Para el acetato de polivinilo se prefiere el acero inoxidable, debido a que se pueden limpiar más fácilmente, usando una solución caliente de sosa diluida. Para la producción de co polímeros de butadieno-estireno, así como para cloruro de polivinilo se han usado con buenos resultados ambos tipos de materiales. Todos los reactores deben estar encaquetados para proveer calentamiento y enfriamiento a la carga polimerizante.

Para producir polímeros de acrílico, metacrílico, acrilonitrilo-estireno, acetato de vinilo, acrílico-acetato de vinilo y copolímeros de ester maleico o fumárico y acetato de vinilo; los reactores deben especificarse para soportar una presión interna mínima de 3.5 Kg/cm². Para producir copolímeros de butadieno-estireno la presión

interna deberá ser de 6.8 Kg/cm^2 por lo menos. Si se trata de homopolímeros o copolímeros de cloruro de polivinilo la presión mínima a la que deberá diseñarse el reactor es de 15 Kg/cm^2 .

El equipo accesorio depende en gran parte del tipo de polímero que se va a producir. Por ejemplo, un condensador de reflujo debe ser una necesidad absoluta cuando se trata de monómeros con punto de ebullición bajo, como es el caso del acetato de vinilo. Con monómeros de alto punto de ebullición como es el acrílico, metacrílico o estireno, el condensador no es indispensable pero es deseable para evitar la contaminación de la atmósfera de la planta. Si se producen polímeros de cloruro de vinilo o de butadieno estireno como parte del equipo estándar se tiene una columna de destilación, para purificar el monómero recuperado que no reaccionó. Otro equipo accesorio son los tanques de almacenamiento de monómero y para la preparación de las soluciones de catalizadores e iniciadores. Las líneas de alimentación se deben instalar para entrar a través del domo del reactor, descargando contra la pared y arriba del nivel del líquido. Para burbujear un gas a través del contenido del reactor se conecta una línea en la válvula de descarga del fondo. El control y registro de temperatura se hará por medio de aparatos electrónicos de respuesta rápida y en circuitos neumáticos de control.

SELECCION DE MONOMEROS

Durante los últimos 30 años se ha acumulado una gran cantidad de "como hacerse" (Know How) en la industria de los plásticos a través de la investigación pura y aplicada. Las relaciones entre los tipos de monómeros y las propiedades físicas del polímero resultante son bien conocidas. Se han explorado también; otras características como las propiedades químicas y resistencia a la degradación térmica y a la luz solar.

La química de los polímeros está en una posición de poder seleccionar la mezcla de monómeros que represente el óptimo con respecto a la economía y las propiedades fisicoquímicas deseadas. En muchos casos un conjunto dado de diferentes propiedades puede lograrse con varias diferentes composiciones de monómeros. Por ejemplo, polímeros con la misma temperatura de transición vítrea (temperatura a la que se lleva a cabo el cambio de un estado vídrioso a otro de hule elástico) se pueden obtener copolimerizando los siguientes monómeros: acrilato de etilo-metacrilato de metilo, acrilato de etilo-estireno, acrilato de etilo-acetato de vinilo o acrilato de etilo-acetato de vinilo. Esta lista se puede extender si incluimos todos los monómeros de ésteres acrílicos comercialmente disponibles, butadieno y los monómeros de los ésteres maleico y fumárico. Dependiendo de otros criterios tales como las características de envejecimiento del polímero, propiedades químicas, solubilidad en diferentes solventes o factores de costo, la selección de la mezcla de monómeros puede reducirse a un número limitado de sistemas. Aunque la decisión final, en muchos casos, se hace después de la evaluación del polímero en su aplicación final.

En años recientes la disponibilidad de monómeros relativamente nuevos ha añadido una dimensión adicional a la versatilidad de polímeros que pueden producirse por el proceso de emulsión, proporcionando medios para variar las propiedades físicas y químicas de los polímeros depositados como película sobre diferentes sustratos. La metilacrilamida o metacrilamida, así como el glicidil acrilato o metacrilato, son monómeros que producen polímeros de cadenas cruzadas. Los metacrilatos de hidroxietil o hidroxilpropil, el ácido acrílico o metacrílico, el ácido itacónico, el ácido maleico y el ácido fumá-

rico, son otros ejemplos de monómeros que se pueden polimerizar a bajas concentraciones con otros para producir polímeros de cadenas cruzadas. Los ésteres acrílicos o metacrílicos de las muchas alquilamidas comercialmente disponibles proporcionan medios para producir polímeros con grupos cargados positivamente a lo largo de la cadena polimérica. La afinidad a las superficies negativas y la solubilidad en medios ácidos, combinada con excelente resistencia a los álcalis hacen a estos copolímeros útiles en muchas aplicaciones para las que no existía un producto satisfactorio.

En vista de las muchas alternativas disponibles, la selección de la mezcla de monómeros en sí misma puede llegar a ser complicada y una tarea que consuma mucho tiempo. Sin embargo, como se ha indicado hay suficiente información disponible para permitir una aproximación sistemática. Los productores de monómeros son en muchos casos capaces de proporcionar el conocimiento básico respecto a las características totales del polímero.

EMULSIFICANTES

Una emulsión es un sistema disperso en el que las fases son líquidas no miscibles o parcialmente miscibles. Los glóbulos de líquido dispersado son generalmente entre 0.1 y 10 micras de diámetro y, por tanto, mayores que las partículas que constituyen los sólidos. Para obtener emulsiones razonablemente estables hay que tener un tercer componente, un agente emulsificante. Las sustancias que son más efectivas como agentes emulsificantes (y espumantes) se pueden clasificar como: sustancias con actividad superficial, materiales de origen natural y polvos finos sólidos. Las funciones de un agente emulsificante son facilitar la formación de una emulsión y promover la estabilidad de la misma. Estos agentes forman una pel[

cula absorvida alrededor de las gotitas dispersadas que constituyen una protección para evitar la floculación y la coalescencia. El mecanismo de estabilización es generalmente complejo y puede variar de un sistema a otro. Los factores que favorecen la estabilidad de una emulsión dependen de la naturaleza del agente emulsificante y de la elección apropiada de las condiciones de formulación y manufactura.

La ciencia de seleccionar emulsificantes ha variado muy poco desde los trabajos de R. P. Dinsmore (1929) y para propósitos comerciales el conocimiento empírico de la química de los polímeros, es aún la base para la selección del emulsificante apropiado. El avance del conocimiento científico en esta área ha sido impedido debido a que la conducta del surfactante es dependiente de la concentración de otros componentes, aún los menores, en cada sistema de polimerización. Se han hecho muchos trabajos por muchos científicos, para describir la conducta de los agentes de superficie activa, que pueden emplearse para una aproximación más sistemática en la selección de un emulsificante adecuado.

La teoría de la polimerización por emulsión fué dada por W.D. Harkins en una serie de artículos publicados en 1950. El monómero se distribuye por todo el sistema de la emulsión en forma de gotitas de la emulsión estabilizada, disueltas en una pequeña proporción de la fase acuosa donde puede tener lugar la iniciación y solubilizado en las micelas de jabón. La polimerización no tiene lugar en las gotículas de monómero emulsificado, sino en las micelas de jabón. Las gotículas sirven solo como depósitos para suministrar material a los sitios de polimerización, por difusión a través de la fase acuosa. A medida que las micelas crecen, van absorbiendo emulsionan

te libre de la disolución y finalmente de la superficie de las gotículas de la emulsión. El emulsificante sirve de esta manera para estabilizar las partículas de polímero formado. Esta teoría explica la observación experimental de que la velocidad de polimerización y el número de partículas de polímero que se producen, depende mucho de la concentración de emulsificante y que el número de partículas de polímero puede sobrepasar con mucho el número de gotículas de monómero presentes inicialmente.

Las mediciones llevadas a cabo por Kolthoff y otros, sobre soluciones diluidas de jabón, indican un cambio gradual en el coeficiente de actividad iónica hasta cierto punto, después del cual no se detecta ningún incremento adicional en la actividad, aún aumentada la concentración del jabón empleado. La concentración a la que esto ocurre es característica del jabón surfactante y coincide con la concentración crítica de la micela (cmc). Conforme la concentración se incrementa, el coeficiente de actividad iónica baja a un valor constante. Por otro lado se ha demostrado la dependencia de la fuerza electromotriz (emf) con la concentración. El repentino rompimiento en la curva de emf contra concentración define claramente la concentración crítica de micela. El mismo rompimiento característico ocurre en el punto de concentración crítica de micela en una gráfica de tensión superficial contra concentración de jabón o surfactante en la solución. Los hechos observados pueden explicarse si se considera que a ciertas concentraciones, un número de moléculas de jabón se aglomeran para formar micelas.

La capa más exterior de la micela formada por un surfactante aniónico, posee una fuerte carga negativa, y está rodeada por una capa de cationes a corta distancia. Las moléculas aglomeradas de -

jabón constituyen micelas que no exhiben actividad iónica ni tampoco afectan la tensión superficial de la solución en que están contenidas.

Los intentos para medir los cambios en la tensión superficial, emf y actividad iónica contra la concentración, dieron como resultado los distintos rompimientos observados en las curvas que describen dichas relaciones.

EFFECTO DE LA MICELAS EN LA POLIMERIZACION POR EMULSION

La estructura exacta de las micelas no se conoce todavía; sin embargo, se han considerado estructuras laminares y esféricas, pero tal parece que la estructura puede variar dependiendo de la concentración y del tipo de surfactante. El papel de la micela en la polimerización por emulsión está relacionada con su habilidad para solubilizar monómero y se convierte en el sitio principal de propagación durante los primeros pasos de la polimerización. La capacidad de las micelas para solubilizar el monómero es entonces la característica principal para determinar si un jabón o detergente es o no apropiado como un agente emulsificante del monómero o las mezclas de monómeros seleccionados. Es por esto que se ha investigado la capacidad de los detergentes para incrementar la solubilidad de compuestos orgánicos que normalmente son insolubles en agua; observándose nuevamente un repentino rompimiento en una curva de solubilidad del compuesto orgánico contra concentración del surfactante, en el punto de la concentración crítica de la micela del surfactante.

El poder solubilizante de los jabones para el DIMETILAMINO-AZOBENCENO (DMAB) se incrementa conforme se aumenta la longitud de la cadena del jabón. EL PODER SOLUBILIZANTE se define como el número de moles de DMAB solubilizados por mol de detergente en exceso de -

la concentración crítica de micela. El incremento de la concentración de cada jabón, después de la c.m.c. no afecta su poder solubilizante.

Por otra parte se ha demostrado que la solubilidad de hidrocarburos, haluros de alquilo, mercaptanos de alquilo, aminas, alcoholes y ácidos con cadenas de 12 carbonos, aumenta en soluciones de jabones de ácidos grasos y sulfato sódicos de laurilo. Otro caso es el poder solubilizante del cloruro de cetilpiridinio para el octano y el alcohol octílico que disminuye y aumenta respectivamente por la adición de cloruro de sodio. La solubilidad de sustancias no polares tales como el naftaleno, se incrementa por la adición de pequeñas cantidades de alcohol amílico; mientras que disminuye con las sustancias polares (DMAB).

Hay una teoría para explicar este comportamiento que sugiere que el fenómeno de solubilización se lleva a cabo entre las cadenas de hidrocarburos no polares y por la orientación del extremo polar de la molécula de jabón. La formación de las micelas de jabón y surfactante depende de la polaridad y del balance entre las partes polares y no polares de la molécula. Dado un grupo polar como la sal sódica del sulfato ácido de laurilo se encontró que la cmc disminuye al aumentar la parte no polar de la molécula. El efecto causado por la disminución de la cmc en la polimerización por emulsión es una disminución en el tamaño de partícula del polímero en emulsión. Esto es en consecuencia de la presencia de un gran número de micelas en un volumen dado a concentraciones idénticas.

Un gran número de micelas ofrecen una mayor probabilidad de propagación para los radicales de monómero generados en la fase acuosa. El número total de partículas emulsificadas que se generan será pro-

porcional al número de micelas presentes en la unidad de volumen. Por ejemplo, si el contenido de sólidos para una serie de emulsiones se mantiene constante, la misma cantidad de monómero distribuido entre un mayor número de partículas de polímero trae como consecuencia una disminución en el tamaño de partícula. Esta diferencia es particularmente importante si se comparan los extremos. El sulfato sódico de octilo tiene una concentración crítica de micela alta que está solo ligeramente arriba de la concentración normal de surfactante. Con la concentración comercialmente usada el polímero resultante será de un tamaño de partícula extremadamente alto, alrededor de 5,000 Å. Con el sulfato sódico de laurilo que tiene una concentración crítica de micela diez veces menor que la del sulfato sódico de octilo, el tamaño de partícula es extremadamente pequeño, 500 Å. En ambos casos el contenido de sólidos se consideró igual y representativo de los niveles comerciales usados.

TAMAÑO DE PARTICULA Y PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas de cualquier polímero en emulsión, como son la viscosidad de la emulsión a un nivel dado de sólidos, la estabilidad mecánica y la propiedad de formación de película; dependen del tamaño de partícula. La naturaleza y la composición de los monómeros tiene un gran efecto sobre el tamaño de partícula de una emulsión producida con un sistema de surfactante dado. De los monómeros disponibles podemos seleccionar una serie que incremente su polaridad, su hidrofobia o solubilidad en la fase acuosa. Debido a las diferencias en la capacidad del surfactante para solubilizar los diferentes miembros de cada serie habrá diferencias en el número de propagaciones que ocurran en cada uno. A una reducida solubilización corresponden tamaños grandes de partícula debido a velocidades bajas de reacción.

Puesto que los jabones o surfactantes así como los solutos, en este caso los monómeros, pueden ser ordenados en una secuencia que corresponda al aumento o disminución de la polaridad; la solubilización en la micela por cualquier jabón o surfactante dado que puede tener un óptimo dependiendo de la polaridad del monómero. Harkins y Oppenheimer encontraron un incremento en la solubilidad entre los miembros de la serie: un hidrocarburo de 12 carbonos, un cloruro, un mercaptano, una amina, un alcohol y un ácido en una solución de sulfato sódico de laurilo. El mismo incremento en la solubilidad se observó en la siguiente serie: acrilato de metilo, acrilato de etilo, acrilato de butilo, y acrilato de 2 etil-hexilo. En este segundo caso se presentó por la disminución en la polaridad o el incremento en la hidrofobia.

La polaridad de los surfactantes también afecta la solubilización de miembros de dichas series y debe ser considerado cuando se usa esta técnica para la predicción del tamaño de partícula. Con la mayoría de los monómeros la solubilidad se incrementa conforme la polaridad disminuye, debido a que la mayoría de los monómeros están en el grupo de los compuestos altamente polares. Se sugiere que los parámetros de solubilidad o la solubilidad relativa de los monómeros en agua, puede ser una medida más apropiada para considerar las relaciones entre estas dos variables.

El valor práctico de estas consideraciones para la polimerización por emulsión, cae en la reducción del número de experimentos que deben hacerse para dar una emulsión con las propiedades deseadas. Un experimento que proporcione datos de las propiedades físicas de la emulsión, puede conducir a un conjunto deseado de propiedades. La adición de surfactantes no-iónicos altamente hidrofóbicos a un deter-

gente aniónico puede aumentar o disminuir la solubilidad del monómero en la micela, dependiendo de la hidrofobicidad del monómero. O inversamente, los aditivos no iónicos aumentarán o disminuirán la solubilidad del monómero en la micela dependiendo de la hidrofobicidad relativa del surfactante en relación al monómero. Los efectos observados son otra vez en el tamaño de la partícula de la emulsión.

Muchos de los polímeros comercialmente disponibles, contienen más de un surfactante. A menudo se mezclan emulsificantes aniónicos y no aniónicos para alcanzar un óptimo en las propiedades. Estas consideraciones pueden usarse como una guía para la selección de surfactantes desde el punto de la estabilidad y el tamaño de la partícula en la emulsión final. Otros aspectos tal como el efecto del surfactante en el envejecimiento al calor, las propiedades eléctricas y la capacidad de rehumectarse, tendrán que recibir la consideración apropiada al hacer la selección final del emulsificante.

Se ha demostrado experimentalmente que los cambios en las propiedades de la micela dar por resultado cambios predecibles en las propiedades de la emulsión.

INICIADORES

El mecanismo de iniciación en fase acuosa, de la polimerización por emulsión y la propagación durante los primeros pasos de la reacción en las micelas, requiere que el iniciador esté presente en la fase acuosa. Se ha probado que los iniciadores solubles en aceite, no son de valor práctico en la polimerización por emulsión a menos que se usen con agentes reductores solubles en agua que funcionen como activadores.

Los iniciadores más usados son compuestos peróxi solubles en -

agua, como son: el persulfato de amonio o potasio, el peróxido de hidrógeno; perboratos y percarbonatos. Se han usado con éxito, algunos hidroperóxidos orgánicos ligeramente solubles en agua, como el hidroperóxido de terbutilo y el hidroperóxido de cumeno.

La selección del iniciador dependerá del costo y ocasionalmente de las características específicas del polímero. La selección del iniciador puede limitarse debido a posibles interacciones con otros componentes de la formulación.

MODIFICADORES DE CADENA O AGENTES DE TRANSFERENCIA

Los agentes de transferencia de cadena han encontrado uso extensivo en la manufactura de los hules sintéticos tipo GRS. La principal función del agente de transferencia de cadena es la de reducir o regular el peso molecular del polímero. Los compuestos más efectivos para esta función en la polimerización por emulsión son los mercaptanos, el xantógeno de di-isopropilo y algunos hidrocarburos clorados. Puesto que la polimerización por emulsión se lleva a cabo en un sistema heterogéneo y la iniciación y propagación ocurren en distintas fases, es importante darle cierta consideración al coeficiente de difusión del agente de transferencia. Los mercaptanos superiores que son insolubles en agua, se encontrarán en la fase monomérica. Para que el agente de transferencia de cadena sea efectivo su velocidad de difusión al lugar de la polimerización deberá ser igual a la velocidad de difusión del monómero.

APLICACIONES

Todos los hules sintéticos con excepción de los tipos estereoespecíficos se hacen por polimerización en emulsión. Grandes cantidades de resina de PVC se obtienen por este método. En estos ejemplos el -

polímero se recupera en forma anhidra y se usa como tal en la aplicación final. El PVC hecho en emulsión se usó en el pasado exclusivamente para producir plastisoles que se convertían en recubrimientos flexibles vinílicos.

El número de usos de las emulsiones de polímero, comúnmente llamadas latex está aumentando continuamente; y las principales aplicaciones son:

- (a) Para pinturas y recubrimientos basados en agua para uso industrial y general.
- (b) Como cargas y acondicionadores para mejorar la calidad de textiles.
- (c) Como recubrimientos de polímero o compuestos pigmentados para dar muchas cualidades al papel.
- (d) Como adhesivos en emulsión.

CAPITULO III

PAQUETE DE DISEÑO PARA LA PLANTA PILOTO DE POLIMERIZACION

- A.- DESCRIPCION DEL PROCESO.
- B .- DESCRIPCION DE MATERIAS PRIMAS.
- C.- DESCRIPCION DE FACILIDADES.
- D.- REQUERIMIENTOS Y RESUMEN DE SERVICIOS.
- E .- ORGANIZACION Y FORMA DE TRABAJO.

A.- DESCRIPCION DEL PROCESO :

Este proyecto está encaminado a proporcionar las facilidades para los procesos de polimerización en emulsión, en solución y en suspensión.

El proceso tiene la siguiente secuencia :

Los monómeros que son las materias primas más importantes para un proceso de polimerización, se recibirán en la planta piloto en cantidades suficientes para cubrir el programa de experimentación; serán cantidades tan pequeñas que no se necesitarán tanques de gran capacidad para su almacenamiento. Se usará una pequeña pipa de 1,380 lt. de capacidad para transportar cualquier monómero en forma líquida, desde la planta del usuario hasta la planta piloto; en donde se almacenará de acuerdo a las propiedades del monómero. De aquí podrá transferirse a donde sea necesario dentro de las instalaciones de polimerización.

Los iniciadores, los solventes, los aditivos para el proceso y otros reactivos se transportarán con medios proporcionados por la planta piloto. Ya en la planta serán almacenados en su forma original de uso, como son cuñetes, bolsas, tambores, cajas, cilindros y otros envases, en áreas acondicionadas para el manejo de dichas formas de presentación. En estas condiciones se tendrán disponibles todas las materias primas para uso diario durante el tiempo de experimentación.

Se proporcionarán todos los servicios indispensables en un proceso de polimerización, como son el agua desmineralizada, el agua de enfriamiento, el gas inerte, el aire para instrumentos, el vapor de calentamiento, la fuerza motriz eléctrica y el gas combustible para quemadores.

La polimerización se efectuará en forma de cocheras en 4 reactores disponi--

bles para el caso, de 19 lt, 190 lt, 375 lt y 1,890 lt, vidriados, enchaquetados para enfriamiento y calentamiento y con sistema de agitación variables.

Las variables de proceso en la planta piloto tendrán los siguientes rangos de variación: La TEMPERATURA de polimerización podrá controlarse desde 20°C hasta 200°C, la PRESION de polimerización podrá variar desde 15 cm. de Hg de vacío hasta 250 psig máximo, la VELOCIDAD DE AGITACION será desde 0 rpm hasta 150 rpm. Estos rangos son aplicables a los reactores de 190 lt, 375 lt y 1,890 lt únicamente.

Se cargarán al reactor las materias primas en las cantidades adecuadas y requeridas para cada tipo de polímero. En el caso de una polimerización por suspensión se agregarán el agua desmineralizada, los monómeros, los agentes de suspensión, aditivos y catalizador. Para una polimerización en emulsión se cargará el agua desmineralizada, los monómeros, los antes emulsificantes, los aditivos y el catalizador. En el caso de una polimerización en solución se cargará el solvente, los monómeros, los aditivos y el catalizador.

Se tendrán todas las instalaciones necesarias para el pesado y carga ya sea continua o discontinua de todas y cada uno de los materiales mencionados. Estas instalaciones son tanques de premezcla de monómeros, tanques de preparación de catalizadores, calabazos de aditivos, bombas de adición de desplazamiento positivo o turbina.

En algunos casos se requerirá utilizar monómero puro, para lo cual se contará con un tanque lavador de monómero inhibido con solución cáustica para eliminar el inhibidor y un enjuague posterior con agua para eliminar la sosa en exceso.

Una vez que se ha cargado el reactor con todos los materiales, se procederá a circular vapor vivo o agua sobrecalentada a través de la chaqueta para iniciar el ci-

clo de reacción. A medida que la reacción de polimerización se desarrolla, la temperatura de la carga se controlará con un sistema neumático de control, recirculando agua de enfriamiento por la chaqueta del reactor. Después de un ciclo de reacción determinado y considerando que la misma ha finalizado se descargará el producto polimerizado.

B.- DESCRIPCION DE MATERIAS PRIMAS:

En vista de que nuestra planta piloto no se va a diseñar para producción de una resina en particular, que usara un cierto número de materias primas, sino que el objeto es poder trabajar una variedad de resinas con un gran número de materias primas, no es posible entrar en detalle con la especificación de todas. Sin embargo, en los capítulos anteriores se hizo una descripción general de los materiales más comunes que se utilizan en cada tipo de proceso. Aquí únicamente se intenta recalcar los puntos más sobresalientes para el manejo apropiado y seguro de los materiales con los que se trabajará en la planta piloto.

Los monómeros y solventes usados en los procesos de polimerización en general presentan riesgos en su manejo por su explosividad, inflamabilidad y toxicidad. Esto debe considerarse en el diseño de la planta piloto y proporcionar sistemas de seguridad para evitar accidentes.

Los catalizadores en su mayoría son sustancias químicas inestables al calor y algunas veces al impacto y la humedad. Cuando se trata de catalizadores del tipo AZO o IONICO la descomposición de estos materiales no trae grandes consecuencias, salvo la pérdida de materia prima útil para el proceso. Sin embargo algunos catalizadores del tipo PEROXIDO requieren de algunos cuidados especiales en su manejo, ya que su-

descomposición llega a ser tan violenta hasta el grado de una explosión de graves consecuencias para el personal y las instalaciones de la planta.

En general, las demás sustancias empleadas como aditivos necesitan de atmósferas frescas y secas para conservarse en buen estado.

C.- DESCRIPCION DE FACILIDADES :

A continuación se describen las facilidades que proporcionará este paquete informativo de proyecto :

1.- Descripción de equipo :

Se detalla una lista de todos los equipos que formarán parte de las instalaciones de la planta piloto.

2.- Diagrama de flujo :

Se presenta un dibujo del diagrama de flujo para la planta piloto de polimerización, en donde se incluye también la distribución de los servicios dentro de la planta.

3.- Diagramas de ingeniería :

Son dibujos del sistema de control automático de temperatura para los reactores de polimerización y la distribución de las líneas de proceso y servicios dentro del proceso.

4.- Diagrama de localización de equipo :

Se presenta un dibujo de la localización del equipo más importante para determinar el área total requerida en la instalación de la planta propuesta.

5.- Lista de instrumentos :

Se da una lista de los instrumentos requeridos para el control, registro e indicación de las variables de proceso.

6.- Localización de la planta piloto :

Se discuten las alternativas más recomendables para el lugar de localización de la planta piloto de polimerización.

1.- DESCRIPCION DE EQUIPO

ITEM : R - 1 , R - 2 , R - 3 , R - 4 .

DESCRIPCION :

R - 1 , Reactor de polimerización, 19 lt (5 Gal.)

R - 2 , Reactor de polimerización, 190 lt (50 Gal.)

R - 3 , Reactor de polimerización, 375 lt (100 Gal.)

R - 4 , Reactor de polimerización, 1,890 lt (500 Gal.)

FUNCION :

Efectuar la reacción de polimerización, controlando la presión y temperatura de la mezcla reaccionante.

MATERIAL DE CONSTRUCCION :

En todos los reactores por el lado de la chaqueta estarán contruidos con placa de acero al carbón, y las paredes internas que están en contacto -- con los materiales de reacción con acero al carbón vidriado.

PRESION DE DISEÑO :

<u>ITEM</u>	<u>PRESION INTERNA</u>	<u>PRESION CHAQUETA</u>
R - 1	150 psig	120 psig
R - 2	200 psi	150 psig
R - 3	300 psig	300 psig
R - 4	300 psig	300 psig

COMENTARIOS :

A continuación se describen las facilidades más significativas con que estarán provistos los reactores de polimerización.

FACILIDADES DE PROCESO :

1.- Sistema de enfriamiento-calentamiento :

- (a) Chaqueta de circulación.
- (b) Mezclador de vapor y agua de torre, tubería y bomba de recirculación.

ITEM: R - 1, R - 2, R - 3, R - 4 (Continuación)COMENTARIOS: (Continuación)FACILIDADES DE PROCESO: (Continuación)

1.- Sistema de enfriamiento-calentamiento :

- (c) Circuito de instrumentos para el control en cascada de la temperatura de la carga.
- (d) Registrador de la temperatura de la carga.

2.- Motovariador acoplado al reductor-agitador, para variar la velocidad rotacional de agitación (rpm's) :

- (a) Registrador de rpm's del agitador.
- (b) Registrador del amperaje consumido por el motor del agitador.
- (c) Posibilidad de intercambiar diferentes tipos de agitador, dependiendo de la intensidad de agitación que se desee para el proceso.

3.- Sistema de vacío.

4.- Sistema de burbujeo hacia el interior del reactor.

5.- Condensador de reflujo.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD:

1.- Línea de venteo con arrasaflamas.

2.- Válvula de seguridad para aliviar sobrepresiones en el interior del reactor. Con rango ajustable.

3.- Blanqueo con gas inerte (N_2)

ANTECEDENTES DE SELECCION :

Para seleccionar el volumen requerido en una reacción de polimerización - el factor determinante es la cinética de la reacción y simultáneamente la producción - solicitada de polímero.

ITEM: R - , R - 2 , R - 3 , R - 4 (Continuación)

ANTECEDENTES DE SELECCION : (Continuación)

Ya que el objetivo de instalar uno o varios reactores en una planta piloto, no es obtener grandes cantidades de producto al menor costo posible, para la satisfacción de una demanda comercial; sino contar con la cantidad de resina suficiente para poder evaluar la calidad del producto, las condiciones de operación y aún determinar la ecuación de velocidad de reacción -- que serviría posteriormente para el diseño formal de un reactor a nivel comercial; se han seleccionado los siguientes volúmenes de reactores :

- (a) R - 1 , Un reactor piloto de baja capacidad (5 Gal. nominales) para obtener muestras de resina suficiente para completar su caracterización en el laboratorio. Aproximadamente 2 kilogramos de polímero.
- (b) R - 2 , Un reactor piloto de 50 gal. nominales (190 lt) para obtener muestras de 25 a 50 kilogramos y evaluación en producto intermedio.
- (c) R - 3 , Un reactor de media capacidad (100 Gal. nominales) para -

obtener cargas de 50 a 100 kilogramos de resina y evaluación comercial en productos finales para mercados chicos.

- (d) R - 4 , Un reactor piloto de gran capacidad, 500 gal. nominales - - (1,890 lt) para obtener cargas de polímero de 150 a 500 kilogramos y evaluación a nivel comercial, con uno o varios posibles clientes, para mercados de consumo grandes.

ITEM: T - 1DESCRIPCION:

Tanque desinhibidor de monómero.

FUNCION:

Lavar el monómero que contenga algún inhibidor del tipo quinónico y reducir la concentración a niveles menores antes de polimerizarlo.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero Inoxidable.

PRESION DE DISEÑO:

90 psig mínimo.

COMENTARIOS:

Tendrá un serpentín interno de enfriamiento para disipar el calor de disolución que pudiera afectar la calidad del monómero, y un agitador (ítem A - 8) de homogeneización.

A la descarga de este tanque se proporcionará un cartucho empacado (ítem KE - 1) con sílica gel para reducir el contenido de humedad que pudiera contener el monómero después de efectuado el lavado con sosa.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Volumen de monómero (lt )	.....	200
Densidad del monómero (kg/lt )	.....	0.85 - 0.95
Relación sosa/monómero (kg sosa/kg monómero )	....	1.0
Solución de sosa requerida (kg )	.....	190
Concentración máxima de sosa	.....	50%

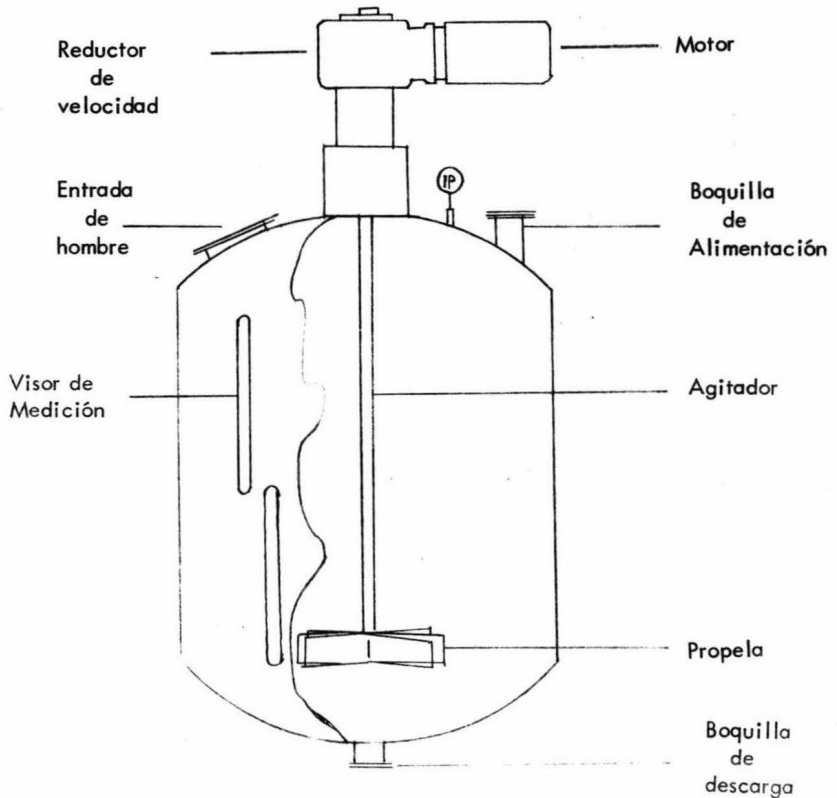
Densidad de la sosa al 50 % (kg/lt)	1.52
Volumen de sosa requerido (lt)	125

ITEM: T - 1 (Continuación)

ANTECEDENTES DE CALCULO: (Continuación)

Volumen de operación (lt)	315
Volumen de seguridad	20%
Volumen total del tanque (lt)	400

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 2, T - 4

DESCRIPCION:

Tanque de monómeros.

FUNCION:

Almacenar pequeñas cantidades de monómero inhibido en condiciones adecuadas de seguridad.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

80 psi mínimo.

COMENTARIOS:

Instalado bajo techo para minimizar calentamiento ocasionados por la energía solar. De tapas laterales bridadas para efectuar limpiezas minuciosas y evitar contaminaciones de monómeros. Con sistema de refrigeración interna para mantener el monómero a bajas temperaturas cuando así sea requerido. - Estará equipado con los siguientes dispositivos de seguridad:

- (1) Sistema de diluvio en caso de fuga, incendio o explosión.
- (2) Dique de contención en caso de fuga.
- (3) Facilidad de venteo con arrasaflama.
- (4) Facilidad de blanqueo con gas inerte.
- (5) Alarma de alto nivel al 80 % del volumen total.
- (6) Alarma de alta temperatura, ajustable en rango.
- (7) Alarma de alta presión, ajustable en rango.
- (8) Indicador de nivel mecánico.

ITEM: T - 3

DESCRIPCION:

Tanque de monómeros.

FUNCION:

Almacenar pequeñas cantidades de monómero desinhibido en condiciones adecuadas de seguridad.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

80 psi mínimo.

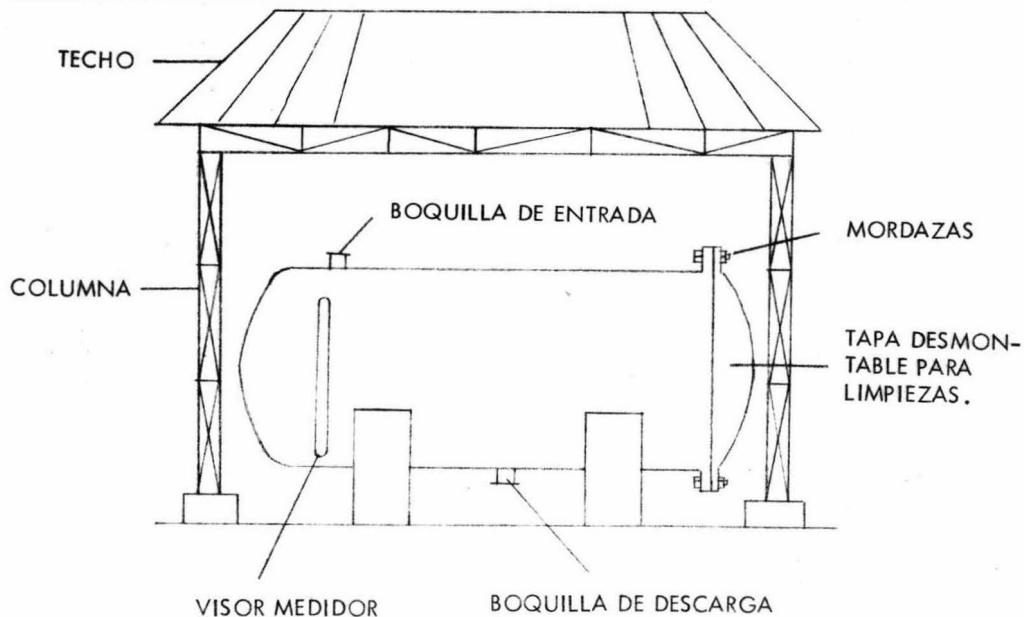
COMENTARIOS:

Instalado bajo techo para minimizar el calentamiento ocasionado por la -- energía solar. De tapas laterales bridadas para efectuar limpiezas minucio- sas y evitar contaminaciones de monómeros. Con sistema de refrigeración- interna para mantener el monómero a bajas temperaturas cuando así sea re- querido. Estará equipado con los siguientes dispositivos de seguridad:

- (1) Sistema de diluvio en caso de fuga, incendio o explosión.
- (2) Dique de contención en caso de fuga.
- (3) Facilidades de venteo con arrasaflama.
- (4) Facilidad de blaqueo con gas inherte.
- (5) Alarma de alto nivel al 80% del volumen total.
- (6) Alarma de alta temperatura, ajustable en rango.
- (7) Alarma de alta presión, ajustable en rango.
- (8) Indicador de nivel.

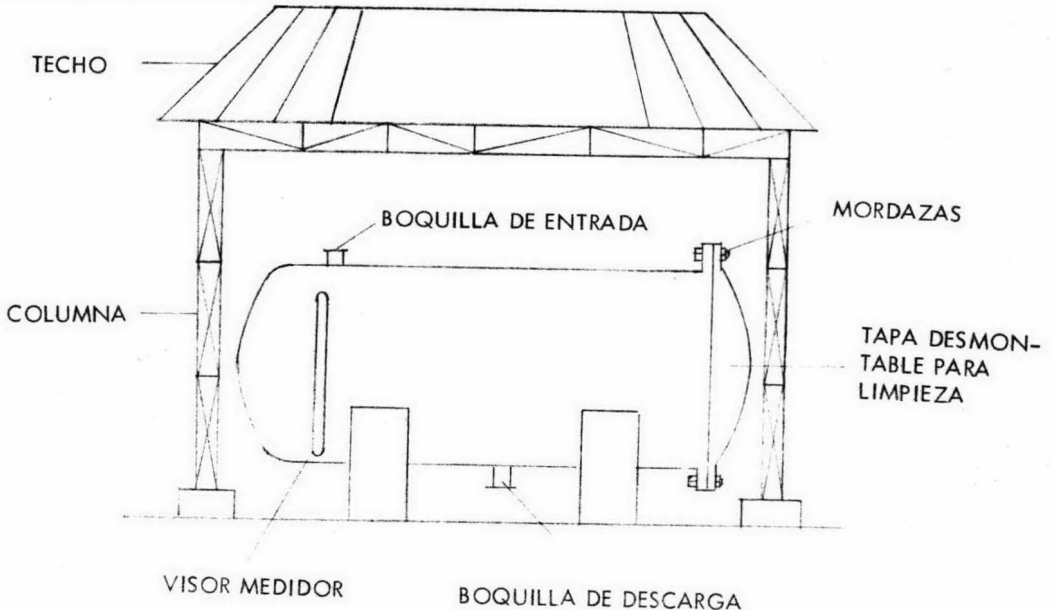
ITEM: T 2 , T - 4ANTECEDENTES DE CALCULO:

Volumen del reactor (lt)	1,890
Volumen de operación en reactor (lt)	1,512
Proceso controlante	SOLUCION
Relación solvente/monómero (kg solv./kg monóm.)	0.5
Carga máxima de monómero (kg)	945
Densidad de monómero (kg/lt)	0.85 - 0.95
Número de cargas deseadas a almacenar	1.0
Volumen requerido (lt)	1,100
Volumen de seguridad (lt)	20%
Volumen total del tanque (lt)	1,380

DIAGRAMA ESQUEMATICO:

ITEM: T - 3 (Continuación)ANTECEDENTES DE CALCULO:

Volumen del reactor mayor (lt)	1,890
Volumen de operación en reactor (lt)	1,512
Proceso controlante	SOLUCION
Relación solvente/monómero (kg solv./kg. monóm.)	0.5
Carga máxima de monómero (kg)	945
Densidad de monómero (kg/lt)	0.85 - 0.95
Número de cargas deseadas a almacenar	1.0
Volumen requerido (lt)	1,100
Volumen de seguridad	20%
Volumen total del tanque (lt)	1,380

DIAGRAMA ESQUEMATICO:

ITEM: T - 5

DESCRIPCION:

Tanque de mezcla de monómeros.

FUNCION:

Premezclar 2 ó 3 monómeros antes de cargarse al reactor en forma dosificada.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

80 psig mínimo.

COMENTARIOS:

Con frecuencia es necesario mezclar 2 ó 3 monómeros y homogeneizarlos antes de iniciar la reacción. Este tanque será vertical, provisto con un agitador (A - 14) central. Con tapa superior bridada, desmontable para limpieza con el objeto de evitar contaminaciones de otros monómeros. Estará localizado cerca de los reactores. Contará con los siguientes dispositivos de seguridad:

- (1) Sistema de diluvio en caso de fuga, incendio o explosión.
- (2) Facilidad de viento con arrasaflama.
- (3) Facilidad de blanqueo con gas inerte
- (4) Alarma de alto nivel al 80% del volumen total.
- (5) Alarma de alta temperatura, de rango ajustable.
- (6) Alarma de alta presión, de rango ajustable.
- (7) Indicador de nivel.

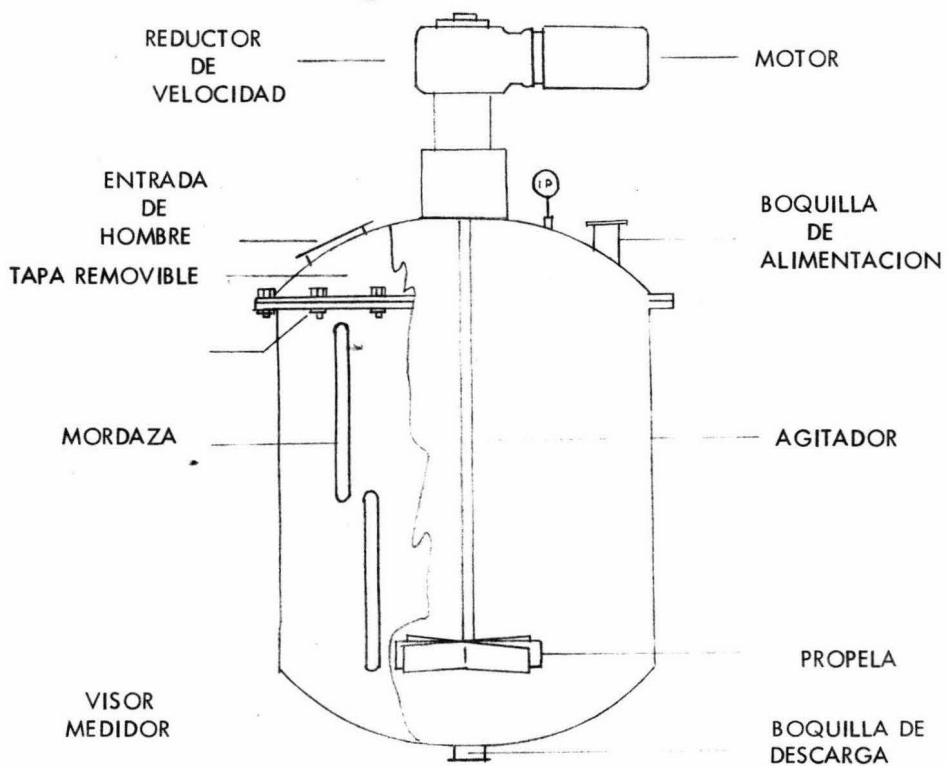
ITEM: 7 - 5 (Continuación)

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Volumen del reactor mayor (lt)	1,890
Volumen de operación en reactor (lt)	1,512
Proceso controlante	SOLUCION
Relación solvente/monómero (kg solv./kg. monóm.)	0.5
Carga máxima de monómero (kg)	945
Densidad de monómero (kg/lt)	0.85 - 0.95
Número de cargas deseadas a almacenar	1.0
Volumen requerido (lt)	1,100
Volumen de seguridad	20%
Volumen total del tanque (lt)	1,380



QUÍMICA

DIAGRAMA ESQUEMATICO :

ITEM: T - 6

DESCRIPCION:

Tanque de sosa

FUNCION:

Preparar una solución de sosa cáustica (al 50 % máximo) para lavado de mo-
número inhibido.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero inoxidable.

PRESION DE DISEÑO:

Atmosférico.

COMENTARIOS:

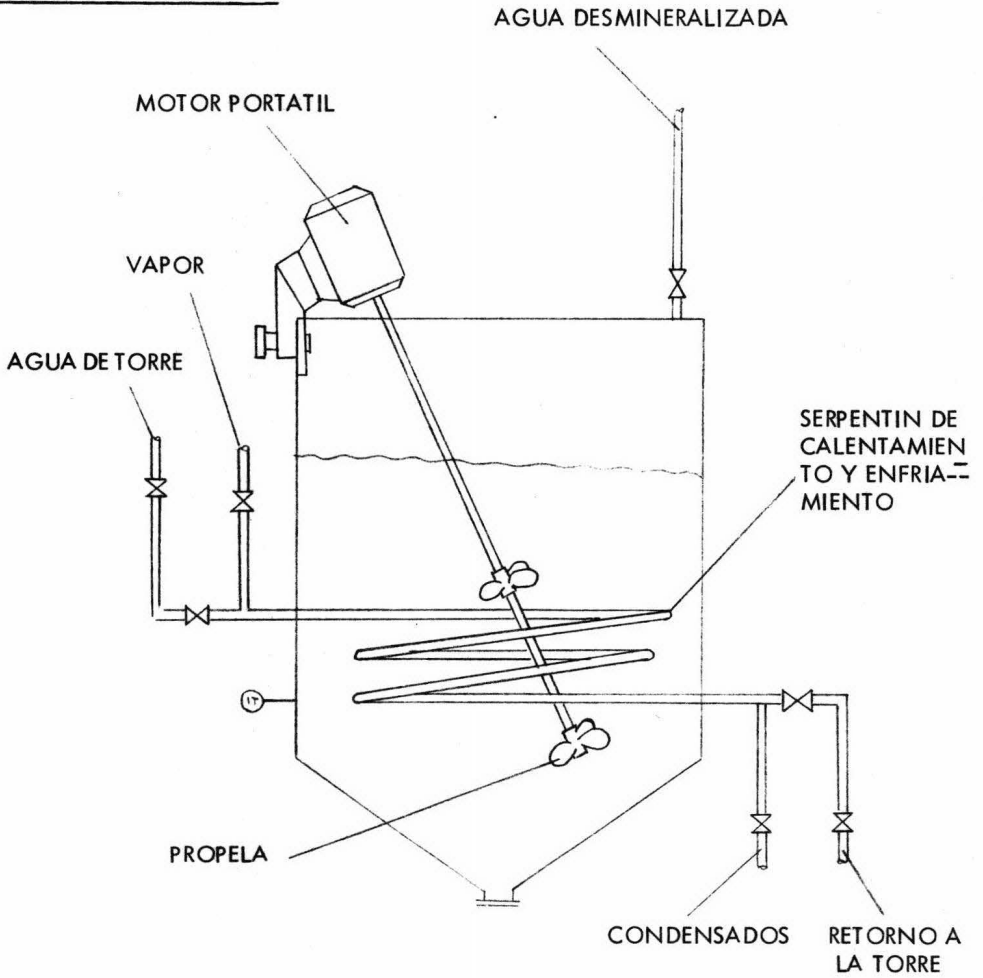
Este tanque se usará indistintamente, tanto para la preparación de la solución -
cáustica como para la disolución de cualquier aditivo que sea necesario, por
ejemplo agente de suspensión, agente emulsificante o catalizador. Contará
con un serpentín interno de calentamiento y enfriamiento para controlar la -
temperatura de disolución. Provisto de un agitador portátil para mejorar la-
dispersión del soluto.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Solución requerida (kg)	190
Concentración máxima de sosa	50%
Densidad de la sosa al 50% (kg/lit)	1.52
Volumen de sosa requerido (lit)	125
Volumen de seguridad	50%
Volumen total del tanque (lit)	158

ITEM : T - 6 (Continuación)

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 7, T - 8

DESCRIPCION:

Tanque de preparación de aditivos.

FUNCION:

Preparar soluciones de agente de suspensión de hasta 3% en peso de concentración máxima.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero inoxidable.

PRESION DE DISEÑO:

Atmosférico.

COMENTARIOS:

Este tanque se usará inmediatamente, tanto para la preparación de la solución cáustica como para la disolución de cualquier aditivo que sea necesario, por ejemplo agente de suspensión, agente emulsificante o catalizador. Contará con un serpentín interno de calentamiento y enfriamiento para controlar la temperatura de disolución. Provisto de un agitador portátil para mejorar la presión del soluto.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

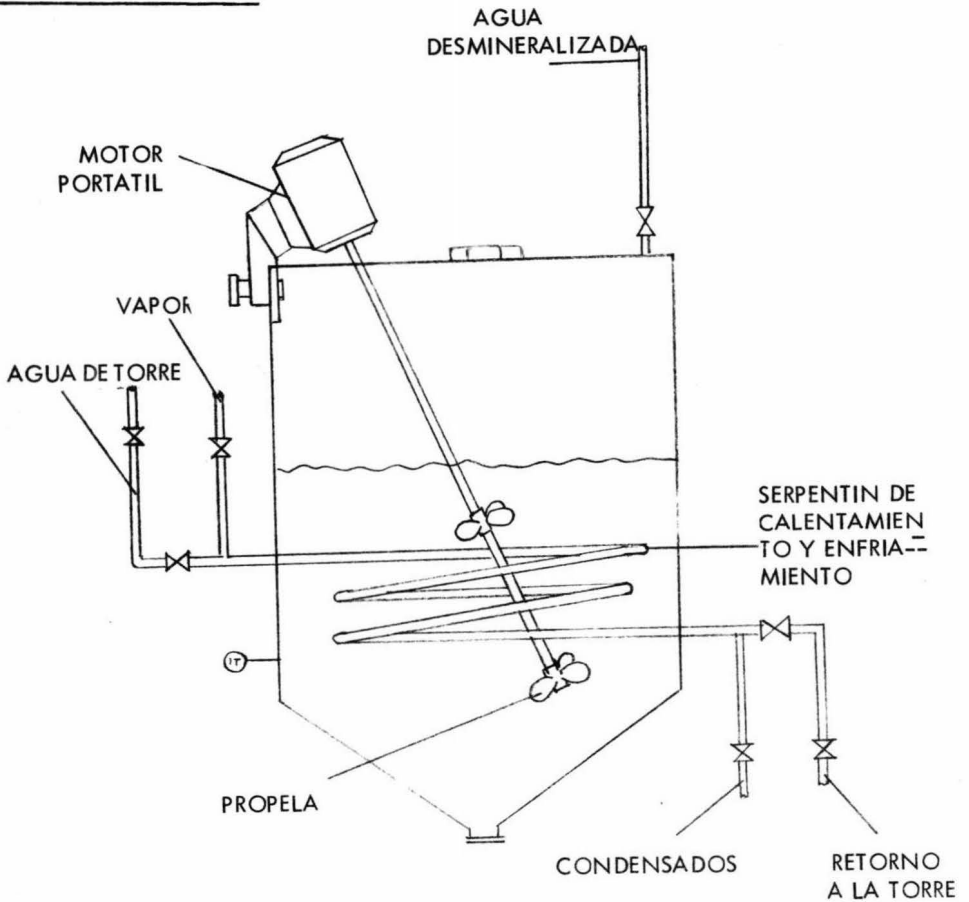
Concentración de agente suspendente	
referida al monómero total cargado	0.01-0.5%
Volumen del reactor mayor (lt)	1,890
Volumen de operación en reactor (lt)	1,512
Proceso controlante	SUSPENSION
Relación agua/monómero (kg agua/kg monómero) . . .	1.0

ITEM: T - 7 , T - 8 (Continuación)

ANTECEDENTES DE CALCULO: (Continuación)

Carga máxima de monómero (kg)	945
Carga máxima de agente suspendente (kg)	4.725
Concentración agente suspendente en solución	3%
Solución preparada de agente suspendente (kg)	1.0
Densidad de la solución preparada (kg/ltr)	158

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 9 , T - 10

DESCRIPCION:

Tanque de catalizador.

FUNCION:

Preparar una solución de catalizador cuando algún proceso así lo requiera

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero inoxidable.

PRESION DE DISEÑO:

Atmosférico.

COMENTARIOS:

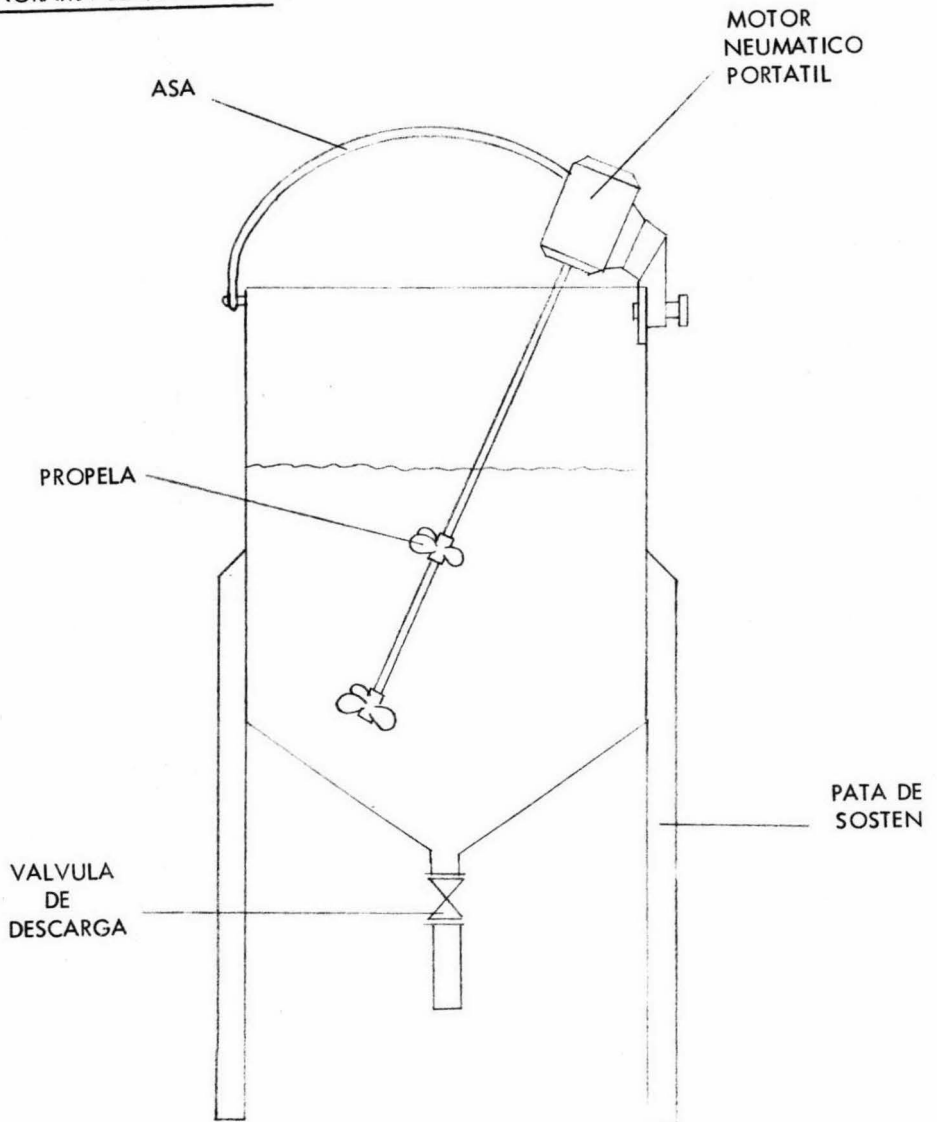
Este tanque estará provisto de un agitador portátil accionado neumática--
mente.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Carga máxima de monómero (kg)	945
Concentración máxima de catalizador, ref. al monómero .	0.3%
Carga máxima de catalizador (kg)	2.835
Concentración de catalizador en solución	10%
Solución preparada de catalizador (kg)	28.3
Densidad de la solución preparada (kg/lit)	1.0
Volumen total del tanque (lit)	30

ITEM: T - 9 , T - 10

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 12 , T - 13

DESCRIPCION:

Tanque de producto polimerizado.

FUNCION:

Recibir y almacenar el producto polimerizado en el reactor.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón, con paredes recubiertas con resina epoxi.

PRESION DE DISEÑO:

Atmosférico.

COMENTARIO:

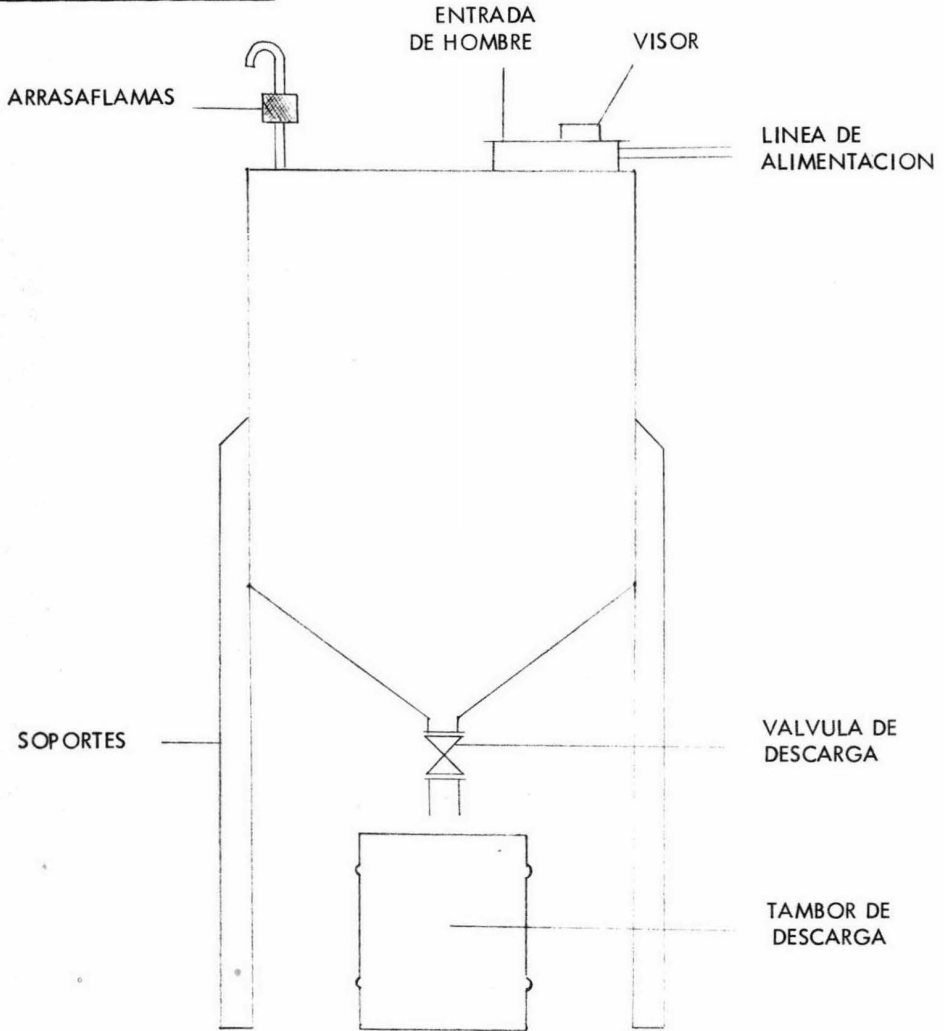
Este tanque podrá ser utilizado como tanque de emergencia cuando se esté polimerizando en los reactores menores de 1,890 lts. De este tanque, el producto se descargará a tambores para embarcarlo hacia el exterior de la planta piloto.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Se selecciona un tanque de capacidad idéntica al volumen total del reactor más grande 1,890 lt.

ITEM: T - 12 , T - 13

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 14

DESCRIPCION:

Tanque de emergencia.

FUNCION:

Recibir una carga completa que esté fuera de control y con peligro de ocasionar algún daño a las instalaciones y al personal de la planta piloto.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

300 psig.

COMENTARIOS:

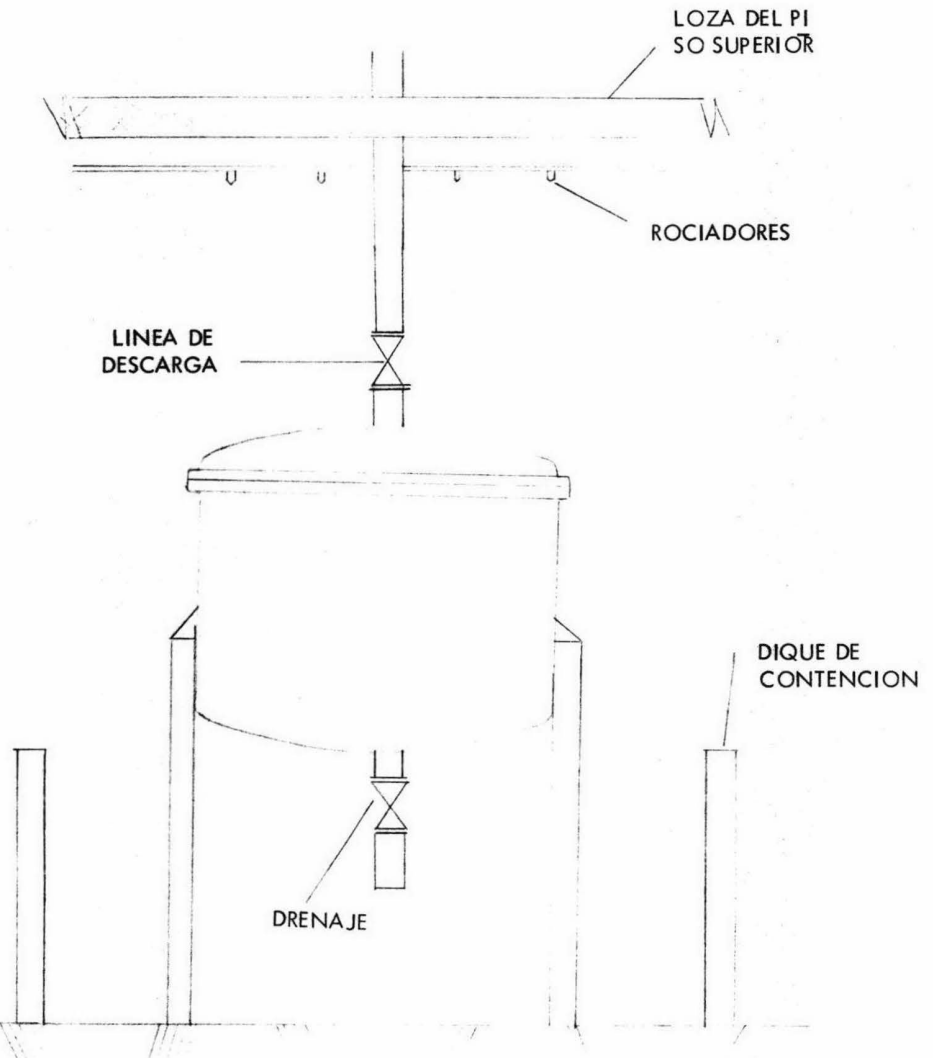
Deberá estar localizado inmediatamente abajo del reactor de 1,890 lt y accesible para ser limpiado fácilmente. Contará con un sistema de diluvio -- que se accionará después que la carga dañada esté en su interior y provisto con un dique de contención para proteger el área en caso de fugas.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

La capacidad de este tanque será de 1,5 veces el volumen del reactor mayor : 2,850 lt.

ITEM: T - 14 (Continuación)

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 15

DESCRIPCION :

Tanque general de agua cruda.

FUNCION :

Almacenar la cantidad suficiente de agua proveniente del servicio municipal, para la operación de la planta durante 24 horas.

MATERIAL DE CONSTRUCCION :

Concreto.

PRESION DE DISEÑO :

Atmosférico.

COMENTARIOS :

Este tanque será una cisterna de concreto conxtruída bajo tierra. Existirá - una toma en la línea principal de servicio municipal que alimentará directa mente a este tanque. Provisto con un sistema controlador de nivel para evi tar derrames.

ANTECEDENTES DE CALCULO :

Consumo de agua blanda (lt/día)	5,100
Consumo de agua desmineralizada (lt/día)	8,400
Consumo total de agua (lt/día)	13,500
Tiempo de almacenamiento (días)	1
Volumen total del tanque (lt)	13,500

ITEM: T - 17

DESCRIPCION:

Tanque de agua desmineralizada.

FUNCION:

Almacenar el agua desmineralizada que se obtiene de las unidades deionizadoras.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón con paredes internas recubiertas con resina epoxi.

PRESION DE DISEÑO:

Atmosférico.

COMENTARIOS:

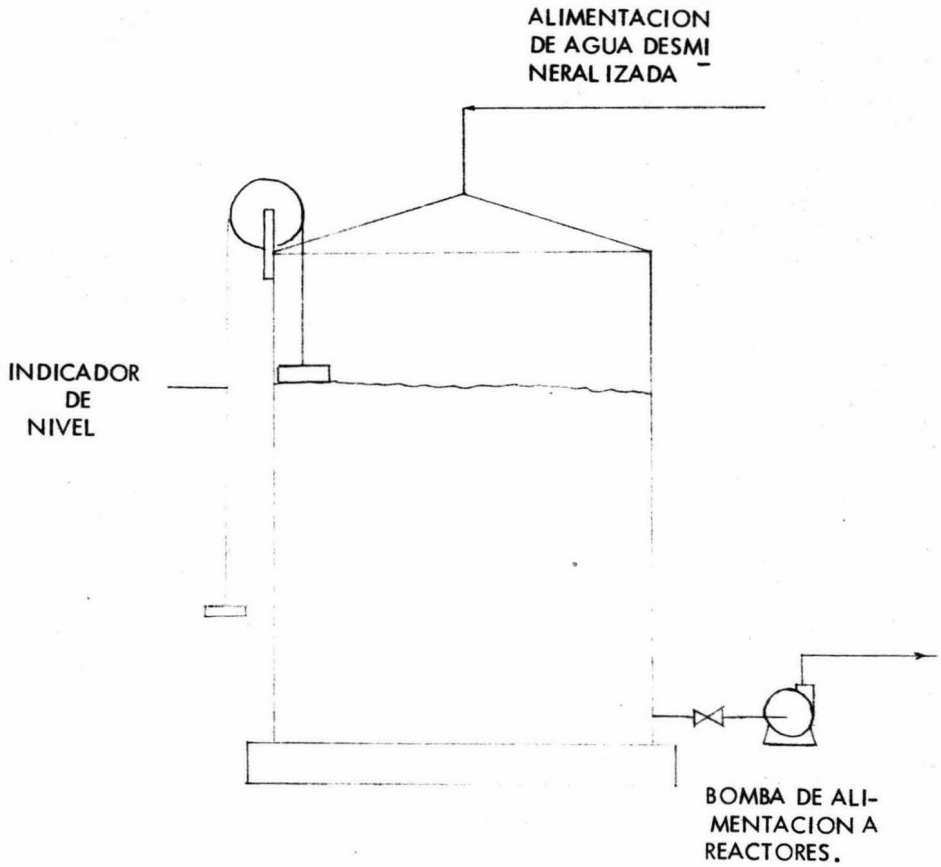
Este tanque con tapa superior estará provisto de un indicador de nivel para evitar derrames de agua desmineralizada.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Consumo máximo por reactores en proceso (lt)	1,650
Consumo máximo por limpiezas (lt)	2,470
Consumo para la preparación de sosa (lt)	300
Consumo pico máximo (lt)	2,800
Volumen total del tanque (lt)	3,000

ITEM: T - 17 (Continuación)

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 18

DESCRIPCION:

Tanque de gas LP

FUNCION:

Almacenar el gas combustible para consumo de la planta piloto.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

100 psig.

COMENTARIOS:

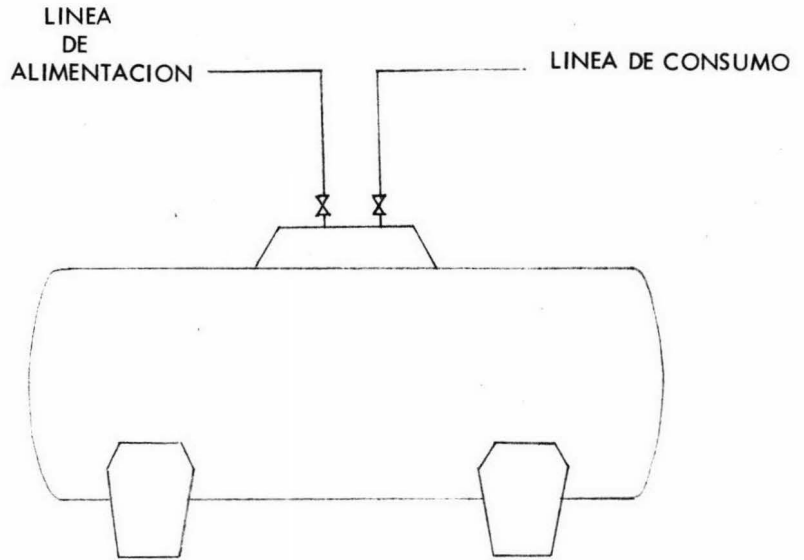
Este será un tanque estacionario del tipo doméstico de fácil acceso para reposición y con las protecciones de seguridad pertinentes.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Consumo de gas combustible (kg/día)	100
Tiempo de almacén recomendable (días)	10
Capacidad total del tanque (kg)	1,000
Densidad del gas LP (kg/lit)	0.51
Volumen total del tanque (lit)	2,000

ITEM: T - 18 (Continuación)

DIAGRAMA ESQUEMATICO:



ITEM: T - 19 (Continuación)ANTECEDENTES DE CALCULO:

Gasto por hidrante (1pm)	190
Gasto total por rociadores (1pm)	500
Fracción de rociadores activados	25 %
Gasto por rociadores operando (1pm)	125
Hidrantes operando	1
Gasto por hidrante operando (1pm)	190
Gasto total en el sistema (1pm)	1
Tiempo de emergencia (minutos)	30
Volumen total de agua requerida (lt)	9,450
Volumen total del tanque (lt)	10,000

ITEM: T - 19

DESCRIPCION :

Tanque del sistema contra incendio.

FUNCION :

Almacenar la cantidad de agua suficiente para controlar una situación de -
emergencia en caso de fuego o explosión dentro de la planta piloto.

MATERIAL DE CONSTRUCCION :

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO :

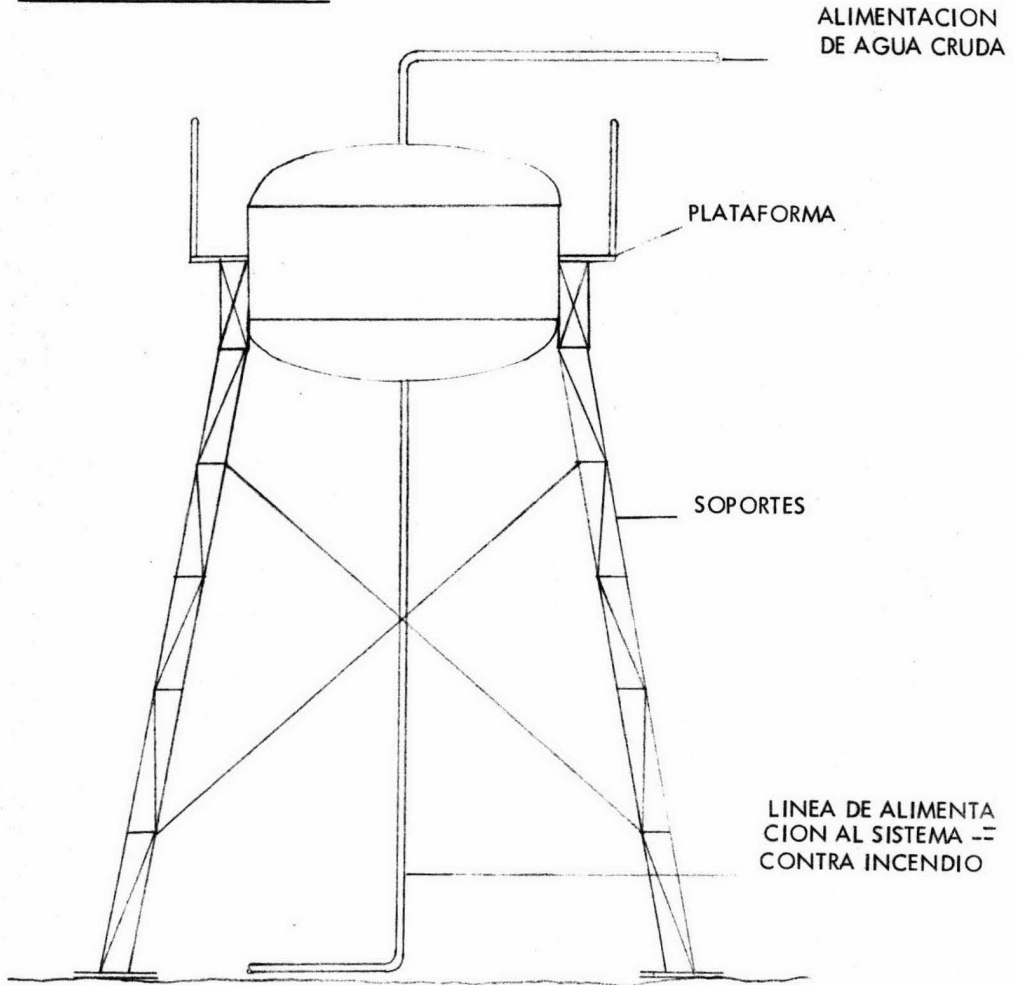
Atmosférico.

COMENTARIOS :

Cualquier planta de polimerización tiene un alto riesgo de fuego o explo--
sión y serán las medidas de seguridad que se tomen durante su diseño, las -
que determinen en gran parte la presencia de accidentes de este tipo.

ANTECEDENTES DE CALCULO :

Area a proteger (m ²)	625
Area protegida por rociador (m ²)	13,8
Gasto de agua por rociador (lpm)	11
Número de rociadores instalados	45
Hidrantes instalados	2

DIAGRAMA ESQUEMATICO:

ITEM: T - 20

DESCRIPCION:

Tanque de aire comprimido.

FUNCION:

Almacenar aire comprimido a una presión de operación constante.

MATERIAL DE CONSTRUCCION:

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO:

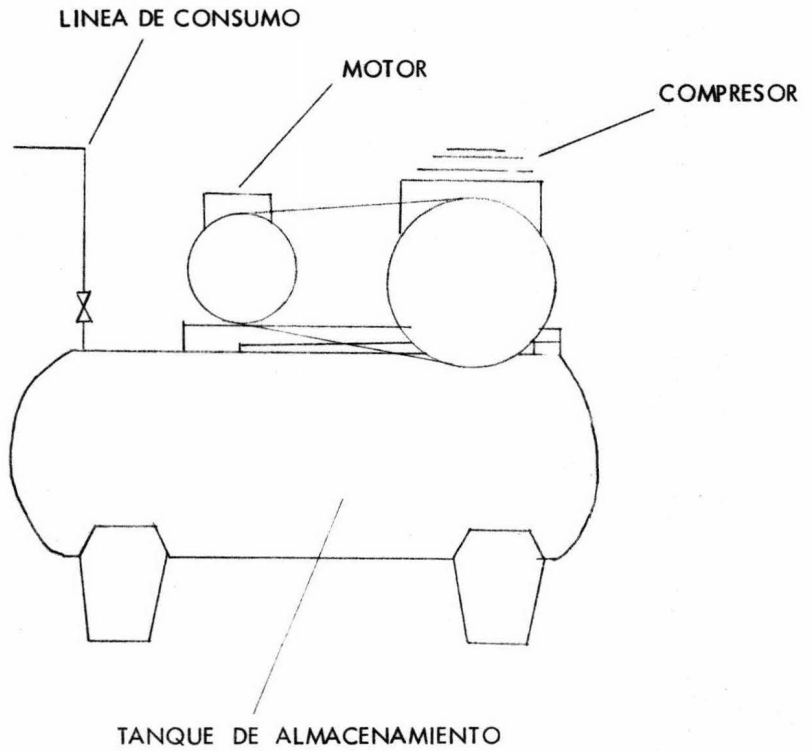
Este tanque viene como un conjunto con el compresor (K-1) y en su descarga habrá instalado un cartucho empacado con sílica gel para deshumidificar el aire.

ANTECEDENTES DE CALCULO:

Consumo de aire (SCFM)	16
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psig)	175
Consumo de aire (CFM a condiciones de operación) . .	1.43
Tiempo de residencia (minutos)	7.0
Volumen de aire (ft ³)	10
Volumen total del tanque (lt)	300

ITEM : T - 20 (Continuación)

DIAGRAMA ESQUEMATICO :



ITEM : T - 21

DESCRIPCION :

Tanque de nitrógeno.

FUNCION :

Almacenar nitrógeno en estado líquido para consumo de la planta piloto.

MATERIAL DE CONSTRUCCION :

Acero al carbón.

PRESION DE DISEÑO :

200 psig.

COMENTARIOS :

Para no manejar cilindros y ahorrar espacio se instalará un tanque criogénico estacionario de nitrógeno.

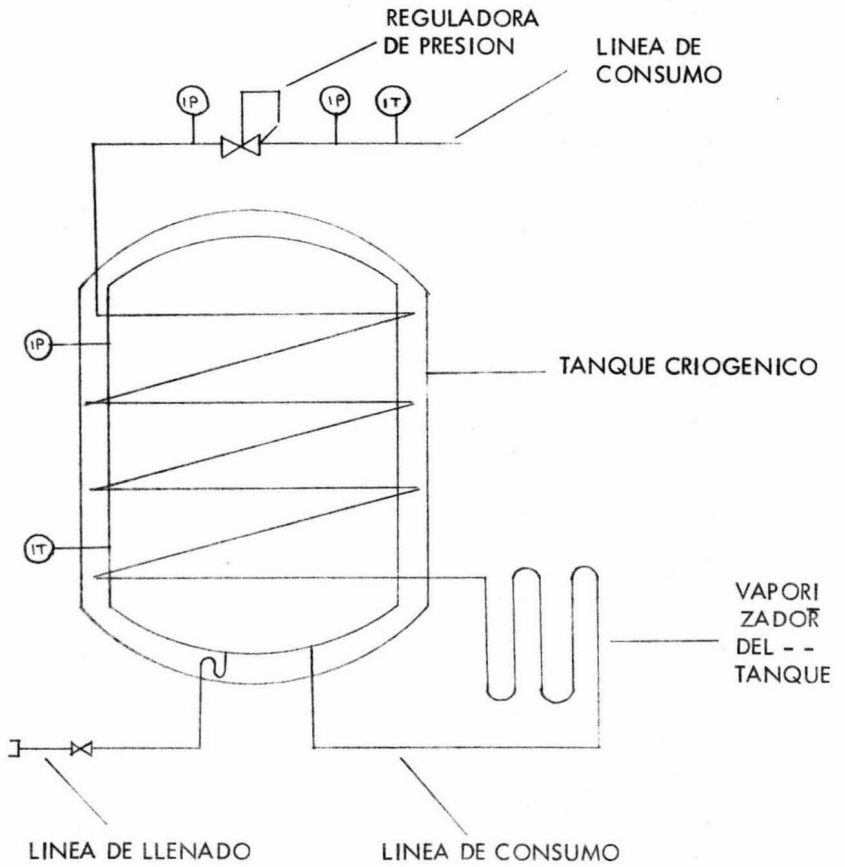
ANTECEDENTES DE CALCULO :

Consumo de nitrógeno (m^3 /mes a condiciones estandar).....	854
Reducción de volumen en el nitrógeno al licuarlo	454
Volumen de nitrógeno líquido consumido (m^3 /mes)	1.87
Volumen total del tanque (m^3)	2.0

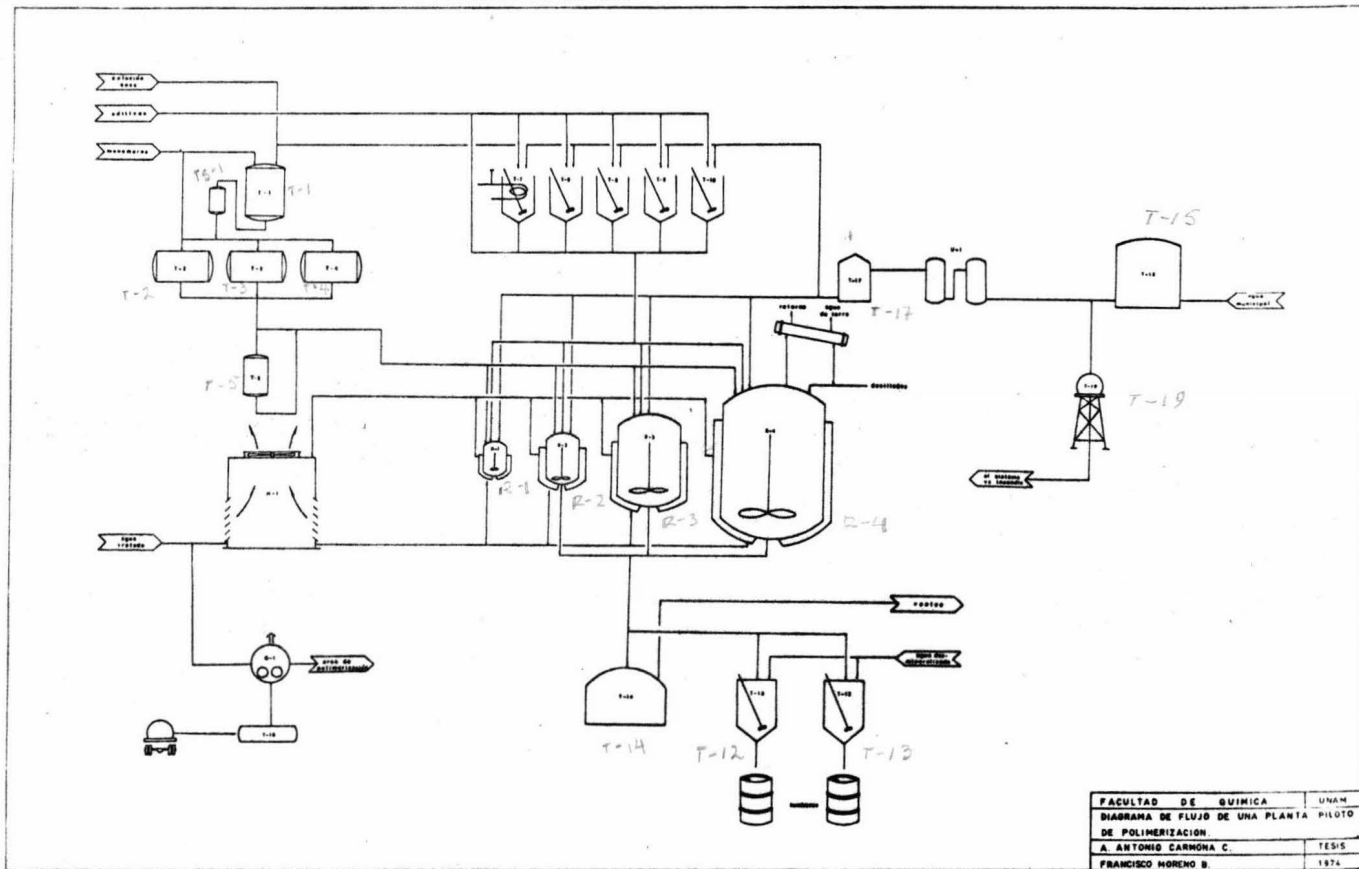
DIAGRAMA ESQUEMATICO :

ITEM : T - 21 (Continuación)

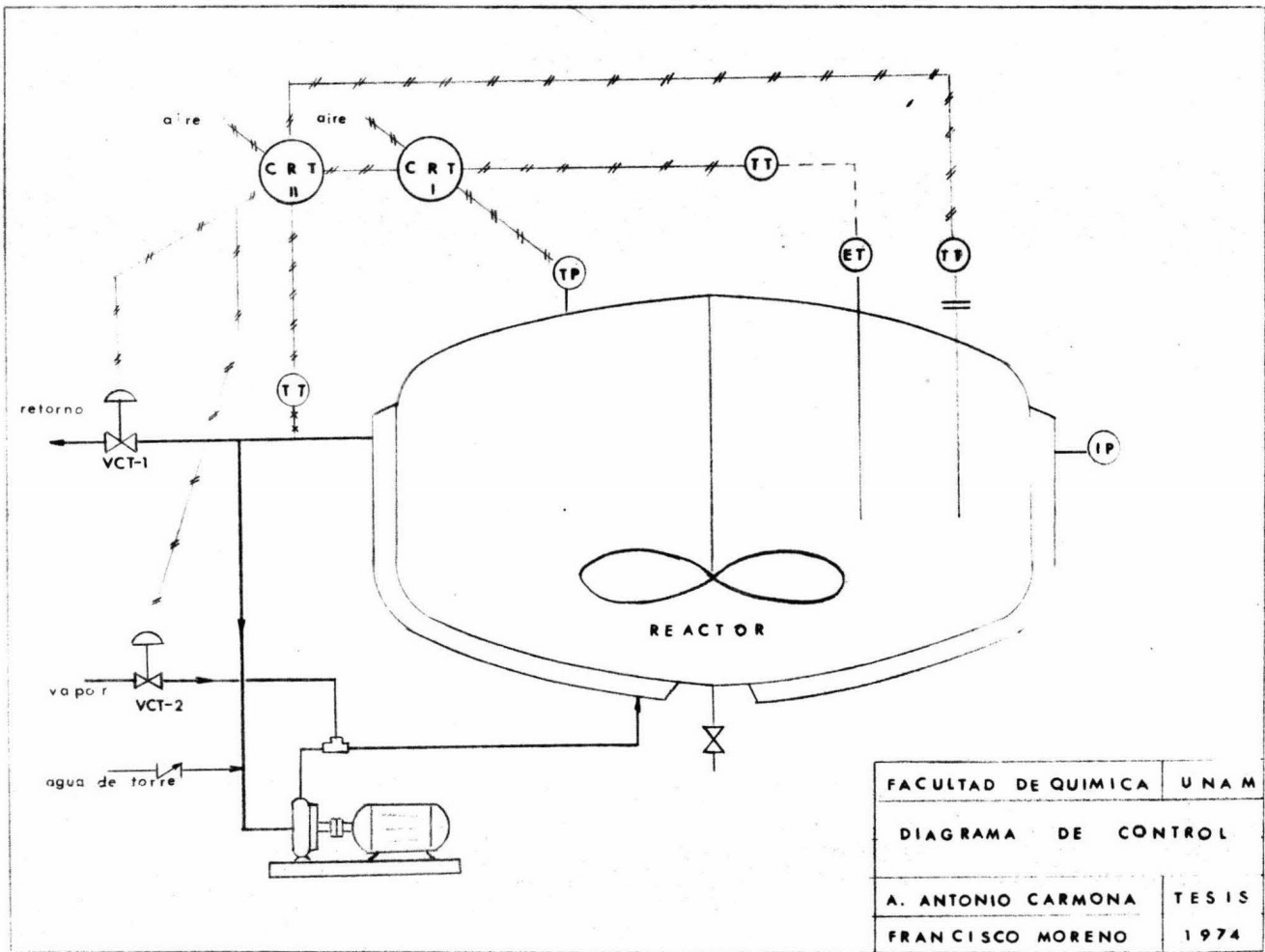
DIAGRAMA ESQUEMATICO :



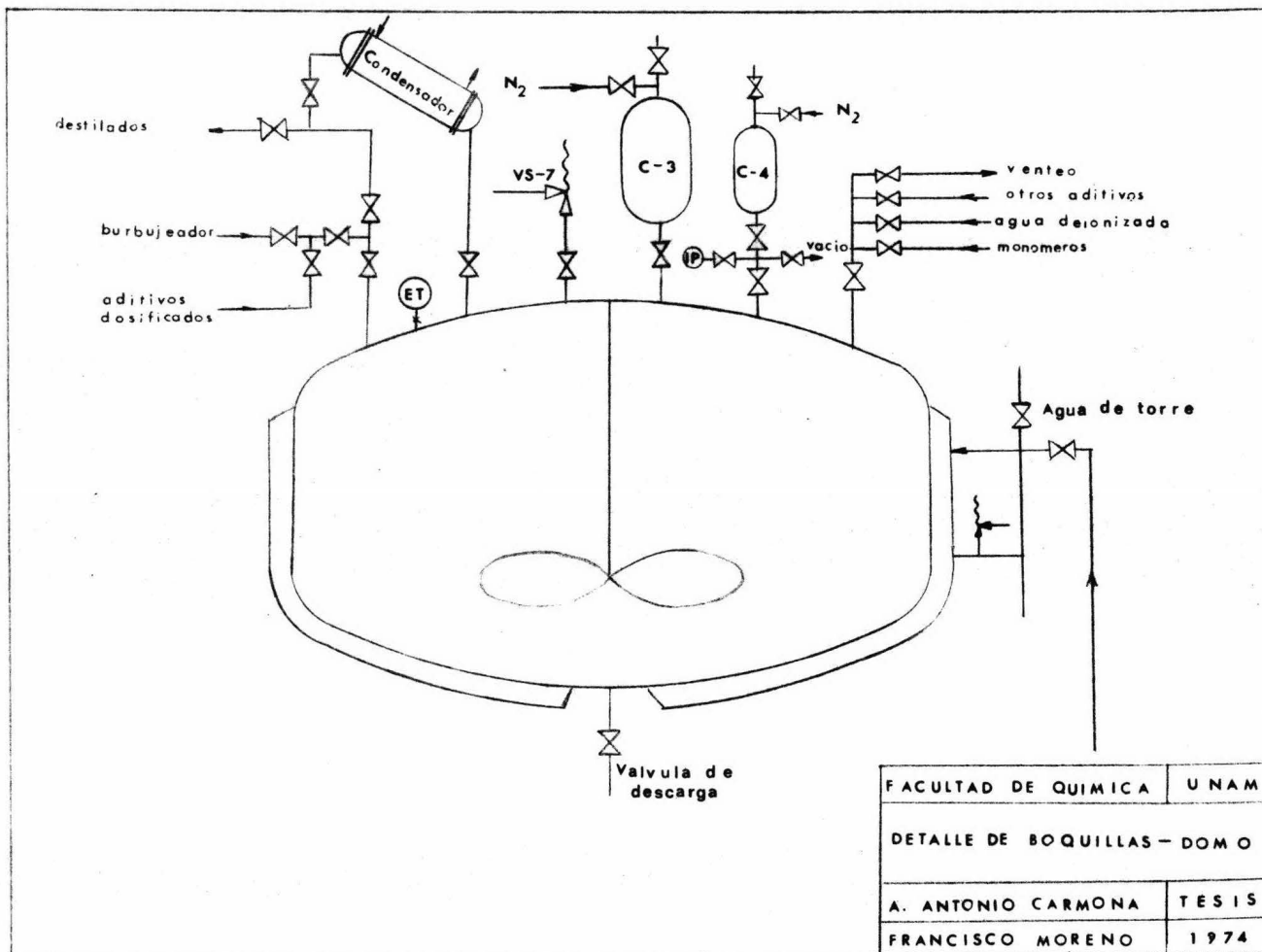
2.- DIAGRAMA DE FLUJO

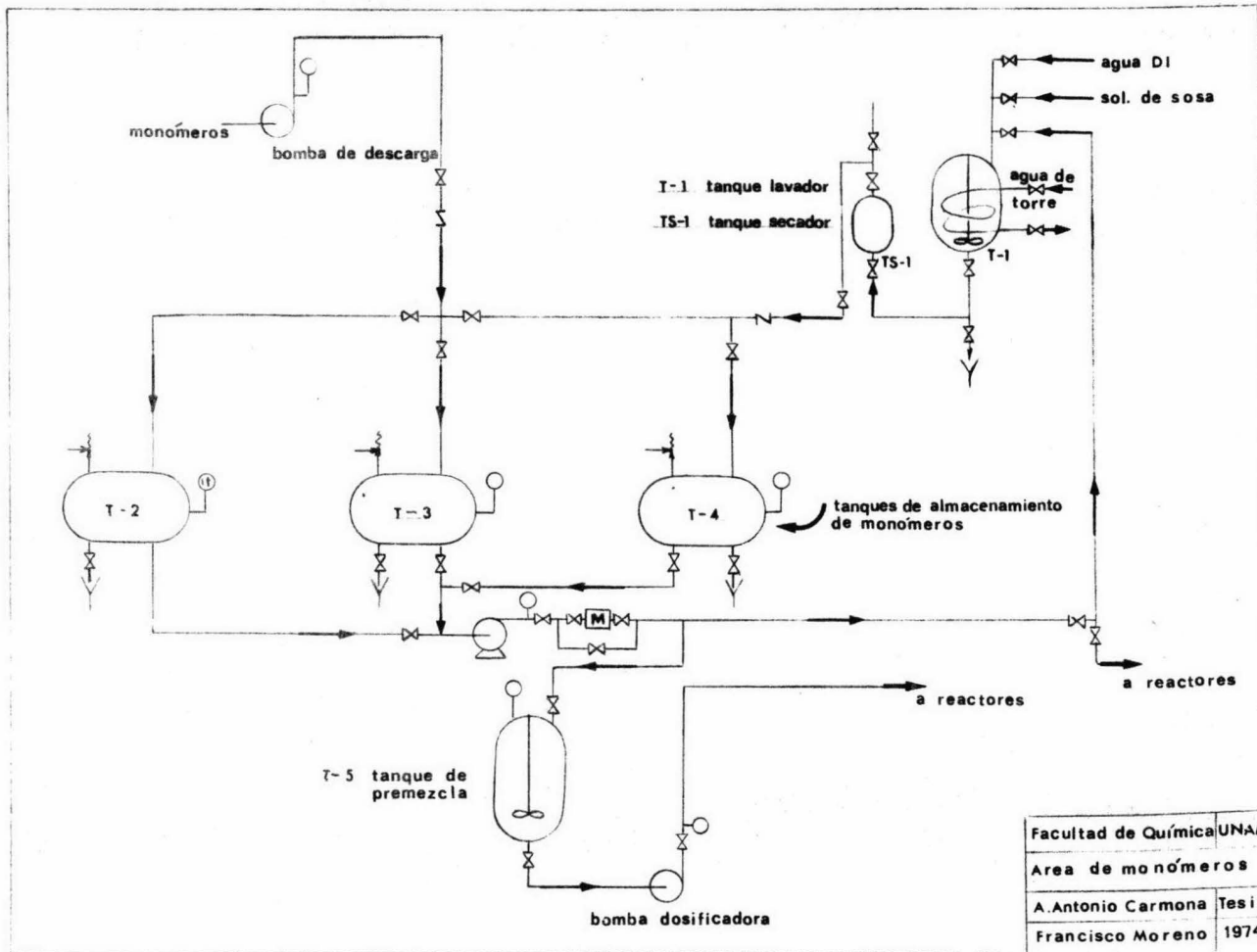


3.- DIAGRAMAS DE INGENIERIA



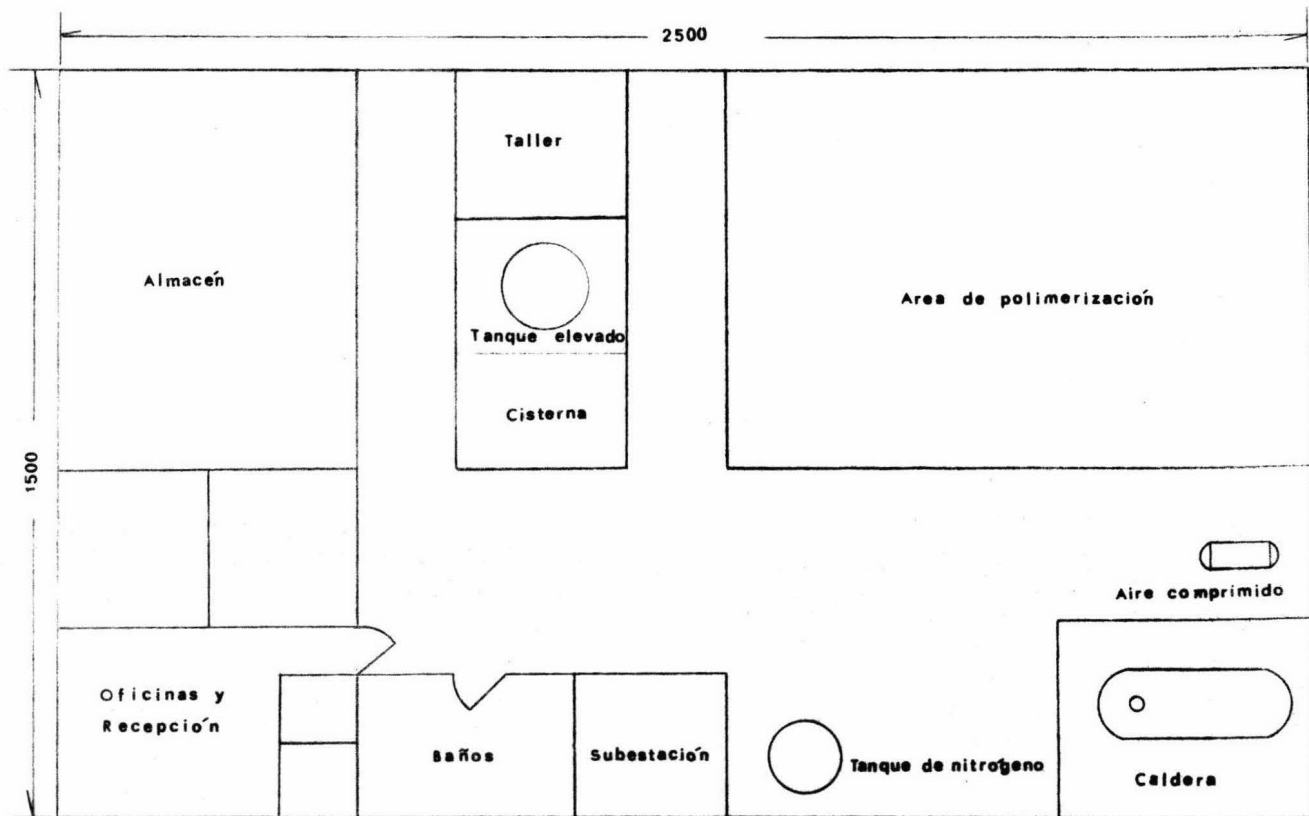
FACULTAD DE QUIMICA	UNA M
DIAGRAMA DE CONTROL	
A. ANTONIO CARMONA	TESIS
FRANCISCO MORENO	1974





Facultad de Química	UNAM
Area de monómeros	
A. Antonio Carmona	Tesis
Francisco Moreno	1974

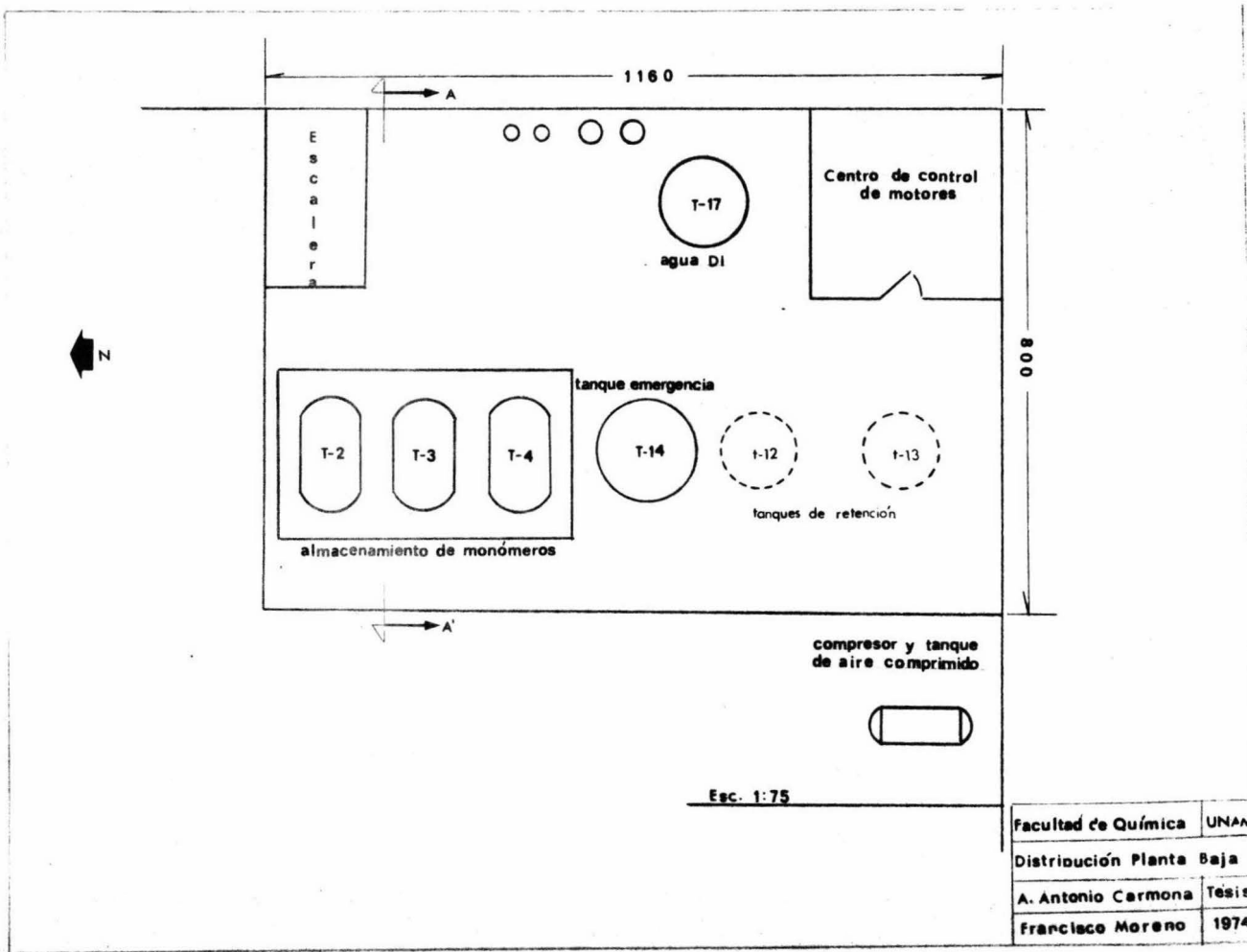
4.- DIAGRAMA DE LOCALIZACION DE EQUIPO.



Esc. 1:100
Acot. en cms.

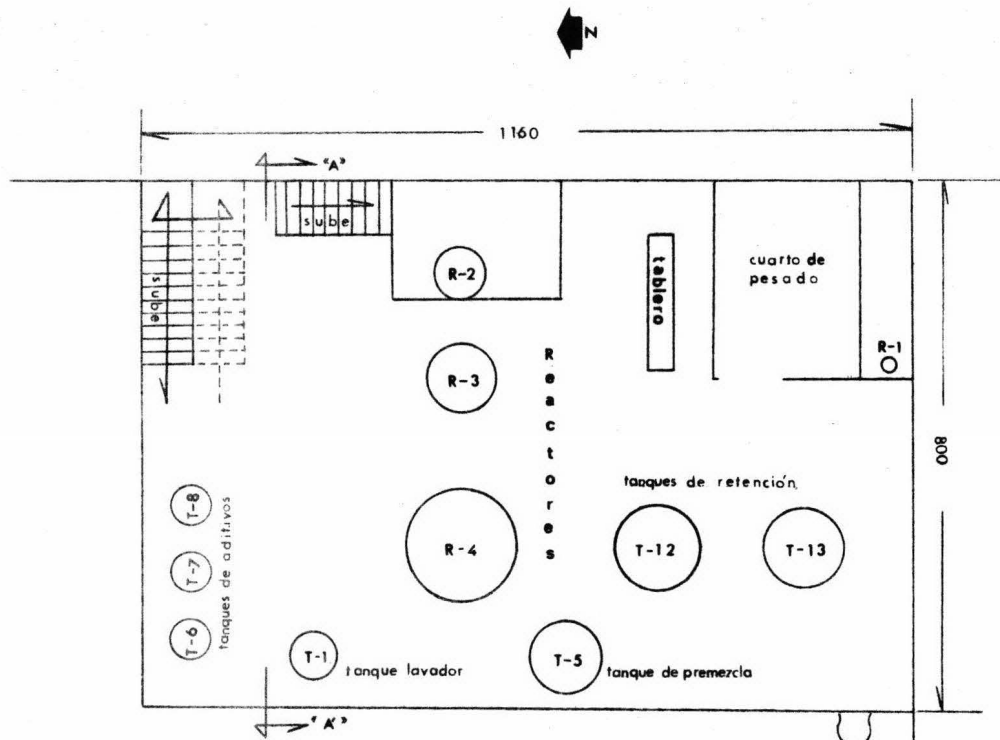
Facultad de Química	UNAM
Distribución general	
A. Antonio Carmona	Tesis
Francisco Moreno	1974

221
*



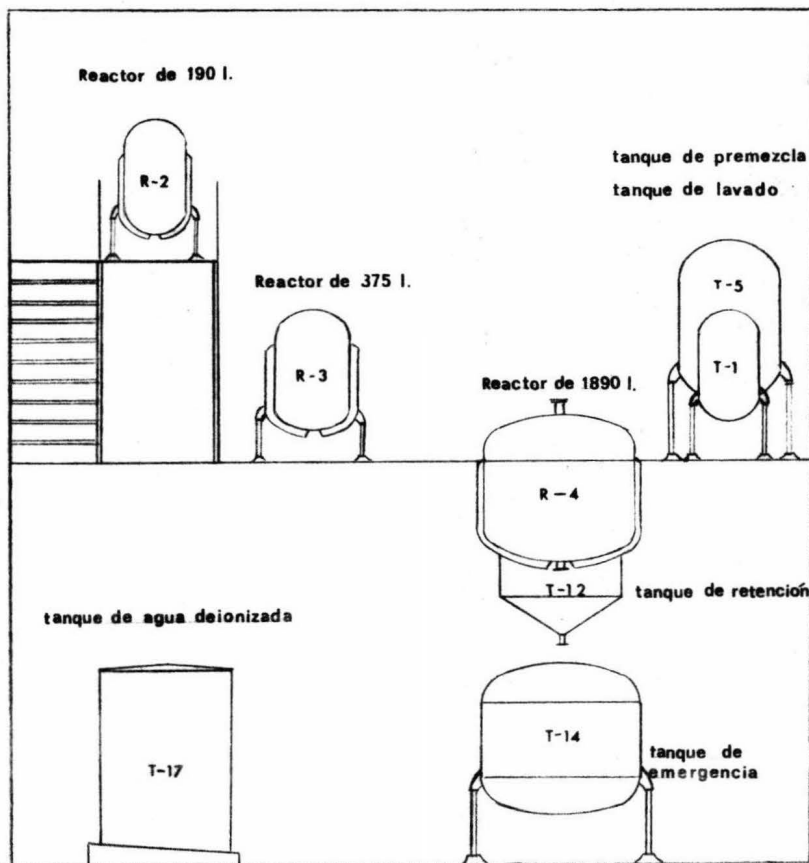
Esc. 1:75

Facultad de Química	UNAM
Distribución Planta Baja	
A. Antonio Carmona	Tesis
Francisco Moreno	1974



Esc. 1:75

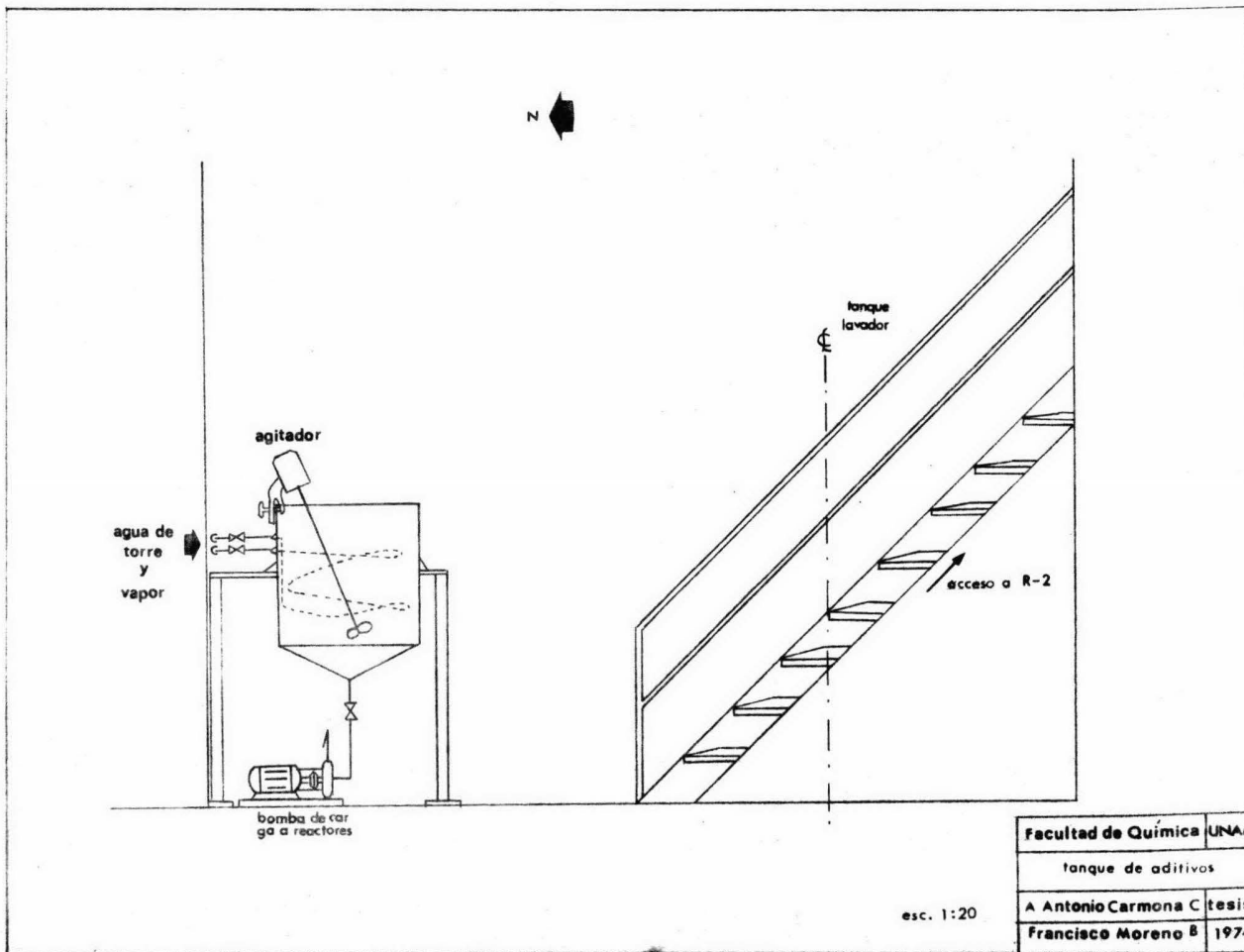
Facultad de Química	UNAM
Distribución Primer Nivel	
A. Antonio Carmona	Tesis
Francisco Moreno B.	1974



Esc. 1:50

ELEVACION
VISTA 'A-A'

Facultad de Química	UNAM
Localización de equipo	
A. Antonio Carmona	Tesis
Francisco Moreno B.	1974



Facultad de Química	UNAM
tanque de aditivos	
A Antonio Carmona C	tesis
Francisco Moreno B	1974

esc. 1:20

5.- LISTA DE INSTRUMENTOS

5. LISTA DE INSTRUMENTOS.-

<u>IDENT.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>#</u>	<u>R A N G O</u>	<u>LOCALIZACION</u>
ET - 1	Bulbo de resistencia para detección y transmisión de temperatura.	4	20 a 200°C	En el termopozo correspondiente de cada reactor.
ET - 2	Sistema lleno de temperatura. Chaqueta	4	20 a 200°C	En campo
TT - 1	Trasmisor transductor de temperatura para el bulbo de resistencia del sistema de control.	4	20 a 200°C	En campo
CRT	Controlador registrador de temperatura, para el sistema de control de los reactores.	4	Variable	Enfrente del tablero de control de instrumentos, en el área de polimerización.
RP	Registrador de presión de la carga de polimerización.	2	variable	Enfrente del tablero de control de instrumentos.
TT - 2	Trasmisor de temperatura para el sistema lleno de control de la chaqueta.	4	20 a 200°C	En campo.
VCT-V	Válvula controladora de temperatura, para regular el flujo de vapor a través de la chaqueta del reactor.	4	3 - 15 #	Línea de vapor.
VCT-W	Válvula controladora de temperatura, para regular el flujo de agua a través de la chaqueta del reactor.	4	3 - 15 #	Línea de agua de enfriamiento a cada reactor.
TP - 1	Trasmisor de presión.	4	3 - 15 #	En la boquilla correspondiente de cada reactor.
IN - 1	Indicador de nivel	6	0 - 100 %	En campo.
IF - 1	Indicador de flujo	6	0 - 100 %	En campo.
MQC-1	Medidores integradores de flujo.	4	variable (0 - 20 gpm)	En campo.
IT - 1	Indicadores de temperatura.	15	variable	En Campo.

6.- LOCALIZACION DE LA PLANTA PILOTO.

D. REQUERIMIENTOS Y RESUMEN DE SERVICIOS :SERVICIO :

Agua desmineralizada .

FUNCION :

- 1.- Como medio dispersante en los procesos de polimerización por los métodos de suspensión y emulsión .
- 2.- Como medio de disolución de sosa cáustica para lavado de monómeros y su desinhibición .
- 3.- Como medio de limpieza para tanques y reactores .
- 4.- De alta presión, como medio de carga a través de calabazos de aditivos a reactores .

CALIDAD :

Resistividad específica (micromhos)	10 máx .
Ph	6.5-7.0
Sílice %	0.10 máx
Sólidos disueltos totales (ppm)	0.10 máx

REQUERIMIENTOS :CONSUMO :

Reacción (suspensión o emulsión)	1 650 lt
Limpieza de reactores y tanques	2 474 lt
Lavado de monómeros (solución de sosa)	300 lt

GASTO.-

Pico a reactores (gpm)	50
Promedio a través de unidades desmineralizadoras - - (gpm)	10

TIEMPOS.-

Regeneración de unidades (hr)	2
Llenado del tanque de almacenamiento (hr)	1.5
Tiempo de vaciado del tanque a consumo pico (min) .	15
I-1	
Calor de condensación (BTU/carga)	0.9×10^5
Gasto de agua requerido (gpm)	16
GASTO TOTAL DE AGUA DE TORRE (gpm)	160
CARGA TERMICA TOTAL, disipada por la torre (BTU/hr) ..	5.7×10^5

OBTENCION :

Se instalará una torre de enfriamiento que proporcione 160 gpm de agua -- fría a 18°C, alimentada con agua cruda y tratada directamente en la cisterna de la torre.

SERVICIO :

Como medio de calentamiento en los reactores y tanques de aditivos, y -- fluido succionante en los eyectores para efectuar vacío a los reactores.

CALIDAD :

Vapor saturado de 250 psig y 207°C.

REQUERIMIENTOS :

<u>ITEM</u>	<u>kg/carga</u>	<u>kg/hr</u>	<u>Tiempo pico (minutos)</u>
J - 1	7.0	53	7.5
R - 4,3,2,1	234	520	27
T - 6,7,8	60.5	206	20
<u>TOTAL</u>	300	780	27

OBTENCION :

Se instalará una caldera de baja capacidad 50 HP, alimentada con agua --
cruda y tratada químicamente en la caldera.

OBTENCION :

Tratando agua cruda municipal, haciéndola pasar a través de una unidad -
desmineralizadora diseñada específicamente para este servicio.

SERVICIO :

Agua de torre de enfriamiento.

FUNCION :

Como medio de enfriamiento en los reactores de polimerización, en los --
tanques de preparación de aditivos y en los condensadores de reflujo para -
los reactores.

CALIDAD :

Agua tratada químicamente para evitar corrosión e incrustaciones en los --
tubos y corazas de enfriamiento.

REQUERIMIENTOS :ITEM

R-4

Calor de reacción (BTU/carga)	14×10^5
Calor generado por el agitador (BTU/carga)	2.6×10^5
Gasto de agua requerido (gpm)	63
Factor de seguridad, gasto	2
Gasto de diseño (gpm)	120
Carga térmica de diseño (BTU/carga)	16.6×10^5

T-6, T-7, T-8

Calor por disipar (BTU/tanque)	0.32 x 10 ⁵
Gasto de agua requerido (gpm)	7.0
Número total de tanques en operación.....	3
Gasto de diseño (gpm).....	21
Carga térmica de diseño (BTU/carga)	0,96 x 10 ⁵

SERVICIO :

Agua cruda municipal

FUNCION :

Alimentación a las unidades deionizadoras, a la torre de enfriamiento a la caldera y al consumo sanitario del personal de la planta piloto.

REQUERIMIENTOS :ITEM

H - 1

Reposición a la torre de enfriamiento (gpm)	12
Frecuencia (veces/día)	2
Período de reposición (minutos)	10-15

G - 1

Reposición a la caldera (gpm)	1-3
Frecuencia (veces/día)	2
Período de reposición (minutos)	30-40

U - 1

Alimentación a las unidades desmineralizadoras (gpm)	10
Frecuencia (veces/día)	4
Período de alimentación (hr)	1.5

OBTENCION :

De las líneas principales del servicio municipal habrá una toma que alimentará directamente al tanque general de agua cruda de la planta piloto.

SERVICIO :

Aire comprimido.

FUNCION :

Alimentar a los instrumentos neumáticos de los circuitos de control y mover los motores neumáticos de algunos agitadores.

CALIDAD :

Aire seco para instrumentos.

REQUERIMIENTOS :

Se requieren 16 SCFM de aire, para alimentar a 32 instrumentos que componen los circuitos de control.

OBTENCION :

Se instalará un compresor de 3 HP y 10 SCFM para satisfacer este servicio. Proporcionará aire de 175 psig máximo que se distribuirá a los sitios de la planta piloto que lo requieran.

SERVICIO:

Nitrógeno a presión.

FUNCION :

- 1.- Alimentar a los instrumentos en caso de falla eléctrica o mecánica del compresor.
- 2.- Para blanqueo o purga de los reactores, tanques de monómeros y otros tanques que lo requieran.
- 3.- Como medio de compresión y carga de aditivos a través de calabazos.

hacia el reactor.

4.- Como medio de compresión y descarga de recipientes cerrados.

CALIDAD :

Gas nitrógeno libre de contaminantes.

REQUERIMIENTOS :

Consumo de nitrógeno por instrumentos (m ³ /mes)	204.6
Blanqueo de tanques y reactores (m ³ /mes)	649.0
Consumo total (m ³ /mes)	854

OBTENCION :

Se instalará un tanque estacionario para almacenar el nitrógeno líquido, — de donde se distribuirá a todo el área de la planta piloto que se requiera.

SERVICIO:

Energía Eléctrica.

FUNCION :

Fuerza motriz para agitadores y motores de bombas.

CALIDAD :

Energía eléctrica 440 volts, 60 ciclos, 3 fases.

REQUERIMIENTOS :

<u>ITEM</u>	<u>HP INSTALADOS</u>	<u>AMPERES (PLACA)</u>
B - 1	3/4	1.4
B - 2	3/4	1.4
B - 3	5	7.5
B - 4	2	3.3
B - 5	2	3.3

<u>ITEM</u>	<u>HP INSTALADOS</u>	<u>AMPERES (PLACA)</u>
B - 6	2	3.3
B - 7	1/4	1.0
B - 8	2	3.3
B - 10	1/4	1.0
B - 14	5	7.5
B - 17	5	7.5
B - 18	5	7.5
B - 19	2	3.3
A - 1	1/4	1.0
A - 2	1/4	1.0
A - 3	1/4	1.0
A - 4	1/4	1.0
A - 7	2	3.3
A - 8	2	3.3
A - 9	1/4	1.0
A - 10	2	3.3
A - 11	5	7.5
A - 12	15.0	20.0
K - 1	3.0	4.5
V - 1	3/4	1.4
V - 2	10	14.0
TOTAL REQUERIDO (AMPERES)		120
FACTOR DE SEGURIDAD		30 %
TOTAL DE DISEÑO (AMPERES)		160

E. ORGANIZACION Y FORMA DE TRABAJO :

Se propone que este centro de investigación dirigida se construya en los terrenos de la Universidad Nacional de México (CU) como una dependencia de la Facultad de Química.

Para que la mano de obra de servicio en la planta piloto sea barata y los costos de investigación y renta del usuario no sean altos, la planta piloto será administrada y operada con el mínimo de personal requerido, haciendo uso inclusive del servicio social que pueden prestar los estudiantes de la Universidad.

La organización de la planta sería como a continuación se expone :

1. Existirá un DIRECTOR de la planta que funcionará como un enlace entre el usuario y las facilidades proporcionadas por las instalaciones. Estará encargado de programar todo el tiempo disponible de la planta y negociará directamente con el usuario. Será responsable del buen funcionamiento y mantenimiento de todo el equipo y la seguridad de la planta. El decidirá si es o no necesario el cambio o la sustitución de alguna parte de las instalaciones para satisfacer los requerimientos de algún cliente.
2. Al director se le reportará un INGENIERO DE PLANTA que constituirá el departamento de ingeniería. Será el encargado de realizar las modificaciones o mejoras a las facilidades existentes para satisfacer las necesidades de un usuario o simplemente con miras a mejorar el funcionamiento y la versatilidad de la planta piloto.

Este puesto podrá ser ocupado por un pasante de la carrera de ingeniero químico que deseara pagar su servicio social.

Al ingeniero de planta se le reportarán 3 personas: un OPERADOR DE PROCESO, UN JEFE DE INSTRUMENTISTAS y un OPERADOR DE SERVICIOS.

3. EL OPERADOR DE PROCESO desarrollará las siguientes actividades:
 - i) Llevará un control del inventario de materias primas necesarias para la polimerización.
 - ii) Estará encargado del control del proceso conjuntamente con el personal del usuario que esté dirigiendo la investigación.
 - iii) Preparará materias primas requeridas en el proceso.
4. EL JEFE DE INSTRUMENTISTAS será responsable de la reparación y mantenimiento preventivo de todos los instrumentos y el equipo de la planta piloto, para lo cual contará con la asistencia de 2 ayudantes con conocimientos de mecánica, electricidad e instrumentación, que se le reportarán directamente.
5. EL OPERADOR DE SERVICIOS será responsable de generar los servicios necesarios para la correcta operación de la planta: Vapor, agua de enfriamiento, agua blanda, agua desmineralizada, aire, nitrógeno y electricidad.

Como personal adicional se requiere de: 2 secretarias para efectuar los diversos trabajos de oficina que se presenten; 1 empleado de relaciones públicas para

hacer compras, pagos y propaganda; 2 aseadores para labores de limpieza en planta y oficinas.

La forma de trabajo que se llevaría a cabo en la planta piloto sería como sigue :

El director ofrecerá los servicios del centro de investigación a las diferentes compañías del ramo de los plásticos que deseen adquirir este servicio. La compañía interesada enviará una persona especializada (usuario) que se pondrá en contacto con el director para la programación de las actividades.

El usuario proporcionará las materias primas que se requieran para su investigación y establecerá las necesidades de su proceso. El ingeniero de planta coordinará los trabajos en las instalaciones para satisfacer los requerimientos del usuario.

El usuario y el ingeniero de planta trabajarán en forma conjunta para operar en forma adecuada la planta y controlar el proceso en investigación; siendo el usuario el responsable en obtener la información de proceso que le sea de utilidad.

La planta piloto no guardará la información generada y respetará la confidencialidad del servicio. Este centro prestará disponibilidad de 7:00 AM a 22:00 Hr dividido en 2 turnos, uno de 7:00 a 15:00 y otro de 15:00 a 22:00 de lunes a sábado.

CAPITULO IV

ESTIMACION DE COSTOS

ESTIMACION DE COSTO

1. INVERSION TOTAL REQUERIDA :

1.1 COSTO DEL EQUIPO MAYOR (P_d) :

	<u>DESCRIPCION</u>	<u>#</u>	<u>COSTO</u>	<u>TOTAL</u>
1.1.1	Reactor de 500 gal (1 890 lt) enchaquetado, 300 psig, vidrio con motovariador-reductor-agitador.	1	\$ 300 000.00	\$ 300 000.00
1.1.2	Reactor de 100 gal (375 lt) enchaquetado, 300 psig, vidrio, con motovariador-reductor-agitador.	1	200 000.00	200 000.00
1.1.3	Reactor de 50 gal (190 lt) enchaquetado, 200 psig, vidrio con motovariador-reductor-agitador.	1	90 000.00	90 000.00
1.1.4	Reactor de 5 gal (19 lt) enchaquetado, 100 psig, vidrio, con motovariador-reductor-agitador.	1	40 000.00	40 000.00
1.1.5	Tanque de acero inoxidable - 316, 400 lt, 150 psig, con serpentín interno y visor lateral para indicación de nivel.	1	20 000.00	20 000.00
1.1.6	Tanque de acero inoxidable - 316, 1 380 lt, 150 psig.	5	35 000.00	175 000.00
1.1.7	Tanque de acero inoxidable - 316, 158 lt, atmosférico, con serpentín interno.	3	15 000.00	45 000.00
1.1.8	Tanque de acero inoxidable - 316, 30 lt, atmosférico.	2	5 000.00	10 000.00
1.1.9	Tanque de acero inoxidable - 316, 1 890 lt, atmosférico.	2	15 000.00	30 000.00

1.1 COSTO DEL EQUIPO MAYOR (Pd): (Continuación)

	<u>DESCRIPCION</u>	<u>#</u>	<u>COSTO</u>	<u>TOTAL</u>
1.1.10	Tanque de acero al carbón de 2 850 lt, 300 psig.	1	\$ 40 000.00	\$ 40 000.00
1.1.11	Tanque de acero al carbón, re- cubrimiento interno plástico - 3 000 lt, atmosférico.	1	15 000.00	15 000.00
1.1.12	Tanque de acero al carbón -- 2 000 lt, 100 psig.	1	20 000.00	20 000.00
1.1.13	Tanque de acero al carbón -- 10 000 lt, atmosférico, con -- estructura metálica de 15 me- tros de alto.	1	60 000.00	60 000.00
1.1.14	Tanque de acero al carbón -- 300 lt, 200 psig.	1	10 000.00	10 000.00
1.1.15	Tanque de acero al carbón -- 2 000 lt, 200 psig.	1	15 000.00	15 000.00
1.1.16	Bomba de pistones, dosifica- dora, de 0.1 a 0.2 gpm, 260 psig. máxima de descarga, en acero inoxidable, 1/4 HP, in- cluyendo el motor.	2	15 000.00	30 000.00
1.1.17	Bomba centrífuga de 20 gpm - 20 psig de descarga, 3/4 HP- en acero inoxidable, inclu-- yendo el motor.	1	5 000.00	5 000.00
1.1.18	Bomba centrífuga de 10 gpm - 60 psig de descarga, 3/4 HP- en acero inoxidable, incluyen- do el motor.	1	5 000.00	5 000.00
1.1.19	Bomba centrífuga de 25 gpm - 30 psig. de descarga, 2 HP en acero inoxidable, incluyendo el motor.	3	8 000.00	24 000.00

1.1 COSTO DEL EQUIPO MAYOR (P_d): (Continuación)

	<u>DESCRIPCION</u>	<u>#</u>	<u>COSTO</u>	<u>TOTAL</u>
1.1.20	Bomba de turbina de 30 gpm - 100 psig. máximo, 2 HP, en acero inoxidable, incluyendo el motor.	1	\$ 15 000.00	\$ 15 000.00
1.1.21	Bomba centrífuga de 50 gpm - 50 psig de descarga, 5 HP, en acero al carbón, incluyendo - el motor.	1	12 000.00	12 000.00
1.1.22	Bomba centrífuga, 10 gpm, 200 psig, 5 HP, acero inoxidable - incluyendo el motor.	1	15 000.00	15 000.00
1.1.23	Bomba centrífuga, 160 gpm, 40 psig. de descarga, 5 HP, en - acero al carbón, incluyendo - el motor.	1	15 000.00	15 000.00
1.1.24	Bomba centrífuga, 63 gpm, 40 psig de descarga, 2 HP, en -- acero al carbón, incluyendo - el motor.	1	8 000.00	8 000.00
1.1.25	Caldera generadora de vapor, 250 # saturado, 780 kg/hr, -- de 50 HP.	1	50 000.00	50 000.00
1.1.26	Compresor para aire, 16 SCFM 3 HP, 175 psig de descarga má xima, en acero al carbón.	1	10 000.00	10 000.00
1.1.27	Torre de enfriamiento, 169 gpm a 18°C, temperatura de bulbo húmedo 16°C, carga térmica - de 570 000 BTU/hr.	1	45 000.00	45 000.00
1.1.28	Unidad desmineralizadora de - agua, 10 gpm, 10 micromhos, - pH de 6.5 a 7.0	2	10 000.00	20 000.00

1.1 COSTO DEL EQUIPO MAYOR (P_d) : (Continuación)

	<u>DESCRIPCION</u>	<u>#</u>	<u>COSTO</u>	<u>TOTAL</u>
1.1.29	Eyector de vacío, presión de succión 6 in Hg absolutas, presión de descarga 0.5 psig, 40 lb/hr de vapor, 30 SCFM.	2	\$ 3 000.00	\$ 6 000.00
1.1.30	Agitador neumático de 1 700- de propela estandar, en acero inoxidable, 1/4 HP.	1	5 000.00	5 000.00
1.1.31	Agitador eléctrico de 1 700 - rpm de propela estandar, en acero inoxidable 316, 1/4 -- HP, incluyendo el motor.	3	5 000.00	15 000.00
1.1.32	Agitador eléctrico de 120rpm tipo turbina, 2 HP, incluyen motor-reductor, en acero-inoxidable 316.	2	15 000.00	30 000.00
1.1.33	Agitador eléctrico de 120rpm de propela estandar, en acero inoxidable 316, 1 HP, incluyendo motor-reductor.	2	10 000.00	20 000.00
1.1.34	Báscula de 1 a 25 kg en cá- tula, con capacidad total de 50 kg.	2	13 000.00	26 000.00
1.1.35	Balanza de presición de una- capacidad de 0 a 250 gramos.	1	10 000.00	10 000.00
	<u>GRAN TOTAL (P_d)</u>		\$	1 436 000.00
1.2	<u>COSTO DEL EQUIPO MAYOR INSTALADO (P_i 1.43- P_d)</u>		\$	2 050 000.00
1.3	<u>TUBERIA DE PROCESO (0.30 P_i)</u>		\$	615 000.00
1.4	<u>INSTRUMENTACION (0.08 P_i)</u>		\$	16 400.00
1.5	<u>EDIFICIO DE PROCESO (0.20 P_i)</u>		\$	410 000.00
	SUB-TOTAL # 1 (ST ₁)		\$	3 091 400.00

1.6	<u>INGENIERIA Y CONSTRUCCION</u> (0.30 ST ₁)	\$	927 500.00
1.7	<u>ACONDICIONAMIENTO DEL LUGAR</u> (0.10 P _i) ...	\$	205 000.00
	<u>INVERSION TOTAL DE LA PLANTA</u> (ITP)	\$	4 223 900.00
1.8	<u>COSTO DEL TERRENO</u> (0.01 ITP)	\$	42 300.00
	SUB - TOTAL # 2 (ST ₂)	\$	4 266 200.00
1.9	<u>INTERES POR CONSTRUCCION</u> (0.03xST ₂ x0.5)	\$	64 000.00
1.10	<u>CAPITAL DE TRABAJO :</u>		
1.10.1	<u>CAPITAL PARA SALA RIOS</u> : (3 x T)	\$	75 000.00

<u>PUESTO</u>	<u>#</u>	<u>SALARIO IND.</u>	<u>TOTAL/MES</u>
DIRECTOR	1	\$ 5 000.00	\$ 5 000.00
SECRETARIO	1	1 800.00	1 800.00
RELACIONES PUB.	1	2 000.00	2 000.00
ING. DE PLANTA	1	3 500.00	3 500.00
OP. DE PROCESO	2	2 000.00	4 000.00
OP. DE SERVICIO	2	2 000.00	4 000.00
MEC. ELECTRIC.	1	2 000.00	2 000.00
ASEADOR	2	1 200.00	2 400.00

TOTAL \$ 24 700.00

1.10.2 EFFECTIVO EN CAJA : \$ 25 000.00

GRAN TOTAL \$ 100 000.00

RESUMEN

INVERSION TOTAL DE LA PLANTA	\$ 4 223 900.00
COSTO DEL TERRENO	42 300.00
INTERES POR CONSTRUCCION	64 000.00
CAPITAL DE TRABAJO	100 000.00
1. <u>INVERSION TOTAL REQUERIDA</u>	\$ 4 430 200.00

2. COSTO DE SERVICIO PROPORCIONADO POR LA PLANTA PILOTO :2.1 COSTO DE PRODUCCION DE SERVICIOS DE CONSUMO :

<u>SERVICIO</u>	<u>COSTO UNITARIO</u>	<u>CONSUMO</u>	<u>COSTO/DIA</u>
VAPOR	14 S/ton	12.3 ton/día	\$ 175.00
AIRE	0,065 S/1000 scfm	15 350 scfm/día	0.96
AGUA DESMINER.	2,5 \$/1000 gal.	540 gal/día	1.35
AGUA DE ENFRIAM.	0,375 \$/1000 gal.	153 500 gal/día	57.50
NITROGENO	3,80 S/m ³ a STD.	28 m ³ /día a STD.	106.00
ELECTRICIDAD	0,40 \$/Kw-hr.	525 Kw-hr/día.	210.00
		TOTAL.....	\$ 550.81
2.2	SERVICIO DE TRANSPORTE	(\$/día)	100.00
2.3	COSTO DE MANO DE OBRA (1.10.1 / 30)		825.00
2.4	DEPRECIACION $\frac{(\text{INVERSION TOTAL REQUERIDA} \times 0.10)}{\text{años} \times 300 \text{ días/año}}$		1 480.00
2.5	RECUPERACION $\frac{(\text{INVERSION TOTAL REQUERIDA} \times 0.20)}{\text{años} \times 300 \text{ días/año}}$		2 960.00

2. COSTO DE SERVICIO PLANTA PILOTO (S/día) 5 365.00

CONCLUSIONES

- 1.- El costo total del proyecto propuesto es:

INVERSION TOTAL DE LA PLANTA	\$ 4 223 900.00
COSTO DEL TERRENO	42 300.00
INTERES POR CONSTRUCCION	64 000.00
CAPITAL DE TRABAJO	100 000.00
GRAN TOTAL	4 430 200.00

- 2.- Los costos de servicios de consumo (vapor, aire, ...) para la planta piloto serían abatidos, si ésta se instalara como parte adicional de una planta industrial existente. Hasta en un 50% del costo calculado en este trabajo.
- 3.- La inversión total requerida para una planta piloto, semejante a la que se propone, se reduciría hasta en un 75% si se desarrollara como una parte integral de un proyecto para la instalación de una planta industrial de polimerización.
- 4.- Con el paquete de información proporcionado por este trabajo, es posible instalar una planta piloto de polimerización.
- 5.- Al operar una planta piloto los RIESGOS ECONOMICOS Y TECNICOS que se tienen en la planta comercial se MINIMIZAN.
- 6.- Teniendo las facilidades mencionadas en este anteproyecto, muchos trabajos de investigación a nivel laboratorio de plásticos e ingeniería química, tipo tesis, podrían pasar a la fase de planta piloto y trascender a una aplicación industrial.

- 7.- La industria MEXICANA debe buscar los medios de desarrollo tecnológico para evitar la importación de tecnología.
- 8.- Si se realiza este proyecto y se construye la planta piloto de polimerización, la industria de los plásticos en MEXICO contará con un centro en donde efectuar las mejoras a sus procesos y aún desarrollar nuevos polímeros para la aplicación industrial.
- 9.- La localización más apropiada para la instalación de este medio de investigación dirigida es la CIUDAD UNIVERSITARIA, ya que se contaría con muchos servicios auxiliares proporcionados por las dependencias de investigación pura o divisiones de estudios superiores de algunas facultades.
- 10.- El capítulo II y el capítulo III de esta tesis se consideran como el antecedente para establecer las bases bajo las cuales se definirían las instalaciones propuestas de la planta piloto en el capítulo IV.
- 11.- La planta piloto propuesta no podrá polimerizar por el proceso de masa, siendo de interés únicamente los procesos por solución, emulsión y suspensión.
- 12.- Quedan como futuros módulos de desarrollo o expansión de la planta piloto los siguientes :
 - a. UN MODULO DE SECADO: - En donde se tengan diferentes tipos de secadores: rotatorio, charolas, aspersión, etc. . .
 - b. UN MODULO DE LABORATORIO : - En donde se tengan los equipos de laboratorio necesarios para la caracterización y el análisis completos de la resina obtenida de la planta piloto.

VI BIBLIOGRAFIA

OBRAS DE CONSULTA.

LIBROS.

- 1.- BILLMEYER, F. W. Textbook of polymer science. New York, Interscience, - 1964.
- 2.- BOVEY, F.A. Emulsion polymerization. New York, Interscience s.a.
- 3.- CHILTON. Costs in chemical and industrial plants. New York, McGraw Hill, 1956.
- 4.- FOUST, ALAN S. Principles of unit operations. 2a. ed. New York, John Wiley and Sons, 1960.
- 5.- JOHNSTONE R. EDGEWORTH & M.W. THRING. Pilot plants, models -- and scale up methods. New York, McGraw Hill, 1957.
- 6.- KERN DONALD Q. Process heat transfer. New York, McGraw Hill, 1950.
- 7.- LUDWIG ERNEST E. Applied process design for chemical and petrochemical -- plants. Vol. 3. Houston Texas, Gulf publishing Co., 1965.
- 8.- PERRY J. H. Chemical engineers handbook. 4a. Ed. New York, McGraw Hill 1963.
- 9.- RUDD D.F. & WATSON C. C. Strategy of process engineering. New York, Wiley, 1968.
- 10.- SCHILDNECHT, C. E. Polymer processes. New York, Interscience, 1956.
- 11.- SCHMIDT, A. X. & MARLIES, C. A. Principles of High polymer theory and practice. New York, McGraw Hill, 1948.
- 12.- SCHWEYER, H. E. Process engineering economics. Tokyo, McGraw Hill, - - s.a.
- 13.- SMITH, W.M. Manufacture of plastics. New York, Reinhold, 1964.

- 14.- VILBRANDT & DRYDEN. Chemical engineering plant design. 4 th. Ed. -- Tokyo, McGraw Hill, s.a.
- 15.- WILLIAMS, D. J. Polymer science and engineering. London, Prentice Hall, - s.a.

CATALOGOS Y REVISTAS.

- 1.- CLARK, E. L. Keys to pilot plant succes. Equipment and safety EN "Chemical Engineering" July 28, 1958.
- 2.- CLARK, E. L. Unit operations in the pilot plant. EN "Chemical Engineering" June 2, 1958.
- 3.- CLARK, E. L. How to scale up pilot plant data and equipment. EN "Chemical engineering" October 6, 1958.
- 4.- CLARK, E. L. Pilot plants in process technology. EN "Chemical Engineering" April 21, 1958.
- 5.- CROLL-REYNOLDS CO. Evactor sizing data. Single & two stages. New York, 1968. 23 p. (ESD-68).
- 6.- GRETTON, AVERY T. A critical evaluation of power requirements. EN "Chemical Engineering" Jan. 20, 1964.
- 7.- GUCCIONE, EUGENE New development in acrylics processing. EN "Chemical Engineering" June 6, 1966.
- 8.- HEAT TRANSFER CORRELATIONS IN JACKETED VESSELS. En "Petrochemical Engineering" Feb. 15, 1965.
- 9.- HOW TO SOLVE COOLING TOWER PROBLEMS QUICKER. EN "Chemical Engineering" March, 1965.
- 10.- HOW IMPORTANT IS THE PILOT PLANT? EN "I E C" Vol. 50, No. 4 April, 1958.
- 11.- JOHNSTON, J. DERLAND. Improving pilot plant reactors for organic syntheses. EN "Chemical Engineering" Dec. 2, 1968.
- 12.- LAUPICHLER, F. G. EN "I E C " 30, p 578 (1938).

- 13.- PATRON, ADOLFO Adquisición de Tecnología. EN "Revista IMIQ" Núm. - 7, Vol. XIII, México 1972.
- 14.- PHILLIPS. Liquefaction of gases. (7110 02 0002 11).
- 15.- WALLACE & TIERNAN. Metering pumps. (Serie 150-A, Cat, File 420. - - 151).
- 16.- CROLL-REYNOLDS CO. Evactor sizing data. Single & two stages. New -- York, 1968. 23p. (ESD-68).
- 17.- KRUGER, HOFFMAN & PRAETERIOUS. Polimerizados y copolimerizados de cloruro de vinilo. EN "Kunststoffe Plásticos" Núm. 3, 1973.
- 18.- JENNE, H. Polímeros de estireno. EN "Kunststoffe Plásticos" Núm. 3. - - 1973.
- 19.- SCHLEGEL, WALTER F. Polymer plantengineering : Reaction and polymer recovery. EN "Chemical Engineering" March 20, 1972.