



UNIVERSIDAD DE MONTERREY  
DIVISION DE CIENCIAS NATURALES  
Y EXACTAS



*Clasif.*  
040.668  
G 245E  
1983  
C.1

*Título*  
ESTUDIO PREPARATORIO DEL ANTEPROYECTO  
PARA LA OPERACION Y CONSTRUCCION  
DE UNA PLANTA DE POLIESTIRENO

*Folio*  
900143

REPORTE DEL PROGRAMA DE  
EVALUACION FINAL  
PRESENTADO POR:

*autor*  
MARTHA GLORIA DE LA GARZA SALINAS

EN OPCION AL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO ADMINISTRADOR

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1983

BIBLIOTECA  
UNIVERSIDAD DE MONTERREY

## INDICE

	páginas
Introducción.....	1
CAPITULO I	
Estudio de Viabilidad.....	2
Situación actual de las resinas sintéticas y los plásticos. El poliestireno como caso específico.....	3
Datos de mercadotecnia.....	6
Crecimiento esperado.....	9
Acceso a la tecnología.....	12
Manejo del poliestireno en el mercado.....	13
Técnicas de polimerización.....	14
Selección del método de polimerización.....	16
Valuación física.....	17
Valuación económica.....	18
CAPITULO II	
El proceso de polimerización.....	19
Polimerización por adición.....	21
Cinética de la reacción.....	23
Balance de materia y energía.....	25
Técnica de polimerización.....	27
CAPITULO III	
Necesidades de proceso.....	31
La materia prima requerida y su función.....	32
Teoría de los sistemas de suspensión.....	33
Cantidades de materia prima necesaria.....	37
Requerimientos de energía.....	42

	páginas
CAPITULO IV	
Factores económicos del proceso.....	44
CAPITULO V	
Equipo del proceso.....	49
CAPITULO VI	
Localización e instalaciones de la planta.....	51
Factores para la localización de la planta.....	54
Instalaciones de la planta.....	57
CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFIA.....	62

## INTRODUCCION

El presente trabajo pretende establecer un panorama general de la fabricación de una de las resinas sintéticas que, día con día más se difunde en todo el mundo dada sus grandes cualidades sobre productos más costosos y en algunos casos, de menores ventajas. Se trata de la fabricación de POLIESTIRENO.

Al finalizar éste estudio se tendrá un enfoque tal que podrá contrastarse con los elementos generales para la operación y construcción de una planta de éste tipo.

Para llevar a cabo el presente trabajo se ha planeado primeramente realizar un breve estudio de viabilidad. Enseguida se expondrá en lo que consiste el proceso de polimerización pasando posteriormente a establecer las principales necesidades de proceso, así como los factores económicos de éste, la descripción del equipo del actual proceso, terminando finalmente con el arreglo de las instalaciones para la planta en cuestión.

CAPITULO I

ESTUDIO DE VIABILIDAD

## ESTUDIO DE VIABILIDAD

### SITUACION ACTUAL DE LAS RESINAS SINTETICAS Y LOS PLASTICOS. EL POLIESTIRENO COMO CASO ESPECIFICO.

Tomando en consideración que el presente estudio del poliestireno entra dentro del campo de las resinas sintéticas y los plásticos, se establece que éstos son polímeros que se obtienen de sustancias más simples llamadas monómeros. Se pueden encontrar con flexibilidad, resistencia y otras características que permiten obtener películas plásticas con propiedades superiores a las del papel. En otros casos presentan gran tenacidad, dureza y resistencia al envejecimiento y se utilizan como adhesivos.

Su principal aplicación es en la industria de artículos de plástico.

Las ventajas de competitividad residen primero en la versatilidad de aplicaciones que tienen los plásticos en un gran número de industrias; segundo, por su carácter de sustituto de productos, que a su vez poseen gran importancia estratégica.

Además de lo anterior, la producción de plásticos representa un uso eficiente de capital y de energéticos en comparación con otros materiales, ya que las operaciones de manufactura precisan de menores requerimientos de capital, aunado esto a que el consumo total de energéticos es menor para producir una manufactura plástica que una metálica, aun incluyendo los hidrocarburos contenidos en el plástico.

Los plásticos pueden ser clasificados de acuerdo a sus aplicaciones en termoestables, termoplásticos, solubles en aceite y proteínicos. Según la fuente de que se derivan, en resinas naturales, derivados de la celulosa, derivados de las proteínas y sintéticos.

En México más del 80% del mercado de plásticos corresponde a las resinas sintéticas, siendo el poliestireno una de las de mayor importancia, clasificada como termoplástica, dada su capacidad para ablandarse con calor y endurecerla con enfriamiento.

Cuando se selecciona un material de poliestireno, el primer -- criterio de selección lo forman los requerimientos de aplicación final.

El material puede requerir indistintamente, alto grado de flexibilidad, gran rigidez, resistencia al calor, resistencia al impacto a bajas temperaturas o máxima estabilidad a la luz en la combinación -- más favorable de las demás propiedades.

Los plásticos de poliestireno son utilizados en un rango excep-- cionalmente vasto de productos: gabinetes de radio y televisión, difu-- sores de luz fluorescente, aplicaciones domésticas, vasos para bebi-- das frías o calientes, tacones para zapatos de dama, partes eléctri-- cas, juguetes, accesorios para el hogar, etc. En el cuadro No. 1 se muestran algunas aplicaciones específicas, así como algunos resquisi-- tos de aplicación para cada caso.

La importancia futura de esta rama de la industria es patente. Estadísticas recientes indican que los plásticos son aproximadamente 1/8 de la producción de acero, y teniendo sobre estos una ventaja de aproximadamente siete veces en su densidad. El tipo llamado plástico de ingeniería posee un conjunto de propiedades necesarias en aplicacio-- nes donde la resistencia y precisión son importantes.

Con los adelantos de hoy en día en el control del peso molecular y estructural del polímero, traducido en las propiedades físicas, así como las nuevas técnicas de control de la reacción de polimerización, es visible que estamos situándonos en una nueva era, la era de los -- plásticos.



CUADRO No. 1

APLICACIONES ESPECIFICAS DEL POLIESTIRENO

APLICACION	EJEMPLO DE REQUISITO DE APLICACION
Parte de refrigerador Forro de puerta, cajones y gabinete.	Alta resistencia al impacto a baja temperatura. Resistencia al rayado. Resistencia a ácidos grasos.
Partes accesorias (charolas, puertas de compartimientos, etc.)	Claridad y transparencia. Opacidad. Resistencia al impacto.
Carrete de película y grabadora.	Rigidez. Estabilidad dimensional.
Tomas eléctricas. Cajas y cubiertas.	Buen aislamiento. Rigidez. Resistencia al choque.
Gabinetes de radio y TV Modelos grandes.	Alta resistencia al impacto. Resistencia al calor. Alta resistencia al impacto. Resistencia al rayado.
Modelo de mesas. Modelos de bolsillo o portátil.	Buena resistencia al impacto. Brillo.
Aplicaciones domésticas Cubierta de aspiradora.	Alta resistencia al impacto. Resistencia al calor. Resistencia al rayado.
Carrete o empaque de película para fotos.	Alta resistencia al impacto. Buena resistencia al calor. Estabilidad dimensional. Resistencia al choque
Conos textiles	Resistencia a la deformación.
Cubierta de máquinas de oficina	Resistencia al rayado. Resistencia al calor.
Empaque desechable Vaso bebida caliente	Resistencia al calor. Libre de olor. Resistencia al impacto a baja temperatura.
Comida congelada. Productos de leche	Claridad Libre de olor.
Tapas para botellas	Resistencia al impacto. Rigidez.
Perillas de control.	Resistencia al impacto. Rigidez.
Tacon de Zapato. Plafón de iluminación	Resistencia al impacto. Alta resistencia al impacto. Libre de amarillamiento.
Juguetes Artículos para el hogar	Resistencia al impacto. Resistencia al impacto. Rigidez. Claridad
Mangos de cepillo.	Alta apariencia Color y brillo Alta resistencia.
Gabinete de cocina y botiquines. Caja de carga.	Buen brillo. Resistencia al impacto. Flexibilidad.

## DATOS DE MERCADOTECNIA

Se analizarán ahora los datos más relevantes en el mercado nacional referentes al poliestireno. Este estudio estará basado con respecto a los datos arrojados en la última década, así como las perspectivas para los primeros cinco años de la década de los 80's.

La demanda de las resinas sintéticas creció a una tasa media de 17.7% anual, alcanzando en 1980, 684 mil toneladas. En éste año la satisfacción del mercado de resinas se realizó en un 62% con oferta nacional y el 38% lo hizo en base a importaciones. En éste renglón de la demanda, el poliestireno se incrementó de 18 mil toneladas en 1970 a 85 mil toneladas en 1980 (Cuadro No. 2 y Gráfica No. 1).

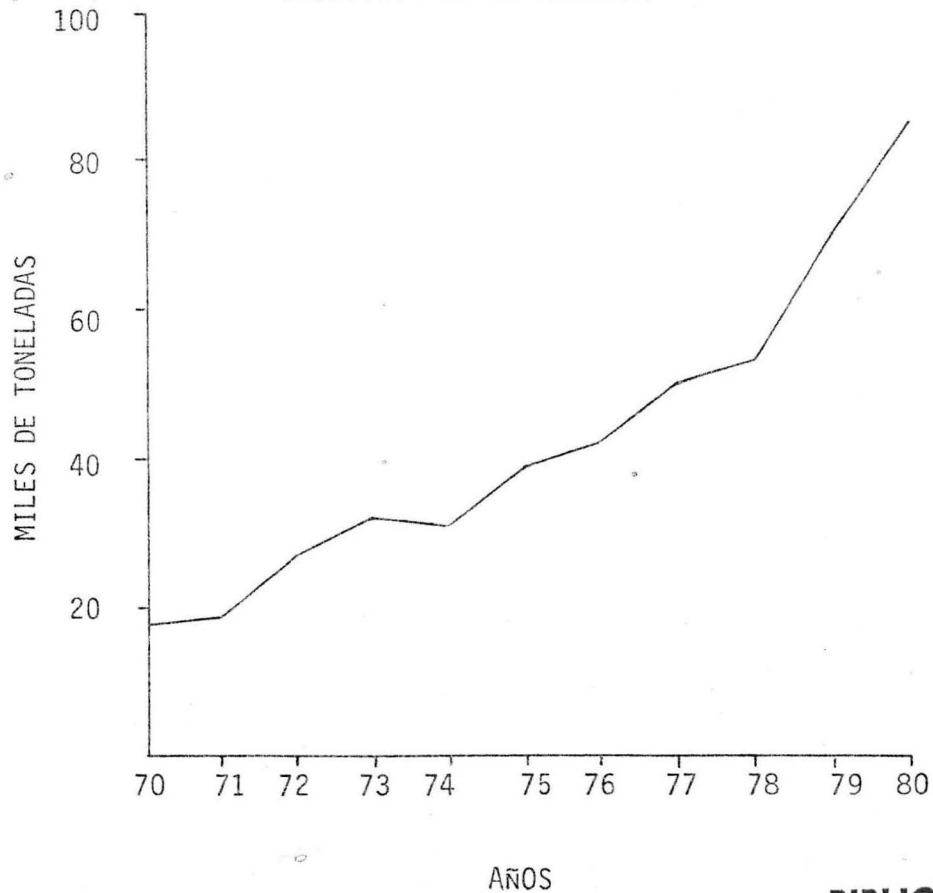
Con respecto a la producción de resinas sintéticas, la participación del poliestireno en 1980 fue del 19.5%, habiéndose producido en ese año 82 mil toneladas contra 18 mil toneladas producidas en 1970 (Cuadro No. 3 y Gráfica No. 2).

CUADRO No. 2  
EVOLUCION DE LA DEMANDA

miles de toneladas

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Poliuretano	18	19	27	32	31	39	42	50	53	70	85
Otros	116	136	182	192	257	252	285	317	394	468	599
Total	134	155	209	224	288	291	327	367	447	538	684

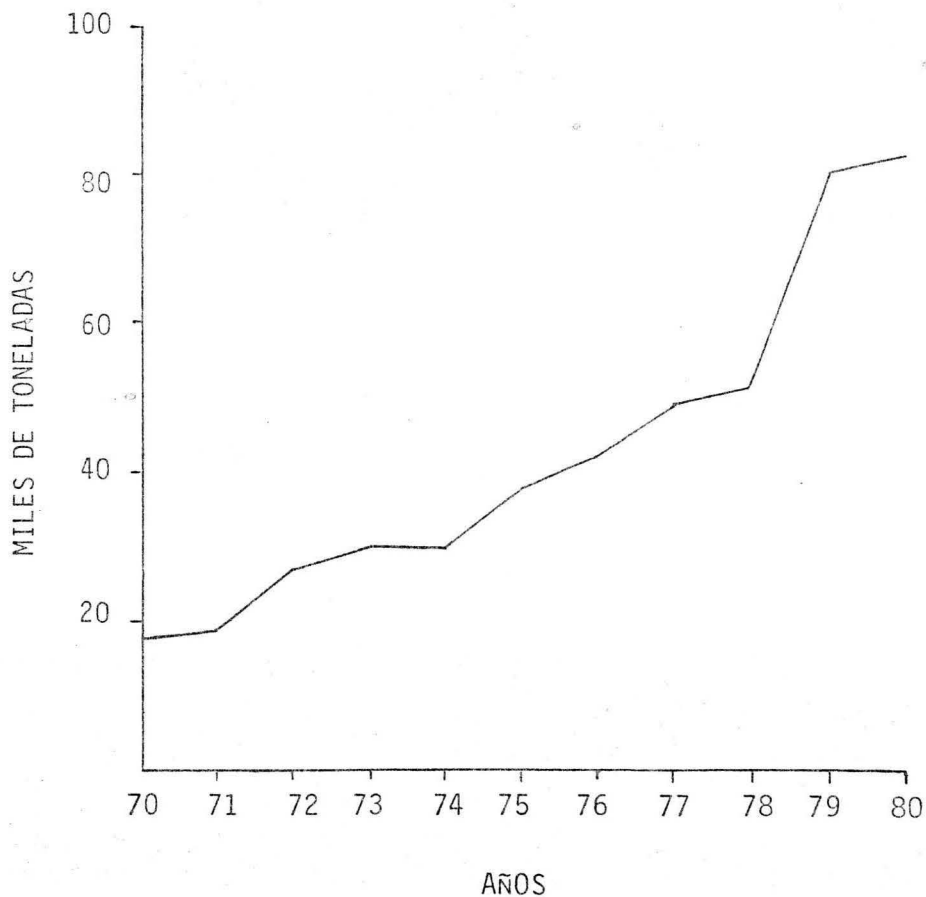
GRAFICA No. 1  
EVOLUCION DE LA DEMANDA



CUADRO No. 3  
EVOLUCION DE LA PRODUCCION

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Poliestireno	18	19	27	30	30	38	42	49	51	80	82
Otros	66	81	125	144	159	176	197	197	239	319	339
Total	84	100	152	174	189	214	239	246	290	399	421

GRAFICA No. 2  
EVOLUCION DE LA PRODUCCION



## CRECIMIENTO ESPERADO

Acorde con los datos arrojados por el Instituto Mexicano del Petróleo, se confía que la demanda esperada crezca a un ritmo del 13.9% anual para los primeros cinco años de la década actual; éstos valores obtenidos por el I. M. P. son mostrados en el Cuadro No. 4.

Sin embargo, dado que no se poseen datos relativos al futuro incremento de la producción, se han proyectado los valores de la pasada década para los años comprendidos entre 1980 a 1985 a fin de tener una perspectiva de este futuro incremento (Cuadro No. 5).

Una gráfica comparativa entre la demanda y la producción de poliestireno es dada en la gráfica No. 3.

En base a los datos mostrados se puede determinar que:

Demanda esperada para 1985	163 mil toneladas
Producción esperada para 1985	105 mil toneladas
<hr/>	
Demanda no cubierta para 1985	58 mil toneladas

Esto es, habrá 58 mil toneladas no cubiertas para la primera mitad de la actual década. En base a éstos resultados se ha considerado proyectar una planta con una capacidad de 30 mil toneladas por año como finalidad de el presente estudio.

CUADRO No. 4

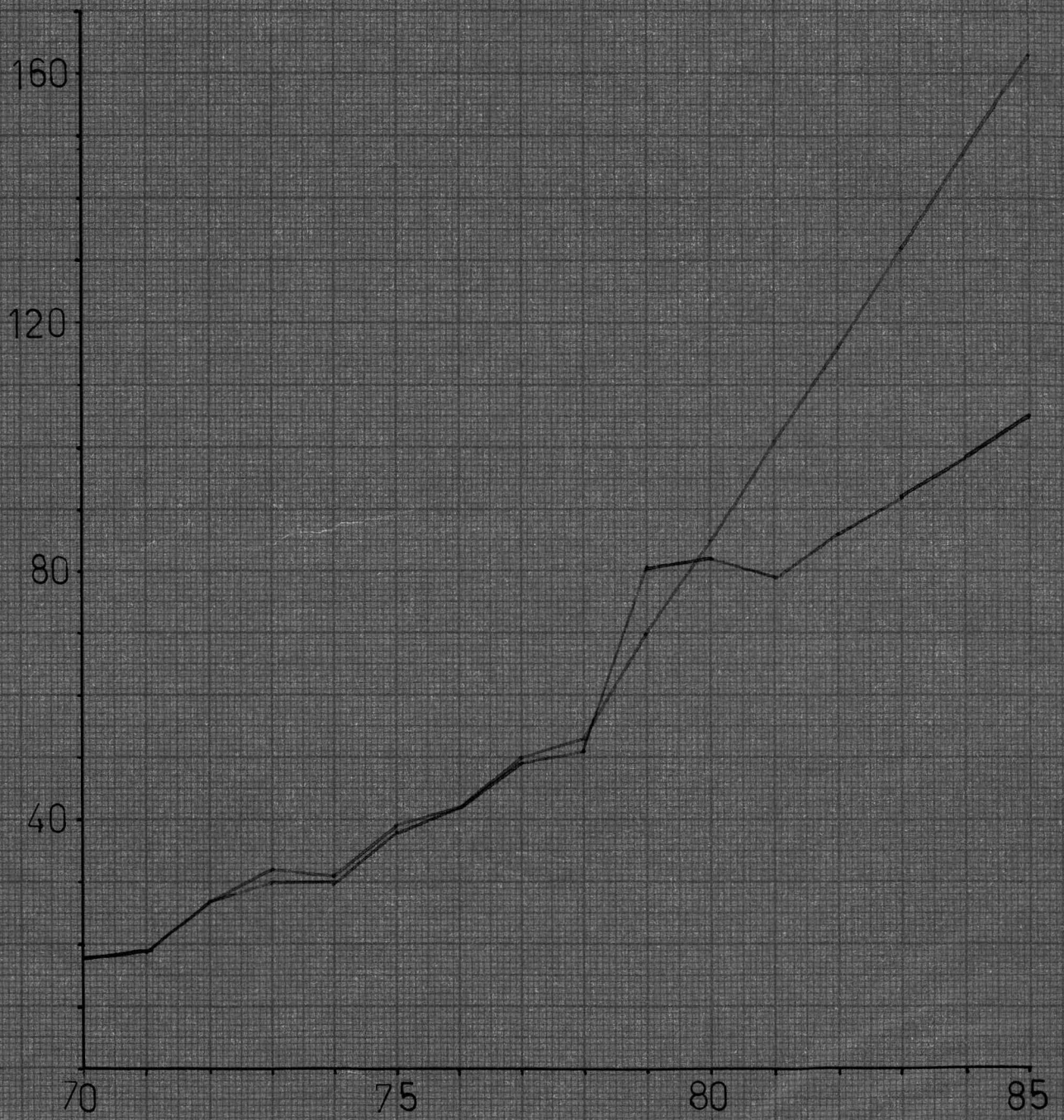
PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA DE POLIESTIRENO

			miles de toneladas	
1981	1982	1983	1984	1985
101	116	132	147	163

CUADRO No. 5

PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCION DE POLIESTIRENO

			miles de toneladas	
1981	1982	1983	1984	1985
79	86	92	98	105



GRAFICA No. 3  
COMPARACION ENTRE LA DEMANDA Y LA PRODUCCION  
DE POLIESTIRENO

MILES DE TONELADAS

AÑOS



## ACCESO A LA TECNOLOGIA

Actualmente las facilidades de acceso a la tecnología de fabricación del poliestireno se muestran favorables, implicándose solamente la necesidad de investigación para lograr optimizar los métodos de fabricación ya existentes.

## MANEJO DEL POLIESTIRENO EN EL MERCADO

Teniendo ya un panorama general de lo que son los plásticos y resinas sintéticas, así como la participación del poliestireno dentro de esta industria, se enfocará la atención a él.

Como se mencionaba en un principio, la selección de un material plástico esta regido por el criterio de los requisitos de aplicación final. Un segundo criterio es el método de manufactura, ya sea moldeado por inyección o extrusión de hoja y posteriormente formado al vacío.

Dada la gran diversidad de aplicaciones del poliestireno en la industria del plástico, es claro encontrar en el comercio diferentes tipos de poliestireno, de acuerdo a requisitos determinados, de los cuales se puede distinguir:

Homopolímero de estireno; uso general. Comprende formulaciones de poliestireno cristal translúcido y opaco con una variedad de colores estandar o especialmente iguales. El poliestireno cristal ofrece excepcional transparencia y brillo de superficie.

Copolímero de estireno butadieno; medio impacto. Plásticos de estireno modificados con hule ofrecen un mayor grado de flexibilidad que los de uso general. Pueden obtenerse naturales o pigmentados.

Copolímero de estireno - butadieno; alto impacto. Plásticos de estireno modificados con alto contenido de hule que ofrecen un alto grado de flexibilidad y una resistencia a la rotura adecuada para la gran mayoría de las aplicaciones. Pueden obtenerse naturales o pigmentados.

Y así como éstos, existen algunas otras diversidades de poliestireno, por lo que se destaca la necesidad de realizar una determinación técnica de los diferentes procesos de fabricación.

## TECNICAS DE POLIMERIZACION

Habiéndose destacado la necesidad de establecer las diferentes técnicas de polimerización, se dará un breve repaso a las más importantes, que serán; la polimerización masa, la polimerización por solución, la polimerización por suspensión, así como la polimerización por emulsión.

Con la finalidad de hacer más objetivo este análisis, dichos resultados serán resumidos en el Cuadro No. 6.

CUADRO No. 6

TECNICAS MAS COMUNES PARA PRODUCTO POLIESTIRENO

METODO DE POLIMERIZACION	SISTEMA DE POLIMERIZACION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Polimerización masa	Consiste en el monómero de estireno puro calentándose sin solvente, con un iniciador en un recipiente. La mezcla monómero-iniciador polimeriza en una forma sólida fina por la forma del recipiente de polimerización.	--Sencillo --Alta o gran claridad --Excelentes propiedades eléctricas.	--Mal control del calor --Extensa distribución del peso molecular.
Polimerización por solución	El monómero de estireno es diluido con un solvente.	--Excelente control de la temperatura	--El solvente reduce el peso molecular y el porcentaje.
Polimerización por suspensión	En esta polimerización, un catalizador es disuelto en el monómero, el cual es entonces dispersado en agua. Un agente dispersante es agregado por separado para estabilizar la suspensión resultante.	--No hay dificultad con el calor de polimerización. --Simples calderas para la polimerización. --Los materiales volátiles pueden ser reducidos a un bajo nivel según la selección conveniente de catalizadores y de la temperatura.	--Posible contaminación de agua y agentes estabilizantes. --Operación en grupo (intermitente, no continua)
Polimerización por emulsión	Utiliza agua como transportador junto con agentes emulsificantes para darnos partículas extremadamente pequeñas.	--La reacción es rápida y sin dificultad con el calor de polimerización. --Mucha copolimerización no posibles con otras técnicas proceden fácilmente en la emulsión. --Es adaptable a la polimerización continua. --Simples calderas para polimerización. --El polímero tiene un alto calor de distorsión que la polimerización de masa.	--Contaminación del polímero con agua y agentes emulsificantes. --Deficiente color y claridad del polímero. --Gran distribución del peso molecular.

## SELECCION DEL METODO DE POLIMERIZACION

Con la anterior información se desprende por lo tanto la necesidad de establecer qué método de polimerización a de ser seleccionado en éste estudio.

Este método a seleccionar a sido la polimerización por suspensión, dándose a continuación las principales razones para dicha selección:

- Es el proceso más usado hoy en día comercialmente.
- Los menores costos de proceso.
- Los menores costos de equipo.
- El tamaño de los vaciados permite la producción de múltiples tipos y modificaciones.
- Se puede producir una línea completa de variados artículos con un mínimo de flujo y un mínimo de contaminación.
- Los ingredientes en el proceso de emulsión constituyen el 5% y en el de suspensión constituyen el 1%.
- Es más fácil de remover el agua en el proceso por suspensión que en el de emulsión.
- Es más fácil controlar el porcentaje de monómero por el sistema catalítico y baja temperatura.
- Los productos de la suspensión en general tienen la mejor distorsión al calor y bajo contenido de monómero y aproximadamente la misma moldeabilidad y propiedades físicas a aquellos preparados por otros procesos.
- Se tiene un excelente control de la temperatura.
- Se tiene una pequeña fluctuación de la temperatura de polimerización, dándonos una buena distribución del peso molecular.
- Producción extremadamente alta (99.5% ó mas).

## VALUACION FISICA

La valuación física del proyecto se muestra prometedora, ya que, tanto el equipo como las instalaciones requeridas en base a la tecnología de fabricación aquí adoptada poseen un gran índice de factibilidad de adquisición y construcción.

Así mismo es previsible que la adquisición de los insumos y materia prima requeridos en el proceso pueden considerarse al alcance de las necesidades actuales, aunado a que, la industria se verá favorecida por la disponibilidad esperada de insumos petroquímicos básicos.

Es además conveniente resaltar que las facilidades otorgadas por parte del gobierno se muestran prometedoras. Ellas en base a la decisión de disminución de las importaciones para promover la tecnología y el consumo de los productos mexicanos.

## VALUACION ECONOMICA

Durante los setentas, la dinámica de los seis principales termoplásticos se sustentó tanto en el crecimiento de sus mercados tradicionales, como en la penetración de nuevas aplicaciones.

En esta etapa la producción nacional de ésta industria creció considerablemente y, no obstante, fue insuficiente para satisfacer el mercado interno. En consecuencia se realizaron importaciones significativas.

En el caso particular del poliestireno, éste faltante a producido que las importaciones se hallan ido incrementando desde 1976 (valor mínimo) hasta 4 mil toneladas en 1980. Si se considera el deslizamiento que ha sufrido últimamente la moneda nacional frente al dólar, es clara la competitividad de precios del producto nacional con el producto de importación.

CAPITULO II

EL PROCESO DE POLIMERIZACION



## EL PROCESO DE POLIMERIZACION

La palabra polímero viene de la palabra griega "polímeras" que significa muchas partes. Los polímeros son compuestos formados por moléculas muy grandes constituídas por unidades que se repiten. Las unidades moleculares que se utilizan para sintetizar los polímeros se denominan monómeros y las reacciones mediante las cuales se unen entre sí los monómeros se llaman reacciones de polimerización.

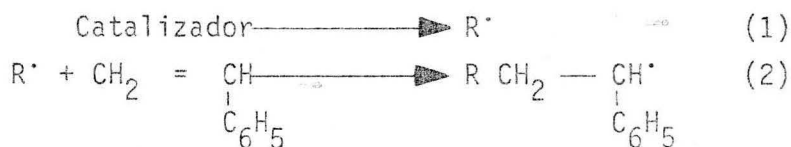
Existen varias clases específicas de polimerización. En el estudio actual el estireno posee una polimerización por adición, que puede ocurrir por reacciones en cadena en que intervienen radicales libres. En éste caso, el polímero se forma por eslabonamiento progresivo de monómeros en unidades de mayor tamaño, y éstas, así mismo, continúan su crecimiento por su unión con monómeros.

## POLIMERIZACION POR ADICION

Las etapas básicas del mecanismo de reacción para que se lleve a efecto la polimerización por adición comprende: a) iniciación, b) propagación y c) terminación de la cadena.

El primer paso, la iniciación, implica la formación de radicales libres, que serán especies reactivas que poseen electrones libres para combinar. Podría ser, por ejemplo, la descomposición de un peróxido inestable en radicales, el cual posteriormente podrá adicionar monómeros y continuar la cadena.

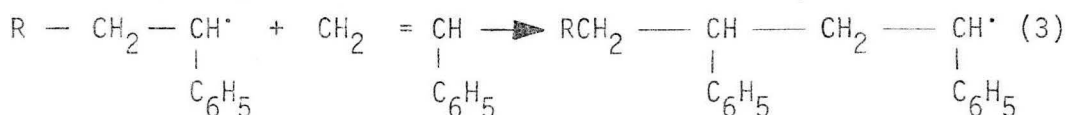
Pasos indicadores de la cadena:



Donde R<sup>•</sup> es el radical libre.

En los pasos de propagación de la cadena se implica la adición consecutiva de monómero de estireno.

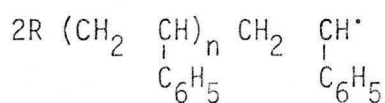
Pasos de propagación de la cadena:



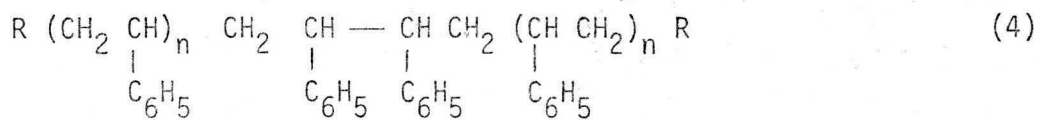
Luego se repiten los pasos como el 3.

Finalmente el proceso de terminación en las reacciones de polimerización pueden ocurrir por la combinación de dos radicales libres, o por la reacción de dos radicales libres para formar moléculas inactivas, proceso llamado desproporcionamiento.

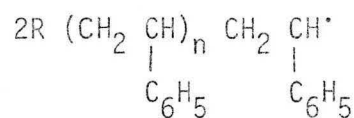
Pasos que terminan la cadena:



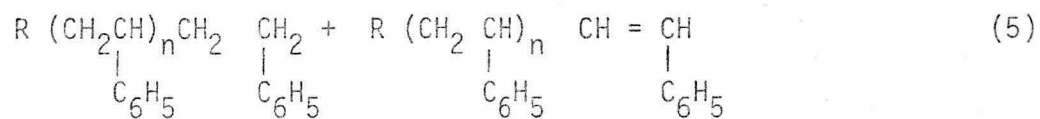
combinación



ó



desproporción



## CINETICA DE LA REACCION

Para la anterior reacción de polimerización del estireno se ha encontrado que la cinética de reacción seguida por ésta es la siguiente:

$$r_{pr} = \left( \frac{2k_i}{k_t/k_{pr}^2} \right)^{\frac{1}{2}} [M]^{5/2} = A [M]^{5/2} \quad (6)$$

donde;

$r_{pr}$  = Velocidad de reacción de polimerización.

$k_i$  = Constante de velocidad de iniciación.

$k_t$  = Constante de velocidad de terminación.

$k_{pr}$  = Constante de velocidad de propagación.

$[M]$  = Concentración del monómero en g mol / lt.

$A$  = Constante que reúne en un solo término las constantes de velocidad de reacción.

Para lograr calcular el valor de "A" se ha encontrado la siguiente ecuación:

$$A = A_0 e^{(A_1 X + A_2 X^2 + A_3 X^3)} \quad (7)$$

Donde X corresponde a la fracción molar del monómero en la alimentación, y los valores de las diferentes A's pueden ser calculados de acuerdo a las ecuaciones mostradas en la Tabla No. 1

TABLA No. 1

DATOS CINETICOS PARA LA POLIMERIZACION  
DE ESTIRENO

---

$$A_0 = 1.964 \times 10^5 e^{-10,040/T}, (1/g \text{ mol})^{3/2} \text{ seg}^{-1}$$

$$A_1 = 2.57 - 5.05 \times 10^{-3} T$$

$$A_2 = 9.56 - 1.76 \times 10^{-2} T$$

$$A_3 = -3.03 + 7.85 \times 10^{-3} T$$

$$T = \text{°K}$$

---

## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

Considerando las ecuaciones de la cinética de reacción podemos obtener para nuestro balance de materia lo siguiente:

$$F_M X_M = \frac{-d[M]}{dt} V = r_{pr} V = A [M]^{5/2} V \quad (8)$$

y para el balance de energía tendremos:

$$104 F_M C_{pM} (T_e - T_o) + UA_h (T_e - T_j) = (-\Delta H_M)_{T_o} (F_M X_M) \quad (9)$$

donde:

$V$  = Volumen total requerido.

$F_M$  = Flujo molar del monómero en la alimentación.

$C_{pM}$  = Capacidad calorífica del monómero.

$T_o, T_e, T_j$  = Temperaturas de entrada, salida y medio de enfriamiento, respectivamente.

$U$  = Coeficiente total de transferencia de calor.

$A_h$  = Area de transferencia de calor.

$\Delta H$  = Exotermicidad de la reacción de polimerización.

Algunas propiedades del fluido para el caso específico aquí manejado son dadas en la Tabla No. 2.

TABLA No. 2

PROPIEDADES DEL FLUIDO

$$C_{pM} = 0.353 + (0.0014) (T - 293), \text{ CAL / g } ^\circ\text{C.}$$

$$\rho_M = 924 - 918 (T - 273.1), \text{ g / lt.}$$

$$\rho_{PR} = 1084.8 - 0.605 (T - 273.1), \text{ g / lt.}$$

$$\delta_V = \left( \frac{1}{\rho_{PR}} - \frac{1}{\rho_{M_1}} \right) / \frac{1}{\rho_M}$$

$$[M] = \frac{\rho_M (1 - X_M)}{(104)(1 + \delta_V X_M)}, \text{ g mol / lt.}$$

$\rho_M$  = Densidad del monómero.

$\rho_{PR}$  = Densidad del polímero.

## TECNICA DE POLIMERIZACION

La polimerización del monómero de estireno puede llevarse a cabo de varias maneras. Como ya se mencionó los procesos de masa, emulsión, solución y suspensión son los más comunes.

Durante el proceso de crecimiento de la cadena del polímero, el calor es liberado. Es muy importante que dicho calor sea removido o controlado ya que la elevación de la temperatura podría causar un disparo de la reacción y un producto inferior si la polimerización es completada. Cada uno de éstos procesos sufre de algunas dificultades en éste aspecto.

Sin embargo; la polimerización por suspensión es un excelente ejemplo de la disipación y control del calor de polimerización debido a su medio de suspensión que es el agua, y al mismo tiempo se completa la polimerización debido a la pequeña esfera del reactor en cuyo interior se encuentran las pequeñas perlas. Cuando la reacción a terminado las pequeñas perlas son fácilmente secadas, y es obtenido un excelente producto.

Los pasos seguidos en el proceso son mostrados en la Figura No.1. Para la descripción de este proceso de suspensión se hará referencia al diagrama de flujo de proceso mostrado en la Figura No. 2.

En un reactor enchaquetado y provisto de un agitador (R - 100) - se introduce agua, el monómero, un catalizador y el sistema de suspensión. Se agita a gran velocidad e instrumentos automáticos guardan la chaqueta de la caldera a una temperatura dada, agregando vapor o agua fría en el momento en que se requiera. Después de 10 a 12 horas las perlas son completamente polimerizadas y son entonces descargadas en un lavador de perlas (WT - 200).



Las perlas son lavadas y liberadas del agente suspensor; éste proceso se lleva a cabo por neutralización ya que la solución que llega del reactor es básica por lo cual es acidificada.

La última agua de lavado es agua caliente para que así éstas perlas calientes sean cargadas a la centrífuga (C -300) que reduce el agua a cerca del 2% a 3%; el líquido madre resultante en éste proceso, se neutraliza con sosa antes de ser mandado al drenaje de la ciudad. Las perlas pasan entonces a una secadora rotatoria (RD - 400) donde el agua que aun contienen es reducida por aire caliente a --- aproximadamente 0.1% de humedad.

Después de que las perlas son secadas, éstas son lubricadas por un lubricador automático (L - 500) y de aquí son llevadas por medio de vacío (ML - 600) al almacén (ST - 700) para después ser empaquetadas en costales de 25 Kg. y 45 Kg.

El poliestireno aquí formado es un sólido granular en forma de perlas cristalinas con un tamaño de 0.1 a 1 mm.

Figura No. 1

Diagrama de cuadros para una planta de Poliestireno.

CARGA  
Medio de suspensión  
Monómero  
Agente de suspensión  
Estabilizador  
Catalizador  
Lubricante

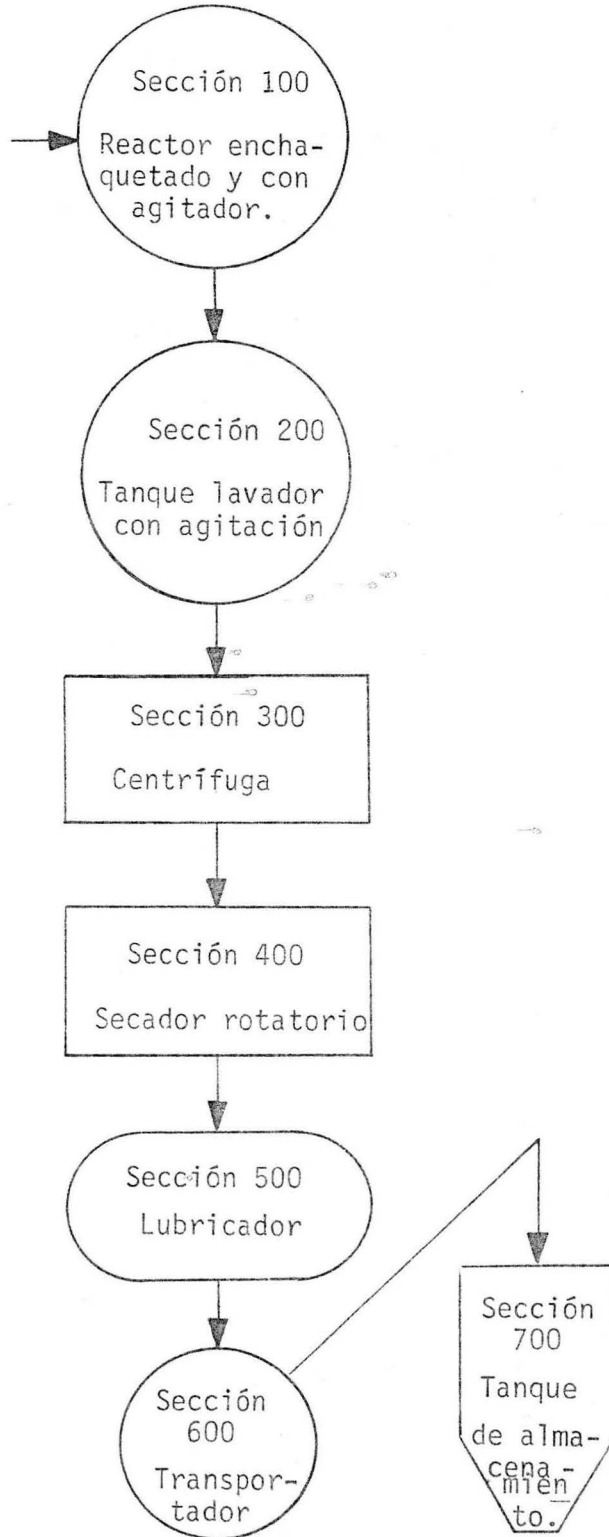
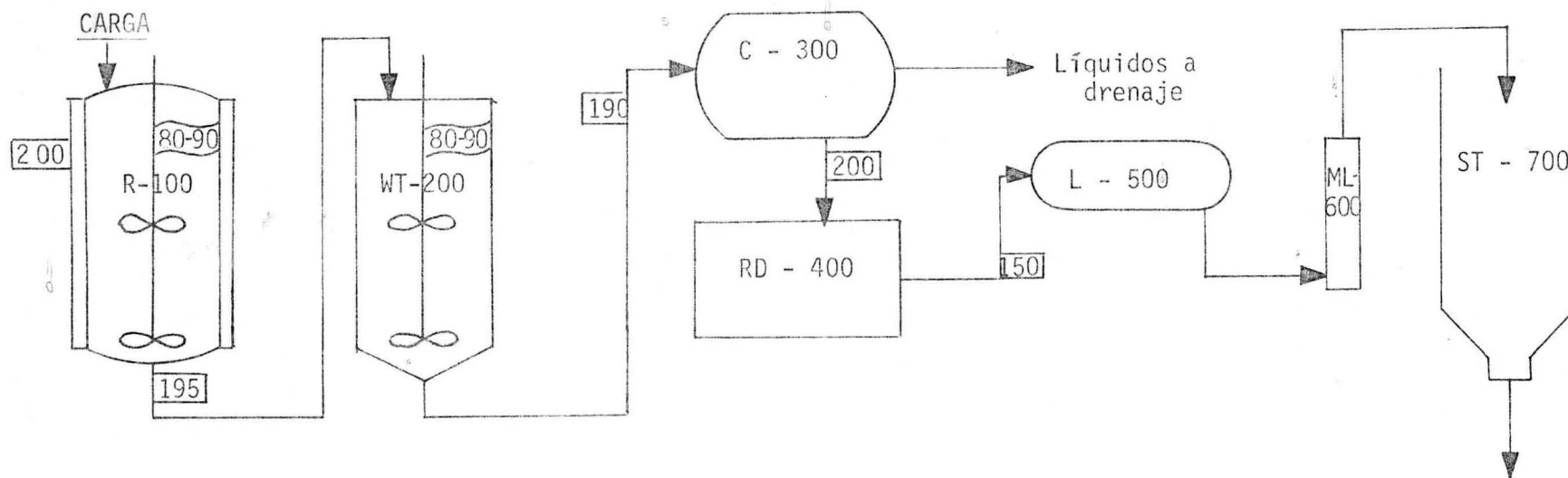


FIGURA No. 2

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



- 30 -

☐ Significa temperatura en ° F.

☞ Significa rpm.

CAPITULO III

NECESIDADES DE PROCESO

## NECESIDADES DE PROCESO

Una vez que se ha descrito a manera general los pasos de la polimerización se establecerán: (1) Cuáles son los materiales que han de ser utilizados en dicho proceso, así como el papel desempeñado por ellos; (2) Las cantidades de materia prima necesaria, y (3) finalmente los requerimientos de energía.

Para cubrir la primera finalidad se seguirá el siguiente mecanismo: Primero se enlistará la materia prima utilizada, así como su función y segundo, se dará una breve explicación de su papel en el proceso de polimerización, mediante el seguimiento de la "Teoría de los Sistemas de Suspensión".

### LA MATERIA PRIMA REQUERIDA Y SU FUNCION

MATERIA PRIMA	FUNCION
Agua	Medio de suspensión
Estireno	Monómero
Fosfato tricálcico	Agente de suspensión
Peróxido de Benzoílo	Catalizador
Persulfato de Potasio	Estabilizador
Estiarato de Zinc	Tinte y lubricante
Acido acético	Neutralizador de agua
Estiarato de zinc	Lubricante

## TEORIA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSION

Cuando el medio de suspensión y el monómero son mezclados en un reactor, el monómero forma perlas. Estas perlas son suspendidas en un medio acuoso. Si el medio de suspensión contiene un agente suspensor sólido y éste agente es tal que rodee las perlas del monómero para que cuando dos perlas de monómero choquen no se cuagulen o junten en una molécula más larga, entonces el agente suspensor se dice que funciona como un amortiguador entre las perlas del monómero. La superficie externa entera de las perlas de monómero son rodeadas por éste agente suspensor sólido. Teóricamente, una vez que las perlas de monómero son formadas, todo el sistema es detenido de unirse en una masa grandísima. Cuando éste falla el monómero tiende a subir y el agua baja rápidamente.

En éste sistema de suspensión otros materiales son también agregados además de monómero, el agente suspensor y el medio de suspensión. Estos principalmente son: (1) Un catalizador que comienza la reacción. Este catalizador es capaz de formar lo que se llama un radical libre. Estos radicales libres sirven para abrir el doble enlace de el estireno. Una vez que el catalizador ha abierto la cadena de doble enlace cada monómero que es agregado de nuevo abre éste doble enlace y agarra la cadena del polímero sobre un lado y se alarga a otras unidades de monómero sobre el otro lado. Esto continúa hasta que la reacción es, o parada por una reacción térmica de desproporción, por la unión de dos radicales o topa con un estireno impuro el cual causa que se detenga el crecimiento. Se pueden encontrar catalizadores que trabajan de 100 a 350°F. Las propiedades del producto final dependen de la apropiada elección de las condiciones de proceso, temperatura y cantidad de catalizador.

(2) Posiblemente algún estabilizador para reducir la superficie de tensión del agua, para evitar la aglomeración del agente suspensor - evitando su propio crecimiento aglomerado y hacer que la formación de las perlas de estireno sean más uniformes y (3) también algunos lubricantes internos o colorantes, los cuales van dentro del monómero de estireno siguiendo hasta el producto final, ya que éstos no toman parte en la actual reacción química llevada a cabo en el reactor. Algunos colorantes son frecuentemente agregados ya que es imposible fabricar un estireno que no tenga un cierto matiz amarillo. El colorante hace que el poliestireno se vea más claro, brillante y más translúcido.

Después de que la polimerización es terminada y si el sistema -- trabajó muy bien, obtendremos una perla que es bastante dura y de tamaño uniforme. En los procesos subsecuentes se lava o disuelve el agente suspensor sólido. Si las perlas están muy sucias se les agrega un ácido para lavarlas y hacer la solución neutra. Finalmente se lavan las perlas con agua caliente y se alimentan dentro de una centrífuga donde el secador sacará la mayor parte del agua en las perlas. Después se pondrán en un secador que seca las perlas, bajando hasta una humedad entre 0.1% y 0.2%. De aquí pasan a ser lubricadas para quitarle la electricidad estática y ser almacenadas.

En el Cuadro No. 7 se muestran las propiedades físicas más importantes de la materia prima, y en el Cuadro No. 8 las propiedades del producto final, el poliestireno.

Cabe hacer mención que la materia prima aquí utilizada es de fácil captación a nivel nacional.

CUADRO No.7

PROPIEDADES FISICAS DE LA MATERIA PRIMA

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	FORMA	COLOR	INDICE DE REFRACCION	DENSIDAD RELATIVA	DENSIDAD ESPECIFICA	PUNTO DE FUSION	PUNTO DE EBULLICION	S O L U B I L I D A D EN 100 PTS					
										AGUA	ALCOHOL	ETER	H <sub>2</sub> O frfa	H <sub>2</sub> O Δ	Otros
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	líquido	incoloro	1.33	1.00		0°C	100°C						m.lg.s.
Estireno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHCH <sub>2</sub>	104.14	líquida	incoloro			0.903 <sup>20/4</sup>	-31°C	145.6°C	m.lg.s.	∞	∞			
Peroxido de Benzoflo	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO) <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	242.22	rombico	inc				108°C	expl.	i.	s.c.	s.			
Persulfato de Potasio	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	270.31	tri	bl.	1.4669			<100°C	-				1.77 <sup>0°</sup>	10 <sup>40°</sup>	i.al.
Fosfato tricálcico	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310.2	amor.	bl.		3.14		1670°C	-				0.0025	d.	s.a.; i.al., ac.
Estearato de Zinc	C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> (COO) <sub>2</sub> Zn	412.38	sólido	bl.		0.5		118°C		i.	m.lg.s.	s.			
Acido Acético	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H	60.05	líquido	inc			1.049 <sup>20/4</sup>	16.7°C	118.1°C	∞	∞	∞			
a., ácido															d., se descompone
ac., ácido acético															expl., explosivo
al., alcohol etílico															i., insoluble
amor., amorfo															m. lg. s., muy ligeramente soluble
bl., blanco															s., soluble
															∞., menor que
															tri., triclinico
															s.c., soluble caliente

1  
35  
1



CUADRO No.8

PROPIEDADES FISICAS DEL POLIESTIRENO

PROPIEDADES	UNIDADES	
--MECANICAS--		
-Resistencia a la tensión	kg/cm <sup>2</sup>	510
	si	7 250
-Elongación a la ruptura	%	2.1
-Módulo de elasticidad	Kg/cm <sup>2</sup>	3.2 x 10 <sup>4</sup>
en tensión	si	4.5 x 10 <sup>5</sup>
-Dureza	MRockwell	75
-Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	772
	si	11 000
-Resistencia al impacto	Kg - cm	
- en barra de	cm Muesca	1.63
1.27 cm x 1.27 cm y	lb - pie	
muesca con radio	pulg muesca	0.30
de 0.0254 cm		
--TERMICAS--		
-Coeficiente de dilatación lineal	cm/cm/°C	7 x 10 <sup>-5</sup>
-Temperatura de formación	°C	86
(18.55 kg/cm <sup>2</sup> - 264 psi)	°F	187
bajo carga		
---OPTICAS---		
-Transmisión de luz		
a 550 milimicras	muestras sin pigmentar	89
(0.127 cm espesor)		
---FISICAS---		
-Peso específico		1.05
-Absorción de humedad	%	3.15
-Rapidez de combustión		
(espesor 0.127 cm)	cm/min	3.15
-ELECTRICAS-		
-Factor de disipación	10 <sup>6</sup> ciclos/seg	3 x 10 <sup>-4</sup>
-Constante dieléctrica	10 <sup>6</sup> ciclos /seg	2.58
-Resistencia dieléctrica	Volts/mm	19,700
(0.3175 cm espesor)	Volts/0.001 <sup>4</sup>	500
-Resistibilidad volumétrica	ahm/cm	10 <sup>18-19</sup>
---MOLDEO---		
-Volumen específico aparente	cm <sup>3</sup> / gr	1.75
-Escogimiento en el molde	cm/cm	0.002 - 0.008

### CANTIDADES DE MATERIA PRIMA NECESARIA

Se pasará ahora a determinar la cantidad de materia prima que ha de ser requerida en el proceso de polimerización aquí manejado.

Se establece inicialmente que la finalidad será producir 30 millones de Kg por año, con una conversión del monómero del 99.5%, el cual poseerá una pureza del 99.6% y se trabajará con una eficiencia del 85%. Resumiendo tendremos;

Producción	30 000 000 Kg/año
% conversión de estireno	99.5%
% de pureza del estireno	99.6%
% de factor de operación	85 %

Según datos recabados, el porcentaje en peso de la materia prima requerida obedece a los siguientes datos;

Estireno	46.31094 %
Agua	53.38020 %
Fosfato tricálcico (TCP)	0.21352 %
Persulfato de potasio	0.000102 %
Peróxido de benzoílo	0.095219 %
Estiariato de Zinc	0.0000089 %

Una vez establecido lo anterior se pasará a determinar los kilogramos correspondientes para cada uno de éstos materiales. Ello se hará en base a la determinación de los kilogramos de monómero, los cuales pueden ser obtenidos de la siguiente forma:

$$\text{Cantidad de monómero Requerido anualmente} = \frac{\text{Cantidad de polímero requerido}}{(\% \text{ conversión})(\% \text{ de pureza})(\% \text{ operación})}$$

$$S = \frac{30\,000\,000 \text{ Kg/año}}{(0.995)(0.996)(0.850)} = 35\,613\,930.74 \text{ Kg/año}$$

y considerando los restantes % en peso se obtendrán las restantes cantidades requeridas anualmente:

$$\text{Agua: } \frac{35\,613\,930.74 \text{ Kg}}{0.4631094} \times 0.5338020 = 41,050,316.5 \text{ Kg}$$

$$\text{TCP: } \frac{35\,613\,930.74 \text{ Kg}}{0.4631094} \times 0.0021352 = 164\,200.65 \text{ Kg}$$

Persulfato de

$$\text{Potasio: } \frac{35\,613\,930.74 \text{ Kg}}{0.4631094} \times 1.01688 \times 10^{-6} = 78.20 \text{ Kg}$$

Peróxido de

$$\text{Benzofilo: } \frac{35\,613\,930.74 \text{ Kg}}{0.4631094} \times 9.5219 \times 10^{-4} = 73\,225.0926 \text{ Kg}$$

Estiariato

$$\text{de Zinc: } \frac{35\,613\,930.74 \text{ Kg}}{0.4631094} \times 8.897 \times 10^{-8} = 6.84 \text{ Kg}$$

Una vez obtenido lo anterior se pasará a obtener los cálculos que han de conducir a los datos pertinentes para el diseño del reactor que cumple con las características requeridas. Para ello será utilizada la ecuación No. 8, no sin antes realizar los cálculos preliminares requeridos para su aplicación.

Para efectuar dichos cálculos se tomará la temperatura de reacción de 96°C que corresponde a 369°K. Entonces, de acuerdo a la ecuación No. 7 y a la table No. 1:

$$A_0 = 1.964 \times 10^5 e^{(-10\,040/T)}$$

$$A_0 = 1.964 \times 10^5 e^{(-10\,040/369)} = 2.9962 \times 10^{-7} (1/\text{gmo}l)^{3/2} \text{seg}^{-1}$$

$$A_1 = 2.57 - 5.05 \times 10^{-3} T$$

$$A_1 = 2.57 - (5.05 \times 10^{-3})(369) = 0.7066$$

$$A_2 = 9.56 - 1.76 \times 10^{-2} T$$

$$A_2 = 9.56 - (1.76 \times 10^{-2})(369) = 3.0656$$

$$A_3 = -3.03 + 7.85 \times 10^{-3} T$$

$$A_3 = -3.03 + (7.85 \times 10^{-3})(369) = -0.1334$$

$$A = A_0 e^{(A_1 X + A_2 X^2 + A_3 X^3)}$$

$$A = (2.9962 \times 10^{-7}) e^{[(0.7066)(0.463) + (3.0656)(0.463)^2 + (-0.1334)(0.463)^3]}$$

$$A = 7.9124 \times 10^{-7}$$

Si siguiendo con los cálculos preliminares, se utilizarán los datos de la tabla No. 2 a la misma temperatura ya mencionada.

$$\rho_M = 924 - 0.918 (T - 273.1), \text{ g/lt.}$$

$$\rho_M = 924 - 0.918 (369 - 273.1) = 835.872 \text{ g/lt.}$$

$$\rho_{PR} = 1084.8 - 0.605 (T - 273.1), \text{ g/lt.}$$

$$\rho_{PR} = 1084.4 - 0.605 (369 - 273.1) = 1026.72 \text{ g/lt.}$$

$$\delta_V = \left( \frac{1}{\rho_{PR}} - \frac{1}{\rho_M} \right) / \frac{1}{\rho_M}$$

$$\delta_V = \left( \frac{1}{1026.72} - \frac{1}{835.872} \right) / \frac{1}{835.872} = -0.1859$$

$$[M] = \frac{\rho_M (1 - X_M)}{(104)(1 + \delta_V X_M)}, \text{ gmol/lt.}$$

$$[M] = \frac{835.872 (1 - 0.463)}{(104)[1 + (-0.1859)(0.463)]} = 4.7224 \text{ gmol/lt.}$$

$$C_{PM} = 0.353 + (10.0014) (T-293), \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$C_{PM} = 0.353 + (10.0014) (363 - 293) = 0.4594 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Y finalmente, el estireno requerido por segundo será:

$$\frac{(35\ 613\ 930.74) (1\ 000)}{(365)(24)(3600)} = 1130 \text{ g/seg}$$

$$[=] \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \frac{\text{año}}{\text{días}} \frac{\text{día}}{\text{hrs.}} \frac{\text{hrs.}}{\text{seg.}} \frac{\text{gr}}{\text{Kg.}} [=] \text{ gr/seg}$$

Con todos los datos anteriores, aplicando el peso molecular del estireno que será de 104 g/molg y utilizando la ecuación No. 8 se calculará el volumen del reactor.

$$F_M X_M = A[M]^{5/2} V$$

$$V = \frac{F_M X_M}{A[M]^{5/2}}$$

$$V = \frac{(1130/104) (0.463)}{(7.9124 \times 10^{-7}) (5.2097)^{5/2}} = 102, 632.85 \text{ lt.}$$

$$V = 102\ 632.85 \text{ lt} \frac{1 \text{ gal}}{3.789 \text{ lt.}} = 27\ 115.68 \text{ gal} \approx 27\ 100 \text{ gal}$$

De acuerdo a los datos establecidos para la manufactura de reactores estándar se ha considerado tomar seis reactores de 5 000 galones cada uno que harán un volumen total de 30 000 galones.

De acuerdo a la Tabla No. 3 se desprenden las siguientes características para cada uno de los seis reactores:

Capacidad máxima de llenado	5 388 galones.
Diámetro exterior	108 pulgadas.
Lado recto (altura)	123 pulgadas.
Area de transferencia de calor	320 pies cuadrados.

TABLA No. 3

TAMAÑO TIPO DE MANUFACTURA DE REACTORES

Capacidad (gal)	Capacidad actual (llenado maximo en gal)			Diámetro exterior en pulgadas.			Lado recto (altura en pulg.)			Area de transferencia de calor (pies cuadrados)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
300	357	414		48	48		33	40		41	51.3	
500	580	653	559	48	54	54	58	51	51	80	60	70
750	860	898	807	60	60	60	52	59	60	96	85	93
1000	1142	1155	1075	60	60	66	72	80	66	122	105	112
1200			1253			66			78			126
1250		1483			72			68			115	
1500	1799	1799	1554	78	78	72	65	69	81	158	135	148
200	2220	2276	2083	78	78	78	84	93	93	191	180	194
2500			2756			84			105			209
3000	3012	3522	3272	96	96	90	77	90	108	236	205	230
3500			3827			96			111			254
4000	4416	4525	4354	96	96	102	109	122	111	300	270	272
5000	5601	5629	5388	102	108	108	125	118	123	362	312	320

## REQUERIMIENTOS DE ENERGIA

Se realizará finalmente el balance de energía para la polimerización de estireno. Para ello tomaremos la ecuación No. 9 y los siguientes datos:

Temperatura de reacción	$T_e = 96^{\circ}\text{C}$
Temperatura de entrada	$T_o = 25^{\circ}\text{C}$
Temperatura del agua de enfriamiento	$T_j = 30^{\circ}\text{C}$
Capacidad calorífica	$C_{PM} = 0.4594 \text{ CAL/g}^{\circ}\text{C}$
Exotermicidad de la reacción	$\Delta H = -17\,500 \text{ CAL/molg.}$
Area de transferencia de calor	$A_h = 320 \text{ pies cuadrados}$

Ecuación No. 9:

$$104 F_M C_{PM} (T_e - T_o) + UA_h (T_e - T_j) = (-\Delta H_M)_{T_e} (F_M X_M)$$

$$[=] \frac{\text{gr}}{\text{molg}} \frac{\text{gr/seg}}{\text{gr/molg}} \frac{\text{cal}}{\text{gr}^{\circ}\text{C}} \text{ }^{\circ}\text{C} + \frac{\text{cal}}{\text{seg}^{\circ}\text{C pies}^2} (\text{pies}^2) (\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{cal}}{\text{molg}} \frac{\text{gr/seg}}{\text{gr/molg}}$$

$$[=] \text{ cal/seg} + \text{ cal/seg} = \text{ cal/seg}$$

$$104 \frac{1130}{104} (0.4594) (96-25) + UA_h (96-30) = (17500) \frac{1130}{104} (0.463)$$

$$36\,857.662 + UA_h (66) = 88\,036.782$$

$$UA_h = \frac{(88036.782 \text{ cal/seg}) - (36\,857.662 \text{ cal/seg})}{66^{\circ}\text{C}} = 775.44 \frac{\text{cal}}{\text{seg}^{\circ}\text{C}}$$

Transformando unidades y despejando el área de transferencia de calor:

$$U = \frac{(775.44) (3600) (1/1.8)}{(320) \left[ \frac{27 \cdot 100/6}{5000} \right] (252)} = 21.2894 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$U [=] \frac{(\text{cal/seg}^\circ\text{C}) (\text{seg/hr}) (^\circ\text{C}/^\circ\text{F})}{(\text{pies}^2) \frac{\text{gal/tanque}}{\text{gal/tanque}} (\text{cal/BTU})} [=] \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$



CAPITULO IV

FACTORES ECONOMICOS DE PROCESO

## FACTORES ECONOMICOS DE PROCESO

Por factores económicos de proceso se hará referencia a la determinación de los costos involucrados de la materia prima para obtener un estimado en éste renglón del costo del poliestireno producido bajo el proceso que aquí se está manejando.

Para el logro de dicho propósito fueron investigados los costos de materia prima a nivel nacional, pues es finalidad que el producto sea manufacturado con materiales cien por ciento mexicanos.

Los costos que fueron recabados son los siguientes:

MATERIA PRIMA	COSTO POR Kg.
Estireno	\$ 100. <sup>00</sup>
Agua	\$ 0.02
Fosfato tricálcico	\$ 232. <sup>00</sup>
Persulfato de potasio	\$4794. <sup>00</sup>
Peróxido de benzoílo	\$ 700. <sup>00</sup>
Estiarato de zinc	\$ 332. <sup>00</sup>

Para calcular el costo de la materia prima empleada en la producción anual, se hará uso de los cálculos obtenidos en el capítulo anterior referentes a la cantidad de Kilogramos requeridos para cada uno de ellos. De ésta forma y multiplicados por su costo unitario se ob-tiene:

Estireno:

$$35\ 613\ 930.74 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times \frac{100.<sup>00</sup>$$

Agua:

$$41\ 050\ 316.53 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times \frac{0.02}{\text{Kg}} = 821, 006.33$$

Fosfato tricálcico:

$$164\ 200.65 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times \frac{232.00}{\text{Kg}} = 38,094,550.80$$

Persulfato de potasio:

$$78.20 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times \frac{4\ 794.00}{\text{Kg}} = 374, 890.80$$

Peróxido de benzoílo:

$$73\ 225. 09 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times \frac{700.00}{\text{Kg}} = 51, 227, 563.00$$

Estiarato de zinc:

$$6.84 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times \frac{332.00}{\text{Kg}} = 2, 270.88$$

Costo total anual por concepto  
de materia prima para producir --  
30 000 000 Kg/año..... 3, 651, 913, 355. 81

De lo cual se deduce que el costo unitario será:

Costo de 1 Kg. tomando en --  
consideración sólo la materia prima:  $= \frac{3\ 651\ 913\ 355.81}{30\ 000\ 000} \frac{\$/\text{año}}{\text{Kg/año}}$

121.73 \$/Kg

siendo el costo en el mercado nacional de \$ 215.<sup>00</sup>/Kg., es decir, un 43.38 % mayor.

Como es de suponer, un incremento en los costos de la materia prima repercutirá directamente en el costo final del poliestireno.

CAPITULO V

EQUIPO DEL PROCESO

## EQUIPO DEL PROCESO

Una vez descrito todo lo concerniente al proceso de polimerización del estireno, se pasará a hacer una breve descripción del equipo más importante que intervenga directamente en él.

Todo el equipo utilizado en la polimerización es de acero inoxidable, ya que cualquier impureza afectaría fuertemente al producto final. Excepción será el tanque de almacenamiento de estireno que podrá ser de hierro ó acero al carbón.

El equipo a utilizar será:

Tres tanques de almacenamiento de estireno.- construido cada uno de hierro ó acero al carbón, con una capacidad de 540 000 lts. sus dimensiones serán de 6 x 5 mts. con un costo de \$2 500 000.°°

Seis reactores enchaquetados.- de acero inoxidable con una capacidad máxima de llenado de 20 393 litros cada uno. Sus dimensiones serán:

Diámetro exterior de	2.743 mts.
Lado recto	3.124 mts.
Area de T.de calor	de 29.745 mts <sup>2</sup> .
Volumen	18 925 lts.

El costo de cada uno de los seis reactores será de \$5 500 000.°°

Tres tanques de lavado.- construidos de acero inoxidable con una capacidad de 37 850 lts. Cada tanque poseerá 3.5 mts. de diámetro y 4 mts. de altura. Su costo unitario será de \$7 000 000.°°

Tres centrifugas.- construídas de acero inoxidable con una capacidad de bombeo de 7 000 lts/hr. Sus dimensiones serán de 3 x 2 x 0.9 mts y su costo será de \$ 6 000 000.°°

Tres secadoras rotatorias.- construídas de acero inoxidable, con una capacidad de secado de 0.1% de humedad. Sus dimensiones serán de 5 mts. de longitud y un diámetro de 1.20 mts. con un costo aproximado de \$ 6 000 000.°°

Tres lubricadores automáticos.- construídos de acero inoxidable, con una capacidad de media tonelada por hora. Sus dimensiones serán de 1 x 0.9 x 1.2 mts. y su costo aproximado de \$ 2 000 000.°°

Tanque de almacenamiento de poliestireno con capacidad de ----  
82 191.781 Kg de poliestireno fabricado de acero al carbón. ---

El equipo anterior es el requerido para la fabricación de --  
30 000 000 toneladas anuales. Cabe hacer la aclaración que la des--  
cripción anterior solamente es a manera general, y no es necesariamen  
te las cifras finales, pues ello no es objeto de éste estudio.

CAPITULO VI

LOCALIZACION E INSTALACIONES DE LA PLANTA

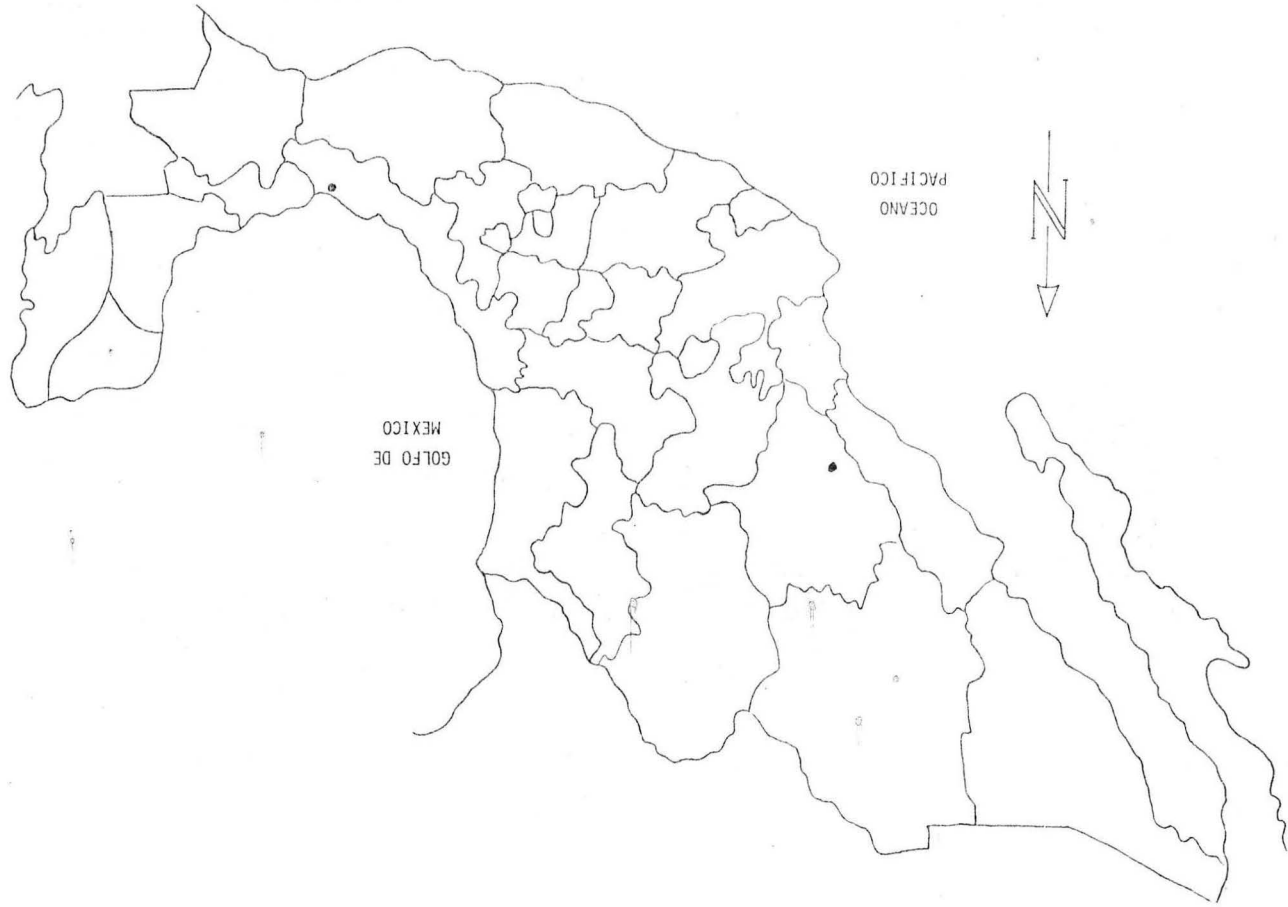


## LOCALIZACION E INSTALACIONES DE LA PLANTA

La instalación de la planta constituye un factor importante, que en un momento dado puede determinar el éxito o el fracaso de la misma.

Por tal motivo, se realizó un estudio de su posible localización, siendo finalmente seleccionado para dicha finalidad, el estado de -- Veracruz. La planta quedaría localizada en el Istmo de Tehuantepec, a 9 Kilómetros al este de Coatzacoalcos, sobre la carretera Coatza--- coalcos-Villahermosa (Figura No. 3). Se encuentra a 5 Kilómetros del complejo de Pajaritos, a 1 Kilómetro del complejo petroquímico de la Cangrejera, ambos complejos de Petróleos Mexicanos, y a 5 Kilómetros del Puerto de Pajaritos.

A continuación se dará un bosquejo general de las principales ra zones que llevaron a dicha selección.



LOCALIZACION DE LA PLANTA EN LA REPUBLICA MEXICANA

FIGURA NO. 3

## FACTORES PARA LA LOCALIZACION DE LA PLANTA

### MATERIA PRIMA.

Uno de los factores más importantes para la elección de la planta es el abastecimiento de la materia prima. En el actual proceso de polimerización, el principal material lo constituye el estireno, sin el cual, lógicamente no habría producción del polímero. Es una materia prima sin sustituto. Cabe hacer mención que la facilidad de --- transporte del producto terminado es mayor que el de la materia pri-- ma.

Dado su carácter de insustituible, es pertinente localizar una - fuente de duración futura. Esta fuente la constituye el complejo petroquímico La Cangrejera, de Petróleos Mexicanos, con una producción de estireno de 150 000 toneladas anuales.

Así mismo se cuenta con otras fuentes en el área que en algún -- momento pudiera sustituir a la mencionada. Dichas fuentes pudieran - ser el complejo petroquímico Pajaritos (PEMEX) a 5 Kilómetros, el -- complejo petroquímico de Cosoleacaque (PEMEX) a 35 Kilómetros y la re-- finería de Minatitlán (PEMEX) a 38 Kilómetros. Adicionalmente, Pe--- tróleos Mexicanos posee en proyecto el complejo petroquímico Morelos, que quedaría localizado a unos 8 Kilómetros de nuestra planta.

Con éstas alternativas los costos de la materia prima entregada se verían grandemente disminuídos.

### TRANSPORTE.

Otro de los aspectos a considerar son las vías de transporte que ofrece la región.

Se puede mencionar que la región cuenta con vías férreas principales que conecta a ésta con el resto del país. El establecer una cuota exacta es difícil pues ésta depende del destino final y el tipo del embarque. Sin embargo, un costo promedio sería de \$3.05/ton-km.

Así mismo, ésta zona se encuentra comunicada con importantes vías terrestres principales (Carretera Principal 180 y 185), así como de caminos secundarios, con entronques a las demás carreteras del país. Al igual que en el flete ferroviario resulta difícil determinar una cuota fija pero un aproximado podría ser de \$5.65/ton-km.

Un punto importante con el que cuenta la zona seleccionada, es la localización del Puerto Marítimo de Coatzacoalcos, así como la terminal marítima de Pajaritos. Así mismo, se cuenta con un aeropuerto que pudiera dar servicio no solamente a la planta, sino inclusive al personal que así lo requiera.

#### AGUA PARA USO INDUSTRIAL.

Otro de los elementos importantes y necesarios en el proceso, lo constituye el agua. Sin ella, el proceso de polimerización por suspensión resultaría imposible.

Esta región, además de contar con la afluencia del Río Coatzacoalcos, cuenta con la Presa Cangrejera. La presa además de recibir el agua de su propia cuenca, recibirá agua del Río Uspanapa a través de un acueducto. Esta presa dotará de agua al complejo Cangrejera, al de Pajaritos, al de Morelos, así como a toda la industria y poblaciones existentes en éste nuevo polo de desarrollo. El área total del vaso de la presa es de 750 hectáreas, con una capacidad total de almacenamiento de 40 000 000 m<sup>3</sup>. Esta obra se ejecutó por parte del Gobierno Federal con aportaciones de Petróleos Mexicanos.

#### MANO DE OBRA.

La región de Coatzacoalcos está recibiendo por parte del gobierno un incentivo tal, para que ésta se llegue a desarrollar como un importante centro industrial nacional. Los incentivos ofrecidos por el gobierno son grandes, traducidos a su vez, en un atractivo para la gente trabajadora.

Por ejemplo, los mayores salarios mínimos del país, entre otros lugares, están destinados a Coatzacoalcos, Veracruz (\$ 523.00 a diciembre de 1983).

Así mismo, dado el gran crecimiento de la ciudad de Coatzacoalcos, ésta ofrece día con día mayores bienestar generales a la comunidad, como son las escuelas, hospitales, centros recreativos, etc.

Finalmente, se hace mención que ésta región se encuentra a una cercanía relativa de importantes fuentes de mano de obra especializada y profesional como es, por citar uno, la ciudad de Veracruz.

## INSTALACIONES DE LA PLANTA

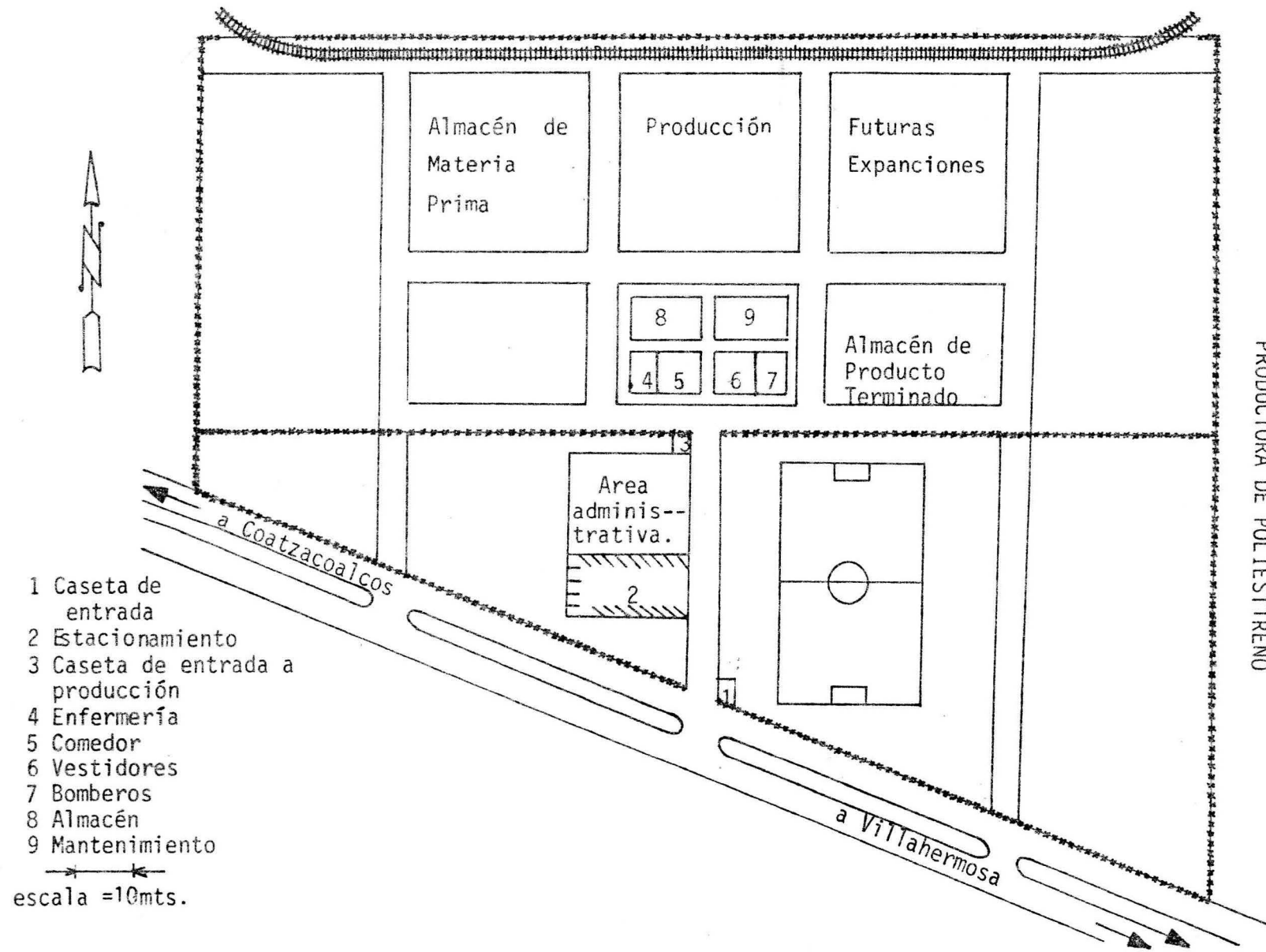
Una vez establecida la localización de la planta del presente - trabajo, se presentará la distribución de las unidades de proceso, - así como el equipo dentro de éstas unidades de proceso.

Para ilustrar dichas distribuciones se hará uso del plano maes-- tro de conjunto (Figura No. 4) el cual mostrará la localización de - las unidades de proceso, calles y edificios, y el plano unitario (Fi- gura No. 5) el cual mostrará la localización en vista de planta de ca da pieza de equipo dentro de una sola unidad de proceso.

Adicionalmente se presentará una vista lateral del equipo de pro ceso para con ello lograr una mejor localización del equipo dentro de la unidad de proceso (Figura No. 6).

FIGURA No. 4

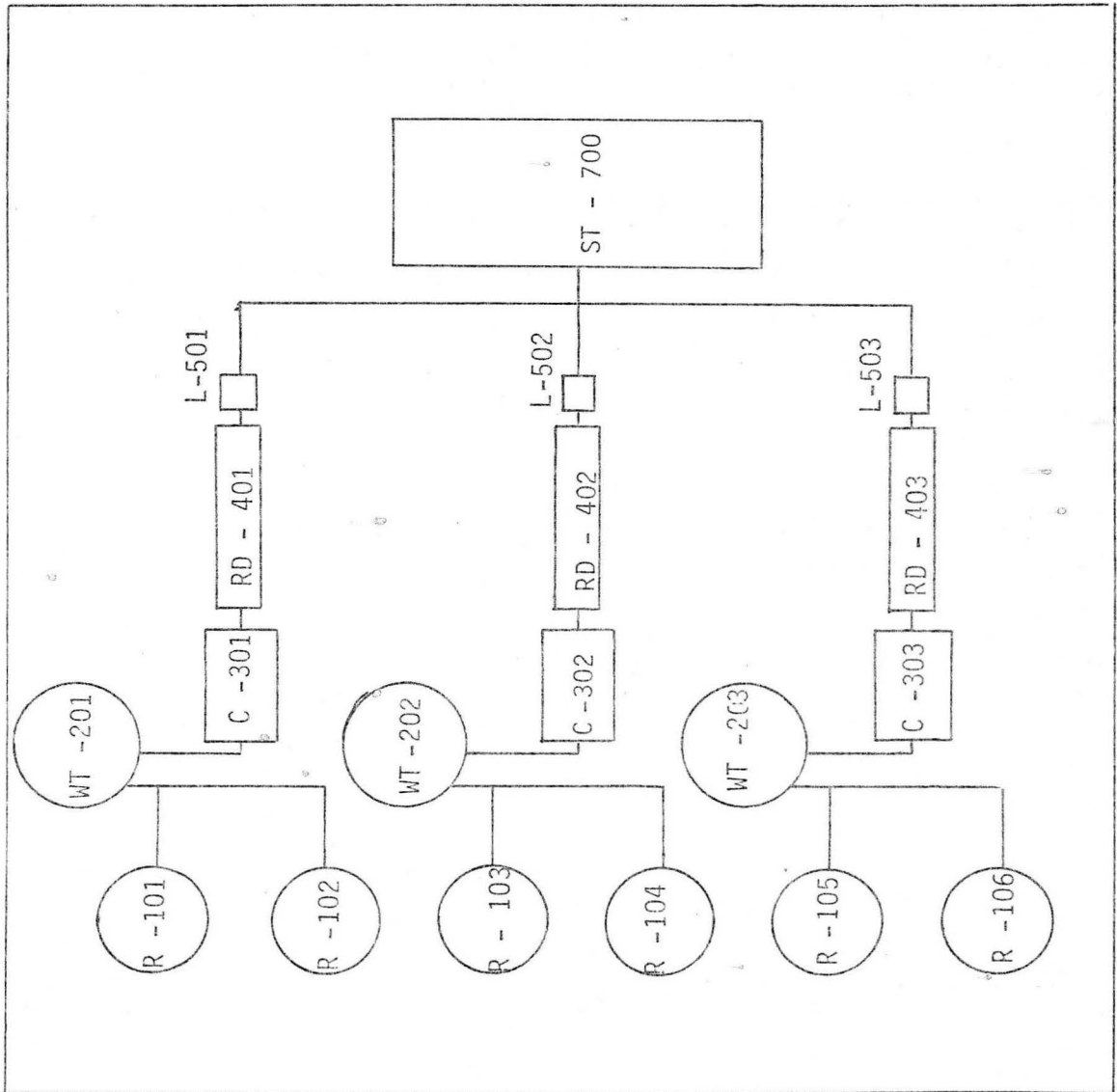
PLANO MAESTRO DE CONJUNTO PARA UNA PLANTA  
PRODUCTORA DE POLIESTIRENO



- 1 Caseta de entrada
- 2 Estacionamiento
- 3 Caseta de entrada a producción
- 4 Enfermería
- 5 Comedor
- 6 Vestidores
- 7 Bomberos
- 8 Almacén
- 9 Mantenimiento

escala = 10mts.

FIGURA No. 5  
PLANO UNITARIO DEL EQUIPO DE PROCESO  
PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE POLIESTIRENO  
(CAPACIDAD 30 MIL TON. )

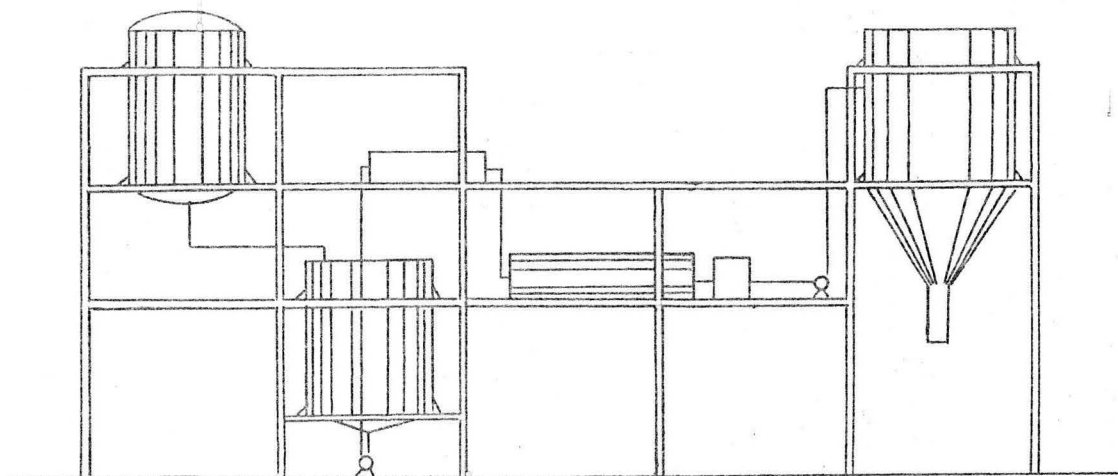


escala = 2 mts.



FIGURA No. 6

VISTA LATERAL DEL EQUIPO DE PROCESO PARA UNA  
PLANTA PRODUCTORA DE POLIESTIRENO



escala = 2 mts.

## CONCLUSIONES

Se muestra clara la importancia revestida en la época actual del poliestireno en la vida diaria. Más importante aún es fabricar un producto que no solamente sea importante, sino fabricarlo con los procesos óptimos y alta tecnología.

El presente estudio ha tomado en consideración esto y se ha logrado a base de recursos nacionales un producto que bien pudiera competir con los fabricados en el extranjero y a la vez competir con los productos nacionales ya establecidos, tanto en costo como en calidad.

El enfoque que se ha dado aquí a la fabricación del poliestireno por el proceso de suspensión, no ha pretendido efectuar un estudio detallado del mismo, sino desglosar en forma general, los factores principales y básicos que han de ser tomados en consideración.

## BIBLIOGRAFIA

- Chemical Reactor Design for process Plants Vol. II  
Case studies & design data  
Rase Howard F.
- Complejo Petroquímico La Cangrejera 1981  
Petróleos Mexicanos
- Desarrollo y Perspectivas de la Industria Petroquímica  
Instituto Mexicano del Petróleo
- Encyclopedia of Polymer Science and Technology Vol. III  
Mark Herman F. y Norman G. Gaylord
- Escenarios Económicos de México  
Perspectivas de desarrollo para ramas seleccionadas  
S. P. P.
- Fisicoquímica Fundamental  
Margn Samuel H. y Jerome B. Lando
- Handbook of Plastics  
Simonds Herbert R.
- Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso  
Rase, Howard F. y M.H. Barrow
- Indicadores Económicos  
Banco de México, Subdirección de investigación económica
- Introducción a la Ingeniería de Proyectos  
Corzo Miguel Angel
- La Industria Petrolera en México  
S. P. P . y Petróleos Mexicanos

Manual del Ingeniero Químico Tomos I y II

John A. Perry

Organic Chemistry

Sandler Stanley R

Plásticos Introducción a su tecnología

Richardson Henry M. y J. Watson Wilson

Polymer Processes

Schildknecht Calvin E.

Polymer Structure, Properties And Applications

Deanin Rudolph.

Practical Polymerization for Polystyrene

Bishop Ricard

Principles of Polymer Chemistry

Flory, Paul J.

Química Orgánica

Morrison, Robert T. y Robert N. Mayo

900143