

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA DE PETROLEO Y PETROQUIMICA



**Evaluación Técnico - Económica de una Planta
para la Producción de Resinas
Acrilonitrilo - Butadieno - Estireno (A B S)**

T E S I S

**Para optar el Título Profesional de
INGENIERO PETROQUIMICO**

LUIS DANCUART KOHLER

PROMOCION 1974 - 2

L i m a - P e r ú

1 9 7 8

Quiero expresar mi especial reconocimiento al Ingeniero Ernesto Barreda , quien como Profesor y como Amigo ha brindado su enorme y desinteresada colaboración para la pronta realización tanto de este trabajo , como del anteriormente presentado para obtener el grado de Bachiller .

Asimismo quiero agradecer la colaboración técnica de las siguientes personas (en orden alfabético) : L. Bonilla , M. César , E. Contreras , A. Chávez , S. Chu , G. García , F. Guerra , R. Polo y La Borda, y P. Weiss .

R E S U M E N

La evaluación técnico-económica de una planta para la producción de resinas termoplásticas de Acrilonitrilo ,Butadieno y Estireno (ABS) que se presenta a continuación ,ha sido dividida en cuatro capítulos .

En el primero se trata del estudio de las características del producto presentándose tablas de propiedades físicas e incluyéndose los empleos de este termoplástico en las industrias de bienes de consumo . También en esta parte se determina la capacidad de la planta en base a un estudio de mercado a nivel del Perú y de la Subregión Andina .

El segundo capítulo cubre los aspectos químicos de las reacciones de polimerización ,haciéndose énfasis en aquellas que involucran alquenos monosustituídos (como el acrilonitrilo y el estireno) y dienos conjugados (como el butadieno) por ser las reacciones que ocurren en el proceso de producción de las resinas ABS .

Las técnicas industriales de fabricación se presentan en el capítulo siguiente ,así como una descripción de los procesos tipo inclusión de la Japan Synthetic Rubber (JSR) y la Marbon Corporation . Se incluyen los requerimientos de materias primas ,servicios y mano de obra directa.

En el último capítulo se muestra la evaluación económica ,la que ha sido realizada utilizando un procedimiento que permite conocer el efecto del precio de venta de la resina ABS sobre la rentabilidad del proyecto expresada como porcentaje de interés DCF .

Finalmente se incluyen las referencias bibliográficas .

CONCLUSIONES

- 1.- Las resinas ABS constituyen un grupo de materiales termoplásticos cuyas características los hacen aplicables con numerosas ventajas en las industrias de bienes de consumo .
- 2.- El mercado local y el de la Subregión Andina justifican una planta cuya producción sea de 8,000 TM/A .
- 3.- Los procedimientos de fabricación de resinas ABS más utilizados son aquellos que realizan la polimerización por inclusión . Por lo tanto se selecciona el proceso de la Japan Synthetic Rubber que emplea esta técnica .
- 4.- La evaluación de precios de venta-rentabilidad DCF permite concluir que colocando en el mercado el producto a precios internacionales se alcanzarían interesantes atractivos económicos cuyos efectos finales son consecuencia de la reducción de importaciones de esta resina y de otros termoplásticos equivalentes ,del ingreso de divisas por exportaciones (tanto de resina como de productos manufacturados) y de una elevada rentabilidad de la inversión ,evaluada en dólares .

INTRODUCCION

El primer pozo de petróleo fue perforado por el coronel Drake cerca del pueblo de Titusville (EE.UU.) en 1859 . Su producción fue de 25 barriles por día obtenidos de una formación a 20 m de profundidad .

Este hallazgo aunque pequeño dio nacimiento a una gigantesca industria que ha proporcionado al mundo 500,000 millones de barriles de petróleo al mundo ,hasta 1976 inclusive . Las reservas totales probadas de petróleo duplican el consumo acumulado anterior y es posible que existan 1.5 billones de barriles adicionales de crudo por descubrir . Esta inmensa cantidad de hidrocarburos puede alcanzar hasta bien entrada la primera mitad del siglo 21 ,siempre y cuando se reduzca la dependencia energética del petróleo del 72 % (1976) al 50 % ,lo que es imperativo si no se desea que ocurra un colapso industrial . Los países menos favorecidos en cuanto a reservas de crudo tratarán de que esta disminución en la dependencia relativa energética del petróleo sea una realidad para no caer ,adicionalmente ,en problemas financieros de gran magnitud .

En nuestro país tenemos petróleo ,y podremos descubrir aun más ya que existen áreas cuya filiación petrolífera es conocida . Sin embargo esto demandará un tremendo esfuerzo técnico y financiero para el cual debemos prepararnos .

Dentro de toda esta problemática es imperativo lograr que el petróleo que resta producir sea utilizado racionalmente ,dejando de lado su empleo como combustible por su aplicación en petroquímica ,donde cada

día se le encuentran nuevas aplicaciones ,superiores en beneficios a los de su simple combustión (que además causa contaminación) .

Una de tales aplicaciones la constituyen los materiales termoplásticos que reemplazan con ventaja ,en aplicaciones que sean equivalentes ,a los metales y las maderas debido a sus mejores características de duración y resistencia .

Las resinas ABS constituyen uno de los grupos de termoplásticos más versátiles cuyas aplicaciones van desde planchas de recubrimiento de equipos electrodomésticos e industriales hasta secciones de carrocerías e interiores de automóviles . La demanda en nuestro país es creciente y su desarrollo potencial seguro .

Por estas razones es que se presenta esta evaluación para una planta de producción de resinas ABS ,buscando aumentar el desarrollo industrial del país y lograr una mejor utilización del petróleo que producimos .

S U M A R I O

página

---- CAPITULO 1 : ESTUDIO DE MERCADO

1.1. Antecedentes	1-1
1.2. Productos Competitivos	1-1
1.3. Las resinas ABS como producto	1-1
1.4. Características y aplicaciones de los distintos tipos de resinas ABS	1-5
1.5. Estimación de la demanda de resinas ABS a nivel Perú y a nivel de la Subregión Andina	1-10
1.6. Tamaño de Planta	1-14
1.7. Localización de Planta	1-17
1.8. Las resinas ABS en el mundo	1-18

---- CAPITULO 2 : POLIMEROS Y POLIMERIZACIONES

2.1. Polímeros	2-1
2.2. Historia de los polímeros artificiales	2-2
2.3. Clasificación de los polímeros de acuerdo a su uso	2-4
2.4. Formas de Polimerización	2-8
2.5. Criterios de Polimerización	2-14
2.6. Polimerización para Resinas ABS	2-18
2.7. Polimerización del Butadieno	2-19
2.8. Polimerización de los alquenos monosustituidos	2-23

---- CAPITULO 3 : DISEÑO Y SELECCION DEL PROCESO PARA LA PRODUCCION DE RESINAS ABS

3.1. Diseño de reactores de polimerización	3-1
3.2. Selección del proceso	3-6
3.3. Procesos de polimerización Tipo Inclusión	3-7
3.4. Descripción de Procesos de Producción de Resinas ABS Tipo Inclusión	3-8
3.5. Requerimientos de Materias Primas y Servicios Industriales	3-12
3.6. Requerimientos de Mano de Obra Directa	3-14
3.7. Vida Util de los Equipos	3-14
3.8. Disposición Preliminar de Planta	3-15

---- CAPITULO 4 : EVALUACION ECONOMICA

4.1. Criterios de evaluación	4-1
4.2. Inversión	4-2
4.3. Financiamiento	4-2
4.4. Programa de Producción y Ventas	4-3
4.5. Costos Fijos	4-3
4.6. Costos Variables	4-5
4.7. Costos de Producción	4-6
4.8. Valor de Ventas	4-6
4.9. Capital de Trabajo	4-7
4.10. Utilidad Neta	4-8
4.11. Flujo Neto de Fondos	4-8
4.12. Análisis de los Resultados	4-9

Tablas de la evaluación 4-11 a 4-18

---- BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

ESTUDIO DE MERCADO

1. ESTUDIO DE MERCADO

1.1. Antecedentes

No existen en el Perú datos sobre el consumo histórico de las resinas ABS debido a que siendo un producto relativamente nuevo ,todavía no ha captado la atención de su mercado potencial . Sin embargo ,como se verá más adelante ,en base a sus propiedades físicas y químicas puede preverse que su consumo alcanzará niveles significativos debido a su empleo como sustituto de otros plásticos como el poliestireno y el PVC principalmente .

1.2. Productos Competitivos

Las resinas ABS tienen como productos competitivos a los plásticos de los tipos poliestireno y polícloruro de vinilo (PVC) . En vista de que en general sus propiedades son superiores a las de los plásticos citados ,está desplazando en otros mercados (zonas más industrializadas) por ejemplo al PVC en aplicaciones para tuberías de plástico y al poliestireno en aquellas que requieran de plástico de alto impacto .

Además ,en algunas aplicaciones compete con los metales con ventajas significativas (caso de cajas de refrigeradoras) .

En las siguientes secciones se describen las propiedades de las resinas ABS ,lo que ayudará a clarificar estos conceptos .

1.3. Las resinas ABS como producto

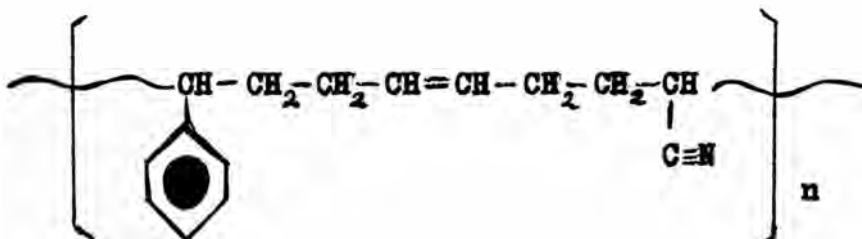
Las resinas del tipo ABS están formadas por la combinación de tres productos químicos ,los que se enlazan entre sí formando una cadena

en la que estos monómeros (así llamados por ser unidades base de la cadena) se repiten muchas veces .

En el caso de las resinas ABS estos monómeros son el acrilonitrilo ,el butadieno y el estireno . A nivel molecular se combinan para formar una estructura en la que el estireno contribuye para otorgar buena maleabilidad (como la tienen los poliestirenos) ,el acrilonitrilo para incrementar la resistencia y la dureza ; y el butadieno para mejorar la ductilidad . Todo esto hace que las resinas ABS sean un terpolímero de propiedades excepcionales ,(1).

La versatilidad de las resinas ABS reside en el enorme número de permutaciones posibles al combinar estructuralmente tres monómeros . Dos de ellos pierden su único doble enlace en la reacción de polimerización ,por lo que el estireno y el acrilonitrilo conducen a una estructura rígida (tipo plástomero) . El tercer monómero ,el butadieno solo pierde uno de sus dobles enlaces en la polimerización con lo que se logra que pueda existir rotación interna de la cadena alrededor de ese doble enlace ,lo que confiere al producto final propiedades de elastómero (2).

La estructura típica de una molécula de polímero podría ser :



Típicamente están compuestos de un 10 a 15 % de butadieno en peso, de 20 a 25 % de acrilonitrilo ,y la diferencia es estireno (3). Si se tuviera un polímero especial ,en el que a lo largo de toda la cadena se tuviera que de cada tres moléculas ,una fuera de cada monómero ,la distribución de pesos sería de 25 ,26 y 49 % para el acrilonitrilo ,butadieno y estireno respectivamente . La diferencia ,sobre todo en el caso del butadieno ,está en que usualmente se lleva a cabo la polimerización en dos etapas ,siendo la primera la polimerización del butadieno exclusivamente ,permitiendo así que la distribución final de pesos sea diferente .

A continuación se hace una revisión de las principales propiedades de las resinas ABS .

1.3.1. Propiedades Térmicas

Las resinas ABS tienen coeficientes de expansión térmica más parecidos a los de los metales que a los del poliestireno ,por lo que se les prefiere cuando se requiere una estructura plástica con refuerzos metálicos (4) . Su temperatura límite de trabajo está en el rango de 85 a 100°C dependiendo del tipo considerado ; por encima de esta temperatura las resinas se deforman y sufren la pérdida de sus propiedades de resistencia mecánica y de dureza .

1.3.2. Propiedades Ópticas

Las resinas ABS varían de acuerdo al tipo ,entre transparente y opacas . Al contrario de lo que ocurre con el poliestireno ,no sufren decoloración por efecto de la luz solar ,lo que las hace adecuadas para usos al aire libre .

1.3.3. Solubilidad

Al igual que los poliestirenos ,las resinas ABS son resistentes al ataque de ácidos no oxidantes y al de soluciones acuosas de álcalis .

La diferencia respecto de los poliestirenos está en que las resinas ABS son menos solubles en compuestos aromáticos e hidrocarburos clorados ,lo que les da cierta ventaja .

1.3.4. Gravedad Específica

La gravedad específica de las resinas ABS es ligeramente mayor que la del agua ; varía de tipo a tipo entre 1.03 y 1.06 .

1.3.5. Otras Propiedades

Su velocidad de quemado es lenta .

Sus propiedades de moldeo son muy buenas ,tanto que puede ser prensado y aún moldeo en frío .

Los productos fabricados con resinas ABS poseen estabilidad dimensional excepcional ,áun en condiciones de temperatura variable , uso exigente y exposición a distintos medios . Todo esto es especialmente importante en la fabricación de piezas que deben encajar entre sí exactamente .

Varios tipos de resinas ABS pueden ser empleados con éxito en el empaque directo de alimentos ,especialmente los no coloreados ó los con poca coloración (5).

1.4. Características y Aplicaciones de los distintos tipos de resinas ABS

Como casi todos los polímeros sintéticos ,las resinas ABS vienen en diferentes tipos que tienen aplicaciones específicas .

Estos tipos se obtienen mediante distintos tiempos de polimerización (lo que implica polímeros con pesos moleculares mayores ó menores según sea el caso) y por la inclusión de aditivos que les confieren propiedades particulares . Los factores y variables de operación que permiten lograr cada tipo forman parte de la tecnología del proceso que se emplee ,lo que hace casi imposible de que se consiga esa información a menos que se esté adquiriendo la licencia correspondiente para el uso de la patente .

Los tipos que se indican a continuación corresponden a la clasificación de Japan Synthetic Rubber (6). ~

1.4.1. ABS tipo # 10

Este tipo posee la resistencia al choque más alta entre las resinas ABS ,y presenta mejor comportamiento a bajas temperaturas . Sus principales aplicaciones son cascos ,tacos de zapatos ,tubería y accesorios ,herrajes ,moldes usados en climas fríos .

1.4.2. ABS tipo # 12

Ofrece alta resistencia al choque mediante una combinación bien balanceada de propiedades mecánicas entre las resinas ABS . Sus aplicaciones típicas son cascos de aspiradoras ,lavadoras ,rejillas de acondicionadores de aire ,cajas de máquinas calculadoras y de escribir ,botes ,tubería y accesorios ,skies ,sillas ,juguetes .

1.4.3. ABS tipo # 15

Esta resina posee resistencia media al choque ,con alto coeficiente de flexión y excelente brillo . Encuentra sus aplicaciones más importantes en cajas de máquinas calculadoras y de máquinas eléctricas de afeitar ,cajas de teléfonos ,bases para ventiladores y asas de secadores de cabello .

1.4.4. ABS tipo # 17

Sobrepasa a los otros tipos en resistencia al choque ,posee el más alto coeficiente de flexión y el mejor brillo . Se emplea para autopiezas como paneles y molduras de autos ,para cuerpos de bolígrafos y bobinas eléctricas y para cajas de baterías .

1.4.5. ABS tipo # 21

Este es un tipo de resina ABS desarrollado especialmente para usarse en laminado tipo metal . Además de ser un plástico de alto impacto ,posee las siguientes características :

- a. Moldeabilidad y estabilidad dimensional excelentes .
- b. Obtención de una superficie de muy buena apariencia .
- c. Se puede aplicar para diseños muy elaborados .
- d. Su peso específico es bajo .
- e. Puede ser sometida a galvanoplastia parcial .

Sus aplicaciones más corrientes son : placas grabadas ,marcos delanteros de refrigeradores y televisores ,paneles de lavadoras ,perillas y grifos (con técnicas de galvanoplastia) .

1.4.6. ABS tipos # 35 , # 38

Estos dos tipos se caracterizan por sus buenas características de moldeabilidad . Su índice de flujo es dos veces mayor que el de las resinas convencionales (tipo PVC) y es por esta razón que su moldeo es fácil ,incluso para equipos de gran tamaño ó de formas complejas ; esta característica ayuda también a reducir los tiempos de moldeo ,incrementando así la productividad . El tipo # 38 posee mayor rigidez que el # 35 ,pero su moldeabilidad es casi la misma . Aproximadamente se pueden aplicar en la mitad de los usos de todos los otros tipos de resinas ,como en : cajas de radios portátiles y grabadoras ,cubremotores para ventiladores , cuerpos y tapas de lavadoras ,teléfonos ,cajas de sumadoras y calculadoras ,archivadores ,bolígrafos ,muebles plásticos .

Tabla 1-1**Propiedades Generales de los tipos de resinas ABS**

Resina	resistencia a la tensión kg/cm ² (1)	resistencia a la flexión kg/cm ² (2)	coeficiente de flexión kg/cm ² (3)
tipo # 10	330	520	18000
tipo # 12	420	680	23000
tipo # 15	470	780	27000
tipo # 17	550	920	30000
tipo # 21	420	680	23000
tipo # 35	380	650	24000
tipo # 38	430	750	27000

(1) lámina de espesor 1/8 " .- Método ASTM D 638 a 23 °C

(2) barra de 1/8 x 1 x 4 " .- Método ASTM D 790 a 23 °C

(3) barra de 1/8 x 1 x 4 " .- Método ASTM D 790 a 23 °C

Tabla 1-1 (continuación)

Propiedades Generales de los tipos de resinas ABS

Resina	dureza Rockwell eso. R (4)	gravedad específica (5)	Temperatura de desviación	
			in-recocido °C (6)	recocido °C (6)
tipo # 10	87	1.03	80	90
tipo # 12	102	1.04	82	92
tipo # 15	108	1.05	83	93
tipo # 17	116	1.06	84	94
tipo # 21	102	1.04	82	92
tipo # 35	102	1.04	80	88
tipo # 38	107	1.05	82	90

(4) método ASTM D 785 a 23 °C

(5) método ASTM D 792 a 23 °C

(6) método ASTM D 648 a 18.5 kg/cm² .- barra de 1/2 x 1/2 x 5 " .

1.5. Estimación de la demanda de resinas ABS a nivel Perú y a nivel de la Subregión Andina

Las cifras que se incluyen en esta proyección de la demanda de resinas ABS corresponden a las que se muestran en los cuadros que acompañan a la Propuesta 44 del Acuerdo de Cartagena sobre el Programa Sectorial de Desarrollo de la Industria Petroquímica en la Subregión (Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile y Perú) .

La Propuesta 44 fue posteriormente aprobada casi en su totalidad durante el 17 período de sesiones ordinarias de la respectiva Comisión del Acuerdo (julio/agosto de 1975) . Sin embargo, el retiro de Chile del Grupo Andino ha causado que sea necesaria una redistribución de la programación sugerida en dicha propuesta lo que ha causado que el programa no entre en vigencia a la fecha . En base a los cuadros antes citados se presenta a continuación un breve estudio de mercado tanto para el caso peruano, como para la Subregión Andina .

1.5.1. Mercado Peruano

El consumo nacional de las resinas ABS puede ser estimado como creciente, con una tasa anual promedio de incremento del orden del 13.4% . Se puede prever que a partir de 1980 el consumo superará las 4,000 TM/A, creciendo desde ese momento con una tasa considerablemente mayor (un comportamiento histórico en curvas demanda-tiempo para productos petroquímicos) .

TABLA 1-2

Demandas estimadas de resinas ABS

(en miles de toneladas/año)

año	Bolivia	Colombia	Chile	Ecuador	Venezuela	Perú
1975	0.2	0.6	0.8	0.2	1.2	0.6
1976	0.2	0.8	0.9	0.2	1.3	0.7
1977	0.2	0.9	1.0	0.3	1.5	0.9
1978(*)	0.2	1.1	1.2	0.4	1.7	1.0
1979	0.3	1.3	1.3	0.4	2.0	1.2
1980	0.3	1.6	1.5	0.5	2.2	1.5
1981	0.3	1.9	1.7	0.6	2.5	1.7
1982	0.4	2.3	2.0	0.6	2.8	1.9
1983	0.4	2.8	2.3	0.8	3.1	2.1
1984	0.4	3.3	2.6	0.9	3.5	2.4
1985	0.5	4.0	3.0	1.0	4.0	2.7
1986	0.5	4.2	3.4	1.1	4.5	3.2
1987	0.5	4.4	3.6	1.2	5.1	3.7
1988	0.6	4.6	3.7	1.3	5.3	4.0
1989	0.6	4.8	3.8	1.4	5.4	4.3
1990	0.6	5.0	3.9	1.5	5.5	4.5

(*) Cifras estimadas a partir de esta fecha.

1.5.2. Mercado de la Subregión Andina

El mercado de exportación es una fuente de ingreso de divisas al país ,y por lo tanto es altamente atractivo . Para el caso de productos petroquímicos debe evaluarse el mercado interno conjuntamente con el externo ,debido a que normalmente los países en vias de desarrollo como el Perú no disponen de un consumo local tan grande como para alcanzar el tamaño económico de planta .

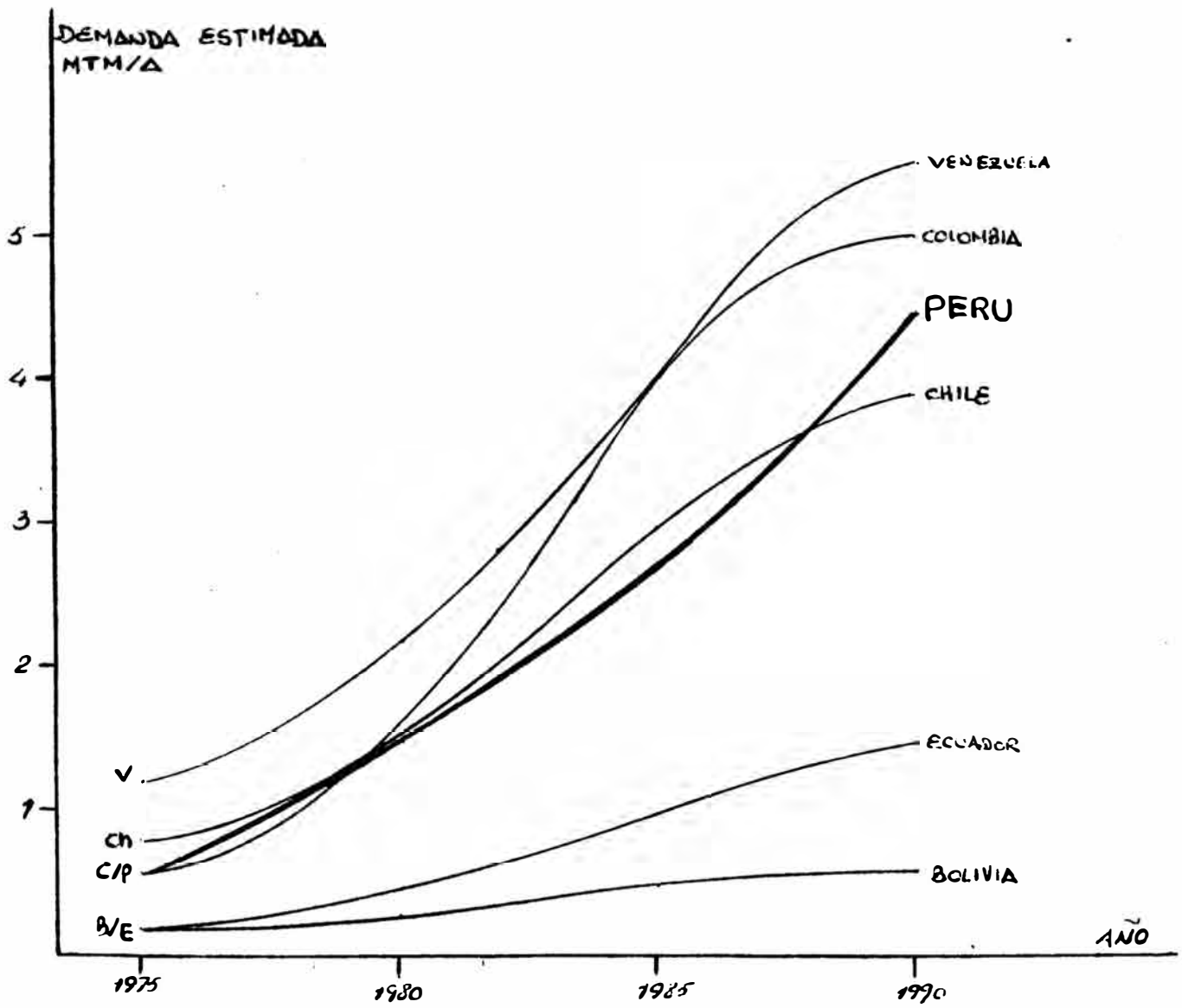
Por todo lo anterior ,y teniendo en cuenta una serie de factores adicionales (geográficos,históricos,etc.) ,el mercado de exportación más aparente es el formado por los países de la Subregión Andina ,o sea Venezuela ,Colombia ,Ecuador ,Bolivia y Chile .

En conjunto este mercado presenta una tasa anual promedio de crecimiento del orden del 11.7 % (inferior a la estimada para el Perú 13.4%) . Los mayores consumidores potenciales son Venezuela ,Colombia y Perú . Los mercados de Ecuador y Bolivia son los más pequeños y la suma de ambos cubre solo el 10 % del total de la demanda .

Dentro del total de la Subregión Andina ,el consumo de resinas ABS por el Perú es estimado inicialmente como el 17 % llegando posteriormente hasta el 21 % .

Para una visión más objetiva de la situación conviene referirse a la Tabla 1-2 y al Gráfico 1-1 ,adjuntos .

GRAFICO 1-1

Demanda de resinas ABS en el mercado

1.6. Tamaño de Planta

El tamaño de planta es determinado tanto por el pronóstico del volumen de mercado como por el tamaño mínimo económico y la disponibilidad de materia prima . El tamaño mínimo económico es aquel que permite lograr costos competitivos frente a plantas similares en otras localidades .

1.6.1. Tamaño de mercado

Si planificamos la planta para un mercado como el del Grupo Andino y asumimos que podremos operar bajo un régimen de protección de productos a nivel subregional ,podemos en este caso pensar en un tamaño de planta del orden de las 8,000 TM/A .

Se escoge este tamaño debido a que desde 1981 el volumen estimado del mercado es mayor que 8,000 TM/A ,lo que aseguraría con buena probabilidad que en los años siguientes capturemos un buen porcentaje del mercado ,utilizando un elevado porcentaje de la capacidad instalada y contando al mismo tiempo con una buena fuente de divisas para el país . Recién hacia 1988 el mercado peruano cubriría el 50 % del total de la capacidad instalada ,y el futuro desarrollo del mercado permitiría que se cubra el autoabastecimiento hasta 1993 por lo menos .

1.6.2. Tamaño mínimo económico de planta

El modo más sencillo de tratar de obtener el tamaño mínimo económico de planta es averiguando la capacidad de producción de las unidades similares recientemente construídas y en construcción en el mundo ,lo que se presenta en la tabla 1-3 (7,8).

TABLA 1-3

Plantas de resinas ABS recientemente construídas ó en construcción (7,8)

Lugar	Compañía	Capacidad MTM/A	Patente
EE. UU. (Illinois)	Marbon	54.5	---
Alemania Occident.	BASF A. G.	25.0	---
Italia	ANIC	24.0	---
U. R. S. S.	Takmashinsport	20.0	Asahi
Holanda	DSM	17.5	JSR
Japón	Toyo Soda	15.0	Toyo Soda
Japón	Idemitsu	10.0	JSR
Brasil	Petroquisa	10.0	JSR
Checoslovaquia	Chemopetrol	8.0	Mazuchelli
Brasil	Nitriflex SA.	7.0	JSR
India	Gujarat State F.	4.0	---
España	Arrabona	3.0	---
Escocia	Borg Warner Chems.	a 70.0	---
Italia	Montedison	a 11.0	Montedison
España	Arrabona	a 10.0	---
Inglaterra	ISR	a 10.0	JSR

De la información de la Tabla 1-3 se desprende que el proyecto más grande corresponde a la compañía Marbon ,la que es reconocida como una de las pioneras en la producción de resinas ABS . Sin embargo frente al tamaño de esta planta (54.5 MTM/A) también se encuentran en construcción otras plantas nuevas y ampliaciones de unidades existentes en tamaños bastante por debajo del de la planta de Marbon . Por esto para mercados de tamaño parecido al de la Subregión (caso Brasil ó Italia) ,una planta de 7 a 10 MTM/A puede ser considerada económicamente viable .

Todo lo anterior conduce a que una planta de 8 MTM/A puede ser considerada dentro del tamaño económico para la Subregión .

1.6.3. Disponibilidad de Materia Prima

El hecho de contar en el Nororiente peruano con reservas de petróleo descubiertas ,las que se comenzarán a explotar hacia mediados de este año al entrar en servicio el Ramal Norte del Oleoducto Norperuano permitirá que se cuente ,mediante la construcción de unidades de conversión adecuadas ,con la materia prima requerida.

En conclusión ,un tamaño de planta de resinas ABS de 8 MTM/A es el más adecuado y razonable para nuestro país .

1.7. Localización de Planta

La ubicación más adecuada para una planta de este tipo es en las cercanías de un Complejo Petroquímico que ponga a su disposición la materia prima necesaria . Adicionalmente ,este tipo de localización incluye la ventaja de una infraestructura establecida en lo que se refiere a comunicaciones y servicios industriales .

Dado que el Perú no contamos todavía con un Complejo Petroquímico , no se puede afirmar cual sería la ubicación de la planta . Sin embargo ,el hecho divulgado por la prensa de que se piensa instalarlo en Bayóvar ,punto final del Oleoducto Norperuano de Petróleos del Perú podría señalar que esta sería la localización ideal ,cumpliéndose además con la descentralización ,objetivo de la política industrial del gobierno .

El área industrial de Bayóvar contaría no solo con la presencia de plantas de proceso de hidrocarburos ,sinó que los proyectos de abonos fosfatados y de pigmentos de dióxido de titanio que impulsa Minero Perú contribuirían también a asegurar el despegue de la región convirtiéndola en un importante polo de desarrollo para el país.

Teniendo en cuenta las razones ya expuestas se escoge Bayóvar como el área más aparente para la instalación de la planta de resinas ABS.

1.8. Las resinas ABS en el mundo

Dado que ni el Perú ,ni el Area Andina presentan actualmente un consumo significativo para las resinas ABS ,es conveniente señalar como se las emplea en el resto del mundo mediante ejemplos en los EE.UU. y Gran Bretaña ,dos países altamente industrializados y grandes exportadores de artículos manufacturados .

1.8.1. Las resinas ABS en los EE.UU.

Los copolímeros del tipo ABS se encuentran actualmente en un acento excelente en los EE.UU. Siguiendo a una declinación de la producción en 1970 ,esta se elevó en un 37 % durante 1971 y en un 16 % en 1972 ,siendo este último crecimiento limitado por la capacidad instalada de las plantas .

El principal incremento de la producción para 1971/72 se debió a la creciente demanda de resinas ABS para fabricación de tuberías debido a su inclusión en muchas de las normas de la industria de la construcción civil ,y debido también a las ventajas que presenta frente a su competidor en esta industria ,el PVC. La Tabla 1-4 presenta un cuadro de distribución de las aplicaciones de las resinas ABS en los EE.UU. para 1972 y el estimado para 1977 (9) . El gráfico 1-2 muestra la curva de crecimiento del consumo de resinas ABS en los EE.UU.

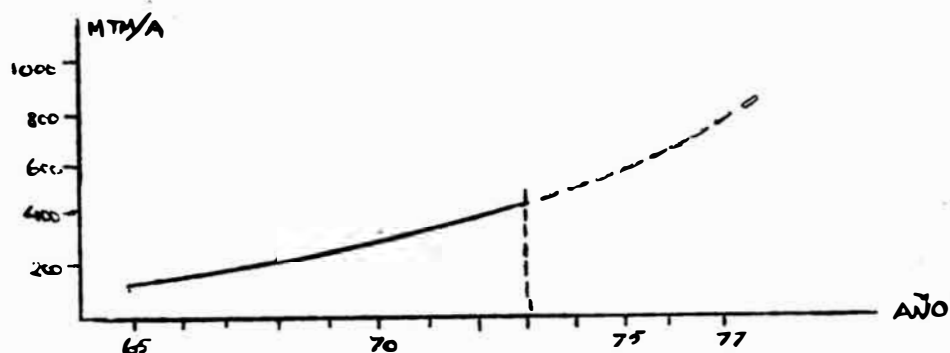
TABLA 1-4

Demanda de resinas ABS en los EE.UU.

	1972		1977 (est)	
	MTM	%	MTM	%
Tuberías y accesorios	79.5	21.6	174.8	23.9
Industria automotriz	54.5	14.8	102.2	14.0
Herramientas grandes	34.0	9.2	106.7	14.6
Herramientas pequeñas	15.4	4.2	27.2	3.7
Equipo de comunicaciones y máquinas comerciales	15.9	4.3	19.1	2.6
Vehículos de recreación	13.6	3.7	30.9	4.2
Muebles	15.9	4.3	42.2	5.8
Tacos de zapatos	6.8	1.9	4.5	0.6
Embalajes y maletas	9.1	2.5	11.4	1.5
Industria de juguetes	6.8	1.9	12.3	1.7
Industrias estatales	2.3	0.6	2.3	0.3
Otros	104.0	28.3	189.3	25.9
Exportaciones	10.0	2.7	9.1	1.2
T O T A L	367.8	100.0	732.0	100.0

GRAFICO 1-2

Curva de crecimiento del consumo de resinas ABS en los EE.UU.



1.8.2. Las resinas ABS en Gran Bretaña

Aunque Gran Bretaña no es un mercado tan grande como el que conforman los EE.UU. ,su consumo es también significativo para evaluar la incidencia de las resinas ABS en las distintas industrias. La tabla 1-5 es semejante a la anterior 1-4 (10).

TABLA 1-5

Distribución del consumo de resinas ABS en Gran Bretaña (en MTM)

	1965	1966	1967	1967 (%)
Revestimientos	1.3	1.6	2.1	20
Teléfonos	1.7	1.9	2.2	21
Herramientas	1.9	2.1	2.1	20
Industria automotriz (X)	0.4	0.7	1.1	10.5
Tuberías	0.5	0.8	1.1	10.5
Otras extrusiones	0.6	0.7	0.5	5
Maquinaria	0.6	0.7	0.9	8.5
Otros	0.5	0.5	0.5	5
T O T A L	7.5	9.0	10.5	---

(X) excluye revestimientos

1.8.3. Productores de resinas ABS en EE.UU. y Gran Bretaña

La Tabla 1-6 incluye la información sobre la capacidad instalada para producción de resinas ABS en los EE.UU. y Gran Bretaña por compañías .

TABLA 1-6Compañías productoras de resinas ABS en EE.UU. y Gran Bretaña

(capacidad de producción en MTM/A)

1. En los EE.UU.

<u>Compañía</u>	<u>Capacidad 1969/70</u>
Marbon (Borg Warner)	104.4
Monsanto	81.7
Uniroyal	90.8
Dow Chemical	31.8
Rexall	18.2
Otros	<u>31.8</u>
T O T A L	358.7

2. En Gran Bretaña

<u>Compañía</u>	<u>Capacidad 1966</u>
Marbon	10.0
Monsanto	2.0
Uniroyal (Stochem)	10.0
Otros	<u>5.0</u>
T O T A L	27.0

1.8.4. Conclusión

De toda la información anterior se puede concluir que las resinas ABS están cubriendo necesidades de una gran variedad de industrias las que requieren mayores cantidades año a año. Nuestros países deberán seguir el camino de las naciones más industrializadas y por ello utilizarán resinas ABS en mayor cantidad conforme a su grado de desarrollo industrial.

CAPITULO 2

POLIMEROS Y POLIMERIZACIONES

2. POLÍMEROS Y POLIMERIZACIONES

2.1. Polímeros

W.H. Carothers ,de la compañía Dupont ,fue uno de los que iniciaron los estudios para establecer las bases de la química de los polímeros en la década de 1930 . El definió a los polímeros como moléculas de gran tamaño formadas por la combinación de unidades químicas más simples que se conocen como monómeros (11). La cantidad de moléculas del monómero que se encuentran combinadas en una molécula de polímero es variable desde unos cientos hasta varias decenas de miles ; por lo tanto al hablar de polímeros nos estamos refiriendo a materiales cuyos pesos moleculares pueden estar en el orden de los millones ,sin embargo muchos de los polímeros que se encuentran normalmente tanto en los laboratorios como en aplicaciones prácticas se encuentran en un rango de pesos moleculares que va de 5,000 hasta 200,000 (12). Los polímeros pueden ser de origen natural ó producidos artificialmente por el hombre . Entre los primeros tenemos los ácidos nucleicos ,el caucho y la celulosa ; las proteínas deben considerarse como polímeros ya que poseen unidades que se repiten a lo largo de su estructura . Los polímeros de origen artificial son numerosos ,y entre ellos podemos citar el nylon-6,6 ,el polioloruro de vinilo (PVC) ,el polietileno y las resinas ABS (13).

La mayoría de los polímeros de origen artificial son sintetizados desde materia prima obtenida en la industria petroquímica ,y por ello su utilización en gran escala es relativamente reciente ya que el gran desarrollo de esta industria comenzó hacia 1950 . Estos polímeros tienen gran importancia ,ya que han sustituido a una gran cantidad de materias primas naturales debido a sus mejores características y a que tienen menores costos .

2.2. Historia de los polímeros artificiales

Los polímeros artificiales sorprendan tanto por la gran cantidad de aplicaciones que tienen como por el hecho de que la industria es bastante nueva . Los principios básicos de su preparación eran ya conocidos hace más de 80 años ,sin embargo sólo desde hace unos 25 años es que la mayoría de los polímeros artificiales que actualmente se utilizan se comenzaron a preparar por métodos realmente prácticos (14).

Los principales acontecimientos en la historia de los polímeros artificiales son los siguientes : (14,15)

1839 El inventor norteamericano Charles Goodyear descubre accidentalmente que el caucho natural se torna elástico al ser tratado con azufre .

1868 John Hyatt descubre el celuloide .

1879 Boucharadat obtiene de manera casual el caucho sintético al polimerizar el isopreno .

1880 Se sintetiza el perspex ,pero su constitución se desconoce .

1909 El químico belga Leo Baekland descubre las resinas de fenol y formaldehído ,logrando así el primer polímero de preparación enteramente artificial : la Bakelita .

Primera Guerra Mundial ... Al quedar Alemania aislada de las fuentes de abastecimiento de caucho natural obtiene caucho sintético a partir del isopreno .

años 20 ... El término plásticos comienza a formar parte del vocabulario popular . En Alemania Hermann Staudinger sugiere que el caucho está constituido por macromoléculas formadas por un gran número de unidades idénticas conectadas entre sí , con lo que establece aunque con oposición ,la idea de polímero . Se obtienen por vez primera el policloruro de vinilo y el poliestireno .

años 30 ... La compañía Dupont inicia una serie intensiva de investigaciones sobre polímeros . W.H. Carothers trabajando con ellos descubre en 1938 el nylon-6,6 .

R. Gibson y E. Fawcett descubren en 1933 el polietileno trabajando para Imperial Chemical Industries (ICI) . En 1938 Plunkett descubre accidentalmente el teflón al trabajar con tetrafluor etileno .

Segunda Guerra Mundial ... Al invadir el Japón las zonas de producción de caucho en Oriente ,los Estados Unidos e Inglaterra se ven obligados a utilizar masivamente es caucho sintético . Ale-

mania ,forzada por las circunstancias y en base a su experiencia anterior perfecciona sus métodos de obtención de caucho sintético .

1942 Se introducen los polésteres y el polietileno .

1947 Se descubren en los Estados Unidos las resinas epóxicas y las resinas ABS . La obtención de plásticos en base a derivados del petróleo se intensifica y se puede decir que la petroquímica inicia su vertiginoso desarrollo .

1954 Comienzan a utilizarse los métodos de polimerización de Ziegler-Natta que trabajaron por separado en Alemania e Italia respectivamente . Esta técnica ha conducido a la obtención de polímeros estereo-químicamente regulares de propiedades mejoradas .

2.3. Clasificación de los polímeros de acuerdo a su uso

Debido a la gran diferencia que existe entre los monómeros que se pueden emplear y combinar para formar polímeros ,estos existen con muy distintas propiedades y por ello con usos diferentes . Antes de entrar a clasificarlos ,conviene hacer unas definiciones relacionadas con las propiedades que nos permitirán diferenciarlos .

2.3.1-a. Elongación . Es una medida de cuan elástico es el polímero y se refiere a la magnitud que puede ser estirado respecto de su longitud inicial L . Se expresa como porcentaje .

$$E = (\Delta L / L) 100$$

- 2.3.1-b. Módulo . Es la resistencia a la deformación medida como la tensión inicial sobre una barra pequeña ,dividida entre $\Delta L/L$. Se expresa en unidades de fuerza sobre área .
- 2.3.1-c. Resistencia a la Tensión . Es la tensión requerida para romper una muestra de una sección determinada . También se expresa en unidades de fuerza sobre área .

Hechas las definiciones ,podemos clasificar a los polímeros en cuatro grupos : fibras ,plásticos flexibles ,plásticos rígidos y elastómeros (16).

- 2.3.2-a. Fibras . Las fibras son polímeros que tienen alta resistencia a la deformación . Soportan solo bajas elongaciones (menores que 50 %) y tienen valores altos tanto para el módulo como para la resistencia a la tensión (más de 50,000 psi) . Para que un polímero sea considerado como fibra debe contener cadenas polares con fuertes fuerzas secundarias . La temperatura de fusión cristalina debe ser mayor de 200°C (de modo de cubrir el rango de temperaturas de planchado para textiles) y menor de 300°C (de manera de facilitar su hilado) . Deben ser solubles en los solventes empleados para su hilado ,pero no solubles en los solventes que se utilizan en el lavado en seco . Su mayor aplicación está en el campo de las fibras textiles ,pero también se les usa para fabricación de cables . Como ejemplo típico de esta clase se puede citar la poli(hexametilén adipamida) más conocida como nylon-6,6 .

2.3.2 -bElásticos Flexibles . Estos polímeros poseen un amplio rango de temperaturas de fusión . Sus valores para el módulo y para la resistencia a la tensión varían entre moderados y altos (20,000-500,000 psi ; y 2,000-10,000 psi respectivamente). Sus elongaciones finales están entre 20 y 800 % .

Los miembros más representativos del grupo tienen valores para el módulo y resistencia a la tensión en los extremos inferiores de los rangos citados ; en cambio sus elongaciones se encuentran en el extremo superior . Como ejemplo típico de este grupo se puede nombrar al polietileno . El nylon-6,6 también puede ser considerado como plástico flexible en algunas aplicaciones .

2.3.2-c.Plásticos Rígidos . Son bastante diferentes de los plásticos flexibles ya que poseen alta rigidez y resistencia a la deformación . Tienen altos módulos (de 100,000 a 500,000 psi) ,entre moderadas y altas resistencias a la tensión (entre 5,000-12,000 psi) ,pero lo más significativo es que solo alcanzan elongaciones pequeñas del orden de 0.5 a 3 % antes de romperse . Los polímeros de esta categoría son amorfos con cadenas muy rígidas . Como ejemplos podemos nombrar a las resinas de fenol-formaldehído, de úrea-formaldehído ,y de melamina-formaldehído .

2.3.2-d. Elastómeros . Son el grupo de polímeros que pueden sufrir fácilmente amplias elongaciones reversibles (de 500 a 1,000 %) . Para esto se requiere que el polímero sea amorfo con bajas fuerzas secundarias de manera de obtener alta movilidad en la cadena del

polímero . Se requiere de algún grado de entrecruzamiento de las cadenas a fin de que las elongaciones sean reversibles . El ejemplo más típico de este grupo es el poli-isopreno ,que constituye el caucho natural y el sintético .

A fin de evitar confusiones ,a continuación se definen los términos plástico y resina .

2.3.3. Plásticos . Se consideran como plásticos a todas aquellas sustancias que son moldeables con el calor y/ó la presión (17) . De este modo ,este término al igual que el término metales designa a un grupo de sustancias similares producidas en transformaciones químicas a partir de materia prima natural ó proveniente de la industria petroquímica más frecuentemente . La mayoría de los plásticos son productos de la química orgánica ,lo que implica que sus componentes principales son carbono e hidrógeno ,pero también pueden incluir nitrógeno ,oxígeno ,azufre ,halógenos y/ó metales alcalinos (18) .

2.3.4. Resinas . Este término se aplicó originalmente a ciertos sólidos orgánicos naturales amorfos ,tales como el ambar ,los copales ,la colofonia ,la goma laca ,el dammar y la sandaraca . Actualmente el nombre de resina se suele adjudicar a polímeros sintéticos similares a las resinas naturales en cuanto a propiedades físicas y que son utilizados para moldear ,para obtener artículos por fusión y para recubrimientos superficiales protectores . Las resinas poseen enlaces cruzados ,y por ello estructura tridimensional (19) .

2.4. Formas de Polimerización

Desde que se inició el estudio científico de los polímeros ,ha existido y existe aún algo de confusión en cuanto a la manera de clasificarlos desde un punto de vista químico .

Son dos las clasificaciones que han encontrado mayor difusión ,y también las que han causado esta confusión . Una divide a los polímeros en los tipos de condensación y de adición ; en tanto la otra los separa en polímeros tipo paso y tipo cadena . La confusión proviene del hecho de que en general se emplea cualquier clasificación indistintamente y sin el menor cuidado . Frecuentemente los términos condensación y paso se emplean como sinónimos ,y lo mismo ocurre con adición y cadena ; esto se debe a que en realidad muchas veces estos términos se confunden ,pero esto no ocurre en todos los casos .

La clasificación de condensación/adición se aplica más en relación a la composición ó estructura de los polímeros ,en tanto que la de paso/cadena entra en el terreno de los mecanismos de las reacciones de polimerización (12) .

2.4.1. Clasificación de los polímeros por su composición y estructura .

Esta clasificación fue ideada por W.H. Carothers en 1929 y divide a los polímeros en polímeros de condensación y de adición sobre la base de la diferencia en la composición entre el polímero y los monómeros reaccionantes desde donde fue sintetizado . Posteriormente sufrió una modificación ya que algunos polímeros podían ser clasificados en ambos grupos con la consiguiente confusión .

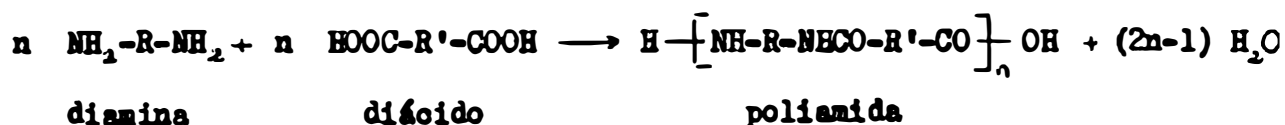
2.4.1-a. Polímeros de Condensación . Son aquellos formados desde monómeros multifuncionales por alguna de las varias reacciones de condensación de la química orgánica con la eliminación de moléculas pequeñas ,tales como las de agua .

En estos polímeros existe una serie de átomos que están enlazados en una forma que se repite muchas veces a lo largo de la molécula del polímero ; esta serie se denomina unidad básica . Las unidades básicas se encuentran unidas entre sí por grupos funcionales del tipo ester ,amina ,uretano ,sulfuro ó eter . Por lo tanto la estructura de un polímero de condensación es de la forma :



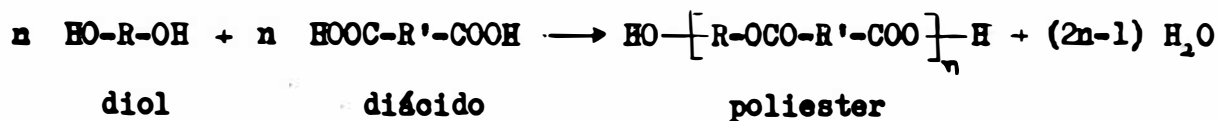
en la que -R- es un grupo alifático ó aromático , y -Z- es el grupo funcional que puede ser -OCO- , -NECO- , -S- , -OCONH- , -O- , -OCOO- , ó bien -SO₂- .

Un ejemplo clásico de polímeros de este tipo son las poliamidas que son sintetizadas desde una diamina y un diácido con eliminación de agua ; y los poliésteres formados desde dioles y diácidos también con eliminación de agua .



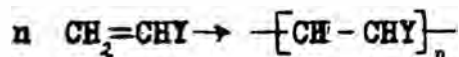
si R es (CH₂)₆... la diamina es la hexametilén diamina , y si R' es (CH₂)₄... el diácido es el ácido adípico ... entonces la poliamida es la poli(hexametilén adipamida) que se conoce comercialmente como nylon-6,6 .

Para un poliéster se tendrá :



2.4.1-b. Polímeros de Adición . Son aquellos que se obtienen por el encadenamiento de monómeros sin la eliminación de otras moléculas . A diferencia de los polímeros de condensación , presentan una composición similar entre la unidad básica y el monómero . Los principales polímeros de adición son aquellos que se obtienen desde monómeros no saturados (olefínicos) , los cuales sufren la ruptura del doble enlace para poder encadenarse convirtiéndose en cadenas saturadas .


Una reacción típica puede ser :



en la que Y puede ser cualquier grupo sustituyente .

Si Y es :

el polímero será :

-H	polietileno (politeno)
-CH ₃	polipropileno
-CH ₂ -CH ₃	polibutileno
-Cl	policloruro de vinilo (PVC)
-CN	poliacrilonitrilo
 (fenil)	poliestireno .

2.4.2. Clasificación de los polímeros por el mecanismo de polimerización .

Esta fue ideada por P.J. Flory en 1953 y complementa la clasificación de Carothers . Está basada en las diferencias significativas que han sido encontradas mediante trabajo experimental sobre los mecanismos de las reacciones por las cuales se forman las moléculas de polímero .

De este modo se tendrán polimerizaciones paso y polimerizaciones en cadena ,diferiendo principalmente en los efectos de tiempo de reacción-conversión ,y más específicamente en la cantidad de tiempo requerida para el completo crecimiento de una molécula de polímero hasta su tamaño final .

Es importante considerar el hecho de que existen polímeros que pueden ser ubicados tanto en el tipo paso como en el cadena ,dependiendo de la forma en que se lleve a cabo la reacción de polimerización . En algunos casos no existe diferencia estructural entre los dos polímeros obtenidos desde los mismos monómeros ,pero esto no es lo corriente y por lo tanto se pueden lograr polímeros de propiedades distintas en base a la forma de polimerización empleada .

2.4.2-a. Polimerización Paso . Procede por una reacción en etapas (pasos) discretos entre los grupos funcionales de los reactantes ; el tamaño de la molécula del polímero se incrementa lentamente de monómero a dímero ,a trímero ,a tetrámero ,y así sucesivamente hasta alcanzar el tamaño final .

De esto se infiere que los polímeros de alto peso molecular solo se lograrán muy cerca del fin de la reacción (cerca del 98 % de conversión) ,lo que indica que tanto el tamaño del polímero y la cantidad del mismo dependerán del tiempo de reacción .

2.4.2-b. Polimerización en Cadena . Este tipo de reacción requiere de un iniciador (mal llamado catalizador [†]) ,por medio del cual se genera una especie iniciadora R^\bullet con un centro reactivo que puede ser un radical libre ó un ión .

La reacción procede por las adiciones sucesivas de gran número de moléculas del monómero en una reacción en cadena ; esto ocurre en tiempos muy cortos (del orden de un segundo ó menos) .

Por lo tanto ,el polímero final se forma en tiempos cortos pero en poca cantidad. Esto implica que en todo momento existirán en la mezcla reaccionante moléculas de muy distintos tamaños ,desde monómeros hasta polímeros terminados . Es aquí que se nota más la diferencia respecto de la polimerización paso ,en la que el crecimiento de las moléculas es más lento y homogéneo .

Este crecimiento de la cadena del polímero cesa cuando el centro reactivo es destruído por alguna de las posibles reacciones de finalización (ver 2.5.3.) .

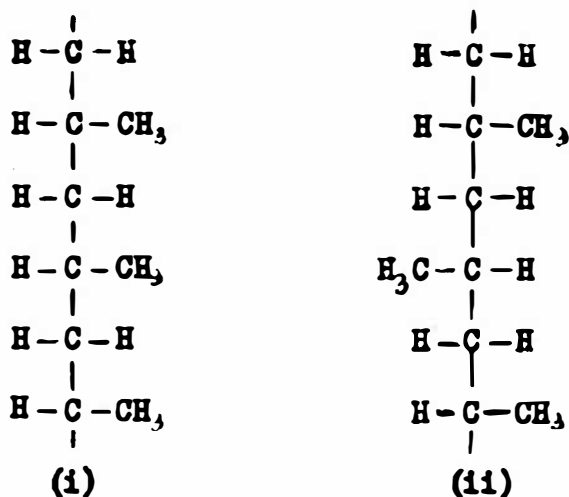
[†] los iniciadores no deben ser denominados catalizadores de una reacción de polimerización ,aunque en algunos casos se les llame así incorrectamente ; un verdadero catalizador puede ser regenerado y reutilizado en tanto que los iniciadores se emplean para generar las especies iniciadoras necesarias para que la reacción proceda ,y su concentración va hacia cero entanto el proceso va avanzando (28) .

2.4.3. Clasificación de los Polímeros por Estéreo-isomería .

Las poliolefinas pueden ser también clasificadas de acuerdo a la estructura espacial de sus cadenas y hablar por ello de la Tacticidad de un polímero .

La tacticidad se refiere al ordenamiento estérico que los grupos sustituyentes ,de los monómeros ,presentan en la cadena del polímero .

La mayoría de las poliolefinas cristalinas tienen sus cadenas ordenadas según una de las siguientes estructuras : (29)



Un polímero que contenga principalmente unidades repitentes de idéntica configuración estérica (estructura (i)) se denomina isotático . En tanto si contiene primordialmente unidades repitentes cuya configuración sea alternada (estructura (ii)) se denomina sindiotático . Si la cadena presenta un ordenamiento estérico completamente irregular en la configuración de las unidades repitentes ,el polímero es llamado atático . Finalmente un polímero completamente ordenado se denomina eutático (caso de un polibutadieno con todas las unidades cis ,ó trans) .

2.5. Criterios de Polimerización

Para que una sustancia pueda ser considerada como posible de polimerizarse se deben tener en cuenta criterios termodinámicos y cinéticos .

Desde un punto de vista termodinámico ,la reacción de polimerización



diferencia entre las energías libre standard del polímero y los monómeros es negativa .

La explicación de esto es sencilla si nos fijamos en la siguiente ecuación que relaciona el cambio de energía libre standard ΔG° , y la constante de equilibrio de la reacción K :

$$\Delta G^\circ = - RT \ln K$$

Si ΔG° fuese negativo ,el $\ln K$ sería positivo y por ello el valor de K sería mayor que la unidad ; esto indicaría que la reacción de polimerización procedería de izquierda a derecha . Mientras más negativo sea el valor de ΔG° ,mayor será el valor de K y la reacción esperada se verá tanto más favorecida (20,21).

En el caso contrario ,que ΔG° fuese positivo, K vendría a ser menor que uno lo que implicaría que se favorece la reacción de derecha a izquierda ,ó sea la descomposición del polímero en sus monómeros . Todo esto por si solo no es válido para aceptar que una reacción de polimerización es factible . Muchas veces una reacción es factible en laboratorios y al intentar pasar a una escala comercial no se logran los mismos resultados . Es por ello necesario analizar también los aspectos cinéticos del proceso .

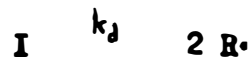
La cinética de las reacciones de polimerización es variable de acuerdo con el tipo de monómeros involucrados ,y con el tipo de mecanismo que gobierna el proceso .

Dado que los tres monómeros que forman las resinas ABS son olefínicos ,se consideran a continuación las etapas de una reacción de polimerización en cadena por radicales libres : (22)

- i- iniciación
- ii- propagación
- iii- terminación .

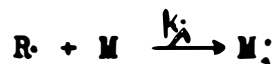
2.5.1. Iniciación . Involucra dos reacciones y todo proceso de polimerización por este mecanismo requiere de un iniciador .

En el caso más general ,se produce la disociación homolítica del iniciador para dar dos radicales



$R\cdot$ es llamado el radical iniciador o radical primario ,en tanto k_d es la constante de velocidad de reacción de la disociación del iniciador .

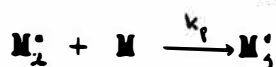
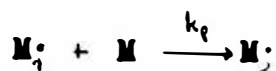
Luego $R\cdot$ se adiciona a una molécula del monómero M para producir la especie iniciadora de la cadena $M\cdot$

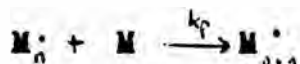


siendo k_i la constante de velocidad del paso de iniciación .

2.5.2. Propagación . Es el crecimiento de $M\cdot$ por adición sucesiva de gran número de moléculas del monómero . Cada adición crea un nuevo radical .

Aquí es donde se produce la cadena de reacciones :



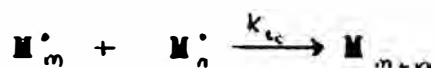


siendo k_p la constante de velocidad de la reacción de propagación .

El paso de propagación es muy rápido . Para la mayoría de los monómeros ,el valor de k_p se encuentra entre 100 y 10000 lt/mol-seg lo que significa un valor bastante alto para reacciones de segundo orden de otros tipos .

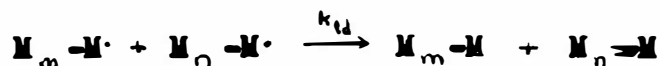
2.5.3. Terminación . Es la anulación de los centros reactivos en las especies propagadoras . Puede ocurrir de dos formas : por combinación ó apareamiento ,y por desproporciónación .

2.5.3-a. Combinación (Coupling) . Es la forma más simple y se presenta cuando dos especies propagadoras se unen entre sí :



k_{tc} es la constante de velocidad para terminación por combinación.

2.5.3-b. Desproporciónación . Es una forma menos frecuente y ocurre mediante la transferencia de un hidrógeno que se encuentre en posición β respecto de un centro reactivo ,este es transferido a otro centro reactivo lográndose la formación de dos moléculas de polímero ,una saturada y una no saturada :



k_{td} es la constante de velocidad para terminación por desproporciónación .

En todo caso ,la combinación de dos especies propagadoras conduce a un polímero muerto ó sin radicales ,por lo que no puede ya crecer .



Puede existir una mezcla de los dos procesos de terminación en la que la constante de velocidad de terminación vendría expresada como

$$k_t = k_{tc} + k_{td}$$

siendo k_t del orden de 10^6 a 10^8 lt/mol-seg .

El valor de k_t es siempre mayor que el de k_p (constante de velocidad de propagación) sin embargo ,este hecho no inhibe la propagación ya que las especies propagadoras siempre se encuentran presentes en concentraciones muy bajas . Empíricamente se puede decir que la velocidad total de polimerización es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad de la reacción de terminación .

2.6. Polimerización para Resinas ABS

La polimerización para resinas ABS involucra la reacción entre tres monómeros : acrilonitrilo ,butadieno y estireno .

Estos monómeros corresponden al tipo de monómeros no saturados , el butadieno es un dieno conjugado 1,3 y los dos restantes corresponden a radicales vinílicos monosustituídos (con un grupo ciano en el caso del acrilonitrilo y un grupo fenil en el caso del estireno) .

Por lo tanto puede esperarse que la polimerización ocurra por cadena de radicales ya que esta es la forma más fácil de promover la reacción en el caso de monómeros no saturados .

En la polimerización en cadena ,el proceso se inicia cuando una especie reactiva R^* es producida desde algún compuesto I llamado iniciador :



Esta reacción puede proceder de muy distintas maneras ,ya sea por ruptura de la molécula del iniciador ó por la formación de un ión como resultado de la pérdida ó ganancia de electrones .

De lo anterior se deduce que las especies reactivas pueden ser radicales libres ,cationes ó aniones . Estas especies R se añaden a la molécula del monómero abriendo el enlace π para formar una nueva especie reactiva del mismo tipo inicial ,luego el proceso se repite tantas veces como moléculas del monómero se adicionen sucesivamente propagando el centro reactivo (20).

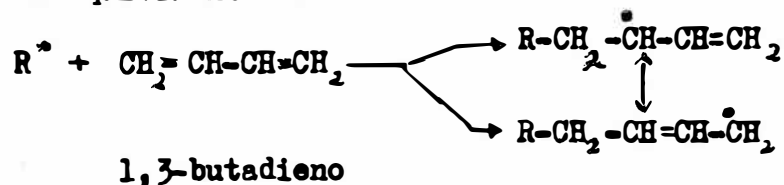
El crecimiento del polímero termina en cierto punto por la destrucción del centro reactivo en una reacción que depende de su tipo y de las condiciones particulares de operación .

El proceso que se emplea en muchas plantas de resinas ABS consta de dos etapas . En la primera se polimeriza el butadieno hasta que se forme un latex el que es conducido a la segunda etapa para que reaccione con los dos monómeros restantes y así lograr la resina ABS . Por lo tanto es necesario detallar estas dos reacciones de polimerización que son algo diferentes .

2.7. Polimerización del Butadieno

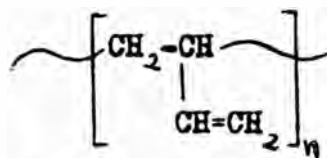
La polimerización del butadieno es un ejemplo clásico de las reacciones de polimerización de los dienos conjugados 1,3 ; esta puede ocurrir de dos maneras mediante una reacción en cadena por radicales libres .

Un iniciador R^* consigue que la molécula del dieno se transforme en un radical libre con solo un enlace doble el que se mantiene en forma resonante sobre los carbonos 2 y 4 respecto del carbono 1 ,al que se ha adicionado el iniciador . Por lo tanto las dos formas resonantes equivalentes son :

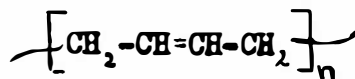


Luego la polimerización puede darse tanto en la carbono 2 como en el 4 ,lográndose así dos polímeros de estructuras diferentes . Si la reacción ocurre en el carbono 2 ,el polímero se denominará

1,2-poli-1,3-butadieno ; y en el caso de que se lleve a cabo en el carbono 4 1,4-poli-1,3-butadieno (23).



1,2-poli-1,3-butadieno



1,4-poli-1,3-butadieno

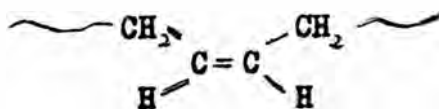
Los dos polímeros no son saturados ,el 1,2 tiene la parte no saturada pendiente en una cadena lateral en tanto que el 1,4 la tiene a lo largo de la cadena del polímero .

2.7.1. Polimerización 1,2

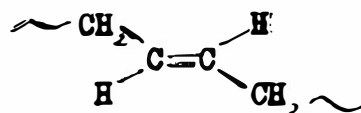
La polimerización en esta posición conduce a polibutadienos con isomerismo estérico y óptico ,lo que implica la posibilidad de tres tipos de estructuras poliméricas : isotácticas ,sindiotácticas y atácticas (ver 2.4.3.) (24).

2.7.2. Polimerización 1,4

Este tipo de polimerización conduce a una estructura con un doble enlace tipo π que se repite a lo largo de la cadena del polímero . Este doble enlace en cada unidad repitente da lugar al isomerismo estérico con las configuraciones cis ó trans (24)



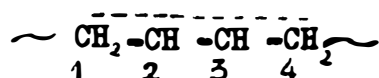
unidad repitente CIS



unidad repitente TRANS

2.7.3. Polimerización Estéreo-específica del Butadieno

Debido a lo señalado en los párrafos anteriores, la polimerización del butadieno es compleja debido al gran número de isómeros que es posible obtener. Esto es debido principalmente a la delocalización del radical libre sobre los carbonos 2 y 4 de la unidad repetente final :



Pese a ello es posible lograr un producto final en el que predomine algún isómero en especial lo que se consigue mediante el control de la temperatura de reacción y el empleo de iniciadores como los del tipo Ziegler-Natta .

El Doctor Karl Ziegler, trabajando en el Instituto Max Planck en Alemania, descubrió los iniciadores que ahora llevan su nombre cuando trataba de obtener polímeros de estructuras más uniformes que los que se conseguían habitualmente debido al isomerismo. Los iniciadores Ziegler están formados con los compuestos de metales polivalentes en combinación con agentes reductores, en particular organometálicos, los que sirven para reducir la valencia del metal polivalente a un estado inferior a su máximo y adecuado a las condiciones bajo las cuales la reacción de polimerización se lleva a cabo. Un ejemplo típico es el tetracloruro de titanio con algún compuesto organometálico del tipo R_3Al (25).

La selección de un determinado iniciador determinará el tipo de estructura polimérica predominante en el polímero final . La Tabla 2-1 indica algunos de estos iniciadores ,y el tipo de estructura predominante al que conducen (26)

Tabla 2-1 : Estructuras Poliméricas predominantes en la Polimerización Estéreo-específica del 1,3-butadieno .

<u>Sistema Iniciador</u>	<u>Estructura predominante</u>
$TiCl_4, AlR_3 : Al/Ti = 0.5$	91 % trans-1,4
TiL_4, AlR_3	95 % cis-1,4
$Ti(OR)_4, AlR_3$	100 % 1,2
$Cr(CN-\text{C}_6\text{H}_5)_6, AlEt_3 : Al/Cr = 2$	100 % 1,2 (sindiotático)
$Cr(CN-\text{C}_6\text{H}_5)_6, AlEt_3 : Al/Cr = 10$	100 % 1,2 (isotático)
$Co_2(CO)_8, MoCl_5$	99 % 1,2 (atático)
iniciador sódico tipo Ziegler	70 % 1,2

2.7.4. Polimerización del 1,3-butadieno para Resinas ABS

De todo lo anterior y sabiendo que para la formación de las resinas ABS es necesario que se adicionen los dos monómeros restantes a un latex de butadieno (o sea un polibutadieno) podemos concluir que se debe emplear un iniciador estereo-específico que fomente el polímero 1,2 con el objeto de que quede una cadena lateral para que la polimerización pueda continuar .

2.8. Polimerización de los alquenos monosustituídos

Este tipo de monómeros puede ser polimerizado en reacciones en cadena por radicales libres, por cationes ó por aniones dependiendo del tipo de iniciador empleado.

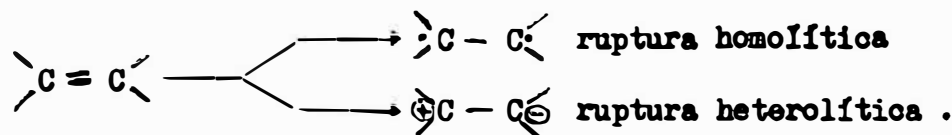
La Tabla 2-2 indica los tipos de iniciadores que se pueden emplear con los monómeros de las resinas ABS.

Tabla 2-2 : Iniciadores aparentes para los monómeros de las Resinas ABS. (20).

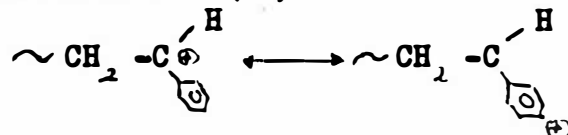
Monómero	Tipo de Iniciador		
	Radicales	Catiónico	Aniónico
1,3-butadieno	si	si	si
acrilonitrilo	si	<u>no</u>	si
estireno	si	si	si

De la tabla anterior se desprende que se puede emplear cualquier tipo de iniciador para el butadieno y para el estireno, en tanto que para el acrilonitrilo solo se pueden utilizar iniciadores por radicales ó aniónicos debido a los efectos de resonancia y electronegatividad que el grupo ciano causa en su molécula.

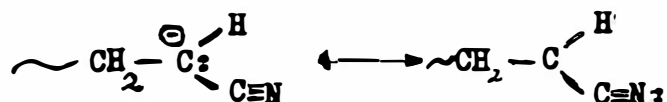
El enlace π en un alqueno puede romperse de dos formas: homolítica ó heterolíticamente, según la especie activada sea del tipo radical ó del tipo ión respectivamente



2.8.1-a. Polimerización con el grupo fenil como sustituyente. - Se presenta una delocalización de la carga positiva sobre el núcleo aromático, lo que causa una estabilización del ión carbonio formado (20).



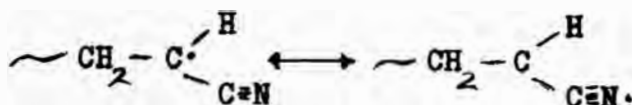
2.8.1-b. Polimerización con el grupo ciano como sustituyente. - Los sustituyentes como el grupo ciano $-\text{C}\equiv\text{N}$, son separadores de electrones por lo que favorecen el ataque de especies aniónicas al disminuir la densidad electrónica en el doble enlace. Las especies propagadoras aniónicas se estabilizan por resonancia, esta estabilización del carbanión de propagación ocurre por la delocalización de la carga negativa sobre el carbono y el nitrógeno del grupo ciano (20).



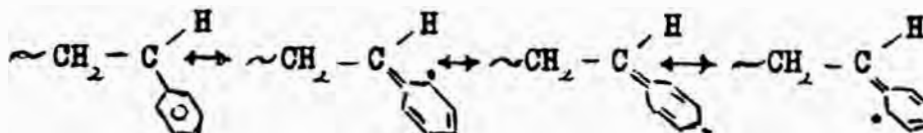
Los grupos fenil también pueden ser polimerizados por propagación aniónica ya que pueden formar especies resonantes similares a las del grupo ciano. Lo mismo puede decirse para los dienos 1,3.

2.8.1-c. Iniciadores por radicales. - Contrariamente a la selectividad mostrada por los iniciadores iónicos, casi todas las sustancias con doble enlace carbono-carbono pueden ser polimerizadas por radicales libres. Los radicales son eléc-

tricamente neutros y no precisan de requerimientos estrictos de estabilización, incluso con sustituyentes (20).



estabilización de radicales de poliacrilonitrilo



estabilización de radicales de poliestireno

2.8.2. Polimerización de los monómeros monosustituídos para Resinas ABS

Resumiendo lo anterior, la polimerización para las resinas ABS debe proceder mediante un iniciador por radicales ó por uno de tipo aniónico ya que en otro caso se inhibiría la polimerización del acrilonitrilo.

En la reacción de formación del latex de butadieno (polibutadieno) se puede emplear cualquier tipo de iniciador sin que se afecte la cinética del proceso químico; solo se debe cuidar que sea el adecuado para el tipo de polimerización deseada (ver Tabla 2-1).

CAPITULO 3

DISEÑO Y SELECCION DEL PROCESO

PARA LA PRODUCCION DE RESINAS ABS

3. DISÑO Y SELECCION DEL PROCESO PARA LA PRODUCCION DE RESINAS ABS

3.1. Diseño de Reactores de Polimerización

El proceso de polimerización de especies químicas se lleva a cabo en recipientes diseñados especialmente para cada caso, tratándose de lograr que el desarrollo de la reacción sea el óptimo en cuanto al tiempo que tarda y en cuanto a las condiciones de presión y temperatura imperantes en el sistema, primordialmente.

El tipo más común de reactor de polimerización es el tanque agitado (RTA). La preferencia por este reactor sobre los otros tipos reside en que se requiere de un desarrollo más simple para su operación, y en que poseen mayor flexibilidad para obtener productos diferentes.

La principal desventaja de un RTA es que requiere de un volumen de reacción relativamente mayor que el correspondiente a otros tipos, a fin de alcanzar un nivel de conversión dado; sin embargo las ventajas ya citadas compensan con creces esta desventaja para la mayoría de las aplicaciones prácticas (RTA).
 Básicamente existen dos tipos de ~~RTA~~ tanques agitados, clasificados de acuerdo a la presión de operación; si la presión es cercana a la atmosférica reciben el nombre de tanques simples, en tanto que si operan a presiones elevadas se denominan autoclaves. Una característica de los autoclaves es que en general operan a la temperatura adiabática de reacción, por lo que no requieren de equipo de transferencia de calor para el proceso. Los RTA utilizan un sistema de agitación mecánica que tiene por objeto

mejorar la dispersión del monómero (y más adelante del polímero) a través de la fase acuosa que forma el medio reaccionante, lo que se logra mediante áreas de contacto interfacial tan grandes como $1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (como referencia los materiales de relleno de equipos de transferencia de masa tienen áreas cinco veces más pequeñas). El sistema de agitación también permite que se mejoren las condiciones de transferencia de calor con lo que se puede lograr un control más eficaz del proceso. En los RTA cuyo volumen es superior a los 20 m^3 , el equipo de agitación se instala generalmente en la base del tanque; en tanto que en los reactores más pequeños, el eje se coloca preferentemente por la parte superior de los mismos (27,28). Los RTA ^{Tanques agitados} son relativamente simples en principio, aunque para su diseño sea necesario considerar las siguientes variables.

3.1.1. Condiciones de Operación. Son propias para cada sistema que se considere. Las dos variables más importantes en este grupo son la presión y la temperatura de reacción.

3.1.2. Velocidad de Producción. Sirve para determinar el tamaño del reactor, el tiempo de residencia y los equipos conexos.

3.1.3. Modo de Operación. Este puede ser de tipo batch (por lotes) ó de tipo continuo. Usualmente los RTA de polimerización son de tipo batch, aunque en algunos casos se emplean baterías de reactores que operan en forma continua (como con los cauchos SBR). Los RTA batch admiten una carga, la procesan, son descargados y luego vuelven a cargar para reiniciar el ciclo.

3.1.4. Cinética de la reacción química . Todo modelo de diseño de cualquier tipo de reactor requiere de que se conozca ó de que se asuma (en base a trabajos experimentales) el mecanismo y la velocidad de la reacción química que se está considerando . Esta información puede ser lograda mediante experimentos en laboratorio ó en minireactores piloto que podrían permitir posteriormente el escalamiento de tamaño ; esta última práctica es utilizada por grandes compañías de diseño como la Chiyoda (Japón) y la Pullman-Kellogg (EE.UU.)

3.1.5. Transferencia de masa . Se requiere que exista un adecuado contacto entre las especies reaccionantes a fin de lograr el producto esperado en un tiempo de reacción razonable . La transferencia de masa se controla mediante un adecuado equipo de agitación que permita grandes áreas de contacto interfacial

3.1.6. Agitación mecánica . Se requiere de una buena agitación para que ,en adición a lo anterior ,se logre mejorar el coeficiente de transferencia de calor y se pueda tener un mejor control sobre la temperatura de reacción .

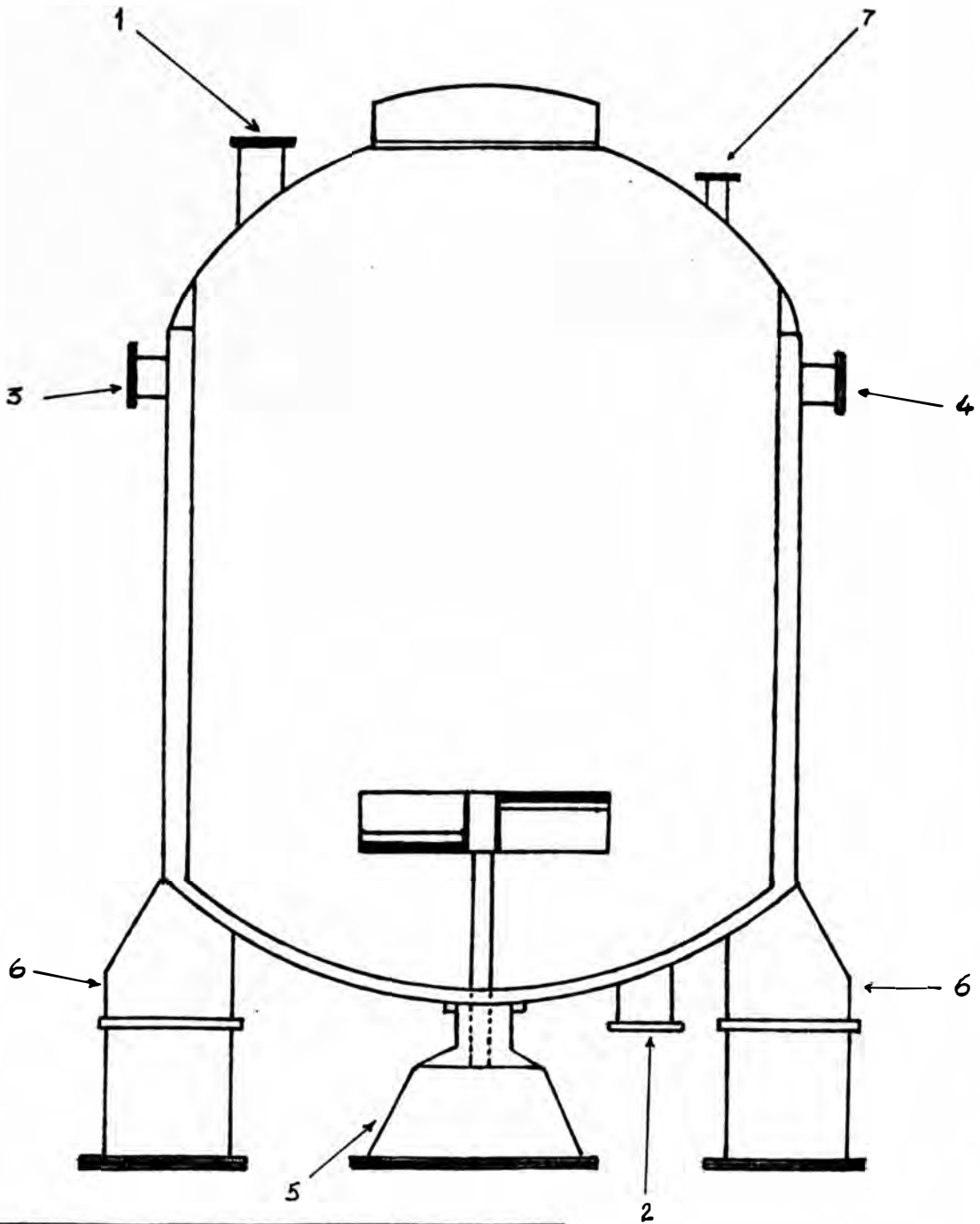
3.1.7. Transferencia de calor . La mayoría de las reacciones de polimerización son exotérmicas y por ello se requiere de que el reactor cuente con medios de remoción de calor como serpentines internos , camisa de enfriamiento ,ó bien un intercambiador externo de calor para un reciclo de la mezcla reaccionante . Un control adecuado de la temperatura de reacción permitirá que se logren productos más homogéneos y de mayor calidad .

3.1.8. Sistemas de Control de Presión y de Temperatura . En general el sistema de control de un RTA ^{Tanque agitado} es de tipo doble ,con circuitos independientes para el control de la presión y temperatura . Un elemento medidor de presión controla a esta en el espacio vacío sobre la mezcla reaccionante ,y con ello también el sistema de seguridad (usualmente un disco de ruptura) . Un elemento de control de temperatura regula el flujo del fluido de refrigeración a través del sistema del mismo nombre . Adicionalmente puede existir un sistema de control de nivel que actúa sobre una válvula de control del flujo de entrada y/o de salida .

3.1.9. Materiales de Construcción . Los puntos 3.1.1/2/4/7 anteriores son los que más van a influir en la selección del material adecuado ,el que no debe ser atacado ni influir sobre el sistema reaccionante . Los materiales más usuales en reactores de polimerización son los aceros (en sus distintos tipos) y el vidrio reforzado .

3.1.10. Costos . Siempre deben ser considerados ya que el factor final que decide entre alternativas viables es siempre el costo real del sistema operativo ,el que incluye inversión y costos de operación y mantenimiento .

El esquema adjunto representa un RTA típico para procesos de polimerización .



Nº	DESCRIPCION
1	CONEXION DE ENTRADA DE REACTANTES
2	CONEXION DE SALIDA DE PRODUCTOS
3	CONEXION DE ENTRADA DE REFRIGERANTE
4	CONEXION DE SALIDA DE REFRIGERANTE
5	EQUIPO DE AGITACION MECANICA
6	SOPORTES ESTRUCTURALES
7	CONEXION PARA EQUIPO DE SEGURIDAD

**ESQUEMA DE UN
REACTOR DE
POLIMERIZACION**

Dib. LDK

UNI - 1978

3.2. Selección del Proceso

Las resinas ABS pueden ser producidas por procesos de tipo Polimezcla (Polyblend) ó del tipo Inclusión (Graft).

En general los polímeros producidos por técnicas de Polimezcla poseen menor resistencia al choque que sus similares producidos por Inclusión ya que estos últimos poseen una estructura más homogénea en los tres monómeros . Adicionalmente la reacción de polimerización por Inclusión es más fácilmente controlable ; por estas dos razones es que la tendencia mundial se dirige hacia la utilización de este tipo de procesos .

La Tabla ~~14~~ ^{siguiente} contiene una relación de licenciadores de procesos de producción de resinas ABS .

Tabla 3-1 - Licenciadores de Procesos para la Producción de Resinas ABS
(27)

Licenciador	País	<u>Tipo</u> de Proceso
Daicel	Japón	Inclusión/suspensión
Dow Chemical	EE.UU.	Inclusión
Firestone	EE.UU.	Inclusión
Goodrich	EE.UU.	Inclusión
Japan Synthetic Rubber	Japón	Inclusión/emulsión
Kanegafuchi Chemical Co.	Japón	Inclusión/emulsión
Marbon Chemical Div.	EE.UU.	Inclusión
Monsanto Chemical Div.	EE.UU.	Polimezcla
Nougatal	EE.UU.	Inclusión
Rexall	EE.UU.	Inclusión

Lo anterior nos conduce a poder concluir que si seleccionamos un proceso ,este debería ser del tipo Inclusión por las ventajas ya mencionadas .

Entre los procesos de este tipo destacan dos de los licenciadores incluidos en la tabla 3-1 : el de la Japan Synthetic Rubber (JSR) y el de la Marbon Chemical (MCh) .

El proceso JSR se emplea actualmente con buenos resultados en el Brasil ,Holanda ,Gran Bretaña y Japón ; en el Brasil es el único proceso que se emplea en las dos plantas . Esta tecnología ha sido desarrollada en conexión con las técnicas de producción del caucho sintético tipo SBR .

El proceso MCh tiene el respaldo de haber sido desarrollado por una de las compañías pioneras en la producción de este tipo de resinas ; además tiene el aval de la Corporación Borg-Warner .

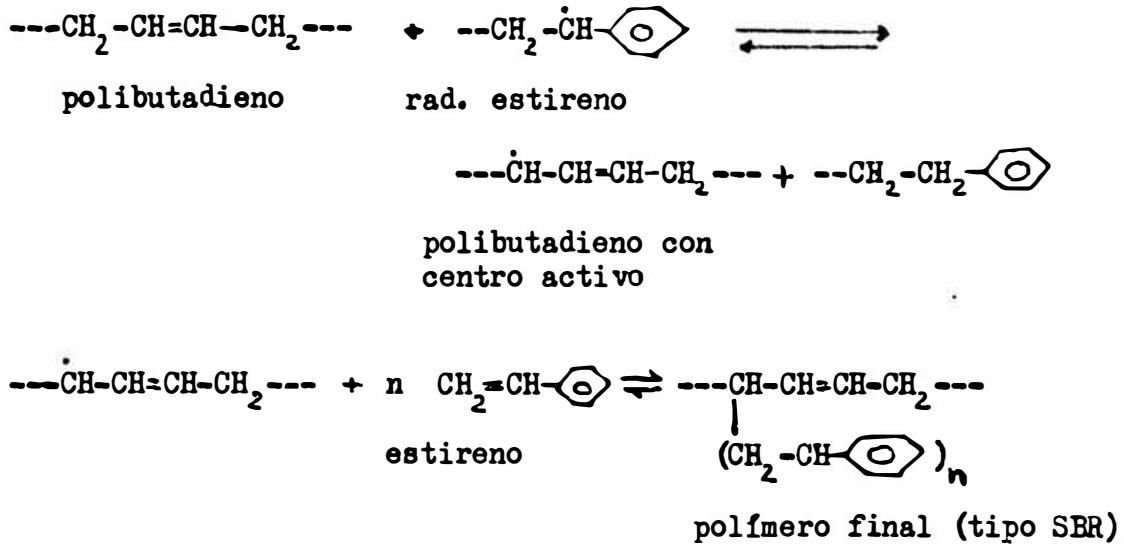
En la sección 3.4 se describen estos dos procesos .

3.3. Procesos de Polimerización Tipo Inclusión

Los copolímeros del tipo Inclusión contienen una cadena lineal de un monómero con ramificaciones formadas por cadenas de los demás monómeros (31) . La síntesis de un copolímero de este tipo requiere de la formación de un centro reactivo en la molécula del polímero base en presencia de un monómero polimerizable por tal mecanismo . La mayoría de los métodos que se emplean involucran el uso de técnicas de polimerización por radicales libres .

El proceso ocurre por transferencias en cadena ,y en la mayoría de los casos implica la abstracción de un átomo de hidrógeno .

Por ejemplo para formar el copolímero por inclusión del estireno con el polibutadieno ,ocurren las siguientes reacciones:



3.4. Descripción de Procesos de Producción de Resinas ABS Tipo Inclusión

A continuación se describen los procesos JSR y MCh ,ya mencionados.

3.4.1. Descripción del Proceso Japan Synthetic Rubber (JSR)

Este proceso consiste principalmente de las siguientes secciones :

- i- preparación de la materia prima y de la solución de relleno.
- ii- polimerización del latex del caucho.
- iii- polimerización de ABS.
- iv- coagulación y secado.
- v- acabado y despacho de productos. (29)

3.4.1.a. Preparación de la materia prima y de la solución de relleno .

Las materias primas principales (los monómeros) y los productos auxiliares son transferidos desde la zona de almacenamiento para ser adecuadas a los requerimientos de las secciones de conversión. Los distintos tipos de soluciones de los productos químicos auxiliares son preparadas de acuerdo al grado del ABS a ser producido.

La centralización de todas estas unidades de adecuación de la materia prima y auxiliares tiene como resultado la racionalización de toda la planta y la minimización de las necesidades de trabajo de la misma .

3.4 .1 .b Polimerización del latex de caucho .

El butadieno purificado se carga en un reactor especial conjuntamente con los químicos auxiliares (emulsificantes y aditivos de polimerización) . Se deja reaccionar la mezcla bajo condiciones apropiadas de presión y temperatura hasta alcanzarse la formación de un latex ,este se envía a una serie de separadores con el objeto de recuperar el monómero no reaccionado .

El butadieno que no forma parte del latex se separa por saturación al vacío para ser reciclado al reactor . El latex se envía a la siguiente etapa de polimerización .

3.4 .1 .c Polimerización de ABS .

El latex de butadieno ,y los monómeros restantes (acrilonitrilo y estireno) son alimentados al reactor donde se lleva a cabo la polimerización final en presencia de productos químicos auxiliares . El tiempo de reacción no es excesivo y muchos monómeros se incluyen en la cadena del latex de polibutadieno formándose el latex ABS el que es transferido a la sección de coagulación .

3.4 .1 .d. Coagulación y Secado .

El latex ABS es alimentado en forma continua a esta sección donde luego de ser diluido le es agregado una serie de agentes de coagulación . La mezcla resultante es deshidratada hasta alcanzar la

especificación de contenido de agua . El polvo seco es llevado a tolvas de almacenamiento y luego es transferido a la sección de acabado por medio de transportadores neumáticos .

3.4.1.e. Acabado y Despacho de Productos .

El proceso de acabado varía de acuerdo a la forma del producto final que puede ser polvos ó pellets .

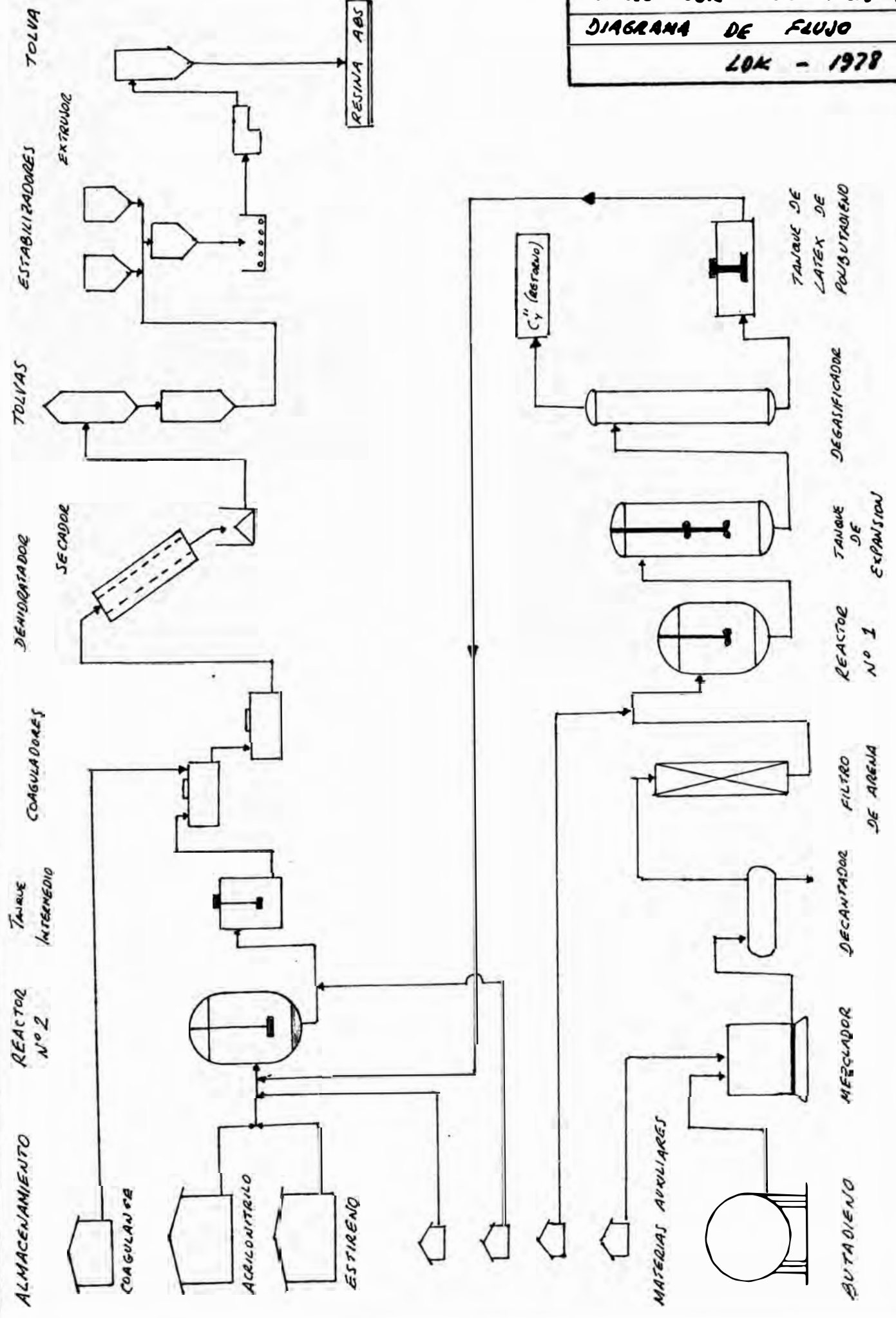
Mezcla de polvos - El polvo seco de ABS es mezclado con los aditivos necesarios tales como estabilizadores ,lubricantes ú otros. Se embala en forma de polvo y se almacena .

Pellets - El polvo mezclado es nodulizado por medio de un extrusor tomando las precauciones necesarias para lograr un producto de alta calidad . Luego el producto se almacena .

El despacho de productos puede ser hecho en sacos ó a granel utilizando transportadores neumáticos ; la selección es hecha por el cliente .

Se adjunta el diagrama de flujo del proceso JSR .

PLANTA DE RESINAS ABS
 PROCESO JSR - TIPO INCLUSION
 DIAGRAMA DE FLUJO
 LOK - 1978



3.4.2. Descripción del Proceso de Marbon Chemical (MCh)

La manufactura de las resinas ABS por este proceso involucra tres etapas de polimerización . Referirse al diagrama adjunto . (32)

3.4.2.a. Producción del latex de Polibutadieno .

Se alimenta butadieno ,agua ,un agente emulsificador y otros aditivos químicos a un reactor (revestido interiormente con vidrio) . Esta reacción es exotérmica y se alcanza un 80 % de conversión en aproximadamente 50 horas ; el butadieno no convertido se separa por despojamiento con vapor para ser reciclado al proceso .

3.4.2.b. Saturación del latex de Polibutadieno .

En una reacción a baja presión en un reactor que utiliza una atmósfera de nitrógeno se continua la polimerización del latex utilizando los monómeros restantes . El acrilonitrilo y el estireno se enlazan con la cadena del latex en los lugares no saturados remanentes del primer paso .

3.4.2.c. Etapa final de producción .

Se produce un latex de estireno y acrilonitrilo (SAN) en otro reactor bien sea utilizando técnicas de emulsión ó de suspensión ; esta reacción se lleva a cabo en un recipiente de acero inoxidable a 75°C y unas 5 psig por unas 7 horas . La etapa final consiste en la inclusión mutua entre los dos latexs en presencia de lubricantes, pigmentos ,antioxidantes ,y estabilizadores .

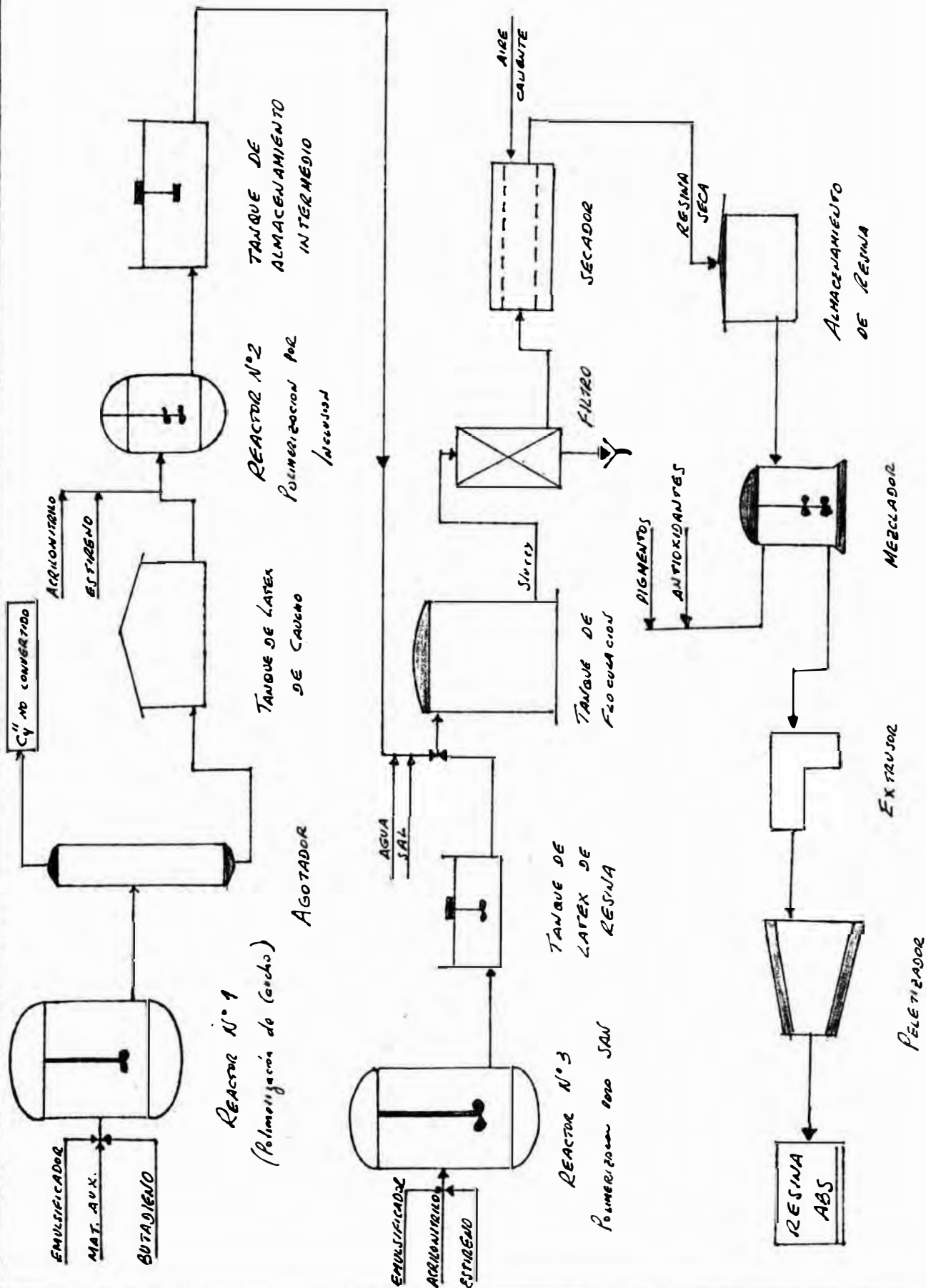
El producto resultante es transformado en un slurry de partículas muy finas de resina por medio de una floculación química para ser posteriormente filtrado y secado en un lecho fluido estándar con aire precalentado a 120-130°C .

PLANTA DE RESINAS ABS

PROCESO MARBON-TIPO INCLUSION

DIAGRAMA DE FLUJO

LDK 1978



3.4.3. Selección del Proceso .

Los dos procesos descritos en los párrafos anteriores son confiables y emplean casi el mismo número de equipos básicos para obtener las resinas ABS .

Sin embargo dado que en los últimos años se ha comercializado más el proceso JSR a nivel mundial es que seleccionamos este sobre el MCh .

En lo que sigue la información es sólo aplicable al proceso JSR. (29)

3.5. Requerimientos de Materias Primas y Servicios Industriales

La materia prima requerida para los distintos tipos de resinas ABS es variable ya que los tipos tienen diferencias en su composición . Igualmente los requerimientos de servicios industriales también varían de tipo a tipo (29) .

3.5.1. Programa de Producción por tipos

Un promedio de los tipos que deberían producirse puede ser estimado usando como referencia los programas de producción de otras plantas así como las demandas de otros países . Así se tendría :

<u>Tipo</u> de resina ABS	<u>%</u> Total Producido	Producción TM/A (x)
# 10	10	680
# 15	15	1020
# 12 - 21 - 82	30	2040
# 17	5	
# 35	20	1360
# 38	20	1360
TOTAL	100	6800

(x) Para un factor de servicio de 0.85 ,el que incluye días de producción neta y días de parada para limpieza de equipos por cambio de tipo producido .

3.5.2. Requerimientos de Materia Prima .

El programa de producción antes mencionado requiere de la siguiente cantidad de materia prima .

Materia Prima	<u>TM/TM</u> resina (a)	<u>Requerimiento</u>	<u>TM/año</u>
Butadieno (b)	0.155	1054	
Estireno	0.426	2897	
Acrilonitrilo	0.209	1421	
Copolímero SAN	0.248	1686	
Aditivos Químicos	0.020	<u>136</u>	
T O T A L	1.058	7194	

(a) relación promedio para el programa de producción de 3.5.1.

(b) puede recuperarse 7.3 % de butadieno no convertido con una pureza del 77 % p (aproximadamente) .

3.5.3. Requerimiento de Servicios Industriales .

Para el programa de producción antes mencionado ,estos son en promedio como sigue .

Servicio	Cantidad	Unidades/TM resina
Electricidad	5.74	100 Kw
Vapor - alta presión	0.80	TM
- baja presión	1.78	TM
Agua - enfriamiento	0.91	100 TM
- calderos	3.76	
- clarificada	23.76	
Nitrógeno	5.35	n m ³

3.5.4. Especificaciones de la Materia Prima

Los monómeros que se utilicen en el proceso JSR deben cumplir a lo menos las siguientes especificaciones .

	<u>Pureza mínima</u>	<u>Apariencia</u>
Butadieno-1,3	98 % peso	clara
Estireno	99.7 % peso	clara como agua líquida
Acrilonitrilo	99.7 % peso	incolore sin partículas en suspensión .

3.6. Requerimientos de Mano de Obra Directa

Los requerimientos de personal operativo para la planta (excluye la parte administrativa) se indican a continuación .

<u>Personal</u>	<u># hombres/día</u>	<u># hombres/turno</u>	<u>Total</u>
Jefe de planta	1	0	1
Capataces	0	1	3
Operadores	3	9	30
<u>Obreros</u>	<u>3</u>	<u>8</u>	<u>27</u>
TOTAL	9	18	61

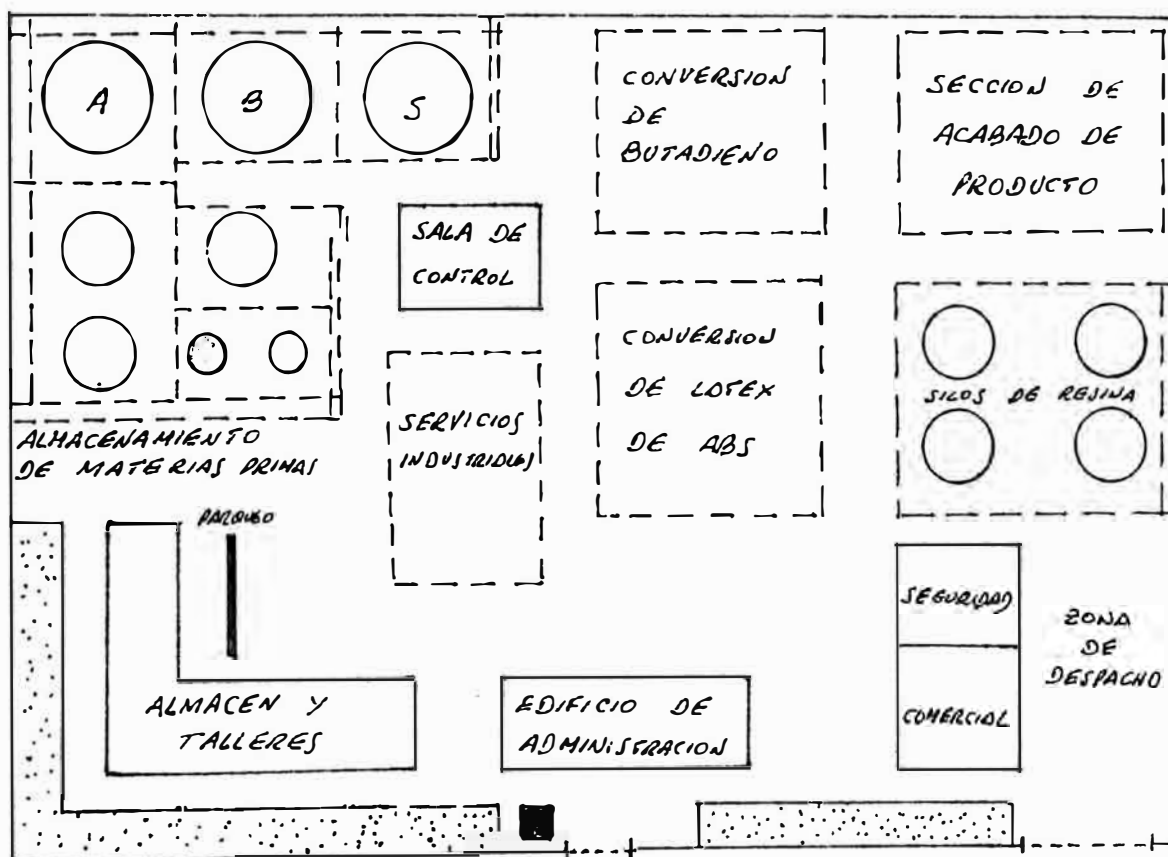
3.7. Vida Util de los Equipos

Considerando que en el proceso de polimerización no están involucrados ácidos ni agentes caústicos ,y que además las condiciones de presión y temperatura son moderadas podemos concluir que con un adecuado programa de mantenimiento preventivo se podría lograr una vida útil de 15 años sin reparaciones mayores ,

3.8. Disposición Preliminar de Planta

Se puede considerar que una planta de resinas ABS con proceso tipo inclusión y una capacidad de 8 MTM/A ocuparía un área aproximada de 50,000 metros cuadrados (250 x 360 m) .

En forma preliminar se muestra el siguiente esquema de disposición de planta .



DISPOSICION PRELIMINAR DE PLANTA

escala 1 : 25

CAPITULO 4

EVALUACION ECONOMICA

4. EVALUACION ECONOMICA

4.1. Criterios de Evaluación

La evaluación económica que se presenta a continuación no ha sido realizada siguiendo el procedimiento clásico de asumir el precio de venta del producto para luego sobre esa base calcular la rentabilidad de la inversión , generalmente con el llamado "Método del Inversionista" ó de la Tasa Interna de Retorno (Tasa DCF) .

En esta evaluación se deja el precio como incógnita para ser calculada al final del procedimiento mediante el Flujo Neto de Fondos para varias tasas de interés DCF . Una gráfica de los resultados así obtenidos permite que se disponga de una visión más amplia de la relación Rentabilidad / Precio de Venta .

La moneda utilizada en todos los cálculos es el dólar de Estados Unidos (US \$) con el objeto de minimizar la sensibilidad de la evaluación frente al fenómeno inflacionario .

El período de estudio final de la planta ha sido estimado en un año , y el de contrato y construcción en dos . Por esto es que todos los costos operativos han sido estimados para 1982 , año de inicio de operaciones .

Se han considerado dos casos :

-Caso 1 : Precios de Materia Prima y de Ventas Constantes . Esto significa que se asume que la tasa de inflación iguala a la tasa de devaluación de la moneda por lo que el incremento de los precios no se "siente" en la evaluación .

-Caso 2 : Precios de Materia Prima y de Ventas incrementándose 6.5% anual . Aquí se considera la desigualdad de las tasas de inflación y de devaluación por lo que es un caso más realista . La tasa de incremento anual compuesta del 6.5 % ha sido elegida teniendo en cuenta el hecho de que actualmente los aumentos de precios de productos a nivel mundial viene correlacionada con los aumentos en los precios del crudo fijados por la OPEC y precisamente este valor es el promedio proyectado (de las alzas de OPEC y de otros factores) .

4-2. Inversión

La inversión requerida para una planta de Resinas ABS de 8000 TM/año mediante el proceso JSR puede ser estimada en 18.1 MM US \$,excluyendo el capital de trabajo y los intereses durante la construcción .

Esta inversión ha sido estimada en base a una propuesta presentada en 1971 ,la que fue actualizada con los índices de costos de la Union Carbide (33) para plantas de este tipo y con los índices de la Chemical Engineering proyectados para tener el estimado a 1980 . (ver Tabla 4.1)

4-3. Financiamiento

Se ha considerado que es necesario financiar la totalidad de la inversión requerida ,exceptuando el capital de trabajo ; las siguientes son las condiciones de financiación asumidas en base a promedios de préstamos reales :

Monto Financiado	18 137 M US \$
Interés	7 % anual al rebatir
Período de Gracia	4 años

Período de Pago 4 años

Forma de Pago 8 semestralidades

Forma de recepción de fondos .. 2 entregas por el 20 % c/u el primer año de construcción ; 2 entregas por el 30 % c/u el segundo año. Entregas semestrales .

El calendario de financiamiento se presenta en la Tabla 4-2 .

4.4. Programa de Producción y Ventas

Se han considerado 15 años de operación de la planta con un factor de servicio igual a 0.85 ,lo que significa que la capacidad real de producción de la planta será 6800 TM/año.

En base al crecimiento esperado del mercado (cap. 1) se ha calculado el exceso exportable de la producción sin hacer distinción sobre quién sería el comprador asumiendo que en la subregión será posible colocar el producto con seguridad . (ver tabla 4-3) .

4.5. Costos Fijos

En este rubro se incluye el costo de la mano de obra directa e indirecta (personal administrativo) ,los seguros ,el mantenimiento (inc.repuestos) y la depreciación de la inversión .

4.5.1. Costo de la Mano de Obra

Teniendo en cuenta el personal requerido según el capítulo anterior se han estimado los salarios indicados a continuación :

	\$/mes	\$/año	núm.	\$/año (total)
Jefe de Planta	300	4200	1	4200
Capataces	220	3080	3	9240
Operadores	150	2100	30	63000
Obreros	100	1400	27	37800
			Total	114240 US \$/año

El costo de la mano de obra indirecta (personal administrativo) ha sido estimado como el 45 % del correspondiente a la mano de obra indirecta calculado anteriormente . Así se tiene :

Costo de Mano de Obra indirecta	0.45(114.2) =	51.4 M US \$/año
Costo de Mano de Obra directa		<u>114.2 M US \$/año</u>

Total Mano de Obra ----- 165.6 M US \$/año

4.5.2. Seguros

Han sido estimados como el 1 % de la inversión, excluyendo capital de trabajo, como costo anual ó sea :

$0.01(18137.9) = 181.4 \text{ M US } \$/\text{año}$

4.5.3. Mantenimiento

El mantenimiento incluyendo los repuestos necesarios ha sido estimado como el 3.5 % de la inversión anualmente ,esto es :

$0.035(18137.9) = 634.8 \text{ M US } \$/\text{año}$

4.5.4. Depreciación

La depreciación de la inversión se realiza en forma lineal en 10 años ,en tanto que el activo intangible formado por los intereses durante el período de construcción se deprecia también linealmente en 5 años . Así se tiene :

años	Dep. Inversión	Dep. Act. Intangible	TOTAL DEPRECIACION
1982-1985	1013.8	292.0	2105.8
1986	1013.8	292.1	2105.9
1987-1990	1013.8	-	1013.8
1991	1013.7	-	1013.7

Resumiendo los costos fijos anteriores se tiene : (en M US \$/año)

años	Mano de Obra	Seguros	Mantenimiento	Depreciación	TOTAL
1982-85	165.6	181.4	634.8	2105.8	3087.6
1986	165.6	181.4	634.8	2105.9	3087.7
1987-90	165.6	181.4	634.8	1813.8	2795.6
1991	165.6	181.4	634.8	1813.7	2795.5
1992-96	165.6	181.4	634.8	-	981.8

4.6. Costos Variables

Los Costos Variables incluyen el costo de las materias primas y el de los servicios industriales .

4.6.1. Costo de Materias Primas

Se han estimado utilizando los precios FOB Estados Unidos para Octubre de 1977 según el Chemical Marketing Reporter .

A estos precios FOB se les ha llevado a 1982 mediante incrementos anuales del 6.5 % , luego se les ha adicionado un flete (a granel) de 60 US\$/TM para tenerlos C&F Bayóvar . Los resultados se incluyen en el siguiente cuadro :

	TM/TM ABS	US \$/TM	US \$/TM ABS
Acrilonitrilo	0.209	802.0	167.6
Butadieno (98%)	0.155	637.2	98.8
Estireno	0.426	637.2	271.4
Copolímero SAN	0.248	1200.5	297.7
Latex y otros	0.020	1308.6	26.2
Butadieno (77%) (a)	-0.011	382.3	-4.2
		TOTAL	857.5

(a) butadieno no reaccionado ... crédito como retorno .

4.6.2. Costo de Servicios Industriales

Han sido estimados en base a la información disponible para el área de Talara ,de similar infraestructura . Los resultados se incluyen en el siguiente cuadro :

	Unidad	Unid/TM ABS	US\$/unidad	US\$/TM ABS
Electricidad	100 Kw	5.74	1.80	10.3
Vapor alta presión	TM	0.80	2.80	2.2.
baja presión	TM	1.78	2.80	5.0
Agua enfriamiento	100 TM	0.91	3.84	3.5
calderos	TM	3.76	0.80	3.0
clarificada	TM	23.76	0.10	2.4
Nitrógeno	n m ³	5.35	5.80	<u>31.0</u>
			TOTAL	57.4

Luego el Costo Variable Total para 1982 será :

$$\text{Costo Variable Unitario} \quad 857.5 + 57.4 = 914.9 \text{ US \$/TM}$$

$$\text{Costo Variable Anual} \quad 6.8 (914.9) = 6221.3 \text{ M US \$/año}$$

4.7. Costos de Producción

En la Tabla 4-4 son calculados utilizando los costos indicados en las secciones 4.5 y 4.6 ,así como la Tabla 4-2 (Costos Financieros).

4.8. Valor de Ventas

Se considera como x US \$/TM de resina ABS para 1982 como precio de venta para el mercado local . Para el mercado de exportación sub-regional se descuenta de este precio el fkte estimado en 40 US \$/TM (ver Tabla 4-5) .

Para el Caso 1 ... x corresponde al precio para todo el período (1982-96)

Para el Caso 2 ... x es el precio sólo para 1982 ,para los demás años debe ser calculado con el incremento del 6.5 % anual.

4.9. Capital de Trabajo

Se ha considerado que el Capital de Trabajo está formado por tres rubros : los Inventarios de Materia Prima y de Productos Terminados ,y las Cuentas por Cobrar .

4.9.1. Inventarios de Materia Prima

Se valorizan 20 días de existencias de materia prima valorizadas al costo (1982) con un año de 335 días ... ver sec.4.6.1.

$$\text{Inv.Mat.Prima} \dots\dots (20/335)6.8(857.5) = 348.1 \text{ M US \$}$$

4.9.2. Inventarios de Productos Terminados

Se valorizan 20 días de existencias de productos terminados al costo de producción excluyendo materia prima (1982) con un año de 335 días ... ver secs.4.5 y 4.6 .

$$\text{Inv.Prod.Terminados} \dots (20/335)6.8((3087.6-2105.8) + 857.5) = 746.7 \text{ MUS\$}$$

4.9.3. Cuentas por Cobrar

Se valorizan 35 días al costo neto de producción (1982) con un año de 365 días ... ver secs.4.5 y 4.6 .

$$\text{Cuentas por Cobrar} \dots\dots (35/365)6.8(3087.6 + 857.5) = 2572.4 \text{ M US\$}$$

Reuniendo estos tres rubros se tiene

Inventarios de materias primas	348.1 M US \$
Inventarios de productos terminados	746.7 M US \$
Cuentas por Cobrar	2572.4 M US \$

T O T A L

$$3667.2 \text{ M US \$}$$

El Capital de Trabajo así calculado se considera válido para los dos casos a lo largo de la vida del proyecto ,luego de la cual se recupera en su totalidad .

4.10. Utilidad Neta

Para los dos casos la Utilidad Bruta es igual a la diferencia entre el Valor de Ventas (Tabla 4-5) y los Costos de Producción (Tabla 4-4) , estos valores se presentan en las Tablas 4-6-1 y 4-6-2 .

Se ha considerado que los impuestos representan globalmente el 50% de la Utilidad Bruta , por lo que la diferencia constituye la Utilidad Neta igualmente mostradas en las Tablas 4-6-1 (Caso 1) y 4-6-2 (Caso 2) . Debe notarse que tanto la Utilidad Bruta , los Impuestos y la Utilidad Neta quedan como incógnitas en función del precio de venta x que se considerará definido más adelante .

4.11. Flujo Neto de Fondos

Este valor es igual a la suma de la Utilidad Neta y la Depreciación menos la Inversión Total (intereses durante la construcción , amortizaciones y capital de trabajo) . Del modo en que se ha realizado el estudio , el Flujo Neto de Fondos también queda expresado en función del precio de venta local de la tonelada métrica de resina , x , en dólares . Ver Tablas 4-7-1 (Caso 1) y 4-7-2 (Caso 2) .

Si calculamos el valor presente de este Flujo Neto a distintas tasas de interés , podemos lograr el valor de x si se iguala la suma actualizada a cero y se soluciona la ecuación así formada . De este modo la tasa de interés pasa a ser la tasa interna de retorno ó tasa de interés DCF . Para los Flujos de Fondos de las tablas arriba mencionadas se han calculado los precios de venta para tasas de interés comprendidas entre 0 % (valor neto) y 50 % , según se indica en las mismas Tablas 4-7-1 y 4-7-2 para cada caso .

4.12. Análisis de los Resultados .

Los precios de venta calculados con el método de la sección anterior son los siguientes :

Tasa DCF	Precio de Venta en US \$/TM resina ABS	
	Caso 1	Caso 2
0 %	1318.7	1167.8
10 %	1533.6	1346.0
20 %	1705.5	1516.6
30 %	1835.4	1660.8
40 %	1933.4	1778.6
50 %	2013.4	1875.6

Estos precios se han graficado en función de la Tasa DCF y se incluyen como figura 4-1 .

Del mismo modo como se estimaron los precios de las materias primas para 1982 según el Chemical Marketing Reporter ,el precio estimado C&F para las resinas ABS es de 174 OUS \$/TM .

Si se vendiera a este precio en las condiciones del Caso 1 (Precios de Materia Prima y de Ventas constantes) ,el valor DCF sería 22.5% según la fig.4-1 .

Para el Caso 2 (los Precios de Materia Prima y de Ventas se incrementan 6.5% anualmente) el precio de 1740 US \$/TM para el año 1982 implica un valor DCF del 36.5% en la fig.4-1 .

Estos resultados nos conducen a afirmar que la planta de Resinas ABS ofrece una inversión rentable a los precios de venta mundiales ,que son los que se tendría que pagar de no producir el producto . Adicionalmente los precios de exportación son también competitivos por lo que la inversión generaría ingreso de divisas .

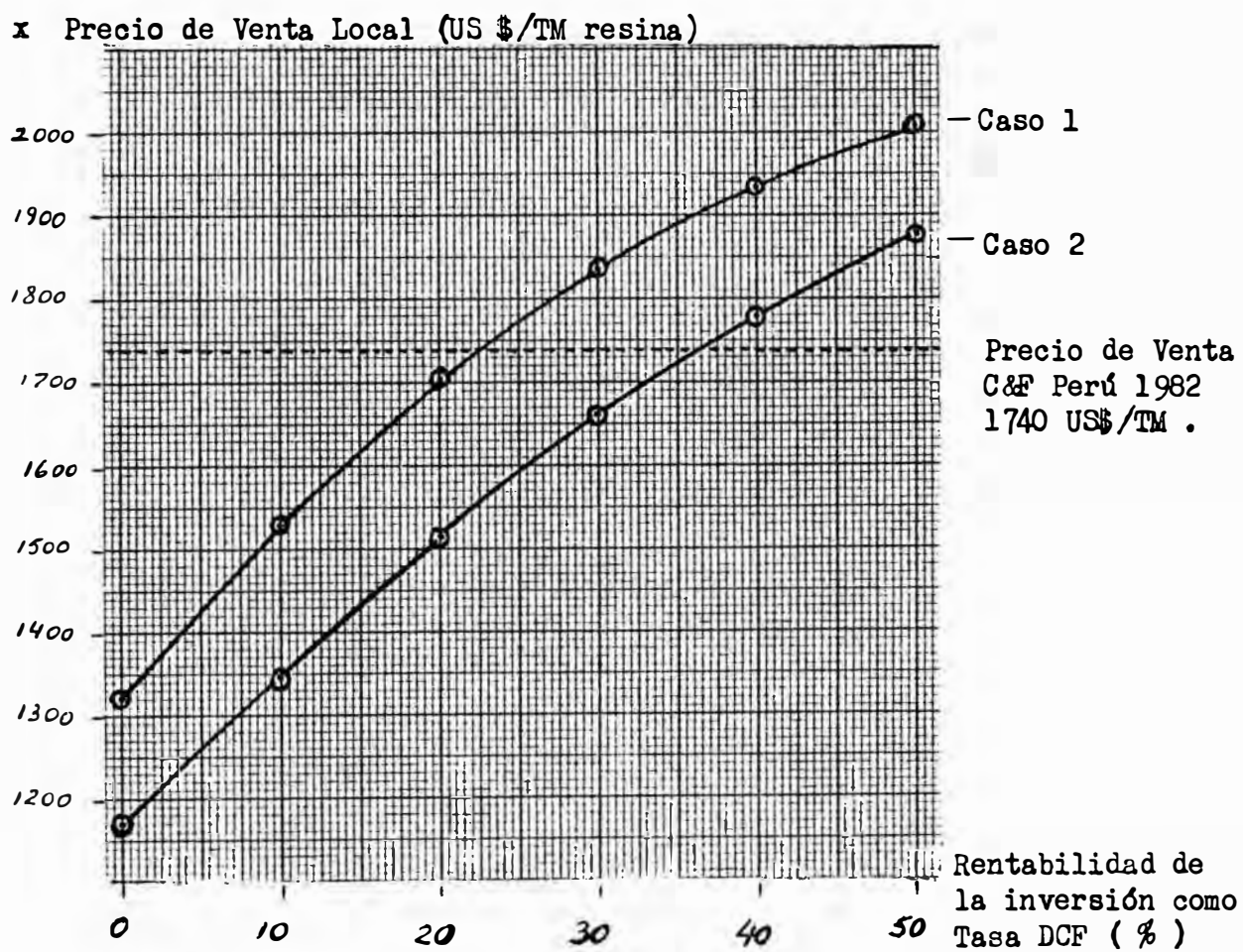


Figura 4-1 Relación Precio de Venta / Rentabilidad de la Planta

Caso 1 - Precios de Materia Prima y de Ventas constantes.

Caso 2 - Precios de Materia Prima y de Ventas incrementándose 6.5 % anualmente .

Tabla 4-1 Inversión Total (1980)

en M US \$

1. Unidades de Proceso y servicios auxiliares	<i>En Miles de US \$</i>
- Convertidores	1083.5
- Torres	165.0
- Recipientes y Tanques	522.5
- Intercambiadores de calor	104.5
- Bombas y Compresores	572.0
- Equipos especiales	2535.5
- Tubería y accesorios	885.5
- Equipo eléctrico e instrumentación	704.0
- Aislamiento y Pintura	202.4
- Equipos de Seguridad	52.8
Subtotal	<u>6827.7</u>
2. Edificios y Estructuras	1207.0
3. Obras Civiles	800.0
4. Fletes	973.5
5. Supervisión y Trabajos de Campo	3750.0
6. Ingeniería y Licencias	2860.0
7. Repuestos	203.4
8. Arranque y Puesta en Marcha	916.3
9. Contingencias	<u>600.0</u>
T O T A L	18 137.9

Tabla 4-2 Financiamiento del Proyecto

en M US \$

Año (a)	Entregas	Amortizaciones	Saldo	Intereses
0	3627.5	-	-	-
0.5	3627.6	-	3627.5	127.0
1	5441.4	-	7255.1	253.9
1.5	5441.4	-	12696.5	444.4
2	-	-	18137.9	634.8
2.5	-	-	18137.9	634.8
3	-	-	18137.9	634.8
3.5	-	-	18137.9	634.8
4	-	-	18137.9	634.8
4.5	-	2267.2	18137.9	634.8
5	-	2267.2	15870.7	555.5
5.5	-	2267.2	13603.5	476.1
6	-	2267.2	11336.3	396.8
6.5	-	2267.2	9069.1	317.4
7	-	2267.2	6801.9	238.1
7.5	-	2267.2	4534.7	158.7
8	-	2267.5	2267.5	79.4

(a) esta numeración ordena los años de financiación ,no los del proyecto . En la cronología del proyecto los años se cuentan como los de financiación menos dos (2) .

Pagos Anuales (Cronología del Proyecto)

AÑO	AMORTIZACION	INTERESES
-1	-	380.9
0	-	1079.2
1	-	1269.6
2	-	1269.6
3	4534.4	1190.3
4	4534.4	872.9
5	4534.4	555.5
6	4534.7	238.1

Tabla 4-3 Programa de Producción y Ventas

en M TM/año

año	Mercado Peruano	Mercado Exportación	T O T A L
1982	1.9	4.9	6.8
1983	2.1	4.7	6.8
1984	2.4	4.4	6.8
1985	2.7	4.1	6.8
1986	3.2	3.6	6.8
1987	3.7	3.1	6.8
1988	4.0	2.8	6.8
1989	4.3	2.5	6.8
1990	4.5	2.3	6.8
1991	4.9	1.9	6.8
1992	5.4	1.4	6.8
1993	6.0	0.8	6.8
1994	6.6	0.2	6.8
1995	6.8	-	6.8
1996	6.8	-	6.8

Tabla 4.4 Costos de Producción

en M US\$/año

año	Costos Fijos	Costos Financieros	Costos Variables		COSTOS TOTALES	
			Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
1982	3087.6	1269.6	6221.3	6221.3	10578.5	10578.5
1983	3087.6	1269.6	6221.3	6625.7	10578.5	10982.9
1984	3087.6	1190.3	6221.3	7056.4	10499.2	11334.3
1985	3087.6	872.9	6221.3	7515.0	10181.8	11475.5
1986	3087.7	555.5	6221.3	8003.5	9864.5	11646.7
1987	2795.6	238.1	6221.3	8523.7	9255.0	11557.4
1988	2795.6	-	6221.3	9077.8	9016.9	11873.4
1989	2795.6	-	6221.3	9667.8	9016.9	12463.4
1990	2795.6	-	6221.3	10296.2	9016.9	13091.8
1991	2795.5	-	6221.3	10965.5	9016.8	13761.0
1992	981.8	-	6221.3	11678.2	7203.1	12660.0
1993	981.8	-	6221.3	12437.3	7203.1	13419.1
1994	981.8	-	6221.3	13245.7	7203.1	14227.5
1995	981.8	-	6221.3	14106.7	7203.1	15088.5
1996	981.8	-	6221.3	15023.7	7203.1	16005.5

Caso 1 ... precios de materia prima y de venta constantes .

Caso 2 ... precios de materia prima y de venta incrementándose 6.5 % anual .

Tabla 4.5 Valor de Ventas

en M US\$/año

año	Mercado Peruano	Mercado Exportación	T O T A L Caso 1	T O T A L Caso 2
1982	1.9 x	4.9(x-40)	6.8x-196.0	6.8x-196.0
1983	2.1 x	4.7(x-40)	6.8x-188.0	7.24x-200.2
1984	2.4 x	4.4(x-40)	6.8x-176.0	7.71x-199.6
1985	2.7 x	4.1(x-40)	6.8x-164.0	8.21x-198.1
1986	3.2 x	3.6(x-40)	6.8x-144.0	8.75x-185.3
1987	3.7 x	3.1(x-40)	6.8x-124.0	9.32x-169.9
1988	4.0 x	2.8(x-40)	6.8x-112.0	9.92x-163.4
1989	4.3 x	2.5(x-40)	6.8x-100.0	10.57x-155.4
1990	4.5 x	2.3(x-40)	6.8x- 92.0	11.25x-152.3
1991	4.9 x	1.9(x-40)	6.8x- 76.0	11.99x-134.0
1992	5.4 x	1.4(x-40)	6.8x- 56.0	12.76x-105.1
1993	6.0 x	0.8(x-40)	6.8x- 32.0	13.59x- 64.0
1994	6.6 x	0.2(x-40)	6.8x- 8.0	14.48x- 17.0
1995	6.8 x	-	6.8x	15.42x
1996	6.8 x	-	6.8x	16.42x

x ... precio de venta para 1982 ,en US\$/TM .

Caso 1 ... precios de materia prima y de venta constantes .

Caso 2 ... precios de materia prima y de venta incrementándose 6.5 % anual.

Tabla 4-6-1 Utilidad Neta - Caso 1 : Precios de Materia Prima y de Ventas constantes .

en M US \$/año

año	Valor de Ventas	Costos de Producción	Utilidad Bruta	Impuestos (50%)	Utilidad Neta
1982	6.80x-196.0	10578.5	6.80x-10774.5	3.40x-5387.3	3.40x-5387.2
1983	6.80x-188.0	10578.5	6.80x-10766.5	3.40x-5383.3	3.40x-5383.2
1984	6.80x-176.0	10499.2	6.80x-10675.2	3.40x-5337.6	3.40x-5337.6
1985	6.80x-164.0	10181.8	6.80x-10345.8	3.40x-5172.9	3.40x-5172.9
1986	6.80x-144.0	9864.5	6.80x-10008.5	3.40x-5004.3	3.40x-5004.2
1987	6.80x-124.0	9255.0	6.80x-9379.0	3.40x-4689.5	3.40x-4689.5
1988	6.80x-112.0	9016.9	6.80x-9128.9	3.40x-4564.5	3.40x-4564.4
1989	6.80x-100.0	9016.9	6.80x-9116.9	3.40x-4558.5	3.40x-4558.4
1990	6.80x-92.0	9016.9	6.80x-9108.9	3.40x-4554.5	3.40x-4554.4
1991	6.80x-76.0	9016.8	6.80x-9092.8	3.40x-4546.4	3.40x-4546.4
1992	6.80x-56.0	7203.1	6.80x-7259.1	3.40x-3629.6	3.40x-3629.5
1993	6.80x-32.0	7203.1	6.80x-7235.1	3.40x-3617.6	3.40x-3617.5
1994	6.80x-8.0	7203.1	6.80x-7211.1	3.40x-3605.6	3.40x-3605.5
1995	6.80x	7203.1	6.80x-7203.1	3.40x-3601.6	3.40x-3601.5
1996	6.80x	7203.1	6.80x-7203.1	3.40x-3601.6	3.40x-3601.5

Tabla 4-6-2 Utilidad Neta - Caso 2 : Precios de Materia Prima y de Ventas incrementándose 6.5 % anual .

en M US \$/año

año	Valor de Ventas	Costos de Producción	Utilidad Bruta	Impuestos (50%)	Utilidad Neta
1982	6.80x-196.0	10578.5	6.80x-10774.5	3.40x-5387.3	3.40x-5387.2
1983	7.24x-200.2	10982.9	7.24x-11183.1	3.62x-5591.6	3.62x-5591.5
1984	7.71x-199.6	11334.3	7.71x-11533.9	3.86x-5767.0	3.86x-5766.9
1985	8.21x-198.1	11475.5	8.21x-11673.6	4.11x-5836.8	4.11x-5836.8
1986	8.75x-185.3	11646.7	8.75x-11832.0	4.38x-5916.0	4.38x-5916.0
1987	9.32x-169.9	11557.4	9.32x-11727.3	4.66x-5863.7	4.66x-5863.6
1988	9.92x-163.4	11873.4	9.92x-12036.8	4.96x-6018.4	4.96x-6018.4
1989	10.57x-155.4	12463.4	10.57x-12618.8	5.29x-6309.4	5.29x-6309.4
1990	11.25x-152.3	13091.8	11.25x-13244.1	5.63x-6622.1	5.63x-6622.0
1991	11.99x-134.0	13761.0	11.99x-13895.0	6.00x-6947.5	6.00x-6947.5
1992	12.76x-105.1	12660.0	12.76x-12765.1	6.38x-6382.6	6.38x-6382.5
1993	13.59x-64.0	13419.1	13.59x-13483.1	6.80x-6741.6	6.80x-6741.5
1994	14.48x-17.0	14227.5	14.48x-14244.5	7.24x-7122.3	7.24x-7122.2
1995	15.42x	15088.5	15.42x-15088.5	7.71x-7544.3	7.71x-7544.2
1996	16.42x	16005.5	16.42x-16005.5	8.21x-8002.8	8.21x-8002.7

Tabla 4-7-1 Flujo Neto de Fondos - Caso 1 : Precios de Materia Prima y de Ventas constantes .
en M US \$/año

año	Inversión	Capital de Trabajo	Utilidad Neta	Depreciación	Flujo Neto de Fondos
1980	380.9	-	-	-	(380.9)
1981	1079.2	-	-	-	(1079.2)
1982	-	3667.2	3.40x-5387.2	2105.8	3.40x-6948.6
1983	-	-	3.40x-5383.2	2105.8	3.40x-3277.4
1984	4534.4	-	3.40x-5337.6	2105.8	3.40x-7766.2
1985	4534.4	-	3.40x-5172.9	2105.8	3.40x-7601.5
1986	4534.4	-	3.40x-5004.2	2105.9	3.40x-7432.7
1987	4534.7	-	3.40x-4689.5	1813.8	3.40x-7410.4
1988	-	-	3.40x-4564.4	1813.8	3.40x-2750.6
1989	-	-	3.40x-4558.4	1813.8	3.40x-2744.6
1990	-	-	3.40x-4554.4	1813.8	3.40x-2740.6
1991	-	-	3.40x-4546.4	1813.7	3.40x-2732.7
1992	-	-	3.40x-3629.5	-	3.40x-3629.5
1993	-	-	3.40x-3617.5	-	3.40x-3617.5
1994	-	-	3.40x-3605.5	-	3.40x-3605.5
1995	-	-	3.40x-3601.5	-	3.40x-3601.5
1996	-	(3667.2)	3.40x-3601.5	-	3.40x+ 65.7

Valor Presente del flujo neto

x Precio de Venta (US \$/TM)

a 0 % anual (DCF)	51.00	x - 67253.70 = 0
a 10 % anual (DCF)	25.86	x - 39658.12 = 0
a 20 % anual (DCF)	15.90	x - 27117.57 = 0
a 30 % anual (DCF)	11.11	x - 20390.74 = 0
a 40 % anual (DCF)	8.445	x - 16327.92 = 0
a 50 % anual (DCF)	6.784	x - 13658.87 = 0

1318.7
1533.6
1705.5
1835.4
1933.4
2013.4

Tabla 4-7-2 Flujo Neto de Fondos - Caso 2 : Precios de Materia Prima y de Ventas incrementándose 6.5 % anual .
en M US \$/año

año	Inversión	Capital de Trabajo	Utilidad Neta	Depreciación	Flujo Neto de Fondos
1980	380.9	-	-	-	(380.9)
1981	1079.2	-	-	-	(1079.2)
1982	-	3667.2	3.40x-5387.2	2105.8	3.40x-6948.6
1983	-	-	3.62x-5591.5	2105.8	3.62x-3485.7
1984	4534.4	-	3.86x-5766.9	2105.8	3.86x-8195.5
1985	4534.4	-	4.11x-5836.8	2105.8	4.11x-8265.4
1986	4534.4	-	4.38x-5916.0	2105.9	4.38x-8344.5
1987	4534.7	-	4.66x-5863.6	1813.8	4.66x-8584.5
1988	-	-	4.96x-6018.4	1813.8	4.96x-4204.6
1989	-	-	5.29x-6309.4	1813.8	5.29x-4995.6
1990	-	-	5.63x-6622.0	1813.8	5.63x-4808.2
1991	-	-	6.00x-6947.5	1813.7	6.00x-5133.8
1992	-	-	6.38x-6382.5	-	6.38x-6382.5
1993	-	-	6.80x-6741.5	-	6.80x-6741.5
1994	-	-	7.24x-7122.2	-	7.24x-7122.2
1995	-	-	7.71x-7544.2	-	7.71x-7544.2
1996	-	(3667.2)	8.21x-8002.7	-	8.21x-4335.5

Valor Presente del Flujo Neto

x Precio de Venta 1982
(US \$/TM)

a 0 % anual (DCF)	80.25	x - 96052.40 = 0	1167.8
a 10 % anual (DCF)	37.35	x - 50271.56 = 0	1346.0
a 20 % anual (DCF)	20.99	x - 31834.31 = 0	1516.6
a 30 % anual (DCF)	13.75	x - 22836.12 = 0	1660.8
a 40 % anual (DCF)	9.985	x - 17759.76 = 0	1778.6
a 50 % anual (DCF)	7.773	x - 14579.31 = 0	1875.6

BIBLIOGRAFIA

- (1) ABS Markets 1972-77
p.11
editado por P.Sherwood y asociados - 1972
- (2) F.J. Spencer
Engineered Plastics Today
Hydrocarbon Processing - julio 1969 - p.123 y ss.
- (3) R.B. Stobaugh
Butadiene : how,where,who -future
Hydrocarbon Processing - junio 1967 - p.141 y ss.
- (4) S.A. Miller
Ethylene and its industrial derivatives
p.922-932 - 1969
- (5) ref.(1) p.19-20
- (6) Japan Gasoline Co. Ltd.
Estudio de mercado y reinversión para productos petroquímicos por producir en el Perú - Vol. 3 - 1971
- (7) Worldwide HPI Construction Boxscore
Hydrocarbon Processing - febrero 1974
- (8) Worldwide HPI Construction Boxscore
Hydrocarbon Processing - octubre 1974
- (9) ref.(6) - p.3-4
- (10) ref.(4) - p.938-940
- (11) H.Rakoff y N.Rose
Química Orgánica Fundamental
cap.21 - 1966
- (12) G.Odian
Principles of Polymerization
cap.1 - p.1-12 - 1970
- (13) L.Fieser y M.Fieser
Química Orgánica Superior - Tomo 2
cap.29 - p.2003 - 1962
- (14) Macromoléculas
p.26-28
editado por M.J.Pentz - 1971

- (15) J.H. Mallinson
Plastics
Chemical Engineering (deskbook) - dic.4.1972 - p.63 y ss.
- (16) ref. (12) - cap. 1 - p. 35-38
- (17) ref. (14) - p.23
- (18) C.M. Von Meysebug
Tecnología de Plásticos para Ingenieros
p.13 - 1963
- (19) ref. (13) - cap. 39 - p.2026
- (20) ref. (12) - cap. 3 - p.161-167
- (21) J.M. Smith y H.C. Van Ness
Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics
cap.13 - p.408 - 1959
- (22) ref. (12) - cap. 3 - p.170-172
- (23) ref. (12) - cap. 3 - p.271-273
- (24) ref. (12) - cap. 8 - p.528-529
- (25) M. Sittig
Catalyst and catalytic processes
p.179 - 1967
- (26) ref. (12) - cap. 8 - p.594
- (27) N. Barona y W. Prengle
Design reactors this way for liquid phase processes
Hydrocarbon Processing - marzo 1973 - p.64 y ss.
- (28) L.F. Albright y C.G. Bild
Designing reaction vessels for polimerization
Chemical Engineering - set.15.1975 - p.121 y ss.
- (29) ref. (6)
- (30) Petrochemical Handbook
Hydrocarbon Processing - noviembre 1975 - p.99
- (31) ref. (12)
- (32) Van Nostrands Scientific Encyclopedia - 5ta.Ed.
p. 4-5 - 1976
- (33) Union Carbide - División Productos Químicos y Plásticos
Plant Costs Zoom
Chemical Engineering - jun.24.1974 - p.136-137 .