

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
Incorporada a la U.N.A.M.
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**ESTUDIO TECNICO ECONOMICO SOBRE LA RECUPERACION
DE DESPERDICIO DE ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO**



**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO
DE INGENIERO QUIMICO**

MANUEL MONROY PETERSEN
México 1965



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

M

20

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Incorporada a la U. N. A. M
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

ESTUDIO TECNICO ECONOMICO SOBRE LA RECUPERACION
DE DESPERDICIO DE ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO

TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO
DE INGENIERO QUIMICO

MANUEL MONROY PETERSEN
Mexico, 1965.

13070

A MIS PADRES

12070

**QUIERO EXPRESAR MI AGRADECIMIENTO A LOS SRES.
I. QUIMICOS ENRIQUE RANGEL Y HECTOR FERRAL -
POR SU VALIOSA COOPERACION EN EL DESARROLLO
DEL PRESENTE ESTUDIO.**

CONTENIDO:

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES**
- III ANALISIS DE MERCADO**
- IV DISEÑO Y EVALUACION ECONOMICA
PRELIMINARES**
- V DISEÑO DEFINITIVO**
- VI EVALUACION ECONOMICA DEFINITIVA**
- VII RESUMEN Y CONCLUSIONES**
- VIII APENDICES**
- IX BIBLIOGRAFIA**

I INTRODUCCION.

En la industria de la espuma rígida de poliuretano se obtiene una cantidad apreciable de desperdicio el que resulta en su mayor parte, de la reducción de los bloques irregulares originalmente producidos a las diversas formas y tamaños requeridos por el mercado. La recuperación de este desperdicio plantea -- actualmente un serio problema, pues se calcula que representa aproximadamente de un 10% a un 20%.

El presente estudio tiene por objeto determinar si a una planta elaboradora de espuma le resulta -- más económico efectuar una regeneración del desperdicio para su utilización como materia prima en la elaboración de nueva espuma, o bien considerarlo como -- tal y elaborar la espuma únicamente con materia nueva. Para ello se tomarán como base métodos de regeneración estudiados en experimentaciones previas (19), y el punto de partida será una planta hipotética elaboradora de espuma de características conocidas.

II GENERALIDADES.

El término "poliuretano" se aplica a una nueva clase de polímeros que ha encontrado gran variedad de aplicaciones comerciales en los últimos años. Su característica fundamental consiste en que los productos de polimerización pueden ser usados como recubrimientos, fibras, elastómeros, adhesivos y espumas: -- además estas últimas pueden ser flexibles, semirrígidas o rígidas.

Historia.-

El año de 1937 se puede considerar como el principio de las investigaciones sobre poliuretanos, pues fue cuando Bayer (24) inició sus experimentos de polimerización con productos de adición de los diisocianatos, con el propósito de igualar o superar las fibras de nylon sesenta y seis. Los trabajos iniciales se referían principalmente a fibras, elastómeros, polvos de moldeo y sustitutos del cuero con un interés puramente causal en las espumas.

En 1940 la compañía Du Pont publicó varios trabajos acerca de unos elastómeros obtenidos a partir de poliésteres e isocianatos; posteriormente surgieron los estudios de Rothrock y Hill (24) basados en productos resinosos de uretano obtenidos a partir de isocianatos con poliésteres y poliéteres derivados del tetrametilendiol.

La obtención de espuma rígida de poliuretano no se desarrolló en Alemania hasta 1947, siendo Bayer el iniciador. Interés por la espuma flexible apareció - más recientemente, siendo los estudios de Müller y Windemuth, también en Alemania en 1951 y 1952 los primeros efectuados. En este último año, Hennecke apoyado por Bayer, produjo la primera máquina práctica para la producción de espuma flexible.

En Estados Unidos, en 1947 y 1948, las compañías Lockheed Aircraft Corporation y Goodyear iniciaron el desarrollo de diversos sistemas para la producción de espuma.

Estimulados por estas actividades, las compañías Du Pont y Monsanto iniciaron en 1950 la producción de diisocianatos para su utilización como materia prima. Fue tan grande el éxito comercial de las espumas que en Alemania se importó maquinaria para su producción; y finalmente en 1954 se fusionaron dos compañías: la Monsanto y la Bayer, fundándose la Mobay y efectuándose un intercambio de conocimientos entre ambas.

En 1956 la compañía General Tire sustituyó los poliésteres por poliéteres, mejorando la calidad de la espuma y bajando además su costo.

Desde 1958 los estudios se dirigieron principalmente a la búsqueda de diversos compuestos emulsivos, agentes de superficie y catalizadores que mejoraran la calidad de la espuma, interviniendo principalmente las compañías Carbide y Mobay, consiguiéndose en 1959 producción de espuma flexible de muy buena calidad. Además utilizando agentes espumantes a base de compuestos fluorocarbonados se consiguió bajar la densidad de-

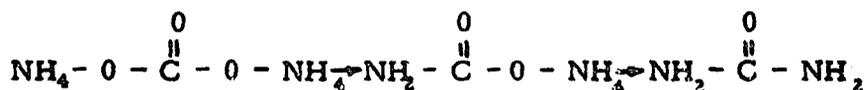
la espuma sin alterar sus otras propiedades y mejorando sus características de aislamiento térmico.

En 1959 se inició en México la producción comercial de poliuretanos en su variedad de espuma flexible por Poroflex S.A., en 1961 Proquimia S.A. empezó a producir espuma rígida. Actualmente existen aproximadamente 15 fabricantes de poliuretanos, en su mayoría de espuma flexible, habiéndose retirado Proquimia S.A.

Química de los Poliuretanos.-

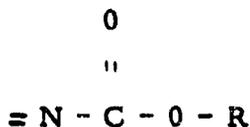
Los poliuretanos son el producto de la polimerización de los derivados del ácido isocianico.

En 1828 Wöhler (13) obtuvo urea evaporando una solución acuosa de isocianato de amonio. La urea se obtuvo también a partir de carbonato de amonio por medio de calor y eliminando agua, esto es:

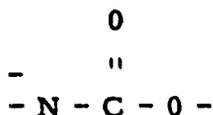


Carbonato de amonio Carbamato de amonio Urea

Los ésteres del ácido carbónico se denominan uretanos y se representan de la siguiente manera:



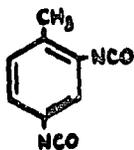
Estos compuestos pueden considerarse amidoésteres del ácido carbónico. Por consiguiente el grupo uretano tiene la siguiente configuración característica:



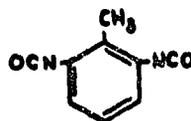
Uno de los uretanos más sencillos es el etiluretano ($NH_2 COOC_2 H_5$), que resulta de la adición del alcohol etílico al isocianato. Se puede obtener una gran variedad de uretanos variando el tipo de isocianato y el alcohol. Si se utilizan materiales con más alta funcionalidad como diisocianatos y dioles o trioles, pueden producirse polímeros de diferentes grados de ramificación, obteniendo desde productos lineales y elastómeros hasta plásticos rígidos.

Existe una gran variedad de materias primas para la elaboración de poliuretanos; entre éstas, las más utilizadas son las que se mencionan a continuación:

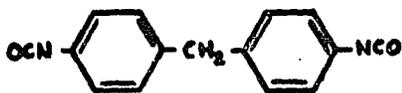
Isocianatos (4) :



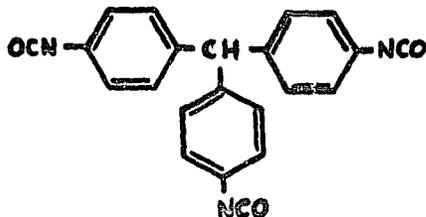
Toluen 2.4 diisocianato



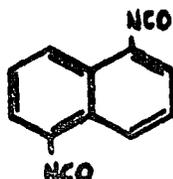
Toluen 2.6 diisocianato



Bis (para isocianil fenil) metano



Tris (para isocianil fenil) metano



Naftalen 1.5 diisocianato

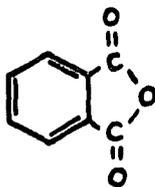


Hexametilen 1.6 diisocianato.

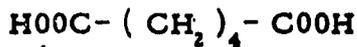
Poliésteres (24) :

Los componentes más comunes de los poliésteres utilizados en la industria de los poliuretanos son los siguientes:

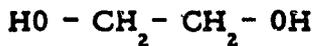
Anhidrido ftálico



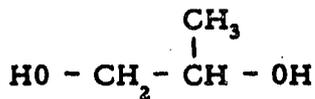
Acido adípico



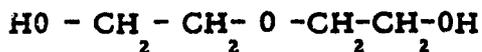
Etilen glicol



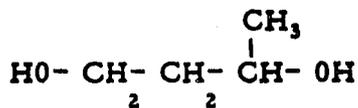
Propilen glicol



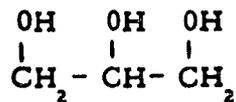
Dietilen glicol



Butilen glicol



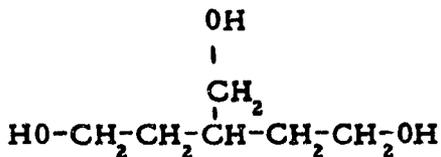
Glicerol



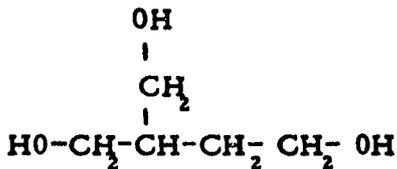
1, 2, 6, Hexantriol



Trimetilol propano



Trimetilol etano

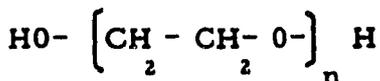


Poliéteres (24):

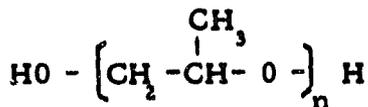
Actualmente la mayoría de los poliéteres utilizados para la manufactura de espuma son derivados del óxido de propileno.

Se producen entre otros los siguientes glicoles y trioles:

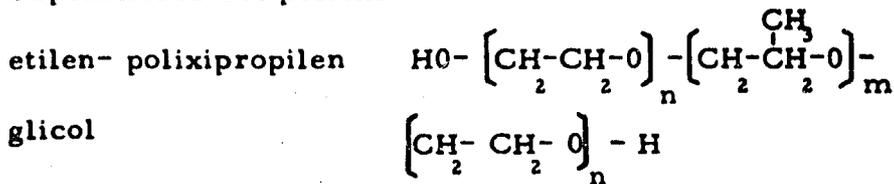
Polioxietilen glicol



Polioxipropilen glicol



Copolímeros del polioxi-



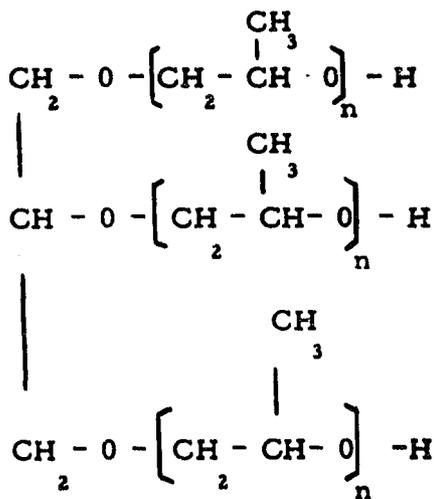
Polioxipropilen triol

(Es el más utilizado -

para las espumas, se ob-
 tiene haciendo reaccionar el

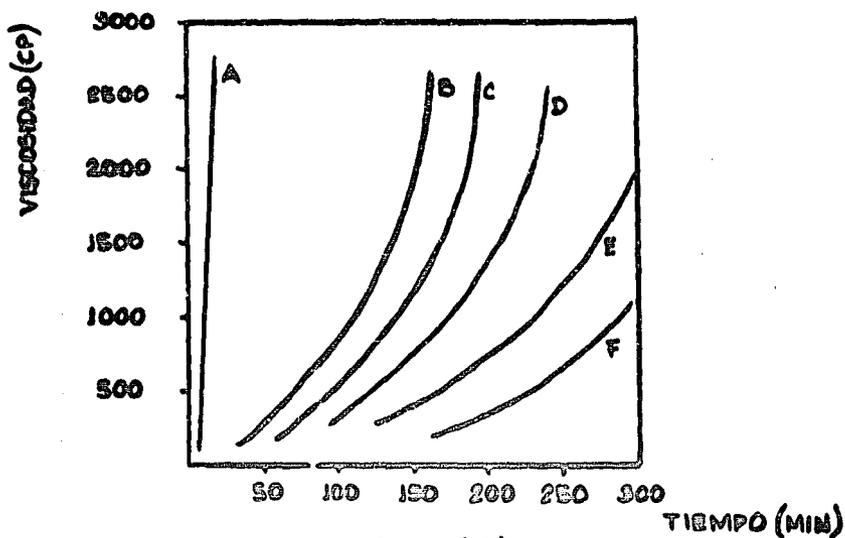
Polioxipropilen glicol con

Glicerol, Trimetilol propa-
 no ó 1, 2, 6 Hexantriol.



Además polioxitetrametilen glicol, polioxi-
butilen glicol, poliéteres nitrogenados y poliéteres de ma-
yor funcionalidad.

Se han efectuado estudios sobre la velocidad
de polimerización de distintos poliéteres con toluendii-
socianato, obteniendo los resultados que se aprecian en
la Fig. 1, donde está representada la variación de la --
viscosidad de la mezcla reaccionante con respecto al --
tiempo de reacción.



VELOCIDAD DE POLIMERIZACION DE DISTINTOS POLIETERES

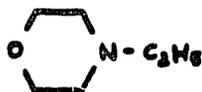
POLIETER	CONTENIDO DE HIDROXILOS	pH
A	490	10.6
B	477	4.8
C	485	5.8
D	487	6.1
E	380	5.1
F	390	5.2

En general se puede decir que para el caso

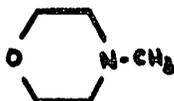
A se utilizó un poliéter de alta basicidad y alto contenido de hidroxilos; para los casos B, C Y D, se utilizaron poliéteres de baja basicidad y alto contenido de hidroxilos; por último para los casos E y F se utilizaron poliéteres de baja basicidad y bajo contenido de hidroxilos.

Catalizadores (24) :

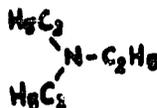
Se utilizan generalmente aminas terciarias y bases orgánicas de estaño.



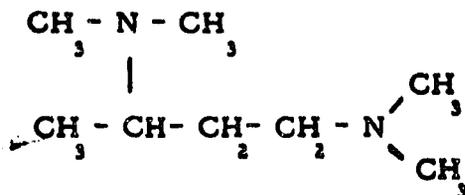
N- etil morfolina



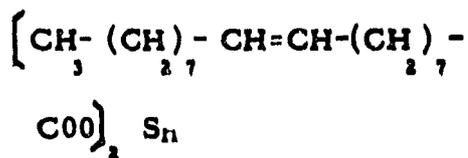
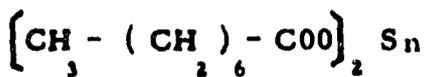
N- metilmorfolina



Trietilamina



N, N, N', N', tetrametil 1, 3 butanodiamina

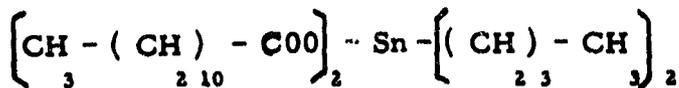


Octoato estannoso

Oleato estannoso



Dioctoato de dibutil estaño



Dilaurato de dibutilestaño

Importancia de los catalizadores .

Su función es la de equilibrar las reacciones entre el isocianato y la resina con la evolución de gas, - la que debe ser simultánea al crecimiento del polímero y en tal forma, que éste tenga la suficiente consistencia para mantener el gas ocluido y adquirir así su volumen fijado. Si la evolución de dicho gas es muy -- rápida con respecto al crecimiento del polímero, la viscosidad de éste será insuficiente para contener el gas, - permitiendo su fuga y originando el colapso de la espuma. Si por el contrario la evolución del gas es muy lenta, la expansión será muy baja, presentándose inclusive grietas en la espuma .

La figura 2 ilustra cualitativamente los estados físicos característicos de una espuma obtenida por el procedimiento de un paso para distintas relaciones de evolución del bióxido de carbono con relación al crecimiento del polímero .

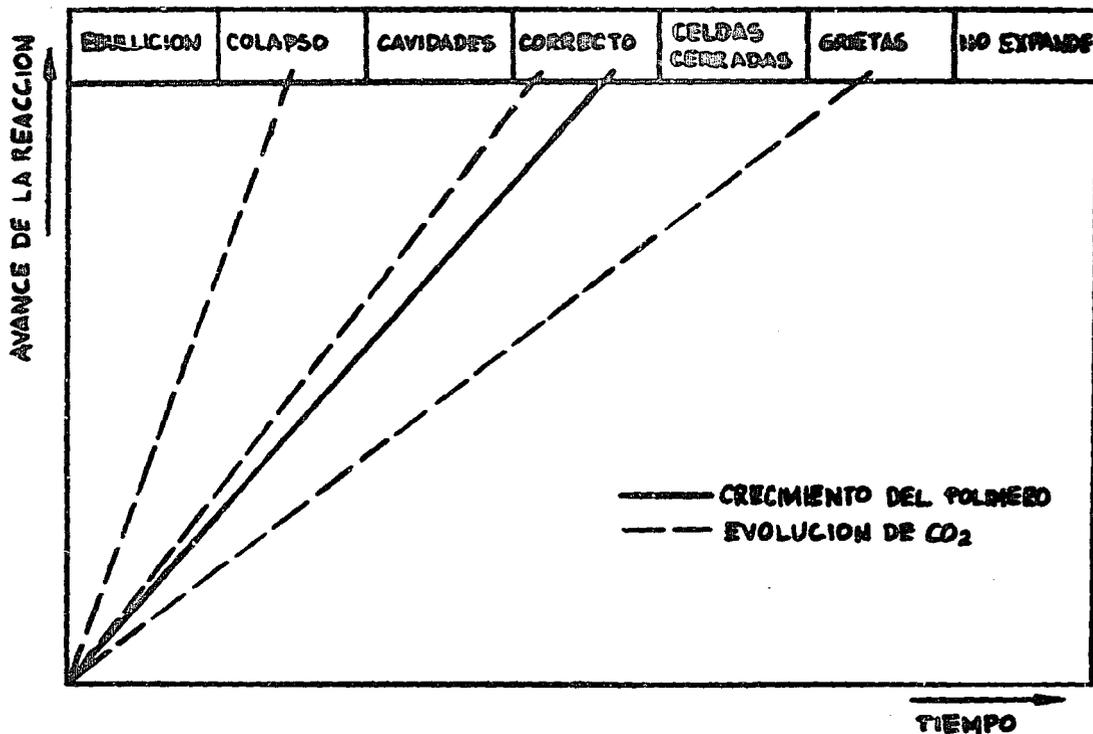


FIG.-2 (10)

ESTADOS FISICOS DE LA ESPUMA CON RESPECTO A LA EVOLUCION DE CO₂

Los factores que se consideran en la selección de las aminas son: su estructura, poder catalítico, presión de vapor, solubilidad y costo. El poder catalítico, de la amina crece proporcionalmente a su basicidad y a la disminución de sus impedimentos estéricos. Su presión de vapor debe de ser tal, que no se evapore antes de tiempo, y que no permanezca en la espuma comunicándole su olor característico.

Por lo que se refiere a los catalizadores de estaño, su poder catalítico sobre la reacción isocianato hidroxilo es más fuerte que el de las aminas, asegurando así la permanencia del gas. Por otra parte estos catalizadores permanecen en la espuma y requieren sustancias estabilizadoras para evitar que actúen posteriormente en la espuma, provocando degradaciones e hidrólisis. Lo más frecuente es la utilización de una mezcla de los dos tipos de catalizadores.

Se han efectuado estudios acerca del efecto de distintos catalizadores sobre el crecimiento del polímero, obteniendo los resultados que se aprecian en la Figura 3.

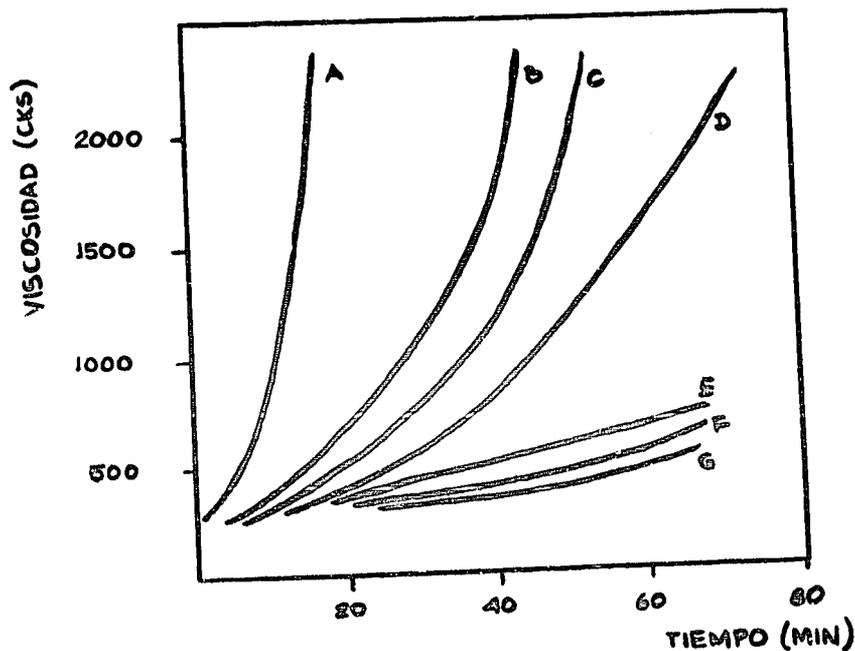


FIG-3 (10)

EFFECTO DE DIVERSOS CATALIZADORES SOBRE
EL CRECIMIENTO DEL POLIMERO

- A- OCTOATO ESTANNOZO
- B- DILAURATO DE DIBUTILESTAÑO
- C- DI (2 ETIL HEXOATO) DE DIBUTILESTAÑO
- D- TRIETILENDIAMINA
- E- N,N,N',N' TETRAMETIL 1.3 BUTANODIAMINA
- F- TRIETILAMINA
- G- N-METIL MORFOLINA

Agentes espumantes (24) :

Se utiliza prácticamente en todos los casos el monofluorotriclorometano, o sea el Freon II. Por medio de éste se puede variar la densidad de la espuma dentro de ciertos límites, según se aprecia en la Fig.4, a su vez la variación de la densidad afecta la conductividad térmica, lo que se puede observar en la Fig. 5.

Agentes de superficie y emulsivos (24) :

Son aceites a base de silicones, tales como el dimetilsiloxano, y aceites modificados tales como el aceite de ricino sulfonado.

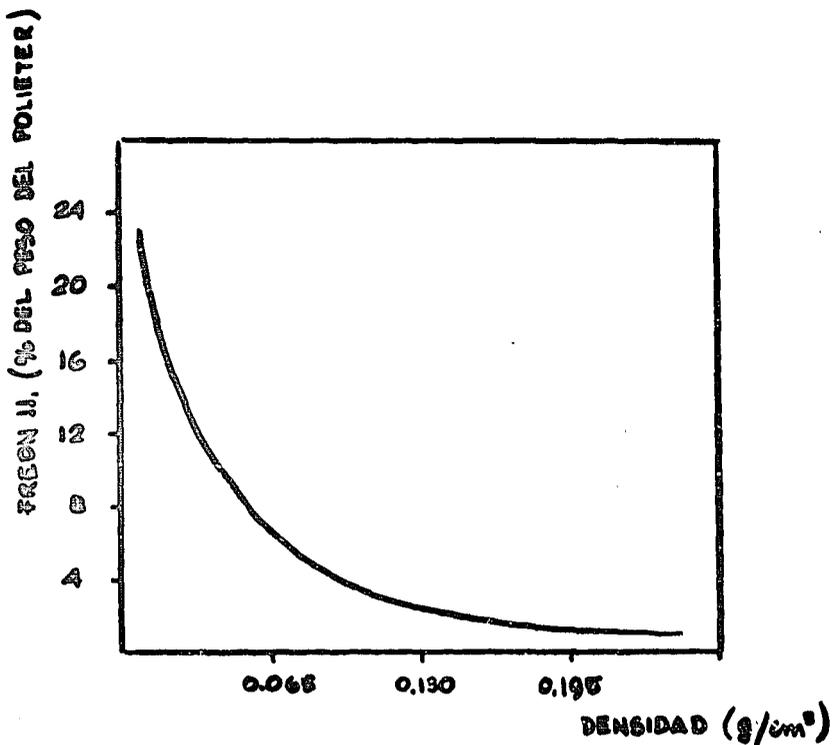


FIG-4 (26)

INFLUENCIA DEL FREON SOBRE LA DENSIDAD DE LA ESPUMA

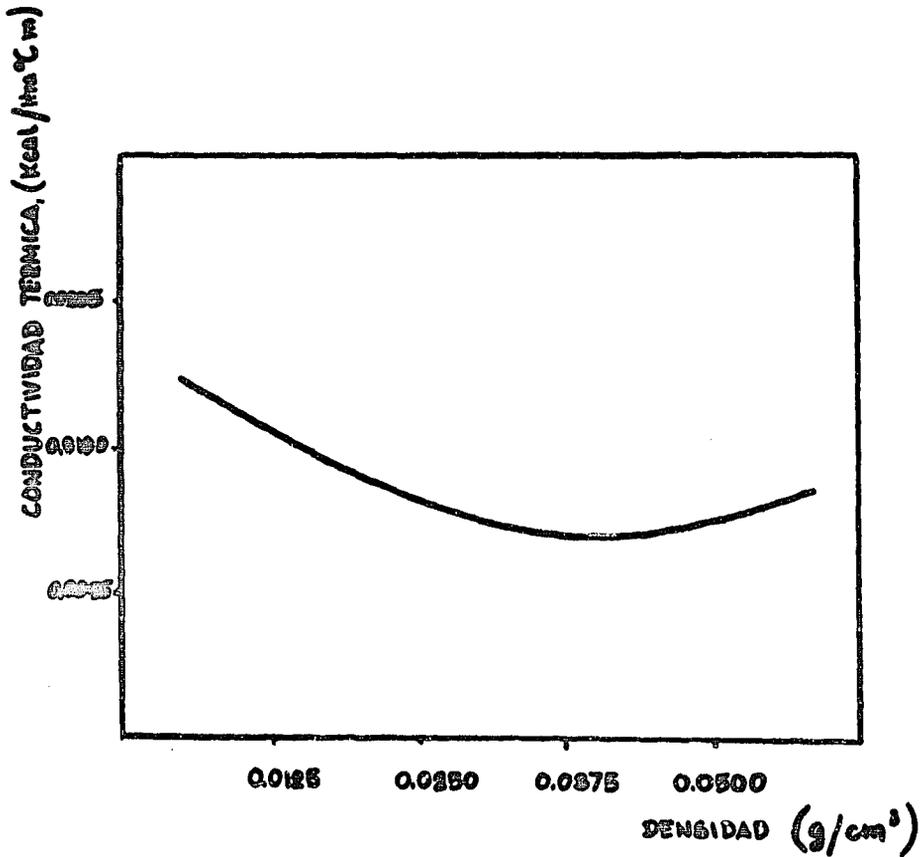


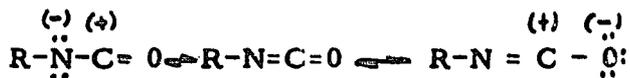
FIG-5 (17)

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD SOBRE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA

Formación de la espuma .

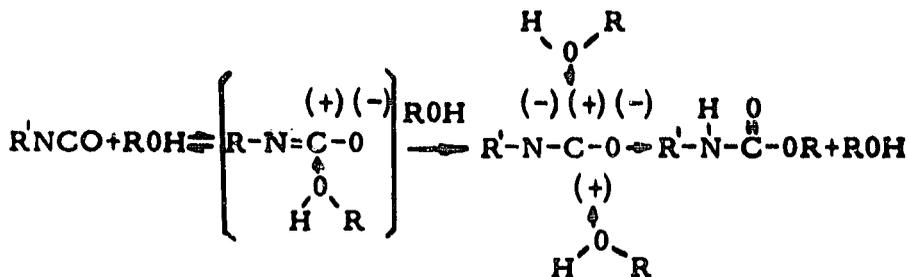
La formación de la espuma de poliuretano es, de los fenómenos que se presentan en las diversas aplicaciones de los poliuretanos, el más complejo. Además de los aspectos físicos y químicos de un sistema de polimerización, se presentan las peculiaridades de un sistema coloidal. Esta es la razón por la cual, en un sentido cuantitativo, se conoce relativamente poco acerca de la formación de la espuma .

La estructura electrónica del grupo isocianato indica las siguientes formas de resonancia:

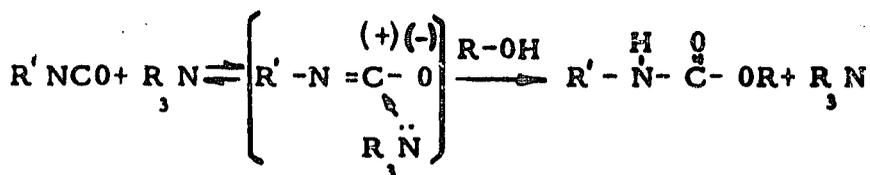


Tales formas de resonancia obviamente sugieren la posibilidad de reacciones iónicas, dirigiéndose los donadores de electrones al ión carbonio , y los aceptadores de electrones al oxígeno o al nitrógeno. Así mismo es de esperarse que ácidos y bases de Lewis catalicen estas reacciones .

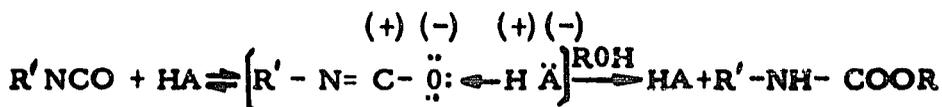
La secuencia más probable para la reacción isocianato-alcohol puede ser la siguiente (24):



Considerando la intervención de una base de Lewis:



Considerando la intervención de un ácido de Lewis:



De los ejemplos anteriores se deduce el siguiente -
esquema general;

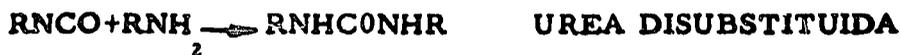


Se ha observado que en general las bases son fuertes catalizadores y que los ácidos no solo no catalizan, sino que a veces incluso retardan la reacción, o la inhiben.

Frecuentemente se mezcla determinada cantidad de agua con los reactivos, con el objeto de librar CO_2 , de acuerdo con la siguiente reacción:



La formación de la amina provoca las siguientes reacciones secundarias:



Por otra parte el isocianato reacciona también con el uretano de la siguiente manera:



El biuret y el alofanato son productos poco estables, pues elevando la temperatura la reacción se torna rever-

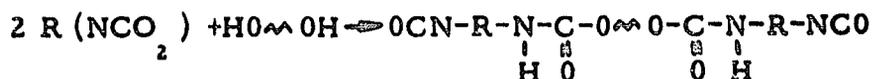
sible. Además reacciona fácilmente con la amina antes formada regenerando la úrea disubstituída y el uretano.

Producción de la espuma:

Se utilizan fundamentalmente tres tipos de proceso, estos son el de un paso, el del prepolímero y el del semi-prepolímero (24)

En el proceso de un paso se mezclan simultáneamente todos los reactivos, o bien se preparan primero dos componentes, el primero lo constituye el diisocianato puro y el segundo la mezcla de la resina, el agua - el agente espumante y el catalizador; a continuación se mezclan estos dos componentes. Las reacciones proceden inmediatamente, formándose la espuma aproximadamente a los diez segundos después del mezclado y concluyendo totalmente a los dos minutos. Las reacciones son exotérmicas y se ilustran en el proceso del prepolímero.

Siguiendo el método del prepolímero, se mezclan primeramente el isocianato con la resina efectuándose la siguiente reacción:



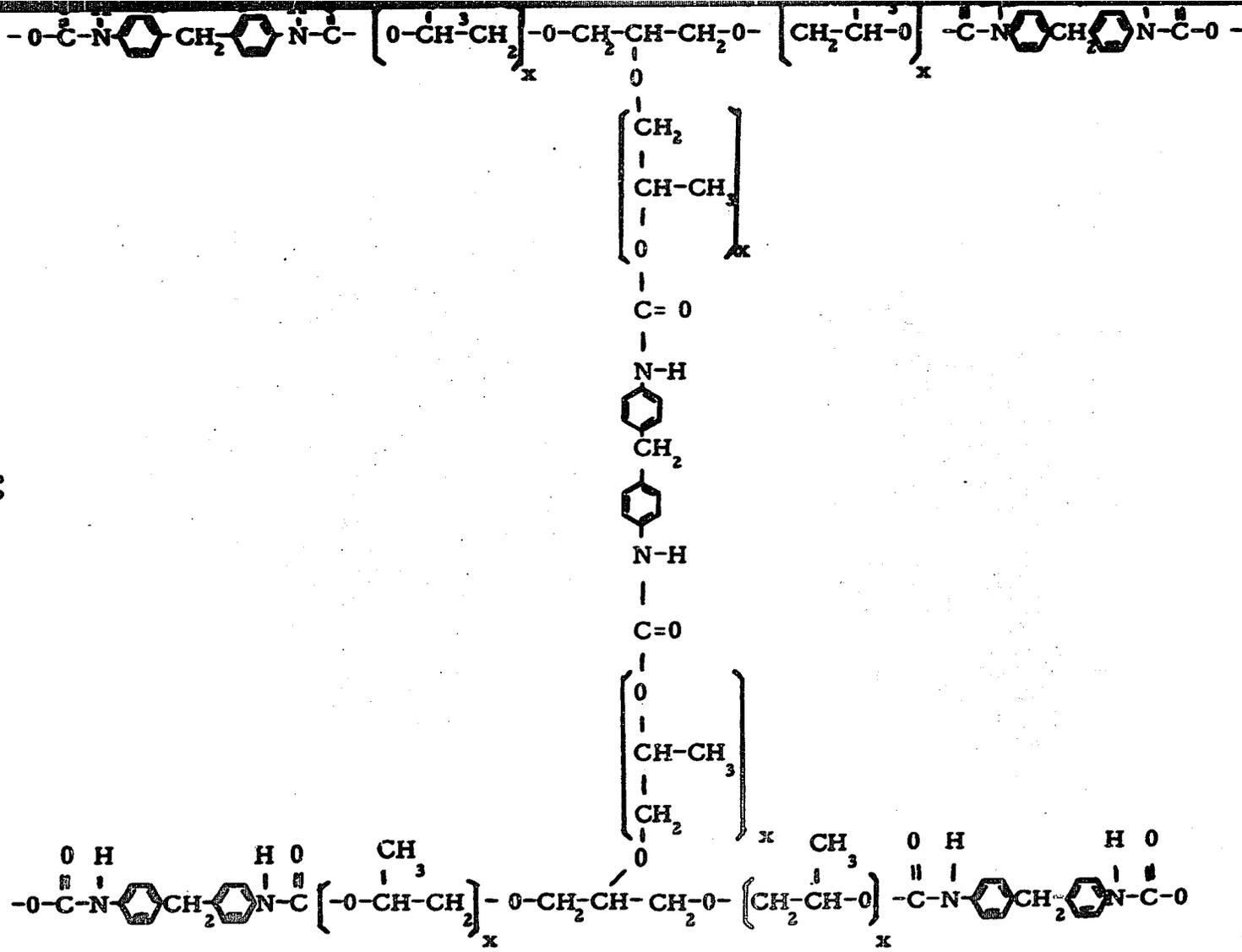


Fig.-6 ESTRUCTURA MOLECULAR DE UN POLIURETANO.

polímero que contiene un exceso de grupos isocianato.- Este compuesto se hace reaccionar con el resto de la resina que está mezclada con los demás reactivos.

Frecuentemente en espumas rígidas solo se utiliza tricloromonofluorometano como agente espumante, suprimiendo por completo el agua.

La estequiometría del sistema es tal, que la relación de equivalentes de isocianato a equivalentes de hidrógenos activos es ligeramente mayor de uno.

Las reacciones antes indicadas se efectuarán siempre que las moléculas tengan la suficiente movilidad para efectuar colisiones entre sí con una frecuencia razonable. Al final del espumado los extremos de las cadenas están relativamente inmóviles, de tal manera que la frecuencia de las colisiones baja progresivamente. Es entonces cuando se supone que el agua, presente en exceso, o bien de la humedad del aire reacciona en dichos extremos con los grupos isocianato formando aminas.

Las velocidades de reacción se indican en la Tabla I, así como también el efecto cualitativo de algunos tipos de catalizadores.

TABLA I (24)

Velocidades de reacción relativas entre el isocianato y algunos compuestos que contienen átomos de hidrógeno activos.

Compuestos con Hidrógeno activo	Velocidad de Reacción	Efectos de los Catalizadores.		
		Amina Terciaria	Alcali	Estaño
Uretano	1	Ninguno	Fuerte?	Ninguno?
Urea	100	Ninguno	Fuerte?	Débil
Agua	400	Fuerte	Fuerte	Débil
Alcohol	400	Fuerte	Fuerte	Muy - Fuerte

Notas para la Tabla I

- 1- Alcali= Hidróxido y Alcohóxico de Sodio
- 2- Estaño= Octoato Estánnico y Dioctoato de Dibutileno
- 3- El signo de interrogación indica que el resultado es dudoso por no haber sido confirmado con estudios cinéticos detallados.

Depolimerización de la espuma .

En general las depolimerizaciones de espuma de poliuretano se efectúan fundamentalmente por medio de fusión, disolución e hidrólisis .

Los métodos de fusión consisten básicamente en calentar la espuma a fuego directo provocando su ignición, o bien someterla a condiciones drásticas de presión y temperatura, obteniendo en ambos casos un producto líquido resinoso, compuesto esencialmente de poliéster .

Los métodos de disolución se basan en el hecho de que la espuma de poliuretano se disuelve a altas temperaturas en el mismo diisocianato, poliéter o poliéster que se empleó para su obtención. En estos métodos se presenta generalmente una degradación del polímero dando compuestos de relativamente bajo peso molecular .

Los métodos de hidrólisis se dirigen a romper en las moléculas del polímero las uniones más débiles, - tales como las uniones éster y los grupos uretano. Así - se tiene por ejemplo en una hidrólisis alcalina la siguiente

reacción:



Uretano

Amina

Alcohol

En la mayoría de los casos la depolimerización es solo parcial, pues los productos formados son aún de alto peso molecular.

De los métodos existentes para la depolimerización de espuma rígida de poliuretano se estudiarán dos casos, basándose en los resultados obtenidos por medio de experimentaciones. (19)

III. ANALISIS DE MERCADO.

Antes de proceder a la investigación del mercado, es conveniente citar las aplicaciones más importantes de la espuma rígida de poliuretano.

Sus propiedades principales son una baja densidad aparente, la que proporciona cierta facilidad en su manejo; presenta alta resistencia a los agentes químicos, gran impermeabilidad, y el factor de conductividad térmica más bajo entre los materiales aislantes.

Valores numéricos de las propiedades de la espuma se encuentran en la tabla II.

Sus principales aplicaciones son las siguientes:

Para aislamiento y refrigeración se utiliza en bodegas refrigeradas, almacenes, cuartos fríos, refrigeradores comerciales y domésticos, etc.

En la industria de transporte se utiliza para carros caja aislados, camiones y trailers.

En la industria de la construcción se utiliza como aislante en techos, paredes y pisos, también en paneles para particiones y fachadas.

TABLA II (23)

PROPIEDADES DE LA ESPUMA RIGIDA DE POLIU -
RETANO.

PROPIEDAD	VALOR
CONDUCTIVIDAD TERMICA "K"	0.013-0017 Kcal-m/ hr ⁰ Cm ²
DENSIDAD	0.02-0.03 g/cm ³
INFLAMABILIDAD	AUTOEXINGUIBLE
DISTORSION TERMICA	115 ⁰ C
COEFICIENTE DE DILATA- CION TERMICA	0.00005 cm/cm / ⁰ C
CELDA CERRADAS	90-95 ⁰ /,
RESISTENCIA A LA COMPRESION	1.4-2.1 kg/cm ²
RESISTENCIA A LA TENSION	3.5 kg/ cm ²
TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA	0.21-0.28gH ₂ O/hr mm kg/cm.
ABSORCION DE AGUA	0.019 g/cm ²
TAMAÑO DE CELDILLA	0.2 - 0.7 mm
CALOR ESPECIFICO	0.5 cal /g ⁰ C

En la industria de proceso, como aislante -
para tuberías y equipo de proceso a bajas temperaturas .

En flotación para la construcción de muelles y
cámaras de flotación de barcos .

Finalmente, como empaque, en juguetes, y -
para artículos decorativos .

En México solamente es de importancia indus-
trial y comercial la venta de espuma para su utilización
como aislante térmico a bajas temperaturas. Dicha ven-
ta se efectúa por medio de compañías distribuidoras, las
que además de ser intermediarios entre el fabricante y-
el consumidor, proporcionan el servicio de colocación o
instalación del material.

La estimación del consumo nacional de aislan-
tes térmicos para bajas temperaturas se efectuó por me-
dio de las siguientes compañías distribuidoras:

Aislamientos Técnicos, S.A.

Anticorrosivos, S.A.

Distribuidora Fiberglass de México, S.A.

Forros y Aislamientos, S.A.

Plásticos para Construcción, S.A.

Protecciones y Acabados, S.A.

Termoasbestos, S.A.

Termo Aislante Kroy, S.A.

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Material Aislante	Consumo Mensual Promedio de 1964.
Espuma de Poliestireno	675 m ³
Espuma de Poliuretano	255 m ³
Lana Mineral	50 m ³

El volumen de espuma de poliuretano que se requeriría para cubrir la totalidad del mercado es de - 584 m³, el que se calculó en el Apéndice I a partir de los coeficientes de conductividad térmica de los diferentes - materiales,

Tomando como base una planta hipotética productora de espuma rígida de poliuretano que cubriera el 25^o/_o del mercado, su capacidad de producción para venta sería de 146 m³/mes.

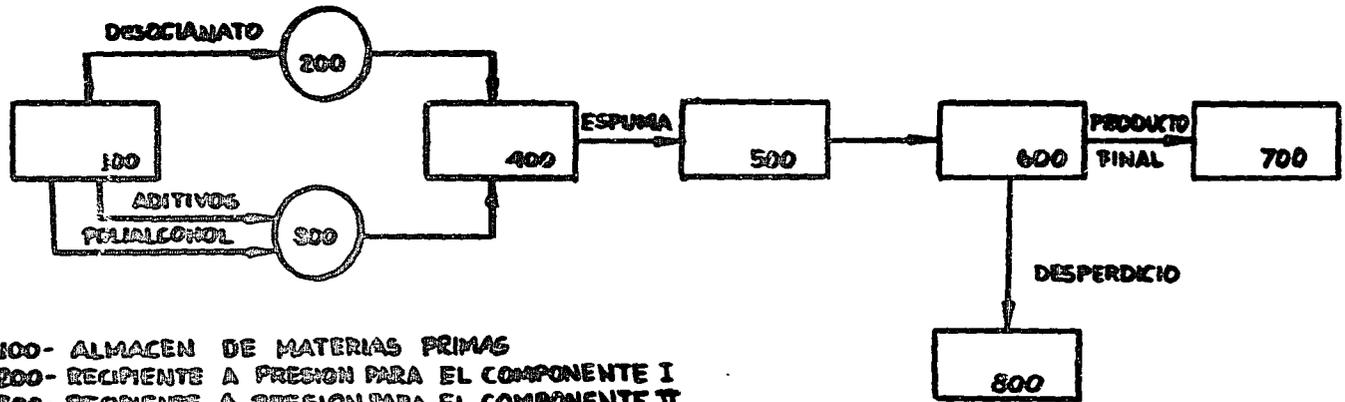
Para terminar este capítulo, cabe mencionar que el crecimiento del mercado de espuma rígida de poliuretano es lento, debido al alto costo de producción de la misma. Actualmente se están llevando a cabo investigaciones para encontrar materias primas nuevas más baratas.

**IV .DISEÑO YEVALUACION ECONOMICA
PRELIMINARES.**

En este capítulo se definirán los dos métodos bajo estudio para determinar y evaluar las diferencias básicas existentes entre ambos, con el objeto de seleccionar uno de ellos y analizarlo más detalladamente en los capítulos siguientes.

Es conveniente que se establezcan primero - ciertas bases, especialmente en lo que respecta a la planta hipotética elaboradora de espuma. En los párrafos siguientes se mencionan las características fundamentales de esta planta.

En la fig. 7 se encuentra representado el diagrama de flujo, en éste se puede apreciar de una manera general, que el proceso que se utiliza es el de dos componentes y un paso, esto es, el diisocianato, que constituye al componente I, se coloca en un recipiente a presión, y en otro se coloca la mezcla de polialcohol y aditivos, o sea el componente II. Posteriormente estos dos componentes se dosifican por medio de bombas a una boquilla de mezclado, en la cual se produce una mezcla homogénea de los dos componentes, la que se recibe en un trans-



- 100- ALMACEN DE MATERIAS PRIMAS
 200- RECIPIENTE A PRESION PARA EL COMPONENTE I
 300- RECIPIENTE A PRESION PARA EL COMPONENTE II
 400- SECCION DE MEZCLADO Y ESPUMADO
 500- ALMACEN DE ESPUMA
 600- SECCION DE CORTE
 700- ALMACEN DE PRODUCTO TERMINADO
 800- ALMACEN DE DESPERDICIO

FIG-7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ESPUMA SIN RECUPERACION

portador de banda, donde se forma la espuma, la cual es guiada hacia el almacén de espuma, donde permanece cierto tiempo, con el objeto de estabilizarse dimensionalmente. Finalmente pasa a la sección de corte, que es precisamente donde se origina el desperdicio. Tanto el producto terminado, como el desperdicio, pasan a sus almacenes correspondientes.

Descripción de los materiales:

Componente I: está constituido en su totalidad por difenilmetano 4.4' - diisocianato de las siguientes -- características:

Consistencia: Líquido café oscuro ligeramente turbio

Pureza: 91 - 94⁰/₀

Contenido NCO: 30 - 32⁰/₀

Viscosidad 25⁰C : 100 - 150 Cp

Densidad absoluta: a 25⁰C: 1.22 g/cm³

Componente II: Su composición es la siguiente:

Poliálcohol --- 59⁰/₀ en peso

Aditivos --- 41⁰/₀ en peso

El polialcohol es una mezcla en partes iguales de polioxipropilenglicerotriol y poliéster del ácido adípico, anhídrido ftálico y hexanotriol. Sus características generales son las siguientes:

Consistencia: líquido aceitoso de color café - amarillento

Contenido de hidroxilos: 10%

Viscosidad a 25°C : 8000 cp

Contenido de agua: < 2%

pH 9.8

Densidad absoluta a 25°C: 1.12 g/cm³

Calor específico medio: 0.5 cal/g-°C

Los aditivos están constituidos en un 59.5% - por monofluorotriclorometano y el resto por catalizadores, agentes de superficie, emulsivos, etc.

Espuma: Sus características generales se aprecian en la tabla II y su composición es la siguiente:

Componente	% en peso
------------	-----------

Difenilmetano	4.4'
---------------	------

Diisocianato	46
Polialcohol	33
Aditivos	21
	100

Capacidad de producción. -

De acuerdo con lo establecido por el análisis de mercado, el volumen de espuma rígida de poliuretano requerido para cubrir el 25^o/100 del mercado nacional de aislantes térmicos a bajas temperaturas es de --- 146m³/mes.

Considerando que la planta hipotética productora de espuma opera a un 85^o/100 de capacidad y con un 15^o/100 promedio de desperdicio, la capacidad de diseño de esta planta es de 200 m³/mes, o bien 5000 kg/mes.

En los resultados del balance de materiales (ver Apéndice No. 2) se observa que, a 100^o/100 de capacidad, la planta produce 4250 kg/mes de producto terminado, obtiene 750 kg/mes de desperdicio y presenta el siguiente consumo mensual de materias primas:

Díisocianato	2300 Kg
Polialcohol	1650 Kg
Aditivos	1050 Kg

Aspecto económico.

Debido a que la decisión final se basará precisamente en un análisis económico, es muy importante mencionar las bases económicas de esta planta. Refiérase al Apéndice No. 3 para conocer los detalles acerca de la siguiente tabla.

TABLA RESUMEN DEL ASPECTO ECONOMICO

I. INVERSION	% de capacidad	
	85%	100%
1- Capital fijo	\$ 1 500 000.-	\$ 1 500 000.-
2- Capital de trabajo	638 217.-	701 118 .-
Inversión total	2 138 217 .-	2 201 118 .-
II. COSTO DE PRODUCCION (anual)		
1- Materia Prima	914 430.-	1 075 800.-
2- Costo directo	560 000.-	590 000.-
3- Costo indirecto	349 000.-	349 000.-
Total Costo de Producción (CP):	1 823 430 .-	2 014 800.-
III. ANALISIS ECONOMICO		
1- Venta Neta (VN)	2 529 600.-	2 976 000.-
2- Utilidad Bruta (UB)	706 170.-	961 200.-
3- Gastos Generales (GG)	250 000.-	295 000.-
4- Utilidad antes de Impuestos (UAI)	456 170.-	666 200.-
5- Impuestos (I)	123 705.-	199 615.-

6- Utilidad después de Impuestos (U)	332 465.-	466 585.-
7- Rentabilidad antes de Impuestos (RAI)	21.4 ⁰ /o	30 ⁰ /o
8- Rentabilidad después de Impuestos (R)	15.5 ⁰ /o	21.2 ⁰ /o
9- U/VN	0.131	0.157
10- VN/IT	1.19	1.35

Introducción a los métodos de regeneración:

Existen varios métodos para depolimerizar espuma rígida de poliuretano, pero según se determinó experimentalmente, sólo 2 de ellos permiten un ⁰/o de recuperación apreciable.

Estos dos métodos son los que se analizan en el presente estudio, con el objeto de seleccionar uno de ellos y determinar si éste mejora la economía de la planta.

Es importante hacer notar que la capacidad de las plantas de regeneración no se puede fijar directamente a partir del volumen de desperdicio resultante,

pues debido a que los mismos métodos de regeneración presentan ciertas limitaciones en el porcentaje de recuperación, es indispensable efectuar un balance de materiales de toda la planta incluyendo el proceso de regeneración, con el objeto de determinar si el método bajo estudio permite la recuperación de la totalidad del desperdicio, apegándose a las necesidades de producción.

El diagrama de flujo de proceso para la planta con proceso de regeneración es esencialmente el mismo para los dos métodos, y se puede apreciar en la --
fig. 8.

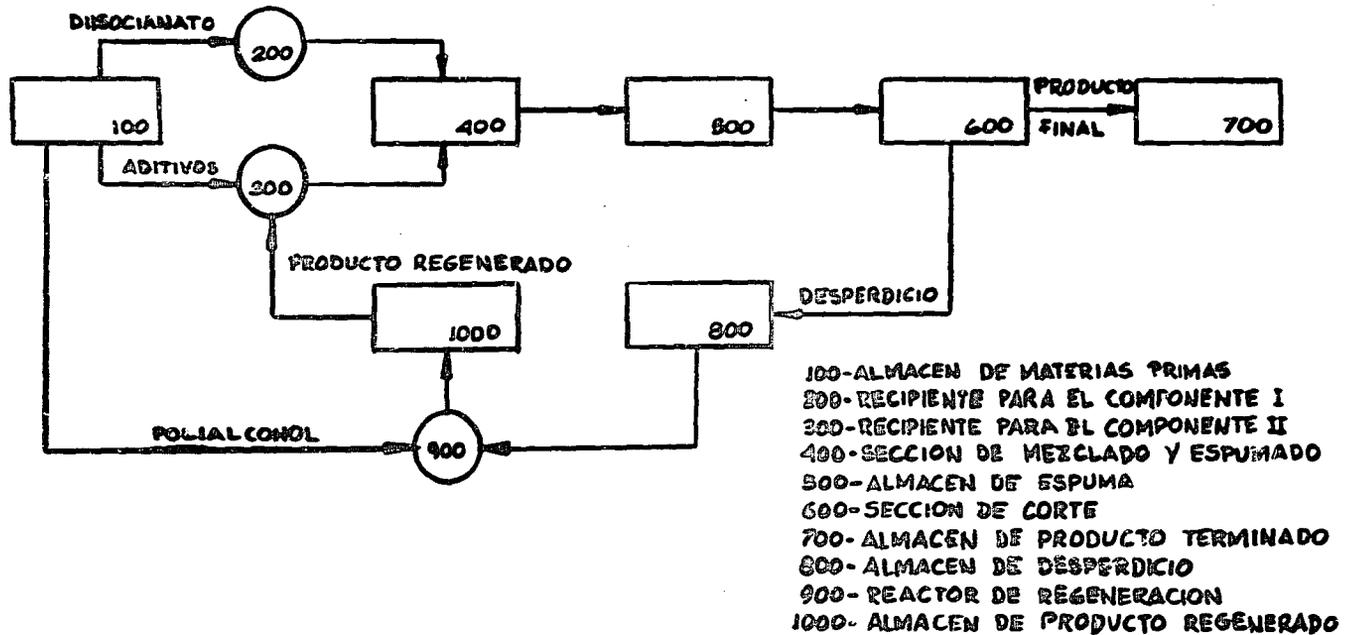


FIG-8 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ESPUMA CON REGENERACION

Método I

Resumen del proceso.

Los materiales que se usan como materia - prima en este Método son el polialcohol y el desperdicio; este último está constituido en su totalidad por espuma de buena calidad, y se originó en la sección de corte. Es importante mencionar que la composición de la espuma que contiene recuperación es diferente a la de la espuma original, (19) siendo la siguiente:

Componente	% en peso
Diisocianato	34.5
Polialcohol	26.5
Aditivos	17.0
Mezcla 45	22.0
	10 0.0

Nota: La "mezcla 45" se refiere a la cantidad de producto que se obtiene en la primera parte del proceso de regeneración.

El proceso en general se puede dividir en dos partes, (19) la primera la constituye la propia regeneración en sí, y la segunda consta únicamente de una dilución del producto regenerado.

La carga inicial presenta la siguiente formulación:

Polialcohol	55 % en peso
Desperdicio	45 % en peso
	100 %

Primeramente se coloca el polialcohol en un reactor, el que a su vez representa el 37.5 % del total del polialcohol que se utilizará en el proceso, y se calienta a 230°C. A continuación se añade el desperdicio de espuma en dos porciones, esperando la completa disolución de la primera porción antes de añadir la segunda. El tiempo que requiere la totalidad de la espuma para disolverse es de 2.5 horas. El rendimiento de esta primera parte es de 80%, considerando que el freón se evapora.

Como segunda parte del proceso se suspende el calentamiento y se adiciona el polialcohol restante, el cual - además de diluir el producto regenerado, enfría el contenido del reactor. Se continua agitando hasta formar - una solución homogénea y se descarga. El producto así obtenido constituye una de las materias primas que se - utilizará en la elaboración de nueva espuma.

La reacción se lleva a cabo en un reactor en - chaquetado y provisto de agitador.

La regulación del proceso se efectúa por me - dio de un instrumento neumático registrador y regula - dor automático de temperatura.

El tiempo que dura cada una de las etapas de proceso se expresa a continuación:

Carga de materiales	0.25 hrs
Calentamiento	1.00 "
Reacción	2.50 "
Dilución y descarga	0.25 "
Total	4.00 "

Los servicios que requiere el proceso son los siguientes: Vapor saturado de Dowtherm para la chaqueta del reactor. Energía eléctrica para el motor del agitador del reactor, para el instrumento y para el sistema Dowtherm, Aire comprimido para el instrumento.

Considerando el proceso de regeneración dentro de la operación normal de la planta, el balance de materiales (ver Apéndice No.4) para un 100% de capacidad, proporcionó los siguientes resultados:

El método I permite la regeneración del -- 87.5 % del total del desperdicio generado, o sea 655Kg/mes de 750 kg/mes.

Como consecuencia del resultado anterior -- quedan 95 kg/mes de desperdicio no recuperable.

La capacidad de producción de la planta de -- regeneración es de 2425 Kg/mes de producto regenerado.

Finalmente en el Apéndice No. 5 se determinó el volumen del reactor que se requiere, obteniendo como resultado un reactor de 0.453 m³ (120 Gal).

Método II

Resumen del proceso.

Los materiales que se utilizan como materia prima en este método son los mismos que para el método anterior, o sea el polialcohol y el desperdicio. La espuma que se obtiene con el producto regenerado por este método presenta diferente composición a la original y a la del método anterior; esta composición es la siguiente (18).

Componente	% en peso
Diisocianato	32.1
Polialcohol	25.5
Aditivos	16.0
Mezcla 45	26.4
	100.0

El proceso se divide en dos partes (19), en la primera se efectúa la depolimerización y en la segunda únicamente una dilución del producto degradado.

La carga inicial presenta la misma formula-

lación que en el método I, o sea:

Polialcohol	55 % en peso
Desperdicio	45 % en peso
	100 %

Primeramente se coloca el polialcohol en un reactor, el que a su vez representa el 39.5% del total del polialcohol que se utilizará en el proceso, y se calienta a 250° C. A continuación se añade la mitad del desperdicio que se va a tratar, se cierra herméticamente y se aplican 500 mm de Hg manométricos de vacío. Al cabo de una hora se quita el vacío, se adiciona la segunda mitad del desperdicio, se restablecen las condiciones de operación y se mantienen una hora más. El rendimiento de esta primera parte del proceso es de 93 %, considerando que el freon se pierde.

Como segunda parte del proceso se quita el vacío, se suspende el calentamiento y se adiciona el polialcohol restante, el cual además de diluir el producto regenerado, enfría el contenido del reactor. Se conti-

núa agitando hasta formar una solución homogénea y se descarga. El producto así obtenido constituye una de las materias primas que se utilizará en la elaboración de nueva espuma.

La reacción se lleva a cabo en un reactor - enchaq etado provisto de agitador y condensador para reflujo.

La regulación del proceso se efectúa por medio de un instrumento neumático registrador y regulador automático de temperatura.

El tiempo que dura cada una de las etapas de proceso se expresa a continuación:

Carga de materiales	0.25 hrs
Calentamiento	1.00 "
Reacción	2.00 "
Dilución y descarga	0.25 "
total	3.50 "

Los servicios que requiere el proceso son -
los siguientes:

Vapor saturado de Dowtherm para la chaqueta del reactor, energía eléctrica para el motor del agitador del reactor, para el instrumento, para el motor de la bomba de vacío, para el motor de la bomba de agua al condensador y para el sistema Dowtherm.

Aire comprimido para el instrumento de regulación.

Considerando el proceso de regeneración dentro de la operación normal de la planta, el balance de materiales (ver Apéndice No, 6) para un 100 % de capacidad, proporcionó los siguientes resultados:

El método II permite la regeneración del 90% del total del desperdicio generado, o sea 675 kg/mes de 750 Kg/mes.

Como consecuencia del resultado anterior quedan 75 kg/mes de desperdicio no recuperable.

La capacidad de producción de la planta de regeneración es de 2595 kg/mes de producto regenerado.

Finalmente en el Apéndice No.7 se determinó el volumen del reactor que se requiere, obteniendo como resultado un reactor de 0.453 m^3 (120 Gal).

Diferencias básicas entre los dos métodos - y evaluación de las mismas .

En general ambos métodos son muy similares, la diferencia fundamental estriba en que en el método II se opera a una mayor temperatura y además se aplica vacío. Esto tiene como consecuencias directas que el porcentaje de recuperación es mayor y el tiempo de reacción menor. Se ve claramente que el método II requiere una mayor inversión, pero proporciona a su vez mayores ahorros. Las diferencias, evaluadas en los Apéndices Nos. 8 y 9, son las siguientes:

I- Inversión adicional.

A- Capital fijo: Método I \$7 650. - menor que el método II

B- Capital de trabajo: Método I \$11 720. - mayor que el método II

**Total inversión adicional: Método I \$4 070.-
mayor que el Método II**

II Costo de producción

Método I \$3 575.-/ mes mayor que el método II

Estos datos eliminan de inmediato cualquier duda posible acerca del cual es el método más conveniente a seguir para la recuperación de l desperdicio.

V. DISEÑO DEFINITIVO.

De acuerdo con el capítulo anterior, el método que efectúa la depolimerización a 250° C y 500 mm - de Hg manométricos de vacío, es, de los dos que se -- analizaron, el más conveniente. Basándose en esto, -- este capítulo tratará sobre el diseño completo de la - planta de regeneración operando bajo dicho método. Debido a que gran parte de sus características ya se han mencionado, y con el objeto de reducir a un mínimo repeticiones innecesarias, solo se mencionarán nuevamente los puntos básicos necesarios para elaborar el diseño completo del método.

El consumo de materias primas por carga y por mes a 100% de capacidad es el siguiente:

Material	Kg/ carga	Kg/mes
Polialcohol	52.500	2 100
Desperdicio	16. 875	675

En la primera parte del proceso se utilizan 20.625 Kg del polialcohol y 16.875 kg del desperdicio. Posteriormente en la segunda parte del proceso se adicionan los 31,875 kg restantes del polialcohol. El --

rendimiento total de este método es de 93.5%, o sea - se obtienen 64.875 kg/ carga de producto regenerado.

Se efectúan dos cargas al día y 40 cargas al mes, las que producen 2 595 kg/mes de producto regenerado.

El equipo utilizado en la planta de regeneración se aprecia esquemáticamente en la Fig. 9, y es el siguiente:

- 1- Un reactor enchaquetado y provisto de agitador
- 2- Un condensador de tubos
- 3- Un tanque separador
- 4- Una bomba de vacío
- 5- Una bomba para circular agua por el condensador
- 6- Un sistema de vapor saturado de Dowtherm.

Los datos de diseño para el equipo mencionado son los siguientes:

- 1- Reactor de polimerización

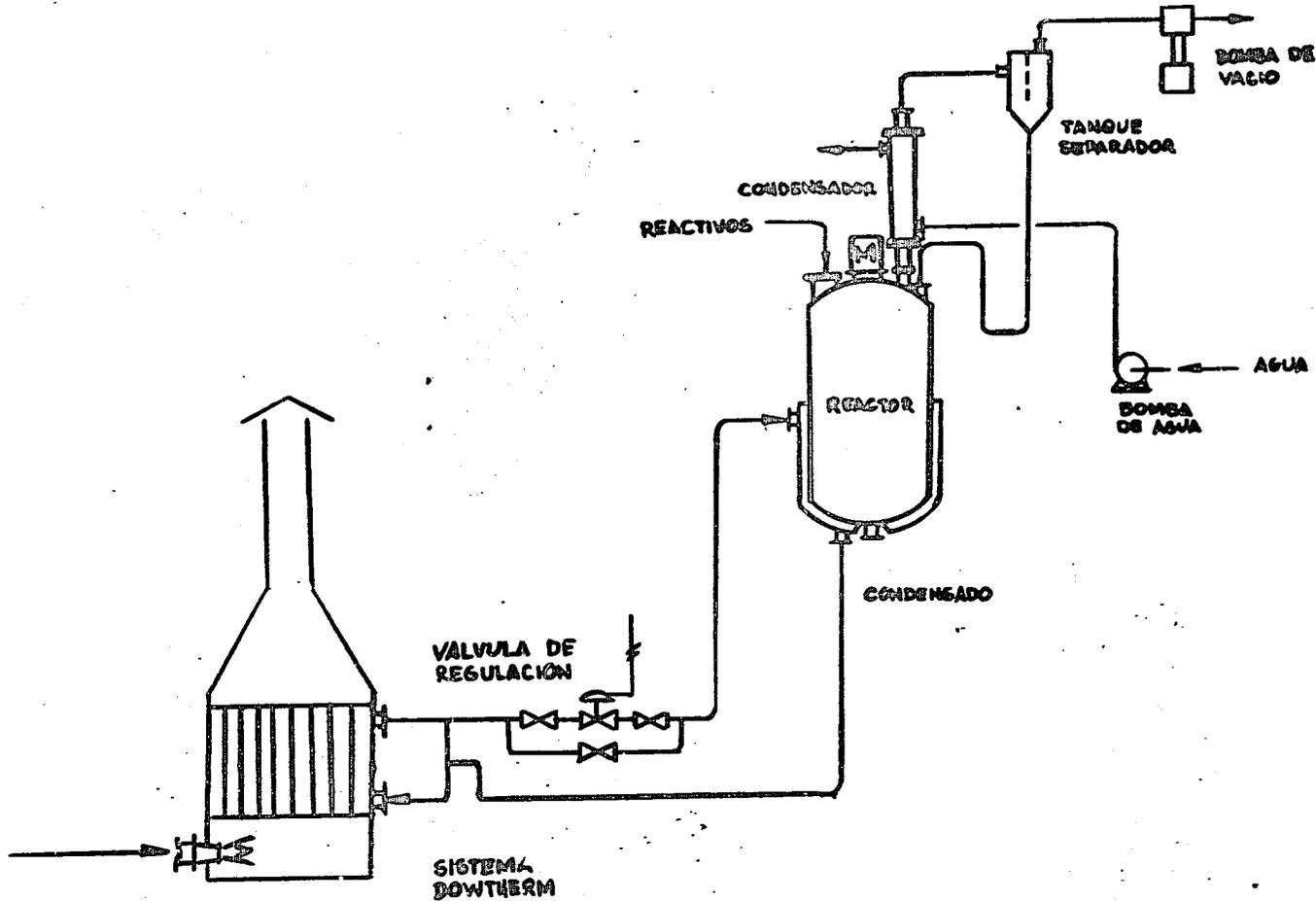


FIG-9 EQUIPO PARA EL PROCESO DE REGENERACION

Función: Efectuar la depolimerización del - desperdicio de espuma rígida de poliuretano a 250°C y 500 mm de Hg manométricos de vacío.

Operación: Intermitente, 2 cargas por día.

Materiales que maneja: Polialcohol, espuma rígida de poliuretano y producto regenerado.

Capacidad: 0.453 m³ (120 Gal)

Material de construcción: Acero inoxidable

Servicios: Vapor saturado de Dowtherm a -- 260° C y 72# y 45.4 Kg/Hra. Energía eléctrica para el motor de 2 HP del agitador.

Notas: Está provisto de agitador tipo ancla, - registro (pasahombre), visor y conexión de 10 cm para el condensador. Además tiene chaqueta que abarca el - fondo del reactor y hasta la mitad de la altura del lado- recto. Los datos de flujo de calor se encuentran en el apéndice No. 11

2- Condensador de tubos.

Función: Mantener reflujo durante la reacción de depolimerización.

Operación: Intermitente, 2 Hrs/ carga

Materiales que maneja: Vapores de agua y alcoholes -
ligeros, además en cantidades menores freon 11 y CO₂.

Material de construcción: Acero inoxidable

Tipo: Vertical de tubos

Dimensiones: Tubo exterior: 15 cm de dia. y 100 cm de
long.

Tubos interiores : 1.9 cm de dia. (3/4")
y 100 cm de long.

Medio de enfriamiento: Agua a 25°C

Notas: Es un cambiador de 6 tubos, con un área de trans-
misión de calor de 0.35 m². Los cálculos de diseño se
encuentran en el apéndice No. 12.

3- Tanque separador.

Función: Evitar que los vapores que se desprenden du-
rante la depolimerización y que no condensan
en el condensador, lleguen a la bomba de vacío.

Operación: Intermitente, 2 Hrs/ carga

Materiales que maneja: Aire, agua, alcoholes ligeros, freon y bióxido de carbono.

Materia l de construcción: Acero inoxidable.

Dimensiones: 30 cm de diámetro y 40 cm de altura.

Notas: Tiene una placa, también de acero inoxidable, de 25 x 30 cm. soldada a la tapa superior del tanque.

4- Bomba de vacío:

Función: Mantener un vacío de 500 mm de Hg manométricos en el reactor durante la reacción de depolimerización.

Operación: Intermitente, 2 Hrs/ carga.

Materiales que maneja: Aire, freon y bióxido de carbono.

Condiciones de succión: 500 mm de Hg manométricos - temperatura ambiente, 0.14 m³/min.

Material de construcción: Hierro fundido.

Notas: Refiérase al apéndice No. 13 para conocer los cálculos de capacidad de la bomba.

Existe en el mercado una bomba tipo rotatorio con aletas, con un motor de 3/4 de HP, adecuada para el caso.

5- Bomba para circular agua por el condensador .

Función: Circular agua como medio de enfriamiento al condensador del reactor .

Operación: 2 Hrs/carga , durante el tiempo de reacción .

Materiales que maneja: Agua a 25 °C .

Material de construcción: Bronce

Capacidad: 7.57 l/min (2 gpm)

Notas: En el mercado existe un tipo de bombas llamadas Y de vórtice (30), que satisfacen plenamente las necesidades de este caso .

La bomba adecuada es de 1 HP, con succión y descarga de 2.54 cm, y es capaz de producir una diferencia de presiones de 900 mm de Hg .

Refiérase al apéndice No. 12 para conocer la estimación de la capacidad de esta bomba .

6- Sistema de vapor saturado de Dowtherm.

Función: Suministrar el medio de calentamiento al reactor.

Operación: Intermitente, 3 Hrs/ carga.

Notas: Se utilizará vapor saturado de Dowtherm a 260°C , 5 kg/ cm^2 manométricos y $45.5 \text{ Kg/Hra. (11)}$. Este vapor suministra 2450 Kcal/Hra , siendo los requerimientos máximos del método de 2320 Kcal/ hra .

El hecho de que se haya seleccionado vapor saturado de Dowtherm como medio de calentamiento, se debe básicamente a las altas temperaturas de operación.

Antes de concluir con el presente capítulo, -
es muy importante mencionar el aspecto referente a la
regulación del proceso. Esta se lleva a cabo por medio
de un instrumento registrador y regulador automático -
de temperatura.

El elemento primario del instrumento, un -
termopar, se encuentra localizado en el interior del -
reactor en un termopozo, para medir la temperatura de
la carga. Este elemento manda su señal al instrumento
registrador, el que, como su nombre lo indica, regis-
tra la mencionada temperatura. El instrumento posee-
un posicionador, con el cual se pide la temperatura de-
seada. De acuerdo con la diferencia que existe entre la
temperatura real de la carga y la temperatura que pide
el posicionador, se regula proporcional y automática -
mente la salida de aire del instrumento, que es la que
posiciona el vástago de una válvula de regulación auto-
mática localizada en la línea de alimentación de Dowtherm
a la chaqueta del reactor,

Antes de concluir con el presente capítulo, - es muy importante mencionar el aspecto referente a la regulación del proceso. Esta se lleva a cabo por medio de un instrumento registrador y regulador automático - de temperatura.

El elemento primario del instrumento, un - termopar, se encuentra localizado en el interior del - reactor en un termopozo, para medir la temperatura de la carga. Este elemento manda su señal al instrumento registrador, el que, como su nombre lo indica, registra la mencionada temperatura. El instrumento posee - un posicionador, con el cual se pide la temperatura deseada. De acuerdo con la diferencia que existe entre la temperatura real de la carga y la temperatura que pide el posicionador, se regula proporcional y automática - mente la salida de aire del instrumento, que es la que posiciona el vástago de una válvula de regulación auto - mática localizada en la línea de alimentación de Dowtherm a la chaqueta del reactor,

Es importante mantener la temperatura de reacción entre 245 y 250⁰ C, porque a temperaturas menores los ciclos de operación se alargan, bajando la capacidad de la planta de regeneración, y a temperaturas mayores se corre el riesgo de provocar reacciones violentas que dan lugar a la formación de compuestos no utilizables.

De acuerdo con el párrafo anterior, el posicionador se colocará a 250⁰C; cuando la temperatura de la carga sea de 245⁰C o menor, la válvula de regulación estará completamente abierta, cuando la temperatura de la carga sea de 250⁰ C o mayor, la válvula de regulación estará completamente cerrada, y, finalmente, para temperaturas intermedias, las posiciones del vástago de la válvula serán también intermedias, siguiendo una proporción lineal directa.

En la fig. 10 se aprecia esquemáticamente la regulación del proceso.

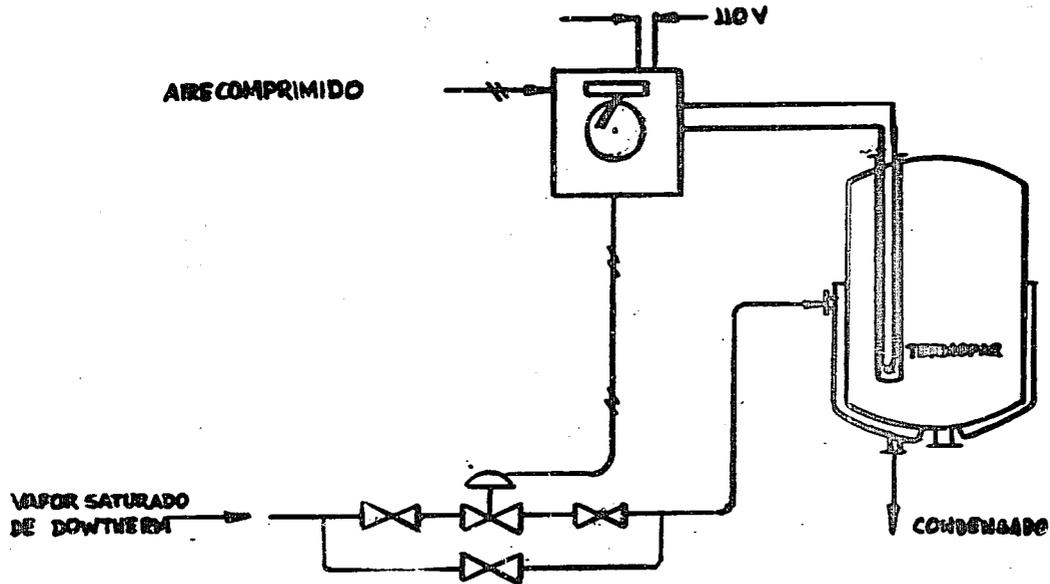


FIG-10 REGULACION DEL PROCESO DE DEPOLIMERIZACION

VI EVALUACION ECONOMICA DEFINITIVA.

Al igual que para la selección de uno de los dos métodos de regeneración, en que solo se evaluaron las diferencias, para determinar si a la planta elaboradora de espuma le conviene o no instalar la planta de regeneración, se evaluarán únicamente las variaciones que suscita la introducción del proceso de regeneración.

Refiérase al apéndice No. 14 para conocer los detalles de la presente evaluación, siendo los resultados de la misma los que se aprecian en la siguiente tabla.

TABLA RESUMEN DEL ASPECTO ECONOMICO

Costos Incrementales

1-INVERSION	% de Capacidad	
1-Capital fijo	85 \$ 96 500.-	100 \$ 96 500.-
2-Capital de trabajo	25 385.-	31 000.-
Inversión total (IT)	71 115 .-	65 500.-
II-COSTO DE PRODUCCION (ANUAL)		
1- Materia prima	118 860.-	139 800.-
2- Costo Directo	26 550.-	27 000.-
3- Costo Indirecto	9 650.-	9 650.-
Total Costo de Producción (CP)	82 660 .-	103 150.-
III- ANALISIS ECONOMICO		
1-Venta Neta (VN)	13 770	16 200.-
2-Utilidad Bruta(UB)	68 890.-	86 950.-
3- Gastos generales (GG)	-.-	-.-
4- Utilidad antes de Impuestos (UAI)	68 890.-	86 950.-
5- Impuestos (I)	24 467.-	31 807.-

6- Utilidad después de Impuestos (U)	44 423.-	55 143.-
7- Rentabilidad antes de Impuestos (RAI)	2.2 %	2.7%
8- Rentabilidad después de Impuestos (R)	1.3 %	1.7 %
9-U/VN	0.019	0.019
10- VN/IT	0.03	0.03

Además de la rentabilidad es conveniente analizar otros aspectos, como son el tiempo de recuperación de la inversión incremental, y el precio mínimo a que se podría vender la espuma sin alterar la rentabilidad original de la planta.

En el apéndice No. 15 se encuentran los cálculos al respecto, siendo los resultados los siguientes:

	% de Capacidad	
	85	100
Tiempo de recuperación (años)	1.32	1.01
Precio mínimo (¢/Kg)	57.60	57.60

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Se estudiaron primeramente dos métodos para regenerar el desperdicio de espuma rígida de poliuretano, comparándolos entre sí y seleccionando el más económico. Posteriormente se efectuó un estudio más detallado del método seleccionado, con el objeto de determinar si a una planta hipotética elaboradora de espuma le conviene o no recuperar su desperdicio.

El desperdicio está constituido en su totalidad por trozos de espuma de buena calidad, perdida en la sección de corte. La recuperación se basa en depolimerizar esta espuma perdida, para obtener el denominado producto regenerado, el cual se puede utilizar como materia prima en la elaboración de nueva espuma.

Las consecuencias directas de la recuperación son un ahorro en el consumo de materia prima, un aumento en algunos elementos del costo de producción y una inversión en equipo adicional.

El problema a resolver es si los ahorros resultantes de la recuperación del desperdicio justifican la inversión, o bien si dicha recuperación mejora la economía de la planta.

En la tabla de la siguiente página se hace una comparación del aspecto económico para la planta con y sin regeneración de desperdicio, en ella se pueden apreciar los efectos de la recuperación sobre los diferentes elementos de costo de la planta.

TABLA RESUMEN DEL ASPECTO ECONOMICO

A 85^o/ de Capacidad

A 100^o/ de Capacidad

I- INVERSION

- 1- Capital Fijo
- 2- Capital de Trabajo
- Inversión total (IT)

Sin recup.	Con recup.
1 500 000.-	1 596 500.-
638 217.-	612 832.-
2 138 217.-	2 209 332.-

Sin recup.	Con recup.
1 500 000.-	1 596 500.-
701 118.-	670 118.-
2 201 118.-	2 266 618.-

II- COSTO DE PRODUCCION (Anual)

- 1- Materia prima
- 2- Costo Directo
- 3- Costo Indirecto
- Total Costo de Producción (CP)

914 430.-	795 570.-
560 000.-	586 500.-
349 000.-	358 650.-
1 823 430.-	1 740 770.-

1 075 800.-	936 000.-
590 000.-	617 000.-
349 000.-	358 650.-
2 014 800.-	1 911 650.-

III-ANALISIS ECONOMICO

- 1- Venta Neta (VN)
- 2- Utilidad Bruta (UB)
- 3- Gastos Generales (GG)
- 4- Utilidad antes de Impuestos (UAI)
- 5- Impuestos (I)
- 6- Utilidad Neta (U)
- 7- Rentabilidad antes de Imp.(RAI)
- 8- Rentabilidad después de Imp.(R)
- 9- U/VN
- 10 - VN/IT

2 529 600.-	2 515 830.-
706 170.-	775 060.-
250 000.-	250 000.-
456 170.-	525 060.-
123 705.-	148 172.-
332 465.-	376 888.-
21.4 ^o /	23.8 ^o /
15.5 ^o /	17.1 ^o /
0.131	0.150
1.19	1.14

2 976 000.-	2 959 800.-
961 200.-	1 048 150.-
295 000.-	295 000.-
666 200.-	753 150.-
199 615.-	231 422.-
466 585.-	521 728.-
30.0 ^o /	33.4 ^o /
21.2 ^o /	23.2 ^o /
0.157	0.176
1.35	1.32

Analizando esta tabla se pueden obtener las conclusiones más importantes. Estas se dividen básicamente en dos, la primera, que basándose en los resultados positivos recomienda la recuperación del desperdicio, y la segunda, basándose en los resultados negativos, recomienda obviamente lo contrario. De estos resultados a que se hace mención, los más sobresalientes son los siguientes:

Resultados positivos.

1- El tiempo de recuperación de la inversión adicional es de 1.32 y 1.01 años para las capacidades estudiadas.

2- El consumo de materia prima baja considerablemente sin alterar el volumen de ventas de producto terminado, teniendo como consecuencia las siguientes disminuciones en los costos de producción:

a 85% de capacidad: \$ 82 660.-/ año

a 100% de capacidad: \$ 103 150.-/ año

3- Como consecuencia del resultado anterior,

las utilidades aumentan, siendo los incrementos antes de impuestos los siguientes:

a 85% de capacidad: \$68 890.-/año

a 100% de capacidad: \$86 950.-/año

4- El volumen de desperdicio a vender baja de 7 650 Kg y 9 000 Kg a 765 y 900 Kg respectivamente, lo cual se refleja en una mayor disponibilidad de horas-hombre en el departamento de ventas para el producto terminado.

5- El precio de venta se puede bajar de 59.- \$/Kg a 57.60 \$/Kg, sin alterar la rentabilidad original de la planta, lo cual tendría como consecuencia probable un incremento de ventas; hecho que beneficia a la compañía, pues se ha observado a lo largo del presente estudio que a mayor porcentaje de capacidad de operación mayor rentabilidad.

Resultados negativos.

El único resultado negativo que se puede observar, es que la relación de ventas netas a inversión total disminuye al introducir el proceso de regeneración,

sin embargo esta disminución es muy pequeña, y la relación anterior permanece mayor de 1, que es lo deseable.

Comparando los resultados antes mencionados se llega a una última conclusión general, en la que la recuperación del desperdicio de espuma se considera conveniente, y se recomienda por lo mismo que la planta bajo estudio la adopte.

VIII. APENDICES.

Indice de Apéndices

Apéndice No.	Título
1	Cálculo del volumen de espuma rígida de poliuretano requerido para cubrir la totalidad del mercado nacional de aislantes térmicos a bajas temperaturas.
2	Balance de materiales de la planta elaboradora de espuma
3	Aspecto económico de la planta elaboradora de espuma
4	Balance de materiales de la planta elaboradora de espuma, incluyendo el proceso de regeneración por el Método I
5	Volumen del reactor de regeneración método I
6	Balance de materiales de la planta elaboradora de espuma, incluyendo el proceso de regeneración por el método II
7	Volumen del reactor de regeneración, método II

Apéndice No.	Título
8	Evaluación de las diferencias en inversión fija de los dos métodos de regeneración
9	Evaluación de las diferencias en costo de producción de los dos métodos de regeneración
10	Cálculos de transmisión de calor en el reactor del método I
11	Cálculos de transmisión de calor en el reactor del método II
12	Cálculo de transmisión de calor en el condensador del método II
13	Cálculo de la capacidad de la bomba de vacío
14	Evaluación de las diferencias que suscita la introducción del método de regeneración
15	Tiempo de recuperación de la inversión incremental debida a la planta de recuperación y precio mínimo de venta permisible, sin alterar la rentabilidad de la planta.

Apéndice No. 1

Cálculo del volumen de espuma rígida de poliuretano requerido para cubrir la totalidad del mercado nacional de aislantes térmicos a bajas temperaturas.

De acuerdo con el análisis de mercado, el consumo nacional de aislantes térmicos a bajas temperaturas es el siguiente:

Material aislante	Consumo mensual promedio de 1964
Espuma de Poliuretano	255 m ³
Espuma de Poliestireno	675 m ³
Lana mineral	50 m ³

El volumen de material utilizado en los aislamientos depende directamente de la conductividad térmica del mismo, por lo que a partir del coeficiente K de conductividad térmica se puede calcular el volumen de poliuretano requerido para substituir al poliestireno y a la lana mineral de la siguiente manera:

Coeficiente K de conductividad térmica (Kcal-m/hr ⁰ C m ²)	K _i /K ₂ i=1,2,3.	Volumen Equivalente m ³
--	--	--

Material

Espuma de Poliuretano	0.015	1.00	255.0
Espuma de poliestireno	0.033	0.45	307.5
Lana mineral	0.035	0.428	21.5
			584.0

Por consiguiente el volumen de espuma rígida de poliuretano requerido para cubrir la totalidad del mercado nacional es de 584 m³/mes.

Apéndice No. 2

Balance de materiales de la planta elaboradora de espuma.

Base: 1 mes de producción a 100% de capacidad (E=5000 kg/ mes)

Símbolos:

- B: Diisocianato**
- P: Polialcohol**
- E: Espuma**
- M: Producto final**
- D: Desperdicio**
- A: Aditivos**

Balance Total: $A+B+P = M+D$

Balance sección

de espumado: $A+ B + P = E$

$E = 5000 \text{ kg/mes}$

De acuerdo con la composición de la espuma antes citada:

$$A = 0.21 E$$

$$B = 0.46 E$$

$$P = 0.33 E$$

Por consiguiente

$$A = 1050 \text{ kg/mes}$$

$$B = 2300 \text{ kg/mes}$$

$$P = 1650 \text{ Kg/mes}$$

$$E = 5000 \text{ kg/ mes}$$

Sección de corte $E = M + D$

se conoce que: $D = 0.15 E$

por lo tanto: $D = 750 \text{ kg/mes}$

$$M = 4250 \text{ kg/mes}$$

Los resultados del ba-lan-ce de materiales indican que la cantidad de desperdicio resultante, operando a 100 % de capacidad, es de 750 kg/mes lo que equivale a 30 m³/mes.

Apéndice No. 3

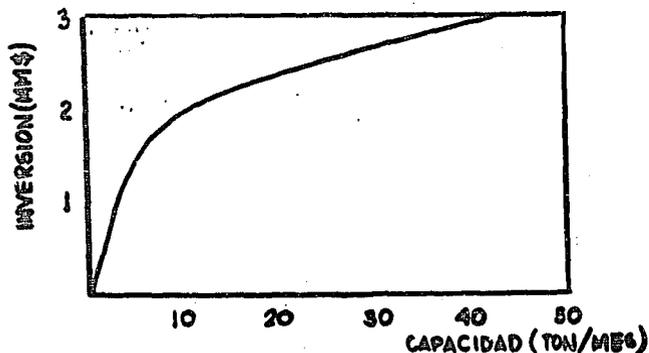
Aspecto económico de la planta elaboradora de espuma.

No obstante que en la introducción se menciona que las características de la planta elaboradora de espuma ya se conocen, es conveniente, aunque se salga un poco del objeto de la tesis, no solo mencionarlas, sino procurar, aunque en forma muy breve, explicar como se determinaron.

I. Inversión.

1. Capital fijo.

Además del análisis de mercado se investigó también la inversión fija de diferentes plantas y relacionándolas con su capacidad se obtuvo la siguiente gráfica:



Por consiguiente el capital fijo que corresponde a una capacidad de 5 ton/mes es de 1500 000.-

2. Capital de trabajo.

A. Inventario de Materia Prima. (1 mes)

Ap.No. 3 (cont.)

Material	Volumen (Kg)		Costo Unitario (\$/ kg)	Valor total	
	85 0/0	1000/0		850/0	1000/0
Diisocianato	1955.0	2300	20.-	39 100.-	46 000.-
Polialcohol	1403.5	1650	15.-	21 052.-	24 750.-
Aditivos	892.5	1050	18.-	16 065.-	18 900.-
Valor total del inventario de materia prima:				\$ 76 217.-	\$ 89 650.-

B. Material en proceso

(1 semana a costo de
producción)

38 000.- 41 968.-

C. Inventario de producto terminado

(1 mes a costo de producción) 152 000.- 167 875.-

D. Cuentas por cobrar

(1 mes a precio de venta) 220 000.- 233 750.-

E. Efectivo mínimo

(1 mes a costo de producción) 152 000.- 167 875.-

Total capital de trabajo: \$ 638 217.- \$ 701 118.-

Total Inversión: \$ 2 138 217.- \$ 2 201 118.-

II. Costo de Producción.

Conociendo los aspectos de Inversión y Materia Prima, se estimó en 10 000.-/mes el costo de mano de obra directa, y a partir de estos tres elementos se estimó por el método de porcentajes el costo de producción, obteniendo la siguiente distribución:

Materia Prima:	53 ^o / _o
Costo directo:	27 ^o / _o
Costo indirecto:	20 ^o / _o
Total	100 ^o / _o

Con base en esto se obtienen los siguientes costos de producción:

a 85 ^o / _o de capacidad:	\$ 1 823 430.-/año
a 100 ^o / _o de capacidad:	\$ 2 014 800.-/año

III. Análisis económico

Base: 1 año	% de capacidad	
	85	100
Precio de venta del producto terminado... (PV)	59.-/Kg	59.-/Kg

% de capacidad

85

100

Precio de venta del desper-

dicio... (PV_2)

2.-/Kg

2.-/Kg

Ventas anuales de producto

terminado... (X_1)

43 350 Kg

51 000 Kg

Ventas anuales de desper-

dicio... (X_2)

7 650 Kg

9 000 kg

Ventas netas: $VN = 0.97 (PV_1 \times X_1 + PV_2 \times X_2)$

Ventas netas... (VN)

2 529 600.-

2 976 000.-

Costo de Producción... (CP)

1 823 430.-

2 014 800.-

Utilidad Bruta... (UB=VN-CP)

706 170.-

961 200.-

Gastos generales (GG)

250.000.-

961 200.-

Utilidad antes de Imp.

(UAI=UB-GG)

456 170.-

666 200.-

Impuestos (I) ... (I)

123 705.-

199 615.-

Utilidad después de Imp.

(U = UAI-I)

332 465.-

466 585.-

Rentabilidad antes de Imp- (RAI=UAI/IT)	21.4^o/o	30.0^o/o
Rentabilidad después de Imp- (R=U/IT)	15.5^o/o	21.2^o/o
Relación de Utilidad neta a ventas anuales (U/VN)	0.131	0.157
Relación de Ventas netas a Inversión (VN/IT)	1.19	1.35

Apéndice No. 4

Balance de Materiales. (M-I)

Base: 1 mes de producción a 100% de capacidad (E=5000 kg/mes)

Símbolos:

B: Diisocianato

P: Polialcohol total

P₁: Polialcohol utilizado en la primera parte

P₂: Polialcohol utilizado en la segunda parte

E: Espuma antes de corte

M: Producto final

D: Desperdicio de corte

D₁: Desperdicio recuperable

D₂: Desperdicio no recuperable

A: Aditivos

C: Mezcla 45

F: Freon perdido

L: Pérdidas

Datos:

Cantidad de espuma: $E = 5\,000 \text{ kg/mes}$

Cantidad de producto
terminado: $M = 4\,250 \text{ kg/mes}$

Cantidad de desper-
dicio: $D = 750 \text{ kg/mes}$

Ecuaciones:

Composición en peso de la
espuma:

$$B = 0.345 E \dots (1)$$

$$A = 0.17 E \dots (2)$$

$$C = 0.22 E \dots (3)$$

$$P_2 = 0.265 E \dots (4)$$

Contenido de freon en el des-
perdicio recuperable

$$F = 0.125 D_1 \dots (5)$$

Pérdidas en la la .parte del
proceso:

$$L = 0.2 (P_1 + D_1 - F) \dots (6)$$

Apéndice No.4 (cont.)

Balance total: $B + P + A = M + F + L + D_2 \dots (7)$

Balance sección de espumados: $B + A + C + P_2 = E \dots (8)$

Balance reactor de regeneración: $P_1 + D_1 = C + F + L \dots (9)$

Relación entre P_1 y D_1 : $P_1 = 1.22 D_1 \dots (10)$

Polialcohol total: $P = P_1 + P_2 \dots (11)$

Desperdicio total: $D = D_1 + D_2 \dots (12)$

Resolución:

Substituyendo E en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se obtiene:

$$B = 1725 \text{ kg/mes}$$

$$A = 850 \text{ ''}$$

$$C = 1100 \text{ ''}$$

$$P_2 = 1325 \text{ ''}$$

Substituyendo en la ecuación (9) a L por la ecuación (6) y substituyendo en la ecuación resultante A; P_1 y F por las ecuaciones (10) y (5) respectivamente, e introduciendo el valor de $C = 1100$, queda una ecuación en función de

D_1 únicamente, la que al resolver da el siguiente resultado:

$$D_1 = 655 \text{ kg/mes.}$$

Substituyendo el valor de $D_1 = 655$ en las ecuaciones (5) y (10) se obtiene:

$$F = 80 \text{ kg/mes}$$

$$P_1 = 800 \quad "$$

Substituyendo los valores de P_1 , D_1 , y F en la ecuación (6) se obtiene:

$$L = 275 \text{ Kg/mes}$$

Finalmente substituyendo P_1 y P_2 en la ecuación (11) y D y D_1 en la (12) se obtiene:

$$P = 2125 \text{ kg/mes}$$

$$D_2 = 95 \quad "$$

Tabla III.

Resumen de resultados M - I.

Material	Símbolo	Valor (Kg/mes)
Diisocianato	B	1725
Polialcohol total	P	2125
Polialcohol utilizado en la primera parte	P ₁	800
Polialcohol utilizado en la segunda parte	P ₂	1325
Espuma antes de corte	E	5000
Producto final	M	4250
Desperdicio recuperable	D ₁	655
Desperdicio de corte	D	750
Desperdicio no recuperable	D ₂	95
Aditivos	A	850
Mezcla 45	C	1100
Freon perdido	F	80
Pérdidas	L	275

Comprobación de los balances:

Balance total:

$$B + P + A = M + F + L + D_2$$

$$1725 + 2125 \quad 850 = 4250 + 80 + 275 + 95$$

$$4700 = 4700$$

Balance sección

de espumado:

$$B + A + C + P_2 = E$$

$$1725 + 850 + 1100 + 1325 = 5000$$

$$5000 = 5000$$

Balance reactor

de regeneración:

$$P_1 + D_1 = C + F + L$$

$$800 + 655 = 1100 + 80 + 275$$

$$1455 = 1455$$

Apéndice No.5

Volumen del reactor de regeneración, Método I.

Suponiendo que se operaran veinte días al mes y dos cargas por día, el volumen de desperdicio a tratar sería de 16.375 Kg por carga, o bien .0.655 m³/carga

El volumen del reactor queda determinado en su mayor parte por el volumen que ocupa el desperdicio adicionado antes de disolverse, debido a la baja densidad del mismo. Las condiciones en las que se requiere el mayor volumen son cuando se adiciona la última porción de la espuma, esto es:

Volumen que ocupan 8.187 kg de
desperdicio de 0.025 g/cm³ de densidad ...

330 dm³

Volumen que ocupan 28.187 kg de
mezcla de 1.12 g/cm³ de densidad.....

25 dm³

TOTAL 355 dm³

considerando un espacio libre de 20⁰%, el volumen del reactor sería de 443.75 dm³, o bien 117 Gal. Por consiguiente, un reactor de 120 Gal (453 dm³) sería el adecuado.

Apéndice No.6

Balance de materiales. (M - II)

Base: 1 mes de producción a 100% de capacidad (E = 5000

kg/mes)

Símbolos:

B: Diisocianato

P: Polialcohol

P₁: Polialcohol utilizado en la primera parte

P₂: Polialcohol utilizado en la segunda parte

E: Espuma antes de corte

M: Producto final

D: Desperdicio de corte

D₁: Desperdicio recuperable

D₂: Desperdicio no recuperable

A: Aditivos

C: Mezcla 45

F: Freon perdido

L: Pérdidas

Datos: E = 5000 kg/mes
 M = 4250 kg/mes
 D = 750 kg/mes

Ecuaciones:

Composicion de la espuma: B = 0.321 E(1)

A = 0.16 E(2)

C = 0.264 E(3)

P₂ = 0.255 E(4)

Contenido de freon en el

desperdicio recuperable: F = 0.125 D₁(5)

Pérdidas en la primera par-

te del proceso L = 0.07(P₁ + D₁ - F) ..(6)

Balance total:

B + P + A = M + F + L + D₂ .
(7)

Balance sección de

espumado: B + A + C + P₂ = E ... (8)

Balance reactor de

regeneración: P₁ + D₁ = C + F + L(9)

Relación entre P₁ y D₁:

P₁ = 1.22 D₁(10)

Polialcohol total: $P = P_1 + P_2 \dots \dots \dots (11)$

Desperdicio total. $D = D_1 + D_2 \dots \dots \dots (12)$

El sistema se resuelve análogamente al caso del Método I, Ap.4, los resultados se aprecian en la -
Tabla IV.

Tabla IV.

Material	Símbolo	Valor (kg/mes)
Diisocianato	B	1605
Polialcohol total	P	2100
Polialcohol utilizado en la primera parte	P_1	825
Polialcohol utilizado en la segunda parte	P_2	1275
Espuma antes del corte	E	5000
Producto final	M	4250
Desperdicio de corte	D	750

Desperdicio recuperable	D_1	675
Desperdicio no recuperable	D_2	75
Aditivos	A	800
Mezcla 45	C	1320
Freon perdido	F	84
Pérdidas	L	96

Comprobación de los balances.

Balance total: $B + P + A = M + F + L + D_2$
 $1605 + 2100 + 800 = 4250 + 84 + 96 + 75$
 $4505 = 4505$

Balance sección de espumado: $B + A + C + P_2 = E$
 $1605 + 800 + 1320 + 1275 = 5000$
 $5000 = 5000$

Balance reactor de regeneración: $P_1 + D_1 = C + F + L$
 $825 + 675 = 1320 + 84 + 96$
 $1500 = 1500$

Apéndice No.7

Volumen del reactor de regeneración, Método II.

Recordando que las bases son 20 días por mes y 2 cargas por día, el volumen de desperdicio a tratar es de 16.875 kg/carga o bien 0.675 m³/carga. Al igual que en el Método I, la espuma se adiciona en 2 porciones siendo el volumen máximo necesario el siguiente:

Material	Cantidad Kg	Densidad Kg/dm ³	Volumen dm ³
Desperdicio	8.4375	0.025	337.5
Mezcla en reactor	29.0525	1.12	24.25
Volumen máximo necesario:			361.75
Considerando 20 ⁰ / ₀ de espacio libre:			452.18

Por consiguiente un reactor de 120 Gal (453 dm³) es el indicado,

Apéndice No.8

Evaluación de las diferencias en inversión -
de los dos métodos de regeneración.

I. Inversión

1. Capital fijo (los costos se refieren ya al equipo instalado con accesorios y tuberías)

Diferencia	Costo adicional del método II
Un condensador para reflujo	\$ 650.-
Una bomba de vacío	3500.-
Un tanque separador	500.-
Una bomba para circular agua por el condensador	3000.-
Total	\$ 7650.-

2. Capital de trabajo.

A. Inventario de materia prima(1 mes)

Diferencia	Costo adicional del método I
120 Kgs de Diisocianato	\$ 2400.-
25 " de Polialcohol	375.-
50 " de Aditivos	900.-
Total	\$ 3675.-

B. Materias en Proceso.

(1 semana de costo de producción) 894.-

C. Inventario de producto terminado

(1 mes a costo de producción) 3575.-

d. Cuentas por cobrar

E. Efectivo mínimo

(L mes a costo de producción) 3575.-

11719.-

Diferencia neta en inversión: \$ 4070.-

más el Mé-
todo I que el
Método II.

Apéndice No.9

Evaluación de las diferencias en costo de -
producción de los dos métodos de regeneración.

Materias primas:

Este aspecto ya se calculó en el apéndice No,8
obteniendo que el método I consume más materias primas
que el método II, con un valor de \$3 675 /mes.

Servicios:

Las diferencias en costo de servicios se pue-
den considerar despreciables, pues para vapor de Dow-
therm el método II tiene un costo mayor de aproximada-
mente \$1.50 /mes, el agua de planta que consume el méto-
do II tiene un costo aproximado de \$2.-/mes sobre el mé-
todo I, y el consumo de energía eléctrica es prácticamen-
te el mismo para los dos métodos,

Depreciación:

Tomando como base una depreciación lineal y
a lo largo de 10 años, el método II presenta un costo de -
\$97.50/mes más que el método I.

Finalmente se concluye que el costo de producción es de \$3 575.-/mes más alto para el método I - que para el método II.

Apéndice No.10

Cálculos de transmisión de calor en el reactor del método I.

Base: 1 carga

Ecuación general: $Q_D = Q_1 + Q_2 + Q_R$

donde: Q_D : calor suministrado por el medio de calentamiento

Q_1 : calor sensible para calentar el polialcohol de t_o a t_r

Q_2 : calor sensible para calentar el desperdicio de t_o a t_r

Q_R : calor de reacción

Datos necesarios:

$t_o = 25^{\circ}\text{C}$: temperatura base

$t_r = 230^{\circ}\text{C}$: temperatura de reacción

$W_1 = 20 \text{ Kg}$: Cantidad de polialcohol que se calienta de t_o a t_r

$W_2 = 16,375 \text{ Kg}$: Cantidad de desperdicio que se calienta de t_o a t_r

$W_3 = 16,375 \text{ Kg}$: Cantidad de desperdicio que reacciona

$W_4 = 33,125 \text{ Kg}$: Cantidad de polialcohol que se adiciona en la segunda parte del proceso

$W_5 = 27.5 \text{ Kg}$: Cantidad de mezcla presente en el reactor antes de diluir con W_4 .

$W_6 = 60,625 \text{ Kg}$: Cantidad de producto regenerado por carga

$C_{P1} = 0.50 \text{ K cal/Kg}^{\circ}\text{C}$: Datos de la literatura (4,23) revelan que el calor específico medio de la espuma y del polialcohol son iguales, tomando esto como base, se aplicará el mismo valor al producto regenerado.

$q_R = 170 \text{ Kcal/Kg}$: calor de reacción.

Cálculo de Q_1 :

$$Q_1 = w_1 C_p (t_r - t_o) \quad t_r - t_o = 230 - 25$$

$$Q_1 = 20 \times 0.5 \times 205 \quad t_r - t_o = 205^{\circ} \text{ C}$$

$$Q_1 = 2050 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_2 :

$$Q_2 = w_2 C_p (t_r - t_o) \quad t_r - t_o = 230 - 25$$

$$Q_2 = 16.375 \times 0.5 \times 205 \quad t_r - t_o = 205^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 1680 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_R :

$$Q_R = w_3 q_R$$

$$Q_R = 16.375 \times 170$$

$$Q_R = 2780 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_D :

$$Q_D = Q_1 + Q_2 + Q_R$$

$$Q_D = 2050 + 1680 + 2780$$

$$Q_D = 6510 \text{ Kcal}$$

Cálculo de la temperatura (t_f) a la que queda la carga después de diluir con el polialcohol:

$$w_3 C_p (t_r - t_f) = w_4 C_p (t_f - t_o)$$

$$27.5 (230 - t_f) = 33.125 (t_f - 25)$$

$$6320 - 27.5 t_f = 33.125 t_f - 830$$

$$7150 = 60.625 t_f$$

$$t_f = 118^\circ\text{C}$$

Apéndice No.11

Cálculo de transmisión de calor en el reactor del Método II.

Base: 1 carga.

Ecuación general: $Q = Q_D = Q_1 + Q_2 + Q_R$

Donde: Q_D : Calor suministrado por el medio de calentamiento

Q_1 : Calor sensible para calentar el polialcohol-

Q_2 : Calor sensible para calentar el desperdicio de t_o a t_r
cio de t_o a t_r

Datos necesarios:

$t_o = 25^{\circ}\text{C}$: temperatura base

$t_r = 250^{\circ}\text{C}$: Temperatura de reacción

$w_1 = 20,625$ Kg: cantidad de polialcohol que se calienta de t_o a t_r

$w_2 = 16,875$ Kg: cantidad de desperdicio que se calienta de t_o a t_r

$w_3 = 16,875$ Kg: cantidad de desperdicio que reacciona

$w_4 = 31,875 \text{ Kg}$: cantidad de polialcohol que se adiciona en la segunda parte del proceso.

$w_5 = 33 \text{ Kg}$: cantidad de mezcla presente en el reactor antes de diluir con w_4

$w_6 = 64,875 \text{ Kg}$: cantidad de producto regenerado

$C_p = 0.5 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$: Datos de la literatura (4,23) revelan que el calor específico medio de la espuma y del polialcohol son iguales, por lo mismo se considerará igual al C_p del producto regenerado.

$q_r = 170 \text{ Kcal/Kg}$: Calor de reacción

Cálculo de Q_1 :

$$Q_1 = w_1 C_p (t_r - t_o)$$

$$Q_1 = 20,625 \times 0.5 (250 - 25)$$

$$Q_1 = 2320 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_2 :

$$Q_2 = w_2 C_p (t_r - t_o)$$

Ap.No. 11 (cont.)

$$Q_2 = 16,875 \times 0.5 (250 - 25)$$

$$Q_2 = 1900 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_R :

$$Q_R = w_3 q_R$$

$$Q_R = 16,875 \times 170$$

$$Q_R = 2870 \text{ Kcal}$$

Cálculo de Q_D :

$$Q_D = Q_1 + Q_2 + Q_R$$

$$Q_D = 2320 + 1900 + 2870$$

$$Q_D = 7090 \text{ Kcal}$$

Cálculo de la temperatura (t_f) a la que queda

la carga después de diluir con el polialcohol:

$$w_5 C_p (t_r - t_f) = w_4 C_p (t_f - t_o)$$

$$33 (250 - t_f) = 31,875 (t_f - 25)$$

$$8240 - 33 t_f = 31,875 (t_f - 795)$$

$$9035 = 64,875 t_f$$

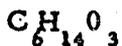
$$t_f = 140^\circ \text{C}$$

Apéndice No.12

Cálculos de transmisión de calor en el condensador del reactor II.

De acuerdo con lo que se ha establecido en el capítulo de diseño, la función del condensador es la de mantener en reflujo los vapores condensables que se desprenden de la mezcla reaccionante durante la depolimerización.

Experimentalmente se determinó que durante el curso de la reacción se desprenden en total 6 Kg de vapores, compuestos esencialmente de agua y alcoholes ligeros, formando una mezcla inmisible. Para efecto de cálculo, y debido a la similitud en constantes físicas, color y olor de los alcoholes ligeros con el hexanotriol, se considerarán aquéllos de la siguiente fórmula general



Se conoce que la reacción dura 2 horas pero con el objeto de tener un buen margen de seguridad, los cálculos se harán para una condensación de 6 kg/hora de vapores, cuyas características generales a las condi-

Ap.No.12 (cont.)

ciones de operación son las siguientes (10,17)

compo- nente	Compo- sición (%en pe- so)	Flujo (Kg/hr)	Tempe- ratura de con- densa- ción(°C)	Calor la- tente de- condensa- ción(Kcal /Kg)	Calor sen- sible de - 250°C a la temp.de - cond.(Kcal /Kg)
Agua	44.5	2,67	47.5	571	96
Alcoho- les	55.5	3.33	49	80	73

El calor latente que deberá eliminar el agua de enfriamiento será:

$$571 \times 2.67 + 80 \times 3.33 = 1788 \text{ Kcal/hora}$$

El calor sensible que se deberá eliminar será:

$$96 \times 2.67 + 73 \times 3.33 = 600 \text{ Kcal/hora}$$

Por consiguiente, la transmisión total de calor será: --
2388 Kcal/hora.

Se dispone de agua de enfriamiento a 25°C y -
debido a las temperaturas de condensación de los vapo-
res que entran al condensador, se fijará a 35°C la tempe-
ratura de salida del agua. Por lo tanto el gasto de agua -
requerido será:

Ap.No.12(cont.)

$$w = \frac{Q}{C \frac{\Delta t}{P}} \quad \text{donde: } Q = 2388 \text{ Kcal/hora}$$
$$C = 1 \text{ Kcal/hora } \frac{0}{C}$$
$$\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$$

Por consiguiente: $w = 238.8 \text{ Kg/hora}$

Una bomba de 7.57 lt/min (2 GPM) se considera adecuada, ya que proporciona 455 kg/hora de agua, dando un margen de seguridad bastante amplio.

Para calcular el área de transmisión de calor se tomarán las siguientes bases:

a) Debido a que se trata de un sistema chico, - tanto en lo referente a dimensiones como a flujo de vapores, se utilizará el caso más sencillo, que es un condensador vertical montado directamente sobre el domo del reactor.

b) El coeficiente total de transmisión de calor es relativamente alto por tratarse de la condensación de vapores inmiscibles, los que generalmente condensan -- bajo el mecanismo de gota, y no de película. Se utilizará por lo mismo $U = 245 \text{ Kcal/hra} \cdot \text{m}^{20}\text{C}$ (50 Btu/hr $\text{ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$)

Partiendo de la ecuación: $A = \frac{Q}{U \cdot T_m}$ Donde: $Q = 2388 \text{ Kcal/hora}$
 $U = 245 \text{ Kcal/hora m}^2\text{OC}$
 $t_m = 58^\circ\text{C}$

Resulta: $A = 0.168 \text{ m}^2$

Utilizando un condensador de 6 tubos de 1.905 cm (0.75 pulg.) de diámetro y 1 m. de longitud, se tendrá un área de transmisión de calor de 0.35 m^2 , esto mantendrá los vapores abajo de la mitad de la altura del condensador, lo cual es lo recomendable, además de proporcionar un margen de seguridad ligeramente mayor del 100%

Apéndice No.13

Cálculo de capacidad de la bomba de vacío.

De acuerdo con los requerimientos del método, el vacío que debe de prevalecer en el reactor durante la reacción es de 500 mm de Hg manométricos.

Debido a que a mitad de la reacción se suspende el vacío para adicionar la segunda mitad de la espuma y posteriormente se aplica de nuevo, sería conveniente que la bomba de vacío tuviera la suficiente capacidad para desalojar el aire del sistema en el lapso de un minuto. Tomando esto como base, se tiene lo siguiente:

Cálculo de los $m^3/min.$ que deberá manejar la bomba:

Volumen del reactor vacío.....0.453 m^3

Volumen que ocupan 20.6 Kgs.

de polialcohol.....0.0184 m^3

Volumen que ocupan 8.437 Kg.

de desperdicio.....0.3375 m^3

Volumen libre del reactor..... 0.0971 m^3

Volumen del condensador (tubos

de 1.9 cm. de diámetro x100cm de long). .0.0017 m^3

Volumen de l tanque separador (cilindro de
30 cm de diámetro x 40 cm de altura.).....0.028 m³
Volumen estimado de la tubería.....0.008 m³
Volumen total a desalojar..... 0.1351 m³

Por consiguiente la capacidad de la bomba de
vacío deberá ser de 0.140 m³/min.

Apéndice No.14

Evaluación de las diferencias que suscita la introducción del método de regeneración.

I.- Inversión

1.- Capital Fijo.

El costo del equipo y las instalaciones para la regeneración del desperdicio se estimó con base en cotizaciones pedidas a diferentes casas comerciales y talleres. Estos costos, que se refieren al equipo ya instalado, e incluyen accesorios y tuberías, son los siguientes:

Equipo	Costo
Reactor	\$ 30 000.-
Condensador	650.-
Tanque Separador	500.-
Bomba de vacío	3 500.-
Bomba de agua	3 000.-
Sistema Dowtherm	30 000.-
Instrumentación	20 000.-
Subtotal	87 650.-
Contingencias 10 ⁰ /o	8 765.-
T o t a l:	\$ 96 415.- = 96,500.-

Ap.No.14 (cont.)

2.-Capital de trabajo.

A.- Inventario de Materia prima

a) A 100% de capacidad

Materia prima	Consumo sin recuperación	Consumo con recuperación	Ahorro kg/mes)	(\$/mes)
Diisocianato	2 300	1 605	695	13 900
Polialcohol	1 650	2 100	- 450	- 6 750
Aditivos	1 050	800	250	4 500

Ahorro neto en materia prima: \$11 650 /mes

b) A 85% de capacidad

Ahorro neto en materia prima: \$ 9 905 /mes

Ahorro a 85% Ahorro a 100%

B.-Material en proceso

(1 semana a costo de

producción) \$ 1 720.- \$ 2 150.-

C.-Inventario de

producto terminado

(1 mes a costo de pro-

ducción) 6 880.- 8 600.-

Ap.No.14 (cont.)

D.-Cuentas por cobrar (No hay variación)

E.-Efectivo mínimo

(1 mes a costo de producción)

6 880.- 8 600.-

Ahorro total en

capital de trabajo 25385.- 31 000.-

Por consiguiente el

incremento neto en

inversión es: \$ 71 115.- \$ 65 500.-

II.-Costo de Producción (\$/año)

Incremento

85% 100%

1.- Materia prima - 118 860.- - 139 800.-

2.- Conversión directa 26 550.- 27 000.-

3.-Conversión indirecta 9 650.- 9 650.-

Incremento total neto: 82 660.- 103 150.-

Notas:

1.- El incremento en materia prima es nega-

tivo, porque la recuperación del desperdicio baja el consumo de materias primas.

Ap.No.14 (cont.)

2.- El incremento en conversión directa se debe a lo siguiente:

Mayor costo de mano de obra (estimado en \$1 000/mes) Mayor costo de servicios (405 KWH/mes, 40 Kg/mes combustible, 40 m²/agua mes) y mantenimiento (estimado en \$500/mes)

3.- El incremento en conversión indirecta se debe fundamentalmente a la depreciación del equipo adicional (\$9 650/año)

III.- Análisis económico.

	% de Capacidad	
	85	100
Precio de venta del producto terminado... (PV ₁)	59.-/Kg	59.-/Kg
Precio de venta del desperdicio... (PV ₂)	2.-/Kg	2.-/Kg

Ventas anuales de		
producto terminado...(X_1)	43 350 Kg	51 000 Kg
Ventas anuales de-		
desperdicio...(X_2)	765 Kg	900 Kg
Ventas netas: $VN = 0.97 (PV_1 \times X_1 + PV_2 \times X_2)$		
Ventas Netas...(VN)	2 515 830.-	2 959 800.-
Costo de Producción(CP)	1 740 770.-	1 911 650.-
Utilidad Bruta...($UB =$		
$VN-CP$)	775 060.-	1 048 150.-
Gastos Generales..(GG)	250 000.-	295 000.-
Utilidad antes de Imp.		
($UAI=UB-GG$)	525 060.-	753 150.-
Impuestos ⁽²⁰⁾ ...(I)	148 172.-	231 422.-
Utilidad después de Imp.		
($U=UAI-I$)	376 888.-	521 728.-
Rentabilidad antes de Imp.		
($RAI=UAI/IT$)	23.8%	33.4%
Rentabilidad después de Imp.		
($R=U/IT$)	17.1%	23.2%

Relación de Utilidad neta a ventas anuales... (U/VN)	0.15	0.176
Relación de Ventas netas a Inversión (VN/IT)	1.14	1.32

Apéndice No.15.

Tiempo de recuperación de la inversión incremental debida a la planta de recuperación y precio mínimo de venta permisible, sin alterar la rentabilidad original de la planta.

El cálculo del tiempo de recuperación está basado en la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{\Delta IT}{\Delta U + \Delta D}$$

Donde:

TR: Tiempo de recuperación

ΔIT : Inversión incremental

ΔU : Utilidad incremental originada por IT

ΔD : Depreciación originada por el equipo de la planta de regeneración

Para los dos niveles de capacidad (85 y 100%) que se están estudiando, se tiene lo siguiente:

Ap.No. 15 (cont.)

	85 %	100%
Δ IT	71 115.-	65 500.-
Δ U (anual)	44 423.-	55 143.-
Δ D (anual)	9 650.-	9 650.-
TR (años)	1.32	1.01

Cálculo del precio mínimo

% de Capacidad

	85	100
Rentabilidad antes de Imp. (RAI)	21.4 %	30.0%
Inversión (IT):	2 209 332.-	2 266 618.-
Utilidad antes de Imp. (ULA):		
(UIA=ITxRAI)	472 500.-	680.000.-
100		
Gastos Generales (GG):	250.000.-	295 000.-
Utilidad Bruta (UB):		
(UB=UAI+UB)	722 500.-	975 000.-
Costo de producción (CP):		
Venta Neta (VN=UB+CP)	2463 270.-	2 886 650.-

Ap.No.15.(cont.)

Ingresos por ventas totales (IV):

(IV= VN)

0.97	2 530 000.-	2 975 000.-
-------------	--------------------	--------------------

**Ingresos por venta del des-
perdicio (ID):**

15 300.-	18 000.-
-----------------	-----------------

**Ingresos por venta del produc-
to (IP): (IP=IV-ID)**

2 514 700.-	2 957 000.-
--------------------	--------------------

**Volumen de ventas del produc-
to:**

43 350 Kg	51 000 Kg
------------------	------------------

Precio de venta:

57.60 /Kg	57.60 /Kg
------------------	------------------

IX. BIBLIOGRAFIA .

- 1- Aries R.S. R.D. Newton
Chemical Engineering Cost Estimation
Mc.Graw Hill Book. Inc.
New York (1960)
- 2- Aufleger P., L. Brandes L.Grau
Verfahren zur Aufarbeitung von Polyurethanschauma-
bfällen Patente Alemana No. 1 110 405, (1961)
- 3- Barringer C.M.
Rigid Urethane Foams
Du Pont, Tech.Bul. HR-26, (1958)
- 4- Bayer A.G.
Bayer Kunststoffe
Leverkusen, Alemania (1963)
- 5- Buist J.M.
Polyurethane Foams
Rubber Journal International Plastics, Nov.23,(1957)
- 6- Buist J.M. Rigid Urethane Foams
Rubber Plastics Weekly, Feb.2, (1963)
- 7- Chilton C.H.
Cost Engineering in the Process Industries
Mc.Graw Hill Book Co. Inc.
New York (1960)
- 8- Dombrow B.A.
Polyurethanes
Reinhold Publishing Corporation
Nueva York (1960)

- 9- Dow Chemical Company
Effect of Physical and Chemical Variables in "on shot"
foam production
Urethane Tech. Bul. VF-4, (1960)
- 10-Dow Chemical Company
Influence of Catalysts on the Chemistry of Urethane -
Foams Urethane Tech. Bul. V-3 (1960)
- 11-Dow Chemical Company
Dowtherm Handbook
- 12-Dreisbach
Pressure-Volume- Temperature Relationships of Organic
Compounds Handbook Publ isshers Inc.
Sandusky, Ohio (1952)
- 13-Fieser L.F. M. Fieser
Organice Chemistry
Reinhold Publishing Corporation
Nueva York (1956)
- 14-Franck A.
Herstellung von Abbauprodukten aus Isocyanat-Polyaddukten
Patente Alemana No. 1 150 802 (1959)
- 15-Hallinan M.R., W.A. Himmler M. Kaplan
Recent Advances in the Technology of Rigid Urethane -
Foams Dye stuffs, 44,5,10 (1962)
- 16-Kern D.Q.
Process Neat Transfer
McGraw Hill Book Co. Inc.
N. York (1950)

- 17- Knox R.E.
Insulation Properties of Fluorocarbon Expanded Rigid
Urethane Foam
A.S.H.R.A.E. (1963)
- 18- Koepp R.
Verwendung von Polyurethanschaumabfällen
Patente Alemana No, 1 100 273 (1958)
- 19- Monroy M.
Estudio sobre la depolimerización de una espuma rígida
de poliuretano.
Tesis para optar por el título de Químico, (1964)
- 20- Nueva Ley de Impuestos sobre la renta
Diario Oficial, Dic. 1964.
- 21- Perry J.H.
Chemical Engineers Book
Mc.Graw Hill Book Co. Inc.
Nueva York, Toronto Londres (1950)
- 22-Pfaudler Permutit
Agitation Speed-Power Calculator
Tech. Bul. 10 18
- 23- Rangel E.
Espuma rígida de poliuretano
Trabajo presentado en la II Convención Anual del IMIQ
- 24- Saunders, J.H. K.C. Frisch
Polyurethanes, Chemistry.
J. Wiley Sons
Nueva York (1963)

25- Tenhoor R.E.

The World Market for Urethane Chemicals
Chem and Eng. News, 41, 5, 94 (1963)

26- Urethane Chemicals

Allied Chemicals Tech. Bul. No. 79-479 (1962)

27- Urethane Chemicals

Allied Chemicals Tech. Bul No. 79-492 (1962)

28- Vilbrandt F.C. C.E. Dryden

Chemical Engineering Plant Design

Mc.Graw Hill Book Co. Inc.

Nueva York, Toronto, Londres Tokyo.

29- Watts, J.T.

The Polyurethane Process

Trans. J. Plastics Inst. 26, (1958)

30- Weinman Pump Mfg. Co.

Tech. Bul. No, 40 0