

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**DESARROLLO DE NUEVAS FORMULACIONES PARA
INCREMENTAR LA PRODUCCION EN UNA
PLANTA DE POLIURETANO**



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S

I N G E N I E R O Q U I M I C O

J O S E L U I S R A M I R E Z G O N Z A L E Z

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado originalmente según el tema:

PRESIDENTE: Prof. CARLOS H. MENA BRITO FLORES.
VOCAL: " MANUEL JIMENEZ ESTRADA.
SECRETARIO: " CARLOS GUSMAN DE LAS CASAS.
1er. SUPLENTE: " LEONARDO RIOS GUERRERO.
2do. SUPLENTE: " ERNESTO IBARRA NUÑEZ.

Esta tesis se desarrolló en:

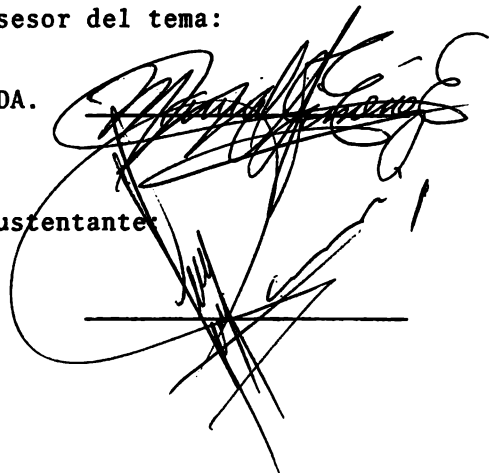
CENTRAL DE INDUSTRIAS, S. A.

Nombre completo y firma del asesor del tema:

DR. Q.O. MANUEL JIMENEZ ESTRADA.

Nombre completo y firma del sustentante:

JOSE LUIS RAMIREZ GONZALEZ.



A la memoria de mi madre:

Sra. Guadalupe González Godínez,
quien me impulsó en los estudios.

A mi padre:

Sr. José Luis Ramírez Sahagún.

Con todo el amor y respeto a mi
esposa:

Sra. Jacinta Garrido Muñoz.

Con afecto y cariño a mis hermanos:

Ma. de Jesús.

Jorge.

Antonio.

Margarita.

Al Dr. Manuel Jiménez Estrada:

Por su ayuda en el desarrollo de
éste trabajo.

Con agradecimiento:

A todas aquellas personas que
intervinieron para que se llevara
a cabo ésta tesis.

I N D I C E

INTRODUCCION.

CAPITULO I.- GENERALIDADES.

CAPITULO II.- MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCION DE ES
PUMA FLEXIBLE DE POLIURETANO.

CAPITULO III.- A). QUIMICA BASICA PARA LA OBTENCION DE
ESPUMA FLEXIBLE DE POLIURETANO.

B). FORMULACIONES.

C). PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR
LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA ESPUMA
FLEXIBLE DE POLIURETANO.

CAPITULO IV.- PROCESO Y EQUIPOS.

CAPITULO V.- APLICACION.

CONCLUSIONES.

TERMINOLOGIA.

BIBLIOGRAFIA.

I N T R O D U C C I O N

010
[El desarrollo de las espumas de poliuretano se ha conso-
lido gracias a los progresos tecnológicos tanto en la pre-
paración de nuevas materias primas como el desarrollo de nue-
vas técnicas para la fabricación de espumas flexibles de po-
liuretano principalmente. (X) En México estas espumas han reci-
bido un impulso tremendo en los últimos años, por su empleo en
diferentes ramas industriales.]

En esta tesis se describe el estudio técnico que se efec-
tuo para cambiar la formulación y las condiciones del proceso
existente en una planta (Central de Industrias, S.A.) que pro-
duce espuma flexible de poliuretano, por el método de moldeado.
El cambio de formulación que se llevó a cabo y las nuevas con-
diciones que se determinaron para el proceso permitio el ahorro
de energía, incrementar la producción y mejorar la calidad del
producto, lo que redujo las importaciones de piezas de poliure-
tano moldeadas que algunas compañías armadoras de automóviles
estaban haciendo.

Considero que todos los puntos que se tratan en esta tesis
son importantes para que el lector adquiera las bases neces-
arias para formarse un criterio más amplio del campo de las esp-
umas flexibles de poliuretano.

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S

(V) El término poliuretano es sólo convencional ya que estos polímeros no son obtenidos por la polimerización de moléculas monoméricas de uretano, sino que los polímeros incluyen un número significativo de grupos uretano. (2)

El uso comercial de los productos de poliuretano empezó simultáneamente en 1937 en Estados Unidos por la Compañía Du Pont y en Alemania por la Compañía I.G Farben teniendo mayor desarrollo en Alemania en donde se hizo la mejor maquinaria y la correspondiente tecnología, Después con el descubrimiento de otras sustancias modificadas, se pudieron fabricar espumas con propiedades adecuadas a la mayoría de las aplicaciones industriales. (2)

(N) Actualmente, debido a la gran variedad de aplicaciones y propiedades físicas que presentan las espumas de poliuretano se dividen en dos grandes grupos comunmente, pero otros autores que hacen una tercera clasificación que la denominan semirígidas. En nuestro caso consideraremos dos grupos.

GRUPO I .- ESPUMAS RIGIDAS. (3)

Son plásticos celulares, producidos por la reacción química de dos líquidos, un poliol y un poliisocianato requiriéndose además un catalizador y un agente espumante. A medida que la reacción se lleva a cabo, se produce calor (reacción exotérmica) y gases (agente soplante), que van formando pequeñas burbujas dentro de la masa plástica, la espuma alcanza su altura máxima en menos de dos minutos y se estabiliza. La espuma rígida que se obtiene es un plástico celular inflexible formado por una cantidad considerable de celdas pequeñas y cerradas, que proveen a ésta de una gran resistencia a pesar de su poco peso.

Físicamente la espuma rígida es la dispersión permanente de un gas en un plástico y tanto el gas como el plástico contribuyen en su totalidad en las propiedades físicas de la espuma.

Debido a la gran cantidad y variedad de las materias primas para la fabricación de las espumas rígidas y las diferentes condiciones de reacción que se pueden utilizar, es posible fabricar muchas espumas rígidas de poliuretano con propiedades individuales específicas con aplicación en los siguientes campos: (ver tabla 1).

TABLA # 1

C A M P O	U S O	O B S E R V A C I O N E S
Industria	Aislante	En cambiadores de calor, tubería, tanques de <u>almacena</u> miento para líquidos, gas o sólidos.
Navegación	Recubrimiento y elemento de flotabilidad.	Para recubrir barcos, y <u>subma</u> rinos, se usa como elemento de flotabilidad en la construcción de yates, veleros, etc. Y en la fabricación de boyas.
Construcción	Estructuras y acabados.	Paneles y paredes prefabricadas como relleno en las cavidades. Techos.
Empaque.	Seguridad	Esto es: si un objeto se pone en una caja cubierto con una-bolsa de poliuretano se inyecta la caja para que el objeto <u>quede</u> en medio de la espuma y no se -rompa fácilmente.

C A M P O	U S O	O B S E R V A C I O N E S
Refrigeración	Aislante	Entre las paredes del <u>refri</u> gerador doméstico, camión,- bodega, etc.
Industria zapatera.	Suela.	Para fabricación de suela - para calzado.
Minería.	Protector.	Para construcción de muros en terrenos arenosos.
Automotriz.	Accesorios.	Para la fabricación de <u>defen</u> sas, paneles de puertas etc.

GRUPO II .- ESPUMAS FLEXIBLES.

Las espumas flexibles de poliuretano son las que más impulso comercial han tenido, por la versatilidad de sus propiedades físicas y de sus aplicaciones. Estas espumas se obtienen por el proceso de bloque y el proceso de moldeado, este último proceso se lleva a cabo por el método convencional o el de alta resiliencia. La espuma moldeada de alta resiliencia en comparación con la espuma convencional presenta mejoría en sus propiedades de fatiga, relación de carga, resiliencia y un ahorro de energía considerable, debido al empleo de materias primas diferentes para uno y otro método.

Como las propiedades físicas de la espuma flexible de poliuretano varían de acuerdo al proceso de obtención, la aplicación que se le dará será diferente para cada caso.

Por el fácil manejo y moldeabilidad de las espumas flexibles de poliuretano se les han encontrado aplicaciones en los siguientes campos: (ver tabla 2).

TABLA # 2

C A M P O	U S O	O B S E R V A C I O N E S
Industria automotriz.	Asientos y respaldos.	Generalidades se hacen con espumas flexibles de alta resiliencia.
Industria mueblera.	Salas y -- sillas.	En este tipo de industria es más usual la espuma - convencional.
Industria colchonera.	Colchones	Se usan los dos tipos de espuma.
Construcción	Aislante.	Su uso es en paredes -- antiruido.
Construcción	Decoración.	Se usa como bajo alfom <u>bra</u> .

C A M P O	U S O	O B S E R V A C I O N E S
Juguetería.	Relleno	Para rellenar muñecos de peluche, hacer muñecas, - de espuma etc.
	Ropa de portiva.	Como protección en rodillas, codos, rifone ras, etc.
Hogar.	Esponjas.	Para lavar o absorber agua.
Empaque.	Seguridad	Igual que la espuma rígida.

Con la obtención de nuevas espumas de poliuretano con mejores propiedades, se les van encontrando nuevos campos de aplicación, un ejemplo es el de las espumas flexibles de poliuretano de alta resiliencia, que en los últimos años se han fabricado usando poliols más reactivos y con una selección adecuada del isocianato. Se logró mejorar las propiedades de resistencia y compresión, con esto se logró superar a la espuma de goma latex y a la espuma flexible convencional que se usaba en la Industria Automotriz. Además, la espuma flexible de alta resiliencia tiene sobre las demás, la ventaja de ser muy resistente a la oxidación, por lo que gracias a sus propiedades físicas y a su facilidad -

de manejo ha tenido gran aceptación en la industria automotriz; donde se usa en piezas moldeadas para asientos y respaldos de automovil, lo que, los hace más comodos y se obtiene un mejor terminado en ellos.

C A P I T U L O I I

“
 MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCION DE ESPUMAS
 FLEXIBLES DE POLIURETANO. ”

El mejoramiento de las materias primas empleadas en la obtención de espumas flexibles de poliuretano en los últimos años, ha contribuido también a los avances tecnológicos de los procesos de fabricación. Los avances más importantes que podemos mencionar son: El ahorro de energía, menor tiempo de producción y el producto terminado con mejoría en su aspecto y propiedades físicas.) En vista de la importancia que guardan las materias primas en los procesos de obtención de la espuma flexible de poliuretano, en este capítulo hablaremos de sus características y principales métodos de obtención. Las materia primas básicas para la obtención de la espuma flexible de poliuretano son:

- I Polioles.
- II Isocianatos.
- III Agentes espumantes.
- IV Surfactantes.
- V Catalizadores.]

I PLIOLES.

Los polioles son productos básicos para la preparación de la espuma flexible de poliuretano. La característica principal

de los polioles es que contienen grupos hidroxilos y su función es la de reaccionar con el isocianato para formar el uretano.

Según el tipo y el número de hidroxilos, así como del peso molecular que presenta la molécula dependerá su funcionalidad.

Los polioles más usados en la fabricación de la espuma flexible de poliuretano son de dos tipos polieter y poliesteres. -
A continuación se hablará de cada uno de ellos empezando por los poliesteres que son los que se usan más comunmente.

POLIETERES.

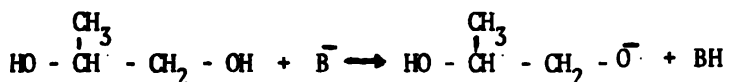
Los polioles de tipo polieter se obtienen a partir de trioles y glicoles y como se puede observar, estas materias primas contienen grupos hidroxilos que se conservan en el polímero final, que es el que se usa para la fabricación de la espuma de poliuretano. (2)

El método comercial para la obtención de estos poliesteres es el siguiente. (2)

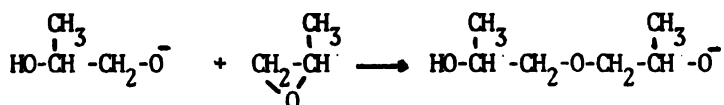
Se hace reaccionar el glicol ó el triol (esto de acuerdo

al tipo de polieter que se quiere obtener) en un medio básico para formar un anión, que es el iniciador de la polimerización. El anión que se forma se hace reaccionar con un óxido de alqueno, que actúa como monómero y propaga la cadena, para dar fin a la polimerización se neutraliza el anión con un ácido. A continuación se dará un ejemplo de la polimerización de polieterglicólico (propilenglicol - óxido de propileno) y el mecanismo de la polimerización se podrá representar como sigue:

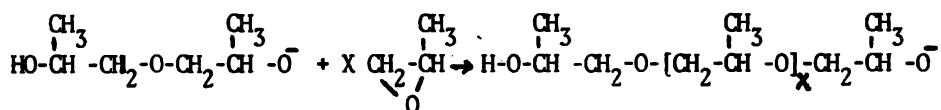
Paso 1 .- El propilenglicol se hace reaccionar con el medio básico para formar el anión (inicio).



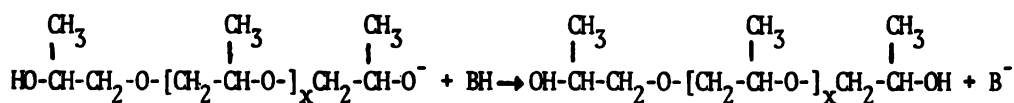
Paso 2 .- Una vez formado el anión, éste reacciona con el óxido de propileno (monómero) dando origen a un nuevo anión.



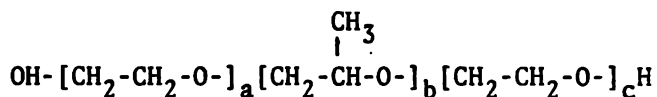
Paso 3 .- La propagación de la cadena se efectúa añadiendo óxido de propileno.



Paso 4.- La terminación de la polimerización se hace neutralizando el anión con el ácido en el momento que se llegue al peso molecular deseado.



Otra forma de obtener los polieteres que se usan para la obtención de espumas de poliuretano son los copolímeros y estos se obtienen al usar diferentes óxidos de alquenos como monómeros. El copolímero se puede representar por la fórmula general:



Los polieteres de tipo copolímero se preparan a partir de propilenglicol en presencia de un catalizador básico que al reaccionar con el óxido de propileno forma un homopolímero. El producto formado se hace reaccionar con el óxido de etileno para formar el copolímero, cuando se completa la polimerización, la catalisis se neutraliza con ácido sulfúrico, la sal resultante se separa por filtración o mediante una extracción con agua.

Los polieteres que más se emplean comercialmente se conocen con los siguientes nombres y estos productos son los que más se

emplean en la obtención de las espumas flexibles de poliuretano.

Tabla # 3⁽⁴⁾

NOMBRE COMERCIAL	OBSERVACIONES
"Dioles"	Para su preparación se <u>em</u> plea óxido de propileno - como monómero.
"Trioles"	También preparados con <u>óxi</u> do de propileno.
"Copolímero"	Preparados con óxido de - etiléno y propileno.
"Mezcla de dioles / trioles"	
"Graft"	Estos polioles consisten en una dispersión estable de un polímero sólido, en un poliol tipo polieter.- El polímero sólido comun mente es un polimero de - vinilo o un copolímero como el aquilonitrilo - estireno. Recientemente en algunos <u>pro</u> ductos de este tipo la fase sólida es una poliurea.

La estructura química de los polioles es determinante en el tipo de proceso que se vaya a usar para la obtención de las espumas y sobre todo en las propiedades físicas de las mismas. Por ejemplo, si se emplean polioles de alta funcionalidad se obtienen módulos de compresión altos, pero decrece la elongación y las resistencias al desgarre y la tensión. Un decremento en la funcionalidad trae como consecuencia un decremento en el módulo de compresión, por lo que se incrementan las otras propiedades.

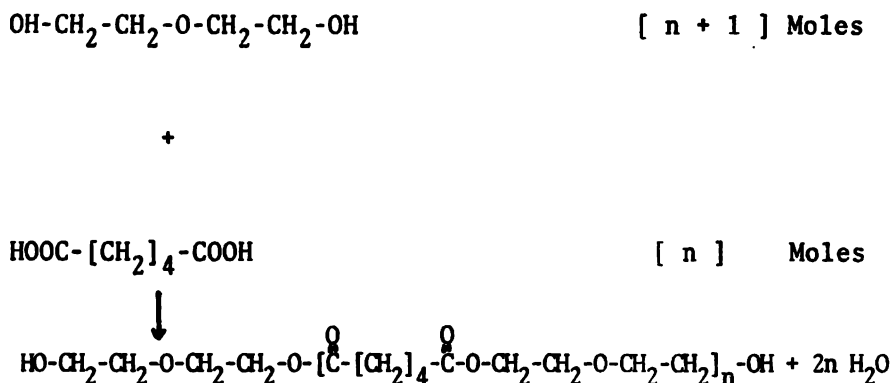
Los pesos moleculares de los polioles que se encuentran en el mercado van de 400 a 6000 y con una funcionalidad variable.

POLIESTERES.

Para la fabricación de las espumas flexibles de poliuretano, los poliesteres que se usan, son aquellos que contienen en su molécula grupos OH terminales. Para la obtención de este tipo de poliesteres, como materias primas que más frecuentemente se usan tenemos: El ácido adipico, anhídrido ftálico y glicoles.⁽²⁾

Los glicoles que se usan generalmente son, el de etileno, propileno, 1,3 butileno, 1,4 butileno y el dietilenglicol. Los trioles son generalmente glicerina y 1,2,6 hexanotriol.⁽²⁾

La obtención industrial de los poliesteres se basa por ejemplo, en la reacción de polimerización entre el dietilenglicol y el ácido adípico. Esta reacción se puede expresar en la siguiente forma:⁽⁵⁾



Esta polimerización se lleva a cabo en un reactor, con atmósfera inerte y a una temperatura de 200 - 250 °C. El agua que se libera en la reacción se extrae en una columna fraccionadora. Al término de la reacción el poliéster obtenido se enfría y se filtra. El curso de la polimerización se sigue continuamente en el laboratorio y la reacción se detiene cuando el número de ácidos (ácido libre), se reduce entre 1 y 4, el contenido de agua sea de 0.1 % y el número de hidroxilos sea el deseado.⁽⁵⁾

En el mercado se dispone de muchos poliesteres; la diferencia principal entre ellos es el grado de ramificación y generalmente la mayor parte de las ramificaciones tienen hidroxilos terminales.⁽⁶⁾

Los poliesteres lineales generalmente producen poliuretanos elásticos y los poliesteres muy ramificados dan poliuretanos rígidos, por lo tanto cualquier grado de flexibilidad o rigidez se puede obtener con la elección de los reactivos apropiados.⁽⁶⁾

aquí
II ISOCIANATOS. *10/20*

[Los isocianatos y diisocianatos son otras sustancias básicas para la fabricación de espumas flexibles de poliuretano y se representan por la fórmula general]⁽²⁾

RNCO Isocianatos.

R(NCO)₂ Diisocianatos R = (generalmente aromáticos).

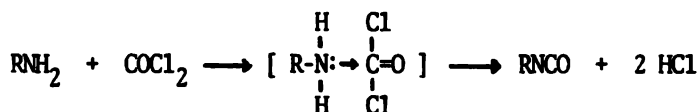
[En la literatura se informa de una gran variedad de métodos para la preparación de Isocianatos y Diisocianatos, aunque el único método de importancia comercial e industrial es el de la fosgenación de aminas primarias.] Otros métodos que mencionaremos - aquí son las transposiciones de Curtius, Hofmann y Lossen, que-

Y
otro método importante es el de *aparrir*
Tolueno => pag 117

se usan generalmente en el laboratorio.

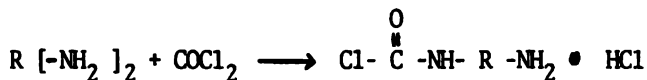
Método de fosgenación (2)

Este método es el de mayor aceptación comercial por su alto rendimiento y bajo costo. La reacción para la obtención de isocianato se puede expresar por el siguiente mecanismo:

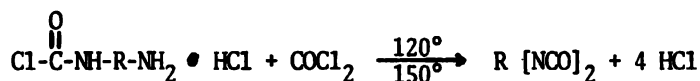


Para la obtención de diisocianatos se requiere de dos pasos:

Paso 1.- La diamina se hace reaccionar con el fosgeno a baja o moderada temperatura.

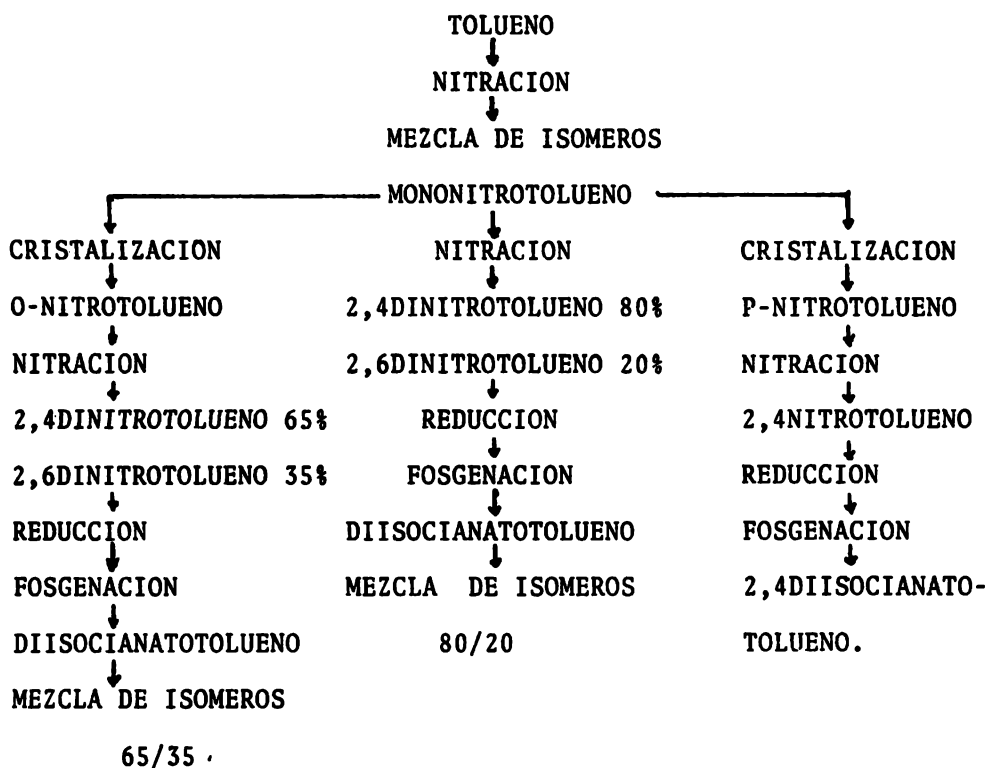


Paso 2.- El producto que se obtiene se trata con más fosgeno a una temperatura de 120 - 150 °C.



El producto final se purifica por destilación.

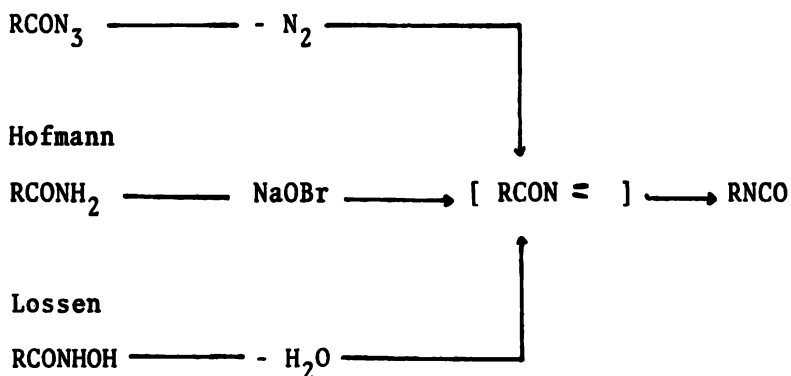
El siguiente diagrama de flujo nos muestra la obtención de diisocianatos de importancia comercial a partir de tolueno: (2)



Todos los diisocianatos que se obtienen por estos métodos -- tienen utilidad comercial en los procesos de fabricación de las espumas de poliuretano.

Las transposiciones de Curtius, Hofmann y Lossen parten de diferentes productos, pero todos tienen un intermediario semejante, el cual sufre la transformación para dar el isocianato, esto se puede representar con el siguiente diagrama: (2)

Curtius



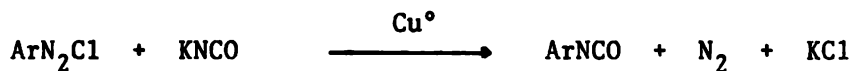
El método de Curtius es a partir de la reacción de cloruros de ácidos con azida de sodio NaN_3 que genera las azidas de acilo RCON_3 y estas son las que dan origen a la transposición de Curtius. (2)

En el método de Hofmann se tratan las amidas en un medio acuoso con NaOBr y se usa para obtener isocianatos que no reaccionan fácilmente con el agua. (2)

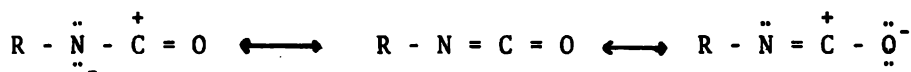
El método de Lossen parte de ácidos hidroxámicos $\left[\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\underset{\text{H}}{\text{N}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R} \right]$

que en presencia de una base se genera el intermediario para la transposición y así obtener el isocianato.

Existen muchos otros métodos para la síntesis de isocianatos solo que tienen poco uso comercial, otro ejemplo es el del cloruro de diazobenceno, que al ser tratado con cianato de potasio en presencia de cobre nos da el isocianato.⁽²⁾



Los isocianatos contienen un alto grado de insaturación en el grupo $-\text{N}=\text{C}=\text{O}$, este grupo puede tener las siguientes estructuras de resonancia:



Debido a esto, reaccionan con todos aquellos compuestos que contienen hidrógenos activos en su molécula como las aminas, -alcoholes, etc.

La reacción que se lleva a cabo es la de adición en la doble ligadura nitrógeno-carbono. El catión [hidrógeno] ataca al nitrógeno y el anión ataca al carbonilo. ⁽²⁾



En la mayoría de los casos el producto de esta adición es completamente estable.

[Los isocianatos son los portadores de los grupos NCO, que reaccionan con los grupos hidroxilo del poliol y además con los que contiene el agua que se emplea en la formulación para la obtención de la espuma flexible de poliuretano. La funcionalidad de los isocianatos o diisocianatos esta dada por el número de grupos NCO disponibles para reaccionar.

Generalmente cuando en los procesos de fabricación de espuma flexible de poliuretano, la cantidad de diisocianato en la formulación es menor a la estequiométrica se obtienen espumas de poca resistencia y su resiliencia es pobre, por esta razón siempre se tiende a usar un exceso de un 3 a un 7 % de diisocianato en la formulación, para con esto aumentar las propiedades de compresión,]

↳ resistencia a la tensión, resiliencia, pero la elongación decrece, cuando el exceso de diisocianato en la formulación es de 20 % ó más, la espuma se colapsa.

La mezcla comercial de diisocianato más usada es la de 80/20 - de los isómeros 2,4 y 2,6 diisocianatotolueno [TDI], en Europa la mezcla más usada es la de 65/35 de estos isómeros, pero con algún cambio en la formulación ya que esta mezcla es menos reactiva que la de 80/20.]

III AGENTES ESPUMANTES.

Un agente espumante es aquel que ayuda a la elevación de la - masa plástica y origina las pequeñas celdas que forman la espuma.

En la fabricación de las espumas flexibles de poliuretano el agente espumante que generalmente se usa es el agua y las razones por las que se usa el agua como agente espumante en las formulaciones son dos:

①.- De la reacción del agua con el diisocianato se forma bióxido de carbono y éste es suficiente para provocar el crecimiento -

de la espuma, el gas queda ocluido en la estructura c3elular del pol3imero hasta que este 3ultimo alcanza su estado s3olido. }

2.- Tambi3en en la reacci3on del agua con el diisocianato se forma una amina primaria, 3esta reacciona con otra mol33cula de diisocianato formando una urea disustituída, que a su vez formar3 cadenas con el pol3imero de uretano. Estas mol33culas de urea incrementan las propiedades de capacidad de carga de la espuma.

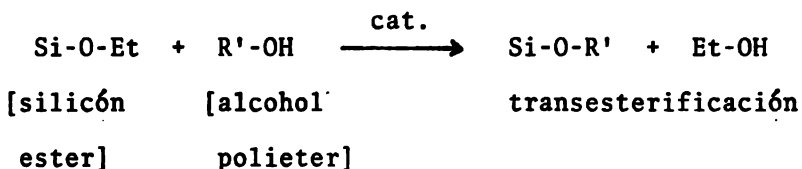
Debe tenerse en cuenta que el agua esta directamente relacionada con la densidad de la espuma que se obtiene. Existen agentes espumantes auxiliares que no reaccionan con los dem3s componentes de la formulaci3n, sino que unicamente sirven para disminuir la densidad y aumentar el crecimiento de la espuma. Estos compuestos son l3quidos de bajo punto de ebullici3n como: El R-11 [tricloro-monofluorometano], el R-113 [triclorofluoroetano], CH_2Cl_2 [cloruro de metileno], etc. (7)

IV SURFACTANTES.

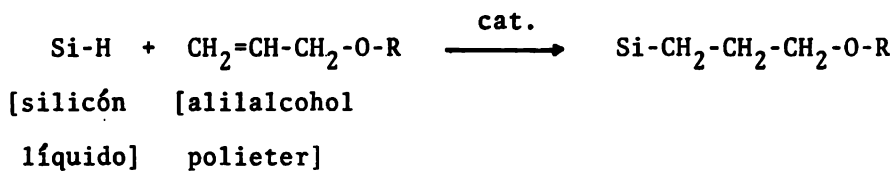
{ Con el desarrollo inicial de las espumas de poliuretano, a los surfactantes obtenidos a b3ase de silicones se les dio un credito -

semejante o mayor que los catalizadores de estaño. Los silicones que se usaron primeramente son copolímeros que contienen ligaduras silicio-oxígeno-carbono y que son susceptibles de hidrolizarse, recientemente se emplean silicones no hidrolizables con la unión carbonosilicio. A continuación se exponen las reacciones para los procesos de obtención de los dos tipos de silicones: (8)

1.- Hidrolizable donde la unión Si-O-C es importante.



2.- No hidrolizables con la unión Si-C.



La función principal de los surfactantes de silicón en las espumas de poliuretano, es la de disminuir la tensión superficial

y proveer a la espuma de una película elástica que evita el colapso de la misma durante su elevación y continua estabilizandola hasta que las reacciones de extensión de la cadena y entrelazamiento hayan avanzado lo suficiente, como para que la espuma pueda soportarse a sí misma.

[Los surfactantes de silicón tienen un papel importante en las siguientes etapas involucradas en la preparación de la espuma de poliuretano: a] Formación, b] Crecimiento y c] Estabilidad de la burbuja. (2)

a] Formación. En esta primera etapa las burbujas del gas se forman hasta llegar al límite de solubilidad del gas en el reactante. Entre más rápido salga el gas, más finas son las celdas formadas, en este paso el surfactante actua como reductor de la tensión superficial. (2)

b] Crecimiento. En el crecimiento de la burbuja, el silicón ayuda disminuyendo la tensión superficial en las paredes de la burbuja. Si las burbujas grandes no desaparecen éstas crecerán proporcionalmente con la desaparición de las pequeñas, esto se debe a

la difusión del gas de las celdas pequeñas hacia las grandes por la presión interna en las de mayor tamaño.⁽²⁾

c] Estabilidad. La mayor contribución del surfactante de silicón en la estabilización de la espuma, es la formación de la película elástica, esto se debe a que la película líquida que forma las paredes de las celdas, es más delgada en las áreas donde las celdas se juntan. Durante el crecimiento de la celda esta película tiene baja viscosidad y está expuesta a una ruptura a causa del efecto combinado de temperatura, drenado, acción capilar y la presión de expansión del gas.⁽²⁾

La combinación de estas tres etapas en las que se involucran los surfactantes de silicón nos da un control en el tamaño de la celda en la espuma, los surfactantes favorecen la formación de celdas finas y uniformes; aunque también deben vigilarse las condiciones de mezclado y las variables en la formulación para mantener el control en el tamaño de la celda. Es necesaria la apertura de la celda para prevenir el encogimiento.

En los procesos de obtención de espumas flexibles de poliure-

tano de alta resiliencia se usan surfactantes no hidrolizables - por que son los que dan a la espuma mejor estabilidad y control en el tamaño de la celda.

V CATALIZADORES.

En la fabricación de las espumas flexibles de poliuretano se emplean dos tipos de catalizadores:

Tipo A. Aminas

Tipo B. Compuestos organo-metálicos.

Tipo A.- Las aminas que se usan como catalizadores generalmente son aminas terciarias y se usan como aceleradores de las reacciones de formación de la espuma. Las aminas catalizan la reacción isocianato-agua y ayudan al "curado" de la espuma.

Los catalizadores de este tipo que más uso tienen comercialmente se exponen en la siguiente tabla, donde se da el nombre comercial, nombre químico y el proveedor en el mercado.

TABLA # 4

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE QUIMICO	PROVEEDOR
DABCO ⁽⁹⁾	1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octano (Trietilendiamina)	Air products S.A.
A-1 ⁽¹⁰⁾	[bis(2-Dimetilamino etil)eter] 70% Dipropilenglicol	30% Union Carbide S.A.
A-4 ⁽¹¹⁾	Mezcla	Union Carbide S.A.
N-Etilmorfolina ⁽¹²⁾	N-Etilmorfolina	Air products S.A.

Tipo B.- Los catalizadores organo-metálicos se usan para acelerar la reacción de poliisocianato, por eso también se conocen como catalizadores de gelación. Normalmente son compuestos a base de estaño a diferentes concentraciones, comercialmente son muy usados los de la compañía Industria M & T de México S.A. de C.V. - que son el T-9, T-12, etc. ⁽¹³⁾

Para la mayoría de las formulaciones que se emplean en la espuma flexible, se utilizan mezclas de catalizadores organo-metálicos con una o varias aminas terciarias. Estos catalizadores son seleccionados para proporcionar un balance entre las reacciones isocianato-poliol e isocianato-agua. Un balance correcto de los catali-

zadores elimina dificultades en la espuma obtenida, tales como el encogimiento, cavernas y colapso.

Durante el espumado los catalizadores de aminas se evaporan, mientras que los catalizadores organo-metálicos se quedan permanentemente en ella, dándole características antioxidantes.- Un cambio en la concentración de cualquiera de los catalizadores da lugar a una variación en el tipo de celda de la espuma y por lo tanto se refleja en las propiedades físicas de la misma.

Es importante tener en cuenta los siguientes conceptos:⁽⁴⁾

Si la concentración de aminas es alta, los probables problemas que se pueden presentar son:

- 1.- Colapso o grietas. Se presentan por que la reacción de espumado esta fuera de balance con la de gelación.
- 2.- La celda es excesivamente fina.
- 3.- Piel gruesa.

Quando el nivel de aminas es bajo:⁽⁴⁾

- 1.- Se tiene bajo curado en la piel.

2.- Se incrementa la densidad de la espuma.

3.- Se obtiene una piel poco firme.

Cuando el nivel de catalizador organo-metálico es alto:⁽⁴⁾

1.- Grietas. Que son debidas a que la reacción de gelación es ta fuera de balance con la de espumado.

2.- Se presenta el encogimiento de la espuma acompañado de cel da cerrada.

3.- Se presentan bolsas de gas atrapado en la pieza.

4.- Superficie aspera al tacto.

Cuando el nivel de catalizadores anteriores es bajo:⁽⁴⁾

1.- Se presenta el colapso o grietas.

2.- Bajo curado de la pieza.

3.- La estructura de la celda es burda.

Como se puede observar un problema puede ser originado por va rias causas, pero solo atraves de la experiencia puede uno deter- minar el ajuste que se debe hacer.

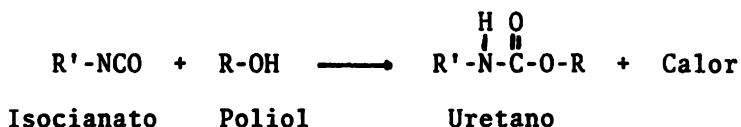
C A P I T U L O III

A) QUIMICA BASICA PARA LA OBTENCION DE LA
ESPUMA FLEXIBLE DE POLIURETANO

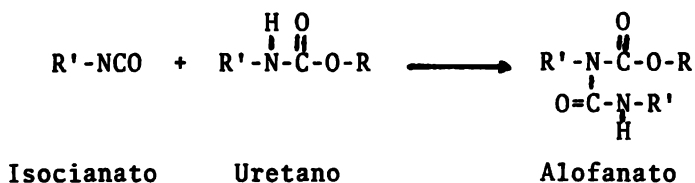
Las reacciones básicas para la formación de la espuma flexible de poliuretano son tres y ocurren simultáneamente, solo que a diferentes velocidades siguiendo una secuencia:⁽⁴⁾

- 1.- Extensión de la cadena.
- 2.- Formación de gas.
- 3.- Entrelazamiento de las fibras.

1.- Extensión de la cadena. Esta reacción ocurre entre el isocianato y el polioliol para dar un uretano con desprendimiento de calor.⁽⁴⁾

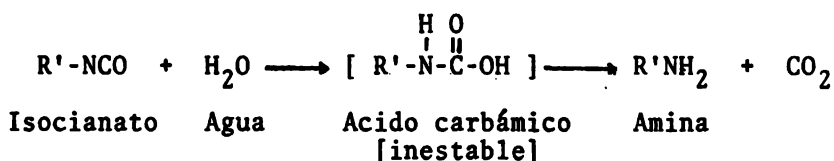


El uretano que se obtiene reacciona con más isocianato para dar un alofanato.⁽⁴⁾

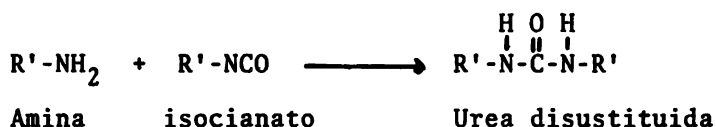


Las dos reacciones anteriores son catalizadas con compuestos organo-metálicos.

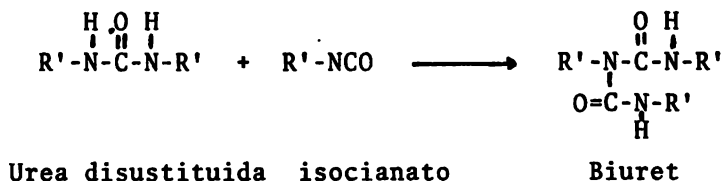
2.- Formación de gas.⁽⁴⁾ Al reaccionar el isocianato con el agua se forma una amina primaria, que sirve de intermediario para producir una urea. En la primera reacción se forma bióxido de carbono que sirve como agente espumante.



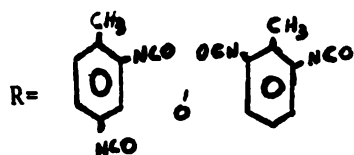
3.- Entrelazamiento de las fibras. La amina que se forma en la reacción anterior, reacciona con más isocianato para dar una urea disustituida.



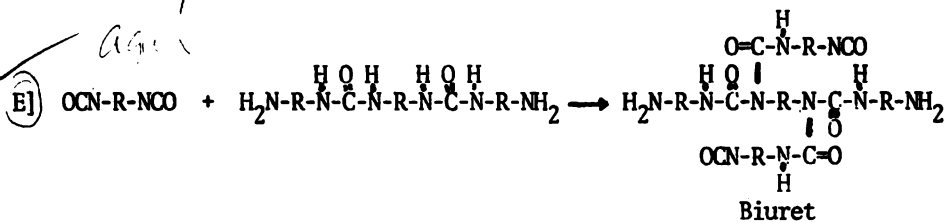
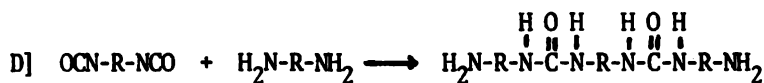
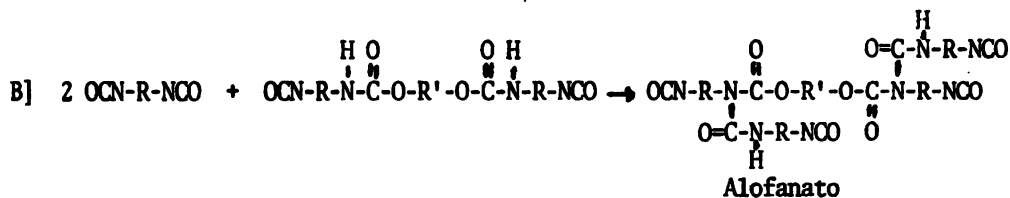
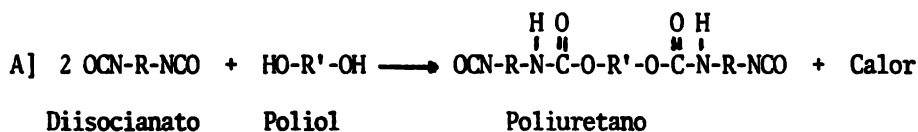
La urea disustituida reacciona con isocianato para formar estructuras entrelazadas muy grandes llamadas Biuret.



En
 A continuación se expone un ejemplo de una secuencia de reacciones, para la preparación de espuma de poliuretano a partir de un poliol difuncional [diol] y un diisocianato, en donde: ⁽⁴⁾



R' = Cadena de alto peso molecular



Como se puede observar las estructuras de alofanato y Biuret, se pueden entrelazar una con otra ya que tienen terminación iso cianato y muchos hidrogenos activos y de esta forma darle cuerpo a la espuma..

En la fabricación de espumas flexibles de poliuretano se usan polioles lineales o con pocas ramificaciones.

B) FORMULACIONES

Las formulaciones para preparar las espumas de poliuretano de penden del tipo de espuma que se quiera obtener y de las propiedades físicas que se deseen en la misma.

Los componentes básicos en las formulaciones para preparar espuma flexible tomando como base el poliol son:

Tabla # 5

C O M P O N E N T E	PARTES POR PESO
Poliol	100
Agua	2 - 5
Agentes auxiliares de espumado.	0 - 35

C O M P O N E N T E	PARTES POR PESO
Cargas inorgánicas	0 - 150
Catalizadores aminas	0.1 - 1.0
Catalizadores organo- metálicos.	0.1 - 0.5
Surfactante	0.8 - 2.5
TDI (isocianato)	25 - 60

La selección de los componentes y la concentración de los mismos depende del grado de la espuma que se desee. En una formulación las funciones de los componentes son las siguientes:

1 .- El poliol es proveedor de los grupos hidroxilos. La funcionalidad de el poliol determina el grado de entrelazamiento de las cadenas. El peso equivalente del poliol determina en cierto grado las propiedades físicas de la espuma.

2 .- El agua también provee de grupos hidroxilos, pero su función principal es la de reaccionar con el isocianato para generar el CO₂ (bioxido de carbono) el cual actua como agente espumante.- El entrelazamiento también ocurre como un resultado de la reacción isocianato-agua.

3 .- Agentes espumantes auxiliares, son usados generalmente para reducir la densidad de la espuma y aumentar el grado de espumado. Los compuestos que se usan con este fin son líquidos de bajo punto de ebullición.

4 .- Cargas inorgánicas, son usadas para modificar la densidad y las propiedades de carga en la espuma. Los compuestos usados con esta finalidad son generalmente carbonato de calcio y sulfato de bario.

5 .- Catalizadores de aminas, la función principal de estos catalizadores es la de acelerar la reacción isocianato-agua. Hay algunos que tienen un grado variable de actividad en promover la reacción entre el polirol y el isocianato.

6 .- Catalizadores organo-metálico, estos se usan para acelerar la reacción polirol-isocianato. Estos también son llamados catalizadores de gelación.

7 .- Surfactantes, las razones principales por la que son usados los surfactantes en las formulaciones para la obtención de espuma flexible son, por que disminuyen la tensión superficial

y estabilizan la estructura de las celdas.

Los surfactantes que se usan son generalmente en forma líquida como el dimetil-silicón o como copolímeros organo-silicón/polioxialquilenos.

Los surfactantes que hay en el mercado tienen varios grados de eficiencia, por lo que la selección debe hacerse de acuerdo a la espuma se quiera obtener.

8.- El isocianato, es el portador de los grupos NCO y éstos son los que reaccionan con los grupos hidroxilos del poliol y el agua. Para la obtención de las espumas flexibles, el isocianato - más usado comunmente es el toluendiisocianato. Como ya se mencionó en el capítulo anterior, en Estados Unidos de Norte America se -- usan más los isómeros 2,4/2,6 en una relación de 80/20. En Europa es más usada la relación 65/35 de los mismos isómeros, se tiene una mayor reactividad en la relación 80/20 que en la de 65/35. También se puede trabajar con TDI polimérico, TDI mezclado con MDI.

A continuación se hace una tabla en la cual se exponen los com

ponentes y las características de los mismos para las formulaciones que se usan en los métodos convencionales y alta resiliencia.

Tabla # 6 (4)

COMPONENTES	CARACTERISTICAS	METODO	
		CONVENCIONAL	FRIO
Poliol	Peso moléculas	2500 - 3500	4500 - 6000
	N° hidroxilos	40 - 60	25 - 45
	Hidroxilos primarios.	0 - 50%	50 - 85%
	Graft.	no lleva	20 - 50
Agente solantes	Agua	2.5 - 4.5 ^(a)	2 - 3 ^(a)
	Fluorocarbono	0 - 35 ^(a)	0 - 10 ^(a)
Catalizadores	Aminas terciarias	Dabco/A-1/NEM	Dabco/A-1/ A-4/NEM
	Organo-metálico	T-9, T-12	T-9, T-12
Surfactantes	Baja eficiencia	1.0 - 2.5 ^(a)	
	Alta eficiencia		1.0 - 2.0 ^(a)
Isocianato	TDI (índice 98-110)	80 / 20	TDI/mezclas poliméricas

(a) partes por peso

Las ventajas que ofrece la formulación para curado en frío sobre la formulación convencional, es el ahorro de energía, menos tiempo de proceso y mejores propiedades físicas del producto. Estas ven -

tajas se deben a que las materias primas usadas son más reactivas.

Es muy importante la selección de las materias primas para integrar una formulación, ya que ésta debe ser la más adecuada desde el punto de vista químico y de producción, para obtener condiciones optimas de trabajo.

C) PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES
FISICAS DE LA ESPUMA FLEXIBLE DE POLIURETANO.

Para hacer una evaluación de la espuma flexible se toman como referencia los métodos de prueba de la American Society on Testing and Materials, (ASTM), más adelante se hace una descripción de los métodos de prueba más usados en la evaluación de las propiedades físicas de la espuma flexible de poliuretano.⁽⁴⁾

Todo los valores obtenidos de la prueba dependerán de la calidad de las "probetas" sobre las cuales se efectue la prueba. Las "probetas" no deben presentar huecos, grietas, áreas colapsadas, depresiones en la superficie (piel), debido a que estas áreas son defectos del material y los resultados no serán representativos.

Una observación cuidadosa de las celdas muestran que están elon

gadas en la dirección de elevación de la espuma, se recomienda que las probetas sean cortadas con el espesor en dirección de la elevación de la espuma.

1.- Densidad.⁽⁴⁾ La densidad es el peso por unidad de volumen de la espuma, normalmente se expresa en Kg/M^3 .

El intervalo en las espumas flexibles de poliuretano base polieter es de aproximadamente 16 - 64 Kg/M^3 . Para densidades mayores, los valores de compresión son mas altos.

2.- Deflexión por fuerza a la indentación (IFD).⁽⁴⁾ El IFD es una medida de relación de carga y se expresa en Newtons/cm^2 . Para efectuar esta prueba se corta una "probeta", sobre la cual se coloca un plato circular (323 cm^2 comunmente), a ésta se le aplica una carga y se mantiene durante un minuto a un nivel de deflexión de 25 ó 65%, para después tomar la lectura de la carga. El IFD es conocido también como ILD (deflexión por carga a la indentación).

3.- Deflexión por fuerza a la indentación residual.⁽⁴⁾ El IRDF es una medida de relación de carga y se expresa en mm.

Para ésta prueba se usa el mismo plato antes mencionado, a este se le van poniendo cargas de 4,5,110 y 220 newtons y lo que se debe medir es, la distancia que existe entre el espesor original de la espuma y el espesor después de poner una carga.

4.- Deflexión por fuerza a la compresión (CFD)⁽⁴⁾ Es también una medida de relación de carga, generalmente se expresa en pascales (Pa), para un porcentaje de deflexión dado. En esta prueba se comprime toda la muestra y los valores son independientes del grueso de la muestra. El CFD es usado para comprobar especificaciones de firmeza de ciertos tipos de espumas. Estas pruebas también se usan en "probetas" que se encuentran a determinadas condiciones de humedad o calor.

5 .- Factor guía⁽⁴⁾ El factor guía es la relación de IFD al 25% con la densidad. Este término es útil para determinar la firmeza relativa de espumas con diferentes densidades. La espuma con un factor guía alto tiene un costo promedio, pero no necesariamente un comportamiento promedio.

6 .- Factor sag⁽⁴⁾ Es la relación del IFD al 65% con el IFD al 25% y dá una indicación de calidad de acojinamiento. Un valor -

alto indica resistencia al sentarse.

7 .- Recobre.⁽⁴⁾ El recobre se hace en base a medidas de IFD. - Se toma el valor al 25% de deflexión, se hace una deflexión al 65% y se regresa otra vez al valor de 25% de deflexión quitando la carga y se toma el valor nuevamente. El porcentaje de recobre se calcula dividiendo el último valor al 25% de deflexión entre el valor original al 25% de deflexión.

Las espumas con valores altos de recobre se aplican para acojinamiento, aunque algunas de bajo recobre son consideradas para absorber choques. Las espumas de bajo recobre en ocasiones se les llama "muertas".

8 .- Resiliencia.⁽⁴⁾ Es una medida de elasticidad o rebote de la espuma. En esta prueba se deja caer sobre la espuma una bola de acero y el rebote se expresa en porcentaje. También se conoce como la prueba de rebote. Las espumas de poliuretano arrojan valores de 40 a 60% de rebote. Las espumas de baja resiliencia, - usadas para la absorción tienen valores de 20 % de rebote.

9 .- Resistencia a la tensión.⁽⁴⁾ Es una medida del esfuerzo -- (fuerza) requerido para romper la espuma sobre una área conocida,

cuando la "probeta" se estira y el valor se expresa en pascales. Si se tienen valores bajos de resistencia a la tensión indican un curado insuficiente de la espuma o una mala estructura en las celdas.

10 .- Elongación⁽⁴⁾. La elongación es medida generalmente al mismo tiempo que la resistencia a la tensión. La medida se hace cuando la espuma está estirada hasta antes de romperse. Se expresa como un porcentaje tomando como base la longitud original.;

11 .- Resistencia al desgarre. Es la fuerza requerida para continuar un desgarre en una espuma, partiendo de una cortadura o grieta.

Esta medida se expresa generalmente en newtons por metro (N/m). La importancia de la determinación de esta propiedad radica en conocer la conformación de la espuma en el caso de engraparla o coserla.

12 .- Deformación remanente⁽⁴⁾. Es una medida de la deformación de la espuma después de que ésta, ha sido sometida a una compresión en condiciones controladas de tiempo y temperatura.

Las condiciones estándar son 22 horas a 70 °C. En ésta prueba la espuma se comprime en un 50 ó 75% de la altura original de la "probeta". Al final de la prueba, se mide la altura que tiene la probeta y el resultado se da como un porcentaje.

$$\% \text{ Def. Rem.} = \frac{H_o - H_i}{H_o} \times 100$$

Donde: H_o = altura original

H_i = altura después de la prueba.

Generalmente las especificaciones piden que sea \leq 10%

13 .- Fatiga⁽⁴⁾. La fatiga es una medida de la pérdida en la relación de carga de la espuma bajo condiciones de servicio y generalmente se expresa como un porcentaje.

Las dos pruebas más comunes de fatiga son:

Fatiga estática⁽⁴⁾. En esta prueba la espuma se comprime a un 25% de su altura original y se mete en un cuarto de temperatura por 17 horas. La pérdida en los valores de IFD se calculan como un porcentaje, tomando como base los valores originales.

Fatiga dinámica⁽⁴⁾. En esta prueba la "probeta" se le pasan unos

rodillos de peso constante varias veces. Las pérdidas se calculan con los valores de IFD ó IRDF.

14.- Flujo de aire.^(A) La prueba de flujo de aire indica la porosidad de la espuma. Esto se expresa en dm^3 de aire/seg.

La prueba se hace según el procedimiento de vacío de la ASTM o usando un soplado sobre la espuma, como se hace con otros aparatos descritos en el BASF Wyandotte Technical Advisiones.

Con los valores que se obtienen de todas estas pruebas se pueden evaluar las características de la espuma flexible de poliuretano que se esta fabricando y a la vez se pueden modificar las - concentraciones de algunos de los componentes en la formulación para obtener mejoras en la estructura interna de la espuma y con esto en las propiedades físicas de la misma.

C A P I T U L O I V

PROCESOS Y EQUIPOS.

Existen dos procesos a nivel industrial para la fabricación de espumas flexibles de poliuretano y estos son proceso por bloque ("Slab") y proceso por moldeado (curado en caliente y curado en frío). En seguida se hará una descripción de cada proceso y de sus diferentes etapas.

PROCESO POR BLOQUE ("SLAB").

El proceso por la obtención de la espuma flexible de poliuretano por bloque es más sencillo y uno de los primeros -- procesos industriales.

La selección de la materia prima para este proceso se -- puede hacer, tomando en cuenta las observaciones hechas en el Capitulo II y III.

DESCRIPCION DEL PROCESO.

En el proceso para la obtención de la espuma flexible --

por bloque se utiliza un equipo de espumado y transportador. -

El proceso consta de las siguientes etapas.

- 1.- Preparación del transportador.
- 2.- Inyección.
- 3.- Elevación de la espuma.
- 4.- Curado.
- 5.- Corte y almacenamiento.

1.- Preparación del transportador. El transportador que se usa para este proceso es de banda y su forma es lineal, lo ancho de la banda depende del tamaño del bloque de espuma que se quiera obtener.

El transportador se prepara poniendo papel de polietileno en todas las paredes que pueden ser tocadas por la espuma, esto es con el objeto de que la espuma no se adhiera en las paredes y la banda corra libremente, la velocidad de la banda depende de la formulación empleada, tamaño de bloque, altura del mismo tiempo de curado y tipo de cortes,

Los transportadores que se usan para este proceso han su

frido muchos cambios y éstos han sido con el fin de obtener los bloques en forma más rectangular y reducir con esto la pérdida por recorte, esto ha ayudado mucho para tener mayor eficiencia en la producción de este tipo de espuma. En las siguientes figuras se muestran algunas de las modificaciones que han sufrido los transportadores.⁽⁴⁾

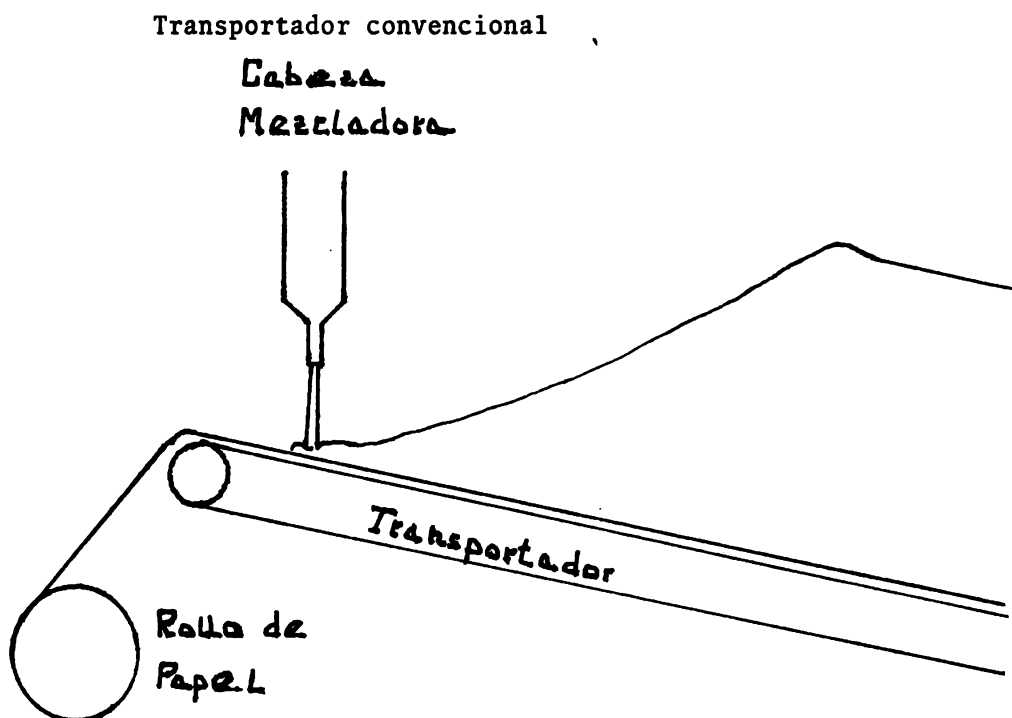


Fig. # 1

Modificación de Draka al transportador convencional. Esta modificación consta de la aplicación de un papel en la parte superior de la espuma, esto con el fin de darle una terminación más plana al bloque y con esto minimizar las pérdidas por recorte. (4)

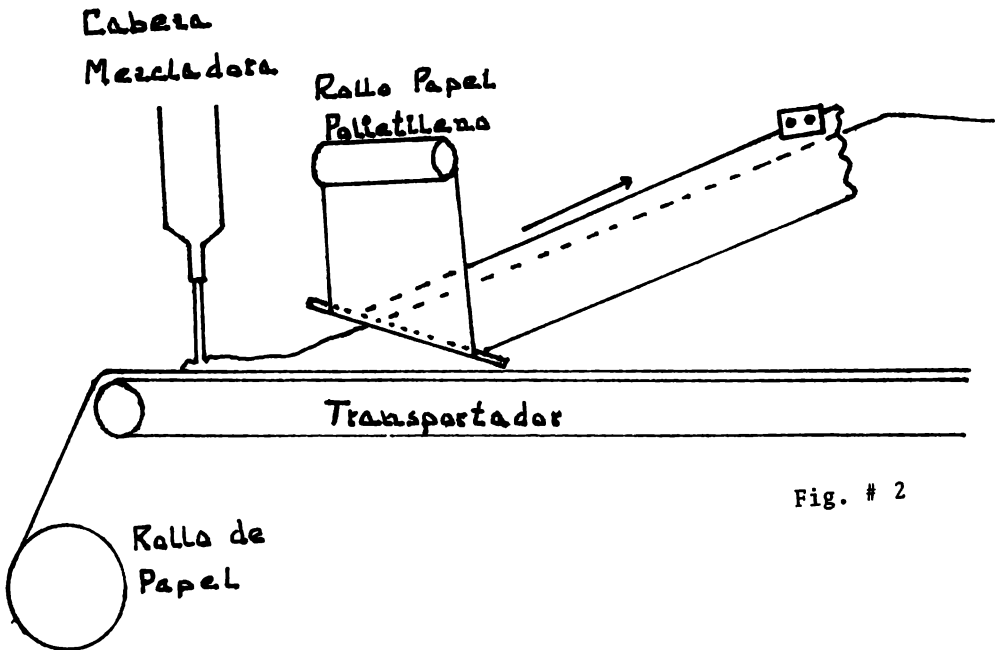


Fig. # 2

Modificación Maxfoam. En esta modificación la mezcla es alimentada por un conducto que se localiza en un extremo del transportador, conforme crece la espuma, ésta baja por un plato de inyección el cual tiene cierto ángulo que se ajusta a la velocidad del transportador. Por este método también se minimizan las pérdidas ya que se obtienen bloques de tamaños más homogéneos.⁽⁴⁾

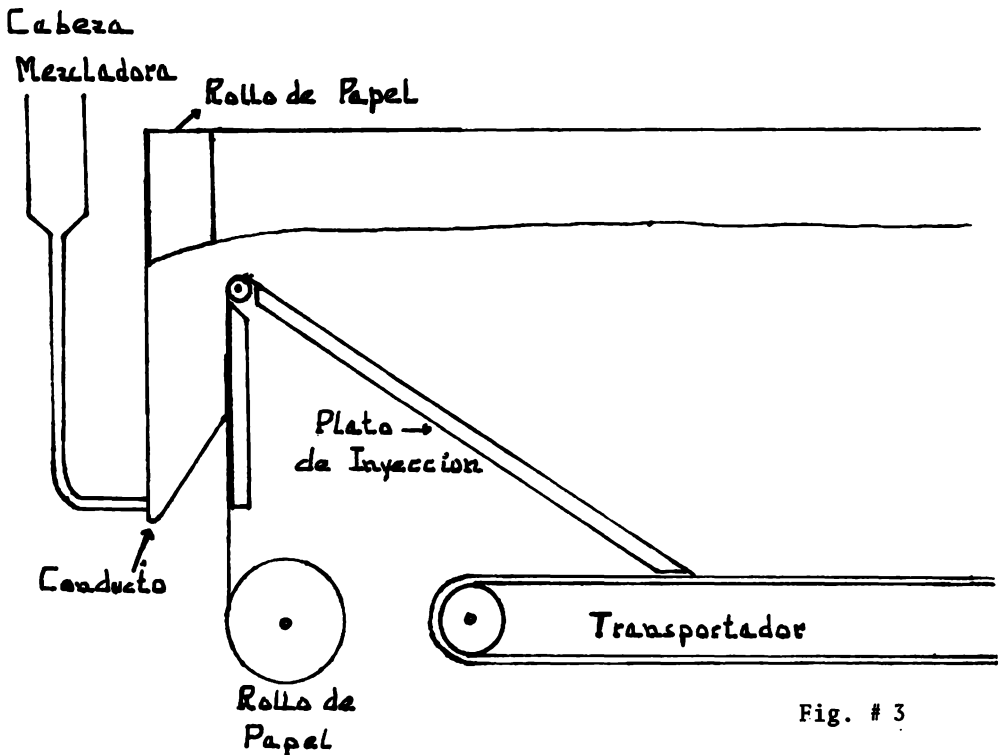


Fig. # 3

2.- Inyección. La inyección de la mezcla sobre la banda transportadora ya preparada, se hace con una máquina de baja o alta presión. La máquina inyectora se coloca en un extremo de la banda transportadora y la inyección en este tipo de proceso es continua.

3.- Elevación de la espuma. Una vez depositado el material en la banda transportadora empieza a elevarse, después de cierto tiempo la espuma alcanza su máxima altura y se estabiliza. La altura que alcanza la espuma en este proceso depende directamente del tipo de materia prima que se usa, así como del tipo de catalizadores y agentes soplantes auxiliares.

4.- Curado. La etapa de curado es muy importante ya que en ella la espuma logra la firmeza necesaria para que pueda ser cortada. El tiempo necesario de curado en estas espumas, es de 10 a 15 min. y no se usa horno, sino que se hace a la temperatura ambiente.

5.- Corte y Almacenamiento. Cuando la espuma ya esta firme se procede a cortar el bloque de espuma que se ha formado. En primer lugar se cortan los sobrantes del bloque para formar una figura regular (cuadrado, rectángulo, etc.) El producto -

se almacena en una área lo suficientemente ventilada y los bloques separados unos de otros para evitar que se pueda iniciar un incendio, ya que estos bloques salen aún calientes del proceso. Cuando los bloques se enfrían se cortan de acuerdo a las medidas que se requieran para su venta.

Como se puede observar el proceso es sencillo y para que así permanezca se deberán mantener las mismas condiciones en el proceso una y otra vez, para que en esta forma tengamos menos variaciones en el producto terminado.

A continuación se presenta en una tabla una formulación que se usa en este tipo de proceso dandose las propiedades más importantes de la espuma obtenida bajo estas condiciones.⁽⁴⁾

Tabla # 7

MATERIAS PRIMAS	PARTES
Pluracol poliol 279	100
Fire master Lut 23P	8
Agua	3.8
Surfactante	1.3
Dabco 33LV	0.3
Netilmorfolina	0.1

MATERIAS PRIMAS	PARTES
T - 9	0.18
TDI (indice 108)	47.8
PROPIEDADES FISICAS QUE MUESTRA LA ESPUMA OBTENIDA.	
Densidad, PCF	1.60
Tensión, Psi.	18.0
Elongación, %	333.0 [✓]
Desgarre, N/M.	3.6
IFD, lb/ in ²	
25 %	31.3
65 %	58.0
Compresión, %	
50 %	6.2
90 %	6.7
Flujo de aire, ft ³ /m a 0.5 in agua.	4.0
Prueba de flama ASTM D - 1692	
Tiempo total de quemadura, seg.	14.7
Distancia total de la quemadura, in.	1.24
CONDICIONES DEL PROCESO	
Salida de mezcla en la máquina	40 Lb/min.
Ancho de la barra	32 in.

CONDICIONES DEL PROCESO

Temperatura del Polioli - ISO	71 °F
Velocidad mínima del transportador ft/min.	7
Angulo del plato de inyección	4 °
Altura de la espuma	15 in.

PROCESO POR MOLDEADO

Como se mencionó anteriormente este proceso se lleva a cabo por dos métodos el de curado en caliente y curado en frío, las -
diferencias principales entre estos procesos son las siguientes:

- a) Materias primas.
- b) Energía.
- c) Temperaturas de moldes.
- d) Tiempo de curado.
- e) Tiempo de ciclo (banda transportadora).

Comentarios sobre las diferencias citadas.

- a) Materia Prima.

Las formulaciones para espumas de curado en caliente gene -

ralmente emplean trioles obtenidos de óxido de etileno. En algunas otras formulaciones se usan mezclas de dioles con trioles para mejorar las propiedades de resistencia, mientras que en las formulaciones usadas para curado en frío o alta resiliencia se emplean, trioles altamente reactivos mezclados con diaminas para ayudar en la reacción de entrelazamiento, también se emplean los polioles graft.

Los Isocianatos que se emplean en todas estas formulaciones son a base de TDI Modificado y mezclas de TDI - MDI.

b) Energía.

El consumo de energía en el método de curado en caliente es muy alto ya que se emplea un horno que trabaja con temperaturas de 500 °F (que es la zona más caliente) y 250 °F (que es la zona menos caliente); mientras que en el horno para el método de curado en frío se usa una temperatura de 100 a 180 °F, como se puede apreciar la diferencia de temperatura entre los métodos es considerable, apreciándose un gran ahorro de energía en el método por curado en frío.

c) Temperatura de Moldes.

Los moldes en el método por curado en caliente salen del

horno a una temperatura de aproximadamente 200 °F, éstos deben ser pasados por un enfriamiento que puede ser con agua ó aire frío, con el objeto de bajar la temperatura hasta 90 ó 100 °F ya que éstas son las condiciones de temperatura de los moldes en el momento de inyectarse. Una variación brusca de temperatura puede distorcionar los moldes por lo que éstos se deben construir con materiales conductores de calor, para que la distorción sea mínima, este problema casi no existe en el método por curado en frío ya que los moldes salen del horno a una temperatura de 100 a 110 °F, por esta razón los moldes están -- hechos de materiales de diferentes clases, ya que se tiene menos distorción.

d) Tiempo de Curado.

El tiempo de curado es de 15 a 20 minutos en el método de curado en caliente mientras que en el otro es de 3 a 10 minutos. La diferencia de estos tiempos se debe principalmente a las materias primas usadas en uno y otro método.

e) Tiempo de ciclo (banda transportadora).

El ciclo de la banda transportadora depende directamente del tiempo de curado por lo tanto, la banda en el método de cu

rado en caliente es mayor que la del método de curado en frío, esto también influye en el número de etapas de las que consta el ciclo.

DESCRIPCION DEL PROCESO

Posteriormente se mencionarán las variables del proceso en las que se debe tener más cuidado. En el proceso se puede usar una máquina de alta ó baja presión pero ésta debe ser con recirculación ya que el proceso es intermitente. Los moldes hacen un ciclo pasando por las diferentes etapas del proceso, el número de etapas para cada uno de los métodos (curado en caliente y en frío) es diferente por lo que se pondrá un esquema para cada uno.

CURADO EN CALIENTE

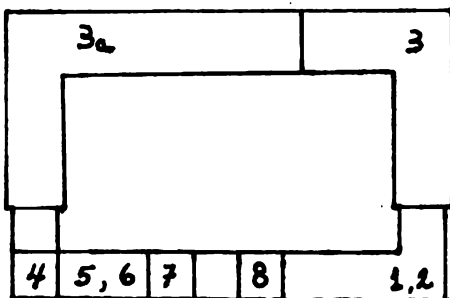


Figura # 4

CURADO EN FRIO

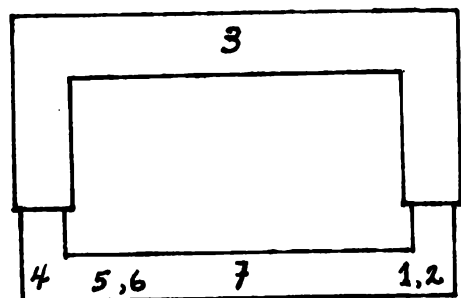


Figura # 5

ETAPAS	ETAPAS
1.- Inyección.	1.- Inyección.
2.- Cerrar molde.	2.- Cerrar molde.
3.- Horno alta temperatura. 450 - 500 °F	3.- Horno de cura do 100 - 180 °F
3a.- Horno de curado, baja temperatura 250 - 300 °F	4.- Desmoldeo.
4.- Desmoldeo.	5.- Limpieza de - moldes.
5.- Limpieza de moldes.	6.- Aplicación de desmoldante.
6.- Aplicación de desmoldante.	7.- Instalación de insertos.
7.- Enfriamiento de moldes.	
8.- Instalación insertos.	

Es importante que en cada una de las etapas se lleven a --
cabo las actividades correspondientes adecuadamente, para evitar
problemas en el producto final. A continuación se discute cada
una de las etapas.

1.- Inyección.

En ésta etapa es donde se llenan los moldes con la mezcla
química, por medio de la cabeza mezcladora que tiene la corres-
pondiente máquina inyectora.

Para que un molde pueda ser inyectado debe encontrarse en las siguientes condiciones: limpio, encerado, venteos destapados, con los insertos correspondientes y lo mas importante a una temperatura entre 80 a 110 °F.

Para cada molde que llega a esta etapa se selecciona un -- tiempo de inyección, este va de acuerdo al tamaño de la pieza y tambien se determina la distribución del material para que llene completamente la cavidad del molde. Una vez terminada la inyección, el molde se pasa a la siguiente etapa.

2.- Cerrado del molde.

El molde debe ser cerrado inmediatamente despues de terminada la inyección y antes de que la espuma alcance cierta altura. Si al cerrar la tapa pega en la espuma esto causa el colapso de la misma o aparecen cavernas en la pieza terminada.

El molde debe quedar herméticamente cerrado desde esta etapa hasta la de desmoldeo, ya que si se abre antes, la pieza que se obtiene será de mala calidad. Cuando el molde se cierra se pasa al horno.

3.- Horno de curado.

La función del horno es la de proporcionar el calor suficiente al molde para que el curado de la espuma sea uniforme.

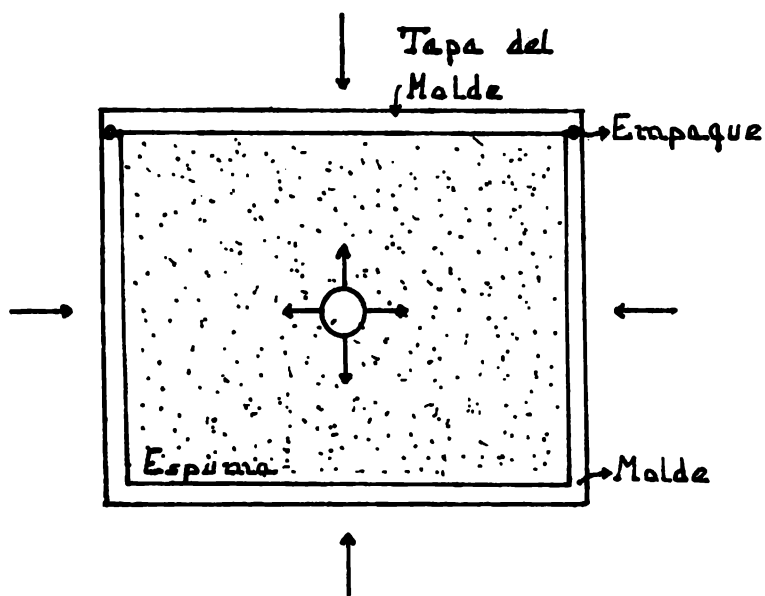


Figura # 6

En la figura anterior se muestran los siguientes flujos de calor, un flujo del centro de la pieza a la superficie y otro del horno a las paredes del molde. El calor del horno es para calentar la parte más fría de la pieza que es la más cercana a las paredes del molde y así mantener una temperatura más homogénea en toda la pieza. Si no se aplicará el calor del horno la

pieza tardaría más tiempo en poder desmoldearse, porque la temperatura del centro de la pieza con la de la superficie de la misma se igualaría en un tiempo más largo, esto se puede comprobar; si se inyecta un molde a baja temperatura, al abrirlo nos encontramos que la pieza no a adquirido la dureza necesaria -- (curado) para poder sacarla del molde.

Es muy importante mantener el horno a una temperatura lo -- más constante posible para no tener problemas en la etapa de desmoldeo y con el producto terminado. Esta temperatura debe ser de acuerdo al proceso que se use.

4.- Desmoldeo.

Cuando el molde llega a esta etapa se abre y la pieza debe estar perfectamente curada para que pueda ser sacada del molde, si no es así, algunas partes de la pieza se quedan pegadas en la tapa ó en la base del molde.

Una vez que la pieza se saca, se revisa para ver los defectos que presenta, si los defectos son por fallas mecánicas --- estas se corrigen de inmediato para que no aparezcan en las demás.

Cuando la producción de piezas es continua se van desmol --

deando y colocando en los "racks" para que terminen su curado. Cuando las piezas han terminado su tiempo de curado, se pasan a un almacén para que sean tomadas para su uso. Como se puede observar esta etapa es crítica por que en ella se detectan todas las anomalías del proceso.

5.- Limpieza de moldes.

La limpieza de los moldes consiste en quitar todos los fragmentos de pieza que se hayan quedado adheridos al molde ya sea en la base, tapa ó empaques.

La limpieza siempre se debe llevar a cabo para evitar la acumulación de partículas, pedazos ó basura en el molde.

6.- Aplicación de desmoldante.

Todo molde que llegue a esta etapa debe estar bien limpio - para que se le aplique correctamente el desmoldante, que generalmente es cera de alto peso molecular. La aplicación del desmoldante se puede hacer por dos métodos: manual ó por aspersion.

• La aplicación del desmoldante por el método manual, que es el más sencillo, se hace con un trapo (manta de cielo) humede

ción en la solución de desmoldante (cera de alto PM mezclada con disolvente), ésta se pasa por todo el molde (Base y tapa).

La aplicación por aspersión se hace con una pistola de presión a la cual llega líquido y aire. Es de vital importancia que el desmoldante llegue a todas las partes donde pueda llegar la espuma, para que ésta no se pegue en el molde. El desmoldante debe llegar seco a la etapa de inyección, por lo que la etapa de aplicación de desmoldante debe estar bien localizada en el ciclo. Tanto la falta como el exceso de desmoldante causan problemas en el producto terminado, en el primer caso el material se adhiere a la parte donde falta el desmoldante y en el segundo caso la pieza sale con un defecto muy marcado en la zona donde hay el exceso, por lo que debe tenerse mucho cuidado al hacer la aplicación del desmoldante.

7.- Instalación de insertos.

Los insertos son piezas que se instalan en los moldes antes de ser inyectados, estos insertos tienen el propósito de reforzar y dan "comfort" en algunas zonas a las piezas moldeadas. La forma y el tamaño de estos es diferente por lo que es muy importante fijarlos tanto en la base como en la tapa

del molde según se requiera, para que no sean movidos por la espuma o por el movimiento del transportador.*

Las ventajas que ofrece el método por curado en frío son:

a) Ahorro de energía. Esa es la principal ya que el ahorro es considerable.

b) Tiempo del ciclo en el proceso más corto.

c) Mejores propiedades en el producto.

Con estas bases se ha incrementado el empleo de este tipo de proceso. En la planta donde se desarrolló este trabajo se usa el proceso de moldeado por el método de curado en frío.

* Es importante señalar que en el método de curado en caliente hay una etapa de enfriamiento de moldes, que generalmente se localizan antes de la etapa de instalación de insertos, esta etapa es con el objeto de llevar los moldes a una temperatura razonable para que puedan ser inyectados.

VARIABLES EN LOS PROCESOS DE ESPUMADO.

En todo los procesos se tiene variables que se deben controlar para obtener un producto con muy poca variación en su apariencia y sus propiedades físicas. Las variables más importantes que se deben controlar en estos procesos son las siguientes:

1.- Factor humano.

SEGURIDAD

Es importante contar con personal capacitado o cuando menos que esté enterado de cual es su función en el proceso.:

2.- Químicas.

La materia prima que se usa para una formulación debe mantenerse bajo un sistema de control de calidad, por medio del cual se evaluen las propiedades físicas y químicas de cada una de ellas para con esto evitar problemas posteriores.

La formulación para cada proceso es diferente por lo que se considera una variable importante. Es de tomarse en cuenta que los componentes que integran una formulación en ocasiones no son compatibles entre si, por esta razón hay procesos de 2,3,4 y 5 corrientes.

Debe cuidarse que la catálisis de la reacción este bien ba lanceada ya que está controla los tiempos de cremado, de espu mado y de curado en la espuma. Estos tiempos varían de acuerdo al proceso que siga.

3.- Físicas.

En los siguientes puntos de los procesos es muy importante tener un control de la temperatura.

a) En cada una de las corrientes del proceso ya que los componentes debe estar a una misma temperatura para evitar va riación en la viscosidad y por lo consiguiente una variación en el flujo..

b) En los procesos de espumado es necesario que los moldes se encuentre a una temperatura razonable para que puedan ser inyectados.

c) La temperatura para el horno en el proceso por moldeado, debe ser mayor que la del molde para mantener un flujo de calor hacia la pieza a través de las paredes del molde. Si en el -- flujo de calor se hace con eficiencia, la pieza podrá ser desu

moldeada en poco tiempo y sin ningún problema.

Otra variable física es la presión y debe cuidarse en los siguientes puntos:

a) Los tanques de abastecimiento de materia prima a las -- bombas, deben mantenerse a una presión de 10 - 15 PSI, para evitar que las bombas caviten.

b) La presión en la líneas con las valvulas en posición - abierta o recirculación deben mantener la misma presión en el manómetro.

4.- Adelantos y atrasos.

Los adelantos y atrasos en la salida de los componentes a la cámara de mezclado es otra variable que se debe controlar. El control de esta variable puede ser físico o mecánico, física mente se puede controlar subiendo o bajando la presión de inyección de los componentes según sea el caso y mecánicamente - se puede hacer variando la posición del perno que gobierna la salida del material en el momento de la inyección.

5.- Tiempos de inyección en el proceso por moldeado.

En el proceso por moldeado se consideran los tiempos de inyección como una variable ya que influyen con mucho en el producto terminado, por ejemplo. Si el tiempo de inyección para un molde es de 3.5 seg. y este se inyecta con 5 seg. se presentan los siguientes problemas:

a) Excesiva pérdida de material por fugas y "hongos" en los venteos.

b) Si se presentan fugas (a), aparecen cavernas en la pieza en las zonas próximas a las fugas.

Si por el contrario el molde se inyecta con menos tiempo del necesario, el material depositado no llenará la cavidad del molde.

6.- Mecánicas.

La principal variable que se debe controlar en el aspecto mecánico, es el mezclado de los componentes ya que si éste no es eficiente se presentan diversos problemas en el producto terminado. El control de esta variable se debe tener tanto en las máquinas donde el mezclado es mecánico como en las de mezclado por choque.

Las bombas para mover los componentes en los equipos deben estar provistas de un medidor de RPM (revoluciones por minuto), por que si hay variación en cualquiera de ellas habrá una variación en el gasto y el producto saldrá defectuoso.

Para obtener un producto de buena calidad otra variable importante de controlar es el cierre hermético en los moldes, - esto es para evitar las fugas de material y que por esta razón aparezcan defectos en las piezas.

7.- Medio ambiente.

Las condiciones del medio ambiente influyen en el tiempo de curado y en algunas de las propiedades físicas de la espuma.

En conclusión teniendo un buen control sobre todas la variables que afectan los procesos, el producto final presentará - una calidad y propiedades físicas semejantes.

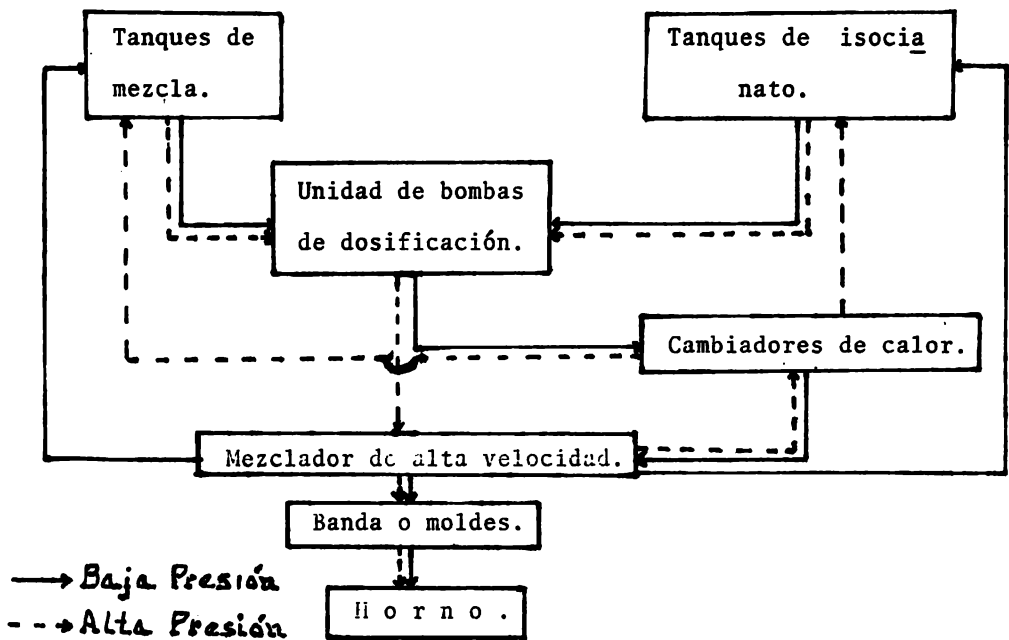
EQUIPOS.

Los equipos usados en la fabricación de espumas de poliuretano siguen los mismos principios básicos de las primeras má-quinas que salieron al mercado, solo que se han mejorado las

partes más importantes para aumentar la eficiencia de la máquina y así obtener mejor producto de la misma.

El equipo para la fabricación de espuma de poliuretano consta de las partes fundamentales presentadas en el siguiente diagrama de bloque.

EQUIPO



A continuación se hace una descripción de cada una de las partes del equipo y se dan algunas recomendaciones para el cuidado y buen funcionamiento del mismo.

TANQUES.

Las materias primas se depositan en tanques que las mantienen en determinadas condiciones de temperatura y presión. El tamaño de los tanques dependen principalmente de la capacidad y velocidad de producción de la máquina. :

Los tanques para la mezcla que lleva la mayor parte de los componentes tienen dos usos fundamentales. Uno es para preparar la mezcla con la mayor parte de los componentes de la formulación como son; los polioles, agua, catalizadores y surfactantes, por lo que este cuenta con báscula, bomba y agitador. -- Una vez terminada ésta mezcla, se pasa a otro tanque en donde se almacena para que alimente una bomba de dosificación, el tanque debe tener un agitador para evitar el depósito de los materiales con gravedad específica mayor y estar provisto de un medidor de nivel.

El tanque para el almacenamiento de isocianato se carga di-

rectamente ya que no se mezcla con nada, no necesita el agitador pero si debe estar provisto de un medidor de nivel. Este tanque alimenta su bomba dosificadora.

Algunos equipos traen tanques adicionales en los que se ponen catalizadores auxiliares para la formulación y tambien alimentan una bomba de dosificación, estos deben tener agitador y medidor de nivel.

UNIDAD DE BOMBAS DE DOSIFICACION.

La cantidad de bombas de dosificación usadas en el equipo va de acuerdo al número de corrientes que vayan a ser usadas en la producción de la espuma de poliuretano.

Las bombas que se usan son de diferentes tipos pero es importante señalar que estas deben tener un alto grado de exactitud ya que no deben tener variaciones de flujo de + 1.5 %.

El tipo de bombas comunmente usadas en máquinas de baja presión son de engranes, en las de alta presión se usan las de -- pistón axial, radial, en línea y en algunos casos de engranes.

En las bombas de engrane el flujo se regula variando las --

revoluciones del motor que acciona la bomba, en las de pisto - nes el flujo se controla, cambiando la carrera efectiva de los pistones. Para la protección de las bombas se requiere de con - troles de alta y baja presión, así como de un manómetro para registrar la presión de cada corriente.

CAMBIADORES DE CALOR.

Los cambiadores de calor son necesarios en el equipo para - mantener las materias primas a una temperatura, esto es con el fin de no tener mucha variación en el gasto de las bombas por el cambio de viscosidad y densidad del material.

En los equipos de baja presión los cambiadores de calor son colocados después de las bombas y antes de la cabeza mezclado - ra, en los equipos de alta presión los cambiadores de calor son colocados en la línea de retorno después de la cabeza mez - cladora y antes de los tanques de almacenamiento. Los cambia - dores de calor se conectan a un equipo de refrigeración: (ver diagrama de bloque).

CABEZA MEZCLADORA.

La cabeza mezcladora es una de las partes principales de la

máquina y pueden ser clasificadas de recirculación o sin re circulación.

En las cabezas con recirculación el material va de los tan ques hasta la cabeza mezcladora y de ahí se regresa a los tan ques. Este tipo de cabeza se usa principalmente en la fabrica ción de piezas moldeadas ya que el llenado de los moldes es en forma intermitente.

Las cabezas sin recirculación se usan generalmente en los - procesos para la fabricación de espumas en bloques ya que ahí la inyecc ión es continua sobre la banda transportadora.

Se puede hacer otra clasificación de las cabezas mezcladoras que está de acuerdo al tipo de mezclado que se emplea y puede ser mecánico o por choque.

El tipo de mezclado que usan generalmente las máquinas de - baja presión es el mecánico, la velocidad que normalmente se - usa en este tipo de mezclador es de 4000 a 6000 RPM, una varia ción en la velocidad y eficiencia del mezclador trae como conse cuencia un cambio en el tamaño de la celda en la espuma.

El mezclado por choque se usa en las máquinas de alta presión, este tipo de máquinas son las que se están usando últimamente porque presentan grandes ventajas sobre las de baja presión. Algunas de las principales ventajas son la eficiencia en el mezclado, el ahorro de disolvente y del material remanente -- que se queda en la mezcladora de tipo mecánico.

Deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones en la cabeza mezcladora ya sea en máquinas de baja o alta presión.

- 1.- Entrada del material a la cámara de mezclado.
- 2.- Mezclado (eficiencia y tiempo).
- 3.- Llenado de moldes.

- 1.- Entrada del material.

La entrada del material a la cámara de mezclado (parte de cabeza mezcladora) de todas las corrientes que se estén usando en el proceso de espumado, debe ser al mismo tiempo ya que un adelanto ó atraso de cualquiera de ellas ocasionará un mezclado deficiente y como consecuencia se obtendrá un producto malo.

Para evitar estos adelantos ó atrasos. las válvulas que descargan el material a la cámara de mezclado deben tener un -

diámetro de orificio de salida relacionado con el tipo de material que cada una deposita.

2.- Mezclado.

La eficiencia en el mezclado es muy importante ya que de ello depende la calidad de la espuma, como se mencionó anteriormente una variación en la eficiencia de mezclado traerá como consecuencia un cambio en el tamaño de la celda en la espuma.

Si el mezclado es bueno las reacciones para la formación de la espuma se llevarán a cabo del 80 al 95% satisfactoriamente.

El tiempo máximo en que se debe llevar a cabo el mezclado es de 5 segundos, después de este tiempo la mezcla deberá verterse en el molde.

3.- Llenado de moldes.

Para el llenado de los moldes debe tomarse muy en cuenta el tiempo de cremado de la espuma que es de aproximadamente de 5 a 8 segundos ya que después de esta etapa la espuma empieza a crecer.

Lo anterior deberá tomarse en cuenta en los procesos intermitentes ya que el molde deberá ser cerrado antes de que la espuma empiece a subir ó cuando lleve poca altura, de lo contrario se pierde la pieza.

BANDAS O MOLDES.

Según sea el proceso que se vaya a usar en la fabricación de la espuma, el equipo debe estar provisto de un transportador de banda o de moldes.

En el proceso de bloque se usan transportadores de banda que son de forma lineal, de un tamaño determinado.

Los transportadores que se usan en el proceso por moldeo, son en forma oval, circular, o cuadrado, estos transportadores al trabajar hacen un ciclo.

HORNO.

El equipo deberá estar provisto de un horno ya que sin la aplicación externa de calor, la espuma moldeada tiene un tiempo de curado mucho más lento que la espuma que se obtiene por barra (bloque).

Los sistemas que son más comercialmente usados para calen
tar los moldes en el horno son: aire caliente, vapor, rayos in
frarrojos y por microondas. El más usado de ellos es el aire -
caliente por su facilidad de manejo y bajo costo.

.

C A P I T U L O V

A P L I C A C I O N

Tomando como base lo expuesto en los capítulos anteriores en el presente se describirá una aplicación práctica que se desarrolló en una planta Industrial donde actualmente se fabrica espuma flexible de poliuretano de alta resiliencia, por el proceso de moldeado, la cual se usa para hacer asientos y respaldos de automoviles.

Los objetivos que se persiguen con esta aplicación son básicamente, aumentar la producción, mejorar la calidad del producto y bajar el costo de la espuma, para ello se modificó la formulación y las condiciones del proceso que se utilizan en dicha planta.

DESCRIPCION DE LA FORMULACION Y PROCESO QUE SE EMPLEARON INICIALMENTE.

La formulación con la que se inició la operación de la planta es la siguiente:

Tabla # 8

COMPONENTE	PARTES
Poliol 538	50
Poliol 851	50
Silicón	1.3
A - 1	0.1
A - 4	0.3
Agua	2.4
Dabco	0.12
Cat - T - 12	0.028
Oct. de Pb.	0.0068
D.O.P.	1.575
Wuc 3032 - T (indice 105)	33.000



COMENTARIOS SOBRE LA FORMULACION INICIAL

Las materias primas para ésta formulación se seleccionaron de acuerdo a las bases expuestas en los capítulos anteriores y tomando en cuenta el tipo de espuma que se quería obtener.

Los polioles que se usan en esta formulación son de dos tipos, uno es polieter (normal) 538 y el otro es del Graft, éste último es para dar mayor firmeza a la espuma terminada.

El silicón que se usa es del tipo no hidrolizable y muy activo y los catalizadores Dabco, A - 1, A - 4, son aminas terciarias y deben estar balanceadas con los catalizadores organo - metálicos que son el T - 12 y el octoato de plomo. El D.O.P. se usa como vehículo para los catalizadores organo - metálicos. El isocianato usado es una mezcla de 80/20 TDI.

Los componentes de la formulación se administran a la mezcladora en 3 corrientes ya que no hay compatibilidad de algunos catalizadores con el resto de la formulación, por lo que se separan como sigue:

Tabla # 9

Corriente I

Poliol 538

Poliol 851

Silicón.

A - 1

A - 4

Agua

Dabco.

Corriente II

Cat - T 12

Oct. de Pb.

D.O.P.

Corriente III

WUC 3032 T (isocianato)

PROCESO.

El proceso que se seleccionó fue el de moldeado y se siguió el método de curado en frío por las ventajas que éste ofrece. Para ello se instaló una máquina de baja presión, transportador, horno de curado y los moldes.

El proceso y el método ya fueron descritos en el capítulo anterior, pero las condiciones que se encontraron para trabajar con esta formulación son las siguientes.

- | | |
|---|-------------|
| 1.- Presiones en los tanques de almacenamiento. | 10 - 15 PSI |
| 2.- Corrientes en la formulación. | 3 |
| 3.- Temperatura en los componentes. | 75 °F |
| 4.- Presión de inyección de los componentes. | variable. |
| 5.- Gasto de los componentes. | variable. |
| 6.- Temperatura de los moldes al inyectar. | 90-110 °F |
| 7.- Temperatura en el horno de curado. | 180-200 °F |
| 8.- Tiempo de la pieza en el horno de curado. | 8-10 min. |
| 9.- Temperatura del molde al desmoldar. | 110-125 °F |
| 10.- Tiempo del ciclo del transportador. | 18-24 min. |
| 11.- Balance de catalizadores. | variable. |

La espuma que se obtiene con estas condiciones presenta un aspecto no muy bueno, ya que aparecen cavernas en las piezas. - Aún con el molde bien cerrado, son cavernas pequeñas pero dan un mal aspecto a la pieza terminada, además de que interfieren en las propiedades físicas de la espuma.

A continuación se dá una tabla con la formulación y el costo por kilogramo de espuma.

Tabla # 10

COMPONENTE	PARTES POR PESO	FACTOR	COSTO POR Kg. M.P.**	COSTO POR Kg. ESPUMA.
Poliol 538	50	0.3601926	70.00	25.2135
Poliol 581	50	0.3601926	82.50	29.7159
Silicón	1.3	0.0093650	484.00	4.5326
A - 1	0.1	0.0007203	655.00	0.4718
A - 4	0.3	0.0021611	265.00	0.5727
Agua	2.4	0.0172892	-- 0 --	-- 0 --
DABCO	0.12	0.0008644	960.00	0.8300
Cat T 12	0.0128	0.0000922	240.00	0.0221
Oct de Pb	0.0068	0.0000489	67.60	0.0033
D.O.P.	1.575	0.0113460	47.025	0.5335
WUC 3032T	33.00	0.2377271	92.00	21.8709
TOTAL	138.8146	1.000000		83.7663 *

* Precio antes de la devaluación de 1982

** M.P. materia prima.

FORMULACION PROPUESTA.

Para desarrollar o cambiar una formulación es necesario hacer pruebas a nivel de laboratorio lo que requiere de mucho tiempo de experimentación.

La técnica que se utiliza para modificar una formulación en el laboratorio es la siguiente:

- 1.- Se seleccionan las materias primas.
- 2.- Se integra una formulación.
- 3.- Se hacen pruebas de espumado y se determinan las condiciones más importantes del proceso.
- 4.- La espuma resultante de las pruebas, se envía al laboratorio de control de calidad para determinar sus propiedades físicas.
- 5.- Si las propiedades físicas de la espuma cumplen con las especificaciones, esa es la formulación que se emplea, si no, se cambia la concentración de algunas materias primas para mejorar las propiedades físicas que están fuera de especificaciones.

MATERIAL.

- 1.- Balanza con escala de 1 gr.
- 2.- Recipientes para muestras.

- 3.- Agitador mecánico con velocidad variable (250-3000 R.P.M.)
- 4.- Caja de cartón.
- 5.- Molde, hecho del mismo material que los del equipo.
- 6.- Horno.
- 7.- Cronómetro.

PROCEDIMIENTO

Las materias primas seleccionadas se pesan de acuerdo con la concentración que se requiere y se ponen en los recipientes.. Todos los componentes que sean compatibles se mezclan en un -- sólo recipientes y se dejan reposar de 1 a 3 minutos los demás se ponen en recipientes separados.

Se prepara una caja de cartón para hacer primeramente una prueba de espumado libre.

Para la prueba de espumado libre se agita el recipientes - que tiene la mayor parte de componentes y se van agregando los faltantes, una vez que se terminan de mezclar se depositan en la caja de cartón y se toman los siguientes datos:

Tiempo de mezclado.

Tiempo de cremado.

Tiempo de espumado.

Tiempo de soplado.

Altura de la espuma.

Asentamiento (cm).

Tamaño de la celda y aspecto general de la espuma.

El tiempo de mezclado se toma del momento en que se agrega el isocianato hasta el cambio de color (generalmente 3 - 5 seg), de aquí a que empieza el espumado es el tiempo de cremado. El tiempo de espumado se toma desde el momento en que empieza a crecer la - espuma, hasta que ésta deja de hacerlo, en este punto la espuma se asienta y baja un poco, este es el tiempo de soplado. Una vez que pasan todas estas etapas, la espuma se estabiliza y se deja reposar de 5 a 8 min. para que se pueda manejar y tomar los datos restantes.

Si la prueba de espumado libre es satisfactoria se procede a efectuar la prueba en un molde con las condiciones más proximas a las seleccionadas para el proceso. Para efectuar esta prueba se usa el procedimiento anterior, pero la mezcla química se vierte en el molde, el cual debe cumplir con las condiciones que se seleccio

naron para el proceso.

Cuando se vierte la mezcla química en el molde, este se --
cierra herméticamente y se deja reposar hasta que la espuma se
estabiliza para poder mover el molde y meterlo al horno. En -
este momento se pueden tomar los siguientes datos:

Tiempo de estabilidad de la espuma.

Tiempo de curado. Este es el tiempo que debe permanecer el
molde dentro del horno para que la pieza obtenga la consistencia
suficiente y pueda ser sacada del molde.

Aspecto de la espuma y si el curado es aceptable o no

La muestra obtenida se manda al laboratorio de control de ca
lidad para que determinen las propiedades físicas de la espuma ob
tenida. Si las propiedades físicas están dentro de las especifica
ciones la prueba concluye. Si no, se siguen haciendo pruebas va-
riando la concentración de los componentes que causa la variación
en las propiedades físicas.

Para llegar a la formulación que se propone se desarrollaron
varias formulaciones siguiendo la técnica anterior.

Las primeras pruebas se hicieron cambiando el tipo de isocianato en la formulación inicial y fueron con el objeto de mejorar las propiedades de la espuma y bajar el costo de la misma ya que el isocianato es un reactivo que contribuye con mucho en las propiedades de carga, elongación, tracción, la reactividad del isocianato es muy importante para controlar el crecimiento de la espuma y formar el entrelazamiento final.

Se tomo como base la formulación inicial cambiando solamente el tipo de isocianato entonces la formulación quedo como sigue:

C O M P O N E N T E	P A R T E S
Poliol 538	50
Poliol 851	50
Silicon	1.3
A - 1	0.1
A - 4	0.3
Agua	2.4
Dabco	0.12
Cat T - 12	0.028
Oct. de Pb	0.0068
D.O.P	1.575
Iso 809 - B (indice 105)	38.70

Con este cambio se logró un incremento en las propiedades de carga en la espuma y la reacción del isocianato - agua estaba bien balanceada ya que las primeras piezas salieron bien en apariencia y propiedades. Se incrementó un poco el costo de la espuma pero se disminuye la cantidad de inyección en cada pieza. Después de un tiempo se encontraron fuertes variaciones en la calidad de este producto ya que empezaron a aparecer cavernas y puntos calientes en la espuma por lo que se buscó un sustituto de este producto y se cambió por un isocianato polimérico que era nuevo en el mercado, este producto también ofrecía un tiempo de curado menor que el de los otros isocianatos probados anteriormente, llegando a la siguiente formulación.

COMPONENTE	PARTES
POLIOOL 538	50
Poliol 851	50
Silicon	1.3
A 1	0.1
A 4	0.3
Agua	2.6
Dabco	0.12
Cat T 12	0.028
Oct de Pb	0.0068
D.O.P.	1.575
MT 58 (indice 105)	35.000

Las primeras piezas salieron con muy buena apariencia, el tiempo de curado fue menor y las propiedades físicas determinadas en el laboratorio fueron dentro de las especificaciones con lo que se dio el síga para usar esta formulación. Al principio no se aceptaba muy bien el producto ya que el isocianato era de mayor costo que los anteriores (15-20 %). Tratando de equilibrar el costo las formulaciones anteriores, se hicieron pruebas para cambiar la concentración de los componentes. Como primer punto se tomó en cuenta que el isocianato era de tipo polimérico, por lo que se pensó que ya traía los catalizadores metálicos en su composición, la primera prueba que se hizo fue quitar los catalizadores metálicos los resultados fueron buenos y la espuma resultó con la apariencia y propiedades semejantes a la espuma de la formulación anterior, de aquí la formulación pasó a la siguiente:

COMPONENTES	PARTES
Poliol 538	50
Poliol 851	50
Silicón	1.3
A - 1	0.1
A - 4	0.3
Agua	2.6
Dabco	0.12
MT - 58 (índice 105)	35.00

Con esta formulación se quito una de las corrientes del proceso y asi se equilibrio el costo de la espuma, para reducir más este costo se siguieron haciendo pruebas para ver hasta donde - era posible bajar las concentración de los demas componentes, - iniciando con el balance de los catalizadores de aminas para la reacción isocianato - agua.

Para determinar la concentración adecuada se tomo en cuenta el comportamiento de la espuma en los siguientes puntos:

- a) Tiempo de cremado.
- Tiempo de espumado.
- Tiempo de curado
- Altura de la espuma
- Aspecto de la espuma
- Propiedades de la espuma

Las pruebas que se hicieron para bajar la concentración de - las aminas sin perder el balance en la catalisis son las siguientes:

PRODUCTO		P R U E B A S				
		PATRON	1	2	3	4
Dabco	Partes	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04
A - 1	"	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
A - 4	"	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10

La prueba que mejores resultados dio fue la N° 1 llegando con esto a la siguiente formulación:

COMPONENTES	PARTES
Poliol	50
Poliol	50
Silicon	1.3
A - 1	0.09
A - 4	0.30
Agua	2.6
Dabco	0.10
MT 58 (indice105)	35.00

Las siguientes pruebas fueron para disminuir la cantidad de silicón en la formulación y se tomaron los mismos puntos para de terminar la concentración adecuada.

PRODUCTO		P R U E B A S				
		Patron	1	2	3	4
Silicón	Partes	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5

La prueba que mejores resultados dio fue la N° 3, con esto se llevo a la siguiente formulación:

COMPONENTE	PARTES
Poliol 538	50

COMPONENTE	PARTES
Poliol 851	50
Silicón	0.7
A - 1	0.09
A - 4	0.30
Agua	2.60
Dabco	0.10
MT - 58	35.00

Con esta formulación se trabajo sin ningun problema durante un tiempo (1 año arpox.) despues se empezaron a tener problemas por la variación en la calidad de las materias primas nacionales por lo que se aumentó otro componente a la formulación para evitar los problemas que presentaba la espuma.

Con lo que se llego a la formulación actual que es la siguiente:

Tabla # 11

Poliol	538	50
Poliol	581	50
Silicón		0.70
A - 1		0.09
A - 4		0.30
Agua		2.60

Dabco	0.10
T - 12	0.020
Mt 58	35.00

El método que se seleccionó para esta formulación es el de curado en frío, como en la formulación inicial, pero variando las siguientes condiciones.

1- Corrientes en la formulación.	2
2.-Gasto de los componentes.	menor
3- Temperatura del horno de curado	150-180 °F
4- Tiempo en el horno de curado.	4-7 min.
5- Temperatura del molde al desmoldar	100-110 °F
6- Tiempo de ciclo del transportador	10-15 min.
7- Balance de catalizadores.	variable.

Con los cambios en la formulación y en las condiciones del método, se logró un aumento en la producción y una mejor calidad del producto.

Las ventajas que ofrece ésta formulación con respecto a la anterior son las siguientes:

En el equipo se usan solo dos corrientes dando con esto menos

variables que controlar.

El tiempo de curado es mucho menor ya que con esta formulación se requiere solo de 4-7 minutos en el horno de curado, dándonos con esto un ciclo más corto para el transportador.

La apariencia y propiedades físicas de las piezas terminadas son mucho mejores.

La temperatura del horno de curado es de 150-18- °F dando con esto un ahorro de energía.

Se requiere menor limpieza en los moldes.

En general puede decirse que la mayoría de las piezas que se inyectan requieren de una menor cantidad de material de la formulación propuesta, o cuando mucho la misma cantidad que la empleada con la formulación anterior.

A continuación se presenta una tabla con la formulación propuesta y el costo por kilogramo de espuma:

Tabla # 12

<u>COMPONENTES</u>	<u>PARTES</u>		<u>COSTO POR:</u>	<u>COSTO POR:</u>
	<u>X PESO</u>	<u>FACTOR</u>	<u>Kg. M.P.**</u>	<u>Kg. ESPUMA</u>
Poliol 538	50	0.3602045	70.00	25.2143
Poliol 581	50	0.3602045	82.50	29.7169
Silicón	0.70	0.0050428	484.00	2.4407
A - 1	0.90	0.0006483	655.00	0.4246
A - 4	0.30	0.0021612	265.00	0.5727
Agua	2.60	0.0187306	- 0 -	- 0 -
Dabco	0.10	0.0007204	960.00	0.6919
Cat. T-12	0.020	0.0001440	240.00	0.0346
<u>Desmodur Mt 58</u>	<u>35.00</u>	<u>0.2521432</u>	<u>90.00</u>	<u>22.6930</u>
TOTAL:	138.81	1,000000		81.7884*

* Precio antes de la devaluación de 1982.

** M.P. Materia Prima.

Por la tabla anterior podemos observar que esta formulación es más sencilla y el precio de kilogramo de espuma es menor que el de la formulación inicial, por lo que tenemos un ahorro económico considerable.

Para evaluar el aumento de producción que se obtiene con el cambio de formulación, debemos tener en cuenta los datos que se dan en la siguiente tabla:

Tabla # 13

Formula inicial

Formula propuesta

Ciclo del transportador 24 min.

Ciclo del transportador 15 min.

CANTIDAD	PORTAMOLDE	Nº MOLDES	NO. PZAS. POR HORA	CANTIDAD	PORTAMOLDES	Nº MOLDES	No. PZAS. POR HORA
2	ADA	4	10	2	ADA	4	16
2	RDA	4	10	2	RDA	4	16
2	ATA	2	5	2	ATA	2	8
2	RTA	2	5	2	RTA	2	8
3	ADB	6	15	3	ADB	6	24
1	RDB	2	5	1	RDB	2	8
2	CAb B	8	20	2	CAb B	8	32
1	AT B	1	2.5	1	AT B	1	4
2	AT C	2	5	1	AT C	2	8
1	RT C	1	2.5	1	RT C	1	4

TOTAL 18

32

80

18

32

128

ADA Asiento Del. Automóvil A
 RDA Respaldo Del Automóvil A
 ATA Asiento Tras. Automóvil A
 RTA Respaldo Tras. Automóvil A
 ADB Asiento Del. Automóvil B

RDB Respaldo Del. Automóvil B
 CAb B Cabecera Del. Automóvil B
 AT B Asiento Tras. Automóvil B
 At C Asiento Tras. Automóvil C
 RT C Respaldo Tras. Automóvil C

O B S E R V A C I O N E S

En las dos formulaciones se usaron los mismos portamoldes, - solo se cambió el ciclo del transportador, éste cambio es conseuencia del tiempo de curado entre una y otra formulación con la formulación inicial no se puede dar un ciclo más corto por que - las piezas no curan lo suficiente para que sean desmoldeadas.

Con la primera formulación en un turno de 8 horas de trabao se obtienen 640 piezas, mientras que con la formulación propuesta se lograrán 1024, teniendo con esto un 63 % de incremento en la producción de un turno.

Los datos que se dan son ideales, esto es que no se tenga - ningún contratiempo en el turno de trabajo.

Este trabajo se desarrolló gracias al descubrimiento de -- nuevas materias primas en el campo de la espuma flexible de poliuretano de alta resiliencia y las ventajas que ofrece la nueva formulación.

C O N C L U S I O N E S .

El campo de la espuma flexible de poliuretano de alta resilencia es nuevo en México y por ello se ha incrementado el desarrollo de nuevas materias primas para integrar formulaciones con tendencia al ahorro de energía, aumento de producción y mejorar el producto terminado.

Es bueno contar en México con compañías que esten a la vanguardia en el desarrollo Industrial y den oportunidad de probar los nuevos adelantos que se hacen en este campo.

Lo que se ah logrado con el trabajo que se presenta en esta tesis es un ahorro de energía y un aumento en la producción, obteniendose con este último, mínimizar la importación de piezas (moldeadas) que se requieren en la industria automotriz, con esto se cumple el objetivo principal; Otro objetivo es el de haber contribuido con información teórico-práctica básica para instalar o trabajar en una planta para la fabricación de espuma flexible de poliuretano.

T E R M I N O L O G I A

1.- FUNCIONALIDAD. Entiendase por funcionalidad al conjunto de características que presenta una sustancia para reaccionar.

2.- CELDA. Es la estructura más pequeña de la espuma formada por las paredes fibrosas del polímero y huecas al centro.

3.- ENCOGIMIENTO. El encogimiento de la espuma es una de formación de la misma, debido al gas (caliente) que se queda atrapado en las celdas y al enfriar se crea un vacío y la pieza se contrae.

4.- CAVERNAS. Huecos en las piezas generalmente debidas a las siguientes causas: Exceso de reactividad de alguna de las materias primas, mal sellado de los moldes, exceso o falta de material en los moldes, gas atrapado por falta de venteos, etc.

5.- COLAPSO. Se le llama colapso a la caída parcial o total de la espuma.

6.- GELACION. La gelación está relacionada con la reacción Polioliol-Isocianato; porque al formarse las cadenas originadas por esta reacción la espuma va adquiriendo un estado geloso.

7.- ESPUMADO. Se le llama espumado al crecimiento de la espuma.

8.- PROBETAS. Son muestras cortadas de las piezas, sobre las cuáles se hacen las pruebas para determinar las propiedades físicas de la espuma.

9.- CURADO. El curado es el tiempo suficiente que se le dá a la espuma para desmoldearse y usarse.

10.- FUGAS. Las fugas se presentan cuando el molde no está bien sellado y el material se tira.

11.- "VENTEOS". Perforaciones que se le hacen a los moldes para que salga el gas que se produce durante la reacción y no se quede atrapado.

12.- "HONGOS". Se le llama "hongos" al material que sale por los "venteos" después de que se forma la espuma.

- 1.- Textos segunda convención nacional del IMPAC (Instituto - Mexicano del Poliuretano A.C.), Ixtapa Guerrero, México;- Nov. - Dic., 1979.
- 2.- Sannders J.H. and Frisch K.C. "Polyurethanes Chemistry -- and Technology", Vol. I y II, Intercience Publishers, - - N.Y. 1962.
- 3.- Union Carbide, Inter-America, Inc. "Espuma Rígida de Ure- tano", 1973.
- 4.- Basf Wyandotte Co. and Mobay Chemical Co. McBrayer Robert and Frink J.W. Seminar "Formulating Urethane Foams", ---- Abril, 1980.
- 5.- Buist J.M. and Guilgeon H., "Advances in Polyurethanes -- Technology", Maclaren and Sons LTD, 1968.
- 6.- Kirk-Othmer "Enciclopedia de Tecnología Química", Tomo -- XII, UTEHA, México, 1962.
- 7.- Union Carbide, Chemical for Cellular Products. "Niax ---- Blowing Agents for Urethane Foams", New York, N.Y., Abril 1974. F - 42624B.
- 8.- Viar Coprporation, "DABCO PROPERTIES, REACTIONS AND APLI- CATIONS". Reimpresión Mayo, 1971.
- 9.- Union Carbide, Chemical For Cellular Products "Niax Cata- list A-1", New York, N.Y. Sept. 1967; F-41622.
- 10.- Union Carbide, Chemicals and Plastics. "Niax Catalyst - - A-4", New York, N.Y., F-44277.

- 11.- Union Carbide, Chemicals and Plastics "N-Etil Morpholine", New York, N.Y. F-42132.
- 12.- Industrias M & T de México, S.A. de C.V. "Especificaciones Técnicas".