

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE UNA FÁBRICA DE
ESPONJAS DE POLIURETANO, FLEXIBLES

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS RIVERA MONZÓN
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MAYO DE 1997

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL QUINTO	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. César Augusto Fernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. José Albino López Gómez
EXAMINADOR	Ing. Oscar Enrique Arriola Juárez
EXAMINADOR	Ing. Alberto Enrique Rodas Maltez
SECRETARIO	Ing. Manuel de Jesús Castellanos Dubón

Guatemala, 10 de marzo de 1997.

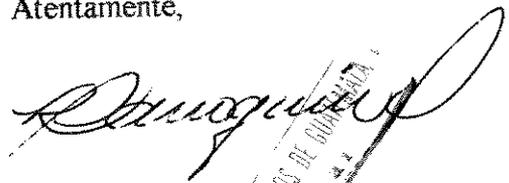
Ingeniero Julio Chávez
Director,
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12

Señor Director:

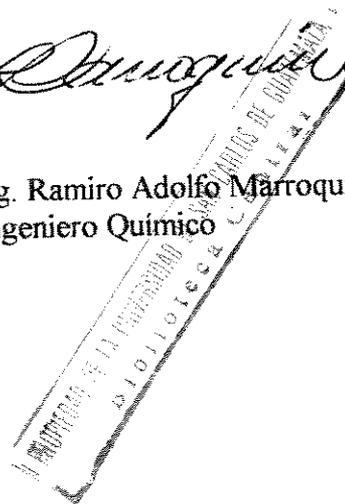
Adjunto a la presente nota, va una copia del informe final de tesis "Mejoramiento Productivo de una Fábrica de Esponjas de Poliuretano Flexibles", elaborado por el alumno Juan Carlos Rivera Monzón carné No. 58025.

He revisado el mencionado documento, en calidad de asesor de tesis de Juan Carlos y como creo que no necesita más correcciones, lo someto a su consideración.

Atentamente,



Ing. Ramiro Adolfo Marroquín Salguero
Ingeniero Químico





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ref. WBAM.012.97

Guatemala, 19 de marzo de 1997

Ingeniero
Julio Chávez Montufar
Director
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Chávez:

Por este medio me dirijo a usted para comunicarle que he revisado el informe final de tesis del estudiante universitario **JUAN CARLOS RIVERA MONZON**, quien realizó el trabajo titulado "MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE UNA FABRICA DE ESPONJAS DE POLIURETANO FLEXIBLES", el cual fue asesorado por el Ing. Ramiro Adolfo Marroquín Salguero.

Al respecto, me permito informarle que después de haber terminado la revisión del mencionado informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para ser aprobada por parte de la Escuela como trabajo de tesis, por lo cual se lo remito y lo pongo a su consideración.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M. en Ing. Williams G. Alvarez Mejia
Profesor Titular IV
Area de Operaciones Unitarias

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

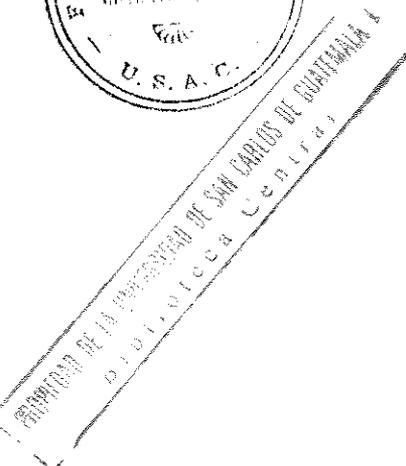
El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante **Juan Carlos Rivera Monzón**, titulado: **MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE UNA FABRICA DE ESPONJAS DE POLIURETANO, FLEXIBLES**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 5 de mayo de 1,997.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE UNA FABRICA DE ESPONJAS DE POLIURETANO, FLEXIBLES** del estudiante; **Juan Carlos Rivera Monzón** procede a la autorización para la Impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 5 de mayo de 1,997.

Acto que dedico:

A Dios, nuestro creador

Luz en mi vida.

A mis padres

Lic. José Joaquín Rivera Kunze

Anita Monzón de Rivera

Gratitud y recuerdos a su
memoria.

A mi esposa

Leila Azucena

Agradecimiento por su apoyo
y estímulo para lograr culminación
de mi carrera.

A mis hermanos

José Joaquín
José Raúl
Carmen Liliana
Héctor Martín

A mi cuñado

Walter Becker

Por su inconmesurable apoyo.

A mis sobrinos

con cariño.

Agradecimiento a la empresa Esponjas , S.A. en especial a don Marcos Zedán Zimeri, gerente general, y al personal que gracias a su valiosa colaboración se hizo posible el desarrollo de este trabajo de tesis.

INDICE

	Página	
Glosario	1	
Sumario	6	
Introducción	7	
Antecedentes	8	
Justificación	9	
Objetivos	10	
Hipótesis	11	
Metodología de trabajo	12	
1	Área de almacenaje de materias primas	14
1.1	Isocianato de tolueno	14
1.2	Poliol-Poliéter	15
1.3	Estabilizadores o emulsionantes	16
1.4	Catalizadores amínicos Niox A-1 y A-33	17
1.5	Agentes reticulantes	18
1.6	Agentes hinchantes	19
1.7	Agentes auxiliares hinchantes	19
2	Química de poliuretano	20
2.1	Formulación de una esponja de poliuretano	22
2.2	Área de laboratorio	25
2.2.1	Equipo	25
2.3	Descripción del procedimiento	26
2.4	Área de curado	27
2.5	Área de máquinas	29
2.5.1	Área de laminadora vertical	29
2.5.2	Área de laminadora horizontal	30
2.6	Área de empaque	31
2.7	Área de bodega de producto terminado	31
3	Diagrama de flujo de materiales	32
4	Espuma de poliuretano	33
4.1	Ensayos de control de calidad	33
4.1.1	Propiedades físicas de la espuma	33
4.1.1.1	Densidad	33
4.1.1.2	Dureza	35
4.1.1.3	Porosidad	35
4.1.1.4	Tracción y elongación	37
4.1.1.5	Resistencia al desgarro	37
4.1.1.6	Resiliencia vertical	38

	Pagina
Conclusiones	39
Recomendaciones	40
Referencias bibliograficas	41
Anexo 1	43
5 Seguridad	43
5.1 Riesgos y peligros	44
5.1.1 El fuego, otro riesgo mayor	44
5.2 Recomendaciones generales	46
5.3 Seguridad para el trabajador	47
5.4 Seguridad para maquinaria e instalaciones	47
6 Higiene industrial	48
Anexo 2	49
7 Deficiencias en la formación de espuma	49
7.1 Deficiencias en procesamiento de espuma	49
7.2 Deficiencias en propiedades físicas	50

GLOSARIO

Acidez: la cantidad de material residual ácido en el poliol. Se le representa de acuerdo con el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar el ácido presente en un gramo de muestra. El número resulta útil como factor de corrección al calcularse los números de hidroxilo. Las especificaciones para los polioles comerciales fijan el número máximo de acidez en 0.10 mg de hidróxido de potasio (KOH)/g de muestra.

Asentamiento: asentamiento de la espuma después de crecer hasta su máxima altura. Esto por lo general lo causa, una pobre actividad de los surfactantes, un mezclado incompatible o una velocidad de polimerización demasiado lenta.

ASTM: siglas en inglés de Normas Americanas para la Especificación Estandarizada de Ensayos de Materiales y Métodos.

Atrapes de gas: la formación indeseable de grandes huecos o cavidades en la estructura de espuma. Estos espacios vacíos suelen formarse debido a un moldeo pobre o que se ha llenado mal el molde. Estos se presentan en los bloques de espuma, cuando las reacciones de expansión y polimerización no están equilibradas.

Burbujeo: fenómeno que tiene lugar durante la reacción de espumado cuando la proporción de expansión o soplado resulta demasiado alta comparada con la espuma lo suficientemente estable para "retener" el gas. Ya que la silicona estabiliza igualmente la espuma, muy poca silicona puede conducir a que la misma burbujee y colapse.

Celdas cerradas: estructura de espuma en la que cada celda individual tiene membranas de la celda intactas, de forma que no existen pasajes abiertos por los que circule el aire.

Cráteres (bloques flexibles): pequeñas rajaduras en la superficie del bloque que por lo regular se extienden hasta la parte superior del bloque de espuma.

Crecimiento: tiempo que se siguen generando los gases de expansión, la espuma sigue creciendo simultáneamente se hace más viscosa con la polimerización en la fase líquida. El número total de burbujas permanece constante mientras la espuma crece. La reducción de la tensión superficial, producida por el surfactante de silicona, hace que la espuma blanda se estabilice y evita que las burbujas coalezcan.

Crecimiento completo: tiempo en que los refuerzos de las celdas llenas de gas consolidan, las paredes delgadas de las mismas no pueden resistir más la presión del gas. Cuando la espuma sube completamente estas paredes delgadas se revientan y se desprenden gases (se liberan) a través de la espuma, que está suficientemente gelificada y compacta para mantenerse firme. Pasados 100 a 200 segundos después de empezada la mezcla, la reacción de expansión ha cesado, mientras la reacción de gelficación continúa. El tiempo transcurrido desde el inicio hasta que la espuma sube completamente se denomina **tiempo de crecimiento**.

Cremado: el tiempo de corto periodo de inducción, los gases se expanden (dióxido de carbono y cloruro de metileno) empiezan a expandirse dentro de las pequeñas burbujas de aire agrandándolas y dándose a la mezcla de espuma una apariencia "cremosa". El tiempo que transcurre desde que empieza la mezcla hasta que aparece la crema, se conoce con el nombre de **tiempo de crema** que suele fluctuar entre 6 a 15 segundos en las espumas flexibles.

Curado: tiempo en que los bloques de espuma se llevan al área de curado donde permanecen por lo menos 24 horas para asegurar una reacción de gelficación (polimerización) total.

Chamuscado: una decoloración amarillenta o pardusca de la espuma, especialmente en el centro. Este chamuscado se debe al exceso de calor producido durante la reacción exotérmica. Ocurre principalmente en las formulaciones para los bloques flexibles con grandes cantidades de agua.

Dosificación: los ingredientes necesarios se dosifican (en el tanque mezclador) por medio de cuenta galones en la materia prima de polioliol e isocianato, los demás ingredientes se hacen manualmente con balanza digital. En las cantidades y proporciones adecuadas y se mezclan en el tanque mezclador. Durante el mezclado se generan pequeñas burbujas de aire en la mezcla líquida que actúan como agentes iniciadores de espumación.

Encogimiento: los bloques de espuma se contraen al enfriarse, después de la expansión de la espuma. Los casos más graves tienen lugar por lo general, minutos después del término de crecimiento de la espuma.

Espuma muerta: la espuma que posee una resiliencia muy baja y sólo recupera lentamente su forma original después de deformarse.

Estructura de celdas abiertas: una estructura permeable (como una espuma flexible) en donde no hay barreras entre celdas, pudiendo los gases y líquidos atravesar la espuma.

Gravedad específica: cociente de densidad referida a la densidad del agua a 15° C.

Focos brillantes: paredes intactas de las celdas según demuestra la luz reflejada. Se nota en las superficies cortadas de la espuma terminada. La cantidad relativa de focos brillantes es índice de la abertura de la espuma.

Funcionalidad: el número de grupos reactivos en una molécula.

Gelificación: la reacción de gelificación (ó polimerización) continúa hasta el punto conocido con el nombre de **tiempo de gelificación**, cuando la mezcla ha gelificado, (por lo general de 20 a 120 segundos después del tiempo de crecimiento). Para comprobar si un bloque ha gelificado o no, se inserta una paleta de madera unos 2 a 4 centímetros dentro de la masa que está gelificando hasta que se note que ofrece alguna resistencia. Cuando la capa exterior de la espuma no es pegajosa al tacto, se ha llegado al **tiempo libre de adhesividad** (ó tiempo de tacto libre o tiempo libre de pegajosidad).

ILD (Deflexión por carga de indentación): medida de la habilidad de la capacidad de carga de una espuma (dureza). La prueba ordinaria consiste en presionar un indedor de base circular de 50 pulgadas cuadradas (0.0323 m cuadrados) contra la espuma y determinar el número de libras o newton que se requieren para lograr la deflexión deseada.

Índice de isocianato: la cantidad relativa de isocianato que se usa en comparación con los requerimientos teóricos de la formulación. Un índice de 100 indica que todo el isocianato reaccionará de forma exacta con todos los compuestos que contengan átomos de hidrógeno activo. Normalmente, se usa un poco de isocianato en exceso (por ejemplo un índice de 105, lo cual significa un 5% en peso de isocianato en exceso).

Índice de TDI: esta cifra indica la cantidad de TDI (diisocianato de tolueno) disponible para hacer reaccionar con el polioliol y el agua. Un índice de 105 indique que 5% de exceso de TDI disponible sobre la cantidad estequiométrica requerida por el polioliol y el agua.

Insaturación: existe una pequeña cantidad de compuestos insaturados (enlaces dobles carbono-carbono) en la muestra de polioliol. El grado de insaturación se indica como el número de miliequivalentes de hidróxido de potasio por gramo de muestra de polioliol (meq/g).

Premezcla (master-bach): un sistema de premezclado es donde los catalizadores, agentes de expansión, retardantes de flama, y la silicona se añaden al polioliol (de acuerdo con una fórmula determinada).

Módulo: el modulo es la relación entre los valores de la dureza por indentación (ILD) a 65% y 25 %. El modulo indica que tan cómoda sentirá la espuma un individuo al sentarse sobre ella.

Número de hidroxilo: este número refleja el número de grupos hidroxilo reactivos disponibles para reaccionar. El mismo se expresa con el número de miligramos de hidróxido de potasio equivalente al contenido de hidroxilos, en un gramo de muestra.

Peso equivalente:

$$P.E. = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{Funcionalidad}} = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{No. grupos reactivos/moléculas}}$$

pphp: partes (en peso) por cien partes (en peso) de polioliol.

Pre-curado: temperatura y tiempo de cura de la pieza, mientras está dentro del molde.

Prueba de presión con la uña (flexibles): una prueba destinada a comprobar la recuperación de la espuma flexible cuando se le hunde o presiona con una uña o con algún objeto puntiagudo.

Rajaduras: la formación de hendiduras o fisuras en la estructura de la esponja producidas por la evolución demasiado rápida del agente de expansión en comparación con la velocidad de la polimerización.

Surfactantes: (termino abreviado para agentes de tensión superficial o tensoactivos) éstos son sustancias que reducen con eficacia la tensión superficial de los líquidos, disminuyendo así el trabajo o energía que se requiere para formar las burbujas.

Tacto: descripción de la textura de la espuma cuando se frota ligeramente una mano contra la superficie de la misma. Si la espuma resulta áspera al tocarla, se le describe diciendo que posee tacto pobre, buen tacto significa que posee textura de terciopelo.

Tiempo de gel: tiempo transcurrido entre la descarga de los ingredientes de la espuma de esponja en la cabeza mezcladora y el momento en que la espuma se sostiene por sí misma; es decir la capacidad interna de resistir ligeras impresiones y de ser mecánicamente estable en el caso de esponjas flexibles.

Tiempo de desmolde: el tiempo que transcurre entre la descarga de los ingredientes de la espuma y el momento en que una pieza moldeada se puede sacar fácilmente del molde sin que se altere la forma de la misma y sin que se produzca una expansión posterior, debido a un curado incompleto.

Viscosidad: la viscosidad indica la resistencia al flujo del líquido. La viscosidad depende del peso y la estructura molecular del poliol, constituyendo por tanto una propiedad física de transporte importante. Las viscosidades de los polioles se expresan en centistokes o centipoises; al igual que los catalizadores amínicos.

SUMARIO

El presente trabajo de tesis trata sobre los aspectos técnicos relacionados con el mejoramiento productivo de una fábrica de esponja de poliuretano flexible. En el mismo se procede a describir una serie de técnicas de mejoramiento en las distintas etapas del proceso productivo de formación de la espuma de poliuretano. En la primera parte del trabajo, se elaboró un glosario de términos para que el lector pueda interpretar el contenido. Se describen también las distintas etapas del proceso de producción, en el orden que a continuación se detalla: área de bodega de materias primas, área de laboratorio, área de curado, área de máquinas, área de empaque, área de bodega de producto terminado y la distribución al consumidor. Luego se hace una Descripción de los ensayos a nivel laboratorio de las propiedades físicas de la espuma de poliuretano flexible, que tienen la calidad requerida por el consumidor.

Para obtener una espuma de poliuretano flexible de buena calidad en las propiedades fisico-mecánicas, las técnicas de procesamiento obtenidas mediante la experimentación se establece que el rango de la temperatura sea entre 22 y 25°C (71.6 a 77°F). La velocidad de agitación a dos efectos sea así la primera a 900 rpm (revoluciones por minuto) y la segunda a 1600 rpm; se uso el sistema de dos componentes o sistema de premezcla y el tiempo de agitación total de 23 segundos.

Para asegurarse que no se corra riesgo de fuego en la formulación de una espuma de densidad 10 kg/m³ se recomienda establecer en la proporción de los componentes un rango de seguridad, haciendo tal indicación en el formato de formulación respectivo. Y en las formulaciones a partir de una densidad 15 kg/m³, tienen las propiedades físicas tales como: dimensiones, densidad, dureza, resiliencia y prueba de presión de uña, se encuentran mayormente definidas.

Se recomienda, en el procesamiento de la espuma, la temperatura de operación en el rango entre 22 y 25°C (71.6 a 77°F). La velocidad de agitación a dos efectos de 900 y a 1600 rpm (revoluciones por minuto), usar el sistema de dos componentes. Un tiempo de agitación de 23 segundos máximo. Se recomienda para la formulación de una espuma de poliuretano flexible de 10 kg/m³. Y para formulaciones de 15 kg/m³, las cuales presentan propiedades fisico-mecánicas mayormente definidas en las formulaciones.

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis tiene entre sus objetivos establecer una metodología de forma lógica y sencilla que aporte conocimientos nuevos y actualizados en la obtención de una buena calidad de esponja flexible de poliuretano a los interesados de **Mejoramiento productivo de una fábrica de esponjas de poliuretano flexible**.

La industria de esponjas de poliuretano flexible, ha tenido un fuerte desarrollo en sus usos y aplicaciones: utensilios domésticos de limpieza, materiales de aislamiento acústico o térmico, como partes de accesorios ruedas, juguetes, construcciones residenciales, suelas de calzado, prendas de vestir, muebles, camas, accesorios ortopédicos etc.

Se muestra la secuencia lógica que tiene el proceso de formación de una espuma de poliuretano flexible; para facilitar el control, y que sea de fácil entendimiento y aplicación.

Dada la competitividad del mercado y sus productos, la formulación de una espuma de esponja flexible es de vital importancia; ya que a partir de ésta se dan las propiedades mas importantes de calidad que el usuario requiere. Dentro del mejoramiento productivo se dan algunas indicaciones en el manejo de las características de las materias primas, el almacenamiento, forma de operación, y control de temperatura de las materias primas en la formulación, procesamiento y empaque de producto terminado. En busca de cierta independencia de tecnología en el proceso de cajones. Así como un mejor ordenamiento dentro de la planta. Como manipular los agentes químicos para dar una protección al medio ambiente.

Y como una referencia que sirva al estudiante, profesional y al empresario interesado en el tema.

ANTECEDENTES

Hasta la fecha no hay suficiente información sobre la formulación y procesamiento industrial de la espuma de poliuretano flexible, y específicamente en la elaboración de esta esponja flexible por el método de cajones o moldes.

Con anterioridad se refiere a el tema de esponja flexible de poliuretano, el trabajo de tesis de la ingeniera química Rosa María Palacios Alvarado de Zamora, "*Montaje de una fábrica para la elaboración de Esponja Flexible de Poliuretano en Guatemala*", en el cual hace enfoque general de los factores que afectan la elaboración por el método continuo como en el método de cajones. Hace referencias a las variables en la composición de la formulación de una esponja flexible, el tiempo de adición de los componentes en la mezcla, la temperatura de trabajo, la velocidad de agitación en el reactor; el tipo de agitador más efectivo; como las propiedades físicas de densidad, resiliencia; humedad relativa en el proceso de curado. Trata de una formulación para la obtención de una espuma de esponja flexible de poliuretano. Descripción de maquinaria de laminado horizontal y vertical.

La obtención de una espuma de esponja flexible de buena calidad es de tipo experimental, la cual se llevó a cabo en el área de laboratorio en la empresa ESPONJAS S.A., puesto que no se tiene ningún manual de operación, ya que lo que existen son folletos de las casas productoras de materias primas, las cuales contienen formulaciones básicas y principios generales que deben ser adaptados a las condiciones ambientales, tales como: la presión, altitud, temperatura, humedad, de la ciudad donde esta ubicada la fábrica, y a las propiedades de la esponja deseada por los consumidores. Existen referencias bibliográficas extranjeras, es por esta razón que el trabajo es de importancia para la industria.

El presente trabajo busca establecer una metodología de forma lógica y sencilla que aporte conocimiento nuevos y actualizados en la obtención de una buena calidad de esponja flexible de poliuretano.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA Central

JUSTIFICACION

Es importante que en Guatemala existan empresas altamente calificadas en la producción de esponja de poliuretano flexible, dada la competitividad del mercado local como internacional. Esto hace importante que exista en el procesamiento un mejoramiento productivo, que conlleve el mejor aprovechamiento en cuanto a materias primas, componentes en la formulación, tiempos de producción en general uso de todos los recursos que intervienen. En efecto la formulación para la producción de una esponja de poliuretano flexible es de suma importancia, ya que las características de la misma quedan definidas mediante ésta. Así como la maquinaria usada.

El método usado en esta fábrica es el método de moldes o cajón. Esto conlleva el uso continuo del laboratorio en la obtención de una esponja de poliuretano flexible de buena calidad en densidad, dureza ILD, prueba de presión de uña y resiliencia. El presente trabajo de tesis sirve al estudiante, profesional y empresario, interesado en ampliar su campo de acción, puesto que contendrá el método, normas y técnicas aplicadas para obtener alta y calificada productividad a nivel nacional e internacional.

OBJETIVOS

Hacer formulaciones para la obtención de esponjas de poliuretano flexible, dentro de la calidad dada la competitividad del mercado y requerida por el usuario.

Establecer un diagramado y tecnificación de operaciones, fácilmente aplicable en las fábricas de poliuretano flexible.

Establecer métodos técnicos de controles de temperatura en los tanques de almacenaje de materia prima.

Establecer normas protectivas de seguridad industrial para la fabricación de esponja de poliuretano flexible, para disminuir riesgos de accidente dentro de la misma.

HIPOTESIS

Mejoramiento del proceso productivo, mediante uso y aplicabilidad de mejores fórmulas en la obtención de una esponja de poliuretano flexible dentro de las normas de control de calidad requeridas por el usuario. Tecnificación y diagramado de operaciones del mismo.

Metodología de trabajo

Localización

La parte experimental se lleva a cabo en el laboratorio y en la planta de producción de Esponjas S.A., que está instalada en la ciudad de Guatemala, a una altura sobre el nivel del mar de 1500 metros.

Materiales

Los materiales utilizados son los siguientes:

- Isocianato de tolueno, una mezcla 80/20. 80% de diisocianato 2,4 de tolueno y 20% diisocianato 2,6 de tolueno.
- Resina de poli-ol-poli-éter, cuya base es poli-éter. Alcohol polifuncional, número de funcionalidad 3, número de hidroxilo es 56, peso molecular 3,000.
- Surfactante silicona, polialquíleneoxidimetil siloxano copolímero.
- Activadores: catalizadores aminicos Niox A-1 y A-33, estructura química terciaria R_3N , respecto grupo amino.
- Reticulantes: catalizador organo-metálico, octoato de estaño, T-9.
- Agente hinchante: agua.
- Agente auxiliar hinchante: cloruro de metileno.
- Papel periódico, nylon, talco industrial, cera, material de empaque: polietileno de doble ancho de 48 pulgadas, hoja de formato de formulación, tinta de varios colores: verde, naranja, azul, púrpura, roja, pegamento.
- Guantes, mascarilla, anteojos de seguridad, calzado lavable

Equipo

Para la realización de trabajo de la tesis es necesario el siguiente equipo:

- . 2 cronómetros.
- . 3 termómetros, cubetas de plástico, cristalería de laboratorio: vaso de precipitados y espátulas de hule.
- . 1 balanza muy sensible
- . 1 agitador (motor) con tres posiciones de regulación de velocidad.
- . 1 Un mezclador de disco.
- . 1 campana extractora de gases.
- . tanques de almacenaje de materia prima
- . 1 intercambiador de calor, con dos apartados para poliol y otro para TDI
- . 1 máquina espumadora con dos apartados para resina poliol y el otro para el diisocianato de tolueno (TDI)
- . 2 cuentagalones, mangueras conectoras
- . Cajones de madera Tablex, soportados en rieles
- . 1 tapadera de madera tablex horada
- . 1 laminadora vertical
- . 2 laminadoras horizontales
- . 3 metros para medición.
- . 1 higrómetro, 1 psicrómetro, 1 barómetro, 1 tacómetro.

Metodología

Para lograr el mejoramiento productivo de una fábrica de esponjas de poliuretano flexible se lleva a cabo el diagnóstico, el análisis y la implementación en las siguientes áreas:

Área de almacenamiento de materia prima: se realizan mediciones de humedad relativa mediante un higrómetro digital, durante el día y se hacen mediciones comparativas con un psicrómetro el cual se construyó en el taller de la planta. Se toman las lecturas durante el día. Se registra la presión atmosférica mediante barómetro y se sacan lecturas promedio. Se identifica mediante código la materia prima. Se hace verificación por observación de la limpieza del área.

Área de laboratorio: se hacen mediciones de humedad relativa con un higrómetro digital, durante el día. Se toma también lecturas de presión atmosférica por medio de barómetro. Se hace un promedio de las lecturas de humedad relativa y de presión atmosférica.

Con hojas de formato de formulación, se verifica el correcto peso mediante la utilización de una balanza muy sensible, para dosificar cada ingrediente de la formulación de las diferentes densidades, excepto el polioli e isocianato (TDI).

Para los componentes polioli y diisocianato, se usa cuentagalones y mediante calibración de estos medidores de flujo se dosifica en cada línea.

Mediante uso de un termómetro se verifica la temperatura ambiente.

Con el uso de termómetros en la línea de transporte de las materias primas: polioli e isocianato se verifica el rango de temperatura de estas materias primas, con las cuales se empezó a operar un rango de 20 a 30°C (68 a 86°F). Luego se utiliza el sistema para mantener rango de temperatura, utilizando un intercambiador de concha y tubo, con dos apartados para el polioli e isocianato (TDI) se logra controlar de una manera más cercana el rango de temperatura quedando este de 22 a 25°C (71.6 a 77°F). Ya que la temperatura de la mezcla de ingredientes influye en las propiedades de la espuma o esponja de poliuretano obtenida. Como se carecía de este sistema para mantener rango de temperatura constante se obtenía en algunos bloques rajaduras, echándose a perder el bloque producido. Ahora con el sistema para mantener rango de temperatura la pérdida es menor, las rajaduras debidas a este factor se asegura que no se presenten.

Con el auxilio de un cronómetro, se mide el tiempo en segundos de: mezcla y agitación para cada ingrediente, premezcla y mezcla total, crema o cremado, crecimiento, de desmolde o estabilización, limpieza de máquina espumadora o torta, gelificación, curado de bloque fresco; para cada una de las formulaciones de prueba de diferentes densidades a probar. Con el tiempo de mezclado en la cámara de mezcla del componente A (diisocianato de tolueno) y el componente B (la premezcla de polioli) se hacen a dos diferentes efectos de velocidad. Con el tacómetro se mide la primera velocidad o efecto siendo esta de 900 rpm (revoluciones por minuto) del mismo modo se verifica la segunda velocidad o efecto siendo esta de 1600 rpm. El agitador probado esta montado sobre un eje con dos propelas, se mide el diámetro de cada una y se relaciona con el diámetro de la cámara de mezcla dando un 1/3 de esta relación. Se prueba con tiempos iguales, luego se disminuye el tiempo del segundo efecto. Se observa que las características del bloque de espuma obtenido mejora la celda, elongación, suavidad al tacto. A cada bloque formulado se da un código de color para identificarlo con su densidad teórica según formato de formulación. Se trabaja una formulación de 10 kg/m³, con la cual se hizo los ajustes: primero se calcula el índice de isocianato, ajustando la relación del isocianato con la cantidad de agua, para evitar el defecto de chamuscado, se vuelve hacer ajustes en la cantidad de amina y la cantidad de octoato de estaño. Mediante la observación se constata mejora en la densidad, celda, color, prueba de presión de uña, dureza.

Área de curado: al bloque producido se introduce un termómetro para verificar la temperatura máxima de reacción de gelificación total que toma lugar, llegándose a constatar una temperatura promedio de 155°C (311°F), aquí se dejó enfriar por 24 horas. Se observa el espaciado entre bloque y bloque, para permitir espacio en caso de riesgo de fuego evacuar a el personal.

Área de máquinas: se procede a laminar el bloque curado, con el auxilio de un metro para dar el ancho requerido de cada lámina según medidas para camas: estándar, semi-matrimonial y matrimonial. Se ajusta la máquina laminadora vertical para hacer los monos esponja según medida. El mono laminado verticalmente se procede hacer el laminado horizontal, con un metro se marca los grosores a probar, para las diferentes densidades de espuma o esponja identificadas por código de color a probar. Para las pruebas de ensayo a nivel de laboratorio, se toma muestra de la parte central del mono, se hace ancho y largo iguales a 0.304 m (12") y grosor 0.064 m (2.5").

Para la clasificación de la esponja en primera calidad, se toma en cuenta sus propiedades tales como: dimensiones correctas, resiliencia, presión de uña. Y la segunda calidad la que tenga algún pequeño defecto.

Área de empaque: en esta área la esponja de primera calidad se tiene clasificada mediante una etiqueta en la que aparece fecha de producción, código de color, máquina laminadora, número de láminas y grosor. Ésta se embala con un empaque de polietileno de especificación de ancho doble de 121.98 cm (48 pulgadas) el cual se sella térmicamente.

Bodega de producto terminado: se tiene el producto etiquetado y apilado por código de color y grosor. Para la distribución y venta.

Pruebas de ensayo a nivel de laboratorio: para la comparación todos los datos físicos se toman de la misma parte de la espuma, la parte central para los monos de espuma que se cortan en el área de maquinas.

- La densidad: con el auxilio de un metro se toma una muestra de largo y ancho de 0.304 m y grosor 0.0604 m. Se toma dos lecturas por cada dimensión, se saca promedio de estas lecturas. Se pesa la muestra en una balanza, y se calculo la densidad mediante la relación:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Donde volumen} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Grosor}$$

Para cada código de color según densidad teórica de formato de formulación.

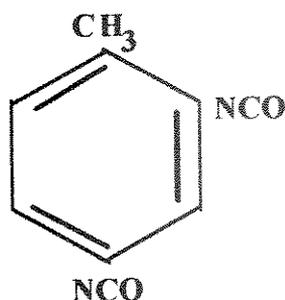
- Dureza ILD

La indentación de carga a una definida deflexión a 65% y a 25%, se hace en el centro de investigaciones de ingeniería, facultad de ingeniería que funciona en la ciudad universitaria zona 12, ciudad de Guatemala. Donde se lleva un indenter construido especialmente para la prueba según norma ASTM D 3574-91. El indenter se tiene que hacer con material de madera plywood, cuyo diámetro es de 203 mm. Las muestras de esponja a probar son de diferentes densidades identificadas mediante código de color: blanco, verde, rojo, doble rojo, triple rojo y la densidad fue medida.

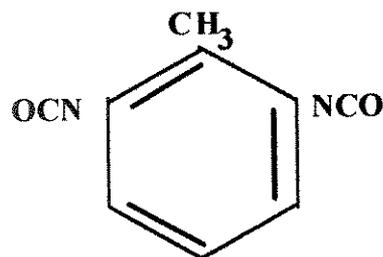
1 AREA DE ALMACENAJE DE MATERIAS PRIMAS

1.1 ISOCIANATO DE TOLUENO

2,4 Diisocianato de tolueno 80%



2,6 Diisocianato de tolueno 20%



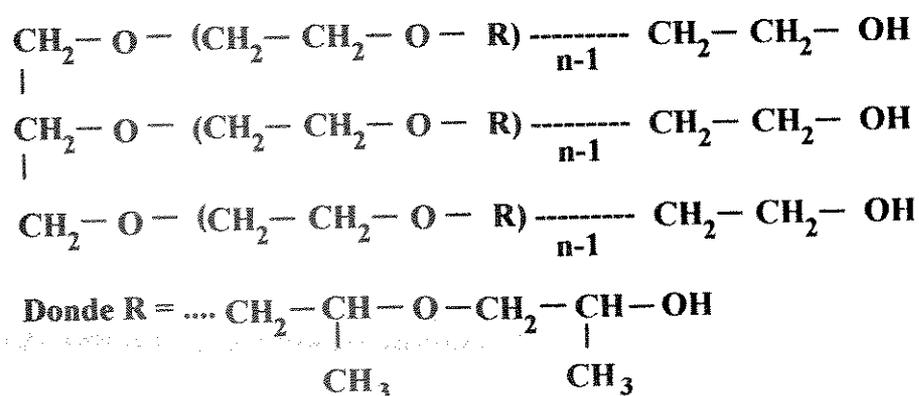
Esta materia prima debe almacenarse en un área bien ventilada. Porque los vapores del isocianato son tóxicos y dañinos a la salud se recomienda que el área tenga extractores locales para mantener el límite de concentración ambiental de 0.02 ppm (partes por millón) de vapores de TDI (Isocianato de tolueno), a este límite máximo es recomendable por 10 minutos de exposición por 8 horas de trabajo. El olor más bajo detectable de TDI esta en el rango de 0.1 a 1 ppm (partes por millón); si se percibe el olor a TDI significa que el límite permisible ha sido rebasado, y existe serio peligro ambiental.

El área debe ser un lugar seco. Porque el contenido de agua en la humedad en tambores cerrados, genera CO_2 (dióxido de carbono). Y la presión de éste puede llegar a estallar el recipiente o hacer rupturas en el mismo. Los tambores de edad caduca deben llenarse con gas inerte, nitrógeno, a presión atmosférica para evitar el contacto con la humedad; dá como resultado de ello se formen úreas blancas e insolubles; y genera dióxido de carbono (CO_2). Las úreas taponan las líneas de equipo. El dióxido de carbono es asfixiante.

- La humedad relativa debería ser controlada a 55 %; a una presión barométrica de 640 mm de Hg (milímetros de mercurio).
- La temperatura del TDI debe mantenerse arriba de 15°C (59°F), y mantenerse abajo de 40°C (104°F). Para evitar que se solidifique. Si se solidifica se sugiere entibiarse a 35°C (95°F). Evitar temperaturas de $100\text{-}120^\circ\text{C}$ ($212\text{ - }248^\circ\text{F}$), se trimeriza en una reacción exotérmica formando isocianouratos, genera suficiente calor para producir dióxido de carbono, crear peligro en los envases cerrados de TDI.

1.2 POLIOL-POLIETER

Es un alcohol polifuncional, polihídrico, cuya característica principal es el número de hidróxilos activos que contiene en la cadena terminal, estos son formulaciones industriales que contienen una mezcla de estructuras, de alcoholes trioles terminales con grupos hidroxilos secundarios. Se tiene una estructura de formula condensada:



- Número de funcionalidad nominal es 3
- Número de hidroxilos puede oscilar entre 45 a 56, se tuvo para formulación un polioli cuyo número de hidroxilos es de 56 mg de KOH/g de muestra de polioli. Esto se refiere a la actividad de polioli que se necesita para formular.
- Se sugiere almacenarse en las siguientes condiciones
- producto químico no corrosivo
- debería mantenerse a una temperatura menor de 55° C (131°F). Porque puede dimerizarse, a temperaturas mayores que esta.
- Lugar de condiciones secas ambientales, evitar contacto con la humedad, puesto que es marcadamente higroscópico.
- A una humedad relativa menor de 55%; y presión barométrica de 640 mm de Hg (milímetros de mercurio).
- El alcohol polifuncional polioli-políeter, reacciona con el diisocianato; esta reacción asegura que la resina líquida poliéter esta construida dentro de las moléculas finales del polímero. Se ha observado la estequiometría en las últimas etapas de la polimerización de los sistemas en los cuales el agua es el agente hinchante los grupos terminales del polímero son fuertemente reactivos con el grupo isocianato. Esta alta reactividad ayuda fuertemente en el aseguramiento que un número máximo de cadenas terminales están unidas a otras cadenas terminales, así proveer una aproximación relativamente cercana a la estructura de red teórica. Un poliéter lineal o ligeramente ramificado es uno normalmente usado para el espumado de esponjas flexibles.

- Una propiedad importante es el número de hidroxilos que tiene un polioli-poliéter que se define para una sustancia hidroxilada de la siguiente manera número de miligramos de hidróxido de potasio equivalente al contenido de hidroxilos presentes en un gramo de compuesto hidroxilado.

$$\text{No.OH} = \frac{1000*56.1}{\text{P.E.}(poliol)} \quad (A)$$

donde P.E.= peso equivalente del polioli.

$$y \quad \text{P.E.} = \frac{\text{Peso Molecular}}{\text{funcionalidad}}$$

Para esta materia prima se tiene

$$\begin{aligned} \text{No. OH} &= \frac{1000* 56.1}{3000/3} \\ &= 56.1 \end{aligned}$$

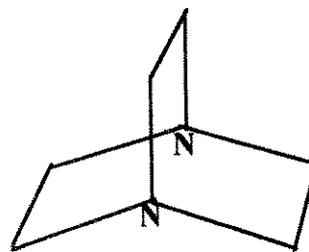
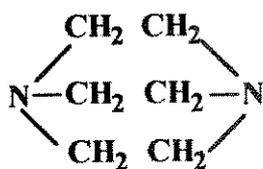
1.3 ESTABILIZADORES O EMULSIONANTES

- Tienen una formula general condensada $[-R Si R O-]_n$ y son siliconas de tipo polialquilenoxidimetil siloxano copolímero.
- Las temperaturas extremas no les afecta.
- La humedad atmosférica no les afecta.
- El área debe ser bien ventilada, cuando haya peligro de combustión debe controlarse; porque produce óxidos de carbono que actúa como asfixiante, cualquier exposición a los productos de combustión pueden resultar en irritación al tracto respiratorio; su punto de inflamación es de 101.11 °C (213.98 °F).
- Esta materia prima es importante en su selección, puesto que aparte de la función emulsionante, la acción surfactante reduce la tensión superficial del sistema para ayudar a la nucleación y estabilización de la burbuja en la espuma cuando se fabrica la esponja; también provee la concentración esencial para la elongación de la misma esponja de poliuretano.
- La mezcla de copolímeros, como es este caso, contienen de 15 a 30% de siloxano, que es la estructura química que se ejemplificó con anterioridad; y contenido remanente esta igualmente repartido en polióxido de propileno y polióxido de etileno, este tipo de mezclas han sido reportados como óptimas en la fabricación de espumas de poliuretano.

1.4 CATALIZADORES AMINICOS NIAX A-1 y A-33

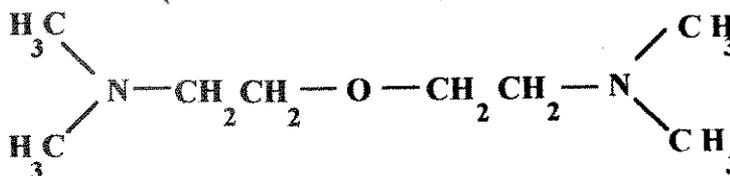
Los catalizadores aminicos tienen una estructura general condensada R_3N , donde R es de los radicales unidos al nitrógeno. Han tenido éxito las estructuras de aminas terciarias; estas son formulaciones secretas de cada casa fabricante de catalizadores. Dentro de las estructuras químicas que son ingredientes activos se tienen las siguientes:

Trietilendiamina



1,4-Diazabicyclo [2.2.2] octano

(Dimetilaminoetil) éter



- El Niox A-1 tiene una composición química de 70% en peso de (Dimetilaminoetil) éter y el 30% de dipropilén glicol.
- El Niox A-33 tiene una composición química cuyo ingrediente activo es la trietilendiamina, sus datos técnicos aparecen abajo en la cuadro 1.
- El área debe ser ventilada, puesto que los vapores son irritantes. Estos pueden causar severa irritación al tracto respiratorio superior y a los pulmones.
- La temperatura debería mantenerse abajo de 88°C (190.4°F).

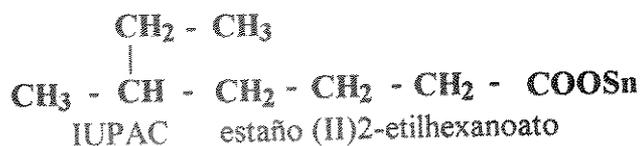
Cuadro 1

NAX catalítico	Viscosidad a 20° C, cp	Gravedad específica	Punto de congelamiento	Solubilidad en agua	Presión de vapor mm Hg	Peso/Galón a 20° C, lb	Alcalinidad meq/g	Punto de flama
A-1	41	0,9022	-80	Completa	<1 a 100° F	7,51	8,73	159° F
A-33	130,0	1,0330	-20	Completa	<1 a 100° F	8,60	5,90	190° F

Las estructuras de aminas terciarias se emplean por mucho tiempo como catalizadores en la producción de espumas de poliuretano. Su principal función consiste en balancear y controlar la gelificación y la reacción de expansión de manera que el proceso de formación de la espuma se pueda controlar adecuadamente. El tipo y la concentración se pueden seleccionar para que cumplan los requerimientos tales como perfil de crecimiento, tiempos de reacción: Ej. tiempos de crema, crecimiento y gelificación. La dosis de amina puede ajustarse para mejorar el paso de aire y reducir las variaciones de densidad. Debido a que la mayoría de los catalizadores amínicos que se puede obtener en el mercado son mezclas de diferentes aminas, por lo que las actividades son diferentes. Como se muestra en el cuadro 1 entre el Niax A 33 y el A 1. El Niax A 33 presenta una estructura de amina terciaria, como se muestra su fórmula. El catalítico amínico ayuda significativamente en un aseguramiento del rápido desarrollo de las propiedades del polímero completo.

1.5 AGENTES RETICULANTES

Octoato de estaño $\text{Sn}(\text{C}_8\text{H}_{15}\text{O}_2)$ T-9



Controladores de tamaño de celda.

- Se recomienda almacenarse en lugar seco, evitar contacto con el agua o humedad. Porque tiene poca estabilidad hidrolítica. Esto hace perder actividad catalítica.

- Evitar contacto con las aminas.

El catalítico organometalico, octoato de estaño o T-9; es poderoso en la acción catalítica para la reacción entre el isocianato y el polioli-poliéter en comparación de los amínicos. El T-9 permanece permanente en la espuma de esponja de poliuretano mientras los amínicos se evaporan. El T-9 es usado para forzar la reacción del isocianato y el polioli-poliéter en el sistema de premezcla de espumas flexibles de tal forma que la razón de cambio en la viscosidad se incremente rápidamente y el gas quede atrapado satisfactoriamente, en la espuma. A esto se denomina poder reticulante.

- El catalítico de estaño ofrece un control primario en la estructura de la espuma de la esponja de poliuretano, reacción de isocianato-polioli-poliéter.

- Dependiendo del nivel de octoato de estaño en las formulaciones, se puede presentar los diferentes efectos sobre la espuma. Poca cantidad presencia de rajaduras, exceso del nivel presencia de espuma cerrada y en el extremo crítico el encogimiento. En un nivel óptimo se tendrá presencia de una espuma abierta, con algún rango de densificación.

1.6 AGENTES HINCHANTES

Agua

El agua tiene como función básica de intervenir en la reacción de poliúrea generando el gas dióxido de carbono (CO_2), por consiguiente influye en dos aspectos en la espuma:

- En la reacción de poliúrea, se consume estequiométricamente con el TDI; influye en la cantidad en exceso de TDI en la formulación (índice de isocianato). Se genera dióxido de carbono, que influye en la densidad de la espuma.
- La reacción de poliúrea es altamente exotérmica (se genera calor) influye en los tiempos de reacción. La cantidad de agua utilizada en una formulación es un parámetro importante por el riesgo de chamuscado en la espuma y por el riesgo de incendio del bloque de espuma de poliuretano que puede presentarse.

1.7 AGENTES AUXILIARES HINCHANTES

Cloruro de Metileno CH_2Cl_2

El agente auxiliar hinchante provee una adecuada formación de un tremendo número de finas burbujas; en el sistema de polimerización (o adición polimérica), como también el crecimiento de esas burbujas. Los agentes hinchantes en las esponjas de poliuretano flexibles son el agua (de la reacción isocianato-agua); y el cloruro de metileno. La velocidad de espumado, en los sistemas de agente hinchante agua, es controlada a lo largo de la reacción por el catalítico de la amina terciaria y por la fuerza de éste. En el sistema de solvente como agente hinchante la velocidad es controlada por el punto de ebullición y el calor de evaporación del solvente, y por la velocidad de incremento de la temperatura del sistema. La velocidad de incremento de la temperatura es regulada en un sistema dado por el grado de catálisis de la reacción exotérmica isocianato-poliol-poliéter. El calor que se genera durante y después de la formación de la espuma es debido a los catalizadores de

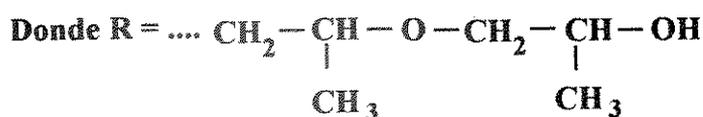
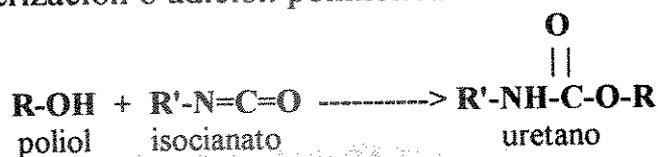
amina y estaño, que tienen un efecto sinérgico entre sí; ya que éstos aceleran considerablemente el sistema.

- Se sugiere mantenerlo en un lugar frío, lejos de los rayos del sol. Esto es debido a su bajo punto de ebullición 40° C (104° F).
- Lugar debe ser ventilado. Puesto que los vapores de cloruro de metileno tienen acción anestésica. El límite permitido es de 200 ppm v/v (partes por millón, en volumen); para una exposición permitida de 8 horas.

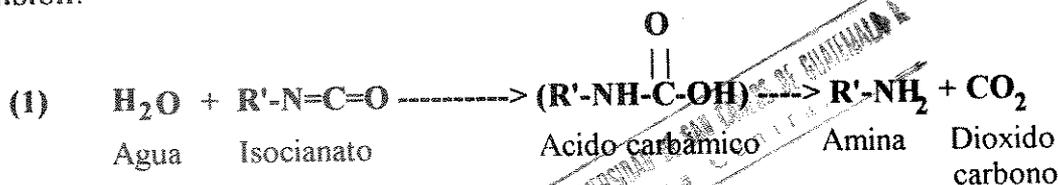
2. QUÍMICA DE POLIURETANO

La química del poliuretano es compleja, ya que un número considerable de reacciones ocurren simultáneamente en presencia de determinados catalizadores. De esas reacciones mencionadas, dos son las principales, las cuales determinan en líneas generales las características finales del producto.

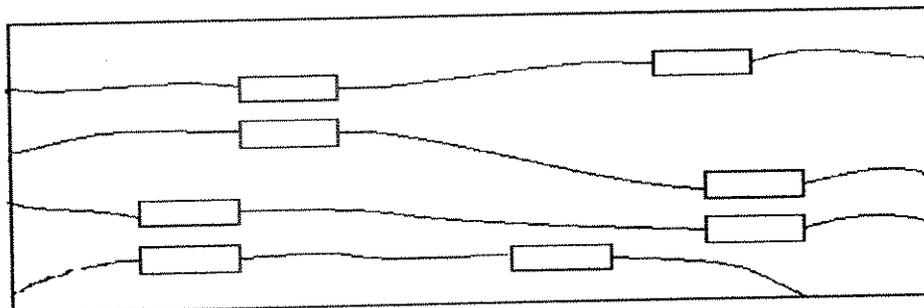
A. Polimerización o adición polimérica:



B. Expansión:



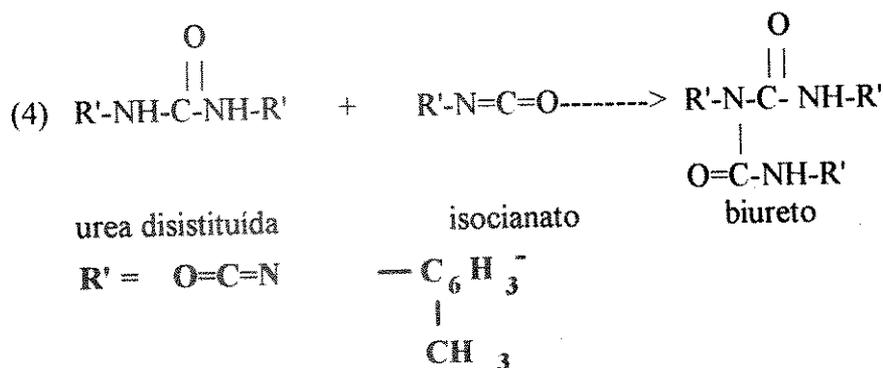
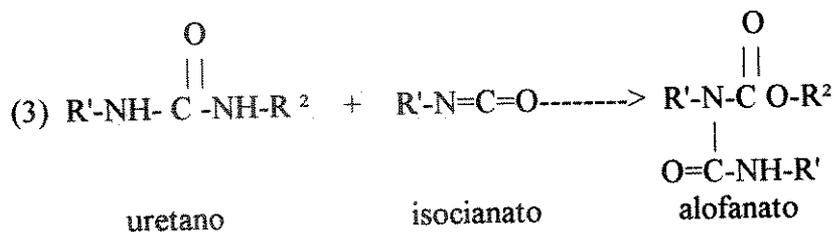
En la polimerización se da la estructura molecular del poliuretano y de acuerdo con los polioles e isocianatos usados en este caso se tendrá una espuma de poliuretano flexible, en una forma esquemática :



D1

En la expansión, es la que permite que el polímero se expanda logrando una estructura celular característica.

Reacciones secundarias y que ayudan a la sustentación final de la espuma son:



La dureza de la espuma poliuretano depende de la cantidad relativa de urea y alofanato presente.

2.1 FORMULACIÓN DE UNA ESPONJA DE POLIURETANO FLEXIBLE

El conjunto de todos los ingredientes necesarios para elaborar la espuma, en la proporción o relación adecuada se conoce como formulación de la espuma. La formulación por lo general, se presentan, en un formato uniforme basado en 100 partes por peso de polioli. Los demás ingredientes se expresan después en partes (por peso) por cien partes (en peso) de polioli abreviado pphp. Además la cantidad de isocianato que se emplea también se expresa en el llamado **índice de isocianato**. Este índice se relaciona con la propiedad física, la dureza o capacidad de deformación de la misma. El índice de isocianato se define:

$$\text{Índice de TDI} = \frac{\text{pphp de TDI}}{9.667 * \text{pphp agua} + 0.155 * \text{\#OH}} \quad (5)$$

Este parámetro indica el porcentaje de exceso de isocianato que se necesita en la reacción isocianato-polioli, para asegurar que la reacción este completada. Como lo describe la relación matemática el numerador de la fracción son las partes de isocianato por partes de polioli según formulación. El denominador es el isocianato estequiométricamente requerido, para la reacción con agua (expansión) y para la reacción con el polioli (polimerización).

Para el caso del agua se toman las pphp del agua según formulación por el factor equimolar que es de 9.667; para el caso del polioli se toma el número de hidroxilos del polioli por el factor de peso equivalente del polioli que es de 0.155. Este índice es característico según la densidad que se refiere al código de la espuma de poliuretano a formular.

Las siguientes formulaciones se dan de manera indicativa para la procesabilidad de la espuma de poliuretano. En todas las circunstancias deberán efectuarse ajustes precisos en las formulaciones.

Como se ha mencionado anteriormente en la formulación lo primero que se determina es la densidad de la espuma a producir.

- El volumen que se necesita según la altura de bloque a producir conforme a las dimensiones del molde y altura que se cubica para determinar el volumen. Ej. 2.20m * 2,20 m * 1.25m , se tiene un volumen igual a 6.05 metros cúbicos. La densidad de la esponja a producirse se determina que es de 10 kilogramos por metro cúbico. El peso a formular será:

$$10 \text{ kg/m}^3 * 6.05 \text{ m}^3 = 60.5 \text{ kg.}$$

La formulación No.1 es típica para una espuma de baja densidad (10 kg/cm³) :

Formulación No. 1

Componente	pphp	Kg
Poliól (#OH=56)	100,00	34,4230
Agua	5,40	1,8590
Silicona	3,23	1,1120
Cloruro Metileno	18,40	6,3350
Catalizador amínico	0,23	0,0790
Octoato estaño T-9	0,32	0,1100
Isocianato TDI 80/20	75,50	25,9920

Para obtener el índice de isocianato según ecuación 5 se tiene:

$$\text{Índice TDI} = \frac{75.50}{9.667 * 5.4 + 0.155 * 56} = 1.24$$

Esto indica que la formulación tiene un 24 % en peso de exceso sobre el isocianato estequiométricamente requerido; el exceso se requiere para la completas de la reacción, sea suficiente para el entrecruzamiento en la estructura de la espuma, tenga sustentación la misma. El índice se relaciona con la dureza de la espuma, con esta relación la dureza puede controlarse de forma segura y fácil.

En esta formulación la cantidad de agua esta balanceada, puesto que se tiene el requerimiento de agente auxiliar hinchante, cloruro de metileno, en suficiente cantidad, para manejar el umbral de 5.4 pphp y evitar el defecto de chamuscado que puede presentar el bloque cuando se trabaja una espuma de baja densidad, como en este caso

Cuadro 2

Formulaciones de prueba

Densidad (kg/m ³)	12,00	15,00	17,00	19,00	22,00	28,00	30,00
Poliol(#OH=56)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Agua (pphp)	6,00	5,30	4,80	4,40	3,90	3,10	2,90
Cloruro Metileno (pphp)	15,00	9,00	5,50	3,50	0,00	0,00	0,00
Silicona (pphp)	1,80	1,40	1,30	1,20	1,00	1,00	1,00
Amina (pphp)	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18
T-9 (pphp)	0,48	0,32	0,28	0,24	0,21	0,18	0,17
TDI 80/20 (pphp)	82,00	70,70	64,50	58,90	52,00	42,50	40,40
Indice TDI	123,00	118,00	117,00	115,00	112,00	110,00	110,00

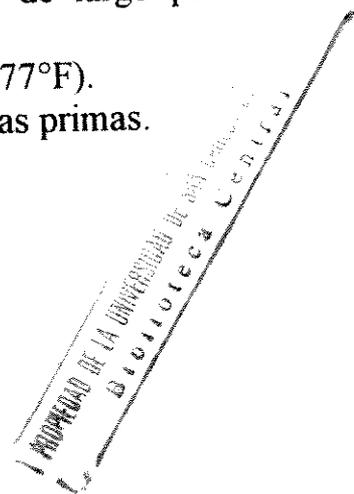
Cada una de las formulaciones es para diferente necesidad o función de la espuma de esponja flexible de poliuretano. Las formulaciones a partir de 15 kg/m³, tienen las propiedades mayormente definidas, que las de código bajo. Se trabajan mayormente para la industria del mueble. Por ejemplo, para un

sillón de sala, se utiliza una espuma de 12 kg/m^3 para acolchar la parte exterior: del respaldo, parte lateral, parte frontal del descansa brazos, como la parte inferior del asiento; una espuma de 15 kg/m^3 se utiliza para acolchar el interior lateral del descansabrazos; una espuma de 17 kg/m^3 para la parte superior del descansabrazos; una espuma de 19 kg/m^3 se utiliza para acolchar el respaldo en su cara frontal; y una espuma de 22 kg/m^3 se utiliza para hacer el cojín del asiento en sí del sillón. Para una silla de ejecutivo se emplea una espuma de 15 kg/m^3 para acolchar el respaldo; una espuma 17 kg/m^3 para acolchar la parte superior del descansabrazos; una espuma de 19 kg/m^3 para acolchar el asiento en sí de la silla; y una espuma de 12 kg/m^3 para acolchar los laterales exteriores como interiores del descansabrazos.

2.2 ÁREA DE LABORATORIO

2.2.1 Equipo:

- Una balanza muy sensible de tipo digital de rango de 0 a 10 kg.
- Un agitador con su motor; con tres posiciones, para la regulación de revoluciones por minuto: 900, 1600 y 2600 rpm.
- Un mezclador de disco.
- 2 tanques de almacenamiento de materia prima, una para el polioliol y otro para el isocianato de tolueno (TDI).
- mangueras para transportar el polioliol y TDI.
- cuenta galones para cada línea de polioliol y TDI.
- campana extractora de gases.
- un cronómetro.
- recipientes de plástico, cubetas de dos galones y medio.
- cristalería de laboratorio (vasos de precipitados de 150 ml, espátulas de hule).
- 1 termómetro, para temperatura ambiente, 1 termómetro línea de polioliol, 1 termómetro línea TDI.
- Moldes para bloque de espuma de dimensiones, hechos de tablex:
 - Ancho : 2.25 m.
 - Largo : 2.25 m .
 - Altura : 1.30 m.
- Una tapadera de tablex de dimensiones:
 - Ancho: 2.24 m.
 - Largo: 2.24 m.Horadada con agujeros de 15cm. de diámetro y una distancia de centro a centro de 25 cm.
- 1 intercambiador de calor de concha y tubo con dos partes separadas, para las materias primas. De dimensiones de 1 m de largo por 0.35- m de diámetro.
- Tanque de agua a temperatura de 22-25°C(71.6-77°F).
- 2 bombas de piñón para el almacenaje de materias primas.



2.3 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO

Se utiliza un sistema de premezcla, esto significa que hay dos componentes que se nombran A y B. Es el componente A el isocianato de tolueno (TDI); y el componente B, la premezcla de polioliol. Esta premezcla contiene los componentes: silicona, agua, catalítico amínico, catalizador metálico (octoato de estaño T-9) y el agente auxiliar hinchante (cloruro de metileno) y polioliol básicamente. Se principia con los componentes inertes, ya que entre sí no presentan reacción, los cuales son agua, silicona y amina.

- Estos primero se **dosifican**, para ello se pesan según formulación; luego se ponen en un agitador de disco por un tiempo de 5 a 7 segundos. Esto se llamará mezcla de inertes.
- El polioliol y el isocianato se lleva a una temperatura óptima de operación, que se ha determinado en un rango de 22 a 25°C (71.6 a 77°F), mediante un intercambiador de calor de concha y tubo de compartimientos separados para cada una de las materias primas (polioliol e isocianato); se **dosifican**, se utiliza un cuentagalones para cada línea hacia el tanque mezclador que consta de dos apartados; en uno se tiene el polioliol y en el otro el isocianato. El cuenta galones se utiliza para tomar la cantidad exacta de materia prima requerida según formulación, ya sea el polioliol o el isocianato. Se añade el octoato de estaño (T-9), el cual se **dosifica**, para esto es pesado según formulación, al apartado de polioliol, se agita por 5 segundos. Se añade la mezcla de inertes (agua silicona, amina), al apartado del polioliol, se agita por 5 segundos. Para la formulación de una espuma de poliuretano de código bajo, se dice que la espuma es de 10kg/m³, se añade cloruro de metileno como agente auxiliar hinchante. El cual se **dosifica**, para ello es pesado según formulación en partes de polioliol (pphp), al apartado de polioliol. Se agita por 5 segundos. Esta es la premezcla de polioliol, el componente B; que esta en el apartado de polioliol, como antes se citó.

Luego se hace la mezcla del componente A isocianato y el componente B (premezcla de polioliol); en la que se deja caer el isocianato dentro del apartado de polioliol del tanque reactor. Se agita por 5 segundos a una velocidad de 900 rpm (revoluciones por minuto), luego otros 2 segundos a una velocidad de 1600 rpm. Esta mezcla se vierte sobre el molde quitando el fondo de tanque mezclador, que se tiene listo con anterioridad. En tres segundos aparece la mezcla de color lechoso, que es el **tiempo de crema**. Dentro del molde empieza la reacción exotérmica, de isocianato-polioliol, a medida que se van generando gases de expansión la espuma sigue creciendo, y simultáneamente se hace más viscosa con la polimerización en la fase líquida, se pone la tapadera del cajón, es el **tiempo de crecimiento**.

El tiempo de **crecimiento completo** es desde que se vierte la mezcla , en el cajón, hasta que llega la altura del bloque requerida que es de 84 segundos. En el bloque formado la temperatura llega a 165°C (329°F). Se limpia el tanque reactor con material celulosico prensado, lo que es la limpieza de torta; es importante que el tanque reactor este completamente seco y libre de cualquier residuo de espuma; para la formulación siguiente.

El tiempo de estabilización del bloque, cuando la capa exterior de éste del bloque no es pegajosa al tacto; es el tiempo que transcurre para el desarme del molde de bloque. Es de 4 minutos y el desarme dura 2 minutos. Este es el tiempo de **gelificación**, cuando la mezcla se ha gelificado. Luego se traslada al área de curado donde termina de completarse la reacción y donde la temperatura interna del bloque se mantiene en un promedio de 160°C (320°F) en las primeras 2 horas; en esta área permanece durante 24 horas, que es el tiempo de **curado**, para su posterior procesamiento.

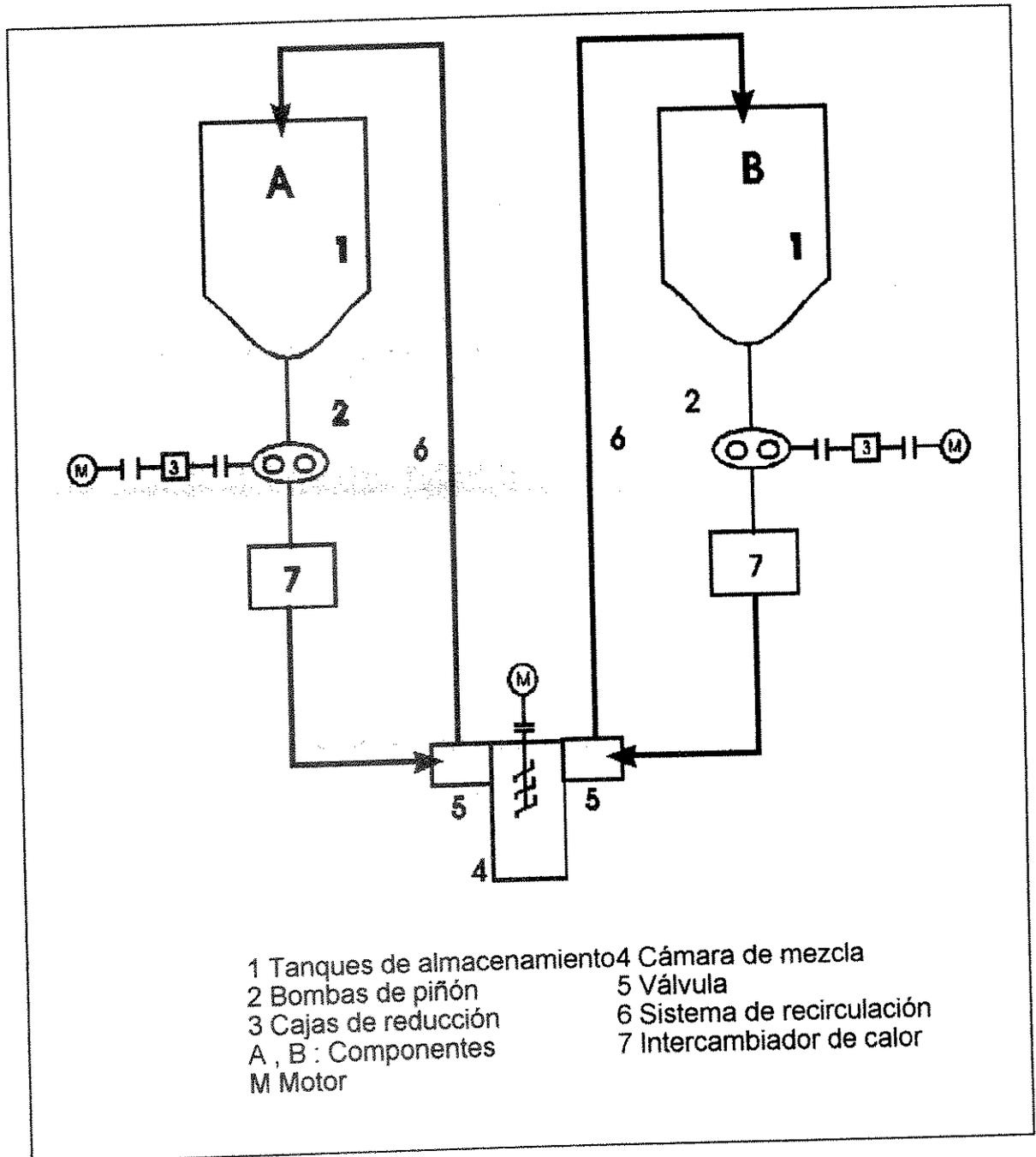
- El procedimiento anterior es para un sistema semiautomático, puesto que los ingredientes son llevados por bombas dosificadoras, el polioliol y los ingredientes aditivos son mezclados; se dejan reposar hasta 20 segundos para dejar salir el aire, se agrega el isocianato e inmediatamente se mezcla de 3 a 4 segundos; se deja fluir la mezcla en el molde inicia el proceso químico de la reacción, reticulación y curado. Se desmolda y se deja enfriar la espuma para su corte posterior.

2.4 ÁREA DE CURADO

Al salir los bloques de espuma del área de laboratorio, se trasladan a un área de curado, para que reposen los bloques por un tiempo de 24 horas. Cada bloque se identifica con un código de color ver cuadro 3. El área de bloques frescos, el calor de reacción alcanza el punto máximo de 30-60 minutos después de la producción. El cual basta para que se vaporicen las aminas y algo de TDI. Los bloques de espuma recién hechos se colocan separadamente uno de otro, al menos durante 18 a 24 horas. El área debe ser bien ventilada con sistema de extracción eficiente. Aquí la reacción de polimerización toma lugar, y se tiene el tiempo libre de pegajosidad de la espuma. Las condiciones de penumbra evitan el desarrollo del color amarillo en el bloque de espuma.

Cuadro 3

Densidad Kg/m ³	10	12	15	17	19	22	28	30
Código de color	Blanco	Verde	Naranja	Azul	Púrpura	Rojo	Doble rojo	Triple rojo



Principio de la maquina de espumado

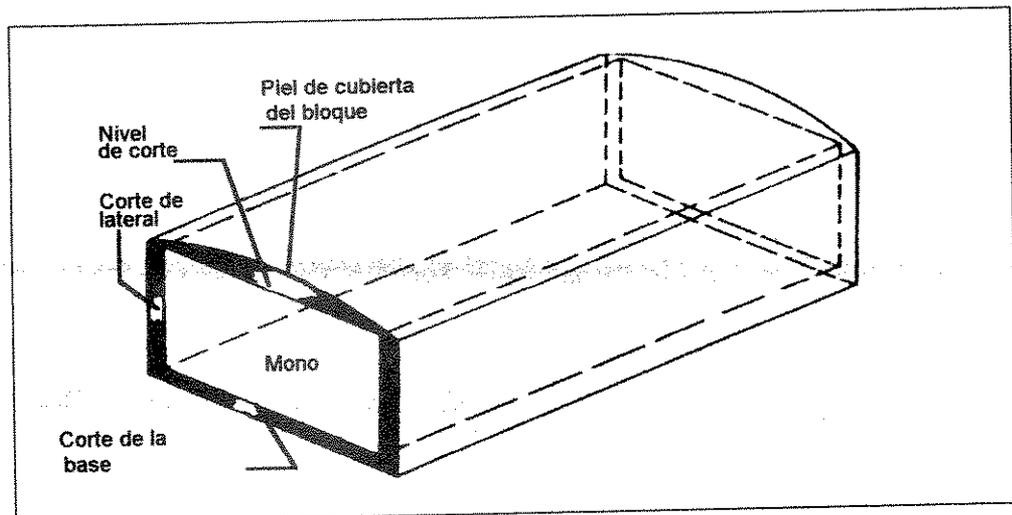
D2

2.5 ÁREA DE MAQUINAS

2.5.1 Laminadora vertical

Del área de curado el bloque de espuma de poliuretano pasa a la de máquinas. Se utiliza una laminadora vertical, en que se hacen los cortes de las caras laterales del bloque. Y se hace un corte vertical (se lamina) el bloque en dos partes, según medida del tamaño del mueble de cama. A estas dos partes se le llama mono, a cada una se quita los lados y se da el ancho adecuado a la medida de plancha a laminar, para hacer los monos. Se identifican los monos según código de color, dependiendo de su densidad (cuadro 3). En el mercado guatemalteco, tiene preferencia para la industria de camas, las dimensiones de corte es según cuadro 4.

Diagramado de laminado vertical de bloque de esponja



D 3

Cuadro 4

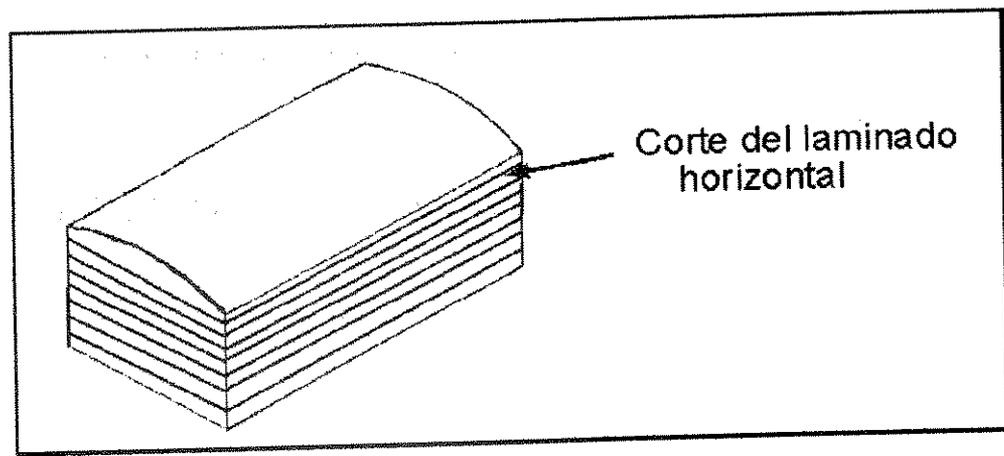
Tamaño	Largo	Ancho
Estándar	203.20 cm (80")	101.60 cm (40")
Semimatrimonial	190.50 cm (75")	121.92 cm (48")
Matrimonial	190.5 cm (75")	139.70 cm (55")

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA CENTRAL

2.5.2 Laminadora horizontal

Se tiene los monos ya cortados en el ancho adecuado, del área de máquina laminadora vertical cada mono es puesto en la laminadora horizontal, en la que se da el grosor solicitado por el cliente; el espesor de la lámina puede variarse de 0.31 cm (1/8 de pulgada) a 30 cm (12 pulgadas) como se muestra el cuadro 5.

Diagramado de laminado horizontal del mono



D 4

Cuadro 5

Código de color	Blanco	Verde	Naranja	Azul	Púrpura	Rojos
Grosor lamina	Desde 1/8" hasta 5'	Desde 1/8" hasta 6'	Desde 1/8" hasta 6'	Desde 1/2" hasta 12'	Desde 1/2" hasta 12'	Desde 1/2" hasta 12'

Al terminar el corte del mono, se hace la clasificación de la esponja de primera calidad, teniendo en cuenta sus buenas propiedades como: sus dimensiones correctas, su elongación, resiliencia, presión de la uña. Y la de segunda calidad que tenga algún pequeño defecto en las propiedades antes citadas.

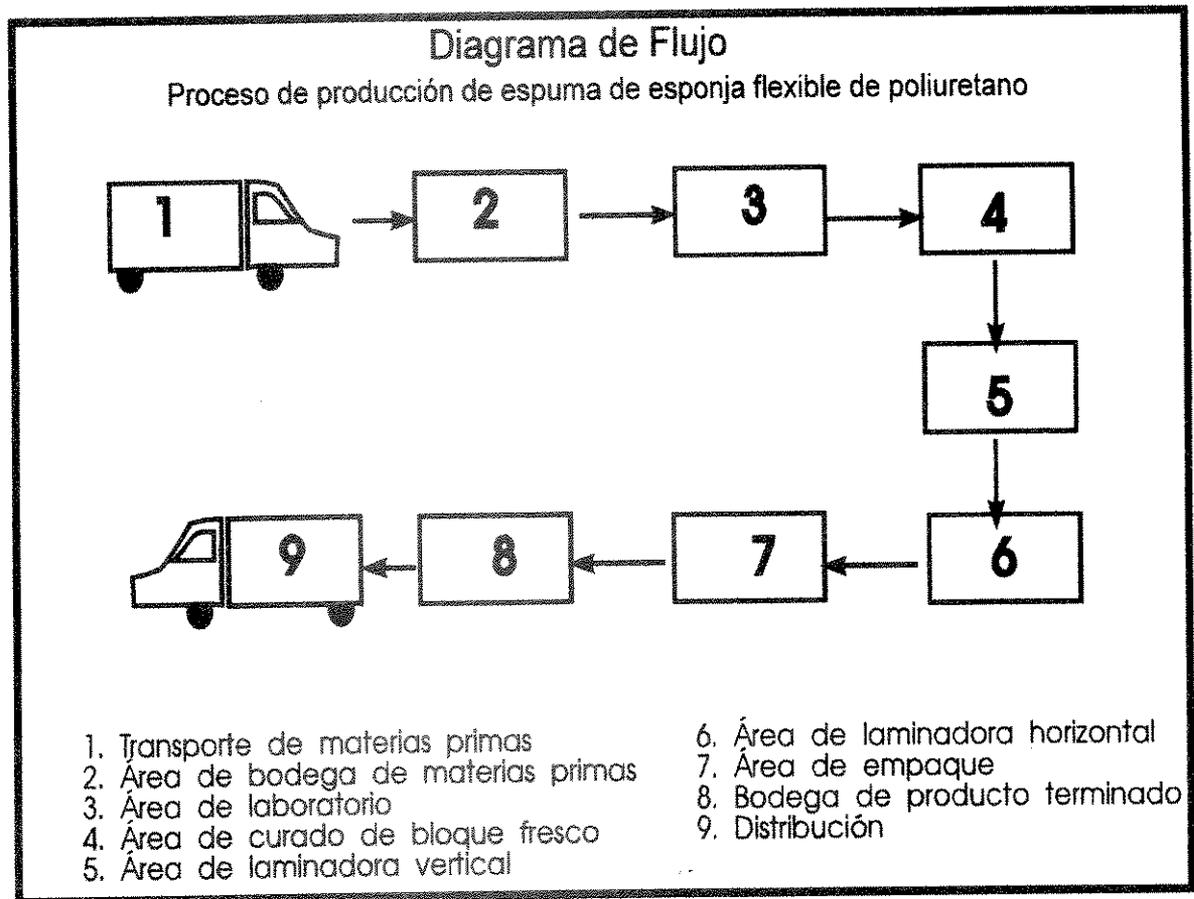
2.6 ÁREA DE EMPAQUE

En ésta se tiene el producto: esponja flexible de poliuretano, ya laminada y se hace una clasificación en primera calidad y en segunda calidad, como se ha citado. La de primera se tiene clasificada por código de color y grueso de lámina, se hace una etiqueta, en la que aparece la fecha de producción, código, máquina laminadora, número de láminas y grosor. Esta se embala con un empaque de polietileno, de especificación de ancho doble de 121.92 cm (48"), el cual es sellado térmicamente. Luego pasa a la bodega de producto terminado.

2.7 ÁREA DE BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO

El área donde se almacena el producto listo para su envío o venta, debidamente empacado e identificado, con el código de densidad, número de láminas y fecha de producción.

3. DIAGRAMA DE FLUJO DE MATERIALES



D 5

4. ESPUMAS DE POLIURETANO

La espuma de poliuretano, ya sea en bloques o moldeada, tiene una amplia difusión en la industria del mueble y fabricación de camas.

La manera correcta par definir la calidad de una espuma flexible es a través de la capacidad que la espuma presenta; para mantener sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tiempo bajo condiciones reales de uso.

4.1 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD, A NIVEL DE LABORATORIO

Muestreo y preacondicionamiento

Para la comparación todos los datos físicos, todas las muestras deben tomarse de la misma parte de la espuma deberá ser la parte central para los bloques de espuma.

4.1.1 Propiedades físicas de la espuma

4.1.1.1 Densidad

Se pesa y se mide una muestra de forma regular y de tamaño razonable. La densidad se puede calcular después, de acuerdo a la expresión:

$$\text{densidad} = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \quad (6)$$

Cuanto mayor sea la espuma (dentro de ciertos límites factibles), más exacta será la medición de la densidad.

4.1.1.2 Dureza

Dos métodos principales estos para medir la dureza de las espumas flexibles.

Estos son :

1. dureza por indentación (ILD)
2. dureza por compresión (CLD)

La diferencia radica en el área de la muestra de la espuma que se somete a una carga: En la prueba ILD, solo unos 0.0323 m² (50 pulgadas cuadradas) de la muestra de espuma se somete a compresión; mientras que el método CLD es la pieza completa de la muestra de espuma que se comprime. Esta último método es poco usado.

El ILD mide a distintos valores de deflexión. De por sí el ILD no define la buena o mala calidad de una espuma y es generalmente elegido de acuerdo a los gustos personales.

El indentor se pone en contacto con la muestra que indenta, bajo una carga de 454 gramos (1.0 libras), luego se comprime en un 25 % de su espesor original a razón de 5 cm/min. (2"/min.). La carga se registra después de 1 minuto. Luego la deflexión aumenta hasta a 65 % de su espesor y se vuelve a registrar la carga después de 1 minuto. Estos resultados constituyen los valores ILD al 25% y 65% respectivamente. Al volver a la deflexión de 25 %, se mide la carga al cabo de 1 minuto. Con estos datos, se pueden calcular dos factores adicionales:

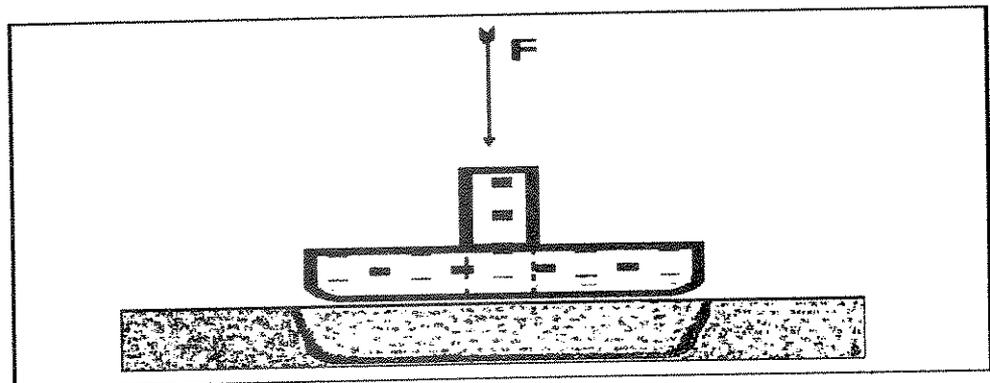
$$\text{Modulo} = \frac{\text{Valor ILD al 65 \% (adimensional)}}{\text{Valor ILD al 25 \%}} \quad (7)$$

$$\text{Histéresis} = \frac{\text{Valor ILD de Retorno al 25\% x 100 (en \%)}}{\text{Valor ILD al 25 \% inicial}} \quad (8)$$

El módulo, se conoce como factor de flexión.

Histéresis es la medida de recuperación de la espuma después de la deflexión.

Diagrama de carga indentada (ILD)



D 6

En cuadro 6 aparece la información, la prueba de indentación de carga, practicada a las esponjas de diferentes densidades, ésta se expresa en Newton por 0.0323 metro cuadrado, según norma ASTM D 35674-91. Como puede verse las muestras tienen igual relación de carga.

La relación o modulo sirve para evaluar el grado de comodidad, si se usa para sentarse, la que presenta menor relación es la naranja, y la que presenta mayor relación es la triple rojo.

Cuadro 6

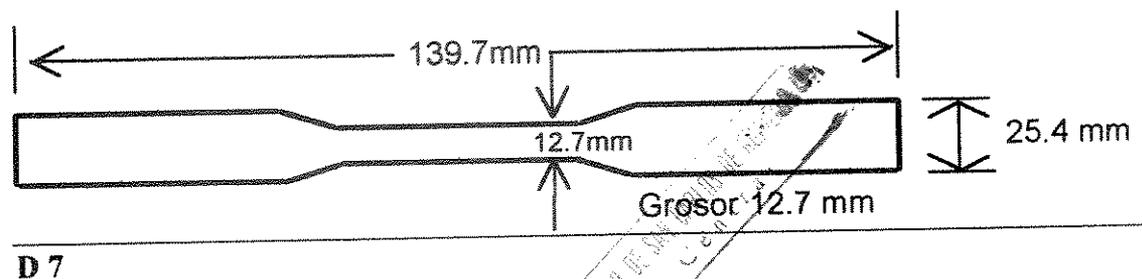
Código de Color	Densidad medida kg/m ³	Carga de Indentación 25% N/.0323 M ²	Carga de Indentación 65% N/.0323 M ²	Relación P65% / P25%
Blanco	10,10	157	314	2,00
Verde	11,33	167	314	1,88
Naranja	15,00	147	265	1,80
Púrpura	18,83	167	314	1,88
Rojo	21,32	137	275	2,00
Doble rojo	23,46	157	294	1,88
triple rojo	28,24	147	304	2,07

4.1.1.3 Porosidad

La porosidad de una muestra de espuma es un índice de su capacidad de respiración o de la apertura de las celdas. Ésto se puede comprobar soplando a través de la misma. Un método más confiable consiste en determinar el caudal de aire que fluye a través de una muestra de espuma de 5 cm x 5 cm x 2.5 cm (en pulgadas 2 x 2x 1) en una máquina de medición de flujo de aire.

4.1.1.4 Tracción y elongación

Un espécimen, o muestra cortada, tal como lo describe la norma D 3574-91 de la ASTM

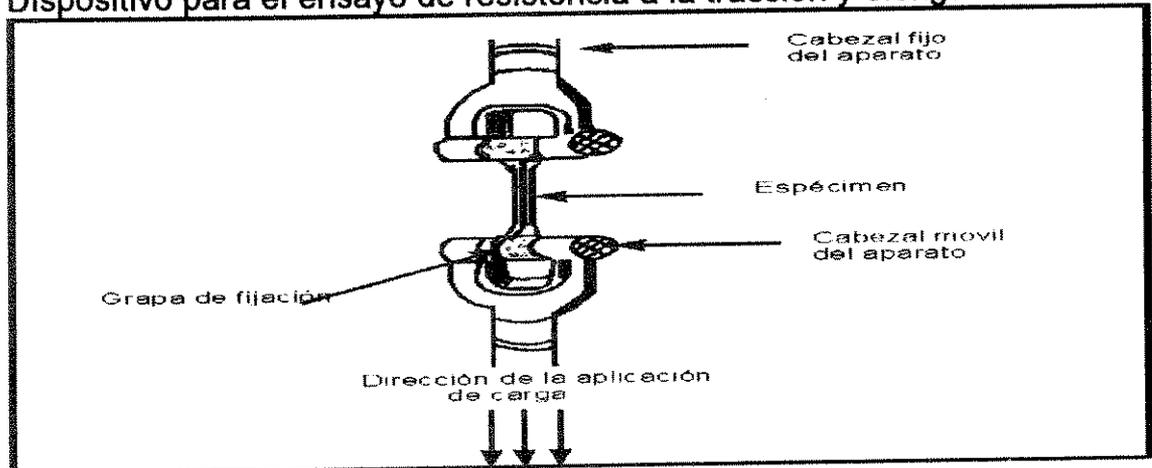


se sujeta en ambos extremos con abrazaderas con cierta distancia de separación (corrientemente 2.5 pulgadas). La máquina se opera de forma que registre continuamente la carga y elongación hasta la rotura de la muestra. La resistencia a la tracción de la muestra se calcula, de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{carga de rotura}}{\text{área transversal}} \quad (9)$$

$$\text{Elongación} = \frac{\text{Longitud del espécimen a la rotura} - \text{Longitud original del espécimen}}{\text{Longitud original del espécimen}} * 100 \quad (10)$$

Dispositivo para el ensayo de resistencia a la tracción y elongación



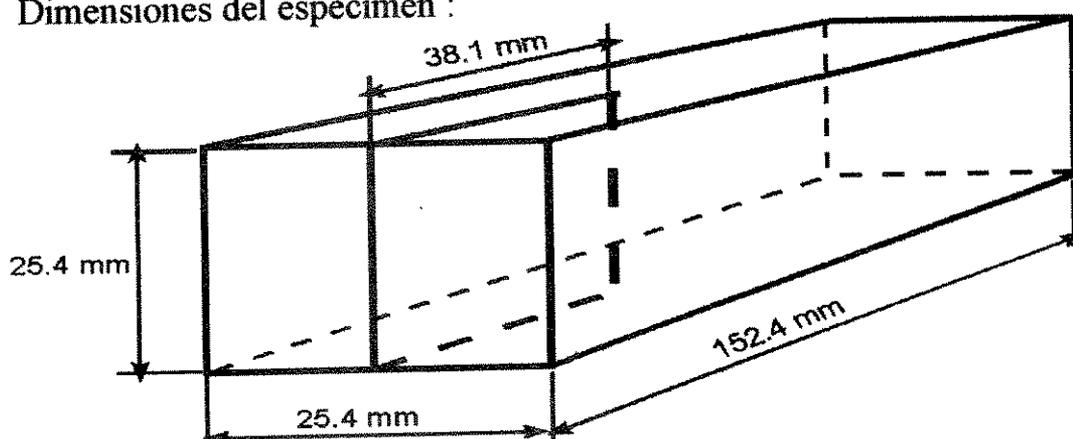
D 8

4.1.1.5 Resistencia al desgarre

Se sujeta con abrazaderas separadas a una distancia específica (corrientemente en pulgadas 2.5 o 6.25 cm), una muestra de espuma cortada (véase ASTM D 3574-91 para las dimensiones). La máquina se opera de forma que registre sin interrupción la carga durante el desgarre de la muestra. Esta se relaciona de la manera siguiente:

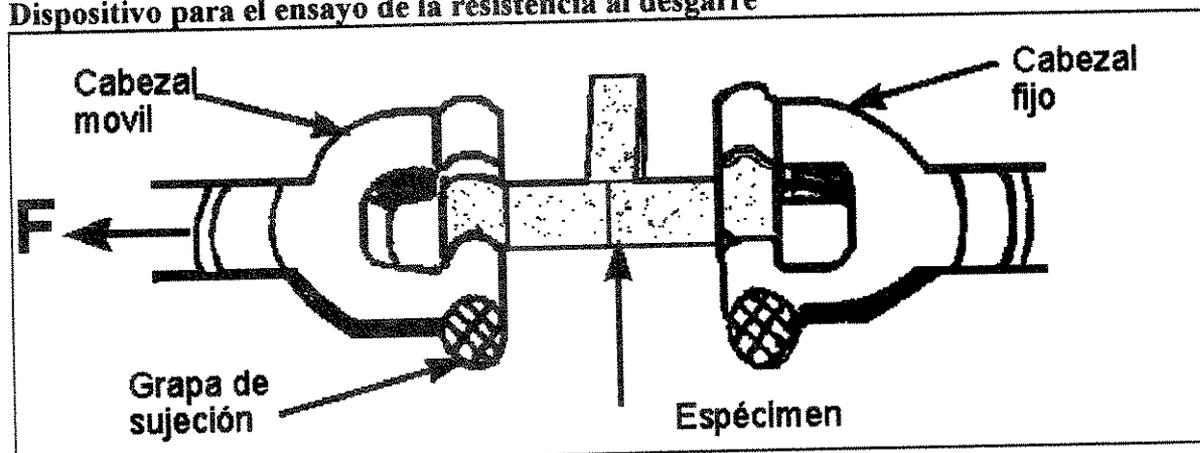
$$\text{Resistencia al desgarre} = \frac{\text{Carga máxima de desgarre}}{\text{Espesor de la muestra}} \quad (11)$$

Dimensiones del espécimen :



D 9

Dispositivo para el ensayo de la resistencia al desgarre



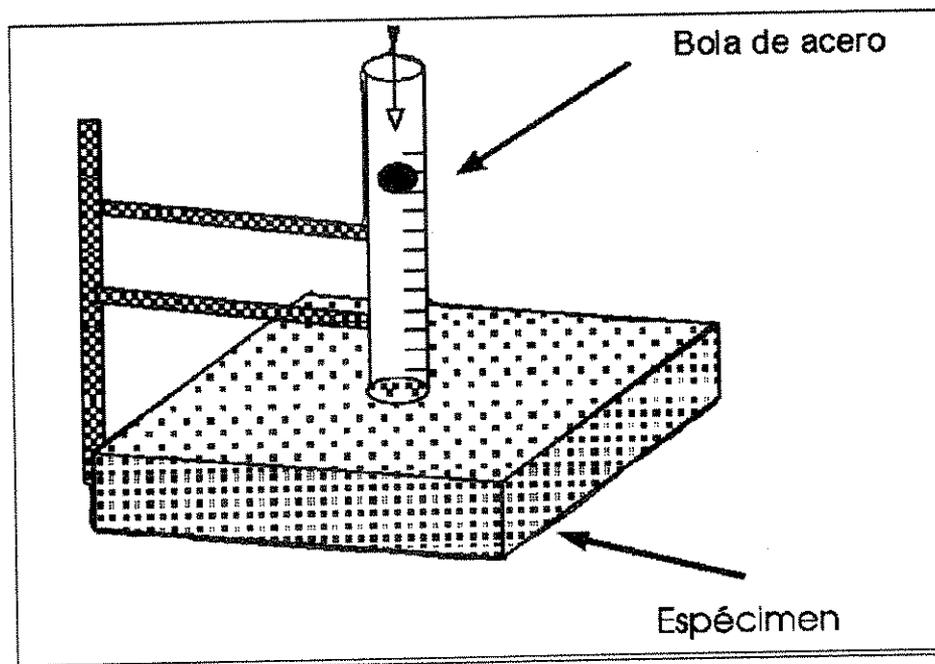
D 10

4.1.1.6 Resiliencia vertical

En esta prueba, una bola de acero de un peso determinado se deja caer desde cierta altura, sobre la muestra de sobre un espécimen de esponja, a lo largo de un tubo plástico transparente. El porcentaje de rebote de la misma constituye la de medida de su resiliencia.

$$\text{Resiliencia} = \frac{\text{longitud de rebote}}{\text{longitud de caída}} * 100 \quad (12)$$

Dispositivo para medir la resiliencia vertical



D 11

Se recomienda hacer cuadros para las diferentes densidades de: dureza a la indentación, tracción, elongación, resistencia al desgarre, resiliencia vertical.

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo puede servir como guía en las fábricas de espuma de poliuretano flexible para la fabricación por el método de cajones o moldes.
2. La mejor manera de tener una espuma de poliuretano flexible de buena calidad es mantener la temperatura de operación de 22° a 25° C (71.6° a 77°F). La velocidad de agitación en dos efectos, la primera, a 900 rpm (revoluciones por minuto) y la segunda, a 1600 rpm. El agitador tiene dos propelas de 1/3 del diámetro del tanque reactor. Se usa en este trabajo el sistema de dos componentes o sistema de premezcla. El tiempo de agitación total es de 23 segundos; 16 segundos previo a la adición de TDI y 7 segundos desde que se deja caer el TDI a dos efectos de velocidad de agitación.
3. La formulación obtenida para la fabricación de una espuma con buenas propiedades físicas y densidad de 10 kg/m³ es:

Formulación No. 1

Componente	pphp	kg
Poliol (#OH=56)	100,00	34,423
Agua	5,40	1,859
Silicona	3,23	1,112
Cloruro de Metileno	18,40	6,335
Catalizador Amínico	0,23	0,079
Octoato de Estaño T-9	0,32	0,110
Isocianato TDI 80/20	75,50	25,992
Indice de TDI	1,24	

Esta formulación se toma como referencia y tener un rango de seguridad para evitar caída o defecto del bloque producido. Las formulaciones de código bajo, menores de la densidad 15 kg/m³, tienen que ser tratados cuidadosamente, para balancear la cantidad de agua, puesto que el bloque corre el riesgo de agarrar fuego, o presentar rajaduras en el bloque producido.

4. Las formulaciones a partir de la densidad 15 kg/m³, presentan propiedades físicas : dimensiones, densidad, dureza, resiliencia y prueba de presión con la uña, más definidas en la calidad requerida por el usuario de la espuma flexible de poliuretano.

RECOMENDACIONES

1. Por el contenido de especificaciones técnicas y metodología en este trabajo se refiera como guía de información en la fabricación y procedimiento de espuma de poliuretano flexible.

2. Se recomienda tener los rangos de seguridad para obtener una espuma de poliuretano flexible de buena calidad es mantener la temperatura de operación de 22° a 25° C (71.6° a 77°F). La velocidad de agitación en dos efectos: el primero a 900 rpm (revoluciones por minuto) y el segundo a 1600 rpm. Tener un agitador con dos propelas de 1/3 del diámetro del tanque reactor. Usar el sistema de dos componentes o sistema de premezcla. Tener un tiempo de agitación total es de 23 segundos; 16 segundos previo a la adición de TDI y 7 segundos desde que se deja caer el TDI a dos efectos de velocidad de agitación.

3. Se recomienda usar una formulación para una espuma de densidad 10 kg/m³, y obtener una espuma de buenas propiedades fisico-mecánicas:

Formulación No. 1

Componente	pphp	kg
Poliol (#OH=56)	100,00	34,423
Agua	5,40	1,859
Silicona	3,23	1,112
Cloruro de Metileno	18,40	6,335
Catalizador Aminico	0,23	0,079
Octoato de Estaño T-9	0,32	0,110
Isocianato TDI 80/20	75,50	25,992
Indice de TDI	1,24	

Esta formulación se toma como indicativa y tener un rango de seguridad para evitar caída o defecto del bloque producido. Se recomienda para un código bajo, menores de la densidad 15 kg/m³, ser tratados cuidadosamente, para balancear la cantidad de agua, para la procesabilidad del bloque de espuma de esponja de poliuretano flexible.

4. Se trabajan las formulaciones a partir de la densidad 15 kg/m³, con mejores propiedades físicas, porque estas son mayormente definidas; y se tienen mejores rangos de seguridad. se recomienda tener en cuenta, que cada formulación, es de referencia, ya que cada una se sigue trabajando, hasta alcanzar la calidad requerida por el usuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Air Products and Chemical, Inc., Triethylenediamine 1,4 diazabicyclo (2.2.2) octane properties, reactions and application, catalog 120-131.
U.S.A.: Air Products and Chemicals Inc. pp 2-4, 19, 21-26.
2. Bragg Gordon M., Principles of experiments, New Jersey, U.S.A: Prentice-Hall Inc., 1974. pp 100-122.
3. Baker Thomas B., Quality by experimental desing, New York, U.S.A.: Marcel Decker, 1985. pp 133-165.
4. Biles William E., Optimization and industrial experimentation, New York, U.S.A.: John Willey and Sons, 1980. pp 100-125
5. Cochram William G., Diseños experimentales, 2a. ed. México: Editorial Trillas S.A., 1965. pp 340-355.
6. Davies, The desing and analysis of industrial experiments, New York, U.S.A.: Hafner, 1963. pp 405-455.
7. Dee Snell, Foster and Leslie S. ettre, Encyclopedia of industrial chemical analysis, New York, U.S.A.: Interscience Publishers a division of John Willey and Sons, 1974. Vol 19 pp 262-329
8. Degremont, Manual técnico del agua, España: Degremont, 1963. pp 480.
9. Demming, Stanley N., Experimental design chemistric approach, New York U.S.A: Elseevier, 1987. pp 150-201
10. Dow Chemical Co. Methylene chloride uretane grade: the proven blowing agent, Form No. 100-5852-82. U.S.A.: Dow Chemical Co., 1976. pp 2-11, 22-30.
11. Dow Chemical Co. Safe handling and storage of voranate T-80 isocyanate, Form 1948576, U.S.A.: Dow Chemical Co., 1976. pp 2-11, 22-30.
12. Dow Chemical Co. Safe handling and storage of voranol polyols, Form 194, 50, 75, U.S.A.: Dow Chemical Co., 1975. pp 1-7.

13. Dow Chemical Co. Voranol 3810 polyether polyols for slabstock urethane foam, Form No. 194-54-75, U.S.A.: Dow Chemical Co., 1975. pp 1, 3-5.
14. Dow Chemical Co. Voranol polyether polyols... general urethane chemistry, Form 194,45,78, U. S. A.: Dow Chemical, 1978. pp 2-20.
15. Frisch, Kurt C. Platics Foams. New York, U.S.A.: Marcel Dekker. 1972. Vol 1 110- 217 y vol 2.
16. Kirk-Otmer, Encyclopedia of chemical tecnology. 2a. ed. New York, U.S.A.: John Wiley and Sons. 1961. Vol 21 pp 56 - 105.
17. Meltzor Yale L., Urethane foams technology and applications, Parks Ridys N. J., U.S.A.: Noyes Data Corp., 1971. pp 1-136.
18. Oertel Gunter, Polyurethane handbook, 2a ed. Munich, Alemania: Hamser, 1994, pp 1-30, 156-356.
19. Perry Robert H., Chilton Cecil H. Chemical engineers' handbook, 5a. ed. U.S.A.: McGraw-Hill, 1973. pp 6:6-7, 15, 29-30; 24: 8, 12.
20. Dr Van Oss, J.F., Materials and technology. London, U. K.: Logman J.H. De Bussi, 1972. Vol 4 pp 268, 542, 544-545.

ANEXO 1

5. SEGURIDAD

La seguridad, como factor de evitar emergencias y accidentes en el puesto de trabajo ó en el lugar de trabajo. Puesto que hay costos indirectos a la hora de ocurrir un accidente de trabajo como lo son:

1. Tiempo perdido por los trabajadores debido a la paralización del trabajo al ocurrir el accidente.
2. Tiempo perdido por él o los supervisores o funcionarios de la empresa en:
 - ayudar al trabajador accidentado.
 - investigar los factores que intervienen al ocurrir el accidente.
 - hacer los arreglos necesarios para restablecer la labor del trabajador lesionado.
 - seleccionar y capacitar o instruir al nuevo trabajador.
 - preparar el informe del accidente para la administración.
 - atender entrevistas de carácter legal en relación con el accidente en cuestión de llenar formularios requeridos por la ley.
3. Pérdida en la producción al detenerse la máquina o proceso.
4. Retardo en alcanzar el ritmo normal de producción; debido a la actitud de los trabajadores después del accidente.
5. Cargos legales si el accidente implica daños a terceros.

Por la larga lista de costos es importante atajar los problemas, acerca de emergencias y accidentes de trabajo. Prever emergencias y accidentes de trabajo es beneficiar al trabajador en su puesto de trabajo. Esto se consigue mediante normas fundamentales de seguridad.

El conocer la fuente de riesgos y peligros a que se expone el trabajador en este tipo de industria, durante la formación y procesamiento de espuma de poliuretano flexible; surge el desarrollo de una buena actitud del trabajador hacia la seguridad y los beneficios que esta proporciona.

Los accidentes no son producto inevitable del trabajo o una cuestión de suerte de cada trabajador. Al mantener el equipo de seguridad y protección en buenas condiciones desarrollando una buena actitud de seguridad en los trabajadores puede reducirse efectivamente la frecuencia y severidad de los accidentes en el personal y minimizar el daño al equipo. Beneficiar de esta manera la productividad global de la empresa.

5.1 RIESGOS Y PELIGROS

Los peligros a los que se expone a los trabajadores en las diferentes áreas de trabajo durante la producción de la espuma de poliuretano, son bastante variados. Uno de los mayores riesgos, en la manipulación de algunos ingredientes de la espuma de poliuretano son los vapores: de los catalizadores de amina y máxime los de diisocianato de tolueno 80/20; en las áreas de bodega de materia prima, laboratorio y área de curado de bloque fresco. Para evitar la inhalación, contacto con los ojos y con la piel, como su ingesta. En cuadro 6, se muestra los umbrales de concentración permisibles del mismo.

Cuadro 7

Umbral	Riesgo ambiental presentado por vapores de TDI
0.02 ppm	Límite permitido para vapores de diisocianato de concentración ambiental por 10 minutos por 8 horas de trabajo. Se presenta irritación a los pulmones y tracto respiratorio superior, cuando se toma contacto por inhalación.
0.1 a 1 ppm	Umbral crítico, puesto que se percibe olor; y ya se está en peligro severo ambiental. Esto puede ocasionar severa irritación a los pulmones y tracto respiratorio superior.

No quiere decir que los demás ingredientes sean inocuos. Pero el mayor riesgo con la manipulación del diisocianato y los vapores que este produce, al igual que los vapores del catalizador de amina. Otro compuesto químico que se genera en la reacción exotérmica del diisocianato-agua, es el dióxido de carbono, en la formación de la espuma de poliuretano flexible, pueden presentarse las siguientes emergencias; si la campana de extracción de gases no es eficiente. La gravedad específica del gas es de 1.52 respecto al aire, lo cual lo hace más pesado que el aire, se concentra en lugares cercanos o bajo la superficie; es comúnmente usado para combatir el fuego. El ser humano no puede respirar aire conteniendo 10% de CO₂ (100,000 ppm) sin perder la conciencia. Si la concentración es de 5% de CO₂ (50,000 ppm) puede causar desorientación en un individuo expuesto por 30 minutos. Es un gas inodoro que puede causar convulsiones, coma y fallos respiratorios.

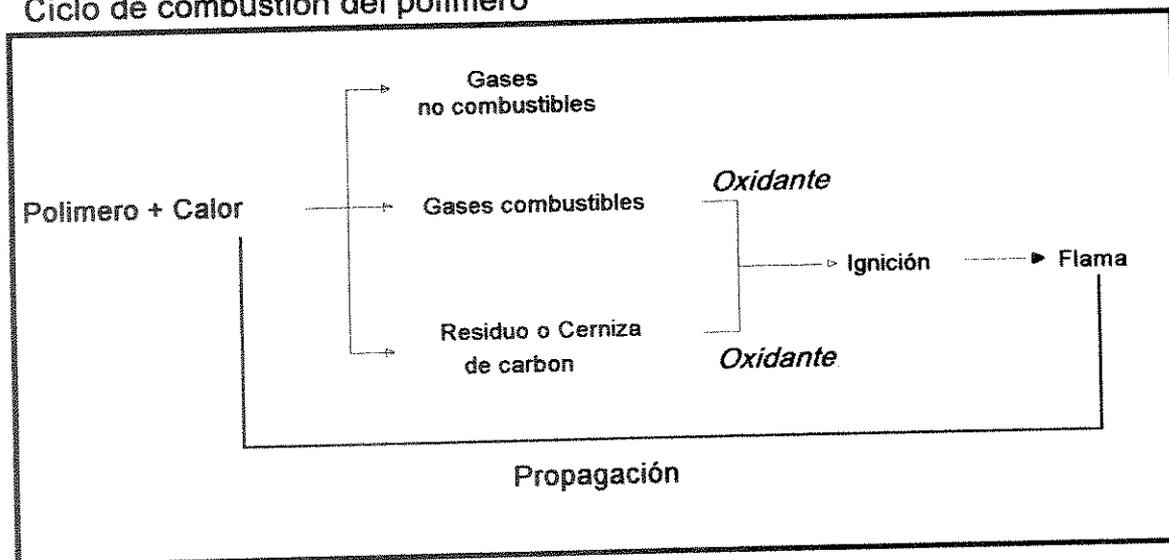
5.1.1 El fuego, otro riesgo mayor

El fuego es el resultado de la combinación de combustible, calor y oxígeno. Con la espuma de poliuretano flexible, sigue un ciclo de combustión del polímero. El primer paso del ciclo de combustión, se necesita una fuente externa de calor, la cual puede iniciarse por diferentes causas:

falta de orden y limpieza (acumulación de desperdicios combustibles), cigarrillos y fósforos, líquidos y gases inflamables, ignición espontánea (reacción química muy exotérmica), trabajos de soldadura, instalaciones eléctricas defectuosas. Que aumente la temperatura del material celular. La velocidad de incremento de la temperatura varía con la densidad, capacidad calórica, conductividad térmica del polímero celular. El segundo paso envuelve una disociación o revertimiento químico, degradación y volitización de productos combustibles y no combustibles, pueden ser gases o líquidos, fragmentos de polímero, residuos carbónicos (cenizas). Los materiales volátiles y gases envueltos se expanden dentro de las áreas adyacentes, donde haya oxidante u oxígeno suficiente. El tercer paso de la combustión es la ignición de gases combustibles.

Si hay suficiente oxígeno, la combustión comienza y el calor de combustión provee la fuente para el cuarto paso. El cuarto paso envuelve la transferencia de calor; el área adyacente de polímero puede ser afectada por la transferencia de calor por conducción o convección o combustibles envueltos por difusión, en casos extremos por radiación de las cenizas la incandescencia. El quinto paso del ciclo es la propagación de la flama.

Ciclo de combustión del polímero



D 12

De este modo se produce la combustión de la espuma de poliuretano, para evitarlo basta con interrumpir uno de los pasos. Es por eso que se usa extintores de fuego o espumas; y poder controlar fuegos pequeños.

Para el combate de incendios existe una gama extensa de extintores, que están clasificados de acuerdo al tipo potencial de fuego. La instalación de éstos es un lugar estratégico para su pronta localización. En caso de emergencia:

- Debe evitarse soldar en el área de laboratorio, puesto que el isocianato de tolueno, TDI, es altamente explosivo. Se recomienda que el taller este fuera de la planta.
- El área de curado de bloque fresco debe tener un sistema de rociado de agua de gran potencia. Una distribución adecuada para que el personal pueda evacuarse fácilmente en caso de fuego.
- En el área de curado prolongado, la instalación de paredes y puertas contrafuego y un sistema de rociado de agua.
- En el área de empaque prevenir la acumulación en exceso de materiales de empaque.
- En general para evitar fuego se necesita una área de trabajo limpia y segura contribuye a la eficiencia del personal, establece una sensación de orgullo y profesionalismo entre los trabajadores.

5.2 RECOMENDACIONES GENERALES

En general cuando se manipulan los ingredientes de la formulación de espuma de poliuretano flexible como: diisocianato de tolueno (TDI), polioli-poliéter, catalizadores de amina y estaño y cloruro de metileno. Se recomienda usar el siguiente equipo protectivo:

- Anteojos protectores (monogafas): debido a los vapores tóxicos, para dar una protección frontal como lateral.
- Mascarillas que llevan incorporados filtros, mascarillas desechables, evitar los contacto de vapores tóxicos.
- Guantes de hule, para evitar contacto con la piel.
- Calzado que sea fácilmente lavable en caso de derrame.
- Estación de lavado de ojos: se utiliza para la limpieza de los ojos en caso de salpicadura de algún líquido o sustancia nociva en los ojos de un trabajador.
- Regadera de emergencia con estación de lavado de ojos. En caso de que algún trabajador le haya caído TDI u otro químico dañino, éste pueda correr hacia la regadera y dejar caer agua de inmediato. Quitarse la ropa. La fuente de la regadera debe ser de agua dulce.

- Ropa adecuada: a los trabajadores se le debe proporcionar la ropa más adecuada para sus labores. Esta no debe tener partes sueltas que puedan provocar atoramiento en algún componente móvil o no proteger al usuario en forma debida. Los overoles son generalmente la ropa más adecuada para el trabajo en la fabricación de una espuma de poliuretano.

5.3 SEGURIDAD PARA EL TRABAJADOR

Se mencionarán algunas actitudes erróneas, que no deben tomarse durante el trabajo:

- Correr riesgos innecesarios.
- Usar herramientas inadecuadas.
- Olvidar medidas de seguridad.
- Falta de seriedad laboral.
- Distracción.

Con lo anterior se ejemplifica, que su no cumplimiento desarrollará una actitud apropiada a la seguridad. Para cada uno de los ejemplos existe reglas y equipos elaborados para que estos riesgos y peligros no sucedan. Cada trabajador es responsable del área de trabajo en mantenerla en orden y limpia. Para la seguridad del trabajador en sus tareas diarias. Para esto se han diseñado: calzado, cascos, overoles, anteojos, guantes y otra gran variedad de accesorios que permite que el trabajador labore más resguardado de peligros. Cuando un accidente ocurre es necesario asistir al herido en la forma más rápida y eficiente. De esto surgen normas y equipos de primeros auxilios. Ya que existe un período crítico, antes que se pueda conseguir ayuda médica, esto hace vital importancia para la víctima; lo que se haga o no en este intervalo de tiempo, puede significar la vida o la muerte.

5.4 SEGURIDAD PARA LA MAQUINARIA E INSTALACIONES

El principal riesgo es por tratarse de maquinas con cierta calibración mecánica, estén mal calibradas. Se sugiere que éstas sean revisadas, al principio de cada día. El riesgo de incendio es potencial, ya si hay incendio potencial por el material celular polimérico; es necesario de un extintor de tipo adecuado; ya que incendios pequeños pueden ser manejados con equipo de extintores adecuados al fuego potencial.

6. HIGIENE INDUSTRIAL

En el manejo de derrames de las materias primas en general, el principal riesgo se presenta con el isocianato de tolueno (TDI).

Para derrames grandes, se utiliza una colcha proteica (que se adquiere en la mayoría de departamentos de incendio), para ahogar de esta manera el riesgo de incendio potencial. Luego si las cantidades son grandes se puede bombear a envases cerrados, que no estén sellados para su posterior eliminación. Derrames menores se absorbe con aserrín, se pasa con una pala a envases adecuados que no estén sellados, se lleva a una área bien ventilada y se trata con una solución neutralizadora, que consiste en una mezcla de 3 a 8% de hidróxido de amonio concentrado (o 5-10% de carbonato de sodio) y agua. Añada 10 partes de neutralizador por parte de diisocianato (TDI) en la mezcla. Déjelo reposar 48 horas para que el CO₂, se desprenda y pueda escapar.

Eliminación:

- Los sólidos también suelen incinerarse o enterrarse.
- Los tambores vacíos deben llenarse de agua, dejarlos reposar por 48 horas, enjuagarse tres veces y para evitar que se vuelvan a usar deben agujerearse o aplastarse.
- Los líquidos con que se lavaron los tambores deben eliminarse.

Limpieza:

- Para descontaminar el suelo hay que usar una solución de amoníaco y agua al 1-2% a la que se añade detergente, dejándola por 10 minutos.
- Los trapeadores y escobas usados hay que eliminarlos.

ANEXO 2

7. DEFICIENCIAS EN LA FORMACIÓN DE ESPUMA

7.1 DEFICIENCIAS EN EL PROCESAMIENTO

Cuadro 8.1

Defecto	Descripción	Recomendaciones
Ebullición	Aparecen grandes burbujas que revientan en la superficie	Revisar la calidad y el caudal de silicona. Revisar la calidad y la salida del catalizador de estaño
Colapso	La espuma sube y luego se cae.	Revisar la calidad y el caudal de silicona. Revisar la calidad y el caudal del catalizador de estaño. Buscar posibles contaminantes en el sistema de la espuma. Revisar calibraciones y formulación.
Burbujas anormales	Pequeñas burbujas moviéndose rápido bajo la superficie de la espuma.	En general salpicar lo menos posible mientras se vierte la mezcla.
Humos	Exceso de TDI en la superficie de la espuma.	Buscar errores en la calibración de componentes de la espuma, revisar especialmente el caudal de agua, del polioli y del TDI.
Socabado	El líquido de los reactivos sigue fluyendo bajo la masa de la espuma que empieza a subir	Aumentar los niveles de catalizador
Cráteres	Rajaduras sobre y bajo la superficie de la espuma.	Aumentar el catalizador de estaño y/o reducir catalizadores de amina si las celdas están abiertas lo suficiente. Revisar la calidad de la silicona.

7.2 DEFICIENCIAS EN LAS PROPIEDADES FISICAS

Cuadro 8.2

Defecto	Descripción	Recomendaciones
Celdas gruesas	La espuma tiene celdas grandes.	Revisar nivel y actividad de la silicona.
Espuma muerta	La espuma tiene baja resiliencia y celdas cerradas.	Reducir catalizador de estaño. Reducir nivel de silicona. Tratar de obtener tamaño más fino de celdas.
Curado lento	Aumento de resistencia del polímero. Demasiado lento. La espuma es demasiado debil o pegajosa para cortar. El bloque de espuma no mantiene sus dimensiones estables.	Aumentar catalizador de amina y/o estaño. Buscar errores en calibración del agua/TDI/estaño.
Prueba de presión con la uña insatisfactoria	La espuma se recupera lentamente cuando se penetra con un objeto afilado	Mejorar flujo de aire de la espuma reduciendo niveles del catalizador de estaño y/o de silicona. Trate de obtener celdas más finas. Mejorar las condiciones de curado.
Friabilidad	La espuma se desmorona y el polímero no posee resistencia.	Buscar errores en la dosificación de estaño/poliol/TDI/agua. Revisar reducción de actividad de estaño.
Chamuscado	Decoloración y pérdida de propiedades físicas en el núcleo de la espuma.	Revisar caudales de TDI/agua/ polioli. Revisar contaminantes. Reducir tamaño del bloque.