



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Química**

**“ANÁLISIS PARA EL USO DEL CICLOPENTANO COMO AGENTE  
EXPANSIVO DE LA ESPUMA DE POLIURETANO EN SUSTITUCIÓN DEL  
REFRIGERANTE HCFC 141-B EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN  
COMERCIAL COMO PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE”**

**Osman Danilo Vargas Pérez**  
**Asesorado por: Ing. Gabriel Chavarría**

**GUATEMALA, FEBRERO DE 2006**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS PARA EL USO DEL CICLOPENTANO COMO AGENTE  
EXPANSIVO DE LA ESPUMA DE POLIURETANO EN SUSTITUCIÓN DEL  
REFRIGERANTE HCFC 141-B EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN  
COMERCIAL COMO PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**OSMAN DANILLO VARGAS PÉREZ  
ASESORADO POR Ing. GABRIEL CHAVARRÍA  
AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**GUATEMALA, FEBRERO DE 2006**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	ING. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
VOCAL I	
VOCAL II	LIC. AMAHÁN SÁNCHEZ ÁLVAREZ
VOCAL III	ING. JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	BR. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ
VOCAL V	BR. ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIA	INGA. MARCIA IVONNE VÉLIZ VARGAS

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. SIDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
EXAMINADOR	ING. FEDERICO GUILLERMO SALAZAR RODRÍGUEZ
EXAMINADOR	ING. ROSA MARÍA GIRÓN RUIZ
EXAMINADOR	ING. JAIME DOMINGO CARRANZA GONZÁLEZ
SECRETARIO	ING. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**“ANÁLISIS PARA EL USO DEL CICLOPENTANO COMO AGENTE  
EXPANSIVO DE LA ESPUMA DE POLIURETANO EN SUSTITUCIÓN DEL  
REFRIGERANTE HCFC 141-B EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN  
COMERCIAL COMO PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE”**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 24 de octubre 2005

Osman Danilo Vargas Pérez





## **AGRADECIMIENTOS**

- A DIOS** Por ser la luz que ha guiado mi camino en toda mi vida.
- A MIS PADRES** Lucrecia y Osman, que con su amor incondicional, lleno de consejos y enseñanzas, me han permitido llegar a esta etapa de mi vida.
- A MIS HERMANAS** Maybelle y Alexa, por apoyarme en cada uno de los momentos en los que he necesitado que estén a mi lado. por compartir cada paso conmigo.
- A MI ESPOSA** Mónica González, mi compañera de vida, que ha estado en todo momento junto a mí, ayudándome a crecer y complementando mi vida.
- A MI FAMILIA** Por demostrarme de mil maneras cuán grande es su apoyo y sobre todo su cariño hacia mí. A cada uno de ustedes gracias por formar parte de mi vida.
- A MIS AMIGOS** Que con su amistad he podido soportar los momentos difíciles y siempre serán parte esencial de mi vida.
- A LAS PERSONAS** Que me han ayudado a conseguir este logro personal de alguna u otro forma, especialmente a Gabriel Chavarría.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
<b>1. GENERALIDADES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO</b>	
1.1 Origen y obtención	1
1.2 Aplicaciones y ventajas de la espuma rígida de poliuretano	4
1.3 Consecuencia del uso del refrigerante 141-b como agente expansivo de la espuma de poliuretano	5
<b>2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS COMPONENTES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO</b>	
2.1 Datos de seguridad y propiedades del poliol	8
2.1.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios	8
2.1.2 Medidas contra incendio	8
2.1.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales	9
2.1.4 Manejo y almacenamiento	10
2.1.5 Propiedades físicas y químicas	10
2.1.6 Estabilidad y reactividad	11

2.2 Datos de seguridad y propiedades del isocianato	
2.2.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios	11
2.2.2 Medidas contra incendio	12
2.2.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales	12
2.2.4 Manejo y almacenamiento	13
2.2.5 Propiedades físicas y químicas	13
2.3 Datos de seguridad y propiedades del ciclopentano	
2.3.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios	14
2.3.2 Medidas contra incendio	14
2.3.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales	15
2.3.4 Manejo y almacenamiento	16
2.3.5 Propiedades físicas y químicas	16

### **3. PRECAUCIONES EN EL USO DEL CICLOPENTANO**

#### **ADAPTADOS A LA PLANTA**

3.1 Principios de seguridad	17
3.1.1 Componentes químicos	17
3.1.2 Dispositivos de protección individual	17
3.2 Clasificación de lugares	19
3.3 Definición de zonas peligrosas	20
3.4 Advertencias generales	21
3.5 Intervenciones en caso de emergencia	23
3.5.1 Emergencia por incendio	23
3.5.2 Emergencia por presencia de expansores inflamables	24
3.5.3 Emergencia por falta de ventilación	24
3.5.4 Emergencia por presencia de vapores inflamables	25

## **4. COMPARACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO CON DIFERENTE AGENTE EXPANSIVO**

4.1 Maquinaria	26
4.1.1 Formación de la espuma de poliuretano	26
4.1.2 Unidad dosificadora	26
4.1.3 Módulo isocianato	26
4.1.3.1 Depósito	27
4.1.3.2 Intercambiador de calor	27
4.1.3.3 Grupo de dosificación	27
4.1.3.4 Central de mando de cabezal	28
4.1.4 Módulo polioliol	28
4.1.4.1 Depósito	29
4.1.4.2 Intercambiador de calor	29
4.1.4.3 Grupo de dosificación	29
4.1.4.4 Unidad de premezclado	30
4.2 Recursos humanos	30
4.3 Condiciones de las pruebas	30
4.4 Procedimiento para definir la mezcla ideal isocianato, polioliol y ciclopentano	31
4.5 Procedimiento para la comparación de la distribución de la densidad de la espuma de poliuretano en equipos de refrigeración comercial	32
4.6 Procedimiento para la comparación del funcionamiento como aislante térmico en equipos de refrigeración comercial	34

<b>5. RESULTADOS</b>	
5.1 Comparación de densidad libre	35
5.2 Comparación de los tiempos de reacción	36
5.3 Comparación de la distribución de la espuma en un equipo de prueba	37
5.4 Comparación del funcionamiento de la espuma en un equipo de prueba	39
<b>6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	41
<b>CONCLUSIONES</b>	XX
<b>RECOMENDACIONES</b>	XXII
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	XXIV

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Partes del equipo de refrigeración	33
2.	Consumo energético de un equipo de refrigeración comercial con HCFC-141b	39
3.	Consumo energético de un equipo de refrigeración comercial con ciclopentano	40

### TABLAS

I	Densidad libre de espuma con HCFC 141-b	35
II	Densidad libre de espuma con ciclopentano	35
III	Tiempos de reacción de la espuma con HCFC 141-b	36
IV	Tiempos de reacción de la espuma con ciclopentano	36
V	Distribución de la espuma con HCFC 141-b en un equipo de prueba	37
VI	Error porcentual	37
VII	Distribución de la espuma con ciclopentano en un equipo de prueba	38
VIII	Error porcentual	38





## LÍSTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Delta$	Delta, cambio, diferencia.
$^{\circ}\text{F}$	Grados de temperatura Fahrenheit
$^{\circ}\text{C}$	Grados de temperatura Celsius
$\rho$	$\rho$ , densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ o $\text{lbm}/\text{pies}^3$ )
$\mu$	$\mu$ , viscosidad del fluido ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ o $\text{lbf}/\text{pies}\cdot\text{s}$ )
%	Porcentaje
g	Gramo
Kg	Kilogramo
$\text{m}^3$	Metro cúbico



## GLOSARIO

<b>Alcohol</b>	Compuesto que tiene grupo hidroxilo OH-unidos a átomos de carbono saturados.
<b>Ciclopentano</b>	Actúa como agente expansivo de la espuma de poliuretano. Es un compuesto cíclico de 5 carbonos.
<b>CFC's</b>	Su nombre es clorofluorocarbono, componente perjudicial de la capa de ozono.
<b>Densidad de la masa</b>	Definida como la masa del fluido, está dada en unidad de volumen. Es medida en kilogramos por metro cúbico (kg/m <sup>3</sup> ) en el S.I. y libras masa por pies cúbicos (lbm/pie <sup>3</sup> ) en U.S.
<b>Densidad core</b>	Es la cantidad de Kilogramos de espuma de poliuretano por metro cúbico.
<b>Error</b>	Diferencia entre el valor transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.
<b>Exactitud</b>	Tolerancia de medida del instrumento, define los límites de error del instrumento en condiciones normales de servicio.

<b>Gravedad específica</b>	Ratio de la densidad de la masa de un fluido por la densidad de la masa igual al volumen de referencia del fluido.
<b>HCFC's</b>	Su nombre es hidroclorofluorocarburo, componente que contribuye al calentamiento global.
<b>Isocianato</b>	Compuesto líquido viscoso de aspecto café oscuro, mezcla de Polimetilen-Polifenil Isocianato.
<b>Laboratorio</b>	Lugar específico donde se realizan pruebas de funcionamiento simulando diferentes ambientes climatológicos.
<b>Poliol</b>	Compuesto líquido viscoso de aspecto ambar, mezcla de polioles a base de polieter, catalizadores amínicos, surfactantes a base de silicón, agua y 1,1 Dicloro-1-1- Fluoretano.
<b>Polímero</b>	Molécula grande constituida por la repetición de unidades pequeñas.

**Presión atmosférica**

Presión ejercida por las partículas de la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. Al nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm. (29.9 pulgadas) de mercurio absoluto ó 14.7 psia (libras por pulgada cuadrada absoluta), estos valores definen la presión atmosférica estándar.

**Refrigerante**

Fluido utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema frigorífico, absorbe calor a bajas temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevadas. Este proceso tiene lugar, generalmente, con cambios de estado del fluido.

**Temperatura de autoignición**

Es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que una sustancia en contacto con el aire, arde espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición. A esta temperatura se alcanza la energía de activación suficiente para que se inicie la reacción de combustión. Este parámetro recibe también el nombre de temperatura o punto de autoencendido, temperatura de ignición espontánea o autógena y hasta puede aparecer solamente como temperatura de ignición.

**Temperatura de ebullición**

Temperatura a la que una sustancia en estado líquido emite moléculas en estado gaseoso a la atmósfera.

<b>Temperatura de inflamación</b>	También se denomina punto de inflamación o "Flash point". Se define como la temperatura mínima a la que una sustancia puede formar mezclas explosivas con el aire. Cuanto menor sea la temperatura de inflamación mayor será el riesgo de incendio.
<b>Tiempo de inicio</b>	Es el tiempo de agitación en el cual se inicia el ascenso de la espuma de poliuretano.
<b>Tiempo de hilo</b>	Es el tiempo en el cual se producen hilos al introducir un objeto (lápiz o lapicero).
<b>Tiempo de ascenso</b>	Es el tiempo en el cual la espuma reaccionante deja de crecer.
<b>Tiempo de tacto libre</b>	Es el tiempo durante el cual no existe adherencia al tacto con los dedos de la mano.

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se analiza el cambio del agente expansivo de la espuma de poliuretano, este agente permite que la espuma de poliuretano crezca alrededor de 35 veces su volumen inicial. La principal razón del cambio es el efecto que produce el actual agente, HCFC-141b, un refrigerante que no daña la capa de ozono directamente, pero contribuye al calentamiento global por el ciclopentano, un agente que no afecta en ningún momento al medio ambiente, pero trabajar con él conlleva muchas precauciones debido a que es componente altamente inflamable.

El análisis comienza desde las propiedades físicas y químicas de los componentes, además de proporcionar datos de seguridad, manejo y almacenamiento, esto con el fin de conocer los diferentes riesgos y formas de manejar los componentes para que no haya ningún incidente.

El cambio del refrigerante HCFC-141b por ciclopentano, cambia la forma de trabajar dentro de una planta, la alta inflamabilidad del componente comprometió a determinar medidas de seguridad, sistemas de alarmas, delimitación de zonas peligrosas y procedimientos de acción ante una inesperada situación de riesgo.

Conocidas las propiedades y medidas de seguridad del ciclopentano, las pruebas se basaron en comparar el comportamiento de los dos tipos de espuma, para la cual se realizaron varias pruebas de comparación. La principal razón es determinar la mezcla ideal de los componentes para llegar a alcanzar los rangos específicos para el aislante de los equipos de refrigeración comercial, la comprobación se basó en los tiempos del transcurso de la reacción y la densidad libre. Determinada la mezcla ideal se procedió a la comparación de la espuma dentro de los equipos determinando la distribución de las densidades y su consumo energético medido en un laboratorio certificado.





## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Demostrar que la sustitución del refrigerante HCFC 141-b por ciclopentano como agente expansivo de la espuma de poliuretano mantiene el aislamiento efectivo en los equipos de Refrigeración comercial, además de no ser perjudicial al medio ambiente.

### **ESPECÍFICOS**

1. Determinar la relación óptima de isocianato, polioli y ciclopentano para obtener las condiciones de aislamiento recomendadas para un equipo de refrigeración comercial.
2. Comparar las propiedades de la espuma entre el agente expansivo HCFC 141-b y ciclopentano.
3. Describir las normas de seguridad necesarias que se deben tomar en cuenta al utilizar como agente expansivo el ciclopentano en la industria de la refrigeración comercial.
4. Comparar la distribución de la densidad de la espuma de poliuretano dentro de un equipo de refrigeración, utilizando los dos tipos de agentes expansivos.
5. Comparar el funcionamiento de dos equipos de refrigeración comercial, el primero utilizando el refrigerante HCFC 141-b y el otro utilizando el ciclopentano.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende demostrar que la utilización de compuestos que no son dañinos a la capa de ozono, puede funcionar de una manera similar o mejor que aquellos que lo dañan, teniendo la ventaja que mediante su uso como aislamiento en la industria de refrigeración, proporciona protección al medio ambiente.

La espuma de poliuretano que en el sistema de refrigeración se utiliza como aislante térmico para el control de las temperaturas, resulta de la reacción entre el isocianato y el poliol a altas presiones. Para que la espuma sea favorable en su uso industrial, cuenta con un agente expansivo que por la alta temperatura que alcanza la reacción, se evapora llenando por completo las celdas, proporcionando una espuma rígida y con un volumen de casi 35 veces de los componentes iniciales así como un medio de aislamiento efectivo en la industria de refrigeración.

Este agente expansivo cuando es utilizado el refrigerante 141-b no daña la capa de ozono, pero ayuda al calentamiento global, por lo que sigue siendo perjudicial a nuestro medio ambiente y al compararse con el ciclopentano que actúa de igual manera como un agente expansivo, que por ser un combustible inocuo no dañará ni la capa de ozono ni acelerará el calentamiento global.

Cualquiera de los dos agentes expansivos que se utilice puede llegar a tener el mismo tipo de densidad libre y densidad cerrada, por lo que el beneficio es la protección de nuestros recursos naturales. Se podrá hacer una comparación de las propiedades físicas y químicas, además de los niveles de exposición dañinos para las personas.

El ciclopentano es un combustible altamente inflamable, por lo cual en la utilización se debe tomar algunas medidas de seguridad para no correr ningún riesgo en la utilización del mismo.

El cambio del agente expansivo también representa cambios en las proporciones de isocianato y poliol que deben utilizarse para mantenerse en los límites de aceptación de la densidad dentro de los equipos de refrigeración, por tanto se creará una comparación de diferentes proporciones o ratio, para encontrar la relación óptima en un sistema de refrigeración.

## **1. GENERALIDADES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO**

### **1.1 Origen y obtención**

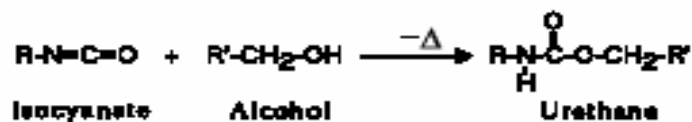
El descubrimiento de los Poliuretanos se remonta al año 1937, aunque fue en los años 50 cuando se desarrollan. Desde entonces, se ha evolucionado de tal forma que hoy en día el poliuretano forma parte de nuestro modo de vida: en los automóviles (volantes, spoilers, alerones, asientos, salpicaderos, etc.) existen multitud de piezas hechas con poliuretano; las suelas del calzado, sobre todo deportivo, también son de poliuretano; muchos muebles se fabrican con sistemas de poliuretano, ayudando así a la conservación de nuestros bosques; en ingeniería médica se utilizan poliuretanos para la fabricación de piezas que se usarán en trasplantes y ortopedias; también en la ingeniería aeroespacial y, por supuesto en la construcción y en la industria de frío (tuberías, cámaras frigoríficas, neveras, criogénica, etc.) y en muchos otros sectores.

Desde el punto de vista ecológico, y desde que tuvieron lugar los acuerdos del Protocolo de Montreal de 1991, los sistemas de poliuretano cumplen la normativa y exigencias respecto a la utilización de productos clorados que atacan la capa de ozono. De esta forma, y desde 1995, los sistemas de poliuretano son productos totalmente permitidos.

Los sistemas de poliuretano son muy versátiles y permiten una gama amplia de aplicaciones. Curiosamente proceden básicamente de dos productos: el petróleo y el azúcar, para obtener, después de un proceso químico de transformación, dos componentes básicos, llamados genéricamente POLIOL e ISOCIANATO.

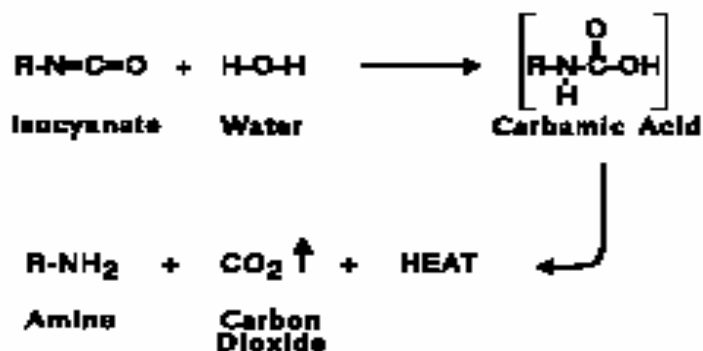
La mezcla en las condiciones adecuadas de estos dos componentes nos proporcionará, según el tipo de uno de ellos, una espuma para aislamiento, rígida, o bien una espuma flexible, un elastómero, una espuma semirígida, etc.

La mezcla de los dos componentes POLIOL e ISOCIANATO, que son líquidos a temperatura ambiente y que habitualmente se efectúa con una maquinaria específica, produce una reacción química exotérmica. Esta reacción química se caracteriza por la formación de enlaces entre el poliol y el isocianato de la siguiente forma:



Este es un proceso exotérmico por lo que el calor de reacción ha sido reportado ser aproximadamente 4 Kcal/mol de uretano. Dependiendo de la escogencia de los materiales, los grupos R y R' también contienen isocianato o grupos reactivos de isocianato respectivamente.

Para hacer espuma, el polímero de poliuretano debe expandirse o crecer por la introducción de burbujas y de gas. Una conveniente fuente de gas es el dióxido de carbono que se produce en la reacción de los grupos isocianato con el agua.



El producto intermedio de esta reacción es un ácido de carbono térmicamente inestable, que espontáneamente se descompone en una amina y dióxido de carbono. La difusión del dióxido de carbono dentro de las burbujas creadas previamente en la reacción causa la expansión para hacer la espuma.

El Poliuretano se puede aplicar en cualquier tipo de superficie tanto horizontal, vertical o inclinada y con cualquier tipo de forma. Entre sus propiedades técnicas cabe destacar:

**-Elevado poder termoaislante**

La eliminación total de puentes térmicos evitan las fugas, sin juntas, aparte de poseer el más bajo nivel de conductividad térmica de los materiales aislantes conocidos.

**-Impermeabilidad al agua**

Al ser una espuma plástica rígida, sin juntas en toda la superficie tratada.

**-Autoadherencia**

Se adhiere a todo tipo de material usado en la construcción.

**-Ligereza de peso**

Por su baja densidad y elevado poder aislante se consigue una relación peso/aislamiento más baja que con cualquier otro tipo de material.

**-Rapidez de aplicación**

Por su aplicación a pistola, en forma de pintura, se obtienen rendimientos tales que en ningún caso supone la interrupción del ritmo normal de una obra o construcción.

**-Duración indefinida**

Su gran resistencia al envejecimiento, lo convierten en un material extraordinariamente perdurable en el tiempo.

## **1.2 Aplicaciones y ventajas de la espuma rígida de poliuretano**

El proceso de aplicación de la espuma de poliuretano por aspersión es uno de los más simples y completos en el mercado de aislamiento debido a su auto adherencia a todo tipo de superficies, las cuales solo deben estar limpias, ausencia de humedad y a una temperatura no inferior a 10°C. Esta auto adherencia y el hecho de que el polímero se forma en el momento y en el sitio de la aplicación hace que se pueda aplicar sobre todo tipo de formas (planas, esféricas, curvas). Tanto por el lado exterior como por el interior.

Una vez aplicada la espuma, se reducen considerablemente los fenómenos de expansión y de contracción de las superficies por cambios en la temperatura ambiente y la humedad reduciendo considerablemente las cargas por estos conceptos y aumentando la resistencia de los materiales de construcción.

El aumento en la resistencia estructural de las superficies sobre las que se aplican es tan notorio que se pueden reducir los calibres de los materiales de construcción cuando estos sean aislados con espuma de poliuretano, al contrario de estructuras que no se aíslan o que se aíslan con otros materiales, los cuales inclusive debilitan las estructuras por los múltiples puntos de fijación que requieren y las perforaciones correspondientes.

La inercia química del polímero de poliuretano una vez formado, hace que sea el aislante ideal ya que no solo es el aislante de mas baja conductividad térmica sino que además es inerte ala acción de casi cualquier compuesto químico, tanto en la fase líquida como en la fase vapor. Adicionalmente al carecer de valor nutricional, no es comestible y por lo tanto no esta sujeto a la acción de roedores y plagas.



### **1.3 Consecuencia del uso del refrigerante 141-b como agente expansivo de la espuma de poliuretano**

Los clorofluorocarbonos, CFC que se encuentran en la atmósfera son el producto de las emisiones de las bombas de aerosoles, los refrigerantes, la fabricación de espuma de plástico y los solventes. Se prevé que el cambio Climático ocasionará una evaluación adicional del nivel del mar de unos 20 cm. en el año 2030. Si no se adoptan medidas para evitar esta situación se estima que al año 2100 se producirá una elevación de unos 65 cm.

La elevación del nivel del mar entrañaría una amenaza para las zonas costeras bajas y las islas de escasa superficie. La región costera no protegida, densamente poblada y económicamente productiva de los países con recursos financieros y tecnológicos insuficientes para afrontar esa elevación serían los más vulnerables y podría poner en peligro a millones de personas y sumergir millones de kilómetros cuadrados de tierra. Los caudales de los estuarios, los ríos costeros y los sistemas de regadío de las tierras bajas se verían afectados y las marismas de marea y los bosques de manglares experimentarían los efectos de la erosión y el aumento de la salinidad.

El Cambio Climático alterará probablemente los regímenes locales de precipitación y evaporización, así como tendería a reducir la acumulación de la nieve en las zonas montañosas y en otras regiones frías. Es probable que los recursos hídricos se hagan aún más vulnerables al reducir las precipitaciones, las reservas de agua dulce almacenada, principalmente en la capa freática, experimentarían una constante merma provocando sequías e inundaciones. La reducción del suministro de agua entrañaría mayores presiones para la población, la agricultura y el medio ambiente. La lixiviación y la absorción de agua salada en la reservas de agua freática imposibilitaría la utilización de las capas freáticas para usos domésticos y agrícolas.

El impacto previsto del Cambio Climático exarcebará probablemente el hambre y la pobreza en todo el mundo. Los pobres sufrirán más porque tienen menos posibilidades de hacer frente al Cambio Climático, entre estos, los más vulnerables serán las mujeres y los niños. Todo esto puede generar un aumento de las migraciones en masa.

Entre las repercusiones en la salud del Cambio Climático, probablemente habrá que incluir un aumento del estrés debido al calor y de ciertas enfermedades respiratorias, alérgicas y transmisibles. Las sequías, las inundaciones y la desorganización social y económica tendrán efectos indirectos sobre la salud.

El sistema climático es un sistema complejo. Viene regulado no sólo por lo que sucede en la atmósfera, sino también en los océanos, la criósfera (glaciares continentales), la geósfera (la superficie sólida de la Tierra) y la biosfera (los organismos que viven en los océanos y la Tierra.).

La radiación solar es la única fuente de energía importante que impulsa el sistema climático. Como el aire deja pasar la radiación solar entrante de onda corta, dicha radiación calienta la superficie de la Tierra, pero no ejerce en la atmósfera un efecto térmico directo significativo. A continuación, la superficie emite radiaciones de onda larga, los cuales, debido a que pueden ser absorbidas por ciertos gases, calientan la atmósfera.

El grado de calentamiento resultante de la radiación solar depende en parte de la naturaleza de la superficie de la Tierra. Los océanos influyen de manera apreciable en el clima actual, así como el hielo refleja al espacio una parte apreciable de la energía solar que entra a la Tierra.

El Cambio Climático afectará muy adversamente a la agricultura, reduciendo las áreas de cultivo por la inundación de tierra cultivable (por la elevación del nivel del mar), por la salinización de la capa freática costera, la amplificación de los fenómenos meteorológicos extremos, tales como tormentas y períodos de calor, y por la reducción de la humedad del suelo. El clima y las zonas agrícolas tenderían a desplazarse hacia los polos. Mientras que para algunas especies el aumento de las temperaturas resultaría benéfico, para otras sería contraproducente.

Se deben reducir o prohibir las actividades potencialmente peligrosas incluso antes de probarse que causan perjuicios graves (principio de precaución). El principio de precaución estipula que las actividades que amenazan con causar daños graves e irreparables deben restringirse o incluso prohibirse antes de llegar a una absoluta unanimidad científica acerca de estos impactos.

## **2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS COMPONENTES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO**

### **2.1 Datos de seguridad y propiedades del poliol**

#### **2.1.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios**

##### **Contacto con los ojos**

Lave con una corriente de agua inmediata y continuamente durante 15 minutos. Consultar al personal médico.

##### **Contacto con la piel**

Quite la ropa contaminada. Lave con una corriente de agua o bajo la ducha. Limpie los residuos con agua y jabón.

##### **Ingestión**

Si se ingirió, consiga atención médica inmediatamente. No provoque el vómito.

##### **Inhalación**

Traslade al intoxicado al aire libre. Si la persona no respira practique respiración artificial. Si respira con dificultad, personal calificado debe de suministrar oxígeno.

#### **2.1.2 Medidas contra incendio**

##### **Propiedades de inflamación**

Temperatura de inflamación	>100°C
Temperatura de autoignición	550°C
Límites de Flamabilidad	
Inferior	7.5% vol.
Superior	16.0% vol.

### **Medios de extinción**

Niebla de agua atomizada. Dióxido de carbono. Polvo Químico. Espumas resistentes al calor.

### **Otra información sobre flamabilidad**

Los residuos se pueden quemar en situaciones de incendio. Los vapores son más pesados que el aire y pueden dispersarse a grandes distancias y acumularse en áreas bajas. Los derrames de estos líquidos orgánicos sobre materiales de aislamiento fibrosos pueden conducir a disminuir las temperaturas de autoignición, resultando posiblemente en la combustión espontánea.

### **Equipo de protección contra incendio**

Utilice un equipo de respiración autónomo de presión positiva y ropa protectora contra incendios.

## **2.1.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales**

### **Protección personal**

Evacue el área. Los derrames pueden dar lugar a superficies muy resbaladizas.

### **Protección del medio ambiente**

Contenga el derrame en un dique para evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, traslade posteriormente a recipientes cerrados.

### **Procedimientos de limpieza**

Los derrames deben ser contenidos y cubiertos con grandes cantidades de arena, tierra o cualquier otro material absorbente que se encuentre disponible, el que posteriormente se barrerá vigorosamente para ayudar a la absorción.

La mezcla puede recogerse en tambores y retirar para su eliminación. Lave los residuos del área con agua y jabón, y enjuague. El agua contaminada deberá retenerse y no permitir que fluya hacia adentro del suelo o hacia aguas superficiales.

#### **2.1.4 Manejo y almacenamiento**

##### **Manejo**

Ya que los polioles se manejan junto con los diisocianatos, es esencial que se diferencien adecuadamente ambos productos con el fin de evitar una mezcla indeseada que resulte la polimerización fuera de control. NO coma, beba o fume en el área de trabajo.

##### **Almacenamiento**

Mantenga los recipientes perfectamente cerrados cuando no estén en uso, el producto es higroscópico.

##### **Temperatura de almacenamiento y caducidad**

La temperatura de almacenamiento recomendada es de 10-25°C. Consérvese en lugar fresco y seco. El producto tiene una caducidad de tres meses a granel y tambores almacenados a la temperatura recomendada.

#### **2.1.5 Propiedades físicas y químicas**

Los valores descritos son característicos y pueden variar ligeramente de producto a producto:

Apariencia/Estado físico	Líquido viscoso
Color	Amarillo claro
Densidad	1.09 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Temperatura de ebullición	32°C
Temperatura de inflamación	>100°C
Viscosidad (μ)	450 cPs (25°C)

## **2.1.6 Estabilidad y reactividad**

### **Condiciones que deben evitarse**

Evite las llamas directas, arcos de soldadura u otras fuentes de altas temperaturas que induzcan la descomposición térmica.

### **Estabilidad química**

El producto es estable pero higroscópico.

### **Incompatibilidad con otros materiales**

Ácidos, agentes oxidantes, álcalis cáusticos, metales alcalinos y alcalinotérreos, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones.

## **2.2 Datos de seguridad y propiedades del isocianato**

### **2.2.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios**

#### **Contacto con los ojos**

Enjuagar con agua abundante por varios minutos, quitarse los lentes de contacto y proporcionar asistencia médica.

#### **Contacto con la piel**

Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.

#### **Ingestión**

Enjuagar la boca, dar a beber abundante agua. No provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

#### **Inhalación**

Aire limpio, dar respiración artificial si no respira. Se la respiración se dificulta proveer oxígeno con personal calificado. Proporcionar asistencia médica.

## **2.2.2 Medidas contra incendio**

### **Propiedades de inflamación**

Temperatura de inflamación	-7°C
Temperatura de autoignición	535°C
Límites de Flamabilidad	
Inferior	2.6% vol.
Superior	5.3% vol.

### **Medios de extinción**

Espuma, arena seca, polvo, dióxido de carbono. No utilizar agentes hídricos.

### **Otra información sobre flamabilidad**

Los vapores son más densos que el aire y pueden extenderse a grandes distancias y acumularse en áreas bajas, posible ignición en puntos distantes.

### **Equipo de protección contra incendio**

Utilice un equipo de respiración autónomo de presión positiva y ropa protectora contra incendios.

## **2.2.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales**

### **Protección personal**

Evacue el área. Los derrames pueden dar lugar a superficies muy resbaladizas.

### **Protección del medio ambiente**

Contenga el derrame en un dique para evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, traslade posteriormente a recipientes cerrados.



## **Procedimientos de limpieza**

Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. No verterlo al alcantarillado.

## **2.2.4 Manejo y almacenamiento**

### **Manejo**

No coma, beba o fume en el área de trabajo.

### **Almacenamiento**

Mantenga los recipientes perfectamente cerrados cuando no estén en uso. El almacenamiento debe de ser a prueba de incendio.

### **Temperatura de almacenamiento y caducidad**

La temperatura de almacenamiento recomendada es de 10-25°C. Consérvese en lugar fresco y seco.

## **2.2.5 Propiedades físicas y químicas**

Los valores descritos son característicos y pueden variar ligeramente de producto a producto:

Apariencia/Estado físico	Líquido viscoso
Color	Incoloro
Densidad	0.96 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Temperatura de ebullición	39°C
Temperatura de inflamación	-7°C

## 2.3 Datos de seguridad y propiedades del ciclopentano

### 2.3.1 Procedimiento de emergencia y primeros auxilios

#### Contacto con los ojos

Enjuagar con agua abundante por varios minutos, quitarse los lentes de contacto y proporcionar asistencia médica.

#### Contacto con la piel

Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.

#### Ingestión

Enjuagar la boca, dar de beber una papilla de carbón activo y agua. No provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

#### Inhalación

Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

### 2.3.2 Medidas contra incendio

#### Propiedades de inflamación

Temperatura de inflamación	-37°C
Temperatura de autoignición	361°C
Límites de Flamabilidad	
Inferior	1.1% vol.
Superior	8.7% vol.

#### Medios de extinción

Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.

### **Otra información sobre flamabilidad**

Los vapores son más densos que el aire y pueden extenderse a grandes distancias y acumularse en áreas bajas, posible ignición en puntos distantes. Como resultado del flujo o agitación se pueden generar cargas electrostáticas.

### **Equipo de protección contra incendio**

Utilice un equipo de respiración autónomo de presión positiva y ropa protectora contra incendios.

### **2.3.3 Medidas contra fugas o derrames accidentales**

#### **Protección personal**

Evacue el área. Los derrames pueden dar lugar a superficies muy resbaladizas.

#### **Protección del medio ambiente**

Contenga el derrame en un dique para evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, traslade posteriormente a recipientes cerrados.

#### **Procedimientos de limpieza**

Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. No verterlo al alcantarillado.

### **2.3.4 Manejo y almacenamiento**

#### **Manejo**

No coma, beba o fume en el área de trabajo.

#### **Almacenamiento**

Mantenga los recipientes perfectamente cerrados cuando no estén en uso. El almacenamiento debe de ser a prueba de incendio.

#### **Temperatura de almacenamiento y caducidad**

La temperatura de almacenamiento recomendada es de 10-25°C. Consérvese en lugar fresco y seco.

### **2.3.5 Propiedades físicas y químicas**

Los valores descritos son característicos y pueden variar ligeramente de producto a producto:

Apariencia/Estado físico	Líquido poco viscoso
Color	Incoloro
Densidad	0.8 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Temperatura de ebullición	49°C
Temperatura de inflamación	-37°C

### **3. PRECAUCIONES EN EL USO DEL CICLOPENTANO ADAPTADOS A LA PLANTA**

#### **3.1 Principios de seguridad**

##### **3.1.1 Componentes químicos**

El polioliol y el isocianato son dos componentes químicos básicos del proceso de espumadera. Los dos líquidos se deben almacenar, trasegar y transportar según las normas para la manipulación de productos químicos. Para ambos, es obligatorio consultar las fichas de seguridad suministradas por el fabricante. El polioliol no es nocivo, pero se puede aditivar con sustancias clasificadas. El isocianato normalmente se clasifica como nocivo. Es obligatorio tomar las medidas prescritas por las fichas de seguridad con el objeto de prevenir el contacto, la ingestión e inhalación. Está prohibido abandonar estos componentes al ambiente. El ciclopentano es un líquido inflamable cuyos vapores mezclados con el aire presentan características de detonabilidad.

##### **3.1.2 Dispositivos de protección personal**

- Para el transporte y manipulación de los componentes químicos, en relación a la peligrosidad, como también durante las operaciones de uso y mantenimiento de la máquina, es indispensable usar gafas de protección, guantes impermeables de goma, casco y prendas antielectrostáticas que cubran la piel de manera total y calzado antiaccidente y antichispa, con suela de goma.
- En caso de contacto con los componentes, hay que lavarse inmediatamente con agua. Tener siempre a mano un dispositivo especial para lavar los ojos o, de todas formas, surtidores de agua aptos para esta finalidad.

- Los operadores, los encargados de mantenimiento y todo el personal encargado de operar y transitar cerca de la máquina, no tienen que llevar ropas con mangas anchas, ni lazos o cinturones que pueden causar peligro. En caso de cabellos largos hay que recogerlos con un gorro para que no sean fuentes de peligro.
- Particular atención deberá prestar el personal portador de marcapaso solamente al trabajar con máquinas provistas de junta magnética.
- En la entrada del ambiente deberá estar siempre disponibles al menos dos pares de guantes para sustancias químicas y dos pares de anteojos de seguridad. Cualquier persona que entre en el ambiente deberá llevar puestos estos dispositivos de protección.
- El área destinada a la actividad de los operadores, además de estar despejados de objetos extraños, tendrá que tener un suelo antirresbaladizo. La alternativa puede ser el uso de alfombras de material de agarre.
- El poliol derramado en el piso es muy resbaladizo. Prestar atención cuando se camina por la superficie mojadas para esta sustancia.
- La máscara de protección, el calzado antiaccidente y antichispa y los guantes impermeables de goma son aditamentos que deben permanecer siempre en el área.

Las instalaciones en las que se trabajan o depositan sustancias inflamables tienen que ser proyectadas, utilizadas y mantenidas de manera tal que reduzcan al mínimo sus emisiones y las consiguientes extensiones de los lugares peligrosos, tanto el funcionamiento normal como el anormal, con referencia a la frecuencia, duración y cantidad de emisiones.

En las situaciones de emergencia hay que prever la posibilidad de interrumpir la alimentación de la instalación eléctrica no adecuada para trabajar en un ambiente peligroso, de parar la instalación, de interceptar los equipos de proceso, de contener las salidas y accionar un sistema de ventilación adicional de emergencia.

En los casos que haya una posibilidad de ambiente explosivo hay que efectuar las siguientes intervenciones:

- Excluir la posibilidad de que el ambiente explosivo se encuentre cerca de una fuente de incendio, o bien
- Eliminar la fuente de encendido.

### **3.2 Clasificación de lugares**

La clasificación de los lugares constituye un método para analizar y clasificar el ambiente donde se pueden formar ambientes explosivos, a fin de facilitar la selección correcta y la instalación de las construcciones que se emplearán con seguridad en esos lugares, teniendo en cuenta los grupos y las clases de temperatura de los gases.

En la mayoría de las situaciones prácticas en que se usan sustancias inflamables, es difícil asegurar que no pueda haber nunca un ambiente explosivo. Es también difícil asegurar que una construcción no sea nunca una fuente de incendio. Por eso, en situaciones en que haya una alta probabilidad de ambiente explosivo, se utilizan construcciones que tienen una baja probabilidad de ser fuente de encendido. En cambio, donde la probabilidad de que haya un ambiente explosivo es reducida, se pueden emplear construcciones realizadas de acuerdo a los criterios menos severos.

La clasificación de lugares peligrosos tiene que ser ejecutada por personas que conocen las propiedades de las sustancias inflamables, del proceso y de los equipos correspondientes, consultando a los técnicos de seguridad, de la instalación eléctrica y otros especialistas.

### **3.3 Definición de zonas peligrosas**

#### **Zona 0**

Lugar donde se encuentra presente continuamente o durante largos períodos un ambiente explosivo a causa de la presencia de gases (más de 100 horas/año).

#### **Zona 1**

Lugar donde es posible que se encuentre presente durante el funcionamiento normal de ambiente explosivo por la presencia de gases (entre 10 y 100 horas/año).

#### **Zona 2**

Lugar donde no es posible que se encuentre presente un ambiente explosivo a causa de la presencia de los gases durante el funcionamiento normal, o, si se produce, es posible que se encuentre presente poco frecuentemente o durante un breve período (menos de 10 horas/año).

La probabilidad de presencia en un ambiente explosivo, por tanto, el tipo de zona depende principalmente del grado de emisión y de la ventilación. Los elementos fundamentales para la determinación del tipo de zona peligrosa son la identificación de fuentes de emisión y el grado de emisión.

Dado que un ambiente explosivo existe, si se encuentra presente en un gas o un vapor inflamables mezclados con aire, hay que establecer si en lugar considerado pueden encontrarse presentes dichas sustancias inflamables. Por lo general, los gases y los vapores están contenidos dentro de equipos de proceso que pueden ser de estanqueidad total o no. Es necesario reconocer donde puede encontrarse el ambiente explosivo, dentro de la instalación o fuera de la misma.



Cada parte de la instalación tiene que ser considerada como una potencial fuente de emisión. Si la parte no contiene sustancias inflamables, desde luego, no originará en su exterior un lugar peligroso. Lo mismo puede decir de la parte que contiene sustancias inflamables, pero no puede emitirlas a la atmósfera.

Una vez establecido que una parte puede emitir sustancias inflamables a la atmósfera, es necesario, ante todo, determinar el grado de emisión, de acuerdo con las definiciones, estableciendo la posible duración de dicha emisión. En el desarrollo de la clasificación de los lugares hay que considerar como fuentes de emisión también las partes de los sistemas de procesos cerradas que pueden ser abiertas. Una vez establecido el grado de emisión, hay que determinar el causal y los demás factores que pueden influenciar el tipo y la extensión de la zona.

### **3.4 Advertencias generales**

- La zona de trabajo tendrá que tener adecuados sistemas de ventilación y aspiración de humos. Estos tendrán que ser activados por lo menos diez minutos antes del inicio del trabajo. La purga de las válvulas de descarga en los depósitos, tendrá que ser transportada al exterior.
- La conexión de la máquina tendrá que ser prevista siempre con conexión a tierra para descargar corrientes de cortocircuito y tensiones electroestáticas.
- Al final de trabajo hay que eliminar los residuos de poliuretano. La máquina y el lugar de trabajo tendrán que ser mantenidos perfectamente limpios. Los residuos de suciedad hay que llevarlos lejos de la zona de trabajo.

- Los desechos tóxicos, como los resultados de elaboración y lubricantes como componentes químicos inutilizados, disolventes y despegantes tendrán que ser recogidos en contenedores especiales etiquetados y eliminados.
- Recordar que está absolutamente prohibido descargar compuestos químicos, lubricantes y despegantes en las tuberías de desagüe y en los canalones.
- Al manipular poliol e isocianato tener mucho cuidado a fin de que los mismos no queden en contacto entre ellos o con agua porque darían comienzo a una reacción exotérmica.
- Queda terminantemente prohibido depositar material combustible cerca de los cuadros eléctricos.
- Los cuadros eléctricos de mando de las instalaciones tendrán que estar siempre cerrados con llave y el acceso de los mismos tendrá que estar permitido solamente al personal instruido específicamente.
- Está terminantemente prohibido intervenir la máquina si antes no se ha completamente parado la misma. Solo después de descargar las presiones residuales y de quitar la alimentación eléctrica, los mecánicos y los obreros podrán cumplir intervenciones de mantenimiento o reparación.
- No desactivar los dispositivos de seguridad ni eludir las señalizaciones, las alarmas y las precauciones tanto que se comuniquen automáticamente o mediante las placas que se encuentran en la instalación.
- Al finalizar el trabajo, desconectar el seccionador eléctrico del cuadro de mando, desconectar la línea de alimentación de aire y despresurizar los depósitos.

### **3.5 Intervenciones en caso de emergencia**

#### **3.5.1 Emergencia por incendio**

- Nunca usar agua para la extinción de posibles incendios; el agua sirve principalmente para enfriar y puede ser utilizada solamente después de quitar la corriente; usar solamente extintores de polvo o de anhídrido carbónico. Los extintores de espuma se pueden usar sólo después de quitar corriente.
- Desconectar la alimentación eléctrica y neumática del ambiente.
- Avisar a los bomberos.
- Contar con medios de extinción y máscara antigas.
- Contar con medios de protección personal.
- Contar con medios adecuados para abrir las puertas o romper las ventanas.
- Desconectar la alimentación de la ventilación.
- Mantener lejos al personal no encargado de la intervención.
- Circunscribir y apagar el incendio.
- Abrir las puertas de entrada desde afuera para los bomberos.
- En caso de contacto con los componentes de utilización, lavarse inmediatamente con agua. Para ello, colocar en los puntos cercanos de la máquina, dispositivos especiales para lavar los ojos, a falta de dichos dispositivos es fundamental, de todas formas, tener a la disposición surtidores de agua aptos para esta finalidad.
- No restaurar las condiciones de emergencia señalizadas por la máquina sin controlar la causa que las ha provocado. Antes de efectuar la operación de restauración y antes de reanudar la actividad, el problema tiene que haber sido resuelto y eliminado.

### **3.5.2 Emergencia por presencia de expansores inflamables**

- En caso de intervenciones de emergencia, además de los extintores, los operadores tendrán que estar equipados con herramientas adecuadas a la aspiración de los vapores del box o contenedor y zona circundante y de contenedores especiales para recoger el líquido derramado. Todas las herramientas deben de ser de tipo antichispa.
- En caso de pérdida de líquidos o vapores de ciclopentano, es necesario interrumpir el suministro, sanear la zona correspondiente con corriente de aire; recoger los líquidos en contenedores de plástico antiestáticos, que no reaccionan químicamente, transportar y depositar los contenedores en un lugar abierto y ventilado. Secar la zona mojada evitando acumular los trapos o el papel en contenedores cerrados y/o vigilados en el interior.

### **3.5.3 Emergencia por falta de ventilación**

- Proveer medios de protección individual y prendas antielectrostáticas.
- Conectar el ventilador auxiliar.
- Inspeccionar el interior a través de la ventana.
- Desconectar los equipos presentes dentro del ambiente.
- Procurarse un detector de vapores portátil.
- Entrando en el ambiente dejando abiertas las puertas.
- Inspeccionar visualmente todos los equipos que contienen líquidos inflamables.
- Sino se ha derramado ningún líquido, proceder a la reparación de la ventilación.
- Comprobar el restablecimiento de la ventilación normal y auxiliar.
- Comprobar el funcionamiento de los sensores por medio de la especial bombona de prueba.

### **3.5.4 Emergencia por presencia de vapores inflamables**

- Desconectar la instalación.
- Encender la ventilación auxiliar.
- Proveer medios de protección individual y prendas antielectrostáticas.
- Efectuar una inspección visual del ambiente a través de una ventana.
- Procurarse un detector de vapores portátil.
- Avisar a los bomberos.
- Abrir las puertas y mantenerlas abiertas.
- Comprobar el porcentaje de los vapores.
- Tener a la mano trapos absorbentes y agua enjabonada para el lavado.
- Entrar en el ambiente solo si se ha saneado con corriente de aire o sino dotarse con ventilación de emergencia.
- Examinar las causas de la pérdida.
- Determinar que válvulas cerrar para limitar la pérdida.
- Cerrar las válvulas.
- Limpiar el material derramado, colocando el fluido y los trapos en bolsas especiales para líquidos inflamables.
- Si el derrame es considerable, vaciar los tanques de recolección en contenedores antichispa destapados. No hay que acumularlos, sino llevarlos enseguida afuera.
- Reparar el contenedor que ha provocado el derrame.
- Si es posible, inertizar con nitrógeno.
- Comprobar que la zona haya sido saneada de los vapores inflamables.
- Comprobar el funcionamiento de la ventilación y de los sensores.
- Abrir las válvulas manuales de paso.
- Salir del ambiente.
- Volver a cerrar las puertas.
- Ventilar por al menos diez minutos.
- Sanear con corriente de aire la parte de circuito reparada.

## **4. COMPARACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO CON DIFERENTE AGENTE EXPANSIVO**

### **4.1 Maquinaria**

#### **4.1.1 Formación de la espuma de poliuretano**

El poliuretano es un polímero derivado de la mezcla de isocianatos, polioles y de algunos aditivos. La reacción se verifica mezclando Polioliol (añadiendo un aditivo que actúa como agente expansivo) e Isocianato en un especial cabezal de mezclado. Después de la mezcla, los componentes son colados dentro de una estructura que hay que llenar con espuma. Reaccionando forman espuma y polimerizan. La reacción es irreversible y las celdas cerradas no liberan más vapores.

#### **4.1.2 Unidad dosificadora**

La unidad dosificadora está compuesta por dos partes que dosifican respectivamente polioliol e isocianato. Cada una de las partes comprende un depósito de acumulación y una bomba dosificadora que dosifica el componente hacia el cabezal de mezclado, donde puede ser colado o reciclado hacia el depósito.

#### **4.1.3 Módulo isocianato**

Está formado por un bastidor en perfiles de acero con sección en C que sostiene el depósito del isocianato, el grupo de dosificación y la central hidráulica para el mando del cabezal.

#### **4.1.3.1 Depósito**

El tanque es certificado para isocianato y ensayado conforme con las normativas italianas ISPEL. En el depósito están montados los siguientes accesorios:

- Circuito de presurización
- Válvula neumática en la tubería de carga

#### **4.1.3.2 Intercambiador de calor**

Para llevar el componente a la temperatura justa se dispone de un intercambiador de calor de especial fabricación y una camisa llena de agua alrededor del depósito.

El intercambiador de calor está formado por un tubo de aluminio previsto de aletas interior y exteriormente, insertado en un tubo, también de aluminio y cerrado a los extremos con dos bridas conectadas a través de tirantes. En la parte más interior del tubo provisto de aletas circula el agua. Entre el tubo exterior y las aletas del tubo interior circula el componente cuya temperatura se mantiene al valor establecido mediante el termóstato.

#### **4.1.3.3 Grupo de dosificación**

El isocianato se envía al depósito presurizado hacia la bomba dosificadora de pistones axiales con caudal regulable. Las estanqueidades de la bomba están lubricadas por medio de un circuito de lavado alimentando por la especial bombita de flujo. En la aspiración de la bomba está montado un filtro autolimpiante.

La bomba envía el fluido a la tubería que alimenta los cabezales de espumación. El caudal se determina con un medidor volumétrico. Cuando no se efectúa la espumación, el fluido es reciclado hacia el depósito mediante una especial válvula dotada de doble estanqueidad con líquido de interceptación.

#### **4.1.3.4 Central de mando de cabezal**

La central hidráulica está constituida por un tanque, una bomba mandada por un motor eléctrico que envía en presión el aceite en el circuito. En la tubería de retorno está montado un intercambiador y un filtro con malla de microfibras a base inorgánica con soporte acrílico, que tiene función de retener las micropartículas que circulan en el fluido. La presión puede ser regulada hasta 200 bar por medio de una especial válvula de by-pass.

El bastidor está dotado de bridas para la conexión de las tuberías de envío y retorno del isocianato, aceite, agua y aire. Las válvulas de reciclado están colocadas en las tuberías afuera del bastidor.

#### **4.1.4 Módulo polioliol**

Está constituido por un bastidor en perfiles de acero con sección en C que sostiene el depósito del polioliol, el grupo de dosificación y la unidad de premezclado con la relativa central hidráulica de mando.



#### **4.1.4.1 Depósito**

El tanque es certificado para poliol y ciclopentano y ensayado conforme con las normativas italianas ISPEL. Los accesorios disponibles son:

- Nivel de supermáx. nivel de seguridad
- Válvula neumática en la tubería de carga
- Agitador con junta magnética
- Circuito de presurización a alimentar con nitrógeno.

#### **4.1.4.2 Intercambiador de calor**

Para llevar el componente a la temperatura justa se dispone de un intercambiador de calor de fabricación análoga a la del módulo de isocianato y una camisa llena de agua alrededor del depósito.

#### **4.1.4.3 Grupo de dosificación**

La mezcla poliol-ciclopentano es enviada desde el depósito a la bomba dosificadora de manera análoga a la del isocianato. En este caso la lubricación de las estanqueidades se efectúa por gravedad. La bomba envía el fluido a la tubería rígida que alimenta a los cabezales de espumadora determinando la cantidad con el medidor del caudal, cuando no se efectúa la espumadora, el fluido se recicla hacia el depósito mediante una especial válvula de doble estanqueidad con líquido de interceptación. En la aspiración de la bomba se encuentra un filtro autolimpiante.

#### **4.1.4.4 Unidad de Premezclado**

La unidad de premezclado esta constituida por:

- un equipo de dosificación del polioliol que es enviado al mezclador estático a la presión requerida por el proceso. Dicho equipo prevé un motor de corriente alterna, una bomba dosificadora de pistones axiales, un medidor de caudal volumétrico y un grupo de reciclado. El equipo de dosificación del polioliol está separado de la unidad de premezclado y
- un equipo de dosificación del ciclopentano que es enviado al mezclador estático. Dicho equipo prevé un grupo de dosificador de doble pistón axial mandado por una central hidráulica con regulador de caudal, un medidor de caudal, las válvulas de reciclados, las válvulas de seguridad antideflagrantes, el mezclador estático.

#### **4.2 Recursos humanos**

Para la realizar las pruebas se contó con la ayuda de 5 personas las cuales tenían diferentes actividades como enmoldar, espumar y desenmoldar las cámaras de refrigeración, también se tuvo el apoyo del analista de laboratorio para las pruebas de densidad libre y densidad aplicada.

#### **4.3 Condiciones de las pruebas**

Las pruebas se realizaron a una temperatura ambiental de 25°C y los gabinetes mantenían una temperatura media de 21°C. El isocianato mantenía una temperatura de 22°C y la mezcla de polioliol-ciclopentano y polioliol-refrigerante 141-b mantenía una temperatura de 19°C.

#### **4.4 Procedimiento para definir la mezcla ideal isocianato, polioliol y ciclopentano**

Para determinar si la mezcla es la ideal se toman de referencia los siguientes datos que son los requeridos para que la espuma de poliuretano sea un buen agente aislante para los equipos de refrigeración comercial:

Densidad Libre	22 a 26 kg/m <sup>3</sup>
Tiempo de inicio	7 a 10 segundos
Tiempo de Hilo	40 a 55 segundos
Tiempo de Ascenso	55 a 70 segundos
Tacto Libre	70 a 85 segundos

Para poder tomar esos datos se procedió a realizar lo siguiente:

1. Determinar la relación isocianato-polioliol-ciclopentano a utilizar e introducirlo en el software de la máquina espumadora.
2. Preparar un recipiente para obtener la mezcla en forma líquida.
3. Al terminar de obtener la muestra en la bolsa, se empieza a tomar el tiempo de reacción para obtener los datos antes mencionados.
4. El tiempo de inicio se toma cuando la espuma comienza a crecer.
5. El tiempo de hilo cuando al introducir un objeto con punto forma un hilo.
6. El tiempo de ascenso es cuando la persona observa que la espuma ha dejado de crecer.
7. Tiempo de tacto libre es durante el cual no existe adherencia al tacto con los dedos de la mano.
8. En cada uno de los pasos anteriores anotar el tiempo.
9. Con la muestra de Espuma de Poliuretano formada, cortar un cubo de la parte central de la misma, al cubo calcular el volumen y pesarlo para conocer la densidad Core de la muestra.
10. Proceder con la mezcla isocianato-polioliol-HCFC 141-b a realizar los mismos pasos, tomando 3 muestras.
11. Realizar la comparación entre las dos espumas.

#### **4.5 Procedimiento para la comparación de la distribución de la densidad de la espuma de poliuretano en equipos de refrigeración comercial**

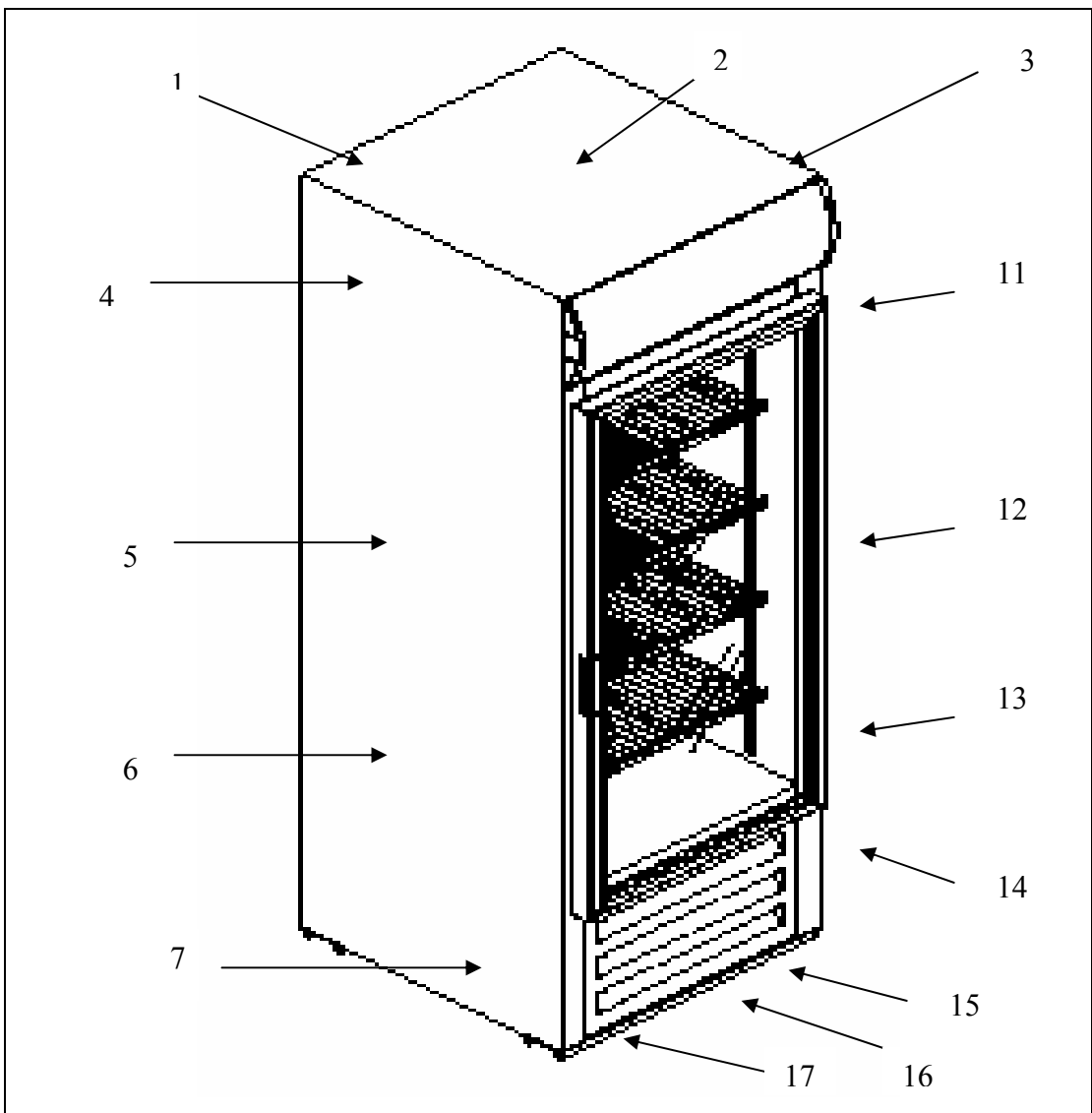
Ya determinada una relación adecuada en el sistema isocianato-poliol-ciclopentano se procede a espumar un equipo de prueba, el equipo de prueba no lleva ningún componente eléctrico simplemente es lámina y espuma; y se trabaja de la siguiente manera:

1. Se introduce la relación isocianato-poliol-ciclopentano en el software de la máquina espumadora.
2. Se determina una densidad core para el equipo que se tiene para prueba, en este caso es  $36.90 \text{ kg/m}^3$ .
3. Se calcula el volumen de aislante que lleva el equipo de refrigeración.
4. Por medio de la densidad core, se calculan la masa de espuma de poliuretano que debe de llevar el equipo.
5. Se inyecta la espuma de poliuretano al equipo y debe de esperarse alrededor de 15 minutos, introducido en una máquina hidráulica que presiona el equipo de todas partes y ayuda a que el equipo no se deforme por la fuerza del crecimiento de la espuma.
6. El equipo después de los 15 minutos de espera, se le arranca la lámina y se procede a cortar cubos de espuma de cada una de las partes del equipo que se presentan a continuación: (ver dibujo)

1. Top exterior izquierdo
2. Top exterior central
3. Top exterior derecho
4. Lateral izquierdo superior
5. Lateral izquierdo central
6. Lateral izquierdo inferior
7. Soporte izquierda
8. Espalda superior
9. Espalda central

- 10. Espalda inferior
- 11. Lateral derecho superior
- 12. Lateral derecho central
- 13. Lateral derecho inferior
- 14. Soporte derecho
- 15. Fondo exterior izquierdo
- 16. Fondo exterior central
- 17. Fondo exterior derecho

**Figura 1. Partes del equipo de refrigeración**



7. Al cubo calcular el volumen y pesarlo para conocer la densidad Core de la muestra.
8. Proceder con la mezcla isocianato-poliol-HCFC 141-b a realizar los mismos pasos.
9. Realizar la comparación entre las dos espumas.

#### **4.6 Procedimiento para la comparación del funcionamiento como aislante térmico en equipos de refrigeración comercial**

Para determinar si el aislante térmico utilizando ciclopentano tiene un funcionamiento igual o mejor que utilizando el HCFC141-b, se tomará en cuenta el consumo energético. Dado que el aislante lo que permite es que la temperatura dentro del equipo se mantenga mayor tiempo menos arranques del compresor habrá, por lo que menos consumo energético tendrá el equipo. Esta prueba se realiza en un laboratorio certificado, el cual tiene el siguiente procedimiento:

1. Ingresar el equipo de refrigeración a la cámara de pruebas.
2. Conectar cordón eléctrico del equipo al tomacorriente habilitado para monitorear pruebas.
3. Instalar y acomodar parrillas del equipo bajo prueba.
4. Instalar los sensores disponibles en la cámara climática.
5. Ajustar las condiciones ambientales de la cámara climática.
6. Programar la temperatura ambiente que se desea en la cámara climática.
7. Programar la humedad relativa que se desea en la cámara.
8. Activar la prueba en el software.
9. Finalizado el tiempo de prueba y con toda la información requerida, se apaga el funcionamiento de la cámara de pruebas.
10. Recopilar los datos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Comparación de densidad libre

Tabla I. Densidad libre de espuma con HCFC 141-b

HCFC 141-b	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad Libre (Kg/m <sup>3</sup> )
Muestra 1	0.07450	0.00315	23.68229
Muestra 2	0.09140	0.00386	23.67876
Muestra 3	0.08740	0.00376	23.24468

Tabla II. Densidad libre de espuma con ciclopentano

Ciclopentano	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad Libre (Kg/m <sup>3</sup> )
Muestra 1	0.08630	0.00359	24.05069
Muestra 2	0.10800	0.00450	24.02336
Muestra 3	0.09730	0.00400	24.29713

## 5.2 Comparación de los tiempos de reacción

Tabla III. Tiempos de reacción de la espuma con HCFC 141-b

<b>HCFC 141-b</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
<b>Inicio (seg)</b>	9	8	8
<b>Hilo (seg)</b>	49	48	49
<b>Ascenso (seg)</b>	59	58	58
<b>Tacto Libre (seg)</b>	80	79	77

Tabla IV. Tiempos de reacción de la espuma con ciclopentano

<b>Ciclopentano</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
<b>Inicio (seg)</b>	10	8	8
<b>Hilo (seg)</b>	55	56	60
<b>Ascenso (seg)</b>	65	61	61
<b>Tacto Libre (seg)</b>	78	74	79



### 5.3 Comparación de la distribución de la espuma en un equipo de prueba

**Tabla V. Distribución de la espuma con HCFC 141-b en un equipo de prueba**

<b>Número</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad Core (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	0.02380	0.00065	36.89475
2	0.02370	0.00065	36.58516
3	0.02330	0.00065	35.95334
4	0.02420	0.00066	36.90140
5	0.02450	0.00064	38.12556
6	0.02500	0.00063	39.53308
7	0.02300	0.00064	35.97096
8	0.02330	0.00065	35.69240
9	0.02290	0.00065	35.10957
10	0.02310	0.00064	35.89004
11	0.02360	0.00064	36.80916
12	0.02360	0.00066	35.95221
13	0.02410	0.00064	37.79480
14	0.02270	0.00064	35.28563
15	0.02300	0.00064	36.06639
16	0.02290	0.00063	36.18315
17	0.02280	0.00063	36.07420

**Tabla VI. Error porcentual**

<b>Densidad Teórica</b>	36.9000	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Media</b>	36.5189	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Error Porcentual</b>	1.0328	%

**Tabla VII. Distribución de la espuma con ciclopentano en un equipo de prueba**

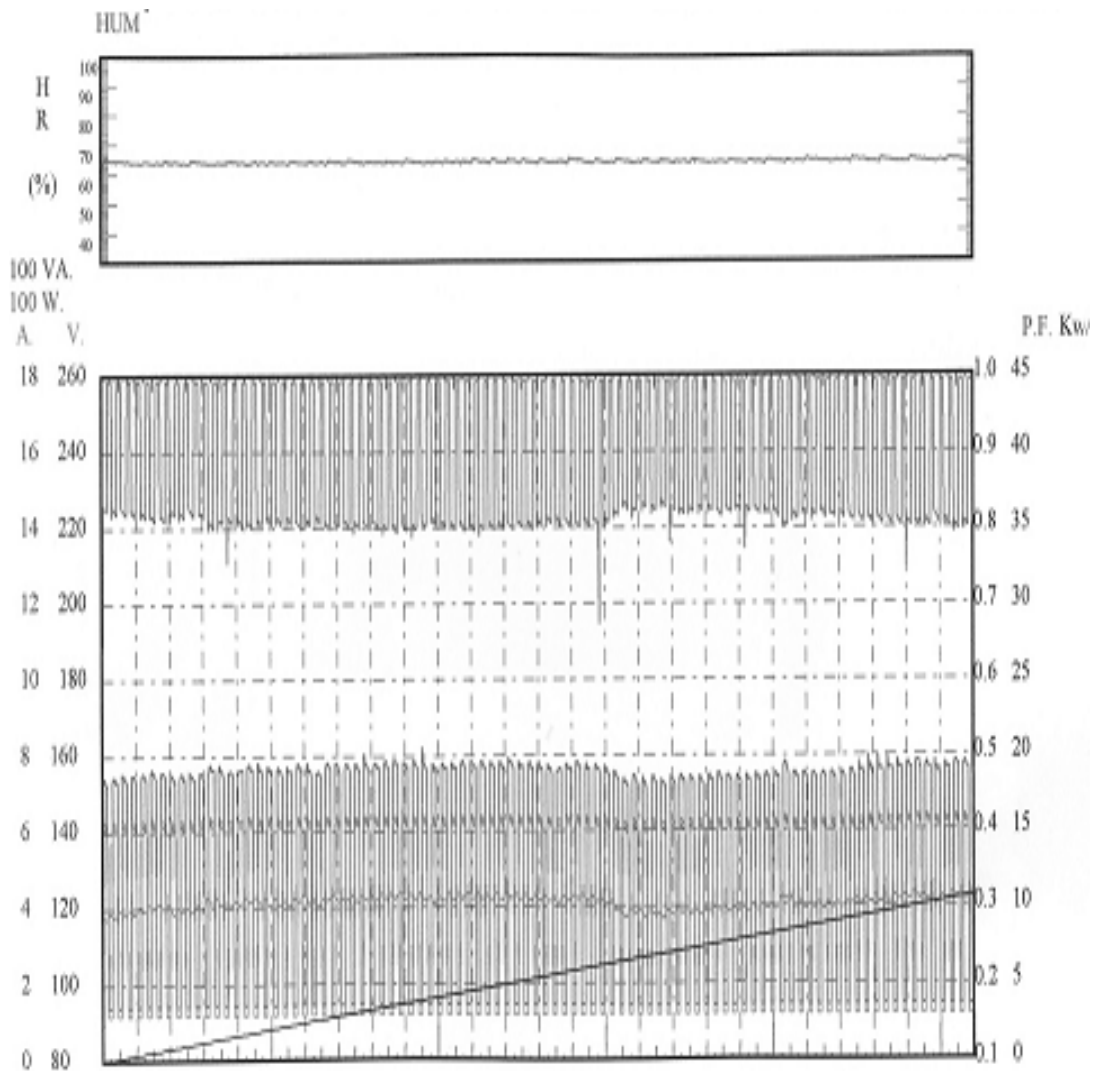
<b>Número</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad Core (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	0.01450	0.00039	36.74050
2	0.02230	0.00062	36.06781
3	0.02230	0.00061	36.84096
4	0.03100	0.00085	36.52827
5	0.03240	0.00085	38.11842
6	0.02310	0.00061	37.89354
7	0.02460	0.00068	35.97647
8	0.01760	0.00049	36.24397
9	0.02290	0.00062	37.05144
10	0.02240	0.00062	36.28750
11	0.02290	0.00063	36.27003
12	0.02210	0.00061	36.32381
13	0.03040	0.00083	36.58313
14	0.02240	0.00062	35.85001
15	0.02230	0.00061	36.50205
16	0.01780	0.00049	36.39185
17	0.01850	0.00052	35.50312

**Tabla VIII. Error porcentual**

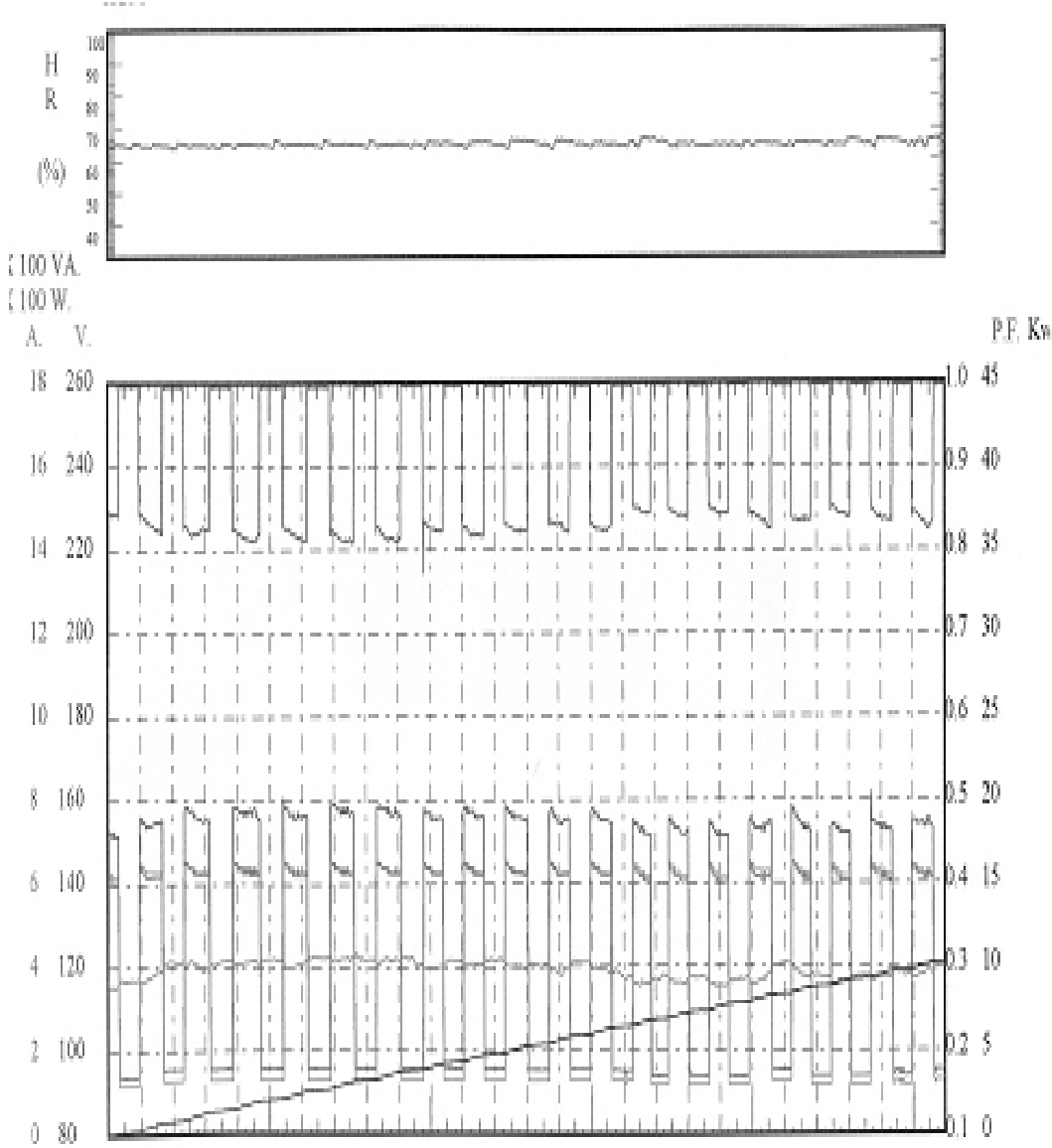
<b>Densidad Teórica</b>	36.9000	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Media</b>	36.5396	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Error Porcentual</b>	0.9767	%

### 5.3 Comparación del funcionamiento de la espuma en un equipo de prueba

Figura 2. Consumo energético de un equipo de refrigeración comercial con HCFC-141b.



**Figura 3. Consumo energético de un equipo de refrigeración comercial con ciclopentano.**



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El agente expansivo en la espuma proporciona el crecimiento gradual de la espuma de poliuretano, formando celdas cerradas que producen una espuma rígida proporcionando una doble función, un aislante térmico efectivo y da rigidez al equipo.

El análisis de la sustitución del refrigerante 141-b se basa en lo perjudicial que puede resultar al medio ambiente, no dañando la capa de ozono directamente pero contribuye al calentamiento global por lo que la mejor opción es encontrar un componente que pueda sustituirlo de igual y si es posible de mejor manera como agente expansivo de la espuma. Para este caso la sustitución sería por el ciclopentano, un hidrocarburo altamente inflamable y peligroso de manejar. El uso del ciclopentano tiene la ventaja de ser nocivo para el medio ambiente pero deben de tomarse precauciones en las estaciones de trabajo. Las pruebas realizadas nos dan una base de comparación bastante amplia ya que se estudia estructura interna, tiempos de reacción, tiempo de tacto libre, distribución en el equipo y la aplicación tomando como principal variable el consumo energético de un equipo de refrigeración comercial.

La densidad libre se refiere a un crecimiento de la espuma sin restricciones de ningún tipo. La importancia de este dato radica en que se puede determinar si la mezcla isocianato-poliol-agente expansivo se encuentra dentro de los rangos establecidos. Una mezcla con diferentes proporciones varía tanto la densidad libre como las propiedades de aislamiento. Para las pruebas se utilizó la misma relación de mezcla, 1.18 isocianato/poliol (con una premezcla de 92.5% en peso de polioliol y 7.5% en peso de agente espumante).

En este caso la espuma utilizando HCFC 141-b se encuentra dentro de los rangos aceptables y al compararla con la espuma con ciclopentano sus propiedades son ligeramente superadas. La espuma con ciclopentano nos proporciona mayor densidad libre representando mayor rigidez y poder aislante.

Otro dato que se puede tomar muy en cuenta en la comparación son los tiempos de reacción, esta prueba se puede analizar de dos diferentes puntos; primero, en la relación de la mezcla isocianato-poliol-agente expansivo porque los tiempos serán diferentes si las proporciones varían y también se encuentran rangos de aceptación para esos tiempos y segundo, el tiempo de tacto libre, este representa una pequeña proporción del tiempo de finalización de la reacción, mientras más grande sea este tiempo la reacción tardará más en terminar y el proceso de espuma en los equipos de refrigeración se hará más tardado obstaculizando la producción en planta.

Como se observa en los resultados los dos tipos de espuma cumplen con los rangos de aceptación de los tiempos de la reacción y si tomamos los tiempos de tacto libre son semejantes por lo que en este punto no importando que tipo de espuma se utilice tendrá las mismas características.

El siguiente punto de comparación es la distribución en el equipo de refrigeración, allí se maneja la densidad core representada por kilogramos de espuma por metro cúbico, este tipo de densidad se refiere a que la espuma no es totalmente sólida sino que contiene pequeñas burbujas de agente expansivo en forma de gas dentro de ella lo que permite que la espuma crezca pero el crecimiento de la espuma se ve limitado cuando se introduce en un equipo de refrigeración y causa de esto es la variación de la densidad en las diferentes partes del equipo. Mientras menos varíe la densidad media con respecto a la densidad teórica del equipo de refrigeración el equipo tendrá mejor propiedades de aislamiento.

Cuando se compara los dos tipos de espuma se observa que la espuma con ciclopentano tiene menor variación con respecto al dato teórico pero la diferencia con respecto a la espuma con HCFC 141-b no es significativa por lo que se puede determinar que las dos espumas trabajan adecuadamente.

Una de las propiedades básicas de la espuma de poliuretano es su capacidad de almacenamiento, para la que se utilizó una prueba con condiciones controladas en un laboratorio en donde la gráfica muestra el consumo energético durante todo un día. Si el equipo tiene menor consumo energético significa que la capacidad de aislamiento con el exterior es más efectivo ya que la temperatura dentro del gabinete se mantiene mayor tiempo dentro de él.

En base a las gráficas se observa que las pruebas se establecieron parámetros idénticos para darle mayor confianza. La humedad relativa era  $65 \pm 2$  %, utilizando un voltaje de 120 volts. También se observa una línea recta atravesando la gráfica esa es la sumatoria del consumo energético con respecto al tiempo, el punto principal de nuestra comparación. La cámara que utilizaba HCFC 141-b, la primera gráfica, tiene un consumo energético de  $9.826 \text{ Kw*hr/día}$  y la que utiliza ciclopentano con un consumo energético de  $9.453 \text{ Kw*hr/día}$ , lo que da como resultado que tiene una mejor capacidad de aislamiento el utilizar ciclopentano pero la diferencia no es muy grande.

En base a las pruebas realizadas se observa que usar el ciclopentano tiene una ligera ventaja con respecto al HCFC 141-b en cuestión de aplicación y funcionamiento, pero la mayor razón para efectuar la sustitución es la protección al medio ambiente.





## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la mezcla ideal para los dos tipos de espuma es 1.18 isocianato/poliol con una premezcla de 92.5 % en peso de polioliol y 7.5 % en peso de agente expansivo.
2. Al comparar las propiedades de la espuma de poliuretano con diferente agente expansivo, se determinó que la espuma con ciclopentano tiene mejores características de operación.
3. Se demostró que la espuma de poliuretano con ciclopentano en comparación con el agente HCFC 141-b, tiene mejor distribución dentro del equipo de refrigeración.
4. Al comparar las dos gráficas de consumo energético se observa que el equipo que utilizó como agente expansivo el ciclopentano, tiene mejor menos consumo que el que utiliza HCFC 141-b.



## RECOMENDACIONES

1. Antes de utilizar el ciclopentano como agente expansivo de la espuma, deben tomarse todas las precauciones en las instalaciones de trabajo, para prevenir los percances que puedan presentarse.
1. El personal que opera cualquier tipo de los componentes de la espuma, debe tomar en cuenta las precauciones en el manejo y usar siempre su equipo de protección personal.
2. Cuando se realicen pruebas con espuma de poliuretano, para poder tener una comparación lo más exacta posible, la lámina de los equipos de prueba deben estar a la misma temperatura porque los datos pueden variar.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Herrington, Ron y Kathy Hock. **Flexible Polyurethane Foams**. 2ª. ed. Estados Unidos: Dow Quimical Company, 1997. 480pp.
2. McMurry, John. **Química Orgánica**. 3ª. ed. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1992. 1247pp.
3. Perry, Robert. **Biblioteca del Ingeniero Químico**. 3ª. ed. México: McGraw-Hill, 1987. Tomo 1. 545pp.
4. Ricciarduli, Egidio. **Prescripciones Taxitativas**. 1ª. ed. Italia: Afros Editing Engineering Dept., 2001. 58pp.
5. Ricciarduli, Egidio. **Technical Manual Afros Cannon**. 2ª. ed. Italia: Afros Editing Engineering Dept., 1999. 200pp.