



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

Estudio de Espumas Rígidas de Poliuretano  
por el Proceso de Aspersión para Aislamiento  
Térmico de Cámaras para Conservación de  
Productos Perecederos

408

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
RAUL EDUARDO SANCHEZ GOMEZ

México, D. F.

1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Tesis  
CLAS \_\_\_\_\_  
AÑO 1976  
FACULTAD \_\_\_\_\_  
PRD \_\_\_\_\_  
~~384~~ 384



QUIMICA

*JURADO ASIGNADO*

<i>Presidente:</i>	<i>Prof. Julio Terán Zavaleta</i>
<i>Vocal:</i>	<i>Prof. Héctor Sobol Zaslav</i>
<i>Secretario:</i>	<i>Prof. Guillermo Alcayde Lacorte</i>
<i>1er. Suplente:</i>	<i>Prof. Fernando Iturbe Hermann</i>
<i>2do. Suplente:</i>	<i>Prof. Rolando A. Barrón Ruiz</i>

*SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:*

*CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES DE LA UNAM*

*SUSTENTANTE:*

*Raúl Eduardo Sánchez Gómez*

*ASESOR DEL TEMA:*

*SUPERVISOR TECNICO:*

*I.Q. Guillermo Alcayde Lacorte      I.Q. Domingo Alarcón O.*

Hago constar mi sincero agradecimiento a las siguientes personas:

*I. Q. Guillermo Alcayde Lacorte*

*I. Q. Francisco Muñoz Ruiz*

*I. Q. Domingo Alarcón Ortiz*

*por la valiosa colaboración que me brindaron para la realización del presente trabajo en el Centro de Investigación de Materiales.*

*A la memoria de mi Padre*

*A mi Madre por su bondad,  
cariño y abnegación*

*A mis Hermanos*

*A mi Novia por su ayuda,  
cariño y comprensión*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*A la Facultad de Química*

*A mis Maestros*

*A mis Compañeros y Amigos*

## I N D I C E

	<i>Págs.</i>
1. <i>INTRODUCCION</i>	1
2. <i>OBJETIVOS</i>	3
3. <i>GENERALIDADES</i>	4
3.1 <i>Generalidades sobre Cámaras Frigoríficas.</i>	4
3.2 <i>Generalidades sobre Materiales - Aislantes.</i>	6
3.2.1 <i>Materiales Aislantes.</i>	12
3.2.2 <i>Materiales Aislantes para Bajas Temperaturas.</i>	13
3.3 <i>Selección del Material Aislante Adecuado para Bajas Temperaturas</i>	26
3.4 <i>Química Básica de las Espumas de Poliuretano.</i>	30
3.4.1 <i>Poliisocianatos.</i>	33
3.4.2 <i>Compuestos Polihidroxi-                   dos.</i>	34
3.4.3 <i>Agentes Auxiliares.</i>	35
3.4.4 <i>Procesos de Espumado.</i>	39



4.	UTILIZACION DEL PROCESO DE ASPERSION PARA LA APLICACION DE LA ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO	41
4.1	Equipo para Aspersión.	43
4.1.1	Unidades de Descarga.	43
4.1.2	Unidades de Alimentación.	49
4.1.3	Control de Temperatura.	51
4.2	Condiciones para la Aspersión.	51
4.3	Control de las Propiedades de la Espuma.	57
4.4	Medidas de Seguridad.	59
5.	CALCULO TECNICO PARA LA CONSERVACION DE PRODUCTOS PERECEDEROS	61
6.	RESULTADOS.	65
6.1	Condiciones Generales para el Almacenamiento y Conservación de Alimentos.	65
6.2	Condiciones para el Almacenamiento y Conservación de Frutas	66
6.3	Condiciones para el Almacenamiento y Conservación de Legumbres	75

6.4	<i>Condiciones para el Almacenamiento y Conservación de Productos Lácteos</i>	82
6.5	<i>Condiciones para el Almacenamiento y Conservación de Productos del Mar</i>	88
7.	<i>EVALUACION ECONOMICA</i>	93
7.1	<i>Factores de Costo</i>	94
7.2	<i>Costo de Producción</i>	95
8.	<i>CONCLUSIONES</i>	104
9.	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	107

INTRODUCCION.

A causa de las deficiencias en el almacenaje para preservar alimentos y al hecho de que las cosechas se ven disminuidas debido a la acción de plagas, roedores, insectos, etc., nuestro país registra anualmente una pérdida del 35% de la producción agropecuaria, la cual representa un valor estimado en 25,600 millones de pesos al año. Lo anterior revela, que ésta situación es la que propicia fluctuaciones constantes en los precios a los consumidores, con el agregado de las especulaciones de los intermediarios.

Como derivación de la pérdida del 35% de la producción agropecuaria, a causa de la falta de sistemas de almacenaje adecuados para la preservación de alimentos, se dan casos en que éstos se ven encarecidos hasta en un mil por ciento en diversas épocas.

Debido a lo anterior, se ha visto la necesidad de desarrollar nuevos sistemas y materiales que pudieran ser utilizados para su aplicación en la adaptación de cámaras de conservación de productos perecederos (legumbres, frutas, productos lácteos, productos del mar, etc.). El material al que se hace referencia en el presente trabajo, es la espuma rígida de poliuretano aplicada por medio del proceso de aspersión, para su utilización como aislante térmico en cámaras de conservación previamente construidas de cualquier tipo de material (ladrillo, madera, concreto, lámina, etc.).

Una vez que se tiene un local construido que se pretende funja como cámara o bodega de conservación, se procede a la aplicación por medio del proceso de aspersión de la espuma rígida de poliuretano en el interior de la cámara (paredes y techo, y en ciertos casos también el piso cuando se destine a cámara de congelación), de tal manera que la espuma rígida de poliuretano, gracias a sus propiedades aislantes, favorece las condiciones requeridas en el interior de la cámara para tener una temperatura inferior a la del exterior y por consiguiente, un almacenamiento - adecuado y eficiente.

Es conveniente señalar, que de preferencia se procurará que las cámaras de conservación se encuentren localizadas cerca de los centros de producción y/o distribución, con el fin de facilitar tanto el manejo de los productos, como una adecuada distribución de los mismos cuando lo requiera el consumidor.

2. OBJETIVOS

- 2.1 Proponer el empleo de la espuma rígida de poliuretano aplicada por el proceso de aspersión como material aislante en la adaptación de cámaras de conservación de productos perecederos.
- 2.2 Obtener el espesor más adecuado del material aislante a utilizar en la adaptación de las cámaras de conservación de alimentos, que cumpla con los requisitos que las condiciones de almacenamiento necesiten.
- 2.3 Determinar la factibilidad económica de la adaptación de las cámaras de conservación utilizando la espuma rígida de poliuretano como material aislante.
- 2.4 Describir la secuencia a seguir al proyectar la adaptación de cámaras de conservación de productos perecederos.

Una cámara frigorífica se trata simplemente de una estructura forrada a manera de un depósito o de un cuarto debidamente aislado, en cuyo interior se de sea mantener una temperatura adecuada a los requerimientos de los productos almacenados.

En la construcción de cámaras frigoríficas, se deberá de tomar en cuenta el lugar donde se va a instalar la cámara, es decir, si el lugar donde se vaya a instalar es un local previamente construido y donde se aprovecharán las paredes y techo, o si se va a instalar a la intemperie.

De acuerdo a lo anterior, siempre se deberán tomar en cuenta las siguientes condiciones para la construcción de cámaras frigoríficas:

- a) Cuando la cámara se vaya a construir a la intemperie, se tendrá que evitar que esté directamente expuesta a la radiación solar, construyendo siempre que se justifique, un doble techo o pared con paso de aire intermedio.
- b) En el caso de que se tenga un local ya construido, deberá de calcularse si una vez que sea colocado el material aislante, se dará cabida a la cantidad de producto (género) que se

quiera conservar o enfriar, teniendo en cuenta tanto el tiempo de almacenamiento como su disposición dentro de la cámara.

- c) Se deberá de tener en cuenta el tipo y cantidad de accesorios que se vayan a colocar dentro de la cámara, lo cual ya es una particularidad, dependiendo de las necesidades del --- usuario, para así, considerar las cargas térmicas por este concepto.
- d) Se deberá de tener en cuenta que la cámara - tenga un sistema de alumbrado interior, el -- cual sea manejado y controlado desde el exterior.
- e) Deberá de tener un sistema de alarma de seguridad que deberá estar accionado desde el interior y del exterior, independiente de la -- corriente eléctrica del local.

REQUISITOS QUE SE DEBEN CUMPLIR A SATISFACCION EN TODA INSTALACION FRIGORIFICA (8)

1) MATERIAL AISLANTE

El cual debe reunir las siguientes características:  
Bajo índice de costo contra conductividad  
Estabilidad dimensional  
Autoextinguible

No favorecer la corrosión ni el desarrollo de bacterias e insectos.

Resistencia estructural adecuada.

Inoloro

Baja capilaridad

## 2) PAREDES

La superficie de la pared debe ser lisa para evitar que se pueda dañar la barrera de vapor, -- además de que se debe evitar la introducción de -- otros materiales entre el aislamiento y la pared\_ debido a que se pueden formar puentes térmicos.

Asimismo, debe tener alta resistencia al impacto, humedad y efectos degradativos.

## 3) PISOS

Cuando se tienen cámaras frigoríficas en las -- cuales la diferencia de temperaturas entre la de conservación y la del exterior de la cámara no es grande, no es requisito aislar el piso, es por -- eso que cuando se tienen cámaras de conservación de alimentos que operan hasta una temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$ , no se requiere aislar el piso, tan sólo bagtard la losa de concreto superior y un aislamiento perimetral. Para temperaturas inferiores de --  $-20^{\circ}\text{C}$  (cámaras de congelación), sí es necesario -- aislar también el piso, debiendo ser el acabado -- de la superficie de la primera losa de concreto -- lisa, para evitar el daño de la barrera de vapor.



#### 4) TECHOS

Se deberán de utilizar sistemas de aislamiento en el techo de modo que pueda existir una ventilación adecuada. La ventilación de la cámara es importante para evitar la condensación y con ello - los daños en el material aislante y en la estructura.

#### 5) PUERTAS

Deberán reunir las siguientes características:

Alta resistencia mecánica

Selladas para evitar el paso del vapor de agua

Diseñadas para que puedan ser abiertas desde el interior.

Diseñadas para ser operables en todo tiempo.

Equipadas con estructuras resistentes a la --- corrosión.

Con dimensiones tales que prevean el acceso de montacargas y otros equipos.

#### 6) ACABADOS INTERIORES

El acabado interior de una cámara frigorífica puede o no ser parte integral del aislamiento. Es importante el acabado interior para evitar formaciones que impidan el paso de vapor.

Entre los requisitos que deberá llenar el acabado interior para una cámara de conservación de alimentos, se tienen los siguientes:

Incombustible

Evitar el paso de agua al sistema de aislamiento.

*Resistencia mecánica (protección del material - aislante).*

*Inodoro (no permitir que aloje olores).*

*Por lo anterior, los acabados interiores pueden ser:*

*Láminas de asbesto-cemento*

*Láminas metálicas galvanizadas*

*Láminas de plástico reforzado*

*Materiales porosos (arena-cemento)*

#### 7) ACABADOS EXTERIORES

*Requisitos a cumplir:*

*Incombustible*

*Resistente a la intemperie*

*Resistente a impactos*

3.2

#### GENERALIDADES SOBRE MATERIALES AISLANTES

Es indudable que el desarrollo de la industria - de nuestro país en los últimos años ha sido de grandes proporciones. La evolución se ha manifestado en - el empleo de nuevos sistemas de producción que requie- ren temperaturas diferentes a la ambiental, éstas ob- tenidas en forma artificial.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, es muy importante conservarla el mayor tiempo posible, ya -- que el lograr dichas condiciones artificiales de tem- peratura representa una gran parte del costo de pro- ducción.

Un material aislante es un auxiliar valioso para - conservar ese algo caliente o frío en los diversos procesos industriales, en todos los cuales, el aislamiento de las instalaciones calientes o frías evita una verdadera fuga de dinero; o sea, el equipo o instalación una vez aislado, seguirá necesitando un suministro de energía pero en cantidad mucho menor. Al necesitar menor -- energía, disminuye la inversión en equipo y en consecuencia el costo de operación.

Ahora bien, ¿qué es un material aislante?

Dado que el calor es la parte de la energía térmica que se transfiere debido a una diferencia de temperaturas, éste se puede transmitir con mayor facilidad a través de determinados materiales o medios, y fluye con dificultad en otros, de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Pues bien, los materiales que presentan gran resistencia al paso del calor se denominan MATERIALES -- AISLANTES.

Un material aislante es resistente al paso del calor a través de su cuerpo debido a que tiene en su interior multitud de celdillas con aire u otro gas en reposo. Cada celdilla contiene un volumen de aire o gas

en reposo tan pequeño, que al llegar a ellas la acción del calor no provoca el fenómeno de convección en su interior, limitando en esta forma, la facilidad al paso del calor a una transferencia molecular o laminar - del fenómeno.

Así se tiene que los equipos que se calientan, si multíneamente están perdiendo parte del calor que se les está suministrando, cediéndolo al ambiente que los rodea y que está a menor temperatura. En los equipos - fríos el caso es similar, sólo que éste tenderá a ganar calor del ambiente en vez de perderlo.

En ambos casos, el uso de materiales aislantes reduce las pérdidas o ganancias de calor al mínimo, sin evitarlas completamente pues resulta física y económicamente impráctico.

#### VENTAJAS DEL EMPLEO DE UN MATERIAL AISLANTE

En resumen, las ventajas obtenidas mediante el -- uso de un material aislante son las siguientes:

- 1) Para la conservación de altas temperaturas
  - a) Seguridad para el personal
  - b) Uniformidad de temperaturas en el proceso
  - c) Menor inversión en equipo
  - d) Menores gastos de combustible

2) En el caso de usos industriales de bajas temperaturas y de refrigeración.

- a) Seguridad para el personal
- b) Uniformidad de temperaturas en el proceso
- c) Menor inversión en equipo, ya que al aumentar - la eficiencia de su trabajo, un equipo de menores dimensiones y menor costo, puede realizar - el mismo trabajo que uno de mayor capacidad trabajando sin aislamiento.
- d) Menores costos de operación.

Así se tiene que los procesos que requieren altas o bajas temperaturas, se han venido sucediendo simultáneamente y se incrementan sin un límite a la vista. Al mismo tiempo, muchos materiales han venido apareciendo en escena, algunos brevemente, otros han perdurado, y algunos otros han sido muy eficientes pero costosos, sin embargo, todos ellos han probado el hecho de que el aislamiento ocupe ahora un lugar prominente, tanto en el diseño como en la operación de una planta o instalación específica que trabaja con temperaturas que no son la ambiental.

### 3.2.1 MATERIALES AISLANTES

De acuerdo a la forma como están constituidos - los materiales aislantes, se han clasificado en los siguientes tipos:

#### 3.2.1.1 TIPO GRANULAR

Estos materiales tienen en su estructura una infinidad de pequeñas celdillas llenas de aire que no se comunican entre sí, haciéndolas resistentes al -- flujo de calor por conducción y haciendo que el mecanismo de convección sea bajo.

Ejemplos: Carbonato de magnesio, tierra diatómica, vermiculita, perlita expandida, etc.

#### 3.2.1.2 TIPO FIBROSO

Las películas de aire alrededor de las fibras - las hace resistentes al paso del calor por conducción, y a densidades más o menos altas reducen el número de canales de aire libre y minimiza la transmisión de calor por convección.

Ejemplos: Fibras minerales de escoria de fundición, fibras de vidrio, fibras de asbesto, fibras de titanato de potasio, etc.

#### 3.2.1.3 TIPO CELULAR

Estos materiales están formados por paredes --

delgadas que contienen innumerables celdillas independientes, llenas de aire o de algún otro gas. Esta independencia entre celdillas hace que el movimiento del aire sea a régimen laminar y por consiguiente el flujo de calor por convección disminuye.

Ejemplos: Corcho, espumas plásticas expandidas, etc.

### 3.2.2 MATERIALES AISLANTES PARA BAJAS TEMPERATURAS

#### 3.2.2.1 FIBRA DE VIDRIO

El vidrio molido es la materia prima que por fundición y por medio de un sistema de aspersión centrífuga, nos dan las fibras que tratadas con resinas fenólicas o aceites sirven para dar forma a los diferentes tipos de aislamientos según las formas que se requieran.

Da servicio para un intervalo de temperaturas desde  $-84^{\circ}\text{C}$  hasta los  $232^{\circ}\text{C}$ . A temperaturas superiores, la resina fenólica empieza a humear, marcando el límite superior de las fibras aglutinadas con este tipo de resinas; siendo mayor el límite de temperatura para las fibras impregnadas con muy pequeñas cantidades de aceite lubricante.

Las diferentes formas de fibra de vidrio que existen en el mercado son:

- a) *Preformados en medias cañas para tubería*
- b) *Fibra de vidrio blanca*
- c) *Fibra de vidrio flexible*
- d) *Fibra de vidrio semirígida y rígida*
- e) *Colchonetas de fibra de vidrio blanca*

#### *FIBRA DE VIDRIO SEMIRIGIDA Y RIGIDA*

*Este tipo de fibra está aglutinada con resinas fenólicas. Los materiales semirígidos se encuentran en densidades de 16 a 32 kg/m<sup>3</sup>; los materiales rígidos se encuentran en densidades de 64 a 96 kg/m<sup>3</sup>.*

*Este tipo de fibra de vidrio por su menor conductividad térmica es recomendada para el aislamiento de equipos industriales de bajas temperaturas del orden de -30°C o más bajos.*

*Sin embargo, la fibra de vidrio siempre ha tenido muchos inconvenientes por el malestar que produce a las personas que la trabajan. Este malestar se manifiesta en reacciones de tipo alérgico de la piel parecidas a las que se sufren con una urticaria.*

#### **3.2.2.2** *ESPUMA DE POLIESTIRENO*

*La espuma de poliestireno es una espuma de estructura celular cerrada, es un material que conserva sus propiedades indefinidamente ya que: no se ---*



contrae ni se pudre, es estable frente al agua, agua de mar, ácidos y álcalis a excepción del ácido nítrico concentrado.

Este material no debe usarse en combinación de solventes como: gasolina, benceno, tolueno, xileno, etc., y aceites minerales.

La espuma de poliestireno se presenta en el mercado en dos densidades:

- a) Espuma de poliestireno normal. Densidad de  $17 \text{ kg/m}^3$
- b) Espuma de poliestireno de alta densidad. Densidad de  $25 \text{ kg/m}^3$

Por sus cualidades la espuma de poliestireno se recomienda para su uso a bajas temperaturas, en sistemas criogénicos y de refrigeración.

### 3.2.2.3 CORCHO

El corcho es la corteza de una especie de encino que recibe el nombre de alcornoque. El corcho es un mal conductor del calor, razón por la cual su aprovechamiento industrial más importante es en la fabricación de material aislante en forma de gruesas planchas planas o para cubrir tuberías. El corcho debe sus propiedades aislantes al hecho de que tiene

una estructura celular, comunicándole una baja conductividad el aire encerrado en dichas celdillas.

Los aislantes de corcho se utilizan para evitar que penetre el calor en recintos refrigerados, en instalaciones de aire acondicionado, etc. Posee también el corcho ciertas propiedades que lo hacen recomendable para el acondicionamiento acústico de edificios, salones, hospitales, etc.

#### 3.2.2.4 ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO (3)

La espuma rígida de poliuretano es un material de estructura celular cerrada dándole un factor de conductividad térmica bajo y una gran resistencia a la penetración de agua y de vapor de agua, asimismo, ofrece la espuma rígida de poliuretano una combinación de propiedades que no encontramos en otros tipos de material aislante:

- a) Puede ser espumado en lugar
- b) Es ligero de peso; su densidad varía de  $24 \text{ kg/m}^3$  hasta  $40 \text{ kg/m}^3$
- c) Su conductividad térmica es muy baja comparada con las de otros materiales aislantes disponibles
- d) Se puede utilizar en un amplio rango de temperaturas que va desde  $-196^\circ\text{C}$  hasta  $+107^\circ\text{C}$ .
- e) Puede llegar a hacerse resistente a la flama.

- f) Presenta baja permeabilidad a la humedad.
- g) Es resistente a la mayoría de los solventes y presenta excelentes propiedades mecánicas.
- h) No atrae roedores o insectos y no se pudre.
- i) Se surte en placas y en preformados.

#### GENERALIDADES SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO.

##### 1) CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El factor de conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano expuesta al aire y a la humedad cambiará con el tiempo. El grado de afectabilidad de la conductividad térmica estará determinado por el medio ambiente en el cual se exponga la espuma y por el tiempo de exposición.

La baja conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano se debe al uso de los agentes espumantes que expanden la espuma, y a la formación de una estructura de celdas cerradas que atrapan y contienen el vapor del agente espumante de baja conductividad. Las paredes de las celdas son casi impermeables al agente espumante (freón), de tal manera que el vapor no se escapa mientras que las paredes de las celdas permanezcan intactas. Sin embargo, las paredes de las celdas son ligeramente permeables tanto al aire como al vapor de agua. Esta difusión interna de estos gases diluye el freón, provocando un cambio en el factor de conductividad térmica con el tiempo.

*Si la espuma rígida de poliuretano espumada con freón está protegida por una barrera de vapor, el cambio en el factor de conductividad térmica es sumamente pequeño y casi no puede ser detectado.*

#### *BARRERAS DE VAPOR*

*En la actualidad todos los productos aislantes en el mercado requieren de una barrera de vapor para las instalaciones frías; ya que si se prescindiera del uso de esta barrera, el vapor de agua se condensaría y congelaría en la superficie fría, reduciendo seriamente las características aislantes de la espuma. Estas barreras trabajan impidiendo que el aire y el vapor de agua se difundan dentro de las celdas de la espuma, aunado a que el cambio del volumen específico provoque esfuerzos internos serios agrietando el material.*

*Hasta ahora ha sido costumbre usar como barreras de vapor diferentes plásticos, hojas de papel de aluminio y otros materiales que mediante adhesivos se fijan al material aislante; se ha observado que aunque estos materiales pueden constituir barreras de vapor adecuadas, su manejo y aplicación es difícil y también costoso.*

*Los tres problemas comunes que se presentan cuando se usan barreras de vapor son:*

*a) Sello no adecuado en las juntas.*

- b) *Perforaciones en la barrera de vapor por accidente.*
- c) *Falta de juntas adecuadas de contracción y/o expansión que causan que la barrera de vapor se --- fracture.*

*La hoja de aluminio aunque constituye una barrera de vapor excelente, es muy difícil de manejar para su colocación y en ocasiones se corroe hasta el punto de pulverizarse resultando muy costoso reemplazarla.*

*Los materiales plásticos o recubrimientos en forma de pastas que constituyen barreras de vapor, a menudo no se usan en el espesor adecuado y aun cuando lo sea, tienen posibilidades de fracturarse con los movimientos de contracción y dilatación.*

*Se ha establecido que el aislamiento y la barrera de vapor se deben usar cuando las temperaturas de la superficie del equipo estén abajo de la temperatura de rocío de la humedad del aire del medio ambiente. Esto evitará que la humedad condense sobre la superficie fría. El aislamiento seleccionado debe tener el espesor suficiente para hacer que la superficie del mismo, donde la barrera de vapor sea colocada, tenga una temperatura arriba de la temperatura de condensación de la humedad del aire ambiente.*

Las barreras de vapor de mayor demanda son:

- a) *Pyro-Kure*. Consiste en un laminado de papel kraft asfaltado y hojas de aluminio reforzado con malla de vidrio.
- b) *Hojas de aluminio*. Consiste en una lámina de aluminio de 0.001" o 0.0025" de espesor.
- c) *Hojas de aluminio con refuerzo de polietileno*. -- Consiste en una película de polietileno adherida mediante adhesivos a una hoja de aluminio de ---- 0.0025" de espesor.

## 2) DENSIDAD

Las espumas rígidas de poliuretano son fabricadas dentro de un rango de densidades que va desde --  $24 \text{ kg/m}^3$  hasta  $40 \text{ kg/m}^3$ . Generalmente las espumas -- con densidades menores de  $24 \text{ kg/m}^3$  no son tan dimensionalmente estables como las espumas de mayor densidad y presentan propiedades físicas pobres. En cambio, las espumas con una densidad mayor de  $40 \text{ kg/m}^3$  son considerablemente más fuertes y más estables, pero debido al alto costo que implica el producir estas espumas de alta densidad, su uso no es muy comercial.

En general, la densidad de las espumas rígidas de poliuretano puede ser cambiada o modificada simplemente cambiando la cantidad del agente espumante (freón) que interviene en su preparación. En ocasiones, es necesario también realizar pequeños cambios en la concentración del catalizador.

### 3) TEMPERATURAS DE OPERACION

Las espumas rígidas de poliuretano con una densidad de  $24 \text{ kg/m}^3$  o mayor, generalmente dan servicio adecuado en un intervalo de temperaturas que va desde  $-196^\circ\text{C}$  hasta  $+107^\circ\text{C}$ . Las espumas con densidades menores pueden presentar una estabilidad dimensional muy pobre a temperaturas menores de  $4^\circ\text{C}$  o mayores de  $77^\circ\text{C}$  (en este caso se deforman).

La resistencia mecánica de la espuma rígida de poliuretano no decrece mucho si se trabaja entre la temperatura ambiente y  $93^\circ\text{C}$ . Sin embargo, si se trabaja entre  $93^\circ\text{C}$  y  $121^\circ\text{C}$ , se presenta un ligero decremento en las propiedades mecánicas y en su estabilidad dimensional. Por estas razones, generalmente es recomendable utilizar como límite superior o máximo de temperaturas de  $99^\circ\text{C}$  a  $107^\circ\text{C}$  para un servicio continuo, y para un servicio intermitente por cortos períodos de tiempo, una temperatura hasta de  $121^\circ\text{C}$ .

En el otro extremo de la escala de temperaturas, la espuma rígida de poliuretano mantiene satisfactoriamente su resistencia hasta temperaturas tan bajas como  $-196^\circ\text{C}$ . La resistencia a la tensión y a la elongación decrecen ligeramente, pero la resistencia a la compresión se incrementa conforme la temperatura disminuye. Por consiguiente, la espuma rígida de poliuretano se vuelve menos flexible a bajas temperaturas.

#### 4) RESISTENCIA A LA FLAMA

La espuma rígida de poliuretano arde al ponerse en contacto con una flama y por lo general, continúa quemándose hasta que el origen de la flama sea removido o eliminado. Sin embargo, se le puede impartir a la espuma cierto grado de resistencia a la flama - mediante el uso de determinados aditivos especiales.

Actualmente existen sistemas disponibles comercialmente que se pueden clasificar como autoextinguibles. En general, el costo de estas espumas autoextinguibles es mayor que las común y corrientes.

#### 5) ESTABILIDAD DIMENSIONAL

La estabilidad dimensional de la espuma rígida de poliuretano se refiere a la resistencia que posee la espuma a contraerse o a dilatarse; esto es, mientras menos se contraiga o dilate una espuma en determinado medio ambiente, más dimensionalmente estable es ésta evitándose que se agriete.

Una pobre estabilidad dimensional se cree que resulta debido a la combinación de:

- a) Un incremento de la presión del gas en las celdas debido a una expansión de los vapores del freón y a una difusión interior de aire y vapor de agua.



- b) *Ablandamiento de la espuma a altas temperaturas. Esto es, la presión ejercida por el vapor sobre las paredes de las celdas provoca que la espuma experimente un flujo plástico y se llegue a la temperatura de transición vítrea.*

#### *FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL*

*Basándose en experiencias de laboratorio se han determinado los principales factores que afectan la estabilidad dimensional de las espumas rígidas de poliuretano:*

- a) *Conforme se incrementa la temperatura o la humedad del medio ambiente, o conforme se incrementa el tiempo de exposición al medio ambiente, se produce una dilatación de la espuma. Así tenemos que, en el intervalo de temperaturas de 93°C a 121°C, la estabilidad dimensional de la espuma disminuye marcadamente con el incremento de temperatura o de humedad. Así, si se tiene una espuma expuesta a un medio ambiente con una temperatura elevada, se ha observado que la espuma inicialmente se dilata, y posteriormente si continúa expuesta, comienza a contraerse. Un análisis de esta espuma mostró que algunas de las paredes de las celdas se rompieron debido a la expansión excesiva del gas contenido en ellas, permitiendo que los vapores de freón escaparan.*

- b) En general, mientras mayor sea la densidad de la espuma, mejor será su estabilidad dimensional. Conforme aumenta la densidad de la espuma, se incrementa el espesor de las paredes de las celdas, y por consiguiente, la espuma presenta una mayor resistencia para soportar las presiones creadas por la expansión del freón y la difusión interna de aire y vapor de agua. Como se había mencionado, la mayoría de las espumas rígidas con densidades menores de  $24 \text{ kg/m}^3$  poseen una pobre estabilidad dimensional a altas o bajas temperaturas.
- c) La estabilidad dimensional de la espuma se mejora notablemente si se utiliza una barrera de vapor sobre la espuma.

#### 6) OLORES

La espuma rígida de poliuretano carece relativamente de olor una vez que haya pasado el tiempo de curado.

Durante la reacción de espumado los olores del diisocianato (materia prima) y de los catalizadores amínicos se encuentran presentes. En el curado, a temperatura ambiente o a elevadas temperaturas el olor disminuye mucho rápidamente.

Una selección adecuada de catalizadores que bien sea que reaccionen con el diisocianato o tengan muy baja volatilidad también ayudarán a disminuir el olor de la amina.

### 7) RESISTENCIA A MICROORGANISMOS Y ROEDORES

La espuma rígida de poliuretano parece no ser -- muy atractiva para ser consumida por los roedores como lo son otros aislamientos convencionales. Numerosas pruebas han demostrado que las ratas pueden llegar a mordisquear la espuma de poliuretano, pero nunca la consumirán aún estando sujetas a condiciones de inanición, ya que se ha comprobado a través de las -- autopsias practicadas sobre los animales que llegaron a mordisquear la espuma que los roedores nunca pudieron asimilar la espuma.

Asimismo, pruebas de laboratorio también indicaron que los hongos no obtienen elementos nutritivos -- de la espuma rígida de poliuretano; sin embargo, también se determinó que la espuma no es tóxica a los -- hongos. Por consiguiente, la espuma no soporta el crecimiento y desarrollo de los hongos, pero tampoco eliminará hongos activos transferidos de otro medio.

### 8) TIEMPO DE VIDA DE SERVICIO

La experiencia que se ha tenido con las espumas rígidas de poliuretano utilizadas como aislantes térmicos a través de los años ha sido altamente satisfactoria. En todos los casos, se ha utilizado una -- barrera de vapor cuyo uso ha llegado a ser esencial para dar una larga vida de servicio a la espuma rígida de poliuretano.

#### *APLICACIONES COMERCIALES*

*La espuma rígida de poliuretano se utiliza en la actualidad en una amplia variedad de aplicaciones. Algunas de estas aplicaciones se deben a las ventajas que presentan las espumas de poseer excelentes propiedades como aislantes térmicos, otras a su gran resistencia, etc.*

*Entre las principales aplicaciones comerciales se tienen:*

*Construcción: Máquinas de refrigeración (aislamientos), aislamiento de pisos (contra fuegos) en la construcción de edificios.*

*Aislantes térmicos: Equipos de aire acondicionado, refrigeradores, equipos químicos, etc.*

*Transportación: Carros-tanque, camiones refrigeradores.*

*Muebles y decoración: Decoraciones florales, puertas, figuras, paneles, etc.*

*Industria automotriz: Como amortiguadores de impacto.*

*Restauración de obras de arte.*

	FIBRA DE VIDRIO	ESPUMA DE POLIESTIRENO NORMAL	ESPUMA DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD	CORCHO	ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO
CONDUCTIVIDAD (kcal/A.m°C)	0.030	0.031	0.027	0.035	0.014 a 0.025
DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	16 a 96	17	25	256	24 a 40
TEMPERATURA MINIMA DE OPERACION (°C)	-196	-150	-150	-196	-196
TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION (°C)	316	80	83	93	107
RESISTENCIA A LA FLAMA	NO ARDE	AUTO-EXTINGUIBLE	AUTO-EXTINGUIBLE	AUTO-EXTINGUIBLE	AUTO-EXTINGUIBLE
RESISTENCIA A LOS SOLVENTES QUIMICOS	BUENA	MALA	MALA	BUENA	BUENA
RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm <sup>2</sup> )	BUENA	2.5	3.2	-	2.8-5.6
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	-	0.7	1.2	-	1.8-4.2
PERMEABILIDAD (pern)	MUY ALTA	1.4	0.59	ALTA	1.5-3.0

3.3 SELECCION DEL MATERIAL AISLANTE ADECUADO PARA BAJAS TEMPERATURAS

Un buen material aislante para bajas temperaturas debe reunir las siguientes características y propiedades:

- a) Alta eficiencia térmica.
- b) Debe tener una buena estabilidad dimensional (no debe alargarse, contraerse o torcerse con los cambios de temperatura).
- c) Debe ser incombustible o por lo menos retardador del fuego.
- d) No debe favorecer a la corrosión, descomponerse ni desarrollar moho.
- e) No debe deteriorarse con la humedad.
- f) Poco peso (baja densidad).
- g) Debe ser inoloro, seco o mojado.
- h) Debe tener resistencia estructural adecuada.
- i) Debe tener una superficie tal que facilite la instalación de un acabado exterior.
- j) No debe desprender emanaciones tóxicas.
- k) Debe tener un bajo índice de costo contra conductividad.

Es importante hacer notar el hecho de que para un mismo incremento de temperatura, el espesor del aislamiento necesario para una instalación -- fría será mucho mayor que el usado para una instalación caliente, ésto se debe a dos factores importantes:

- 1) La necesidad de mantener una temperatura mayor -- que la de condensación de la humedad del aire en la superficie aislante y en la barrera de vapor -- que se está usando.
- 2) El hecho de extraer calor es mucho más costoso -- que producirlo (es 7 o 8 veces más barato producir 1 kcal. en una termoeléctrica que sacar 1 kcal de un espacio refrigerado).

#### RECUBRIMIENTO

Una vez seleccionado el material aislante, se procede a escoger el tipo de recubrimiento adecuado para el tipo de trabajo al que va a estar sometido, éste va a depender básicamente de los siguientes factores:

- 1) Localización:
  - a) Bajo cubierta
  - b) A la intemperie
- 2) Esfuerzo mecánico:
  - a) Sometido a esfuerzos mecánicos
  - b) No sometido a esfuerzos mecánicos
- 3) Medio ambiente:
  - a) Normal
  - b) Salino
  - c) Básico
  - d) Ácido

Los compuestos de poliuretano comprenden un --- amplio campo de materiales que poseen una gran variedad de propiedades y aplicaciones, por consiguiente, esta amplia versatilidad está directamente relacionada con su complejidad en la fabricación de estos compuestos. Esto implica que la fabricación de los poliuretanos involucra un alto grado de control de las reacciones químicas que intervienen en su prepara---ción.

En este caso, se pondrá especial interés en el estudio de las espumas rígidas de poliuretano, las cuales en relativamente pocos años han experimentado un desarrollo considerable.

La formación de una espuma rígida de poliuretano involucra una serie de reacciones químicas en las cuales, las características de los reactivos, temperaturas, catalizadores y el método seguido para reaccionar los componentes, son los que determinan las -propiedades finales de la espuma.

En la actualidad, el proceso completo se ha simplificado debido a que únicamente intervienen seis o siete compuestos en las reacciones fundamentales.

Para el caso de espumas rígidas primeramente se combinan un poliol y un diisocianato para formar un



cuasiprepolímero que posteriormente es mezclado con más poliol, un catalizador, un agente espumante y un agente surfactante.

Cuando se lleva a cabo el mezclado, la reacción de polimerización comienza casi inmediatamente a efectuarse con la liberación de considerable cantidad de calor. En la práctica general, para la fabricación de espumas de baja densidad, se utiliza como agente espumante un agente halocarbonado no inflamable con un punto de ebullición similar a la temperatura ambiente (por ej. el fluoro triclorometano). El calor liberado por la reacción vaporiza el agente espumante y éste, aunado al hecho de la realización de la polimerización, provoca que la masa se vuelva viscosa y se forme la espuma. En aproximadamente dos minutos la espuma alcanza el tiempo suficiente en el cual ha sido polimerizada para permanecer estable.

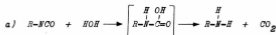
Las múltiples facetas de la química de las espumas de poliuretano han sido mejor estudiadas mediante las reacciones involucradas en la formación de espumas rígidas. Siendo las reacciones fundamentales las señaladas a continuación:

1) REACCION DE URETANO

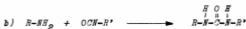


2) REACCION DE UREA

Esta reacción se efectúa cuando el agua reacciona con el grupo isocianato, para formar una amina y dióxido de carbono:

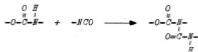


La amina reacciona con más isocianato para formar una urea sustituida:



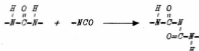
3) ENLACE ALOFANATO

Este tipo de reacción tiene por objeto producir enlaces cruzados y ocurre cuando el hidrógeno en un átomo de nitrógeno del grupo uretano reacciona con un grupo isocianato:



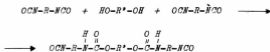
#### 4) FORMACION BIURET

En esta reacción los hidrógenos de los átomos de nitrógeno en la urea sustituida reaccionan con grupos isocianato, para producir enlaces cruzados:



#### 5) EXTENSION DE LA CADENA

Esta reacción se efectúa cuando los compuestos polifuncionales reaccionan para formar cadenas:

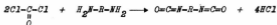


### 3.4.1 POLIISOCIANATOS

Los poliisocianatos constituyen la espina dorsal de la química de los poliuretanos, de ahí la importancia de su estudio.

Los principales isocianatos se preparan mediante

la reacción de las correspondientes aminas primarias con fosgeno en un solvente inerte:



### 3.4.2 COMPUESTOS POLIHIDROXILADOS

Como se había mencionado antes, los poliuretanos se basan fundamentalmente en la reacción de diisocianatos con poliésteres (espumas flexibles), o con polieter polioles (espumas rígidas) multifuncionales, que presenten como grupos terminales a grupos hidroxilo en el caso de poliéster primarios, y grupos hidroxilos secundarios en el caso de los polieter polioles.

#### 3.4.2.1 POLIESTERES

Los poliésteres son compuestos polihidroxlados que se preparan mediante la esterificación directa de ácidos polibásicos con alcoholes polihídricos.

Su principal ventaja radica en su naturaleza polimérica; pueden tener muchos enlaces cruzados si se utilizan reactivos polifuncionales. Sin embargo, no pueden competir con los polieter polioles en cuanto

a su costo. Aunque la mayor limitación de los poliésteres radica probablemente en su alta viscosidad que implica la necesidad de producir un prepolímero intermedio previo a la producción de la espuma.

#### 3.4.2.2 POLIÉSTER POLIIOLES

Los poliéster polioles son compuestos polihidroxilados empleados en la fabricación de espumas rígidas de poliuretano y son polímeros de óxidos de propileno provistos de hidróxidos activos polifuncionales.

Los poliéster polioles se preparan haciendo reaccionar el óxido de propileno con un glicol cuando se requiere un poliéster lineal, o bien, con polialcoholes de mayor funcionalidad cuando se requieren poliéster polioles ramificados. En cualesquiera de los dos casos la reacción se lleva a cabo en presencia de una base fuerte.

#### 3.4.3 AGENTES AUXILIARES

Para la producción de espuma rígida de poliuretano, la reacción de diisocianatos con compuestos polihidroxilados requiere importantes modificaciones, éstas se llevan a cabo mediante el empleo de ciertos agentes químicos auxiliares, siendo los principales.

los siguientes:

- 1) Catalizador
- 2) Agente espumante
- 3) Agente surfactante
- 4) Agente reticulador
- 5) Aditivo retardante de flama

#### 3.4.3.1 CATALIZADORES

Para producir espumas rígidas de poliuretano, se ha determinado que las aminas terciarias resultan catalizadores altamente satisfactorios, ya que, además de catalizar la reacción para producir espumas rígidas, impide la formación "biuret" o de ureas que son reacciones no deseadas en este caso.

#### 3.4.3.2 AGENTE ESPUMANTE

A mediados de 1958 se introdujeron los halocarburos como agentes espumantes en la preparación de espumas de poliuretano, con esto, se produjo un importante avance en el empleo de las espumas rígidas de poliuretano.

Entre los principales halocarburos de bajo punto de ebullición utilizados como agentes espumantes se tienen el tricloro fluorometano  $\text{CCl}_3\text{F}$  ("Freón 11"), y el dicloro difluorometano  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  ("Freón 12").

El agente espumante "freón 11", es un líquido --

inerte de baja viscosidad y el cual no toma parte en la reacción química; es rápidamente volatilizado por las reacciones exotérmicas de formación del uretano entre el compuesto polihidroxiado y el diisocianato (-OH/-NCO), de tal manera que es puesto en libertad como burbujas de gas que provocan una expansión en la espuma hasta que ésta alcanza su máxima altura, quedando el  $\text{CCl}_3\text{F}$  remanente en las celdas cerradas de la espuma rígida final.

Entre las principales propiedades del  $\text{CCl}_3\text{F}$  utilizado como agente espumante en la preparación de espumas rígidas, se tienen: es químicamente inerte, es el gas que tiene la menor conductividad térmica de todos los gases utilizados en la preparación de espumas y además es no inflamable.

#### 3.4.3.3 AGENTE SURFACTANTE

Es importante hacer notar que en una espuma que está creciendo es esencial que el gas sea retenido completamente en la forma de burbujas, ya que éstas son las que finalmente van a determinar la estructura de celdas cerradas de la espuma. La pérdida del gas durante el crecimiento de la espuma conduce a una expansión incompleta y a una espuma de muy alta densidad; la pronta desaparición de las burbujas provocan una serie de irregularidades en la consistencia final de la espuma. Por otro lado, una estructura áspera, asociada con un gran tamaño de las celdas

afecta considerablemente la baja conductividad térmica que debe tener la espuma.

Por lo anterior, es necesario adicionar un agente surfactante (también llamado agente tensoactivo o agente controlador de celda), cuya función sea la de facilitar la producción uniforme de pequeñas burbujas, con el fin de obtener una espuma rígida de fina textura y buen valor térmico aislante.

Los agentes surfactantes más utilizados para la fabricación de espumas rígidas de poliuretano son -- ciertos tipos de silicones.

#### 3.4.3.4 AGENTES RETICULADORES

Los agentes reticuladores son polioles de bajo peso molecular que frecuentemente son introducidos -- con el fin de incrementar la densidad de enlaces -- transversales de las espumas basadas en poliésteres -- de baja funcionalidad como los trioles. Por supuesto es necesario agregar una cantidad estequiométrica de diisocianato, de acuerdo a la cantidad de agentes re-- ticuladores adicionados a la reacción. La adición de estos agentes implica una mayor estabilidad dimensio-- nal a la espuma así como una mayor rigidez.

Entre los agentes reticuladores más utilizados se tienen el glicerol, tristanoamina, pentaeritritol, etc.



### 3.4.3 5 ADITIVOS RETARDANTES DE FLAMA

Los retardantes de flama son aditivos físicos - (no intervienen en el proceso de la espuma), tales - como compuestos orgánicos de fósforo o de halógeno, los cuales no reaccionan con los componentes fundamentales de la espuma. Tienen como función:

- a) Una reducción de la extensión de la flama por la liberación del halógeno.
- b) Controlar la oxidación del carbono.

Dentro de este tipo de compuestos, existen algunos como por ejemplo el pentaclorofenol, el cual, -- además de servir como retardante de flama, también - sirve para proteger a la espuma rígida de poliuretano contra la acción de roedores y otros organismos nocivos.

### 3.4.4 PROCESOS DE ESPUNADO

Se consideran tres tipos de procesos de espunado, dependiendo de la forma en que sea producida la espuma:

Vaciado en lugar

Pre-expandido (Prothing)

Aspersión (Spray-up)

#### 3.4.4.1 VACIADO EN LUGAR

En este proceso los componentes ya mezclados pero aún en forma líquida, son vaciados en el sitio donde van a espumar, este sitio donde van a espumar bien puede ser un transportador si se quiere obtener una pieza determinada, o puede ser un molde si se trata de moldear o de llenar una cavidad cualquiera.

#### 3.4.4.2 PRE-EXPANDIDO (FROTHING)

En este proceso, los componentes son pre-expandidos mediante la adición de un agente espumante (freón 12), el cual es un gas a temperatura ambiente. El agente espumante se mantiene a presión para tenerlo en forma líquida en el momento en el que se va a mezclar con los otros dos componentes, al ser descargada la mezcla a través de la cabeza mezcladora. Cuando dicha carga ocurre, el agente espumante se evapora produciendo la pre-expansión de la espuma.

#### 3.4.4.3 ASPERSION

En este proceso, los componentes son mezclados en el interior de una cabeza mezcladora, para posteriormente ser asperjados sobre la superficie donde se va a aplicar la espuma rígida de poliuretano.

UTILIZACION DEL PROCESO DE ASPERSION PARA LA APLICACION DE LA ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO

Las espumas rígidas de poliuretano pueden ser aplicadas por medio de aspersión sobre grandes áreas, - utilizando para ello los equipos de aspersión disponibles para tal fin. Pueden aplicarse sobre pisos, paredes o techos e incluso sobre complicadas estructuras, sin que se tengan irregularidades en la espuma aplicada.

Se pueden obtener una amplia variedad de espesores de espuma aplicada, que van desde 3/16" hasta 12" o más (en varias aplicaciones) en una gran diversidad de superficies.

DESCRIPCION DEL PROCESO

La espuma rígida de poliuretano es producida mediante la introducción correcta de dos componentes:

- 1) Componente A: Cuasiprepolímero (Disocianato + Poliéter poliol)
- 2) Componente B: Resina (Poliéter poliol + Catalizador + Agente espumante + Agente surfactante + Retardante de flama + Agente reticulador)

Estos dos componentes (el cuasiprepolímero y la resina), son introducidos en una cabeza mezcladora donde son mezclados, atomizados al ser descargados y posteriormente depositados en la superficie donde va a ser aplicada la espuma.

**VENTAJAS QUE OFRECE EL PROCESO DE ASPERSIÓN:**

- a) El sistema de aspersión permite una rápida aplicación de las espumas rígidas de poliuretano sobre una gran variedad de superficies.
- b) La conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano al ser aplicada por el proceso de aspersión es de aproximadamente  $0.016 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$ . Este valor de conductividad térmica original, puede ser más o menos retenido si se utiliza sobre la espuma una barrera de vapor adecuada.
- c) La espuma rígida de poliuretano aplicada por aspersión tiene poco peso (densidad aproximada de  $35 \text{ kg/m}^3$ ) y una buena relación de resistencia/peso.
- d) Por medio del proceso de aspersión se pueden obtener una amplia variedad de espesores de espuma aplicada.
- e) Las espumas rígidas de poliuretano aplicadas por el proceso de aspersión presentan resistencia a la flama.

#### 4.1 EQUIPO PARA ASPERSION

##### 4.1.1 UNIDADES DE DESCARGA

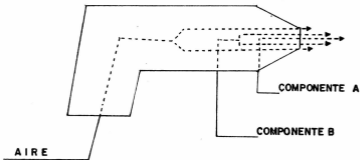
Existen 3 tipos principales de pistolas de as--  
persión (cabezas mezcladoras), que se utilizan para\_  
la aplicación de las espumas rígidas de poliuretano:

##### 4.1.1.1 PISTOLA DE MEZCLADO EXTERNO CON ATOMIZACION DE AIRE

Con este tipo de pistolas, ambos componentes --  
(cuasiprepolfmero y resina) son bombeados a través -  
de la pistola por medio de la presión del fluido y -  
desalojados en corrientes separadas. El mezclado y -  
la atomización se llevan a cabo simultáneamente en -  
una ráfaga de aire justo en el momento en que los --  
componentes abandonan la pistola por una tobera o bo  
quilla.

Ventajas:

- a) Debido a que el mezclado ocurre fuera de la  
pistola, no existen problemas de obstruccio--  
nes dentro de la pistola.
- b) Debido a que se necesita un considerable vo  
lumen de aire, se tiene una considerable can-  
tidad de superficie asperjada en cada pasada.
- c) Es el tipo de pistola más utilizado para as  
persión hasta la fecha (por su economía).



#### 4.1.1.2 PISTOLA DE MEZCLADO INTERNO CON ATOMIZACION DE AIRE

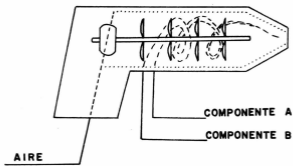
En este tipo de pistola, las dos corrientes de reactantes son mezcladas internamente por medio de un agitador de aire. En la descarga una ráfaga de aire a toma la corriente sencilla que contiene ambos ingre dientes ya mezclados.

##### Ventajas:

- a) Comparada con el tipo anterior de pistola, se requiere un menor volumen de aire para la atomización.
- b) No se tienen problemas de obstrucción si se tiene cuidado de mantener un flujo constante de materiales reactivos de alimentación.

##### Desventajas:

- a) Se tiene una menor cantidad de superficie as perjada en cada pasada debido al menor volumen de aire manejado.
- b) Es necesario mantener un flujo constante de alimentación a fin de evitar una obstrucción.
- c) Se requiere una purga completa con un sol- vente en la cámara de mezclado para limpiar - ésta, después de cada período de operación.





#### 4.1.1.3 PISTOLA DE MEZCLADO INTERNO SIN ATOMIZACION DE AIRE

En este tipo de pistola mezcladora, las corrientes con los componentes reactivos son mezcladas haciéndolas pasar juntas a través de un laberinto interno que se encuentra a una alta presión, de tal manera que conserva ambos componentes (cuasiprepólfmero y resina) en forma líquida para obtener un mejor mezclado.

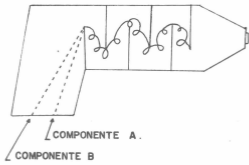
La atomización en la descarga se lleva a cabo por una caída de presión que experimenta la mezcla al cruzar la tobera o boquilla.

##### Ventajas:

- a) Se elimina el uso de una corriente de aire de atomización, para lo cual se consigue ésta utilizando presiones altas en el interior de la cabeza mezcladora.

##### Desventajas:

- a) Este diseño conduce a tener una muy pequeña cantidad de superficie asperjada en cada pasada.
- b) La cámara de mezclado debe ser limpiada -- con un solvente a fin de evitar problemas de obstrucción.



#### 4.1.2 UNIDADES DE ALIMENTACION

Existen dos sistemas que pueden utilizarse para medir e introducir los componentes reactivos a la -- unidad de descarga:

##### 1) Recipientes de presión.

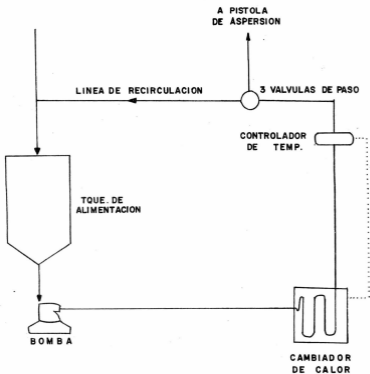
Estos recipientes utilizan aire seco para pro-- veer o suministrar presión y se utilizan válvulas ti-- po orificio para la alimentación.

Este sistema presenta la desventaja de que es -- bastante sensible a las variaciones de presión, tem-- peratura y viscosidad, por consiguiente, su funciona-- miento en general, no es conveniente para operacio-- nes a escala comercial.

##### 2) Bombas de desplazamiento positivo para medición y alimentación.

En este caso tenemos las bombas de engranes o -- las de pistón, las cuales nos dan precisión y un am-- plio rango de alimentación reproducible bajo diferen-- tes condiciones de operación.

Este tipo de sistema es más caro que los siste-- mas de recipientes de presión, pero han tenido una -- amplia aplicación gracias a la gran precisión que -- proporcionan.



#### 4.1.3 CONTROL DE TEMPERATURA

Como complemento al sistema de alimentación se requiere tener una buena unidad de control de temperatura capaz de calentar o enfriar los componentes.

El mezclado completo depende en gran parte de la viscosidad de ambas corrientes de componentes. -- Así se tiene que, controlando la temperatura de los componentes se reduce la variación de las viscosidades y se asegura un buen mezclado:

- a) El componente A (cuasiprepolímero) es calentado para reducir su viscosidad y mantener así un control sobre ella.
- b) El componente B (resina) es enfriado para prevenir una pérdida del agente espumante (freón).

#### 4.2 CONDICIONES PARA LA ASPERSION

##### 1) PRODUCCION

Para la mayoría de las aplicaciones se considera satisfactoria una producción de 1 a 5 kg/min. de espuma rígida de poliuretano asperjada. Sin embargo, existe disponible equipo capaz de producir un mezclado y asperjado adecuado de hasta 10 kg/min., aún -- cuando el principal problema que se tiene con ésta -

alta producción, es la gran velocidad de movimiento - que se necesita imprimir para distribuir la espuma y así mantener un espesor uniforme de espuma.

### 2) ESPESOR DE LA ESPUMA

Se pueden obtener espesores de espuma que van -- desde 3/16" hasta aproximadamente 2" en una sóla pasada de la pistola mezcladora. Aunque es posible depositar una mayor cantidad de espuma en una pasada, se -- presentan problemas de irregularidades en el espesor de la espuma.

Así se tiene que también se pueden obtener espumas con espesores de 12" o más, sin que se presenten irregularidades mediante varias pasadas de la pistola, teniendo cuidado de permitir que la espuma que ha sido depositada en una pasada, pueda crecer completamente antes de aplicar una nueva pasada.

### 3) TEMPERATURA AMBIENTE

La temperatura ambiente en el sitio de operación no es crítica si se tiene un control sobre la temperatura de los componentes y la superficie de aplicación no está muy fría. Si estas condiciones están satisfechas, la operación se puede realizar satisfactoriamente a temperatura ambiente aún hasta de 0°C.

Sin embargo, para disminuir las dificultades que

se pudieran tener si el tiempo es muy frío, es aconsejable cubrir el sitio de operación (si ésta se lleva a cabo a la intemperie) con una cubierta (tienda de campaña, lona, etc.).

Las altas temperaturas no impiden la operación de aspersión, si se dispone de un sistema de enfriamiento para la alimentación del freón 11. Si la temperatura es excesiva, sin embargo, es recomendable utilizar una menor concentración de freón 11 para obtener una espuma con una densidad adecuada, ya que a su vez el calor cataliza la reacción de espumado.

#### 4) TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE APLICACION

La espuma rígida de poliuretano puede ser aplicada sin dificultad sobre superficies que tengan una temperatura entre 10°C y 80°C.

Las superficies con una temperatura menor de --- 10°C pueden ser cubiertas, aplicando primero una capa delgada de espuma para formar así una capa o película aislante. El resto de la espuma puede ser aplicada posteriormente sin dificultad.

Es necesario aumentar la concentración del catalizador cuando se trabaja con superficies frías. Si la superficie ha sido calentada a una temperatura entre 66°C y 80°C, es necesario reducir la cantidad de catalizador para tener mejores resultados.

### 5) PREPARACION DE LA SUPERFICIE DE APLICACION

Las espumas rígidas de poliuretano presentan -- una buena adhesión a la madera y muchas otras superficies sin necesidad de someterlas a ningún tratamiento previo especial.

Su adhesión a ciertos metales no es muy satisfactoria, pero lo puede ser tratando la superficie o cubriendo la superficie con algún compuesto previo -- ("primers"). Algunos de los principales tratamientos utilizados comercialmente sobre ciertos metales son:

#### a) Tratamientos superficiales:

Grabado con ácido fosfórico

Anodizado (para aluminio)

Grabado con chorro de arena

#### b) Primers

Cromato de zinc

Vinil

Epoxy

Acrílico

### 6) SUPERFICIES MOJADAS O HUMEDAS

Las espumas rígidas de poliuretano no pueden -- ser aplicadas sobre superficies mojadas ya que el -- agua reacciona con los grupos isocianato alterando --



el balance estequiométrico del sistema reaccionante. Por consiguiente, la espuma resultante presenta una estructura de celda irregular y baja resistencia - cerca de la superficie de aplicación, además de que no se adhiere bien a la superficie asperjada.

## 7) VIENTO

En aplicaciones exteriores (al aire libre), -- los vientos fuertes pueden constituir un problema, ya que con las corrientes de aire se pueden ac---rrear vapores y material espumante que pueden provo---car un exceso de espuma asperjada o bien dificultades en mantener uniforme el espesor de la espuma.

Asimismo, el viento puede provocar que el ca---lor de reacción pueda ser desalojado de la masa es---pumante produciendo un incremento en la densidad de la espuma debido a la reducción en la eficiencia -- del proceso de espumado, o a una baja resistencia - de la espuma debido a un tiempo de cremado insufi---ciente.

En días con mucho viento, es recomendable pro---teger el sitio de operación con una lona o tienda - de campaña.

Generalmente, la velocidad máxima tolerable - del viento es de 20 a 30 km/hr en el sitio de opera---ción.

### 8) BARRERAS DE VAPOR

Si la espuma va a ser utilizada para trabajar a 0°C o menos, es necesario utilizar una barrera contra el vapor para evitar que el vapor de agua afecte a la espuma.

Si se prescindiera del uso de esta barrera, el vapor de agua se condensaría y congelaría en la superficie fría, reduciendo seriamente las propiedades aislantes de la espuma.

Aun cuando la espuma vaya a ser utilizada a temperaturas que no sean inferiores a 0°C, el uso de estas barreras es recomendable, ya que impiden que el aire y el vapor de agua se difundan dentro de las celdas de la espuma, y además ayudan a que la espuma retenga sus propiedades aislantes.

Se han utilizado muchos tipos de barreras de vapor satisfactoriamente, y se pueden clasificar en términos generales como:

- a) Barreras de vapor retardantes de flama
- b) Barreras de vapor no retardantes de flama

Una buena barrera de vapor retardante de flama es aquella que protege adecuadamente a la espuma contra cualquier clase de fuego.

4.3

CONTROL DE LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA

La densidad total de la espuma y sus propiedades físicas complementarias se ven afectadas por las siguientes variables:

1) CANTIDAD DE AGENTE ESPUMANTE

Conforme aumenta la concentración del agente espumante freón 11, la densidad de toda la espuma disminuye. Sin embargo, un aumento de concentración mayor del 25% (del total de la mezcla) de freón 11, la reducción en la densidad de la espuma disminuye.

2) ALIMENTACION

Una alimentación inadecuada o imprecisa afecta grandemente las propiedades de la espuma. Si la relación del cuasiprepolímero a la resina es muy baja, la espuma carecerá de resistencia y tendrá muy poca estabilidad dimensional. Por consiguiente, es aconsejable un ligero exceso de cuasiprepolímero.

3) MEZCLADO

Un buen mezclado es esencial en la operación de aspersión para tener una espuma de buena calidad. Un mal mezclado produce una estructura de celda burda (mal estructurada) con un alto porcentaje de celdas abiertas, por consiguiente, se tienen propiedades físicas pobres y la espuma presenta una alta densidad y un valor de conductividad alto.

#### 4) *ESPESOR DE LA ESPUMA*

El espesor de la espuma se verá afectado por la densidad de la espuma, y dependerá del tipo de aplicación que se le quiera dar.

#### 5) *TEMPERATURA DE LOS COMPONENTES DE LA ESPUMA*

En general, la densidad de la espuma decrece conforme aumenta la temperatura de los componentes de la espuma.

La temperatura óptima de los componentes para aspersión es entre 27°C y 32°C. Abajo de 27°C el efecto de la temperatura sobre la densidad de la espuma es muy marcado, lo cual indica la necesidad de tener un control adecuado de temperatura. Asimismo, calentando los reactantes arriba de 32°C se obtiene una pequeña reducción adicional en la densidad, debido a que las altas temperaturas promueven una volatilización prematura del agente espumante freón 11 en la mezcla.

#### 6) *TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE APLICACION*

Se puede obtener una reducción en la densidad - de la espuma calentando la superficie de aplicación a 52°C-80°C.

#### 7) *TEMPERATURA AMBIENTE*

La temperatura ambiente generalmente tiene muy poco efecto sobre la densidad de la espuma, siempre

y cuando la temperatura de los componentes de la espuma sea adecuadamente controlada.

Sin embargo, cuando hay frío o mucho viento, se pierde cierto calor de reacción reduciéndose la eficiencia del espumado. En algunas ocasiones, es recomendable aumentar la concentración del catalizador o proteger el sitio de operación.

#### 4.4

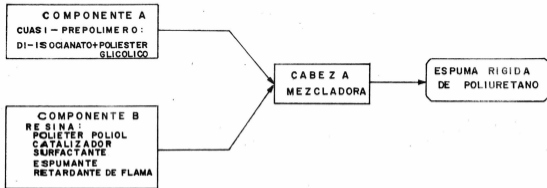
#### MEDIDAS DE SEGURIDAD

Cuando se aplica la espuma rígida de poliuretano por el proceso de aspersión, es necesario que los trabajadores se encuentren adecuadamente protegidos contra la producción de vapores. Vapores del diisocianato que son irritantes de los ojos, la piel y las membranas mucosas son emitidos durante la atomización de la mezcla y durante la reacción de espumado (crecimiento de la espuma).

Cuando la aplicación es en interiores, el operario y todo el personal que se encuentre en el área, debe estar provisto con mascarillas protectoras.

Cuando la aplicación es al aire libre el operario requerirá también el uso de una mascarilla de seguridad, no así el resto del personal, dependiendo de su proximidad con el sitio de operación, el grado de aspersión y la dirección del viento.

DISEÑO DE BLOQUES PARA LA FABRICACION DE ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO POR EL PROCESO DE ASPERSION



CALCULO TERMICO PARA LA CONSERVACION DE PRODUCTOS  
PERECEDEROS

En el flujo de calor a través de una pared, éste se lleva a cabo por la diferencia de temperaturas entre las superficies calientes y frías. Por lo tanto, cuando dos superficies de una pared están a diferentes temperaturas, necesariamente existe un flujo y una resistencia al flujo de calor. Este flujo de calor es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared  $A$ . Si  $t$  es la temperatura en cualquier punto de la pared, y  $x$  es el espesor de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor  $dQ$  cuando el flujo de calor hacia adentro y afuera de la pared es constante (estado estable), está definido por:

$$\frac{dQ}{dA} = -k \frac{dt}{dx}$$

ecuación que integrada queda:

$$Q = -k \frac{A \Delta t}{L}$$

Dadas las temperaturas existentes en las superficies fría y caliente de la pared, el flujo de calor puede ser calculado usando esta ecuación.

Ahora bien, para determinar el calor que es necesario extraer de una instalación frigorífica, se hace necesario conocer las cantidades de calor que por diversos conceptos llegan al interior de la cámara y deben ser absorbidas por el equipo de refrigeración.

Claro está que según sea el tipo de instalación, tendremos conceptos variados. Como en éste caso se tienen cámaras de conservación de productos alimenticios, es necesario determinar:

1) Calor por Pérdidas en Paredes:

$$Q_p = \frac{\Delta t}{L/k}$$

$Q_p$  = Calor por Pérdidas en Paredes [kcal/hm<sup>2</sup>]

$\Delta t$  = Diferencia de temperaturas [°C.]

$L$  = Espesor del aislamiento [m.]

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica [kcal/hm<sup>0</sup>C]

2) Calor por Carga de Género:

$$Q_c = N C_g \Delta t$$

$Q_c$  = Calor por Carga de Género [kcal/hm<sup>2</sup>]

$N$  = Carga de género [kg/m<sup>2</sup>]

$C_g$  = Calor específico del género [kcal/día kg]



$\Delta t =$  Diferencia de temperaturas  $[\text{°C}]$

3) Calor por Respiración:

$$Q_e = M C_e$$

$Q_e =$  Calor por respiración del producto  $[\text{kcal/hm}^2]$

$M =$  Carga de género  $[\text{kg/m}^2]$

$C_e =$  Calor de respiración del género  $[\text{kcal/día kg}]$

4) Calor por Renovación de Aire:

Para renovaciones de aire se ha estimado un valor standard de:

$$Q_A = 0.1 \text{ kcal/hm}^2$$

5) Calor por Servicios:

Se ha estimado que el calor que se debe de extraer por servicios (apertura de puertas, alumbrado, etc.), es un 20% más de la suma de los anteriores términos:

$$Q_s = 0.2 (Q_p + Q_c + Q_e + Q_A) \quad [\text{kcal/hm}^2]$$

6) Calor Real a Extraer:

El calor real a extraer para la conservación de -  
productos perecederos, se obtiene sumando las con  
tribuciones de los términos anteriores, incluyen-  
do un coeficiente de seguridad del 10%:

$$Q_R = 1.1 (Q_p + Q_c + Q_e + Q_A + Q_s)$$

$$Q_R = \text{Calor real a extraer} \quad \left[ \text{kcal/hm}^2 \right]$$

RESULTADOS

Para poder realizar una evaluación tanto técnica como económica, con respecto a la factibilidad de utilización de la espuma rígida de poliuretano empleado como aislamiento térmico en el acondicionamiento de cámaras de conservación de alimentos, y a fin de mejorar las condiciones de almacenamiento en este punto de vital importancia en el desarrollo de nuestro país, se consideró la producción agropecuaria nacional --- (1972) en lo referente a frutas, legumbres, productos lácteos y productos del mar, y se seleccionaron para tal fin, tres productos representativos de cada uno de los productos perecederos antes mencionados.

A continuación, se hace la descripción de las características que se deben tener en consideración para la conservación de los productos alimenticios en general, y de los productos seleccionados en particular, en las diferentes regiones de la República Mexicana donde son producidos en mayor cantidad.

6.1 CONDICIONES GENERALES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE ALIMENTOS

Las condiciones de almacenamiento y tiempos de conservación recomendados, son válidas para alimentos

que se almacenaron en frío en condiciones perfectas y en estado fresco, por ejemplo, frutas recién recolectadas, pescados inmediatamente después de la captura, etc. Cualquier retraso acorta la duración de la conservación.

Se debe mantener la temperatura de la cámara tan constante como sea posible. En el caso de algunas frutas, oscilaciones de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  tienen ya consecuencias -- perjudiciales.

Para la mayor parte de los alimentos, debe mantenerse una humedad relativa de 85% a 90% para temperaturas superiores a  $0^{\circ}\text{C}$  y de 95% a 100% en las cámaras de congelación, para impedir pérdidas de peso inaceptables y la contracción de la superficie de los alimentos.

La circulación de aire en la cámara debe ser suficientemente intensa para conseguir que la temperatura y la humedad sean homogéneas en todo el espacio. La circulación demasiado intensa del aire favorece la desecación de los productos. Estos deben acomodarse de modo de no dificultar la circulación de aire.

## 6.2 CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE FRUTAS (5)

Los métodos empleados para la conservación de frutas,

REQUISITOS DE ALMACENAMIENTO Y PROPIEDADES DE ALIMENTOS PERECEDEROS

Producto	Temperatura de Almacenamiento (°C)	H.R. (%)	Vida Aproximada de Almacén	Calor Especifico Sobre 0°C (Frig/día/kg)	Respiración (Frig/día/kg)	Calor Latente de Congelación (Frig/día/kg)
Manzana	2-5	80-85	6 meses-1 año	0.92	0.41	67
Mango	10-12	85-90	2-3 semanas	0.85	0.38	63
Uva	0-3	80-85	2-3 meses	0.92	0.27	63
Jitomate Verde	10-13	85-90	2-5 semanas	0.95	0.26	75
Jitomate Maduro	0	85-90	7 días	0.95	0.27	75
Chicharo	0-2	85-90	1-3 semanas	0.79	2.3	-
Cebolla	4-10	75-80	6-8 meses	0.90	0.55	66
Crema	2-7	80-85	varios meses	0.70	2.5	47
Mantequilla	2-4	80-85	1 año	0.65	2.5	47
Queso Fresco	1-4	80-85	varios meses	0.64	2.73	50
Pescado Fresco	-1-2	90-95	5-20 días	0.80	2.5	-
Pescado Congelado	-12-25	90-95	5-8 meses	0.80	2.5	62

llevados a cabo con éxito, tienen gran parte de su secreto en saber cosechar en tiempo oportuno el fruto, ya que, una vez iniciado el proceso de maduración, éste ya no puede pararse, por lo que es necesario recoger el fruto a punto de dar comienzo dicho período.

Para una conservación a largo plazo, las condiciones de temperatura y grado de humedad, deben ser definidas con toda precisión. Asimismo, es necesario dotar a las cámaras de una renovación de aire adecuado que evite la formación de gases durante el período de vida propio del fruto.

#### CARACTERISTICAS Y CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE LAS FRUTAS SELECCIONADAS

##### 1) UVA (2), (7)

Localización: Aguascalientes, Ags.

Producción Anual: 61,700 ton. (Estado de Aguascalientes).

Cosecha: Junio a Agosto

Temperatura promedio durante la cosecha: 21°C.

Distribución de la producción:

a) Industria vitivinícola	- 30,850 ton.
b) Consumo interno	- 15,425 ton.
c) Pérdidas	- 6,425 ton.
d) Se proponen para conservación	- 9,000 ton.

Temperatura recomendada para conservación: 0-3°C.  
Tiempo aproximado de conservación: 2-3 meses.

Se propone la adaptación de cuatro cámaras de -  
conservación de uva en la ciudad de Aguascalientes, -  
Ags., de las siguientes dimensiones:

Largo - 50 m.  
Ancho - 30 m.  
Altura - 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 4,500 m<sup>3</sup>  
Cantidad recomendada de uva en cada cámara: 250kg/m<sup>3</sup>  
Capacidad de cada cámara: 1,125 ton.

2) MANZANA (2), (7)

Localización: Cd. Delicias, Chih.  
Producción Anual: 38,000 ton. (Estado de Chihuahua)  
Cosecha: Julio a Septiembre  
Temperatura promedio durante la cosecha: 24°C.  
Distribución de la producción:

a) Exportación	- 15,200 ton.
b) Consumo interno	- 13,300 ton.
c) Pérdidas	- 3,800 ton.
d) Se proponen para conservación	- 5,700 ton.

Temperatura recomendada para conservación: 2-6°C.  
Tiempo aproximado de conservación: 6-12 meses

Se propone la adaptación de cinco cámaras de con

servación de manzana en Cd. Delicias, Chih., de las siguientes dimensiones:

Largo - 50 m.  
Ancho - 30 m.  
Altura - 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 4,500 m<sup>3</sup>

Cantidad recomendada de manzana en c/cámara: 250kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de cada cámara: 1,125 ton.

### 3) MANGO (2), (7)

Localización: Jalapa, Ver.

Producción Anual: 166,000 ton. (Edo. de Veracruz)

Cosecha: Mayo a Julio

Temperatura promedio durante la cosecha: 20°C.

Distribución de la producción:

- |                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| a) Empacadoras y exportación     | - 83,000 ton. |
| b) Consumo interno               | - 49,800 ton. |
| c) Pérdidas                      | - 24,900 ton. |
| d) Se proponen para conservación | - 24,900 ton. |
- Temperatura recomendada para conservación: 10-12°C.  
Tiempo aproximado de conservación: 2-3 semanas

Se propone la adaptación de siete cámaras de conservación de mango en la ciudad de Jalapa, Ver., de las siguientes dimensiones:



Largo - 40 m.

Ancho - 30 m.

Altura - 3 m.

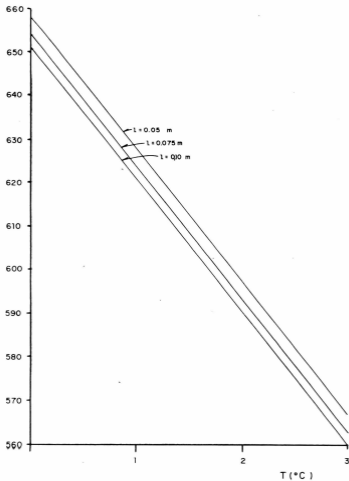
Volumen de c/u de las cámaras:  $3,600 \text{ m}^3$

Cantidad recomendada de mango en c/cámara:  $250 \text{ kg/m}^3$

Capacidad de cada cámara: 900 ton.

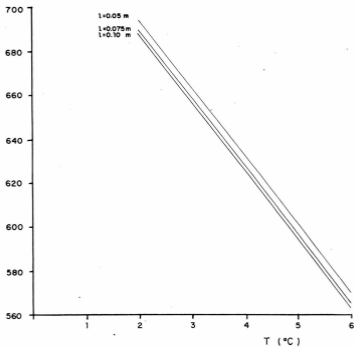
# UVA (AGUASCALIENTES)

$Q_R = [ \text{Kcal/hm}^2 ]$



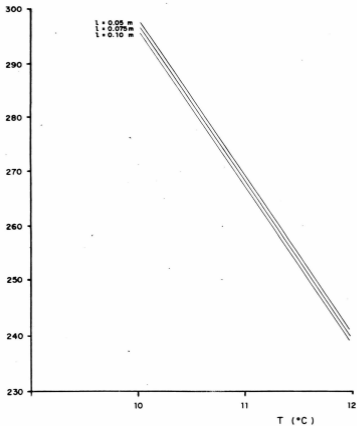
# MANZANA ( CHIHUAHUA )

$Q = [ \text{Kcal/h m}^2 ]$



# MANGO ( VERACRUZ )

$Q_R = [ K \text{ cal/h m}^2 ]$



6.3 CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE LEGUMBRES (5)

Con pocas excepciones, como algunas variedades - especiales de ensalada, se pueden almacenar en frío - la mayor parte de las verduras o legumbres corrientes.

No existen muchos resultados experimentales referentes a estos productos debido a que su almacenaje - en ciertos casos no es muy necesario, o a que los --- tiempos de almacenaje en otros casos, son cortos. En cualquier caso, es conveniente tener en cuenta que -- con los tipos de verduras que experimentan una fuerte pérdida de agua durante el almacenamiento, es indicado envolverlos en papeles impermeables al vapor de -- agua.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE LAS LEGUMBRES SELECCIONADAS

1) JITONATE (2), (7)

Localización: Valle de Culiacán, Sin.

Producción Anual: 264,000 ton. (Edo. de Sinaloa)

Cosecha: Febrero a Junio

Temperatura promedio durante la cosecha: 25°C.

Distribución de la producción:

- |                              |                |
|------------------------------|----------------|
| a) Empacadoras y exportación | - 158,400 ton. |
| b) Consumo interno           | - 50,000 ton.  |

c) Pérdidas - 25,600 ton.

d) Se proponen para conservación - 30,000 ton.

Temperatura recomendada para conservación:

Jitomate verde - 10-13°C.

Jitomate maduro - 0°C.

Tiempo aproximado de conservación:

Jitomate verde - 2-5 semanas

Jitomate maduro - 7 días

Se propone la adaptación de diez cámaras de conservación de jitomate distribuidas en el Valle de -- Culiacán, Sin., de las siguientes dimensiones:

Largo - 40 m.

Ancho - 20 m.

Altura - 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 2,400 m<sup>3</sup>

Cantidad recomendada de jitomate en c/cámara: 250kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de cada cámara: 600 ton.

## 2) CEBOLLA (2),(?)

Localización: Morelia, Mich.

Producción Anual:

a) Invierno - 10,500 ton.

b) Primavera-Verano - 9,500 ton.

20,000 ton.

*Cosecha:*

a) *Marzo a Junio*

b) *Agosto a Octubre*

*Temperatura promedio durante la cosecha: 19°C.*

*Distribución de la producción:*

a) *Invierno:*

*Consumo interno - 5,250 ton.*

*Pérdidas - 2,250 ton.*

*Se proponen para conservación - 3,000 ton.*

b) *Primavera-Verano:*

*Consumo interno - 4,750 ton.*

*Pérdidas - 1,900 ton.*

*Se proponen para conservación - 2,850 ton.*

*Temperatura recomendada para conservación: 4-10°C.*

*Tiempo aproximado de conservación: 6-8 meses.*

*Se propone la adaptación de tres cámaras de conservación de cebolla en la ciudad de Morelia, Mich., de las siguientes dimensiones:*

*Largo: 40 m.*

*Ancho: 30 m.*

*Altura: 3 m.*

*Volumen de c/u de las cámaras: 3,600 m<sup>3</sup>*

*Cantidad recomendada de cebolla en c/cámara: 250kg/m<sup>3</sup>*

*Capacidad de cada cámara: 900 ton.*

3) CHICHARO (2), (?)

Localización: Toluca, Edo. de México.

Producción Anual: 4,500 ton.

Cosecha: Agosto a Octubre

Temperatura promedio durante la cosecha: 13°C.

Distribución de la producción:

a) Empacadoras - 1,800 ton.

b) Consumo interno - 1,125 ton.

c) Pérdidas - 450 ton.

d) Se proponen para conservación - 1,125 ton.

Temperatura recomendada para conservación: 0-2°C.

Tiempo aproximado de conservación: 1-3 semanas.

Se propone la adaptación de una cámara de conservación de chícharo en la ciudad de Toluca, Edo. de México, de las siguientes dimensiones:

Largo: 25 m.

Ancho: 20 m.

Altura: 3 m.

Volumen de la cámara: 1,500 m<sup>3</sup>

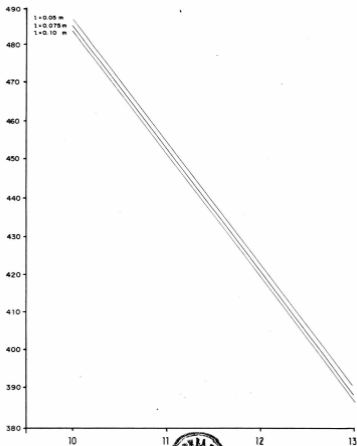
Cantidad recomendada de chícharo en la cámara: 250kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de la cámara: 375 ton.



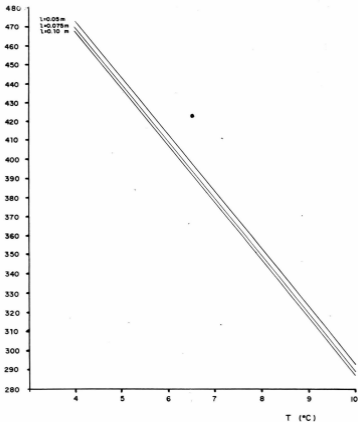
# JITOMATE (SINALOA)

$Q_n = [Kcal/h m^2]$



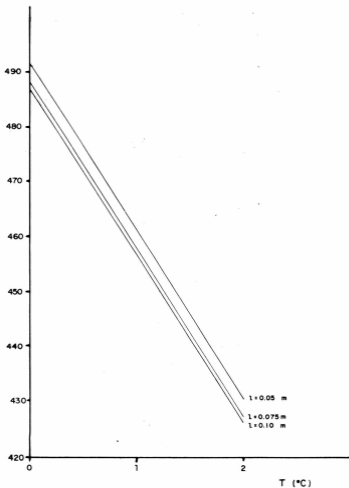
CEBOLLA ( MICHUACAN )

$Q_m = [ \text{Kcal/h m}^2 ]$



CHICHARO (EDO. DE MEXICO)

$Q_R = [ \text{Kcal/hm}^2 ]$



6.4 CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE PRODUCTOS LACTEOS (5)

MANTEQUILLA

Las oscilaciones de temperatura durante el almacenamiento en cámaras frigoríficas, tienen una fuerte influencia sobre la conservación de la mantequilla. - Como la mantequilla se almacena generalmente en barriles, es muy difícil lograr la refrigeración con la rapidez requerida, sobre todo, si se meten a la vez cantidades grandes de mantequilla en la cámara de almacenamiento. Para evitar lo anterior, y poder lograr -- una refrigeración más rápida, se ha intentado almacenar mantequilla moldeada y empaquetada.

En la actualidad, las cámaras destinadas a almacenar mantequilla durante corto tiempo, a temperaturas superiores a 0°C, es conveniente que se encuentren localizadas en centrales lecheras con el objeto de facilitar su manejo y almacenamiento.

QUESO

En lo que se refiere al montaje de una cámara para la conservación de queso, éstas se diferencian -- poco de cualquier otra cámara frigorífica, pero aquí es preciso que se mantengan extraordinariamente limpias.

Sobre el tamaño de las cámaras de almacenaje, no se pueden precisar dimensiones de validez general, ya que la cantidad de queso a almacenar depende fuertemente de las oscilaciones del mercado.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE PRODUCTOS LACTEOS (2), (7)

1) ZONA PRODUCTORA 1

Localización: Chiapas, Tabasco, Oaxaca y Veracruz

Producción Anual: 892,790,849 lts.

Distribución de la producción:

a) 80% - Leche: 714,232,680 lts.

b) 20% - Derivados lácteos (queso, mantequilla, crema): 178,558,170 lts.

Temperatura recomendada para conservación: 1-4°C.

Tiempo aproximado de conservación: varios meses.

Se propone para conservación un 20% de la producción de derivados lácteos que representa: 36,640 ton.

Se propone la adaptación de cuatro cámaras de conservación de productos lácteos, localizadas:

Dos cámaras en la ciudad de Veracruz, Ver., (Temperatura promedio anual: 25°C.)

Dos cámaras en la ciudad de Tapachula, Chis., (Temperatura promedio anual: 25°C.)

De las siguientes dimensiones:

Largo: 40 m.

Ancho: 30 m.

Altura: 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 3,600 m<sup>3</sup>

Cantidad recomendada de derivados lácteos en cada una de las cámaras: 350 kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de cada cámara: 1,260 ton.

## 2) ZONA PRODUCTORA 2

Localización: Chihuahua, Coahuila y Sinaloa

Producción Anual: 636,828,948 lts.

Distribución de la producción:

a) 80% - Leche: 509,463,160 lts.

b) 20% - Derivados lácteos (queso, mantequilla, - crema): 127,365,790 lts.

Temperatura recomendada para conservación: 1-4°C.

Tiempo aproximado de conservación: varios meses.

Se propone para conservación un 20% de la producción de derivados lácteos que representa: 26,135 ton.

Se propone la adaptación de cuatro cámaras de conservación de productos lácteos, localizadas:

Dos cámaras en la ciudad de Chihuahua, Chih., (Temperatura promedio anual: 19°C).

• Dos cámaras en la ciudad de Torreón, Coah., (Temperatura promedio anual: 23°C).

De las siguientes dimensiones:

Largo: 40 m.

Ancho: 25 m.

Altura: 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 3,000 m<sup>3</sup>

Cantidad recomendada de derivados lácteos en cada una de las cámaras: 350 kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de cada cámara: 1,050 ton.

### 3) ZONA PRODUCTORA 3

Localización: Jalisco, Michoacán y Zacatecas

Producción Anual: 656,312,671 lts.

Distribución de la producción:

a) 80% - Leche: 525,050,130 lts.

b) 20% - Derivados lácteos (queso, mantequilla, - crema): 131,262,530 lts.

Temperatura recomendada para conservación: 1-4°C.

Tiempo aproximado de conservación: varios meses.

Se propone para conservación un 20% de la producción de derivados lácteos que representa: 26,935 ton.

Se propone la adaptación de cuatro cámaras de conservación de derivados lácteos, localizadas:

Dos cámaras en la ciudad de Guadalajara, Jal., (Temperatura promedio anual: 19°C).

Dos cámaras en la ciudad de Morelia, Mich., (Temperatura promedio anual: 18°C).

De las siguientes dimensiones:

Largo: 40 m.

Ancho: 25 m.

Altura: 3 m.

Volumen de c/u de las cámaras: 3,000 m<sup>3</sup>

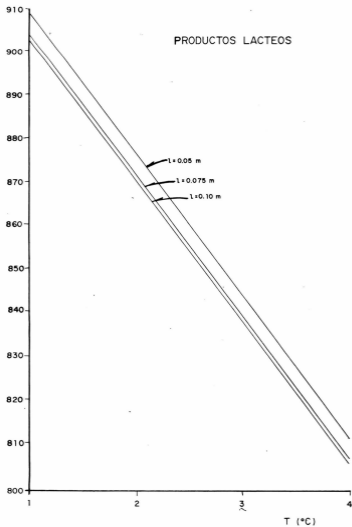
Cantidad recomendada de derivados lácteos en cada una de las cámaras: 350 kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de cada cámara: 1,050 ton.



$Q_R = [Kcal/hm^2]$

# PRODUCTOS LACTEOS



6.5 CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE PRODUCTOS DEL MAR (5)

1) CONSERVACION

A la necesidad de conservar el pescado desde que se captura hasta que el barco vuelve a puerto, se le ha venido prestando atención desde hace mucho tiempo.

Los pescados y mariscos frescos deben conservarse a una temperatura lo más próxima posible al punto de congelación de los géneros. El mejor agente refrigerante que se ha utilizado es el hielo picado, que está en contacto directo con el pescado. Actualmente se buscan métodos más eficaces de refrigeración mecánica para conservar el pescado, aunque cabe hacer notar, que la congelación dentro del barco en el mar, es preferible a la conservación en hielo en espera de que el barco llegue a puerto para después congelarlo.

2) CONGELACION

Los pescados congelados representan una mercancía extraordinariamente delicada, y precisan de un tratamiento muy cuidadoso. El estado de conservación de los pescados antes de congelar, es de importancia decisiva para la calidad de la mercancía descongelada después del almacenamiento en frío.

La congelación rápida y el almacenamiento a temperaturas lo más bajo posible, tienen una influencia decisiva para que los pescados conserven su calidad.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE PRODUCTOS DEL MAR

1) CONSERVACION

**OBJETIVO:** Se propone la adaptación de una cámara de conservación de productos del mar en - barcos pesqueros, con el fin de mejorar - las condiciones con que son transportados y conservar el pescado en las condiciones de calidad requeridas para su consumo después de varios días de transporte marítimo.

**Localización:** Litorales de la República Mexicana

**Temperatura promedio:** 24°C.

**Temperatura recomendada para conservación:** -1 a 2°C

**Tiempo aproximado de conservación:** 7 a 20 días

**Dimensiones propuestas para c/cámara:**

**Largo:** 5 m.

**Ancho:** 4 m.

**Altura:** 2 m.

**Volumen de c/cámara:** 40 m<sup>3</sup>

**Cantidad recomendada de pescado en c/cámara:** 400kg/m<sup>3</sup>

**Capacidad de cada cámara:** 16 ton.

2) CONGELACION

Localización: Litorales de la República Mexicana

Temperatura promedio: 24°C.

Temperatura recomendada para congelación: -19 a -22°C

Tiempo aproximado de congelación para producto congelado: varios meses.

Dimensiones propuestas para c/cámara:

Largo: 5 m.

Ancho: 4 m.

Altura: 2 m.

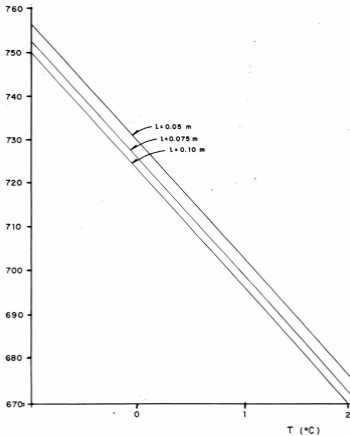
Volumen de c/cámara: 40 m<sup>3</sup>

Cantidad recomendada de pescado en c/cámara: 400kg/m<sup>3</sup>

Capacidad de c/cámara: 16 ton.

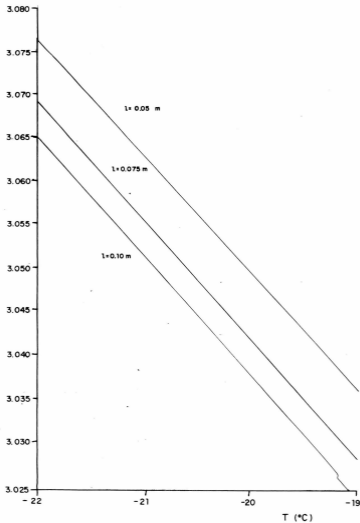
PRODUCTOS DEL MAR  
CONSERVACION

$Q_R = [ \text{Kcal/hm}^2 ]$



PRODUCTOS DEL MAR  
CONGELACION

$Q_R = [ \text{Kcal/hm}^2 ]$



EVALUACION ECONOMICA

Para entrar de lleno a una evaluación económica para la adaptación de cámaras de conservación de productos perecederos, y de acuerdo al análisis previo de mercado y a los estudios realizados con los productos seleccionados mediante los cuales se determinó la demanda existente en todo el país, se encontró que se deberá de adaptar un promedio de 75 cámaras de conservación por año, las cuales, para satisfacer en general las necesidades de almacenamiento que la producción agropecuaria nacional demande en los próximos años, se ha considerado que deberán tener las siguientes dimensiones:

Largo: 40 m.

Ancho: 25 m.

Altura: 3 m.

Teniendo el aislamiento de las cámaras de conservación un espesor de 0.05 m. (de espuma rígida de poliuretano), el cual fue el espesor más adecuado que resultó del cálculo térmico realizado para la conservación de los diversos productos perecederos seleccionados. Por consiguiente, se requerirá un volumen de 70 m<sup>3</sup> de material aislante por cada cámara adaptada.

7.1 FACTORES DE COSTO

Entre los factores de costo que intervienen en la adaptación de cámaras de conservación de productos perecederos, utilizando como material aislante la espuma rígida de poliuretano aplicada por medio del proceso de aspersión, se pueden citar los siguientes:

1) *Materia Prima:*

*Poliuretano*  
*Solventes*

2) *Mano de Obra:*

*Operarios*  
*Supervisor*  
*Mantenimiento*  
*Secretaria*  
*Chofer*

3) *Gravámenes:*

*Seguro Social*  
*Vacaciones*  
*Donativos, Prestaciones, etc.*

4) *Servicios:*

*Electricidad*  
*Agua*



5) *Materiales Auxiliares:*

*Herramienta*

*Lubricantes*

*Materiales para Conservación*

6) *Depreciación de la Construcción y del Equipo*

7) *Seguros e Impuestos de la Fábrica*

8) *Impuesto sobre la Renta*

*Estos factores de costo estarán en función del -  
lugar donde se vaya a operar, del tamaño de la empre-  
sa, de la política particular de la empresa, etc.*

7.2

*COSTO DE PRODUCCION*

*NOTA: Los precios que se toman para esta evaluación  
económica son al: 31/V/76.*

1) *Costo de Materia Prima*

*Producción anual para 75 cámaras de conservación  
de productos perecederos con dimensiones de:*

*Largo: 40 m.*

*Ancho: 25 m.*

*Altura: 3 m.*

Considerando lo siguiente:

- a) Se necesitan cubrir 1,390 m<sup>2</sup>/cámara con espuma rígida de poliuretano; por consiguiente, anualmente se necesitarán cubrir 104,250 m<sup>2</sup>/75 cámaras.
- b) Densidad de la espuma rígida de poliuretano: -- 35 kg/m<sup>3</sup>.
- c) Volumen de espuma: 70 m<sup>3</sup>/ cámara.
- d) Coeficiente de conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano: 0.020 kcal/hm°C.
- e) Costo del poliuretano: \$30.00/kg.
- f) Espesor del aislante: 0.05 m.

Así se tiene:

Poliuretano:

$$\frac{70 \text{ m}^3}{\text{Cámara}} \times \frac{75 \text{ Cámaras}}{\text{Año}} \times \frac{35 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\$30.00}{\text{kg}} = \frac{\$5,512,000.00}{\text{Año}}$$

Solvente:

$$\frac{12 \text{ lt}}{\text{Día}} \times \frac{240 \text{ Días}}{\text{Año}} \times \frac{\$7.00}{\text{lt}} = \frac{\$20,160.00}{\text{Año}}$$

DOP (Ftalato de Di-octilo):

$$\frac{1 \text{ kg}}{\text{Día}} \times \frac{240 \text{ Días}}{\text{Año}} \times \frac{\$32.00}{\text{kg}} = \frac{\$7,680.00}{\text{Año}}$$

Costo de Poliuretano:

$$\begin{array}{r} \$5,512,500.00 \\ 20,160.00 \\ 7,680.00 \\ \hline \$5,540,340.00 \end{array}$$

Costo de Materia Prima:

$$\frac{\$5,540,340.00/\text{Año}}{104,250 \text{ m}^2/\text{Año}} = \frac{\$53.15}{\text{m}^2}$$

2) Equipo de Producción (Depreciado en 10 años):

$$\begin{array}{r} 2 \text{ Máquinas de Aspersión} \quad \$160,000.00 \\ 2 \text{ Compresores} \quad 15,000.00 \\ \hline \$175,000.00 \end{array}$$

$$\frac{\$175,000.00/10 \text{ Años}}{1,042,500 \text{ m}^2/10 \text{ Años}} = \frac{\$0.20}{\text{m}^2}$$

3) Equipo de Seguridad:

$$\frac{\$8,000.00/\text{Año}}{104,250 \text{ m}^2/\text{Año}} = \frac{\$0.10}{\text{m}^2}$$

4) Mano de Obra:

4 Operarios	\$ 90.00/Día	=	\$360.00
1 Supervisor	150.00/Día	=	150.00
1 Obrero	70.00/Día	=	70.00
1 Chofer	100.00/Día	=	100.00
1 Secretaria	150.00/Día	=	150.00
			<hr/>
			\$830.00/Día

$$\frac{\$830.00/\text{Día}}{435 \text{ m}^2/\text{Día}} = \frac{\$1.90}{\text{m}^2}$$

5) Seguro Social (en base a tabulación del I.M.S.S.):

$$\frac{\$840.00/\text{Semana}}{2,175 \text{ m}^2/\text{Semana}} = \frac{\$0.40}{\text{m}^2}$$

6) Renta del Local (local de 500 m<sup>2</sup> de superficie):

$$\frac{\$4,000.00/\text{Mes}}{8,700 \text{ m}^2/\text{Mes}} = \frac{\$0.50}{\text{m}^2}$$

7) Prima de Seguro:

$$\frac{\$25,000.00/\text{Año}}{104,250 \text{ m}^2/\text{Año}} = \frac{\$0.25}{\text{m}^2}$$

8) Gastos de Oficina:

$$\frac{\$800.00/\text{Mes}}{8,700 \text{ m}^2/\text{Mes}} = \frac{\$0.10}{\text{m}^2}$$

9) Servicios:

Agua:

$$\frac{30 \text{ m}^3/\text{Mes} \times \$2.10/\text{m}^3}{8,700 \text{ m}^2/\text{Mes}} = \frac{\$0.01}{\text{m}^2}$$

Electricidad:

2 Compresores	2 H.P.	=	4 H.P.
2 Máquinas de Aspersión	3 H.P.	=	6 H.P.
			<u>10 H.P.</u>

$$10 \text{ H.P.} \times \frac{0.745 \text{ Kw}}{\text{H.P.}} \times \frac{2 \text{ h}}{\text{Día}} = \frac{14.9 \text{ Kwh}}{\text{Día}}$$

Iluminación: 4 Lámparas de 60 watts que funcionan:

$$\frac{4 \text{ h}}{\text{Día}}$$

$$4 \times \frac{0.060 \text{ Kw}}{\text{H.P.}} \times \frac{4 \text{ h}}{\text{Día}} = \frac{0.96 \text{ Kwh}}{\text{Día}}$$

$$14.9 + 0.96 = \frac{15.86 \text{ Kwh}}{\text{Día}}$$

$$\frac{15.86 \text{ Kwh/Día} \times \$0.90/\text{Kwh}}{435 \text{ m}^2/\text{Día}} = \frac{\$0.05}{\text{m}^2}$$

10) *Materiales Auxiliares (herramientas, lubricantes, etc).*

$$\frac{\$1,000.00/\text{Mes}}{8,700 \text{ m}^2/\text{Mes}} = \frac{\$0.10}{\text{m}^2}$$

11) *Equipo de Traslado (Depreciado en 5 años):*

$$1 \text{ Camión} \quad \frac{\$300,000.00/5 \text{ Años}}{521,250 \text{ m}^2/5 \text{ Años}} = \frac{\$0.60}{\text{m}^2}$$

*COSTO DE PRODUCCION:*

<i>Costo de Materia Prima</i>	<i>\$53.15</i>
<i>Costo por Inversión Equipo (Producción)</i>	<i>0.20</i>
<i>Costo por Inversión Equipo (Seguridad)</i>	<i>0.10</i>
<i>Costo por Inversión Equipo (Traslado)</i>	<i>0.60</i>
<i>Costo por Mano de Obra</i>	<i>1.90</i>
<i>Costo por Prima Seguro Social</i>	<i>0.40</i>
<i>Costo por Renta del Local</i>	<i>0.50</i>
<i>Costo por Prima de Seguro</i>	<i>0.25</i>
<i>Costo por Gastos de Oficina</i>	<i>0.10</i>
<i>Costo por Servicios (Agua, Electricidad)</i>	<i>0.05</i>
<i>Costo por Materiales Auxiliares</i>	<i>0.10</i>
	<hr/>
	<i>\$57.35</i>

Por análisis de mercado, se puede vender el  $m^2$  de superficie aislada con la espuma rígida de poliuretano de 0.05 m. de espesor a \$140.00/ $m^2$ . De lo cual se tiene que deducir lo siguiente:

<i>4% I. I. M.</i>	<i>\$ 5.60</i>
<i>1% Educación</i>	<i>1.40</i>
<i>10% Distribución Vendedor</i>	<i>14.00</i>
<i>5% Ajuste de Utilidad</i>	<i>7.00</i>
	<hr/>
	<i>\$28.00</i>



*Ganancia:*

*Costo de Venta - Costo de Producción - Deducciones*

*Ganancia:*

*\$140.00 - \$57.35 - \$28.00 = \$54.65*

*Lo cual representa un 39% de utilidad.*

- 8.1            En la actualidad la adaptación de cámaras de con-  
servación de alimentos donde se almacenan y preservan  
los productos objeto de refrigeración, tiene una im-  
portancia esencial en nuestro país, en donde, debido  
a deficiencias en el almacenaje para la conservación  
de los productos perecederos, se registra anualmente  
la pérdida de un gran porcentaje de la producción --  
agropecuaria nacional. Por lo anterior, el empleo de  
la espuma rígida de poliuretano aplicada por el proce-  
so de aspersión descrito en el presente trabajo, cum-  
ple satisfactoriamente como material aislante en la -  
demanda de instalaciones adecuadas para tal fin.
- 8.2            Como resultado de la evaluación técnica desarro-  
llada en el empleo del material aislante para la adap-  
tación de las cámaras de conservación de alimentos, -  
se determinó que el espesor más adecuado que cumplía  
con los requisitos que las condiciones de almacena-  
miento establecían, fué de 0.05 m.
- 8.3            Como resultado de la evaluación económica, es de  
considerarse que la adaptación de cámaras de conserva-  
ción, resulta una inversión atractiva, puesto que se

obtiene una rentabilidad de 39% sobre una inversión - no muy alta.

8.4 En general, el problema que se presenta al querer adaptar una cámara de conservación de productos perecederos, necesita para su resolución tres grupos de datos o condiciones previas, a saber:

a) Condiciones impuestas por el cliente.

Se refieren a la cantidad, calidad, temperatura de conservación y grado de humedad de los productos a conservar o procedimientos de manipulación - de los distintos productos, objeto de la refrigeración.

b) Condiciones existentes.

Se refieren a la temperatura del ambiente exterior, localización, temperatura del agua de condensación, caudal de la misma disponible, capacidad - del local existente, naturaleza y voltaje de la -- corriente eléctrica.

c) Condiciones derivadas y relativamente elegibles - por el proyectista.

Espesor del aislamiento térmico, elección del - fluido refrigerante más adecuado, sistema de refrigeración a emplear, etc.

*En posesión de los datos anteriores, es labor del proyectista determinar:*

- 1) *Forma y dimensiones de la cámara de conservación.*
- 2) *Cantidad de calor a extraer por hora.*
- 3) *Superficie, forma y dimensiones del evaporador.*
- 4) *Tipo y características del compresor.*
- 5) *Potencia mecánica o eléctrica necesaria para producir el efecto frigorífico deseado.*
- 6) *Características del condensador.*
- 7) *Tipo y clase de motor.*
- 8) *Tipo y clase de acabado interior.*
- 9) *Accesorios y conexiones necesarias.*

BIBLIOGRAFIA

- 1) Alarcón Creus José  
*Tratado Práctico de Refrigeración Automática*  
Ed. Técnicas Marcombo S.A. 5a. Edición  
Barcelona, España (1969)
  
- 2) Anuario Estadístico Compendiado 1972  
S. I. C. Talleres Gráficos de la Nación  
México, D. F. (1974)
  
- 3) Buist J. W. and Gudgeon H.  
*Advances in Polyurethane Technology*  
Ed. John Wiley and Sons. 5a. Edición  
New York U. S. A. (1968)
  
- 4) Ferrigno T. H.  
*Rigid Plastics Foam*  
Reinhold Publishers Corporation  
New York U. S. A. (1967)

- 5) Plank Rudolph  
*El Empleo del Frío en la Industria de la Alimentación*  
Editorial Reverté  
Barcelona, España (1966)
  
- 6) Saunders J. H. and Frisch K. C.  
*Polyurethanes, Chemistry and Technology*  
Interscience Publishers      Parte II  
New York U. S. A. (1964)
  
- 7) Secretaría de Agricultura y Ganadería  
*Compendio Anual (1972)*
  
- 8) Vives Escuder José  
*Instalaciones Frigoríficas*  
Editorial Reverté      5a. Edición  
México D. F. (1966)