

2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

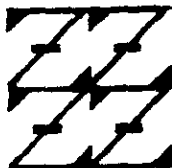
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DISEÑO DE UNA CAMARA DE REFRIGERACION Y ATMOSFERAS CONTROLADAS PARA LA CONSERVACION DE ALIMENTOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO QUIMICO PRESENTA: HECTOR MANUEL GUTIERREZ DIAZ

UNAM FES ZARAGOZA



EL HORMAJO C.A.E. DE NUESTRA DEFENSION

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE DE 1999

276138

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/0029/98

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. HECTOR MANUEL GUTIERREZ DIAZ

Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

*Presidente: I.Q. Salvador Gallegos Ramales*  
*Vocal: M. en C. Lucía Cornejo Barrera*  
*Secretario: I.Q. Antonio Avalos Ramírez*  
*Suplente: I.Q. Balbina Patricia García Aguilar*  
*Suplente: I.Q. Elvia Alva Rojas*

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., 11 de Agosto de 1998

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. MAGIN ENRIQUE JUAREZ VILLAR

Irm

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis padres por todo su apoyo y comprensión incondicional**

**A mis hermanos y hermanas**

**Al Ingeniero Químico Antonio AVALOS Ramírez por su gran ayuda en todo momento y sobre todo por su amistad**

**A mis amigos por compartir nuestras vidas.**

## **DEDICATORIAS**

**la principal dedicatoria es para mis padres por haberme permitido vivir**

**y a mi familia. ya que en todos los momentos hemos tratado de estar juntos.**

## **DEDICATORIA MUY ESPECIAL**

**Para el amor de mi vida Patricia Rodriguez Haro, por toda su comprensión, cariño, amistad y amor que me ha brindado desde el primer momento. Te amo.**

---

**ÍNDICE**

<b>Introducción.</b>	7
<b>Antecedentes.</b>	10
<b>Objetivos.</b>	15
<b>Capítulo I. Refrigeración y congelación</b>	
I.1. Métodos de refrigeración de alimentos.	17
I.1.1. Congeladores de placas	17
I.1.2. Congelación por medio de aire frío.	17
I.1.3. Congelación por inmersión.	18
I.1.4. Congelación criogénica.	18
I.1.5. Refrigeración y congelación al vacío.	20
I.1.6. Enfriado.	20
Figura 1. Congelador de placas.	21
Figura 2. Algunos métodos para enfriar y congelar alimentos.	22
Figura 3. Congelador de túnel con nitrógeno líquido.	23

**Capítulo II. Atmósferas controladas**

II.1. Breve historia sobre el uso de atmósferas controladas	25
II.2. Definición de atmósfera controlada	26
II.3. Ventajas y desventajas de la utilización de atmósferas controladas.	28
II.4. Tipos de atmósferas controladas.	29
II.4.1. Tratamiento con alta concentración de CO <sub>2</sub> por periodos cortos.	30
II.4.2. Atmósfera controlada rápida.	30
II.4.3. Atmósfera controlada baja en oxígeno.	31
II.4.4. Atmósfera controlada baja en etileno.	31
II.4.5. Almacenamiento a baja presión o hipobárico.	32
II.4.6. Atmósfera controlada usando CO.	32
Tabla 1. Recomendaciones para seleccionar las condiciones adecuadas de almacenamiento y/o de productos alimenticios transporte mediante AC	34
Tabla 2. Clasificación de frutas de acuerdo a su tasa máxima de producción de etileno.	38

**Capítulo III. Métodos de modificación de atmósferas.**

III.1. Empaquetamiento a vacío.	41
III.2. Absorbentes de O <sub>2</sub> /generadores de CO <sub>2</sub> .	42
III.3. Gases más usados en AM y AC.	43
Tabla 3. Resumen de las propiedades de los gases usados en AC.	45



---

Tabla 4. Requerimientos de oxígeno de microorganismos.	46
--	----

#### **Capítulo IV. Sistemas de refrigeración.**

IV.1. Clasificación de los refrigerantes.	48
IV.2. Funcionamiento general de una cámara de refrigeración.	54
IV.3. Descripción del ciclo de refrigeración en el diagrama P-H.	55
IV.3.1. Etapa de expansión	55
IV.3.2. Etapa de evaporación.	56
IV.3.3. Etapa de compresión.	56
IV.3.4. Etapa de condensación.	56
IV.3.5. Clases de calores utilizados en la refrigeración.	57
IV.3.6. Funciones principales de los equipos de la refrigeración.	58
IV.4. Ciclo de absorción.	59
IV.5. Función principal de los equipos empleados en el ciclo de absorción.	61
Figura 4. Diagrama termodinámico P-H para el equilibrio L-V.	63
Figura 5. Diagrama termodinámico P-H para el ciclo de refrigeración.	64
Figura 6. Representación del sistema de refrigeración por compresión.	65
Figura 7. Representación del ciclo de refrigeración por absorción.	66

#### **Capítulo V. Análisis de cámaras de refrigeración con atmósfera controlada.**

V.1. Consideraciones que se deben de tomar en cuenta para un control adecuado	
---	--

---

de la atmósfera.	72
V.1.1. Temperatura.	72
V.1.2. Humedad.	73
V.1.3. Descarche.	74
V.1.4. Control de O <sub>2</sub> .	76
V.1.5. Control de CO <sub>2</sub> .	79
V.2. Otros controles que se deben utilizar en cámaras con AC.	79
V.3. Normas básicas en el manejo de una cámara con AC.	80
V.4. Materiales de construcción de cámaras de refrigeración.	82
V.4.1. Propiedades físicas.	85
V.4.2. Propiedades mecánicas.	85
V.4.3. Materiales aislantes.	86
V.4.4. Características de revestimiento.	89
V.4.5. Materiales de revestimiento.	89
V.5. Construcción de una cámara de refrigeración.	90
V.5.1. Construcción con estructura interior.	90
V.5.2. Construcciones con materiales mecanizados.	91
V.5.3. Construcciones con paneles prefabricados.	91
V.5.4. Construcciones con aislamiento realizado "in situ".	92
V.6. Criterios de diseño.	92

**Capítulo VI. Análisis de la carga térmica en una cámara de refrigeración.**

VI.1. Carga de enfriamiento.	95
VI.2. Carga térmica del producto.	100
VI.3. Cálculos de las pérdidas por renovación de aire.	103
VI.4. Cálculo de las pérdidas por servicio.	105
VI.5. Carga térmica debida al personal.	107
VI.6. Cálculo de las pérdidas de calor debido a los ventiladores.	107
VI.7. Carga térmica debida al desescarche.	109
VI.8. Carga térmica debida a la iluminación.	109
VI.9. Carga térmica total.	109

**Capítulo VII. Metodología de la investigación para el diseño de la cámara.**

VII.1. Especificaciones generales.	112
VII.2. Diseño termodinámico.	115
VII.3. Diseño hidráulico.	117
VII.4. Diseño mecánico.	118
VII.5. Diseño del proceso.	119
VII.6. Especificación de instrumentación y controles.	120
VII.7. Lista de materiales necesarios para la construcción de la cámara.	122
Figura 8. Diagrama de bloques para diseñar una cámara de refrigeración con atmósfera controlada.	124

Figura 9. Representación esquemática de la cámara de refrigeración con AC, diseñada para la conservación de fruta. 125

Figura 10. Diagrama termodinámico para el CO<sub>2</sub> en el que se representa el ciclo de refrigeración y los equipos en cada etapa. 126

Figura 11. Representación del ciclo de refrigeración indicando las condiciones de operación para el diseño de la cámara. 127

**Capítulo VIII. Memoria de cálculo.**

VIII.1. Cálculo de la carga térmica. 129

**Conclusiones.** 136

**Glosario.** 138

**Bibliografía.** 142

**LISTA DE ABREVIACIONES**

A	área superficial de la pared externa de la cámara
a	contenido de agua en el producto a conservar
AC	atmósfera controlada
AM	atmósfera modificada
b	contenido sólido en % del producto a conservar
$c_1$	calor específico del producto
$C_1$	pérdidas de calor por enfriamiento y/o congelación
$C_2$	calor latente de solidificación
$C_3$	calor específico del producto congelado
CDV	calor desprendido por los ventiladores
CTH	carga térmica horaria (debida al tiempo que trabaja el ventilador)
D	diferencia de temperatura a través de la pared de la cámara
$D_i$	diferencia de entalpía entre el aire exterior y el aire de la cámara
e	espesor del aislante
ec	espesor comercial
H	número de horas que cada persona permanece en la cámara
H	entalpía
he	coeficiente global de transmisión de calor por radiación
hi	coeficiente global de transmisión de calor por convección
HR	humedad relativa
K	conductividad térmica
KG	kilogramos de entrada diaria del producto en la cámara
Li	espesor de cada material

N	volumen de la cámara (m <sup>3</sup> ) * densidad de almacenamiento
Ni	número de renovaciones de aire por día
NH	horas de funcionamiento del compresor
NT	carga térmica total
P	potencia del motor del ventilador
Q	pérdidas de calor por transmisión a través de la pared de la cámara
Q <sub>1</sub>	pérdidas por transmisión
Q <sub>2</sub>	necesidades de enfriamiento y/o congelación
Q <sub>21</sub>	pérdidas de calor por enfriamiento
Q <sub>22</sub>	calor necesario para la congelación del producto
Q <sub>23</sub>	calor necesario para el enfriamiento después de la congelación
Q <sub>3</sub>	calor desprendido por el producto en la cámara
Q <sub>4</sub>	número de renovaciones de aire de la cámara
Q <sub>5</sub>	pérdidas de calor debido a los ventiladores
Q <sub>6</sub>	pérdidas por servicio (originadas por los equipos que componen la instalación: compresores, ventiladores, etc.)
Q <sub>61</sub>	pérdidas de calor por convección radiación
Q <sub>62</sub>	pérdidas de calor por condensación de la humedad exterior
Q <sub>63</sub>	carga térmica debida al personal
Q <sub>64</sub>	carga térmica debida al desescarche
Q <sub>65</sub>	carga térmica debida a la iluminación
Q <sub>H</sub>	calor emitido por cada persona en una hora
R	calor de respiración del producto a conservar
S	área total de la cámara
TCON	temperatura de congelación
TEP	temperatura de entrada del producto

Text	temperatura en el exterior de la cámara
Tint	temperatura en el interior de la cámara
TR	temperatura de conservación
U	coeficiente total de transmisión de calor
VOL	volumen de la cámara
Wref	flujo de refrigerante en forma de vapor

Letras griegas

$\delta$	densidad del aire exterior de la cámara
$\lambda$	conductividad térmica del aislante
$\lambda_{\text{vap}}$	calor latente de vaporización
$\Delta T$	diferencia de temperatura externa e interna de la cámara

## INTRODUCCIÓN

Científicos del siglo XIX, en el periodo de 1920 a 1938, descubrieron que el aumento de la concentración de dióxido de carbono y la reducción de oxígeno, retardaba las reacciones catabólicas en la respiración de los alimentos y un bajo crecimiento de microorganismos aeróbicos patógenos.

La atmósfera controlada (AC) es una técnica de almacenamiento que se usa para mantener la calidad de los alimentos en estado fresco, en una atmósfera que es diferente de la atmósfera normal del aire, esto con respecto a las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono y/o nitrógeno.

El objetivo de utilizar las atmósferas controladas es el de retardar la maduración del producto una vez que es cosechado.

Desde 1960, la aplicación comercial de AC y el almacenamiento en refrigeración, ha recibido considerable atención en las conservaciones de frutas y verduras.

Por otro lado, el presente trabajo se enfoca a un método de conservación de alimentos que consiste en la utilización de la refrigeración con atmósferas



controladas.

En el capítulo I se presentan los diferentes métodos de refrigeración y congelación de alimentos, además se abordan técnicas de congelación, por ejemplo, congeladores de placas, congelación por medio de aire frío, por inmersión, etc.

En el capítulo II se describe el uso y los diferentes tipos de atmósferas controladas utilizados, así como las ventajas y desventajas que se tienen al emplear esta técnica de conservación de alimentos frescos.

Por otra parte, en el capítulo III se presentan las diferentes técnicas de modificación de atmósferas así como la diferencia que existe con respecto a las atmósferas controladas.

En el siguiente capítulo se describen los sistemas de refrigeración, así como la clasificación de los refrigerantes y el funcionamiento general de una cámara de refrigeración basado en el ciclo termodinámico.

Posteriormente se hace un análisis de los factores que intervienen en las cámaras de refrigeración con atmósferas controladas, tal como la temperatura de la cámara, la humedad, el control del flujo de gases, etc. También, se establecen

otras consideraciones de diseño y por último los materiales de construcción más utilizados.

Para finalizar, se presenta la metodología para determinar la carga térmica y llevar a cabo el diseño de la cámara de refrigeración con atmósfera controlada.

## **ANTECEDENTES.**

La conservación de alimentos puede definirse como todo método de *tratamiento* que prolonga el período de comestibilidad de los mismos, de forma que mantengan en grado aceptable su calidad, incluyendo color, textura, aroma y sabor.

La historia de la conservación de alimentos se remonta al hombre primitivo y a su necesidad de sobrevivir. Fue en ese período en el que el hombre comenzó a conservar los alimentos para evitar el hambre o mejorar su comestibilidad. Secó el grano para mejorar su conservación y asó la carne para mejorar su sabor. Posteriormente desarrolló máquinas que le permitieron reducir el tiempo y esfuerzo requeridos para el tratamiento de los alimentos por los métodos manuales.

Los métodos bioquímicos de elaboración se utilizaron por primera vez en Egipto, para la preparación de alimentos fermentados como quesos y vinos. Durante mucho tiempo, éstos métodos de conservación y elaboración se utilizaron tan sólo a escala doméstica para satisfacer las necesidades familiares. Sin embargo, a medida que las sociedades se fueron desarrollando fue implantándose la especialización y aparecieron los primeros oficios (por ejemplo, panaderos y

cerveceros) como precursores de la industria alimentaria actual.

En el presente, como en el pasado, los objetivos de la industria alimentaria son:

a) Prolongar el período en que el alimento permanece comestible (vida útil) mediante técnicas de conservación que inhiben el crecimiento microbiano y los cambios bioquímicos, las cuales a su vez permiten disponer de mayor tiempo para su distribución y almacenamiento doméstico.

b) Aumentar la variedad de la dieta ampliando el rango de bouquets, colores, aromas y texturas (características conocidas globalmente como comestibilidad, calidad organoléptica o calidad sensorial). Un objetivo relacionado con éste son los cambios de forma a los que algunos alimentos se someten para permitir su posterior elaboración (por ejemplo: la molienda de granos para la obtención de harina).

c) Proporcionar los nutrimentos necesarios para la conservación de la salud (calidad nutritiva de un alimento).

d) Generar beneficio.

La demanda de alimentos procesados se ha incrementado enormemente con el crecimiento de la población en núcleos urbanos. Y esto, no se debe a la escasez de productos frescos sino más bien a un cambio completo del estilo de vida. La utilización de alimentos ha aumentado extraordinariamente en los últimos años. Por su comodidad, particularmente, en los países muy industrializados, en los que las mujeres trabajan fuera de casa y no tienen el tiempo para complejas preparaciones culinarias, solamente disponen del tiempo necesario para un calentamiento de los alimentos procesados. A pesar de la demanda creciente de diferentes tipos de alimentos preparados, el mercado de frutas frescas y hortalizas sigue un modelo diferente. Recientemente se han desarrollado notables mejoras en los sistemas de transporte de frutas en el mundo, debido sobre todo a la refrigeración, almacenamiento en atmósferas controladas, nuevas técnicas de envasado y de tratamientos químicos de superficie. Como consecuencia de lo anterior, se puede disponer de una gran cantidad de hortalizas y frutas frescas de alta calidad.

**PRINCIPALES MÉTODOS DE CONSERVACIÓN.** Los métodos actuales de conservación se pueden clasificar de acuerdo con su duración en:

**Métodos de corta duración.**

a) Refrigeración.

- b) Atmósferas controladas y atmósferas modificadas (de aplicación en manzanas y peras).
- c) Tratamiento químico de superficie (de aplicación en cítricos).
- d) Tratamientos especiales de almacenamiento (de aplicación en papa especial para la elaboración de papas fritas).
- e) El empleo de sistemas de embalaje que incluye el almacenamiento con gases inertes como nitrógeno y dióxido de carbono (empleados en manzanas y tomates).

**Tratamientos químicos.**

- a) Conservación con azúcar (jaleas y mermeladas).
- b) Sulfitado (en frutas para mermeladas).
- c) Fermentación con salmuera (productos fermentados).
- d) Tratamiento con ácidos (encurtidos con vinagre).
- e) Empleo de aditivos químicos para reducir la actividad microbiana, disminuyendo la disponibilidad de agua en alimentos semideshidratados.

**Tratamientos físicos** (conservación a largo plazo).

- a) Conservación por el calor (enlatado, envasado en frascos de vidrio, etc.)
- b) Pasteurización (productos ácidos, por ejemplo jugos de cítricos).
- c) Deshidratación y concentración.
- d) Congelación.

e) Irradiación.

Muchos de los métodos existentes y, probablemente la mayoría de los que se desarrollen en el futuro, resultan de la combinación de las técnicas antes mencionadas.

Uno de los métodos más empleados para la conservación de varios alimentos es la refrigeración. Esta técnica implica la utilización de temperaturas por debajo de la ambiente, y sus principales áreas de interés son la **congelación** y el **enfriado**.

Los procesos se desarrollan desde por debajo de la temperatura ambiental hasta  $-1^{\circ}\text{C}$ , estando únicamente involucrados cambios de calor sensible.

La congelación en cambio comienza a  $-1^{\circ}\text{C}$  e implica la conversión del agua en hielo, con la eliminación del calor latente asociado con este cambio de fase.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar una cámara de refrigeración y atmósferas controladas para la conservación de frutas y verduras.

### **Objetivos Particulares**

- Definir las especificaciones generales de la cámara.
- Diseñar los sistemas termodinámicos, hidráulico, mecánico del proceso, involucrados en la construcción de la cámara.
- Seleccionar los materiales para la construcción de la cámara.
- Proponer el esquema de construcción de la cámara para la conservación de frutas y verduras.



## **I.1. MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN DE ALIMENTOS.**

### **I.1.1. CONGELADORES DE PLACAS.**

Los alimentos, por lo general pescado, carne y vegetales se disponen en bandejas de un espesor aproximado de 4 a 5 cm. Estas se colocan entre placas metálicas (figura 1) y se circula el refrigerante entre las placas sin tocar el alimento, aproximadamente a una temperatura de -30 a -40°C. Los tiempos de congelación varían de acuerdo a las propiedades térmicas del alimento.

### **I.1.2. CONGELACIÓN POR MEDIO DE AIRE FRÍO.**

La temperatura del aire se reduce haciendo pasar éste a través de un espiral metálico que contiene previamente un refrigerante en evaporación (figura 2).

El aire circula a través del compartimiento mediante el uso de un ventilador, y a su vez éste aire frío congela los alimentos.

Un problema que aparece cuando se congelan alimentos mediante el uso del aire, es la deshidratación superficial (liofilización) del producto, esto se produce cuando

el alimento está caliente, ya que habrá un gradiente de presión de vapor mayor entre la superficie del producto y el aire, para lo cual se utilizan métodos de congelación más rápidos y el aire se encuentra saturado.

### **I.1.3. CONGELACIÓN POR INMERSIÓN.**

Se entiende por inmersión, tener un contacto directo del producto a congelar.

Si se agrega un soluto a una solución, se reduce el punto de congelación de acuerdo a la cantidad que se agregue. Existe un punto en el cual por más que se adicione, ya no existirá variación en la temperatura. A este punto se le denomina temperatura y composición eutéctica.

Los solutos más empleados para congelación por inmersión son el NaCl, el etilenglicol y azúcar, pero las soluciones de azúcares presentan problemas de viscosidad a bajas temperaturas.

### **I.1.4. CONGELACIÓN CRIOGÉNICA.**

Un congelante criogénico, se refiere a un fluido cuyo punto de ebullición está bastante por debajo del punto de congelación normal del alimento.

El alimento se hace pasar a través de bandas por una cámara criogénica (figura 3), donde se encuentra en contacto con nitrógeno líquido en su punto de ebullición (-196°C). El alimento al encontrarse a una temperatura superior que la del nitrógeno, va a transferir calor a través de su superficie, y a su vez el N<sub>2</sub> se evaporará en la superficie del alimento.

Este es un excelente método de congelación de alimentos, para tamaños de partículas pequeñas (menores a 3.5 cm.). Conforme el tamaño del alimento aumenta la conducción dentro de éste pasa a ser el mecanismo de control y muchas de las ventajas que haya tenido el nitrógeno se pierden.

En comparación con otros métodos de congelación, éste resulta ser de mayores costos, debido a que el nitrógeno líquido usado como congelante es de un precio muy elevado.

Los fluidos criogénicos empleados en la refrigeración por contacto directo deben ser inocuos para el organismo y no alterar ninguno de los componentes del alimento.

### **I.1.5. REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN AL VACÍO.**

Si un alimento se coloca en una cámara y se reduce la presión, se llegará a un punto en que la presión de la cámara alcance el valor de la presión de vapor saturado de agua de la superficie del alimento. En este punto el agua se evaporará de la superficie del alimento y resultará un efecto de refrigeración local.

La congelación con evaporación es un paso previo muy útil para la liofilización, (eliminación de agua) puesto que entre el 20 y 25% del agua se pierde durante el proceso de congelación.

### **I.1.6. ENFRIADO.**

Generalmente cuando se habla de enfriado, se hace referencia a reducir la temperatura por debajo de la temperatura ambiental, pero siempre por encima de  $-1^{\circ}\text{C}$ . En estas temperaturas existe una disminución del crecimiento microbiano por lo que en ocasiones el enfriado se hace en combinación con procesos de pasteurización.

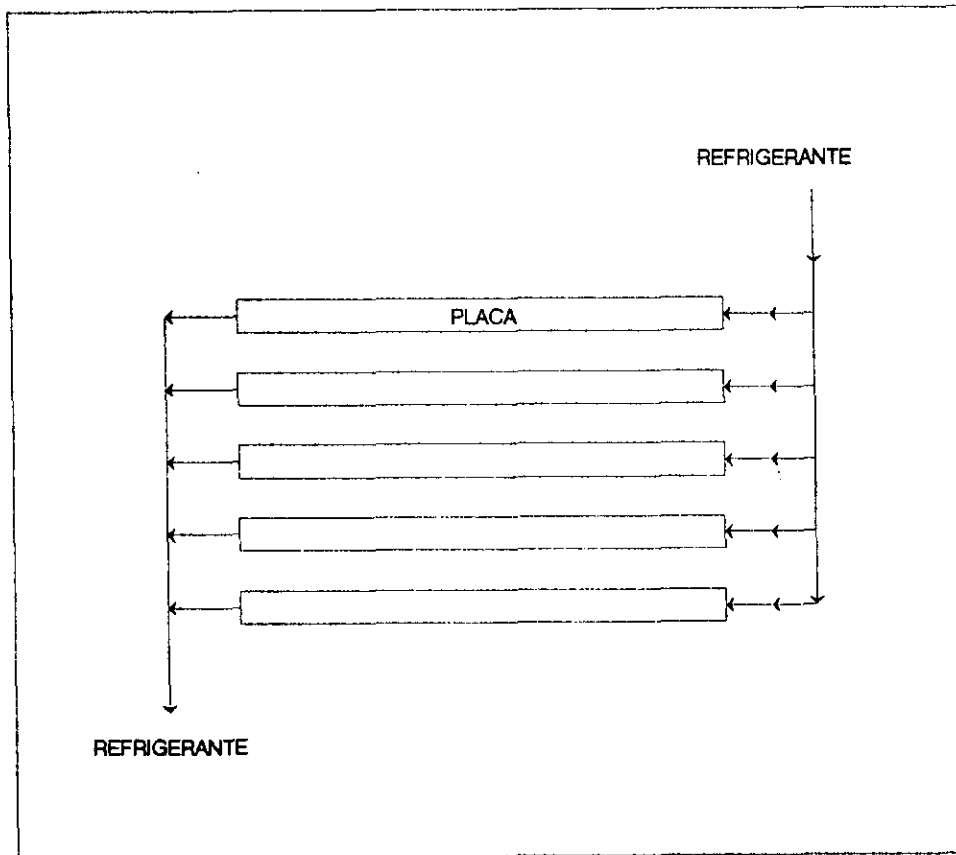


Figura 1. Congelador de placas

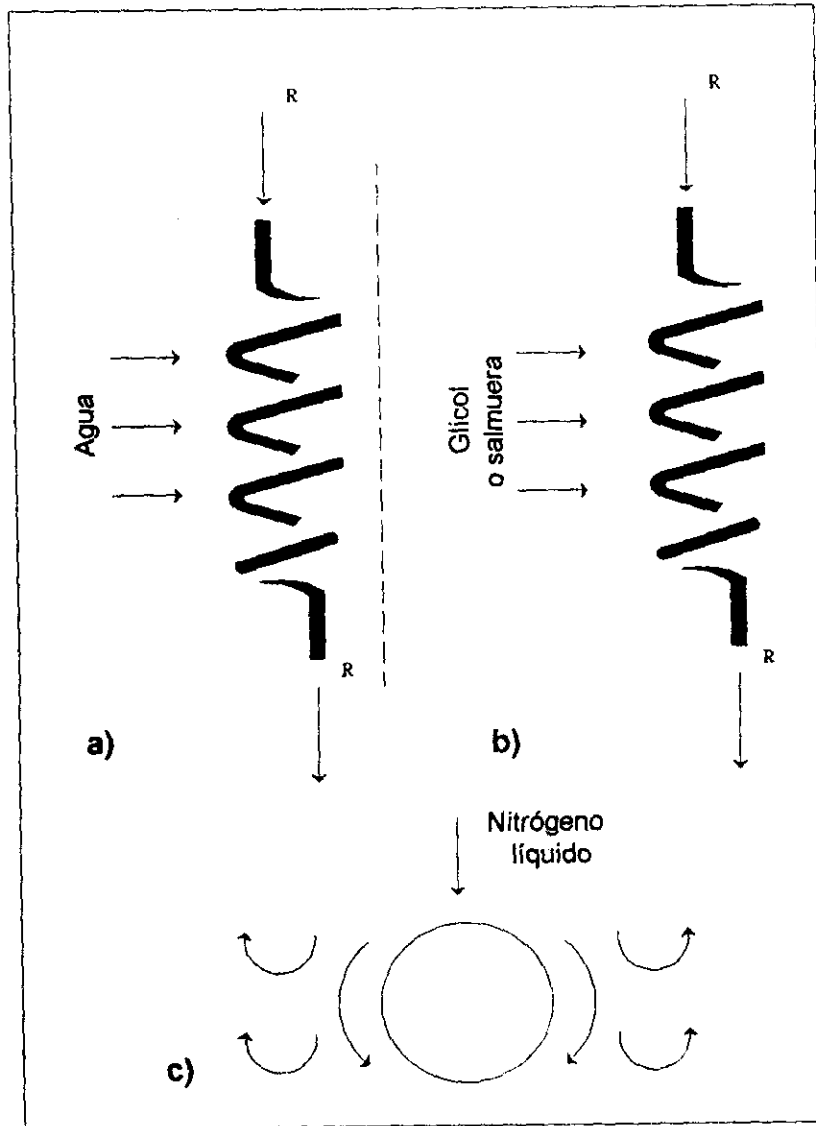


Figura 2. Algunos métodos para enfriar y congelar alimentos: a) enfriamiento del agua; b) enfriamiento de salmuera, glicol o aire, los fluidos de los ejemplos anteriores se enfrían con fines de refrigeración; c) contacto directo de nitrógeno líquido o freón con los alimentos; R: refrigerante.

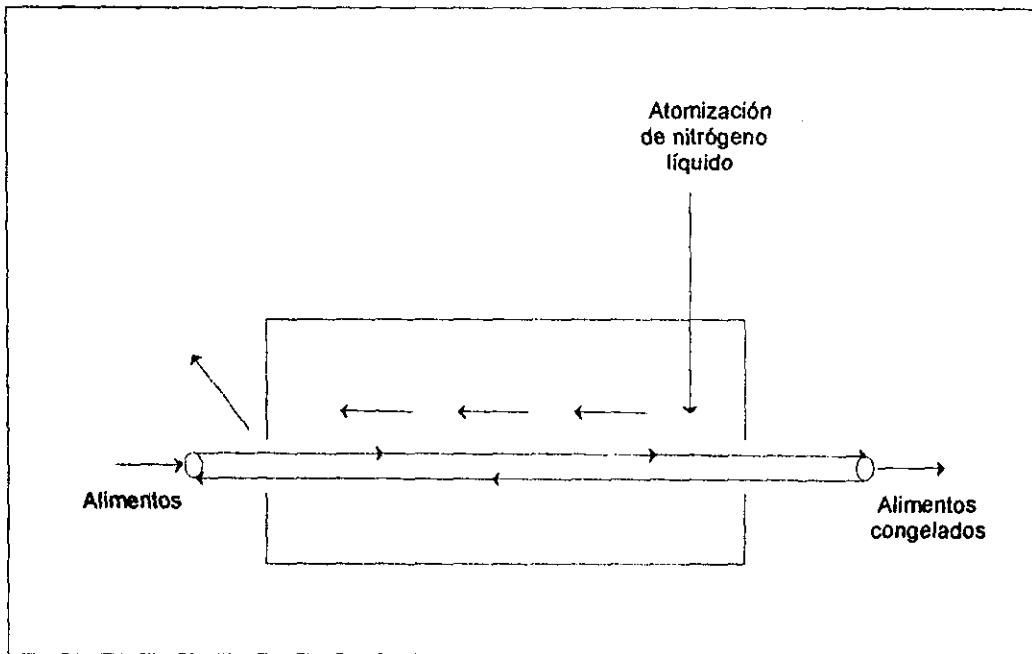


Figura 3. Congelador de túnel con nitrógeno líquido

## **CAPÍTULO II.**

### **ATMÓSFERAS CONTROLADAS.**



## **II.1. BREVE HISTORIA SOBRE EL USO DE ATMÓSFERAS CONTROLADAS.**

El uso de atmósferas controladas para extender la vida de anaquel (período después de la cosecha) de los alimentos, no es un concepto nuevo dentro de la conservación de éstos mismos (Brecht, 1980).

Científicos de siglo XIX, descubrieron que el incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  y la reducción del  $\text{O}_2$  retardaba las reacciones catabólicas en la respiración de los alimentos y un bajo crecimiento de microorganismos aeróbicos patógenos. Investigaciones básicas sobre el uso de atmósferas modificadas para extender la vida de anaquel de frutas, verduras, pescado y carnes fueron realizadas durante 1920 a 1930.

Los avances tecnológicos de la refrigeración contenidos para la transportación transoceánica, han abierto una nueva era de distribución de productos. El tiempo excesivo de transporte, los altos costos de energía y los altos incrementos en volumen de los productos alimenticios, han forzado a nuevos descubrimientos y desarrollos en la tecnología de refrigeración y en la preservación de éstos.

Nuevamente los desarrollos extraordinarios para el mantenimiento de la calidad de los alimentos durante su transportación, originó el descubrimiento de nuevas

temperaturas para poder tener un mejor control de la consistencia, sabor, olor, textura, etc. de los alimentos.

Estos nuevos descubrimientos tomaron lugar en cuatro áreas importantes:

- 1) La genética fisiológica de las postcosecha.
- 2) Control químico (fungicidas, fumigación).
- 3) Control ambiental (Atmósfera controlada, humidificación relativa, exclusión de etileno, ventilación y movimiento del aire).
- 4) Empaquetamiento.

## **II.2. DEFINICIÓN DE ATMÓSFERA CONTROLADA.**

La atmósfera controlada (AC) es una técnica de almacenamiento que sirve para mantener la calidad de los alimentos en estado fresco, en una atmósfera que es diferente de la atmósfera normal del aire, esto con respecto a las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y/o nitrógeno (Yi *et al*, 1992).

Generalmente las composiciones deseadas de la atmósfera para almacenamiento de alimentos, se obtienen aumentando el nivel de CO<sub>2</sub> y disminuyendo el de O<sub>2</sub> en una cámara de conservación.

Existe otro término muy utilizado dentro de la conservación de alimentos que es el de atmósferas modificadas (AM). La diferencia básica entre AC y AM radica en el grado de control de las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$ . En una AC se utilizan equipos e instrumentos tanto para la medición de las concentraciones de  $O_2$ ,  $CO_2$  y de la temperatura, de manera que éstas variables se mantengan constantes durante todo el tiempo de conservación (en la tabla 1 se presentan los valores a los que debe de mantenerse la temperatura y las concentraciones de gases recomendadas para la conservación de varias frutas y verduras).

En cambio en las AM, las concentraciones del gas en la cámara se establecen para una condición transitoria o de corto plazo, por lo que no hay verificaciones ni ajustes posteriores, pero se garantiza el mantenimiento de condiciones similares a la inicial en base al conocimiento de la fisiología del producto y a las características de la instalación (Kader, 1986; Koelet *et al*, 1992).

El objetivo principal de utilizar las atmósferas controladas es el de retardar la maduración del producto. Como se sabe, las frutas y verduras, consumen oxígeno del aire y a su vez desprenden  $CO_2$ . Después de cosechado, el alimento tendrá un período de alta respiración. Al encontrarse éstas en una atmósfera que contiene poca cantidad de  $O_2$  en relación con la concentración de  $CO_2$ , su velocidad de consumo va a disminuir.

Hay que tener cuidado de que las frutas y verduras se encuentren en una atmósfera con la cantidad adecuada de  $O_2$  (por encima del 8% y del 10 a 12% de  $CO_2$ ), ya que de lo contrario se induce la respiración anaerobia (hay formación de etanol y acetaldehído). Lo cual provoca que en el alimento se modifiquen ciertas propiedades, sabor y olor principalmente, volviéndose desagradables para el consumidor.

### **II.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE ATMÓSFERAS CONTROLADAS.**

#### **VENTAJAS.**

- Se prolonga el período de conservación con respecto a la refrigeración.
- Reducción de las alteraciones típicas del daño por frío, al permitir elevar la temperatura de almacenamiento.
- Reducción de fisiopatías.
- Mayor resistencia del producto después de la conservación en cuanto al reinicio del metabolismo, y mayor resistencia a la manipulación.
- Efecto fungicida debido a la elevada concentración de  $CO_2$ .
- Se reduce el calor de respiración del fruto como consecuencia de la mínima actividad respiratoria.

- El aspecto y calidad originales se pueden mantener considerablemente (color de la cáscara, jugosidad, dureza de la pulpa, etc.)

### **DESVENTAJAS.**

- Cuando los niveles de oxígeno son inferiores al 3% y/o el porcentaje de CO<sub>2</sub> es excesivo (10 a 12%), se induce la respiración anaerobia (hay formación de etanol y acetaldehído).

- Nuevas fisiopatías y desórdenes propios de la AC.

- Respecto a la comercialización de AC, el producto debe ser rentable y que la diferencia con el almacenamiento en refrigeración comercial sea significativa para que su aplicación sea redituable. Las ventajas y desventajas se abordan más ampliamente por los siguientes autores. (Herrero, 1992; Wills, 1984; Duran, 1983; Metlinski, 1988).

### **II.4. TIPOS DE ATMÓSFERAS CONTROLADAS.**

La aplicación comercial de AC y el almacenamiento con refrigeración, ha recibido considerable atención desde 1960, resultando en el desarrollo y creación de diferentes métodos de conservación mediante el uso de AC. Estos incluyen la AC regular, tratamiento con alta concentración de CO<sub>2</sub> por un período corto, AC

rápidas, AC bajas en O<sub>2</sub>, AC bajas en etileno y almacenamiento a baja presión o almacenamiento hipobárico.

#### **II.4.1. Tratamiento con alta concentración de CO<sub>2</sub> por períodos cortos.**

Este tratamiento involucra la exposición de frutas en una atmósfera con 10 a 20% de CO<sub>2</sub>, durante 4 a 7 días antes de ajustar la atmósfera a la concentración regular de la AC. Esto es para inhibir la respiración de la fruta después de la cosecha (ya que en éste período es muy alta). Hay que tener presente que el CO<sub>2</sub> daña la piel de la fruta si la humedad se condensa sobre la superficie de ésta (Kader, 1980; Yi *et al*, 1992).

#### **II.4.2. Atmósfera controlada rápida.**

La AC rápida es una estrategia para acortar el tiempo entre la cosecha y el establecimiento de las condiciones deseadas de la AC. Se logra mantener una buena calidad de las frutas si la velocidad de enfriamiento durante el almacenamiento no es afectada adversamente por cambios de calor. Para que la cámara funcione como una AC rápida, el cuarto de almacenamiento debe ser preparado y sellado dentro de 3 días siguientes a la cosecha o antes (Yi *et al*, 1992).

### **II.4.3. Atmósfera controlada baja en oxígeno.**

Por lo regular las AC son recomendadas para bajas concentraciones de  $O_2$ , usualmente de 2%. Se ha encontrado que niveles de  $O_2$  entre 1 y 1.5% son más efectivos para extender la vida de almacenamiento de frutas y verduras.

Es esencial un monitoreo cuidadoso para mantener el nivel preciso de  $O_2$  y así evitar el daño debido a la respiración anaeróbica (Yi *et al*, 1992).

### **II.4.4. Atmósfera controlada baja en etileno.**

La remoción de etileno de la atmósfera de almacenamiento, da como resultado un retardo en la maduración y mayor consistencia en la pulpa de la fruta. La concentración de etileno se debe mantener abajo de 1 ppm, para obtener un efecto benéfico en ésta técnica. Se sabe que el etileno participa en la maduración de frutas, las cuales lo producen de una forma muy variada, siendo la producción de este gas un indicador de la estabilidad de la fruta (ver tabla 2). La AC baja en etileno generalmente se aplica a manzanas, con el objetivo de retardar su maduración (Kader, 1980; Koelet, 1992; Yi *et al*, 1992).

#### **II.4.5. Almacenamiento a baja presión o hipobárico.**

Esta técnica implica el almacenamiento de frutas y verduras a una presión menor que la atmosférica. El aumento de la difusión de gases bajo presión reducida, facilita la pérdida de CO<sub>2</sub> y etileno de frutas y verduras, y reduce el gradiente de O<sub>2</sub> entre el interior y el exterior del vegetal. De esta manera, ésta técnica de almacenamiento combina la ventaja de bajo O<sub>2</sub> y bajo etileno. La inhibición de la maduración y el alargamiento de vida de almacenamiento es mayor cuando los alimentos se almacenan bajo condiciones hipobáricas, con respecto a los otros tipos de atmósferas controladas (Kader, 1980; Koelet, 1992; Yi *et al*, 1992).

#### **II.4.6. Atmósfera controlada usando CO.**

La adición de CO a la AC aumenta el tiempo de conservación de algunas frutas, ya que el CO ejerce efectos en el metabolismo de las frutas al ligarse con citocromos y enzimas que tienen centros activos metálicos, y puede reemplazar al etileno en todas sus funciones (cambios en color, textura, consistencia y composición química de frutas y verduras (Watada, 1986)).

Bajas concentraciones de CO (0.1%) combinado con atmósferas ricas en CO<sub>2</sub> provoca un rápido decaimiento en la respiración climatérica (bloqueando el



proceso oxidativo), producción de etileno, maduración del fruto e inhibición del crecimiento de algunas levaduras y hongos.

Pueden utilizarse atmósferas con concentraciones de 5 a 10% de CO y bajas en O<sub>2</sub> (menos de 4%), para reducir la incidencia y severidad de los efectos de la maduración durante el transporte y almacenamiento de algunas frutas, su utilización está restringida a pocos productos vegetales por las autoridades sanitarias, debido a que puede formar residuos tóxicos, y a su propia toxicidad.

Por otro lado, para algunos vegetales como en el caso del tomate, el emplear únicamente una atmósfera con concentraciones de CO de 5 a 10% más aire normal, produce un efecto contrario: eleva la producción de CO<sub>2</sub> y etileno, y aumenta la maduración (Kader, 1980; Smith *et al*, 1992 Wolfe, 1980).

Tabla 1. Recomendaciones para seleccionar las condiciones adecuadas de almacenamiento y/o transporte de productos alimenticios mediante atmósferas controladas.

Producto	Temperatura °C	Concentración recomendada %		Periodo aprox. almacenamiento	Observaciones	Referencia
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>			
Manzana	0 a 5	1 a 3 <sup>a,c</sup> 3 a 6 <sup>b</sup>	1 a 6	4 a 11 meses	Aprox. 40% de la producción en EU se almacena con AC No se usa comercialmente	a, b, c
Chabacano	0 a 5 <sup>a</sup> -0.5 a 0 <sup>c</sup>	2 a 3	2 a 3	7 semanas		a, c
Zarzamora	-0.5 a 0	5 a 10	15 a 20	1 semana	Enfriamiento rápido	c
Grosella		0	25 a 50	4 semanas	1 <sup>a</sup> semana 50%, luego 25% CO <sub>2</sub>	c
Mora azul	-0.5 a 0	5 a 10	15 a 20	2 a 3 sem.	Enfriamiento rápido	c
Cereza	0 a 5 <sup>a</sup> -1 a 0 <sup>c</sup>	3 a 10	10 a 15	4 semanas	Poco uso comercial Altas concentraciones de CO <sub>2</sub>	a, c
Arándano		1 a 2	0 a 5	2 a 4 meses		c
Higo	0 a 5 <sup>a</sup> -1 a 0 <sup>c</sup>	5 a 10	15 a 20	2 semanas	Poco uso comercial	a, c
Uva	0 a 5 <sup>a</sup> -1 a 0 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup> 2 a 5 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup> 1 a 3 <sup>c</sup>	1 a 6 meses	No se usa comercialmente	a, c
Kiwi	0 a 5	1 a 2	3 a 5	3 a 5 meses	Uso comercial limitado	a, c
Durazno (piel delgada)	-0.5 a 0	1 a 2	3 a 5	6 a 9 sem.	Uso comercial limitado	a, c
Durazno	0 a 5 <sup>a</sup> -0.5 a 0 <sup>c</sup>	1 a 2	3 a 5	6 a 9 sem.	Uso comercial limitado	a, c
Pera	0 a 5 <sup>a</sup> -1 a -0.5 <sup>c</sup>	0.5 a 4	0 a 1 <sup>a</sup> 0.5 a 3 <sup>c</sup>	3 a 9 meses		a, c

Tabla 1. Continuación.

Producto	Temperatura °C	Concentración recomendada %		Período aprox. almacenamiento	Observaciones	Referencia
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>			
Alcachofa	0	2 a 3	2 a 3	1 mes	Disminuye decoloración	c
Espárrago	2	aire	10 a 14	3 semanas		c
Frijol	8	2 a 3	4 a 7	2 semanas	Reduce pérdida de color	c
Brócoli	5 a 10 <sup>b</sup> 0 <sup>c</sup>	1 a 2	5 a 10	1 mes	Mantiene color verde	b, c
Col de Bruselas	0	1 a 2	5 a 7	3 a 5 sem.	Disminuye amarillamiento	c
Col	0	2 a 3	3 a 6	6 a 8 meses	Uso comercial alto	c
Melón	5 a 10	3 a 5	10 a 20	2 a 3 meses	Uso comercial limitado	a, c
Coliflor	0	2 a 3	3 a 4	1 mes		c
Apio	2 a 5 <sup>b</sup> 0 <sup>c</sup>	1 a 6	2 a 6	3 meses		b, c
Col China	0	1 a 2	0 a 5	4 a 5 meses	Disminuye pérdida de hojas	c
Maíz dulce	0	2 a 4	5 a 10	2 semanas	Disminuye pérdida de azúcar	c
Pepino	12	1 a 4	0	3 semanas	Disminuye amarillamiento	c
Poro	0	1 a 6	5 a 10	4 meses		c
Lechuga	5 <sup>b</sup> 0 <sup>c</sup>	1 a 3	5 a 6 <sup>b</sup> 0	3 a 4 sem.		b, c

Tabla 1. Continuación.

Producto	Temperatura °C	Concentración recomendada %		Periodo aprox. almacenamiento	Observaciones	Referencia
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>			
"Persimmon"	0 a 5 <sup>a</sup> -1 a 0 <sup>c</sup>	3 a 5	5 a 8	4 meses	No se usa comercialmente	a, c
Ciruela	0 a 5 <sup>a</sup> -0.5 a 0 <sup>c</sup>	1 a 2	0 a 5	4 a 5 meses	No se usa comercialmente	a, c
Frambuesa	-0.5 a 0	5 a 10	15 a 20	1 semana	Enfriar rápidamente	c
Fresa	0 a 5 <sup>a</sup> -0.5 a 0 <sup>c</sup>	5 a 10	15 a 20	1 semana	Se usa para transporte	a, c
Aguacate	5 a 13	2 a 5	3 a 10	3 a 6 sem.	Uso limitado	a, c
Plátano	12 a 15	2 a 5	2 a 5	1 a 6 meses	Se usa comercialmente	a, c
Toronja	10 a 15	3 a 10	5 a 10	6 a 8 sem.	No se usa comercialmente	a, c
Limón	10 a 15	5 a 10	0 a 10	1 a 6 meses	Uso limitado	a, c
Lima	10 a 15	5 a 10	0 a 10	6 a 8 sem.	Uso limitado	a, c
Mango	10 a 15	3 a 5	5 a 10	5 semanas	No se usa comercialmente	a, c
Accituna	8 a 12 <sup>a</sup> 7 <sup>c</sup>	2 a 5	5 a 10 <sup>a</sup> 0 a 1 <sup>c</sup>	2 meses	No se usa comercialmente	a, c
Naranja	5 a 10	5 a 10	0 a 5	8 a 12 sem.	No se usa comercialmente	a, c
Papaya	10 a 15	3 a 5	5 a 10	2 a 3 sem.	No se usa comercialmente	a, c
Piña	10 a 15	2 a 5	5 a 10	4 semanas	No se usa comercialmente	a, c

Tabla 1. Continuación.

Producto	Temperatura °C	Concentración recomendada %		Período aprox. almacenamiento	Observaciones	Referencia
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>			
Hongo	0	aire	10 a 15	1 a 2 sem.		c
Cebolla seca	0	0 a 1	0 a 5	8 meses		c
Cebolla verde	0	1	5	2 meses		c
Perejil	0	8 a 10	8 a 10	3 meses		c
Pimiento	12	2 a 5	0	3 semanas		c
Rábano	0	1 a 2	2 a 3	4 meses		c
Espinaca	0	7 a 10	5 a 10	3 semanas		c
Tomate	12 a 20	3 a 5	0	no se reporta	Uso comercial limitado	a
Jitomate	5 a 12	3 a 5	0 a 4	4 a 6 sem.	Uso comercial limitado	a, b, c

a: Kader (1980), b: Smith et al (1992), c: Yi et al (1992)

**OBSERVACIONES:**

Las concentraciones de N<sub>2</sub> se obtienen por diferencia.

Esta información se encuentra más detallada para las diferentes variedades de manzana y pera en la referencia c.

Para otros productos alimenticios (cárnicos, pescadería, pastelería y pastas) consultar referencia b.

En Wolfe (1980) se encuentra información de algunos productos a los cuales se recomienda agregar CO a la AC para mejorar las condiciones de almacenamiento.

**Tabla 2. Clasificación de frutas de acuerdo a su tasa máxima de producción de etileno.**

Tasa de producción de etileno ( $\mu\text{L/kg-h}$ a 20 °C)	Frutas
Muy baja: 0.01 - 0.1	Cereza, cítricos, uva, granada, fresa
Baja: 0.1 - 1	Mora azul, kiwi, pimienta, piña, frambuesa
Moderada: 1 - 10	Plátano, higo, melón, mango, jitomate
Alta: 10 - 100	Manzana, chabacano, aguacate, papaya, durazno, pera, ciruela
Muy alta: > 100	Chirimoya, mamey, sapote

Fuente: Kader, 1980

## **CAPÍTULO III.**

### **MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DE ATMÓSFERAS**

## MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DE ATMÓSFERAS.

Los métodos de atmósferas modificadas (AM) para la conservación de alimentos, se subdividen en dos categorías principales:

- 1.- La modificación pasiva de la atmósfera
- 2.- La modificación activa de la atmósfera

En el primer caso, si el producto se encuentra empaquetado con una película en forma correcta, tal que no se permita la permeabilidad de gases, entonces la atmósfera en la cual se encuentra va a modificarse como resultado del consumo de  $O_2$  y la generación de  $CO_2$  debido a la respiración del producto (Smith *et al*, 1992).

La modificación pasiva, se utiliza comúnmente para cambiar la atmósfera de empaquetamiento de frutas y verduras.

Para mantener la mezcla de gases correcta dentro del producto empaquetado, se debe de tener la cantidad adecuada de  $O_2$  de acuerdo con el consumo que el producto tenga conforme a un determinado tiempo de almacenamiento.



El CO<sub>2</sub> que va generando el producto empaquetado, tiene que desalojarse del empaque conforme a su producción.

En cambio para la modificación activa de la atmósfera se usan varios métodos. Estos incluyen: empaquetamiento a vacío, uso de absorbente de O<sub>2</sub>/generadores de CO<sub>2</sub>, generadores de vapores de etanol e inyección de mezcla de gases.

### **III.1. EMPAQUETAMIENTO A VACÍO.**

Esta técnica se usa ampliamente en la industria de la carne, con el propósito de extender la vida de anaquel y la conservación de la calidad del producto fresco.

La carne está localizada dentro de una película que tiene una muy baja permeabilidad al oxígeno, el aire se remueve por medio de vacío y entonces el empaque es sellado.

Bajo condiciones de un buen vacío, el O<sub>2</sub> es reducido a valores menores a 1%, mientras tanto el CO<sub>2</sub> se produce a partir de la respiración microbiana y llega a valores del 10 al 20% dentro del espacio del empaque.

Bajo estas condiciones (bajos niveles de O<sub>2</sub> y altos de CO<sub>2</sub>), se extiende la vida de

anaquel de carnes debido al efecto inhibitorio del  $\text{CO}_2$  sobre el crecimiento de microorganismos aerobios.

### **III.2. ABSORBENTES DE $\text{O}_2$ /GENERADORES DE $\text{CO}_2$ .**

Este método consiste principalmente en absorber la humedad del aire por medio del uso de un agente desecante dentro de la atmósfera del producto empaquetado.

Existen varios tipos de desecantes que son utilizados para absorber  $\text{O}_2$  o absorber  $\text{O}_2$  y generar el volumen equivalente de  $\text{CO}_2$  en el producto empaquetado.

Un concepto similar es el uso de los generadores de vapores de etanol, los cuales modifican la atmósfera debido a la producción de etanol en el espacio del alimento empacado.

Sin embargo, el método más común de modificación de atmósferas, es el empaquetamiento utilizando mezclas de gases. El empaquetamiento usando mezclas de gases para la modificación de atmósferas es una extensión del empaquetamiento a vacío. Esta es una técnica que involucra la evacuación del aire donde se va a almacenar el producto seguida de la inyección de la mezcla de gases apropiada.

### **III.3. GASES MAS USADOS EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y ATMÓSFERAS CONTROLADAS.**

Los gases comúnmente usados para AM y AC son:  $N_2$ ,  $O_2$  y  $CO_2$  (tabla 3). Estos gases tienen características especiales, como no ser tóxicos y no ser peligrosos.

Cada gas juega un papel distinto dentro del almacenamiento con AM y AC de alimentos.

El  $N_2$  es un gas inerte, el cual no tiene efectos sobre los alimentos, y no posee propiedades antimicrobianas. Es usado principalmente como un gas de relleno. Puede ser usado para reemplazar al  $O_2$  en alimentos de baja actividad de agua, para prevenir su descomposición química, así como problemas de oxidación que provocan que los alimentos se vuelvan rancios.

Las funciones del  $O_2$  en el almacenamiento de productos alimenticios son:

1. Se puede usar en el empaquetado de carnes rojas para la conservación del color, y mantener las vellosidades que poseen algunas frutas (como el durazno), pues ofrecen un mejor aspecto para el consumidor.

2. Es usado a bajas concentraciones en productos que consumen gran cantidad de  $O_2$  después de la cosecha, para así de esta manera disminuir su respiración, con lo cual se inhibe la maduración en frutas y verduras.

3. Quizá el factor más importante es que con el uso del  $O_2$  se previenen condiciones anaeróbicas (respiración sin la presencia de  $O_2$ , en la tabla 4 se presenta una clasificación de algunos organismos en base a sus requerimientos de oxígeno), éstas condiciones acarrearán problemas en la formación de compuestos como acetaldehído y etanol, provocando que en el alimento se modifiquen ciertas propiedades como olor y sabor.

El  $CO_2$  es el compuesto más importante de la mezcla gaseosa en la cual se almacenará el alimento, debido a su capacidad para inhibir el crecimiento microbiano y reducir el metabolismo del alimento.

Otros gases que tienen propiedades antimicrobianas son:  $CO$ ,  $SO_2$ , óxido de etileno y ozono, pero éstos están limitados únicamente para ciertos alimentos (como lechuga), ya que pueden formar residuos tóxicos. El  $CO$  se adiciona a la AC para aumentar el período de almacenamiento.

Tabla 3. Resumen de las propiedades de los gases usados en atmósferas controladas.

---

Oxígeno	Mantiene el color rojo de la carne fresca Sustenta el metabolismo básico Previene la esporulación anaeróbica
Nitrógeno	Inerte químicamente Previene oxidación Previene enranciamiento
Dióxido de carbono	Inhibe crecimiento de bacterias y hongos Previene ataque de insectos Soluble en grasas y agua Altas concentraciones pueden producir decoloración (carne) o producir daños a los tejidos (frutas, verduras)

---

Fuente: Smith et al (1992)

**Tabla 4. Requerimientos de Oxígeno de microorganismos.**

---

Aerobios - requieren oxígeno atmosféricos para su crecimiento

*Pseudomonas*  
*Acinetobacter/Moraxella*  
*Micrococcus*  
Levaduras  
Hongos

Microaerofilicos - requieren niveles bajos de oxígeno

*Campylobacter*  
*Lactobacillus*

Organismos facultativos - crecen en presencia o ausencia de oxígeno

*Brochothrix thermosphacta*  
*Staphylococcus*  
*Bacillus sp.*  
Enterobacterias  
Vibrio  
Levaduras fermentativas

Anaerobios - inhibidos (o muertos) por el oxígeno

*Clostridium botulinum*  
*Clostridium perfringens*

---

Fuente: Smith et al, 1992

## **SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.**

Los sistemas de refrigeración se basan en ciclos termodinámicos o procesos físicos. En estos procesos interviene un fluido, denominado refrigerante, el cual tiene la capacidad de absorber calor a baja temperatura y presión y cederlo a presión y temperatura mas elevadas, con el consecuente cambio de estado del fluido (Riquelme, 1993).

En los ciclos termodinámicos, la fuente caliente (generalmente aire del ambiente o agua), va a ser enfriada utilizando ciclos de refrigeración, y a su vez este fluido será utilizado para la refrigeración de alimentos (Producción de frío industrial, 1983).

### **IV.1. CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES.**

De acuerdo a su composición química:

- a) Inorgánicos
- b) Orgánicos: hidrocarburos y derivados oxigenados, nitrogenados y halogenados.

De acuerdo a su presión de operación:

- a) Baja presión: A presión atmosférica su temperatura de ebullición es alta, superior a 20°C
- b) Media presión: A presión atmosférica su temperatura de ebullición esta comprendida entre 20°C y -30°C
- c) Alta presión: A presión atmosférica la temperatura de ebullición es baja, comprendida entre -30 y -80°C
- d) Muy alta presión: A presión atmosférica la temperatura de ebullición es baja, inferior a -80°C.

El reglamento de seguridad para plantas frigoríficas clasifica a los refrigerantes en tres grupos (tabla 5):

Grupo I: refrigerantes de alta seguridad. si no es combustible y con acción tóxica ligera o nula.

Grupo II: refrigerantes de media seguridad. si es de acción tóxica o corrosiva o si su mezcla con el aire puede ser combustible o explosiva a un 3.5% en volumen o más.

Grupo III: refrigerantes de baja seguridad. si su mezcla con el aire puede ser combustible o explosiva a menos de 3.5% en volumen.



Hay una gran cantidad de refrigerantes, como se muestra en la tabla 5. Cada refrigerante tiene características propias, por lo tanto, cada uno tiene un comportamiento diferente termodinámicamente. Algunas de las propiedades que debe poseer un refrigerante se mencionan a continuación:

**Presión de vapor:** debe ser superior a la atmosférica, para evitar introducción de aire y consecuentemente aporte de humedad

**Presión de condensación:** no debe ser próxima a la presión crítica del refrigerante, con el fin de facilitar la condensación

**Relación de compresión** (se define como relación de la presión a la descarga con respecto a la de la succión en un compresor): debe ser pequeña de acuerdo a las condiciones de funcionamiento

**Calor latente de vaporización:** es recomendable un alto calor latente de vaporización, pues será mayor la producción frigorífica, menor el caudal másico y se permite utilizar equipo más pequeño

**Calor específico:** En el líquido el calor específico debe ser bajo y en el vapor debe ser alto, con esto se aumenta el rendimiento del refrigerante.

Comportamiento frente a la humedad: se requiere que el contenido de humedad en el equipo de producción de frío, se mantenga por debajo de niveles que produzcan efectos dañinos. El nivel máximo de agua depende del tipo de refrigerante así como de la temperatura.

Al estar presente agua en el sistema, esta se combina con el refrigerante, ocasionando problemas de corrosión (generación de compuestos corrosivos que reaccionan con los materiales del sistema). Es por esta razón, que se recomiendan bajos niveles de humedad.

Comportamiento frente a los diversos materiales: los refrigerantes no son corrosivos, excepto como ya se mencionó anteriormente, únicamente si se combinan con el agua.

**Tabla 5. Clasificación de los refrigerantes****Grupo I Refrigerantes de alta seguridad**

Número de identificación	Nombre químico	Fórmula química	Punto de ebullición °C
R-11	Triclorofluorometano	$\text{CCl}_3\text{F}$	23.8
R-12	Diclorodifluorometano	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	-29.8
R-13	Clorotrifluorometano	$\text{CClF}_3$	-81.5
R-13B1	Bromotrifluorometano	$\text{CBrF}_3$	-58.0
R-14	Tetrafluoruro de Carbono	$\text{CF}_4$	-128.0
R-21	Diclorofluorometano	$\text{CHCl}_2\text{F}$	8.92
R-22	Clorodifluorometano	$\text{CHClF}_2$	-40.8
R-113	1,1,2-Triclorofluorometano	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	47.7
R-114	1,2-Diclorofluorometano	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	3.5
R-115	Cloropentafluorometano	$\text{CClF}_2\text{CF}_3$	-38.7
R-C318	Octafluorociclobutano	$\text{C}_4\text{F}_8$	-5.9
R-744	Dióxido de Carbono	$\text{CO}_2$	-78.5

**Tabla 5. Continuación.****Grupo II Refrigerantes de media seguridad**

Número de identificación	Nombre químico	Fórmula química	Punto de ebullición °C
R-30	Cloruro de metileno	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	40.1
R-40	Cloruro de metilo	CH <sub>3</sub> Cl	-24.0
R-160	Cloruro de etilo	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	12.5
R-611	Formiato de etilo	CH <sub>3</sub> COOH	31.2
R-717	Amoniaco	NH <sub>3</sub>	-33.0
R-764	Anhidrido sulfuroso	SO <sub>2</sub>	-10.0
R-1130	1,2-Dicloroetileno	(CHCl) <sub>2</sub>	48.5
<b>Grupo III</b>	<b>Refrigerantes</b>	<b>de baja</b>	<b>seguridad</b>
Número de identificación	Nombre químico	Fórmula química	Punto de ebullición
R-170	Etano	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	-88.6
R-290	Propano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-42.8
R-600	Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.5
R-1150	Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-103.7

Fuente: Riquelme, 1993

Algunos de los materiales de construcción usados principalmente en los equipos de refrigeración son: cobre, aluminio, magnesio, zinc, plomo y estaño, entre otros.

## IV.2. Funcionamiento general de una cámara de refrigeración

Para un mejor entendimiento de los sistemas de refrigeración es necesario, establecer un análisis termodinámico de su comportamiento. A continuación se especifican los parámetros (presión, temperatura, entalpía) que definen las características termodinámicas de un refrigerante en un diagrama de presión contra entalpía (figura 4).

En el diagrama de P vs. H, la línea curva corresponde al límite del equilibrio termodinámico entre las fases líquida y vapor del refrigerante. El punto C indica el punto crítico (el punto crítico establece que si un refrigerante se encuentra por encima de éste, no puede licuarse por mas que se reduzca su presión).

Cualquier punto situado sobre la curva de equilibrio a la izquierda del punto crítico, corresponde al estado de líquido saturado.

Por el contrario, un punto que se encuentre sobre la curva situado del lado derecho, corresponde al estado de vapor saturado.

La zona I corresponde al estado líquido-vapor o vapor húmedo.

La zona II corresponde al estado de líquido subenfriado.

La zona III indica un vapor sobrecalentado.

### **IV.3. DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN EN EL DIAGRAMA TERMODINÁMICO P-H.**

#### **IV.3.1. Etapa de expansión**

En un diagrama de P-H (figura 5), la etapa de expansión corresponde a la trayectoria que se sigue del punto 1 (aquí el refrigerante se encuentra como líquido saturado) al punto 2 (correspondiendo a una región de equilibrio líquido-vapor).

Del diagrama se observa que, si la válvula de expansión se encuentra demasiado cerrada, la temperatura de evaporación bajará considerablemente y al evaporador entrará poco líquido saturado. Por el contrario, si se abre demasiado la válvula, la temperatura al igual que la presión, van a disminuir, pero menos. Por lo tanto, se puede establecer que existirá mayor cantidad de vapor conforme ésta se cierra.

El líquido se expande súbitamente conservando su contenido total de calor, ocurriendo un enfriamiento del refrigerante, el cual se aprovecha como fuente fría en el proceso.

### **IV.3.2. Etapa de evaporación (punto 2 al 3, figura 5)**

El refrigerante en forma de mezcla líquido-vapor, absorbe calor del medio ambiente, para evaporar el líquido contenido en éste, hasta llevarlo todo al estado de vapor saturado, que es como entra al compresor.

### **IV.3.3. Etapa de compresión (punto 3 al 4, figura 5)**

Aquí se comprime el vapor saturado a baja temperatura y presión, llevándolo a un estado de mayor presión y entalpía, por medio de un trabajo externo suministrado al compresor por un elemento motriz (motor eléctrico, motor de expansión, turbina de vapor, etc.).

### **IV.3.4. Etapa de condensación (punto 4 al 1, figura 5)**

El vapor sobresaturado a la salida del compresor, se enfría hasta el estado de vapor saturado y, posteriormente, se condensa hasta el estado de líquido saturado. El condensador extrae del refrigerante una cantidad de calor equivalente a la disminución de entalpía experimentada por el fluido de proceso enfriado, desde que entra en forma de vapor saturado hasta que sale en forma de líquido.

**IV.3.5. Clases de calores utilizados en la refrigeración**

Etapa 1 a 2: Calor específico del líquido y calor latente de vaporización

Etapa 2 a 3: Calor latente de vaporización

Etapa 3 a 4: Calor específico del vapor

Etapa 4 a 1: Calor específico del vapor y calor latente de condensación.

Este diagrama (figura 5) expuesto hasta ahora, se trata de un ciclo termodinámico ideal ya que se llevan a cabo las siguientes consideraciones:

1.- La compresión del vapor se realiza sin pérdidas de calor al exterior.

Cuando en realidad se tienen que enfriar los compresores con aire, agua, u otro fluido. Para permitir un funcionamiento mecánico correcto.

2.- Entre los distintos componentes del sistema, el flujo del fluido tiene lugar sin pérdidas de carga o caídas de presión.

3.- El vapor a la salida del evaporador, no experimenta sobrecalentamientos, ni el líquido que sale del condensador sufre algún subenfriamiento.

El ciclo de refrigeración se puede representar esquemáticamente en la figura 6, pudiendo ver la función de cada equipo en la siguiente tabla.



**IV.3.6. Funciones principales de los equipos involucrados en la refrigeración.**

<b>Equipo</b>	<b>Función principal</b>
Evaporador	El refrigerante absorbe calor del fluido de la corriente de proceso
Compresor	Compresión del refrigerante en fase gas, que sale del evaporador. Elevando su temperatura y presión
Condensador	Enfriar el vapor sobrecalentado que sale del compresor para después condensarlo en el mismo equipo
Válvula de expansión	Dejar pasar exactamente la cantidad de líquido que se necesita para el servicio de refrigeración

#### IV.4. CICLO DE ABSORCIÓN

A diferencia del ciclo mecánico de compresión de vapor, el ciclo de absorción recurre a la energía térmica para producir la diferencia de presión entre la evaporación y la condensación.

En el ciclo de absorción se utiliza un fluido secundario, llamado absorbente, utilizado para absorber al refrigerante gaseoso que sale del evaporador.

El sistema (figura 7) funciona de la siguiente manera:

En el generador se adiciona el calor necesario, por medio de un agente externo para aumentar la temperatura de una mezcla de refrigerante y absorbente, el aumento de temperatura hace que parte del refrigerante se vaporice y pase a un condensador, mientras que otra parte en solución pasa al absorbedor.

El refrigerante en forma de gas procedente del generador, pasa a un generador, para llevarlo a su fase líquida; esta condensación se produce a presión relativamente alta.

El líquido que sale del condensador, se expande y posteriormente en el evaporador

a baja presión, se lleva a cabo la evaporación del refrigerante.

El absorbedor recibe del generador la solución de refrigerante y absorbente (baja concentración de refrigerante), y absorbe el refrigerante en forma de vapor procedente del evaporador. En este proceso se desprende el calor de disolución que debe evacuarse al exterior por medio de un agente adecuado.

La bomba tiene la función de llevar al generador la solución concentrada en el absorbedor.

El ciclo de refrigeración se representa esquemáticamente en la figura 7, en la siguiente tabla, se representa de manera resumida la función principal de los equipos involucrados en el ciclo de absorción.

**IV.5. Función principal de los equipos empleados en el ciclo de absorción**

<b>Equipo</b>	<b>Función principal</b>
Generador	Adicionar calor a una mezcla de refrigerante y absorbente (rica en refrigerante), con objeto de llevar a cabo una evaporación parcial
Condensador de refrigerante	Licuar el vapor de refrigerante procedente del evaporador
Evaporador	Absorber el calor que el líquido refrigerante necesita para evaporarse
Absorbedor	Recibir del generador la solución pobre en refrigerante y absorbe el refrigerante en forma de vapor procedente del evaporador
Equipo de bombeo	Llevar al generador la solución concentrada en el absorbedor

En general, los ciclos de absorción mas utilizados son el ciclo bromuro de litio-agua.

La diferencia esencial entre el ciclo de compresión de vapor y el de absorción, radica en que el primero consume energía mecánica, y en el ciclo de absorción se

consume energía térmica.

Por cada unidad de efecto refrigerante (el efecto refrigerante se define como la cantidad de energía que se requiere para evaporar una unidad de masa de refrigerante), se necesita mas energía calorífica en el sistema de absorción, que energía mecánica en el sistema de compresión de vapor.

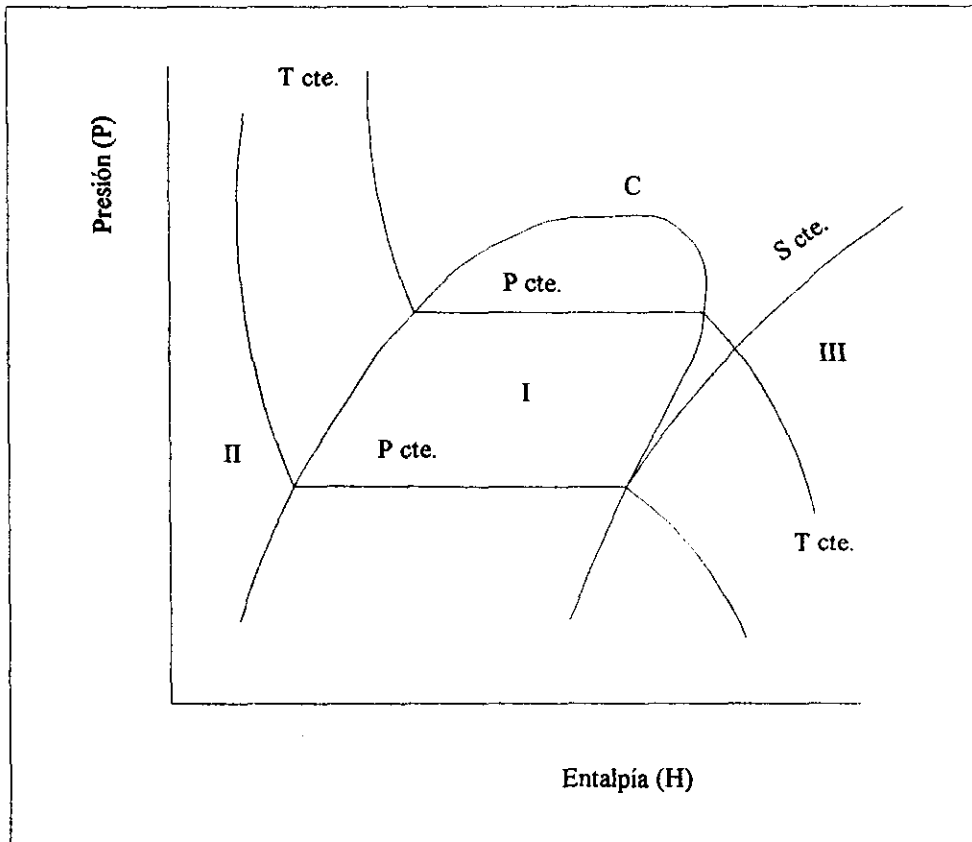


Figura 4. Diagrama termodinámico Presión-Entalpía para equilibrio Líquido-vapor, en el cual se muestran las siguientes zonas:

- I. equilibrio líquido-vapor, existen las dos fases saturadas
- II. líquido subenfriado
- III. vapor sobrecalentado

También se muestra el punto crítico (c), las curvas a presión, temperatura y entropía constante.

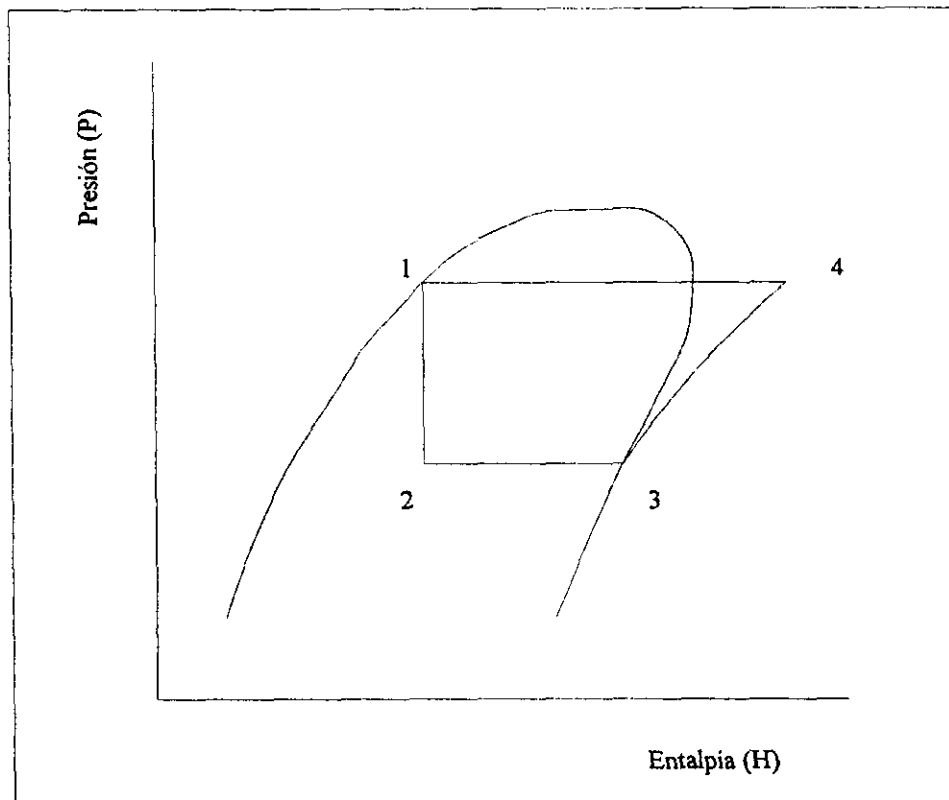


Figura 5. Diagrama termodinámico Presión-Entalpía para representar el ciclo de refrigeración:

- 1 a 2 expansión del refrigerante cuando se encuentra como líquido saturado
- 2 a 3 evaporación de la fracción líquida saturada que queda después de la expansión
- 3 a 4 compresión del vapor saturado manteniendo la entropía constante
- 4 a 1 enfriamiento del vapor sobrecalentado que sale del compresor y condensación hasta líquido saturado

## **CAPÍTULO V.**

### **ANÁLISIS DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN CON ATMÓSFERA CONTROLADA.**



## **ANÁLISIS DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN CON ATMÓSFERA CONTROLADA**

El propósito de utilizar una cámara con atmósfera controlada, como se ha mencionado anteriormente, es el de conservar por un período más largo las propiedades de los alimentos (olor, sabor, consistencia, etc), reemplazando así a la refrigeración normal. Se entiende por refrigeración normal, la utilización de un refrigerante en el cual se lleva a cabo un ciclo de refrigeración termodinámico, sin manipular el contenido de gases dentro de la cámara de refrigeración.

Los cuatro agentes más importantes dentro de la conservación de alimentos son: temperaturas bajas, niveles bajos de oxígeno, altos contenidos de CO<sub>2</sub> y un control adecuado de la humedad relativa. La AC se basa en el manejo de estas condiciones.

De los requerimientos anteriores, cabe hacer mención de lo siguiente:

- Es muy importante mantener la temperatura constante después de cargada la cámara con el alimento a conservar, ya que de esto depende que las frutas mantengan la coloración que traen a la entrada y que ésta perdure hasta

cuando se pretendan comercializar. Las temperaturas bajas provocan que haya una menor producción de enzimas, con lo cual se retarda el período de maduración (al hablar de temperaturas bajas se refiere específicamente a la temperatura característica de conservación de cada producto).

- En el sistema de atmósfera controlada se recomienda enfriar el producto más rápidamente, y la velocidad de enfriamiento es característica para cada alimento.

- Se recomienda que las frutas se enfrien inmediatamente después de ser recolectadas, sin que transcurran más de 18 a 24 horas en peras y en manzanas no sobrepasar de 48 horas (Duran, 1983).

- Con lo que respecta a la **humedad relativa**, esta se encuentra en un rango de 90 a 95% dentro de la cámara.

### **Homogeneidad de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.**

En este sentido, conviene tener la homogeneidad tanto del CO<sub>2</sub> como del O<sub>2</sub> por medio del uso de ventiladores, ya que de esta manera se evita que el CO<sub>2</sub> se asiente en la cámara.

Es muy importante mantener una hermeticidad total en todo el perímetro de la cámara, incluyendo las puertas, es decir, que no se permita el paso de gases del exterior. El alimento al respirar, va consumiendo  $O_2$  y a su vez va produciendo  $CO_2$ , con lo cual, al mantener hermética la cámara, existirá un mejor control de estos parámetros y así, de esta manera, se aumenta el período de conservación.

El  $O_2$  por sí sólo a bajas concentraciones (2 a 4%), es más reductor del metabolismo que el  $CO_2$  a altas concentraciones (4 a 6%), ya que, con solo un alto contenido de  $CO_2$  se lograría poca mejora, siendo ésta alta concentración junto al bajo porcentaje de  $O_2$ , lo que realmente es muy efectivo.

Un aspecto muy importante utilizado en la conservación con AC es el tiempo de puesta a régimen, que se define como el tiempo en que tarda en bajar la concentración de  $O_2$  de 21% a 2 o 3%. Este tiempo depende de la intensidad respiratoria del alimento, de su estado de maduración y de la temperatura.

Por ejemplo, el tiempo de puesta a régimen en manzanas es de aproximadamente 3 semanas.

El tiempo de puesta a régimen se cumple en teoría, este sería inferior si la hermeticidad de la cámara fuera total, ya que en puertas y paredes se dan

pequeños escapes por donde se introduce aire hacia la cámara. A consecuencia de esto, el período durante el cual se reduce el  $O_2$  hasta alcanzar el porcentaje deseado (2 a 5%) se prolonga casi al doble, en comparación con lo que ocurriría con una hermeticidad teórica total.

En la respiración de las frutas por cada volumen de  $O_2$  consumido, se produce otro igual de  $CO_2$  y la suma de las dos concentraciones siempre se mantiene al 21%. Cada día que la fruta se encuentra en período de conservación en AC, se consume aproximadamente 1.5% de  $O_2$  y se produce el mismo volumen de  $CO_2$ .

Entonces para llevar una concentración de  $O_2$  del 21% al 2 o 3%, en teoría se requiere una cierta cantidad de tiempo (aproximadamente 12 días), pero en realidad se requiere un tiempo mayor (22 a 23 días) por los problemas mencionados de hermeticidad en la cámara. La cantidad de  $O_2$  consumido y de  $CO_2$  producido es específico para cada alimento.

Como el  $CO_2$  se está produciendo, existen límites bajo los cuales los alimentos pueden dañarse (del orden del 10 al 12%). Para lo cual se utiliza un aparato denominado **descarbonizador o absorbedor**. Este elimina todo el  $CO_2$  en exceso hasta un porcentaje deseado. Al igual los excesos de  $O_2$  se eliminan con un **quemador**, hasta alcanzar el valor requerido.

### **V.1. Algunas otras consideraciones que se deben de tomar en cuenta para un control adecuado de la atmósfera.**

Como ya se ha mencionado, para tener las condiciones atmosféricas adecuadas en una cámara de refrigeración, se controla la temperatura, la humedad relativa, descarche y la concentración de gases en el interior de la cámara.

#### **V.1.1. Temperatura:**

Lo que interesa es verificar la temperatura antes del cierre y sellado de la puerta. Se verifica la temperatura del punto mas frío de la cámara y ésta se compara con respecto a la temperatura que se lee desde el exterior, para esto se coloca un termómetro por un orificio herméticamente sellado, cerca de alguna pared de la cámara y a aproximadamente un metro de altura, con lo cual se comprueba que se ha alcanzado la temperatura hasta el punto mas frío, ya que la zona mas elevada es la menos fría o se enfría mas lentamente.

Como es inevitable, existen regiones más frías y menos frías dentro de la cámara, esto se debe a distintas causas. Dentro de las cuales cabe destacar que:

Exista una mala circulación de aire.

La mala circulación del aire puede deberse a su vez a un mal estibado o disposición de los embalajes.

Una diferencia de temperatura aceptable, es aquella que sucede entre el paro y la puesta en marcha de la cámara. Esta diferencia es de aproximadamente de 1 a 1.5 °C, siendo la diferencia ideal de 0.8 °C entre la parte mas fría y la menos fría de la cámara.

#### **V.1.2. Humedad:**

Se recomienda utilizar una humedad relativa que oscile entre el 90 y 95%. Bajo estas condiciones, son bajas las pérdidas de peso en frutas debido a la transpiración.

En el caso extremo, cuando existe poca humedad relativa, se debe de tener incorporado un nebulizador o una entrada para poder aplicar agua al suelo.

Cuando se tiene exceso de humedad relativa, lo que se hace, es reducir las recirculaciones de aire. Se aconseja para una camara con AC con exceso de HR reducir el nivel de CO<sub>2</sub>, ya que se puede formar una película de agua sobre la piel de la fruta, la combinación de agua con CO<sub>2</sub> forma ácido carbónico, el cual puede

dañar la superficie de la fruta de estas provocándole quemaduras. Una forma de reducir la humedad relativa, es elevando ligeramente la temperatura (se recomienda hasta 2 °C).

### **V.1.3. Descarche:**

La operación de descarche es aquella en la cual se elimina el agua cristalizada o la escarcha sobre el evaporador, ya que si esta operación no se lleva a cabo, se bloquea la acción refrigerante de éste. Esta operación se lleva a cabo de 4 formas diferentes, mediante:

**1) aire:** Se circula aire por medio de ventiladores hacia el evaporador que contiene escarcha. Se tienen inconvenientes si se trabaja a temperaturas muy bajas, con lo cual se requiere mayor uso de los ventiladores. Esto es un problema, ya que se requiere considerable tiempo para eliminar la escarcha (se descarcha por 4 períodos de media hora aproximadamente) y diariamente esta operación se tiene que realizar (Duran, 1983).

**2) agua:** Se elimina la escarcha usando agua. Esta operación puede realizarse conjuntamente con la ventilación de aire, así se reduce el tiempo de descarche. Utilizando únicamente agua, se recomienda descarchar por períodos

de 10 a 15 minutos entre 2 y 4 veces al día, sin embargo cuando se alterna con aire se recomienda un período diario de unos 10 minutos. Para esta operación se baña el evaporador con agua y luego se utiliza aire, consiguiendo así una operación más rápida .

**3) resistencias eléctricas:** El gasto es considerable cuando se utilizan resistencias eléctricas, por lo que no es muy recomendable.

Sin embargo, la operación de descarche se realiza más rápido que utilizando aire o agua.

**4) gas caliente:** Es el sistema más económico, pero por otra parte no es muy recomendable, ya que al utilizar gas caliente se produce un considerable aumento de temperatura con lo cual se produce una sobrepresión en la cámara.

Debido a la considerable elevación de temperatura que se produce, el ahorro económico ya no es tal, pues ahora se tiene que restablecer la temperatura del aire hasta llegar a la temperatura de régimen. Este inconveniente se puede remediar si se coloca un termostato próximo al evaporador. Este es un sensor, el cual indica que si se eleva la temperatura (se recomienda hasta 2°C), se detiene la operación de descarche con lo cual se evitan problemas de sobrepresión.



**V.1.4. Control de O<sub>2</sub>:** El control del O<sub>2</sub> puede llevarse a cabo tanto manual como automáticamente.

El control de los gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) se lleva a cabo mediante el análisis del aire dentro de la cámara para verificar y corregir la cantidad de estos.

El uso de aparatos automáticos para el control de estos gases se recomienda en instalaciones industriales. La automatización no se limita únicamente al análisis, sino también al funcionamiento de absorbedores (caso del CO<sub>2</sub>) y de quemadores (caso del O<sub>2</sub>).

El análisis de gases se lleva a cabo en forma general de la siguiente manera:

- 1.- Realizar un previo análisis del aire exterior que rodea a la cámara. Esto entre las 12 y las 24 horas después de sellar ésta
- 2.- A partir de los 15 días, se llevará a cabo un análisis diario.
- 3.- Deberá procurarse realizar el análisis en un momento en que el aire presente las máximas probabilidades de homogeneidad.

4.- Es una buena medida realizar dos análisis separados de media hora, sin el funcionamiento del descarbonizador y del quemador de  $O_2$ , y así comparar los resultados obtenidos del segundo análisis con respecto al primero. De esta manera se precisa mas adecuadamente la cantidad tanto de  $O_2$  como de  $CO_2$  presentes.

5.- En las 24 a 48 horas antes de la apertura de la cámara, se aconseja bajar el nivel de  $CO_2$  al mínimo posible; de esta manera, al abrir la cámara y subir la temperatura, se evita el peligro que conlleva la disolución de  $CO_2$  en el agua de condensación que se forma sobre la superficie de las frutas.

6.- Para el  $CO_2$ , se pueden utilizar variaciones en mas menos 0.5% con respecto al valor teórico estipulado; y para el  $O_2$  la variación puede ser de mas menos 1%, siempre con un mínimo del 2%, en caso de producirse variaciones mayores es necesario, que no sean duraderas, pues de lo contrario, se podrán derivar consecuencias negativas ya sean sobre el período de conservación del producto que influye sobre la calidad del mismo.

Para cuando se presenta un exceso de  $O_2$ : se elimina mediante un reductor o un convertidor.

Sin embargo, esto acarrea que el nivel de  $\text{CO}_2$  se eleve, por lo que se tiene que cuidar de no exceder cierto valor teórico especificado para cada alimento en conservación.

En las cámaras con AC de pequeño volumen, el control del  $\text{O}_2$  debe de llevarse a cabo de manera mas rigurosa, ya que es mas dificil alcanzar niveles bajos de  $\text{O}_2$  con respecto a cámaras de gran volumen. Hay que tener una mayor seguridad en cámaras de volumen pequeño en lo que se refiere a la hermeticidad, ya que variaciones muy leves de aire alteran notablemente la cantidad de  $\text{O}_2$  en la cámara.

Es importante que las cámaras con AC se llenen completamente, ya que en las que no se cumple esto, puede resultar dificil bajar el nivel de  $\text{O}_2$  (más espacio libre por una parte, por otra parte, menor consumo de  $\text{O}_2$  y menor producción de  $\text{CO}_2$ ).

Cuando existe deficiencia de  $\text{O}_2$ , se parte de la base de que el contenido mínimo se encuentra aproximadamente en el 2% del que no debe bajarse nunca.

Cuando el nivel de  $\text{O}_2$  es inferior al deseado hay que proceder a introducir aire; al final de esta aeración, hay que dejar el nivel de  $\text{O}_2$  en un 1% por encima del nivel estipulado previamente.

### V.1.5. Control de CO<sub>2</sub>.

El análisis para el CO<sub>2</sub> se hace básicamente igual que para el oxígeno.

Cuando se tiene una deficiencia de CO<sub>2</sub> en la cámara, se puede elevar momentáneamente la temperatura, sobre todo, cuando a causa de las bajas temperaturas la producción de CO<sub>2</sub> es insuficiente (esto ocurre por ejemplo en peras).

### V.2. Otros controles que se deben utilizar en cámaras con AC.

1.- Cuando se trabaja con un nivel alto de CO<sub>2</sub> se debe observar:

- el aspecto de la piel de la fruta, por si acaso aparecen quemaduras.
- la aparición de "cavernas" en el interior de los frutos, (estas se originan a

consecuencia de podredumbres).

- la presencia de sabores extraños.

2.- Cuando se trabaja con un nivel bajo de O<sub>2</sub> (próximo al 2%), es preciso

verificar:

- el olor del aire, esto para la detección de posibles fermentaciones.
- el aspecto global del fruto.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

3.- En todos los casos debe comprobarse:

- las pérdidas de peso
- la dureza de la pulpa para detectar el estado de madurez.
- los sabores extraños.
- el número y tipo de podredumbres.

### **V.3. Normas básicas en el manejo de una cámara con AC (Duran, 1993).**

A continuación se enuncian una serie de condiciones que se deben cumplir para el manejo adecuado de una cámara con AC.

Se debe comprobar el funcionamiento de los diversos elementos que se encuentran en el interior de la cámara, sobre todo la hermeticidad de paredes, puertas y ventanillas. Esto se realiza antes de cargar el producto

Se debe de cargar la cámara de manera que quede totalmente llena, esto con el propósito de manipular el control de  $O_2$  y  $CO_2$ .

Se recomienda que en la cámara permanezca una sola variedad de producto, no obstante, podrán ser 2 o más, siempre que la temperatura, humedad relativa y condiciones gaseosas a emplear sean muy próximas para las diferentes

variedades.

Debe procurarse que la cámara quede cargada en un máximo de 6 a 8 días.

El enfriamiento de la fruta que va a almacenarse en AC debe ser bastante rápido.

Una vez cargada la cámara, debe procurarse que se alcance cuanto antes la temperatura de régimen deseada.

La cámara no se cerrará definitivamente sin previa comprobación de la temperatura de diferentes puntos y la relación de estos con la que se observa en los termómetros de lecturas exteriores, para proceder en consecuencia.

Hasta que no se alcance la temperatura de régimen no se procederá al cierre definitivo o sellado de puertas.

A las 12 horas de sellada totalmente la cámara se procederá a efectuar el primer análisis del aire de ésta, desde el segundo día hasta el día 15 se procederá a la realización de 1 o 2 análisis diarios (dependiendo de la evolución del contenido de los gases). A partir de los 15 días se procederá a un análisis diario.

La cámara debe alcanzar los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> deseados a los 20 o 22 días a más tardar, de no lograrlo, se deben buscar las causas y hacer los ajustes necesarios para alcanzarlos (esto se recomienda para frutas con períodos largos de conservación, principalmente manzanas y peras).

#### **V.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.**

El almacenamiento de alimentos por medio de la refrigeración, tiene como finalidad la conservación en un régimen controlado de temperatura y humedad, por lo que se requieren condiciones especiales para manipular estas variables, así también se requiere la evacuación de agua, la ausencia de olores en la cámara, facilidad de limpieza, resistencia a los cambios de presión, etc. (Torres, 1993).

Para tener los mejores resultados posibles, hay que almacenar los alimentos bajo condiciones técnicas y sanitarias requeridas (condiciones de diseño y limpieza), al igual, que tratar de economizar al máximo el gasto de energía.

Los tres elementos básicos que componen una cámara de refrigeración son:

- 1) barrera antivapor: esta tiene la función de impedir la entrada de agua al

aislante ya sea en fase líquida o vapor.

2) material aislante: tiene como función evitar pérdidas de calor con el medio ambiente.

3) revestimientos: su objetivo es proteger al material aislante, ya sea por razones mecánicas, higiénicas, para evitar la entrada de agua, protección contra fuego y microorganismos y por razones estéticas.

Se utiliza la barrera antivapor ya que los materiales aislantes son más o menos permeables al paso de elementos gaseosos, esto provoca que aumente la conductividad eléctrica del material aislante, y por lo tanto, aumente el flujo de calor transmitido a la cámara, y esto provocará que en la instalación se alargue el período de funcionamiento, repercutiendo en los costos de operación, ya que serán más elevados. Es por estas razones que se utiliza una barrera antivapor.

Las barreras antivapor tienen ciertas características como son:

Deben ser lo más impermeables al vapor de agua y ser colocadas en la parte externa de la pared aislada.



Deben quedar establecida de forma continua sobre toda la superficie exterior del aislante. En la Tabla 6 posterior, se muestran los materiales usados como barrera antivapor.

**Tabla 6. Materiales más usados como barrera antivapor.**

<b>Material</b>	<b>Temperatura de la cámara</b>	<b>Aislamiento</b>
Emulsión bituminosa en frío	-positiva	-en placas -en espuma de poliuretano
Láminas asfálticas con o sin aluminio	- positiva - negativa	- en placas - en espuma de poliuretano
Láminas o película de polietileno	- positiva - negativa	- en placas
Chapa metálica	- positiva - negativa	- paneles - en placas - en poliuretano

Fuente: Torres, 1993

Dentro de los materiales aislantes, existen los de tipo naturales y los que son productos químicos de síntesis (tabla 7).

Para elegir el aislante adecuado, es necesario conocer sus propiedades como son:

**V.4.1. Propiedades físicas:**

- conductividad térmica
- densidad
- variaciones dimensionales en función de la temperatura
- capacidad de absorción del agua
- permeabilidad gaseosa

**V.4.2. Propiedades mecánicas:**

Se deben conocer los esfuerzos que sufre el material aislante debido a:

- compresión
- tracción
- flexión
- cizallamiento

Algunas otras propiedades que se deben conocer son:

- temperaturas (máximas y mínimas) límites de empleo
- reacción al fuego
- comportamiento ante agentes químicos
- comportamiento ante microorganismos, insectos y roedores
- envejecimiento ante la acción de los diferentes agentes

**V.4.3. Los materiales aislantes comúnmente mas utilizados son:**

- fibra de vidrio
- espumas fenólicas
- poliestireno expandido
- poliestireno extruido
- espumas de poliuretano

**Tabla 7. Materiales aislantes.**

<b>Materiales térmicos</b>	<b>Densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad térmica (Kcal/hm°C)</b>
Arcilla expandida	300	0.073
Aglomerado de corcho	110	0.034
Espuma elastomérica	60	0.029
Fibra de vidrio		
Tipo I	10-18	0.038
Tipo II	19-30	0.032
Tipo III	71-90	0.033
Lana mineral		
Tipo I	30-50	0.036
Tipo II	51-70	0.034

**Tabla 7. Materiales aislantes (continuación).**

Tipo III	71-90	0.033
Poliestireno extrusionado	33	0.028
Poliestireno reticulado	30	0.033
Espuma de polisocianurato	35	0.022

Espuma de poliuretano

conformado

Tipo I	32	0.020
Tipo II	35	0.020
Tipo III	40	0.020
Espuma de urea formol	10-12	0.029
Vermiculita expandida	120	0.030
Vidrio celular	160	0.038

Fuente: Torres, 1993.

Los materiales aislantes se deben de cubrir con un revestimiento por diferentes razones, como son:

a) La resistencia mecánica del material aislante no es muy alta y están expuestos a sufrir golpes.

b) Deben de efectuarse acciones de mantenimiento y sus superficies rugosas y porosas no lo permiten.

c) Por protección a otros agentes: fuego, microorganismos, etc.

d) Para evitar la entrada de agua.

e) Por cuestiones legales, ya que se exige que las paredes de la cámara sean duras, lisas y lavables.

f) Para dar una mejor apariencia.

#### **IV.4.4. Las características que debe poseer un buen revestimiento son:**

- 1) Alta resistencia a los golpes
- 2) Baja permeabilidad
- 3) Estabilidad dimensional (no debe deformarse con el tiempo)
- 4) Incombustibilidad
- 5) Carencia de olores

#### **IV.4.5. Los Materiales de revestimiento mas utilizados son:**

- a) Chapa metálica de acero galvanizado y lacado
- b) Materiales plásticos
- c) Resinas de poliéster
- d) Enlucidos con morteros de cemento a los que se añaden pinturas lavables y antimohos

### **V.5. CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.**

Existen 4 tipos utilizados en la construcción de una cámara de refrigeración:

- a) Construcciones con estructura interior
- b) Construcciones con materiales mecanizados
- c) Construcciones con paneles prefabricados
- d) Construcciones con aislamiento "in situ"

#### **V.5.1. Construcción con estructura interior.**

También denominada de caja negra, ya que se trata de vidrio celular negro como material aislante.

Emplea una estructura metálica interior que es soportada por pilares. Alrededor

y al exterior de la estructura se dispone el material aislante, en este caso se utiliza vidrio celular, ya que tiene la propiedad de ser lo suficientemente rígido y es impermeable, con lo cual se evita el riesgo de la penetración de la humedad.

También se puede utilizar el poliestireno extrusionado. Posteriormente, el material aislante se protege con un revestimiento, ya sea metálico o algún plástico. Para la parte del techo se utiliza un material mas ligero que el vidrio; es recomendable el poliestireno expandido o extruido. Se coloca en capas sobre la estructura metálica, asegurando de esta manera, la protección contra lluvia o vapor de agua (Diez, 1993).

### **V.5.2. Construcciones con materiales mecanizados.**

En este tipo de construcción, se utilizan por lo general, dimensiones de la cámara de aproximadamente 2x6 metros. Se llaman construcciones mecanizadas porque se utilizan materiales que poseen la facilidad de ensamblaje, es decir, se encuentran sus paneles (paredes que conforman a la cámara) previamente preparados con ranuras que facilitan su acoplamiento.

### **V.5.3. Construcciones con paneles prefabricados.**



Es una de las técnicas mas usadas en la actualidad. Como su nombre lo indica, previamente los paneles se construyen en fábricas en dimensiones que pueden alcanzar los 20 o 30 m<sup>2</sup>. La ventaja de este tipo de construcciones es que en los paneles se incluye el material aislante con su debida barrera antivapor, y son equipados con ranuras para un ensamblaje rápido, con lo cual se ahorra tiempo y trabajo.

#### **V.5.4. Construcciones con aislamiento realizado "in situ".**

Se denomina "in situ" porque una vez que se ha construido la cámara y ha sido instalada, se le coloca a las placas o cualquier otro material el aislante, para lo cual se emplea poliuretano inyectado. Esta técnica tiene la ventaja de que el poliuretano tiene una baja permeabilidad al vapor de agua, con lo cual se garantiza un mejor período de duración.

#### **V.6. CRITERIOS DE DISEÑO.**

Para el diseño de una cámara de refrigeración y su posterior construcción, se deben de tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) Cual es la finalidad de la cámara, pues en función de ésta, se deben

calcular los espesores, el tipo de revestimiento y los sistemas de ensamblaje.

b) La estructura, ya que una cámara de refrigeración debe soportar el peso propio de los paneles, más sobrecargas atmosféricas y de uso, y también los esfuerzos a los que está sometida la cámara por diferencias de presiones interiores y exteriores que se producen dentro de la misma.

c) La armadura que soporta a los paneles podrá ser vista hacia el exterior o quedar encerrada entre los paneles.

## **CAPÍTULO VI.**

### **ANÁLISIS DE LA CARGA TÉRMICA EN UNA CAMARA DE REFRIGERACIÓN.**

## **ANÁLISIS DE LA CARGA TÉRMICA EN UNA CAMARA DE REFRIGERACIÓN.**

### **VI.1. Carga de enfriamiento.**

La carga de enfriamiento en un equipo de refrigeración, raras veces es el resultado de una sola fuente de calor. Mas bien, es la suma de las cargas térmicas en las que están involucradas diferentes fuentes. Algunas de las fuentes de calor más comunes que suministran la carga de refrigeración del equipo son (Dossat, 1995):

- 1.- Calor que pasa del exterior al espacio refrigerado por conducción a través de paredes no aisladas
  
- 2.- Calor que llega al espacio de refrigeración por radiación directa a través de vidrieras o de otros materiales transparentes
  
- 3.- Calor que pasa al espacio refrigerado debido al aire exterior caliente el cual pasa a través de puertas que se abren y a través de rendijas que se tienen alrededor de puertas y ventanas

4.- Calor cedido por el producto caliente a medida que su temperatura es bajada hasta el nivel deseado

5.- Si se trata de una cámara de refrigeración industrial, calor cedido por las personas dentro del espacio refrigerado

6.- Calor cedido por cualquier equipo productor de calor localizado dentro del espacio, tales como motores eléctricos, alumbrados, equipo electrónico, planchas de vapor, etc.

Para obtener el cálculo de:

**a) las pérdidas de calor por enfriamiento y/o congelación**, se considera

lo siguiente (Melgarejo M.P., 1993):

- Tiempo en que debe ser enfriado el producto
- Masa del producto a enfriar
- Necesidad o no de congelación del producto

Teniendo en cuenta los aspectos citados, el cálculo de las pérdidas por enfriamiento y/o congelación se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$C_1 = \frac{a+0.4b}{100}$$

donde:

a= contenido de agua en el producto (%),

b= contenido sólido en % (cantidad de producto que no contiene agua)

**b) Calor latente de solidificación (congelación o de fusión).**

Este se utiliza únicamente cuando existe congelación del producto, y se calcula por medio de la siguiente expresión, en caso de no encontrar el valor reportado en la literatura.

$$C_2 = \frac{C_{pw} * a}{100}$$

donde:

a es como se especificó anteriormente

$C_{pw}$  es el calor de solidificación del agua y es igual a 80 Kcal/Kg

En esta ecuación se aprecia que para calcular el calor latente de solidificación del producto, únicamente se multiplica el calor latente de solidificación del agua por la cantidad de agua presente, ya que únicamente ésta se va a congelar.

**c) Calor específico del producto después de la congelación.**

En caso de que el valor del producto no se encuentre reportado en la literatura, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$C_3 = \frac{C_{ph}(a) + 0.4b}{100}$$

donde:

$C_{ph}$  es el calor específico del hielo, y es igual a 0.5 Kcal/Kg °C

a y b son como se especificaron anteriormente.

Los valores de  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son valores aproximados y se consideran aceptables en la práctica.

Cálculo de los términos  $Q_{21}$ ,  $Q_{22}$  y  $Q_{23}$ .

Cuando se considera una **cámara de refrigeración**, las pérdidas de calor por enfriamiento se reducen al enfriamiento del producto desde la temperatura de entrada hasta la de conservación. El término  $Q_{21}$  se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{21} = KG * C_1 (TEP - TR)$$

donde:

KG= Kg de entrada diaria de producto (Kg/día)

C<sub>1</sub>= Calor específico del producto (Kcal/Kg °C)

TEP= Temperatura de entrada del producto (°C)

TR= Temperatura de régimen (temperatura de conservación, la temperatura permanece constante, °C).

Al no existir congelación del producto, el término  $Q_{22}=0$  Kcal/día y al igual,  $Q_{23}=0$  Kcal/día, ya que no existe congelación. Por lo tanto  $Q_2 = Q_{21}$  Kcal/día.

**Para la conservación de productos congelados**, las necesidades de enfriamiento ( $Q_2$ ), se reducen al enfriamiento después de que el producto ha sido congelado. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_{23} = KG C_3 (TEP - TR)$$

donde:

C<sub>3</sub>= calor específico del producto congelado (Kcal/Kg °C), KG, TEP y TR ya han sido especificados.



Para la **conservación de productos congelados**, el término  $Q_{22}=0$  ya que no existe la congelación (se trata únicamente de conservar los productos congelados), por lo tanto  $Q_{22}=Q_{23}$  Kcal/día.

Para una **cámara de congelación**, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

Necesidades por enfriamiento:

$$Q_{21} = KG \cdot C_1 (TEP - TCON)$$

donde:

TCON= temperatura de congelación, °C

Necesidades por congelación:

$$Q_{22} = KG \cdot C_2$$

$C_2$ = calor latente de congelación (Kcal/Kg)

**Necesidades por enfriamiento después de la congelación.**

$$Q_{23} = KG \cdot C_3 (TCON - TR)$$

Bajo estas condiciones  $Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23}$  (Kcal/día).

## VI.2. Carga térmica del producto.

Durante la conservación, algunos productos continúan desprendiendo cierta cantidad de calor que deberá extraerse para garantizar la temperatura adecuada

de la cámara. Este calor se produce como consecuencia de la respiración (caso de frutas y hortalizas) o de fermentaciones del producto conservado.

Los factores que intervienen para el cálculo de la carga térmica del producto son: el volumen interior de la cámara, la densidad de almacenamiento y el calor de respiración del producto. Se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de la carga térmica del producto:

$$Q_3 = N \cdot R$$

donde:

$N$  = volumen ( $m^3$ ) x densidad de almacenamiento ( $Tm/m^3$ )

$R$  = calor de respiración, en Kcal/ $Tm$ -día

Dado que las cantidades de calor producidas durante la conservación suelen ser pequeñas, se utilizan las unidades de Kcal/ $Tm$  día, en donde  $Tm$  = Toneladas.

Por lo tanto, las unidades de  $Q_3$  serán:  $Tm \cdot (Kcal/Tm \text{ día}) = Kcal/día$ .

Cuando únicamente este involucrado un producto en proceso de fermentación,  $R$  representará el calor de fermentación, y cuando están implícitos los dos

fenómenos en el proceso de conservación, R representará la suma del calor de respiración más el del producto fermentado.

### **Cálculo de las pérdidas de calor por transmisión a través de la pared.**

La cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo a través de las paredes de un espacio refrigerado es función de tres factores cuya relación se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot U \cdot D$$

donde:

Q= cantidad de calor transferida en Kcal/h

A= área de superficie de la pared externa (m<sup>2</sup>)

U= coeficiente total de transmisión de calor en Kcal/h m<sup>2</sup> °C.

D= diferencial de temperatura a través de la pared en °C

El coeficiente de transferencia de calor o factor U, es una medida de la rapidez a la cual fluye el calor a través de una área de superficie de pared de 1 m<sup>2</sup> entre el aire de un lado y el aire del otro lado por cada °C de diferencia de temperatura a través de la pared. El valor del factor U esta dado en Kcal/h, y depende del

espesor de la pared y de los materiales que se utilizan en la construcción de la misma.

Este coeficiente de transferencia de calor  $U$ , se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{L_i}{K} + \frac{1}{h_e}$$

donde:

$h_i$  y  $h_e$  = coeficientes globales de transmisión de calor por convección y radiación, en la cara interna y externa de la pared, respectivamente, en  $\text{Kcal/h m}^2$   $^{\circ}\text{C}$

$L_i$  = espesor de cada material en m.

$K$  = conductividad térmica en  $\text{Kcal/h m } ^{\circ}\text{C}$

### **VI.3. Cálculo de las pérdidas por renovación de aire.**

El aire de las cámaras de refrigeración con temperaturas de operación superior a  $0^{\circ}\text{C}$ , debe renovarse con aire fresco con una frecuencia que depende del producto almacenado (Melgarejo P.M., 1993).

Durante la conservación los productos desprenden gases como etileno,  $\text{CO}_2$ , etc., que a su vez tienen una influencia negativa para la conservación de los productos

almacenados, por lo que deben ser eliminados del ambiente de la cámara. Para ello se recurre a la renovación de éste aire, por uno más puro del exterior.

El número de renovaciones de aire en la cámara depende del producto a conservar, oscilando entre 2 y 4 veces al día para carnes refrigeradas, quesos en maduración y huevos, y de 1 a 2 veces en el caso de conservación de vegetales.

Para el cálculo del número de renovaciones de aire de la cámara se toma en cuenta:

**Número de renovaciones técnicas:** aconsejables de acuerdo a la experiencia.

**Número de renovaciones equivalentes:** obtenidas en función de las pérdidas por infiltraciones, según el volumen de la cámara, y el número de veces que se abren las puertas. También depende del nivel de temperatura.

Por lo tanto, la cantidad de aire a renovar dependerá de las condiciones de éste, tanto en el exterior como en el interior de la cámara (temperatura y humedad relativa).

La expresión utilizada para el cálculo de renovación de aire es:

$$Q_4 = VOL * D_i * \delta * N_1$$

donde:

VOL: volumen de la cámara (m<sup>3</sup>)

$D_i = (H_2 - H_1)$ : diferencia de entalpía entre el aire exterior y el aire de la cámara  
(Kcal/Kg)

$N_1$ : número de renovaciones de aire por día

$\delta$ : densidad del aire exterior (Kg/m<sup>3</sup>)

#### **VI.4. Cálculo de las pérdidas por servicio.**

El cálculo de las pérdidas por servicio, es un parámetro difícil de precisar. Se consideran pérdidas por servicio, a todas aquellas originadas por los equipos que componen la instalación (compresores, ventiladores, etc.).

Su cálculo se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_6 = 0.15(Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

donde:

$Q_1$ : pérdidas por transmisión

$Q_2$ : necesidades por enfriamiento y/o congelación, (Kcal/día)

$Q_3$ : necesidades por calor desprendido por el producto (Kcal/día)

Para el cálculo de las pérdidas por servicio, se necesitan otros parámetros, como son:

pérdidas por convección radiación, (Kcal/día):  $Q_{61}$

Referida a la transmisión de calor que se produce hacia algunos elementos de la instalación (por ejemplo tuberías).

pérdidas por condensación de la humedad exterior,  $Q_{62}$

La humedad intentara penetrar al interior de la cámara, produciéndose esta penetración en mayor o menor grado en función del tipo de aislamiento, de la barrera antivapor. Esta entrada posible de vapor de agua, que se condensara sobre las paredes frías interiores, implica un cambio de fase, lo que conlleva un calor latente que deberá ser suministrado por la instalación.

**VI.5. carga térmica debida al personal,  $Q_{63}$** 

Esta dependerá del número de personas que entren diariamente en la cámara, del trabajo que en ella realicen y del tiempo de permanencia en la misma. El calor aportado será:

$$Q_{63} = N * QH * H$$

donde:

N: número de personas en la cámara

QH: calor emitido por cada persona en una hora

H: número de horas que cada persona permanece en el interior de la cámara

**VI.6. Cálculo de las pérdidas de calor debido a los ventiladores,  $Q_5$ :**

Para determinar el calor desprendido por los motores instalados en el evaporador (ventiladores, bombas de circulación de líquidos) es preciso conocer su potencia, considerando que por cada hora de funcionamiento el calor desprendido por éstos será de 630 Kcal/CV. La ecuación utilizada para calcular las pérdidas de calor debido a los motores de los ventiladores es la siguiente:



$$Q_5 = \Sigma 630 * P * H$$

donde:

P= potencia de los motores

H= número de horas de funcionamiento de los motores

Valores prácticos del calor desprendido por los ventiladores en el caso de cámaras, están comprendidos entre 10 y 50 Kcal/m<sup>3</sup> día.

La ecuación utilizada para el cálculo del calor desprendido por los ventiladores de los evaporadores es:

$$Q_5 = VOL * CDV$$

VOL= volumen de la cámara (m<sup>3</sup>)

CDV= calor desprendido por los ventiladores (Kcal/m<sup>3</sup>/ día)

**VI.7. Carga térmica debida al desescarche,  $Q_{64}$ :**

En cámaras que funcionan con temperaturas inferiores a 0 °C, es preciso realizar el desescarche, ya que de lo contrario va a disminuir el rendimiento del evaporador, con lo cual se requiere de mayor energía para alcanzar la temperatura de régimen en la cámara.

**VI.8. Carga térmica debida a la iluminación,  $Q_{65}$ :**

La iluminación que se tenga en la cámara debe ser por períodos cortos, ya que únicamente se utiliza durante el tiempo en que se realicen trabajos en su interior.

**VI.9. Carga térmica total**

Las necesidades totales se obtienen de la siguiente manera:

$$NT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Las necesidades totales NT están referidas a un período de 24 horas, por lo que se debe fijar el número de horas de funcionamiento del compresor o compresores (NH).

El número de horas que trabaja el compresor diariamente, nos sirve para calcular la carga térmica horaria (CTH), por lo que se emplea la siguiente ecuación:

$$CTH = NT/NH$$

Para el caso de instalaciones comerciales el número de horas de funcionamiento, NH, suele ser de unas 14 a 16 horas/día, mientras que en el caso de máquinas industriales suele ser de 16 a 18 horas/día.

Por lo tanto la CTH (Kcal/h), expresa la potencia frigorífica que como mínimo deberá suministrar el compresor.

## **CAPÍTULO VII.**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA.**

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO LA CÁMARA**

La metodología de la investigación, va a permitir establecer una secuencia de actividades encaminadas hacia la construcción de la cámara de refrigeración. Las actividades planteadas se muestran en forma de diagrama de bloques en la figura 8, donde se observa la interrelación que guarda cada una de ellas.

A continuación se describe cada actividad en forma particular.

### **VII.1. Especificaciones generales.**

Como se observa en el diagrama de bloques de la figura 8, para poder elaborar el diseño mecánico, el diseño termodinámico y el diseño hidráulico, es necesario, previamente especificar una serie de datos.

Dentro de las variables especificadas (dimensiones ver en la figura 9), se propusieron:

- La capacidad de la cámara es de 6 Kg de fruta, repartida en 4 charolas con

capacidad para 1.5 Kg cada una.

- Las charolas serán colocadas sobre rejillas, habrá dos niveles, cada nivel dispondrá de dos charolas.

- Para aumentar la homogeneidad del gas dentro de la cámara, se colocará una mampara a la mitad de esta, para obligar que el aire pase por el espacio existente entre la mampara y el techo.

- El aislante será una capa de espuma de poliuretano, con una conductividad térmica de 0.02 Kcal/h m °C.

- Los materiales de construcción serán de aluminio o acero inoxidable para las charolas y las rejillas, y acero inoxidable para la pared y la puerta de la cámara, con un espesor de 1/16" y una conductividad térmica de 38.74 Kcal/h m °C. Se proponen estos materiales debido a su resistencia a la corrosión.

- Analizando la información que aparece en la tabla 1 (temperatura de almacenamiento y concentración de gases), se propone el diseño de una cámara que tiene la flexibilidad para conservar una amplia variedad de frutas y verduras, tales como: manzana, chabacano, pera, arándano, uva, kiwi, durazno, brócoli, col,

coliflor, lechuga, etc. La flexibilidad de la cámara, se debe a que las diversas frutas a conservar requieren características de conservación semejantes: rango de temperatura de 0 a 6 °C (se utiliza para el diseño de la cámara 2 °C como temperatura interna y 20 °C como temperatura externa), rango de concentración de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> de 1 a 6% cada uno.

- Para cámaras de refrigeración que son utilizadas para conservar poca cantidad de frutas o verduras, se recomienda un valor de carga térmica alrededor de 8 Kcal/h m<sup>2</sup>, valor que servirá de referencia para comparar el que se obtenga posteriormente.

- No existirá congelación del producto (temperatura de operación 2 °C), por lo que los calores de congelación y de enfriamiento del producto congelado son iguales a cero.

- El calor generado por la respiración del producto para cantidades pequeñas de fruta, se recomienda igual a 0.2 Kcal/Kg día.

- Los coeficientes individuales de transferencia de calor por convección  $h_c$  y radiación  $h_r$ , son iguales a 0.20 y 0.06 m<sup>2</sup> h °C/Kcal respectivamente.

- El número de renovaciones de aire fresco en la cámara, se plantea que sea sólo de 6 por día, ya que se trata de controlar la concentración de los gases y sólo se repondrá el aire que sea purgado.

- El refrigerante que se eligió debido a sus características termodinámicas es CO<sub>2</sub>.

### **VII.2. Diseño termodinámico**

Aquí se tiene que calcular por medio de la utilización de un ciclo termodinámico de refrigeración y un balance de energía (figura 10 y 11), la presión tanto a la succión como a la descarga del compresor, las temperaturas de entrada y salida que se requieren en el evaporador y condensador, así como el flujo de refrigerante necesario para enfriar el aire que será utilizado en la cámara.

- El refrigerante elegido es CO<sub>2</sub>, ya que cumple con las condiciones de presión y temperatura determinadas por el proceso: cambio de fase a temperaturas arriba de 0 °C y presión de operación de los equipos del ciclo de refrigeración en un rango de 2 a 6 atmósferas, lo que permite el uso de agua como servicio de enfriamiento para condensar el CO<sub>2</sub>.



- Las condiciones de presión y temperatura del refrigerante a la entrada del evaporador (2.5 atm y -5 °C), se han establecido en base a que el aire debe enfriarse hasta 2 °C y no se recomienda una diferencia de temperaturas de acercamiento menor a 5 °C.

- El tamaño de los equipos de refrigeración (evaporador, compresor, condensador y válvulas) que se están utilizando, es a pequeña escala, por lo que se ocuparán los equipos disponibles comercialmente. De esta manera, no se llevará a cabo un diseño termodinámico sobre los equipos de refrigeración, sino que serán seleccionados de acuerdo a las condiciones de trabajo.

- La presión del refrigerante a la succión y descarga del compresor, es de 2.5 y 6.5 atm respectivamente, condiciones determinadas para enfriar el aire de la cámara hasta el valor deseado de 2 °C.

- Las condiciones de temperatura del refrigerante en el condensador son: temperatura de entrada igual a 35 °C y temperatura de salida de 25°C, con una presión de operación de 6.5 atm.

- A partir de un balance de energía en el evaporador (ver memoria de cálculo), se obtuvo un flujo de refrigerante igual a 0.33 Kg/h.

- El refrigerante como líquido saturado (6.5 atm y 25 °C), al pasar a través de la válvula de expansión, tendrá una caída de presión de 3.9 atm. Bajo estas condiciones termodinámicas (2.5 atm y -5 °C), el refrigerante coexistirá en equilibrio como líquido-vapor.

- La carga térmica total obtenida fue de 15.28 Kcal/h. Este valor se obtuvo mediante un análisis de carga térmica para cámaras de refrigeración, y el procedimiento se indica en la memoria de cálculo.

### **VII.3. Diseño hidráulico.**

En el diseño hidráulico, se determinará por medio del uso de los medidores adecuados, la cantidad de O<sub>2</sub> que se consume y la que se produce de CO<sub>2</sub> en el interior de la cámara, para ajustar el flujo de aire necesario con el propósito de mantener la concentración deseada de los gases.

La corriente de salida de gas se divide en dos partes, una de recirculación y otra de purga. La corriente de recirculación previamente enfriada, se mezclará con la corriente de aire fresco. Cuando sea necesario inyectar CO<sub>2</sub>, será en la línea de alimentación de gas.

El CO<sub>2</sub> se inyectará con el propósito de alcanzar más rápido la concentración de régimen (que es del 2% de O<sub>2</sub>, tabla 1), esta concentración es la que se utilizará para realizar los cálculos de carga térmica.

Con el flujo de aire dentro de la cámara y las condiciones de operación se puede conocer el flujo de refrigerante necesario para mantener la temperatura interna.

En esta parte se calcularán los espesores y diámetros de tuberías. También se realizarán los cálculos concernientes para determinar el tamaño de las boquillas tanto de entrada como de salida del aire enfriado.

El compresor que se requiere para el ciclo de refrigeración puede ser de los que se utilizan a nivel comercial para refrigeradores domésticos, o bien un compresor del tipo empleado en los talleres mecánicos.

#### **VII.4. Diseño mecánico**

En el diseño mecánico, se emplearán las ecuaciones correspondientes para el cálculo de espesores de placas, tomando en cuenta el peso del aislante que debe soportar la cámara, así como las dimensiones de ésta y la presión de operación. Se especifica el material de revestimiento utilizado para proteger al aislante y

minimizar la entrada de calor. Los sellos que se deberán utilizar, así como las longitudes de las paredes.

También se debe de tomar en cuenta de qué manera va a estar ensamblada una pared con otra, incluyendo la hermeticidad que se tenga en los diferentes elementos.

Dentro de los equipos exteriores a la cámara, se llevará a cabo un ciclo de refrigeración, para lo cual se cuenta con los dispositivos necesarios (compresor, evaporador, válvula de expansión, condensador), con el objeto de enfriar el aire que entrará a la cámara hasta la temperatura de régimen (2°C).

Es importante determinar, en qué será colocada la fruta dentro de la cámara, para lo cual, se han elegido rejillas ubicadas una tras otra, dejando el espacio adecuado para la colocación de la fruta. De acuerdo al peso que soportarán y a las condiciones fisicoquímicas del ambiente, se elegirá el material y el espesor de éstas.

### **VII.5. Diseño del proceso.**

No se trata propiamente del diseño del proceso, ya que el diseño del proceso

engloba los diseños anteriores junto con la especificación de instrumentación y controles. En esta parte solamente se realizará la integración de la cámara con el ciclo de refrigeración, para determinar que variables medir y cómo se van a manipular, en base al grado en que afectan al proceso. En esta parte se tendrá que definir las características de cada equipo, incluyendo espesores y materiales de construcción para la cámara, equipo que se comprará ya construido, dimensiones de cada equipo y toda la información necesaria para poder elaborar las hojas de datos de los equipos que lo requieran.

#### **VII.6. Especificación de instrumentación y controles.**

La instrumentación en la cámara, así como en los equipos utilizado en el ciclo de refrigeración, tiene como propósito el de obtener resultados de las variables que intervienen en la conservación de alimentos, ya que sin éstos, la manipulación de dichas variables del proceso (presión, temperatura, humedad relativa), tendría que hacerse manualmente, lo que conlleva a un aumento de tiempo en su determinación y mayor dificultad.

La cámara de refrigeración tendrá los siguientes indicadores:

- Humedad relativa
- Concentración de oxígeno

- Concentración de bióxido de carbono
- Temperatura

La humedad en el interior de la cámara debe ser aproximadamente de 95%, valor recomendado en la literatura para conservación de manzanas, peras y ciruelas (Duran 1983). Valor que será tomado como patrón de referencia para compararlo contra el valor de la humedad del ambiente. De esto depende si se tiene que aumentar o disminuir la humedad en la cámara, humidificando o secando el aire que se reponga.

Se usarán dos medidores de humedad relativa. Uno para el aire que va a entrar en la cámara y el otro en el interior de ésta, colocado en medio de la pared superior, entre el espacio libre que queda para el flujo del aire.

Mediante los indicadores de  $O_2$  y  $CO_2$ , se podrá conocer la concentración de la mezcla de estos gases en la cámara. Con el valor obtenido se decidirá que acción tomar, aumentar el flujo de aire o inyectar  $CO_2$ ; esto se va a hacer en caso de que la concentración de la mezcla de gases no sea la adecuada.

Los indicadores de gases serán parte de un sistema de control.

Habrán un medidor de  $O_2$  y otro de  $CO_2$  colocados a la salida de la corriente gaseosa de la cámara.

Por otra parte, se propone instalar dos indicadores de temperatura: uno a la entrada y otro a la salida del aire. De acuerdo al presupuesto, se tendrá la posibilidad de instrumentar mejor el sistema con más indicadores de temperatura en la cámara y el ciclo de refrigeración.

Es indispensable tener los medidores de temperatura a la entrada y salida del aire, aunque no se cuente con los demás. Pues con las temperaturas medidas en esos dos puntos se ajustará el flujo de refrigerante para alcanzar la temperatura deseada.

Según las posibilidades económicas que se tengan, se instalarán indicadores de presión en el compresor, ya que de la compresión del refrigerante depende un adecuado enfriamiento del aire (hasta la temperatura de  $2^\circ C$ ).

### **VII.7. Indicadores usados en la construcción de la cámara.**

Existen varios tipos de indicadores de concentración de  $O_2$  y  $CO_2$ , entre los cuales cabe destacar: de tipo electroquímico, polarografía con termistor, electrodo de  $CO_2$ ,

combustión de gas. Los primeros dos se utilizan para el  $O_2$ , y el de combustión de gas se utiliza para medir concentración en ambos gases.

Breve descripción de los indicadores de concentración de  $O_2$ ,  $CO_2$ , temperatura y humedad relativa.

Indicador de oxígeno: va a verificar la concentración de oxígeno en el aire de entrada así como de salida en la cámara.

Indicador de  $CO_2$ . Al igual que el indicador de  $O_2$ , el indicador de  $CO_2$ , va a verificar la concentración de dióxido de carbono en el aire de entrada y salida en la cámara. Si se trata de un indicador digital, el valor podrá ser reportado en tan solo segundos (de 10 a 20 segundos aproximadamente). Con este valor reportado, se podrá manipular el flujo de aire que entra a la cámara.

Para llevar a cabo la construcción de la cámara, se muestra el algoritmo de cálculo (descrito anteriormente) para determinar todos los parámetros necesarios que se requieren para la construcción de la misma.



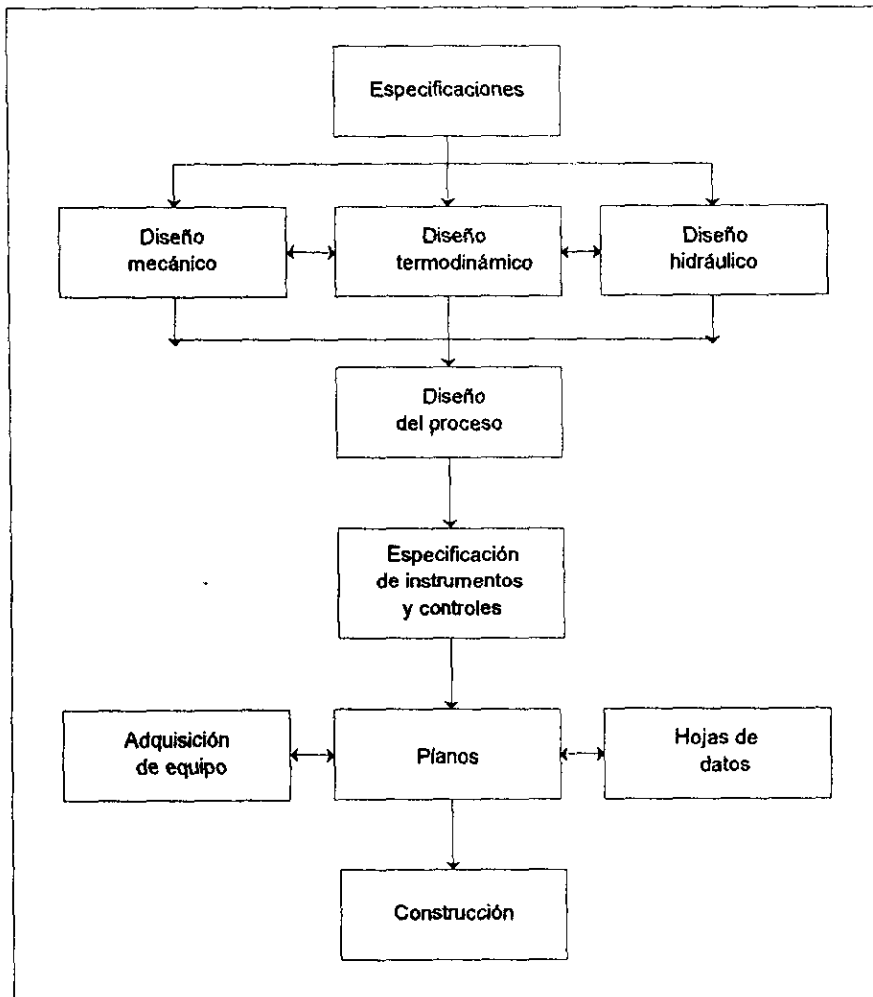


Figura 8. Diagrama de bloques general de la metodología de la investigación, para diseñar y construir una cámara de refrigeración y atmósfera controlada.

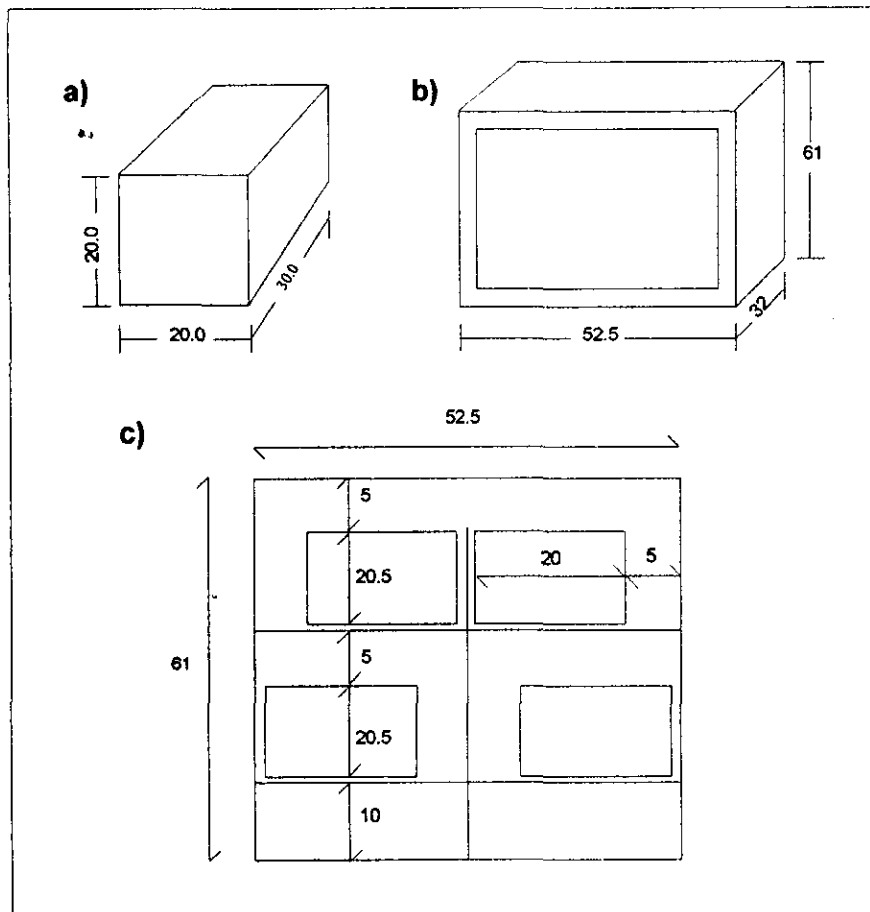


Figura 9. Representación esquemática de la cámara de refrigeración con atmósfera controlada, diseñada para la conservación de fruta:

- a) Cajón para almacenar la fruta, la cámara constará de 4 cajones, los cuales tienen las mismas dimensiones.
- b) Medidas generales de la cámara.
- c) Arreglo interno de la cámara.

Todos los valores que se reportan en los dibujos están dados en centímetros.

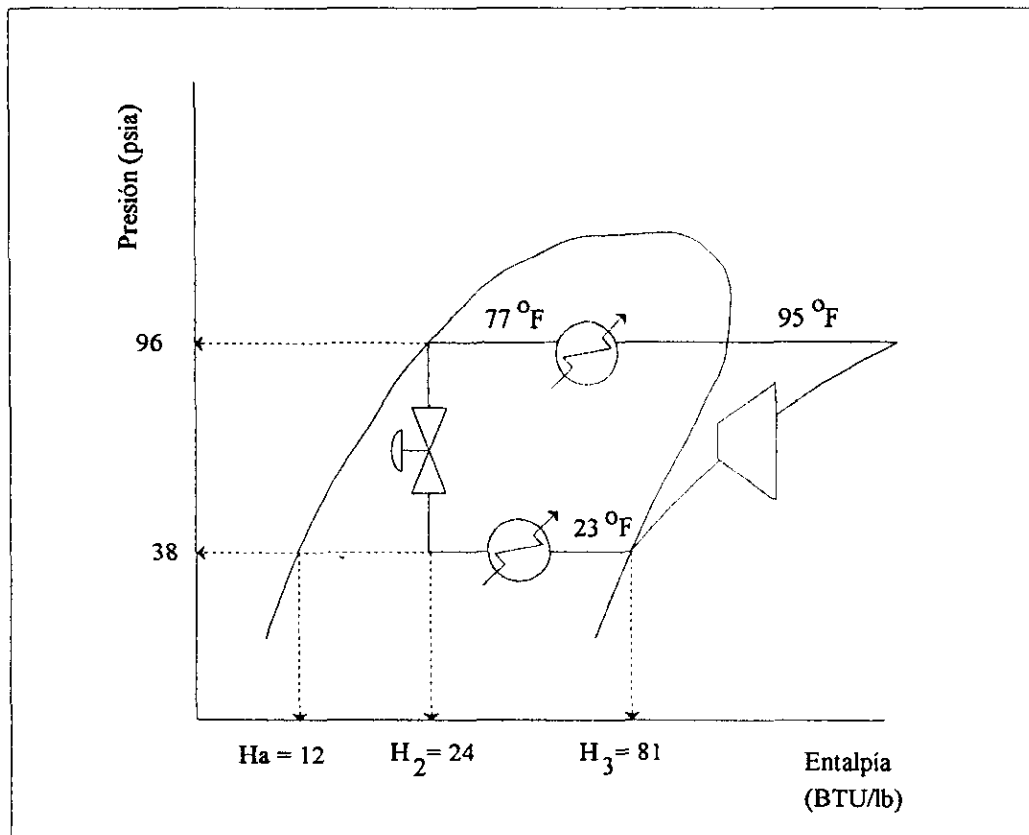


Figura 10. Diagrama termodinámico Presión-Entalpía para el CO<sub>2</sub> en el que se representa el ciclo de refrigeración y los equipos correspondientes en cada etapa. También se indican condiciones de operación.

**MEMORIA DE CÁLCULO****VIII.1. Cálculo de la carga térmica.**

Pérdidas por transmisión:

$$T_{int} = 2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ext} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = Q \cdot S \cdot 24$$

$$Q = KDT$$

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L_i}{\lambda} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$$

$$1/h_i = 0.20 \text{ m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$$

El aislante utilizado es espuma de poliuretano

$$\lambda = 0.02 \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^{\circ}\text{C}}$$

Espesor de la pared de la cámara:

1/8" de acero inoxidable.

Suponiendo que la cámara no se encuentra a presión:

$$\lambda_p = 26 \frac{BTU}{h m^{\circ}C} : = 38.74 \frac{Kcal}{h moC}$$

Espesor de aislante:

$$e = \lambda * \frac{\Delta T}{Q}$$

$$e = \frac{0.02 Kcal/hm^{\circ}C (20-2^{\circ}C)}{8 Kcal/hm^2}$$

$$e = 0.045 m = 1.77 in$$

Espesor comercial:

$$ec = 2 in$$

$$1/K = (0.0508/0.02) + (3.175 E-3/38.74) + 0.06 + 0.20$$

$$1/K = 0.357 Kcal/m^2 h_{\circ}C$$

$$Q = K*DT = 0.357 (18)$$

$$Q = 6.426 Kcal/h m^2$$

Considerando que la cámara tiene **52.5** cm. de larga por **32** cm. de ancho por **61** cm de altura (fig. 10).

$$A_1 = 0.61 * 0.525$$

$$\mathbf{A_1 = 0.32 \text{ m}^2}$$

$$A_2 = 0.525 * 0.32$$

$$\mathbf{A_2 = 0.168 \text{ m}^2}$$

$$A_3 = 0.61 * 0.32$$

$$\mathbf{A_3 = 0.195 \text{ m}^2}$$

$$A_T = 2 (A_1 + A_2 + A_3)$$

$$\mathbf{A_T = 1.366 \text{ m}^2 = S}$$

$$Q_1 = Q * S * 24$$

$$Q_1 = 6.426 * 1.366 * 24$$

$$\mathbf{Q_1 = 210.67 \text{ Kcal/día}}$$

$$Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23}$$

$$Q_{22} = 0$$

$$Q_{23} = 0$$

$Q_{22}$  y  $Q_{23}$  son iguales a 0 ya que no hay congelación del producto.

$C_1 = 0.92$  (para manzana, ciruela y pera).

$$Q_{21} = K * G * C_1 * (T_{EP} - T_R)$$

Suponiendo una capacidad de 6 Kg. y una temperatura de entrada igual a la temperatura ambiente:

$$Q_{21} = 6 * 0.92 * (20 - 2)$$

$Q_{21} = 99.36 \text{ Kcal/día}$ , esto se toma para el primer día, pero como se tiene que obtener la carga máxima, se tomará en cuenta para el cálculo de  $Q_T$ .

$$Q_3 = N \cdot R$$

$$R = 200 \text{ Kcal/Ton día}$$

$$R = 0.2 \text{ Kcal/Kg día}$$

$$Q_3 = 6 \cdot (0.2)$$

$$Q_3 = 1.2 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_4 = \text{VOL} \cdot D_i \cdot \delta \cdot N_1$$

$N_1 = 6$  renovaciones de aire. Si fuera una cámara de refrigeración normal, el número de renovaciones sería mayor de 48, pero como se tiene que controlar la atmósfera se plantean sólo 6 renovaciones, para hacer el cálculo de la  $Q_T$ , pudiendo ser incluso menos de 6.

$$\text{VOL} = 0.1025 \text{ m}^3$$

$$D_i = (i_2 - i_1) = 11 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\delta = 1/V_{\text{aire, ext}} = 1/0.85$$

$$\delta = 1.176 \text{ Kg/m}^3.$$

$$Q_4 = 0.1025 \cdot 11 \cdot 1.176 \cdot 6$$

$$Q_4 = 7.95 \text{ Kcal/día}$$

## CONCLUSIONES

En base a la información analizada, se observa que la conservación de alimentos mediante atmósferas controladas es recomendable para frutas y verduras frescas, ya que el periodo de almacenamiento de estos alimentos es mayor que las atmósferas modificadas o la refrigeración simple. Además, en comparación con el congelamiento las propiedades organolépticas prácticamente no se alteran.

Las atmósferas controladas se pueden usar de la misma forma para conservar otros tipos de alimentos como carnes rojas, pescado, aves, etc.

Desde el punto de vista tecnológico es posible construir una cámara experimental de este tipo, para poder determinar los parámetros que intervienen en la conservación de este tipo de alimentos y posteriormente llevarlo a escalas mayores. Con la ventaja de que se puede utilizar con fines didácticos.

El factor que limita la construcción de la cámara es el alto costo de los indicadores y controladores de flujo de gases y temperatura. Ya que los materiales de construcción necesarios (lámina de acero inoxidable, aislante, etc) son de



fabricación nacional a excepción de estos dispositivos de medición y control. Por esto, es recomendable que se apoye el desarrollo de proyectos enfocados al diseño y construcción de instrumentación en el país para disminuir costos.

## GLOSARIO

**Aislante:** Material utilizado para reducir la transferencia de calor en donde existe una diferencia de temperatura entre el medio aislado y el medio que transfiere calor.

**Atmósfera controlada:** Es una técnica de almacenamiento que sirve para mantener la calidad de los alimentos en estado fresco, en una atmósfera que es diferente de la atmósfera normal del aire, esto con respecto a las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y/o nitrógeno.

**Atmósfera modificada:** Es una técnica de conservación que retarda la maduración del producto a conservar, pero a diferencia de la atmósfera controlada, las concentraciones de los gases en la cámara se establecen para una condición transitoria o a corto plazo, sin embargo se mantienen las mismas condiciones iniciales del producto.

**Cámara de refrigeración con atmósfera controlada:** Equipo utilizado para preservar el período de comestibilidad de los alimentos en una atmósfera que es diferente en relación con la atmósfera del aire, esto con respecto a las

concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.

**Calor:** Es una medida de la energía transferida desde un cuerpo caliente hasta un cuerpo frío debido a una diferencia de temperatura entre ambos.

**Ciclo de refrigeración:** Conjunto compuesto por los elementos de un sistema frigorífico (válvula de expansión, evaporador, compresor y condensador) para lograr un intercambio de calor y controlar su funcionamiento.

**Compresor:** Máquina utilizada con el objetivo de elevar la presión de un determinado refrigerante en estado gaseoso, mediante alguna operación mecánica.

**Condensador:** Intercambiador de calor con el propósito de pasar al estado líquido un refrigerante gaseoso comprimido, mediante la cesión de calor a un medio distinto del refrigerante circulado.

**Congelación:** La congelación es un proceso físico que implica un cambio de fase del estado líquido al estado sólido, estando presente calor latente.

**Enfriado:** Es un proceso físico que implica reducir la temperatura por debajo de la temperatura del ambiente, pero sin que exista un cambio de fase.

**Evaporador:** Intercambiador de calor dispuesto para que un medio distinto del refrigerante (aire, agua, etc.) ceda calor a éste, provocando su vaporización.

**Maduración:** La maduración de la fruta es un proceso en el que los carbohidratos se cambian a azúcares, tales como fructosa, glucosa y materia aromática.

**Métodos de conservación de alimentos:** Condiciones establecidas para perdurar las características organolépticas de los alimentos para mantenerlos en estados fresco.

**Refrigeración:** La refrigeración se define como cualquier proceso de eliminación de calor. Específicamente, la refrigeración es la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material por debajo de la temperatura de los alrededores.

**Refrigerante o agente refrigerante:** Es cualquier sustancia empleada en un proceso de refrigeración para absorber calor a baja temperatura y presión y cederlo a presión y temperatura más elevadas con el consecuentemente cambio de estado.

**Respiración:** Es un proceso en el que se genera calor cuando reaccionan azúcares

con oxígeno para producir agua y dióxido de carbono.

**Válvula de expansión:** Dispositivo que permite y regula el paso de refrigerante líquido desde un estado de presión más alto a otro más bajo.

**BIBLIOGRAFÍA.**

Brecht, P.E. 1980. **Use of controlled atmospheres to retard deterioration of produce.** Food Technology. 34(3): 45-50.

Desrosier, N.W. 1964. **Conservación de alimentos.** 2<sup>a</sup>, Cía, Editorial continental. México. 67-122 p.p.

Conan, J.G. 1990. **Refrigeración industrial.** Ed. Paraninfo. España. 9-32, 175-187, 197-221, 223-238, 383-423

Dossat, R.J. 1980. **Principios de refrigeración.** Ed. CECSA. U.S.A. 109-127, 163-226.

Fellows, P. 1994. **Tecnología del procesado de alimentos: Principios y prácticas.** Acribia. España. 1-11, 53-71, 371-389

Gould, G.W. 1989. **Mechanism of action of food preservation procedures.** Elsevier Applied Science. Northern Ireland. 247-284

Kader, A.A. 1980. **Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres.** Food technology. 34(3): 51-54.

Kader, A.A. 1986. **Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables.** Food Technology. 40(5): 99-104.

Koelet, P.C., Gray, T.B. 1992. **Industrial refrigeration. principles, design and applications.** Ed. Mc Millan. Inglaterra. 280-320.

Lewis, M.J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado.** Acribia. España. 329-339

Manuales técnicos y de instrucción para Conservación de Energía. Capítulo 6. **Producción de Frío Industrial.** Centro de Estudios de la Energía. España. 1983. 15-127.

Madrid, V.A. **Manual de industrias alimentarias.** 3ª, Ediciones A. Vicente Madrid. España. 15-43, 72-88 p.p.

Smith, J.P., Simpson, B., Ramaswamy, H. 1992. **Packaging, part IV: modified**

**atmosphere packaging-principles and applications.** Encyclopedia of food science and technology. Ed. John Wiley Sons. Volumen 3. U.S.A. 1982-1992.

Toledo, R.T. 1991. **Fundamentals of food process engineering.** 2<sup>nd</sup>, Van Nostrand Reinhold. U.S.A. 302-314, 398-436

Watada A. E. **Effects of Ethylene on the quality of fruits and vegetables.** Food Technology, 40(5); 82-85.

Wolf, S.K. 1980. **Use of CO and CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres for meats, fish, and produce.** Food Technology. 34(3): 55-58, 63.

Yi, Chien Wang., Watada A.E. 1992. **Controlled atmospheres for fresh fruits and vegetables.** En: Encyclopedia of food Science and technology. Ed. John Wiley Sons. Volumen 1. U.S.A. 476-481.

Zeuthen, P., Cheftel, J.C., Eriksson, C., Gormley, T.R., Linko, P., Paulus, K. 1990. **Process and quality of foods. Chilled foods: The revolution in freshness.** Elsevier Applied Science. Northern Ireland. 3.190-3.2331.