

TÉCNICAS DE ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS

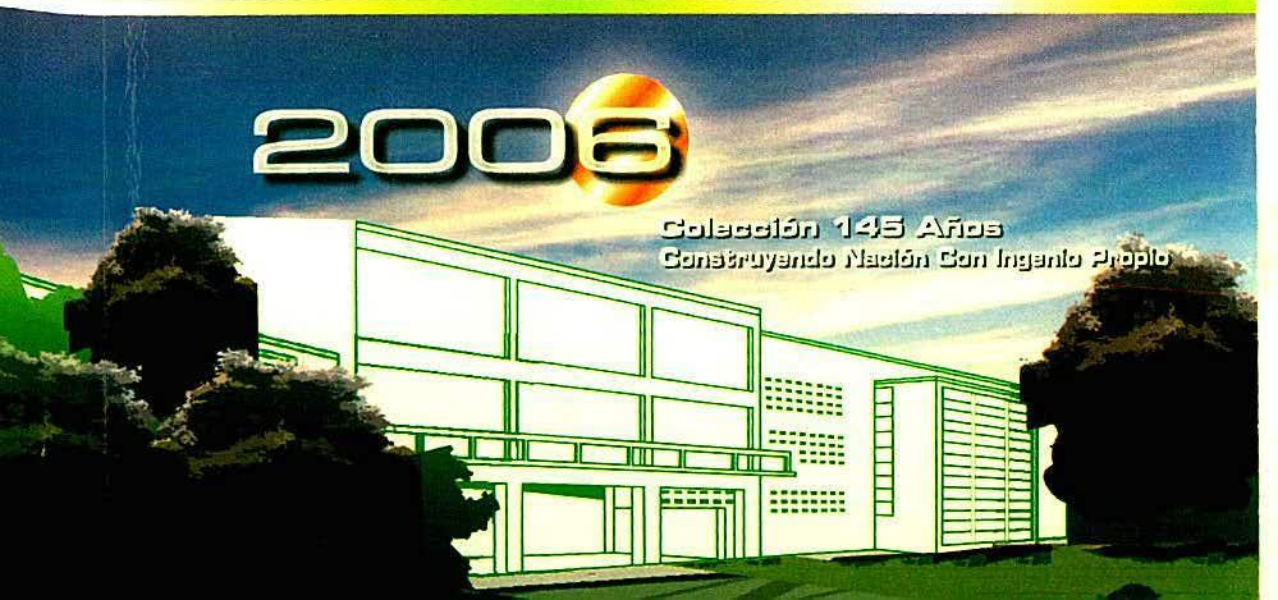
Alfonso Parra Coronado



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA

2006

Colectión 145 Años
Construyendo Nación Con Ingenio Propio



**TECNICAS DE ALMACENAMIENTO Y
CONSERVACION DE FRUTAS
Y HORTALIZAS FRESCAS**

ING. ALFONSO PARRA CORONADO

**Ingeniero Agrícola, M. Sc.
Profesor Titular en D.E.**

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Agrícola
Bogotá, D.C.
2007**



INTRODUCCION

Las catástrofes naturales, la guerra, la sequía, la pobreza o cualquier actividad perjudicial generada por el hombre, ocasionan la escasez de alimentos y los sufrimientos generalizados de la humanidad. “En la actualidad hay casi 800 millones de personas en los países en desarrollo que padecen desnutrición crónica; alrededor de 200 millones de niños menores de cinco años sufren deficiencias agudas de proteínas y energía. El bajo nivel de las reservas de alimentos presentan una amenaza para la seguridad alimentaria en muchas zonas. El crecimiento acelerado de la población intensifica la presión sobre los recursos naturales mientras que el hambre y los conflictos armados provocan desplazamientos de personas, en ocasiones en masa. Si no se adoptan medidas enérgicas para invertir estas tendencias, en el año 2010 el número de personas afectadas por la desnutrición crónica podría ser de 730 millones en el mundo”. (FAO, 1996).

Este panorama nos hace pensar que debemos buscar alternativas que nos permitan conservar en buenas condiciones y durante un periodo relativamente largo, los alimentos que producimos, ya que ello permitirá ofrecer al consumidor un mayor volumen de productos de buena calidad, a la vez que reducirá la presión sobre los recursos naturales. Es sabido que en Colombia se pierden grandes volúmenes de productos agrícolas, especialmente frutas y verduras (En CORABASTOS se pierden diariamente 80 ton.), como consecuencia de un manejo deficiente en la Postcosecha.

El presente texto, tiene como objetivo contribuir a la formación de profesionales expertos en la reducción de las pérdidas postcosecha de productos altamente perecederos. En él se presentan algunas alternativas para el almacenamiento y conservación de frutas y hortalizas frescas; en el primer capítulo se dan las generalidades sobre almacenamiento de frutas y hortalizas, abarcando tópicos como: los objetivos fundamentales del almacenamiento, factores que lo afectan y tipos de operaciones de almacenamiento. En el capítulo segundo, se dan los fundamentos de la Refrigeración, a fin de que el lector pueda familiarizarse con la terminología y los diferentes métodos para obtener temperaturas inferiores a las del medio ambiente circundante; en él se tratan temas como la refrigeración por compresión, refrigeración por absorción y refrigeración solar.

El capítulo tercero hace referencia a las principales causas de la pérdida de calidad de frutas y hortalizas y a los daños causado por un almacenamiento deficiente; se



presenta además información sobre el almacenamiento de productos específicos. El capítulo cuarto presenta una metodología y un ejemplo de cálculo de la Carga de Refrigeración, el cual es un parámetro importante para el diseño de almacenes refrigerados.

El capítulo cinco presenta información sobre la técnicas de conservación de alimentos por irradiación, la cual puede llegar a ser muy útil si se elimina la creencia de que es un método nocivo para el consumidor, popularizada a causa de la bomba atómica de Iroshima y sus conocidas consecuencias. El capítulo seis hace referencia a la conservación de productos altamente perecederos mediante el uso de Atmósferas Modificadas y Controladas, la cual esta empezando a ser tema de investigación en nuestro país, especialmente en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Bogotá.

Finalmente, se espera que la publicación de este texto (corregido y aumentado con respecto a la anterior edición) por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, contribuya a la reducción de las perdidas de alimentos perecederos y que sea de gran utilidad a todos los profesionales que estén vinculados al manejo y conservación de estos alimentos.

Alfonso Parra Coronado.



INDICE GENERAL

CAPITULO 1.

ALMACENAMIENTO REFRIGERADO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

| | |
|---|----|
| Generalidades sobre almacenamiento | 1 |
| Objetivos del almacenamiento | 2 |
| Factores que afectan el almacenamiento | 13 |
| Cambios químicos ocurridos durante el almacenamiento | 15 |
| Tipos de Operaciones de Almacenamiento | 18 |
| Causas de perdida de calidad en frutas y hortalizas | 21 |
| Almacenamiento de productos específicos | 26 |
| Daño por Frío | 33 |
| Efectos del Etileno en el almacenamiento de frutas y hortalizas | 36 |
| Bibliografía | 37 |

CAPITULO 2.

FUNDAMENTOS DE REFRIGERACION

| | |
|--|----|
| Introducción | 39 |
| Aspectos teóricos sobre Refrigeración | 40 |
| Sistema de Refrigeración por Compresión | 41 |
| Definiciones | 41 |
| Refrigerantes más comunes | 43 |
| Propiedades de los Refrigerantes | 49 |
| Ciclo Mecánico de Refrigeración | 50 |
| Ciclo de Refrigeración de Carnot | 51 |
| Ciclo Estándar de Compresión de Vapor | 55 |
| Magnitudes significativas del Ciclo Estándar | 55 |
| Ciclo real de compresión de vapor | 59 |
| Cálculos para el ciclo real de compresión | 60 |
| Refrigeración por Absorción | 64 |
| Refrigeración Solar | 66 |
| Sistema de Refrigeración Solar Continuo | 67 |
| Sistema de Refrigeración Solar Intermitente | 68 |
| Bibliografía | 70 |



CAPITULO 3.

DISEÑO DE ALMACENES REFRIGERADOS

| | |
|--|----|
| Principios generales | 71 |
| Cálculo de la carga de refrigeración para productos alimenticios almacenados | 73 |
| Aislamiento de instalaciones frigoríficas | 94 |
| Bibliografía | 98 |

CAPITULO 4.

ALMACENAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN ATMOSFERA MODIFICADA Y CONTROLADA

| | |
|--|-----|
| Introducción | 99 |
| Reseña histórica | 101 |
| Efectos de las Atmósferas Modificadas y Controladas | 102 |
| Atmósferas Modificadas | 103 |
| Métodos para la creación de Atmósferas Modificadas | 104 |
| Almacenamiento en Atmósferas Controladas | 106 |
| Tolerancia de los productos hortofrutícolas a las Atmósferas Modificadas y Controladas | 114 |
| Consideraciones de seguridad | 117 |
| Bibliografía | 118 |

CAPITULO 5.

CONSERVACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS POR IRRADIACION

| | |
|---|-----|
| Introducción | 121 |
| Breve reseña histórica | 122 |
| Plantas de Irradiación | 123 |
| Objetivos de la Irradiación | 124 |
| Ventajas de la Irradiación | 125 |
| Irradiación de alimentos | 126 |
| Características de los alimentos Irradiados | 127 |
| Costo de la Irradiación | 130 |
| Consumo del producto Irradiado | 131 |
| Bibliografía | 132 |



LISTA DE TABLAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabla 1.1. | Características y condiciones recomendadas para el almacenamiento de frutas | 27 |
| Tabla 1.2. | Características y condiciones recomendadas para el almacenamiento de hortalizas | 30 |
| Tabla 1.3. | Síntomas de daño por frío para algunas frutas y hortalizas | 35 |
| Tabla 2.1. | Fluidos Refrigerantes más utilizados | 44 |
| Tabla 2.2. | Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP) y de Calentamiento Global de Halocarbonos (HGWP) (Estado constante) para algunos refrigerantes | 46 |
| Tabla 2.3. | Valores de temperatura, presión y entalpía para el cálculo del ciclo real de compresión en R134a. | 61 |
| Tabla 3.1. | Conductividad térmica, k, para algunos materiales | 83 |
| Tabla 3.2. | Coefficientes de película para transmisión de calor por convección, en función de la velocidad del aire | 84 |
| Tabla 3.3. | Incremento de temperatura I.T. (°C) debido al efecto solar | 84 |
| Tabla 3.4. | Calor perdido por el cuerpo humano en cuartos refrigerados | 85 |
| Tabla 3.5. | Cambio promedio de aire por 24 horas, para cuartos de almacenamiento, debido a abertura de puertas y filtraciones | 86 |
| Tabla 3.6. | Punto de congelación, calor específico, calor latente de fusión y calor de respiración de algunos productos alimenticios | 87 |
| Tabla 3.7. | Datos tecnofísicos de varios materiales aislantes | 96 |
| Tabla 3.8. | Valores aproximados para espesores rentables de aislamiento | 97 |
| Tabla 4.1. | Permeabilidad de algunas películas poliméricas | 104 |
| Tabla 4.2. | Control de algunos insectos por Atmósferas Modificadas y Controladas | 110 |
| Tabla 4.3. | Tolerancia relativa de frutas y hortalizas a niveles elevados de CO ₂ para almacenamiento a las temperaturas recomendadas | 115 |
| Tabla 4.4. | Tolerancia relativa de frutas y hortalizas a niveles bajos de O ₂ para almacenamiento a las temperaturas recomendadas | 116 |
| Tabla 5.1. | Dosis adecuadas para la Irradiación de algunas | |



LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1.1. Diferencias en la variación de la intensidad respiratoria entre frutas climatéricas y no climatéricas | 9 |
| Fig. 1.2. Podredumbre apical en pera | 23 |
| Fig. 1.3. Podredumbre apical en patilla | 23 |
| Fig. 1.4. Ataque de hongos en papaya melona | 24 |
| Fig. 1.5. Daño causado por hongos en la corona de una mano de banano | 24 |
| Fig. 1.6. Daño por frío en tomate | 34 |
| Fig. 2.1. Diagrama característico para el R134a | 47 |
| Fig. 2.2. Diagrama característico para el R407A | 48 |
| Fig. 2.3. Propiedades de los refrigerantes líquidos | 49 |
| Fig. 2.4. Esquema de la composición de un Ciclo Mecánico de Refrigeración | 50 |
| Fig. 2.5. Esquema del Ciclo de Refrigeración de Carnot | 51 |
| Fig. 2.6. Diagrama de Entropía vs. Temperatura para el Ciclo de Refrigeración de Carnot | 52 |
| Fig. 2.7. Compresión seca en el Ciclo de Refrigeración de Carnot | 54 |
| Fig. 2.8. Diagramas de Entropía vs. Temperatura y Entropía vs. Presión para el Ciclo Estándar de Compresión de Vapor | 55 |
| Fig. 2.9. Diferencias entre el Ciclo Estándar y el Ciclo Real de Compresión de Vapor | 59 |
| Fig. 2.10. Diagrama de un Sistema de Refrigeración por Absorción Continuo | 64 |
| Fig. 2.11. Diagrama de un Refrigerador Solar Intermitente | 68 |
| Fig. 3.1. Cuarto para almacenamiento refrigerado de productos hortofrutícolas | 73 |
| Fig. 3.2. Transmisión de calor a través de una pared compuesta | 75 |

ALMACENAMIENTO REFRIGERADO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

GENERALIDADES SOBRE ALMACENAMIENTO

La finalidad del proceso de almacenamiento de frutas y hortalizas frescas es prolongar su vida, utilidad y conservar su calidad comercial ; sirve también como un control en la comercialización de las mismas, equilibrando la oferta y la demanda.

Los objetivos principales del almacenamiento, para alcanzar los fines propuestos son: controlar las tasas de transpiración y respiración, inhibir el desarrollo de enfermedades y conservar la calidad.

La vida de almacén, puede prolongarse mediante tratamientos, como el control de enfermedades de Postcosecha, regulación de la atmósfera, tratamientos químicos, irradiación y la refrigeración, siendo esta última la que mejores resultados ha presentado en tiempos y calidad de frutas y hortalizas almacenadas, pues los otros métodos se muestran eficientes solo complementados con bajas temperaturas

La temperatura de almacenamiento, es pues, el factor ambiental mas importante del proceso, debido a que regula la tasa de todos los procesos fisiológicos y bioquímicos asociados con dicho fenómeno.

La respiración en los productos biológicos, definida como el proceso por el cual los organismos vivos convierten materia en energía y la cual puede expresarse como una tasa respiratoria ($\text{mg CO}_2/\text{kg-hr}$), es quizá el parámetro determinante, como índice de almacenamiento, ya que a altas tasas respiratorias la vida de almacenamiento se reduce y viceversa; la tasa de respiración se ve incrementada a medida que aumenta la temperatura y esta a la vez se incrementa a medida que aumenta la respiración. Cuando el proceso de almacenamiento se realiza con productos empacados debe



tenerse en cuenta este factor, ya que las características físicas y térmicas de los materiales de los empaques presentan condiciones diferentes de almacenamiento.

A pesar de que el empaque presenta muchos beneficios, debe tenerse en cuenta que este no mejora la calidad de los productos y por lo tanto, solo se deben empaquetar productos de la mejor calidad ya que la inclusión de frutos podridos o dañados en los empaques al por mayor o para venta directa al consumidor, puede impedir su venta, o convertirse en fuente de contaminación o infección de los productos sanos. El empaque tampoco es substitutivo de la refrigeración, pero cuando se combina un buen empaque con almacenamiento o transporte refrigerado puede asegurarse el mantenimiento de la calidad.

OBJETIVOS DEL ALMACENAMIENTO

Control de Procesos Vegetales Perjudiciales

Puesto que todas las frutas y hortalizas están compuestas de tejido viviente, después de cosechadas estos continúan realizando sus procesos metabólicos vitales. El objetivo del almacenamiento es reducir al mínimo la tasa a la que se efectúan estos procesos. Según Pantastico (1979), se debe proporcionar a los productos condiciones de almacenamiento propias y adecuadas, pues de otro modo pueden ocurrir los siguientes procesos perjudiciales :

Brotado. causa de deterioro, en cebollas, ajo y papas, esta relacionado con la latencia y el reposo. La latencia es una condición de quiescencia debida a factores externos e internos. El reposo es un fenómeno en el cual no se efectúa brotado a pesar de que se tenga un ambiente favorable para ello.

Alargamiento de las estructuras existentes. Se presenta en espárragos, zanahorias, nabos.

Enraizamiento Puede presentarse debido a condiciones de humedad elevada, y puede conducir a una descomposición rápida, arrugamiento y agotamiento de reservas alimenticias en tubérculos y raíces.

Germinación de las semillas. En el transcurso del almacenamiento se favorece la germinación de las semillas dentro de los frutos maduros; se presenta en tomates, papayas y verduras de vaina.

Enverdeamiento. Las papas expuestas a la luz durante el almacenamiento producen un tejido verde, el cual contiene solanina (producto tóxico).

Endurecimiento Los frijoles verdes y el maíz dulce pueden endurecerse durante un periodo largo de almacenamiento, debido a que se desarrollan tejidos esponjosos.

Respuesta trópica Las respuestas a la gravedad y a la luz pueden ocasionar el encorvamiento de los tejidos. Los productos deformes son difíciles de empaquetar y de baja calidad comercial debido a su deficiente presentación.



Control de la Transpiración (8)

De los factores ambientales, la temperatura, la humedad relativa (HR) y el déficit de presión de vapor (DPV) son de importancia en la transpiración. Para reducir al mínimo la deshidratación o marchitamiento de los productos, se requiere de temperaturas bajas, HR elevada y DPV pequeña. Una pérdida del 5% en el peso de un fruto es suficiente para causar arrugamiento, haciéndolo poco atractivo para su venta. Al usar HR alta durante el almacenamiento, se debe tener cuidado de no permitir el desarrollo de hongos superficiales y de otros organismos que ocasionan pudrición, debido a la condensación de la humedad en la superficie de los productos.

Estos factores pueden controlarse empleando empaques adecuados, cubiertas protectoras y manteniendo el refrigerante tan cerca como sea posible de la temperatura de aire deseada.

Naturaleza de la transpiración

La fuerza impulsora del vapor de agua en la evaporación y la transpiración es el déficit de presión de vapor (DPV). Entre el producto y su atmósfera circundante se establece una diferencia de presiones de vapor que tiende a equilibrarse; como resultado de esta diferencia de presiones (DPV), el vapor de agua tiende a moverse desde las zonas de alta presión a zonas de baja presión, lo cual ocurre generalmente desde el producto hortofrutícolas (con alto contenido de humedad) hacia la atmósfera circundante no saturada.

Esta pérdida de humedad desde las células vivas (plasmólisis), provoca la disminución de la turgencia normal del producto, el cual pierde su consistencia y se torna flácido. La turgencia es la presión osmótica generada dentro de la savia celular y es la causante de la firmeza de las células del tejido vivo. El DPV debe reducirse al mínimo, a fin de asegurar un control adecuado de la transpiración, limitando así la pérdida de la calidad del producto.

Formas de transpiración

* **Transpiración estomatal** Es la que ocurre a través de los estomas. En las hojas la mayor parte de la transpiración es estomatal.

* **Transpiración cuticular** Es la pérdida de agua desde las células epidérmicas del tejido, a través de la "cutícula" que las recubre. La cutícula es una capa cerosa de cutina que cubre la superficie de los productos hortofrutícolas y de cuyo desarrollo depende la intensidad de la transpiración cuticular.

* **Transpiración lenticelar** Es la pérdida de agua a través de los "lenticelos" de los frutos y tallos leñosos. Cierta cantidad del agua pérdida por los tallos herbáceos, las partes florales y los frutos, es de tipo cuticular, pero esta es pequeña. La mayoría de los



tallos herbáceos, los frutos y las partes florales tienen estomas que permiten la transpiración estomatal en estos órganos, la cual puede ocurrir también a través de los lenticelos.

La cantidad de agua perdida por la transpiración cuticular y la lenticelar es insignificante cuando se le compara con la pérdida por la transpiración estomatal. Solamente cuando las condiciones ambientales son muy secas y los estomas están cerrados, puede considerarse importante el agua perdida por la cutícula y los lenticelos.

Factores que afectan la Transpiración

Factores intrínsecos.

Tienen que ver con la naturaleza e integridad del producto; son entre otros:

- a) **Especie y variedad** Cada producto presenta tasas de transpiración características para su especie.
- b) **Caracteres anatómicos y morfológicos** Las dimensiones, la forma y las características estructurales del producto influyen en la intensidad de la transpiración; dentro de estos caracteres tenemos:
 - o **Tamaño unitario del producto** (superficie específica): A menor tamaño, mayor intensidad de transpiración, ya que la relación área/volumen es mayor.
 - o **Resistencia cuticular**, la cual varía según el grosor y la naturaleza de la capa cuticular.
 - o **Presencia de vellosidades epidérmicas**: El efecto de los pelos epidérmicos sobre la transpiración es incierto. Si viven, pueden incrementar la superficie evaporante, pero si están muertos deben incrementar el espesor de la capa limítrofe en la superficie del producto y reducir la transpiración en aire agitado.
 - o **Tamaño, distancia, distribución y peculiaridades de los estomas**.
- c) **Edad del tejido**: cuanto más joven es el tejido, tanto mayor es la transpiración, debido a que aún no se ha desarrollado plenamente la película cerosa impermeable ó cutícula que controla la pérdida de agua. Por lo general, cuanto más gruesa sea la capa de cutina, más bajo será el coeficiente de transpiración cuticular. Sin embargo, a medida que la cutícula envejece, se forman grietas, incrementándose la transpiración cuticular (en productos foliares). En tejidos jóvenes la actividad fisiológica es mayor, presentándose una mayor intensidad respiratoria, en cuyo proceso se genera agua que debe ser evacuada por transpiración.
- d) **Integridad del tejido** cuanto más sano este el producto menor será su actividad fisiológica y por lo tanto será menor su pérdida de agua por transpiración. Los golpes, heridas, cortes, agrietamientos, abren las puertas a las mayores pérdidas de agua. Las actividades de cosecha, selección, clasificación, empaque y transporte,



lo mismo que el ataque de plagas y enfermedades pueden ocasionar daños que aumentan la transpiración.

Factores extrínsecos

La estructura y condición del producto influyen en la rata de transpiración, pero esta depende fundamentalmente de la temperatura y humedad relativa del aire en contacto con el producto, del movimiento del aire y de la presión atmosférica. La luz también influye en la apertura de los estomas y por lo tanto en la intensidad de la transpiración.

a) Humedad relativa y temperatura. Como es universalmente conocido, las pérdidas de agua son rápidas a bajas humedades relativas y lentas a altas. A baja humedad relativa las pérdidas de agua son mayores, debido a que el aire que rodea el producto tiene bajo contenido de vapor de agua, presentándose una transferencia efectiva del agua contenida en el producto vegetal, hacia el aire que la rodea. En contraste con lo anterior, si la humedad relativa del aire circundante es del 100% (atmósfera saturada de vapor de agua), este se encontrara en equilibrio con el contenido de agua del vegetal, presentándose un gradiente bajo entre ellos y por lo tanto, las pérdidas de agua serán despreciables.

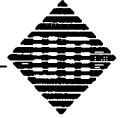
La cantidad de agua requerida para saturar el aire es mayor, entre mayor sea la temperatura del mismo; así, la cantidad de agua requerida para saturar aire a 40°C, será mayor que la cantidad de agua requerida para saturarlo a 15°C, para una misma humedad relativa.

Como puede observarse, la temperatura y humedad relativa por si solas no son un indicador satisfactorio de la probable pérdida de humedad, ya que esta depende de estos dos parámetros.

El parámetro que define con exactitud si se va a presentar pérdida de humedad del producto vegetal, es el DEFICIT DE PRESION DE VAPOR (DPV). Así, entre mayor sea el DPV, mayor será la pérdida de agua del vegetal, el cual aumentará aún más si se incrementa la temperatura del aire que lo rodea.

La temperatura ejerce además efectos sobre el movimiento de los estomas; estos se cierran cuando la temperatura se acerca a los 0°C y su apertura se incrementa a temperaturas mayores de 30°C.

b) Movimiento del aire Entre más rápidamente se mueva el aire a través de los productos hortofrutícolas, más rápidamente perderán agua, a menos que el aire en movimiento se encuentre saturado. Altas velocidades del aire causan rápidas pérdidas de agua, debido a la remoción de la capa de aire saturado que envuelve las frutas y vegetales. Consecuentemente, esto causará un DPV, el cual hará mover la humedad interior de los tejidos hacia el aire relativamente seco que lo envuelve. Por lo tanto, el aire en movimiento deberá ser lo suficientemente efectivo para remover



el calor de respiración del producto, una vez este haya sido enfriado hasta la temperatura de almacenamiento.

c) Presión atmosférica. Estando constantes los otros factores, a mayor presión atmosférica hay menor transpiración, pues se tendrá más moléculas de componentes del aire que dificultan el escape de las moléculas de vapor de agua desde el tejido vegetal. Por ejemplo, por cada disminución del 10% en la presión, las pérdidas de agua se incrementarían en 10%.

d) Luz solar. El principal efecto de la luz es sobre la apertura de los estomas, los cuales se abren al exponerlos a la luz y permanecen abiertos bajo iluminación continua, siempre y cuando ningún otro factor sea limitante. Al regresar a la oscuridad se cierran.

Algunas longitudes de onda son más efectivas que otras sobre este mecanismo estomatal. Zelitch y Kuiper, encontraron que los estomas no se abren al exponerlos a la luz ultravioleta o rojo-lejano. La apertura de estos es buena en las regiones rojo y azul, pero no en la verde.

La respuesta de los estomas a la longitud de onda, está relacionada con la acción del espectro en la síntesis de adenosin trifosfato (ATP). Además, la luz modifica otros factores ambientales; por ejemplo, a mayor intensidad solar se aumenta la temperatura y esta modifica la humedad relativa del aire (DPV), lo cual afecta la transpiración del producto.

Como minimizar las pérdidas de agua?

Básicamente, son dos las vías para reducir la deshidratación de los productos horto-frutícolas:

1. Minimizando la diferencia entre la humedad que existe en el interior del producto y el aire que lo rodea (reduciendo DPV).
2. Protegiendo el producto del aire relativamente seco.

La primera vía puede lograrse manteniendo la humedad relativa del aire lo más cerca posible a la saturación (100%), combinándose si es posible con almacenamiento refrigerado a la temperatura deseada.

La humedad del aire puede incrementarse agregando agua a éste por medio de aspersores. Estos métodos son particularmente usados durante el preenfriamiento cuando las pérdidas de agua son elevadas, y cuando los contenedores secos pueden extraer humedad de los productos que contienen.

Los productos pueden ser protegidos del aire seco empacándolos en bolsas plásticas o películas plásticas para envolver, pero debe tenerse en cuenta que estos materiales plásticos deben ser perforados, a fin de permitir un intercambio gaseoso adecuado. Si esto no se hace, se pueden presentar serios daños en el producto por insuficiencia de oxígeno o exceso de gas carbónico. Cuando se proporciona la



ventilación adecuada a las bolsas o películas plásticas, las pérdidas de humedad hacia el aire circundante son insignificantes bajo condiciones normales.

Aún cuando las películas plásticas proporcionen excelente protección contra pérdidas de humedad, ellas pueden minimizarse solamente cuando el producto es almacenado a condiciones favorables y constantes de temperatura. Si la temperatura, del aire fluctúa apreciablemente, el producto se enfriará más lentamente que la película plástica y la humedad desprendida del producto se condensará en la cara interior del empaque. Si está humedad no es evacuada oportuna y repetidamente, el producto será atacado por microorganismos que lo deterioraran, causando la pérdida total de su calidad.

Control de la Respiración (8)

El principio fundamental del almacenamiento en frío es aprovechar el efecto retardador de la respiración en las temperaturas bajas. La respiración es un proceso de descomposición y se deben proporcionar los medios para reducirlo al mínimo. El almacenamiento en atmósferas controladas ha resultado ser un buen complemento comercial de la refrigeración.

Por lo regular el calor que se genera por la respiración se acumula en el centro del cuarto de almacenamiento y aumenta la tasa de respiración de los productos. Hay una estrecha relación entre la vida de almacén y la respiración.

Intensidad Respiratoria (Tasa Respiratoria)

La velocidad a que transcurre la respiración de un producto, constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial. Una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento; además indica la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio.

La intensidad respiratoria (I.R.) es la cantidad de CO₂ producida (mg ó ml) en el proceso respiratorio por unidad de peso de producto fresco y por unidad de tiempo, es decir:

$$IR = \text{mgCO}_2/\text{Kg-hr} \text{ ó } IR = \text{mlCO}_2/\text{Kg-hr}$$

Durante el desarrollo y maduración del fruto, la intensidad respiratoria (velocidad con que se produce los intercambios gaseosos) varía, esto es, no sigue un ritmo regular.

a. **Tasa Inicial de Respiración.** Se define en el día inmediatamente posterior a la cosecha. No es representativo de la I.R., ya que el producto se está acondicionando a



su nuevo ambiente y empieza a consumir los sustratos de reserva. Depende del producto y la temperatura.

- b. **Tasa Promedio de respiración** prevalece durante los días posteriores en almacenamiento. Se determina haciendo el promedio aritmético de las I.R. diarias durante un período determinado de tiempo y a una temperatura que se mantiene constante.
- c. **Tendencia Respiratoria** Es el cambio que ocurre con el tiempo, en la intensidad respiratoria de un producto. Dependiendo de la tendencia respiratoria, los productos agrícolas se clasifican en productos climatéricos y en productos no-climatéricos. Ver figura 1.1.

c.1. **Frutos Climatéricos** en estos productos la intensidad respiratoria disminuye hasta llegar a un mínimo, para subir rápidamente hasta un máximo y después volver a disminuir paulatinamente hasta anularse con la muerte del fruto.

c.2. **Frutos no climatéricos** En ellos, la I.R. disminuye durante el período de vida del producto, hasta llegar a anularse con la muerte del producto. A continuación se enumeran algunos productos climatéricos y no climatéricos:

Climatéricos

Granadilla *
 Maracuyá *
 Papayuela*
 Manzanas
 Durazno
 Aguacate
 Banano
 Chirimoya
 Brevo
 Mango
 Melón
 Papaya
 Sandía
 Pera
 (Triunfo de Viena) *
 Curuba
 Tomate
 Ciruela
 (Var. Horvin) *

No Climatéricos

Uchuva *
 Cebolla junca *
 Mora *
 Fresa
 Cereza
 Uva
 Cohombro
 Espárragos
 Lechuga
 Tomate de árbol *
 Limón
 Piña
 Mandarina
 Naranja



* Productos estudiados en el Departamento de Ingeniería Agrícola-Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

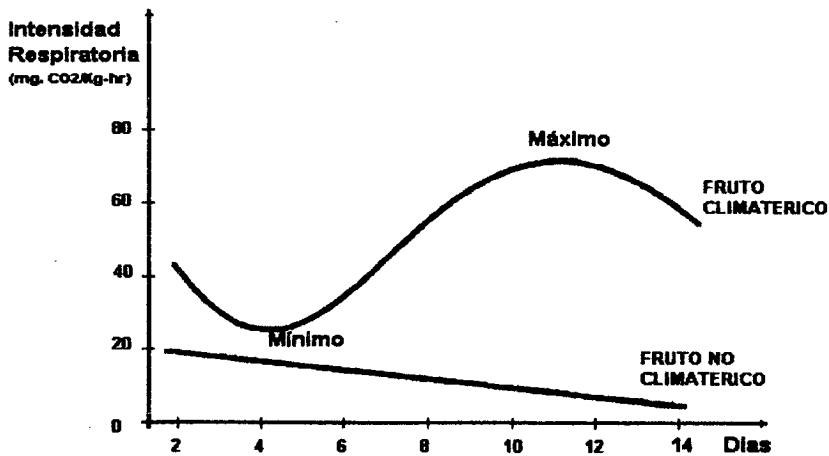


Figura 1.1. Diferencias en la variación de la intensidad respiratoria entre frutas climatéricas y no climatéricas

Factores que afectan la Respiración

Los factores que afectan la respiración son de dos clases a saber:

Factores Internos

Son aquellos sobre los cuales difícilmente podemos ejercer alguna influencia, puesto que ellos dependen del producto en sí. Son factores internos:

a. Estado de desarrollo del producto.

Durante el desarrollo de los órganos se presentan variaciones en la tasa de respiración; a medida que el fruto aumenta de tamaño, crecen también las cantidades totales de CO₂ emitidas por el mismo, pero a medida que el fruto se vuelve voluminoso, la tasa de respiración, calculada sobre la base de peso unitario, decrece en forma continua. En frutas climatéricas es mínima y permanece más bien constante después de la cosecha. Solo cuando va a efectuarse la maduración organoléptica, la tasa de respiración asciende hasta el climaterio y luego declina de manera lenta. Las frutas no climatéricas maduran en la planta. Si se les remueve antes de madurar, la intensidad o tasa de respiración disminuye con lentitud.



Composición química del tejido.

El Cociente Respiratorio ($C.R. = \text{Volumen de CO}_2 / \text{Volumen de O}_2$) varía según el tipo de sustrato que se esté empleando en el proceso respiratorio. En resumen se tiene:

Si $C.R. = 1$, se está empleando azúcar.

Si $C.R. > 1$, se está empleando ácidos orgánicos.

Si $C.R. < 1$, se están empleando ácidos grasos y/o proteínas.

c. Tamaño del producto.

Productos de la misma especie y variedad, pueden presentar intensidades respiratorias diferentes, influenciadas por el tamaño relativo de tales productos. Cuanto menor sea el tamaño del producto, mayor será su intensidad respiratoria; los productos pequeños tienen mayor superficie específica (Área/Volumen) que los productos de tamaño grande, presentando una mayor área por unidad de volumen para el intercambio gaseoso en el proceso respiratorio.

El contenido de humedad del producto también puede afectar la intensidad respiratoria; a mayor contenido de humedad, mayor será la respiración del producto. El contenido de humedad es un factor crítico en granos; si estos se almacenan con altos contenidos de humedad, su actividad metabólica se verá acelerada, provocando la alteración (Deterioro) de los tejidos y la pérdida total de la calidad.

d. Cubiertas naturales.

Los productos que tienen una buena corteza presentan tasas de respiración bajas. Meneses A.M y Ramirez C.A. (1989), encontraron que la uchuva sin cáliz acrescente presentó una intensidad respiratoria de 145 mg $\text{CO}_2/\text{Kg-hr}$, con una duración en almacenamiento de 15 días, mientras que la uchuva con cáliz acrescente generó 38 mg $\text{CO}_2/\text{Kg-hr}$, con una duración en almacenamiento de 57 días. Los resultados anteriores muestran que el cáliz acrescente actúa como una barrera protectora que inhibe la respiración (Proceso de deterioro) y por lo tanto conserva por más tiempo la calidad de la uchuva.

e. Tipo de Tejido.

Altas tasas de respiración son características de tejidos jóvenes, tales como puntos de crecimiento (espárragos), brotes florales parcialmente desarrollados (brócoli, coliflor) y semillas en desarrollo (guisantes) o frutos inmaduros (mazorca tierna).

Bajas tasas son típicas de órganos latentes, tales como raíces (arracacha, zanahoria), tubérculos (papa), bulbos (cebollas) y frutas maduras (calabaza). Tasas intermedias se presentan en la mayor parte de las hortalizas foliares, aunque algunas presentan tasas de respiración elevadas (espinaca) y otras bajas (repollo). La respiración puede variar incluso dentro de un mismo órgano; por ejemplo, en el mango la actividad respiratoria es diferente en la corteza, la pulpa y la semilla.



Factores Externos

Sobre estos factores podemos ejercer una influencia directa, ya que tienen que ver fundamentalmente con operaciones de manejo y conservación. Ellos son:

a. Integridad del producto

Dependiendo de la variedad de los frutos y de la severidad de las lesiones ocasionadas durante su manejo, estos pueden incrementar su actividad respiratoria, debido probablemente a un efecto indirecto del etileno. Aún una ligera caída o rayadura en la superficie del fruto ocasiona un aumento en la respiración.

b. Reguladores del crecimiento

Algunos reguladores del crecimiento como: la HM, el éster metílico del ANA, el isopropil carbamato n-fenil (IFC), pueden acelerar ó inhibir la respiración. Los efectos varían en los diferentes productos y dependen de la época de aplicación y de la cantidad que absorba la planta.

c. Acción y concentración de etileno

La aplicación de etileno (C_2H_4) afecta de manera significativa la escala de tiempo requerida para llegar al pico climatérico. En las frutas no climatéricas puede haber un estímulo en la respiración en cualquier momento de la vida del fruto cosechado, presentándose un incremento en la respiración después de la aplicación del etileno. En las frutas climatéricas, actúa solo para desviar el eje del tiempo no alterando la forma de la curva respiratoria ni ocasionando cambio alguno en los constituyentes principales.

Entre mayor sea la concentración del etileno hasta llegar al nivel crítico, más rápido es el estímulo de la respiración. Sin embargo, el etileno es más efectivo cuando se aplica durante las etapas pre-climatéricas y a temperaturas elevadas. La aplicación del etileno en las etapas post-climatéricas no afecta la respiración de los frutos inmaduros.

d. Concentración de Oxígeno disponible

En términos generales, el efecto de la concentración de oxígeno sobre la intensidad respiratoria de productos agrícolas puede resumirse de la siguiente manera:

Concentraciones de oxígeno inferiores a la concentración normal del aire (21%) provocan una reducción en la intensidad respiratoria, retraso de la maduración y aumento en la vida comercial del producto. Concentraciones de oxígeno superiores a la normal del aire, pueden o no incrementar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración.

Concentraciones de oxígeno inferiores al 2% provocan un incremento en la producción de Dioxido de Carbono, generando sabores y olores anormales como consecuencia de



procesos fermentativos (respiración anaeróbica). Por esta razón, no es aconsejable el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de oxígeno inferiores al 2%.

e. Concentración de Dióxido de Carbono (CO₂)

La concentración adecuada de Dióxido de Carbono prolonga la vida en almacenamiento de las frutas y hortalizas debido a inhibición de la respiración. La concentración adecuada depende de la especie y variedad del producto, presentándose efectos adversos fuera de estos valores. Las concentraciones elevadas de CO₂ pueden inducir desordenes fisiológicos en los tejidos de las frutas y hortalizas, como por ejemplo, corazón pardo en manzanas y peras.

f. Temperatura

Dentro de los límites biológicos, la temperatura creciente acelera el ritmo respiratorio, debido a que se produce un natural incremento en la acción catalítica de las enzimas del tejido viviente. Este aumento en la respiración conduce a una mayor producción de calor y éste a su turno eleva aún más la velocidad de respiración, particularmente durante el transporte y el almacenamiento, hasta llegar a los límites máximos tolerados por el producto, produciendo el deterioro y la pérdida de su calidad; es por ello que se debe conocer la fisiología de cada producto, para darle el manejo adecuado en las diferentes actividades post-cosecha y evitar así el deterioro del mismo.

En general, cada producto horto-frutícola tiene específicamente un nivel mínimo y un nivel máximo de temperatura, por debajo y por encima del cual, la calidad comienza a demeritar y a perder valor. Por ejemplo, el aguacate no presenta climaterio por debajo de 5°C ni por encima de 30°C. A temperaturas menores de 5°C su tejido ennegrece y pierde su comestibilidad (daño por frío); por encima de 30°C el producto presenta un ablandamiento anormal. El daño por frío puede presentarse en las más variadas formas según el producto.

El frío debe aplicarse para inhibir la respiración del producto y su consecuente generación de calor, pero debe tenerse cuidado en no aplicar frío por debajo del punto de congelación del agua presente en los tejidos, ya que al ocurrir el cambio de estado, el agua congelada aumenta de volumen (si la congelación es lenta) produciendo la ruptura del tejido.

Calor de Respiración (Q_r)

El conocimiento de la cantidad de calor generado por respiración de los productos horto-frutícolas, bajo condiciones específicas de almacenamiento, es importante para la conservación de los mismos en sistemas refrigerados, ya que esto define las necesidades de enfriamiento y circulación de aire para mantener la temperatura adecuada durante la conservación frigorífica.



El calor producido por respiración se expresa generalmente en BTU por tonelada (2000 Lb.) por día, aunque se puede expresar en cualquier otra unidad de calor. El calor de respiración (BTU/ton-día) se puede obtener directamente de la Intensidad Respiratoria ($\text{mgCO}_2/\text{Kg-hr}$), multiplicando los valores de I.R. por el factor 220. Sin embargo, la producción de calor calculado puede ser mayor que el real si la relación de moles de CO_2 producido a moles de O_2 consumido (C.R.) es mayor que 1 (Haller et al, 1945). Tal error puede ser significativo si las cantidades de ácidos orgánicos respirados son importantes (por ej: ácido cítrico ó málico), o si se presentan procesos de fermentación, lo cual no es normal que ocurra en productos vegetales almacenados adecuadamente. Consecuentemente, el factor 220 puede ser usado para todas las aplicaciones prácticas.

FACTORES QUE AFECTAN EL ALMACENAMIENTO

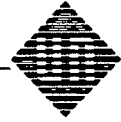
Factores de Prerecolección. Las condiciones climáticas y las condiciones técnicas bajo las cuales se desarrolle el cultivo determinan la calidad de los productos. La incidencia de infección en el período de cosecha determinará la vida de almacén de un producto

Prácticas de cosecha y manejo. Influyen en la calidad y el comportamiento en almacén. Con solo dejar caer los frutos al suelo desde pequeñas alturas, se produce una explosión súbita de producción de CO_2 , que no puede contrarrestarse de inmediato por las temperaturas bajas de almacenamiento. Las magulladuras, picaduras, raspones y otras lesiones mecánicas producen daños mayores, los cuales pueden evitarse efectuando un cuidadoso manejo y un rápido almacenamiento.

Preenfriamiento. Consiste en retirar el calor de campo de los productos antes de realizar el almacenamiento, utilizando cámaras de vacío o fluidos como aire o agua fría. El preenfriamiento permite reducir la carga de refrigeración, aumentando la capacidad del sistema de almacenamiento. Al preenfriar un producto, éste pierde menos peso (se reducen las pérdidas por transpiración) que aquel que no ha sido preenfriado.

Limpieza. Las condiciones antihigiénicas de los cuartos de almacenamiento aumenta las pérdidas debido a que prevalecen organismos que causan pudriciones. Se recomienda desinfectar los cuartos antes de almacenar el producto. La pintura de las paredes con químicos fungicidas y la fumigación son efectivas. Se recomienda desinfectarlos con aspersiones de formol al 2% o de lysol al 5%.

Variación y estado de madurez de la cosecha. El estado de desarrollo del producto tiene una influencia marcada sobre la tasa de respiración, la prolongación de



la vida en almacén y la interconversión de las reservas alimenticias. Los bananos, tomates o mangos cosechados prematuramente no maduran en forma satisfactoria, aunque el almacenamiento sea más prolongado. Análogamente, los productos cosechados en estado de madurez avanzada, tendrán una vida de almacén corta. El efecto neto es una resultante de inter-relaciones entre los casi innumerables factores inherentes al cultivo y a su medio ambiente.

Temperatura de almacenamiento. Es el factor ambiental más importante que afecta la senescencia de frutas y hortalizas, debido a que regula la tasa de todos los procesos fisiológicos y bioquímicos asociados con dicho fenómeno. Los productos hortofrutícolas deben ser almacenados a una temperatura que se encuentre por encima del punto de congelación del agua presente en los tejidos del producto, para evitar así el daño en los tejidos del mismo, el cual se denomina “daño por frío”. El punto de congelación varía dependiendo del tipo de producto, razón por la cual algunos productos son más sensibles al daño por frío que otros. Algunos productos sufren daño por frío cuando las temperaturas se encuentran por debajo de 3°C; otros, como los plátanos y bananos, sufren daño por frío cuando se almacenan a temperaturas inferiores a 13°C. Cada producto presenta una temperatura adecuada, para la cual su calidad se conserva por mayor tiempo, permitiendo tener una vida de almacén más prolongada.

El almacenamiento a bajas temperaturas presenta muchas ventajas: Se reduce la intensidad respiratoria, la producción de etileno, el proceso de maduración y todos los procesos fisiológicos deteriorantes que conducen a la pérdida total de la calidad. Se reduce también el gradiente de la presión de vapor entre el producto y el ambiente circundante (Déficit de Presión de Vapor -DPV-), lo que permite reducir la velocidad de pérdida de humedad por transpiración. A bajas temperaturas se reduce también el ataque de microorganismos y su consecuente deterioro.

Humedad Relativa de almacenamiento. Junto con la temperatura determinan el DPV, el cual es un factor primordial que afecta significativamente las pérdidas de peso debidas a transpiración. Una alta humedad relativa durante el almacenamiento permite reducir la transpiración y la pérdida de agua de los productos. Se ha visto que en algunos productos, una pérdida del 5% del peso es suficiente para producir arrugamiento, lo cual le merma calidad y presentación comercial al producto.

La humedad relativa óptima puede variar desde el 90% hasta el 100% para productos hortofrutícolas. Sin embargo, una alta humedad relativa puede causar condensación, crecimiento de hongos en la superficie, germinación y pérdida total de la calidad de los productos.

Composición de la atmósfera de almacenamiento. La atmósfera normal está compuesta por 79% de nitrógeno (N_2), 21% de oxígeno (O_2), 0.03% de bióxido de carbono (CO_2) y cantidades trazas de otros gases. La vida de los productos hortofrutícolas puede prolongarse en almacenamiento, reduciendo la concentración



de oxígeno, aumentando la concentración de CO_2 o combinando ambas situaciones. El proceso de regulación de los componentes gaseosos del aire en almacenamiento es conocido como “almacenamiento en atmósfera controlada” (AC) o “almacenamiento en atmósfera modifica” (AM), los cuales serán tratados posteriormente..

Otro componente gaseoso que influye en la calidad de los productos almacenados es el etileno. Este gas es una hormona producida en forma natural por muchos productos y se encuentra en el aire contaminado; algunos productos son muy sensibles al etileno, sufriendo daño por concentraciones tan bajas como 1 ppm.

Para el almacenamiento de diferentes productos en un mismo local, se debe tener en cuenta la compatibilidad de los mismos, no solo por su tolerancia al etileno, sino por su capacidad de absorber olores que pueden dar sabor desagradable a los productos y por su semejanza a las temperaturas adecuadas de almacenamiento. En muchas ocasiones, las mejores condiciones de almacenamiento no se utilizan debido a razones económicas o a dificultades técnicas. Cuando un producto debe ser almacenado por un período corto, generalmente las condiciones de almacenamiento difieren de las óptimas; por esta razón, es indispensable el conocimiento de los productos en cuanto a su comportamiento fisiológico bajo diferentes condiciones tecnológicas de manejo, así como el conocimiento de los mercados locales e internacionales, los cuales se constituyen en elementos necesarios para una operación exitosa de almacenamiento.

CAMBIOS QUÍMICOS OCURRIDOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO (1)

Carbohidratos. Durante y después de la maduración predomina la reducción de azúcares. La reducción de azúcares consiste en la transformación de estos en compuestos de menor nivel de energía, como acetonas, ácidos, aldehídos y alcoholes, como resultado de reacciones bioquímicas que tienen como objetivo la síntesis de compuestos para el normal desarrollo del fruto. La reducción de azúcares siempre implica una extracción de energía de éstos, que puede ser utilizada para formación de otros compuestos o disipada en forma de calor como en los procesos de respiración y fermentación. La reducción de azúcares generalmente se incrementa durante el almacenamiento de los frutos, tanto climatéricos como no climatéricos.

En los frutos cítricos, el contenido de azúcar puede mostrar un incremento inicial durante el almacenamiento, como resultado del metabolismo de los polisacáridos de la pared celular. En las frutas climatéricas, aunque no existe un patrón definido, se observa en general unas concentraciones aproximadamente iguales de glucosa, fructosa y sucrosa, que decrecen cuando el almacenamiento es prolongado, como consecuencia de su reducción.



En conclusión, los azúcares son la principal fuente de energía y los cambios que ocurren en los productos hortofrutícolas dependen de los requerimientos de energía y de los productos biosintetizados, lo cual varía ampliamente de acuerdo a la especie.

Ácidos orgánicos. Generalmente el porcentaje de ácido del jugo de una fruta, disminuye a medida que ésta madura en almacenamiento; sin embargo, no necesariamente indica que la cantidad de ácido ha disminuido debido a que puede ocurrir que la cantidad absoluta de ácido permanezca constante o que aumente ligeramente. La concentración o porcentaje de ácido presente en el fruto disminuye debido a que la cantidad de jugo aumenta durante la maduración. Los cambios de acidez pueden variar de acuerdo a la madurez y a la temperatura de almacenamiento. En general, la disminución en el contenido de ácido ascórbico es más rápida a temperaturas de almacenamiento más elevadas.

Los ácidos juegan un papel particularmente importante en el proceso de la respiración; las células de las frutas están capacitadas para usar los ácidos orgánicos como sustrato respiratorio, obteniéndose valores elevados del "Cociente Respiratorio" (CR). El CR se define como el cociente entre el CO_2 generado y el oxígeno consumido por el producto en el proceso de la respiración. El CR se aproxima a 1 cuando el sustrato empleado en la respiración es azúcar; CR se aproxima a 1.33 cuando el ácido málico o cítrico es completamente oxidado y cercano a 1.66 para la oxidación del ácido tartárico. En condiciones anaeróbicas se observan valores de CR mucho más grandes, presentándose acumulación de etanol.

Como conclusión general, se puede decir que la concentración de ácidos disminuye a medida que avanza el período de almacenamiento y consecuentemente la maduración, debido principalmente a que estos son consumidos en las funciones metabólicas.

Pigmentos. En términos generales se observa que cuando las frutas están en desarrollo y aún no han alcanzado su madurez degustativa, presentan una coloración predominantemente verde; a medida que la madurez avanza, la coloración verde va desapareciendo y el fruto va cambiando gradualmente su color hasta obtener la coloración característica de la madurez de consumo, que puede ser roja, café, amarilla, etc. dependiendo del tipo de fruto.

Durante la maduración de las frutas, se decolora la clorofila que es la que da el color verde; esta decoloración permite que aparezcan otros colores debidos a otros pigmentos. Cuando se realiza una maduración artificial de los frutos cítricos, generando etileno por cualquier medio, no se añade color al fruto sino que se obliga a la desaparición del color verde de la clorofila, haciendo más evidente el color amarillo o el naranja de otros pigmentos antes enmascarados por la clorofila. La condición indispensable es que la fruta esté lo suficientemente madura para garantizar que los pigmentos amarillos y naranja ya estén sintetizados. La síntesis activa de carotenoides puede empezar antes que desaparezca la clorofila, como en los frutos cítricos, e



inclusiva esta síntesis puede suspenderse antes de que la clorofila desaparezca; a esto se debe que se pueda cambiar fácilmente el color de las naranjas. Parece que la mayoría de las frutas son autónomas desde el punto de vista de síntesis de carotenoides, es decir, que esta se produce de acuerdo a un patrón preestablecido que puede variar muy poco por la acción de factores ambientales externos, como las condiciones de almacenamiento.

En términos generales, durante la maduración, el proceso dominante en cuanto a pigmentos, es la síntesis de carotenoides, la formación de cromoplastos a partir de cloroplastos u otros orgánulos y la desaparición de la clorofila.

Sustancias pécticas. La vida fisiológica de las frutas durante el almacenamiento está acompañada por cambios en el contenido y estructura de las pectinas. Estos cambios pueden ser de naturaleza química o enzimática.

Aunque para cada fruta se dan procesos particulares diferentes, se puede resumir la transformación de las pectinas durante el almacenamiento de la siguiente manera: Cuando se ha alcanzado la madurez botánica y el fruto está completamente formado, éste empieza a perder firmeza, debido a que las pectinas totales pueden disminuir o pueden disolverse de la pared celular y entrar en solución al agua del jugo; el resultado es una pérdida gradual de la firmeza del fruto, lo cual permite establecer que existe una relación directa entre las pectinas y la firmeza.

En los frutos cítricos, el contenido de pectinas es mayor que en las otras frutas y además sufren pocos cambios durante la maduración; esto determina que los frutos cítricos tengan una resistencia mecánica mayor que otros frutos, lo cual permite realizar un manejo un poco más severo. En términos generales, si no se registra maduración durante el período de almacenamiento, los cambios en las sustancias pécticas son mínimos.

Sustancias volátiles. Debido a la gran variedad de sustancias volátiles en las frutas, el estudio de sus características, biosíntesis y cambios con la maduración se hace discriminando los volátiles en clases químicas a saber: alcoholes, aldehidos, acetatos, cetonas, ácidos, lactonas, ésteres, fenoles, heterocíclicos, hidrocarburos, terpenos y compuestos sulfurados.

En general se observa que el aroma de las frutas aumenta a medida que la maduración avanza, o sea que durante ella, se incrementa la producción de sustancias volátiles, debido principalmente a que estos son productos o subproductos de las reacciones y ciclos metabólicos característicos de la maduración, como son la reducción de azúcares, la respiración, la degradación de pectinas y otros compuestos. Es importante tener en cuenta que la temperatura y el tratamiento que se le da al producto en el almacén influyen sobre la producción de sustancias volátiles.

Compuestos nitrogenados. Los principales compuestos nitrogenados son los *aminoácidos*; aunque la información disponible es poca, se puede afirmar que en algunas



frutas los aminoácidos se incrementan a medida que avanza la maduración, tales como en las peras, uvas, duraznos y frutas cítricas; en otras frutas, los aminoácidos disminuyen a medida que avanza el proceso de maduración (Nísperos, cerezas). Se observa que no existe un patrón general en el comportamiento de los aminoácidos durante el periodo de almacenamiento (maduración).

Otros compuestos nitrogenados presentes en las frutas son las *proteínas*; aunque estas presentan concentraciones muy bajas, tienen gran importancia como componentes de las estructuras citoplasmáticas y nucleares; además complementan a las enzimas que influyen en el metabolismo durante el crecimiento, desarrollo, maduración y vida postcosecha de las frutas. Al parecer las proteínas juegan un papel de catalizadores en el proceso de maduración. La capacidad de sintetizar proteínas permanece en la fruta hasta la senescencia, incrementándose muchas veces hasta la maduración, aún durante el almacenamiento refrigerado

Enzimas. Tales como: catalasa, pectinesterasa, celulasa y amilasa aumentan su actividad durante el almacenamiento; las oxidasas muestran una disminución de su actividad. Las actividades de las enzimas dependen de la temperatura de almacenamiento y el estado de madurez del producto.

TIPOS DE OPERACIONES DE ALMACENAMIENTO

El incremento tan grande que se ha registrado en la producción de frutas y hortalizas debido al cultivo de mayores superficies y al empleo de variedades de alto rendimiento, requiere de espacio suficiente para almacenarlas. Las operaciones de almacenamiento tienen una amplia gama de variaciones, dependiendo de las instalaciones y de la naturaleza, tipo y cantidad de los productos.

Las operaciones de almacenamiento pueden ser temporales, a corto o a largo plazo. Para productos muy perecederos que requieren comercialización inmediata se requiere de almacenamiento temporal; la operación de almacenamiento a mediano plazo (1 a 6 semanas) está encaminada a evitar la saturación de los mercados y a disminuir la pérdida de la calidad de los productos. En el almacenamiento a largo plazo influye el factor económico; los productos se almacenan durante el periodo de producción mas abundante y se comercializan continuamente durante el resto del año.

Se distinguen dos tipos fundamentales de almacenamiento:

* Almacenamiento natural, en el cual se conservan los productos in situ sin ningún tratamiento artificial.



* Almacenamiento artificial, en el cual se busca proporcionar condiciones para prolongar el aprovechamiento del producto.

Almacenamiento Natural

El propósito del almacenamiento natural es dejar que el fruto sazone y madure en la planta por tanto tiempo como sea posible, retrasando la cosecha. Los productos como: papas, ñames, yuca, arracacha y ajos se conservan in situ durante varios meses después de que han llegado a la madurez, retirándolas según las necesidades del agricultor; se recolectan antes de los periodos de lluvia para evitar pudrición y brotado. Por ejemplo, la cosecha de bananos se aplaza, alzando la planta entera con todo y sus frutos maduros y plantándola en un nuevo sitio. Las raíces de la planta se cortan; en consecuencia, consumen menos humedad y nutrientes, que de otra manera acelerarían la maduración y ocasionarían que los frutos se rajaran. Esta operación ayuda a una maduración uniforme de los frutos.

Esta técnica de almacenamiento se utiliza en algunos países con escaso desarrollo tecnológico en cuanto al manejo Postcosecha de productos hortofrutícolas. En Colombia su uso es prácticamente nulo.

Almacenamiento Artificial

En el almacenamiento artificial se utilizan medios mecánicos o estructuras desarrolladas por el hombre. Dentro de los sistemas de almacenamiento artificial se tienen:

Almacenamiento con ventilación

Tipo subterráneo o sótano. Desde épocas remotas la gente utilizó cavernas o almacenes subterráneos para conservar los alimentos. Si una cantidad pequeña de productos hortícolas se mantiene en almacenes subterráneos de tamaño reducido, la baja temperatura en éstos permite que se conserven en buen estado durante periodos prolongados. Si grandes cantidades de producto se colocan en almacenes subterráneos, la temperatura de estos puede incrementarse rápidamente, debido al calor generado por respiración, especialmente si estos no han sido preenfriados. Si no se elimina el calor de campo y el generado por respiración, no se podrá mantener una temperatura fresca adecuada en almacenamiento. Si las condiciones climáticas externas son favorables, la temperatura en el almacenamiento puede reducirse permitiendo la entrada de aire fresco del exterior. Según F.W. Liu (1992), en China un tipo muy común de depósito es el que tiene la forma de matraz erlenmeyer achatado,



los cuales tienen una entrada de alrededor de 50 cm de diámetro, una altura de 180 cm y un fondo de alrededor de 260 cm de diámetro. En China se almacenan cítricos, manzanas y peras en este tipo de estructuras. Un almacén horizontal en forma de túnel tiene aproximadamente 1.5 m de ancho, 1.5 m de altura y de 6 a 10 m de longitud y un conducto de ventilación al final del túnel.

Según Pantastico (1979), en la India se utilizan los sótanos o cavas, que son cuartos subterráneos con techos inclinados y cubiertos con hierba y tierra. Se pueden construir en la ladera de un cerro y estar cubiertas de tierra excepto en un extremo. Las cavas pueden construirse de manera que sean frescas, bastante húmedas y bien ventiladas. Se deben evitar los excesos de calentamiento y enfriado. Las papas, nabos, zanahorias y otras hortalizas de raíz pueden almacenarse en cavas con humedad relativa elevada. Los apios limpios, se prestan para almacenarse en cavas. Las frutas en la India se almacenan en cavas durante periodos cortos mientras adquieren el color de maduración y resisten el transporte.

Almacenamiento sobre tierra (Bodegas)

Este es un tipo común de estructuras construidas sobre la superficie del suelo, siendo muy empleadas en Colombia a nivel de centros de acopio. La naturaleza y el tipo de construcción depende de la región y del producto que se va a almacenar. En las regiones frías se requiere de un aislamiento mayor, mientras que en las áreas cálidas, la ventilación adecuada resulta esencial. Una instalación para papas difiere de una para cebolla o para zanahoria.

En estas instalaciones los productos se manejan fácilmente durante el almacenamiento y remoción del mismo, permitiendo realizar operaciones de acondicionamiento tales como la selección, clasificación y empaque de frutas y verduras.

El mantenimiento de una temperatura baja es la forma más efectiva de conservar la calidad durante el almacenamiento de los productos hortofrutícolas. Por esta razón, una alternativa para almacenar productos hortofrutícolas a bajas temperaturas en Colombia, consiste en utilizar las condiciones climáticas favorables de las zonas de páramo, en las cuales se pueden construir bodegas sencillas que permiten almacenar los productos en estos lugares y disminuir así los costos energéticos.

El beneficio y la importancia de utilizar el frío natural para almacenar frutas y hortalizas no se limita sólo a países en vías de desarrollo. Aún en países tan ricos como Japón, se almacenan grandes volúmenes de cítricos en lugares sencillos que sólo cuentan con ventilación natural, en cavernas rústicas de piedra, en túneles y minas abandonadas y en almacenes construidos a grandes altitudes en el Monte Fuji para aprovechar el frío natural del lugar (F.W. Liu, 1992).

Hay otros tipos de almacenamiento bien conocidos y estudiados, como el Almacenamiento refrigerado, y las Atmósferas controladas, los cuales serán tratados posteriormente.



CAUSAS DE PERDIDA DE CALIDAD EN FRUTAS Y HORTALIZAS

El uso de bajas temperaturas en la conservación de frutas y hortalizas tiene como objetivos no solo disminuir la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas, sino también inhibir el crecimiento y actividad de los microorganismos. En términos generales, a medida que se disminuye la temperatura de almacenamiento de un producto, las reacciones químicas se tornan más lentas y disminuye la acción de las enzimas y de los microorganismos.

La calidad de muchos productos hortofrutícolas es alterada después de la cosecha, presentándose envejecimiento rápido, deshidratación y pérdida de sus características naturales. Si estas alteraciones no son controladas, los productos pueden llegar a una deterioración total.

Los principales factores que causan el deterioro de los productos perecederos como las frutas y hortalizas son:

- * Procesos físicos
- * Procesos químicos y bioquímicos
- * Acción de los microorganismos.

1. Procesos físicos

El agua es uno de los mayores componentes de las frutas y hortalizas, siendo el principal causante de la rápida deterioración y pérdida de la calidad de los mismos. Las pérdidas de humedad por evaporación y transpiración tienen como consecuencia no solo la pérdida de peso - con las consecuentes pérdidas económicas -, sino que también producen marchitamiento y arrugamiento de la superficie, perdiendo apariencia y presentación, lo que ocasiona rechazo de estos productos por parte del consumidor y la consecuente disminución de su valor comercial.

2. Procesos químicos y bioquímicos

La acción del aire genera cambios de carácter químico en los alimentos. Debido al oxígeno del aire se producen oxidaciones que causan cambios en el color y sabor de las frutas y hortalizas, con pérdida de su valor nutricional.

Después de la cosecha ocurren diversas reacciones químicas y enzimáticas, que al comienzo del proceso son necesarias para contribuir al mejoramiento de la textura y al desarrollo de los aromas y otros componentes que se forman en el proceso de la maduración. No obstante, si el proceso de maduración no es controlado se comenzarán



a presentar cambios indeseables, que llevarán a la completa descomposición y pérdida de la calidad de los productos.

3. Acción de los microorganismos.

Las bacterias, levaduras y hongos son microorganismos que causan deterioro en las frutas y hortalizas, si estas no se manipulan y almacenan adecuadamente. Ver figuras 1.2 a 1.5

Los microorganismos presentes en los alimentos tienen una temperatura óptima y otra mínima, por debajo de la cual no pueden multiplicarse. Cuando las condiciones del medio no les son favorables, las bacterias pueden formar “esporas”, que son formas más resistentes que las vegetativas. Las esporas permanecen en estado de latencia hasta que las condiciones del medio sean adecuadas para su desarrollo.

Las condiciones del medio que pueden favorecer o no el desarrollo de los microorganismos, son las siguientes:

* Humedad (HR)

La Humedad Relativa alta favorece la acción de los microorganismos, especialmente cuando los productos son almacenados a altas temperaturas. Así por ejemplo, las bacterias se reproducen lentamente en HR cercanas al 75%, pero las pérdidas de peso de los productos son inevitablemente altas; análogamente, para HR mayores al 90% se presentan pequeñas pérdidas de peso, pero la actividad de los microorganismos se mantiene dentro de un límite aceptable si la temperatura es reducida a valores cercanos a 0°C.

* Temperatura

De acuerdo a su tolerancia a la temperatura, los microorganismos se clasifican en tres grupos:

- Psicrófitos : se desarrollan en una faja de temperatura entre 0°C y 20°C.
- Mesófilos : Se desarrollan entre 25°C y 45°C.
- Termófilos : Se desarrollan en temperaturas superiores a 45°C.

* Oxígeno

De acuerdo a su tolerancia al oxígeno, los microorganismos se clasifican en:

- Aeróbicos : son aquellos que no pueden vivir si no están en contacto con el oxígeno del aire.
- Anaeróbicos : son aquellos que no requieren oxígeno para sobrevivir.
- Anaeróbicos facultativos : son los que pueden vivir tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas.



Figura 1.2. Podredumbre apical en pera

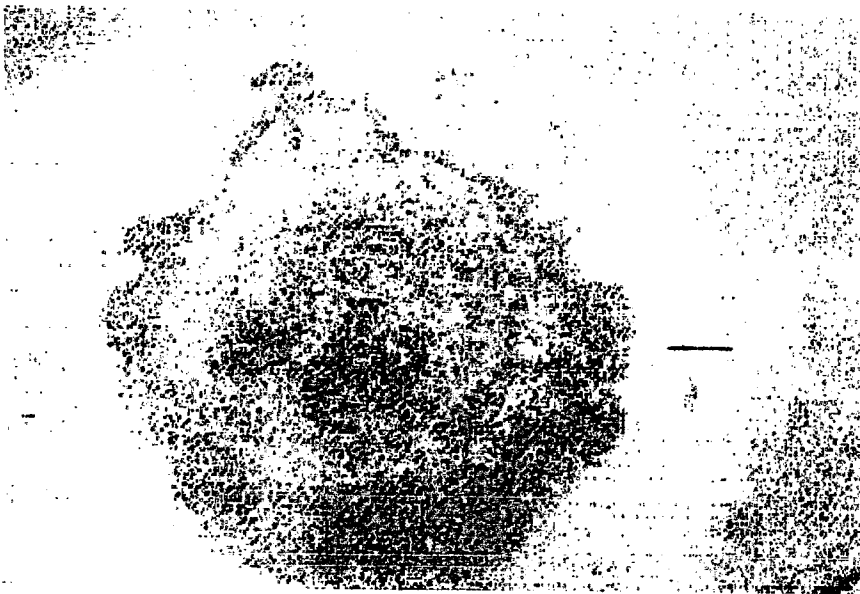


Figura 1.3. Podredumbre apical en patilla

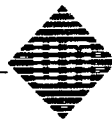


Figura 1.4. Ataque de hongos en papaya melona



Figura 1.5. Daño causado por hongos en la corona de una mano de banano



* Medio Nutritivo

Para que haya crecimiento microbiano, el medio debe ser favorable. Debe contener carbono, nitrógeno, minerales y todos los nutrientes necesarios para sobrevivir, los cuales son proporcionados por los tejidos de los productos hortofrutícolas.

Los microorganismos resisten de forma variable la acción del frío. A medida que la temperatura de almacenamiento baja a partir de la temperatura óptima para su desarrollo, la vida de estos microorganismos se torna más difícil; el frío va paralizándolos sus actividades, hasta que llega un momento en que estas cesan por completo.

Las esporas resisten más el frío que las mismas células vegetativas; es decir, no es posible lograr la esterilización a través de bajas temperaturas. Desde este punto de vista se percibe la necesidad de que la refrigeración se implemente en todas las etapas que abarcan desde la cosecha hasta el consumo de los productos hortofrutícolas. La organización técnica y económica que realiza esta labor es la llamada "*Cadena de Frío*", la cual comprende :

- El Preenfriamiento realizado en campo
- Los medios de transporte refrigerado
- Las instalaciones frigoríficas de almacenamiento
- Los cuartos refrigerados en los supermercados y restaurantes
- Las neveras y congeladores domésticos

Aplicando correctamente la refrigeración en todas las etapas de la "*Cadena de Frío*", es posible reducir las pérdidas de los productos hortofrutícolas, que para algunos productos puede llegar a ser del orden del 80% en Colombia, como consecuencia de actividades deficientes de manejo Postcosecha.

De esta manera, la refrigeración puede considerarse como una actividad que posibilita hacer un mayor uso de la producción hortofrutícola, contribuyendo significativamente a la solución de uno de los problemas actuales más graves a nivel mundial, como es la escasez de alimentos, que no permite una alimentación adecuada, incentivando la sobreexplotación de los recursos naturales y su consecuente degradación ambiental.



ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS ESPECÍFICOS

Los requerimientos de condiciones de almacenamiento difieren mucho entre las diferentes frutas y hortalizas, e inclusive pueden variar en el mismo producto dependiendo de su grado de madurez. Las temperaturas inferiores a la óptima producen daño por frío, en especial en las frutas y hortalizas tropicales. Las temperaturas superiores a la óptima originan una mayor actividad metabólica de los productos, reduciendo la calidad de los mismos. Las variaciones en las condiciones de almacenamiento pueden causar condensación o pérdida de humedad en la superficie de los productos, originando el ataque de microorganismos o deshidratación, lo cual conducirá a la pérdida total de la calidad.

Los factores que afectan la calidad de los productos en almacenamiento y las condiciones específicas asociadas con productos individuales, han sido estudiadas de manera crítica. Las tablas 1.1 y 1.2 presentan las características y condiciones recomendadas para el almacenamiento de frutas y hortalizas, tales como temperatura, humedad relativa de almacenamiento, producción de etileno, susceptibilidad al etileno y vida de almacén esperada.

En términos generales puede afirmarse lo siguiente:

- Las temperaturas óptimas para una maduración pareja y el desarrollo de buen sabor, gusto excelente y color atractivo de la corteza, en la mayoría de las frutas se encuentra en el rango de 15°C a 25.
- Las hortalizas foliares se almacenan mejor a temperaturas de 0°C y HR entre 90% y 95%. Las temperaturas superiores a 1.7°C, por lo general, acortan la vida de almacén esperada.
- El etileno es perjudicial para las hortalizas foliares, produciendo desordenes durante el almacenamiento; por esta razón, no se deben almacenar hortalizas foliares junto con frutas en maduración.
- Las hortalizas de fruto, tales como los pepinos, pimentones, calabazas, ahuyamas y tomates son sensibles a las temperaturas bajas, debiéndose almacenar a temperaturas que oscilan entre 4.4°C y 10°C.
- Las hortalizas subterráneas, tales como raíces, bulbos y tubérculos pueden almacenarse a temperaturas que oscilan entre 0 °C y 13°C.



TABLA 1.1. CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES RECOMENDADAS PARA EL ALMACENAMIENTO DE FRUTAS

| Fruta | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|-------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Aceituna fresca | 5-10 | 85-90 | B | M | 4-6 |
| Acerola | 0 | 85-90 | A | A | 6-8 |
| Aguacates | | | | | |
| Fuerte, Hass | 3-7 | 85-90 | A | A | 2-4 |
| Fuchs, Pollock | 13 | 85-90 | A | A | 2 |
| Lula, Booth-1 | 4 | 90-95 | A | A | 4-8 |
| Anón | 7 | 85-90 | A | A | 4 |
| Albaricoque | -0.5-0 | 90-95 | M | A | 1-3 |
| Arándano (Blueberries) | -0.5-0 | 90-95 | B | B | 1-3 |
| Banano o plátano verde | 13-15 | 90-95 | B | A | 1-5 |
| Banano o plátano maduro | 13-15 | 90-95 | M | A | 1-4 |
| Caimito | 3 | 90 | | | 3 |
| Carambolo | 9-10 | 85-90 | | | 3-4 |
| Cerezas | -1-0 | 90-95 | | | 2-3 |
| Chayote | 7 | 85-90 | | | 4-6 |
| Chirimoya | 13 | 90-95 | A | A | 2-4 |
| Ciruelas | 0-1.7 | 85-95 | M | A | 2-5 |
| Cítricos | | | | | |
| Limón Tahiti | 9-10 | 85-90 | | | 6-8 |
| Limón común | 10-13 | 85-90 | | | 4-24 |
| Mandarina | 4-7 | 85-95 | MB | M | 2-4 |
| Naranja común | 0-4 | 85-90 | B | M | 8-12 |
| Naranja Tangelo | 7-10 | 85-95 | | | 2-4 |
| Naranja Valencia | 4-6 | 85-90 | B | M | 5-6 |
| Pomelo | 7-9 | 85-90 | | | 12 |
| Toronja | 6-15 | 85-90 | MB | M | 6-12 |



TABLA 1.1. CONTINUACION

| Fruta | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|--|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Coco | 0-2 | 80-85 | | | 4-8 |
| Datíl | -18-0 | 75 | MB | B | 24-48 |
| Durazno o melocotón | -0.5-0 | 90-95 | A | A | 2-4 |
| Feijoa | 5-10 | 90 | M | B | 2-3 |
| Frambuesa | -0.5-0 | 90-95 | B | B | 3-6 días |
| Fresa | 0 | 90-95 | B | B | 7-10 días |
| Fruta del pan | 13-15 | 85-90 | | | 2-6 |
| Granada | 0-5 | 85-95 | | | 8-12 |
| Grosella | -0.5-0 | 90-95 | B | B | 1-4 |
| Guanábana | 13 | 85-90 | | | 1-2 |
| Guayaba | 5-10 | 90 | B | M | 2-3 |
| Higo | -0.5-0 | 85-90 | M | B | 7-10 días |
| Kiwi | 0 | 90-95 | | | 2-4 |
| Litchi | 1-2 | 90-95 | M | M | 3-5 |
| Mango | 13 | 85-90 | M | M | 2-3 |
| Mangostán | 13 | 85-90 | M | A | 2-4 |
| Manzanas | | | | | |
| -Yellow Newton, Grimes Golden y McIntosh | 4 | 90-95 | VA | A | 4-8 |
| -Otras variedades | -1.1 | 90-95 | VA | A | 12-24 |
| Marañón | 0-2 | 85-90 | | | 5 |
| Melones | | | | | |
| Amargo | 10-12 | 85-90 | B | M | 2-3 |
| Cantalúp | 2-5 | 95 | H | M | 2-3 |
| Casaba | 7-10 | 85-90 | B | B | 3-4 |
| Crenshaw | 7-10 | 85-90 | M | A | 2-3 |
| Honeydew | 5-10 | 85-90 | M | A | 3-4 |
| Membrillo | -0.5-0 | 90 | B | A | 8-12 |



TABLA 1.1. CONTINUACION

| Fruta | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|--|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Mora | -0.5-0 | 90-95 | B | B | 3-6 días |
| Níspero | 15-20 | 85-90 | A | A | 2 |
| Papaya | 7-13 | 85-90 | | | 1-3 |
| Pasifloras (Granadilla, Maracuyá, Curuba) | 10 | 85-90 | VA | M | 3-4 |
| Peras | | | | | |
| Triunfo de Viena | -1-3 | 90-95 | A | A | 8-28 |
| Asiatica | 1 | 90-95 | A | A | 16-24 |
| Perilla | 10 | 95 | MB | M | 7 días |
| Piña | 7-13 | 85-90 | B | B | 2-4 |
| Sandía | 10-15 | 90 | MB | A | 2-3 |
| Sapotes | 5-10 | 90-95 | B | A | 4-12 |
| Tomate de árbol | 3-4 | 85-95 | B | M | 10 |
| Tamarindo | 2-7 | 90-95 | MB | MB | 3-4 |
| Uva americana | -1-0 | 90-95 | MB | B | 4-24 |
| Uva de vino | -0.5-0 | 90-95 | MB | B | 2-8 |

Fuente : INTERNET. http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/span_a.html

***Tasa de Producción de etileno:**

MB = muy baja (<0.1 $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$ a 20°C)

B = baja (0.1-1.0 $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$)

M = moderada (1.0-10.0 $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$)

A = alta (10-100 $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$)

VA = muy alta (>100 $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$)

****Susceptibilidad al daño por etileno (amarillamiento de hojas, ablandamiento, aumento en pudriciones, pérdida de hojas, pardeamiento)**

B = poco susceptible

M = moderadamente susceptible

A = altamente susceptible



TABLA 1.2. CARACTERISTICAS Y CONDICIONES RECOMENDADAS PARA EL ALMACENAMIENTO DE HORTALIZAS

| Hortaliza | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|-------------------|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Acelga | 0 | 95-100 | MB | A | 1-2 |
| Ahuyama o Zapallo | 12-15 | 50-70 | B | M | 8-12 |
| Ají picante | 5-10 | 85-95 | B | M | 2-3 |
| Ajo | 0 | 65-70 | MB | B | 24-36 |
| Albahaca | 10 | 90 | MB | A | 7 días |
| Alcachofa | 0 | 95-100 | MB | B | 2-3 |
| Amaranto o Bledo | 0-2 | 95-100 | MB | M | 1-2 |
| Apio | 0 | 95-100 | MB | M | 4-8 |
| Arveja | 0-1 | 90-95 | MB | M | 1-2 |
| Berenjena | 8-12 | 90-95 | B | M | 1-2 |
| Berro | 0 | 95-100 | MB | A | 2-3 |
| Brocoli | 0 | 95-100 | MB | A | 1-2 |
| Calabacita | 7-10 | 95 | B | M | 1-2 |
| Carnote o Batata | 13-15 | 85-95 | MB | B | 16-28 |
| Cebollas | | | | | |
| Bulbo blanca | 1.1 | 65-70 | MB | B | 16-32 |
| Bulbo roja | 0 | 65-70 | MB | B | 16-32 |
| Junca | 0 | 90-100 | B | A | 3 |
| Champiñones | 0 | 90 | MB | M | 1-2 |
| Cilantro | 0-2 | 95-100 | MB | A | 2 |
| Coliflor | 0 | 95-98 | MB | A | 3-4 |
| Colinabo | 0 | 98-100 | MB | B | 8-12 |
| Espárragos | 2.5 | 95-100 | MB | A | 2-3 |
| Espinacas | 0 | 95-100 | MB | A | 1-2 |
| Frijol Lima | 5-6 | 95 | B | M | 5-7 días |



TABLA 1.2. CONTINUACION

| Hortaliza | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|--------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Guisantes | 0 | 95-98 | MB | M | 1-2 |
| Habas | 0 | 90-95 | | | 1-2 |
| Habichuela | 4-7 | 95 | B | M | 1 |
| Hierba buena- Yerbabuena | 0 | 90-95 | | | 1-2 |
| Hinojo o Anís | 0-2 | 90-95 | A | | 2-3 |
| Lechuga | 0 | 98-100 | MB | A | 2-3 |
| Malanga | 7 | 70-80 | MB | B | 12 |
| Mazorca (Maíz dulce) | 0 | 95-98 | MB | B | 5-8 días |
| Nabo | 0 | 95 | MB | B | 16-20 |
| Ñame | 15 | 70-80 | MB | B | 8-28 |
| Ocra | 7-10 | 90-95 | B | M | 7-10 días |
| Orégano | 0-5 | 90-95 | B | M | 1-2 |
| Papa | 4-12 | 90-95 | MB | M | 20-40 |
| Pepino Cocombro | 10-12 | 85-90 | B | A | 1-2 |
| Perejil | 0 | 95-100 | MB | A | 4-8 |
| Pimentón | 7-10 | 95 | B | B | 2-3 |
| Puerro | 0 | 95-100 | MB | M | 8 |
| Rábano | 0 | 95-100 | MB | B | 4-8 |
| Repollo (Col) | | | | | |
| Repollo Chino | 0 | 95-100 | MB | A | 8-12 |
| Repollo de Bruselas | 0 | 95-100 | MB | A | 3-5 |
| Repollo Tardío | 0 | 95-100 | MB | A | 20-24 |
| Repollo Tempranero | 0 | 98-100 | MB | A | 3-6 |
| Repollo Rizado | 0 | 95-100 | MB | A | 1-2 |


TABLA 1.2. CONTINUACION

| Hortaliza | Temp °C | Humedad Relativa % | Producción de etileno* | Susceptibi lidad a etileno** | Vida de almacén semanas |
|---------------------|------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Ruibarbo | 0 | 95-100 | MB | B | 2-4 |
| Tomates | | | | | |
| Maduro | 8-10 | 85-90 | A | B | 1 |
| Verde- maduro | 10-13 | 90-95 | MB | A | 1-3 |
| Verde | 7-13 | 85-90 | MB | M | 3 |
| Tomillo | 0 | 90-95 | | | 2-3 |
| Yuca | 0-5 | 85-90 | MB | B | 4-8 |
| Zanahoria sin hojas | 0 | 98-100 | MB | A | 24-32 |
| Zanahoria, manojos | | | MB | A | 1-2 |

Fuente : INTERNET. http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/span_a.html

***Tasa de Producción de etileno:**

MB = muy baja (<0.1 $\mu\text{L}/\text{Kg-h}$ a 20°C)

B = baja (0.1-1.0 $\mu\text{L}/\text{Kg-h}$)

M = moderada (1.0-10.0 $\mu\text{L}/\text{Kg-h}$)

A = alta (10-100 $\mu\text{L}/\text{Kg-h}$)

VA = muy alta (>100 $\mu\text{L}/\text{Kg-h}$)

****Susceptibilidad al daño por etileno (amarillamiento de hojas, ablandamiento, aumento en pudriciones, pérdida de hojas, pardeamiento)**

B = poco susceptible

M = moderadamente susceptible

A = altamente susceptible



DAÑO POR FRÍO

El daño por frío, causado por almacenamiento a temperaturas bajas, es el principal problema en el manejo de frutas y hortalizas, debido a que impide el almacenamiento de muchos productos a temperaturas que de otra manera, prolongarían su vida considerablemente. Este daño es diferente al que resulta de las "heladas" o temperaturas inferiores a 0°C; se presenta a temperaturas bajas, pero muy superiores al punto de congelación del agua presente en los tejidos.

El daño por frío puede ser responsable de grandes pérdidas económicas, especialmente durante el almacenamiento y transporte. El problema se vuelve particularmente grave en las cargas mixtas que requieren diferentes temperaturas para su almacenamiento. Muchos productos de origen tropical como aguacates, bananos, plátanos mangos y tomates son susceptibles al daño por frío. Ver figura 1.6.

Según Colinas León M.T. (1992), el daño por frío genera diversas alteraciones funcionales, las cuales según el producto y la severidad del daño se pueden ver reflejadas en:

- a) Decoloración interna y superficial, presencia de áreas café endógenas, falta de sabor, áreas de la pulpa saturadas de agua, picaduras, descomposición o deterioro acelerado (Ej. : cítricos, piña, papaya, aguacate, banano)
- b) Maduración desuniforme o ausencia de maduración. (Ej. : tomate, aguacate, papaya).
- c) Incidencia de patógenos y desarrollo de enfermedades (Ej. : en tomates aumenta la susceptibilidad a pudrición por *alternaria*).

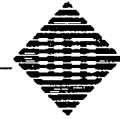
En algunos casos los síntomas de daño por frío se pueden observar mientras el producto esté almacenado a baja temperatura, pero en algunos otros aparecerán solo cuando el producto sea transferido a una temperatura más alta.

Principales factores que influyen en el daño por frío

Los factores más importantes que influyen en el daño por frío de los productos hortofrutícolas son el grado de madurez, la temperatura y duración del almacenamiento.

Los diferentes tipos de frutos presentan cambios en su sensibilidad al frío según la etapa de madurez en que se encuentren, sean o no climatéricos. Se ha observado que en banano, plátano, toronja y papaya, los frutos verdes, en sus primeras etapas de maduración, son más susceptibles al daño por frío. Al ir avanzando en su proceso de maduración, la susceptibilidad al daño por frío disminuye.

Los aguacates son más sensibles al frío durante el ascenso climatérico y durante el climaterio y menos sensibles en los periodos pre y postclimatéricos. Las manzanas desarrollan áreas café endógenas si se someten al frío cuando están inmaduras.



La temperatura y duración del almacenamiento son factores que interactúan fuertemente para determinar la presencia del daño por frío. Se ha observado que plátano verde almacenado a temperaturas de -1 a 7°C por unas pocas horas, puede hacer que el fruto pierda completamente su calidad. En otros casos se ha observado que el plátano puede soportar de 10 a 11°C por dos semanas e inclusive puede presentar daño por frío almacenado a 13°C .

La variedad y complejidad de los síntomas observados sugieren que el daño por frío es el resultado de alteraciones muy diversas, que tienen que ver con gran variedad de factores que incluyen la variedad genética, los factores de cultivo, época de cosecha y manejo postcosecha.

Desde el punto de vista del manejo postcosecha, se debe determinar la temperatura crítica para cada producto y no exponerlo a temperaturas por debajo de este valor. La tabla 1.3 presenta las temperaturas críticas para algunos productos.

En cuanto al etileno en relación al daño por frío, los productos parecen responder de manera diferente según el estado de madurez en el que se encuentren, pero en general, la presencia de etileno tiende a aumentar la susceptibilidad a las bajas temperaturas.

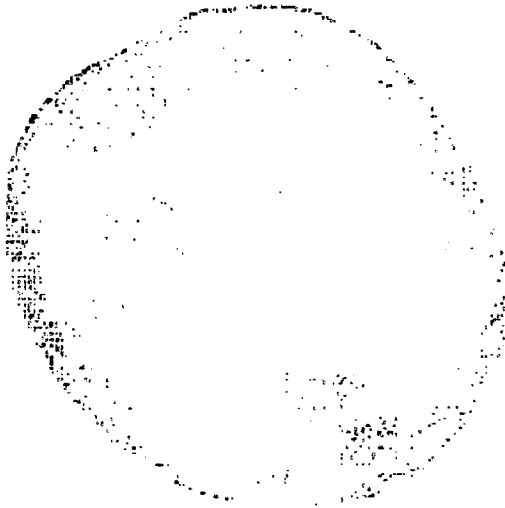


Figura 1.6. Daño por frío en tomate

**TABLA 1.3. SINTOMAS DE DAÑO POR FRÍO PARA ALGUNAS FRUTAS Y HORTALIZAS**

| Frutas y Hortalizas | Temperatura en que se inicia el daño por frío (°C) | Síntomas |
|---|--|--|
| Aguacate Indias Occidentales Otras variedades | 10-0 a 11.1 4.4 a 6.1 | Cavidades, oscurecimiento de la pulpa, no se suaviza cuando se transfiere a temp. superior, mal sabor, filamentos vasculares de aspecto pardusco |
| Banano | 12.8 | Listas subepidérmicas de color pardo, látex claro, pérdida de sabor, retardación de la madurez, endurecimiento de la placenta central, manchas de color caqui en la corteza, manchas acuosas verde oscuro en la corteza, frutos quebradizos. |
| Limón | 10.0 a 11.7 | Cavidades en el flavedo, pérdida lenta del color verde, cavidades pardo-rojizas (mancha roja), las membranas o paredes carpelares situadas entre los segmentos se vuelven de color pardo. |
| Mango | 4.4 | Sin sabor dulce, corteza sin brillo, madurez impropia, manchas pardas |
| Papaya | 6.1 | Maduración inadecuada, formación de cavidades en la corteza, la pulpa se vuelve acuosa. |
| Papa | 0.0 | Sabor dulce perjudicial, se oscurecen al cocinarlas. |
| Pepino cohombro | 4.4 a 6.1 | Áreas acuosas de color oscuro, susceptibilidad a la infección por mohos. |
| Piña | 6.1 | Maduración inadecuada, color pardo o mate de la corteza, pulpa acuosa, la corona se marchita o se arranca con facilidad, la pulpa no toma buen sabor. |
| Tomate | 7.2 | Maduración incompleta, susceptibilidad a pudrición por alternaria, se forman vejigas blancas en la corteza de los tomates verdes, en especial cerca del extremo de la flor. |

Fuente : Pantastico, ER. B. "Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales", Compañía Editorial Continental, S. A. , México, 1979.



EFFECTOS DEL ETILENO EN EL ALMACENAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

El etileno puede tener efectos muy marcados, tanto positivos como negativos, sobre los productos hortofrutícolas almacenados. Aunque el etileno puede ser necesario para que ciertas frutas maduren adecuadamente después de su almacenamiento, casi siempre se busca minimizar la exposición al etileno de los productos almacenados.

El etileno (C_2H_4) es un gas incoloro, de olor ligeramente dulce, producido en forma natural por algunas frutas al empezar a madurar o envejecer. En un rango de concentración de 3 a 32% en el aire el etileno es flamable y explosivo.

Las fugas de gas natural, los gases desprendidos por máquinas de combustión interna, el quemado de materia orgánica, la vegetación en descomposición, la contaminación del aire y aún los tejidos vegetales en buen estado o los hongos pueden ser fuentes de etileno.

Concentraciones tan bajas como 0.1 ppm son suficientes para iniciar la maduración a temperaturas de 20°C; por lo tanto, es importante mantener la temperatura de almacenamiento baja, no solo para disminuir la tasa de respiración sino también para reducir la síntesis de etileno y los efectos de su exposición.

Según Kader A. (1992), citado por Yahia, el etileno puede producir los siguientes efectos sobre las frutas y hortalizas:

Efectos perjudiciales del etileno

- Maduración acelerada de frutas en almacenamiento y durante su manejo.
 - Reducción en la vida de almacenamiento y/o en la calidad de productos hortofrutícolas frescos, tales como: reblandecimiento, desarrollo de sabores desagradables y generación de desordenes fisiológicos (ej: mancha café en lechuga).
- Decoloración en hortalizas foliares y en algunas frutas como calabazas, ahuyamas, pepinos y tomates.
- Estimulación del brotado en tubérculos.
 - Estimulación del desarrollo de hongos patógenos.

Efectos benéficos del etileno

- Maduración acelerada de frutas, especialmente para mejorar la uniformidad en la maduración y programar los diferentes grados de madurez comercial, como ocurre con el banano.
- Promover el desarrollo uniforme del color en las frutas que cambian del verde al amarillo o rojo durante el proceso de maduración.
- Estimular el ablandamiento uniforme, por ejemplo en peras y plátanos.
- Sustituir el requerimiento de almacenamiento refrigerado en el caso de las peras de invierno.



BIBLIOGRAFÍA

1. THOMPSON, A.K. 1996. "Postharvest Technology of Fruits and Vegetables". Blackwell Science Ltda, U.S.A.
2. BRAVERMAN J.B.S. 1967. "Bioquímica de los alimentos" . Ed. Omega, Barcelona,.
3. BOLLARD, BURROUGHS et al. 1970 ."The biochemistry of fruits and their products". Vol 1 de la serie "Food Science and Technology" of the Academic Press, Ed. Board, New York.
4. FLORES G., A. A. , 1994. "Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas en Venezuela". UNELLEZ, San Carlos, Cojedes, Venezuela.
5. INTERNET. ,1998. " Características y Condiciones Recomendadas Para el Almacenamiento de Frutas y Hortalizas". http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/span_a.html
6. MUÑOZ, D. J. A. , 1983. "Enfriamiento y Almacenamiento al Estado Refrigerado de Frutas y Hortalizas", Instituto del Frio, Madrid.
7. PANTASTICO, ER. B. 1979. "Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales", Compañía Editorial Continental, S. A. , México.
8. PARRA, A. HERNANDEZ, J.E. 2001. "Fisiología Postcosecha de Frutas y Hortalizas", Unidad de Publicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 3ª Edición.
9. RYALL, A. and LIPTON. 1979. "Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables", Wesport, Connecticut, AVI Publishing, Vol 1.
10. YAHIA, E. M. 1992 ."Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas", Ed. Limusa, México.
11. WILLS, R.H.H. et al. , 1981. "Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables". The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.

FUNDAMENTOS DE REFRIGERACION

INTRODUCCION.

La vida de almacén de frutas y hortalizas puede prolongarse mediante diferentes métodos, pero hasta ahora la refrigeración ha demostrado ser el método más eficiente y económico para el almacenamiento durante un tiempo prolongado de estos productos. Los demás métodos utilizados para regular la maduración y la deterioración, en el mejor de los casos, son solo complementarios al almacenamiento refrigerado. En países tropicales como Colombia, el almacenamiento en Atmósfera Controlada (AC), el encerado y el uso de envolturas plásticas no son aconsejables si no se combinan con la refrigeración, ya que el deterioro de los productos se presentará con mayor rapidez debido al rápido ascenso de la temperatura y al incremento de CO_2 .

La temperatura de almacenamiento, además de ser el parámetro de mayor uso en las diferentes aplicaciones comerciales, es también el factor ambiental más importante que afecta la senescencia de frutas y hortalizas, ya que ella regula todos los procesos fisiológicos y bioquímicos asociados con dicho fenómeno durante el periodo de postcosecha.

Uno de los métodos más antiguos de refrigeración y que en algunos lugares aún se sigue utilizando, es el que se basa en la fusión de hielo o nieve, que a la presión de 1 atm, ocurre a una temperatura de 0°C . El hielo o nieve se coloca en el espacio o sobre los objetos que se quieren refrigerar o enfriar y que tienen una temperatura superior a los 0°C . Según la segunda ley de la termodinámica, el calor fluirá espontáneamente de la región de mayor temperatura (espacio u objetos a refrigerar) hacia la región de menor temperatura (hielo o nieve), de manera que el espacio u objetos son enfriados. Esto ocurre también debido a que el hielo o nieve en esas condiciones de temperatura y presión ambiente, debe pasar al estado líquido y para hacer ese cambio de fase (sólido a líquido), se requiere de una determinada cantidad de calor (calor de fusión = 80 cal/gr) que es suministrada por los alrededores. Otras prácticas muy comunes para obtener refrigeración se basan en el uso del bióxido de carbono (hielo seco) o agua fría, operando bajo principios semejantes a los mencionados para el hielo o nieve.



Los sistemas de refrigeración que actualmente más se utilizan son el sistema de refrigeración por compresión y el sistema de refrigeración por absorción. Estos sistemas se basan en la evaporación o gasificación de un líquido a baja presión. Al igual que un sólido absorbe calor para pasar al estado líquido, un líquido también debe absorber calor para vaporizarse o pasar al estado gaseoso.

ASPECTOS TEORICOS SOBRE REFRIGERACION.

Termodinámicamente, cualquier sistema de refrigeración o enfriamiento es conocido como una máquina térmica invertida o como una máquina frigorífica. Esta se ilustra en la figura 2.4 y se define como un dispositivo que toma calor (Q_b) de una región o fuente a temperatura baja (T_b) para cederlo (Q_a) a una región o sumidero a temperatura alta (T_a), siempre y cuando se realice un trabajo (W) sobre dicha máquina.

En este tipo de máquinas, nos interesa que el calor retirado de la región de temperatura baja (Q_b) sea el máximo y que la cantidad de trabajo suministrado (W) para que lo anterior suceda sea el mínimo. La relación ideal entre estos dos términos nos la da el ciclo de Carnot invertido (Figura 2.5) y se representa mediante lo que se conoce como el coeficiente de realización o coeficiente de funcionamiento (COP), que en forma general se define como la relación entre la energía solicitada (retirar Q_b) y la energía que nos cuesta (W).

Como ya se mencionó, la mayoría de los sistemas de enfriamiento que se utilizan en la actualidad se basan en la evaporación de un líquido a baja presión. Un diagrama del refrigerador más simple de este tipo se presenta en la figura 2.4. Al dejar escapar el líquido refrigerante del recipiente que lo contiene, pasa de una presión alta a la presión atmosférica. A la presión y temperatura ambiente, por características propias del fluido refrigerante, éste no puede existir en estado líquido y forzosamente tiene que pasar al estado gaseoso. El calor requerido para que se de este cambio de fase (calor de vaporización) se toma de los alrededores con que está en contacto el fluido refrigerante (recipiente y medio ambiente) de manera que estos serán enfriados.

Desde luego, trabajar con un sistema abierto donde el refrigerante, que puede ser costoso y tóxico, se pierda al pasar directamente a la atmósfera, no es lo más conveniente; lo normal es trabajar con ciclos de refrigeración. Cualquier ciclo de refrigeración necesita energía para su funcionamiento. Esta energía puede ser suministrada de diversas maneras según el sistema de refrigeración de que se trate. Si es un ciclo de refrigeración por compresión lo normal es suministrar esta energía en forma de trabajo mecánico a través de un compresor, pero si se trata de un sistema de refrigeración por absorción, la energía se suministra en forma de calor. Este calor puede provenir de la quema de algún combustible (gas, diesel, gasolina, carbón, leña), de



alguna reacción química o directamente del sol. Hasta hace algunos años era muy frecuente encontrar refrigeradores por absorción con mezclas de amoníaco-agua-hidrógeno ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) que operaban con gas LP. El utilizar la energía solar como medio de suministrar el calor a un sistema de refrigeración por absorción es algo novedoso que se ha venido dando y desarrollando durante los últimos años y que puede convertirse en una de las aplicaciones más importantes de la energía solar, si es que se logran desarrollar sistemas prácticos, sencillos, seguros y de costo no muy elevado.

SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION

Definiciones

Refrigerar.

La refrigeración consiste en conseguir una temperatura más baja que la del medio ambiente de la zona donde se desea almacenar el producto. El mantenimiento de la baja temperatura requiere la extracción de calor del producto a refrigerar y la cesión de este calor a una temperatura más alta.

Carga de refrigeración

La carga de refrigeración es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio refrigerado para producir o mantener la temperatura deseada. Para el cálculo de la carga de refrigeración deben considerarse los aportes debidos a la radiación solar, a los operarios, al producto, al empaque, al aire de ventilación, a la apertura de puertas, a los motores y equipos que se ubiquen dentro del cuarto refrigerado, etc. En un capítulo posterior se ampliará este tema.

Agente de refrigeración o Refrigerante

El agente de refrigeración es el cuerpo empleado como absorbente de calor en el proceso de refrigeración. Para un sistema de refrigeración mecánica, el refrigerante es el medio de transmisión del calor que absorbe calor al evaporarse a baja temperatura y lo cede al condensarse a alta temperatura y presión.

- **Refrigeración con hielo.** El hielo ha sido uno de los agentes refrigerantes más utilizados en el mundo, debido a que la refrigeración puede obtenerse sin depender de equipos mecánicos. Este método de refrigeración presenta varios inconvenientes, a saber:
 1. El hielo se funde generando agua, la cual debe ser evacuada de las instalaciones utilizadas en el proceso.
 2. La reposición del hielo debe hacerse manualmente.
 3. Es muy difícil controlar la temperatura de refrigeración.



4. No se pueden enfriar los productos por debajo de 0°C , que es la temperatura de licuefacción del hielo. Una técnica utilizada para salvar este inconveniente, es el uso de una solución salina que se congela y se funde a una temperatura más baja que el agua pura; se utiliza en camiones que transportan productos a baja temperatura. Los camiones están revestidos con recipientes laminares que contienen una solución salina; un sistema de refrigeración independiente congela la solución contenida entre las láminas durante las horas de la noche, de manera que el camión permanece frío durante el día mientras se transporta la mercancía.
- **Refrigerantes líquidos.** Los refrigerantes líquidos son utilizados en los sistemas de refrigeración mecánica como elementos de transmisión de calor, los cuales absorben calor al evaporarse a baja temperatura y lo ceden al condensarse a alta temperatura y presión. Su uso presentan grandes ventajas, a saber:
 1. Se puede controlar la cantidad de calor absorbida, ya que para que el refrigerante cambie de estado a temperatura constante, se requiere la misma cantidad de calor en todos los casos.
 2. Se consigue una recirculación continua del refrigerante sin necesidad de reposición del mismo.
 3. Se logran temperaturas en un amplio rango, ya que existen diferentes refrigerantes con temperaturas de congelación y ebullición diferentes.

Los refrigerantes utilizados comercialmente deben tener ciertas características. A continuación se enumeran las más importantes, cuyo orden de importancia varía dependiendo del uso y requerimientos específicos en cada aplicación particular.

1. El refrigerante no debe ser inflamable ni explosivo
2. No tóxico. No debe afectar la salud humana desde ningún punto de vista.
3. El calor latente de vaporización debe ser relativamente alto. Entre más alto sea este valor, menos flujo de refrigerante se necesita circular por unidad de tiempo para tener la misma capacidad frigorífica.
4. El volumen específico del refrigerante en estado de vapor debe ser lo menor posible, ya que éste determina el tamaño del compresor.
5. Los coeficientes de transmisión de calor y la viscosidad, deben ser adecuados para que la transferencia de calor sea eficiente.
6. Las presiones correspondientes a las temperaturas de condensación, obtenibles mediante los medios de condensación disponibles, no deben ser excesivas para así poder reducir los costos de una construcción extrafuerte.
7. Bajo calor específico del líquido. De alguna manera el líquido debe ser enfriado antes de evaporarse.
8. Bajo punto de ebullición normal. Con esto se evita que el sistema tenga que operar al vacío con la posibilidad de que le entre aire.



9. temperatura crítica alta, para permitir que el refrigerante sea condensable en las condiciones de operación del sistema. Se recomiendan temperaturas críticas superiores a 100°C.
10. Punto de congelación bajo. Abajo de la temperatura a la cual va a operar el evaporador.
11. El refrigerante debe ser fácilmente detectable por los indicadores disponibles para localizar fugas en el sistema.
12. El refrigerante debe ser compatible con los lubricantes y aceites corrientes y no debe disminuir la efectividad de los mismos.
13. El refrigerante debe ser químicamente estable y no corroer los metales utilizados en el sistema de refrigeración.
14. El refrigerante debe ser de bajo costo y fácil manejo.

Refrigerantes más comunes

A continuación se hará una sinopsis de los refrigerantes de uso más común en los sistemas de refrigeración mecánica.

1. Amoníaco (NH₃)

El amoníaco fue uno de los primeros refrigerantes utilizados a nivel industrial por su alta eficiencia de refrigeración. Tiene bajo volumen específico, alto calor latente de vaporización y bajo costo. Sin embargo, a pesar de estas características, el uso del amoníaco está limitado a las aplicaciones industriales, excluyéndosele de las aplicaciones de acondicionamiento del aire para el confort debido a que es altamente tóxico e inflamable. Su uso en los sistemas de almacenamiento refrigerado de frutas y hortalizas debe ser muy cuidadoso, ya que si se presentaran fugas de refrigerante, éste afectaría negativamente la calidad de los productos almacenados debido a su toxicidad y a su olor penetrante.

2. Cloruro de metilo (CH₃CL)

El cloruro de metilo es un gas incoloro de olor dulce. Se utilizó en los primeros modelos de refrigeradores caseros y remplazó al amoníaco en muchas instalaciones. Se usó ampliamente en la segunda guerra mundial como sustituto del Freón, el cual estaba únicamente a disposición del gobierno. Actualmente es un refrigerante de uso limitado.

3. Compuestos halogenados del carbono (CFCs)

Los compuestos halogenados del carbono fueron los refrigerantes más utilizados, hasta el Protocolo de Montreal (1995). Son inoloros en concentraciones por debajo del 20% por volumen en el aire; por encima de esa concentración aparece un suave olor a éter.

Los refrigerantes halogenados son esencialmente no tóxicos. No son corrosivos para los metales comúnmente utilizados en los equipos de refrigeración mientras el refrigerante



esté seco, libre del vapor de agua; en presencia de vapor de agua pueden llegar a ser muy corrosivos.

Sus vapores y líquidos no son inflamables ni combustibles y sus vapores son prácticamente inoloros y no irritantes. Tienen un alto poder para disolver la goma natural, pero no la goma sintética. No afectan el aroma, sabor, color o estructura de los alimentos refrigerados.

En este grupo se encuentran el Refrigerante 11 o Freón 11 (CCL_3F), Refrigerante 12 o Freón 12 (CCL_2F_2), Refrigerante 22 (CHCLF_2), Refrigerante 500 (CCL_2F_2)(CH_3CHF_2): En la tabla 2.1 se da una lista de algunos de los refrigerantes más utilizados así como algunas de sus propiedades.

TABLA 2.1. FLUIDOS REFRIGERANTES MAS UTILIZADOS.

| Nombre ASRE | Nombre químico | Fórmula | Peso molecular | Punto de ebullición |
|-------------|---------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|
| 11 | Tricloromono-fluorometano | CCL_3F | 137.4 | 23.7 °C |
| 22 | | | | |
| 12 | Diclorodifluor o metano | CCL_2F_2 | 120.9 | -29.7 °C |
| 114 | Diclorotetra- fluoroetano | $(\text{CCLF}_2)_2$ | 170.9 | 3.5 °C |
| 502 | | | | |
| 717 | Amoniaco | NH_3 | 17.0 | -33.3 °C |
| 718 | Agua | H_2O | 18.0 | 100.0 °C |
| 744 | Dióxido de carbono | CO_2 | 44.0 | -78.3°C (subl.) |

FUENTE : Axel Tiessen Favier. 1995. "Refrigeración Solar". Internet.

Refrigerantes amigables al Ozono

El Protocolo de Montreal hizo un llamado para la eliminación de los CFCs hacia finales de 1995; las regulaciones de la Comunidad Europea establecieron la eliminación de éstos para finales de 1994. La necesidad de refrigerantes amigables al ozono, para remplazar los CFCs tales como los refrigerantes R-11, R-12 y R-502, es extremadamente urgente.

El Protocolo de Montreal, También hizo un llamado para que se haga un consumo limitado de HCFCs a partir de finales de 1995 con su eliminación total hacia el año 2030; fuertes reducciones vendrán más pronto (90% a partir del año 2015 y 99.5% a partir del año 2020).



Para cumplir con estas regulaciones, los refrigerantes alternativos deben, hasta donde sea posible, ser libres de cloro y por lo tanto, **no tener potencial de agotamiento del ozono (ODP). Deben tener además un potencial de calentamiento global mínimo.**

Una de las primeras alternativas desarrolladas en este campo, correspondió al refrigerante 134a (R134a), el cual es un Hidrofluorocarbono (HFC), el cual sustituirá al R-12 en un amplio rango de aplicaciones en refrigeración y aire acondicionado, enfriadores centrífugos de alta presión y una gran variedad de equipos de refrigeración comercial.

Otra alternativa de sustitución de los CFCs, son los refrigerantes 407A y 407B, los cuales presentan una excelente combinación de mínimo impacto ambiental con un resultado técnico similar al R502, en recargas y diseño de equipos nuevos de supermercados y sistemas frigoríficos de transporte.

El HCFC-22 (R-22) se usa ampliamente en la industria de la refrigeración y del aire acondicionado, en aplicaciones para rangos de temperatura alta, media y baja. El refrigerante 407C presenta una excelente combinación de mínimo impacto ambiental con un resultado técnico similar como sustituto para el R-22, ya sea en reacondicionamiento o en aplicaciones de aire acondicionado y diseño de equipos de bombas de calor.

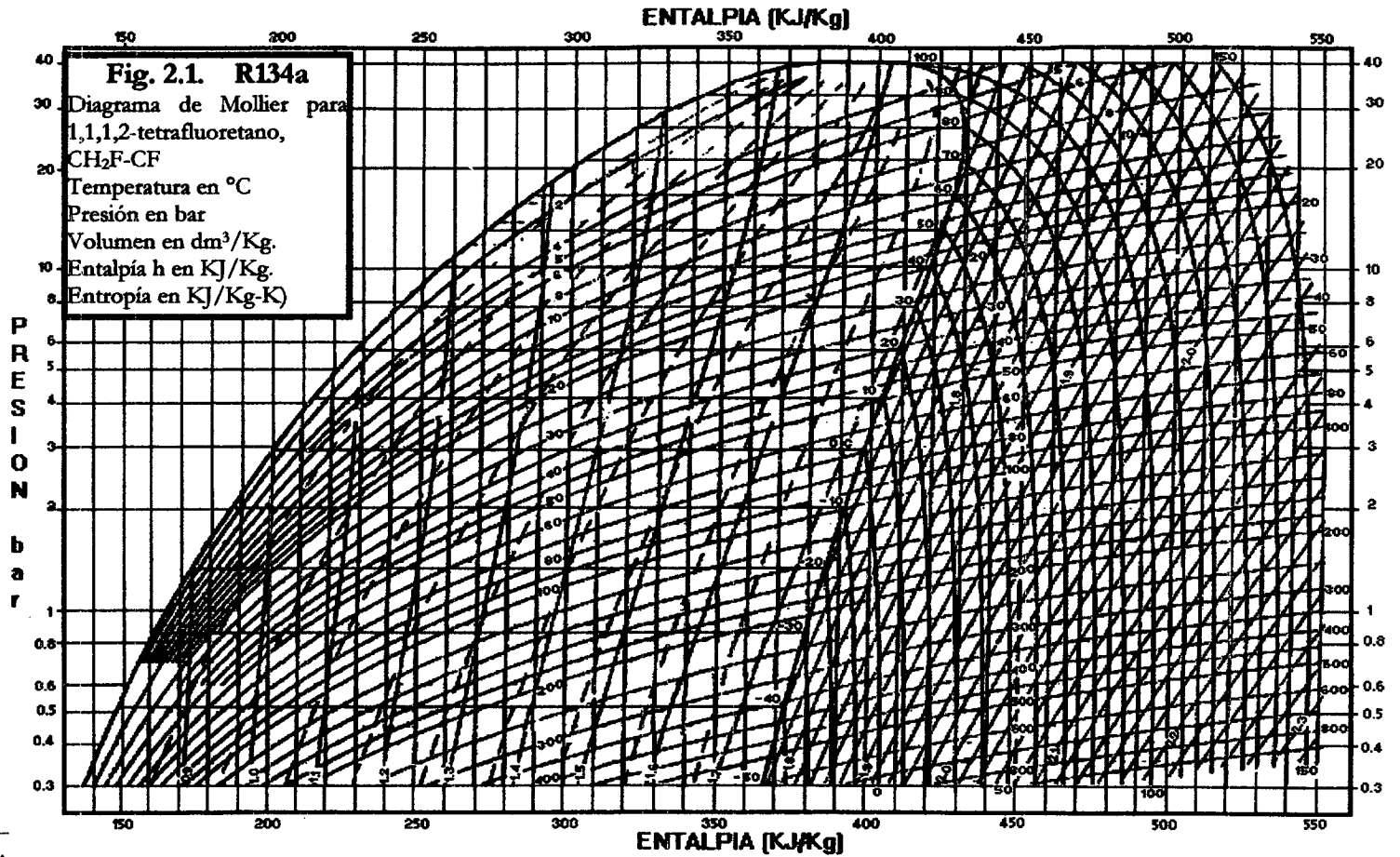
Todos los refrigerantes amigables al ozono tienen un bajo nivel de toxicidad. En la tabla 2.2 se presenta una comparación del Potencial de agotamiento del Ozono (ODP) y de Calentamiento Global de Halocarbonos (HGWP) para algunos refrigerantes. Las figuras 2.1 y 2.2 presentan los diagramas característicos para el refrigerante 134a y para el Refrigerante 407A.



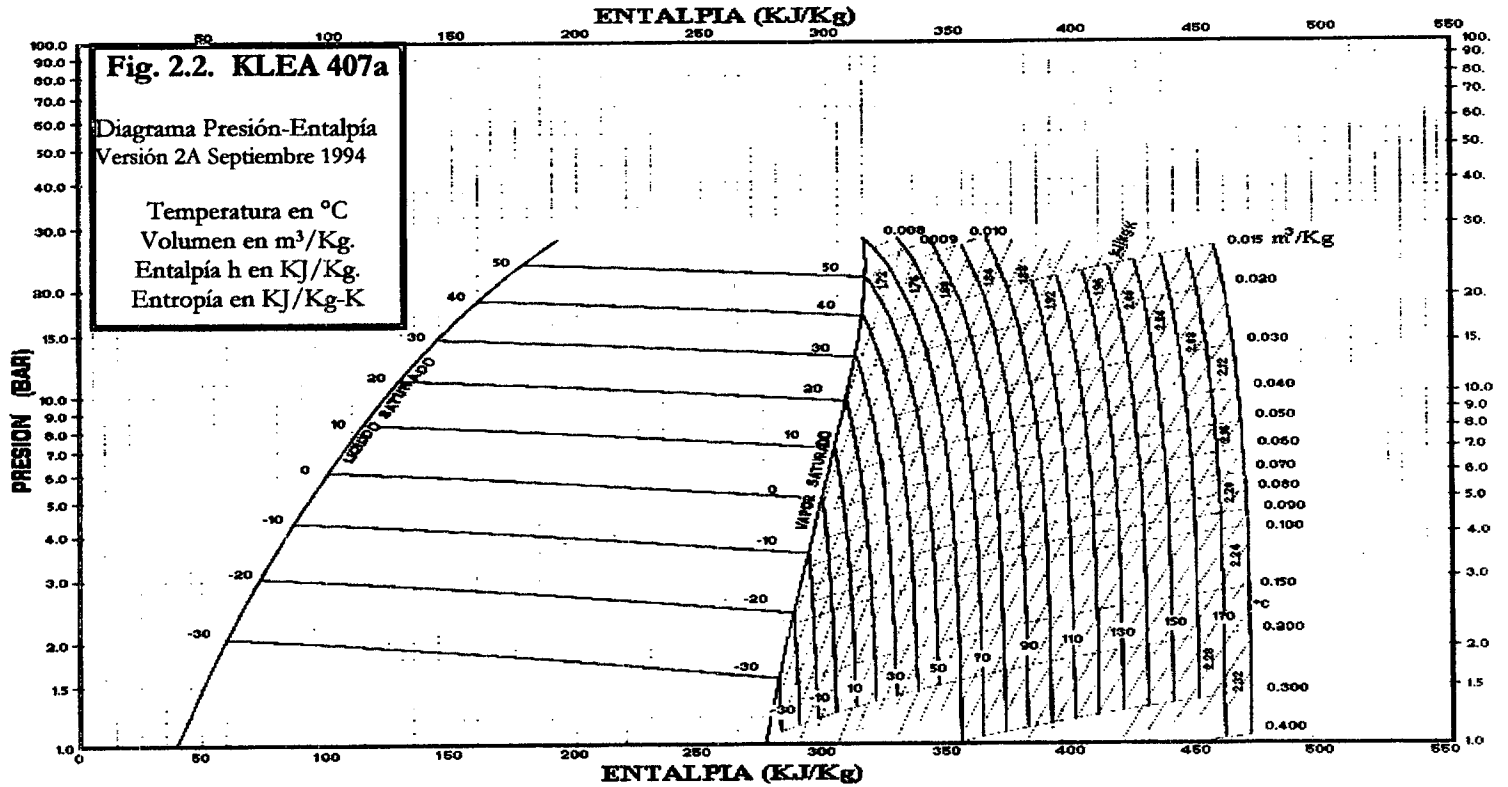
TABLA 2.2. POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DEL OZONO (ODP) Y DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE HALOCARBONOS (HGWP) (Estado constante) PARA ALGUNOS REFRIGERANTES.

| Refrigerante | Tiempo de Vida Atmosférica (Años) | ODP (CFC 11 = 1.0) | HGWP (CFC 11 = 1.0) |
|---------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| HCFC-22 (R-22) | 15.3 | 0.055 | 0.35 |
| R-502 | 550 (para R-115) | 0.23 | 4.0 |
| R-134a | 15.5 | 0.0 | 0.26 |
| R-407A | ----- | 0.0 | 0.49 |
| R-407B | ----- | 0.0 | 0.70 |
| R-407C | ----- | 0.0 | 0.29 |

Fuente: Catálogos ICI Klea



ALFONSO PARRA CORONADO
 TÉCNICAS DE ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS



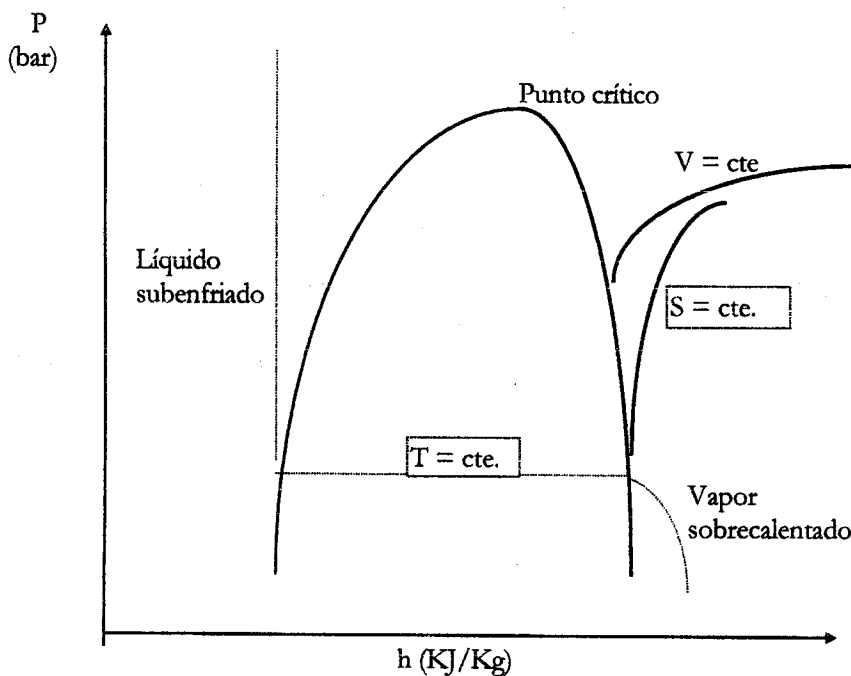
Copyright of ICI Chemicals & Polymer Limited 1994

Owners of the trademark KLEA



Propiedades de los Refrigerantes

En la figura 2.3. se presentan las propiedades de los refrigerantes líquidos, las cuales son de gran utilidad para el calculo de sistemas de refrigeración mecánica.



En el diagrama : T : Temperatura; S : Entropía; V : Volumen específico

Figura 2.3. Propiedades de los Refrigerantes líquidos



Ciclo mecánico de Refrigeración

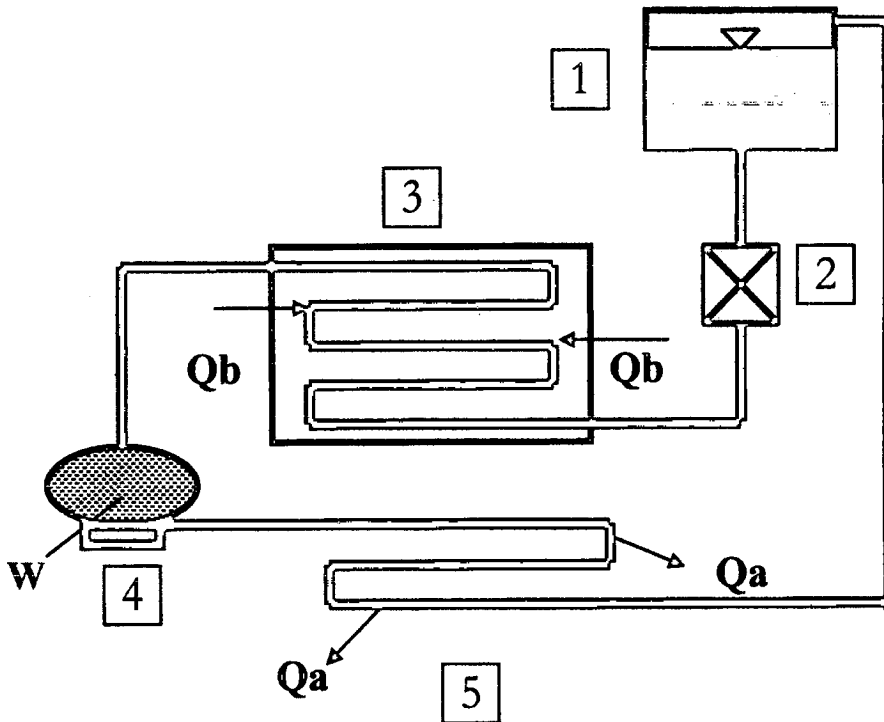


Figura 2.4. Esquema de la composición de un Ciclo Mecánico de Refrigeración

En la figura anterior se tiene:

1. Tanque de abastecimiento del refrigerante
2. Válvula de expansión: controla el flujo del refrigerante y baja la presión del mismo.
3. Evaporador: toma calor del medio ambiente circundante. Se encuentra ubicado dentro del cuarto refrigerado a una temperatura baja (T_b).
4. Compresor: incrementa la presión y la temperatura del refrigerante, mediante la realización de un trabajo (W).
5. Condensador: cede calor al medio ambiente externo a una temperatura alta (T_a).



La línea ubicada entre la válvula de expansión y el compresor (incluye el evaporador) corresponde a una zona de baja presión, conocida como “línea de succión-vapor”. En forma análoga, la línea ubicada entre el compresor y la válvula de expansión (incluye el condensador), corresponde a una zona de alta presión, denominada “línea líquida”.

Ciclo de refrigeración de Carnot

El ciclo de refrigeración de Carnot presenta un proceso inverso al ciclo de la máquina térmica, pero sus conceptos básicos son los mismos. Esquemáticamente el ciclo de refrigeración se representa como en la figura siguiente.

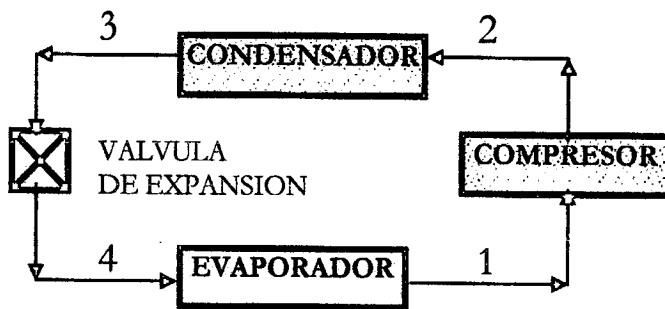


Figura 2.5. Esquema del Ciclo de Refrigeración de Carnot

Procesos del Ciclo de Refrigeración

Los procesos que comprende el ciclo de refrigeración son:

- 1 - 2. Compresión adiabática e isoentrópica.
- 2 - 3. Cesión de calor isoterma (condensación).
- 3 - 4. Expansión adiabática e isoentrópica.
- 4 - 1. Adición de calor isoterma. (evaporación)

Expansión (Proceso 3 - 4)

El paso del refrigerante líquido de la alta presión existente en el depósito de refrigerante a la presión más baja del evaporador debe ser controlado por algún dispositivo. Este dispositivo puede ser una válvula de expansión, una válvula de mano, una válvula flotadora o un tubo capilar. Con cualquiera de ellos el refrigerante se dilata tan pronto llega a la zona de baja presión. La expansión se produce rápidamente en una distancia



muy corta, en la cual el refrigerante no cede ni absorbe calor. Por lo tanto, éste entra en el evaporador con el mismo contenido de calor que tenía al entrar a la válvula de expansión; es decir, la expansión es un proceso adiabático e isoentrópico.

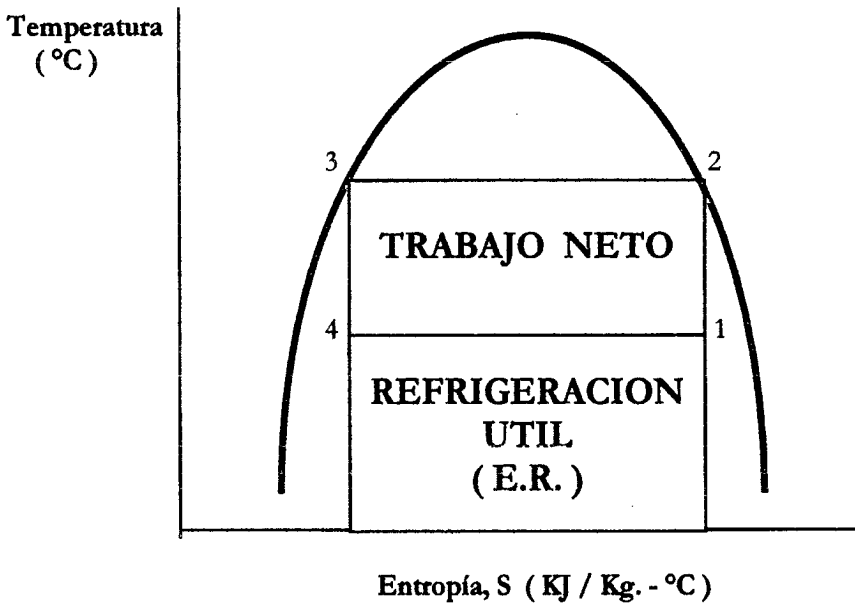


Figura 2.6. Diagrama de Entropía vs. Temperatura para el Ciclo de Refrigeración de Carnot.

Evaporación (Proceso 4 - 1)

Cuando un refrigerante cambia del estado líquido al de vapor absorbe una cierta cantidad de calor. Este cambio de estado es el que produce el efecto enfriador en un sistema de refrigeración. Si a un refrigerante a la temperatura de un recinto se le permite expandirse en un serpentín, el refrigerante absorbe calor de los alrededores y ebulle a una temperatura correspondiente a la presión atmosférica. Con el Freón 12 esto ocurre a $-29,8^{\circ}\text{C}$.

Puesto que el enfriamiento es debido a la evaporación de un fluido, la parte del equipo de refrigeración en la que se produce el enfriamiento se llama “evaporador”.

Compresión (Proceso 1 - 2)

El refrigerante sale del evaporador y entra en el compresor en forma de vapor saturado o sobrecalentado. Si el refrigerante que se evapora en el evaporador se pasara a una



cámara o tanque, la presión en esta cámara aumentaría hasta llegar a igualar a la del evaporador y el flujo de refrigerante cesaría. Por lo tanto es necesario quitar continuamente el vapor del evaporador tan pronto se forma para mantener la presión y temperatura deseada; esta es una de las funciones del compresor. La línea que conecta el evaporador con el compresor se llama "línea de succión".

Para convertir al refrigerante en líquido y así poderlo usar nuevamente, se le debe quitar el calor absorbido en el evaporador. La segunda función del compresor es entonces elevar la temperatura del refrigerante por encima de la temperatura del medio ambiente externo (aire o agua), permitiendo así el flujo de calor y la condensación del refrigerante. El refrigerante toma calor durante la compresión y sale del compresor sobrecalentado (con mayor energía), es decir, con mayor calor al que tenía cuando entró en el compresor. Este calor adicional es el calor equivalente al trabajo que debe realizar el compresor o "Trabajo neto del compresor".

Condensación (Proceso 2 - 3)

En el compresor se disipa el calor del refrigerante haciendo que este fluya hacia un medio que se encuentra a una temperatura más baja. El condensador extrae el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador y debe también extraer el calor añadido al refrigerante durante el proceso de compresión. En el condensador se efectúa un cambio de estado en el refrigerante, el cual pasa al estado líquido, lo que permite utilizarlo nuevamente en el ciclo.

En la refrigeración se presentan dos procesos de transferencia de calor a saber:

1. *Proceso sensible*, en el cual la temperatura varía durante el proceso. En el ciclo de refrigeración, son procesos sensibles la compresión y la expansión.
2. *Proceso latente*, en el cual no varía la temperatura durante el proceso y la transferencia de calor se logra mediante el cambio de estado del refrigerante. En el ciclo de refrigeración, son procesos sensibles la evaporación y la condensación.

Sinopsis del Ciclo de Refrigeración

El refrigerante líquido que entra en el evaporador, está controlado por un dispositivo de estrangulamiento automático, llamado "válvula de expansión". Esta válvula permite la expansión del refrigerante líquido, causando así la reducción de presión del condensador al evaporador. La válvula de expansión marca la división entre la zona de "alta presión" y la zona de "baja presión" del sistema.

La disminución de la presión permite la evaporación del refrigerante a baja temperatura, lo cual ocurre cuando el refrigerante comienza a absorber calor del aire que fluye a través del evaporador. El refrigerante continúa absorbiendo calor latente en el evaporador hasta quedar completamente evaporado.

Debido a la acción del compresor, el vapor que se produce pasa por la línea de succión al cilindro del compresor, donde es comprimido elevando su temperatura y presión. La presión en la descarga del compresor hace fluir el vapor caliente hacia el condensador.



La válvula de descarga del compresor, así como la válvula de expansión, marca la división entre la zona de “alta presión” y la zona de “baja presión”.

Después de que el vapor comprimido pasa por la válvula de descarga y entra en el condensador, el calor fluye del vapor caliente al medio condensador (aire o agua), lo cual enfría el vapor y lo convierte al estado líquido. El líquido bajo presión pasa al depósito del refrigerante líquido y luego es forzado a través de la línea de líquido hacia la válvula de expansión y se repite el ciclo.

Refrigeración Útil: La refrigeración útil es el calor absorbido en el proceso 4-1 (en el proceso de evaporación), o sea el área bajo la línea 4-1 de la figura 2.6. El área por debajo de la línea 2-3 representa el calor cedido en el ciclo. La diferencia entre calor cedido y calor absorbido en el ciclo es el calor neto, que en un proceso cíclico es igual al trabajo neto que debe realizar el compresor. La refrigeración útil, que es en últimas la finalidad primordial de la refrigeración, recibe el nombre de *Efecto Refrigerante (E:R)*.

Compresión húmeda: El proceso de compresión 1-2 de la figura 2.6 se llama compresión húmeda, porque el proceso completo ocurre en la región de las mezclas en presencia de gotitas de líquido.

Compresión seca

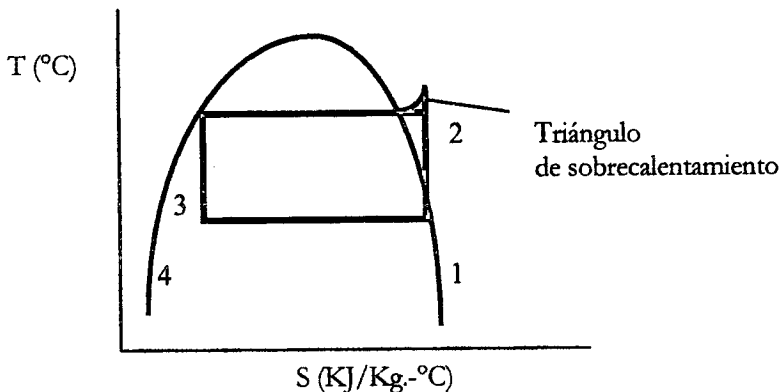


Figura 2.7. Compresión seca en el Ciclo de Refrigeración de Carnot

La compresión seca se realiza sin que existan gotitas de líquido presentes en el proceso. Si el refrigerante que entra al compresor es vapor saturado como en la figura anterior, la compresión desde el punto 1 al 2 se llama compresión seca. Con la compresión seca, el ciclo pierde la forma rectangular del ciclo de Carnot. La compresión de un vapor seco termina a la temperatura del punto 2, que es superior a la temperatura de condensación.

Por tanto, el refrigerante abandona el compresor *sobrecalentado*.

La porción del ciclo por encima de la temperatura de condensación se llama *triángulo de sobrecalentamiento*, cuya área en el diagrama T vs. S representa el trabajo adicional necesario para la compresión seca.



Ciclo Estándar de Compresión de vapor

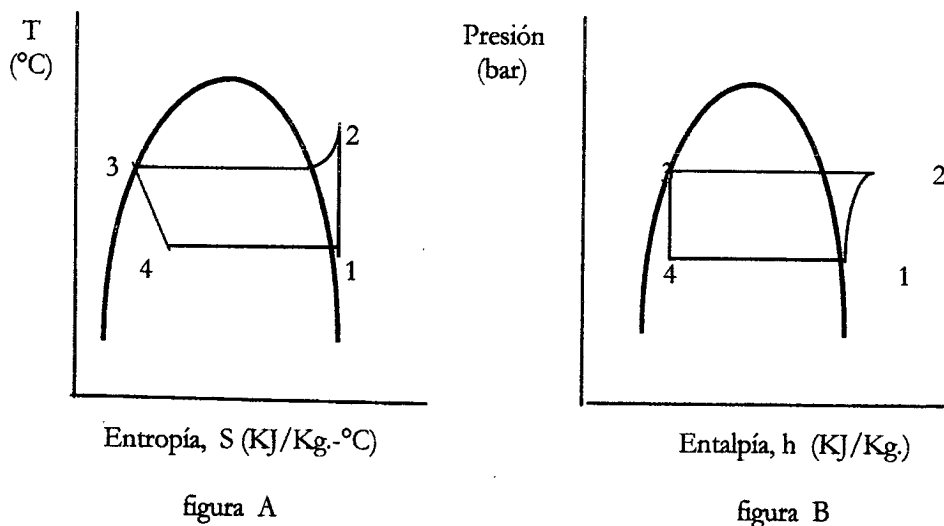


Figura 2.8. Diagramas de Entropía vs. Temperatura y Entalpía vs. Presión para el ciclo estándar de compresión de vapor

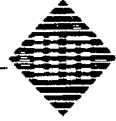
En el ciclo estándar de compresión de vapor se presentan los siguientes procesos:

- 1 - 2. Compresión adiabática (e isoentrópica) y reversible, desde vapor saturado hasta la presión del condensador.
- 2 - 3. Cesión reversible de calor a presión constante en la zona de sobrecalentamiento y posterior condensación.
- 3 - 4. Expansión irreversible a Entalpía constante desde líquido saturado hasta la presión del evaporador.
- 4 - 1. Adición reversible de calor a presión constante durante la evaporación del vapor saturado.

Magnitudes significativas del ciclo estándar

1. Trabajo de compresión.

El trabajo de compresión en calorías por Kilogramo de refrigerante, es igual a la variación de la Entalpía en el proceso de compresión (proceso 1 -2 de la figura 2.8 B) es decir $h_1 - h_2$. Por lo tanto, el trabajo de compresión está dado por:



$$W_C = h_1 - h_2 \quad (2.1)$$

Donde:

- W_c : Trabajo de compresión en KJ /Kg. de refrigerante
- h_1 : Entalpía del refrigerante a la entrada del compresor, en KJ /Kg. de refrigerante.
- h_2 = Entalpía del refrigerante a la salida del compresor, en KJ /Kg. de refrigerante.

La diferencia de entalpías es una cantidad negativa, lo cual indica que el trabajo se realiza contra el sistema. El proceso 1 - 2 representa la acción del compresor.

El cálculo del trabajo de compresión es importante, ya que con el se calcula el tamaño del compresor, cuyo costo puede ser uno de los mayores costos de funcionamiento del sistema.

Calor cedido

El calor cedido es el calor que sale del refrigerante en el proceso de condensación (proceso 2 - 3 de la figura 2.8 B) y se expresa de la siguiente manera:

$$q_c = h_3 - h_2 \quad (2.2)$$

Donde:

- q_c = Calor cedido en KJ/Kg.
- h_3 = Entalpía del refrigerante a la salida del condensador, en KJ /Kg. de refrigerante.
- h_2 = Entalpía del refrigerante a la entrada del condensador, en KJ /Kg. de refrigerante.

El valor de q_c es negativo, lo cual indica que el calor es cedido por el refrigerante. El valor del calor cedido es necesario para el cálculo de las dimensiones del condensador y del caudal necesario de líquido refrigerante en el condensador.

Efecto Refrigerante

El Efecto Refrigerante es el calor puesto en juego en el proceso de evaporación (proceso 4 - 1 de la figura 2.8. B). Su cálculo es necesario porque precisamente este proceso es el fin o único efecto útil de todo el sistema. Se expresa de la siguiente manera:

$$E.R. = h_1 - h_4 \quad (2.3)$$



Donde: E.R. = Efecto Refrigerante, en KJ/Kg.
 h_1 = Entalpía del refrigerante a la salida del evaporador,
en KJ /Kg. de refrigerante.
 h_4 = Entalpía del refrigerante a la entrada del evaporador,
en KJ /Kg. de refrigerante.

Coefficiente de funcionamiento

Es un término para evaluar el grado de bondad de funcionamiento de un sistema de refrigeración. Se expresa como el cociente del efecto refrigerante y el trabajo de compresión, así:

$$\text{COP} = \text{E.R.} / W_c = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \quad (2.4)$$

Donde: COP = Coeficiente de funcionamiento, adimensional

Capacidad de Refrigeración

La Capacidad de Refrigeración (C.R.), es la cantidad de calor extraído del espacio refrigerado. Su cálculo corresponde a la carga de refrigeración, cuyo conocimiento es necesario para el dimensionamiento de sistemas de almacenamiento refrigerado de productos alimenticios. Anteriormente, la unidad de Capacidad de Refrigeración era la "tonelada de refrigeración", que es un término arbitrario que proviene de cuando se usaba el hielo como elemento de refrigeración y corresponde a la cantidad de calor que absorbe una tonelada (2.000 lbs) de hielo al derretirse en 24 horas. Actualmente las unidades de Capacidad de Refrigeración se dan en unidades de calor/hora.

Una tonelada inglesa de hielo representa 2.000 libras (907 Kilogramos). Un Kg. de hielo absorbe 80 Kcal al derretirse, por lo tanto 907 Kg. absorben 72.560 Kcal en 24 horas (288.000 Btu/día), lo cual equivale a 3.024 Kcal/h., por lo tanto se tiene:

$$1 \text{ ton de refrigeración} = 3.024 \text{ Kcal/h} = 12.000 \text{ Btu/h.}$$

Flujo másico de refrigerante

El flujo másico de refrigerante es la cantidad de masa de refrigerante que debe circular por el sistema de refrigeración por unidad de tiempo; se expresa como el cociente entre la capacidad de refrigeración y el Efecto Refrigerante, es decir:

$$m = \text{C.R.} / \text{E.R.} \quad (2.5)$$



Donde:

- m = Flujo másico de refrigerante en Kg./h.
 $C.R.$ = Carga de Refrigeración, en KJ/h.
 $E.R.$ = Efecto Refrigerante en KJ/Kg. de refrigerante.

Caudal de refrigerante

El caudal de refrigerante necesario en el sistema de refrigeración dá una idea aproximada del tamaño del compresor. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q = m * v_e \quad (2.6)$$

Donde:

- Q = Caudal de refrigerante en m^3/h .
 m = Flujo másico de refrigerante en Kg./h.
 v_e = Volumen específico de vapor saturado de refrigerante, en $m^3/Kg.$ de refrigerante.

Por norma, el volumen específico del vapor saturado de refrigerante se debe medir a la entrada del compresor (Punto 1 en el diagrama h vs. P).

Potencia requerida en el compresor

La potencia necesaria en el compresor para el ciclo de refrigeración está dada por la siguiente expresión:

$$HP = m*(h_2 - h_1)/F = m*|Wc|/F \quad (2.7)$$

Donde:

- HP = Potencia requerida en el compresor, en caballos de fuerza
 m = Flujo másico de refrigerante, en Kg/h o lb/h.
 $|Wc|$ = valor absoluto del Trabajo del compresor, en Kcal/Kg. o Btu/lb.
 F = Factor de conversión.
 = 2.544 para m en lb/h y Wc en Btu/lb.
 = 641,1 para m en Kg/h y Wc en Kcal/Kg.



Ciclo real de compresión de vapor

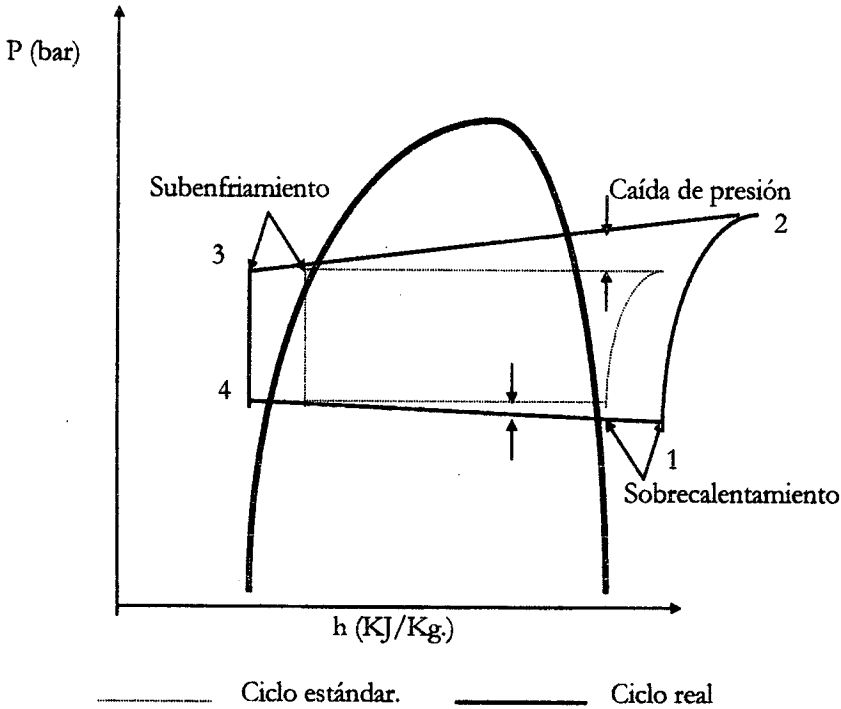


Figura 2.9. Diferencias entre el ciclo estándar y el ciclo real de compresión de vapor.

El ciclo real de compresión de vapor no es exactamente igual al ciclo estándar, sino que en éste se hacen en la práctica ciertos cambios, bien de forma inevitable o intencionadamente. La figura anterior muestra la diferencia entre los dos ciclos.

Las diferencias esenciales entre el ciclo real y el estándar están en las caídas de presión en el condensador y el evaporador, en el subenfriamiento del líquido a la salida del condensador y en el sobrecalentamiento del vapor a la salida del evaporador. El ciclo estándar supone que no existe ninguna caída de presión en el evaporador ni en el condensador. Sin embargo, a causa de la fricción la presión del refrigerante cae en el ciclo real. El resultado de esta caída de presión es que el proceso de compresión entre 1 y 2 requiere más trabajo que en el ciclo estándar.

El subenfriamiento del líquido en el condensador es un hecho normal, cuya finalidad es tener la seguridad de que un 100% de líquido entra en la válvula de expansión.



El sobrecalentamiento del vapor ocurre normalmente en el evaporador y está recomendado como precaución contra las gotitas de líquido que podrían introducirse en el compresor. La compresión en el ciclo real no es isoentrópica y se presenta una pérdida de rendimiento debida a la fricción y a las restantes pérdidas.

CALCULOS PARA EL CICLO REAL DE COMPRESIÓN

Ejemplo.

En un sistema de almacenamiento para frutas, se requiere una temperatura en la cámara de refrigeración de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura del lugar es de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la carga de refrigeración es de $80.000,0\text{ Kcal/h}$. El fluido refrigerante es R134a, el cual tiene una temperatura en el condensador y el evaporador de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. El fluido sale recalentado del evaporador en $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presenta un subenfriamiento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de entrar a la válvula de expansión. Para el ciclo real de compresión calcule:

- Flujo másico de refrigerante requerido.
- Capacidad del evaporador en KJ/h .
- Capacidad del condensador en KJ/h .
- Potencia requerida en el compresor en Kwatts.
- Potencia requerida en la línea eléctrica en Kwatts.
- Eficiencia real (COP real). Solución

Solución

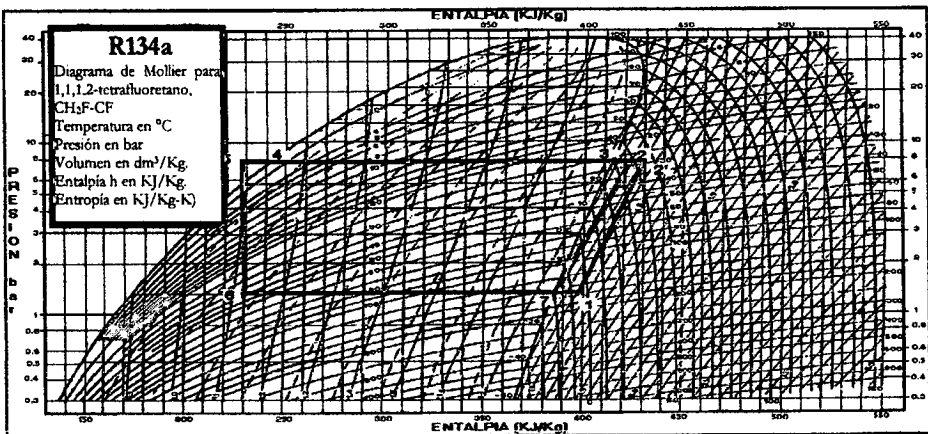


Diagrama del R134a para solución del problema.



TABLA 2.3. VALORES DE TEMPERATURA, PRESION Y ENTALPIA PARA EL CALCULO DEL CICLO REAL DE COMPRESIÓN EN R134 a.

| Punto de Estado | T (°C) | P (bar) | h (KJ/Kg) |
|-----------------|--------|---------|-----------|
| 1 | - 5 | 1.4 | 399 |
| 2 | | 7.9 | 423 |
| 2' | | 7.9 | |
| 3 | 30 | 7.9 | 413 |
| 4 | 30 | 7.9 | 240 |
| 5 | 20 | 7.9 | 228 |
| 6 | - 20 | 1.4 | 228 |
| 7 | - 20 | 1.4 | |

Inicialmente se ubican los puntos de estado en el diagrama h vs. P para el refrigerante R134a, para lo cual se utilizan las temperaturas del refrigerante en el evaporador (puntos de estado 6 y 7) y el condensador (puntos de estado 3 y 4), así como las temperaturas de subenfriamiento y sobrecalentamiento a la entrada de la válvula de expansión (punto de estado 5) y a la entrada del compresor (punto de estado 1) respectivamente. Uniendo estos puntos como se muestra en la figura 2.10, se procede a encontrar los valores de presión y entalpía para cada uno de los puntos de estado de la Tabla 2.3 y se procede a realizar los siguientes cálculos:

Cálculo de la entalpía en el punto de estado 2' ($h_{2'}$)

El valor de la entalpía real del refrigerante a la salida del compresor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\eta_c = 1 - 0.04 * (P_a / P_b) = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_{2'} - h_1)} \quad (2.8)$$

Donde: η_c : Rendimiento en Compresión
 P_a : Presión en alta (bar)
 P_b : Presión en baja (bar)

Por lo tanto, la entalpía en el punto de estado 2' será:

$$\eta_c = 7.9 / 1.9 = 0.774$$

$$0.774 = (423 - 399) / (h_{2'} - 399); \text{ por lo tanto}$$

$$h_{2'} = 430 \text{ KJ/Kg}$$



a) Flujo másico de refrigerante requerido o Gasto (m).

$m = \text{Carga de Refrigeración(CR) / Efecto Refrigerante(ER)}$
(2.9)

$$m = CR / (h_1 - h_6)$$

Por lo tanto, el flujo másico de refrigerante será:

$$m = [80000.0(\text{Kcal/h}) * 4.18(\text{KJ/Kcal})] / [399 - 228](\text{KJ/Kg})$$

$$m = 1955.6 \text{ Kg/h.}$$

b) Capacidad del evaporador ($q_a = \text{Calor Absorbido}$).

La capacidad del evaporador o calor absorbido del medio a refrigerar, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_a = m * (h_1 - h_6) \quad (2.10)$$

Por lo tanto, la capacidad del evaporador será:

$$q_a = 1955.6 * (339 - 228)$$

$$q_a = 334407.6 \text{ KJ/h}$$

c) Capacidad del condensador ($q_c = \text{Calor Cedido}$).

La capacidad del condensador o calor cedido al medio externo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_c = m * (h_2 - h_5) \quad (2.11)$$

Por lo tanto, la capacidad del condensador será:

$$q_c = 1955.6 * (430 - 228)$$

$$q_c = 395031.2 \text{ KJ/h}$$

d) Potencia requerida en el compresor (HPc)

La potencia requerida en el compresor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{HPc (Kwatts)} = m * (h_2 - h_1) / 3594.8 \quad (2.12)$$

Donde : HPc : Potencia requerida en el compresor en Kwatts



- m : Flujo másico de refrigerante en Kg/h.
 h_2 : Entalpía del refrigerante en el punto de estado 2' en KJ/Kg
 h_1 : Entalpía del refrigerante en el punto de estado 1 en KJ/Kg

Por lo tanto, la potencia requerida en el compresor será:

$$HP_c = 1955.6 * (430 - 399) / 3594.8$$

HP_c = 16.9 Kwatts

e) Potencia requerida en la línea eléctrica (H_{plin})

La potencia requerida en la línea eléctrica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H_{plin} = HP_c / (\eta_{mc} * \eta_a * \eta_{mt}) \quad (2.13)$$

- Donde:
- H_{plin} : Potencia requerida en la línea eléctrica en Kwatts
 - η_{mc} : Eficiencia mecánica del compresor
 - η_a : Eficiencia del acoplamiento motor-compresor
 - η_{mt} : Eficiencia del motor trifásico

Por lo tanto, si $\eta_{mc} = 0.95$; $\eta_a = 0.98$ y $\eta_{mt} = 0.9$, la potencia requerida en la línea eléctrica será:

$$H_{plin} = 16.9 / (0.95 * 0.98 * 0.9)$$

H_{plin} = 20.2 Kwatts

f) Eficiencia real (COP real)

El COP real se calcula mediante la siguiente expresión:

$$COP \text{ real} = CR / H_{plin} \quad (2.14)$$

- Donde:
- COP real : Eficiencia real del sistema de refrigeración
 - CR : Carga de refrigeración en Kwatts
 - H_{plin} : Potencia requerida en la línea eléctrica en Kwatts

Por lo tanto, el COP real será:

$$COP \text{ real} = [80000.0 \text{ (Kcal/h)} / (26.6 \text{ (Kwatts)})] * [1 \text{ Kwatts} / 860 \text{ (Kcal/h)}]$$

COP real = 4.61



REFRIGERACION POR ABSORCION

En un sistema de refrigeración por absorción se trabaja generalmente con mezclas de 2 componentes en donde uno es el fluido refrigerante y el otro simplemente sirve como medio de absorción del fluido refrigerante.

Se han estudiado diversas mezclas de componentes. Por ejemplo, se han estudiado diversos medios de absorción para el amoníaco que tiene excelentes propiedades como refrigerante. Entre los medios de absorción estudiados se encuentran el nitrato de amonio, el nitrato de litio, los haluros alcalinos y los tiocianatos de sodio y litio; aunque el medio de absorción por excelencia es el agua. También la mezcla de bromuro de litio agua ha sido muy estudiada.

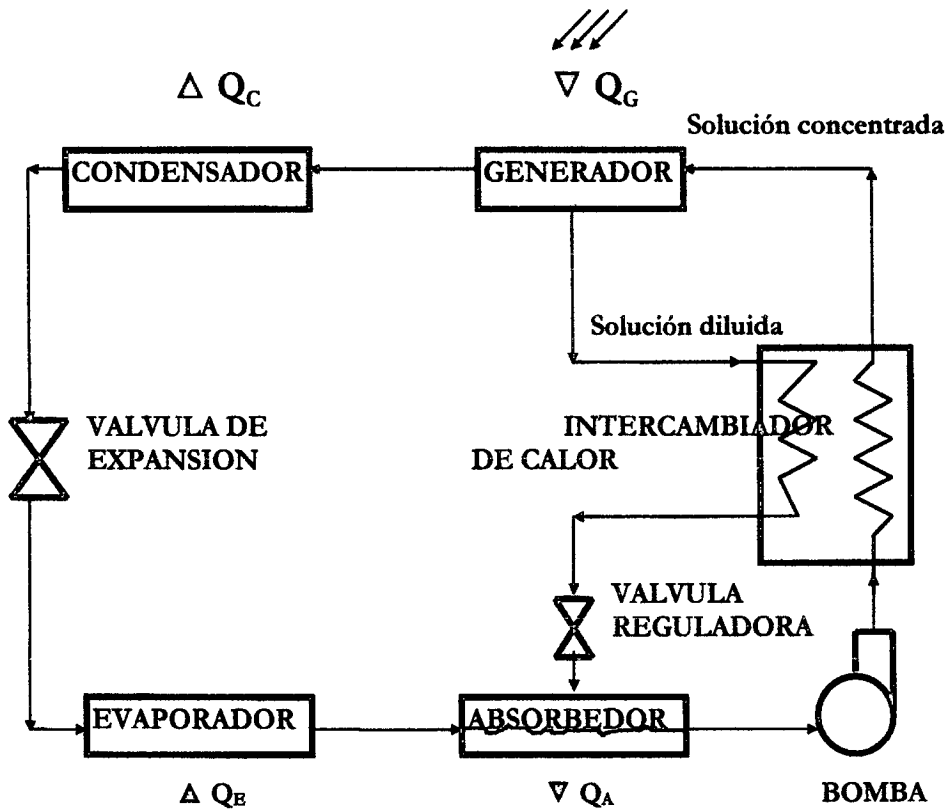


Figura 2.10. Diagrama de un sistema simple de refrigeración por absorción continuo



Sistema de refrigeración continua por absorción

Un diagrama de un refrigerador por absorción continuo se muestra en la figura 2.10. La función del condensador, válvula de expansión y evaporador es idéntica a la que se da en el ciclo de refrigeración por compresión. Como ya se mencionó, la diferencia está en el modo de lograr la presurización del fluido refrigerante. En este caso, primero se disuelve el refrigerante en un líquido absorbente dentro del absorbedor. Luego, la solución concentrada pasa hacia la región de alta presión mediante el uso de una bomba ordinaria, donde finalmente el refrigerante es separado de la solución por medio de la adición de calor en el generador (Q_G). La solución diluida regresa al absorbedor a través de una válvula reguladora que controla la diferencia de presiones entre el generador (presión alta) y el absorbedor (presión baja). La reacción de absorción que se da en el absorbedor es exotérmica y por lo tanto ahí se libera un calor (Q_A) hacia el medio ambiente. A la solución líquida concentrada se le comprime bombeándola a un generador en el que el calor Q_G procedente de una fuente de alta temperatura facilita la generación en fase gaseosa del refrigerante, el cual pasa al condensador. Con el propósito de recuperar energía, habitualmente se instala un intercambiador de calor en el circuito de la solución líquida entre el generador y el absorbedor.

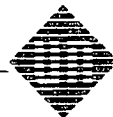
Obviamente, el sistema descrito en la figura 2.10. no puede ser ideal. El sistema ideal debe ser completamente reversible y aquel no lo es.

Suponiendo que el trabajo de la bomba (W_p) es despreciable, el coeficiente de realización comúnmente conocido también como coeficiente de funcionamiento o coeficiente de rendimiento (COP o COR), queda definido como la relación entre el calor absorbido por el fluido refrigerante al evaporarse (Q_E) y el calor suministrado en el generador, Q_G . De este modo:

$$\text{COP} = Q_E / Q_G \quad (2.15)$$

Bajo condiciones de operación estable y suponiendo constantes las temperaturas del calefactor del generador (T_G), la temperatura del espacio refrigerado (T_E) y la temperatura del medio ambiente exterior (T_O), que corresponden a aquellas regiones de los alrededores que intercambian calor con los fluidos del sistema, la segunda ley de la termodinámica permite llegar a la expresión siguiente para el COP :

$$\text{COP} = Q_E / Q_G \leq T_E(T_G - T_O) / T_G(T_O - T_E) \quad (2.16)$$



Siendo la igualdad válida para el ciclo completamente reversible, esto es, aquel para el cual COP tiene valor máximo. En la práctica los valores son mucho menores que este máximo.

REFRIGERACION SOLAR

En los últimos años se ha venido trabajando en sistemas de refrigeración que utilizan la radiación solar para producir el efecto de enfriamiento. Dentro de las aplicaciones de la energía solar, esta es una de las más importantes e interesantes debido por un lado, al reto tecnológico que implica desarrollar sistemas de este tipo, y por el otro, al hecho de que en esta aplicación coincide la disponibilidad con la necesidad, esto es: entre más flujo de energía radiante llega a un determinado lugar, más altas son las temperaturas ambientales y por lo tanto más se requiere de la refrigeración o enfriamiento. Por ejemplo, se tiene conocimiento de que en los países tropicales, casi no se consume carne y leche entre otros, porque se descomponen muy fácilmente y la mayoría de la gente de escasos recursos económicos no cuenta con sistemas de refrigeración para su conservación. También se sabe que en estos mismos países gran parte de las cosechas de frutas y verduras se pierde por la misma causa.

Tanto el sistema de refrigeración por compresión como el de absorción pueden ser adaptados para que funcionen con energía solar. El primero mediante la conversión de la energía solar en energía mecánica o eléctrica para hacer funcionar el compresor de un sistema convencional, y el segundo mediante la utilización directa de la energía solar como fuente de energía térmica. Este último, por no implicar conversiones de un tipo de energía en otra, resulta más económico y eficiente y es el sistema que abordaremos a continuación.

Debido a la intermitencia propia de la radiación solar, lo más sensato es pensar en sistemas de refrigeración intermitentes, aunque también se pueden desarrollar sistemas que operan continuamente, pero que necesitan de un sistema de almacenamiento y de una fuente auxiliar de energía para que puedan seguir operando en las horas en que no hay radiación solar (noche y períodos con nubosidad intensa). El decidirse por algún tipo de sistema también tiene que ver con la aplicación que se le vaya a dar. Si el sistema se necesita para el acondicionamiento calorífico de viviendas o edificios generalmente se utilizan sistemas continuos que utilizan una mezcla de bromuro de litio-agua ($\text{BrLi-H}_2\text{O}$), pero si lo que se requiere es conservar alimentos o cualquier tipo de producto perecedero, un sistema intermitente podría dar buenos resultados. Estos, generalmente utilizan una mezcla de amoníaco-agua ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) y logran temperaturas lo bastante bajas como para producir hielo. En México se desarrolló y experimentó un prototipo de refrigerador solar intermitente, en el cual se logró producir los primeros kilogramos de hielo hechos 100% con energía solar.



1. Sistema de refrigeración solar continuo.

Se mencionó ya que los sistemas que más se acoplan para utilizar la energía solar como fuente de energía son los sistemas de refrigeración por absorción. En la figura 2.10. se presenta el diagrama de un sistema simple de refrigeración por absorción continuo, el cual puede asimilarse a un sistema de refrigeración solar continuo. La característica de un refrigerador solar es que el calor suministrado en el generador (Q_G), ahora viene de la energía solar (Q_i) a través de un campo de colectores solares en donde se calienta algún fluido de trabajo que posteriormente mediante intercambiadores de calor cede el calor solar en el generador. Cabe hacer notar que en este caso el calentamiento solar es indirecto y que debido a la intermitencia propia del sol, se requiere de un sistema de almacenamiento y de una fuente auxiliar extra para que el sistema funcione continuamente. Las mezclas más utilizadas en este tipo de sistemas son la de amoniaco-agua y bromuro de litioagua.

Sistema amoniaco-agua ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$).

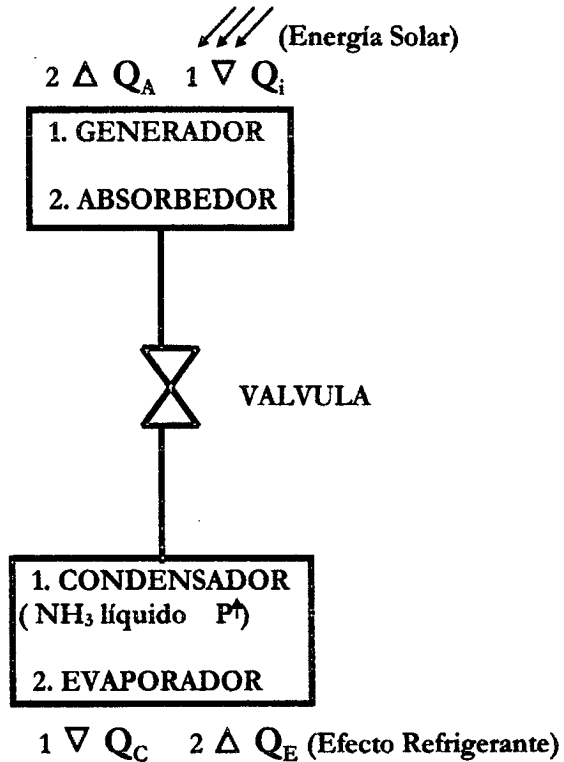
En este caso el refrigerante es el amoniaco y el absorbente es el agua. La temperatura que se requiere en el generador para lograr separar el amoniaco de la solución concentrada es del orden de los 120-150 °C, factibles de alcanzar con colectores solares planos. Debido al bajo punto de ebullición normal del amoniaco (-33.3 °C) y a su gran calor de vaporización (327 cal/g), en el evaporador se pueden obtener temperaturas inferiores a 0 °C. En general estos sistemas se utilizan para la conservación de productos perecederos como alimentos y medicinas, y para la producción de hielo. Una desventaja del amoniaco es que es tóxico y que ataca metales como el hierro galvanizado y cobre, de manera que el equipo que esté en contacto con él debe ser de hierro al carbón o algún otro material resistente al amoniaco. El equipo también debe estar construido para soportar las grandes presiones que se generan con los vapores del amoniaco (hasta de 15 kg/cm²).

Sistema bromuro de litio-agua ($\text{BrLi-H}_2\text{O}$).

Esta mezcla se utiliza mucho en los sistemas de aire acondicionado y por lo tanto su principal uso es en el acondicionamiento calorífico de viviendas y edificios. Las temperaturas que se pueden obtener en el evaporador no pueden ser inferiores a 4 °C debido a que en este caso el fluido refrigerante es el agua y el absorbente el bromuro de litio. El punto de ebullición normal del agua es de 100 °C y su calor de vaporización de 540 cal/g. Las temperaturas requeridas en el generador para separar el agua de la solución concentrada son de alrededor de los 100 °C, por lo que se pueden utilizar colectores solares planos sin ningún problema.



2. Sistema de refrigeración solar intermitente.



1. Etapa de Generación.

2. Etapa de Enfriamiento

Figura 2.11. Diagrama de un refrigerador solar intermitente sencillo

Un diagrama de un refrigerador solar intermitente muy sencillo que nos sirve sólo para explicar de manera simple los pasos y procesos que se dan en un sistema de este tipo se muestra en la figura 2.11. Consta de dos recipientes interconectados entre sí por medio de una válvula, donde cada uno de ellos juega una doble función. El primero como generador-absorbedor y el segundo como condensador-evaporador. El funcionamiento lo podemos dividir en dos etapas: la etapa de generación y la de enfriamiento.

En la etapa de generación, el recipiente que en este caso sirve como generador, inicialmente contiene una solución acuosa concentrada de amoníaco. Esta es calentada



con energía solar de manera que se genera o produce vapor de amoníaco que después de pasar por la válvula se condensa en el otro recipiente que en esta etapa sirve como condensador. Aquí hay que retirar el calor de condensación del amoníaco (327 cal/g) enfriándolo por medio de aire o agua para lograr tenerlo en estado líquido y a una alta presión.

Esta etapa se lleva a cabo mientras el flujo de energía solar es suficiente para seguir generando vapor de amoníaco. Hay que tener en cuenta que a medida que pasan las horas de sol la solución inicialmente concentrada se torna en una solución débil y por lo mismo es más difícil seguir generando amoníaco.

Una vez terminada la etapa de generación se cierra la válvula intermedia y se deja enfriar el primer recipiente que ahora contiene una solución débil de amoníaco a baja presión. En el condensador queda almacenado amoníaco líquido a alta presión listo para usarse en la etapa de enfriamiento.

En esta etapa se vuelve a abrir la válvula intermedia. Al comunicar de nuevo los dos recipientes, la presión del sistema completo baja lo suficiente para que el amoníaco no pueda existir en estado líquido y por lo tanto forzosamente tiene que pasar al estado gaseoso. Esto se hace en el segundo recipiente que ahora sirve como evaporador. El amoníaco absorbe calor de los alrededores para pasar de líquido a vapor y por lo tanto es aquí donde se tiene el efecto de refrigeración.

El vapor de amoníaco pasa al primer recipiente y se absorbe en la solución diluida de amoníaco. Este recipiente ahora tiene la función de absorbedor. Aquí hay que retirar el calor que se genera por la absorción para evitar que se incremente la temperatura y se dificulte la absorción que afectaría el funcionamiento del sistema completo. Con esto se completan las dos etapas del ciclo intermitente de refrigeración, quedando listo el sistema para iniciar un nuevo ciclo cuando vuelva a haber flujo de energía radiante.

Desde luego, un sistema real no es tan sencillo como lo anterior; hay que tener cuidado especial sobre todo en el diseño del colector de energía solar que contendrá la solución de amoníaco a evaporar y en las interconexiones entre el colector (generador)-absorbedor y el condensador-evaporador.



BIBLIOGRAFIA

1. AXEL TIESEN FAVIER. 1995. "Refrigeración Solar". [http : witss.gdl.iteso.mx/solar/cap13.html](http://witss.gdl.iteso.mx/solar/cap13.html)
2. ICI CHEMICAL AND POLYMERS LIMITED. 1993, "KLEA 407A Thermodynamic Property Data"
3. MORALES, A. 1988. "Principios generales de Refrigeración Mecánica". En: Curso de Educación Continuada sobre Refrigeración e Instalaciones Frigoríficas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería - Bogotá, Departamento de Ingeniería Mecánica
4. PANTASTICO, ER. B. 1979. "Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales", Compañía Editorial Continental, S. A. , México.
5. WEAVER M., KIRKPATRICK J. 1974. "Environment Control. Air Conditioning and Refrigeration. Theory and Application". Harper & Row, Publisher.

DISEÑO DE ALMACENES REFRIGERADOS

PRINCIPIOS GENERALES

Al planear la distribución de almacenes refrigerados, se deben considerar algunos principios generales y consultar las normas existentes para su diseño y construcción, así como las normas y leyes ambientales existentes.

Selección del lugar de ubicación

El sitio de una planta de almacenamiento debe seleccionarse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Fácil acceso al sitio de construcción
- b) Suelo firme y libre de aguas superficiales, en lo posible nivelado, de tal manera que se reduzca al mínimo los costos de excavación y los caminos de pendientes pronunciadas.
- c) Vías de comunicación con las áreas de producción, los lugares de embarque y los centros de distribución o mercadeo.
- d) Disponibilidad de servicios básicos, tales como: líneas telefónicas, eléctricas, de agua y de drenaje, así como la cercanía a estaciones de combustible.

Tamaño y forma del cuarto refrigerado

Las dimensiones del cuarto refrigerado van a depender de varios factores a saber:

- a) El volumen y tipo de producto a almacenar, ya que sus propiedades físicas (peso específico aparente) determinan el espacio a ocupar por éste.
- b) Tipo de empaque a utilizar y forma en que se va a almacenar el producto.
- c) Separación entre la parte superior del arrume de productos y el techo del cuarto refrigerado. Se recomienda que esta separación sea como mínimo de 60 cm.
- d) Se debe tener en cuenta el espacio que ocuparán los ductos, tuberías, la unidad de refrigeración, los humidificadores y los demás equipos que deban estar dentro del cuarto refrigerado.
- e) Se deben considerar los espacios necesarios para los equipos de manejo de los productos dentro del cuarto refrigerado, tales como transportadores, montacargas, etc.



Requerimientos de aislamiento

Un buen material aislante debe tener baja conductividad térmica, durabilidad, facilidad de aplicación, costo razonable y cualidades de resistencia a la humedad. En la tabla 3.7 se presentan las características de algunos materiales aislantes.

“Para proteger el aislante contra la entrada de vapor de agua, es necesario utilizar una barrera. Puesto que el vapor de agua se desplaza hacia adentro del cuarto, el sello de vapor deberá colocarse en la superficie exterior del aislante. Las películas plásticas, las hojas metálicas, las láminas metálicas rígidas o los mastiques calientes proporcionan sellos adecuados para el vapor”. (Pantastico, 1979).

Generalmente no se pone aislante a los pisos, ya que la tierra seca actúa como un aislante muy efectivo, siempre y cuando el nivel freático del lugar esté por debajo de los 3.5 m. El espesor adecuado del aislamiento depende de las temperaturas extremas del lugar y de la temperatura deseada en el cuarto refrigerado.

Puertas del cuarto de refrigeración

Las puertas deben ser lo más pequeñas posibles, pero deben permitir el fácil acceso y salida del cuarto y al mismo tiempo reducir las pérdidas de energía refrigerante hacia el medio externo. Para el dimensionamiento de la puerta se debe tener en cuenta los equipos de manejo que se utilizarán en la planta de almacenamiento. En muchas ocasiones, es necesario equipar la puerta con una cortina de aire para reducir al mínimo las pérdidas de energía frigorífica, especialmente cuando es necesario dejarla abierta para la entrada y salida de productos.

Ventilación

Los cuartos refrigerados deben equiparse con un sistema de movimiento forzado de aire que permita un flujo uniforme del mismo a través de las estibas de productos. El aire debe circular desde el centro del cuarto hacia afuera, hacia las paredes, hacia abajo y entre las estibas de productos y retornar a través del centro del cuarto. Esto se logra instalando ductos o sopladores y realizando la estiba de forma adecuada, de tal manera que el aire circule en una dirección determinada dentro del cuarto.

Es importante tener en cuenta para el diseño la posibilidad de expansiones futuras, con el fin de reducir los costos en forma considerable. Por esta razón, no se deben instalar equipos en forma permanente en los sitios considerados para futuras ampliaciones. En la figura 3.1 se observa un almacén refrigerado en pleno funcionamiento.

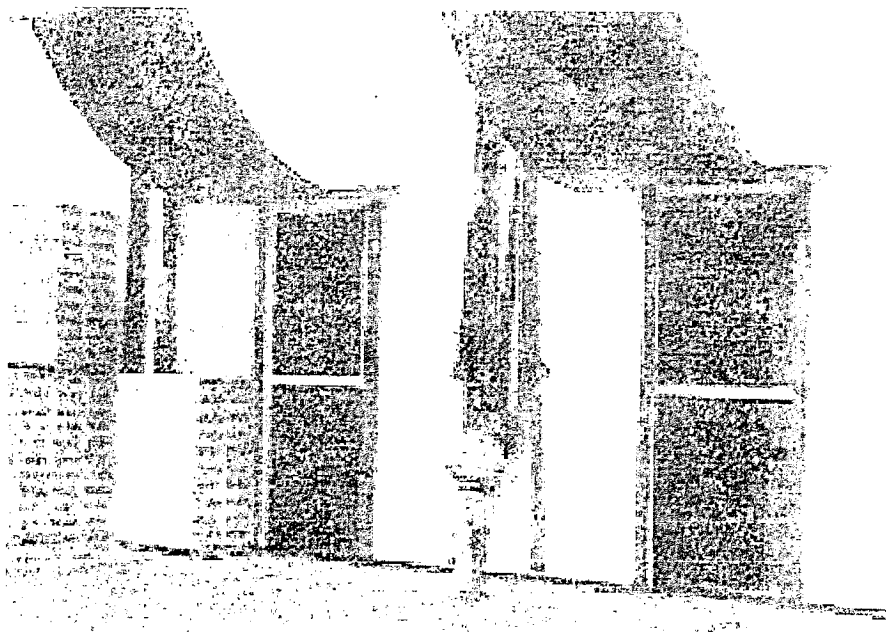


Figura 3.1. Cuarto para almacenamiento refrigerado de productos hortofrutícolas

CALCULO DE LA CARGA DE REFRIGERACION PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS ALMACENADOS

Los técnicos en refrigeración comercial deben, en algunas instancias, estar capacitados para calcular correctamente la "Carga de Refrigeración" - cantidad total de calor que debe ser removida del espacio refrigerado -, que es requerida en una situación particular.

Los cálculos involucran operaciones matemáticas simples y no presentan dificultad si se conocen los términos básicos de refrigeración y se usan meticulosamente las tablas correspondientes.

Esta sección presenta paso a paso el método para calcular la carga de Refrigeración, debida a ganancias de calor, las cuales se explican a continuación:

1. Ganancias de calor debida a la transmisión de calor a través de las estructuras (Q_1).



Esta ganancia de calor es ocasionada por la diferencia de temperatura entre la parte externa e interna del cuarto refrigerado y ocurre a través de las paredes, techos y pisos. La Sociedad Americana de Ingenieros en Refrigeración (ASHRAE), recomienda tener en cuenta la ganancia de calor debida al "efecto solar" (radiación), incrementando la diferencia entre la temperatura exterior e interior en I.T.

El calor transferido está dado entonces por la siguiente ecuación:

$$q_1 = UA(T_e - T_i + IT) \quad (3.1)$$

Donde:

| | | |
|-------|---|--|
| q_1 | = | Cantidad de calor transferido, Kcal/h. |
| U | = | Coefficiente global de transferencia de calor, Kcal/h- m ² ·°C |
| A | = | Area de transferencia, m ² . |
| T_e | = | Temperatura exterior máxima (de diseño) °C. |
| T_i | = | Temperatura interior del cuarto (de diseño), °C. |
| IT | = | Incremento de Temperatura debido al efecto solar, °C. Ver Tabla 3.3. |

El valor del coeficiente global de transferencia de calor U , depende de los materiales que conforman la estructura y de la velocidad promedio del aire, tanto fuera como dentro del cuarto refrigerado. Está dado por la ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{1}{h_i}} \quad (3.2)$$

Donde:

| | | |
|-----------------|---|---|
| L_1, L_2, L_3 | = | Espesor de cada material de la pared (m) |
| K_1, K_2, K_3 | = | Conductividad térmica del material, Kcal/h-m- C (Ver Tabla 3.1). |

| | | |
|------------|---|---|
| h_e, h_i | = | Coefficiente de película para transmisión de calor por convección, Kcal/h-m ² ·°C. (Ver Tabla 3.2). |
|------------|---|---|

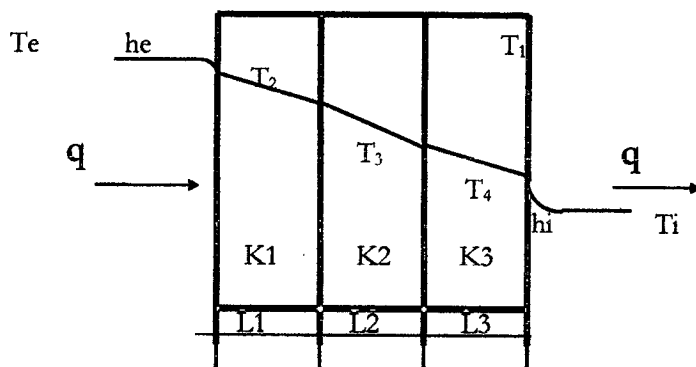


Figura 3.2. Transmisión de calor a través de una pared compuesta

2. **Ganancia de calor debida a las personas (q_2).**

Esta ganancia de calor depende de la actividad que desarrollen las personas dentro del cuarto refrigerado y de la temperatura de este ambiente. La Tabla 3.4 muestra el calor perdido por el cuerpo humano como una función de la temperatura del cuarto.

3. **Ganancia de calor debida a abertura de puertas y filtraciones de aire (q_3).**

Los cuartos refrigerados generalmente no tienen ventanas y las puertas están selladas de tal manera que no existe infiltración de aire por ranuras. Sin embargo, se debe tomar en cuenta los cambios de aire debido a las aberturas de puertas y filtraciones de aire, lo cual se presenta cuando los operarios realizan labores de movimiento de productos del cuarto al medio externo. La carga de calor suministrada por la apertura y cierre de la cámara depende del número de veces que se abre la cámara al día, el tiempo que es dejada abierta, la temperatura y humedad del aire en el interior de la cámara y la temperatura y humedad del aire exterior. La Tabla 3.5 presenta los cambios promedio de aire en 24 horas que pueden ocurrir en un almacén de acuerdo con el volumen del cuarto y con la temperatura del mismo.

La ganancia de calor debida a la abertura de puertas y filtración de aire se calcula mediante la siguiente expresión:



$$q_3 = \frac{V.N. (h_e - h_i)}{24V_e} \quad (3.3)$$

Donde:

| | | |
|------------|---|--|
| q_3 | = | Cantidad de calor ganado, Kcal / h. |
| V | = | Volumen del aire en el cuarto (Volumen del cuarto), m^3 . |
| N | = | Cambios de aire / día. (Ver Tabla 3.5). |
| h_e, h_i | = | Entalpía externa e interna del aire respectivamente, Kcal/Kg. de aire seco. |
| V_e | = | Volumen específico del aire a la temperatura exterior (T_e), $m^3 / Kg.$ de aire seco. |

Los valores de V_e , h_e y h_i se obtienen de la carta Psicrométrica del lugar o en tablas.

4. Ganancia de calor debida al equipo misceláneo (q_4).

El calor generado por las luces (bombillas) y el equipo instalado dentro del espacio refrigerado, debe tenerse en cuenta y depende de las especificaciones de cada equipo. Los siguientes valores son útiles en la determinación de las cargas misceláneas de calor:

| | | |
|--------------------|---|-------------------|
| Luces eléctricas | = | 0.86 Kcal/h-watt. |
| Motores eléctricos | = | 756 Kcal/h-h.p. |

El calor total generado por el equipo misceláneo por hora es entonces:

$$q_4 = 0.86 * (\text{Watts totales de la iluminación}) + 756 * (\text{h.p. totales de los motores}).$$

5. Ganancia de calor debida al aire de ventilación (q_5).

En muchas ocasiones, al refrigerar productos alimenticios, es necesario proporcionar una ventilación adecuada a los cuartos con el fin de mantener fresco el producto y disminuir olores. Una vez se conoce la cantidad de aire requerida para la ventilación, es posible calcular la ganancia de calor correspondiente, la cual se presenta en dos formas: calor sensible y calor latente.

La ganancia de calor debida al aire de ventilación está dada como:



$$q_s = q_s + q_l \quad (3.4)$$

Donde:

q_s y q_l son respectivamente el calor sensible y el calor latente, Kcal/h.

El calor total se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$q_s = M(h_e - h_i) \quad (3.5)$$

Donde:

q_s = Ganancia de calor debida al aire de ventilación, Kcal / h.
 M = Q/V_e = Cantidad de aire suministrado, Kg. / h.
 Q = Caudal de aire de ventilación, m^3 / h.
 h_e, h_i = Entalpía externa e interna del aire respectivamente, Kcal / Kg. de aire seco.

6. Ganancia de calor debida al producto de refrigerar (q_6).

La ganancia de calor debida al producto es de diferentes tipos a saber:

6.1. Calor sensible por encima del punto de congelación (q_a).

Cuando un producto entra a un cuarto refrigerado con una temperatura mayor que la del medio, el producto cede calor hasta que se enfría a la temperatura del ambiente. El calor sensible por encima del punto de congelación se calcula así:

$$q_a = WCp_1 (T_p - T_i) \quad (3.6)$$

Donde:

q_a = Calor sensible cedido, Kcal/h.
 Cp_1 = Calor específico del producto por encima del punto de congelación, Kcal/Kg. °C.
 W = Peso del producto a refrigerar, Kg./h.
 T_p = Temperatura de entrada del producto, °C.
 T_i = Temperatura del cuarto refrigerado, °C.

6.2. Calor sensible por debajo del punto de congelación (q_b).



$$q_b = W C_{p2} (T_c - T_f) \quad (3.7)$$

Donde:

| | | |
|----------|---|---|
| q_b | = | Calor sensible cedido, Kcal/h. |
| C_{p2} | = | Calor específico del producto por debajo del punto de congelación, Kcal/Kg. °C. |
| T_c | = | Temperatura del punto de congelación del producto, °C. |
| T_f | = | Temperatura del producto congelado, °C. |
| W | = | Peso del producto a refrigerar, Kg./h. |

6.3. Calor latente de congelación (q_c).

Si el producto es congelado, este cederá su calor latente mientras cambia el estado a la temperatura de congelación.

$$q_c = W C_L \quad (3.8)$$

Donde:

| | | |
|-------|---|---|
| q_c | = | Calor latente de congelación cedido, Kcal/h. |
| W | = | Peso del producto, Kg./h. |
| C_L | = | Calor latente de congelación del producto, Kcal/Kg. |

6.4. Calor generado por respiración del producto (q_r).

cuando se almacena un producto por encima de 0°C, debe calcularse la carga debida al calor generado por respiración. Este tipo de calor es característico de productos que continúan vivos durante el almacenamiento como el caso de frutas y hortalizas.

El calor generado por respiración está dado por:

$$q_r = W R \quad (3.9)$$

Donde:

| | | |
|-------|---|--|
| q_r | = | Calor de respiración, Kcal/h. |
| R | = | Coefficiente de calor por respiración del producto, Kcal/Kg. -h. |
| W | = | Peso de producto a refrigerar, Kg. |



La carga debida al producto por refrigerar será la suma de las cuatro cargas precedentes, es decir:

$$q_6 = q_a + q_b + q_c + q_r \quad (3.10)$$

En la Tabla 3. 6 se reportan el punto de congelación promedio, calor específico, calor latente y calor de respiración para algunos productos.

7. Ganancia de calor debida al empaque (q₇).

Cuando el producto está empacado ya sea en bolsa de polietileno, cajas etc., el calor cedido por este tipo de empaque debe considerarse en el cálculo de la carga total, así:

$$q_7 = W C_e (T - T_i) \quad (3.11)$$

Donde:

| | | |
|----------------|---|---|
| q ₇ | = | Calor cedido por el empaque, Kcal/h. |
| W | = | Peso del empaque, Kg./h. |
| C _e | = | Calor específico del material del empaque, Kcal/Kg. - °C. |
| T | = | Temperatura de entrada, °C. |
| T _i | = | Temperatura interior del cuarto, °C. |

CARGA TOTAL DE CALOR.

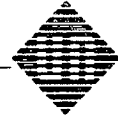
La cantidad total de calor que debe ser removida del cuarto frío por el equipo de refrigeración está dada por la suma de los ítems anteriores.

Generalmente la carga total de calor es afectada por un factor de seguridad del 10% adicional, en especial cuando el compresor opera de 16 a 18 horas por día solamente, con base en la carga de refrigeración se selecciona el equipo requerido.

EJEMPLO DE CALCULO DE CARGA DE REFRIGERACION.

Información para el diseño.

- Almacenar 2 ton/día de naranjas a razón de 200 Kg./h, para un total de 20 ton almacenadas.



- Localidad: Bucaramanga (1300 m.s.n.m.).
- Velocidad promedio del viento = 2.5 Km./h.
- Temperatura ambiente (máx.) = 30°C.
- Humedad Relativa (HR) = 75%.
- Temperatura de almacenamiento: 4.4 °C.
- Dimensiones externas del cuarto:

$$\text{Longitud (L)} = 7.5 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho (E)} = 5.0 \text{ m.}$$

$$\text{Alto (H)} = 3.0 \text{ m.}$$

- Paredes del cuarto en lámina de corcho, protegida por cada cara con una lámina de acero inoxidable.
- Carga eléctrica dentro del cuarto: Una bombilla de 150 Watts.
- Operarios requeridos: Uno.
- Empaque: Canastilla plástica de 60 x 40 x 25 cm. de 2 Kg. de peso c/u, con capacidad para 20 Kg. de naranjas. Calor específico del material $C_e = 0.3$ Kcal/Kg. °C.
- Aire de ventilación requerida: 2.0 m³/min. (Velocidad aprox. 20.0 m/min.).

CALCULOS.

1) Calor transferido a través de la estructura.

Para tener una ganancia de calor mínima debida al efecto solar, el cuarto debe estar orientado con su eje longitudinal en sentido E-W.

Cálculo del coeficiente U.

Como el espesor de las láminas de acero es muy pequeño, se puede asumir que su resistencia térmica (L/K) es despreciable y el coeficiente global de transferencia de calor está dado por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{L_c}{K_c} + \frac{1}{h_i}}$$

Para lámina de corcho se obtiene:

- Conductividad térmica promedio, $K_c = 0.039$ Kcal/h-m-°C (Tabla 3.1).
- Espesor del aislamiento, $L_c = 18$ cm. (Tabla 3.8, para $T_e - T_i = 25^\circ\text{C}$).

Para superficie muy lisa, se obtiene de la Tabla 3.2:



$$\begin{aligned}h_e &= 8.93 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C} \text{ (Para } V=2.5 \text{ Km./h).} \\h_i &= 7.82 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C} \text{ (Para } V=20 \text{ m/min.).}\end{aligned}$$

$$\text{Entonces } U = 0.21 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}.$$

Cálculo de calor transferido por las paredes.

Utilizando la ecuación (3.1) y la Tabla 3.3 para paredes de color claro, se tiene:

- Paredes Norte y Sur:
 $A = (L) 7.5 * (H) 3.0 * 2 = 45.0 \text{ m}^2.$
 $q_I = 0.21 * 45.0 (30 - 4.4 + 1.1) = 252.32 \text{ Kcal/h.}$
- Paredes Este y Oeste:
 $A = (E) 5.0 * (H) 3.0 * 2 = 30.0 \text{ m}^2.$
 $q_{II} = 0.21 * 30 (30 - 4.4 + 2.2) = 175.14 \text{ Kcal/h.}$
- Techo:
 $A = (L) 7.5 * (E) 5.0 = 37.5 \text{ m}^2.$
 $q_{III} = 0.21 * 37.5 (30 - 4.4 + 5.0) = 240.98 \text{ Kcal/h.}$
- Calor total transferido: $q_I = q_{II} + q_{III}$
 $q_I = 668.44 \text{ Kcal/h.}$

2. Ganancia de calor debida a las personas.

De la Tabla 3.4 para una temperatura del cuarto de 4.4 °C se tiene que una persona genera 211.7 Kcal/h.

3. Ganancia de calor debida a abertura de puertas y filtraciones de aire.

- Volumen interior del cuarto $V = 7.14 * 4.64 * 2.82 = 93.43 \text{ m}^3.$
- Cambios de aire por día: $N = 8.2$ (Para T °C y $V = 93.43 \text{ m}^3$ en la Tabla 3.5).
- Volumen específico del aire que entra: $V_e = 0.873 \text{ m}^3/\text{Kg}$ de aire seco (a 30°C en carta Psicrométrica del lugar).
- Entalpía externa (h_e) e interna (h_i): de la carta Psicrométrica del lugar se obtiene:
 $h_e = 90 \text{ KJ/Kg. aire seco} = 21.51 \text{ Kcal/Kg. aire seco.}$
 $h_i = 19 \text{ KJ/Kg. aire seco} = 4.54 \text{ Kcal/Kg. aire seco.}$

NOTA: $1\text{Kcal} = 4.184 \text{ KJ.}$



- Cantidad de calor ganado: de la ecuación (3.3) se obtiene.

$$q_3 = 661.14 \text{ Kcal/h.}$$

4. **Ganancia de calor debida al equipo misceláneo (q₄).**

Dentro del cuarto refrigerado solo se tiene instalada una bombilla de 150 Watts, por lo tanto se tiene:

$$q_4 = 0.86 * 150 \quad q_4 = 129.0 \text{ Kcal/h.}$$

5. **Ganancia de calor debida al aire de ventilación (q₅).**

- Cantidad de aire suministrada: se obtiene multiplicando el caudal de aire (m³/min) por la densidad a la temperatura exterior (Kg/m³).

$$\begin{aligned} M &= 2 * 1.146 * 60 = 137.52 \text{ Kg./h.} \\ h_e &= 21.51 \text{ Kcal/Kg. de aire seco.} \\ h_i &= 4.54 \text{ Kcal/Kg. de aire seco.} \\ q_5 &= 2292.5 \text{ Kcal/h.} \end{aligned}$$

6. **Ganancia de calor debido al producto (q₆).**

Se van a almacenar 2 ton. diarias de naranjas a razón de 200 Kg/h, hasta completar 20 ton, en el cuarto. De la Tabla 3. 6 se obtiene:

Para naranjas:

- Calor específico del producto por encima del punto de congelación.
C_{p1} = 0.90 Kcal/Kg. -°C.
- Coeficiente de calor por respiración R = 0.017 Kcal/Kg. -h.

6.1. **Calor sensible por encima de congelación.**

$$q_a = 200 * 0.9(30 - 4.4) \quad q_a = 4608.0 \text{ Kcal/h.}$$

6.2. y 6.3. **Calor sensible por debajo de congelación y calor latente de congelación.**

El producto no va a ser congelado, por lo tanto:

$$\begin{aligned} q_b &= 0.0 \text{ Kcal/h.} \\ q_c &= 0.0 \text{ Kcal/h.} \end{aligned}$$

**6.4. Calor generado por respiración.**

Se debe calcular la carga máxima, que es cuando están almacenadas las 20 ton., así:

$$q_r = 20.000 * 0.017 \quad q_r = 340.0 \text{ Kcal/h.}$$

- Ganancia de calor debido al producto.

$$\begin{aligned} q_6 &= q_a + q_b + q_c + q_r \\ q_6 &= 4948.0 \text{ Kcal/h.} \end{aligned}$$

7. Ganancia de calor debida al empaque.

Se introducirán 10 canastillas/h en el cuarto (capacidad de 20 Kg. de producto por canastilla). Si el calor específico de la canastilla es de 0.3 Kcal/Kg. °C y cada canastilla pesa 2 Kg., el calor cedido por el empaque será:

$$q_7 = 20 * 0.3 (30 - 4.4) \quad q_7 = 153.6 \text{ Kcal/h.}$$

8. Carga total de calor.

La carga total de calor o "carga de refrigeración" está dada por la suma de los ítems 1 a 7 multiplicada por 1.1 (factor de seguridad del 10%).

$$\begin{aligned} q_T &= 1.1 * 9064.38 \\ q_T &= 9970.82 \text{ Kcal/h.} \end{aligned}$$

TABLA 3.1. CONDUCTIVIDAD TERMICA, K, PARA ALGUNOS MATERIALES.

| MATERIAL | Conductividad, K (Kcal/h-m-°C) |
|------------------|--------------------------------|
| Ladrillo | 0.57 - 0.86 |
| Cemento | 0.30 |
| Acero Inoxidable | 13.40 |
| Corcho | 0.037 |
| Lana de vidrio | 0.033 - 0.067 |



| | |
|-------------------|---------------|
| Aluminio | 175.0 |
| Icopor (Styropor) | 0.026 - 0.030 |
| Madera: | |
| Roble: ⊥ al grano | 0.18 |
| // al grano | 0.30 |
| Pino: ⊥ al grano | 0.09 |
| // al grano | 0.21 |

Fuente: Kreith, F. (1973)

TABLA 3.2 COEFICIENTE DE PELICULA PARA TRANSMISION DE CALOR POR CONVECCION, EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

| SUPERFICIE | Coefficiente, h (Kcal/h-m ² - °C) |
|---------------|---|
| Muy lisa | $6.8 + 0.85 V^*$ |
| Madera lisa | $7.8 + 0.90 V$ |
| Hormigón | $9.8 + 1.2 V$ |
| Estuco áspero | $10.3 + 1.5 V$ |

* V = Velocidad del aire en Km/h.

Fuente : Weaver M., Kirkpatrick J. (1974)

TABLA 3.3 INCREMENTO DE TEMPERATURA I.T. (°C) DEBIDO AL EFECTO SOLAR

| TIPO DE SUPERFICIE | INCREMENTO DE TEMPERATURA IT (°C) | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| | PARED ESTE | PARED SUR Y NORTE | PARED OESTE | TECHO PLANO |
| Superficies de color oscuro | 4.4 | 2.8 | 4.4 | 11.1 |
| Superficies de color semioscuro. | 3.3 | 2.2 | 3.3 | 8.3 |
| Superficies de color claro. | 2.2 | 1.1 | 2.2 | 5.0 |



Fuente : Weaver M., Kirkpatrick J. (1974)

TABLA 3. 4. CALOR PERDIDO POR EL CUERPO HUMANO EN CUARTOS REFRIGERADOS.

| TEMPERATURA DEL CUARTO (°C) | CALOR PRODUCIDO/PERSONA (Kcal/h) |
|--|---|
| 10.0 | 181.5 |
| 4.4 | 211.7 |
| - 1.1 | 239.4 |
| - 6.7 | 264.6 |
| -12.2 | 302.5 |
| -17.8 | 327.6 |
| -23.3 | 352.8 |

Fuente : Weaver M., Kirkpatrick J. (1974)



TABLA 3.5 CAMBIO PROMEDIO DE AIRE POR 24 HORAS, PARA CUARTOS DE ALMACENAMIENTO, DEBIDO A ABERTURA DE PUERTAS Y FILTRACIONES.

| VOLUMEN DEL CUARTO m³ | TEMPERATURA >0°C Cambios de aire * en 24 horas | TEMPERATURA <0°C Cambios de aire * en 24 horas |
|---|--|--|
| 5.7 | 44.0 | 33.5 |
| 7.1 | 38.0 | 29.0 |
| 8.5 | 34.5 | 26.2 |
| 11.3 | 29.5 | 22.5 |
| 14.2 | 26.0 | 20.0 |
| 17.0 | 23.0 | 18.0 |
| 22.7 | 20.0 | 15.3 |
| 28.3 | 17.5 | 13.5 |
| 42.5 | 14.0 | 11.0 |
| 56.6 | 12.0 | 9.3 |
| 85.0 | 9.5 | 7.4 |
| 113.3 | 8.2 | 6.3 |
| 141.5 | 7.2 | 5.6 |
| 170.0 | 6.5 | 5.0 |
| 226.5 | 5.5 | 4.3 |
| 283.2 | 4.9 | 3.8 |
| 424.8 | 3.9 | 3.0 |
| 566.3 | 3.5 | 2.6 |
| 708.0 | 3.0 | 2.3 |
| 849.5 | 2.7 | 2.1 |
| 1132.7 | 2.3 | 1.8 |
| 1415.8 | 2.0 | 1.6 |
| 2123.8 | 1.6 | 1.3 |
| 2831.7 | 1.4 | 1.1 |

* Para uso pesado, multiplique los valores listados por 2.

Para almacenamiento prolongado, multiplique los valores listados por 0.6.

Fuente : Weaver M., Kirkpatrick J. (1974)



TABLA 3.6. PUNTO DE CONGELACION, CALOR ESPECIFICO, CALOR LATENTE DE FUSION Y CALOR DE RESPIRACION DE ALGUNOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|---------------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| VEGETALES | | | | | | |
| Alcachofa | -1.6 | 0.87 | 0.45 | 66.53 | 4.4 | 0.117 |
| Apio | -1.2 | 0.95 | 0.48 | 64.85 | 0.0 | 0.019 |
| | | | | | 4.4 | 0.027 |
| Berenjena | -0.8 | 0.94 | 0.48 | 73.19 | 10.2 | 0.107 |
| Brocoli | -1.6 | 0.92 | 0.47 | 72.08 | 4.4 | 0.128 - 0.197 |
| Calabaza | -1.1 | 0.92 | 0.47 | 72.08 | | |
| Cebolla cabezona | -1.1 | 0.90 | 0.46 | 68.75 | 0.0 | 0.008 - 0.013 |
| | | | | | 4.4 | 0.021 |
| Champiñones | -1.1 | 0.93 | 0.47 | 72.08 | 0.0 | 0.071 |
| | | | | | 10.0 | 0.254 |
| Coliflor | -1.1 | 0.93 | 0.47 | 73.19 | 4.4 | 0.052 |
| Espárragos | -1.2 | 0.94 | 0.48 | 74.29 | 4.4 | 0.135 - 0.267 |


TABLA 3.6. CONTINUACION.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|----------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|---------------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| Espinacas | -1.0 | 0.94 | 0.48 | 73.19 | 4.4 | 0.092 |
| Guisantes | -1.1 | 0.79 | 0.42 | 58.77 | 4.4 | 0.153 - 0.185 |
| Habichuela | -1.2 | 0.91 | 0.47 | 70.97 | 4.4 | 0.112 - 0.132 |
| Frijol Verde | -1.1 | 0.73 | 0.40 | 51.12 | 4.4 | 0.049 - 0.070 |
| Lechuga | -0.6 | 0.96 | 0.48 | 75.40 | 0.0 | 0.026 |
| | | | | | 4.4 | 0.031 |
| Mazorca | -1.7 | 0.79 | 0.42 | 58.77 | 0.0 | 0.084 - 0.021 |
| | | | | | 4.4 | 0.122 - 0.153 |
| Pepino cohombro | -0.8 | 0.97 | 0.49 | 75.96 | 4.4 | 0.024 |
| | | | | | 15.5 | 0.104 |
| Repollo de Bruselas. | -0.6 | 0.88 | 0.46 | 67.64 | 4.4 | 0.076 - 0.128 |
| Remolacha | -0.5 | 0.90 | 0.46 | 69.86 | 0.0 | 0.031 |
| | | | | | 4.4 | 0.047 |
| Pimentón | -1.1 | 0.94 | 0.47 | 73.19 | 4.4 | 0.054 |



TABLA 3. 6. CONTINUACION.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|-------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|---------------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| Papa | -1.7 | 0.82 | 0.43 | 61.54 | 4.4 | 0.015 - 0.021 |
| Rábanos sin hojas | -1.1 | 0.95 | 0.48 | 74.29 | 0.0 | 0.048 |
| Ruibarbo | -2.0 | 0.96 | 0.48 | 74.29 | | |
| Tomate verde | -0.9 | 0.95 | 0.48 | 74.29 | 15.5 | 0.071 |
| Tomate 3/4 maduro | -0.9 | 0.95 | 0.48 | 74.29 | 4.4 | 0.014 |
| Zanahoria | -1.2 | 0.90 | 0.46 | 69.86 | 0.0 | 0.024 |
| | | | | | 4.4 | 0.041 |
| FRUTAS | | | | | | |
| Aguacate | -2.7 | 0.91 | 0.49 | 75.40 | 15.5 | 0.153 - 0.459 |
| Albaricoque | -2.2 | 0.88 | 0.46 | 67.64 | | |
| Bananos Verdes | -2.2 | 0.80 | 0.42 | 59.88 | 12.8 | 0.060 |
| | | | | | 15.6 | 0.076 |
| | | | | | 20.0 | 0.097 - 0.107 |
| Bananos Maduros | -2.2 | 0.80 | 0.42 | 59.88 | 12.8 | 0.130 |


TABLA 3.6. CONTINUACION.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|---------------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| Ciruela | -2.2 | 0.88 | 0.45 | 62.10 | 1.7 | 0.022 |
| Duraznos | -1.4 | 0.90 | 0.46 | 68.75 | 0.0 | 0.013 |
| Frambuesas | -1.1 | 0.85 | 0.45 | 68.20 | 4.4 | 0.020 |
| Fresas | -1.1 | 0.92 | 0.47 | 71.52 | 4.4 | 0.078 - 0.098 |
| Granadas | -2.2 | 0.87 | 0.48 | 62.10 | 15.5 | .209 - 0.257 |
| Limas | -1.7 | 0.89 | 0.46 | 67.64 | 0.0 | 0.038 |
| Limonos | -2.2 | 0.92 | 0.46 | 70.41 | 4.4 | 0.071 |
| Mandarinas | -2.2 | 0.93 | 0.51 | 69.86 | 4.4 | 0.010 |
| | | | | | 15.5 | 0.034 |
| | | | | | 4.4 | 0.012 |
| | | | | | 15.5 | 0.034 |
| | | | | | 4.4 | 0.068 |

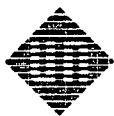


TABLA 3. 6. CONTINUACION

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| Mangos | 0.0 | 0.90 | 0.46 | 74.29 | 10.0 | 0.153 |
| Manzanas | -2.0 | 0.86 | 0.45 | 67.09 | 0.0 | 0.010 |
| Melones | -1.7 | 0.94 | 0.48 | 73.19 | 4.4 | 0.018 |
| Membrillos | -2.2 | 0.88 | 0.45 | 68.20 | 4.4 | 0.023 |
| Moras | -1.7 | 0.88 | 0.46 | 67.64 | | |
| Naranjas | -2.2 | 0.90 | 0.46 | 68.75 | 0.0 | 0.009 |
| | | | | | 4.4 | 0.017 |
| Peras | -1.9 | 0.86 | 0.45 | 65.42 | 0.0 | 0.009 |
| Piñas | -1.4 | 0.88 | 0.45 | 68.20 | 9.0 | 0.020 |
| Sandías-Badeas | -1.6 | 0.97 | 0.48 | 73.19 | 15.0 | 0.027 |
| Toronja | -2.0 | 0.91 | 0.46 | 69.86 | 0.0 | 0.006 |
| | | | | | 4.4 | 0.012 |
| Uvas | -3.2 | 0.86 | 0.44 | 64.31 | 1.7 | 0.010 |


TABLA 3. 6. CONTINUACION.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|--------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|-----------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| CARNES | Y | | | | | |
| PESCADOS | -2.8 | 0.79 | 0.37 | 58.77 | | |
| Aves | -2.2 | 0.90 | 0.49 | 65.98 | | |
| Bacalao | -2.2 | 0.83 | 0.45 | 65.98 | | |
| Camarones | -2.2 | 0.68 | 0.38 | 47.96 | | |
| Cerdo | -1.7 | 0.67 | 0.30 | 46.30 | | |
| Cordero | -1.7 | 0.72 | 0.40 | 51.73 | | |
| Hígado | -2.8 | 0.68 | 0.38 | 47.96 | | |
| Jamón y Lomo | -2.2 | 0.89 | 0.48 | 64.31 | | |
| Moluscos | -2.2 | 0.76 | 0.41 | 56.00 | | |
| Pescado fresco | -1.7 | 0.77 | 0.40 | 55.44 | | |
| Res flaca | -2.2 | 0.60 | 0.35 | 43.80 | | |
| Res gorda | -3.3 | 0.89 | 0.56 | 51.56 | | |
| Salchichas Frescas | -3.9 | 0.86 | 0.56 | 47.68 | | |



TABLA 3. 6. CONTINUACION.

| PRODUCTO | PUNTO DE CONGELACION PROMEDIO (°C) | CALOR ESPECIFICO (Kcal/Kg-°C) | | CALOR LATENTE DE FUSION (Kcal/Kg) | CALOR DE RESPIRACION | |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------|
| | | Por encima del punto de congelación | Por debajo del punto de congelación | | °C | Kcal/Kg-h |
| VARIOS | | | | | | |
| Crema de helado | -2.7 a -17.8 | 0.78 | 0.45 | 53.22 | | |
| Huevos en embalaje. | -2.8 | 0.76 | 0.40 | 55.44 | | |
| Leche | -0.6 | 0.93 | 0.49 | 68.75 | | |
| Mantequilla | -1.1 a -17.8 | 0.64 | 0.34 | 8.32 | | |
| Quesos | -7.3 a -16.1 | 0.64 - 0.70 | 0.32 - 0.40 | 43.8 - 47.68 | 4.4 | 0.052 |

Fuente: Tabla elaborada por el autor y tomada de las diferentes fuentes citadas en la bibliografía



AISLAMIENTO DE INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

La condición básica para el montaje y puesta en servicio de las modernas instalaciones industriales es disponer de energía suficiente en forma económica, para lo cual se debe proteger el elemento portador de la misma contra pérdidas, siempre que ello sea técnicamente viable y rentable.

El objetivo primordial del aislamiento es proteger las instalaciones frigoríficas de pérdidas de energía, así como asegurar su funcionamiento correcto. Esto se consigue revistiendo interiormente los elementos transportadores de frío, con materiales poco conductores del calor - materiales amortiguadores o aislantes - como por ejemplo, el aire en reposo alojado en células pequeñas de un diámetro inferior a 1 mm.

La efectividad del aislamiento depende del espesor de la capa de amortiguación. Cuanto más gruesa sea la capa, tanto mayor es la resistencia calorífica. Sin embargo al aumentar el espesor de la capa, aumenta también el costo. Los costos del aislamiento deben mantenerse en una determinada proporción respecto al efecto útil, por esta razón es necesario calcular la capa de aislamiento considerando la rentabilidad de toda la instalación. El cálculo del espesor del aislante necesario debe reservarse a una firma especializada, pues debido a los muchos factores que intervienen es muy laborioso y no puede realizarse aquí.

PROPIEDADES DE LOS AISLANTES.

Los aislantes deben poseer las siguientes cualidades:

- Impedir el paso del calor (baja conductividad térmica).
- Baja absorción de la humedad.
- No putrefascible.
- De olor no nocivo.
- Baja densidad.
- Dificilmente inflamables.
- Resistentes a la temperatura.
- Resistentes a la compresión.
- Fácil de trabajar.
- Comportamiento químico neutro.

Todos los materiales aislantes están sometidos a una acción constante de la humedad, que influye considerablemente en su capacidad de aislamiento. Por esta razón es



necesario construir las paredes de las cámaras frigoríficas, el techo y también los depósitos, de forma que el aislamiento permanezca seco durante muchos años. La Tabla 3.7 muestra algunos datos tecnofísicos de varios materiales aislantes.

ESPESOR DEL AISLAMIENTO.

El aislamiento térmico de las paredes y techos de las cámaras frigoríficas se debe elegir de tal modo, que la pérdida de calor para la diferencia de la temperatura máxima sea inferior a 8 Kcal/m²-h. (Recomendación según VDI 2055, Sección 3.5242).

En la Tabla 3.8 se muestran algunos valores aproximados de espesor rentable de aislamiento, pero para mayor exactitud se sugiere calcularlo a partir de las ecuaciones 3.1 y 3.2.


TABLA 3.7. DATOS TECNOFISICOS DE VARIOS MATERIALES AISLANTES.

| AISLANTE | CAMPO DE APLICACION °C | CONDUCTIVIDAD k (Kcal/m-h-oC) | RESISTENCIA A LA COMPRESION Kg/cm ² | PESO VOLUMETRICO Kg/m ³ | COMBUSTIBILIDAD |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Piaterm | -200 a + 70 | 0.026 a 0.031 | 0.1 | 15.0 | Dificilmente in-flamable. |
| Espuma de Poliestirol. | - 40 a + 70 | 0.028 a 0.032 | 1 a 2 | 13 a 70 | Combustible y también difícil-mente inflamable. |
| Espuma de vidrio. | -180 a + 400 | 0.039 a 0.045 | 7 a 8 | 130 a 170 | Incombustible. |
| Placa de corcho (aglomerado con brea) | -200 a + 60 | 0.032 a 0.046 | 2 a 5 | 140 a 225 | Combustible |
| Poliestireno expandible (Styropor-F) | -180 a + 85 | 0.026 a 0.030 | 1 a 4 | 20 a 30 | Dificilmente inflamable. |

Fuente: BASF (1966) y Morsel, H (1973)

**TABLA 3. 8. VALORES APROXIMADOS PARA ESPESORES RENTABLES DEL AISLAMIENTO.****a) AISLAMIENTO DE TUBOS.**

| DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO mm | DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL MEDIO REFRIGERADO Y EL AIRE AMBIENTE EXTERIOR. °C | ESPEJOR RENTABLE DEL AISLAMIENTO. mm |
|---|--|--|
| 50 | 10 | 30 |
| | 20 | 50 |
| | 40 | 80 |
| 100 | 10 | 50 |
| | 20 | 60 |
| | 40 | 80 |
| 200 | 10 | 50 |
| | 20 | 60 |
| | 40 | 100 |
| 400 | 10 | 50 |
| | 20 | 80 |
| | 40 | 110 |

b) AISLAMIENTO DE LOCALES.

| DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL MEDIO REFRIGERADO Y EL AIRE AMBIENTE EXTERIOR °C | ESPEJOR RENTABLE DEL AISLAMIENTO cm |
|---|---|
| 5 | 10 |
| 10 | 12 |
| 15 | 14 |
| 20 | 16 |
| 25 | 18 |
| 30 | 20 |
| 35 | 22 |
| 40 | 24 |
| 45 | 26 |
| 50 | 28 |

Fuente: BASF (1966) y Morsel, H., (1973)



BIBLIOGRAFIA

- 1- BASF., 1966. "Cuerpos expandidos de Styropor - construcción de cámaras y casas frigoríficas". Reimpresión S-575.
- 2- DESROSIER, N. 1983. "Conservación de Alimentos". Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Decimasegunda impresión".
- 3- KARLEKAR, B. V. y DESMOND, R. M. 1990. "Transferencia de Calor" McGraw-Hill, México. Segunda Edición.
- 4- KREITH, F., 1973. "Principles of Heat Transfer". Third Edition. Intext Educational Publishers. New York.
- 5- MORSEL, H., 1973. "Vademecum del Frigorista". Editorial Acribia. Zaragoza-España.
- 6- PANTASTICO, E.B., 1979. "Fisiología de Postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales". Cía. Editorial Continental, S.A. México.
- 7- STOECKER, W.F., 1970. "Refrigeración y Acondicionamiento de Aire",
- 8- THOMPSON, A.K. 1996. "Postharvest Technology of Fruits and Vegetables". Blackwell Science Ltda, U.S.A.
- 9- WEAVER M., KIRKPATRICK J., 1974. "Environment Control. Air Conditioning and Refrigeration. Theory and Application". Harper & Row, Publisher.

ALMACENAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN ATMOSFERA MODIFICADA Y CONTROLADA

INTRODUCCION

En los últimos años, se ha incrementado la demanda y el consumo de productos frescos como frutas y hortalizas. Cada vez existen mas restricciones sobre el uso de agentes químicos (fungicidas, pesticidas, bactericidas, etc.) para la preservación de alimentos, los cuales comúnmente dejan residuos que pueden ser dañinos para la salud humana. Por esta razón, es importante buscar otras alternativas para la conservación de los productos hortofrutícolas, tales como tratamientos físicos, los cuales involucran el uso de atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC).

Es posible mediante la mezcla de gases en proporciones adecuadas de O_2 , CO_2 y N_2 , obtener la mejor combinación para así prolongar el tiempo de almacenamiento, teniendo en cuenta factores importantes como el material del envase, la temperatura de almacenamiento, el equipo de envasado y el tipo de alimento.

Generalizando, podemos decir que a mayor concentración de CO_2 se prolongará la vida del producto, una pequeña concentración de oxígeno asegura el buen estado de ciertos alimentos y una alta concentración de N_2 , evitará la ruptura del envase en aquellos productos de alto nivel metabólico.



La Atmósfera Modificada (AM) es una técnica física que no deja residuos químicos en los alimentos y se refiere a cualquier atmósfera con un contenido gaseoso diferente a la del aire normal (20-21% de O_2 , 0.03% de CO_2 , 78-79% de N_2 y trazas de otros gases), pero los niveles de CO_2 y O_2 no son controlados a concentraciones específicas. Una atmósfera controlada (AC) se refiere a una atmósfera con un control estricto de las concentraciones de O_2 , CO_2 y N_2 ; generalmente, la concentración de O_2 es menor y la CO_2 y N_2 son superiores a las concentraciones normales del aire atmosférico.

La composición de la atmósfera dentro de una fruta esta controlada por la respiración del producto (consumo de O_2 y producción de CO_2), la producción de etileno, la permeabilidad de las barreras naturales de la fruta a estos gases y la diferencia en presión parcial dentro y fuera del producto.

En el fruto, durante el proceso de maduración, se llevan a cabo varios cambios fisiológicos que se deben disminuir al mínimo si se quiere prolongar la vida del fruto y mantener su calidad

La composición atmosférica dentro de un tejido vivo, como en las frutas y hortalizas, esta determinado por:

1. La Intensidad Respiratoria (consumo de O_2 y producción de CO_2)
2. La producción de etileno.
3. La permeabilidad de las barreras naturales del tejido (cutícula, epidermis, estomas, lenticelas, etc.) y de las barreras sintéticas como las ceras.
4. La diferencia en la presión parcial de los gases dentro y fuera del tejido.
5. Las características (permeabilidad) de las barreras sintéticas, tales como las cubiertas plásticas (en caso de ser utilizadas).

Al empacar un producto hortofrutícola en cualquier empaque, éste proporcionará una barrera para el intercambio gaseoso con el ambiente externo. La atmósfera que proporciona esta barrera depende del tipo de material del empaque y de la velocidad del aire de ventilación alrededor del producto. Un cuarto de almacenamiento o un vehículo de transporte también proporcionan otra barrera. La atmósfera que se desarrolla alrededor del fruto en este caso depende de que tan hermético es el cuarto y del movimiento del aire (ventilación) dentro del mismo. El efecto de estas barreras al intercambio gaseoso es acumulativo y debe ser considerado cuando se selecciona una condición adecuada de manejo para proporcionar la mejor atmósfera alrededor del producto.



RESEÑA HISTORICA

Aunque el concepto básico fue desarrollado en Francia (Berard, 1820), no fue sino un siglo más tarde cuando se iniciaron los estudios científicos en el Reino Unido. El primer trabajo experimental para desarrollar la técnica en forma de tecnología fue llevado a cabo por Kidd y West en Inglaterra entre 1915 y 1930. Estos investigadores encontraron que la disminución en la concentración de O₂ o el incremento en la concentración de CO₂ redujo la velocidad metabólica de la manzana y por lo tanto prolongó su vida en postcosecha.

El mayor desarrollo comercial ocurrió en los Estados Unidos en la década de 1950. El proceso fue estudiado por años en Cambridge, Davis e Ithaca. Sólo después de considerables trabajos de laboratorio se empezaron a realizar las primeras pruebas en almacenamiento de manzanas, las cuales al resultar exitosas, fueron implementadas a nivel comercial con grandes incrementos de uso. Con el incremento del almacenamiento en Atmósferas Controladas (AC), varios empresarios norteamericanos vieron la posibilidad de desarrollar generadores mecánicos de atmósferas y ampliar su uso dentro y fuera de los Estados Unidos de Norteamérica.

A pesar de ser una técnica aplicable a muchos productos hortofrutícolas, su éxito inicial fue con manzanas, beneficiándose tanto productores como consumidores. Los productores recibieron un valor neto mayor y los consumidores se beneficiaron de una calidad superior del fruto durante un período de tiempo mayor. Pocas veces ambos grupos se han beneficiado por una nueva tecnología agrícola (Dalrymple, D., 1967).

El uso de Atmósferas Modificadas (AM) y Controladas (AC) debe ser considerado como una técnica suplementaria al Almacenamiento Refrigerado. La bondad de su uso depende de la variedad de producto, de su edad fisiológica, de la composición de la atmósfera circundante, de la temperatura y del tiempo de almacenamiento. Esto explica la amplia variabilidad de los resultados publicados para un mismo producto. Actualmente este método se utiliza a nivel mundial para la conservación de peras, melocotones y manzanas en sistemas de almacenamiento refrigerado (más de la mitad del almacenamiento de manzanas en Estados Unidos y de cítricos en Israel se hace en condiciones de AC (Kader, A., 1992). Recientemente se ha estudiado el uso de CO₂ para el control de patógenos en productos almacenados (Kader, A. et al, 1985).



EFFECTOS DE LAS ATMOSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

BENEFICIOS

La utilización de AC O AM representa grandes beneficios para la conservación de productos hortifrutícolas, siempre y cuando se combine con la refrigeración utilizando adecuadas temperaturas para cada producto. (Kader, A., 1992 y Yahia, E., 1995).

Algunas de estos beneficios son:

1. Bajos niveles de O_2 (Inferiores al 8%) y altos de CO_2 , disminuyen la Intensidad Respiratoria de los productos hortofrutícolas.
2. La baja concentración de O_2 , en las AM y AC disminuye la síntesis y la acción del etileno. La alta concentración de CO_2 en las AM y AC también sirve como un inhibidor competitivo a la acción del etileno, compitiendo con sus receptores. Las AM y AC reducen la sensibilidad del producto al etileno.
3. La disminución del metabolismo respiratorio y de la síntesis y acción del etileno contribuyen al control de la maduración y de la senescencia en los tejidos vegetales.
4. Las AM y AC disminuyen la pérdida de vitaminas.
5. Las bajas concentraciones de O_2 ($\leq 1\%$) y las altas concentraciones de CO_2 ($\geq 10\%$) en las AM y AC tienen un efecto fungistático.
6. Las AM y AC pueden controlar insectos. Los niveles de O_2 y de CO_2 necesarios para eliminar insectos en un periodo corto de tiempo, son muy extremos ($\leq 0.5\%$ de O_2 y $\geq 50\%$ de CO_2).
7. Las AM y AC controlan algunos desórdenes fisiológicos como el daño por frío en los tejidos vegetales de origen tropical o subtropical.
8. Permite la comercialización en un grado de madurez más avanzado.
9. Efecto directo sobre la pudrición y acción de microorganismos.
10. Se limita la degradación de la clorofila, por lo que los productos mantienen un color vistoso.

Los beneficios antes mencionados se traducen en una reducción en la pérdida cuantitativa y cualitativa de las frutas y en un aumento en su vida en postcosecha.



DESVENTAJAS

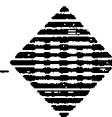
El uso de las AM y AC en forma inadecuada resulta en varios problemas que pueden causar pérdidas en el producto (Kader, A., 1992 y Yahia, E., 1995), a saber:

1. Maduración irregular y anormal de los frutos, como consecuencia del uso de concentraciones de Oxígeno menores al 2% o de concentraciones de CO₂ superiores al 5%.
2. Concentraciones muy bajas de O₂ y/o muy altas de CO₂ (dependiendo del tipo de producto) producen un cambio de respiración aeróbica a anaeróbica, así como la fermentación del producto, desarrollándose olores y sabores anormales.
3. El almacenamiento de frutas en AC por largo tiempo disminuye su capacidad para desarrollar su sabor y aroma característicos.
4. Las AM y AC pueden estimular distintos desordenes fisiológicos que alteren la calidad estética del producto, tales como: el desarrollo interno de coloraciones pardas o café en varios productos vegetales (ej.: manzanas y peras), corazón negro en papas y manchas en lechugas, la inhibición del desarrollo del peridermo y la estimulación de la germinación en raíces y tubérculos.
5. Aumento en la susceptibilidad al ataque de hongos.
6. Incremento de la susceptibilidad a la pudrición, cuando los niveles de O₂, bajan en demasía y los de CO₂ aumentan considerablemente.

ATMOSFERAS MODIFICADAS (AM)

La atmósfera modificada tiene como objetivo principal cambiar el microambiente del producto almacenado y debe considerarse como una técnica complementaria a un adecuado manejo de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento del producto.

Para controlar el contenido de humedad se pueden utilizar productos deshidratadores, los cuales son capaces de absorber vapor de agua en ambientes cerrados (cámaras herméticas), para mantener valores específicos de humedad, retirando en general un mínimo de 16% de vapor de agua por peso del producto. La AM difiere de la atmósfera controlada solamente en el grado de control de los gases presentes. Su buen empleo depende de factores como son: el tipo de producto (variedad, grado de madurez), intensidad respiratoria, temperatura y tiempo de almacenamiento, susceptibilidad del producto a bajos niveles de O₂ y moderados de CO₂.



MÉTODOS PARA LA CREACION DE LAS ATMOSFERAS MODIFICADAS.

Una forma común de crear una AM es utilizando películas poliméricas como barreras de intercambio gaseoso. Existe una gran lista de diferentes tipos de películas con características distintas en base a sus permeabilidad a los diferentes gases y al vapor de agua, a la facilidad de sellado y a la resistencia mecánica. La película adecuada depende del tipo de alimento y de la atmósfera apropiada para la conservación de su calidad. La tabla 4.1. presenta la permeabilidad de algunas películas poliméricas al O₂, CO₂ y al vapor de agua.

La técnica de utilizar el empaque para generar atmósferas modificadas (Empaque en atmósferas Modificadas -EMAM) es muy utilizada, ya sea en forma de empaques individuales, como en el caso de cítricos y guayaba manzana, ya en forma de cajas como en el caso del plátano y del banano, ya en forma de pallets como en el caso de fresa, o en forma de contenedores durante el transporte marítimo.

TABLA 4.1. PERMEABILIDAD DE ALGUNAS PELÍCULAS POLIMERICAS

| TIPO DE PELÍCULA | O ₂ | CO ₂ | PVA |
|------------------------|----------------|-----------------|-----------|
| Polietileno | 3900-13000 | 7700-77000 | |
| Polipropileno | 1300-6400 | 7700-21000 | |
| Poliestireno | 2600-7700 | 1000-26000 | |
| Acetato de celulosa | 1814-2325 | 13300-15500 | 1163-1395 |
| Cloruro de polivinilo | 620-2248 | 4263-8138 | 140-171 |
| Cloruro de polividieno | 15.5 | 59 | 31 |
| Nylon-6 | 15.5 | 31 | 126 |
| Policster | 52-130 | 180-390 | |
| Policarbonato | 13950-14725 | 3250-26350 | 10.9-17.1 |
| Etilcelulosa | 31000 | 77500 | 310 |
| metilcelulosa | 1240 | 6200 | 3100 |
| Alcohol de polivinilo | casi 0 | casi 0 | casi 0 |
| Fluoruro de polivinilo | 50 | 171 | |

Permeabilidad: ml/mil/m²/dia.atm.

PVA: Velocidad de transmisión al vapor de agua, ml/dia/m²/mil

Fuente: Yahia, E. 1995.



En el caso de atmósferas modificadas es muy difícil pasar de la teoría a la práctica, ya que técnicamente es complicado lograr una combinación ideal de una película para un producto y lograr el grosor adecuado de la misma. Cuando se utiliza una película muy delgada, se crea una atmósfera modificada imprecisa ya que la permeabilidad no es uniforme en toda la superficie a causa de orificios microscópicos y quemaduras del producto. La permeabilidad de la película no cambia con la temperatura a la velocidad a que lo hace la respiración por lo que puede presentarse una atmósfera modificada imprecisa.

El EMAM puede utilizarse en forma **pasiva** en donde la modificación de la atmósfera se lleva a cabo por la respiración del mismo fruto y la permeabilidad del material del empaque. Sin embargo, también puede utilizarse en forma **semi-activa** en donde la atmósfera se modifica desde el inicio añadiendo o quitando mezclas de gases.

Atmósfera Modificada Pasiva

Cuando las características del producto y las de permeabilidad de película son combinadas adecuadamente, una atmósfera apropiada puede formarse pasivamente dentro de un empaque sellado como resultado del consumo de O_2 y producción de CO_2 a través de la respiración. (Zagory, K., 1988)

Esto se logra si la permeabilidad de la película permite la entrada de O_2 en la misma proporción a O_2 consumido y el CO_2 escapa en la misma proporción que el producido.

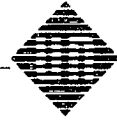
Atmósfera Modificada Semi-activa

Se usa cuando se tienen problemas para establecer una atmósfera pasiva adecuada. Para proporcionar entonces una atmósfera adecuada se crea un vacío y se reemplaza la atmósfera por la mezcla de gas deseada. Esta mezcla puede ser ajustada posteriormente mediante el uso de absorbentes que pueden ser colocados en el interior del empaque.

Implica costos adicionales, pero traen grandes beneficios como el establecimiento rápido de la atmósfera deseada. Los absorbentes de etileno pueden ayudar a asegurar el retraso del climaterio en la respiración de algunas frutas. Los absorbentes de CO_2 evitan los niveles tóxicos del mismo

Es necesario considerar varios factores importantes para poder crear y mantener sistemas de EMAM pasivos o semi-activos, tales como:

1. Tipo de fruto y su velocidad metabólica (consumo de O_2 y producción de CO_2).
2. Las características del material de empaque, tales como la permeabilidad a los gases y al vapor de agua.
3. La atmósfera adecuada para cada fruto.



4. Los niveles de tolerancia del fruto a los distintos gases.

Transporte en AM

La utilización de las AM en vehículos de transporte terrestre (transporte por carreteras) es difícil porque estos no son muy herméticos. Sin embargo, la mayoría de las unidades refrigeradas de ferrocarril son relativamente herméticas y permiten el uso de las AM. Las AM también se pueden utilizar en contenedores de transporte marítimo. En los últimos 20 años, en México se ha transportado cantidades pequeñas de aguacate y de mango en AM a Europa y Asia sin grandes éxitos, debido a que el sistema que se sigue utilizando es muy ineficiente y no sirve para un control adecuado de la atmósfera. Otros países en América Latina, incluyendo Chile, han transportado frutas en AM y varios siguen utilizando el mismo sistema utilizado en México. Otros sistemas comerciales y muy eficientes de transporte en AM y AC están disponibles actualmente en el mercado y deben ser utilizados.

ALMACENAMIENTO EN ATMOSFERAS CONTROLADAS (AC)

Este método si se combina con la refrigeración retarda la actividad respiratoria, el amarillamiento, los cambios en la calidad, el ablandamiento y otros procesos de pudrición y descomposición, prolongando la vida de los productos.

Desde el punto de vista de la fisiología postcosecha, la AC disminuye la velocidad de la respiración, producción de etileno, maduración y senescencia.

Las AC se utilizan actualmente en forma comercial casi exclusivamente para el almacenamiento de manzanas, peras, duraznos y coles. Más de la mitad del almacenamiento de manzanas en Estados Unidos y de cítricos en Israel se hace en condiciones de AC. (Kader, A., 1992).

Existen varios sistemas de AC y su uso depende del tipo de producto, de la razón del uso de las AC y del tiempo de almacenamiento requerido. (Yahia, E., 1995)

AC convencional (ACC)

Es el sistema tradicional que se ha utilizado en forma comercial para el almacenamiento de manzanas desde hace aproximadamente 6 décadas. La fruta modifica la atmósfera disminuyendo la concentración de O_2 y aumentando la concentración de CO_2 (por el proceso de la respiración) hasta que se establece la atmósfera necesaria. Se deben monitorear los niveles de gases todos los días y cuando se establecen los niveles adecuados empieza el control de los mismos. El



nivel de O_2 se mantiene introduciendo aire del exterior del cuarto y el nivel de CO_2 se mantiene por remoción con uno de los varios métodos existentes. En un almacén para manzana se necesita alrededor de 10 días desde el momento de sellar el cuarto hasta que se establecen las concentraciones de O_2 y de CO_2 necesarias.

AC rápida (ACR)

Se ha encontrado que un control rápido (inmediatamente después de sellar el cuarto) prolonga mas la vida de la fruta y mantiene mejor su calidad. Este sistema se empezó a utilizar desde 1970 aproximadamente; en él, el control de los gases de la atmósfera se inicia inmediatamente después de sellar el cuarto. Este es el sistema más utilizado actualmente durante el almacenamiento de manzanas, peras y coles. Se utiliza un sistema para generar la atmósfera después de sellar el cuarto y para mantener controlados los niveles de los gases se utiliza un sistema similar al mencionado para ACC.

AC de ultra bajo oxígeno (ACBO)

La concentración de O_2 mas baja recomendada para el almacenamiento de manzana es de aproximadamente 2%. Se encontró que si se controla la concentración de oxígeno a niveles mas bajos en el almacén, éste puede prolongar la vida de la fruta y preservar su calidad. Este sistema se empezó a utilizar desde la década del 70. Es una AC rápida de niveles de O_2 muy bajos (menos del 1%) sin usar altos niveles de CO_2 . Estos niveles tan bajos de O_2 son muy críticos, por lo que se necesita un sistema de vigilancia y control muy eficientes para prevenir que la concentración de O_2 se disminuya a niveles peligrosos para la fruta. Actualmente existen sistemas de control muy eficientes y capaces de mantener un control estricto de las concentraciones bajas de O_2 .

AC de alto bióxido de carbono

La manzana almacenada por largo tiempo tolera alrededor de 5% de CO_2 . Se encontró que exponiendo la fruta a una concentración de 10 a 15% de CO_2 por 2 a 4 semanas a 0-5°C antes de iniciar la atmósfera ideal, disminuye la pérdida de textura (ablandamiento) y de calidad, prolongando la vida de la fruta. Este sistema se empezó a utilizar desde la década del 70, pero su uso comercial esta limitado al noroeste de los Estados Unidos para la manzana Golden Delicious.

AC de bajo etileno (ACBE)

Las manzanas producen una cantidad alta de etileno. Normalmente, se acumulan de 500 a 1000 ppm de etileno en el cuarto en el cual se utilizan los sistemas de ACC o ACR. El etileno (hormona de la maduración) puede iniciar sus efectos fisiológicos



a una concentración muy baja (aproximadamente de 3 ppm) . Al mantener una concentración muy baja de este gas en el almacén, se puede preservar la fruta por un tiempo más largo. Este sistema empezó a utilizarse en forma comercial en el año de 1983 en el Noroeste de los Estados Unidos y consiste en una AC rápida con bajos niveles de O_2 y altos niveles de CO_2 y con un control vigoroso de los niveles de etileno en el almacén. Los niveles de etileno en este sistema no deben ser mayores de 1 ppm.

AC de baja presión

Reduciendo la presión total del aire (bajo condiciones de vacío) se produce una reducción en la presión parcial de los gases individuales. Este es un método muy exacto para controlar la concentración de O_2 y también para acelerar la pérdida de los volátiles (como etileno) de la atmósfera. Sin embargo es una técnica costosa y no permite añadir otros gases como el CO_2 y el CO . Esta técnica se utilizó en los años 70 para el transporte de flores y de carnes. Se desarrollaron cámaras de transportes y de almacenamiento permanente bajo presión; sin embargo, actualmente no se usa en forma comercial. Los contenedores son pesados porque son hechos con material que debe resistir el vacío.

AC/AM insecticidas (Tratamientos Cuarentenarios)

Los niveles de atmósferas necesarios para el control de insectos en tiempo corto son de 0.5% de O_2 o menos y 50% de CO_2 o más. Esta técnica se ha utilizado en forma comercial durante el almacenamiento de cereales en donde se controla la mayoría de los insectos en un periodo de 2 a 4 días a temperatura de $20^\circ C$ o más. Esta técnica está siendo investigada actualmente como una alternativa al uso de químicos en el control de insectos (Control Biológico) en productos vegetales. La tabla 4.2. presenta las condiciones de la atmósfera y la temperatura para el control de insectos en Atmósferas Modificadas y Controladas

Los cuartos refrigerados pueden acondicionarse para almacenamiento en AC con algunas modificaciones que incluyen:

- Un sistema de sellado eficiente, para disminuir al mínimo el intercambio de gases.
- Un sistema que no permite el desarrollo de una presión dentro del cuarto.
- Un sistema para monitorear la composición atmosférica y corregir el cambio de gases preferiblemente en forma automática.
- Todas las partes del cuarto (las paredes, el techo, el piso, las puertas, etc.) tienen que ser herméticas. El poliuretano expandido es muy adecuado y sirve para el aislamiento térmico y gaseoso.



Aspectos a tener en cuenta durante la construcción de cuartos de almacenamiento en AC

1. Tamaño. Varias unidades de alrededor de 100 ton cada una.
2. Capacidad de refrigeración. Generalmente mayor que la de un cuarto frío
3. Tipo de líquido refrigerante. Actualmente el freón es el mas utilizado.
4. Aislamiento. Debe ser resistente al calor y al vapor de agua (humedad).
5. Hermeticidad a gases. Sellado adecuado de las paredes, techo, piso, puertas, etc.
6. Fácil acceso durante el almacenamiento. Se deben dejar ventanas de inspección y puertas de muestreo.

Las pruebas de presión son necesarias para determinar que tan hermético es el cuarto y si es adecuado para usarse como un cuarto de AC. La prueba consiste en sellar y cerrar el cuarto en la misma forma que cuando empieza a funcionar, introducir una presión adecuada al cuarto (con un abanico o aspiradora) y medir la pérdida de esta presión con el tiempo. Los cuartos que no son muy herméticos pierden la presión más rápido. Si el cuarto no es muy hermético se desarrolla una presión de nuevo y se identifican las fugas para sellarlos. Las pruebas de presión son normalmente hechas a temperatura ambiente, con la refrigeración, luces y abanicos apagados para estabilizar todos los factores. Finalmente se repite el proceso con la refrigeración funcionando para detectar fugas en las tuberías.

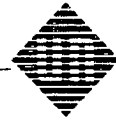


TABLA N° 4.2. CONTROL DE ALGUNOS INSECTOS POR ATMOSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

| PRODUCTO | INSECTO | ATMOSFERA (%) | | T (°C) | DIAS PARA 100% DE MORTALIDAD |
|------------------------------------|---|----------------|-----------------|---------|------------------------------|
| | | O ₂ | CO ₂ | | |
| Manzana | Escama de San José | 1 | 90 | 12 | 2 |
| | | 3 | 3 | 2 | 112 |
| | Enrolladoras de hoja | 3 | 3 | 2 | 90 |
| | | 3 | 3 | 0.5 | 59 |
| | Acaros del manzano Nysius Huttoni (Hemiptera) | 1 | 1 | 2.8 | 160 |
| | | 3 | 3 | 0.5 | 59 |
| | Gusano de la manzana (huevecillo) | aire | -- | 0.0 | 35 |
| | | 0.0 | -- | 0.0 | 24 |
| | | 0.0 | -- | 20 | 7 |
| | Gorgojo rojo europeo (huevecillo) | 1 | 1 | 2.8 | 160 |
| 1 | | 1.5 | 7.5 | 14 | |
| Eucósmido del manzano (huevecillo) | 1 | 95 | 27 | 2 | |
| Frutos de hueso | Eucósmido | 8.4 | 60 | 25 | 3 - 10 |
| | | 0.5 | 10 | 25 | 3 - 12 |
| Fresa | | ≤ 1 | 50 - 90 | 2.5 | 1 - 2 |
| Espárrago | Áfidos | 7 | 7 | 2 | 14 |
| Cítricos | Mosca caribeña de la fruta | 0.5 - 2 | 30 | 15.6 | 10 |
| Nueces, Frutas deshidratadas | Eucósmido | 8.4 | 60 | 27 | 2 - 3 |
| | Gusano de la naranja | 0.5 | 10 - 14 | 27 | 8 - 28 |
| Camotes | Gorgojo del camote | 8 | 40 - 60 | 30 | 4 - 8 |
| | | 2 - 4 | 40 - 60 | 25 | 2 - 7 |
| Granos | Varias especies de insectos | ≤ 1 | ≥ 70 | 27 - 35 | 3 - 10 |

Fuente: Yahia, E. 1995.



Que tan hermético sea el cuarto dependerá de la cantidad de alimentos almacenados, del método de remoción del CO_2 y del nivel de O_2 utilizado. Un "cuarto de 20 minutos" es uno que pierde el 50% de la presión en 20 minutos. Esto es aceptable para cuartos operando con 3% de O_2 sin importar la técnica para remover el CO_2 o para cuartos operando con 1.25% de O_2 con cal para remover el CO_2 (otro método necesitará un cuarto mas hermético) . Un "cuarto de 30 minutos" es aceptable para cuartos operando con 1.5 a 3% de O_2 con cualquier método para remover el CO_2 . (Yahia, E., 1995)

Puede presentarse un desequilibrio de presión entre el interior y el exterior del cuarto. Este desequilibrio puede ser causado por el sistema de refrigeración, por la remoción de gases del cuarto y por los cambios de la presión barométrica externa. Este desequilibrio de presión puede causar daños en la estructura del cuarto, razón por la cual se debe regular la presión e impedir este desequilibrio. Hay varios sistemas para regular la presión de un cuarto de AC, pero los más comunes son:

1. Una bolsa de plástico permeable y flexible (breather bag) conectada con tuberías de PVC en una esquina del cuarto. La bolsa se infla y se desinfla dependiendo de los cambios de la presión del cuarto.
2. Una trampa de agua que facilite también un equilibrio en la presión.

Cualquier sistema tiene que ser ajustado para no permitir el desarrollo de una presión diferencial de 0.25 KPa.

Generadores de AC para cuartos de almacenamiento

Técnicamente la atmósfera controlada (AC) implica la adición o sustracción de gases que da como resultado una composición diferente de la del aire normal. Así, el CO_2 , O_2 , CO , C_2H_4 , N_2 o acetileno pueden ser manejados para obtener diversas combinaciones de gases. Para controlar las cantidades adecuadas de los diferentes gases en especial del O_2 y CO_2 se puede utilizar un controlador Orsat. Sin embargo, algunos almacenes recientes utilizan analizadores eléctricos y digitales.

Al colocar los productos en la cámara AC, estos comienzan a respirar consumiendo el O_2 y aumentando la cantidad de CO_2 . Como los productos no pueden tolerar altas concentraciones de CO_2 , este debe ser eliminado. Los eliminadores más comunes de CO_2 son el hidroxilo de calcio, el carbón y la malla molecular. Se puede colocar cal en el almacén o en las tuberías. Para acelerar la velocidad de reducción del oxígeno se



usan generadores como los catalíticos en los que se consume oxígeno, cuando el propano se mezcla con el aire con la ayuda de catalizadores. En el quemador de amoníaco, el propano se degrada en N_2 y H_2 , de tal manera que el H_2 se combina con el O_2 para formar agua. En el generador de flama abierta, el O_2 se consume por medio de la combustión del propano. Actualmente un gran número de almacenes AC, introducen N_2 líquido para purgar los cuartos y reducir el nivel de O_2 . A continuación se describen con más detalle algunos de los métodos generadores de Atmósferas Controladas.

Hidróxido de calcio (cal viva) . Este es el método más común para eliminar el exceso de CO_2 en los almacenes de AC. Las bolsas de cal se colocan directamente en los almacenes o en una capa que se conecta al mismo a través de tuberías, en donde el aire del interior del cuarto es forzado a través de la tubería y pasa por la cal para disminuir la concentración de CO_2 cuando se alcanzan niveles elevados. La cantidad necesaria de cal se determina por medio de pruebas preliminares. Por ejemplo, 20 bolsas de cal de 50 lb son necesarias para 20 toneladas de manzanas; 40 bolsas de 50 lb de cal son necesarios para almacenar 100 toneladas de coles durante los primeros 40 a 100 días, 40 bolsas más para los próximos 60 días y 40 bolsas para los siguientes 30 días. (Yahia E., 1995).

Quemadores catalíticos. El propano se quema con el O_2 del cuarto (después de que se calienta el aire) utilizando platino como catalizador y los productos de la combustión se introducen al cuarto de nuevo.

Flama abierta. Es donde se consume el O_2 por medio de la combustión de gas propano. Este generador quema propano con O_2 del aire interior y se ventila el cuarto con los productos de la combustión (N_2 y CO_2) para disminuir el contenido de O_2 e incrementar el contenido de N_2 y CO_2 en el cuarto.

Los generadores de flama abierta y quemadores catalíticos tienen varias desventajas, a saber:

1. Existe el peligro de explosión por la acumulación de propano. Se necesitan controladores de propano que permitan apagar el sistema al acumularse el gas.
2. Los productos de la combustión de estos sistemas incluyen monóxido de carbono (CO) y otros hidrocarburos como el etileno. El CO puede ser peligroso para los humanos especialmente al abrir los cuartos, razón por la cual se deben ventilar antes de que las personas penetren en el. La acumulación de etileno puede acelerar la maduración y la senescencia de los vegetales.



Quemadores de amoníaco. El amoníaco (NH_3) reacciona con el O_2 del cuarto para producir N_2 y H_2 . El H_2 se combina con O_2 para formar agua. Las ventajas de este sistema son:

1. La producción de una atmósfera rica en N_2 .
2. No se produce CO o etileno.

Sin embargo, existe el peligro de fugas de amoníaco que pueden causar daños a los productos vegetales.

Nitrógeno líquido. Este sistema consiste en introducir nitrógeno en forma líquida o gaseosa al cuarto para desplazar y disminuir la concentración de O_2 .

Sistemas para eliminar el exceso de bióxido de carbono. La cantidad extra de CO_2 acumulada alrededor del alimento se puede remover por varios sistemas:

1. Malla molecular (molecular sieve scrubbing) . Este sistema tiene un costo inicial alto, pero es muy eficiente. La malla molecular tiene que ser calentada para liberar el CO_2 absorbido.

2. Agua. El uso de agua para remover el CO_2 en los almacenes de AC era muy común hace algunos años, pero actualmente su uso es muy limitado, debido a que no tiene la capacidad suficiente para eliminar grandes cantidades de CO_2 , especialmente al principio del almacenamiento cuando la respiración es muy alta. Se puede utilizar cal para complementar el uso de agua.

Uso de membranas de fibras huecas. Este sistema se utiliza para separar el O_2 y el N_2 del aire del cuarto e introducir la porción rica en N_2 de nuevo al cuarto. Las unidades "Prism Alpha" (Permea Inc.) son separadores conformados por membranas semipermeables en fibras huecas. El aire se fracciona en gases rápidos como el O_2 y CO_2 y gases lentos como el N_2 .

Malla de carbón molecular (Sistema de Presión y Adsorción) . En este sistema se pasa aire comprimido a través de una malla de carbón molecular, la cual retiene selectivamente el O_2 y permite el paso del N_2 .

Análisis y control de gases en las AM y AC. Es muy importante contar con los métodos y equipos sensibles para la determinación de los niveles de los diferentes gases especialmente los de O_2 y CO_2 . Existen varios equipos que pueden utilizarse, a saber:

1. Analizador de gases Orsat. Este sistema se utiliza para medir O_2 y CO_2 en una muestra de aire de tamaño grande. Se absorbe el CO_2 con hidróxido de potasio y



el O_2 con una solución alcalina de pirogalol. Es relativamente fácil de operar, razonablemente exacto para medir concentraciones intermedias de gases y además es económico. Sin embargo es un sistema manual, no se puede automatizar y no es muy sensible.

2. Cromatografía de gases. Dependiendo del tipo de sistema utilizado, la cromatografía de gases es utilizada para separar y medir varios tipos de gases. Esta es una técnica sensible, que puede analizar muestras pequeñas y se puede automatizar. Sin embargo es mucho más costosa que el analizador de gas Orsat.

3. Analizador infrarrojo. El bióxido de carbono absorbe los rayos infrarrojos de determinada longitud de onda. Esta propiedad se utiliza para el análisis de CO_2 .

4. Analizador paramagnético. El O_2 y el óxido de nitrógeno son gases paramagnéticos (atraídos por un campo eléctrico). Esta técnica puede medir diferencias en la concentración de O_2 del orden del 0.02%.

Los sistemas electrónicos para el control y análisis son muy necesarios especialmente en las sistemas de AC de muy bajos niveles de O_2 (cerca de niveles peligrosos) . Estos sistemas son costosos pero muy sensibles y se pueden automatizar.

TOLERANCIA DE LOS PRODUCTOS HORTOFRUTICOLAS A LAS ATMOSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

Existe una gran variabilidad en la respuesta y en el nivel de tolerancia de los alimentos a las AM y AC. Es muy importante conocer los niveles de gases adecuados para cada alimento. Niveles de O_2 mas bajos o niveles de CO_2 mas altos que el nivel de tolerancia del producto, causan daños y pérdidas del mismo. Para periodos largos de almacenamiento la mayoría de las frutas y hortalizas no toleran niveles de O_2 menores del 2% o niveles de CO_2 mayores del 10%. Existen también grandes diferencias en la tolerancia de frutas a las atmósferas insecticidas. Por ejemplo, el mango es muy tolerante (5 días a $20^\circ C$) , la papaya tolera menos de 3 días y el aguacate es muy sensible (un día o menos a $20^\circ C$). Muchos factores determinan e influyen en el efecto de las AM y AC sobre el fruto, entre ellos: el tipo de producto, la variedad, el estado fisiológico (grado de madurez), la composición del fruto, la composición atmosférica, la temperatura y la duración del almacenamiento. Es muy importante considerar todos estos factores antes de utilizar las AM o AC.

**TABLA N° 4.3. TOLERANCIA RELATIVA DE FRUTAS Y HORTALIZAS A NIVELES ELEVADOS DE CO₂ PARA ALMACENAMIENTO A LAS TEMPERATURAS RECOMENDADAS**

| Concentración máxima tolerada de CO ₂ (%) | Productos |
|--|--|
| 1 | Lechuga crespa, peras (Anjou, Bosc) |
| 2 | Lechuga romana, apio, alcachofa, endivia, tomates, col china, manzana (Golden Delicious), albaricoque, pera asiática, pera europea, uvas. |
| 3 | Camote (batata), manzana (Rome, Stayman) |
| 4 | Zanahoria |
| 5 | Repollo, repollitas de Bruselas, coliflor, pimentón (12.5°C), guisantes, manzanas (Mcintosh, Jonathan, Cortland), peras (Bartlett), duraznos, melocotón, aguacate (Fuerte), naranja, banano, mango, papaya, níspero, ciruela, kiwi |
| 7 | Berenjena, frijol verde, manzana (Newton) |
| 10 | Pepino cohombro, habas, calabaza, espárragos (5°C), cebolla cabezona, ajo, papa, cebolla junca, habichuela, pimentón (5°C), perejil, pomelo, limón, lima, piña, cerezas, aceitunas, melón cantaloup. |
| 14 | Aguacate (Lula) |
| 15 | Brócoli, puerro, espárragos (2°C), acelga, cereza, mora. |
| 20 | Mazorca, champiñones, espinacas, col rizada, acelga, frijol Lima desgranado, fresa, higos, ciruela italiana |

Fuente: CRYOGAS, 1990
Ooraikul, 1991.

Todavía no se entiende por qué existe una gran variabilidad en la tolerancia de los tejidos vegetales a las AM y AC, pero los factores morfológicos (variabilidad en la morfología y anatomía de los diversos productos) pueden influir en el intercambio de gases y los factores genéticos (bioquímicos) determinan la capacidad del producto para tolerar este tipo de estrés. En las tablas 4.3. y 4.4. se presenta la tolerancia de algunos productos hortofrutícolas a altos niveles de CO₂ y bajos niveles de O₂ respectivamente. Se debe tener en cuenta que la tolerancia de los frutos y hortalizas a las concentraciones de CO₂ y O₂ varían constantemente y son función de la temperatura, ya que cuando esta se incrementa los requerimientos de O₂ son mayores que a temperaturas menores.



Es muy importante investigar los conceptos básicos de los efectos de las AM y AC para incrementar y mejorar el uso de esta tecnología

TABLA N° 4.4. TOLERANCIA RELATIVA DE FRUTAS Y HORTALIZAS A NIVELES BAJOS DE O₂ PARA ALMACENAMIENTO A LAS TEMPERATURAS RECOMENDADAS

| Concentración mínima tolerada de O ₂ (%) | Productos |
|---|---|
| 0 | Nueces, frutas y hortalizas secos y desecados. |
| 1 | Cebollas, ajos, champiñones, brócoli, papas |
| 2 | Mazorca, frijol (Lima), endivia, habichuela,, apio, lechuga, rábano, repollo, coliflor, repollo de bruselas, melón cantaloup, fresa, melocotón, albaricoque, duraznos, ciruelas, aceitunas, manzanas, peras, piña, papaya, kiwi |
| 3 | Zanahoria, tomates, pepino cohombro, pimentón, alcachofa, cerezas, aguacates, níspero. |
| 5 | Frijol verde, frutas cítricas, guisantes, batatas |
| 7 | Patatas |
| 10 | Papas, espárragos |

Fuente: CRYOGAS, 1990 .
Ooraikul, 1991.



CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

El posible riesgo de las AM y AC depende de varios factores:

1. **Manejo de la temperatura.** La refrigeración es el factor más importante durante el empaque, transporte o almacenamiento en AM o AC. Se han registrado algunos casos de botulismo en varios alimentos (intoxicación producida por la ingestión de alimentos en malas condiciones). Un buen control de la temperatura (0-30°C) puede controlar el desarrollo de *C. botulinum*. La *Salmonella* empieza a desarrollarse a 5.2°C, mientras que el *Staphylococcus aureus* necesita una temperatura de 10°C. La temperatura mínima de *Clostridium perfringens* es 6.5°C y la del *Vibrio parahaemolyticus* es 5°C. La *Yersinia enterocolitica* se desarrolla a -2°C (aunque su significancia en la salud es desconocida). *Listeria monocytogenes* se desarrolla aún en temperaturas de refrigeración y hasta en pH bajo (pH de 4). Se cree que las AM/AC pueden aumentar su incidencia. El efecto del CO₂ depende de la temperatura. (Yahia, E., 1995)
2. **Oxígeno.** Bajas concentraciones de O₂ pueden favorecer el desarrollo de bacterias anaeróbicas, tales como el *Clostridium botulinum*. Este se encuentra en el suelo y puede infectar a las hortalizas.
3. **Dióxido de carbono.** El alto nivel de CO₂ puede aumentar el desarrollo de algunos patógenos como Clostridia.



BIBLIOGRAFIA

1. BARTSCH, J.A. and G.D. BLANPIED. 1984. "Refrigeration and controlled atmosphere storage for horticultural crops". Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES Publ. No.22,42p.
2. CARRILLO LOPEZ, A. y E. YAHIA. 1990. "Tolerancia del aguacate var. "Hass" a niveles insecticidas de O₂ y CO₂ y el efecto sobre la respiración anaeróbica". Tecnología de Alimentos (México) 25(6).13-18.
3. GONZALEZ, G.; E. YAHIA and HIGUERA. 1990. "Modified atmosphere packaging (MAP) of mango and avocado fruits". Acta Horticulturae 269:335-344.
4. GONZÁLEZ, G. , E. YAHIA y M. HASSA., 1991. "Empaque de mango en atmósferas modificadas y predicción de la atmósfera dentro del empaque utilizando modelos matemáticos. Revista de Ciencias Alimentarias (México) . 1 (3) : 1-5.
5. KADER, A. A., 1980. "Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres". Food Technology. 34(3):51-54.
6. KADER, A.A. 1986. "Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables". Food Technology. 40(5):99-100, 102-104.
7. KADER, A.A., 1992. "Postharvest Technology of Horticultural Crops". Coop. Ext., Univ. of Calif., Special Publ. 3311.
8. KAYS, S.J., 1991. "Postharvest Handling of Perishable Plant Products". The AVI Publishing Co. Inc., Westport, CT, USA.
9. LOUGHEED, E.L., 1987. "Interactions of oxygen, carbon dioxide, temperature and ethylene that may induce injuries in vegetables". Hort Science 22:791-794.
10. RICHARDSON, G.D. and M. MEHERIUK, 1992. "Controlled Atmosphere for Storage and Transport of Perishable Agricultural Commodities". Timber Press, Oregon, USA.



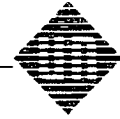
11. THOMPSON, A.K. 1996. "Postharvest Technology of Fruits and Vegetables". Blackwell Science Ltda, U.S.A.
12. THOMPSON, A.K. 1998. "Controller Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables". Cab International, New York, U.S.A.
13. WILLS, R.H.H., W.B., 1984. "Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección" . Ed. Acibia s.a., Primera Edición, Zaragoza, España
14. YAHIA, E.M. 1989. "El efecto del almacenamiento en atmósferas controladas sobre la producción de algunos compuestos aromáticos en manzanas". Tecnología de Alimentos (México) 24(4).16.
15. YAHIA, E.M. e I. HIGUERA ., 1992. "Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas". Limusa/ Grupo Noriega Editores, México. 303p.
16. YAHIA, ELHADI, M. 1994. "Atmósferas modificadas y controladas", Memorias del I Simposio Internacional. Situación actual y tendencias de la exportación de frutas y hortalizas", Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Peru, del 10 al 13 de Octubre de 1994.
17. YAHIA, E.M., 1995. "Uso de Atmósferas Modificadas y Controladas como medio de conservación de la calidad de frutas y hortalizas" En: Simposio Internacional de Manejo Postcosecha y Perspectivas de Comercialización de Frutas y Hortalizas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola y Red Iberoamericana de Tecnología Postcosecha de Frutas y Hortalizas (RITEP), Junio 27 a 30 de 1995, Bogotá, Colombia.

CONSERVACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS POR IRRADIACION

INTRODUCCION.

Junto con los métodos tradicionales de tratamiento y conservación de alimentos, la tecnología de irradiación de alimentos está recibiendo creciente atención en todo el mundo. Las autoridades sanitarias y de seguridad de 37 países han aprobado la irradiación de unos 40 tipos distintos de alimentos, que abarcan especias, granos, pollo, frutas y legumbres. 24 de esos países utilizan actualmente ese proceso con fines comerciales.

Las decisiones en estos y otros países se han visto influenciadas por la aprobación, en 1983, de una norma mundial para los alimentos irradiados, aprobada por la comisión del codex alimentarius, que es un órgano conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el que se encuentran representados más de 130 países. Esta norma se basa en las conclusiones de un comité mixto de expertos sobre la comestibilidad de los alimentos irradiados (CMEAI), convocado por la FAO, la OMS y el organismo internacional de energía atómica OIEA. En 1969, 1976 y 1980 el CMEAI evaluó la información existente. En 1980, el comité concluyó que *la irradiación de cualquier alimento con una dosis total media de hasta 10 kilogray (Kgy) no presenta riesgos toxicológicos* y no requiere más pruebas. Así mismo declaró que *la irradiación con una dosis máxima de 10 Kgy no plantea problemas microbiológicos o nutricionales* en los alimentos.



BREVE RESEÑA HISTORICA

Después del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y de la radioactividad por Bequerel en 1896, se iniciaron numerosas investigaciones tendientes a determinar los efectos biológicos de las irradiaciones ionizantes sobre organismos vivos.

La formulación de los anteriores objetivos, tiene fundamentación histórica sobre diferentes investigaciones realizadas. En 1921 Shwartz realizó la primera aplicación práctica de rayos X para exterminar "Trichinella Spirallis" en carne, obteniendo una patente para su uso. Posteriormente, Wust (1930) obtiene una patente francesa sobre preservación de alimentos por irradiación. En 1943, B.E. Proctor realizó investigaciones sobre esterilización de hamburguesas por irradiación.

En 1947, Brash y Huber, publican resultados sobre preservación de alimentos en estado natural, observando que no se produce degradación en mariscos, vegetales, frutas y productos lácteos. En 1951, Gaden y sus colaboradores logran destruir con rayos X el 90% de los microorganismos presentes en la leche fresca, observando que esta conserva sus características físicas y organolépticas y su contenido de vitamina A.

La segunda guerra mundial permite el desarrollo de equipos e instrumentos con fines militares, tales como aceleradores de partículas de alto poder, que posibilitan el empleo racionalizado de las radiaciones ionizantes; además se inicia el uso de isótopos radioactivos provenientes de reactores atómicos.

En 1951, la Comisión de Energía Atómica (Atomic Energy Commission - AEC), negocia algunos contratos de investigación con universidades e institutos tecnológicos para el desarrollo del programa americano sobre preservación de alimentos por irradiación, logrando resultados para la conservación de cereales para el ejército y la armada de los Estados Unidos de América.

En 1958, el gobierno de Estados Unidos investiga la inocuidad para consumo humano de 21 tipos de alimentos irradiados. Los países Europeos realizan diferentes actividades de investigación en el campo de irradiación de alimentos, destacándose Alemania Occidental, los Países Bajos, Hungría e Israel.

En 1963, la Food and Drug Administration (FDA) determina el uso de radiaciones ionizantes para esterilizar tocino, mediante dosis de 45 KGy de rayos Gamma provenientes de una fuente de Cobalto 60. Meses más tarde, se concede autorización para el tratamiento con radiaciones Gamma de 0.5 KGy sobre trigo y sus productos derivados, con fines de desinfestación. En 1964 se establece una dosis de 0.1 KGy para la irradiación de patatas.



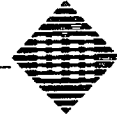
A comienzos de la década del 70 se inicia un proceso de cooperación internacional con el fin de impulsar el desarrollo del proceso de irradiación de alimentos. En 1971 se organiza el “Proyecto Internacional en el Campo de Irradiación de Alimentos” (International Project in the Field of Food Irradiation -IFIP), con la participación de 23 países. Se establece como sede, Karlsruhe, Alemania Occidental, e inicia como un proyecto de investigación para producir resultados reconocidos internacionalmente sobre la inocuidad o seguridad para el consumo humano de alimentos irradiados. El proyecto no recibió el apoyo de la industria y del público por razones de uso de la energía nuclear con fines militares .

El reconocimiento internacional de la inocuidad de los alimentos irradiados se basa en las conclusiones de un comité mixto de expertos sobre la comestibilidad de los alimentos irradiados (CMEAI), convocado por la FAO, la OMS y el organismo internacional de energía atómica OIEA. En 1969, 1976 y 1980 el CMEAI evaluó la información existente. En 1980, el comité concluyó que *la irradiación de cualquier alimento con una dosis total media de hasta 10 kilogray (Kgy) no presenta riesgos toxicológicos* y no requiere más pruebas. Así mismo declaró que *la irradiación con una dosis máxima de 10 Kgy no plantea problemas microbiológicos o nutricionales* en los alimentos.

PLANTAS DE IRRADIACIÓN

Desde hace mucho tiempo que en todo el mundo se están utilizando procesos donde se irradian distintos productos con el fin de desinfectarlos o esterilizarlos (esto es, reducirle en una cierta medida la concentración de microorganismos presentes). Con una experiencia de más de 30 años de utilización, esta técnica es altamente confiable y segura. Entre los distintos productos que son irradiados se pueden mencionar: productos alimenticios (carnes, pescados, cereales, especias, frutas, verduras, etc.), productos médicos (material quirúrgico, vendas, jeringas, material de trasplante, etc.), productos residuales (efluentes cloacales, desechos biomédicos, etc.) y una gran cantidad de productos varios (cosméticos, farmacéuticos, electrónicos, fertilizantes, etc.).

Estos procesos se llevan a cabo en lugares llamados Plantas de Irradiación. Estas plantas constan, en forma simplificada, de cuatro componentes principales: la Fuente de Radiación, la Cámara de Irradiación, el Sistema de Transporte de los Productos y el Sistema de Control y Seguridad. La fuente emite rayos gamma y está ubicada en la Cámara de Irradiación, la cual es una habitación con paredes muy gruesas de hormigón (casi dos metros de espesor!). Estas paredes tienen la importantísima misión de no dejar llegar la radiación a las personas que trabaja en la planta, y así lograr un ambiente de trabajo muy seguro. El material más usado para construir la



fuelle es el Cobalto 60, también utilizado para la terapia del cáncer, y es generado solamente en los reactores nucleares.

Los productos a ser irradiados ingresan a la Cámara de Irradiación a través del Sistema de Transporte, permanecen un cierto tiempo hasta recibir una dosis determinada, y luego salen de la Cámara por el mismo Sistema de Transporte. Todo el movimiento de productos hacia o desde el interior de la Cámara es totalmente automático de manera que no es necesario el ingreso de ninguna persona a la misma.

Cuando no hay productos que irradiar y para realizar tareas de limpieza o mantenimiento, la fuente se sumerge en una pileta de unos 6 metros de profundidad de manera que los operarios puedan ingresar en esa habitación. Esos 6 metros de agua equivalen a los casi dos metros de hormigón de las paredes y tienen el mismo objetivo: evitar que la radiación llegue a las personas.

OBJETIVOS DE LA IRRADIACIÓN

Según Karlsruhe (1966), los objetivos del proceso de irradiación de alimentos son:

- Destrucción de todo tipo de microorganismos (degenerativos y patógenos) presentes en los alimentos, para evitar todo tipo de descomposición microbiana de los alimentos, independientemente de su forma de almacenamiento
- Reducción de la actividad microbiana en productos alimenticios, tales como la pudrición y el enmohecimiento, a niveles que permitan mantener la calidad de los alimentos durante su almacenamiento.
- Desinfestación o desinsectación de alimentos gravemente atacados por plagas de insectos (mosca de la fruta).
- Inhibición de procesos indeseables de germinación en bulbos y tubérculos.
- Inducción de retraso en los procesos fisiológicos de productos hortofrutícolas, tales como la maduración, para hacer posible una adecuada comercialización de los mismos.



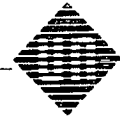
VENTAJAS DE LA IRRADIACION

La irradiación de alimentos presenta las siguientes ventajas:

- Como no se eleva de manera apreciable la temperatura (1°C a 4°C), los tratamientos con irradiaciones ionizantes son un procedimiento útil para alimentos congelados o concentrados viscosos, ya que no alteran la consistencia del producto.
- Ya que las irradiaciones pueden penetrar hasta el centro de productos voluminosos, estos pueden someterse a tratamiento después de envasados, con lo que se evita la reinfestación o recontaminación por insectos o microorganismos después de haber sido tratados. Con las irradiaciones ionizantes se pueden matar los huevos, larvas e insectos que se encuentran en el centro de las frutas, de acuerdo con los requisitos de la cuarentena vegetal que rige en cada país.
- La irradiación de alimentos requiere poca energía
- No quedan residuos de productos químicos en los productos tratados.

A pesar de las muchas ventajas que presenta este método de conservación de alimentos, es sorprendente observar su baja difusión. Esto se debe probablemente a causas psicológicas, ya que durante mucho tiempo se puso en duda su inocuidad (salubridad) sobre los alimentos irradiados y sobre la salud del consumidor. Sin duda, esta desconfianza se debe a que los alimentos irradiados se relacionan injustificadamente con los efectos desastrosos de la bomba atómica, utilizada al final de la segunda guerra mundial. Esta sospecha ha ocasionado que los funcionarios de salud pública de algunos países sean reacios a probar la irradiación ionizante de alimentos, impidiendo la realización de experimentos a escala industrial y retardando su evaluación económica a una escala suficientemente grande.

Decididamente, se ha avanzado en la evaluación de la salubridad de los alimentos irradiados, no solo desde el punto de vista del número de países que los han aprobado y de las recomendaciones de expertos internacionales sobre determinados alimentos, sino también del criterio de evaluación de su inocuidad. Muchos países han aprobado la irradiación de varios productos, pero la dispersión de estas aprobaciones es causa de incertidumbre para los empresarios que proyectan aplicar este procedimiento, ya que ellos necesitan que se les asegure que el producto irradiado se podrá comercializar satisfactoriamente en una amplia zona, lo cual implica la aprobación multinacional del producto en cuestión. Es probable que se logre obtener con mayor rapidez aprobaciones a nivel nacional, lo cual daría impulso a los ensayos a escala industrial y a los análisis económicos indispensables para la difusión del procedimiento.



IRRADIACION DE ALIMENTOS

La irradiación de alimentos es el tratamiento realizado mediante un determinado tipo de energía. El proceso consiste en exponer los alimentos, ya sea envasados o a granel, a una cantidad minuciosamente controlada de radiaciones ionizantes durante un tiempo determinado con ciertos objetivos convenientes. El proceso no puede aumentar el nivel de radiactividad normal de los alimentos, independientemente del tiempo en que se expongan a la radiación o de la dosis de energía absorbida. La irradiación puede impedir la división de células vivas, tales como bacterias y células de organismos superiores, al cambiar sus estructuras moleculares. También puede retardar la maduración de determinadas frutas y legumbres, al producir reacciones bioquímicas en los procesos fisiológicos de los tejidos vegetales.

La irradiación es una alternativa muy importante ante las grandes pérdidas de productos vegetales que se presentan constantemente como consecuencia de la infestación, contaminación y descomposición de los mismos. Teniendo en cuenta las crecientes preocupaciones de los países importadores respecto de las enfermedades transmitidas por los alimentos y del aumento del comercio internacional de productos alimenticios en conformidad con normas de exportación estrictas en materia de calidad y cuarentena, la irradiación de alimentos puede tener beneficios prácticos cuando se encuentra integrada en un sistema establecido de manipulación y distribución fiables de alimentos.

Se ha estimado que un 25% de toda la producción mundial de alimentos se pierde tras la recolección por la acción de insectos, bacterias y roedores. Si bien el solo uso de la irradiación como técnica de conservación no permitirá solucionar todos los problemas de las pérdidas de alimentos tras la recolección, este proceso puede desempeñar un papel importante en la reducción de las pérdidas y la disminución de la dependencia de plaguicidas químicos. Numerosos países registran pérdidas enormes de granos debidas a la infestación por insectos, los hongos y la germinación prematura. En el caso de los productos hortofrutícolas, la germinación prematura y el ataque de microorganismos que producen podredumbres es la principal causa de pérdidas.

Las dosis de radiación relativamente bajas que se necesitan para destruir determinadas bacterias en los alimentos pueden ser útiles para controlar las enfermedades transmitidas por estos.

La dosis de radiación es la cantidad de energía radiactiva absorbida por el alimento a medida que atraviesa el campo de radiación durante el tratamiento. La unidad utilizada generalmente hoy en día para su medición es el gray (Gy). La unidad utilizada



anteriormente era el rad (1 Gy = 100 rad). Las autoridades sanitarias y de seguridad internacionales han corroborado la seguridad de la irradiación de todos los alimentos para una dosis de un nivel máximo de 10000 Gy . En términos de relaciones de energías, un Gy equivale a un Julio de energía absorbida por un Kilo del alimento que se está irradiando .

CARACTERISTICAS DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS.

Radiactividad

En los países en los que está permitida la irradiación de alimentos, tanto las fuentes de radiación como sus niveles de energía están reglamentados y controlados. El proceso de irradiación supone el paso del alimento por un campo de radiación a una velocidad determinada para controlar la cantidad de energía o la dosis absorbida por el alimento. El alimento en si nunca entra en contacto directo con la fuente de radiación. Aun cuando los alimentos se expusieran a dosis muy altas de radiación procedente de estas fuentes, el nivel máximo de radiactividad inducida sería tan solo de una milésima de bequerelio por un kilogramo de alimentos. *Esta cifra es 200.000 veces inferior al nivel de la radiactividad natural existente en los alimentos .* En la siguiente tabla se presentan las dosis adecuadas para la irradiación de algunas frutas y hortalizas.

Cambios químicos .

En general, el proceso de irradiación produce muy pocos cambios químicos en los alimentos. Ninguno de los cambios conocidos ha resultado ser nocivo ni peligroso. Algunos de los cambios químicos forman los llamados productos *radiolíticos* , que han resultado ser productos conocidos, tales como la glucosa, el ácido fórmico, el acetaldehído y el bióxido de carbono, que se encuentran naturalmente en los alimentos o se forman mediante el tratamiento térmico. La inocuidad de estos productos radiolíticos ha sido examinada muy detenidamente y no se ha encontrado ninguna prueba de su nocividad.



TABLA 5.1. DOSIS ADECUADAS PARA LA IRRADIACION DE ALGUNAS FRUTAS Y HORTALIZAS

| PRODUCTO | DOSIS (KGy) | PROPOSITO | FUENTE |
|---|--------------|--|--|
| Aguacates (Fuerte, Nabal, Ethinger) | 0.35 | Desinfestación. Retardo de madurez | Kahan et al (1968) |
| Bananos | 0.40 | Desinfestación. Retardo de madurez | Sreenivasan et al (1071) |
| Cebolla | 0.15 | Inhibir brotado | Nair et al (1972) |
| Fresa | 1.0-3.0 | Reducción actividad microbiana | Legislación Uruguay (1976) |
| Guayabas | 0.30 | Desinfestación. Retardo de madurez | Sreenivasan et al (1971) |
| Jengibre | 0.15 | Controlar la pudrición | González et al (1969) |
| Mango Alphonso Bocado | 0.25 0.60 | Desinfestación. Retardo de madurez | Dharkar y Sreenivasan (1968). Moy et al (1971). Loahanu (1971). Pablo et al (1971) |
| Ñame | 0.15 | Inhibir brotado | --- |
| Papa | 0.15 | Inhibir brotado | Legislación Uruguay (1976) |
| Papayas (Venezuela, Hawaii, Taiwan) | 1.00 | Desinfestación. Retardo de madurez Regulación cuarentenaria | Moy et al (1971) |
| Patatas | 0.10 | Inhibir brotado | Kahan y Temkin (1968). Nair et al (1972). Matsuyama (1972). |
| Piña | 0.50 | Desinfestación. Retardo de madurez | Brewbaker et al (1965). Moy et al (1971). Upadhya y Brewbaker (1966) |

Calidad nutritiva.

Las proteínas, los carbohidratos y las grasas son relativamente estables cuando se exponen a dosis máximas de radiación de 10000 Gy. Los micronutrientes, especialmente las vitaminas pueden ser sensibles a cualquier método de tratamiento de alimentos, incluida la irradiación. La sensibilidad a la irradiación y algunos otros métodos de tratamiento de alimentos de los diferentes tipos de vitaminas es variada.



Por ejemplo, las vitaminas C y B1 (tiamina) son sensibles a la irradiación así como al tratamiento térmico.

La variación del valor nutritivo causada por la irradiación depende de varios factores, entre ellos la dosis de radiación a la que se ha expuesto el alimento, el tipo de alimento, el envasado y las condiciones de tratamiento, tales como la temperatura durante el tiempo de irradiación y almacenamiento. Así como la sensibilidad al calor de las vitaminas es variable, también lo es su sensibilidad a la radiación. Esta sensibilidad depende de las condiciones en que se irradian los alimentos. Las vitaminas A, E, C, K y B1 en los alimentos son relativamente sensibles a la radiación, mientras que otras vitaminas del complejo B, tales como la riboflavina, la niacina y la vitamina D, son mucho más estables.

Las pérdidas son generalmente menores si se excluye el oxígeno y si la temperatura durante la irradiación es baja. En condiciones óptimas, las pérdidas de vitaminas en los alimentos irradiados con dosis máximas de 1000 Gy se consideran insignificantes.

Inocuidad.

Ni la radiación ni ningún otro método de tratamiento de alimentos puede invertir el proceso de descomposición y hacer que un alimento dañado sea comestible. Si un alimento se ve, sabe o huele mal, es decir presenta señales de descomposición antes de su irradiación, no puede ser recuperado mediante ningún tratamiento, ni siquiera la irradiación. La mala apariencia, sabor u olor no desaparecerán.

Los tratamientos tales como la termopasteurización, la fumigación química y la irradiación son eficaces para destruir o eliminar la contaminación microbiana de los alimentos. La irradiación es especialmente eficaz como medida de lucha contra las enfermedades parasitarias transmitidas por alimentos sólidos, especialmente los de origen animal.

Aditivos y residuos alimentarios.

No existen datos científicos que demuestren que la irradiación de alimentos que contienen residuos de plaguicidas y aditivos presenten riesgos para la salud. Se calculó concretamente la cantidad de productos radiolíticos que podrían formarse si se irradian alimentos que contienen residuos de plaguicidas con una dosis de 1000 Gy. Esta dosis se encuentra en la parte superior del intervalo que se prevé utilizar para las frutas, las legumbres y los granos con fines de desinfestación.



Se calcula que si el nivel de residuos de plaguicidas en los alimentos es de aproximadamente una parte por millón (nivel medio), la formación total de todos los productos radiolíticos de plaguicidas sería de unos 0.000033 mg por kilogramo de alimentos, o un gramo en tres mil toneladas de alimentos. Se considera que esta cantidad es *prácticamente cero* y por lo tanto se concluye que *la toxicidad potencial de cada producto radiolítico de un residuo químico de plaguicida en los alimentos que se irradian sería insignificante y que dichos residuos de plaguicidas no son nocivos para la salud.*

Empaque de alimentos irradiados

Los resultados de amplias investigaciones han demostrado que casi todos los materiales de envase de alimentos que se utilizan comúnmente y que han sido ensayados son adecuados para la irradiación con dosis máximas de 10.000Gy, que es el límite internacionalmente aprobado para la irradiación de alimentos.

Se utilizan películas de plástico laminado recubiertas con aluminio radioesterilizado. Estas películas se utilizan para productos herméticamente sellados y envasados en condiciones asépticas, tales como la pasta de tomate, los jugos de fruta y los vinos. Otros materiales de envasado aséptico, envases para productos lácteos, contenedores para una sola porción (por ejemplo para la crema) y corchos para botellas de vino también se radioesterilizan antes de las operaciones de llenado y sellado para impedir la contaminación del producto.

COSTO DE LA IRRADIACION

Existen numerosas variables que afectan a los alimentos, y una de ellas es el costo del método de tratamiento. El enlatado, la congelación, la pasteurización, la refrigeración, la fumigación y la irradiación incrementarán el costo del producto.

Estos tratamientos también acarrearán beneficios a los consumidores desde el punto de vista de la disponibilidad y cantidad, el tiempo de almacenamiento, la conveniencia y la higiene mejorada del alimento.

Según datos de 1998, los costos de la irradiación oscilan entre 10 y 15 dólares por tonelada, en el caso de la aplicación de una dosis baja (por ejemplo para inhibir germinaciones en las papas y las cebollas) y entre 100 y 250 dólares por tonelada en el caso de la aplicación de una dosis alta (por ejemplo para garantizar la calidad higiénica de las especies).

El costo de construcción de una instalación de irradiación de alimentos oscila entre un millón y tres millones de dólares, dependiendo de su tamaño, capacidad de tratamiento y otros factores.



CONSUMO DEL PRODUCTO IRRADIADO

La tendencia de la mayoría de los consumidores en muchos países occidentales es la de rechazo a comprar alimentos irradiados. Esto se debe probablemente a que no se ha suministrado la información básica suficiente sobre la seguridad, los beneficios y las limitaciones de la irradiación de alimentos. Los consumidores no informados frecuentemente no distinguen los alimentos irradiados de los alimentos radiactivos contaminados con radionucleidos. En encuestas de opinión realizadas en varios países occidentales, cuando se suministró información clara de lo que es la irradiación, sus ventajas y que no supone riesgos para la salud, los consumidores compraron gustosamente los productos irradiados y en numerosos casos expresaron su preferencia por estos frente a los no irradiados.

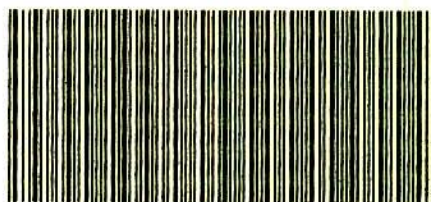


BIBLIOGRAFIA

1. BENNETT, W, O, and BRUHN, C,M, 1998. "Position of the American Dietetic Association: Food irradiation". ADA Info, U.S.A.
2. BRUNETTI, A.P. et al. 1980. "Recomendations for Evaluating the Safety os Irradiated Foods"; Final Report prepared for the Director, Bureau of Foods, US Foods and Drug Administration, Washington, DC.
3. FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE (USDA); 1996. "Pathogen Reduction; Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System". Final rule. Federal register, 61, 38806, July 1996.
4. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (HHS); 1997 "Irradiation in the production, processing, and handling of food". Final rule. Federal Register, 62, 64107-64121, December 1997.
5. GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS. 1991. "La irradiación de alimentos (Hechos y realidades)", fichas descriptivas. Viena , Austria.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1981. "Combination Proceses in food irradiation." Viena.
7. INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR, 1997. "Usos Industriales de la Tecnología Nuclear", Lima.
8. IAEA , 1993. "Cost-benefit Aspects of Food Irradiation". Proceedings of an International Symposium, Aix-en-Provence, France, March 1993, STI/PUB/905.
9. MORRISON, R.M. and ROBERTS, T. 1990., "Cost Variables for Food Irradiators in Developing Countries", Food Irradiation for Developing Countries in Africa, IAEA TECDOC-576.
10. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. "Tecnologías de las radiaciones." Boletín , vol. 36 , No. 1994, Viena, Austria

**Esta obra se terminó de imprimir en la
UNIDAD DE PUBLICACIONES
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia
Impresión 200 Ejemplares
Bogotá, D. C. - Mayo de 2007
ISBN-958-701-184-8**

Ingeniería
Facultad de φ años
145



ISBN: 978-958-701 -184 - 8

