



EDITA**ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DE LA REFRIGERACIÓN - ACAIRE**

Calle 70 No. 12-85 Bogotá D.C., Colombia
Teléfonos: (057-1) 3131468 / 3455372 / 3455375
Fax: (057-1) 2489223
Correos: acaire@acaire.org
acairecolombia@etb.net.co
www.acaire.org

Miembros Junta de Dirección General ACAIRE 2008 - 2009

Fabio Clavijo, TECNAIRE LTDA. - Presidente,
Giovanni Barletta, EMERSON ELECTRIC DE COLOMBIA - Vicepresidente
Andrés Velásquez, ISLATECH LTDA.
Camilo Botero
Mauricio Gleiser
Silvio Toro
Yohanna Alzamora, SERVIPARAMO S.A.
José Arias, REFRI - AUTO LTDA.
Laura Millán, DANFOSS S.A.
Luis Gay Salvino
Luis Fernando Espinosa, ESPINOSA INGENIERÍA
Mauricio Baena, THERMAL ENGINEERING LTDA.
Rodrigo Vásquez, COMERCIAL Y SERVICIOS LARCO CSL S.A
Rómulo Niño, UIS

Claudia Sánchez Méndez - Directora Ejecutiva

PRÓLOGO

Los documentos Buenas Prácticas de Ingeniería ACAIRE responden a la necesidad de la Asociación y del sector de contar con guías y recomendaciones, aplicables a nuestro medio y en un lenguaje técnico sencillo, sobre temas específicos de la actividad de Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración – CVAR - que hoy en día son de práctica regular a nivel mundial.

Este esfuerzo es el resultado de la gestión y compromiso de la Junta de Dirección General de ACAIRE 2008 – 2009 y, de manera especial, del Comité de Normalización, cuyos miembros han dedicado su valioso tiempo a las múltiples revisiones y correcciones que ha generado el proceso. A ellos nuestro más profundo agradecimiento.

Este documento fue desarrollado con base en directrices formuladas por la JDG de ACAIRE, supervisado por el Comité de Normalización y con el valioso aporte investigativo y de recopilación del señor Edwin Meléndez – estudiante de último semestre de la Universidad INCCA, de Bogotá, a lo largo del primer semestre de 2008.

Invitamos a los lectores a que evalúen los documentos, los apliquen y apoyen esta gestión con sus comentarios y observaciones

LIMITACIONES

El contenido de los documentos no compromete a ACAIRE y su interpretación debe ser entendida como un esfuerzo para ofrecer criterios técnicos que mejoren el desempeño de los profesionales del sector.

Con la aplicación regular de estos derroteros en el trabajo de campo, se pretende beneficiar la calidad de las instalaciones, incrementar la vida útil de los equipos, optimizar los diseños y aportar conocimiento en la práctica general de la actividad profesional de CVAR por parte de técnicos e ingenieros especializados.

Por la aplicación del documento, ACAIRE no podrá ser sujeto de procesos legales o impugnaciones que atenten contra ella, sus directivos o autores.

El documento no puede ser reproducido para fines comerciales. En caso de utilización para fines académicos, se debe incluir el crédito de ACAIRE

CONTENIDO	PÁGINAS
PROPÓSITO	10
GLOSARIO	10
3. EL FRÍO	14
4. PRODUCCIÓN DE FRÍO	15
4.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO	15
4.1.1 DISOLUCIÓN DE CIERTOS SOLUTOS EN UN SOLVENTE.	16
4.1.2 FUSIÓN.	16
4.1.4 SUBLIMACIÓN.	17
4.1.5 EXPANSIÓN DE UN GAS PREVIAMENTE COMPRIMIDO.	17
4.2 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO BASADOS EN LA EVAPORACIÓN DE UN REFRIGERANTE	18
4.2.1 SISTEMA DE COMPRESIÓN DE VAPOR.	18
4.2.2 SISTEMA A EYECTO-COMPRESIÓN.	18
4.3 SISTEMAS DITERMOS (DOS FUENTES DE TEMPERATURA) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRÍO.	19
4.3.1 MÁQUINA FRIGORÍFICA A COMPRESIÓN.	20
4.3.2 MÁQUINAS FRIGORÍFICAS DE AIRE.	21
4.3.3 SISTEMAS FRIGORÍFICOS TERMOELÉCTRICOS.	25
4.3.3.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS.	25
4.3.3.1.1 EL EFECTO SEEBECK.	26
4.3.3.1.2 EL EFECTO PELTIER.	27
4.3.3.1.3 EL EFECTO THOMPSON.	27

4.3.3.2 COP DEL REFRIGERADOR TERMOELÉCTRICO.	30
5. REFRIGERANTES	31
5.1 SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE.	31
5.1.1 PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES.	33
5.1.1.1 PROPIEDADES TÉRMICAS.	33
5.1.1.2 PRESIÓN DE VAPOR.	33
5.1.1.3 VOLUMEN ESPECÍFICO Y DENSIDAD.	33
5.1.1.4 CALOR ESPECÍFICO.	33
5.1.1.5 CALOR LATENTE.	33
6. CICLOS DE REFRIGERACIÓN	34
6.1 CICLO DE GAS CON REGENERADOR	34
6.2 CICLO DE CARNOT DE UN FLUIDO CONDENSABLE	35
6.3 CICLO CONTINUO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	37
6.4 CICLO POR COMPRESIÓN-ABSORCIÓN EN BOMBAS DE CALOR	38
6.4.1 COP DEL CICLO POR COMPRESIÓN-ABSORCIÓN.	39
6.5 COMPONENTES DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN	39
6.5.1 COMPRESORES.	39
6.5.1.1.1 COMPRESOR HERMÉTICO.	40
6.5.1.1.2 COMPRESOR SEMI – HERMÉTICO.	41
6.5.1.1.3 COMPRESOR ABIERTO.	41
6.5.2 EVAPORADORES.	42

6.5.2.1 EXPANSIÓN DIRECTA (DX).	42
6.5.2.2 LA ZONA DE SOBRECALENTAMIENTO.	43
6.5.3 CONDENSADORES	44
6.5.3.1 PROCESO DE CONDENSACIÓN.	44
6.5.3.2 TIPO DE CONDENSADORES.	45
6.5.3.2.1 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE.	46
6.5.3.3 PROCESOS TRANSFERENCIA DE CALOR Y CURVAS DE TEMPERATURA.	46
6.5.4 MECANISMO DE EXPANSIÓN	47
6.5.4.1 VÁLVULAS TERMOSTÁTICAS DE EXPANSIÓN.	47
7. APLICACIÓN DEL FRÍO EN PRODUCTOS PERECEDEROS	48
7.1 ATMÓSFERAS PROTECTORAS	48
7.1.1 ATMÓSFERAS CONTROLADAS.	48
7.1.2 ATMÓSFERAS DINÁMICAS.	48
7.1.3 ATMÓSFERAS MODIFICADAS.	49
7.1.4 VACÍO.	49
7.2 CADENA DE FRÍO	49
7.2.1 ¿QUÉ ES LA CADENA DE FRÍO?	49
7.2.2 ESTRUCTURA DE LA CADENA DE FRÍO.	50
7.2.3 ¿CUÁNDO SE ROMPE LA CADENA DEL FRÍO?	51
7.2.4 ¿POR QUÉ NO DEBE ROMPERSE LA CADENA DEL FRÍO?	51
7.3 PRODUCTOS CÁRNICOS	51

7.3.1 CONSERVACIÓN	51
7.3.1.1 ENFRIAMIENTO.	51
7.3.1.2 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN DE CÁRNICOS.	52
7.3.2 CONGELACIÓN.	52
7.3.3 ALMACENAMIENTO	52
7.3.3.1 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO.	52
7.3.3.2 ALMACENAMIENTO CONGELADO.	53
7.4 PRODUCTOS PESQUEROS	53
7.4.1 CONSERVACIÓN	53
7.4.1.1 PRODUCTOS A CONSERVAR.	53
7.4.1.2 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN PARA PRODUCTOS PESQUEROS EN MESES, A DIVERSAS TEMPERATURAS	53
7.4.2 CONGELACIÓN	54
7.4.2.1 TRATAMIENTO DE LOS PRODUCTOS ANTES DE LA CONGELACIÓN.	54
7.4.2.2 PESCADOS, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS.	54
7.4.2.3 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL PESCADO.	54
7.4.2.4 TRATAMIENTO DE CONGELACIÓN	55
7.4.2.4.1 MÉTODOS	55
7.4.2.4.1.1 CONGELACIÓN POR AIRE FORZADO.	55
7.4.2.4.1.2 CONGELACIÓN POR CONGELADOR DE PLACAS.	55
7.4.2.4.1.3 CONGELACIÓN POR INMERSIÓN TOTAL.	55
7.4.2.4.1.4 CONGELACIÓN POR ASPERSIÓN.	55

7.4.2.5 VELOCIDAD DE CONGELACIÓN.	55
7.4.3 ALMACENAMIENTO	56
7.4.3.1 DURACIÓN Y TEMPERATURA DEL ALMACENAMIENTO.	56
7.4.3.2 PESCADOS GRASOS Ó PELÁGICOS.	56
7.4.3.3 PESCADOS MAGROS, BLANCOS Ó DEMERSALES.	57
7.4.3.4 ENDURECIMIENTO DEL PESCADO.	57
7.4.3.5 EFECTOS DEL RIGOR MORTIS.	57
7.4.3.6 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS.	57
7.5 PRODUCTOS LÁCTEOS	58
7.5.1 CONSERVACIÓN	58
7.5.1.1 CONSERVACIÓN DE LA LECHE.	58
7.5.1.2 CONSERVACIÓN DE LA NATA.	59
7.5.1.3 CONSERVACIÓN DE LA MANTEQUILLA.	59
7.5.1.4 CONSERVACIÓN DE QUESOS Y CUAJADAS.	60
7.5.1.5 CONSERVACIÓN DE LECHE FERMENTADAS.	60
7.6.1 CONSERVACIÓN	61
7.6.1.1 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN.	61
7.6.1.2 ENFRIAMIENTO.	61
7.6.3 ALMACENAMIENTO	62
7.6.3.1 ESCALADO DE LAS HORTALIZAS.	62
7.6.3.2 NECESIDAD DEL CONTROL DE TEMPERATURA.	62

7.6.3.2.1 RESPIRACIÓN.	62
7.6.3.2.2 PÉRDIDA DE AGUA.	65
7.6.3.2.2.1 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PÉRDIDA DE AGUA	65
7.6.3.2.3 MICROORGANISMOS	66
7.6.3.2.5 DAÑO MECÁNICO.	68
7.6.3.2.6 DAÑO POR FRÍO.	69
7.3.3.3 EMPAQUES DE LAS HORTALIZAS	70
7.7 FLORES	71
7.7.1 POSCOSECHA, HIDRATAR Y ENFRIAR LAS FLORES.	71
7.7.2 CALIDAD.	71
7.7.3 RESPIRACIÓN.	72
7.7.4 ETILENO.	72
7.7.5 PÉRDIDAS DE AGUA.	73
7.7.6 PREENFRIAMIENTO.	73
7.7.7 BOTRYTIS.	74
8 TRANSPORTE REFRIGERADO	75
8.1 GENERALIDADES	75
8.2 VEHÍCULOS	75
8.2.1 HERMÉTICAMENTE CERRADOS.	75
8.2.2 ISOTERMOS.	75
8.2.3 REFRIGERADOS.	75

MÁQUINAS FRIGORÍFICAS	76
8.3 CONTENEDORES	76
8.5 CONDICIONES DE TEMPERATURA EN EL TRANSPORTE	77
9.HIGIENE EN LA REFRIGERACIÓN	78
9.1 CONTAMINACIÓN HUMANA	78
9.2 CONTAMINACIÓN CRUZADA	79
BIBLIOGRAFÍA	80
Anexos11	82
ANEXO 1	82
ANEXO 2	83
ANEXO 3	85
ANEXO 4	86
LISTADO DE FIGURAS	88
LISTADO DE TABLAS	89

PROPÓSITO

El propósito de este documento es brindar una orientación a empresarios, técnicos e ingenieros que se desenvuelvan en el campo de la refrigeración para el manejo de la cadena frío en perdederos.

GLOSARIO¹

AHUMADO: proceso por medio del cual los productos cárnicos procesados adquieren la caracterización de color sabor y conservación, mediante la acción del humo utilizando una relación de temperatura tiempo y humedad relativa adecuadas.

ALIMENTO CONGELADO: es aquel, en que la mayor parte de su agua libre se ha transformado en hielo, al ser sometido a un proceso de congelación, especialmente concebido para preservar su integridad y calidad y para reducir, en todo lo posible las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, tanto en la fase de congelación como en la conservación posterior. Se considera alimento congelado aquel cuya temperatura no es superior a (-18° C).

ALIMENTOS FÁCILMENTE PERECEDEROS: alimentos percederos compuestos total o parcialmente de leche, productos lácteos, huevos, carne, aves de corral, pescado o mariscos, o de ingredientes que permitan el crecimiento progresivo de microorganismos que puedan ocasionar envenenamiento u otras enfermedades transmitidas por alimentos.

ALIMENTO LISTO PARA EL CONSUMO: cualquier alimento (incluidas las bebidas) que se consuma normalmente en estado crudo o cualquier alimento manipulado, elaborado, mezclado, cocido o preparado de otra manera, que se consuma normalmente sin ninguna manipulación.

ALIMENTO REFRIGERADO: es aquel enfriado a una temperatura de (0°C a 4°C) para preservar su integridad y calidad, reduciendo, las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, de tal forma que en todos los puntos su temperatura sea superior a la de su punto de congelación.

¹ Tomado de la legislación colombiana concerniente al tema de percederos.

ANIMALES DE ABASTO: se entiende por animales de abasto los bovinos, equinos, ovinos, porcinos, caprinos, aves de corral conejos, animales de caza y pesca y otras especies que se utilizan para el consumo humano y que el Ministerio de Salud declare aptas para el mismo.

CALIDAD: es el conjunto de atributos que determina que un producto sea del gusto del consumidor o usuario.

CARA PRINCIPAL DE EXHIBICIÓN: parte del envase con mayor posibilidad de ser exhibida, mostrada o examinada en condiciones normales y acostumbradas para la exhibición en la venta al por menor.

CONSUMIDOR: cualquier persona que compra o recibe alimento con el fin de satisfacer sus necesidades.

DECLARACIÓN DE PROPIEDADES: cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un alimento tiene cualidades especiales por su origen, propiedades nutritivas, naturaleza, elaboración, composición u otra cualidad cualquiera.

EMBUTIDO: producto procesado crudo o cocido ahumado o no, introducido a presión en tripas aunque en el momento de expendio o consumo carezcan de la envoltura empleada.

EMPAQUE: es un sistema coordinado mediante el cual el producto es acomodado temporalmente dentro de un recipiente para su traslado del sitio de producción al sitio de consumo sin que sufra daño.

ENVASE: recipiente que contiene alimentos para su entrega como un producto único, que los cubre total o parcialmente, y que incluye los embalajes y envolturas. Un envase puede contener varias unidades o tipos de alimentos preenvasados cuando se ofrece al consumidor.

FECHA DE DURACIÓN MÍNIMA: “Consumir preferentemente antes de”, es la fecha fijada por el fabricante, mediante la cual bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el período durante el cual el producto es totalmente comercializable y mantiene las cualidades específicas atribuidas tácita o explícitamente, no obstante, después de esta fecha, el alimento puede ser todavía satisfactorio, pero no se considerará comercializable.

GRASA: se entiende por grasa el tejido adiposo de los animales de abasto.

HATO: sitio destinado principalmente al ordeño y explotación lechera del ganado vacuno.

LECHE: es el producto de la secreción normal de la glándula mamaria de animales bovinos sanos, obtenido por uno o varios ordeños diarios, higiénicos, completos e interrumpidos.

LECHE HIGIENIZADA: denominase leche higienizada el producto obtenido al someter la leche cruda entera a un proceso de pasteurización, irradiación, ultra pasteurización o esterilización.

LECHE PASTEURIZADA: es el producto obtenido al someter la leche cruda, entera, a una adecuada relación de temperatura y tiempo para destruir su flora patógena y la casi totalidad de su flora banal, sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo ni sus características físico-químicas u organolépticas.

LECHE RECONSTITUIDA: es el producto uniforme que se obtiene mediante un proceso apropiado de incorporación a la leche en polvo, (entera, semidescremada o descremada), de la cantidad necesaria de agua potable, adicionándole o no grasa deshidratada de leche y sometiéndolo posteriormente a homogeneización, higienización y enfriamiento inmediato a fin de que presente características físico-químicas y organolépticas similares a las de la leche líquida correspondiente.

LECHE EN POLVO: producto que se obtiene por la deshidratación de la leche.

LECHE ALTERADA: es aquella que ha sufrido transformaciones en sus características físico-químicas y organolépticas, o en su valor nutritivo, por causa de agentes físico-químicos o biológicos, naturales o artificiales.

LOTE: cantidad determinada de unidades de un alimento de características similares fabricadas o producidas en condiciones esencialmente iguales que se identifican por tener el mismo código o clave de producción.

MADURACIÓN: conjunto de procesos microbiológicos, químicos, físicos bioquímicas y enzimáticos que tienen lugar en la fabricación de algunos productos cárnicos procesados crudos en que mediante controles de temperatura, tiempo y humedad relativa, se desarrolla el aroma sabor y consistencia característica de tales productos.

MATERIA PRIMA: sustancia natural o artificial, elaborada o no, empleada por la industria de alimentos para su utilización directa, fraccionamiento o conversión en alimentos para consumo humano.

MICROORGANISMOS: cualquier organismo microscópico vivo que pueda ser causa de enfermedad o deterioro de los alimentos.

PESCADO FRESCO Y OTROS PRODUCTOS DE LA PESCA: aquellos que mantienen inalterables las características físicas, químicas y organolépticas que lo hacen apto para el consumo humano y que, salvo la refrigeración o congelación no ha sido sometido a ningún tratamiento para asegurar su conservación.

PRODUCTOS CÁRNICOS PROCESADOS: los elaborados a base de carne grasa vísceras y subproductos comestibles de animales de abasto autorizados para el consumo humano y adicionados o no con ingredientes y aditivos de uso permitido y sometidos a procesos tecnológicos adecuados .

PRODUCTOS FRESCOS: productos altamente perecederos y es natural que se produzca deterioro de la calidad, durante el proceso de comercialización, el cual dependerá del abuso con que el producto es tratado durante su manipulación, empaque, transporte y almacenamiento.

ROTULADO O ETIQUETADO: material escrito, impreso o gráfico que contiene el rótulo o etiqueta, y que acompaña el alimento o se expone cerca del alimento, incluso en el que tiene por objeto fomentar su venta o colocación.

SUBPRODUCTO: se entiende por subproducto la parte del animal que puede ser aprovechable para consumo humano o para uso industrial. Los subproductos pueden ser, comestibles para la especie humana como la sangre; de uso Industrial como las plumas los cueros y los huesos.

TEMPERATURA EXIGIDA DE TRANSPORTE: es la temperatura a la que se debe transportar el producto de acuerdo con las reglamentaciones sanitarias vigentes o la establecida por el remitente del producto.

TRANSPORTE: es un medio que debe cumplir una serie de normas higiénicas y seguras

que se deben tener en cuenta para el traslado de un producto del sitio de producción al centro de consumo.

UNIDAD DE FRÍO: equipo que mantiene en forma controlada, la temperatura de un contenedor o de la unidad de transporte para productos que requieren refrigeración o congelación.

UNIDAD DE TRANSPORTE: es el espacio destinado en un vehículo para la carga a transportar, en el caso de los vehículos rígidos se refiere a la carrocería y en los articulados al remolque o al semirremolque.

3. EL FRÍO

El enfriamiento es un proceso de eliminación de calor de un cuerpo o un espacio, el cual puede ocurrir por medio de un abatimiento de la temperatura sin que el cuerpo sufra un cambio de estado físico a temperatura constante. De manera natural los cuerpos pueden enfriarse hasta la temperatura de los ambientes naturales, sin embargo, se requieren de medios o técnicas especiales para lograr mantener el cuerpo a una temperatura inferior al ambiente. Con base a lo anterior existen métodos de enfriamiento basados en procesos tanto naturales como artificiales.

Los procesos de enfriamiento natural consisten en la pérdida de calor espontánea, como ocurre en los procesos de enfriamiento debido a la pérdida de calor por radiación (enfriamiento radiactivo) y por convección- evaporación (enfriamiento evaporativo).

Los procesos de enfriamiento artificial están basados en la utilización de procesos de muy variada naturaleza, utilizando por lo general fluidos cuyas propiedades termodinámicas los sitúan como grandes absorbedores de calor, los cuales se conocen como refrigerantes, que tienen como función extraer el calor de un cuerpo de manera constante.

Existen diferentes niveles de enfriamiento por debajo de los valores de la temperatura ambiente:

- a) El enfriamiento propiamente dicho que va de los 24 a los 14°C, en donde se sitúa el bienestar humano y las temperaturas alcanzadas por diferentes procesos naturales como el enfriamiento evaporativo y el radiactivo, el acondicionamiento del aire y la conservación de algunos productos percederos.
- b) La refrigeración en donde comienzan a suceder los cambios de estado, principalmente del agua y en donde el abatimiento de la temperatura va desde la temperatura de 14°C hasta cerca los 0°C, en la mayoría de los casos no ocurre un cambio de fase.
- b) La sub refrigeración, la cual opera en un dominio de temperaturas que va desde 0°C hasta cerca de -15°C. En este dominio se lleva a cabo la formación de hielo.
- c) La congelación, en un dominio de temperaturas entre -15 y -35°C, siendo una técnica utilizada para la conservación prolongada de los productos percederos.
- d) La subgelación, en un dominio de temperaturas los -30 a -200°C.
- e) La criogenia o generación de muy bajas temperaturas, a valores cercanos al cero absoluto (-273.16°C), dominio utilizado para el estudio de propiedades de superconductividad y superfluidez, criocirugía, conservación de esperma y conservación en general.

4. PRODUCCIÓN DE FRÍO

La producción de frío es básicamente un fenómeno endotérmico (absorción de calor), en donde la fuente de calor es el producto o el espacio a enfriar, lo que provoca el abatimiento de su temperatura. Existe una gran diversidad de métodos de producción de frío, los cuales en su mayoría están basados en la extracción de calor de un cuerpo o un espacio por intermedio de la absorción del mismo por un fluido (refrigerante), el cual lo utiliza a su vez y de manera espontánea, para cambiar de estado de agregación, como la evaporación, fusión, sublimación, etc. cuyas transiciones se desarrollan a bajas temperaturas.

4.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO

4.1.1 DISOLUCIÓN DE CIERTOS SOLUTOS EN UN SOLVENTE.

Consiste en la disolución de ciertas sales en el agua, por ejemplo el nitrato de amonio que bajo ciertas concentraciones disuelto en agua produce una salmuera en donde la temperatura puede descender hasta cerca de -15°C , como resultado de la disolución. Este método no es de empleo común.

4.1.2 FUSIÓN.

Es necesario que esta transición se desarrolle a una temperatura suficientemente baja, en donde interviene el calor latente de fusión. En la antigüedad la producción de frío, se basaba en la utilización del hielo, el cual se recolectaba de manera natural en invierno y se conserva para su utilización posterior. El hielo juega un papel preponderante sobre todo en los países en vías de desarrollo para la conservación de pescados y mariscos, de aves, etc. Para la conservación de frío se substituye frecuentemente al hielo - cuya temperatura de fusión no es muy baja (0°C) - por una mezcla eutéctica de numerosas sales y de agua, en una concentración bien definida del soluto en el solvente, en donde intervienen los calores latentes de fusión- la temperatura de una mezcla eutéctica que se funde o se congela, permanece constante - en donde las temperaturas pueden ser inferiores a 0°C .

4.1.3 VAPORIZACIÓN.

En este método se utiliza el calor latente de evaporación, que es más alto que el de fusión. Este procedimiento es el más utilizado en los ámbitos industrial, comercial y doméstico. El fluido que se vaporiza para la producción de frío se le conoce como frigorigeno o refrigerante. En este caso se puede obtener un sistema de enfriamiento abierto, en donde el vapor resultante de la vaporización no se recupera, sobre todo en los casos en donde el refrigerante no es caro y no presenta problemas de impacto ambiental, como por ejemplo el uso del nitrógeno líquido y refrescar el aire caliente y seco por medio de la vaporización directa del agua en el aire.

En el sistema de enfriamiento cerrado, el vapor del refrigerante, generalmente costoso y algunas veces tóxico, se recircula con el objeto de volverlo a licuar para vaporizarlo de nuevo. Este tipo de sistema esta formado por un recipiente aislado térmicamente, el cual limita el espacio frío, y en cuyo interior se coloca un intercambiador de calor, en donde se introduce el refrigerante líquido el cual se vaporiza a una temperatura T_0 inferior a la

temperatura del interior T_r a la cual se quiere mantener el espacio. A este intercambiador se le conoce como evaporador.

4.1.4 SUBLIMACIÓN.

La sublimación es el cambio del estado sólido al estado vapor, este calor latente es más grande que el de vaporización, debido a que contiene además del calor latente de vaporización el de fusión. Normalmente se utiliza en un sistema abierto bajo presión atmosférica, siendo el refrigerante más utilizado el anhídrido carbónico (CO_2), el cual en estado sólido tiene una temperatura de transición de -78.5°C (hielo seco).

4.1.5 EXPANSIÓN DE UN GAS PREVIAMENTE COMPRIMIDO.

Esta expansión se puede realizar en:

- a) En un motor de gas comprimido, en donde se extrae la energía mecánica del gas que se expande. Esta extracción de energía provoca un enfriamiento intenso del gas expandido.
- b) En una válvula, en donde el gas que experimenta esta expansión (expansión Joule-Thomson) no produce ningún trabajo al exterior. Este enfriamiento es limitado, ya que según el estado termodinámico del gas antes de la expansión, el gas se puede enfriar, recalentarse o permanecer a una temperatura constante después de esta expansión.

El primer procedimiento se usa muy frecuentemente para la producción de frío a muy bajas temperaturas (criogenia) inferiores a los 120°K , como en el caso de la licuefacción del aire, del hidrógeno, del helio, etc.

Es posible utilizar el efecto Ranque al expandirse el gas comprimido en un tubo. La inyección del gas que se efectúa tangencialmente a la superficie interna del tubo provoca la formación de un torbellino rápido en donde la parte central se enfría y la periférica se calienta.

4.2 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO BASADOS EN LA EVAPORACIÓN DE UN REFRIGERANTE

En la refrigeración industrial, comercial y doméstica la mayor parte de las máquinas frigoríficas operan en un ciclo cerrado, bajo el principio de producción de frío basado en la evaporación del refrigerante líquido.

Estos métodos se diferencian por la forma en que los vapores que se producen en el evaporador son extraídos. Dentro de estos sistemas tenemos los ciclos de compresión, de eyecto-compresión y de sorción.

4.2.1 SISTEMA DE COMPRESIÓN DE VAPOR.

Los vapores son aspirados y comprimidos por medio de un dispositivo mecánico llamado compresor.

4.2.2 SISTEMA A EYECTO-COMPRESIÓN.

En este caso los vapores son aspirados por medio de un eyector, en donde el refrigerante hace la función de vapor motriz y una depresión en el eyector permite su aspiración a baja presión.

4.2.3 SISTEMA A PORCIÓN.

Los vapores son retenidos por un material líquido o sólido, lo que provoca su aspiración a la salida del evaporador.

Existen dos formas por las cuales estos materiales pueden fijar a los vapores, uno en donde el vapor se fija al material por medio de uniones de naturaleza física, resultando en un fenómeno superficial, al que se conoce con el nombre de adsorción, en donde por lo general ocurre entre un sólido y un vapor, aunque este fenómeno se puede presentar también aunque con menos frecuencia entre un líquido y un vapor. En la adsorción el material que adsorbe se le conoce como adsorbente y al material adsorbido como adsorbato. La otra forma es que el vapor se solubiliza al interior del material y en donde posteriormente ocurre una reacción química. Este fenómeno se conoce con el nombre de absorción y ocurre tanto en materiales líquidos como en sólidos. En la absorción, el material que absorbe se le conoce como

absorbente y el material absorbido como adsorbato.

En este tipo de sistema el refrigerante en forma vapor es adsorbido o absorbido por un líquido o sólido, a la salida del evaporador.

4.3 SISTEMAS DITERMOS (DOS FUENTES DE TEMPERATURA) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRÍO.

Estos sistemas funcionan entre una fuente fría a T_E , en donde absorben el calor y una fuente caliente a T_C en donde disipan el calor al medio ambiente. En este caso las temperaturas T_E y T_C , corresponden en el caso de un régimen interior a las condiciones de transformación del refrigerante (evaporación y condensación respectivamente). Si se refiere a un régimen exterior, se consideran las temperaturas de los fluidos exteriores por intermedio de los intercambiadores de calor, tanto del fluido a enfriar, a una temperatura T_R , como del fluido de enfriamiento (agua o aire ambientes) a una temperatura T_f , el cual se utiliza para disipar los calores de condensación y los correspondientes a los de disolución o reacción química.

Los sistemas frigoríficos ditermos incluyen los ciclos de compresión mecánica de vapores y los basados en el principio de Peltier. Para asegurar el funcionamiento de estos ciclos es necesario el suministro continuo de energía mecánica o eléctrica.

El coeficiente de eficiencia frigorífica de estos ciclos, se puede representar con la relación:

$$\epsilon_F = \epsilon_f = \frac{|Q_0|}{|W|} = \frac{|Q_0|}{|Q_s - Q_0|}$$

En donde Q_0 es el calor absorbido por el refrigerante (efecto refrigerante), Q_s es el calor disipado y W es el trabajo absorbido por la máquina frigorífica.

Esta relación es válida independientemente si el sistema es ideal o no. Para el ciclo ideal, si aplicamos el teorema de Clausius, obtenemos:

$$\frac{Q_0}{T_0} + \frac{Q_s}{T} = 0$$

Considerando los signos:

$$\frac{|Q_0|}{T_0} = \frac{|Q_s|}{T_s}$$

Entonces la relación de eficiencia para una máquina dierma perfecta queda expresada como:

$$\varepsilon_f = \frac{T_0}{T_s - T_0} = \frac{1}{\frac{T_s}{T_0} - 1}$$

4.3.1 MÁQUINA FRIGORÍFICA A COMPRESIÓN.

La figura 1, representa una máquina frigorífica a una etapa de compresión. Esta está formada por un a).- evaporador E en donde el refrigerante se evapora bajo la presión de evaporación PE. Los vapores formados por lo general se sobrecalientan un poco a la salida de este intercambiador. b).- un compresor mecánico C, que aspira bajo la presión PE los vapores sobrecalentados y los recomprime a la presión PC correspondiente a la temperatura de saturación del sumidero de calor, normalmente referida a la temperatura de condensación. c).- Un condensador C en donde el vapor sobrecalentado se licúa a TC y el líquido se puede subenfriar. El enfriamiento del condensador puede efectuarse con fluidos ambientales como el agua y el aire. d).- Una válvula de expansión V, la cual recibe el refrigerante líquido y lo expande de la PC a la presión PE, siendo una expansión isoentálpica, en donde disminuye la calidad del vapor. El líquido pasa nuevamente al evaporador y de esta forma se inicia un nuevo ciclo de refrigeración.

Si se desea disminuir aún más la temperatura entre -20°C y -50°C se pueden aplicar ciclos a dos etapas de compresión, y si se requieren aún temperaturas más bajas, entre -60 y -160°C es posible utilizar estos ciclos en forma de cascada.

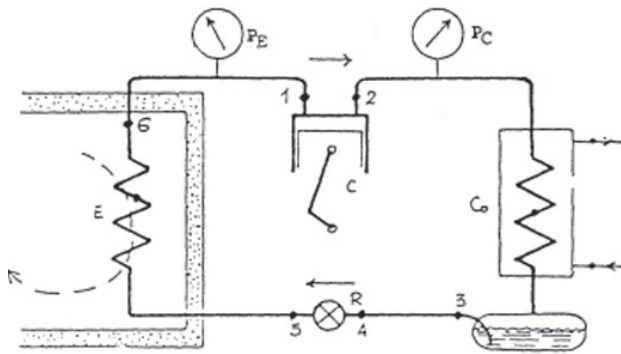


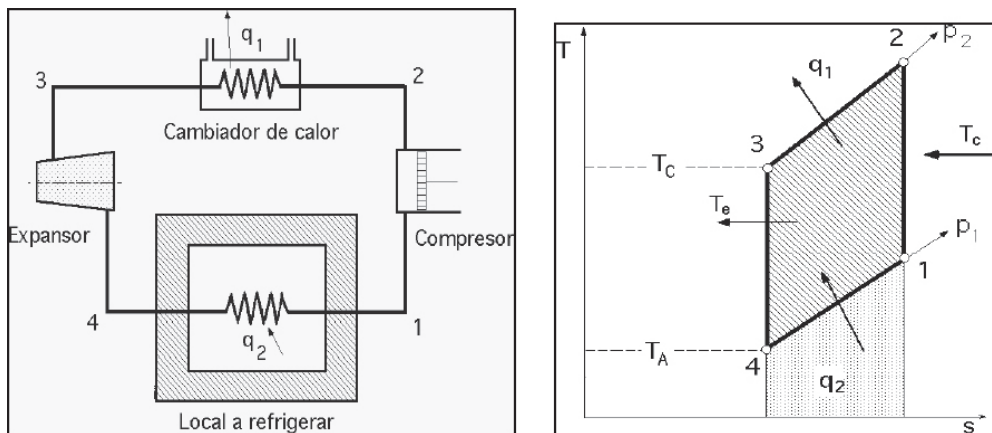
Figura 1. Máquina frigorífica de compresión

Fuente: PILATOWSKY, Isaac y BEST, Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México

4.3.2 MÁQUINAS FRIGORÍFICAS DE AIRE.

Las máquinas frigoríficas de aire funcionan según un ciclo Joule; este tipo de máquinas tienen un importante consumo de energía, pero a pesar de ello, la seguridad que supone el utilizar aire como fluido frigorígeno y el poco peso de las instalaciones (compresores rotativos), hace que sean factores decisivos a la hora de su utilización en sistemas de acondicionamiento de aire.

Figura 2. Esquema diagrama de un ciclo Joule



Fuente: URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>

Ciclo teórico: Teniendo en cuenta el esquema que se presenta en la Figura 2, el aire se puede expandir en una máquina de pistón o en una turbina, de 3 a 4; el calor q_2 se extrae del medio a refrigerar según (41) a la presión p_1 y después el aire se comprime isentrópicamente hasta la presión p_2 que reina en el cambiador de calor; finalmente el aire se refrigera según (23) a presión constante.

El balance energético de este ciclo es:

$$T_{real} = T_{compresor} - T_{expansor} = q_{cond} - q_{vap} = (i_2 - i_3) - (i_1 - i_4) = (i_2 - i_1) - (i_3 - i_4)$$

El coeficiente de efecto frigorífico teórico es:

$$COP_{TEÓR} = \frac{q_V}{T_{real}} = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_3) - (i_1 - i_4)}$$

Si se asimila el aire a un gas ideal, el calor específico se puede considerar constante $c_p = Cte$ y la expresión del efecto frigorífico teórico es:

$$COP_{teór} = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)} = \frac{T_1(1 - \frac{T_4}{T_1})}{T_2(1 - \frac{T_3}{T_2}) - T_1(1 - \frac{T_4}{T_1})}$$

Teniendo en cuenta que en las transformaciones adiabáticas se cumple:

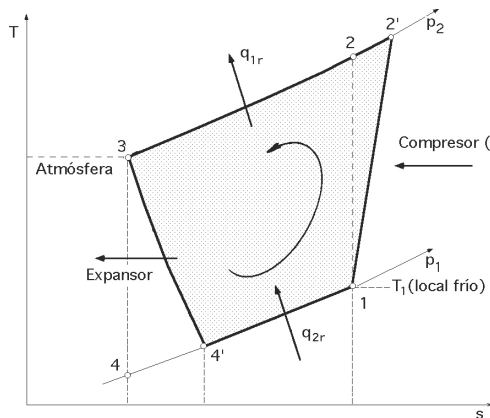
$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)}, \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}, \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

Resulta:

$$COP_{teór} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1}$$

Ciclo real: En un ciclo real existe un incremento de entropía y las entalpías finales, tanto en la compresión como en la expansión, son más elevadas que en el ciclo ideal; el trabajo necesario para la compresión es mayor debido al rendimiento interno del compresor y el obtenido en la expansión, menor; los rendimientos internos del compresor y del expansor permiten introducir en los cálculos el concepto de irreversibilidad.

Figura 3. Diagrama de un ciclo real de aire



Fuente: URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>

El rendimiento interno del compresor es:

$$\eta_c = \frac{i_2 - i_1}{i'_2 - i_1} = \frac{T_2 - T_1}{T'_2 - T_1} = \frac{T_{tc}}{T_{rc}}$$

Las entalpías específicas de los diversos puntos del diagrama son:

$$i_1 = c_p T_1; i_2 = c_p T_2; i'_2 = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c}; i_3 = c_p T_3; i_4 = c_p T_4; i'_4 = \eta_e (i_3 - i_4)$$

y de ellas se deducen los calores, tanto el extraído del foco frío ($q_{2r} = q_{vr}$) como el eliminado al foco caliente ($q_{1r} = q_{cr}$) de la forma:

$$q_{cr} = c_p (T'_2 - T_3) = i'_2 - i_3 = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c} - i_3 = i_1 - i_3 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c}$$

$$q_{vr} = c_p (T_1 - T'_4) = i_1 - i'_4 = i_1 - i_3 + (i_3 - i_4)\eta_e$$

El trabajo T_{útil} que el compresor aplica al fluido es:

$$T_{motor} = \frac{(i_2' - i_1) - (i_3 - i_4)}{\eta_{mrc}} = \frac{i_2 - i_1 - (i_3 - i_4)\eta_e}{\eta_{mec}}$$

El trabajo teórico a aplicar al compresor, (trabajo de circulación), se calcula en la forma:

$$T_{teórico} = \frac{p_1 * v_1}{\gamma - 1} \gamma \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right\} = i_2 - i_1$$

La eficiencia COP del ciclo real es,

$$COP = \frac{q_{vr}}{T_{útil}} = \frac{(T_1 - T_3) + \eta_e(T_3 - T_4)}{\eta_c \frac{T_2 - T_1 - \eta_e(T_3 - T_4)}} = \frac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c(T_3 - T_4)} - \eta_e} = \left[\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4} \Rightarrow T_2 = \frac{T_3 T_1}{T_4} \right] =$$

$$= \frac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{\frac{T_3 T_1}{T_4} - T_1}{\eta_c T_4} - \eta_e} = \frac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{T_1}{\eta_c T_4} - \eta_e}$$

El ciclo real de la máquina de fluido no condensable muestra que a medida que nos aproximamos al ciclo ideal, el coeficiente de efecto frigorífico tiende al del ciclo de Carnot; haciendo, $\eta_e = \eta_c = 1$, se obtiene:

$$COP = \frac{T_4}{T_3 - T_4} = \frac{1}{\frac{T_3}{T_4} - 1} = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

que es el coeficiente de efecto frigorífico del ciclo de Carnot entre las temperaturas T1 y T2; se observa que al disminuir el efecto de la irreversibilidad externa, al tiempo que aumenta la irreversibilidad interna, debería existir un valor óptimo para el coeficiente de efecto frigorífico real COP.

Para su determinación partiremos de que el rendimiento interno del compresor η_c y del expansor η_e , son constantes.

Derivando la expresión del COP respecto a T_4 , e igualando a cero, se obtiene la siguiente condición:

$$(T_1 - T_3) T_1 T_4 - \eta_e (T_1 - T_3) \eta_c T_4^2 + (T_3 - T_4) (T_1 - T_3) T_1 + \eta_e (T_3 - T_4)^2 T_1 = 0$$

Dividiéndola por T_1 y ordenándola en T_4 , resulta:

$$\eta_e T_4^2 \left(\frac{T_3 - T_1}{T_1} \eta_c + 1 \right) - 2\eta_e T_3 T_4 + T_3 (T_1 - T_3 + \eta_e T_3) = 0$$

que para ($\eta_c = \eta_e = 1$) se obtiene ($T_4 = T_1$) que dice que la temperatura de salida del expansor en estas circunstancias tendría que ser igual a la de entrada en el compresor, cuestión que es imposible en el caso de que el fluido sea no condensable pero perfectamente válida para los condensables por cuando las presiones y temperaturas de salida de la expansión y de entrada en la compresión son respectivamente iguales; de esto se deduce que los gases no son fluidos satisfactorios para ser utilizados en plantas de refrigeración.

4.3.3 SISTEMAS FRIGORÍFICOS TERMOELÉCTRICOS.

La teoría de un refrigerador termoeléctrico se fundamenta en una serie de efectos físicos propios de los sólidos conductores y semiconductores. Dichos efectos termoeléctricos relacionan las interacciones entre los flujos de calor y los flujos eléctricos en una junta de dos materiales (conductores ó semiconductores) diferentes.

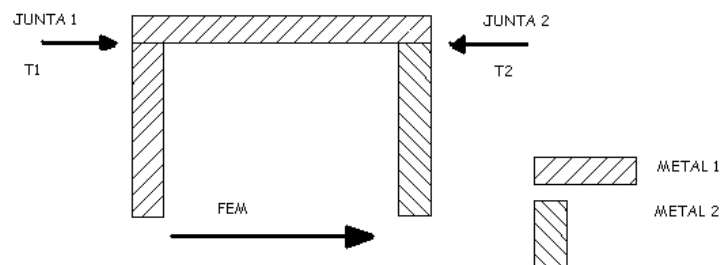
4.3.3.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS.

La junta termoeléctrica de la figura 4 se encuentra formada por dos metales diferentes (conductores ó semiconductores); dicho termopar tiene dos juntas entre los metales, las juntas J1 y J2 las cuales se encuentran a sus respectivas temperaturas; T_1 y T_2 .

Las interacciones de los diversos flujos de calor y corriente eléctrica que pasan por la junta se encuentran relacionadas por los tres efectos termoeléctricos:

Figura 4. Juntas termoeléctricas J1 y J2

Fuente: PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.



4.3.3.1.1 EL EFECTO SEEBECK.

Al producir una diferencia de temperaturas (ΔT) entre las juntas 1 y 2 (Fig. 4) se genera un voltaje ó fuerza electromotriz (fem) que circula la junta termoeléctrica. La diferencia de temperatura requerida (ΔT) para producir un voltaje dado se encuentra determinado por las características de los materiales que conforman la junta y se le conoce como coeficiente de Seebeck ó potencia termoeléctrica (α).

$$\alpha_{Metal1,Metal2} = \frac{V}{\Delta T}$$

Donde:

V: Voltaje, [V].

ΔT : Gradiente de temperatura, [°C].

α : Coeficiente Seebeck relativo a los metales 1 y 2, [V/°C].

4.3.3.1.2 EL EFECTO PELTIER.

Al generar y circular un voltaje por la junta termoeléctrica (Fig. 4) se genera un ΔT entre la temperatura de las juntas 1 y 2 (y en consecuencia un flujo de calor de un extremo a otro de la junta). La magnitud del voltaje requerido (V) para producir un ΔT (ó flujo de calor) dado se encuentra determinado por las características de los materiales que conforman la junta y se le conoce como coeficiente Peltier (π).

$$\pi_{Metal1,Metal2} = \frac{Q}{I}$$

Donde:

Q: Calor emitido ó absorbido, [kJ].

I: Corriente eléctrica, [A].

π : Coeficiente Peltier relativo a los metales 1 y 2, [kJ/A].

4.3.3.1.3 EL EFECTO THOMPSON.

El coeficiente Thompson (τ) es la relación de la absorción y emisión de calor en un solo material conductor a una razón proporcional del flujo de corriente y del gradiente de temperatura (Fig. 5).

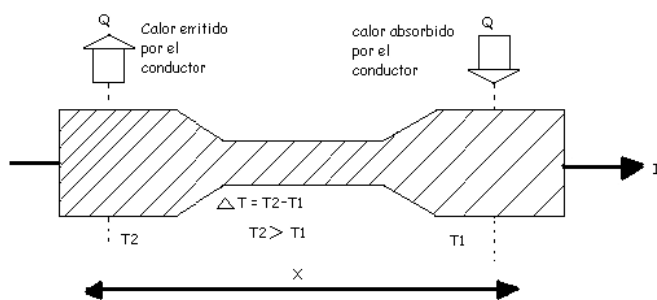


Figura 5. Efecto Thompson

Fuente: PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Thompson obtuvo la relación del tercer coeficiente termoeléctrico (τ), para uno solo de los conductores (Fig. 5) bajo la suposición de que al fluir la corriente eléctrica (I) en un conductor, existe un gradiente de temperatura dependiente de la posición (dT/dx , donde x representa la posición a lo largo del conductor referida a la dirección del flujo de la corriente I y calor Q) que conduce a una razón de calentamiento dependiente a su vez también de la posición x (dQ/dx). De donde τ es igual a:

$$\tau = \frac{dQ/dx}{I(dT/dx)}$$

Donde:

Q : Calor emitido ó absorbido, [Kj].

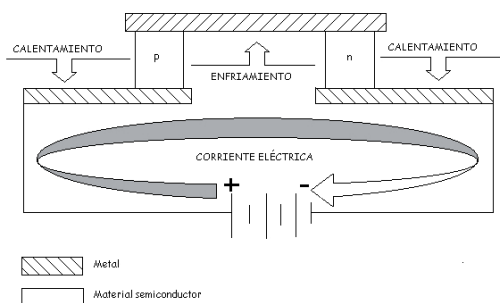
I : Corriente eléctrica, [A].

T : Temperatura absoluta, [K].

X : Eje relativo al gradiente de posición Δx a través del cual se realiza la transferencia de calor (Q) y el flujo de la corriente eléctrica (I).

El principio de los refrigeradores de este tipo y como se mencionó anteriormente, está basado en lo que se conoce como efecto Peltier (Fig. 6). En las bombas de calor no se utiliza la unión de dos metales ya que la diferencia de temperatura producida es muy pequeña, en realidad lo que se utiliza es la unión de materiales semiconductores tipo p y n, los cuales producen mayores diferencias de temperatura.

Figura 6. Junta para producir efecto Peletier



Fuente: PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Existen dos tipos de materiales semiconductores, los semiconductores tipo n y los semiconductores tipo p. El material semiconductor tipo n tiene un exceso de cargas negativas ó electrones. La adición de impurezas que provocan una deficiencia de electrones en el material da como resultado un material semiconductor tipo p en el cual las cargas mayoritarias presentes son cargas positivas (ausencia de electrones). Algunos ejemplos de materiales tipo p y n son: Bi_2Te_3 , $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + \text{Sb}_2\text{Te}_2 + \text{Sb}_2\text{Se}_3$, PbTe , SiGe y SiSb .

El calentamiento ó enfriamiento de las juntas es el resultado de fenómenos básicos de transporte de calor. La bomba de calor termoeléctrica utiliza los cambios de nivel energético de las cargas eléctricas para transportar energía térmica (calor); además, la dirección del flujo de corriente eléctrica determina si una junta dada disipa ó absorbe calor. Independientemente del efecto Peltier asociado al funcionamiento de una bomba de calor termoeléctrica, existen dos fenómenos adicionales que ocurren en el circuito y afectan el desempeño de la bomba:

El calentamiento Joule que ocurre por efectos de resistencia eléctrica de los semiconductores a la corriente eléctrica.

La conducción de calor, fenómeno inevitable debido a la unión física entre los materiales y al gradiente de temperatura presente en los mismos.

Para diseñar un sistema óptimo termoeléctrico, se debe considerar, un material que minimiza el calentamiento Joule, una relación geométrica área / longitud adecuada para la junta y el hecho de que el ΔT de operación del refrigerador y el calor (Q) transferido son inversamente proporcionales, esto es que ΔT será óptima cuando $Q=0$ y viceversa.

Este tipo de sistemas se utiliza generalmente para enfriamiento y aunque su COP es menor que el de un refrigerador convencional, tiene la ventaja de ser pequeños y silenciosos, no emplear líquidos, su regulación y control es muy sencillo (proporcional a la corriente eléctrica), responden rápidamente a cambios de polarización invirtiendo la función de la bomba (bomba termoeléctrica de calentamiento-enfriamiento) y por no tener partes móviles son de larga duración. Como inconveniente técnico (bajos COP) y económico (costo de los módulos de juntas termoeléctricas), una aplicación de bomba de calor termoeléctrica solo es adecuada a bajas potencias térmicas (aprox. 30 Watts ó menos).

4.3.3.2 COP DEL REFRIGERADOR TERMOELÉCTRICO.

El COP del refrigerador termoeléctrico se encuentra dado por la siguiente ecuación, en la cual W representa la potencia eléctrica empleada y Q el calor removido. Es de notarse que el término Q ya incluye el calor producido en el circuito por el efecto Joule:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

La termodinámica de esos sistemas establece que la potencia frigorífica Q_0 depende de la corriente eléctrica continua I , de acuerdo a la relación siguiente:

$$Q_0 = \alpha_{PN} T_E I - \frac{1}{2} R I^2 - K (T_C - T_E)$$

En donde α_{PN} es el coeficiente de fuerza termoeléctrica de la unión P-N, T_E la temperatura de la superficie fría y T_C la superficie caliente, R la resistencia del circuito heterogéneo y K la conductividad térmica de los materiales semiconductores. La potencia térmica consumida por el módulo es, de manera general:

$$P = (E + RI)I$$

Donde E es la fuerza contraelectromotriz del módulo, (fem de Seebeck).

$$E = \epsilon_{PN} (T_C - T_E)$$

El coeficiente de eficiencia frigorífica es:

$$COP = \frac{Q_0}{P} = \frac{\alpha_{PN} T_E I - \frac{1}{2} R I^2 - K (T_C - T_0)}{[\alpha_{PN} (T_C - T_E) + RI] I}$$

Este sistema de refrigeración es muy costoso y su uso se ha limitado para aplicaciones de muy bajas potencias de refrigeración.

5. REFRIGERANTES

El refrigerante es una sustancia que es capaz de producir un efecto de enfriamiento sobre el medio que lo rodea, sea un espacio o un cuerpo y que de manera general fluye y evoluciona en un ciclo al interior de un circuito de una máquina frigorífica. En el caso de producción de frío por medio de vaporización, estas sustancias deben tener una temperatura de ebullición, a presión normal, inferior a la temperatura ambiente.

5.1 SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE.

Para cada uno de los diferentes métodos de producción de frío existen para determinadas condiciones de funcionamiento uno o varios refrigerantes apropiados, que garantizan un óptimo de eficiencia y seguridad, en relación con sus propiedades químicas y físicas, existiendo ciertas condiciones mínimas y propiedades que deben satisfacer, tales como:

- Comportamiento indiferente frente a los materiales utilizados.

El refrigerante no debe combinarse o reaccionar con los materiales utilizados para la construcción de la máquina frigorífica.

- Estabilidad química.

El refrigerante no debe sufrir ningún tipo de transformación química, dentro del dominio de temperaturas y presiones de operación.

- Ausencia de toxicidad.

Es importante que el refrigerante no tenga efectos nocivos sobre la salud, ni sobre el medio. No todos los refrigerantes satisfacen esta condición.

- No debe ser explosivo ni inflamable.

Por motivos de seguridad se exige que el refrigerante este operando fuera de los dominios de

peligrosidad, en lo referente a los riesgos de explosión y flamabilidad.

- Fácil detección de fugas.

Por aspectos de seguridad, operación y economía, es necesario que la circulación del refrigerante se realice en conductos herméticos y que las fugas en caso de ocurrir deben ser inmediatamente detectadas, prefiriéndose aquellos refrigerantes que tengan un olor penetrante.

- Ningún efecto sobre el lubricante.

Si en el circuito del ciclo de refrigeración se utiliza algún tipo de lubricante, el refrigerante no le debe ocasionar ningún cambio químico, ni influir en sus propiedades lubricantes.

- La presión de evaporación debe ser superior a la presión atmosférica.

En el caso de la refrigeración por vaporización, la presión de evaporación del refrigerante, debe ser dentro de lo posible, algo superior a la presión atmosférica. De esta manera se evita la introducción de aire al interior del sistema.

- Baja presión de condensación.

La generación de altas presiones de condensación, requiere de estructuras que soporten esta presión, aumentando el costo. Se sugiere trabajar el refrigerante a condiciones de operación no muy próximas del punto crítico, con el objeto de realizar más fácilmente la condensación.

- Gran potencia frigorífica específica.

Entre mayor sea su capacidad o potencia de enfriamiento, se requerirá una menor cantidad de refrigerante en circulación para una potencia de enfriamiento determinada.

- Costo y disponibilidad.

El refrigerante no debe ser muy costoso y debe estar disponible en el mercado, sobre todo si se requiere de un abastecimiento continuo, como en el caso de los ciclos de refrigeración abiertos.

Existen refrigerantes inorgánicos como el agua y el amoníaco y refrigerantes orgánicos como los hidrocarburos halogenados.

5.1.1 PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES.

5.1.1.1 PROPIEDADES TÉRMICAS.

Las propiedades térmicas en general, permiten conocer el comportamiento de las sustancias frente a los cambios de estado o bien el análisis de los diferentes factores externos que intervienen para que estos cambios se produzcan.

5.1.1.2 PRESIÓN DE VAPOR.

Para compuestos puros, el equilibrio entre las fases del refrigerante líquido y el refrigerante vapor, permite la determinación de las temperaturas de evaporación y de condensación, así como de las presiones en función de estas temperaturas.

5.1.1.3 VOLUMEN ESPECÍFICO Y DENSIDAD.

El volumen específico es el valor inverso de la densidad, y ambos varían en función de la temperatura y de la presión, siendo más importante este efecto si el refrigerante se encuentra en fase vapor. Conociendo el volumen específico se puede determinar la cantidad de vapor generado por la vaporización de una cierta masa de refrigerante líquido.

5.1.1.4 CALOR ESPECÍFICO.

El calor específico indica la cantidad de calor necesaria para absorberse o disiparse, para obtener la variación de un grado de temperatura de una cierta masa de una sustancia. Este valor es muy importante sobre todo para el dimensionamiento de los intercambiadores de calor.

5.1.1.5 CALOR LATENTE.

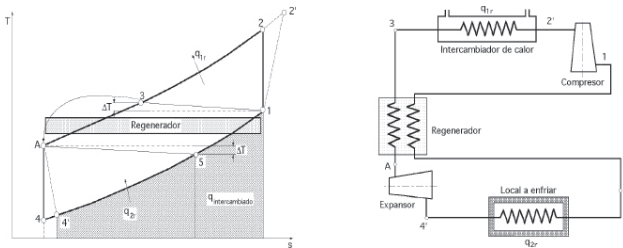
El calor latente indica la cantidad de calor necesaria por unidad de masa de la sustancia, para efectuar una transición de un estado de agregación a otro. En el caso de los refrigerantes existen grandes variaciones de estos calores.

6. CICLOS DE REFRIGERACIÓN

6.1 CICLO DE GAS CON REGENERADOR

Si a este ciclo se le hacen determinadas modificaciones, se pueden conseguir algunas mejoras en los ciclos de refrigeración con gas. Si se utiliza el gas frío del estado 1 para enfriar el gas en el estado 3, las expansiones siguientes le llevarían a una temperatura menor, la del estado A de entrada en el expansor, tal como se indica en el ciclo que representamos en la Figura 7; de esta forma se pueden obtener temperaturas extremadamente bajas, mediante la introducción en el ciclo de un intercambiador de calor (regenerador).

Figura 7. Ciclo de gas con regeneración



Fuente: URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

La transferencia de calor externa al ciclo produce la caída de temperaturas entre los estados 2 y 3; el regenerador permite un enfriamiento adicional del gas hasta A, que se expande hasta 4' y absorbe calor del local a enfriar entre 4' y 5 y en el regenerador, desde 5 a 1.

El balance energético en el regenerador, sin pérdidas térmicas, es:

$$i_3 - i_A = i_1 - i_5 ; C_p (T_3 - T_A) = C_p (T_1 - T_5) ; T_3 - T_1 = T_A - T_5 = \Delta T$$

$$T_3 = T_1 + \Delta T; T_5 = T_A - \Delta T$$

Las entalpías en los diferentes puntos del ciclo son:

$$i_1 = C_p T_1; i_2 = C_p T_2; i_2' = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c}; i_3 = C_p T_3 = C_p (T_1 + \Delta T); i_A = C_p T_A$$

$$i_4 = C_p T_4 = \left[T_4 = T_A \left(\frac{P_4}{P_A} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] = T_A \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}; i_4' = i_A - \eta_e (i_A - i_4)$$

$$i_5 = C_p T_5 = C_p (T_A - \Delta T)$$

El calor extraído del foco frío q_{2r} es:

$$q_{2r} = (i_2' - i_1) - (i_A - i_4') = \left\{ \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} - \eta_c (T_A - T_4) \right\} C_p$$

El trabajo motor a aplicar al compresor es:

$$T_{motor} = \frac{(i_2' - i_1) - (i_A - i_4')}{\eta_{mec}} = \left\{ \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} - \eta_c (T_A - T_4) \right\} \frac{C_p}{\eta_{mec}}$$

La eficiencia COP del ciclo:

$$COP = \frac{q_{2r}}{T_{util}} = \frac{T_5 - T_4'}{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c} + \eta_e (T_A - T_4')}$$

El ciclo de refrigeración con gas se puede aplicar a las instalaciones de aire acondicionado, p.e. de aviones, en donde los problemas de espacio son muy importantes; en general, comprimen aire que primero se enfría disipando calor a la atmósfera exterior y que, posteriormente, se expande en una turbina; el aire fresco procedente de la turbina pasa directamente al interior del avión.

6.2 CICLO DE CARNOT DE UN FLUIDO CONDENSABLE

La ventaja del ciclo de una máquina frigorífica de fluidos condensables respecto a la máquina frigorífica de gas, radica en la utilización del fluido en sus dos fases, líquida y gaseosa, que permite no sólo el que técnicamente se pueda realizar el ciclo de Carnot inverso, sino porque las temperaturas al final de la expansión y a la entrada en el compresor son iguales, por lo que se puede optimizar el coeficiente de efecto frigorífico.

El funcionamiento de una máquina frigorífica de fluidos condensables que utiliza un ciclo de Carnot, Fig. 8, es como sigue:

Un compresor accionado por un motor aumentaría la presión del fluido desde p_2 a p_1 , según la transformación (AB), alcanzándose la temperatura T_1 ; esta compresión sería seguida de una condensación isoterma (BC) en la que el calor q_1 es evacuado al foco térmico caliente; el agua fría del condensador juega el papel de foco caliente de la máquina frigorífica, circulando en contracorriente con el fluido que viene del compresor y absorbiendo el calor q_1 .

El fluido una vez licuado se expande isentrópicamente en un expansor (CD), disminuyendo su presión y temperatura, con lo que se vaporiza parcialmente, llegando en estas condiciones al evaporador, estado D, iniciándose la vaporización isoterma (DA), durante la cual el calor q_2 puede ser absorbido del recinto a enfriar, o de una disolución de ClNa (salmuera), que circularía en contracorriente con el vapor a una temperatura T_r mayor que T_2 . Esta sustancia se puede enfriar hasta -15°C sin congelar, actuando como fuente fría; la salmuera así refrigerada circularía por conducciones apropiadas para la refrigeración de otro sistema. La parte evaporada del fluido condensable vuelve al compresor, iniciándose de nuevo el ciclo.

El área por debajo de (DA) representaría el calor q_2 absorbido a la fuente fría de valor $(iA-iD)$ y el área (ABCD) sería el trabajo T_C aplicado al fluido por el compresor.

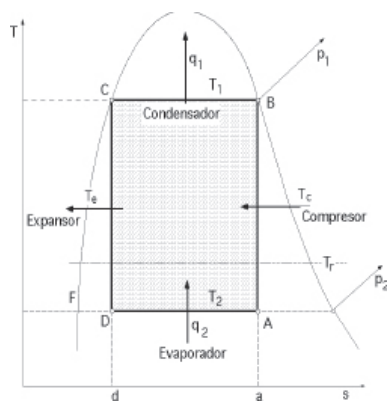


Figura 8. Ciclo de Carnot de un fluido condensable

Fuente: URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

El coeficiente de efecto frigorífico viene dado, como sabemos, por:

$$COP = \frac{q_2}{T_c - T_e} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

El fluido que recorre el ciclo debe licuar fácilmente, por lo que su temperatura crítica tiene que ser superior a las temperaturas máximas de funcionamiento del fluido.

El trabajo mínimo reversible, necesario para extraer el calor q_2 del foco frío es:

$$T_{min.rev} = q_1 - q_2 = q_2 \frac{T_1}{T_2} - q_2 = q_2 \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{q_2}{COP_c} \Rightarrow COP_c = \frac{q_2}{T_{min.rev}}$$

Ciclo continuo de un sistema de refrigeración por absorción.

6.3 CICLO CONTINUO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

El dibujo esquemático del ciclo de absorción en funcionamiento continuo, se ilustra en la figura 9.

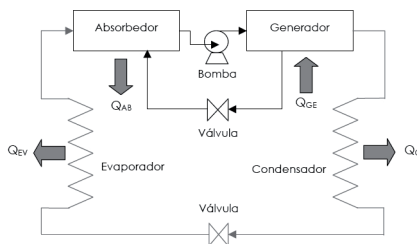


Figura 9. Ciclo de absorción a funcionamiento continuo.

Fuente: PILATOWSKY, Isaac y BEST, Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

El refrigerante en forma de vapor de baja presión entra al absorbedor, en donde es absorbido por el absorbente.

La solución que sale del absorbedor contiene una concentración alta en refrigerante, la cual es llamada solución concentrada. Esta solución es bombeada hasta el generador a la presión correspondiente.

La solución concentrada entra al generador con presión alta y baja temperatura en donde se le suministra calor, esto eleva la temperatura de la solución y de aquí en adelante la cantidad de refrigerante que el absorbente puede retener es reducida. Ahora el refrigerante es manejado como vapor y llevado fuera del generador.

La solución resultante después de la generación contiene una baja concentración de refrigerante, la cual se conoce como solución diluida. La solución regresa al absorbedor

pasando a través de una válvula de expansión la cual tiene como función provocar una caída de presión para lograr mantener una diferencia de presiones entre el generador y el absorbedor.

El refrigerante en forma de vapor con una alta presión y una alta temperatura saliendo del generador y entrando al condensador, en donde la reducción en la temperatura provoca la condensación del vapor. Posteriormente el refrigerante líquido pasa a través de una válvula de expansión la cual le reduce bruscamente la presión hasta alcanzar la presión de evaporación. Ya en el evaporador el refrigerante líquido extrae calor del medio que lo rodea (aire o líquido), provocando su enfriamiento.

El refrigerante en forma de vapor saturado sale del evaporador y regresa al absorbedor para ser reabsorbido por la solución diluida, completando el ciclo.

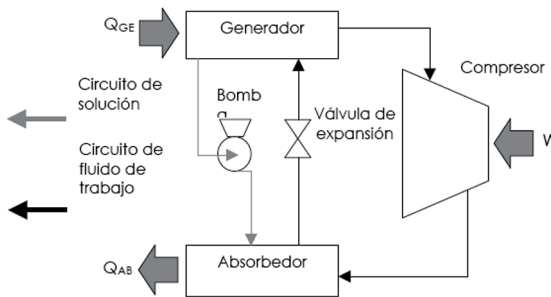
6.4 CICLO POR COMPRESIÓN-ABSORCIÓN EN BOMBAS DE CALOR

Una bomba de calor por compresión-absorción es como su nombre lo indica una combinación de una bomba de calor por compresión y una por absorción. Con este tipo de ciclos se combinan las mejores características de ambos en uno solo.

Generalidades del ciclo por compresión-absorción

En la figura 10 se muestra esquemáticamente la versión más simple de una bomba por compresión-absorción, la cuál está formada por un generador, un absorbedor, un compresor, una bomba y una válvula de expansión. En el generador, se suministra una cantidad de calor Q_{GE} , para separar el vapor del fluido de trabajo del absorbente. El vapor obtenido es comprimido para dejarlo a una mayor presión a la entrada del absorbedor. La solución diluida (baja concentración del componente más volátil) es bombeada del generador al absorbedor para absorber el vapor proveniente del compresor, disipando una cantidad de calor Q_{AB} hacia el exterior a una temperatura mayor que a la que se suministró calor al generador. Por último, la solución concentrada (alta concentración del componente más volátil) pasa a través de la válvula de expansión hacia el generador dando inicio una vez más al ciclo.

Figura 10. Diagrama esquemático de una bomba de calor por compresión-absorción.



Fuente: URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

6.4.1 COP DEL CICLO POR COMPRESIÓN-ABSORCIÓN.

Teóricamente se ha encontrado que con este tipo de ciclos se pueden obtener coeficientes de operación mayores que para los sistemas de absorción y en comparación con los sistemas de compresión mecánica de vapor, pueden operar en un mayor dominio de niveles de temperatura.

Este tipo de bombas, así como el ciclo de compresión mecánica de vapor, se encuentran formadas por dos equipos que intercambian calor y un compresor. A diferencia del ciclo de compresión de vapor, los equipos de intercambio de calor son dos equipos de sorción (absorbedor y generador) y el calor intercambiado es calor de solución (como los ciclos de absorción). Estos sistemas se utilizan más comúnmente para calentamiento y el COP está dado como:

$$COP_{ENF} = \frac{Q_{AB}}{W + Q_{GE}}$$

6.5 COMPONENTES DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

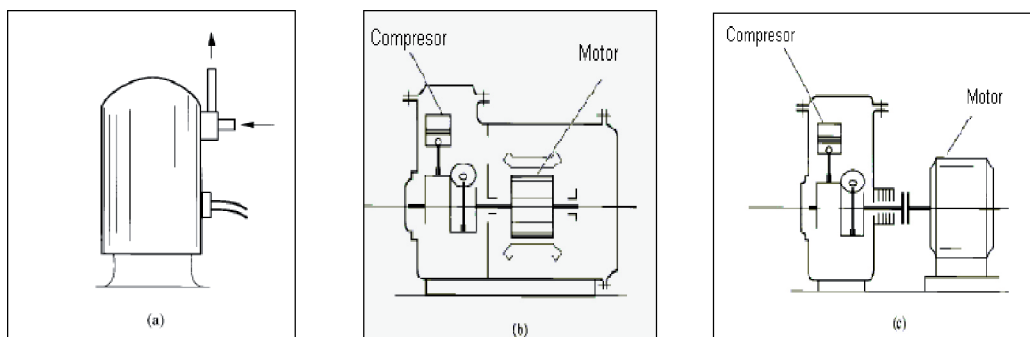
6.5.1 COMPRESORES.

Un compresor de refrigeración es el corazón del sistema, su función es la de levantar la presión del refrigerante y proporcionar la fuerza primaria para que circule el refrigerante en ese estado, produce el efecto de la refrigeración en el evaporador, lo transforma a la

forma líquida en el condensador, y en las válvulas de admisión a una presión más baja por el dispositivo estrangulador.

Los compresores actualmente utilizados de refrigeración se pueden clasificar como de desplazamiento positivo o compresores de desplazamiento no positivo.

Figura 11. (a) Compresor hermético, (b) semi hermético y (c) abierto



Fuente: URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGÉTICO_EN_REFRIGERACION.

Un compresor de desplazamiento positivo aumenta la presión del vapor del refrigerante reduciendo el volumen interno en la cámara de la compresión por la fuerza mecánica aplicada.

El único tipo de compresor de refrigeración no positivo es el que se utilizó extensamente en sistemas de refrigeración con compresores centrífugos.

En un compresor centrífugo, el aumento de la presión del vapor del refrigerante depende principalmente en la conversión de la presión dinámica a la presión constante.

6.5.1.1 TIPOS DE COMPRESORES

6.5.1.1.1 COMPRESOR HERMÉTICO.

En este compresor el motor y el compresor están sellados o soldados en la misma carcasa, como el mostrado en la figura anterior (a). Los compresores herméticos tienen dos ventajas:

Aminoran la fuga de refrigerante, y el motor puede ser refrigerado por el vapor de la succión que fluye por el aire generado por el motor. Esto debe ser compatible con el refrigerante y la lubricación a base de petróleo para resistir el efecto abrasivo del vapor de la succión y tener una alta resistencia dieléctrica. Los compresores soldados se utilizan generalmente para instalaciones pequeñas de 1 hp a 24 hp (0.7 kW a 18 kW).

Los compresores herméticos son conducidos directamente por el motor ó bien movido por un conjunto de engranajes.

6.5.1.1.2 COMPRESOR SEMI – HERMÉTICO.

La ventaja principal que tienen sobre los anteriores, es el acceso para la reparación durante una rotura del compresor, figura (b), o para la conservación regular. Las Otras características son semejantes a las de los compresores herméticos. La mayor parte de los compresores de potencia media son semi herméticos.

6.5.1.1.3 COMPRESOR ABIERTO.

En este caso el compresor y el motor están completamente separados, como se muestra en la figura (c). Un compresor abierto necesita sellos para evitar la pérdida del refrigerante. En la mayoría de los casos tienen un ventilador que se utiliza para refrigerarlo utilizando el aire de ambiente. Muchos compresores de los grandes sistemas de refrigeración son compresores abiertos.

Los compresores semi herméticos y los abiertos pueden ser movidos directamente, por engranajes ó por bandas tipo "V". El propósito de un tren de engranajes es aumentar la velocidad del compresor. El engranaje es compacto y gira sin patinar como las bandas.

Tanto los engranajes como las bandas en "V", requieren cerca de un tres por ciento más de potencia del motor que la que necesita el compresor.

Algunos grandes compresores abiertos pueden ser también movidos por turbinas de vapor, por turbina de gas, o por motor diesel en vez de un motor eléctrico.

6.5.2 EVAPORADORES.

El evaporador es uno de los componentes principales de un sistema de refrigeración, en cuál el refrigerante se evapora con el propósito de extraer el calor del aire circundante o de otras sustancias. En los sistemas de refrigeración de compresión de vapor, el evaporador es también un intercambiador de calor de contacto indirecto.

Los evaporadores se pueden clasificar en tres categorías, dependiendo del medio o la sustancia enfriada:

- Un evaporador aéreo es el que enfría el aire directamente en un espacio del equipo. El aire condicionado entonces se distribuye por sistemas aéreos.
- En un evaporador de agua, esta es enfriada y es bombeada a unidades remotas a ventiladores de manejo de aire, o a otras terminales de aire acondicionado u otras aplicaciones.
- Un evaporador se puede utilizar también para producir hielo directamente, tal como en un frigorífico.

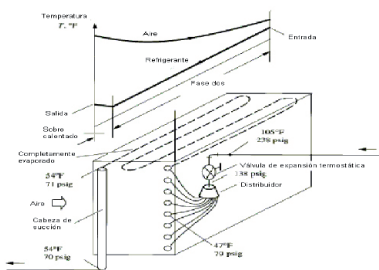
6.5.2.1 EXPANSIÓN DIRECTA (DX).

En un sistema de aire acondicionado de expansión directa, la temperatura de evaporación T_{ev} , °F (°C), del refrigerante HCFC -22, HFC-134a, HFC-404A, HFC- 410A, HFC-407A, o HFC 407C, dentro de los tubos del serpentín son generalmente 37° a 52°F (2.8 a 11.1°C). La temperatura T_{ev} de la superficie generalmente baja al punto de rocío del aire de entrada. La condensación ocurre por fuera de la superficie del serpentín de DX.

Los serpentines se construyen generalmente con tubos de cobre y aletas de aluminio y se utilizan extensamente en equipos con refrigerante halocarbonado. El diámetro de los tubos de cobre es generalmente 3/8" a 5/8" (10 a 16 mm), las aletas del aluminio se separan una de otra de 12 a 18 aletas por pulgada, (1.4 a 2 aletas por mm) y son generalmente de 0.006" (0.15 mm) de espesor. Las aletas onduladas se utilizan para evitar turbulencias y un aumento adicional en la transferencia de calor. En la superficie interior de los tubos de cobre, son utilizadas micro aletas en cantidad de 60 aletas por pulgada (0.42 aletas/mm) y una altura de 0.008" (0.2 mm) para aumentar la transferencia de calor.

Para una distribución de líquido refrigerante, los DX siempre son divididos en varios circuitos refrigerantes. El refrigerante es suministrado generalmente por una válvula de la expansión termostática y fluye por un distribuidor, que distribuye el refrigerante uniformemente, como se muestra en la siguiente figura. El distribuidor es conectado a varios circuitos por tubos de distribución de cobre de un diámetro entre 1/4" y 5/16" (6.5 y 16 mm). La longitud del tubo distribuidor es aproximadamente igual a las longitudes de circuito y aseguran una adecuada distribución del refrigerante.

Figura 12. Evaporador de expansión directa



Fuente: URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGÉTICO_EN_REFRIGERACION.

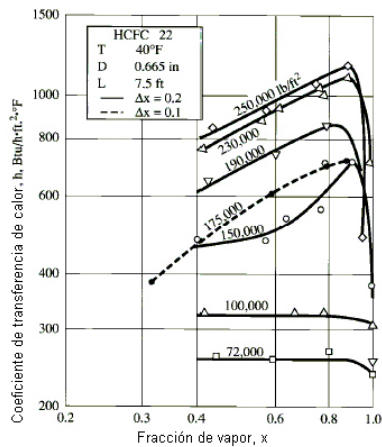
6.5.2.2 LA ZONA DE SOBRECALENTAMIENTO.

En esta zona, la calidad del refrigerante $x_r = 1$, el coeficiente calor de la transferencia del refrigerante es en el lado bajo. A causa de la temperatura de superficie, exterior y relativamente alta causada por el sobrecalentamiento del refrigerante.

Para la simplificación, la tasa de la transferencia del calor (inclusive calor sensible y latente), a menudo es multiplicada por un factor F_{super} que justifica la existencia de la región de sobrecalentamiento.

La transferencia simultánea entre el calor y la masa en un sistema de expansión directa, los potenciales que manejan para la transferencia simultánea del calor y la masa durante la refrigeración son la diferencia entre la entalpía del aire del ambiente y el aire saturado.

Figura 13. Diagrama zona de sobrecalentamiento



Fuente: URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGÉTICO_EN_REFRIGERACION.

6.5.3 CONDENSADORES

6.5.3.1 PROCESO DE CONDENSACIÓN.

Cuando el vapor saturado está en contacto con una superficie que tiene una temperatura más baja que la temperatura de la saturación, ocurre la condensación en la superficie; existen dos tipos de la condensación.

- El líquido condensado, a menudo llamado condensado, moja la superficie y forma una película que cubre toda la superficie
- La superficie no es mojada totalmente por el vapor saturado, y el condensador forma las gotitas líquidas que caen de la superficie.

Comparado las dos condensaciones, la última tiene un coeficiente de superficie más grande de la transferencia de calor porque tiene una superficie más grande expuesta al vapor de la saturación. En la práctica, sin embargo, la superficie entera de los tubos del condensador llega a ser humedecida durante la condensación.

El proceso de la transferencia de calor en un condensador ocurre en tres etapas:

- Sobrecalentamiento del gas.
- Condensación del gas al estado líquido y de liberación del calor latente.
- Sub enfriamiento del líquido refrigerante.

Aunque el coeficiente de superficie de la transferencia de calor sea más bajo en el lado caliente de gas durante el sobrecalentamiento, hay una diferencia más grande de la temperatura entre el gas refrigerante caliente y el medio de refrigeración. El sub enfriamiento sólo ocupa una porción pequeña del área del condensador. Por lo tanto, para la simplificación, un coeficiente medio de la transferencia de calor se utiliza para la superficie total del condensador.

6.5.3.2 TIPO DE CONDENSADORES.

El condensador es el componente mayor de un sistema de refrigeración. Es también un intercambiador de calor de contacto indirecto en el que el calor total rechazado del refrigerante es quitado por un medio de refrigeración, generalmente aire o agua. Como resultado, el gas refrigerante es enfriado y condensado.

El líquido refrigerante es a menudo sub enfriado hasta una temperatura de 15°F (8.3°C) por debajo de la temperatura saturada de condensación. Basado en el medio de refrigeración y los condensadores utilizados, los sistemas de refrigeración pueden ser clasificados en las siguientes tres categorías:

- Condensadores húmedos.
- Condensadores ventilados.
- Condensadores evaporadores.

6.5.3.2.1 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE.

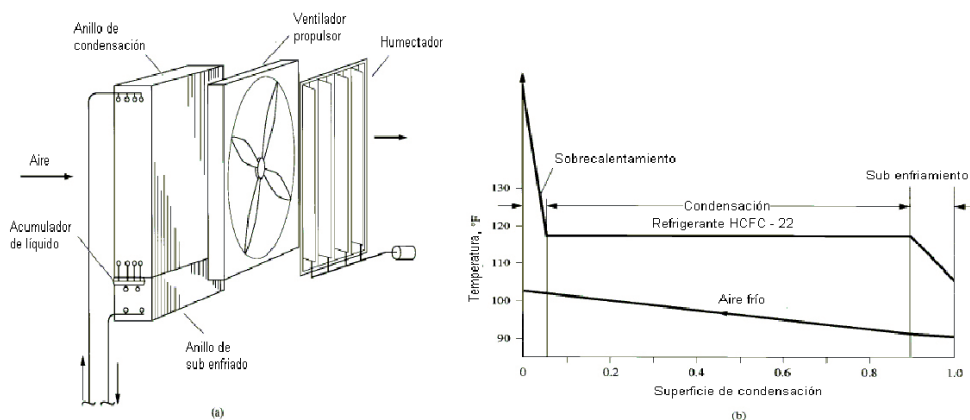
El uso de condensadores ventilados por aire es para extraer el calor latente de la condensación liberada por el refrigerante. El gas caliente del compresor entra los circuitos refrigerantes por la parte superior. Esto proporciona la flexibilidad entre el condensador y áreas de sub enfriamiento. El aire de refrigeración es forzado generalmente por un ventilador propulsor.

Un ventilador propulsor tiene un ventilador de presión baja y un volumen elevado de flujo, que lo hacen más conveniente para los condensadores ventilados por aire. Los ventiladores se localizan generalmente por abajo para proporcionar una corriente de aire constante. Se puede instalar el ventilador después o antes del difusor para modular el flujo del aire. En un condensador pequeño de aire, el ventilador propulsor, y el difusor se pueden instalar en una línea horizontal. En los equipos grandes los condensadores se localizan generalmente en dos lados, el ventilador y los difusores están por encima de la unidad.

6.5.3.3 PROCESOS TRANSFERENCIA DE CALOR Y CURVAS DE TEMPERATURA.

Los procesos de Transferencia de calor y las Curvas de Temperatura en un condensador típico de aire que utiliza HCFC-22 como refrigerante son divididos en tres etapas, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 14. Esquema y diagrama de condensador



Fuente: URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN_REFRIGERACION.

6.5.4 MECANISMO DE EXPANSIÓN

6.5.4.1 VÁLVULAS TERMOSTÁTICAS DE EXPANSIÓN.

Las válvulas de expansión termostáticas (TXVs) son extensamente utilizadas en su mayoría para estrangular los dispositivos de expansión en sistemas de refrigeración de expansión directa ó sistemas DX's.

6.5.4.1.1 Control de flujo de los dispositivos refrigerantes.

Los dispositivos para el control de flujo del refrigerante incluyen válvulas de expansión, válvulas eléctricas de expansión, válvulas de flote, tubos capilares, y múltiples orificios.

En un sistema de la refrigeración, la válvula de expansión es un dispositivo ajustable por lo cual la presión del refrigerante a condensar es estrangulada en la etapa de evaporación. Al mismo tiempo, la válvula de expansión regula su apertura para alimentar la cantidad requerida de refrigerante al evaporador para encontrar la carga de refrigeración.

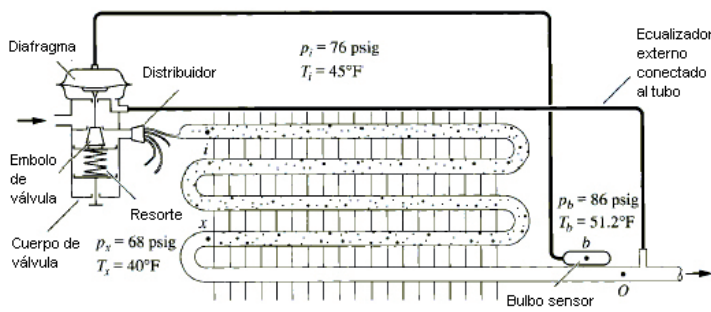
6.5.4.1.2 Características de operación.

Una válvula de expansión termostática regula el flujo de refrigerante al evaporador de acuerdo al vapor sobre calentado saliendo del evaporador. En la figura siguiente se muestra una válvula de expansión de termostática conectada a un evaporador. Una válvula de expansión de termostática consiste en un cuerpo de válvula, un diafragma, y un bulbo en la salida del evaporador. El bulbo está conectado a la parte superior del diafragma por medio de un tubo capilar. La salida de la válvula de expansión de termostática es conectada a varios circuitos refrigerantes por las bocas y tubos de un distribuidor refrigerante. Cuando los líquidos refrigerantes pasan por la pequeña apertura del émbolo de la válvula; su presión es reducida a la presión de la evaporación.

El flujo del líquido refrigerante circula por los tubos de cobre y se vaporiza gradualmente. En la posición X, todo el líquido se ha vaporizado. Cuando el vapor del refrigerante alcance la salida O del evaporador, será sobrecalentado a unos pocos grados más que su temperatura saturada. Esto causa un aumento en el grado de sobrecalentamiento en la salida O así como un aumento en la temperatura del bulbo, porque puede ser llenado parcialmente por el mismo tipo de líquido refrigerante como que en el evaporador, la temperatura más alta ejerce una presión más alta por encima del diafragma. Esto baja la aguja y ensancha la apertura de

válvula y así se permite el ingreso de más líquido refrigerante al evaporador para emparejar el aumento en la carga de refrigeración.

Figura 15. Mecanismo de expansión



Fuente: URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGÉTICO_EN_REFRIGERACIÓN.

Válvula de expansión termostática con ecualizador externo.

El grado de vapor refrigerante sobrecalentado en la salida puede ser ajustado variando la tensión en la válvula de la expansión termostática.

7. APLICACIÓN DEL FRÍO EN PRODUCTOS PERECEDEROS

7.1 ATMÓSFERAS PROTECTORAS

Consiste en sustituir el aire por un gas o mezcla de gases que ofrezcan mejores condiciones para el mantenimiento de la calidad del producto durante un período de tiempo mayor.

7.1.1 ATMÓSFERAS CONTROLADAS.

Además de sustituir el aire del interior del recipiente se mantiene y regula la composición de esta mezcla.

7.1.2 ATMÓSFERAS DINÁMICAS.

Se sustituye el aire por una mezcla de gases que se modifica gradualmente hasta llegar a la composición final, a la cual se conserva.

7.1.3 ATMÓSFERAS MODIFICADAS.

Se sustituye el aire del recipiente donde se encuentre el alimento por un gas o mezcla de gases. Las modificaciones en composición no se corrigen durante la conservación.

7.1.4 VACÍO.

No se sustituye la atmósfera del recipiente donde se encuentra el alimento, sino que se elimina.

7.2 CADENA DE FRÍO

7.2.1 ¿QUÉ ES LA CADENA DE FRÍO?

Se define la cadena del frío como la serie de elementos y actividades necesarios para garantizar la calidad de un alimento desde que se encuentra en su estado natural o precocido hasta su consumo. También es aplicable esta definición en el caso de productos sanitarios donde se garantiza su calidad desde su producción hasta su utilización.

La aplicación del frío es uno de los métodos más extendidos para la conservación de los alimentos. Existen dos tipos de conservación a través del frío: la congelación (largo plazo) y la refrigeración (días-semanas). El frío va a inhibir los agentes alterantes de una forma total o parcial. Al disminuir la temperatura reducimos considerablemente la velocidad de crecimiento de los microorganismos termófilos y la mayoría de los mesófilos.

Podemos establecer, según la temperatura de congelación, los siguientes niveles:

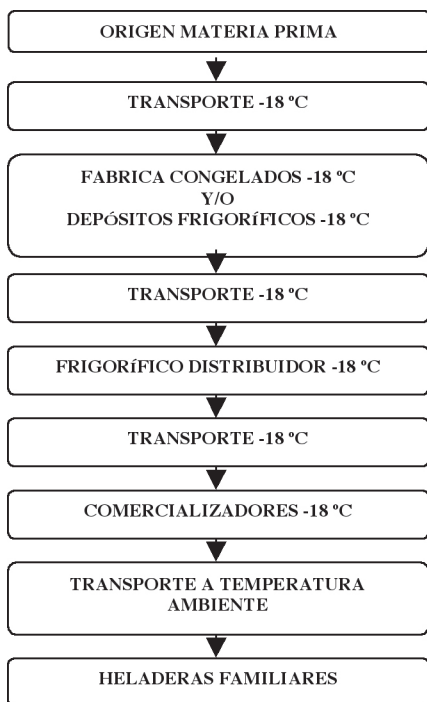
- A -4°C se inhibe el crecimiento de los microorganismos patógenos. Estos microorganismos son peligrosos para la salud ya que producen toxinas que pueden provocar intoxicaciones y en los casos más graves la muerte. El microorganismo patógeno más representativo (y utilizado como control) es el *Clostridium botulinum*, responsable del botulismo y, por tanto, de la muerte de millones de personas en Europa antes de la invención de la refrigeración.
- A -10°C se inhibe el crecimiento de los microorganismos alterativos responsables de la degradación de los alimentos.

- A -18°C se inhiben todas las reacciones de Maillard responsables del pardeamiento y endurecimiento de los alimentos. Esta temperatura es la fijada para la cadena de frío internacional. De esta forma se garantiza que en cualquier país, los productos congelados se mantendrán por debajo de esta temperatura.
- A -70°C se anulan todas las reacciones enzimáticas y el alimento se conservaría indefinidamente. La cadena del frío, no obstante, no sólo es aplicable a los alimentos. Numerosos productos sanitarios y farmacéuticos requieren refrigeración. El ejemplo más conocido es el de las vacunas, donde la cadena del frío garantiza la potencia inmunizante desde su fabricación hasta la administración de estas a la población.

7.2.2 ESTRUCTURA DE LA CADENA DE FRÍO.

La reglamentación de numerosos países y las prácticas comerciales prescriben una temperatura lo más próxima a -18°C . La cadena de distribución de alimentos congelados desde las fábricas hasta las tiendas minoristas y los consumidores se muestra a continuación²:

Figura 16. Estructura de una cadena de frío



Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

² ANDI. Guía para conservación de alimentos.

7.2.3 ¿CUÁNDO SE ROMPE LA CADENA DEL FRÍO?

La cadena del frío presenta debilidades, siendo su punto crítico el tiempo de carga y descarga que tiene lugar como promedio tres veces: a la salida de la fábrica, en la plataforma logística y en los puntos de venta. Unas siete u ocho horas, como mínimo, durante las cuales se somete forzosamente a los productos a aumentos de temperatura. A esta media hay que añadir además el tiempo de descarga en el punto de venta, el tiempo transcurrido entre el lugar de almacenamiento y la colocación en los estantes, y el tiempo entre el carrito de compra y el refrigerador del consumidor.

7.2.4 ¿POR QUÉ NO DEBE ROMPERSE LA CADENA DEL FRÍO?

Tanto la congelación como la refrigeración detienen o ralentizan la actividad bacteriana, no la eliminan; así al calentarse, las bacterias reanudan su actividad. Si se vuelve a reducir la temperatura volverá inhibirse la actividad bacteriana, pero contaremos con un número mucho mayor de bacterias que antes del aumento de temperatura. Una nueva descongelación las volverá a activar. Cuanto mayor sea el número de bacterias, mayor es la probabilidad de que el alimento se deteriore o de que las bacterias produzcan toxinas.

Cuando congelamos un alimento lo deterioramos por la formación de cristales de agua entre los intersticios celulares. Cuanto más lento sea el proceso de congelación, mayor es el deterioro. Por eso, hoy en día, se opta por la ultracongelación, una congelación muy rápida que apenas produce deterioro, ya que no da tiempo a que se formen los cristales. Esta ultracongelación supone un gasto extra elevado y puede no ser útil si se rompe la cadena del frío, ya que se formarían cristales.

No debemos olvidar además que existe una reglamentación específica que obliga a mantener esta cadena del frío para garantizar la calidad de los productos perdederos.

7.3 PRODUCTOS CÁRNICOS

7.3.1 CONSERVACIÓN

7.3.1.1 ENFRIAMIENTO.

Para reducir o impedir el proceso de deterioro de la carne, en especial, el desarrollo de

microorganismos, el enfriamiento debe ejecutarse lo más rápido posible después del lavado de las canales.

7.3.1.2 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN DE CÁRNICOS.

Se denomina DPC. Corresponde al período de conservación contado después de la congelación, que se prolonga mientras el producto mantiene sus características organolépticas y nutritivas, permaneciendo apto para el consumo humano o para posterior procesado.

El procesamiento hace referencia principalmente a los tratamientos preliminares de preparación y a la operación de congelación. El faenado de la canal, el enfriamiento primario, el despiece, el troceado y deshuesado, el envasado de pequeñas porciones se deben realizar bajo estrictas normas higiénicas, para minimizar la posible contaminación bacteriana.

7.3.2 CONGELACIÓN.

Cuando se establece un período de conservación dilatado, por ejemplo mayor a un mes en el caso de la carne, el producto debe ser congelado para minimizar o eliminar riesgos de cambios físicos, bioquímicos o microbiológicos, que afecten su calidad, tanto durante el almacenamiento como en el proceso de congelación.

7.3.3 ALMACENAMIENTO

7.3.3.1 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO.

Durante el almacenamiento se produce la maduración de la carne, proceso que ocasiona el aumento de la tersura y el desarrollo de los sabores, debido a la actividad proteolítica de las enzimas de la carne.

Cuando se desea almacenar la carne refrigerada durante largos períodos, es conveniente utilizar la temperatura más baja posible que no ofrezca riesgos de congelación, usualmente esto se logra a 0°C.

Cuando se introduce en la cámara un producto que se encuentra a temperatura diferente, este debe ser distribuido en toda el área, en lugar de concentrarlo en un solo lugar.

7.3.3.2 ALMACENAMIENTO CONGELADO.

Al terminar la congelación, la carne congelada se traslada a las cámaras de almacenamiento, en las cuales se requiere mantener las condiciones de temperatura, humedad relativa, y circulación de aire adecuadas para el periodo de conservación previsto. Es necesario controlar rigurosamente estas condiciones, especialmente en lo referente a las fluctuaciones de temperatura, las cuales deben variar en un intervalo muy estrecho.

El problema principal del almacenamiento de productos congelados se presenta por el demérito de la calidad organoléptica, ya que se pueden producir cambios en la textura de la carne, la grasa se granula y se deshace y además, también se observan decoloraciones anómalas. Las alteraciones de la grasa ocasionan rancidez y acidez y los cambios en proteínas y aminoácidos conllevan sabores desagradables.

7.4 PRODUCTOS PESQUEROS

7.4.1 CONSERVACIÓN

7.4.1.1 PRODUCTOS A CONSERVAR.

Dentro de los productos pesqueros a conservar a través de la cadena de frío, se encuentran los provenientes de aguas dulces, ríos, ciénagas y lagunas, los marítimos y los de acuicultura.

7.4.1.2 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN PARA PRODUCTOS PESQUEROS EN MESES, A DIVERSAS TEMPERATURAS

Tabla 1. Duración práctica de la conservación para productos pesqueros en meses, a diversas temperaturas

PRODUCTO	-12°C	-18°C	-30°C
Pescados grasos (glaseados)	3	5	9
Pescados magros enteros	4	9	12
Pescados magros filetes IQF	6	9	12
Crustáceos y mariscos con caparazón cocidos	4	6	12
Crustáceos y mariscos pelados y cocidos	2	5	9
Moluscos	4	6	9

Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

7.4.2 CONGELACIÓN

7.4.2.1 TRATAMIENTO DE LOS PRODUCTOS ANTES DE LA CONGELACIÓN.

El pescado fresco puede prepararse, empacarse, y congelarse, manteniendo casi toda su calidad, pero se puede alterar antes de la congelación si no se le trata con cuidado; por lo tanto, conviene abreviar este período.

El pescado debe ser refrigerado rápidamente y mantenido aproximadamente a 0°C hasta la congelación; este proceso debe ser limitado y rápido, si se quiere obtener un producto de excelente calidad.

Los crustáceos, tales como los langostinos, langostas y cangrejos, se congelan con frecuencia una vez cocidos; las condiciones higiénicas deben ser particularmente estrictas por cuanto el producto puede no ser cocido de nuevo antes del consumo.

7.4.2.2 PESCADOS, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS.

La congelación de ésta categoría de productos presenta una particularidad importante por dos razones:

- Estos productos se deterioran más rápidamente que las carnes rojas y que muchos otros alimentos protéicos.
- Estos productos son frecuentemente estacionales, de época o de subienda, capturados durante un corto período del año y en cantidades variables.

7.4.2.3 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL PESCADO.

La composición de sus tejidos y su comportamiento después de la captura varían según las especies y según la estacionalidad; Los pescados se capturan generalmente en estado salvaje y para ellos, las variaciones estacionales son más marcadas que para los demás animales de suministro corriente. Siguen las diferencias en la forma en que las diversas especies, se presentan a la congelación y como deben ser tratadas antes y después de la misma.

7.4.2.4 TRATAMIENTO DE CONGELACIÓN

7.4.2.4.1 MÉTODOS

Se utilizan el aire forzado, las placas de contacto ó la inmersión y por aspersion.

7.4.2.4.1.1 CONGELACIÓN POR AIRE FORZADO.

Es el de empleo más versátil; se utiliza principalmente cuando el producto es de forma irregular o cuando muchos productos de forma y dimensiones diferentes, se congelan en el mismo equipo. El funcionamiento puede ser continuo o discontinuo, aplicándose al primer caso, sobre todo a la ultracongelación individual con duración de congelación relativamente breve (IQF).

7.4.2.4.1.2 CONGELACIÓN POR CONGELADOR DE PLACAS.

Son de tipo vertical u horizontal; el primer tipo se utiliza sobre todo para congelar bloques de pescado entero de hasta 40Kg., el segundo se utiliza para placas planas, de forma regular y cuyo espesor no sobrepase los 50mm.

7.4.2.4.1.3 CONGELACIÓN POR INMERSIÓN TOTAL.

La congelación por inmersión total del pescado en un líquido frío, se aplica especialmente al atún y a otros pescados grandes sumergidos en salmuera.

7.4.2.4.1.4 CONGELACIÓN POR ASPERSIÓN.

La congelación por aspersion de gases licuados (nitrógeno ó dióxido de carbono), es siempre un proceso continuo integrado en una cadena de ultracongelación individual, aplicada por ejemplo, a los langostinos o a filetes de pequeñas dimensiones.

7.4.2.5 VELOCIDAD DE CONGELACIÓN.

Una congelación muy rápida no es siempre absolutamente necesaria y en ciertos casos una duración de 24 horas es aceptable; lo que si se deben evitar son los tiempos de congelación demasiado largos, en razón de otros efectos perjudiciales que puedan resultar.

En la práctica, la rapidez y la duración de la conservación se determinan de acuerdo con el método de congelación y para el producto, se verán algunas indicaciones típicas expresadas en velocidad de avance del frente de congelación en el producto:

Tabla 2. Velocidad de congelación

Congelación en masa, discontinua en una cámara de congelación a circulación de aire forzada	1	mm/h
Congelación rápida en túnel	3 a 15	mm/h
Congelación por placa	12 a 25	mm/h
Congelación rápida en un aparato continuo de aire forzado	15 a 30	mm/h
Congelación por gases licuados	30 a 100	mm/h

Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

7.4.3 ALMACENAMIENTO

7.4.3.1 DURACIÓN Y TEMPERATURA DEL ALMACENAMIENTO.

La duración de la conservación depende de la especie de pescado y de las condiciones climáticas. Los pescados grasos se conservan menos que los blancos. El pescado ahumado se conserva mejor que el pescado no ahumado a la misma temperatura. Los pescados planos se conservan particularmente mejor que los pescados gruesos. El pescado entero se conserva mejor que los filetes y mejor todavía que el pescado molido.

Los crustáceos y moluscos se conservan menos que los pescados redondos magros.

7.4.3.2 PESCADOS GRASOS Ó PELÁGICOS.

Por las características de su tejido muscular, son fácilmente oxidables y se enrancian en el curso del almacenamiento.

La rapidez de oxidación y enranciamineto puede disminuirse, manteniendo el almacenamiento en estado congelado, a una temperatura suficientemente baja y al abrigo del oxígeno.

7.4.3.3 PESCADOS MAGROS, BLANCOS Ó DEMERSALES.

Sus tejidos musculares contiene pocos líquidos, químicamente diferentes de los pescados grasos; la oxidación se traduce en sabores que deprecian el producto.

Pero en estas especies, las alteraciones afectan frecuentemente la textura de una parte y sobre todo producen endurecimiento de la carne.

7.4.3.4 ENDURECIMIENTO DEL PESCADO.

Se produce para toda la pesca blanca a partir de las reacciones químicas en las proteínas musculares, la capacidad de retención de agua se reduce y la carne cocida, es dura, fibrosa y seca. Las diferentes especies son más o menos sensibles a este efecto, de ahí que los pescados planos son más estables que los pescados redondos.

Los factores principales que producen el deterioro, son la temperatura y la duración de almacenamiento y el único medio práctico de retrasar la aparición de los efectos, es mantener el pescado de manera continua a una temperatura de -30°C .

7.4.3.5 EFECTOS DEL RIGOR MORTIS.

Esta rigidez de los tejidos se produce en forma natural después de la muerte y desaparece al cabo de algunas horas o días, dependiendo de las especies y de las condiciones del tratamiento. Los problemas existen solamente cuando el pescado es mal congelado o se congela poco después de la captura. En general, el pescado entero puede congelarse con seguridad no importa en que estado. Los procesos relativos al establecimiento y desaparición del rigor mortis, tiene lugar normalmente a la temperatura del hielo o a baja temperatura y se acaba en el curso del almacenamiento en estado congelado y de la descongelación.

7.4.3.6 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS.

En la mayor parte de los crustáceos (langostinos, langostas, cangrejos), la parte consumible es el tejido muscular, similar al de los pescados; también pueden endurecerse en el curso del almacenamiento; por el contrario, los efectos del rigor mortis en estos no tiene importancia. En ciertos casos se consumen ciertas partes del animal, por ejemplo, las glándulas digestivas,

la cabeza, que frecuentemente tiene grasa y se enrancian durante el almacenamiento como en el caso de los pescados grasos. Los crustáceos en la época de la muda cambian su caparazón para poder crecer, en estos momentos el tejido muscular contiene mucha agua y si se les congela la exudación en la descongelación es muy alta.

En los moluscos como ostras, calamares, pulpos, caracoles, etc., se consume la mayor parte del cuerpo animal; la duración de la conservación en estado congelado está frecuentemente limitada a modificaciones de aroma que ocurren en los lípidos de las partes no consumibles.

Tabla 3. Criterios organolépticos sobre la calidad del pescado

FACTOR	CALIDAD BUENA	CALIDAD POBRE
OJOS	Brillantes, transparentes a menudo brotados	Nublados, a menudo rosados, sumidos
OLOR	Dulce, que huele a pescado	A viejo, rancio, presencia de sulfuros, aminos
COLOR	Brillante	Marchito descolorido
TEXTURA	Firme, elástica a la presión de los dedos	Suave, floja, presencia de fluido
VIENTRE	Paredes intactas, forma normal, orificios rosados	A menudo rasgado, hinchado, orificios cafés, brotado
ORGANOS	Intactos, brillantes, fácilmente reconocibles	Masa gris homogénea
TEJIDO MUSCULAR	Blanco o característico de especies y tipo	Carne blanda, rosácea o gris, color sangre esparcido alrededor del espinazo

Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, “guía para conservación de alimentos”. 1998.

7.5 PRODUCTOS LÁCTEOS

7.5.1 CONSERVACIÓN

7.5.1.1 CONSERVACIÓN DE LA LECHE.

La leche en la finca debe ser enfriada a 4°C una vez realizado el ordeño; esta temperatura debe ser mantenida hasta su procesamiento. Si la cadena de frío se interrumpe en algún lugar del camino entre el productor y la industria, los microorganismos de la leche comenzarán a multiplicarse, afectando su calidad.

Con el fin de eliminar las modificaciones microbiológicas y enzimáticas, especialmente la lipólisis, la leche se debe pasteurizar; también debe ser homogenizada antes de la congelación para evitar la separación de la materia grasa.

7.5.1.2 CONSERVACIÓN DE LA NATA.

La nata congelada se utiliza principalmente para hacer más extensible la mantequilla, obteniéndose mantequilla blanda o dura en función de la composición de los ácidos grasos.

La principal dificultad hallada es la desestabilización de la emulsión de las grasas en el transcurso de la congelación, almacenamiento y descongelación, que provoca la separación de materia grasa libre después la descongelación; esta desestabilización puede reducirse congelando rápidamente, conservando a -20°C y descongelando en forma rápida.

La materia grasa separada en el proceso anterior debe ser re-emulsificada, de forma que se tenga una nata con suficiente estabilidad durante la maduración antes del batido. A la nata fresca frecuentemente no se le agrega más del 50% de nata descongelada, mezclas que permiten obtener mantequilla de alta calidad.

7.5.1.3 CONSERVACIÓN DE LA MANTEQUILLA.

La congelación es el único medio de conservar por largo tiempo la mantequilla; solo la fresca de alta calidad, de dos semanas de fabricada es la conveniente para congelación y almacenamiento.

La dificultad de conservación de la mantequilla congelada, depende del tipo de producto preparado (a partir de nata dulce o madura, salada o no), del P.H. de la fase acuosa, del contenido de cobre, de la distribución del agua en la mantequilla, del contenido de sal y de la temperatura de almacenamiento.

La mantequilla destinada a almacenamiento habitualmente se empaca en bloques de 25 Kg., envueltos en material impermeable al vapor de agua para evitar pérdidas de humedad y luego se coloca en cajas.

7.5.1.4 CONSERVACIÓN DE QUESOS Y CUAJADAS.

Por efectos de la congelación, el estado coloidal de las proteínas y del agua, se puede alterar profundamente, viéndose afectada la textura del queso, que puede demorarse o quedar demasiado liso después de la descongelación.

Los quesos de pasta dura destinados a la fabricación de queso fundido, se pueden congelar y almacenar por varios meses a -20°C ; una vez descongelados se muelen y se les añade queso no congelado, mezcla que es la destinada a fabricación. Quesos de pasta blanda pequeños, congelados rápidamente pueden conservarse por varios meses también.

La cuajada fresca puede conservarse por congelación hasta seis meses en bloque de 25 Kg.; después de la descongelación, la cuajada se mezcla con cuajada fresca y se moldea.

7.5.1.5 CONSERVACIÓN DE LECHE FERMENTADAS.

Debido a que el gel coloidal proteico que caracteriza a las leches fermentadas se destruye por la congelación, normalmente no son apropiadas para conservarlas en estado congelado. Sin embargo, el yogurt con frutas a -20°C puede almacenarse hasta tres meses, si se incrementa su contenido de materia seca y/o se le añade un espesante.

7.5.2 CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

Tabla 4. Conservación de productos lácteos a diferentes temperaturas

PRODUCTO	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	TIEMPO DE CONSERVACIÓN EN MESES
Leches no concentradas	-20	3 a 4
Leche concentrada	-20	10
Nata	-20	6 a 9
Mantequilla	-24	> 12
Yogurt con frutas	-20	Hasta 3
Cultivos concentrados de fermentado	-40	1 a 6

Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

7.6 FRUTAS Y HORTALIZAS

7.6.1 CONSERVACIÓN

7.6.1.1 DURACIÓN PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN.

En el cuadro se observa la duración práctica en meses, de diferentes variedades de hortalizas, para tres niveles de temperatura:

Tabla 5. Duración práctica de la conservación

PRODUCTO	-12°C	-18°C	-24°C
Espárragos verdes	3	12	24
Frijoles verdes	4	15	24
Frijoles blancos		18	24
Coles de Bruselas	6	15	24
Zanahorias	10	18	24
Coliflores	4	12	24
Maíz		12	18
Maíz en granos	4	15	24
Arveja verde	6	24	24
Pimientos rojos y verdes		6	12
Papa	9	24	24
Espinacas (troceadas)	4	18	24
Cebollas		10	15

Fuente. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

7.6.1.2 ENFRIAMIENTO.

Las hortalizas se deben refrigerar rápidamente al terminar el escalado, operación que se hace generalmente por inmersión en una corriente de agua y con frecuencia por aire forzado o por aspersión de agua refrigerada.

Al término del enfriamiento las hortalizas se escurren congelan y envasan, operaciones que deben ser realizadas rápidamente y en adecuadas condiciones higiénicas, en razón a que estos productos son muy vulnerables a la contaminación microbiana.

7.6.2 CONGELACIÓN

7.6.2.1 CONDICIONANTES DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO CONGELADO.

La mayor parte de las hortalizas se pueden congelar con éxito, obteniéndose de algunas de ellas productos de excelente calidad; entre estas se encuentran arvejas, espinacas, frijoles verdes, maíz dulce, etc. Las hortalizas que se destinan para ser consumidas crudas en ensaladas, pierden su textura en la descongelación, como es el caso del tomate y el pepino, entre otros; en forma general, las características de textura del producto descongelado consumido crudo son peores a mayor contenido de agua en la hortaliza fresca.

Los factores de clima y suelo, tienen influencia marcada en las hortalizas en estado fresco. El exceso de lluvia o riego puede provocar podredumbre y afectar la consistencia de muchas hortalizas, daño que a veces aparece en forma más clara en el producto congelado y cocido que en estado fresco.

7.6.3 ALMACENAMIENTO

7.6.3.1 ESCALADO DE LAS HORTALIZAS.

El escalado se realiza para evitar las alteraciones debidas a las enzimas, que se desarrollan en la mayoría de las hortalizas, si este proceso no se ha cumplido, aún cuando sean almacenadas a -18°C . Se efectúa sumergiendo las hortalizas en agua caliente, generalmente a 98°C o exponiéndolas al vapor de agua a 100°C . Para cada variedad de hortaliza, se deben determinar las condiciones óptimas para realizar el escalado, en el cual la duración del calentamiento no depende solamente de la temperatura, sino también de la naturaleza del producto, del sistema enzimático a inactivar y de la estructura, dimensiones y madurez de cada variedad en particular.

7.6.3.2 NECESIDAD DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

La temperatura controla la mayoría de las causas de pérdida poscosecha de los productos frescos, a saber respiración, pérdida de agua, desarrollo de microorganismos, producción de etileno, daño mecánico, daño por frío y efectos relacionados con la continuidad de la cadena de frío.

7.6.3.2.1 RESPIRACIÓN.

El control de la temperatura en almacenamiento se constituye en el principal parámetro ambiental por controlar, aparte de la humedad y la composición atmosférica, dado que

ésta influencia directamente lo relacionado con procesos enzimáticos. Algunos de estos son los activadores de la respiración y están directamente relacionados con la temperatura; por ejemplo, la actividad enzimática provoca de 2 a 2.5 veces la tasa de respiración por cada 10°C de incremento en la temperatura, hasta temperaturas de 25°C a 30°C. a temperaturas más elevadas, los incrementos en las tasa de respiración son lentos debido a una desnaturalización de las enzimas.

La respiración tiene como funciones primarias la liberación de energía química almacenada como azúcares, lípidos, y otros sustratos, y la formación de esqueletos de carbono que pueden ser usados en varias reacciones de síntesis y mantenimiento. Efecto de ella, se emplea los sustratos almacenados en el producto, se consume oxígeno del entorno y se produce dióxido de carbono, agua y calor, lo cual desemboca en una acción de auto consumo.

No controlar la tasa de respiración trae como consecuencias:

- Pérdida de energía y con esta su menor capacidad en el tiempo para que pueda mantener su condición inicial (vida útil).
- Reducción del valor alimenticio total dado su inversión de reservas.
- Pérdida de peso como materia seca debido a la eliminación de dióxido de carbono; y se pierde peso fresco por la eliminación de agua.
- En un ambiente donde el oxígeno se agota con rapidez, puede deteriorarse el producto dado que no hay buena ventilación y se tienen entonces condiciones anaeróbicas.

Tabla 6. Respiración de frutas y vegetales a las temperaturas más cercanas a su almacenamiento seguro a largo plazo, agrupadas según clase³

CLASE	PRODUCTO	TASA DE RESPIRACIÓN (BTU/T/DIA)	TEMPERATURA(°C)
Muy baja			
	Frutas, nueces y vegetales secos	< 220	
Baja			
	Cebolla seca	660	0
	Durazno	880-1300	0
	Grapefruit	1500-2000	10
	Manzana	220-880	0
	Naranja	880-1500	5
	Papa	660-2000	4
	Pera	660-1500	0
	Rábano sin hojas	660-2000	0
	Remolacha sin hojas	1100-1500	0
	Repollo	880-1300	0
	Sandia	660-2000	10
Moderada			
	Ayote	3100-4200	5
	Brócoli	4200-4600	0
	Chile dulce	3100	10
	Coliflor	3500-4200	0
	Espinaca	4200-4800	0
	Fresa	2600-4000	0
	Lechuga	1300-3700	0
	Zanahoria sin hojas	2200-4400	0
Alta			
	Brotos de frijol	4600-5500	0
	Camote	4400-5300	15
	Frambuesa	4000-5500	0
	Hongo	6200-9700	0
	Lechuga, hoja	4200-5900	0
	Maíz dulce	6600-11200	0
	Pepino	5100-6400	10
	Perejil	6600-8800	
	Tomate, verde	3500-6200	15
	Vainica	7700	5
Muy alta			
	Escarola	9900	0
	Espárrago	5900-17600	0
	Guisantes	10300-16500	5
	Mango	9900	15

Fuente: Thompson, J.F., Rumsey, T.r., Kasmire, R.F., Crisosto, C.H. 1998

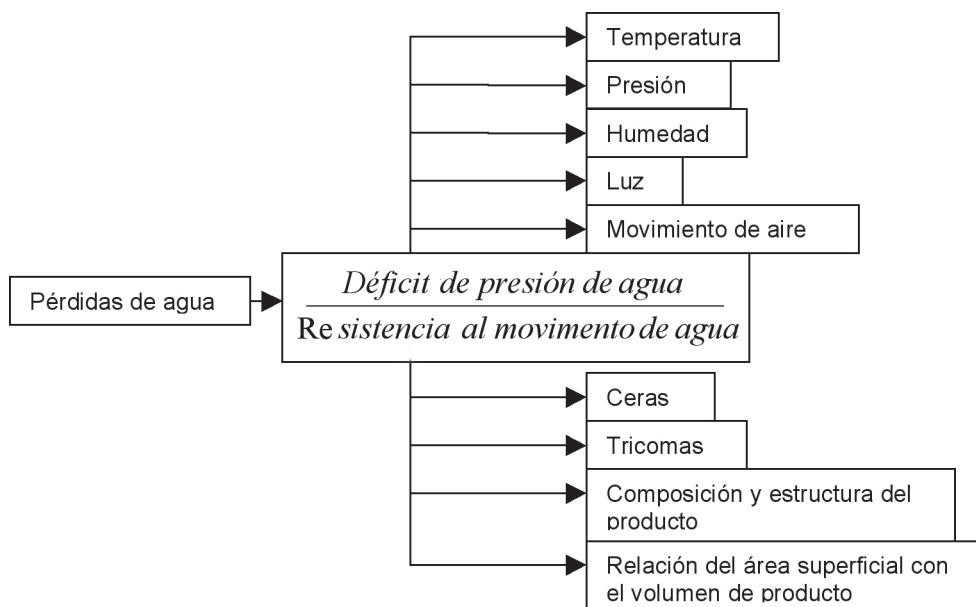
³ Thompson, J.F., Rumsey, T.r., Kasmire, R.F., Crisosto, C.H. 1998

7.6.3.2.2 PÉRDIDA DE AGUA.

La principal causa de deterioro de un producto en almacenamiento es la debida a la pérdida de agua. La mayoría de los productos frescos presentan contenidos de agua superiores al 85% y esta se pierde principalmente en estado de vapor (y no en estado líquido), a través de las rutas primarias tales como heridas, estomas y cutícula, fenómeno conocido como transpiración. El agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueven a través de espacios intracelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura en el ambiente intercelular (Humedad relativa superior al 95%); por ende, lo que se tiene es vapor de agua saturado.

Aunque la cantidad de vapor de agua en el aire es pequeña, siempre que exista un diferencial de concentración de vapor entre el aire inmediato y el espacio intercelular en un producto, se ejerce una fuerza impulsora que va a mover el vapor de agua desde un espacio más concentrado hacia uno menos concentrado. Como en la mayoría de los casos existe mayor humedad en el espacio intercelular, el producto es el que tiende a perder agua.

7.6.3.2.2.1 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PÉRDIDA DE AGUA⁴



⁴ Tomado de Thompson, J.F., Rumsey, T.r., Kasmire, R.F., Crisosto, C.H. 1998

Tabla 7. Pérdidas de agua a la cual un producto se convierte en invendible, ordenados en términos de la pérdida de agua máxima⁵

Producto	Pérdida de peso máxima (% peso fresco)	Razón de pérdida de venta
Espinaca	3	Marchitamiento
Brócoli	4	Sabor, marchitamiento
Nabo con hojas	4	Marchitamiento
Tomate	4	Encogimiento
Hoja de lechuga	3-5	Marchitamiento, deterioro
Uva	5	Mucho encogimiento
Pera	6	Encogimiento
Repollo	6	Encogimiento
Caqui	7	Encogimiento
Manzana	7	Encogimiento
Berro	7	Marchitamiento
Chile verde	8	Encogimiento
Col de Bruselas	8	Marchitamiento, pudrición, amarillamiento
Zanahoria	8	Marchitamiento
Durazno	11	Encogimiento
Ayote de verano	15	Cuello hueco

Fuente: Thompson, J.F., Rumsey, T.r., Kasmire, R.F., Crisosto, C.H. 1998

7.6.3.2.3 MICROORGANISMOS

Tanto las frutas como los vegetales son susceptibles a enfermedades causadas por gran variedad de hongos y bacterias. Sin embargo, las frutas son más susceptibles al ataque de hongos debido a que éstas son más "ácidas". Conforme las frutas maduran se vuelven más dulces, la cáscara se ablanda y son menos ácidas, lo cual provoca que sus barreras naturales disminuyan y se vuelvan más vulnerables al ataque por patógenos. Los vegetales en contraposición, poseen un pH neutro y son igualmente susceptibles a ambos tipos de patógeno.

La reducción de temperaturas entonces disminuye la tasa de crecimiento de los organismos patógenos y se puede asegurar de esta forma la vida en almacenamiento y calidad del producto fresco. De la misma manera los organismos patógenos al ser humano (que son transportados por los productos frescos) reaccionan ante una reducción en la temperatura disminuyendo sus tasas de crecimiento; sin embargo, debe existir una combinación de esa con otras prácticas de minimización de riesgos tales como limpieza y desinfección.

⁵ Tomado de Thompson, J.F., Rumsey, T.r., Kasmire, R.F., Crisosto, C.H. 1998

7.6.3.2.4 ETILENO.

El etileno es un gas conocido como la hormona universal de la maduración. Es producida por la mayoría de las frutas y vegetales y tiene efectos beneficiosos sobre la inducción de maduración en las frutas, mientras que desarrolla evidencia de senescencia o envejecimiento en otros tejidos vegetales. La reducción de temperatura en un tiempo corto, es una estrategia que reduce la producción de etileno, la sensibilidad del producto al etileno y la velocidad de desarrollo del daño.

Las frutas se dividen en dos grupos de acuerdo con su producción de etileno: frutas climatéricas, por ejemplo, bananos, aguacates, manzanas, peras y tomates, y frutas no climatéricas tales como las uvas, fresas, cítricos, sandías, y aceitunas. En las climatéricas, la maduración está asociada con un incremento en la producción de etileno y el tratamiento con etileno puede acelerar la maduración. En forma contraria a las frutas no climatéricas, no existe un incremento fuerte en la producción de etileno asociado con la maduración y el etileno no desencadena la maduración.

Las frutas aún adheridas a la planta, crecen hasta un momento a partir del cual se inicia un proceso de maduración, acompañado de un cambio en la tasa de respiración (CLIMATERIO), mientras que en el caso de no climatéricas, la tasa de respiración no aumenta luego de alcanzar su máximo crecimiento. El climaterio va acompañado por un aumento en la tasa de producción de etileno, fenómeno que se presenta en las frutas climatéricas. Si se controla la temperatura también se controla la tasa de producción de etileno en las frutas climatéricas.

Lo que acontece tanto con las frutas no climatéricas como con los vegetales, es que son productores de etileno en muy pequeñas cantidades y no responden incrementando su producción cuando son expuestos a ambientes con altas concentraciones de etileno.

Tabla 8. Producción, sensibilidad y reacción al etileno en diferentes productos⁶

Producto	Producción de etileno	Sensibilidad al etileno	Reacción al etileno(además del deterioro)
Aguacate	A	A	-
Albaricoque	A	A	-
Banano	M	A	-
Brócoli	MB	A	Se torna amarilla
Ciruela	M	A	-
Col de Bruselas	MB	A	-
Coliflor	MB	A	-
Escarola	MB	M	-
Espárrago	MB	M	Dureza
Espinaca	MB	A	-
Grafruit	MB	M	-
Guisante	MB	M	-
Higo	M	B	-
Hojas	MB	A	Pérdida de color
Hongos	MB	M	-
Kiwifruit	B	A	-
Lechuga	MB	A	Moteado entre café y amarillo
Lima	MB	M	-
Limón	MB	M	-
Mango	M	A	-
Manzana	MA	A	Menos crujido
Melocotón	A	A	-
Melón (Moneydew)	M	A	-
Melón (Reticulado)	A	M	-
Naranja	MB	M	-
Nectarina	A	A	-
Papaya	A	A	-
Pepino	B	A	Se torna amarillo
Pera	A	A	-
Repollo	MB	A	-
Tomate	MB – M	A	-

B= Baja, MB= Muy Baja, M= Mediana, A= Alta, MA= Muy Alta

Fuente: The Packer, 1999

7.6.3.2.5 DAÑO MECÁNICO.

El daño mecánico induce pérdidas de agua a través de heridas en la superficie del producto, facilita el ingreso de patógenos, acelera la respiración con frecuencia también la producción de acetileno, lo que causa mayor liberación de calor, una maduración más rápida y un vida útil reducida.

⁶ The Packer, 1999

El daño mecánico se origina básicamente en 1) La compresión o fuerza de una masa de producto sobre los productos que se encuentran en la base, situación que se encuentra, por ejemplo, en el transporte a granel de naranja hacia las plantas agroindustriales, la piña o el melón transportados a granel de las parcelas de producción hacia la planta empacadora, 2) el impacto, que puede darse por choque fruta con fruta, por ejemplo cuando se maneja fruta horizontalmente en las plantas empacadoras, con transportadores de rodillos, o bien por choque de la fruta con las paredes de un transportador en una curva o cambio de dirección, y 3) la vibración, que ocurre cuando se transporta fruta en caminos con topografía irregular, donde la fruta choca una con otra o bien contra las paredes de recipiente que la contenga.

La resistencia de un producto a perder su forma, depende del cultivar, el grado de hidratación celular, el estado de madurez, el tamaño y el peso del producto, las características de la cáscara y también de la temperatura.

7.6.3.2.6 DAÑO POR FRÍO.

Algunas frutas y vegetales son dañados por la exposición a temperaturas bajas y más altas que su temperatura de congelación. Los frutos de origen tropical están generalmente sujetos a este daño fisiológico cuando se exponen a temperaturas inferiores al rango de 10 a 13 °C, pero superiores al punto de congelación. Los daños se caracterizan por debilitamiento de los tejidos a causa de su incapacidad de llevar a cabo los procesos metabólicos normales, y éstos dependen del producto en particular, siendo los síntomas comunes:

- Decoloración, interna y externa.
- Puntillero superficial.
- Incremento en pérdidas de peso.
- Incremento del deterioro.
- Comportamiento pobre en la maduración.
- Pérdida de habilidad para sintetizar compuestos aromáticos típicos.

Tabla 9. Frutas y vegetales susceptibles al daño por frío cuando se almacenan a temperaturas moderadamente bajas, pero no a la de congelación⁷

Producto	Temperatura aproximada más baja segura (°C)	Características del daño, cuando es almacenado entre 0°C y la temperatura segura
Aguacate	4.5 - 13	Decoloración parda – grisácea de la pulpa
Banano, verde o maduro	11.5 – 13	Color oscuro cuando está maduro
Berenjena	7	Escalado superficial, pudrición por <i>Alternaria</i> , ennegrecimiento de las semillas
Camote	13	Deterioro, puntillero, decoloración interna, corazón duro cuando se cocina
Chile dulce	7	Puntillero en lámina, pudrición por <i>Alternaria</i> sobre la cápsula y cáliz, oscurecimiento de las semillas
Espárrago	0 – 2	Punta oscura, verde-grisáceo y flácida
Grapefruit	10	Escalado, cavidades, descomposición acuosa
Guayaba	4.5	Daño en pulpa, deterioro
Jícama	13 - 18	Deterioro superficial, decoloración
Limón	11 – 13	Puntillero, manchado membranoso, pústula roja
Mango	10 – 13	Cáscara con escalado grisáceo, maduración no uniforme
Manzana	2 – 3	Pardeamiento interno, centro café, descomposición acuosa, escaldado blando
Melón	2 – 5	Puntillero, deterioro superficial
Papa	3	Pardeado caoba, incremento de azúcares
Papaya	7	Puntillero, falla para madurar, malos olores, deterioro
Pepino	7	Cavidades, manchas o pintas acuosas, deterioro
Piña	7 – 10	Verde mate cuando esta madura
Sandía	4.5	Puntillero, sabor objetable
Tomate Maduro	7 – 10	Acuoso y ablandado, deterioro
Verde maduro	13	Color pobre cuando se madura, pudrición por <i>Alternaria</i>

Fuente: Hardenburg, R.E; Watada, A.E; wang, C.Y. 1986

7.3.3.3 EMPAQUES DE LAS HORTALIZAS

El empaque comercial se realizan antes o después de la congelación, en este último caso, los productos ultracongelados individualmente se envasan en recipientes con capacidad de

⁷ Hardenburg, R.E; Watada, A.E; wang, C.Y. 1986

contenido variable y de diferente clase de material, buscando siempre que el empaque le preste una protección integral a las hortalizas.

7.7 FLORES

7.7.1 POSCOSECHA, HIDRATAR Y ENFRIAR LAS FLORES.

La temperatura ambiente es un factor decisivo en la calidad de las flores. Esto ocurre en el cultivo y luego se convierte en el principal aspecto a tener en cuenta durante el almacenamiento y operaciones de transporte.

Una vez realizada la cosecha de las flores, es necesario mantener la frescura natural del producto. El enfriamiento de las flores es un requisito que permite conservar la calidad de la mercadería, evitando el deterioro que el calor produce a los productos frescos naturales que contienen abundante agua. Cuando menor sea el tiempo que transcurre entre el corte y el enfriamiento, más tiempo será el que la mercadería conservará sus propiedades decorativas mientras el ramo este en el florero. Para las flores cuentan los mismos requisitos que para otros productos de las quintas o productos alimenticios como la leche, tomates, carnes trozadas: necesidad de frío en forma inmediata.

7.7.2 CALIDAD.

Las tecnologías que ayudan a mantener las flores frías, son elementos que se corresponden con los beneficiarios de la cadena que va desde el lugar del cultivo hasta el último vendedor minorista. Todos se verán favorecidos con el mejor desempeño de los productos, sean estas flores, plantas o follaje que acompañará el motivo principal. Muchos agentes de la producción solo están interesados en comerciar paquetes y no en los resultados que da la mercadería al comprador. Ignoran que le ocurre a la mercadería y la opinión de la gente que compra o podría comprar flores en forma más regular.

Las temperaturas elevadas son enemigas de la duración de los productos de la floricultura. Si en un punto del recorrido de la mercadería, que salió de una cámara frigorífica, la caja debe estar esperando varias horas a temperaturas mayores a 10 °C, los tallos de las flores se verán afectados luego de cuando lleguen a su destino como integrantes de un arreglo, en

un ramo, o en el tocado de una novia. La temperatura baja incide favorablemente, haciendo más lentos diversos procesos metabólicos perjudiciales y retrasando el envejecimiento floral.

En el cultivo la temperatura de las flores está muy cerca de la temperatura del aire que las rodea. De allí la importancia de recolectar las flores durante las primeras horas de la mañana o al final de la tarde. Como regla general puede decirse que cuanto más rápido se remueva el calor que traen las flores del cultivo, mayor será el tiempo en que las mismas flores podrán mantenerse en almacenamiento o luego cuando se las ponga en un florero.

7.7.3 RESPIRACIÓN.

Está estudiado que entre los 10 °C y los 30 °C, los claveles aumentan la tasa respiratoria alrededor de 50 veces. La temperatura envuelve la actividad de muchas enzimas involucradas en el proceso respiratorio. El proceso de la respiración es muy complejo y afecta el envejecimiento prematuro en el caso de las flores y el follaje.

La tasa de respiración aumenta la temperatura de los tejidos donde se produce. Además la alta tasa respiratoria consume las reservas de carbohidratos de los tejidos vegetales. Esto produce un empobrecimiento del estado general de la vara floral. La consecuencia en algunas flores es el cambio de coloración de los tejidos y en general una aceleración del proceso de senectud (proceso de envejecimiento) y consecuente pérdida de la vitalidad. En consecuencia, si bajamos la temperatura de las flores, la actividad respiratoria decrece, las reservas se consumirán con menor velocidad y la generación ve calor de las mismas flores bajará notablemente.

7.7.4 ETILENO.

El etileno es un gas que se genera naturalmente en los tejidos vegetales. Especialmente en aquellos que son cortados o están perdiendo su integridad, en los frutos que están en proceso de maduración y en algunas flores que están envejeciendo. También se produce etileno en los motores de combustión interna como los que tienen algunas máquinas usadas en cultivos y depósitos, generadores eléctricos, generadores de calor. La quema de combustibles como la nafta⁸, los balastos de los tubos fluorescentes y otras fuentes.

El etileno actúa ejerciendo una reducción de la longevidad de algunas flores y plantas causando rápida marchites en los pétalos –p.e. claveles – caída o destrucción de los pétalos – También

8 Nafta: Es un combustible altamente volátil, muy inflamable y es utilizado, sobre todo, como combustible para motores a explosión. Su poder calorífico es 11 Kcal / Kg.

el etileno produce otros cambios en los tejidos de los pétalos como cambios o pérdida de calor – p.e. en orquídeas - . Por lo tanto, aquellas flores sensibles a la presencia de etileno no deberían depositarse en el mismo lugar donde se enfrían frutas u hortalizas productoras de etileno. Tampoco se deberían mantener cerca de salidas de gases de combustión usados por motores como ya se dijo.

Las temperaturas bajas pueden entonces reducir: la tasa de producción de etileno y la sensibilidad de las flores ante la presencia del mismo gas. Por ejemplo claveles almacenados a 0 °C pueden resistir altas concentraciones de etileno durante largo tiempo antes que los pétalos manifiesten algún daño. En cambio una corta exposición a bajas concentraciones de etileno pero a 30 °C de temperatura ambiente puede ser suficiente para causar daños importantes.

7.7.5 PÉRDIDAS DE AGUA.

Las flores pueden considerarse como envolturas de lujo para el agua. El agua llega a través de un complejo y costoso proceso al interior de las flores durante su producción. Las pérdidas de agua en los pétalos, resultan luego en menores retornos en dinero para los productores. Las diferencias entre el contenido de vapor de agua del aire y el contenido de agua de las flores es la verdadera fuerza que esta detrás de la pérdida de agua por los tejidos vegetales. Aún en un ambiente con aire frío casi saturado de agua – como puede ser una cámara frigorífica, si las flores se mantienen con temperatura alta siguen perdiendo agua debido al alto potencial que tiene el agua en las paredes celulares del mesófilo de las hojas. De allí la importancia de que el enfriamiento de las flores sea muy rápido, de manera tal que la pérdida de agua se interrumpa.

La humedad relativa alta y la baja temperatura son determinantes en la disminución de las pérdidas de agua por los tallos florales. A 0 °C y a 80% de humedad relativa se pierde el doble de agua que a 0 °C y a 90% de humedad relativa. A la misma humedad relativa cuando hay 10 °C de diferencia, en la temperatura más baja se pierde la mitad de agua.

7.7.6 PREENFRIAMIENTO.

El preenfriamiento y el almacenamiento refrigerado de las flores cortadas y el follaje acompañante bajo alta humedad son igualmente importantes para mantener la calidad de las flores cortadas. El preenfriamiento debería aplicarse tan pronto sea posible luego de la

cosecha. Esto debería hacerse antes, durante o posterior al tratamiento con preservantes. Algunas flores suelen ser almacenadas en seco por períodos, hasta que se cuenta con suficiente material en fechas determinadas. El preenfriamiento es irremplazable cuando los tallos florales son puestos en envolturas impermeables de los paquetes o en cajas, inmediatamente deben ser preenfriadas manteniendo los orificios externos de las cajas abiertos, para poder eliminar el calor que traen del campo y el propio calor producido por la respiración. Hoy se cuenta con elementos de muy bajo costo para proceder al preenfriamiento de un grupo reducido de cajas, que se almacenan en un cuarto frío. El equipo consiste en un extractor portátil de aire que fuerza al aire frío de la cámara a pasar por el interior de las cajas que se encuentran agrupadas, dejando un orificio por donde se ubica el extractor y una cobertura impermeable que lo convierte en una minicámara desde la cual se fuerza el pasaje del aire. La disposición de los paquetes en las cajas debe ser tal que no bloquee el paso del aire a través de la caja para que el aire salga por el otro extremo. El tiempo que toma la operación de preenfriado puede ser de una hora, mientras que si se quiere enfriar la caja cerrada con las flores, esto puede llevar más de un día con grave perjuicio posterior para la vida en florero de las flores no preenfriadas. Luego del preenfriamiento, las flores serán entonces almacenadas, transportadas y comercializadas a la temperatura apropiada para cada tipo de especie.

7.7.7 BOTRYTIS.

Es el más representativo de los hongos que afectan a las flores y su mayor causal de daño. Usualmente están presentes en cualquier ambiente pero se requiere de la conjunción de una temperatura relativamente alta y de humedad libre, sobre la flor, para que se desarrollen. Las variaciones de temperatura y la presencia de humedad alta en el ambiente favorecen su aparición, en forma irreversible.

8 TRANSPORTE REFRIGERADO

8.1 GENERALIDADES

El transporte puede considerarse como un almacenamiento en movimiento, en cuyo transcurso no debe variar, o sólo hacerlo ligeramente, las condiciones de depósito, si bien éstas son más difíciles de mantener. Además de las exigencias higiénicas generales referentes a locales, debe procurarse en especial, protección frente al polvo, suciedad, rayos solares, escape de gases y parásitos.

8.2 VEHÍCULOS

8.2.1 HERMÉTICAMENTE CERRADOS.

Estos vehículos están cerrados de manera hermética y en ocasiones cuentan con sistemas de ventilación. Por mantenerse la temperatura de transporte próxima a la temperatura exterior, esta clase de vehículos sólo puede utilizarse para transportar a lugares próximos carne y productos cárnicos, que deben estar enfriados.

8.2.2 ISOTERMOS.

Estos vehículos están revestidos en todas sus partes por una capa de aislamiento, cuya capacidad defensiva frente al calor es diferente, respondiendo a las prescripciones exigibles en cada caso. Por no disponer de ningún tipo de aparato generador de frío, la necesaria reserva de éste debe estar contenida en la mercancía transportada o bien agregarse a la misma en forma de anhídrido carbónico sólido (hielo seco). Los vehículos isotermos se utilizan efectuar transportes a distancias cortas.

8.2.3 REFRIGERADOS.

Los refrigerados son vehículos isotermos dotados de dispositivos productores de frío con distinta capacidad de rendimiento. Para la producción de frío sirven:

- Hielo de agua.
- Nieve seca (carbónico sólido).
- Gases líquidos.
- Placas eutécticas o patrones.

MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

Casi todas las instalaciones de esta clase funcionan por el principio de la compresión. Las distintas clases de fuerzas motrices utilizadas habitualmente en las máquinas frigoríficas son: Tracción directa a expensas del motor del vehículo o de un motor diesel anexo, o también de un motor eléctrico que funciona con un generador de corriente trifásica, a expensas del motor del vehículo o de un motor diesel independiente. El enfriamiento del recinto de transporte se lleva a cabo con o sin un volteo del aire, mediante evaporadores de tubos, de placas o de segmentos.

La instalación refrigeradores de los vehículos de transporte debe estar calculada de tal manera que, en los desplazamientos a larga distancia, el funcionamiento de la maquina durante el 70% del tiempo que dure el transporte, proporcione la temperatura deseada; porcentaje que se reducirá del 20% al 50% cuando se trate de recorridos de reparto.

8.3 CONTENEDORES

Los contenedores son recipiente especialmente adecuados para el almacenado y transportes de mercancías. De acuerdo con su constitución, con o sin aislamiento término, reciben el nombre de contenedores frigoríficos o contenedores convencionales. En contenedores frigoríficos se distingue entre contenedores isoterms sencillos sin aparatos generadores de frío, contenedores frigoríficos con instalación fija para la recepción de medios frigoríficos y contenedores dotados de maquinas generadoras de frío fijas o desmontable.

8.4 OPERACIONES PREVIAS A LA CARGA

Antes de cargar un vehículo, hay que asegurarse que el equipo frigorífico funciona bien, que la evaporación no esta bloqueada por la escarcha y que el interior y las puertas del vehículo están en buen estado. Se regula el termostato, para que el producto esté a la temperatura requerida. Si el cargue se realiza por una puerta del costado, se recomienda enfriar previamente el vehículo, de forma que se enfríe la propia masa del aislante, lo que requiere un tiempo bastante largo; un funcionamiento prolongado de la máquina frigorífica, hasta obtener la temperatura deseada, resulta útil para evitar los puntos calientes en la periferia de la carga. Si un vehículo adecuadamente enfriado con antelación, se carga en un lugar no protegido, el aire exterior introduce humedad que se condensa en forma escarcha.

La temperatura del producto debe ser comprobada y evaluada antes del cargue; la temperatura hay que medirla en los siguientes puntos:

- Por encima y por debajo del cargamento, en la proximidad de cada puerta (a uno o dos batientes).
- Por encima del cargamento en los rincones de atrás (lo más lejos del refrigerador de aire).
- En la superficie central del cargamento (cerca del refrigerador de aire).
- En los rincones superiores del cargamento (cerca del refrigerador de aire).

8.5 CONDICIONES DE TEMPERATURA EN EL TRANSPORTE

Condiciones térmicas para el transporte de alimentos sometidos a congelación convencional y congelación profunda.

Tabla 10. Condiciones de temperatura en el transporte

Carne, productos cárnicos, aves	-18°C
Pescado	-18°C
Subproductos de matadero comestibles frescos, aves y caza, sometidos a congelación profunda	-12°
Carne y productos cárnicos, congelados	-10°C

Fuente: ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, “guía para conservación de alimentos”. 1998.

Condiciones térmicas para el transporte de algunos alimentos que no fueron congelados de ninguna forma.

Tabla 11. Condiciones térmicas para el transporte de algunos alimentos que no fueron congelados de ninguna forma

Subproductos de matadero comestibles frescos	3°C
Caza	4°C
Pescado (siempre debe transportarse con hielo)	2°C
Productos cárnicos	6°C
Carne (con excepción de subproductos de matadero comestibles frescos)	7°C
Aves y conejos	7°C

Fuente: ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, “guía para conservación de alimentos”. 1998

- Salvo pescado ahumado, salado, desecado o vivo.
- Salvo productos conservados mediante curado, ahumado, desecado o esterilizado.
- Duración del transporte no debe ser superior a 48 horas.

La temperatura máxima en cualquier punto de la partida no debe ser superior durante la carga, transporte y descarga a los valores citados. Sin embargo, cuando ciertos procesos tecnológicos, como la descongelación del evaporador de un vehículo de transporte dotado de maquina frigorífica, provocan un aumento limitado de la temperatura de una parte de la carga, la temperatura citada como necesaria para el alimento en cuestión, no debe ser superada en más de 3°C.

9.HIGIENE EN LA REFRIGERACIÓN

Además del ataque por parte de microorganismos, a que están sometidos los alimentos y productos alimenticios en las diferentes operaciones del proceso de fabricación, también se presentan riesgos de contaminación en la fase de preparación previa a la congelación, por contacto con equipos y aparatos de producción, con el personal que los maneja y manipula, con los empaques, el aire y el agua. Debido a los riesgos sanitarios y a la degradación de la calidad que resulta de estas contaminaciones, es necesario extremar las condiciones higiénicas que se pondrían en práctica durante la actividad productora, para mantener en un nivel razonable dicha contaminación. De otra parte, se debe tener en cuenta que la congelación nunca se debe considerar como un sustituto de las buenas prácticas de higiene.

9.1 CONTAMINACIÓN HUMANA

Frecuentemente las bacterias patógenas tienen origen humano, en particular los estafilococos y las salmoneras, por tal motivo, es de primordial importancia la atención que se preste a la higiene personal:

- Limpieza corporal, con lavado frecuente de las manos.
- Ropa de trabajo limpia y adecuada al proceso que se desarrolla.

- Cofias para el pelo.
- Uso de guantes cuando sea necesario, que deben ser inspeccionados con frecuencia para evitar posibles agujeros.
- Mascarillas para la boca.

Se recomienda llamar la atención del personal sobre la higiene corporal, colocando carteles en baños y lavabos, en los que se debe hacer énfasis especial en lavado cuidadoso de las manos; también es necesario poner a su disposición los elementos de aseo convenientes.

9.2 CONTAMINACIÓN CRUZADA

En la etapa de preparación de los alimentos, que antecede a la congelación, se evitará en lo posible la instalación de comunidades microbianas que causen ataques.

Para productos como la carne, la manipulación se realizará a temperatura menor que la ambiente, buscando que ésta sea estable.

Cuando se realice un tratamiento por calor, debe ser hecho en tal forma que se destruya la mayor parte de los microorganismos; después del calentamiento, el producto debe ser enfriado rápidamente para evitar la proliferación de bacterias supervivientes, en la banda crítica de temperatura con rango de 50°C a 10°C, si en el enfriamiento se utiliza agua será clorada.

BIBLIOGRAFÍA

ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

FAO-OMS Comisión del Codex Alimentarius, Normas Alimentarias Higiene de los alimentos Requisitos generales Vol. I, 1.999.

FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE. (2001, Sept.) Principios Básicos en la Preparación de los Alimentos Seguros [WWW document].

URL http://www.fsis.usda.gov/oa/pubs/facts_basicos.htm.

HARDENBURG, R.E.; WARADA, A.E.; WANG, C.Y.; 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, RESOLUCIÓN 00336, AGOSTO 30 DE 2004, por la cual se adopta al Reglamento Técnico número 001 RTC-MADR de requisitos para el empaque de los productos agropecuarios que se importen, se produzcan y se comercialicen en el territorio nacional.

MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL DECRETO 1500 DE 2007, por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación.

MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL RESOLUCIÓN 0002652, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano.

MINISTERIO DE SALUD DECRETO NUMERO 2162 DE 1983, por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1979, en cuanto a producción, procesamiento, transporte y expendio de los productos cárnicos procesados.

MINISTERIO DE SALUD DECRETO NUMERO 2437 DE 1983, por el cual se reglamenta

parcialmente el Título V de la Ley 9a de 1979, en cuanto a Producción, Procesamiento, Transporte y Comercialización de la leche.

NTC 4869. Alimentos refrigerados, congelados, transporte y distribución.

THE PACKER. 1999. 1999 Produce Availability & Merchandising Guide. Ed: Redmond, E. Lenexa, Kansas, Estados Unidos. Vance Publishing Corp. 552p.

THOMPSON, J.F.; MICHELL, F.G.; RUMSEY, T.R.; KASMIRE, R.F.; CRISOSTO, C.H. 1998. Comercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers.

USDA. (2001, Oct.) Cocinando para Grupos: Guía de Seguridad Alimentaria para Voluntarios. [WWW document].

URL http://www.fsis.usda.gov/OA/pubs/cfg/toc_spanish.htm.

Anexos 11

ANEXO 1

¿Cuánto tiempo pueden conservarse los alimentos congelados?

Los alimentos se conservan a -18°C en buenas condiciones durante largo tiempo. Los períodos máximos de conservación establecidos son los que se indican en el cuadro.	
CARNE	HASTA 12 MESES
AVES Y CAZA	HASTA 8 MESES
PESCADOS Y MARISCOS	HASTA 6 MESES
PESCADOS Y MARISCOS	HASTA 2 MESES
POLLO	HASTA 3 MESES
PATOS	HASTA 10 MESES
CAZA	HASTA 5 MESES
PESCADOS Y MARISCOS	HASTA 6 MESES
FRUTA	HASTA 3 MESES
HUEVOS Y PRODUCTOS LACTEOS	HASTA 3 MESES
PASTELERIA	HASTA 3 MESES
PAN Y REPOSTERIA	HASTA 3 MESES
PLATOS PREPARADOS	HASTA 12 MESES
PRODUCTOS CONGELADOS INDUSTRIALMENTE	DE 8 A 10 MESES
VACUNO	HASTA 6 MESES
CORDERO	HASTA 3 MESES
CERDO	HASTA 8 MESES
CARNE PICADA Y SALCHICHAS	HASTA 6 MESES
POLLO	HASTA 3 MESES
PATOS	HASTA 3 MESES
CAZA	HASTA 4 MESES
MENUDOS	HASTA 3 MESES
Nota: En la práctica los productos no suelen conservarse durante tanto tiempo, pues su consumo comienza algunos días después de su congelación y sólo los últimos paquetes corren el riesgo de alcanzar el tope de su duración máxima de conservación.	

9 Datos tomados y recopilados de fuentes mencionadas en la bibliografía.

ANEXO 2

Tabla de almacenamiento en frío¹²

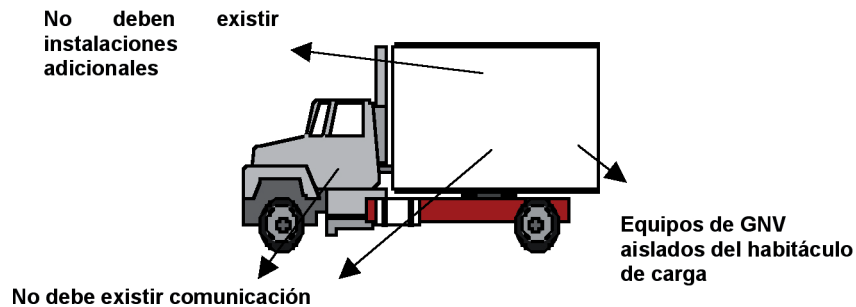
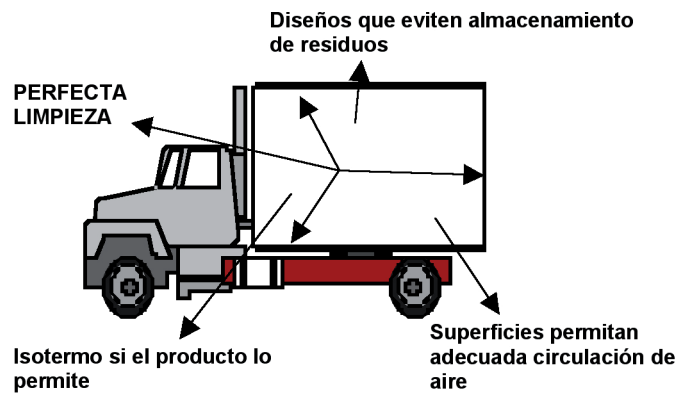
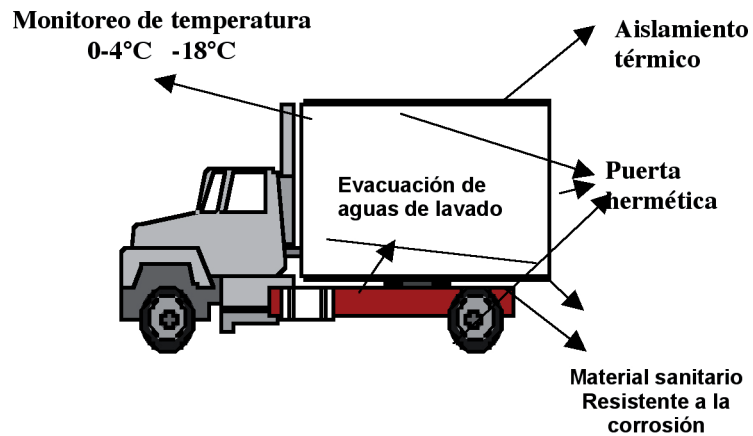
PRODUCTO	REFRIGERADOR (40 °F)	CONGELADOR (0 °F)
PRODUCTOS LÁCTEOS		
Leche	5 a 7 días	No congelar
Leche cortada	1 a 2 semanas	No congelar
Leche enlatada (abierto)	3 a 5 días	No congelar
Yogur, requesón, ricotta	7 días	No congelar
Queso duro, (como Cheddar, suizo)	6 a 12 semanas	6 a 12 meses
Queso blando (como blanco, fresco, asadero)	1 a 3 semanas	6 meses
Helado	es necesario congelar	2 meses
HUEVOS		
Frescos en el cascarón	3 a 5 semanas	No congelar
Huevos duros	1 semana	No congelar
CARNE FRESCA		
Chuletas, asados y filetes de res	3 a 5 días	6 a 12 meses
Hamburguesa, carne para guisos y carne picada	1 a 2 días	3 a 4 meses
Chuletas y asados de cerdo	3 a 5 días	4 a 6 meses
Salchichas crudas de pollo, pavo, cerdo, res	1 a 2 días	1 a 2 meses
Pollo o pavo	1 a 2 días	9 a 12 meses
CARNE COCIDA		
Chorizos ahumados	7 días	1 a 2 meses
Jamón, completamente cocido, rebanadas	3 a 4 días	1 a 2 meses
Carne cocida y guisos de carne	3 a 4 días	2 a 3 meses
Salsa y caldo de carne	1 a 2 días	2 a 3 meses
Sobras de aves cocidas	3 a 4 días	4 a 6 meses

10 Nota: Debido a que la congelación (a 0 °F o menos) mantiene indefinidamente la seguridad de los alimentos, los tiempos recomendados del almacenamiento se refieren sólo a la calidad.

PRODUCTOS PREPARADOS Y PRODUCTOS SELLADOS AL VACÍO		
Ensaladas de huevos, pollo, jamón, atún y macarrones	3 a 5 días	No congelar
Carnes preparadas y quesos (envase abierto)	3 a 5 días	1 a 2 meses
Perros calientes, carnes preparadas (envase cerrado)	2 semanas	1 a 2 meses
Perros calientes (envase abierto)	1 semana	1 a 2 meses
PESCADO Y MARISCOS		
Pescado blanco y no grasoso (bacalao, platija, abadejo)	1 a 2 días	4 a 6 meses
Pescado grasoso (pez azul, caballa, salmón, etc.)	1 a 2 días	2 a 3 meses
Pescado cocido	3 a 4 días	4 a 6 meses
Cangrejos y langostas vivas	el mismo día de compra	no congelar
Almejas y mejillones vivos	2 a 3 días	no congelar
Ostras vivas	7 a 10 días	no congelar
Ostras sin concha	5 a 7 días	3 a 4 meses
Camarones, vísceras y carne de cangrejos	2 a 3 días	3 a 4 meses

ANEXO 3

Requisitos técnicos para transporte de peredeceros



ANEXO 4

Recomendaciones de almacenaje para flores

Producto	Temp. De Almacenaje °F	% de Humedad Relativa	Vida aproximada de almacenaje	Forma de almacenar	Punto de congelación más alto
FLORES CORTADAS					
Lirios de agua	40	80-85	1 semana	Empaque seco	-
Camelias	45	80-85	3-6 días	Empaque seco	30.6
Claveles	31	80-85	1 mes	Empaque seco	30.8
Crisantemos	31	80-85	2-5 semanas	Empaque seco	30.5
Narcisos	31	80-85	1-2 semanas	Empaque seco	-
Gardenias	31	80-85	2-3 semanas	Empaque seco	31.0
Gladiolos	35	80-85	1 semana	Empaque seco	31.4
Lirios de botón	31	80-85	2 semanas	Empaque seco	30.6
Lirios de pascua	31	80-85	2 semanas	Empaque seco	31.1
Lirios de los valles	31	80-85	2-3 semanas	Empaque seco	-
Orquídeas	45-55	80-85	2-3 días	En agua	31.4
Peonías en botón	31	80-85	6 semanas	Empaque seco	30.1
Rosas en botón	31	80-85	2 semanas	Empaque seco	31.2
Guisantes de olor	31	80-85	2 semanas	Empaque seco	30.4
Tulipanes	31	80-85	6-8 semanas	Empaque seco	-

ARBUSTOS O FOLLAJES VERDES					
Helechos	31	85-90	4-5 semanas	Empaque seco	28.9
Acebas	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	27.0
Ericáceas con baya	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	26.7
Laureles	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	27.6
Magnolias	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	27.0
Rhododendros	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	27.6
Salal	31	85-90	1-4 semanas	Empaque seco	26.8
BULBOS					
Amarilis	70-75	75-80	5 meses	En seco	30.8
Dalias	40-45	75-80	5 meses	En seco	28.7
Gladiolos	40-45	75-80	8 meses	En seco	28.2
Lirio holandés y español	75-80	75-80	4 meses	En seco	-
Lirio Blanco					
Candido	31	75-80	3 meses	En ramos	-
De jardín	31	75-80	2 meses	En ramos	-
Langiflorum	31	75-80	3 meses	En ramos	28.9
Speciosum	31	75-80	3 meses	En ramos	-
Penonias	40-45	75-80	5 meses	En seco	-
Tuberosas	40-45	75-80	4 meses	En seco	-
Tulipán	40-45	75-80	1-2 meses	En seco	27.6

INVERNADERO					
Árboles y arbustos	32-35	80-85	4-5 meses		-
Rosales	32-35	85-95	4-5 meses	Raíces al descubierto y en ramos	-
Planta de fresas	30-32	80-85	4-10 meses	Raíces al descubierto y en ramos	29.9
Raíces cortadas	33-40	85-90	-	En ramos	-
Plantas sembradas	27-28 O 33-35	80-85	-		-

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Máquina frigorífica de compresión a una etapa. PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Figura 2. Esquema y diagrama de un ciclo Joule. URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

Figura 3. Diagrama de un ciclo real de aire. URL:

<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

Figura 4. Juntas termoeléctricas J1 y J2 de dos metales diferentes (termopar). PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Figura 5. Representación esquemática del efecto Thompson efectuándose en un metal dado a una cierta ΔT . PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía Universidad Autónoma México.

Figura 6. Diagrama esquemático de una junta metal-semiconductor para producir el efecto Peletier. PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Figura 7. Ciclo de gas con regeneración. URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

Figura 8. Ciclo de Carnot de un fluido condensable. URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

Figura 9. Ciclo de absorción a funcionamiento continuo. PILATOWSKY. Isaac y BEST. Roberto. Introducción a los métodos de producción de frío. Centro de Investigación de Energía. Universidad Autónoma México.

Figura 10. Diagrama esquemático de una bomba de calor por compresión-absorción. . URL: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica>.

Figura 11. (a) Compresor hermético, (b) semi hermético y (c) abierto. URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN__REFRIGERACION.

Figura 12. Evaporador de expansión directa. URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN__REFRIGERACION.

Figura 13. Diagrama zona de sobrecalentamiento. URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN__REFRIGERACION

Figura 14. Esquema y diagrama de condensador. URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN__REFRIGERACION.

Figura 15. Mecanismo de expansión. URL: http://www.uegauree2.org/fileadmin/uploads/media/MANUAL_DE_AHORRO_ENERGETICO_EN__REFRIGERACION.

Figura 16. Estructura de la cadena de frío. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, “guía para conservación de alimentos”. 1998.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Duración práctica de la conservación para productos pesqueros en meses, a diversas temperaturas. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 2. Velocidad de congelación. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 3. Criterios organolépticos sobre la calidad del pescado. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 4. Conservación de productos lácteos a diferentes temperaturas. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 5. Duración práctica de la conservación. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 6. Respiración de frutas y vegetales a las temperaturas más cercanas a su almacenamiento seguro a largo plazo, agrupadas según clase. THOMPSON, j.f., RUMSEY, t.r., KASMIRE, r.f., CRISOSTO, c.h. 1998.

Tabla 7. Pérdidas de agua a la cual un producto se convierte en invendible, ordenados en términos de la pérdida de agua máxima. THOMPSON, j.f., RUMSEY, t.r., KASMIRE, r.f., CRISOSTO, c.h. 1998.

Tabla 8. Producción, sensibilidad y reacción al etileno en diferentes productos. The Packer, 1999.

Tabla 9. Frutas y vegetales susceptibles al daño por frío cuando se almacenan a temperaturas moderadamente bajas, pero no a la de congelación. HARDENBURG, r.e; WATADA, a.e; WANG, c.y. 1986.

Tabla 10. Condiciones de temperatura en el transporte. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.

Tabla 11. Condiciones térmicas para el transporte de algunos alimentos que no fueron congelados de ninguna forma. ANDI. Manual práctico de la cadena de frío, "guía para conservación de alimentos". 1998.