

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“PROCESO, DISTRIBUCIÓN, VENTA E IMPORTANCIA DE  
LA INDUSTRIA CONGELADORA DE HORTALIZAS EN  
MÉXICO”**

**RAFAEL SEDEÑO OSORIO**

**MONOGRAFÍA**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**Monografía**

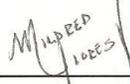
**PROCESO, DISTRIBUCIÓN, VENTA E IMPORTANCIA DE LA  
INDUSTRIA CONGELADORA DE HORTALIZAS EN MÉXICO**

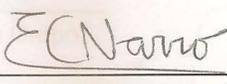
**POR: RAFAEL SEDEÑO OSORIO**

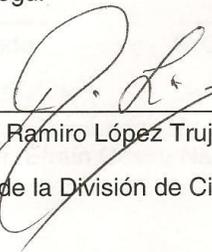
Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología  
de Alimentos.

**Comité de monografía**

  
Dr. Heliodoro de la Garza Toledo  
Asesor principal

  
M.C. Mildred Inna Flores Verástegui  
Coasesor

  
Dr. Efraín Castro Narro  
Coasesor

  
Dr. Ramiro López Trujillo  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**Monografía**

**PROCESO, DISTRIBUCIÓN, VENTA E IMPORTANCIA DE LA  
INDUSTRIA CONGELADORA DE HORTALIZAS EN MÉXICO**

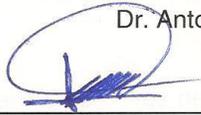
**POR: RAFAEL SEDEÑO OSORIO**

Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología  
de Alimentos.

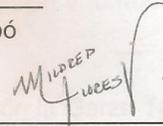
**Jurado del examen profesional**



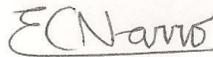
Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó  
Presidente del jurado



Dr. Heliodoro de la Garza Toledo  
Vocal



M.C. Mildred Inna Flores Verástegui  
Vocal



Dr. Efraín Castro Narro  
Vocal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS** por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento, por la salud, el trabajo y compañía brindada durante mis 22 años, pero especialmente en la etapa universitaria, por permitirme sentirte cerca de mí en esos días llenos de soledad y tristeza y encontrar alivio en ti, siempre que lo necesité, por todo el amor que siempre me has brindado y por todas tus bendiciones derramadas sobre mí te agradezco mi Dios hermoso y me siento feliz por considerarme tu hijo el más amado, a ti rey de mi vida muchas gracias.

**A MI ALMA TERRA MATER** por todo el apoyo brindado, porque sin una universidad como tú, me hubiera sido muy difícil estudiar una ingeniería, por que tus aulas, tu comedor, autobuses y todos tus pasillos se volvieron parte de mi vida en donde se encuentran miles de recuerdos hermosos que jamás olvidaré, anhelando cada mañana volver a caminar por esos pasillos, siempre me sentiré orgulloso de ser un hijo más, de ser un buitre de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a la cual hoy considero mi segundo hogar.

**A MIS MAESTROS** quienes con su mejor esfuerzo y dedicación me transmitieron sus conocimientos, y fueron los responsables de mi educación y formación como ingeniero.

Es especial a mis asesores de monografía, Dr. Heliodoro de la Garza Toledo, Dr. Efraín Castro Narro y M.C. Mildred Inna Flores Verástegui por su profesionalidad e incondicional apoyo.

Con quienes tuve la oportunidad de convivir fuera de clases y me brindaron además de sus valiosos conocimientos, su amistad, apoyo, confianza, consejos, risas y muchos momentos de alegría, Dr. Heliodoro de la Garza, Dr. Mario Alberto Cruz, M.C. Luis Rodríguez, Lic. Dora Alicia Rodríguez.

Y a todos mis maestros Q.F.B Carmen Julia García, M.C. María Hernández, Dra. Dolores Gabriela Martínez, Dra. Ma. De Lourdes Morales, Lic. Laura Olivia Fuentes, Dr. Antonio Francisco Aguilera, M.C. Gerardo Sánchez Q.F.B. Martha Clarisa Coss, Q.F.B Gustavo Villarreal, Q.F.B. Oscar Noé Reboloso, T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo, L.C.N. Graciela Martínez y Q.F.B. Carlos Alberto García.

**A MIS AMIGOS** Alfredo Díaz Rodríguez, Alejandro Guerrero Mata, Hugo Sánchez Ruiz, Benjamín Martínez González, Francisco Barrera Ramírez, Ma. Del Rosario Torres Lara y Lucrecia Santos Orozco, con quienes compartí tantas locuras y aventuras, horas de estudio “bueno eso casi no” jaja alegrías, fiestas, viajes, risas, tristezas, llanto, todo eso siempre lo llevaré conmigo, por que juntos hicieron que estos cinco años fueran inolvidables en mi vida, y espero que nunca dejemos de frecuentarnos, los quiero.

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES**

Silviano Sedeño Serrano

Gabriela Osorio Palacios

Primeramente por haberme traído a este mundo, y entregarme todo su inmenso amor desde niño, por todo su apoyo durante toda mi vida estudiantil, por decirme tantas veces que me aman, que vaya por mis sueños, que soy un triunfador, que si puedo, por sus consejos, sus regaños, sus palabras de aliento, hoy han hecho de mi un profesionalista, pero sobre todo una persona humilde y con valores, va por ustedes papás los amo mucho y me siento bendecido y muy agradecido con Dios por haberme dado a los mejores padres del mundo, y hoy quiero decirles sí, sí pude.

### **A MIS HERMANOS**

Juan Carlos Sedeño Osorio

Ma. Guadalupe Sedeño Osorio

Por confiar en mí, por su amor, su compañía, sus abrazos y esas ganas que ustedes me inyectan para salir adelante, para cumplir todos nuestros sueños. Hoy ya di el primer paso pero sé que ustedes primeramente Dios también lo lograrán y ahí estaré yo para apoyarlos siempre. Gracias Yoni por decidir venirte a estudiar conmigo, eres mi mejor amigo y así quiero que sea toda la vida, y Lupe tu siempre serás mi hermanita hermosa, los amo mucho a los dos.

## **A MI NOVIA**

Lourdes Zendejas Juan

Por enseñarme un amor que no conocía, pero que me hace salir de este mundo, y me hace inmensamente feliz, por todos los momentos increíbles que hemos pasado juntos y mostrarme que además de estudiar soy capaz de amar con todo el corazón, por brindarme y compartirme todo tu amor, confianza, cariño, tristeza, alegría, risas y tantas tonteras y ocurrencias que no sé de donde las sacas pero me hacen muy feliz. Tú ya formas parte de mí y aunque no sé qué nos depare el destino te agradezco por hacer de esta etapa de mi vida la mejor de todas, y eso fue por estar a tu lado.

Te amo mi amor “mi niña mimada” “mi dulce mirada” “mi vida hermosa”.

## **A MIS ABUELOS**

Silviano Sedeño Sosa (+)

Quien ya no está físicamente para compartir este logro conmigo pero sé que desde allá donde tu estas festejas conmigo, va por ti abuelo te dedico este logro importante en mi vida, gracias por todo tu apoyo y por confiar siempre en mí.

Emma Serrano Palestina

Otilio Osorio Rivera

Estela Palacios Limón

Candelaria Limón Torres

Por todo su apoyo tanto económico como moral, por sus bendiciones, abrazos y gestos de cariño hacia mí, los cuales me fortalecieron mucho estando tanto tiempo solo. Los amo abuelos mucho.

## **A MIS TIOS**

Lourdes, Delia, Luis, Rosario, María, Joel y Emma Sedeño Serrano

Arturo, Ismael y Cecilia Osorio Palacios

Guadalupe y Alicia Osorio Rivera

Fabiola y Maite Palacios Limón

Cristina Cedeño de la Luz y Rafael Sánchez Venancio

Por todo su apoyo moral y económico, por sus bendiciones consejos y obsequios, que me fueron de gran ayuda para terminar este proyecto, muchas gracias.

## **A MIS PRIMOS**

Javier, Aída y Alma Sánchez Sedeño

Miguel Ángel Olivares Sedeño

Por su apoyo moral y económico, confianza, llamadas que me fueron de gran compañía cuando no había nadie con quien platicar.

Y a los peques

Julio y Joel Sedeño Palestina

Alan Ulises, Fernanda y María de Jesús Sánchez Leal

Ma. De los Ángeles, Ma. Guadalupe y Juan de Dios Osorio Cuellar

Sinaí y Gael Yescas Osorio

Jesús Ismael Osorio Gonzales

Y decirles, que le echen ganas, que apuesten por lo grande, prepárense sean ustedes también unos profesionistas, si se puede primos y sepan que cuentan conmigo, ánimo.

## Índice General

	<b>Pág.</b>
1. Introducción .....	1
2. Definiciones	
2.1. Definiciones generales .....	5
2.1.1 Hortalizas .....	5
2.1.2 Conservación de alimentos.....	6
2.1.3 Refrigeración .....	6
2.1.4 Congelación.....	6
2.1.5 Alimentos congelados.....	7
2.2. Definiciones especiales .....	7
2.2.1 Refrigerante .....	7
2.2.2 Duración de congelación .....	8
2.2.3 Velocidad de congelación .....	8
2.2.4 Conservación de alta calidad.....	8
2.2.5 Duración práctica del almacenamiento.....	9
2.2.6 Tiempo de congelación efectivo .....	9
3 Justificación.....	10
4 Objetivos .....	13
5 Importancia de la industria congeladora de hortalizas .....	14
5.1 Industrias congeladoras de hortalizas en México.....	15
5.2 Principales hortalizas congeladas .....	17
5.3 Exportación de hortalizas congeladas por México.....	18
6 Operaciones preliminares a la congelación.....	21
6.1 Selección de cultivos .....	21
6.2 Recolección y transporte .....	23
6.3 Limpieza, selección, clasificación y pelado .....	26
6.4 Escaldado.....	30
6.4.1 Objetivos del escaldado previos a la congelación .....	31
6.4.2 Escaldado con agua y escaldado con vapor.....	33

6.4.3	Equipos de escaldado.....	35
6.5	Refrigeración .....	36
7	Métodos de congelación.....	39
7.1	Congeladores por contacto indirecto “producción por frío mecánico”.....	40
7.1.1	Congeladores de aire forzado.....	43
7.1.2	Congeladores de lecho fluidizado.....	46
7.1.3	Congeladores de placas .....	57
7.2	Congeladores por contacto directo “congelación criogénica” .....	61
7.2.1	Nitrógeno líquido.....	63
7.2.2	Dióxido de carbono .....	66
7.2.3	Hidrocarburos halogenados.....	67
7.3	Combinación frío mecánico / frío criogénico.....	70
7.3.1	Frío criogénico al inicio .....	70
7.3.2	Frío criogénico al finalizar .....	71
7.4	Selección del método y el equipo de congelación.....	71
8	Envasado .....	75
8.1	Materiales de envasado .....	75
8.2	Costos del envasado .....	78
9	La cadena del frío.....	80
9.1	Cámaras frigoríficas .....	80
9.2	Transporte .....	82
9.3	Presentación y venta al por menor .....	83
9.4	Tiempos de carga y descarga, recursos técnicos y de personal .....	84
9.5	Daños provocados al romperse la cadena de frío .....	86
10	Utilización de las hortalizas congeladas por el consumidor.....	87
10.1	Conservación en el domicilio.....	87
10.1.1	Conservación en el frigorífico casero.....	87
10.1.2	Conservación en el frigorífico de estrellas o congelador casero.....	87
10.2	Descongelación.....	88
11	Duración práctica de conservación de hortalizas congeladas .....	90
11.1	Interpretación de la tabla de las duraciones prácticas de conservación.....	91

11.2	Indicadores para medir la vida útil restante del alimento congelado y su aceptabilidad .....	92
12	Energía.....	94
13	Conclusiones.....	99
14	Bibliografía .....	101

## Índice de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación de las industrias congeladoras de hortalizas en México.....	16
Figura 2. Hidroenfriador portátil.....	26
Figura 3. Pelador alcalino de frutas y hortalizas.....	29
Figura 4. Inactivación de la peroxidasa según la duración del escaldado .....	31
Figura 5. Pérdida de vitaminas y sustancia seca en hortalizas por escaldado.....	34
Figura 6. Esquema de congelación de frutas y hortalizas .....	40
Figura 7. Sistema básico evaporación/condensación para una planta de refrigeración .....	41
Figura 8. Congelador a una banda.....	44
Figura 9. Congelador de banda en espiral .....	46
Figura 10. Corte transversal de un congelador de lecho fluidizado.....	47
Figura 11. Congelación de chicharos en lecho fluidizado .....	49
Figura 12. Esquema de un congelador de lecho fluidizado .....	50
Figura 13. Proceso de congelación de un aparato de lecho fluidizado .....	52
Figura 14. Deformaciones sufridas por lechos fluidizados .....	52
Figura 15. Fondo de bandeja con movimiento de vaivén .....	53
Figura 16. Agitador de aire por pulsación.....	54
Figura 17. Actuación de las toberas en la desecación .....	56
Figura 18. Congelador de placas horizontales .....	58
Figura 19. Descarga de producto de un congelador de placas horizontales.....	59

Figura 20. Congelador de placas verticales .....	60
Figura 21. Descarga de producto de un congelador de placas verticales .....	60
Figura 22. Congelador de placas automático .....	61
Figura 23. Túnel de congelación de nitrógeno líquido.....	64
Figura 24. Tanque de almacenamiento de nitrógeno líquido .....	64
Figura 25. Comparación de costos para frío mecánico y criogénico .....	66
Figura 26. Congelador de fluorocarbono líquido .....	68
Figura 27. Control de peso para un producto hortícola .....	77
Figura 28. Cámara frigorífica constituida por una fila de serpentines fríos.....	81
Figura 29. Vehículo refrigerado para transporte de alimentos congelados .....	83
Figura 30. Vitrinas para productos congelados utilizados en supermercados.....	84
Figura 31. Curva de congelación y curva de descongelación .....	89
Figura 32. Indicadores de tiempo-temperatura para productos congelados .....	93
Figura 33. Energía consumida por kg de alimento esterilizado y congelado.....	95
Figura 34. Energía consumida para chicharos congelados.....	96

## Índice de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ventajas y desventajas del método de congelación .....	12
Tabla 2. Volumen de producción de las industrias congeladoras de hortalizas en México .....	17
Tabla 3. Valor de las exportaciones de hortalizas congeladas de México a Estados Unidos .....	19
Tabla 4. Tiempo de escaldado de hortalizas para congelación .....	32
Tabla 5. Comparación entre el agua y el vapor de agua como agentes de escaldado .....	35
Tabla 6. Características de un congelador de banda en espiral .....	45
Tabla 7. Propiedades de los líquidos criogénicos empleados en alimentos .....	62
Tabla 8. Clasificación de los alimentos según la influencia que tiene la velocidad de congelación en su calidad .....	72
Tabla 9. Comparación de diversos métodos de congelación según su coeficiente de transmisión de calor .....	73
Tabla 10. Porcentajes de envases utilizados para diferentes productos .....	79
Tabla 11. Duración practica de la conservación, a diversas temperaturas de almacenamiento .....	91
Tabla 12. Consumo de energía del procesado, en diferentes métodos de conservación de alimentos .....	94
Tabla 13. Costos totales de energía de esterilización y congelación .....	95
Tabla 14. Consumo de energía para cámaras frías de diversas dimensiones .....	97
Tabla 15. Consumo de energía en diferentes métodos de conservación .....	98

## **Palabras clave**

Congelación, cadena de frío, criógeno, refrigerante, congeladores, hortalizas.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El empleo de las bajas temperaturas es uno de los métodos más antiguos para conservar los alimentos. Parece ser que los hombres prehistóricos guardaban la caza bajo el hielo para consumirla posteriormente, y ya en el siglo VIII a.C., los chinos mantenían el hielo del invierno en cuevas o bajo tierra para emplearlo durante el verano. La producción continua de frío y su aplicación en la industria alimentaria, iniciada en el siglo XIX, ha sido precisamente una de las grandes innovaciones de la tecnología de los alimentos. Este gran avance permitió el almacenamiento y el transporte de los alimentos perecederos. Hacia 1830 comenzaron a desarrollarse algunas máquinas frigoríficas industriales, instalándose a finales del siglo XIX en barcos para el transporte de carne congelada desde Argentina, Australia y Nueva Zelanda a Europa, donde se recibía en excelentes condiciones. La disponibilidad de refrigeradores y congeladores a lo largo de toda la cadena alimentaria, incluyendo los hogares, ha mejorado considerablemente la calidad de los productos refrigerados y congelados (Ordóñez, *et al.*, 1998).

Gruda y Postolski, (1986) citan que, la producción mundial de alimentos en 1986 ascendía a unos 3,000 millones de toneladas anuales, la mitad de cuya cantidad corresponde a productos perecederos que requieren ser objeto de un proceso de conservación.

Entre los procedimientos conservadores desempeñan importante papel los métodos basados en la acción de bajas temperaturas, es decir, en depósito refrigerado y la conservación por congelación. Estas técnicas mejoran amplios campos de la comercialización de los alimentos cuando son aplicadas racionalmente (mejor abastecimiento del mercado, superior calidad de los artículos

y disminución de las pérdidas). En el actual nivel de tecnificación solo el 25-30 % de los alimentos perecederos son eficazmente protegidos—según estimaciones internacionales— en las respectivas etapas de aprovechamiento y venta por medio de instalaciones frigoríficas (Gruda y Postolski, 1986).

El efecto conservador del frío se basa en la inhibición total o parcial de los principales agentes responsables de la alteración de los alimentos: el crecimiento y la actividad de los microorganismos, las actividades metabólicas de los tejidos animales y vegetales tras el sacrificio y la recolección, las enzimas y las reacciones químicas. La aplicación del frío, en sus dos importantes vertientes—refrigeración y congelación—, ya sean frescos o procesados, durante períodos de tiempos relativamente largos con una mínima repercusión en sus características nutritivas y organolépticas, amplían por lo tanto, la esfera de la utilización de la materia prima, tanto en tiempo como en distancia geográfica (Ordóñez, *et al.*, 1998).

La congelación de las hortalizas fue desarrollada en 1930, siguiendo los trabajos de Clarence, Birdseye, Tressler y Evers (1957), citados por Brennan, Butters, Cowell, y Lilly (1980). Indicaron que la velocidad de congelación influía sobre la calidad del producto descongelado, y condujo a la utilización de una «congelación rápida», a fin de obtener productos de alta calidad.

Trabajos por Fennema y Powrie (1954), citados por Brennan, *et al.*, (1980) han mostrado que un aumento de la velocidad de congelación no siempre aumenta la calidad del producto; es evidente que una congelación muy rápida (por ejemplo, en inmersión en gases licuados a  $-212^{\circ}\text{C}$ ) puede producir esfuerzos excesivos en el producto congelado, pudiendo llegar a ocurrir su resquebrajamiento. Sin embargo, todavía la predicción y el control del tiempo de congelación es cuestión de la mayor importancia (Brennan, *et al.*, 1980).

Sin embargo la aplicación tecnológica del frío a los alimentos exige disponer de un foco frío de temperatura constante y reproducible fácilmente. El alimento es en este caso el foco caliente y su enfriamiento tendrá lugar por la cesión de calor que origina el gradiente de temperatura entre ambos focos.

En el contacto, la temperatura inicial del alimento ira disminuyendo a lo largo de la operación hasta alcanzar el valor deseado, que será mayor en cualquier caso que la temperatura constante del foco frío, para que exista un gradiente térmico.

El frío se aplica a los alimentos en dos modalidades, la refrigeración y la congelación. En la refrigeración el alimento debe mantenerse entre  $-1^{\circ}$  y  $8^{\circ}\text{C}$ . En la congelación la temperatura del alimento debe descender hasta  $-18^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura esta aceptada internacionalmente por las siguientes razones:

Desde el punto de vista microbiológico, el crecimiento de los microorganismos patógenos se inhibe a  $-4^{\circ}\text{C}$  y el crecimiento de los alterativos se inhibe a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Algunos microorganismos psicrófilos (que crecen por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ ) inhibidos son: *Serratia*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococci* y *Pseudomonas* (Holdsworth, 1988).

Desde el punto de vista de las alteraciones por reacción química, a  $-18^{\circ}\text{C}$  se anula la velocidad de las reacciones posibles en los alimentos, como las de Maillard (pardeamiento químico). Por último se sigue bajando la temperatura, a  $-72^{\circ}\text{C}$  se anulan las velocidades de las reacciones enzimáticas. Teóricamente, a  $-72^{\circ}\text{C}$  seria la temperatura de congelación ideal para los alimentos, pero es tecnológicamente inasequible a precios aceptables, difícil de mantener en la etapa de distribución del alimento (cadena de frio) y solo necesaria cuando se esperan reacciones enzimáticas residuales. Por todo ello se ha elegido  $-18^{\circ}\text{C}$  como temperatura de congelación de los alimentos.

Cuando son posibles reacciones enzimáticas residuales se destruyen las enzimas por escaldado antes de la congelación y, sino pudiera hacerse, el alimento no sería apropiado para su conservación por congelación (Rodríguez, *et al.*, 2002).

## **2 DEFINICIONES**

### **2.1 Definiciones generales**

#### **2.1.1 Hortalizas**

Plantas herbáceas o semileñosas, cuyos productos son en general perecederos y sirven para la alimentación humana en su estado natural o mediante proceso de industrialización (enlatados, congelados, deshidratados y encurtidos).

En función del sector utilizable de la planta, se agrupan de la siguiente manera:

Aromáticas: Albahaca, cilantro (grano y hojas), comino y orégano.

Bulbos: Ajo, cebolla y puerro.

Frutos: Chile, berenjena, frambuesa, fresa, melón, pepino de ensalada, pepino picklero, pepino dulce, pimiento, sandía, tomate y calabaza.

Gramíneas: Maíz dulce en grano entero.

Hojas: Acelga, achicoria, apio, escarola, espinaca, lechuga, perejil y repollo.

Inflorescencias: Alcachofa, brócoli y coliflor.

Legumbre verdes: Chicharos, frijol y haba.

Raíces: Betabel, camote, nabo, rábano y zanahoria.

Tallos: Apio, cardo y esparrago.

Tubérculos: Papa.

(Giaconi y Escaff, 2004)

### **2.1.2 Conservación de alimentos**

Puede definirse como todo método de tratamiento de los mismos que prolonga su duración, de forma que mantengan en grado aceptable su calidad, incluyendo color, textura y aroma. Esta definición comprende métodos muy variados que proporcionan un amplio margen de tiempo de conservación que incluye desde los de corta duración, cuando se trata de métodos domésticos de cocción y refrigeración, hasta el enlatado, congelación y deshidratación que permiten ampliar la vida del producto varios años (Holdsworth, 1988).

### **2.1.3 Refrigeración**

Es la reducción y el mantenimiento de la temperatura de los alimentos por encima de su punto de congelación, siendo las temperaturas más habituales las comprendidas entre 8°y -1°C. Es decir, la refrigeración implica tan solo cambios en el calor sensible del producto. Este descenso de la temperatura ralentiza el crecimiento de los microorganismos, de las actividades metabólicas de los tejidos animales tras su sacrificio y de los tejidos vegetales tras su recolección, de las reacciones químicas y enzimáticas y de la pérdida de humedad. Es importante señalar que, al no ser muy grande el descenso de la temperatura, todos estos fenómenos no se evitan completamente. Es decir, la refrigeración de los alimentos alarga su vida útil durante un período de tiempo limitado (generalmente días o semanas) que depende, entre otros factores, de las características del producto y de la temperatura de almacenamiento (Ordóñez, *et al.*, 1998).

### **2.1.4 Congelación**

Es una operación de conservación de los alimentos en que se inhibe el crecimiento de los microorganismos. Al bajar la temperatura del alimento a -18°C una elevada proporción del agua que contiene el alimento cambia de estado y se convierte en cristales de hielo. Esto reduce la cantidad de agua en estado líquido y aumenta la concentración de los solutos. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

Como consecuencia de la formación de cristales de hielo, gran parte del agua se inmoviliza y no está disponible ni como disolvente ni reactivo y la difusión de las especies químicas está muy limitada. De esta forma, se detiene el crecimiento y la actividad de los microorganismos y se reduce notablemente la velocidad de las reacciones químicas y enzimáticas. Reducida la actividad de agua ( $a_w$ ), junto con las bajas temperaturas empleadas, permite la conservación durante períodos de tiempo bastante largos (meses e incluso años). A diferencia de la refrigeración, en la que el metabolismo celular mantiene una cierta actividad, en la congelación se detiene por completo. Por eso en los alimentos vegetales es muy importante que antes de la congelación hayan adquirido un grado de madurez adecuado para su consumo tras la congelación (Ordóñez, *et al.*, 1998).

### **2.1.5 Alimentos congelados**

Se consideran alimentos congelados los que han sido sometidos a un proceso de congelación especialmente concebido para preservar su calidad inicial.

Para obtener el efecto conservador deseado, una proporción importante del agua congelable del producto debe ser transformada en hielo (en general, más del 80% del agua libre) y mantenida en este estado durante el almacenamiento, de manera que se reduzca lo más posible las modificaciones físicas, químicas y microbiológicas que, en caso contrario, deteriorarían el producto (Instituto Internacional del Frío, 1990).

## **2.2 Definiciones especiales**

### **2.2.1 Refrigerante**

Sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediéndolo a alta temperatura y absorbiéndolo a baja (Escudero y Fernández, 2013).

### **2.2.2 Duración de congelación**

Es el tiempo transcurrido desde el principio de la fase de precongelación hasta la obtención de la temperatura final. Esta duración depende, por una parte, de las temperaturas inicial y final, de la cantidad de calor a extraer y, por otra, de las dimensiones (particularmente el espesor) y de la forma del producto, así como de los parámetros de transmisión térmica.

### **2.2.3 Velocidad de congelación (°C/h)**

La velocidad de congelación para un producto o un paquete, es el cociente de la diferencia entre temperatura inicial y temperatura final por la duración de la congelación. En un punto dado del producto, la velocidad de congelación local es el cociente de la diferencia entre temperatura inicial y temperatura final deseada por el tiempo necesario para que esta última temperatura alcance el punto en cuestión.

### **2.2.4 Conservación de alta calidad**

Esta expresión, que traduce la frase americana «High Quality Life» se define como el tiempo que transcurre entre el momento en que se congela un producto de excelente calidad y el momento en que se detecta, por apreciación sensorial, una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,01$ ) en relación con la calidad inmediatamente antes de la congelación. Esta «diferencia justamente detectable» se establece cuando en un ensayo de tipo triangular, el 70% de los degustadores experimentados puede distinguir entre el producto y la muestra patrón (conservada en condiciones en las que se ha comprobado que, durante el período en cuestión no sufren ninguna degradación) (Instituto Internacional del Frío., 1990).

### **2.2.5 Duración práctica del almacenamiento**

La duración en el almacenamiento del producto en estado congelado, contado a partir de la congelación, es el período durante el cual el producto conserva sus propiedades características y es válido para el consumo en el estado o en la transformación a la cual se le destina (Instituto Internacional del Frío., 1990).

### **2.2.6 Tiempo de congelación efectivo**

Se ha definido como el tiempo necesario para disminuir la temperatura de un producto desde su valor medio inicial hasta un valor dado en el centro térmico (Brennan, *et al.*, 1980).

### 3 JUSTIFICACIÓN

La congelación de los productos está justificada por el largo período de conservación que se consigue y que en general es de varios años. A pesar de que los productos congelados, tanto por el sistema de congelación lento como por el rápido no tienen siempre el sabor y el aroma de los productos frescos, el uso de la congelación es muy importante en productos vegetales, aunque lo es más, aún, en carnes y pescados (Molinas y Duran 1970).

La demanda de alimentos procesados se ha incrementado enormemente con el crecimiento de la población de núcleos urbanos. Y esto no se ha debido a la escasez de productos frescos sino más bien a un cambio completo del estilo de vida. La utilización de platos preparados ha aumentado extraordinariamente en los últimos cuarenta años por su comodidad, particularmente en los países muy industrializados, en los que las mujeres trabajan fuera de casa y no tienen tiempo para complejas preparaciones culinarias; solamente disponen del tiempo necesario para un calentamiento de los alimentos procesados (Holdsworth, 1988).

El Instituto Internacional del Frío (1990), afirma que a más de un siglo después de las primeras aplicaciones comerciales de la congelación de alimentos perecederos, el procedimiento es hoy uno de los más utilizados para una amplia gama de productos.

En los mercados más desarrollados, más del 10% del volumen de alimentos consumidos han sido congelados en alguna etapa de su comercialización. La congelación protege la calidad de los alimentos a un costo competitivo; su utilización aumenta prácticamente en todos los mercados en donde ha sido introducida y se propaga cada vez más en nuevos países, a medida que éstos descubren sus ventajas y ponen a punto la infraestructura necesaria: almacenes frigoríficos, fábricas de congelación, transportes frigoríficos, equipamientos frigoríficos; con la distribución: colectividades o comercios al por menor y

equipamientos domésticos (congeladores o refrigeradores con compartimento congelador).

La técnica en sí, al igual que los mercados, se desarrolla notablemente extendiéndose a nuevos productos, haciendo los productos ya existentes más atractivos para el consumidor, combinando la congelación con otras técnicas tales como la appertización, deshidratación o radiaciones ionizantes.

Para que la congelación esté lo más perfectamente posible al servicio del hombre, es indispensable comprender la esencia misma del procedimiento. Dificilmente la congelación mejorara la calidad del producto; la calidad de la materia prima es de primordial importancia, al igual que el proceso aplicado y el embalaje utilizado; lo mismo ocurre para la influencia combinada de los tiempos y de la temperatura a lo largo de la cadena del frío, así como para la descongelación y la cocción final antes del consumo. El procedimiento de congelación puede fácilmente dar lugar a fallos: en efecto, es fácil congelar un producto, pero no hay que olvidar que debe presentarse una gran atención a los numerosos factores que, en conjunto, influyen ampliamente en la calidad del producto ofrecido al consumidor.

No se dispone de un conjunto de reglas sencillas para aplicar en la congelación. Un breve retraso antes de la congelación puede ser perjudicial en el caso de la carne, pero para numerosas hortalizas ocurre lo contrario. La rapidez óptima de la congelación varía según los productos; lo mismo ocurre con el tipo de embalaje que se adopte. La duración del almacenamiento a largo plazo varía con el producto, la temperatura y el embalaje.

Ventajas	Desventajas
No se añaden ni eliminan componentes	Los microorganismos no son destruidos, aunque su número disminuye
No imparte o altera el sabor natural	Las esporas son muy resistentes
No reduce la digestibilidad	Las toxinas no se destruyen
No causa pérdidas significativas del valor nutritivo	Deshidratación rápida e intensa si no hay envasado adecuado

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la congelación como método de conservación. (Ordóñez, *et al.*, 1998).

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Describir el proceso de congelación, distribución y venta «cadena de frío» de hortalizas congeladas, así como su importancia en la alimentación actual, analizar sus ventajas como método de conservación, e identificar cuáles son las industrias en México dedicadas a la producción de este tipo de alimentos y hacia que mercados son dirigidos.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Identificar porque es uno de los métodos más adecuados (sino el más adecuado) para la conservación de alimentos perecederos como lo son las hortalizas.
2. Describir los métodos de congelación para hortalizas y analizar así, cuál es el más indicado a utilizar.
3. Comparar el gasto de energía utilizado para la conservación de hortalizas por congelación, con otros métodos de conservación para los mismos.

## **5 IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA CONGELADORA DE HORTALIZAS**

La congelación es un método rápido, limpio y eficaz para conservar productos en un estado lo más próximo posible al fresco. Las hortalizas que se preparan y envasan cuidadosamente retienen no solamente el máximo sabor y buen color, sino también un elevado porcentaje de su valor nutritivo original (Southgate, 1992).

Gruda y Postolski (1986) afirman que, las hortalizas son en términos generales los productos congelados que han seguido una carrera más espectacular en el moderno comercio de alimentos. Hay muchas razones que justifican este hecho. El abastecimiento de las grandes ciudades con hortalizas frescas es un problema cada vez más complicado y que exige mucho tiempo; en cuanto a los productos existentes en los mercados, tienen por lo general 2-3 días. Para algunos de los mismos ello significa una gran pérdida de valor nutritivo. La congelación es el único método que proporciona a los consumidores hortalizas lo más cercanas posible a la “frescura de la huerta”. Por añadidura, el transporte, manipulación y preparación para el cocinado de algunas hortalizas constituyen tareas sucias y trabajosas (espinacas, zanahorias, patatas, chicharos con vaina, etc.). En estado congelado, se suministran en recipientes dispuestas para el consumo, y por ello resultan cada vez más populares en el ámbito familiar y comedores públicos (cantinas, restaurantes, escuelas, hospitales, etc.).

Este método de conservación no sólo permite disponer durante meses de productos de alta calidad que de otra forma no podrían conseguirse, sino que facilita también la tarea de la alimentación familiar.

Las hortalizas preparadas y congeladas pueden ser cocidas muy rápidamente antes de servir las, sin necesidad de una dilatada preparación (Southgate, 1992).

### **5.1 Industrias congeladoras de hortalizas en México**

La industria de hortalizas congeladas localizada en México constituye un sector dinámico y relativamente nuevo (desde mediados de los años sesenta), cuyos productos, considerados entre los llamados no-tradicionales, se destinan fundamentalmente a la exportación.

Actualmente existen en México 19 empresas dedicadas a congelar hortalizas, ubicándose la mayoría de ellas (11 empresas) y las más relevantes, en el estado de Guanajuato, mientras que las ocho restantes están establecidas en Sonora, Sinaloa, Aguascalientes, Michoacán y Querétaro (figura 1). Salvo una de las empresas guanajuatenses que está situada en el norte del estado, en el municipio de Dolores Hidalgo, el resto de ellas se encuentra dentro del llamado Corredor Industrial de Guanajuato, cerca de la carretera Panamericana y de la de cuota, ya que ésta es una vía estratégica de comunicación hacia la frontera norte, principal destino de sus productos.

Estableciendo una clasificación de las 19 empresas congeladoras existentes, de acuerdo con el origen de su capital, se tiene que este sector de la agroindustria se integra actualmente por dos grandes empresas transnacionales (Gigante Verde y Birdseye), tres empresas con asociación de capital nacional y extranjero para la fase productiva (Marbran-Simplot, Icemark y Congeladora Ceuta), y una mayoría (14 de ellas) que opera fundamentalmente con capital nacional (tabla 2). Es común que entre las grandes empresas se “maquilen” productos, debido a la imposibilidad de cumplir en ciertos momentos con pedidos específicos de sus clientes (Echánove, 2000).

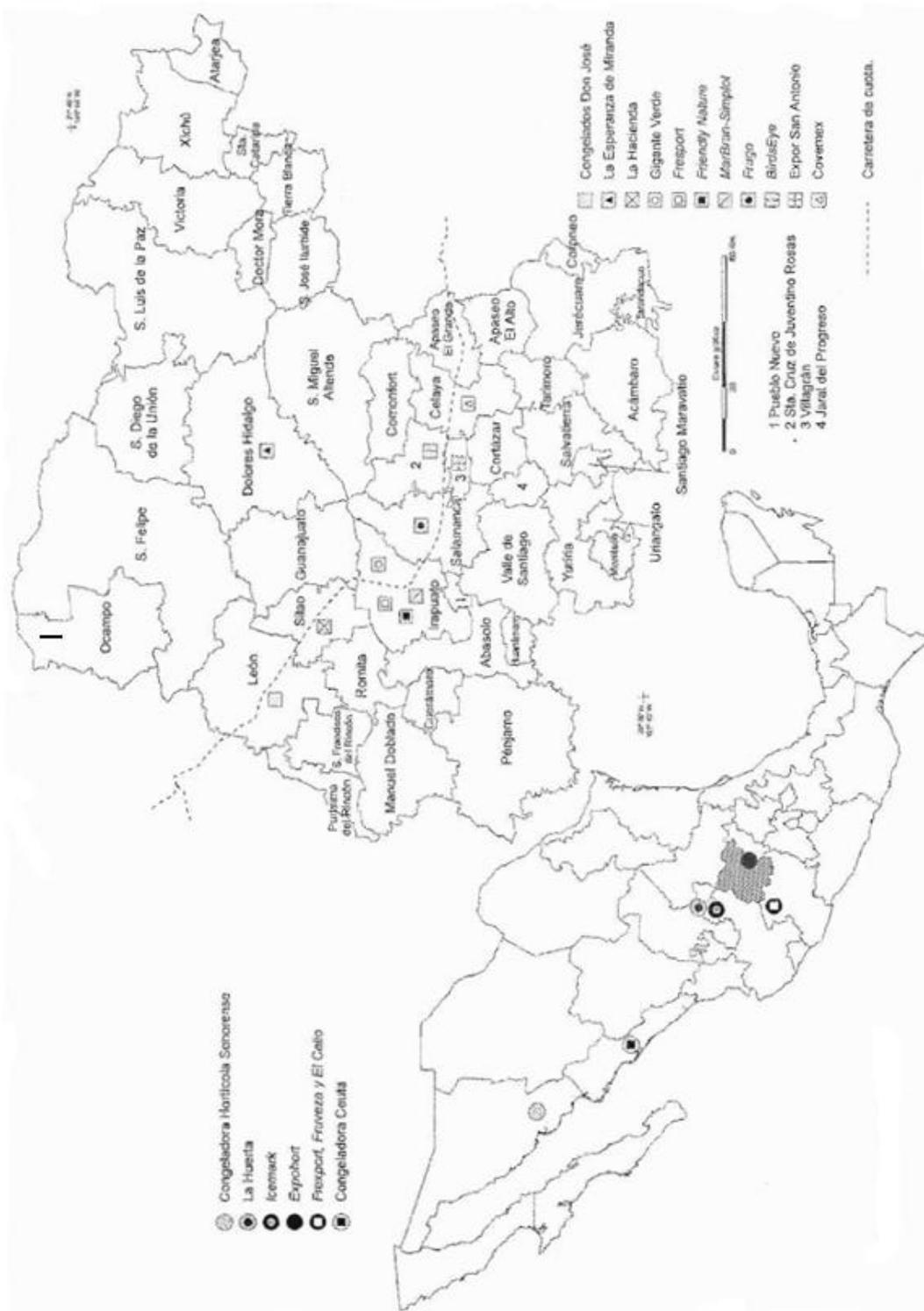


Figura. 1 México: distribución geográfica de las industrias congeladoras de hortalizas (1999) (Echánove, 2000).

Propietario	Empresas	Ubicación	Fecha inicio	Volumen anual procesado (miles ton)
Nieto/Simplot	Marbran-Simplot	Irapuato, Gto. (2) Jalal, Gto. (1)	1980 1995	45
Nieto	Expor San Antonio	Villagrán, Gto.	1990	40
Agrilink	Birdseye	Celaya, Gto.	1967	28
Diageo	Gigante Verde	Irapuato, Gto.	1983	27
Usabiaga	COVEMEX	Celaya, Gto.	1976	16
Arteaga	La Huerta	Aguascalientes	1976	15
Roiz	Expohort	Querétaro	1985	14
Fox	Congelados Don José	León, Gto.	1985	11
Bours	Congeladora Hortícola Sonorense*	Cd. Obregón, Son.	1990	11
Alvarado/Amerines	ICEMARK	Aguascalientes	1999	8
Covarrubias	FRESPORT	Irapuato, Gto.	1986	7
Tarriba/Eckert	Congeladora Ceutla*	Culiacán, Sinaloa	1990	5
Miranda	La Esperanza de Miranda	Dolores Hidalgo, Gto.	1990	5
Alvarado	Friendly Nature	Irapuato, Gto.	1996	4
Bimbo	FREXPORT**	Zamora, Mich.	1991	4
Hnos. García	FRUVESA**	Zamora, Mich.	1988	4
Valdéz	Empacadora el Celio**	Jaconá, Mich.	1985	4
González	Productos FRUGO	Salamanca, Gto.	1989	3
León	Congeladora La Hacienda	Silao, Gto.	1991	3
TOTAL				254

Tabla 2. Industrias de hortalizas congeladas en México (1998)

\*Su principal giro es el congelamiento de pimiento morrón.

\*\*Aunque son fundamentalmente congeladoras de fresa, los volúmenes señalados se refieren a brócoli y coliflor (Echánove, 2000).

## 5.2 Principales hortalizas congeladas

Aunque casi la totalidad de las empresas estudiadas se dedican a congelar fundamentalmente brócoli (algunas 70-80% de su producto total) y coliflor, en los últimos años se han diversificado, procesando toda una variedad de hortalizas

(espinaca, zanahoria, calabaza, maíz dulce, okra, apio, espárrago, pimiento verde, fresa, etc.). Algunas empresas congelan 12 o 13 productos diferentes (algunos de ellos, a su vez, en diversos cortes o presentaciones), así como mezclas de hortalizas.

Este proceso de diversificación ha obedecido a la necesidad de aprovechar más eficientemente la capacidad industrial instalada; a la de competir exitosamente ofreciendo a los clientes una mayor gama de productos a lo largo del año; y a la de reducir los riesgos que implica el manejo de sólo uno o dos productos. Examinando esta diversificación, la mayor empresa (Marbran-Simplot) ha incursionado en la producción de hortalizas orgánicas (brócoli, coliflor, zanahoria), mientras que otras lo han hecho en las hortalizas deshidratadas y/o enlatadas y/o embotelladas. Asimismo, el gran auge de la demanda de las hortalizas frescas, tanto para su consumo interno como para su exportación, ha permeado la actividad de algunas congeladoras; sin embargo, los empresarios consideran que el mercado de productos frescos, aunque puede ser coyunturalmente mucho más redituable que el de congelados, es más variable y riesgoso, por lo que prefieren menores ganancias, pero mayor seguridad (Echánove, 2000).

### **5.3 Exportación de hortalizas congeladas por México**

En 1998, de acuerdo con su valor, los principales productos exportados por la industria alimentaria de México fueron: camarón congelado, hortalizas congeladas, frutas y vegetales enlatados, y jugos de frutas (tabla 3). La balanza comercial de nuestro país es positiva en hortalizas congeladas, destacando dentro de las importaciones las referentes a papas congeladas.

No obstante lo anterior, la relevancia de las hortalizas congeladas como generadoras de divisas es incomparablemente menor a la que tienen las hortalizas frescas (en 1998 se exportaron 130 y 1,821 millones de dólares, respectivamente);

sin embargo, constituyen productos que han tenido un dinamismo importante desde mediados de la década de los ochenta. Así, entre 1986 y 1998, la cifra de las exportaciones mexicanas de hortalizas congeladas se triplicó, al pasar de 64 mil a 190 mil toneladas. Los principales productos exportados son brócoli (casi 70% del valor total en 1998), coliflor, mezclas de hortalizas y espinacas (tabla3), mientras que aquéllos que han presentado el mayor dinamismo durante ese lapso han sido okra, mezclas de hortalizas, espárragos, espinacas y maíz dulce. La producción y exportación de algunos de ellos empezó a ser importante recientemente, a partir de 1993.

Producto	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Brócoli	72 037	106 106	89 782	82 204	87 264	90 740	92 504	86 919
Coliflor	16 429	13 658	17 919	19 328	11 292	12 139	13 517	12 762
Mezcla de hortalizas	1 737	2 393	3 415	3 992	4 511	6 715	9 994	12 555
Espinaca	661	707	160	1 139	674	1 354	1 722	1 598
Okra	6	39	235	1 697	294	672	754	966
Col de Bruselas	324	347	193	554	860	617	736	415
Maíz dulce	0	0	59	456	142	133	201	66
Chícharo	101	9	89	412	18	67	37	128
Espárrago	79	45	251	287	127	131	200	252
Otras hortalizas	3 894	6 097	6 960	8 646	12 651	16 976	14 366	14 040
TOTAL	95 268	129 401	119 063	118 715	117 833	247 377	134 031	129 701

Tabla 3. México: valor de las exportaciones de hortalizas congeladas a Estados Unidos (miles de dólares) (INEGI, 1999; Bolling, 1999) (Echánove, 2000).

Desde su inicio, la industria de hortalizas congeladas ubicada en México ha dirigido el grueso de su producción hacia el mercado externo; el consumo doméstico de esos productos es poco importante, aunque ha presentado cierto crecimiento en los últimos años. El destino mayoritario es el mercado estadounidense, ya que si bien la exportación a otros países como Canadá, Japón o Europa (Alemania, Reino Unido) es una estrategia de las empresas para diversificar sus mercados, hasta hoy sigue siendo poco importante: en 1997, por ejemplo, del valor total de hortalizas congeladas exportado por México, el 98% se

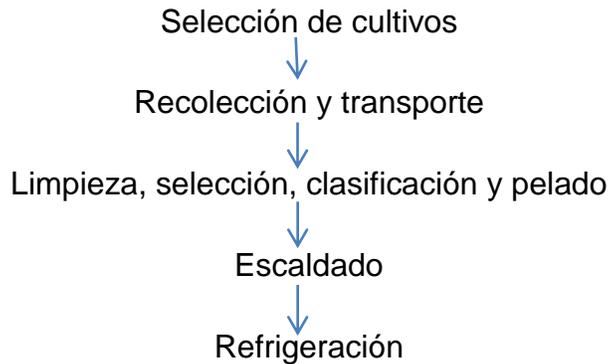
dirigió a Estados Unidos, un 1.35% a Japón y un 0.14% a Canadá. Datos proporcionados por The World Trade Atlas, 1998 (Echánove, 2000).

El principal abastecedor de Estados Unidos es México. En 1998, las exportaciones representaron el 54% del valor total de las compras de hortalizas congeladas que realizó nuestro vecino del norte, siguiendo en importancia como sus abastecedores, Canadá, que contribuyó con el 20%, y Guatemala, con el 11%.

La importancia de México se incrementa al realizar un análisis por productos; en 1998, por ejemplo, el volumen de nuestra principal hortaliza exportada, el brócoli, representó el 82% del total de las compras externas de este producto realizadas por Estados Unidos, mientras que la coliflor participó con el 88% de éstas. Los envíos del primer producto representaron 62% de su consumo en Estados Unidos, mientras que los del segundo constituyeron 43%. Datos proporcionados por Ibidem; American Frozen Food Institute, 1998 (Echánove, 2000).

## 6 OPERACIONES PRELIMINARES A LA CONGELACIÓN

Esquemáticamente, las operaciones previas a la congelación se pueden expresar en el siguiente diagrama:



### 6.1 Selección de cultivos

La materia prima determina por consiguiente en buena medida la calidad del producto congelado. El problema consiste cada vez más en la elección y obtención de nuevas modalidades con características de calidad particularmente buenas. En las variedades que hasta ahora se vienen considerando como especialmente idóneas, los esfuerzos se orientan a incrementar el rendimiento de los cultivos, a conservar las características de alta calidad y lo más posible invariables, y a mejorar su aptitud para la recolección mecanizada y sus características de elaboración (Gruda y Postolski, 1986).

Los chícharos son una de las hortalizas congeladas más importantes en el Reino Unido. Un buen cultivar debe ser verde oscuro, de alto rendimiento, de una buena calidad después de congelado y adecuado para cosechado mecánico. Solo se emplean variedades rugosas. Para conseguir una campaña larga es necesario sembrar distintos cultivares que permitan una sucesión del producto fresco. La

máxima calidad se obtendrá a partir de chicharos cosechados en un punto de madurez del orden de 95 a 105 medidas por tenderómetros.

Las variedades están cambiando continuamente pero por ahora las más comunes son *Avola*, *Scout*, *Dark skinned perfection* y *Puget*.

Para producir *frijoles* troceados o cortados se emplean los frijoles verdes enanos de vaina larga como la *Tender cropy cascade*. Los de vaina corta (como *Chicobel*, *Ipriny gitana*) son para frijol entero.

Las habas pueden seleccionarse tanto de flor blanca como de flor púrpura, pero las variedades purpuras presentan coloraciones anormales si se demora el procesado. La variedad blanca más utilizada es la *Triple white* (Holdsworth, 1988).

La patata congelada se destina sobretodo a la elaboración de patatas fritas. Los tubérculos deben de ser de bajo contenido en azúcar (no más de 0.2 por ciento), en el momento de la operación, con el objeto de que se obtengan patatas fritas de color claro. Los sólidos totales deben estar sobre un 20-22 por ciento. Son aceptables variedades como la *Pentland crowny* *Pentlanddell*.

Las variedades de coles de Bruselas deben escogerse entre las de mucho rendimiento y de repollos de tamaño uniforme y maduración simultánea, que permita recogida y acondicionamiento mecánico. Se emplean una gama amplia de variedades.

Las variedades de zanahoria se clasifican según el tipo y la maduración. Los tipos *Amsterdam*, *Forcingy* y *Chantenay* se emplean para la producción de zanahoria pequeña entera. Los tipos *Nantes*, *Chantenay*, *Berlicumy Autumn King* son para rodajas, en cambio para dados se emplean las variedades *Chantenay* y algunos *Berlicumy Autumn King*.

La coliflor ha de ser de cultivares de maduración de otoño invierno. La variedad otoñal *Barriel reef* ha sido la más empleada pero algunas variedades nuevas pueden dar un producto superior.

Las coles deben escogerse entre cultivares de invierno para ocupar o cubrir un vacío importante en la producción. La *Dutch White* puede dar un congelado aceptable pero da un producto de superior calidad la *January King*. También sirven las variedades de primavera. Antes de su congelación hay que cortar en tiras los repollos (Holdsworth, 1988).

De manera general Molinas y Duran (1970) dicen que para la elección de una variedad ésta debe presentar las siguientes condiciones:

- a) Sabor y aroma destacados.
- b) Color uniforme y acentuado.
- c) Buena consistencia.
- d) Maduración uniforme y simultánea.
- e) Resistencia a los gérmenes patógenos propios del área de cultivo.
- f) Alta capacidad de rendimiento específico.
- g) Forma y consistencia tales que permitan la mecanización en las labores de cultivo, en la recolección, y posteriormente en la preparación y elaboración del producto.

## **6.2 Recolección y transporte**

*Recolección;* dado que la mayoría de los productos para el procesado se cosechan mecánicamente, es esencial recolectar en el momento óptimo de maduración; el período óptimo puede ser muy breve, por ejemplo, dos o tres días para los ejotes y algunas horas para los chicharos, según las condiciones climáticas. El éxito de la recolección en el momento ideal de madurez, al mismo tiempo que aprovisionar regularmente a las plantas de congelación, acarrea

problemas de organización delicados cuya solución puede ser facilitada, al menos en parte, por contratos entre productores y fabricantes (Instituto Internacional del Frío 1990).

El momento más adecuado para la recolección se puede determinar, además de la experiencia, por una serie de aparatos medidores preparados al efecto (penetrómetros, tenderómetros, etc.) análisis químicos indicadores del grado de madurez (reacción del almidón, relación azúcar-ácido, acidez de la pulpa, etc.) datos fisiológicos o biológicos (días transcurridos entre floración y recolección, color de la semilla, carta colorimétrica, etc.). Sobre la recolección sólo cabe decir que debe ser esmerada (causar el menor daño posible), rápida en su realización, así como en el transporte a las dependencias del tratamiento (Molinas y Duran, 1970).

#### *Efectos de la recolección mecánica sobre la calidad;*

Existen varios problemas importantes en relación con la recolección mecánica y son:

- a) Lesiones y aplastamiento localizado.
- b) Lesiones mecánicas que incluyen la rotura de la piel y la pérdida o rotura de los componentes.
- c) Incorporación de materiales extraños como restos de vainas, otras plantas o piedras.
- d) Cosecha de material de una madurez no adecuada tanto por exceso como por defecto.

El pardeamiento es quizá el más serio de estos problemas ya que sus efectos no se detectan de manera rápida. Algunos productos tales como los tomates son relativamente elásticos y su mayor defecto es el desprendimiento de la piel y por subsiguiente contaminación por mohos. Con otros productos el efecto inmediato no se detecta de forma rápida. Los chicharos tienden a ablandarse si la

velocidad de la desgranadora es demasiado alta y las enzimas liberadas por el proceso pueden dar lugar a sabores extraños. Para evitar cambios mayores es necesario realizar el procesado lo antes posible, lo que implica refrigerar el producto cuando se tengan que hacer largos viajes desde los campos de cultivo. Los ejotes a menudo, sufren pardeamiento en su superficie y si hay lesiones profundas, tiene lugar un crecimiento microbiano, se han descrito once enfermedades fúngicas que se desarrollan de forma rápida durante el transporte de ejotes recolectados mecánicamente. Las habas, cuando se desgranar, son también sensibles a los procesos de oxidación, con pardeamiento y una tendencia a ennegrecimiento (Holdsworth, 1988).

Gruda y Postolski (1986), afirman que para disminuir estas pérdidas tienen gran importancia las características biotécnicas de las diferentes materias primas, especialmente su resistencia frente a influencias mecánicas durante la recolección mecanizada, operaciones de descarga y transporte. Como límites admisibles de caída libre durante los procesos tecnológicos se han fijado las alturas de 25-60 cm para frutas y 25-120 cm para hortalizas.

*Transporte;* la mayor parte de los productos cosechados a temperatura moderada deben sufrir pocas horas de transporte, y si hay que transportar a gran distancia puede ser necesaria una refrigeración del producto o el transporte en vehículos refrigerados. Los métodos de enfriamiento varían notablemente de un producto a otro. Tanto el aire como la inmersión en agua fría son procedimientos bastante empleados. Algunas firmas emplean hielo triturado para mantener el producto frío hasta destino. El transporte en vehículos refrigerados utiliza la refrigeración mecánica o nitrógeno líquido e incluso el spray de dióxido de carbono (Holdsworth, 1988).

Por lo cual Molinas y Duran (1970) sugieren ampliamente que el transporte debe realizarse preferentemente con vehículo refrigerado; es importante que sea así, porque los productos, apenas recolectados, inician el proceso de alteración

biológica; proceso que se ve anulado o muy disminuido con una refrigeración rápida.

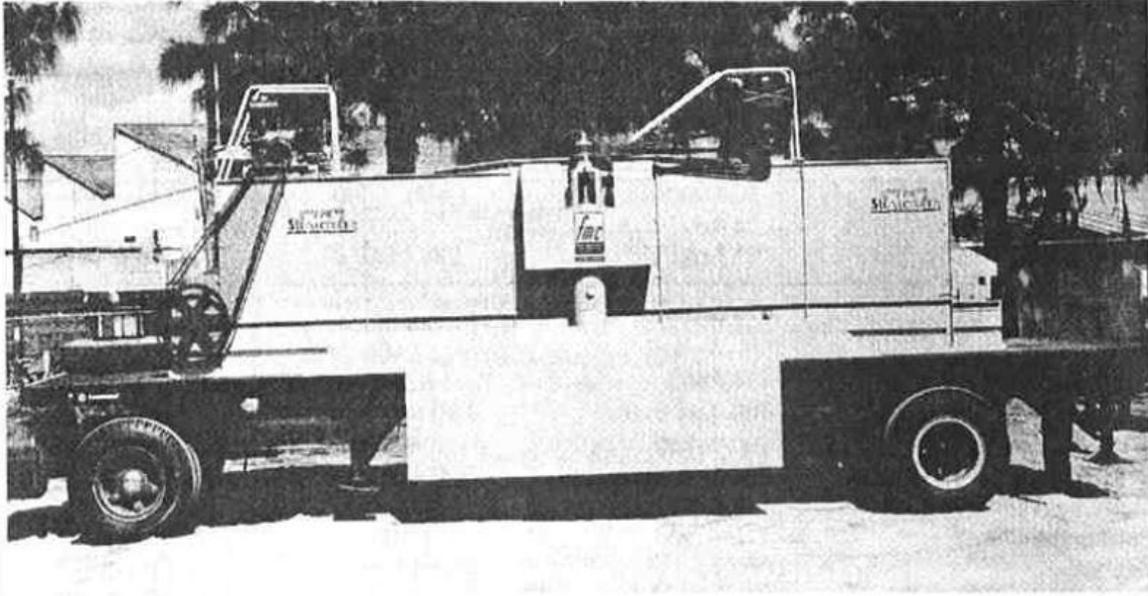


Figura. 2 Hidroenfriador portátil empleado para refrigerar productos agrícolas en el lugar de la recogida de la cosecha. *FMC Corp.* (Potter y Hotchkiss, 2007).

### **6.3 Limpieza, selección, clasificación y pelado.**

*La limpieza* del producto tiene lugar mediante agua abundante que se renueva constantemente, o también por aspersión. Previamente al lavado tiene lugar la eliminación de todo producto inadecuado –por cualquiera que sea la causa– para la congelación, así como productos extraños (piedras, malas hierbas, hojas etc.), (Molinas y Duran, 1970).

El lavado es indispensable y debe ser cuidadoso; así se eliminan no solamente las impurezas (barro y residuos de todas clases) sino también residuos de pesticidas en la superficie. Se utilizará agua potable en cantidad suficiente (15 a 45 litros son necesarios por kilogramo de hortalizas); la adición de 5 a 10 ppm de cloro (libre) preserva el equipo de contaminaciones por lodos viscosos, ricos en

bacterias, que producen olores desagradables; a dosis bastante débiles, el cloro no tiene generalmente efectos sobre el sabor del producto, ni hay riesgo de corrosión del equipo; puede, sin embargo, dar lugar a sabores desagradables como consecuencia de la formación de compuestos tales como las cloraminas (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Las máquinas empleadas a tal fin con máxima frecuencia son lavadoras de cepillo (para tubérculos, bulbos y pepinos), lavadoras de rejilla (hortalizas frondosas), enjuagadoras de agua-aire y aparatos vibratorios (para el tomate), enjuagadoras hidráulicas (para chicharos), así como enjuagadoras por aspersión.

El agua debe cumplir con todos los requisitos de potabilidad, reemplazándose con frecuencia en el transcurso del trabajo. La eficacia en la eliminación de suciedades minerales durante el enjuagado o lavado depende de factores tales como intensidad inicial de la contaminación, clase de suelo, característica de la superficie de la materia prima, y construcción y parámetros de las máquinas.

La efectividad del lavado depende además de la dureza y de la temperatura del agua (Gruda y Postolski, 1986).

*Selección* puede darse por tamaños, y esto se lleva a cabo básicamente con ranuras de diferentes dimensiones. El equipo para realizar esto varía desde los tamices vibratorios, con agujeros cuadrados o circulares, hasta diseños muy complicados, tales como un tambor rotatorio con barras circulares colocadas de tal forma que la apertura aumenta desde el punto de entrada del producto hasta su descarga. Algunos productos como las zanahorias es necesario graduarlos por su longitud y su diámetro antes de desmochar. Una máquina universal muy útil es el seleccionador Grovesend; en ésta el producto alimenta un bastidor que consiste en un transportador continuo constituido por rodillos de aluminio conectados y

controlados por cadenas de graduación. La separación entre los rodillos aumenta automáticamente a medida que el transportador avanza desde el extremo de entrada al de salida de la máquina, esto permite a los de tamaños más pequeños caer en las primeras ranuras y tamaños progresivamente mayores caen conforme va aumentando la separación entre los rodillos.

Hay métodos mecánicos (por ejemplo seleccionadores electrónicos para color) que se emplean para detectar defectos y productos descoloridos. Son particularmente útiles para seleccionar legumbres secas e incluso para productos húmedos tales como patatas lavadas y peladas. Hay que destacar la importancia de la inspección, no solo desde el punto de vista de la calidad del producto, sino también para evitar el paso de objetos extraños. Toda línea de inspección debe tener separadores magnéticos para eliminar objetos metálicos, aunque usualmente también se realiza con un equipo de personas colocadas a uno o ambos lados de la cinta o mesa de inspección (Holdsworth, 1988).

*Clasificación* es un trabajo que tiene por objeto ordenar la materia prima a tratar de acuerdo con determinados criterios de calidad.

Actualmente existe en todo el mundo la tendencia a renunciar a clasificar antes del tratamiento, sobre todo donde es imposible utilizar medios mecánicos adecuados o automatizados. Es preciso disponer entonces de una materia prima de calidad suficientemente alta y uniforme (Brennan, *et al.*, 1980).

*Pelado* es una operación en la que se eliminan de la materia prima las porciones vegetales no comestibles o de inferior valor, así como las suciedades orgánicas (es decir cuerpos extraños inocuos). Las hortalizas congeladas deben estar completamente exentas de desperdicios. Se estima que la materia prima cuenta con los siguientes residuos: chicharos, 55-75 %; apio, 40-50 %; puerro y repollo, 20-30 %; frijol verde (ejote), 15-30 % (Gruda y Postolski, 1986).

Se utilizan varios métodos para pelar aquellas hortalizas que lo requieran. La piel puede separarse del tejido subyacente por inmersión de las hortalizas en una disolución de álcali caliente. Puede usarse lejía a una concentración de alrededor del 1% y aproximadamente 93°C. Las hortalizas con la piel desprendida se tratan luego con chorros de agua a alta velocidad que arrastran por lavado las pieles y cualquier residuo de lejía (figura 3). Puesto que el costo de la lejía y del tratamiento de las aguas de desecho que contienen lejía puede ser apreciable, los procesadores usan a veces el escaldado con agua caliente, que es mucho más económico, seguido de un tratamiento con una máquina que corta la piel y estruja suavemente las hortalizas, como los tomates, a través de un corte (Potter y Hotchkiss, 2007).

A causa de la contaminación en razón a las sustancias alcalinas y desperdicios orgánicos de los afluentes, en los Estados Unidos, para suprimir este inconveniente se ha puesto a punto un método de pelado en seco combinando la acción de la sosa cáustica y de las radiaciones infrarrojas, seguidas de un cepillado en seco (Instituto Internacional de Frío, 1990).

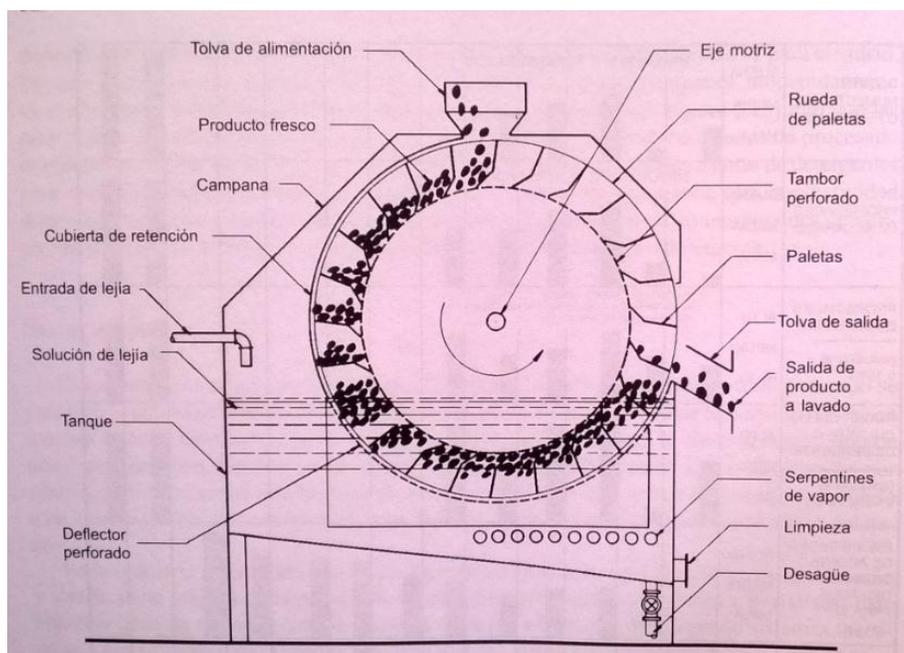


Figura 3. Pelador alcalino de frutas y hortalizas (Potter y Hotchkiss, 2007).

## 6.4 Escaldado

Gimferrer (2012) lo describe como un tratamiento térmico que se aplica, sobre todo, a productos vegetales. A diferencia de otros procesos, el escaldado no destruye los microorganismos ni alarga la vida útil de los alimentos. Es una técnica previa a un segundo tratamiento, como puede ser la congelación, el enlatado, la liofilización o el secado.

Este tratamiento térmico, también conocido como blanqueo, persigue la inhibición de la actividad enzimática residual de ciertas frutas y hortalizas, que podrían dar lugar a la alteración nutritiva u organoléptica del producto. El tratamiento es moderado, entre 70 y 100°C, con agua o con vapor de agua. El alimento puede verse afectado, más por la pérdida de componentes solubles en agua que por su termodegradación. Se ha de indicar, por otra parte, que el escaldado constituye uno de los principales focos de contaminación de la industria alimentaria, especialmente en el sector conservero (Rodríguez, *et al.*, 2002).

Dos de las enzimas de los productos vegetales más resistentes al calor son la catalasa y la peroxidasa. Si se destruyen, también se inactivarían otras enzimas que contribuyen al deterioro (Potter y Hotchkiss, 2007). Para ejemplificar su inactivación, véase la figura 4.

Southgate (1992) afirma que, las hortalizas deberán recolectarse en el momento óptimo para su congelación, prepararse según su clase y escaldarse antes de la congelación.

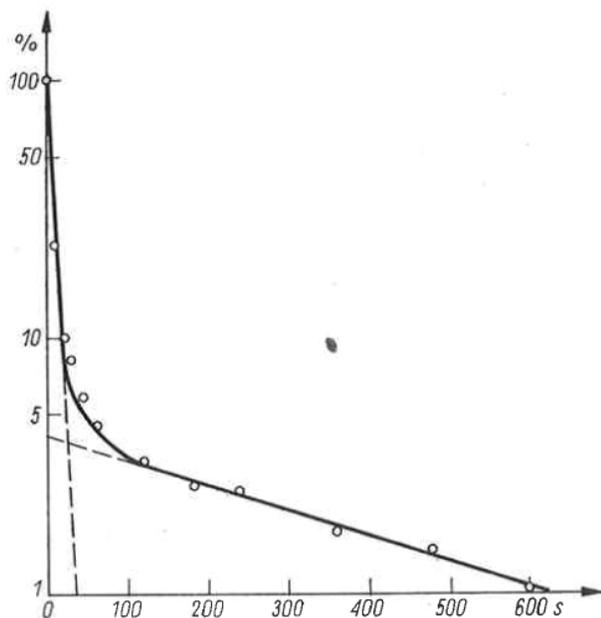


Figura 4. Inactivación porcentual de la peroxidasa según la duración del escaldado. – Maíz dulce, temperatura de escaldado: 88 °C (Gruda y Postolski, 1986).

### 6.4.1 Objetivos del escaldado previos a la congelación

#### Destrucción enzimática

Alrededor de -18 °C, la actividad de la enzima escaldada es grandemente disminuida, pero sin escaldar sería necesario un almacenamiento a -40 °C para conseguir el cese de esta actividad. Así, los frijoles verdes (ejotes) congelados a -18 °C sin escaldado adquieren un sabor a heno después de tres meses de almacenamiento (Mafart, 1994).

Si las hortalizas no son escaldadas, su calidad se alterará con rapidez dependiendo de la clase. Se ha descubierto que sin escaldar, las coles de Bruselas se alteran justo después de 3 días, las habas tras 3 semanas, el maíz en panoja y los frijoles de enrame se alteran después de 3 meses, los chicharos han perdido calidad transcurridos 6-9 meses y no se descubrió pérdida de calidad en las zanahorias hasta pasados 12 meses. Sin embargo, el proceso de escaldado

no solamente conserva el sabor y el color sino también mantiene el contenido de vitamina C de las hortalizas (Southgate, 1992).

Producto vegetal	Tiempo de escaldado en agua a 100 °C (min)
Esparrago	
Pequeño (0.79 cm de diámetro, o menos, en la base)	2
Medio (0.95 a 1.43 cm de diámetro en la base)	3
Grande (1.59 cm de diámetro, o más en la base)	4
Ejotes	
Pequeño (menos de 0.79 cm de diámetro o tamiz de No. 1 y 2)	1-1 <sup>1/2</sup>
Medio (0.79-0.95 cm de diámetro o No. 3 y 4)	2-3
Grande (0.95 cm de diámetro, y mayor, o No. 5 y mayor)	3-4
Remolachas	
Pequeña, entera (3.17 cm de diámetro, o menos)	3-5
Cortadas en cubos (4.44 a 5.71 cm de diámetro) <sup>a</sup>	3
Brócoli	
Cortado en piezas de no más de 2.54 cm de espesor	2-3
Col (verano)	
Cortada toscamente	1-1 <sup>1/2</sup>
Coliflor	
Separada en grupos o agregados florales pequeños, no mayores de 5.08 cm de longitud por 3.81 cm de diámetro	3
Maíz (cortado o en grano entero)	
Escaldado en el olote, enfriado y luego cortado	2-3
Maíz en la mazorca	
Pequeño (menos de 4.13 cm de diámetro en la base)	7
Medio (4.13 a 5.08 cm de diámetro en la base)	9
Grande (por encima de 5.08 cm de diámetro en la base)	11
Chicharos	1-1 <sup>1/2</sup>
Espinaca	1 <sup>1/2</sup>
Acelga cardo	2
Zanahorias	2-5

Tabla 4. Tiempo de escaldado de hortalizas que van a someterse a congelación.

<sup>a</sup>Cocidas en agua hirviendo durante 2 min, cortadas en cubitos y escaldadas, o cocidas desde el principio y luego cortadas en cubitos (Potter y Hotchkiss, 2007).

Poulsen (1986), citado por Mafart (1994), indica que en el caso de las habas conservadas durante 12 meses a -20 °C, las pérdidas de vitaminas C, B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> son respectivamente del 90%, 70% y 40% para las habas no escaldadas, y únicamente del 50%, 20% y 3% para las habas previamente tratadas. Por lo tanto no se recomienda congelar las hortalizas sin escaldarlas.

## **Eliminación de gas ocluido en los tejidos**

En este caso el principal objetivo, es el de limitar los fenómenos de oxidación.

Con el fin de verificar la eficacia de una operación de escaldado, se ensaya la ausencia de peroxidasa, enzima considerada como la más termorresistente (Mafart, 1994).

### **6.4.2 Escaldado con agua y escaldado con vapor**

El escaldado se puede llevar a cabo mediante la inmersión del producto en un baño de agua caliente, o haciéndolo pasar a través de una atmosfera de vapor.

La simplicidad de los equipos de escaldado con agua, que son con diferencia los menos costosos en inversión, constituyen el primer factor en favor del escaldado con agua. Por otra parte, el rendimiento energético de los equipos (es del orden del 60%) es menos malo que el de los de vapor. Se beneficia igualmente de una mayor versatilidad de funcionamiento en lo que concierne al control de la temperatura que se realiza mediante simple regulación de inyección directa de vapor, con lo que la transformación de calor es mucho más rápida y el tratamiento térmico más corto (Mafart, 1994).

Por el contrario, el inconveniente de utilizar agua caliente es una mayor pérdida de nutrientes por lixiviación, con lo que se reduce el valor nutritivo del alimento, véase (figura 5). Investigaciones por Gierschner (1980), citado por Gruda y Postolski (1986), demostraron que las pérdidas de  $Mg^{+2}$  durante el escaldado de zanahorias en agua eran de un 5 % al cabo de 2 minutos, 20 % al cabo de 4 minutos, y 40 % al cabo de 6 minutos. Las pérdidas de  $Mg^{+2}$  en el escaldado al vapor no eran superiores al 5 %. Además, el riesgo de contaminación por bacterias termófilas en los tanques que pueden contaminar los alimentos fue mayor.

También supone un incremento del gasto económico a causa del consumo de agua, que genera a la vez un gran volumen de efluentes que precisan tratamientos especiales para reutilizarlos.

Los equipos de escaldado con vapor provocan menores pérdidas de componentes hidrosolubles, ya que no trabajan con agua, con lo que también se genera menor volumen de efluentes y menor gasto económico. Son equipos de fácil limpieza y esterilización en los que la proliferación de microorganismos es casi nula (Gimferrer, 2012).

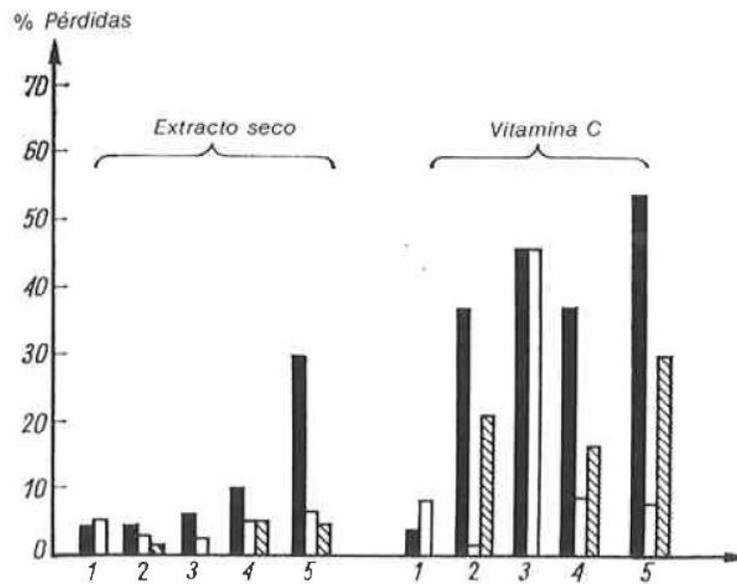


Figura 5. Pérdidas de vitaminas y sustancia seca de algunas clases de hortalizas como resultados de diversos métodos de escaldado. (1) Chicharos. (2) Frijoles. (3) Patatas. (4) Espinacas. (5) Colirrábano– Columnas negras: escaldado con agua. Columnas rayadas: escaldado continuo con agua. Columnas en blanco: escaldado con vapor (Gruda y Postolski, 1986).

En contra partida, debido a las fugas de vapores que no condensan completamente, los rendimientos energéticos de los escaldadores de vapor clásicos son deplorables (del orden del 5 al 15 % según diferentes autores citados por Poulsen, (1986) citado por Mafart, (1994). Por otro lado, el escaldado con vapor condiciona a trabajar a una temperatura constante que depende de la

presión de llegada del vapor. Por último el vapor no produce prácticamente ningún efecto de lavado y elimina con menor eficacia que el agua los sabores extraños.

Mafart (1994) cita a Bomben (1978), quien comparó los resultados energéticos y los rendimientos máxicos de diversos escaldadores con agua y con vapor y concluyó que los escaldadores por agua clásicos son los más económicos teniendo en cuenta su bajo costo de inversión.

Escaldador	Ventajas	Inconvenientes
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones sencillas y económicas.</li> <li>• Rendimiento energético aceptable.</li> <li>• Ofrece una gran versatilidad. Permite operar a distintas temperaturas.</li> <li>• El lavado de la instalación es simultáneo al proceso de escaldado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción significativa de componentes solubles.</li> <li>• Da lugar a vertidos cuantiosos y muy contaminantes.</li> <li>• Contraindicada para conservaciones por congelación.</li> <li>• El agua de escaldado puede dañar los tejidos por cristalización.</li> </ul>
Vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción mínima de componentes solubles.</li> <li>• Mucho menos contaminante en cuanto a volumen de vertido y concentración de materia orgánica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los equipos se esterilizan con facilidad.</li> <li>• Instalaciones costosas.</li> <li>• Rendimiento energético muy bajo.</li> <li>• Equipos poco versátiles. Están diseñados para operar a una determinada temperatura.</li> <li>• No lava el producto.</li> <li>• Hay que parar la producción para proceder al lavado de la instalación.</li> </ul>

Tabla 5. Comparación entre el agua y el vapor de agua como agentes de escaldado. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

### 6.4.3 Equipos de escaldado

La forma más simple de una escaldadora consiste en una cinta móvil que pasa a través de un túnel de sección rectangular calentado por vapor. Las

escaldadoras de agua son de tres tipos básicos: (1) un riel rotatorio perforado parcialmente sumergido en agua calentada por vapor; (2) un cilindro con soporte giratorio dotado de puerta de entrada y de salida; (3) el tipo más común en el Reino Unido es el de espiral, un tambor de acero inoxidable que contiene una espiral que mueve el producto a través del agua calentada con vapor desde la entrada hacia la salida. La longitud de la escaldadora varía dependiendo del rendimiento y del tiempo de escaldado.

Debido a la temperatura de calentamiento, se produce una cierta cantidad de evaporación y como consecuencia un goteo de agua de condensación, por lo que es necesario reponer el agua en la escaldadora. También es necesario vaciar la escaldadora después de varias horas de trabajo porque el agua acumula componentes solubles procedentes de los productos y dan lugar a efluentes muy concentrados. Entonces debe limpiarse higiénicamente antes de volver a ponerla en servicio.

También se emplean escaldadoras tubulares en operaciones que permiten trabajar con un ritmo de procesado alto, tales como en la producción de chicharos. Este tipo de equipos comprende un gran tanque de almacenamiento para proveer de agua caliente a la escaldadora, unido a un sistema tubular de gran diámetro de varios cientos de metros de longitud en el que es escaldado el guisante y unidades destinadas a mezclar el producto con agua y bombear la mezcla a través del tubo. Tras el escaldado el guisante es separado del agua mediante cribas (Holdsworth, 1988).

## **6.5 Refrigeración**

A continuación del escaldado, pero antes del envasado, se procede a una refrigeración con agua próxima a los 0 °C, que deja al producto próximo a unos 3 ó 4 °C. La inmersión en agua es muy breve para evitar pérdidas de vitaminas hidrosolubles. El motivo de esta refrigeración es especialmente económico, ya que

así se procede en dos fases. La primera es la del paso de una temperatura próxima a la ebullición a la de 3 ó 4 °C, y la segunda consiste en la congelación propiamente dicha, pero partiendo ya de una temperatura baja (Molinas y Duran, 1970).

La forma más clásica de enfriamiento es la inmersión del producto en agua, como se describió anteriormente, pero este procedimiento provoca no solo un consumo extra de agua significativo, sino también un aumento de la contaminación. Con el fin de reducir el consumo de agua, se puede remplazar la inmersión por una atomización: así se disminuye el volumen de los efluentes, pero poco las cantidades absolutas de materia orgánica vertida.

Sólo el enfriamiento por evaporación elimina totalmente la contaminación. El procedimiento consiste en impulsar aire frío (alrededor de 30 °C) y seco a través del lecho de producto. El calor latente de evaporación consumido durante la operación provoca el enfriamiento del producto. El mayor inconveniente del método es que su eficacia depende de la humedad de aire. Además, está claro que tal procedimiento causa desecación del producto. Para evitar este efecto de desecación, se puede atomizar agua sobre el producto, o bien saturar el aire por atomización de agua. (En este último caso, ya no se trata de un método por evaporación puesto que el aire frío absorbe esencialmente el calor sensible).

Swartz y Carol (1981) citados por Mafart (1994) propusieron un método mixto en tres fases:

- Atomización de agua clorada sobre el producto,
- Ventilación por aire frío,
- Inmersión en agua fría y reciclada.

Además de evitar la desecación el producto, este método presenta la ventaja de limitar sensiblemente el consumo de agua y la contaminación que lo acompaña (Mafart, 1994).

La refrigeración es necesaria para evitar la cocción del producto y su ablandamiento. Se debe realizar con agua bacteriológicamente pura con el fin de prevenir contaminaciones no deseadas. La mayoría de las operaciones comerciales utilizan un tambor lavador; sin embargo, recientemente se han desarrollado lavadoras de tambores rotatorios a contra corriente (Holdsworth, 1988).

## 7 MÉTODOS DE CONGELACIÓN

### Esquema del proceso

Las principales operaciones incluidas en la congelación de hortalizas se muestran en la (figura 6).

La Ruta **A** corresponde al producto envasado antes de la congelación, esto a menudo se realiza con mezclas de hortalizas y en comidas preparadas. Tras la operación del congelado los productos son almacenados y posteriormente distribuidos a los mercados apropiados.

La Ruta **B** muestra una congelación de lecho fluidizado seguido de almacenamiento a granel del producto que fluye y posterior envasado en pequeños recipientes.

La Ruta **C** muestra la congelación realizada por aire forzado en un congelador de cinta, después de la cual los productos se embalan y almacenan.

Cabe señalar que éstas no son las únicas rutas de producción, suelen utilizarse otras para productos específicos.

Los métodos de congelación pueden clasificarse como sigue:

- a) Contacto indirecto del refrigerante con el alimento. Estas técnicas comprenden: congeladores de aire forzado, de lecho fluidizado y congeladores de placa.
- b) Contacto directo del refrigerante con el alimento. Los refrigerantes comprenden nitrógeno líquido, hidrocarburos halogenados líquidos y dióxido de carbono.

De estos dos grupos, los métodos de contacto-indirecto son con mucho los más usados en la producción comercial. El método de contacto directo tiene aplicaciones específicas a productos concretos, generalmente en las empresas de congelación más pequeñas (Holdsworth, 1988).

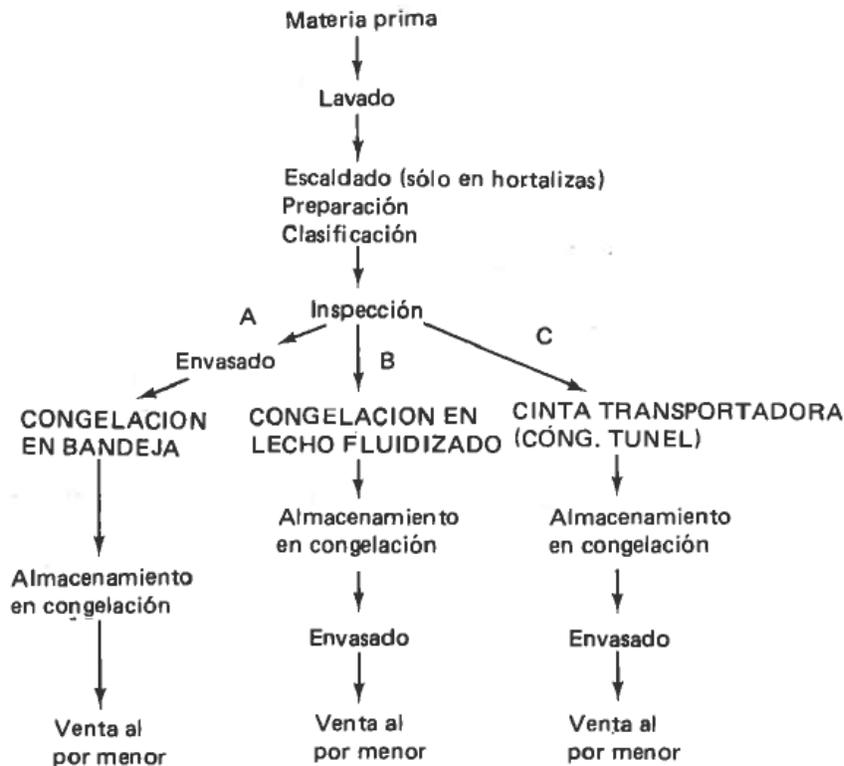


Figura 6. Esquema de congelación de frutas y hortalizas (Holdsworth, 1988).

### 7.1 Congeladores por contacto indirecto “producción por frío mecánico”

El principio fundamental de la refrigeración mecánica es que el calor es extraído de un líquido cuando éste se evapora y pasa a forma de gas. Las condiciones esenciales de cualquier líquido que se emplee en un sistema de refrigeración son que la temperatura de evaporación debe estar por debajo del punto de congelación del agua y que el calor latente de evaporación (que es la

cantidad de calor necesaria para evaporar el líquido) debe ser relativamente grande.

Un sistema típico de evaporación se describe en la (figura 7) Las características esenciales son:

- a) Un ciclo completamente cerrado para que no se pierda refrigerante.
- b) Un compresor para reciclar el gas evaporado.
- c) Un condensador para obtener líquido bajo presión. Este puede ser enfriado por aire o, en las grandes instalaciones, ser enfriado por agua.
- d) Un evaporador para producir bajas temperaturas.
- e) Una válvula de expansión para controlar el flujo del líquido al evaporador.

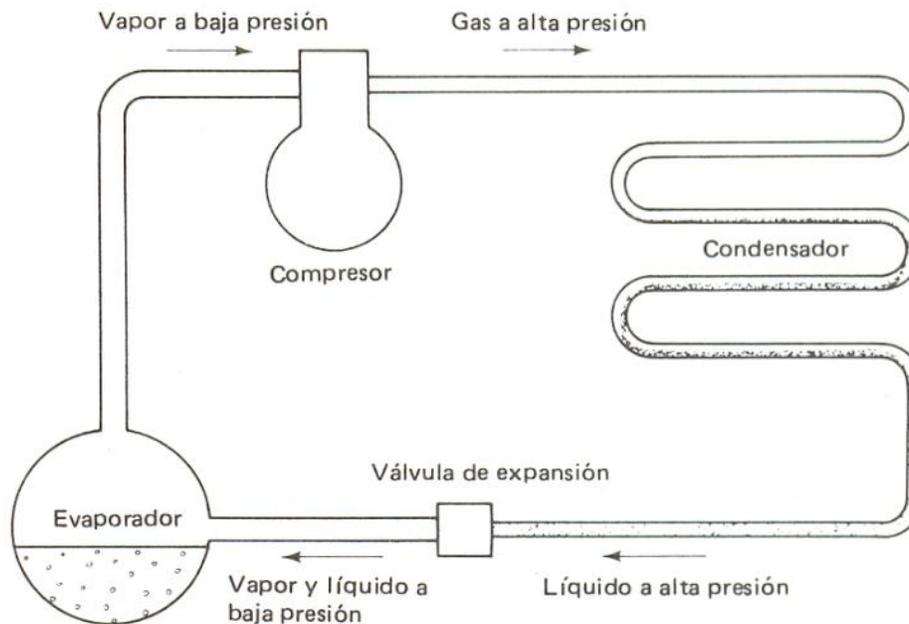


Figura 7. Sistema básico evaporación/condensación para una planta de refrigeración. (Holdsworth, 1988).

Cuando se pone en marcha el compresor, el vapor, inicialmente a temperatura ambiente, se calienta a medida que la presión aumenta. La presión a la que el vapor caliente sale del compresor está determinada por la velocidad a la que el vapor pasa al condensador desde el compresor y la temperatura del medio refrigerante que rodea a los tubos del condensador. Después de la condensación, el líquido bajo presión pasa a través de la válvula de expansión, básicamente una simple válvula de restricción ajustable, convirtiéndose en una mezcla de líquido y vapor saturado a la nueva presión del evaporador. Cuando el líquido se evapora a baja presión, el calor es extraído del entorno y la temperatura del aire del mismo baja proporcionalmente. Los serpentines del evaporador están dispuestos de forma que se encuentran en el interior de la cámara de refrigeración y el resto del sistema, (compresor y condensador), están por supuesto afuera. El mayor problema es el costo de funcionamiento del evaporador, ya que el vapor de agua presente en la atmósfera tiende a condensarse en el serpentín del evaporador y formarse hielo. Esto reduce la eficacia del sistema y en consecuencia es necesario descongelar periódicamente. En el caso más simple, esto significa desconectar el sistema y permitir que alcance la temperatura ambiente, entonces se funde el hielo y forma agua. En los grandes sistemas esto es impracticable y es necesario tener circuitos múltiples que permitan descongelar por el paso de un líquido caliente a través del serpentín.

El primer refrigerante que se empleó para un sistema práctico fue el amoníaco en 1873, y sigue siendo popular hoy día en grandes plantas comerciales de congelación. Otros refrigerantes que desde entonces han sido empleados son el dióxido de carbono, dióxido de azufre y cloruro de metilo. Todos los refrigerantes mencionados excepto el dióxido de carbono, son inflamables o tóxicos y, para superar estos problemas la Du Pont Chemical Co en USA desarrolló una serie de hidrocarburos halogenados, conocidos como "Freón", a principios de 1930. Posteriormente otras compañías han producido compuestos semejantes. Por ejemplo, "Arctons", "Genetrons", etc. Cada compuesto se designa con número diferente, por ejemplo:

- a) Triclorofluorometano  $\text{CCl}_3\text{F}$  (Freón 11, Arcton 9, Refrigerante 11) empleados para acondicionamiento de aire.
- b) Diclorodifluorometano  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  (Freón 12, Arcton 6, Refrigerante 12), empleados en sistemas de refrigeración doméstica, comercial, industrial y barcos factoría. Una planta única puede mantenerse por debajo de  $-31^\circ\text{C}$  ó  $-62^\circ\text{C}$  bajo un sistema de compresor múltiple.
- c) Monoclorotrifluorometano  $\text{CClF}_3$  (Freón 13, Arcton 3, Refrigerante 13), que se emplea para sistemas de temperatura verdaderamente baja, por debajo de  $-100^\circ\text{C}$ .
- d) Monoclorodifluorometano  $\text{CClF}_3$  (Freón 22, Arcton 4, Refrigerante 22), que tiende a reemplazar al Freón 12 porque permite una producción mayor con el mismo rendimiento de compresor.

(Holdsworth, 1988).

El amoníaco y diversos hidrocarburos halogenados (freones), son los fluidos refrigerantes más empleados en la industria alimentaria, estos sistemas de refrigeración mecánica no contactan nunca directamente con el alimento, sino que enfrían a otro medio (aire, agua y otros fluidos o superficies metálicas) que sí va a contactar con el alimento al cual enfrían (Ordóñez, *et al.*, 1998).

### **7.1.1 Congeladores de aire forzado**

En estos casos el fluido refrigerante es aire impulsado y enfriado a través del evaporador de una instalación frigorífica, siendo regulada la temperatura del aire mediante un termostato. Son, por mucho, los más clásicos y los más extendidos debido a su polivalencia. En primer lugar, el aire es un fluido refrigerante perfectamente compatible con el alimento. Todos los productos pueden entrar en contacto con el aire, aun sin estar envasados. Por otra parte, los congeladores por aire no presentan ninguna dificultad en lo que concierne a la forma y las dimensiones de los productos tratados: es posible congelar en un mismo aparato una multitud de productos distintos (Mafart, 1994).

Los congeladores de aire forzado operan normalmente entre  $-30$  y  $-45$  °C y con una velocidad de 10-15 m/s (2,000-3,000 ft/min) (Potter y Hotchkiss, 2007).

Cuando el aire es proyectado sobre el serpentín de evaporación del sistema de refrigeración, la temperatura del aire es suficiente para congelar el producto. El aire puede circular sobre, a través o alrededor de las piezas de alimento o del producto envasado. La operación puede ser un sistema discontinuo o, más frecuentemente, un proceso continuo que utiliza una banda de acero inoxidable movida por un motor en un túnel (figura 8) o un sistema en espiral. Estos tipos de congeladores se emplean para productos previamente envasados y coliflores (Holdsworth, 1988). Por otro lado el Instituto Internacional del Frio, (1990), afirma que los congeladores de banda transportadora son utilizados principalmente para los productos no envueltos –por ejemplo, congelados individualmente- (I.Q.F.).

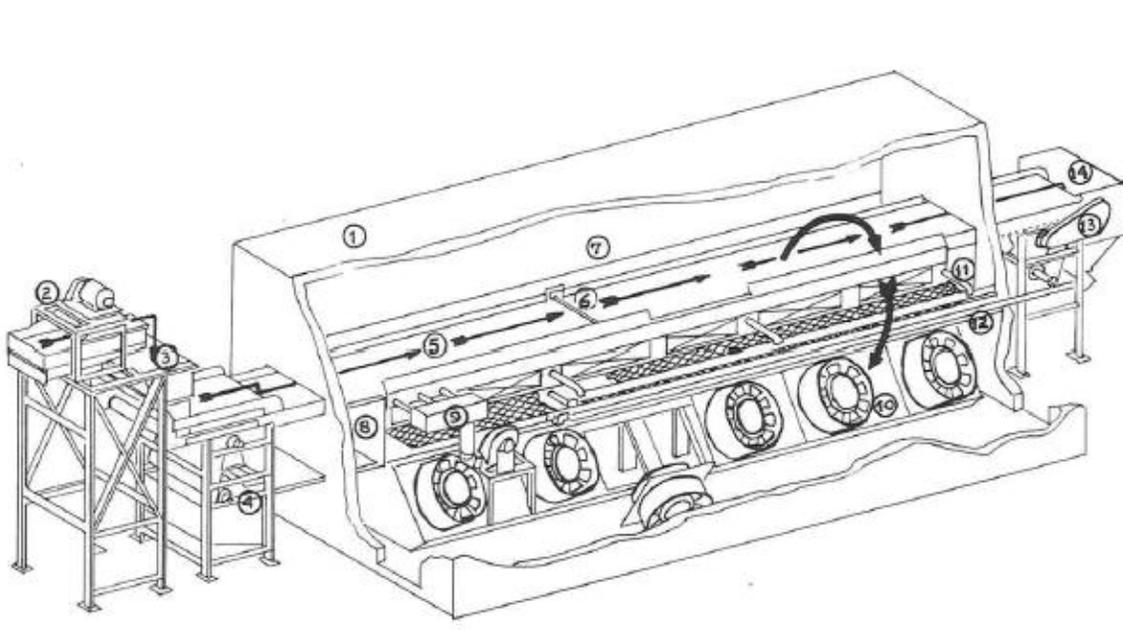


Figura 8. Congelador a una banda. (1) Pared aislada del túnel. (2) Vibrador. (3) Tolva de carga. (4) Banda de sacado. (5) Banda (en tolva) de velocidad regulable. (6) Distribuidor del producto. (7) Zona de aire agitado. (8) Evaporador. (9) Aire a gran velocidad. (10) Ventiladores de caudal regulable. (11) Agua de desescarchado. (12) Tubería del criógeno. (13) Regulador de velocidad de la banda. (14) Tolva de descarga. (Instituto Internacional del Frio, 1990).

Los congeladores de banda en espiral se diseñaron para aumentar la capacidad de congelación sin necesidad de emplear grandes espacios en la planta para su instalación, véase (figura 9) los productos se disponen en una cinta transportadora metálica flexible y autoapilable, que describe una trayectoria en espiral. El flujo de aire suele ser en contra corriente con respecto al producto, con lo que mejora la eficiencia de la transmisión de calor. Tiene la ventaja de funcionar automáticamente y de tener mínimas pérdidas de humedad (Ordóñez, *et al.*, 1998).

Además presentan una versatilidad con respecto a los productos a congelar, pudiendo utilizarse para alimentos muy diversos, de los que son ejemplos hortalizas, frutas, filetes de pescado, camarones, calamares, hamburguesas, albóndigas fritas, pollo (filetes, pechugas muslos, frescos o cocinados), pan y bollería sin hornear, comidas preparadas, de todo tipo, alimentos envasados a vacío y agua en bolsas de plástico. A título comparativo, se pueden congelar hamburguesas en 12-15 min (Rodríguez, *et al.*, 2002).

Anchura de la cinta	1.060 mm
Superficie útil por espira	15,5 m <sup>2</sup>
Altura de la barandilla	80-220 mm
Velocidad de la cinta:	
– alta	3,5-30 m min <sup>-1</sup>
– baja	2,0-20 m min <sup>-1</sup>
Número máximo de espiras:	
– de 80 mm	40
– de 220 mm	25
Altura máxima	7,7 m
Ocupación en planta	<74 m <sup>2</sup>
Capacidad de producción máxima	8 t h <sup>-1</sup>

Tabla 6. Características de un congelador de banda en espiral. Datos de Frigoscandia: Girocompact M106. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

### 7.1.2 Congeladores de lecho fluidizado

La fluidización se conoce y se utiliza en diversas industrias (principalmente en ingeniería química y desecación) hace años. El primer intento de emplearla en la congelación de alimentos lo hizo la firma sueca Frigoscandia en 1959. El primer congelador de lecho fluidizado se instaló en 1962 en la fábrica Findus, en Bjuv, cerca de Helsingborg. El método hizo inmediatamente carrera en todo el mundo y en la actualidad es el más utilizado para la congelación de alimentos, sobre todo de frutas y hortalizas en las grandes organizaciones comerciales ya que introdujo el nuevo concepto de congelación a granel y el envasado en una fase posterior (Gruda y Postolski, 1986).

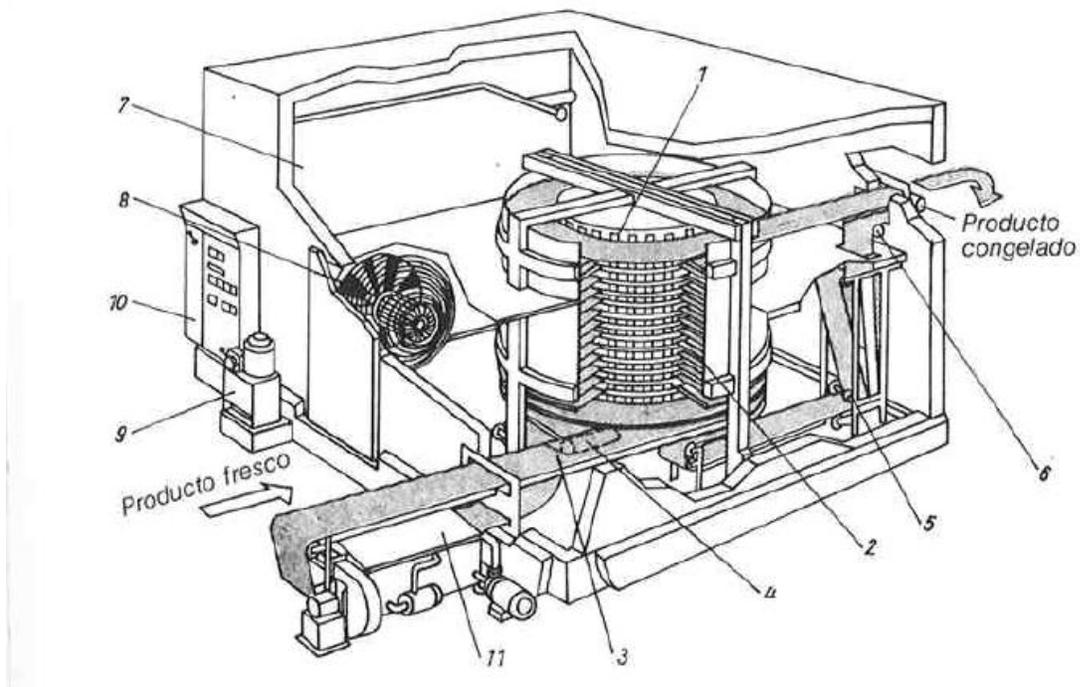


Figura 9. Aparato congelador con cinta en espiral modelo Gyro-Freeze de la firma Frigoscandia.

(1) Tambor motriz. (2) Carril en espiral (guía de la cinta). (3) Cinta. (4) Basculador de la cinta. (5) Sistema de compensación. (6) Propulsor elevador cinta. (7) Refrigerador. (8) Ventiladores. (9) Complejo hidráulico. (10) Cuadro de mandos. (11) Dispositivo lavador cinta. (Gruda y Postolski, 1986).

El método consiste en una cinta móvil perforada o una plancha fija perforada a través de cuyos orificios penetra un chorro de aire con suficiente velocidad para suspender los alimentos y hacerlos flotar formando un lecho fluidizado entre 10 y 20 cm de espesor que avanza en la dirección de la cinta, el Instituto Internacional del Frío (1990) cita que si el producto se introduce de manera continua en la extremidad superior de una artesa inclinada, la masa pasa continuamente hacia la extremidad inferior. El producto al mismo tiempo se congela y transporta sin ayuda mecánica.

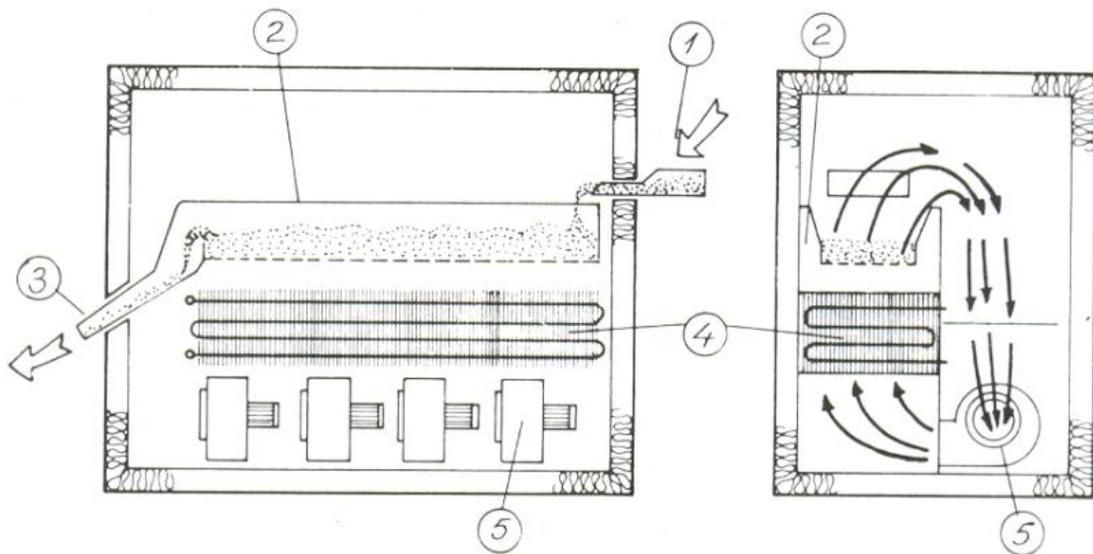


Figura 10. Corte longitudinal y transversal de un congelador de lecho fluidizado. (1) Transportador del producto no congelado. (2) Artesa. (3) Salida del producto congelado. (4) Baterías frías. (5) Ventilador. (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Los lechos fluidizados se caracterizan por su gran turbulencia, que permite obtener coeficientes superficiales de transmisión de calor muy elevados, lo cual se traduce en una velocidad de congelación mayor. Además, se pone en juego toda la superficie del alimento, puesto que éste se separa del conjunto y flota individualmente en el aire, que lo hace subir, bajar y tropezar continuamente con los elementos vecinos. Por eso se ha nombrado a esta técnica como IQF

(Individual Quick Freezing) (congelación rápida individual) y es el procedimiento más rápido de congelar después de los congeladores criogénicos.

En la (figura 11) se muestra el movimiento que tienen los chicharos (como si hirviesen) en un congelador de lecho fluidizado.

La velocidad de congelación es muy rápida y depende del tipo de producto. Para congelar chicharos bastan 3 min. La velocidad del aire tiene que ser suficiente para mantener el alimento en suspensión y depende de la densidad de éste, el tamaño y la forma. Suele estar alrededor de los 300-400 m min<sup>-1</sup>. Y según Ordóñez, *et al.*, (1998), a una temperatura oscilante de (-25 a -35 °C). De las características del sistema se deduce que se debe utilizar con alimentos de pequeño tamaño o troceados, como chicharos, maíz, coles de Bruselas, ejotes, habas, fresas, granos de arroz cocidos, camarones y componentes para ensaladas o sopas de hortalizas (Rodríguez, *et al.*, 2002).

Con el fin de congelar productos de muy grandes dimensiones utilizando este procedimiento, se puede combinar la artesa de fluidificación con una banda transportadora; el aparato se divide en dos secciones para asegurar la congelación individualizada: en la primera, la banda corre en el fondo perforado de la artesa, ocurriendo una congelación superficial de los productos por verdadera fluidificación; más allá pasan, en capa bastante gruesa, a la segunda banda donde se terminara la congelación (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Las hortalizas que se han obtenido en sistemas de lecho fluidizado se almacenan en contenedores de 1 tonelada de capacidad y son transportadas por sistemas monorriel en las grandes fábricas modernas. Se requieren sistemas de diseño especial para la manipulación de estos contenedores y se emplean transportadores neumáticos con aire refrigerado para conducir el producto a la zona de envasado.

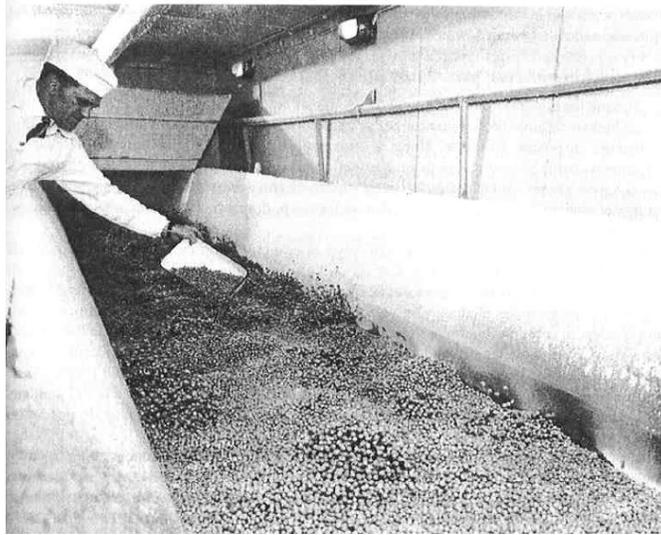


Figura 11. Durante la congelación en lecho fluidizado los chicharos se mueven como si estuviesen «en ebullición». Frigoscandia AB, Suecia. (Potter y Hotchkiss, 2007).

El desarrollo ha sido tan considerable que en el momento actual, hay más de 600 unidades de diversos modelos instaladas en el mundo para la congelación de frutas hortalizas, tratando productos tales como patatas fritas, a la francesa ó patatas ya preparadas para freír. Estos constituyen uno de los productos mayoritarios entre todos aquellos que son tratados con estos equipos. Las patatas llegan a la fábrica, son lavadas, peladas con lejía usando una solución de sosa cáustica, y lavadas de nuevo cuando se elimina la piel. A esto sigue una inspección y después el cortado y troceado-ondulado o en tiras. Luego pasan por un seleccionador de tamaños con lo que se consigue un producto de tamaño uniforme. Las tiras y trozos de patata demasiado pequeños son generalmente reprocesados en otra forma para mantener un proceso económico. A continuación las patatas son primero escaldadas al vapor y fritas en aceite en dos etapas diferentes que requieren unas condiciones críticas de tiempo y temperatura. Cuando las patatas se sacan están fritas aproximadamente en un 85 por ciento y a una temperatura de 82°C. Después son escurridas para eliminar el exceso de aceite y enfriadas a 32°C antes de pasar al congelador de lecho fluidizado. Los productos congelados salen a una temperatura de -23°C después de lo cual se

realiza una nueva clasificación por tamaño y se envasan en bolsas de plástico antes del almacenamiento (Holdsworth, 1988).

En la (figura 12) se incluye un esquema de un congelador de lecho fluidizado que responde básicamente a un modelo avanzado de Frigoscandia. Se construyen con capacidades entre 3,000 y 12,000 kg h<sup>-1</sup>.

La cinta está dividida en dos zonas. El alimento pasa de la primera a la segunda zona cayendo libremente para impedir el apelmazamiento de los productos húmedos o pegajosos. Para impedir este posible apelmazamiento en el caso de los granos de arroz cocidos se ponen en accionamiento pulsadores especiales. Una compuerta situada al final de la primera zona regula el tiempo de residencia, que es distinto según los alimentos. La altura de los laterales de la cinta evita la caída del producto.

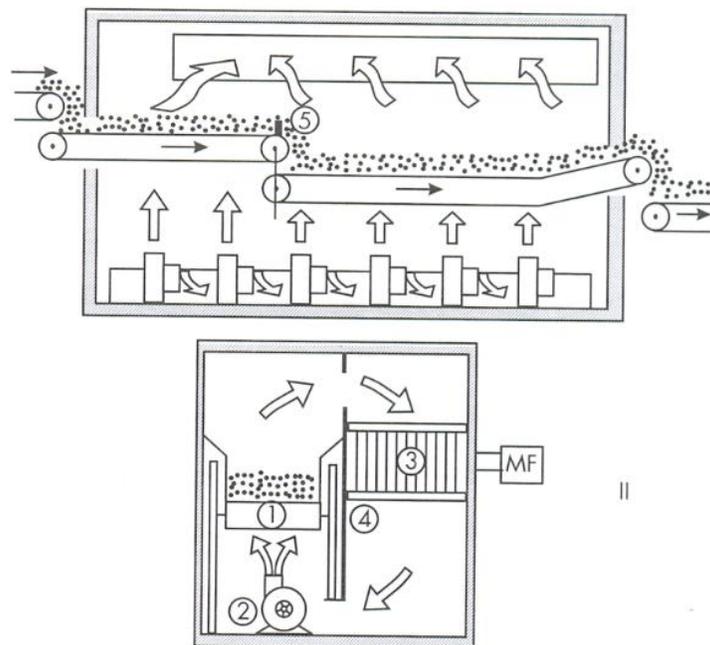


Figura 12. Esquema de un congelador de lecho fluidizado (basado en el FLOFREZEM IQF Freezer de Frigoscandia). (1) Cinta. (2) Ventilador. (3) Evaporador. (4) Panel divisor para conducir el flujo de aire. (5) Compuerta. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

En modelos anteriores la circulación del aire era independiente en las dos zonas de congelación. En el modelo del esquema la circulación es interactiva. El caudal del aire de la zona de congelación inicial se dirige hacia la zona final más fría, creando una turbulencia que acelera la transferencia de calor y asegura una rápida y suave congelación de la superficie desde el comienzo de la operación de la congelación. La congelación superficial conseguida por este flujo de aire, aísla rápidamente la superficie del producto antes de la congelación final, preservando peso y apariencia del producto y aportando mayor calidad, ya que se impide la posible deshidratación (<1%).

Está provisto de un desescarchador neumático automático. Toda la operación está desplegada en un panel desde donde se seleccionan las variables adecuadas al tratamiento de cada producto. Estos equipos son muy compactos y generan una producción muy elevada (Rodríguez, *et al.*, 2002).

A manera de ejemplificar todo el proceso de congelación con un congelador de lecho fluidizado obsérvese la Figura 13.

### ***Algunos problemas de la congelación en lecho fluidizado y solución de los mismos.***

El comportamiento del lecho fluidizado es bastante raro en sistemas gases-sólidos, presentándose ciertas anomalías, definidas como burbujeo, acanalado y retardado (figura 14). En la congelación en lecho fluidizado, las dos primeras son las más comunes.

El exceso de gas por encima de la velocidad mínima de fluidización de la masa fluye en forma de burbujas o bien se forman canales despejados en la capa a través de los cuales el gas pasa libremente superando las partículas. La curva de la presión no es estable, sino que tiende a caer muy por debajo de la presión normal. Es ciertamente una situación muy inestable, que reduce la eficacia del

proceso de congelación. Hay productos especialmente propensos a sufrir las deformaciones antes citadas de la capa, entre los que se cuentan las papas fritas, trozos de coliflor, chicharos, etc.

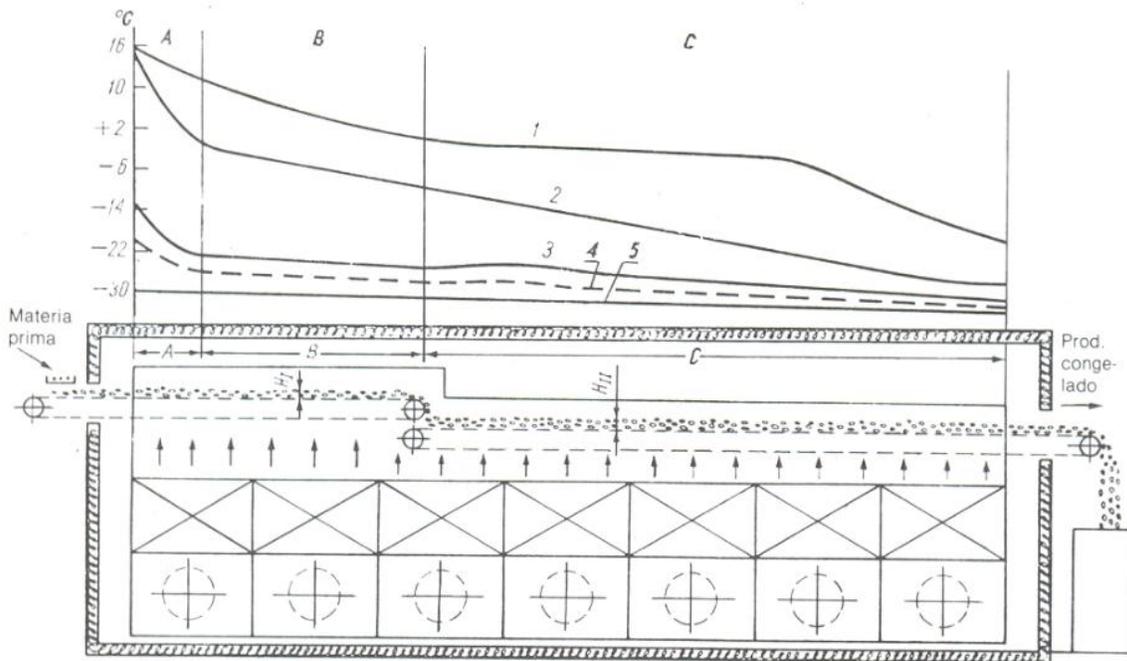


Figura 13. Esquema del proceso de congelación en un aparato de lecho fluidizado. (1) Temperatura interna del producto. (2) Temperatura de la superficie del producto. (3) Temperatura del refrigerante por encima de la capa. (4) Temperatura media del refrigerante. (5) Temperatura del refrigerante por debajo del tamiz. Zona A: Refrigeración. Zona B: Congelación. Zona C: Recongelación. (Gruda y Postolski, 1986).

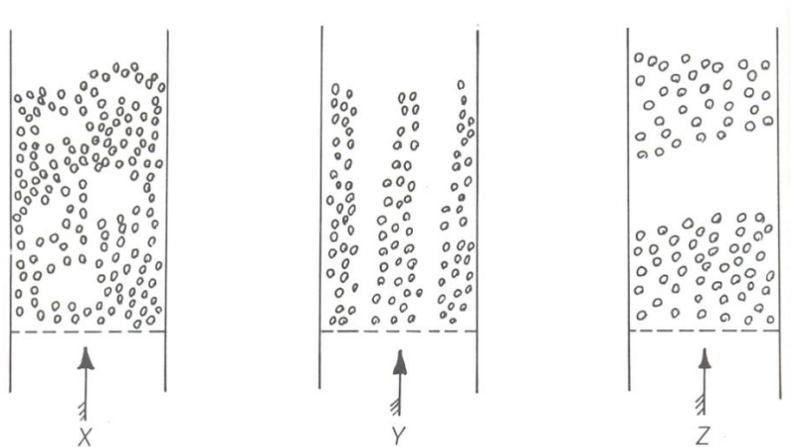


Figura 14. Deformaciones sufridas por los lechos fluidizados gas-sólido; x) Burbujeo, y) Acanalado, z) Retardado. (Gruda y Postolski, 1986).

En la práctica se recurre a diversos procedimientos para evitar las deformaciones de la capa. El más popular es la agitación de ésta. La bandeja completa, o mejor solo su fondo perforado, se suspende de tirantes que pivotan sobre ejes (figura 15) y se conecta mediante un vástago al mecanismo de vaivén, que desplaza el fondo hacia delante y atrás. La velocidad del movimiento y la amplitud del desplazamiento son variables, para poderlos acomodar a productos diferentes (frecuencia habitual: 100 ÷ 120 por minuto; recorrido: 10 ÷ 300 mm). Debe subrayarse que el movimiento de la bandeja no se transmite al producto. Únicamente mejora, haciéndola más uniforme, la estructura de la capa.

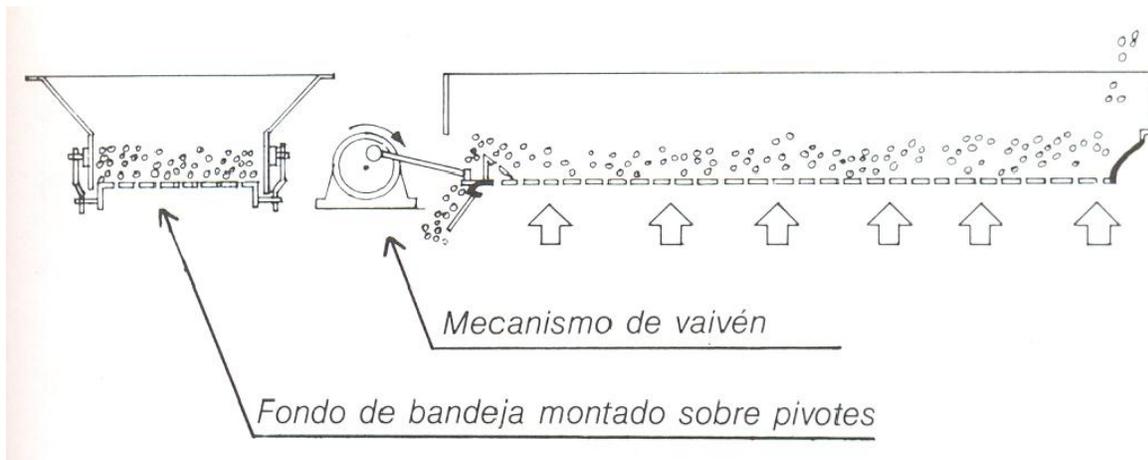


Figura 15. Fondo de bandeja con movimiento de vaivén. Frigoscandia Co. (Gruda y Postolski, 1986).

Otra solución es la llamada agitación mediante modulado de aire. En la abertura de succión o salida de los ventiladores se instalan los amortiguadores rotatorios (figura 16), conectándose a un eje motriz común. La interrupción cíclica de la corriente de aire impide que se formen canales en la capa.

Es muy importante uniformar la corriente de aire a través de la capa. A tal fin es recomendable colocar el evaporador inmediatamente debajo de la bandeja. Un

descenso relativamente alto de la presión de la corriente de aire al atravesar el refrigerador evita la existencia de grandes diferencias en la velocidad del aire; por añadidura, la corriente que discurre entre laminillas muy próximas tiene dirección absolutamente vertical.

El descenso de presión en el propio fondo perforado es también factor decisivo a este respecto. Se acepta generalmente que debería ser alrededor del  $20 \div 30 \%$  del descenso de presión de la capa (Gruda y Postolski, 1986).

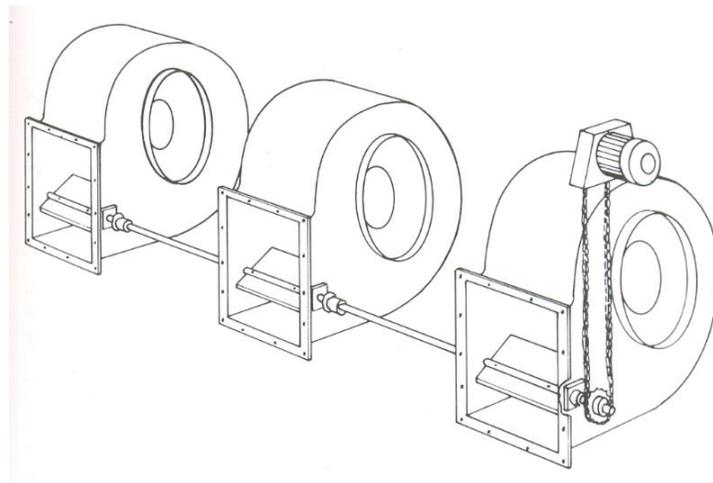


Figura 16. Agitador de aire por pulsación (Frigoscandia Co.) (Gruda y Postolski, 1986).

En términos generales, el objetivo principal de la congelación en lecho fluidizado es obtener un producto completamente suelto, sin formar agregados, presentando el porcentaje más bajo posible de daños y pérdidas del mismo. Por añadidura, al usuario le gustaría tener un aparato capaz de congelar no sólo la materia prima selecta y de calidad óptima, sino también la que está sobremadurada, reblandecida y pegajosa, pero conservando todavía un elevado valor para el ulterior procesado. La congelación es en este caso una especie de recurso para rescatar productos que, de no congelarse, se perderán por completo.

En la práctica de la congelación de alimentos hay dos clases de productos: los “fáciles” y los “difíciles” de congelar. Entre los primeros están: chicharos, frijoles, zanahorias en rodaja, arándanos, grosellas rojas y negras, ciruelas, cerezas, uva de espino, patatas fritas, etc. Se incluyen entre los segundos: fresas, frambuesas, medias ciruelas, chabacanos, duraznos, etc. Por lo común no existen dificultades para congelar el primer grupo de artículos, mientras que los segundos presentan problemas a veces muy difíciles de solucionar, dado que son productos blandos y pegajosos, y al entrar al congelador de lecho fluidizado se pegan firmemente a la tela metálica al congelarse la costra, y el cuchillo separador colocado al final del transportador deteriora los ejemplares. La propia tela metálica se adhiere rápidamente y una parte de frutos exhiben la marca de la malla. Además, estos productos tienden a pegarse entre si formando agregados en la segunda fase de la congelación, lo que por otra parte es motivo de congelado insuficiente de una porción del producto, y por otra obliga a su trabajosa separación operación que discurre con daños y pérdidas.

En los congeladores modelo bandeja que funcionan en condiciones de fluidización completa, los productos blandos se dañan y deforman por corrientes de aire fuertes que llegan desde el fondo perforado. La superficie de los artículos aparece como picada de viruelas o bien se recubre con concreciones de hielo. En la práctica de la congelación, estos artículos se llaman “corales”. El porcentaje de estos productos deformados depende de la calidad del producto, pero en ocasiones es muy elevado, alcanzando el 30 %.

Para combatir éste problema, en los congeladores de lecho fluidizado en doble cinta se utilizan boquillas insufladoras colocadas en posición inicial (figura 17). Tienen por misión despegar el producto húmedo transportado sobre la tela metálica inmediatamente después de que éste entre en el congelador. En la práctica las boquillas funcionan eficazmente sólo si se congela un producto comparativamente de buena calidad. En el caso en que el producto sea muy

blando y lacio, la malla se adhiere a él fuertemente y las pérdidas de producto son entonces muy elevadas (Gruda y Postolski, 1986).

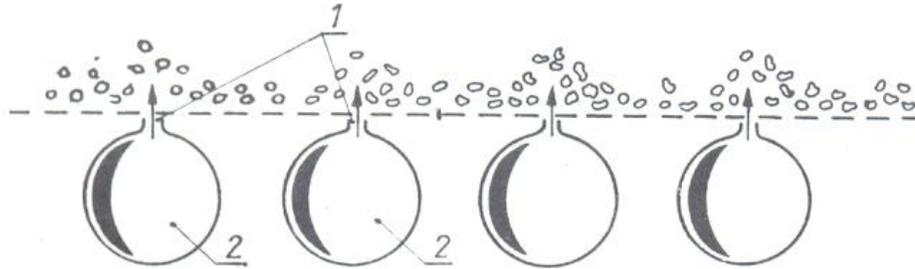


Figura 17. Esquema del modo de actuación de las toberas en la desecación.  
(1) Toberas. (2) Canales de las toberas. (Gruda y Postolski, 1986).

Como contrapartida, las prestaciones de los congeladores por aire forzado y lecho fluidizado son limitadas debido a ciertas razones inherentes a las propiedades térmicas del aire. Aun cuando es impulsado, el aire presenta débiles coeficientes de transporte de calor superficial ( $25$  a  $35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1}$ ). Además, puesto que el calor específico del aire es muy bajo ( $1 \text{ KJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ ), el ventilador debe mover grandes volúmenes de aire para absorber el calor cedido por los productos congelados. Puesto que el consumo de energía eléctrica de ventilación crece en razón del cubo de la velocidad del aire, es razonable no sobrepasar velocidades de  $2$  a  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , y ello tanto más cuando más se ve aumentada la carga térmica del congelador por el calor desprendido por los ventiladores. Dichas propiedades térmicas del aire imponen evidentemente la instalación de evaporadores muy voluminosos, ya que no sólo los coeficientes de intercambio son bajos, sino que también son importantes los caudales de aire a enfriar.

Puesto que los coeficientes de convección son limitados, ¿podemos jugar con la temperatura del aire para acelerar la transferencia de calor? En la práctica, pudiendo el fluido frigorígeno alcanzar dentro del evaporador una temperatura del orden de  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ , el aire es generalmente impulsado alrededor de los  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Haría

falta duplicar el consumo de energía del congelador para obtener aire a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aunque raramente se desciende por debajo de la temperatura de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  cuando el fluido frigorígeno es el aire.

Finalmente, aparte de sus propiedades térmicas desfavorables, el aire tiende a desecar el producto en superficie lo que conlleva una pérdida de masa perjudicial al rendimiento y a la calidad del producto (Mafart, 1994)

### **7.1.3 Congeladores de placas**

Aunque los alimentos sólidos se pueden congelar colocándolos en la superficie de un bloque de hielo o de hielo seco, esto rara vez se hace comercialmente. Habitualmente el alimento se dispone en placas, bandejas, cintas u otras superficies frías, las cuales se enfrían mediante la circulación de un refrigerante, pero sin que el alimento entre en contacto con éste. Es decir, el alimento o su envase están en contacto directo con la superficie fría, e indirecto con el refrigerante. Esto permite el empleo de refrigerantes que, de otra forma, podría afectar adversamente al alimento o a su envase (Potter y Hotchkiss, 2007).

Existen tres tipos de congeladores; de una placa, de dos placas y de dos placas a presión. El más utilizado es el de dos placas a presión. Las placas van alojadas en un armario y un fluido refrigerante fluye en paralelo y por el interior de las placas.

El conjunto de placas constituye el evaporador de la máquina frigorífica.

Las placas se presionan sobre el producto para mejorar el contacto mediante un tornillo accionado mecánicamente o en émbolo. Unos espaciadores ajustables limitan la presión al valor requerido según el producto. En la (figura 18) se da un esquema del aparato. El congelador de placas horizontales de la figura trabajaría en forma discontinua.

La carga y descarga del producto se hace por unas puertas que tiene el armario en su parte delantera (figura 19). Para alimentos sólidos y productos envasados (usualmente en cajas rectangulares) las placas suelen ser horizontales. El tiempo de congelación en envases comerciales de 4-5 cm (1.5-2.0 pulgadas) de espesor es de 1-2 h, dependiendo de la temperatura del refrigerante, del tamaño del empaque, del grado de contacto y del tipo de alimento. Los productos compactos y sólidos como los filetes de carne o de pescado se congelan más rápidamente que los camarones o las hortalizas en las que existen pequeños espacios de aire entre las piezas individuales separadas (Rodríguez, *et al.*, 2002).

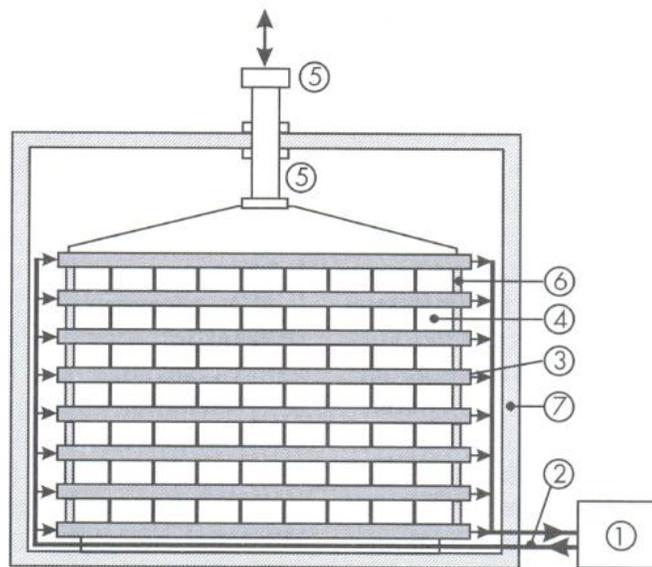


Figura. 18 Congelador de placas horizontales. (1) Máquina frigorífica. (2) Conducciones del flujo refrigerante. (3) Placas huecas. (4) Paquetes del producto. (5) Mecanismo de presión. (6) Espaciadores. (7) Carcasa provista de aislamiento calorífico. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

El espesor máximo del alimento (que es el espacio entre las placas) es ordinariamente de 100 mm. Un inconveniente particular de este sistema es que si el producto es congelado a granel, se producen grandes bloques que dificultan la rotura posterior y separación individual de los productos, presentando problemas de descongelación (Holdsworth, 1988).

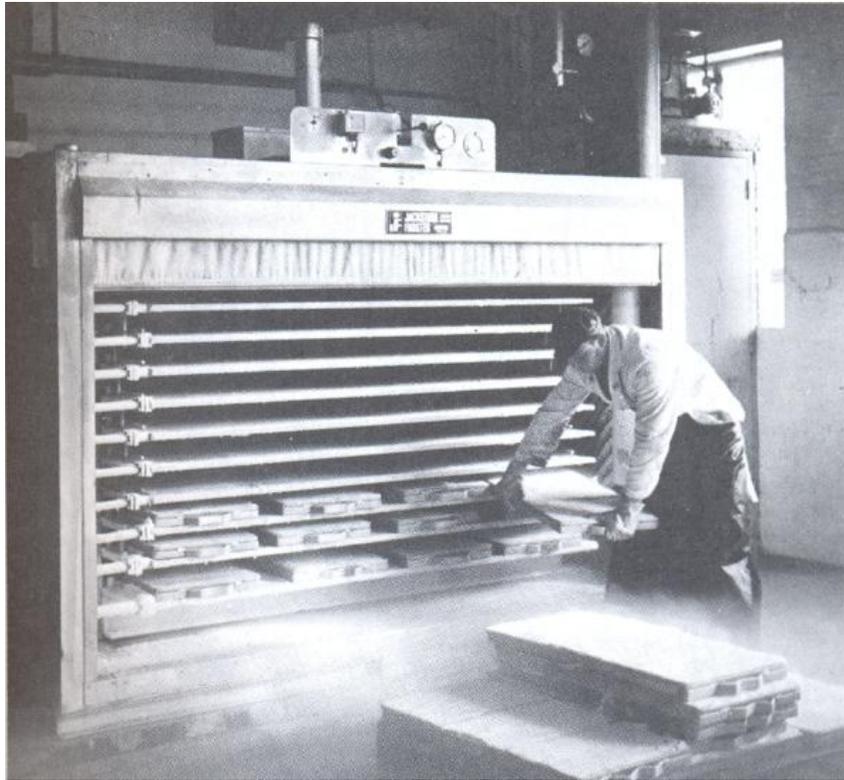


Figura 19. Descarga de producto de un congelador de placas horizontales (Jack Stone Froster Ltd.). (Gruda y Postolski, 1986).

El congelador de placas verticales (figura 20) se utiliza sobre todo para productos en bloques de 10-15 kg; por ejemplo, pescados enteros o desviscerados, despojos de pescados o de carne destinados a la alimentación animal (los pescados blandos como la merluza, ya sean enteros o desviscerados, pueden ser, sensiblemente distorsionados cuando se congela en placas ya sean enteros o desviscerados).

Este tipo de aparato se encuentra principalmente en las fábricas de pescado en las que el pescado es tratado en altamar (figura 21). El principal inconveniente de los congeladores de placas es que la mayoría no están adaptados al funcionamiento en continuo (Mafart, 1994).

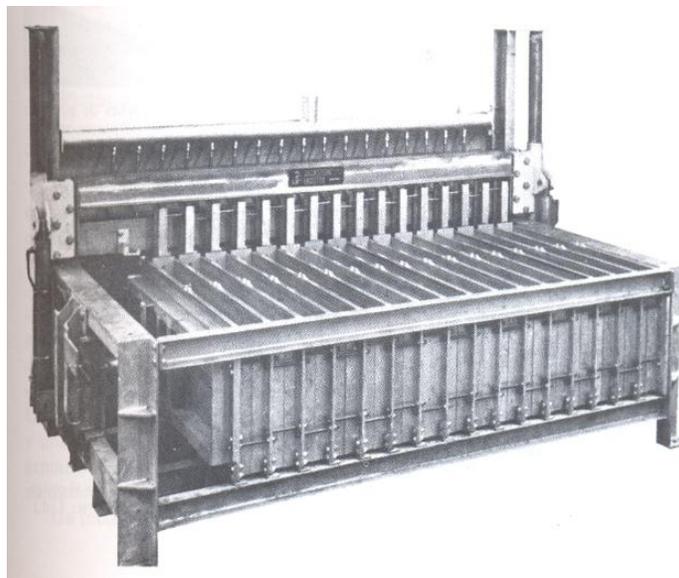


Figura 20. Congelador de placas verticales (Jackstone Froster Ltd.). (Gruda y Postolski, 1986).

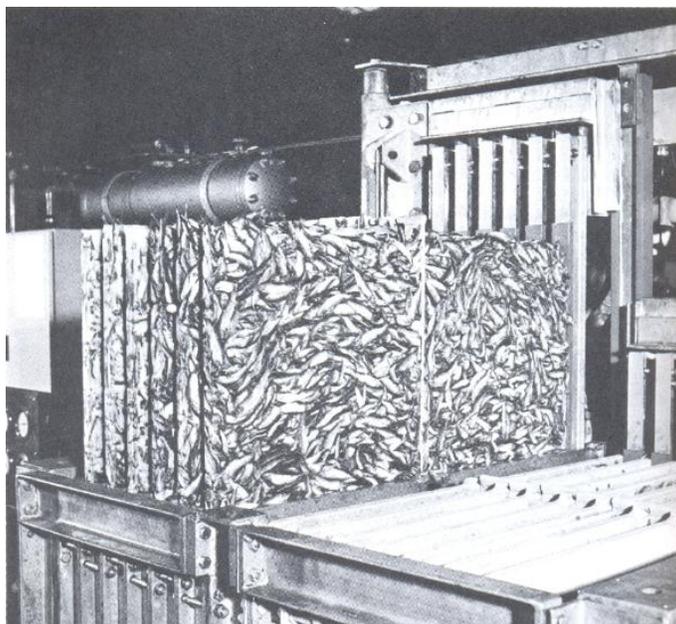


Figura 21. Descarga de bloques de pescado congelado del congelador de placas verticales (Jackstone Froster Ltd.) (Gruda y Postolski, 1986).

Los que si presentan funcionamiento automático, tienen dispositivos para la carga automática de los estantes desde la línea de envasado. Cuando se ha llenado un estante, se pone en contacto con el estante anterior aplicando presión y

pasa a una zona aislada térmicamente donde tiene lugar la congelación. Al final de esta zona, los envases congelados de un estante se descargan a la vez, volviendo los estantes vacíos a la posición de carga. El congelador de placas que se muestra en la (figura 22) opera de esta forma (Potter y Hotchkiss, 2007).

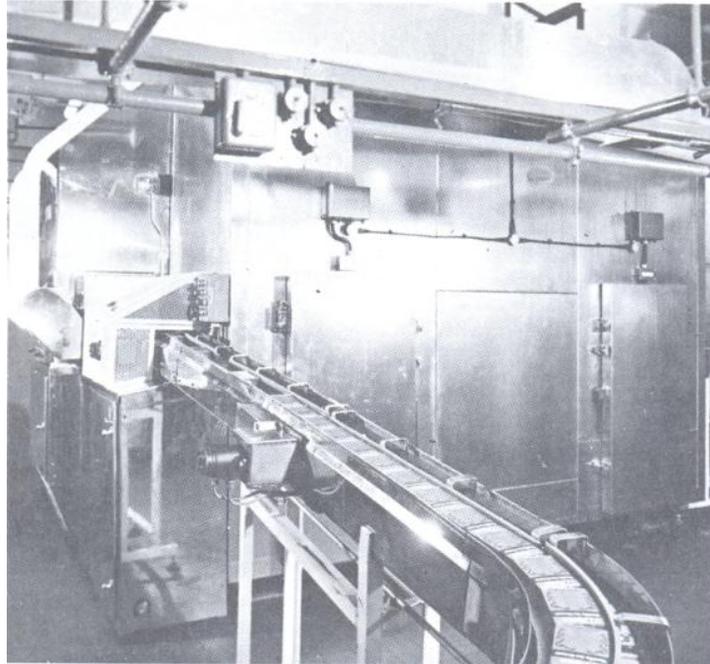


Figura 22. Congelador de placas automático. En primer plano el transportador y la barra de alimentación. (Gruda y Postolski, 1986).

## **7.2 Congeladores por contacto directo (congelación criogénica)**

En la industria alimentaria también se emplean abundantemente sistemas de refrigeración abiertos basados en el empleo de líquidos criogénicos o gases licuados. Estos compuestos criogénicos tienen un punto de ebullición muy bajo y un calor latente de vaporización bastante elevado. Los más habituales son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), líquido o sólido (nieve carbónica), el nitrógeno líquido ( $\text{N}_2$ ) y, el diclorodifluorometano (R-12 o freón 12), cuyas propiedades más destacadas se señalan en la (tabla 7). No existe en este caso conexión con una planta de refrigeración, sino que los gases se licúan en otras instalaciones

industriales y se transportan a la industria alimentaria en recipientes presurizados a baja temperatura y aislados.

El nitrógeno (N<sub>2</sub>) líquido y el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) tienen puntos de ebullición muy bajos. Por esta razón se ha pensado en utilizarlos como líquidos refrigerantes, que proporcionan un foco de temperatura muy baja, superior a la de los freones. Además, sus calores latentes de ebullición son altos, son inodoros, insípidos y químicamente inertes y su disponibilidad y distribución industrial está asegurada a precios razonables, por lo que son aceptables para un método de congelación por contacto directo.

El equipo empleado para la congelación criogénica consiste en túneles de funcionamiento en continuo dotados de cintas sinfín de malla metálica para el transporte del producto. El contacto puede ser por rociado del gas licuado sobre el producto o por inmersión total del producto en el líquido (Ordóñez, *et al.*, 1998).

	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		R-12 <sup>a</sup>
Punto de ebullición (°C) a 100 kPa	-195.8	-78.5 (sublimación)		-29.8
Calor latente de (kJ kg <sup>-1</sup> )	vaporización 199.57	sublimación 572.43	vaporización 347.97	vaporización 165.24
Calor específico (kJ kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ) del gas a 100 kPa	1.024 a 15.5 °C	0.832 a 15.5 °C	0.832 a 15.5 °C	0.6071 a 30 °C
Capacidad refrigerante total (kJ kg <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	de -195.8 a -18 °C 381.64	de -78.5 a -18 °C 622.77	de -78.5 a -18 °C 398.31	de -29.8 a -18 °C 172.40
Consumo (kg kg <sup>-1</sup> ) de producto congelado	1 - 3	1.2 – 3.75		0.01 – 0.03 <sup>c</sup>

Tabla 7. Propiedades de los líquidos criogénicos empleados habitualmente en la industria alimentaria. <sup>a</sup>Los clorofluorocarbonos no pueden fabricarse en la unión Europea, ni importarse, desde enero de 1995. <sup>b</sup>Capacidad refrigerante total = calor latente + [calor específico x (-18 °C – temperatura de ebullición o sublimación)]. <sup>c</sup>El freón R-12 se puede recuperar. Datos de Fennema (1975). (Gruda y Postolski, 1986).

### 7.2.1 Nitrógeno líquido

Las propiedades de interés del nitrógeno líquido están relacionadas con su capacidad calorífica o efecto refrigerante. Al evaporarse de líquido a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  y pasar a gas a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  cada kg de nitrógeno líquido absorbe 200 kJ, el calor latente de vaporización. Además cada kg de gas a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  absorbe otros 186 kJ al elevarse su temperatura a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , correspondiéndose este valor con el producto del calor específico del nitrógeno gaseoso por el aumento de temperatura desde  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es decir, el calor total que absorbe el líquido a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  es de  $386\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Potter y Hotchkiss, 2007).

En la (figura 23) se presenta un diseño común de túnel de congelación criogénico de  $\text{N}_2$  líquido.

El nitrógeno líquido precedente de un tanque de almacenamiento (figura 24) o de una batería de botellas se rocía sobre el producto, que entra en el túnel transportado por una cinta de malla. En el contacto con el producto hierve a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  tomando el calor latente necesario del alimento que se congela a una gran velocidad, y convirtiéndose a nitrógeno gas a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que constituye un foco frío excelente para seguir robando calor a alimento.

Aproximadamente un 50 % de la capacidad congeladora del nitrógeno líquido viene de su ebullición en contacto con el producto y el resto viene del calor sensible potencialmente en juego en el paso de  $\text{N}_2$  gas a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $\text{N}_2$  gas a temperatura ambiente. Por esa razón el  $\text{N}_2$  gas se recircula sobre el alimento en la zona de entrada, donde sube su temperatura a costa de disminuir la del alimento, que se enfría y es así, preenfriado, como pasa a la zona de congelación. El  $\text{N}_2$  gas a temperaturas ya más cercanas a las del medio ambiente se vehicula a la atmósfera ya que no se recupera.

La recirculación del  $N_2$  gas se hace mediante un ventilador que lo proyecta encima del alimento a gran velocidad, con lo que se aumenta el valor del coeficiente superficial en esa zona del túnel criogénico.

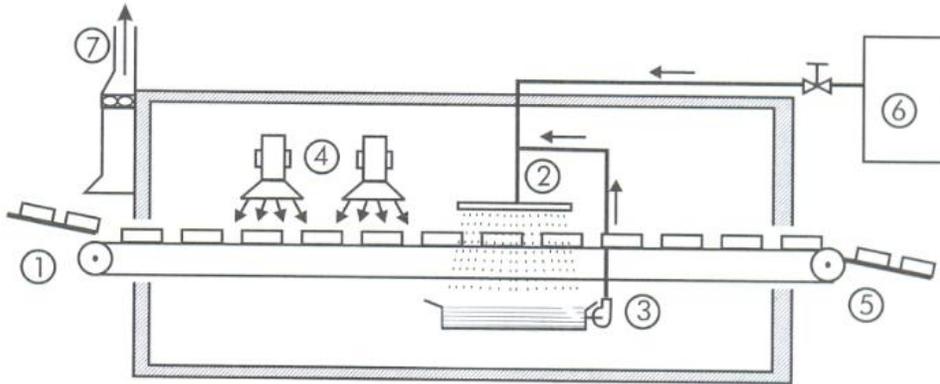


Figura 23. Túnel de congelación de nitrógeno líquido. (1) Entrada del producto. (2) Rociador de  $N_2$  líquido. (3) Recirculación de  $N_2$  líquido. (4) Recirculación de  $N_2$  gas. (5) Salida del producto congelado. (6) Depósito de  $N_2$  líquido. (7) Chimenea de salida de  $N_2$  gas. (Rodríguez, *et al.*, 2002).

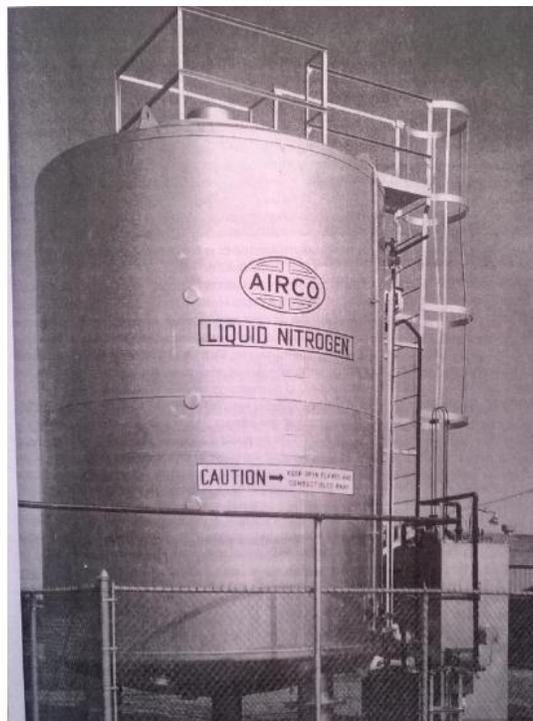


Figura 24. El nitrógeno líquido se almacena en grandes tanques antes de su empleo para la congelación de alimentos. D.C. Brown, Air Products and Chemicals, Inc. (Potter y Hotchkiss, 2007).

Una parte del nitrógeno líquido rociado resbala a una bandeja desde donde se recircula nuevamente a los rociadores.

El alimento llega a la zona de congelación enfriado a temperaturas cercanas a la de congelación pero, a pesar de ello, en el contacto con el nitrógeno líquido puede experimentar un choque térmico, capaz de producir tensiones internas derivadas de contracciones o expansiones rápidas y desiguales en los alimentos con distribución zonal muy heterogénea pudiendo llegar a cuartear.

Antes de su salida el producto recorre una última zona donde se equilibra en parte la diferencia de temperaturas entre la capa externa y el interior del alimento. La velocidad de la cinta sinfín puede regularse asegurando que la temperatura de salida sea siempre la misma independientemente de la temperatura de entrada, siendo por lo general  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  la temperatura final e idónea para su posterior almacenamiento. La capacidad de producción llega hasta los  $3,000\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ . La velocidad de congelación es la más alta que puede lograrse, superando los  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . Potter y Hotchkiss (2007) señalan que en el caso de frutas y hortalizas esto puede requerir tan solo de 1-3 min. Por lo que es uno de los métodos que produce ultracongelados, los cuales Gimferrer (2009) define como, productos congelados a una temperatura inferior a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alcanzando rápidamente la temperatura de máxima cristalización en un tiempo no superior a cuatro horas, lo que permite conservar al máximo la estructura física de los productos alimenticios.

La capacidad de humidificarse del nitrógeno líquido es mejor que la del aire. Las pérdidas de peso del producto por deshidratación son menores que en los sistemas de contacto directo con aire frío. Algunos autores lo señalan como del 0.5%.

Respecto a los costos, las instalaciones son más sencillas, necesitan menos inversión y son de menor consumo energético que las de frío mecánico, pero el refrigerante no se recupera, y esto tiene influencia negativa. En la (figura 25) se comparan los costos de congelación para instalaciones de frío mecánico y criogénico de la misma capacidad ( $3,000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en función de la ocupación o factor de carga anual. A partir del 20% de ocupación los costos son favorables al frío mecánico. Es obvio que la comparación debe hacerse obteniendo productos de igual calidad (Rodríguez, *et al.*, 2002).

El costo de nitrógeno representa más del 90% de los gastos totales de congelación por éste método. De aquí que reducir el consumo de nitrógeno a un mínimo admisible constituya la aspiración principal de los constructores y usuarios de estas instalaciones (Gruda y Postolski, 1986).

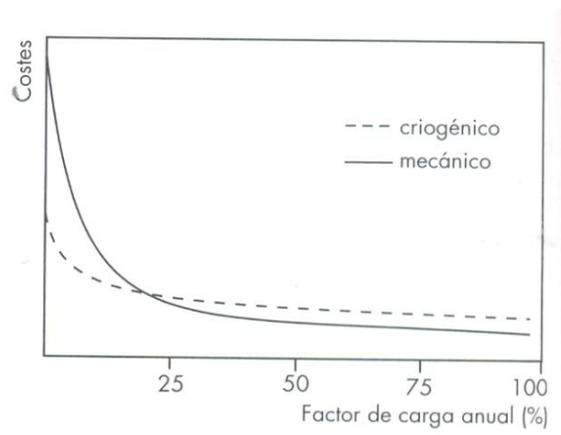


Figura 25. Comparación de costos para frío mecánico y criogénico en función de la carga anual. Datos de C.P. Mallet (1993). (Rodríguez, *et al.*, 2002).

### 7.2.2 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono licuado se almacena, bajo presión de 20 bares, a  $-20^{\circ}\text{C}$  tiene, un punto de ebullición de  $-78^{\circ}\text{C}$  a la presión atmosférica, más alto que el nitrógeno líquido, y esta sustancia le hace preferible cuando el alimento es

lábil al choque térmico. Al entrar en el congelador, el CO<sub>2</sub> líquido se expande a presión atmosférica liberando alrededor de 0.5 kg de gas, el cual se utiliza para el preenfriamiento y 0.5 kg de sólido (nieve carbónica), la cual cae sobre el producto congelándolo y sublimándose, a una temperatura de -78 °C. La fracción gaseosa sólo absorbe 40 kJ de calor sensible por kg. Por el contrario, la sublimación de la nieve carbónica absorbe 570 kJ por kg. Así pues, el balance global del consumo de calor por el CO<sub>2</sub> es aproximadamente el siguiente:

$$0.5 (570 + 40) + (0.5 \times 40) = 325 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

En estos congeladores la zona de congelación debe ser algo más larga por que la nieve carbónica no cambia de estado tan deprisa como el N<sub>2</sub> líquido. En la sublimación se pone en juego el 85% de la capacidad congelante total del CO<sub>2</sub> licuado. El anhídrido carbónico gaseoso tampoco se recupera y es conducido a la chimenea para su liberación a la atmósfera (Mafart, 1994).

El método en la actualidad no tiene comercialmente una gran aplicación para la congelación de frutas y hortalizas. Sin embargo, se emplea durante el transporte y para el mantenimiento de los productos congelados durante limitados periodos de tiempo (Holdsworth, 1988).

### **7.2.3 Hidrocarburos halogenados**

El diclorodifluorometano es el único compuesto del grupo de los freones que se utiliza en contacto directo con el alimento. Tiene un grado de pureza del 99.97%. Con una presión de 0.1 Mpa, hierve el freón R12a -29.7 °C; la entalpía de evaporación es de 165.48 kJ·kg<sup>-1</sup>. Para congelar 1 kg de producto hace falta, por tanto, evaporar alrededor de 2.5 kg de medio refrigerante (420 kJ·kg<sup>-1</sup>bruto, aproximadamente) (Gruda y Postolski, 1986).

Se utiliza en circuito cerrado, ya que a diferencia del nitrógeno ( $N_2$ ) líquido y el anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) éste si es reutilizable. El producto a congelar es transportado sobre una correa a un baño con el criógeno (figura 26); el vapor formado es recuperado por condensación en un 97%, sobre el evaporador de un circuito frigorífico, en la parte superior del aparato. El producto tiene un poco de criógeno cuya mayor parte se evapora en el almacén frigorífico, no dejando más que un pequeño residuo (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Sin embargo, el freón posee algo de sabor y olor, pudiéndoselo transferírsele a los alimentos, por lo que sólo se recomienda para productos envasados (Rodríguez, *et al.*, 2002).

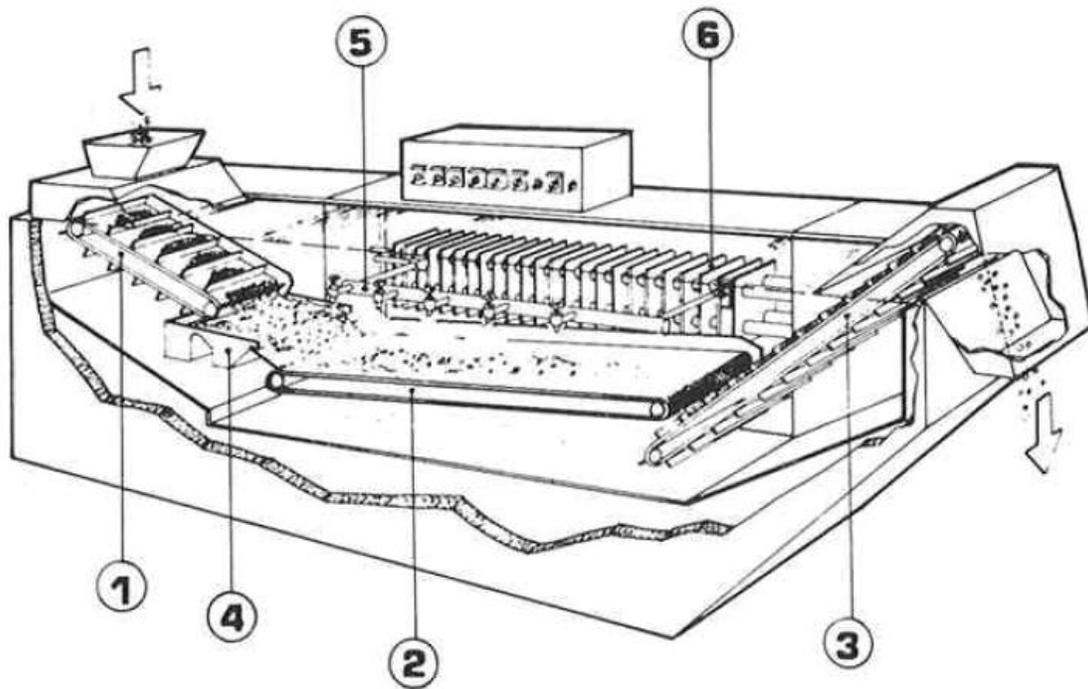


Figura 26. Congelador de fluorocarbono líquido. (1) Cinta transportadora de entrada de los productos. (2) Cinta transportadora de congelación. (3) Cinta transportadora de salida de los productos. (4) Baño de congelación (I.Q.F.). (5) Dispositivos de pulverización. (6) Condensador del criógeno. (Instituto Internacional del Frío, 1990).

*Las ventajas de la congelación criogénica frente a la congelación mecánica son:*

- Menor gasto de instalación en comparación con los sistemas de frío mecánico.
- Los equipos son sencillos, tanto de instalación como de funcionamiento y utilizan menos espacio físico.
- Una reducción en las pérdidas de peso del producto por deshidratación.
- Ofrecen una velocidad de congelación muy rápida y la obtención de productos IQF, de gran calidad.
- El alimento se encuentra en una atmósfera inerte que evita las oxidaciones superficiales.
- Menor consumo energético.

Por el contrario:

- Los fluidos se evaporan al contactar con el alimento.
- No son reutilizables, a excepción del Freón que si se recupera.
- Costo de funcionamiento muy elevado (Gimferrer, 2009).

Mafart (1994) resalta que, mientras que en frío mecánico el fluido frigorígeno de la instalación frigorífica se utiliza en circuito cerrado y además el fluido frigorífico del congelador es reciclado, el propio principio del frío criogénico impone la utilización del fluido en circuito abierto, sin posible reutilización.

Para congelar 1 kg de producto se consume de 1 a 1.5 litros de nitrógeno o de 1 a 1.5 kg de CO<sub>2</sub>, lo que corresponde por lo menos a precios de 2,780 a 4,171 pesos mexicanos por tonelada de producto.

Por ello, se comprende que la criogenia se reserve a casos muy específicos: productos de alto valor añadido, estacionales, bajos volúmenes de producción (menos de 2,500 toneladas al año), según Vrinat (1988) citado por Mafart (1994), fase de puesta en marcha, lanzamiento de un producto nuevo o fase de reparación. Por el contrario, al superar una producción de varias toneladas por hora el frío mecánico es la única solución económicamente razonable.

Para obtener información más detallada sobre las ventajas comparadas del frío criogénico el lector puede recurrir a una excelente serie de artículos de Duminil y Vrinat (1988) citados por Mafart (1994).

### **7.3 Combinación frío mecánico / frío criogénico**

Vrinat (1986) citado por Mafart (1994) nos dice que puede resultar interesante combinar en serie las dos técnicas de congelación, es decir, con una etapa criogénica antes de la etapa mecánica o a la inversa.

#### **7.3.1 Frío criogénico al inicio**

Este proceso permite que el frío llegue muy rápidamente al producto formando una «costra» sólida en la superficie de éste. Al quedar endurecido superficialmente de manera rápida, el producto es menos frágil y resiste mejor los cambios mecánicos. Por otra parte, aunque a continuación se realice congelación mecánica hasta el centro y ésta sea más lenta que la primera fase criogénica, la zona periférica congelada rápidamente ejerce un papel protector contra la exudación y pérdida de aromas. Este medio se emplea a menudo para la congelación de bayas rojas (uvas y tomates).

### **7.3.2 Frío criogénico al finalizar**

Este procedimiento se basa en la ineficacia del frío mecánico al final de la congelación: durante la primera mitad del tiempo de permanencia en el interior del aparato, el producto pierde alrededor del 70 % de su entalpía total, y sólo el 30% durante la segunda mitad del tiempo de congelación. Ello es debido a que al final de la congelación, el gradiente de temperatura entre el fluido frigorífico y la superficie del producto es muy débil y la transferencia de calor disminuye considerablemente. La idea consiste pues en reactivar la transferencia de calor jugando sobre el gradiente de temperatura al recurrir al frío criogénico de modo que la temperatura ambiente puede ser mucho más baja que la del aire de un congelador de frío mecánico. Así pues, la disposición en serie de un aparato criogénico al final del proceso permite aumentar notablemente el rendimiento del congelador por aire, al mismo tiempo que se disminuye el consumo de CO<sub>2</sub> o de nitrógeno líquido del congelador criogénico.

Según Lermuzeaux (1973), citado por Mafart (1994), el proceso mixto permite duplicar el rendimiento de un congelador por aire que de modo independiente congela 1.5 toneladas de coliflor por hora durante un tiempo de permanencia de 35 minutos. Sin embargo, en combinación con el frío criogénico el congelador trata 3 toneladas de producto por hora, durante un tiempo de permanencia de 15 minutos. El tiempo de permanencia en el túnel criogénico es de 7 min con un consumo de nitrógeno de 0,3 litros por kg de producto, en lugar de 1,2 litros si se hiciera únicamente por frío criogénico (Mafart, 1994).

### **7.4 Selección del método y del equipo de congelación**

A la hora de seleccionar el método de congelación para un determinado producto hay que considerar tanto la velocidad de la congelación adecuada para que se mantenga su calidad (según su composición, tamaño, forma y envasado) como el costo de operación. La importancia de la congelación depende en gran

medida de la composición global del alimento (tabla 8). La velocidad de la congelación estará determinada no sólo por las propiedades del alimento, sino también por la eficacia de la transmisión de calor. En el (tabla 9) se comparan los distintos métodos de congelación según la eficacia de la transmisión de calor y se muestran los tiempos de procesado que requieren algunos alimentos representativos.

Considerando la velocidad de congelación como la diferencia de temperatura entre la inicial y la final dividido por el tiempo total empleado en la congelación se distinguen:

- a) Congelación lenta:  $\leq 2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (congeladores de aire estático).
- b) Congelación rápida:  $10\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (congeladores de aire forzado).
- c) Congelación ultrarrápida:  $1.000\text{-}10.000 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (congeladores criogénicos).

GRUPO 1: Productos con elevado extracto seco: guisantes, carnes con alto contenido en grasa, algunas comidas preparadas, etc.	La velocidad de congelación no tiene influencia en la calidad final.
GRUPO 2: Pescado, carne magra, algunos alimentos preparados y listos para su consumo que contienen almidón.	La velocidad de congelación debe ser $> 0,5 - 1 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$
GRUPO 3: Fresas, zanahorias, judías, materiales gelatinosos como ovoproductos y salsas a base de harina.	La velocidad de congelación debe ser $> 3 - 6 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$
GRUPO 4: Productos con poco extracto seco: tomates, pepinos, frambuesas, etc.	Es muy conveniente el empleo de altas velocidades de congelación.

Tabla 8. Clasificación de los alimentos según la influencia que tiene la velocidad de congelación<sup>a</sup> en su calidad.

<sup>a</sup> La velocidad de congelación se refiere a la rapidez con que disminuye la temperatura desde los  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta los  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Brennan, Butters, Cowell y Lilley (1990). (Ordóñez, *et al.*, 1998).

Método	Coefficiente de transmisión de calor (W m <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup> )	Alimento	Tiempo aproximado para la congelación a -18 °C
Aire estático	6 – 9	Canales pequeñas Canales grandes	3 horas 3 días
Aire a 5 m s <sup>-1</sup>	25 – 30	Guisantes a granel	20 minutos
Congelador en espiral	25	Hamburguesas, palitos de pescado	15 minutos
Lecho fluidizado	90 – 140	Guisantes a granel Palitos de pescado	4 minutos 15 minutos
Congelador de placas	100	Hortalizas (envasadas; 1 kg) Pescado (bloques; 25 kg)	25 minutos 75 minutos
Congelador de superficie rascada		Helado (1 mm espesor)	0,5 minutos
Inmersión en freón	500	Guisantes Hamburguesas	0,5 minutos 5 minutos
Líquidos criogénicos (N <sub>2</sub> líquido)	1.500	Frutas y hortalizas Pan (0,5 kg) Hamburguesas	0,5 a 6 minutos 1,5 minutos 4 minutos

Tabla 9. Comparación de diversos métodos de congelación según su coeficiente de transmisión de calor. Adaptado por Fellows (1994). (Ordóñez, *et al.*, 1998).

La velocidad de la congelación a menudo también se expresa como la velocidad a la que avanza el frente de congelación desde la superficie de producto (donde se inicia la congelación) hacia su centro térmico. Según esto, los sistemas de congelación se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Congelación lenta: < 0.2 cm·h<sup>-1</sup> (congeladores de aire estático y cámaras de almacenamiento en congelación).
- b) Congelación semirrápida: 0-3 cm·h<sup>-1</sup> (congeladores de aire forzado, túneles de congelación y congeladores de placas).
- c) Congelación rápida: 5-10 cm·h<sup>-1</sup> (congeladores de lecho fluidizado).
- d) Congelación ultrarrápida: 10-100 cm·h<sup>-1</sup> (congeladores criogénicos).

A excepción de la congelación lenta, el resto se pueden considerar satisfactorios para la mayoría de los alimentos. Las frutas y hortalizas mantienen su calidad con cualquiera de los métodos descritos, siendo frecuente el empleo de congeladores de placas para productos envasados y congeladores o túneles de aire forzado y de lecho fluidizado para obtener productos IQF. La calidad de aquellas frutas y hortalizas que tienen una estructura frágil suele ser mejor con una congelación rápida (Ordóñez, *et al.*, 1998).

## **8 ENVASADO**

Un requisito esencial para conservar adecuadamente alimentos por congelación es practicar un buen envasado, ya que la sola aplicación de bajas temperaturas no basta por lo general para conservar la buena calidad de los artículos congelados durante largos períodos de almacenamiento (Gruda y Postolski, 1986).

El envasado de los alimentos congelados impone ciertas condiciones especiales. Los materiales de envasado de estos alimentos deben ser muy impermeables al vapor de agua, dada la tendencia del agua a sublimarse en la superficie congelada de los alimentos y a depositarse en las superficies más frías de los congeladores y cámaras de almacenamiento. La mayor parte de los alimentos se expanden durante su congelación, aumentando el volumen de algunos hasta un 10%. Por lo tanto, los envases en los que se congelan los productos deben ser fuertes y flexibles. Al igual que en el caso de los otros alimentos que se han de almacenar durante meses o años, los envases deben proteger de la luz y el aire. Deben ser herméticos al agua para evitar derramamientos durante la descongelación, que habitualmente se realiza justo antes de utilizar el alimento y en los mismos envases en los que se encuentran (Potter y Hotchkiss, 2007).

### **8.1 Materiales de envasado**

Los primeros tipos de material de embalado fueron cartones aislados con celofán a prueba de humedad. Posteriores progresos llevaron al uso de cartón parafinado con varias formas y tamaños. Actualmente el uso de películas de polietileno de baja densidad, de 38-50  $\mu\text{m}$  de espesor, y hasta 75 $\mu\text{m}$  en el envasado de productos destinados a catering, así como revestimientos y laminados, han revolucionado la industria ya que su impermeabilidad y su comportamiento a bajas temperaturas son superiores a los materiales anteriores,

con excepción de las láminas que contienen aluminio. También se usa, para hortalizas y para algunas frutas, cartón recubierto de cloruro de polivinilideno que se aplica fundido a alta temperatura. Este tiene la ventaja de la rigidez en comparación de las láminas a la vez que permite sellar los terminales del envase; la apertura se hace tirando de una banda perforadora.

También se emplea polipropileno que tiene una rigidez mayor y a la vez puede ser decorada fácilmente con la descripción del producto y las instrucciones de uso, así como indicaciones con fines publicitarios (Holdsworth, 1988).

Los embalajes fisiológicos, especialmente porque permiten un grado de saturación muy elevado, han resultado de gran interés para algunas especies como zanahorias, coles, pepinos, caracterizadas por presentar una cierta resistencia a podredumbres. Las hortalizas foliosas, en cambio, solo admiten embalajes fisiológicos por espacios de tiempo cortos, por ejemplo durante el transporte, ya que la condensación de vapor de agua sobre las hojas estimula el desarrollo de numerosas podredumbres. Las hortalizas (chicharos y frijoles) son muy sensibles al CO<sub>2</sub>, por lo que en el interior de las bolsas de polietileno tienden a desarrollar fermentaciones (Molinas y Duran, 1970).

El empaquetado comercial se efectúa antes o después de la congelación; en el segundo caso, los productos ultracongelados individualmente (por ejemplo, productos a base de patatas) se envasan, sea en recipientes conteniendo de 160 kg a algunos kilogramos, sea revuelto en cajas dobles de polietileno pudiendo contener muchas centenas de kilogramos lo que permite una más eficiente utilización del espacio. En este último caso, se coloca el producto de empaques de «al por menor» según las necesidades del mercado, frecuentemente en sacos de plástico flexibles sellados en caliente; este tipo de embalaje es económico y de fácil empleo, pero protege mal el producto contra los perjuicios mecánicos (caso de las inflorescencias de coliflores).

Algunos fabricantes comienzan a emplear láminas de aluminio. Las espinacas se envasan habitualmente antes de la congelación, lo que se efectúa en túnel o en un congelador de placas.

El envasado al vacío mejora notablemente la estabilidad hacia los hongos, y de ciertos productos tales como los espárragos y diversas hierbas aromáticas. El envasado al vacío también se utiliza en sacos plásticos, estancos a los gases y resistentes al agua caliente (Instituto Internacional del Frío, 1990).

El método de cocción en la bolsa se hizo para productos preparados tales como platos de hortalizas en salsa. Con éstos el consumidor sólo tiene que colocar el envase sin abrir en agua hirviendo durante unos minutos para que el producto alcance la temperatura a la que será consumido. Los materiales utilizados son normalmente polietileno de densidad media, revestido con poliéster o con nylon aunque el polietileno de alta densidad también se usa. La figura 27 muestra el control de peso de chicharos que han sido envasados en típicas bolsas de plástico (Holdsworth, 1988).

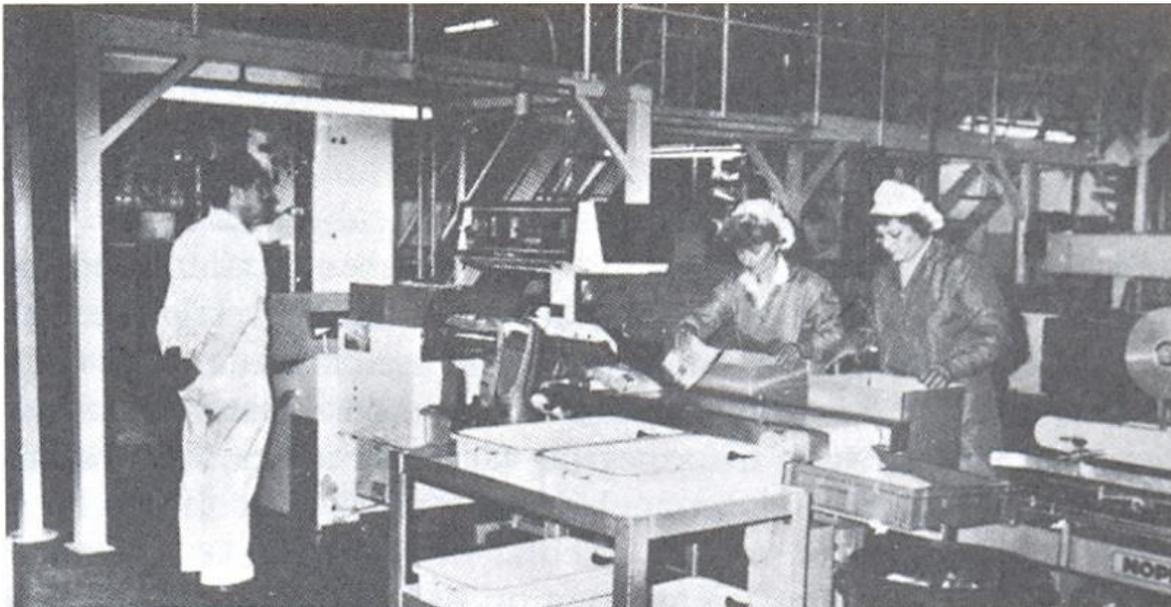


Figura 27. Operación típica de control de peso para un producto hortícola (Frigoscandia, Kings Lynn). (Holdsworth, 1988).

## 8.2 Costos del envasado

El envase es también una parte importante del proceso de fabricación. Su llenado, cierre y procesado debe realizarse eficientemente y a gran velocidad para abaratar los costos. El envase debe estar hecho de materiales de la dureza suficiente para protegerlo durante la distribución, pero, al mismo tiempo, ser de bajo precio para poder emplearlo en el envasado de alimentos. Los costos del envasado, que incluyen los materiales, así como la maquinaria empaquetadora, son una parte importante de la fabricación de los alimentos, y en algunos casos, estos costos pueden ser mucho mayores que el de la materia prima usada para su elaboración. Por tanto, los materiales de envasado deben ser económicamente acordes con el valor del producto alimenticio (Potter y Hotchkiss, 2007).

En términos generales, los costos por unidad son más altos cuanto más eficaz es la acción protectora del envase. Debido a que el artículo congelado es una mercancía cada vez más difundida y que el precio de su envase debe guardar una relación económicamente razonable con el precio del propio producto, razones económicas inducen frecuentemente a utilizar materiales de envasado más baratos, pero que también es frecuente que resulten menos eficientes (Gruda y Postolski, 1986).

El envasado de alimentos ha llegado a ser tan complejo que se ha desarrollado toda una industria para satisfacer sus necesidades; de hecho, el envasado industrial por sí solo, es una de las industrias más grandes en Estados Unidos, donde alrededor de la mitad de los envases producidos se utilizan para alimentos y solamente el 23% se destinan a productos industriales (tabla 10). Hoy día las mayores compañías de alimentación tienen una división de envasado; y las universidades ofrecen un curriculum que profundiza en la ingeniería de envasado.

Es importante elegir el mejor envase, ya que además de proteger al producto debe, igualmente, permitir comunicar enseñanzas al consumidor, quien es el que

identifica el producto ante el mismo. Además de convencerlo para que compre dicho producto, el envase debe también informarle de cómo preparar o usar el producto, de la cantidad que contiene, de los ingredientes, cualidades nutricionales, y cualquier otra información pertinente. Mucha de esta información se exige específicamente por la legislación vigente en muchos países, incluidos los Estados Unidos (Potter y Hotchkiss, 2007).

Producto de consumo	% del total de dólares
Alimentos y bebidas	53
Productos generales	16
Productos químicos del hogar	8
Productos industriales	23

Tabla 10. Porcentajes de envases utilizados para diferentes productos. Datos de (The Rauch Guide to the Packaging Industry, 1986. Rauch Associates, Inc., Bridgewater, N.J.) (Potter y Hotchkiss, 2007).

## 9 LA CADENA DEL FRÍO

La cadena del frío es una expresión que comprende la secuencia de instalaciones, vehículos y aparatos desde la producción del alimento congelado hasta el consumidor. Esta cadena se establece en función de que el producto congelado debe mantener una temperatura  $\leq -18$  °C a lo largo de todo el proceso de distribución comercial.

Los principales eslabones de la cadena son:

- La instalación frigorífica productora del alimento congelado a una temperatura de -18 °C
- El almacén frigorífico hasta la expedición del producto congelado, que se efectúa a temperaturas entre -25 y -30 °C.
- Los vehículos frigoríficos para el transporte a los depósitos de distribución. El transporte se efectúa a -25 °C.
- Los depósitos de distribución a -20 °C.
- Los vehículos distribuidores a los centros de venta. El transporte se hace a -20 °C.
- Los centros de venta. Las vitrinas tienen que asegurar temperaturas entre -18 y -20 °C.
- También debería considerarse el transporte y el frío doméstico como eslabones de la cadena.

(Rodríguez, *et al.*, 2002)

### 9.1 Cámaras frigoríficas

Estos son esencialmente grandes almacenes aislados construidos sobre cimientos calentados para evitar el daño producido por el hielo. Con sistemas modernos de manipulación y embalado, es también necesario mantener estas áreas de actividad a unos -10 °C. Se utilizan principalmente dos sistemas para el enfriado de las cámaras. El primero consiste en unidades especiales constituidas

por una fila de serpentines fríos sobre los que se lanza aire con ventiladores de forma que pueda circular entre los productos almacenados. El segundo consiste en tener las tuberías de los serpentines adosadas a las paredes y suelo del almacén. Cualquiera que sea el sistema que se aplique, debe tener suficiente capacidad de refrigeración para mantener al almacén a la temperatura requerida. Es también necesario que el producto esté colocado de tal manera que no dificulte el flujo del aire refrigerado en la cámara frigorífica. Los materiales de aislamiento deben poseer propiedades especiales (por ej. rigidez, baja conductividad térmica e impermeabilidad a la humedad) para un funcionamiento correcto. Debe hacerse un balance económico entre el espesor del aislante y la capacidad de refrigeración. Un aspecto importante del mantenimiento de las cámaras frigoríficas es la descongelación de las tuberías refrigeradas; para mantener la temperatura es necesario disponer de varios circuitos de tuberías separados que puedan ser descongelados alternativamente. En las grandes cámaras frigoríficas se hace circular un gas caliente por los tubos refrigeradores durante suficiente tiempo para que el hielo se desprenda de las tuberías. Es esencial reducir la fluctuación de la temperatura al mínimo para asegurar que se mantenga la calidad del producto durante el almacenamiento (Holdsworth, 1988).



Figura 28. Cámara frigorífica constituida por una fila de serpentines fríos que lanzan aire por medio de ventiladores. <http://infritec.com/camaras-frigorificas-paneles-3-m/>

## 9.2 Transporte

Molinas y Duran (1970) citan que, la aplicación de la atmosfera controlada al transporte es, quizá, lo más interesante, tanto por ofrecer la posibilidad de aumentar la capacidad de transporte en sí como para mejorar la presentación del producto. La moderna introducción de los transportes refrigerados por expansión de nitrógeno líquido, que permiten obtener una atmosfera reductora, temperatura constante y, al mismo tiempo, humedad relativa alta, ofrece posibilidades muy interesantes.

El sistema más simple consiste en cajas aislantes de espuma de poliestireno o poliuretano, que son ligeras y eficaces para periodos de tiempo cortos. Para grandes distancias se pueden utilizar contenedores refrigerados, para el transporte por carretera, aire o ferrocarril se utilizan varios métodos diferentes de mantenimiento a baja temperatura, como el dióxido de carbono sólido, mezclas eutécticas (por ejemplo, sal y agua) y refrigeración por spray de nitrógeno líquido.

Los puntos más importantes a tener en cuenta durante el transporte de alimentos congelados son:

- 1) Que el traslado del producto desde la cámara frigorífica al camión refrigerado debe ser rápido.
- 2) El compartimento refrigerado debe estar entre -18 °C y -25°C antes de introducir el producto.
- 3) La colocación en el contenedor debe ser correcta para que haya un intenso flujo de aire entre paredes y producto.
- 4) Los contenedores deben estar llenos según su capacidad.
- 5) Abrir lo mínimo las puertas, debiendo tener algún tipo de protección cuando la puerta haya de estar abierta para sacar los productos.

(Holdsworth, 1988).



Figura 29. Vehículo refrigerado para el transporte de alimentos congelados por carretera, cargando producto en la fábrica de producción. <http://chiclayo.olx.com.pe/camaras-refrigeradas-iid-322188225>

### 9.3 Presentación y venta al por menor

Los vendedores al por menor de productos congelados deben poseer grandes congeladores del tipo horizontal que se abren por la parte superior. Estos son ideales para este tipo de venta, cuidando de que no permanezcan abiertos mucho tiempo. Sin embargo, en los grandes supermercados en los que los productos se venden por atractivo visual, es necesario refrigeradores de acceso abierto. La mayoría de los supermercados utilizan sistemas de fondo profundo con la parte superior abierta en los que el aire circula entre los productos. Son los más satisfactorios cuidando que los productos congelados se encuentren por debajo de la línea de almacenamiento y que ninguno de los productos esté expuesto a la temperatura ambiente. Debido a que este tipo de refrigeradores ocupa bastante espacio algunos detallistas utilizan vitrinas de bandejas múltiples en los que el aire frío desciende en cascada desde la parte superior del sistema. En modelos más sofisticados se usan puertas de cristal para añadir una protección a los productos congelados (Holdsworth, 1988).



Figura 30. Vitrinas de bandejas múltiples para productos congelados utilizadas en los supermercados. <http://www.gelighting.com/LightingWeb/na/case-studies/food-city.jsp>

#### **9.4 Tiempos de carga y descarga y recursos técnicos y de personal**

La cadena presenta eslabones más débiles, como el tiempo de carga y descarga durante el transporte, que tiene lugar entre las diferentes fases: a la salida del centro de producción o almacenamiento, en la plataforma de distribución y en los puntos de venta. Además, hay que añadir el tiempo transcurrido entre la descarga y su ubicación en el lugar asignado y el tiempo entre que el producto se introduce en el carro de la compra y llega al refrigerador-congelador del consumidor final. En el caso de la hostelería habría que sumar a la cadena un eslabón más entre el proveedor y el consumidor final.

Para el estricto control de las temperaturas en todas las fases deben contarse tanto con recursos técnicos específicos como con personal entrenado. Respecto a los recursos técnicos tradicionales se incluyen almacenes frigoríficos y congeladores, todos ellos con dispositivos de lectura y registro de variación de temperatura, vehículos especiales refrigerados con controladores térmicos y

sistema de registro o envases de materiales isoterms que minimicen las posibles fluctuaciones de temperatura. Los sistemas más avanzados de gestión de temperatura incluyen desde la vigilancia automatizada en el transporte a tiempo real por GPS hasta el control centralizado de los niveles de temperatura en los equipos de frío de los puntos de venta en grandes superficies que pueden ser vigilados y corregidos a distancia.

El personal debe contar además con formación adecuada para controlar, vigilar y registrar todos los datos relacionados con el control de temperatura, además de conocer el protocolo aplicable en caso de rotura de la cadena de frío.

El diseño de la logística del producto debe realizarse por temperaturas y no por tipo de alimentos. Por ejemplo, una lechuga y una ensalada de IV gama ya preparada pertenecen al mismo tipo de alimento pero tienen diferentes necesidades respecto a su temperatura de mantenimiento, por lo que la distribución se realizará por separado.

Es importante señalar, que de nada sirve, que el fabricante y el distribuidor pongan especial cuidado en mantener la cadena de frío si luego el consumidor no toma las medidas adecuadas. La compra debe comenzar por los productos no perecederos, seguir por los frescos y acabar por refrigerados y congelados en el último momento, colocar los alimentos refrigerados y muy especialmente los congelados en bolsas isoterms con acumulador de frío que mantengan la temperatura adecuada hasta llegar a nuestro hogar. Una vez en él, deben introducirse en el mismo momento en la nevera o congelador según corresponda (Pelayo, M., 2008).

## **9.5 Daños provocados al romperse la cadena de frío**

Si alguno de los puntos de la cadena de frío llegara a verse comprometido, toda ella se vería afectada perjudicando la calidad y seguridad del producto. Por una parte se facilita el desarrollo microbiano, tanto de microorganismos alterantes como de patógenos productores de enfermedades, y la alteración del alimento por reacciones enzimáticas degradantes.

Si un alimento congelado se descongela, aunque sea parcialmente, su entorno se vuelve más favorable y, por lo tanto, la actividad microbiana se reanuda. Si volvemos a reducir la temperatura la actividad volverá a inhibirse pero la población de microorganismos será mucho mayor que antes del aumento de temperatura. Una nueva descongelación las volverá a activar. Cuanto mayor sea el número de microorganismos, mayor es la probabilidad de que el alimento se deteriore o de que éstos constituyan una población suficiente para provocar una toxiinfección alimentaria.

Por el contrario, una cadena de frío que se mantiene intacta durante la producción, transporte, almacenamiento y venta, garantiza al consumidor que el producto que recibe se ha mantenido en un rango de temperatura en el que los microorganismos, especialmente los más perjudiciales para la salud si es que existieran, han detenido su actividad. Además, una temperatura de conservación adecuada preservará las características del alimento tanto organolépticas como nutricionales (Pelayo, M., 2008).

## **10 UTILIZACIÓN DE LAS HORTALIZAS CONGELADAS POR EL CONSUMIDOR**

El comprador de alimentos congelados asume la responsabilidad de manipularlos, almacenarlos y cocerlos correctamente. No se deben comprar más que los productos presentados en muebles especiales donde la temperatura del producto no debe sobrepasar los -18 °C; los paquetes comprados no deben haber sido revueltos (Instituto Internacional del Frio, 1990).

### **10.1 Conservación en el domicilio**

Si las recomendaciones indicadas en la presente publicación se siguen fielmente, el alimento congelado entregado al consumidor ha guardado una gran parte de su facultad de conservación, de manera que el comprador puede todavía conservarlo si dispone de un equipo adecuado. A la temperatura ambiente, la mayor parte de los alimentos congelados se descongelan en 3 o 4 horas (Instituto Internacional del Frio, 1990).

#### **10.1.1 Conservación en el frigorífico casero**

Por regla general, la mayor parte de los alimentos congelados se mantienen en buen estado hasta 3 días en el compartimento del hielo de un refrigerador casero (Instituto Internacional del Frio, 1990).

#### **10.1.2 Conservación en el frigorífico << de estrellas >> o un congelador casero**

Diversos países aplican el sistema ISO indicando en el <<congelador>> del frigorífico casero con un número variable de estrellas, la temperatura que puede mantener, así como la duración de conservación posible para los productos: 1 estrella para -6 °C; 2 estrellas para -12 °C, 3 estrellas para -18 °C.

De manera general, las tres temperaturas indicadas anteriormente permiten conservar la mayor parte de los alimentos congelados durante una semana, un mes y tres meses respectivamente (Instituto Internacional del Frio, 1990).

## **10.2 Descongelación**

El proceso de descongelación no es exactamente el inverso del proceso de congelación debido a las diferentes propiedades físicas del hielo y el agua: la conductividad térmica del hielo es aproximadamente cuatro veces mayor que la del agua, la difusividad térmica ocho veces mayor y el calor específico la mitad.

En la congelación, la capa de hielo crece desde el exterior del alimento hacia el centro térmico y a medida que se va haciendo más gruesa la velocidad de transmisión de calor aumenta. Por el contrario, en la descongelación la capa de hielo se va fundiendo desde el exterior hacia dentro, y a medida que va creciendo el grosor de la capa de agua la velocidad de transmisión de calor se reduce. Por ello, a igualdad de salto térmico la descongelación es más lenta.

En la figura 31 se ha representado la variación de la temperatura del centro térmico en un proceso típico de descongelación con aporte de calor desde un foco caliente convencional. En una primera fase sube la temperatura hasta un valor cercano al punto de congelación en un tiempo relativamente corto debido a que la transferencia de calor se hace a través de la entera capa congelada. Al fundirse el hielo la transmisión de calor se ralentiza, y el alimento se mantiene durante un tiempo prolongado en esa temperatura próxima al punto de congelación, hasta que finalmente alcanza la temperatura ambiente.

En la fase BC, con temperaturas entre  $-5$  y  $-3$  °C pueden aparecer efectos de degradaciones microbiana o química, tanto en la descongelación doméstica como en la industrial. También, en el caso de que la congelación hubiera sido lenta o se hubiese dado lugar a recristianización con rotura celular, en esta fase aparece un

exudado formado de líquidos celulares, que contiene nutrientes y agua no reabsorbida en la descongelación por la histéresis y pérdida de permeabilidad de las membranas celulares aunque no se hayan roto (Rodríguez, *et al.*, 2002).

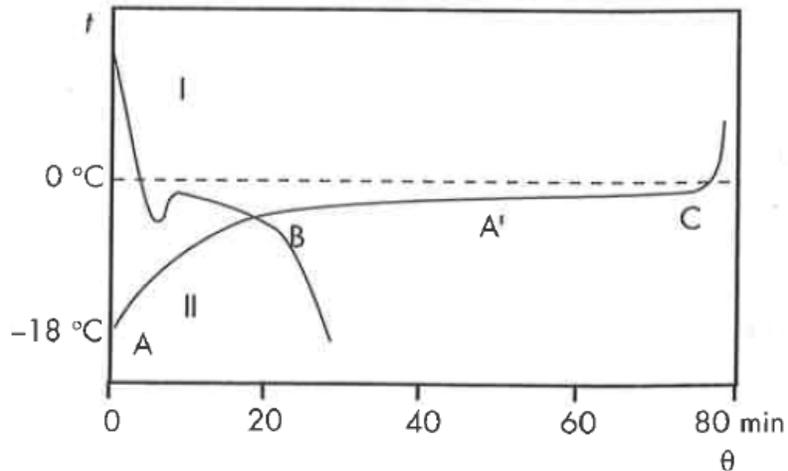


Figura 31. Variación de la temperatura en la descongelación:  
I: Curva de congelación, II: Curva de descongelación (Rodríguez, *et al.*, 2002).

El método de la descongelación de los alimentos depende en cierta medida de la forma en que vayan a ser utilizados. Como norma general, las hortalizas deben ser cocidas sin descongelar; el Instituto Internacional del Frío (1990) cita que de esta manera se conservaran al máximo su aroma, su textura y su color. Puede ser necesario tener que romper los bloques de hortalizas durante la cocción y el tiempo de cocción es menor que para las hortalizas frescas.

Solamente se sacara del congelador la cantidad de hortalizas que se precise de forma inmediata. Los alimentos totalmente descongelados no se volverán a congelar, así como tampoco los alimentos descongelados y extraídos de sus envases. Bajo ninguna circunstancia se descongelará y congelara repetidamente un alimento ya que su calidad experimenta un deterioro significativo y puede constituir un riesgo sanitario (Southgate, 1992).

## 11 DURACIÓN PRÁCTICA DE CONSERVACIÓN DE HORTALIZAS CONGELADAS

La duración de conservación de casi todos los alimentos congelados depende de la temperatura de almacenamiento y la (tabla 11) distingue las temperaturas para las cuales se indican las duraciones prácticas de conservación, entendiéndose que se aplican a productos de alta calidad inicial, preparados y embalados según las reglas de buenas prácticas de manufactura (BPM), y mantenidos a una temperatura «razonablemente» constante. Las duraciones indicadas han sido realizadas teniendo en cuenta las informaciones publicadas en la literatura técnica y la opinión de un gran número de especialistas; siempre se hace necesario subrayar que, en la práctica, se encuentran divergentes importantes en relación con los datos aportados en esta tabla; tienden a la variabilidad inherente al carácter biológico de los productos, pero también a otras dos razones básicas:

- a) Para determinar la duración práctica de conservación, se debe tener en cuenta la naturaleza y la calidad del producto, las condiciones de su preparación y el embalaje (3 factores simbólicamente designados en inglés PPP: product, processing, packaging = producto, procesamiento, empaquetado), así como las preferencias del consumidor.
  
- b) Para determinar el tiempo que dura esta conservación, se emplean métodos diversos y se adoptan criterios para decidir cuando termina la «duración práctica de conservación» del producto; este último punto depende de las preferencias del comercio y del consumidor.

(Instituto Internacional del Frío, 1990)

Producto	-12 °C	-18 °C	-24 °C
<i>Frutas</i>			
Frambuesas/Fresas (crudas)	5	24	>24
Frambuesas/Fresas con azúcar	3	24	>24
Duraznos, Chabacanos, Cerezas (crudas)	4	18	>24
Duraznos, Chabacanos, Cerezas con azúcar	3	18	>24
Zumos de frutas concentrados	-	24	>24
<i>Hortalizas</i>			
Espárragos verdes	3	12	>24
Ejotes	4	15	>24
Frijoles blancos (alubias)	-	18	>24
Brócoli	-	15	24
Coles de Bruselas	6	15	>24
Zanahorias	10	18	>24
Coliflores	4	12	24
Maíz (en mazorca)	-	12	18
Maíz (en grano)	4	15	>24
Hongos (cultivados)	2	8	>24
Chicharos	6	24	>24
Pimientos (rojos y verdes)	-	6	12
Patatas fritas a la francesa	9	24	>24
Espinacas (troceadas)	4	18	>24
Cebollas	-	10	15
Puerros (escaldados)	-	18	-

Tabla11. Duración práctica de la conservación, en meses, a diversas temperaturas de almacenamiento. (Instituto Internacional del Frío, 1990).

### 11.1 Interpretación de la tabla de las duraciones prácticas de conservación

Los comentarios que proceden hacen hincapié en que las indicaciones de la (tabla 11) deben ser consideradas cuidadosamente cuando se trata de aplicarlas a cualquier situación real; constituyen una guía muy amplia de los potenciales de almacenamiento de los productos mencionados. Para prever la posible duración de conservación de un producto en particular, es extremadamente importante conocer sus características «producto, procesamiento, empaquetado» (la triple PPP). Igualmente hace falta resaltar que el deterioro de un producto en el curso de almacenamiento frigorífico, es un proceso lento, continuo, acumulativo e

irreversible y no un «accidente» que sobreviene repentinamente al fin del periodo indicado en la tabla.

Estas observaciones hacen comprender que las indicaciones de la tabla no deben ser contempladas como límites absolutos a aplicar rígidamente. Habiendo echo estas reservas, la tabla debe constituir una guía útil para los interesados.

De una manera general, se pueden clasificar los productos en función de su estabilidad en estado congelado de la manera siguiente:

- Estabilidad débil – duración de la conservación a -18 °C: menos de 8 meses,
- Estabilidad media – duración práctica de conservación a -18 °C: 8-15 meses,
- Estabilidad grande – duración práctica de conservación a -18 °C: más de 15 meses.

Los productos de estabilidad débil pueden ser designados como «térmicamente sensibles»; para aumentar la duración de la conservación de tales productos, se debe prestar una particular atención a los factores «PPP», que favorece la conservación y adoptar una temperatura de almacenamiento inferior a -25 °C (preferentemente a -30 °C) (Instituto Internacional del Frío, 1990).

## **11.2 Indicadores para medir la vida útil restante del alimento congelado y su aceptabilidad**

Dada la repercusión de las fluctuaciones de la temperatura durante el almacenamiento en la calidad de los productos congelados, se han desarrollado diversos indicadores para mostrar de forma sencilla la historia térmica del producto tras su congelación e indicar la vida útil restante. La mayoría de estos indicadores consiste en etiquetas autoadhesivas que se aplican a los envases del producto y se pueden inspeccionar en cualquier punto de la cadena de distribución.

Habitualmente se basan en reacciones químicas o enzimáticas, o en la simple difusión de un compuesto, que provocan modificaciones en el indicador. Estas modificaciones han de ser irreversibles y depender de la temperatura de forma análoga a la mayoría de las reacciones fisicoquímicas. Los más sencillos muestran un cambio de color cuando se ha excedido una determinada temperatura, pero no indican el tiempo que el alimento ha permanecido en esa temperatura. Otros indicadores más avanzados estiman la pérdida de vida útil del alimento con una velocidad de cambio similar al deterioro del alimento. En la (figura 32.a) se muestran dos indicadores de tiempo–temperatura de este tipo. El indicador *Fresh-Check* se basa en la polimerización en el círculo interior de una fina capa de un monómero. La polimerización, dependiente del tiempo y la temperatura, provoca el oscurecimiento gradual. En el punto final de la transformación, indicando la expiración de la vida útil del producto, el color del centro se vuelve tan oscuro o más que el anillo exterior de referencia. El fundamento del indicador de la (figura 32.b) también es un cambio de color en un indicador de pH en el interior del círculo, como consecuencia de una reacción enzimática, que se compara con la escala del anillo exterior (Ordóñez, *et al.*, 1998).

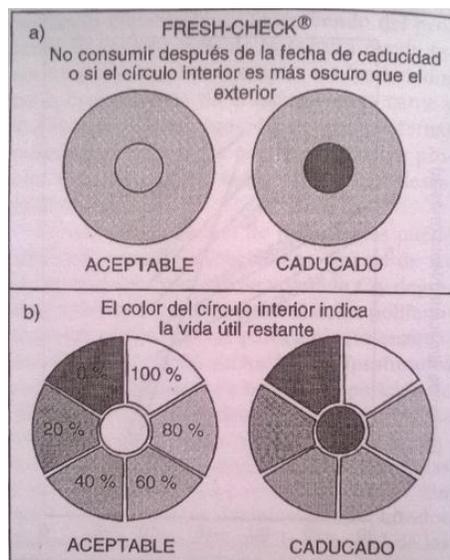


Figura 32. Indicadores de tiempo–temperatura para productos congelados:  
 a) Fresh-Check y b) indicador basado en el cambio de color del círculo interno (los porcentajes muestran la equivalencia del color con la vida útil restante).  
 (Ordóñez, *et al.*, 1998)

## 12 ENERGÍA

En las condiciones que plantea la actual crisis energética, el problema del consumo de energía en los diversos métodos de conservación de alimentos es de gran importancia. Hasta ahora existe gran confusión entre los especialistas a este respecto y los resultados a los que llegan difieren enormemente. Reuter (1980) citado por Gruda y Postolski (1986), comparó el consumo de energía en la congelación y en la esterilización por el calor de frutas y hortalizas calculado por varias firmas (figura 33). Algunos expertos insisten en que la congelación es método consumidor de escasa energía; otros opinan que consume más, y en tercer grupo –la mayoría– aseguran que el consumo es aproximadamente igual en ambos procedimientos.

El problema es muy complejo, ya que este análisis debe comprender muchos factores: energía consumida en el proceso propiamente dicho, en el almacenado, transporte, envasado y producción de materiales para ello.

Löndahl (1975) y A.Ström (1978) citados por Gruda y Postolski (1986), hicieron un detenido estudio de estos costos. Estimaron el siguiente consumo de energía por parte del procesado propiamente dicho:

Refrigerado	25 kwh/ton.
Congelado	100 kwh/ton. (estimación del autor: 130 kwh)
Pasteurizado	130 kwh/ton.
Esterilizado	225 kwh/ton.
Desecado	660 kwh/ton.

Tabla 12. Consumo de energía del procesado en diferentes métodos de conservación de alimentos. Löndahl (1975) y A.Ström (1978). (Gruda y Postolski, 1986).

Tomando en consideración todos los factores, los costos totales serian:

Esterilización en latas	7.520 kwh/ton.
Esterilización en jarros	9.880 kwh/ton.
Congelación de bolsas de PE	5.720 kwh/ton.
Congelación en cajas cartón forrado	6.160 kwh/ton.

Tabla 13. Costos totales de energía de esterilización y congelación. Löndahl (1975) y A.Ström (1978). (Gruda y Postolski, 1986)

La comparación de los costos particulares por congelación y esterilización se expresa en la figura 34 (Gruda y Postolski, 1986).

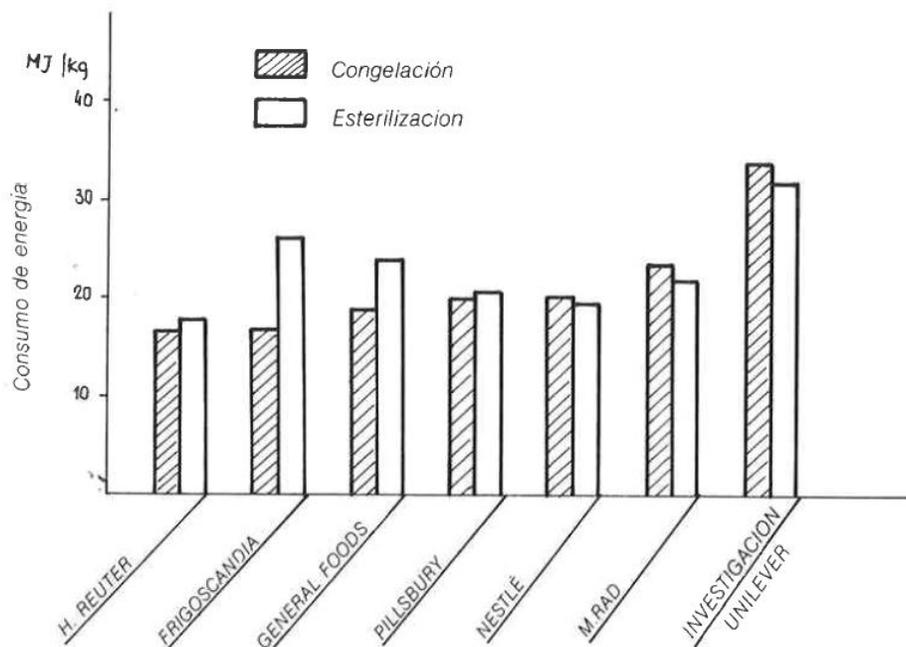


Figura 33. Energía consumida por 1 kg de alimento esterilizado y congelado (frutas y hortalizas), según Reuter (1980). (Gruda y Postolski, 1986).

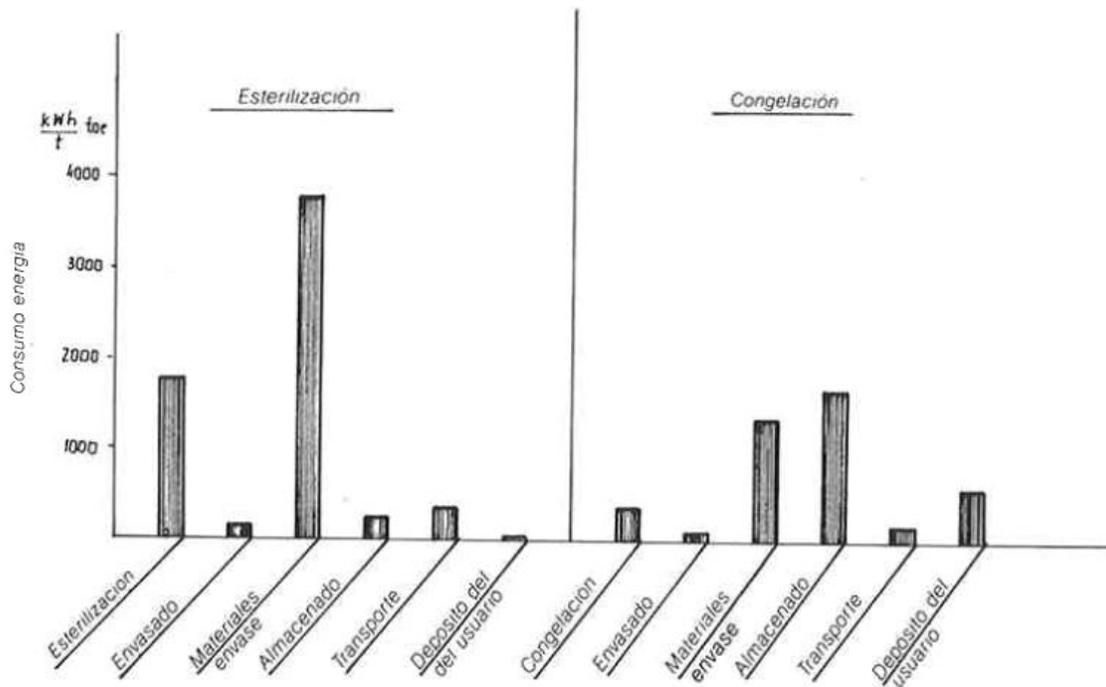


Figura 34. Energía consumida en la producción y distribución de chicharos congelados, calculada en petróleo de calefacción (toneladas de equivalente petróleo). Barker (1965). (Gruda y Postolski, 1986).

La energía que hay que suministrar a las instalaciones frigoríficas debe satisfacer las necesidades de frío de origen diverso, especialmente para combatir el calor que penetra a través de las paredes de los recintos o es aportado por la introducción del aire exterior, el calor desprendido por los ventiladores, la iluminación, el personal, el equipo mecánico (carretillas, elevadoras, grúas...), el recalentamiento en el desescarchado, etc., y también para evacuar el calor correspondiente al enfriamiento, a la congelación propiamente dicha y al subenfriamiento de los productos. Igualmente se suministra energía para calentar los suelos, para iluminar los muelles de carga, las naves y los despachos, para calentar el agua sanitaria, etc.

Para las cámaras frías, el consumo de energía por m<sup>3</sup> de cámara es tanto mayor cuanto más pequeño es el local (tabla 14).

Para los muebles de venta, el consumo de energía es con frecuencia del orden de 7.000 a 15.000 Kw·h/m<sup>3</sup> año; para los congeladores domésticos del orden de 2.000 a 4.000 kW·h/m<sup>3</sup>año.

En un gran almacén frigorífico, las cargas financieras pueden dividirse en tercios entre cargas de capital, administración y gastos reales de funcionamiento; en el último término, el gasto de energía representa del orden del 10% de las cargas financieras totales (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Dimensiones de la cámara (m <sup>3</sup> )	Energía consumida (kWh/m <sup>3</sup> año)
10 000	100
1 000	200
100	600
10	1 500

Tabla 14. Consumo de energía para cámaras frías de diversas dimensiones (Instituto Internacional del Frío, 1990).

Es una enseñanza muy instructiva. Muy al contrario de lo que se opina generalmente, los costos por transporte, por ejemplo, de frutas u hortalizas congeladas, son menores que si se trata de artículos enlatados. Sucede así porque el propio producto sólo constituye aquí el 60% de peso total. El resto corresponde al envase.

Un estudio semejante arrojó los siguientes resultados:

Refrigeración	Congelación	Esterilización	
3554	3462	3837	kJ / unidad
0,987	0,962	1,066	kWh / unidad

Tabla 15. Consumo de energía en diferentes métodos de conservación de alimentos. Datos del American Frozen Food Institute. (Gruda y Postolski, 1986).

Resulta evidente que los costos dependen sobremanera no sólo del método de conservación, sino en primer lugar de la organización de la cadena completa que va desde el campo hasta la cocina del consumidor. “La cadena de frío” debe estar excepcionalmente bien organizada (Gruda y Postolski, 1986).

## 13 CONCLUSIONES

La congelación es un método rápido, limpio y eficaz que permite conservar productos de alta calidad, en un estado lo más próximo posible al fresco, durante períodos largos (meses e incluso años).

La demanda de hortalizas congeladas se ubica y está en crecimiento en países industrializados y más específicamente en núcleos urbanos de gran tamaño.

Las hortalizas congeladas ofrecen entre muchas las siguientes ventajas:

- Están disponibles para su consumo en cualquier momento.
- Si son procesadas y envasadas correctamente conservan al máximo su sabor, olor y valor nutritivo original.
- Pueden ser cocinadas muy rápidamente antes de servirlos.

Las hortalizas se pueden congelar a una velocidad rápida, semirrápida y ultrarrápida. La congelación lenta no se usa industrialmente ya que forma cristales grandes ocasionando daños en la estructura de los alimentos.

El proceso de congelación óptimo dependerá de las características del producto. Como consecuencia de todo ello, existen numerosos sistemas de congelación, cada uno de ellos diseñado para alcanzar la congelación del producto de la forma más eficiente y preservando al máximo su calidad.

Debe destacarse la importancia del tiempo de residencia en el sistema de congelación, así como la necesidad de una correcta predicción del tiempo de congelación.

Comparando diferentes métodos de conservación de alimentos, el método por congelación, es el segundo que gasta menos energía para su proceso, quedando así, como unos de los métodos más rentables para conservar alimentos.

La industria congeladora de hortalizas en México presenta una gran oportunidad de crecimiento dentro y fuera del país, principalmente por contar con una gran extensión para la producción de diversas hortalizas y al disponerse cada vez más, de aparatos y tecnologías de congelación y refrigeración al alcance de cualquier persona.

Sería realmente importante y favorecedor que ésta industria creciera, pues permitiría conservar hortalizas de calidad durante todo el año, evitando miles de toneladas desechadas por su degradación, traducidas a pérdidas millonarias que impactan su costo desde el productor hasta el consumidor, mismas que podrían aprovecharse para satisfacer la demanda de alimentos en el país y en el planeta, problema que ya se enfrenta y que al paso del tiempo agudizará, por lo que este método de conservación aplicado a hortalizas y a otros alimentos, puede ser de gran ayuda y una solución a tantos problemas de alimentación.

## 14 BIBLIOGRAFÍA

- Brennan, J. G. et al. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. 2ª ed. Zaragoza, España: Acribia. 58, 181
- Escudero, S. C., y Fernández, I. P., (2013). *Máquinas y equipos térmicos*. Madrid, España: Paraninfo. 86
- Giacconi, M. V., y Escaff, G. M. (2004). *Cultivo de hortalizas*. 1ª ed. Santiago de Chile; Universitaria. 15-16.
- Gruda, Z., y Postolski, J. (1986). *Tecnología de la congelación de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia. 1, 23, 36, 96, 100-105, 331
- Holdsworth, S. D. (1988). *Conservación de frutas y hortalizas*. Zaragoza, España: Acribia. 1-2, 32-46, 79-89
- Instituto Internacional del Frío. (1990). *Alimentos congelados procesado y distribución*. Zaragoza, España: Acribia. 3-8, 92-94, 109, 103, 115-121
- Mafart, P. (1994). *Ingeniería industrial alimentaria (vol. I)*. Zaragoza, España: Acribia. 141-149, 177-185
- Molinas, M., y Duran, S. (1970). *Frigoconservación y manejo de frutas, flores y hortalizas (1ra ed.)*. Barcelona, España: AEDOS. 193, 261-264
- Ordóñez, P. J. et al. (1998). *Tecnología de los alimentos (vol. I)*. Madrid, España: Acribia. 194-195
- Potter, N. N., y Hotchkiss, J. H. (2007). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia. 206-217, 464-467,
- Rodríguez, S. F. et al. (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria (vol. III)*. Madrid: Síntesis. 52-57, 91-92, 101, 111-112
- Southgate, D. (1992). *Conservación de frutas y hortalizas (3ra ed.)*. Zaragoza, España: Acribia. 173, 187-190

## **FUENTES DE INTERNET**

*Echánove, H. F., (2000). La industria mexicana de hortalizas congeladas y su integración a la economía estadounidense. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de geografía UNAM Núm. 43, 200. pp 105-121*

*Gimferrer, M. N. (2009). Ultracongelación de alimentos. Consultado el 31 de Enero de 2014, de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/05/11/185182.php>*

*Gimferrer, M. N. (2012). Escaldado de alimentos para mayor inocuidad. Consultado el 31 de Enero de 2014, de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/05/25/185488.php>*

*Pelayo, M. (2008). La cadena de frío, elemento clave en seguridad alimentaria. Consultado el 12 de Febrero de 2014, de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2008/12/18/182212.php>*

## **IMÁGENES**

*[Imagen de cámara frigorífica] Consultado el 17 de Febrero de 2014, de <http://infritec.com/camaras-frigorificas-paneles-3-m/>*

*[Imagen de vehículo refrigerado para el transporte de alimentos congelados] Consultado el 18 de Febrero de 2014, de <http://chiclayo.olx.com.pe/camaras-refrigeradas-iiid-322188225>*

*[Imagen de vitrinas para productos congelados] Consultado el 18 de Febrero de 2014, de <http://www.gelighting.com/LightingWeb/na/case-studies/food-city.jsp>*