



ITALIAN TRADE AGENCY

ICE - Agenzia Italiana per il Commercio Estero
Ufficio di la Embajada de Italia
para la promoción del intercambio comercial



Embajada de Italia



Ministero dello Sviluppo Economico



**Cámara de Comercio Venezolano - Italiana
CAVENT**

Seminario Informativo sobre Cadena de Frío en la Industria Agroalimentaria

Caracas, Miércoles 2 de julio de 2014

“Refrigeración, Congelación y Cadena de Frío”

Roberto Massini

profesor titular de la cátedra de Ciencia y Tecnología de los alimentos

Indice

- **Marco normativo**
- **Referencias tecnológicas**
- **Opciones técnicas**
- **Seguridad y calidad de los alimentos, junto con el ahorro de energía**

Indice

- **Marco normativo**
- Referencias tecnológicas
- Opciones técnicas
- Seguridad y calidad de los alimentos, junto con el ahorro de energía

Codex Alimentarius - Código de Prácticas de Higiene para los Alimentos envasados Refrigerados de Larga Duración en Almacén (CAC/RCP 46-(1999))

Enfriamiento rápido: reducción de la temperatura del alimento de manera que se atraviese lo más rápidamente posible la zona crítica para la proliferación microbiana (60°C - 10°C) y se alcance la temperatura especificada.

- **Instalaciones de enfriamiento**
- **Instalaciones de refrigeración**
- **Mantenimiento de la cadena de frío**

En el curso del almacenamiento y de la distribución, deberá prestarse especial atención:

- a los períodos de descongelación de los grupos frigoríficos;
- a la aplicación de temperaturas excesivas;
- a la carga excesiva de las instalaciones de almacenamiento en frío; y
- a todo lo que pudiera causar daños en los envases y/o el material de envasado

Codex Alimentarius - **Directrices sobre la aplicación de principios generales de higiene de los alimentos para el control de listeria monocytogenes en los alimentos** (CAC/GL 61 – 2007)

La listeriosis invasiva es una enfermedad con tasas de mortalidad del 20 al 30 por ciento en los pacientes hospitalizados

L. monocytogenes crece en condiciones de baja concentración de oxígeno y con temperaturas de refrigeración.

Criterios microbiológicos para *L. monocytogenes* en los alimentos listos para el consumo al punto de venta:

- si *L. monocytogenes* no puede crecer (como el caso de los congelados): **100 ufc/g**
- si *L. monocytogenes* puede crecer: **Ausencia en 25g** (< 0,04 ufc/g)
en la cadena de frío la temperatura del producto no debería superar los 6 °C (preferiblemente, 2 °C - 4 °C)

El equipo y las instalaciones deberían diseñarse y construirse de manera que se permita la realización adecuada de la limpieza y se minimice la posible existencia de lugares donde pueda anidarse *L. monocytogenes*, así como la posibilidad de contaminación cruzada y recontaminación.

Codex Alimentarius - Código de Prácticas para la Elaboración y Manipulación de los Alimentos Congelados Rápidamente (CAC/RCP 8-1976, Revisión 2008)

El proceso de congelación rápida no debería considerarse completo a menos que el centro térmico del producto haya alcanzado una temperatura de -18°C o más fría, después que se estabilice la temperatura.

El producto que sale del equipo de congelación debería trasladarse cuanto antes a una cámara frigorífica a fin de minimizar su exposición a temperaturas cálidas y niveles elevados de humedad y para mantener el producto a una temperatura de -18°C o más fría.

El equipo debería estar diseñado y construido de tal manera que no se introduzcan peligros físicos, químicos o biológicos en el producto.

Es importante que el diseño de la cámara frigorífica garantice lo siguiente:

- una capacidad de refrigeración adecuada, que proporcione al producto una temperatura de -18°C o más fría y que la mantenga en ese nivel;
- una circulación adecuada de aire en torno a los alimentos almacenados;
- que las áreas de almacenamiento dispongan de capacidad para controlar y registrar la temperatura regularmente;
- que se evite la pérdida de aire frío y la penetración de aire caliente y húmedo

seguir: Código de Prácticas para la Elaboración y Manipulación de los Alimentos
Congelados Rápidamente

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

El producto debería tener una temperatura de -18°C o más fría al iniciarse el transporte. La distribución de los alimentos congelados rápidamente debería efectuarse de tal manera que la elevación de temperatura del producto por encima de -18°C en ningún momento debería ser superior a -12°C en el envase más caliente para garantizar la calidad de los productos. Después de la entrega, la temperatura del producto debería reducirse lo antes posible hasta alcanzar los -18°C .

VENTA AL POR MENOR

Los alimentos congelados rápidamente deberían ofrecerse a la venta en armarios congeladores diseñados para ese fin. Los armarios frigoríficos deberían ser capaces de mantener la temperatura del producto a -18°C y se harán funcionar de modo que mantengan el nivel citado. Se puede tolerar un aumento de la temperatura del producto durante períodos reducidos, manteniéndose al mínimo cualquier aumento de la temperatura superior a -18°C , dentro de los límites establecidos por la autoridad competente, según corresponda, y no debería ser en ningún caso superior a -12°C en el envase más caliente.

seguir: Código de Prácticas para la Elaboración y Manipulación de los Alimentos Congelados Rápidamente

Los armarios expositores (utilizados para la venta):

- deberían estar provistos de un dispositivo apropiado para medir la temperatura;
- deberían estar ubicados de tal manera que la parte abierta de los mismos no esté expuesta a corrientes de aire o a calor radiante anormal (por ejemplo, luz solar directa, luz artificial intensa o expuestos directamente a las fuentes de calefacción); y
- su contenido nunca debería superar la capacidad de carga.

Los armarios que requieran descongelación deberían tener los ciclos de descongelación programados de tal forma que en lo posible, la descongelación tenga lugar fuera de los períodos de mayor venta. Si es necesario a fin de evitar los efectos perjudiciales causados por el calentamiento o la descongelación, los alimentos congelados rápidamente deberían trasladarse durante los ciclos de descongelación a una cámara frigorífica adecuada.

El establecimiento de venta al por menor debería disponer de un almacén de reserva adecuado para los productos congelados rápidamente, que permita que los productos puedan almacenarse a una temperatura de -18°C .

En los armarios abiertos la temperatura debería medirse en la salida del aire de retorno, en el nivel de la línea de carga o en el lugar más caliente.

UE - Reglamento (CE) No 852/2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios

*Artículo 1 - **Ámbito de aplicación***

El presente Reglamento establece normas generales destinadas a los operadores de empresa alimentaria en materia de higiene de los productos alimenticios, teniendo particularmente en cuenta los siguientes principios:

- c) la importancia de que los alimentos que no pueden almacenarse con seguridad a temperatura ambiente, en particular los alimentos congelados, mantengan la cadena de frío;
- f) la necesidad de establecer criterios microbiológicos y requisitos relativos a la temperatura basados en una evaluación científica de los riesgos;

*Artículo 4 - **Requisitos generales y específicos en materia de higiene***

- Los operadores de la industria alimentaria que desempeñen su actividad en cualquiera de las fases de producción, transformación y distribución de alimentos cumplirán las normas generales en materia de higiene que figuran en la parte A del anexo II y los requisitos específicos fijados en el Reglamento (CE) n° 853/2004.
- c) cumplimiento de los requisitos relativos al control de la temperatura de los productos alimenticios;
- d) mantenimiento de la cadena del frío;

seguir: Reglamento (CE) No 852/2004

ANEXO II - REQUISITOS HIGIÉNICOS GENERALES APLICABLES A TODOS LOS OPERADORES DE EMPRESA ALIMENTARIA

CAPITULO I - Requisitos generales de los locales destinados a los productos alimenticios

d) cuando sea necesario, ofrecerán unas condiciones adecuadas de manipulación y almacenamiento a temperatura controlada y capacidad suficiente para poder mantener los productos alimenticios a una temperatura apropiada que se pueda **comprobar** (*monitor = monitorizar (*)*) y, si es preciso, registrar.

CAPITULO IV - Transporte

7. Cuando sea necesario, los receptáculos de vehículos o contenedores utilizados para el transporte de productos alimenticios deberán ser capaces de mantener los productos alimenticios a la temperatura adecuada y de forma que se pueda controlar dicha temperatura.

() con el significado de llevar a cabo una secuencia planificada de mediciones*

seguir: **Reglamento (CE) No 852/2004**

CAPÍTULO V - Requisitos del equipo

1. Todos los artículos, instalaciones y equipos que estén en contacto con los productos alimenticios:

- a) deberán limpiarse perfectamente y, en caso necesario, desinfectarse.
- b) su construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento deberán reducir al mínimo el riesgo de contaminación;
- c) a excepción de los recipientes y envases no recuperables, su construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento deberán permitir que se limpien perfectamente y, en caso necesario, se desinfecten, y
- d) su instalación permitirá la limpieza adecuada del equipo y de la zona adyacente.

2. Si fuese necesario, los equipos deberán estar provistos de todos los dispositivos de control adecuados para garantizar el cumplimiento de los objetivos del presente Reglamento.

seguir: Reglamento (CE) No 852/2004

CAPITULO IX - Disposiciones aplicables a los productos alimenticios

5. Las materias primas, ingredientes, productos semiacabados y productos acabados que puedan contribuir a la multiplicación de microorganismos patógenos o a la formación de toxinas no deberán conservarse a temperaturas que puedan dar lugar a riesgos para la salud.

No deberá interrumpirse la cadena de frío.

No obstante, se permitirán períodos limitados no sometidos al control de temperatura por necesidades prácticas de manipulación durante la preparación, transporte, almacenamiento, presentación y entrega de los productos alimenticios, siempre que ello no suponga un riesgo para la salud.

UE - Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición)

ANEXO I - Requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y la fabricación de las máquinas

2. REQUISITOS ESENCIALES COMPLEMENTARIOS DE SEGURIDAD Y DE SALUD PARA ALGUNAS CATEGORÍAS DE MÁQUINAS

2.1. MÁQUINAS DESTINADAS A LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS, COSMÉTICOS O FARMACÉUTICOS

Datos generales

Las máquinas previstas para ser utilizadas con productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos deben diseñarse y fabricar de forma que se eviten los riesgos de infección, enfermedad y contagio.

Deben observarse los siguientes **requisitos**:

a) los materiales que entren o puedan entrar en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos deberán cumplir con las directivas que les sean aplicables. La máquina se debe diseñar y fabricar de manera tal que dichos materiales puedan limpiarse antes de cada utilización; cuando esto no sea posible, se utilizarán elementos desechables;

seguir: [Directiva 2006/42/CE](#)

b) todas las superficies en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos que no sean superficies de elementos desechables:

- serán lisas y no tendrán ni rugosidades ni cavidades que puedan albergar materias orgánicas. Se aplicará el mismo principio a las uniones entre dos superficies,
- se deben diseñar y fabricar de manera que se reduzcan al máximo los salientes, los rebordes y los repliegues de los ensamblajes,
- deberán poder limpiarse y desinfectarse fácilmente, cuando sea necesario, previo retiro de aquellas partes que sean fácilmente desmontables. Las superficies internas estarán empalmadas por cavetos de radio suficientes para permitir una limpieza completa;

c) los líquidos, gases y aerosoles procedentes de los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos, y de los productos de limpieza, desinfección y aclarado podrán ser completamente desalojados de la máquina (si es posible, en una posición de «limpieza»);

seguir: [Directiva 2006/42/CE](#)

d) la máquina se debe diseñar y fabricar de manera que se pueda evitar toda infiltración de sustancias, toda acumulación de materias orgánicas o penetración de seres vivos y, en particular, de insectos, en las zonas que no puedan limpiarse;

e) la máquina se debe diseñar y fabricar de manera que los productos auxiliares que representen un peligro para la salud, incluidos los lubricantes utilizados, no puedan entrar en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos. En su caso, la máquina se debe diseñar y fabricar de manera que pueda comprobarse el cumplimiento permanente de esta condición.

2.1.2. Manual de instrucciones

En el manual de instrucciones de las máquinas elaboradas para ser utilizadas con productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos se indicarán los productos y métodos de limpieza, desinfección y aclarado sugeridos, no sólo para las partes fácilmente accesibles sino también para las partes cuyo alcance fuera imposible o no recomendado.

Normas armonizadas europeas, la aplicación de la que confiere una presunción de conformidad con los requisitos esenciales de salud y seguridad de la Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas

EN 1672-2:2006 + A1:2009 Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene.

EN ISO 14159:2008 Seguridad de las máquinas. Requisitos de higiene para el diseño de las máquinas.

Reglamento (CE) n° 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios

Artículo 2 – Definiciones

«alimentos listos para el consumo»: alimentos destinados por el productor o el fabricante al consumo humano directo sin necesidad de cocción u otro tipo de transformación eficaz para eliminar o reducir a un nivel aceptable los microorganismos peligrosos;

ANEXO I - Criterios microbiológicos para los productos alimenticios

Capítulo 1. Criterios de seguridad alimentaria

Ejemplo *L. Monocytogenes*

Limite: ≤ 100 ufc/g en alimentos listos para el consumo que pueden (refrigerados), o no pueden (congelados) favorecer el crecimiento, durante su vida útil (hasta la «fecha de caducidad»).

Para productos congelados, el respeto del límite depende de la higiene de procesamiento antes de empacar.

Para productos refrigerados, el respeto del límite depende también de la cadena de frío.

UE - Reglamento (CE) No 37/2005 relativo al control de las temperaturas en los medios de transporte y los locales de depósito y almacenamiento de alimentos ultracongelados destinados al consumo humano

Artículo 2 - **Control** (*Monitoring = Monitoreo*) y registro de las temperaturas

Los medios de transporte y los locales de depósito y almacenamiento de los alimentos ultracongelados deberán disponer de instrumentos de registro adecuados para **controlar** (*monitor = monitorizar*) a intervalos regulares y frecuentes la temperatura del aire a que están sometidos los alimentos ultracongelados.

Artículo 3 - Excepciones a lo dispuesto en el artículo 2

No obstante lo dispuesto en el artículo 2, la temperatura del aire durante el almacenamiento en las vitrinas de venta al por menor y durante la distribución local sólo se medirá mediante al menos un termómetro colocado en un lugar fácilmente visible.

En el caso de las vitrinas de venta al por menor:

- a) se marcará claramente la línea de carga máxima de la vitrina;
- b) el termómetro deberá indicar la temperatura del aire de retorno al nivel de dicha línea.

UE - Directiva 89/108/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los alimentos ultracongelados destinados a la alimentación humana

Artículo 1

... se entenderá por «alimentos ultracongelados» los productos alimenticios que hayan sido sometidos a un proceso adecuado de congelación denominado «congelación rápida», que permita rebasar tan rápida mente como sea necesario, en función de la naturaleza del producto, la zona de máxima cristalización que dé como resultado que la temperatura del producto en todas sus partes - tras la estabilización térmica - se mantenga sin interrupción en temperaturas iguales o inferiores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Artículo 3

... la congelación rápida deberá efectuarse lo antes posible con ayuda de un equipo técnico adecuado para reducir al mínimo las modificaciones químicas, bioquímicas y microbiológicas.

Artículo 4

Las sustancias congelantes cuyo uso en contacto directo con los alimentos ultracongelados se autoriza, excluyendo a todas las demás, son las siguientes:

- el aire,
- el nitrógeno,
- el anhídrido carbónico.

seguir: [Directiva 89/108/CEE](#)

Artículo 5

1. La temperatura de los alimentos ultracongelados deberá ser estable y mantenerse, en todas las partes del producto, a -18°C o menos, con la posibilidad de breves fluctuaciones hacia arriba de 3°C como máximo durante el transporte.
2. No obstante, se admitirán tolerancias de temperatura del producto conformes con las prácticas correctas de conservación y de distribución durante la distribución local y en los armarios frigoríficos de venta al consumidor final, con las siguientes condiciones:
 - a) dichas tolerancias no deberán superar los 3°C

Artículo 6

Los Estados miembros garantizarán que los equipos utilizados para la congelación rápida, el almacenamiento, el transporte, la distribución local y los armarios frigoríficos de venta sean aptos para satisfacer el cumplimiento de las exigencias previstas en la presente Directiva;

Normas europeas para el transporte, almacenamiento y distribución de los alimentos a baja temperatura

EN 12830:1999

Registradores de temperatura para el transporte, almacenamiento y distribución de alimentos refrigerados, congelados y ultracongelados y helados. Ensayos, funcionamiento, aptitud de uso.

EN 13485:2001

Termómetros para la medida de la temperatura del aire y de los productos durante el transporte, almacenamiento y distribución de alimentos refrigerados, congelados y ultracongelados, y helados. Ensayo, funcionamiento, aptitud de uso.

EN 13486:2001

Registradores de temperatura y termómetros para el transporte, almacenamiento y distribución de alimentos refrigerados, congelados y ultracongelados, y helados. Verificación periódica.

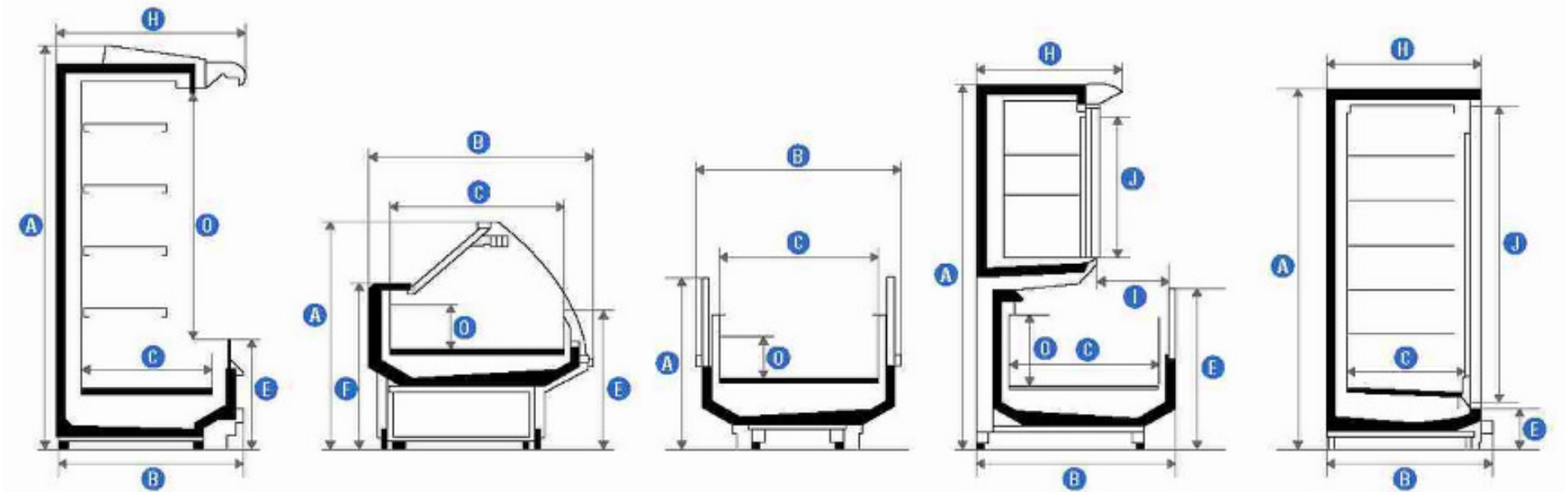
Normas ISO y EN para muebles frigoríficos comerciales

EN ISO 23953-1:2005 / Amd 1:2012

Muebles frigoríficos comerciales. Parte 1: Vocabulario

EN ISO 23953-2:2005 / Amd 1:2012

Muebles frigoríficos comerciales. Parte 2: Clasificación, requisitos y condiciones de ensayo



Normas europeas para la eficiencia energética

Directiva 2009/125/CE por la que se define un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía

Reglamento (UE) nº 327/2011 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los ventiladores de motor con una potencia eléctrica de entrada comprendida entre 125 W y 500 kW

Reglamento (UE) nº 4/2014 que modifica el Reglamento (CE) nº 640/2009, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos

El texto relativo a la realización de muebles frigoríficos comerciales, de conformidad con la norma ISO 23953: 2005, está a punto de concluir

Indice

- Marco normativo
- **Referencias tecnológicas**
- Opciones técnicas
- Seguridad y calidad de los alimentos, junto con el ahorro de energía

Inhibición microbiana por la baja temperatura

	T mínima de crecimiento	
<i>G. stearothermophilus</i> y otros microorganismos termófilos obligados	35 °C	
<i>Campylobacter</i> spp	32	
<i>C. perfringens</i> (multiplicación)	15	
<i>C. perfringens</i> (producción de toxina)	12	
<i>C. botulinum</i> mesófilo, <i>B. cereus</i> mesófilo (emético, <u>prod. toxina</u>), <i>V. cholerae</i>, <i>S. aureus</i> (<u>prod. toxina</u>), <i>A. flavus</i> (*), <i>A. ochraceus</i> (*), <i>Bacillus</i> spp	10	
<i>V. vulnificus</i>, <i>E. coli</i> O157:H7	8	Refrigeración
Enterotoxigenic <i>E. coli</i> , <i>Shigella</i> , <i>S. aureus</i> (multiplicación)	7	
<i>B. cereus</i> , <i>Salmonella</i> spp , <i>E. coli</i> spp , <i>V. parahaemolyticus</i> , <i>P. aeruginosa</i>	5	
<i>B. cereus</i> psicotrófico (diarreico infeccioso, multiplicación)	4	
<i>C. botulinum</i> psicotrófico, <i>F. moniliforme</i> (*)	3	
<i>L. monocytogenes</i>, <i>P. verrucosum</i> (*), <i>P. fluorescens</i>, <i>Candida</i> spp, <i>Vibrio</i> spp	0	
<i>Y. enterocolitica</i>	-1	Congelación
<i>Aeromonas hydrophyla</i>	-5	
algunos moldes y <i>Micrococcus</i> spp	-7	
algunas levaduras	-20	

(*) moldes toxigénicas

Inhibición microbiana por el potencial redox

Microorganismos que crecen sólo en la presencia de oxígeno:

A. hydrophyla, ***B. cereus***, otros ***Bacillus spp***, ***Alicyclobacillus spp***, ***Pseudomonas spp***,

Microorganismos facultativos:

S. aureus, ***E. coli***, (***L. monocytogenes***), ***Salmonella spp***, ***B subtilis*** (con nitritos), ***Geobacillus stearothermophilus***, ***B. coagulans***, enterobacterias, levaduras

Microorganismos microaerófilicos:

L. monocytogenes, ***C. perfringens***, ***C. jejuni***, moldes, lactobacilos, estreptococos

Microorganismos que crecen sólo en la ausencia de oxígeno (*):

C. Botulinum mesófilo y psicrotrófico, ***C. perfringens***, ***C. butirricum*** y otros clostridios, ***Desulfotomaculum nigrificans***, ***Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum***, ***Moorella thermoacetica***

(*) La ausencia de oxígeno no garantiza la seguridad y la estabilidad microbiológica

Minimum infective dose

◆ EPEC	10^6 (cells / g)
◆ ETEC	10^6
◆ <i>Shigella</i> , EIEC	10 - 100
◆ EHEC STEC / VTEC	10 very small
◆ <i>L. monocytogenes</i>	high, but probably in risk groups c. 100/g of food
◆ <i>Salmonella</i> (excluding <i>typhi</i>)	10^6 (lower nos (i.e. <u>10-1000</u>) may cause infection in fatty foods such as chocolate & cheese)
◆ <i>Campylobacter</i>	ca. 500
◆ <i>Salmonella typhi</i>	10 - 100
◆ <i>V. cholerae</i>	10^6
◆ <i>B. cereus</i> diarrhoeal	10^5-10^6
◆ <i>C. perfringens</i>	10^8


mh 28



EPEC = enteropathogenic; ETEC = enterotoxigenic; EIEC = enteroinvasive *E. coli*;
EHEC = enterohemorrhagic; STEC/VTEC = shiga toxin or verotoxin-producing *E. coli*

seguir: WHO-ICD

Minimum toxic doses of bacterial toxins	
	Minimum toxic dose (cells / g)
<i>S. aureus</i>	10^6
<i>C. botulinum</i>	$10^4 - 10^5$
<i>C. perfringens</i> (*)	
<i>B. cereus</i>	$10^7 - 10^8$ (**)

mh 34 

(*) *C. perfringens* es un patógeno infeccioso, no toxigénico

(**) *B. cereus* emético tienen que llegar al menos a 10^5 células/g para producir cereulide suficiente para causar intoxicación

Peligroso crecimiento de bacterias patógenas (en productos de la pesca)

formadoras de esporas con baja dosis infecciosa

<i>L. monocytogenes</i>	7,5 días @ 0°C	1 día @ 6-10°C	7 horas @ 11-21°C
<i>Shigella</i> spp	2 días @ 6,1-10°C	5 horas @ 11-21°C	
<i>E. coli</i> EH y VT	2 días @ 6,6-10°C	5 horas @ 11-21°C	

no formadoras de esporas con alta dosis infecciosa

<i>Y. enterocolitica</i>	1 día @ 0-10°C	6 horas @ 11-21°C	
<i>Salmonella</i> spp	2 días @ 5-10°C	5 horas @ 11-21°C	
<i>V. cholerae</i>	21 días @ 10°C	6 horas @ 11-21°C	
<i>V. parahaemolyticus</i>	21 días @ 5-10°C	6 horas @ 11-21°C	

no formadoras de esporas toxigénicas

<i>S. aureus</i>	14 días @ 7-10°C	12 horas @ 11-21°C	
------------------	------------------	--------------------	--

formadoras de esporas con alta dosis infecciosa

<i>B. cereus</i> psicrotrófico	5 días @ 4-6°C	1 día @ 7-15°C	
<i>C. perfringens</i>	21 días @ 10-12°C		

formadoras de esporas toxigénicas

<i>C. botulinum</i> psicrotrófico	7 días @ 3-5°C	2 días @ 6-10°C	
<i>C. botulinum</i> mesófilo	11 horas @ 10-21°C		

Inhibición de enzimas por la baja temperatura

Para relacionar el efecto de la temperatura con la constante de velocidad de reacción, se utiliza la **Ecuación de Arrhenius**:

$$k_T = k_0 e^{-E_a/RT}$$

donde:

k_T = constante de velocidad a la temperatura T [K]

k_0 = constante de velocidad a la temperatura de referencia (factor de frecuencia)

E_a = energía de activación de la reacción [Jmol^{-1}]

R = constante de la ley de gas [$\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$]

La actividad enzimática es insignificante si la temperatura es mucho menor que su valor óptimo.

Algunas enzimas permanecen activas incluso a temperaturas tan bajas que el agua se transforma en hielo. Por ello, muchos vegetales crudos deben ser escaldados antes de ser congelado.

Inhibición de las reacciones químicas por la baja temperatura

También la velocidad de la mayoría de las reacciones químicas depende de la temperatura de acuerdo con la Ley de Arrhenius y se redujo a la mitad por una disminución de aproximadamente 10°C.

El deterioro oxidativo es la causa principal de la pérdida de calidad en grasas y porciones grasas de los alimentos.

La luz influye en una serie de reacciones químicas que conducen al deterioro de los alimentos. Estas reacciones inducidas por la luz incluyen la destrucción de la clorofila (el pigmento fotosintético que da a las plantas su color verde), lo que resulta en el blanqueo de ciertos vegetales; la decoloración de las carnes frescas; la destrucción de riboflavina en la leche; y la oxidación de la vitamina C y pigmentos carotenoides (un proceso llamado oxidación fotosensible).

Sin embargo, tanto la oxidación directa y las reacciones inducidas por la luz no requieren el medio acuoso y se producen incluso en los alimentos congelados.

Por lo tanto, los alimentos con grasas insaturadas y/u otras sustancias sensibles deben ser empacados en material impermeable y opaco.

Frutas y verduras refrigeradas que se congelan y descongelan accidentalmente tienen su textura y apariencia afectadas.

Carga térmica

La cantidad de calor que debe ser absorbida para bajar la temperatura del producto se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = m c (T_{inicial} - T_{final})$$

Q = calor extraído del producto [J]

m = masa de producto [kg]

c = calor específico del producto (tiene diferente valor si está congelado) [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$]

T_{inicial} = temperatura inicial del producto [K]

T_{final} = temperatura final del producto [K]

Otros componentes de la carga térmica:

- el calor de la respiración para las verduras frescas
- el calor latente de cristalización de hielo para productos congelados
- el calor generado por los ventiladores para el aire forzado
- el calor de la infiltración de aire exterior

Velocidad de transferencia de calor superficial

Durante el enfriamiento o congelación, el calor desaparece del alimento por lo general por los mecanismos combinados de convección, radiación, y evaporación, y la velocidad de transferencia de calor entre el alimento y el medio circundante en cualquier momento se puede expresar como **Ley de Newton**:

$$Q/t = h A_s (T_{sup.} - T_{amb.})$$

Q/t = flujo de calor (calor intercambiado en el tiempo t) [$\text{Js}^{-1} = \text{W}$]

h = coeficiente medio de transferencia de calor [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] (*)

A_s = área de superficie expuesta del alimento [m^2]

$T_{sup.}$ = temperatura superficial del alimento [$^{\circ}\text{K}$]

$T_{amb.}$ = temperatura del fluido refrigerante fuera de la superficie del alimento [$^{\circ}\text{K}$]

(*) h depende de la forma del alimento, de la rugosidad de la superficie, del tipo de fluido de enfriamiento, de la velocidad del fluido, y del régimen de flujo.

Por ejemplo: $h_{\text{aire}} = 10\text{-}100$; $h_{\text{agua}} = 500\text{-}10.000$

Velocidad de transferencia de calor dentro de un producto sólido

La transferencia de calor por conducción se puede expresar como **Ley de Fourier**:

$$Q/t = k \frac{A_s}{L} (T_{sup.} - T_{amb.})$$

Q/t = flujo de calor [$\text{Js}^{-1} = \text{W}$]

k = conductividad térmica [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] (*)

L = espesor del producto [m]

(*) k depende de la composición del producto y del posible embalaje

Por ejemplo: $k_{\text{aire}} = 0,02$; $k_{\text{agua}} = 0,60$; $k_{\text{hielo}} = 1,60$; $k_{\text{aluminio}} = 217$

Proceso de congelación

Fase 1: Enfriamiento - sustracción de **calor sensible**

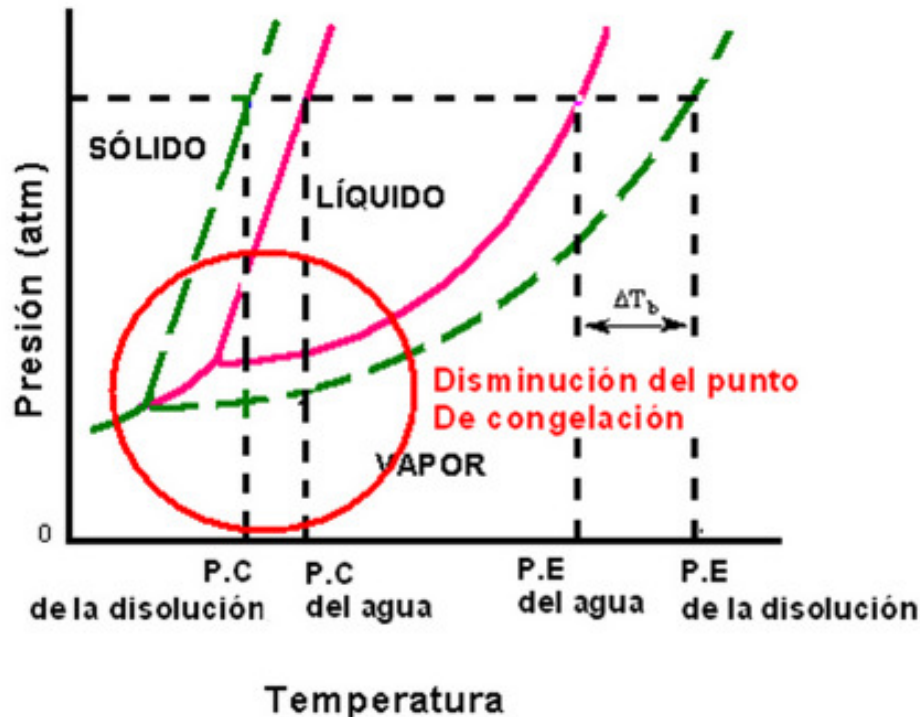
(calor específico del agua = $4,2 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

llevando la temperatura del producto a la temperatura de congelación inicial T_c
en el caso de los alimentos frescos también se debe restar el calor de respiración

Fase 2: Congelación - extracción de **calor latente**

para la cristalización de hielo (335 kJ kg^{-1}) y, posiblemente, para la cristalización de otros componentes de alto punto de fusión (grasa)

Diagrama de fases de agua y de una solución con un soluto no volátil



El descenso del punto de congelación de una disolución diluida es proporcional a la molalidad.

$$\Delta T_c = K_c \cdot m$$

K_c = constante de crioscopía molar del punto de fusión de una disolución 1 molar.
 m = molalidad: Número de moles de soluto entre kilogramo de disolvente [mol].

Para una solución ideal:

$$\lambda/R (1/T_{A0} - 1/T_A) = \ln X_A$$

λ = calor latente de fusión molar del hielo [J mole⁻¹]

R = constante universal de los gases [J mole⁻¹ K⁻¹]

T_{A0} = temperatura inicial de congelación del agua [K]

T_A = temperatura de congelación después de la concentración del soluto [K]

X_A = fracción molar de agua = $m_A/M_A / (m_A/M_A + m_S/M_S)$

m_A = fracción del agua [%]; m_S = fracción del soluto [%]

Tiempo requerido para la congelación en flujo de aire

El tiempo de congelación requerido puede ser estimado por la **Ecuación de Plank**:

$$t_c = \frac{\rho\lambda}{(T_c - T_a)} \frac{L}{N} \left(\frac{L}{4k} + \frac{1}{h_c} \right)$$

t_c = tiempo de congelación [s]

ρ = densidad [kgm^{-3}]

λ = calor latente de congelación [Jkg^{-1}]

T_c = temperatura de congelación [K]

T_a - temperatura del aire [K]

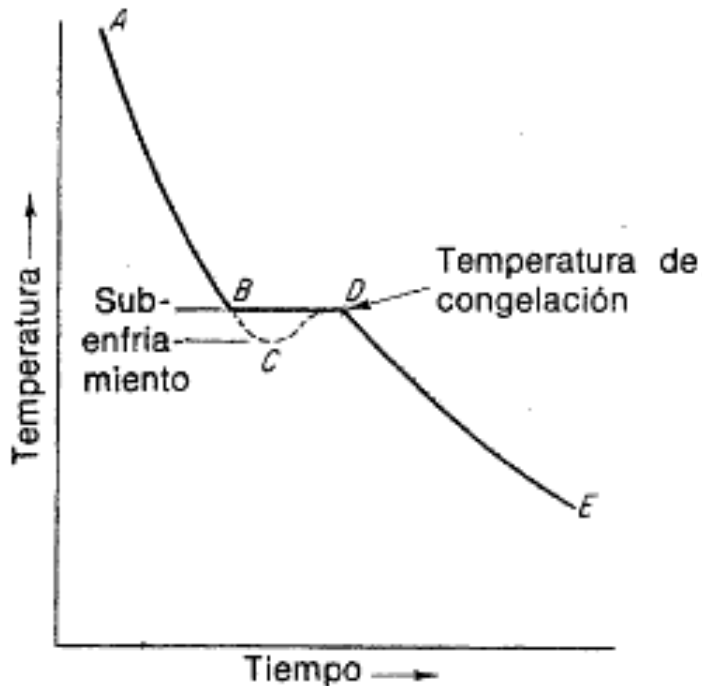
L = distancia desde el centro, paralela a la dirección principal del flujo de aire [m]

N = factor de forma, igual a 2, 4 y 6, respectivamente para placa, cilindro y esfera

k = conductividad térmica [WmK]

h_c = coeficiente de convección superficial [Wm^{-2}K]

Superenfriamiento



Cuando se enfría un alimento, el agua puede permanecer líquida a temperaturas hasta 10°C por debajo del punto de congelación teórico.

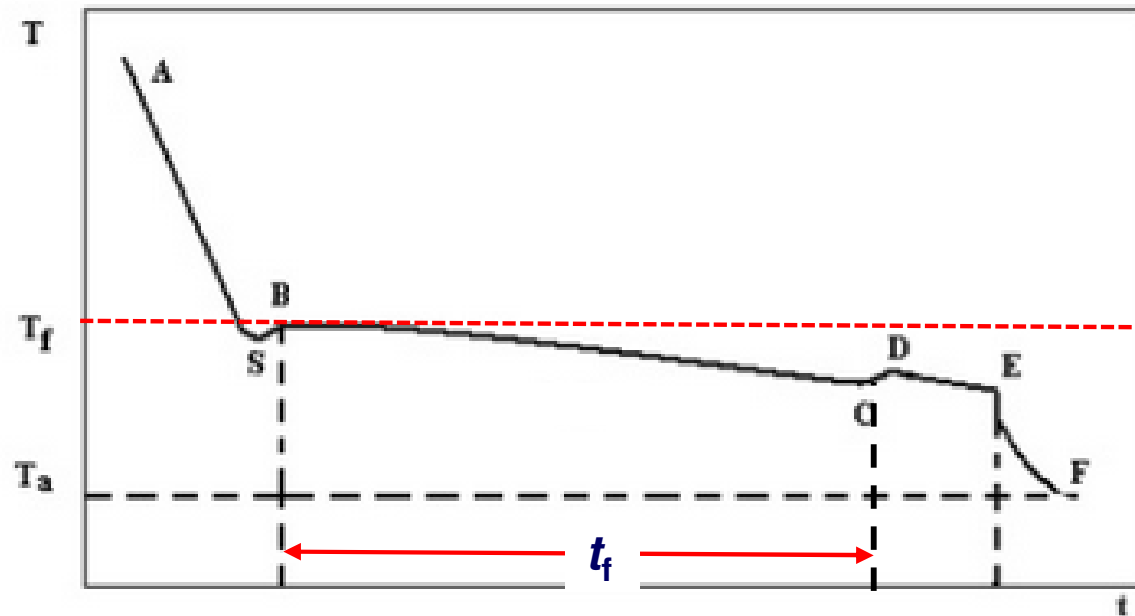
Sólo después de un cierto grado de superenfriamiento comienza la nucleación de cristales de hielo y la liberación del calor latente aumenta la temperatura hasta alcanzar el punto de congelación correspondiente a la actual concentración de los solutos.

Tiene superenfriamiento porque la temperatura de fusión de un cristal de hielo depende de su tamaño.

La temperatura de congelación inicial (T_c) es aquella a la que un cristal de hielo macroscópico está en equilibrio (no se funde y no crece) con el agua circundante que tiene una concentración dada de solutos. Para cada grado de superenfriamiento con respecto a T_c corresponde el tamaño del cristal más pequeño que no se funde (radio crítico).

Por lo tanto, los núcleos cristalinos se forman espontáneamente sólo a la temperatura para la que el núcleo tenga un radio mayor que el radio crítico.

Curva de congelación en el centro térmico de un alimento sólido



Centro Térmico: es el punto en un material alimenticio en el cual la velocidad de congelación es la más baja.

Dimensión Característica: es la distancia mínima desde la superficie hasta el centro térmico.

A-S Se remueve calor sensible. En el punto S el agua permanece líquida, aunque la temperatura está por debajo del punto de congelación (superenfriamiento).

S-B La temperatura se eleva hasta el punto de congelación T_f a medida que los cristales de hielo comienzan a formarse y crecer, liberando el calor latente de cristalización.

B-C Se remueve calor latente para el crecimiento de cristales de hielo. El punto de congelación desciende por el incremento en la concentración de solutos.

C-D Uno de los solutos se sobresatura y cristaliza. El calor latente de cristalización es removido y la temperatura se eleva hasta la temperatura eutéctica para ese soluto.

D-E Continúa la cristalización del agua y solutos, con el tiempo total de congelación t_f .

E-F Se remueve el calor sensible hasta a la temperatura del congelador T_a .

Macro y micro-cristales de hielo

T_c = temperatura de congelación inicial, a la que un pequeño cristal de hielo está en equilibrio con el agua circundante que tiene una concentración dada de solutos

Para la cristalización, deben preexistir un núcleo (agregado mínimo de moléculas de acuerdo con el retículo cristalino) por:

- nucleación homogénea, al azar y muy lento, o para un subenfriamiento que excede la zona metaestable (radio del núcleo cristalino < radio crítico);
- o nucleación heterogénea en la interfaz (que es el asiento de energías potencial) del recipiente, de una pared celular o una partícula suspendida).

La duración de la fase de superenfriamiento (AS) depende de la composición del producto y de la velocidad de enfriamiento (y por lo tanto de la ΔT aplicada y por la dimensión característica de la matriz)

El tiempo de congelación t_f determina el número y, por lo tanto, el tamaño final de los cristales de hielo. Un enfriamiento lento conduce a un pequeño superenfriamiento y macro-cristalización. Un enfriamiento rápido, sin embargo, implica un gran superenfriamiento y micro-cristalización.

Calidad de los alimentos congelados

La congelación como medio de conservación produce generalmente un producto de alta calidad para el consumo, aunque dicha calidad depende finalmente:

- tanto del proceso de congelación realizado;
- como de las condiciones de almacenamiento del producto congelado.

Algunos alimentos necesitan una congelación rápida con el fin de asegurar la formación de cristales de hielo de pequeño tamaño, ocasionando el mínimo daño en la textura del producto.

El "Tiempo de Congelación Nominal", que se utiliza para el cálculo del "daño térmico", es lo que transcurre entre el logro de los 0°C en la superficie y el logro de los -10°C por debajo de la T_c en el "centro térmico".

Por otro lado, las condiciones de temperatura existentes durante el almacenamiento influyen de manera significativa en la calidad final de los alimentos congelados. Cualquier aumento de temperatura durante el almacenamiento reduce la calidad, y variaciones en dicha temperatura pueden afectar severamente la calidad final del producto.

Los cambios estructurales debidos a la congelación

La congelación puede causar:

- La ruptura de las paredes celulares de las plantas (celulosa), no tanto como en las paredes de las fibras animales (sarcolema), por la presión ejercida por grandes cristales de hielo (como agujas o lamelar) intracelulares, además de aumentar la deshidratación extracelular y el daño a las células, dando lugar a la sinéresis y colapso estructural después de la descongelación.
- La ruptura de emulsiones (si no se formulan de forma explícita), espumas y geles.
- La precipitación de proteínas solubles por la desnaturalización ácida y/o salina.
- La rotura de tejidos por la gran diferencia de temperatura y, por lo tanto, de densidad.

La congelación rápida, con la formación de cristales pequeños y en su mayoría intracelulares, causa menos daño irreversible en comparación con una congelación lenta.

La adición de sustancias con alto efecto humectante, reduciendo la movilidad del agua, puede prevenir la cristalización de hielo (cremas heladas).

Los cambios estructurales en el almacenamiento y distribución

Las fluctuaciones cíclicas de la temperatura durante el almacenamiento y distribución ocasionan:

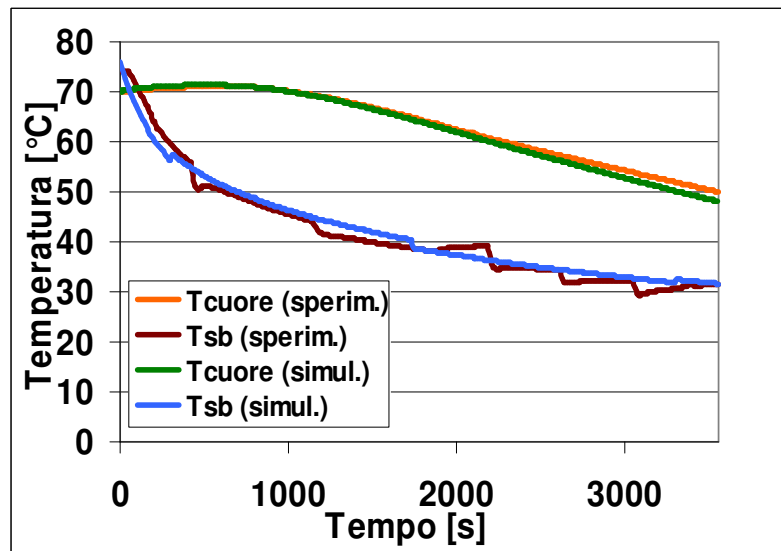
-la fusión de cristales más pequeños y la sucesiva recristalización sobre los cristales más grandes, con el aumento progresivo del tamaño medio (maduración de Ostwald) y un posible daño en la textura del producto;

-la sublimación del hielo y la sucesiva recristalización del vapor de agua en el enfriador de aire o en la superficie del recipiente, con la deshidratación progresiva de la superficie del producto a veces irreversible (quemadura por frío).

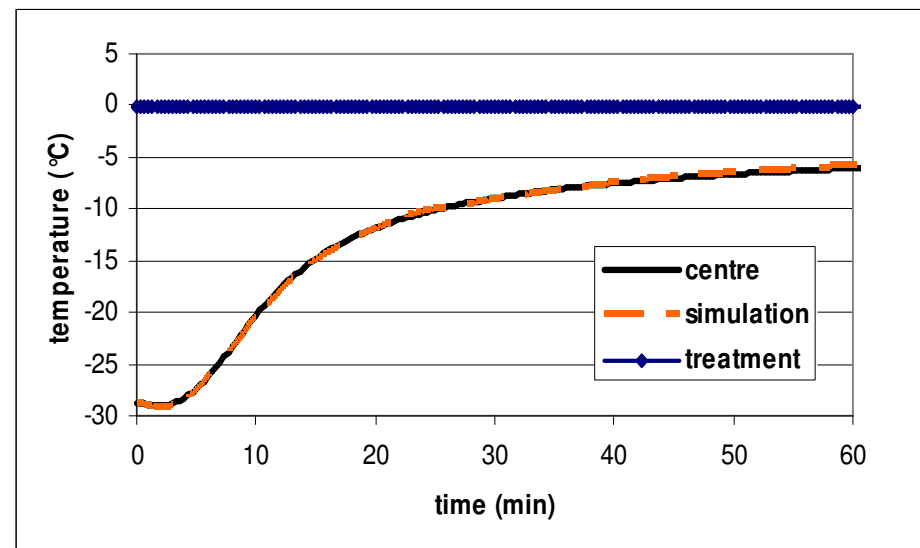
Diseño numérico de los procesos de enfriamiento y congelación

(R. Massini - Investigaciones por contrato no publicadas)

Pre-enfriamiento evaporativo



Descongelación



Para simular y optimizar estos tratamientos térmicos complejos (con transiciones de fase), se crearon equipos especiales para medir las características térmicas del producto y se compilaron los programas de cálculo especiales.

Indice

- Marco normativo
- Referencias tecnológicas
- **Opciones técnicas**
- Seguridad y calidad de los alimentos, junto con el ahorro de energía

Técnicas de enfriamiento

Indirecto, con circuito cerrado de compresión-expansión de vapor (hasta -40°C):

- aire frío, en convección natural o forzada, o de choque
- agua/salmuera fría, por inmersión o aspersión
- placas o bandas enfriadas internamente, en contacto

Directo, con circuito abierto de evaporación:

- de agua, función de la velocidad y del contenido de humedad del aire (hasta 15°C)
- de agua al vacío, función del grado de vacío (hasta $0,5-6^{\circ}\text{C}$)
- de dióxido de carbono líquido (hasta -80°C)
- de nitrógeno líquido (hasta -196°C)

Equipos de enfriamiento más utilizados

- Cámara o célula
- Túnel para carretillas
- Túnel de banda recta o en espiral
- Lecho fluidizado con aire o mecánicamente
- Placas, banda o tambor de contacto directo

Sistema de enfriamiento	h [W m⁻² °C⁻¹]
Aire en convección natural	6-9
Aire en convección forzada a 3 m s ⁻¹	14-18
Aire en convección forzada a 5 m s ⁻¹	25-30
Aire de choque	100
Placas de contacto	100-120
Lecho fluidizado	90-140
Salmuera en convección forzada	500
Nitrógeno líquido	1.500

Muebles frigoríficos comerciales

Horizontales

Vitrinas

De pared

Semi-murales

Combinados

Islas

- positivos o negativos
- refrigeración estática o ventilada
- con grupo incorporado o remoto
- descarche parada simple o eléctrico

Indice

- Marco normativo
- Referencias tecnológicas
- Opciones técnicas
- **Seguridad y calidad de los alimentos, junto con el ahorro de energía**

Cadena de frío más confiable y menos costosa

Alrededor del 70% de los alimentos en la gran distribución europea se encuentran en régimen de baja temperatura, lo que va a determinar la calidad comercial, y con frecuencia la seguridad alimentaria.

Por otro lado, la cadena de frío absorbe en promedio cerca del 50% del consumo de energía de la industria alimentaria, hasta el 40% en el transporte y mucho más en el comercio minorista.

El consumo de energía es muy grande, ocasionado por la baja eficiencia que caracteriza el uso frecuente de aire como portador de calor, y por las elevadas dispersiones causadas por ineficiencias estructurales.

Estas mismas ineficiencias también pueden causar falta de fiabilidad en el régimen térmico del cual depende la seguridad y la vida útil de los alimentos sujetos a la cadena de frío.

Posible re-contaminación del producto con listeria durante la congelación

(R. Massini - Investigaciones por contrato no publicadas)

Producto: pasta cocida con varias salsas cocinadas

Equipos de congelación:

- túnel de banda recta para pasta
- túnel de banda en espiral para salsas

Desinfección de congeladores:

- "Fumispore OPP" el fin de semana
- "Virkon ®" todos los días

Ausencia de listeria en la pasta y los condimentos antes de la congelación

Ausencia de listeria en el producto terminado sólo en la mañana del lunes

Los evaporadores de los congeladores no podían ser completamente desinfectados

Solución: sellar herméticamente el evaporador durante el ciclo de desescarche para poder desinfectarlo completamente

Gestión del producto después de la refrigeración o congelación

Los modernos equipos para refrigerar o congelar alimentos a granel o envasados en su mayoría tienen una alta eficiencia energética. Los equipos de envasado, en cambio, causan disipación de la energía debido a que operan a temperatura ambiente.

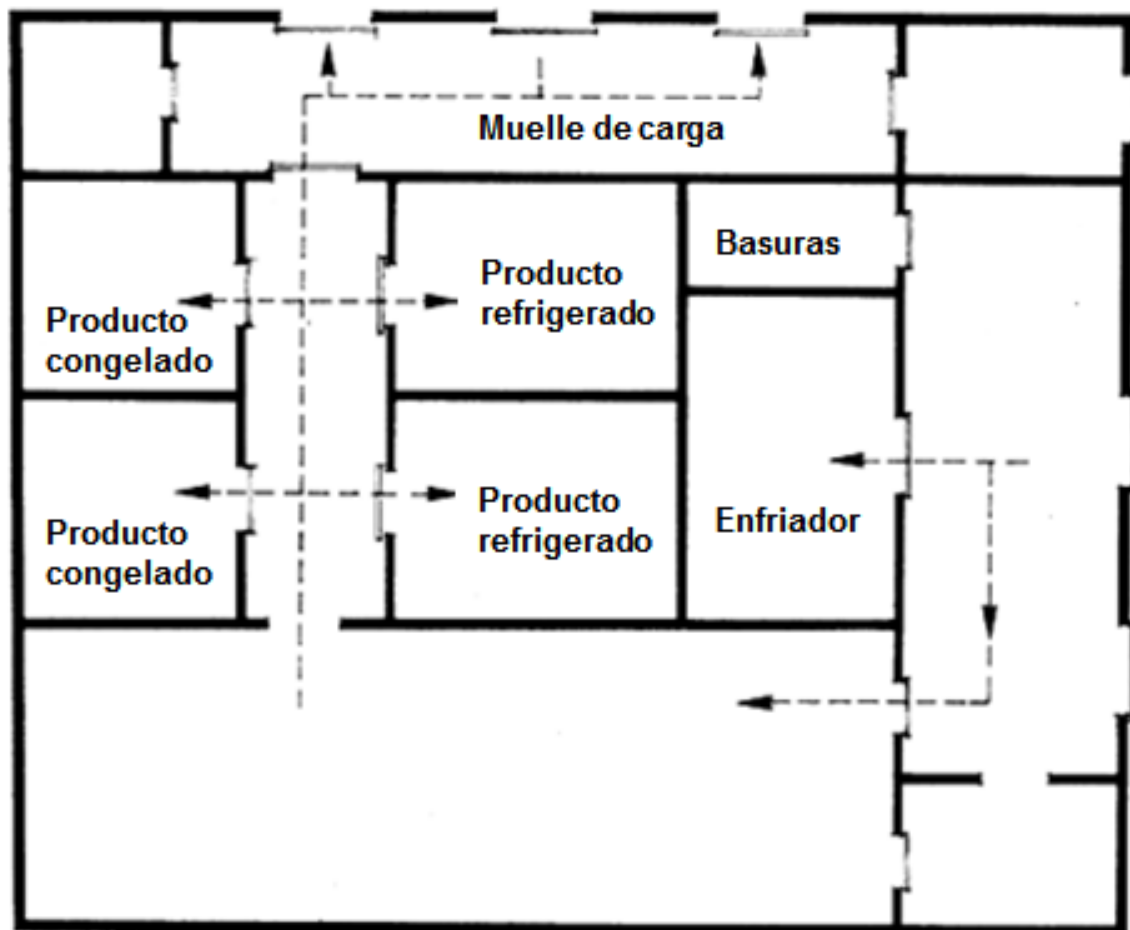
Los productos refrigerados o congelados deben ser paletizados a una temperatura no superior a la prevista para la preservación, por no tener largos tiempos de extracción de calor de la parte central de la paleta, con consiguiente abuso térmico.

También desde el punto de vista de la energía es necesario distinguir claramente las estructuras y el equipo de refrigeración de acuerdo con sus funciones:

- pequeño volumen para enfriar rápidamente el producto antes de su paletizado;
- volumen mediano de un aislador de doble puerta, con un rápido enfriamiento del aire, para la transferencia de la paleta;
- grande volumen de almacenamiento para el mantenimiento efectivo de la temperatura baja debido a pequeñas variaciones en la carga térmica y la humedad.

De esta manera se puede optimizar el aislamiento, así como la potencia y el funcionamiento de los compresores y ventiladores.

Disposición óptima de las instalaciones de almacenamiento



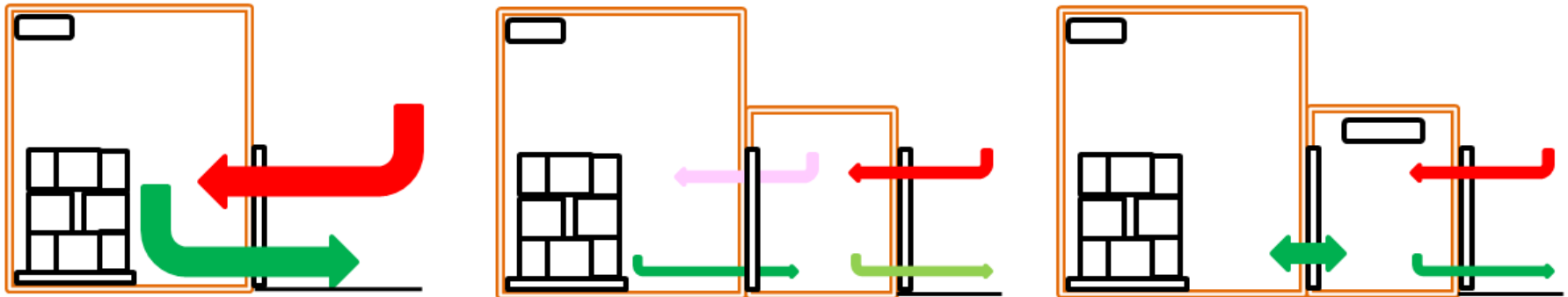
Criterios básicos

Las puertas rápidas de acceso de las cámaras a la temperatura más baja no deben abrir directamente en ambientes a temperatura alta.

Para minimizar el costo de aislamiento, las cámaras que tienen temperatura similar deben ser adyacentes.

Las cámaras están equipadas para mantener la baja temperatura de la carga, no para enfriar (utilizado para este propósito un enfriador equipado para la reducción rápida de la temperatura de cada lote de producto a almacenar).

La zonificación estructural para reducir las dispersiones



Comunicación directa
con el exterior

Comunicación a través
de aislador de doble
puerta

Comunicación a través de
un pre-enfriador rápido

Cámaras a baja temperatura tienen una alta disipación de energía para el intercambio de aire con el ambiente exterior.

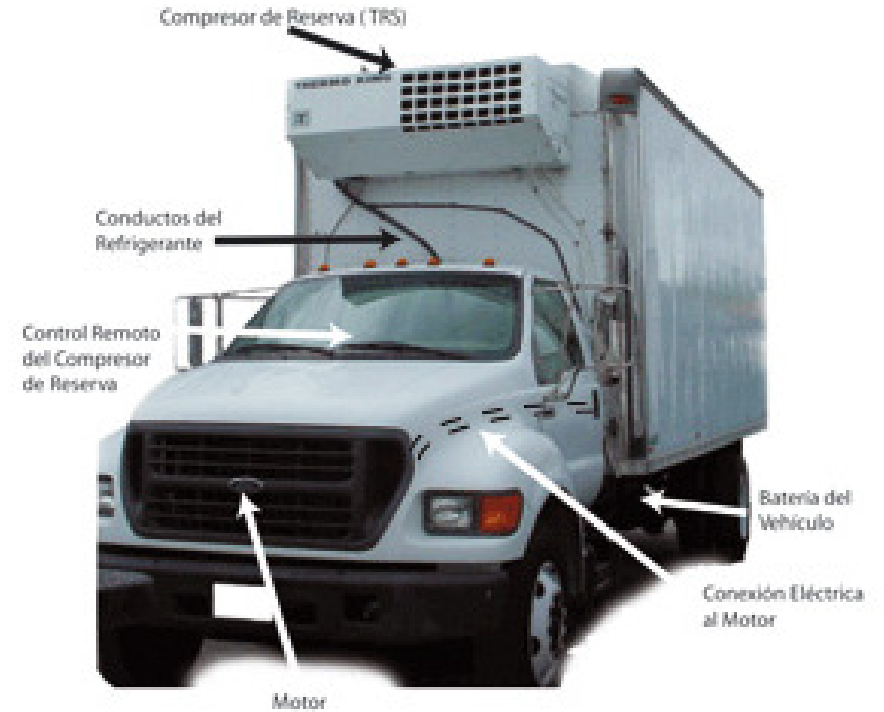
Su separación de las zonas con mayor temperatura permite mayor fiabilidad del régimen térmico, junto con un ahorro de energía eléctrica de 15 -20%.

El acceso a través del pre-enfriador permite minimizar las fluctuaciones de temperatura y la frecuencia de los ciclos de descarche en la cámara de almacenamiento.

Punto de transbordo y transporte



Muelle de carga con **túneles isotérmicos**



Carga refrigerada con **compresor de reserva**

Expositores de ventas

En los expositores verticales para la venta de alimentos refrigerados y congelados, las aperturas de puerta dan lugar a un mayor consumo de energía en un 28%. Esto se debe a la diferencia de densidad que se genera en la sustitución del aire frío contenido en el interior con el aire externo más caliente y húmedo.

En los expositores horizontales, por otro lado, si se excede un poco la línea de carga máxima se genera turbulencia, con dispersión de aire frío y la entrada de aire caliente y húmedo en el reciclaje.

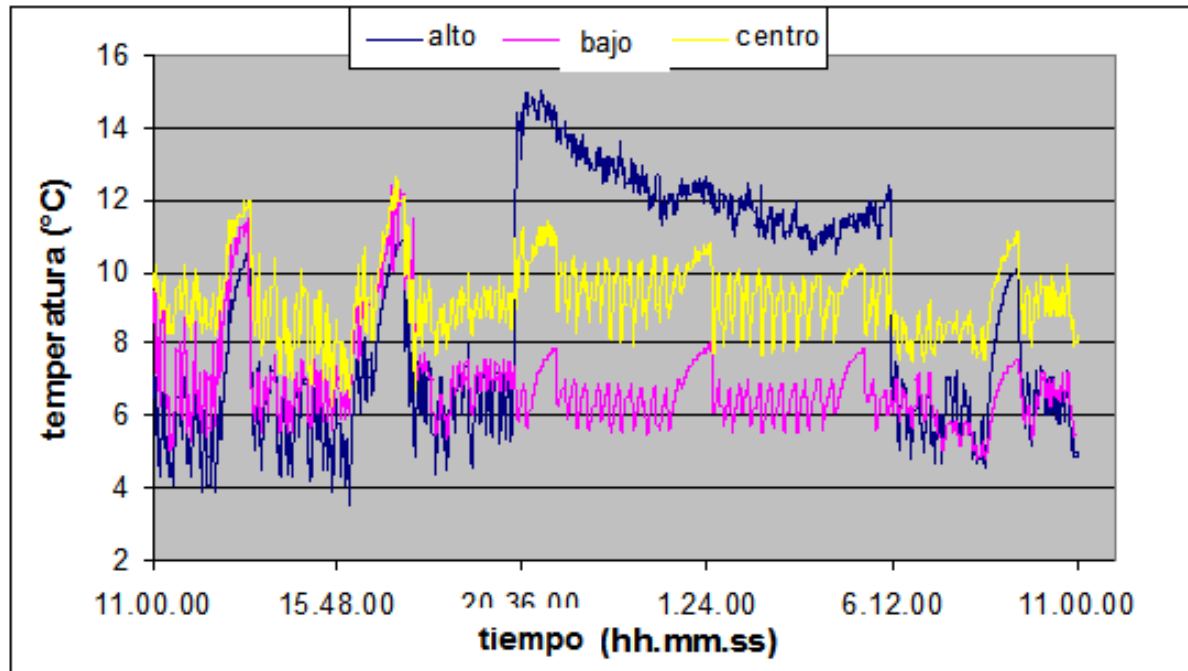
Puede haber diferencias de 10 °C entre la temperatura indicada por el termómetro y con la temperatura a la que el producto está expuesto en realidad.

En comparación con los expositores de ventas tradicionales, que representan los componentes que más consumen energía de la cadena de frío, los equipos más racionales pueden dar lugar a un ahorro del 30-50% de electricidad, además de una mayor fiabilidad del régimen térmico para la seguridad y la calidad de los alimentos.

Minimizando la entrada de aire cálido y húmedo, se minimiza el consumo de energía para los ciclos de descarche y ventilación. En consecuencia, se evita un abuso térmico significativo para el producto.

Vitrina vertical para la leche pasteurizada en un supermercado

(R. Massini - Investigaciones por contrato no publicadas)



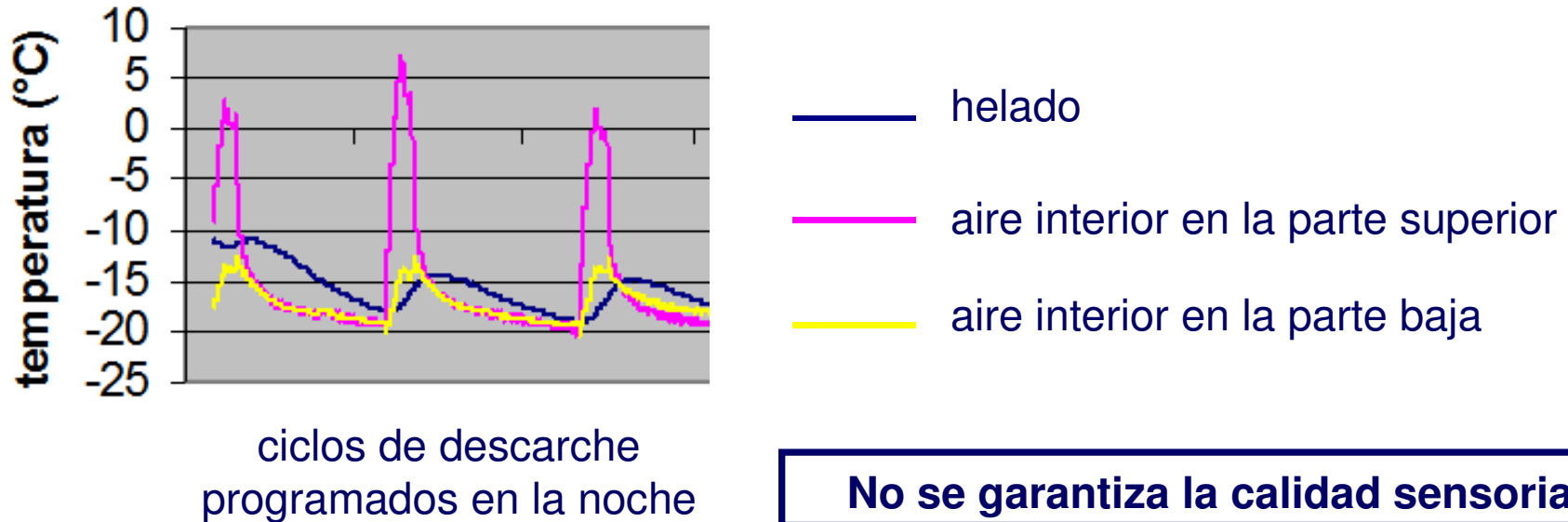
la seguridad alimentaria no está garantizada

No se cumple con el requisito legal para la leche pasteurizada: $4^{\circ}\text{C} \geq T \leq 8^{\circ}\text{C}$.

La situación empeora durante las horas de cierre por la estratificación del aire en función de la temperatura (ausencia de convección).

Expositor horizontal para helados en un supermercado

(R. Massini - Investigaciones por contrato no publicadas)



En primer lugar, tres ciclos de descarche en la noche no son necesarios, ya que no entra el aire húmedo del ambiente exterior.

Sin embargo, las grandes fluctuaciones cíclicas de temperatura causan una estructura desagradable debido a la formación de cristales de hielo macroscópicas (maduración de Ostwald)

Soluciones de mejor control de la temperatura y ahorro de energía

Soluciones actuales:

- puertas o tapas aisladas y automáticas
- iluminación fría (Led)
- ventiladores de alta eficiencia (Conmutación Electrónica)
- grupo frigorífico central que también sirve para el acondicionamiento ambiental

Innovaciones potenciales:

- aislamiento del evaporador durante la descarche
- aislamiento del ambiente interno, como en máquinas expendedoras

muchas gracias por su atención

roberto.massini@unipr.it