

Nuevas aplicaciones frigoríficas de bajas temperaturas y mejora de la calidad de los alimentos congelados



Maurizio Giuliani



Objetivos de la sesión

Introducir los puntos de partida de la ponencia.

Poner el foco sobre de cómo la necesidad de realizar instalaciones frigoríficas seguras y respetuosas con el medio ambiente han permitido proyectar aplicaciones frigoríficas que permiten alcanzar bajas y muy bajas temperaturas con costes reducidos:

Cascada con CO₂ como fluido refrigerante

Efecto Brayton (Joule con Aire)

Interrelacionar bajas temperaturas en congelación y conservación con la calidad de los productos de alimentación.

Dar ejemplos comparativos cuantitativos

Atender a las preguntas e intentar dar respuestas.



Introducción (1 de 3)

Leyes y normativas para la supresión de los gases refrigerantes con efecto *OPD* y la restricción de los gases con alto *GWP*



Efecto



Impulso al desarrollo de nuevos sistemas de refrigeración;

Resultados

Sistemas sostenibles y seguros para personas y productos



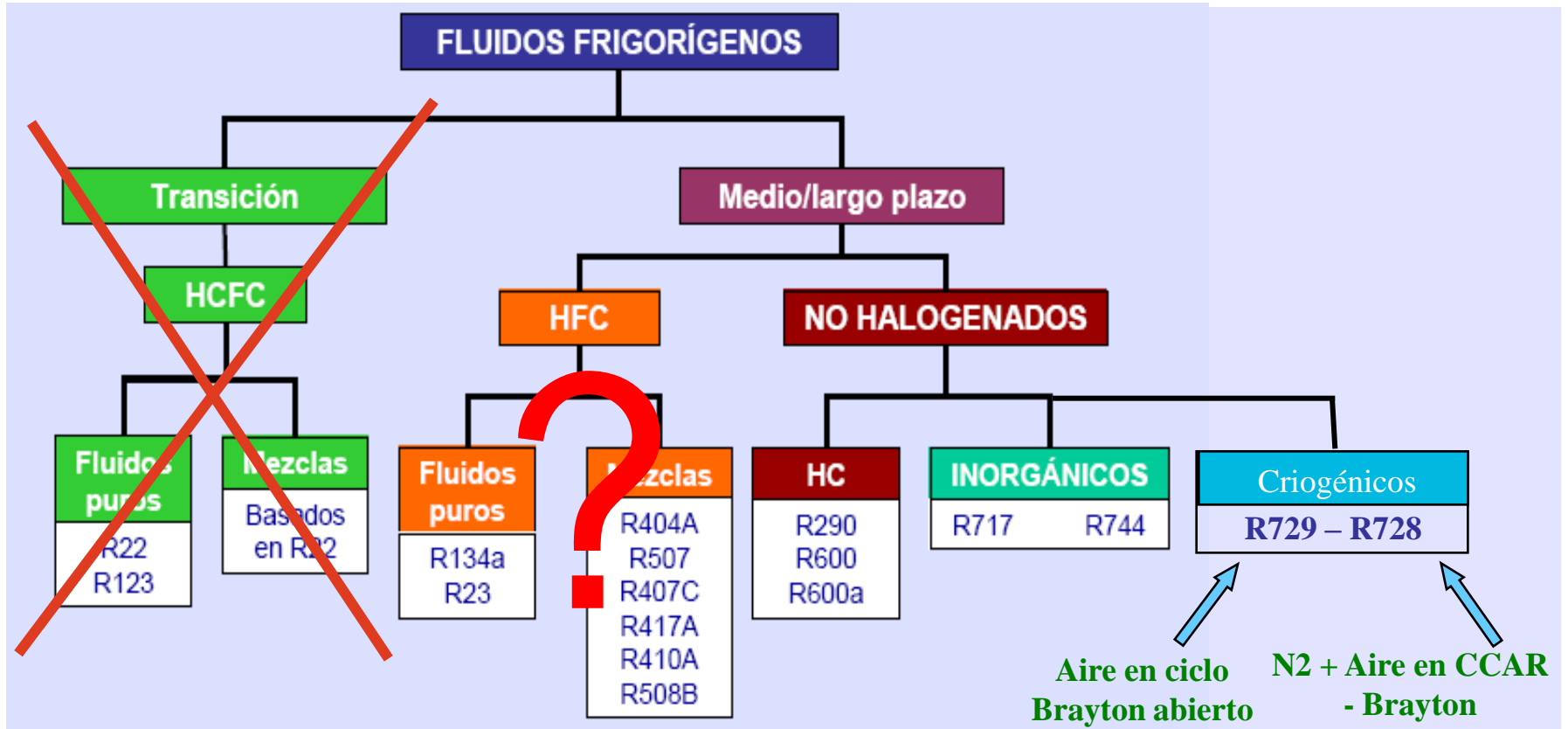
Mejor eficiencia energética;



Posibilidad de alcanzar temperaturas más bajas con costes asumibles

Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

La situación actual de los gases refrigerantes



Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

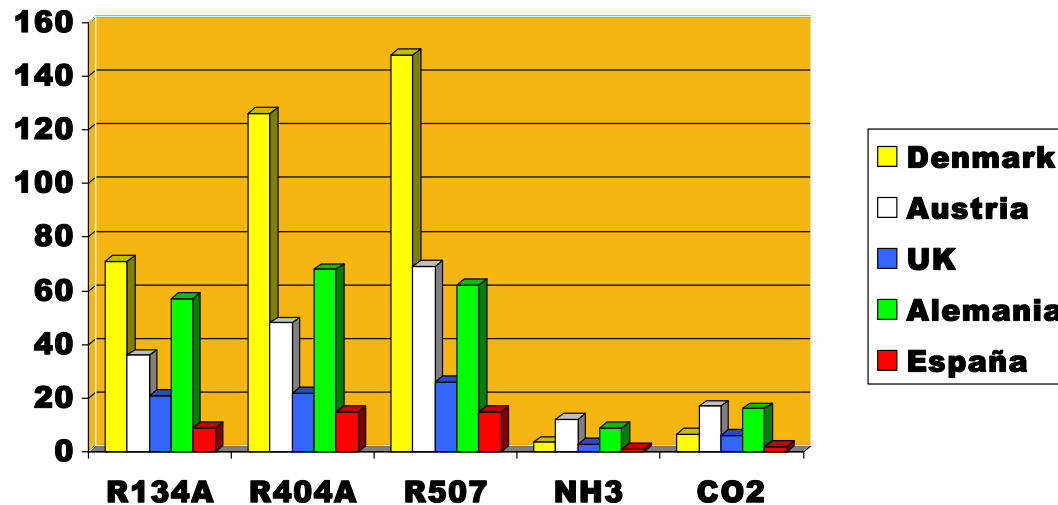
La situación actual de los gases refrigerantes

Eliminación Definitiva de los CFC (R12) y práctica desaparición del R22 (HCFC) en los próximos 3-4 años.

Legislación disuasoria y fuertes impuestos para los HFC (Alto GWP)

Precios de hasta 130 €/Kg en los países del norte de Europa

Prohibición de reintegrar cargas sin encontrar y reparar las fugas



Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

La apuesta para los “refrigerantes naturales”



Movimientos sociales a favor de la sostenibilidad
Legislación
Ausencia de gases de síntesis que pudieran
fácilmente sustituir los gases en fase de eliminación

Apuesta decidida para refrigerantes naturales con $ODP = 0$ y con GWP nulo o muy bajo 1-2 (Contra los 2500- 3500 de los HFC).

Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

Seguridad y Economía

La necesidad de utilizar estos tipos de gas ha obligado a cambiar las reglas del juego y a dinamizar la tecnología frigorífica desarrollando nuevos sistemas y/o recuperando sistemas en sus días abandonados a la luz de nuevas tecnologías y materiales

CO₂ en cascada (o transcrito)

Ciclo Brayton (Joule) con Aire

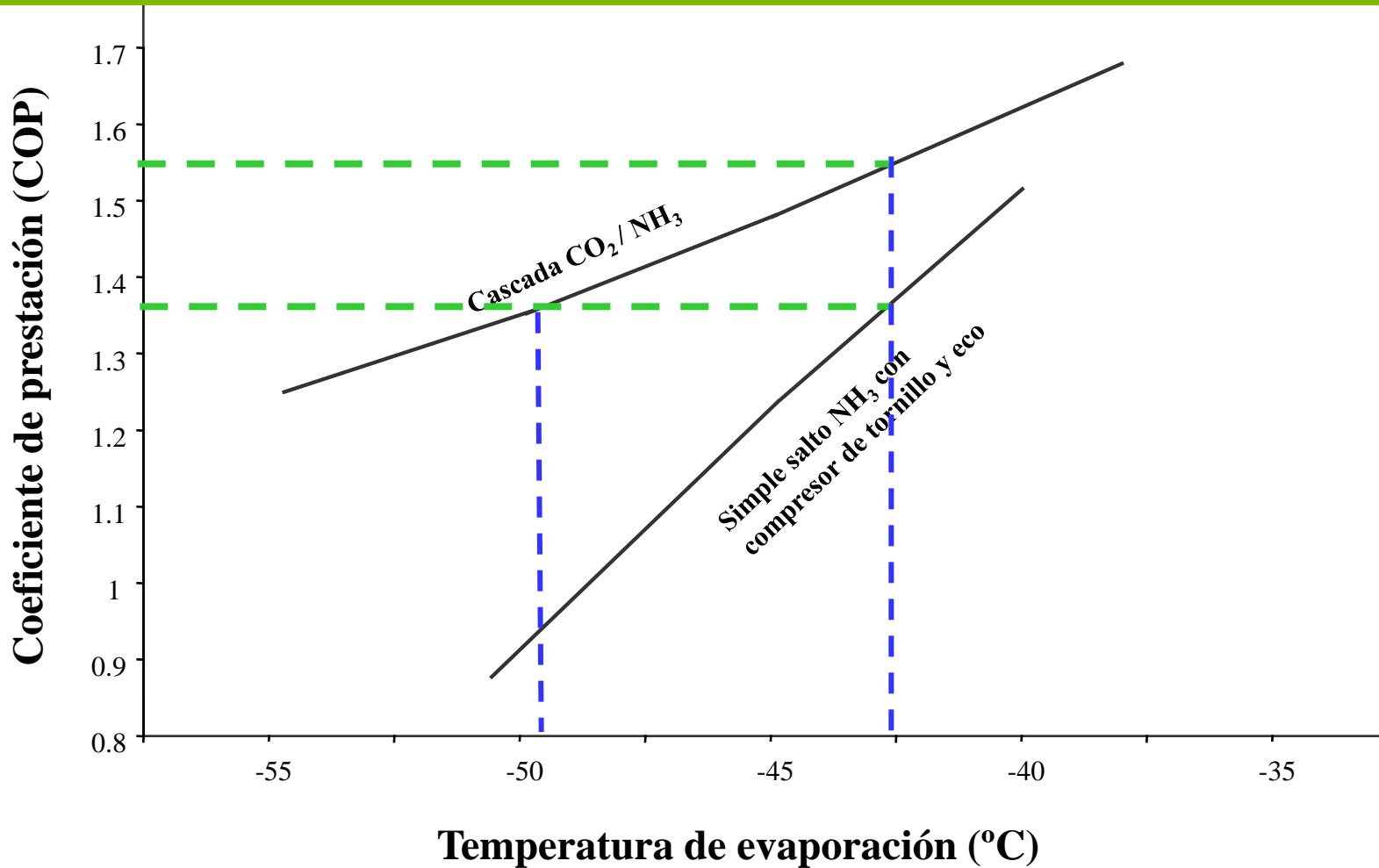
CCAR Con Nitrógeno, Argón o Aire en alta presión



Estos tipos de tecnologías tienen en común la posibilidad de ser respetuosos con el medio ambiente pueden alcanzar muy bajas temperaturas con rendimientos energéticos sostenibles

EL CO2 COMO REFRIGERANTE

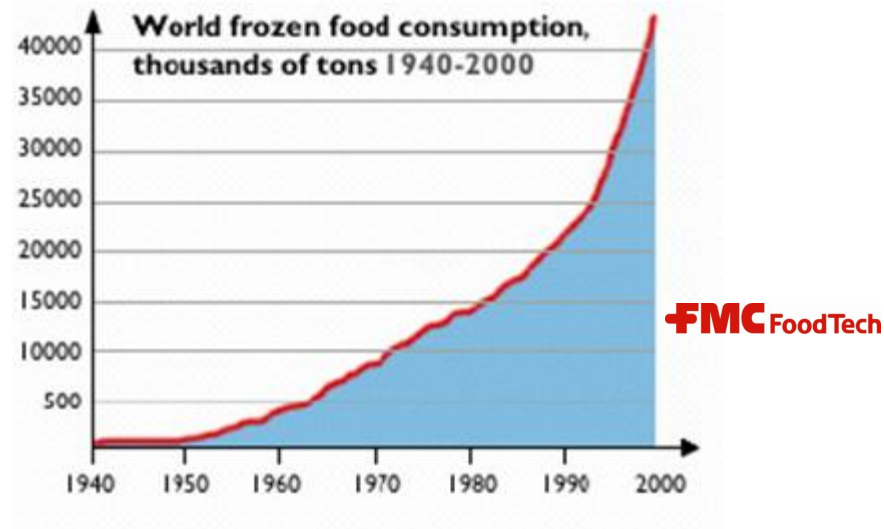
Sistema de refrigeración a muy baja temperatura y de alto rendimiento



Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

La congelación

La función de la congelación y de la sucesiva conservación, es la de mantener, cuanto más posible, las características de calidad originales del producto en un mercado donde constantemente crece la demanda en cantidad y calidad.



Sistemas frigoríficos para baja y muy baja temperatura

Calidad

PPP Concept (Product, Process, Packaging) -TTT Concept (Time – Temperature Tolerance)

El Ser o no Ser de la calidad en los alimentos congelados:

Alta calidad de la materia prima

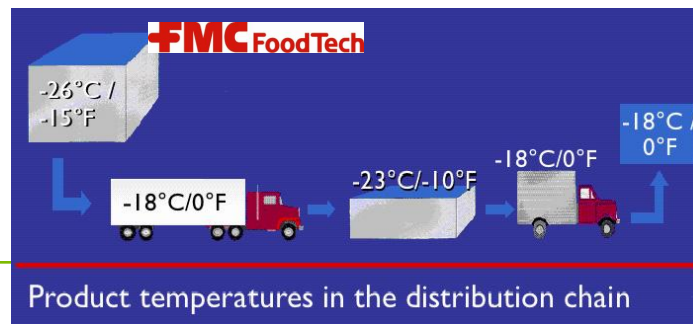
Estrictos procedimientos y controles en cada una de las fases de producción,

Procesos de congelación

Empaquetado

Conservación (Temperatura – Estabilidad – Tiempo)

Distribución (Mantenimiento cadena del frío hasta el consumo)



Congelación y Calidad (1)

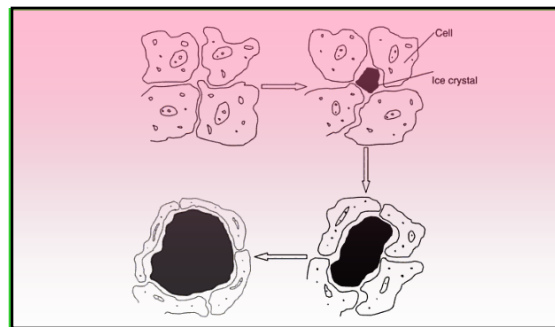
La velocidad de congelación es básica para conseguir una buena calidad en los productos congelados

Tiempos de congelación prolongados dan como resultado:

Deshidratación de las células (Pérdida de peso, aspecto no apetecible)

Formación de grandes cristales de hielo que pueden dañar la textura del genero

Aumento de la concentración de las restantes soluciones acuosas que puede afectar a la integridad de las membranas celulares y de las proteínas



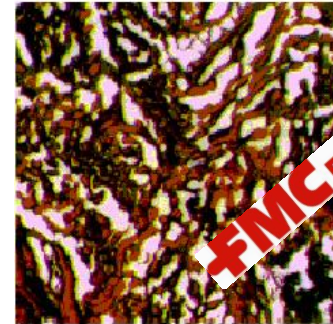
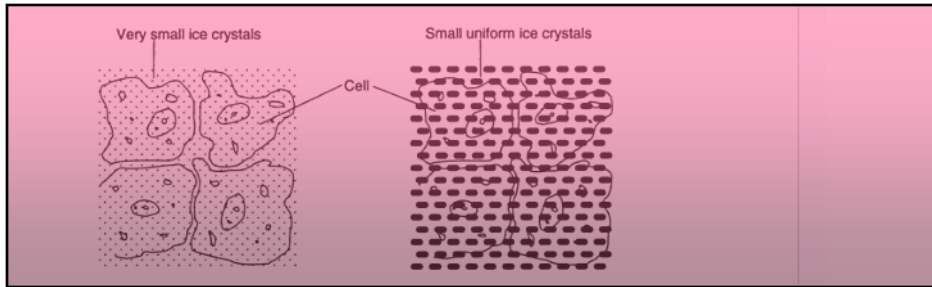
Source Handbook of Frozen Food Processing and Packaging -

Congelación y Calidad (2)

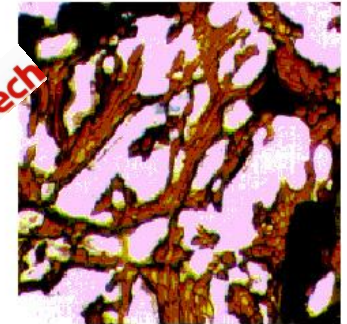
Tiempos de congelación reducidos proporcionan:

Prevenir la migración del agua dentro de los espacios intracelulares
 La formación de numerosos y pequeños cristales de hielo menos agresivos con la estructura de los alimentos (Textura)

Raw hamburgers frozen to -18°C



Rapid Freezing (7 min)

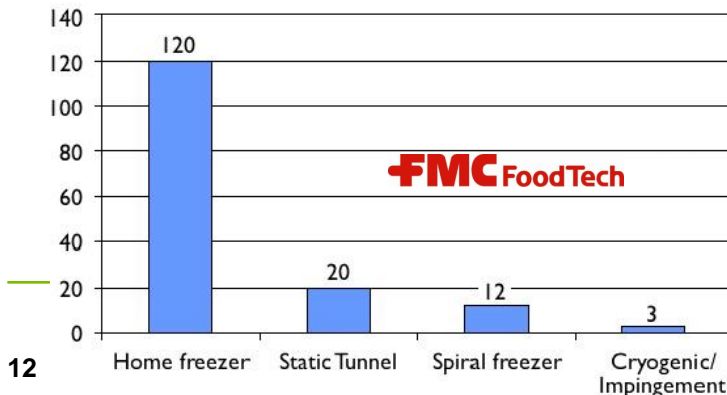


Slow Freezing (3 hours)

Source Handbook of Frozen Food Processing and Packaging -

| Temperatura Aire | Tiempo de congelación (Min) |
|------------------|-----------------------------|
| -40°C | 22 |
| -73°C | 12 |
| -128°C | 7 |

Source: Air Product And Chemical Inc. 1998 Dehydration Model Study

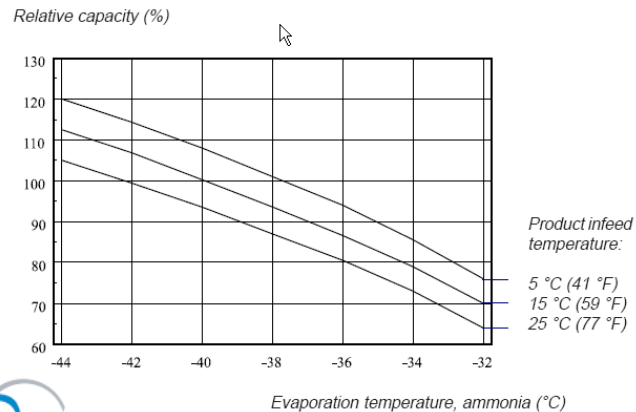


Congelación y Calidad (3)

.....Y también permiten reducir la deshidratación

Elementos que influyen en la deshidratación del producto:

- ✓ Dimensiones del producto (relación superficie/peso)
- ✓ Propiedad de la superficie - Embalaje
- ✓ **Temperatura del medio**
- ✓ Coeficientes de transmisión (Interno – Superficie-Medio)



Typical dehydration of naked meat products

| | <u>Dehydration (%)</u> |
|--|------------------------|
| <u>Freezing in cold storage</u> | 5.0 |
| <u>Air blast freezing</u> | |
| Static tunnel | 4.0 |
| Modern in-line spiral, horizontal airflow | 1.2 |
| Modern in-line spiral, vertical airflow | 0.8 |
| Modern in-line spiral, optimized uniform airflow | 0.7 |
| Impingement freezer (Flat Product Freezer) | 0.4 |
| <u>Cryogenic freezing</u> | |
| Tunnels | 0.5 |
| Immersion | 0.2 |



Congelación y Calidad (3)

¿Cómo?

El tiempo de congelación es inversamente proporcional a la temperatura del medio congelante y al coeficiente de transmisión medio-producto

$$t (s) = \frac{\Delta H * \rho * X}{(T_a - T_f) * N} * \left[\frac{1}{h} + \frac{X}{4\lambda F} \right] \quad (\text{Plank})$$

H= Entalpia
P= Densidad
F=Coef. Transmisión

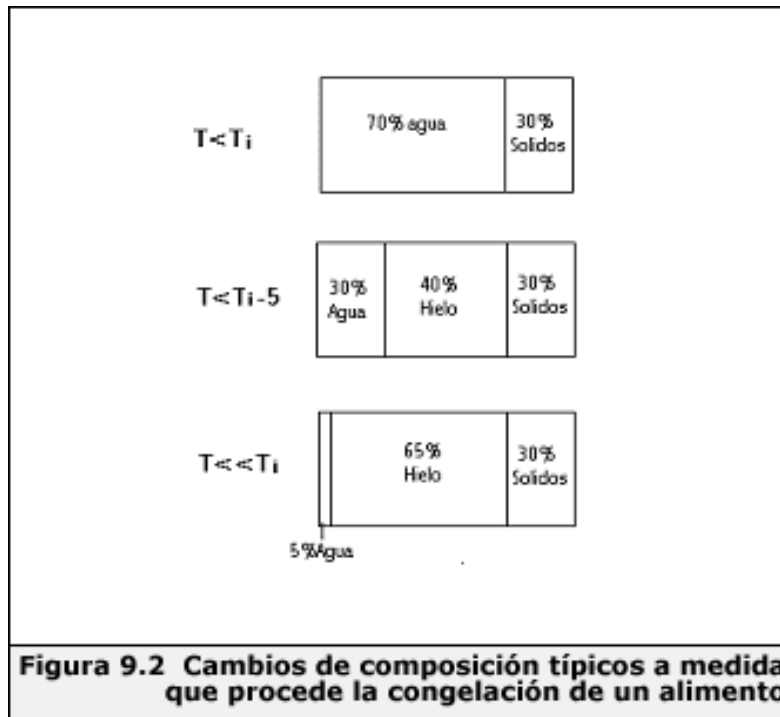
La velocidad de penetración de congelación es directamente proporcional a la temperatura del medio congelante y al coeficiente de transmisión medio-producto

$$W (m*s^{-1}) = \frac{(T_a - T_f)}{\rho * \Delta H * \left[\frac{1}{h} + \frac{x}{4\lambda F} \right]} \quad (\text{Plank, valido para formas planas})$$

Conservación y Calidad (1)

A las temperaturas habituales de conservación de los alimentos congelados, entre -18°C y -25°C siguen teniendo lugar procesos físicos, químicos y bio-químicos que provocan el degrado más o menos rápidos de las calidades organolépticas de los alimentos congelados.

Estos procesos son todavía posible en este rango de temperaturas debido a la presencia de agua en fase líquida y por la relativa movilidad de las moléculas en la fase amorfa líquida constituida por líquido residual y soluto.



Cálculo cantidad de hielo f de T. Chen (1985)

$$G = \frac{S}{M} \left(\frac{RT_b^2}{L} \right) \left[\frac{T_i - T}{(T - T_b)(T_i - T_b)} \right]$$

Ec. 9.2.3

Para $R = 8.32 \text{ KJ/Kg mol}^{\circ}\text{K}$; $L = 335 \text{ KJ/Kg}$; T_b , temperatura de fusión del agua (273.1°K)
 T_i , temperatura de inicio de la congelación; T , temperatura del sistema
 S , contenido del extracto seco soluble (Fracción en peso); M peso molecular equivalente de S en gramos
 G es adimensional y corresponde a la fracción en peso del hielo (Kg de hielo / Kg de producto) H es el porcentaje de humedad /100 ó frac

| Para carne de vacuno: | Para bacalao | Para jugo de naranja y de manzana |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| $M = \frac{535.4}{H}$ | $M = \frac{404.9}{H}$ | $M = \frac{200}{0.25 + S}$ |
| Ec. 9.2.4 | | |

Imágenes elaboradas por: Ing. Juan Alberto MOO PUC Instituto Tec. Sup. Calkiní

Procesos principales que tienen lugar a las temperaturas normales de conservación:

Migración de humedad en el producto
Productos con contenido de agua heterogéneo
(Precocinados, Tartas congeladas, Helado con galletas)



Reblandecimiento en la masa, en barquillos o cucuruchos).



Es debido a: Gradiente de humedad en el bloque de producto congelado



Migración con pérdida de contenido de agua



Deshidratación - Sublimación
Aspecto

Es Debido a:

Diferencia de tensión de vapor entre superficie del género y aire,
Temperatura, Fluctuación de la temperatura.



Conservación y Calidad (3)

Deterioro químico y oxidativo de proteínas



Pérdidas nutricionales

Degradación del color



Aspecto



Es Debido:

En atunes oxidación de mioglobina a metamyoglobina.

En el salmón la oxidación del caroteno.

Oxidación de materia grasa



Rancidez

Es Debido a:

La actividad de oxidación enzimática (Lipasas y Phospholipasas, Lipoxygenases) sobre tejidos grasos es especialmente importante en el deterioro de la calidad de los alimentos congelados ricos en grasas, animales y vegetales no pre-rescaldados.

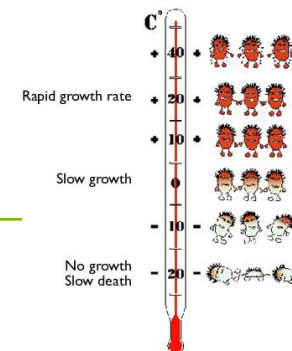
Efectos Microbianos



Patologías, Alteraciones en sabor

Es Debido a:

Conservación a temperatura inadecuada, y/o a fluctuaciones de temperatura



Source: Elliot and Michener

Relación entre baja temperatura y mejora de la calidad

La transición al estado Vítreo

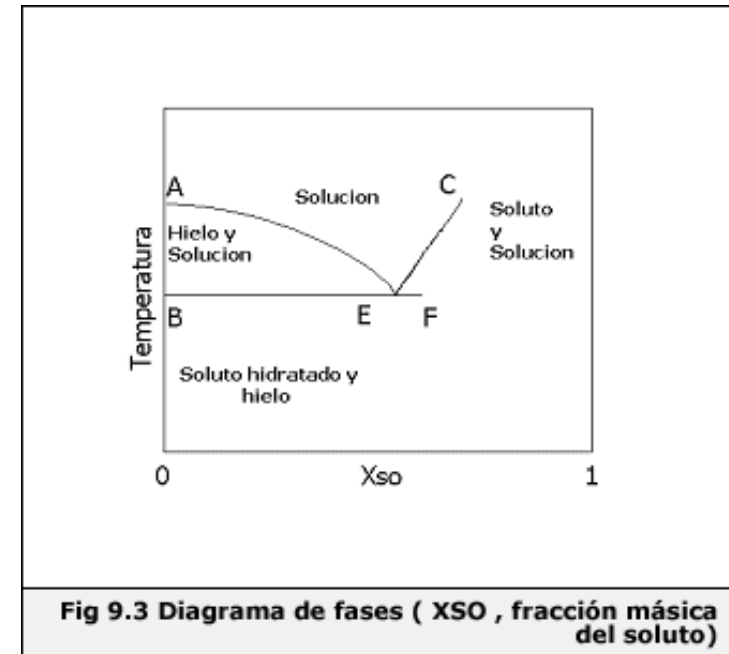
El proceso de congelación de los alimentos es mucho más complejo que la congelación de agua pura

Concepto de criocentración - Potencial hídrico – Efecto del soluto

Formación hielo - > Concentración de soluto; > Entropía; < Energía libre agua; < tensión de vapor; < temperatura congelación

Alcanzando TE , aumenta exponencialmente la Viscosidad, se limita la cristalización del FCNC y por consiguiente del soluto

(FCNC = Fracción Concentrada No Congelada)



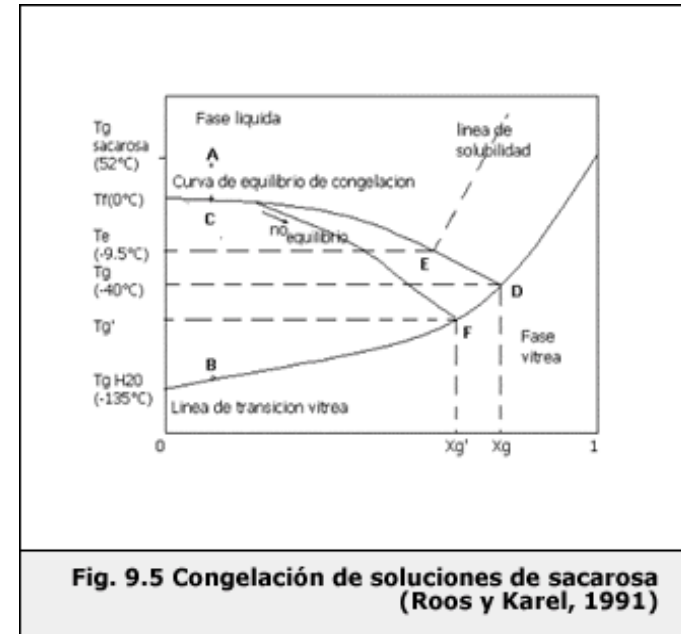
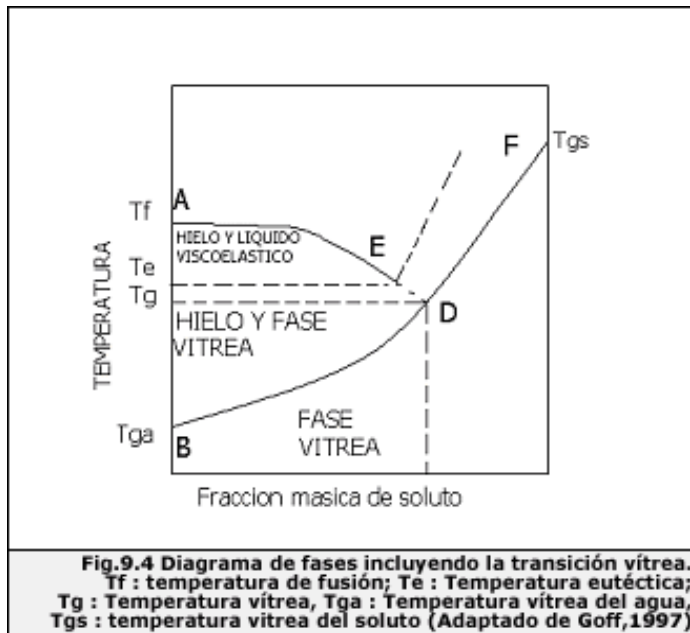
Imágenes elaboradas por: Ing. Juan Alberto MOO PUC Instituto Tec. Sup. Calkiní

Relación entre baja temperatura y mejora de la calidad

El estado Vítreo de los alimentos y Tg

Bajando más la temperatura la FCNC pasa de un estado líquido viscoso (amorfo) a un **estado vítreo**.

Imágenes elaboradas por: Ing. Juan Alberto MOO PUC Instituto Tec. Sup. Calkiní



Estado Vítreo, sólido metastable que mantiene el desorden del estado líquido. Esta situación se alcanza con viscosidad entre 10^{10} y 10^{14} Pa.s . La temperatura vítrea (Tg) se define como aquella en la que un material alcanza este rango de viscosidades (Rahman, 1995). (Definición elaborada por Ing. Juan Alberto MOO PUC Instituto Tec. Sup. Calkiní)

Relación entre baja temperatura y mejora de la calidad

El estado Vítreo de los alimentos y T_g

Alta viscosidad $10^{11} - 10^{14}$ Pa*s + Mínima cantidad de agua libre

Mínima actividad + Durabilidad + Calidad

Table 2 T_{g2} Values for Frozen Food Products.^a

| | T_{g2} (°C) | Reference |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| Lemon juice | -38 | Maltini (15) |
| Orange juice | -34 | Moreira (16) |
| Raspberry juice | -31 to -35 | Moreira (16) |
| Strawberry | -43 | Sa-Sereno (11) |
| Strawberry juice | -45 | Torregiani (17) |
| Apple | -37 | Guegov (18) |
| | -71 | Sa (19) |
| Tomato | -21 | Guegov (18) |
| Carrot | -32 | Guegov (18) |
| Egg white | -38 | Simatos (20) |
| Egg yolk | -32 | Simatos (20) |
| Beef muscle | -85 | Simatos (20) |
| | ~ -70 | Sator (21) |
| Tuna | -70 | Inoue (22) |
| Commercial ice creams | -27.5 to -40 ^a | Levine (23) |
| Commercial ice creams | -34 ^a | Blond (24) |
| Model ice creams | -25 to -43 ^a | Hagiwara (25) |

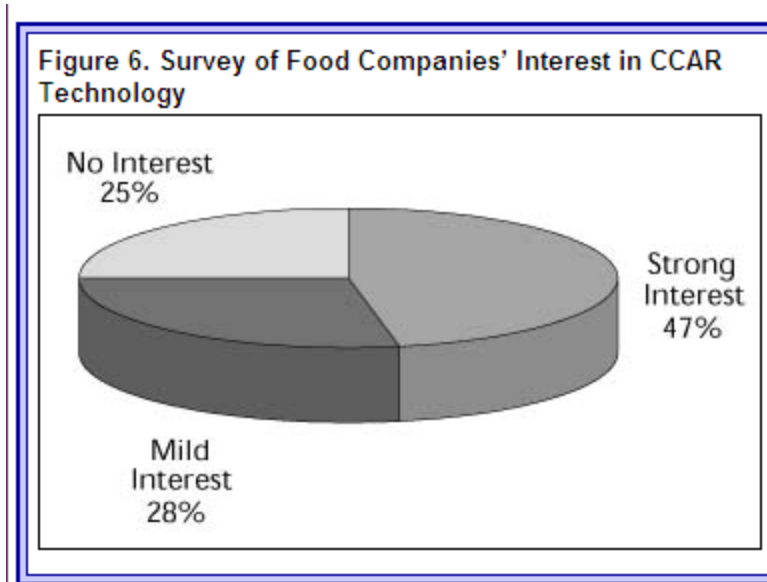
^a Depending on the recipe, particularly of the used sugars.

Table 1 Practical Storage Life (PSL) in Months at Several Temperatures

| Product | -12 °C | -18 °C | -24 °C |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| Beef steaks/cuts | 8 | 18 | 24 |
| Ground beef | 6 | 10 | 15 |
| Pork steaks/cuts | 6 | 10 | 15 |
| Fatty fish (glazed) | 3 | 5 | >9 |
| Lean fish | 4 | 9 | >12 |
| Butter, lactic unsalted | 15 | 18 | 20 |
| Butter, lactic salted | 8 | 12 | 14 |

Source: Adapted from IIR-IIF [1].

Sistemas de refrigeración a muy baja temperatura (Ciclo Brayton directo e indirecto (CCAR) Nivel de interés en la industria de EEUU



Source: *Unpublished Air Products internal study, 1999.*

EL CO2 COMO REFRIGERANTE

Sistema de refrigeración a muy baja temperatura y de alto rendimiento Comparativas económicas

Caso estudiado

Producto Platos precocinados

Capacidad de congelación 1.000 Kg/h

Capacidad de almacenaje 10.000 m3

| Sistema Frigorífico Propuesto | Simple etapa con eco | Doble etapa | Cascada | Aire |
|--|----------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Gas Refrigerante | NH3 | | CO2 Baja-NH3 alta | |
| Capacidad frigorífica en túnel de congelación KW | 130 | 130 | 133 | 133 |
| Temperatura evaporación en túnel (°C) | -42 | -42 | -52 | -70 |
| Temperatura Aire en túnel (°C) | -35 | -35 | -45 | -70 |
| Capacidad frigorífica en cámara (KW) | 80 | 80 | 100 | 110 |
| Temperatura Evaporación en cámara (°C) | -33 | -33 | -52 | -70 |
| Temperatura Aire en cámara Congelados (°C) | -20 | -20 | -45 | -70 |
| COP sistema de compresión | 1,54 | 1,8 | 1,29 | 0,6 |
| Coste estimado consumo a 5 años Compresores | 220.000€ | 186.000 € | 290.000 € | 648.000 € |
| Coste estimado consumo a 5 años Resto Planta | 55.000 € | 55.000 € | 55.000 € | 55.000 € |
| Coste estimado a 5 años Refrigeración (Com+Planta) | 275.000 € | 241.000 € | 345.000 € | 703.000 € |
| Coste Inversión | 370.000 € | 400.000 € | 420.000 € | 450.000 € |
| Coste Mantenimiento (Estimado en un 2% año del coste de Inv) | 37.000 € | 40.000 € | 42.000 € | 20.000 € |
| Total Coste refrigeración | 682.000 € | 681.000 € | 807.000 € | 1.173.000 € |
| Total producto procesado en 5 años (Kg) | 10.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 |
| Incidencia Refrigeración coste sistema refrigeración por Kg | 0,07 € | 0,07 € | 0,08 € | 0,12 € |

CONCLUSIONES (1)

- ✓ En términos generales se puede afirmar que por lo que concierne la congelación **la calidad es inversamente proporcional al tiempo del proceso.**
- ✓ Al mismo tiempo la durabilidad en conservación (Shelf life) de los alimentos congelados, y su calidad (Conservación textura, color, olores, etc.) aumenta al bajar la temperatura de conservación.
- ✓ El coste económico de las instalaciones de refrigeración, y su consumo energético aumentan al bajar el nivel de temperatura que se quiere conseguir.
- ✓ La reglamentación Europea e Internacional fija en -18°C la temperatura de conservación de los congelados durante su almacenamiento y distribución.

¿Es la temperatura de -18°C la ideal para la conservación de los alimentos congelados en general? O ¿Es simplemente un valor de compromiso superado por los avances tecnológicos?

CONCLUSIONES (2)

✓ Los métodos de congelación y las temperaturas de conservación hasta ahora habitualmente utilizadas tienen que ser reconsiderados en función de una demanda de mayor calidad por parte del consumidor y de la aparición de nuevas aplicaciones frigoríficas que permiten conseguir temperaturas de funcionamiento más bajas sin, necesariamente significar importantes aumentos de costes de instalación y de energía. Ejemplo práctico: El atún congelado y conservado por el mismo sistema a -60°C (Plantas de Barbate y Conill).

✓ El mundo de la refrigeración se ha quedado estancado a lo largo de estos últimos cuarenta años, pero se espera que los éxitos de nuevas tecnologías y aplicaciones lleven a una rápida evolución en los próximos años

¡Se abre una posibilidad de desarrollo de las actividades de investigación, hasta ahora escasas para aprovechar la nueva tecnología para dar mayor calidad y valor añadidos a productos manteniendo costes competitivos!

¿PREGUNTAS?



FIN

*Muchas gracias por la atención prestada en
nombre de Johnson Controls Refrigeration, S.L
y en el mío personal*

