



Descripción y aplicaciones de equipos de congelación para la industria de alimentos

V. Rodríguez-Martínez; T. G. Cerón-Carrillo y M. M. Vázquez-Aguilar

Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de las Américas-Puebla,
San Andrés, Cholula, Pue., México

Resumen

En este documento, se presenta una revisión de los sistemas de congelación más importantes empleados en la industria alimentaria, tomando como clasificación el método de congelación que se emplea, de esta manera se especifica las características, uso, capacidad y dimensiones de diferentes equipos de congelación. Los equipos que se describen son los que emplean como medio de congelación el flujo de aire frío a alta velocidad, el de contacto con el alimento por medio de placas y los equipos que utilizan como medio de congelación la inmersión o esparcido de líquidos criogénicos.

Palabras claves: Congelación de alimentos, equipos de congelación.

Abstract

In this paper presented a review of freezing systems most important employees in the food industry, using as a sorting method the different types of freezing equipments. In this manner specified characteristics, use, capacity and dimensions of different equipments. The freezing systems described on this work, are those used as a means to freeze the flow of cold air at high speed, the contact with food through plates and freezing system by immersed or espread of cryogenic liquids.

Keywords: Food freezing, freezing systems.

Introducción

La congelación de alimentos es un método de conservación que depende de la reducción de la temperatura del producto a niveles por debajo de su punto de congelación, es decir, el inicio de la formación de cristales de hielo (Cleland et al., 1998; Do et al., 2004). Debido al descenso de la temperatura (-10 a -20°C), las reacciones normales de deterioro en los

alimentos son reducidas a niveles mínimos. Estos niveles de temperaturas limitan el crecimiento de la mayoría de las poblaciones microbianas y minimizan la preocupación en cuanto a seguridad alimentaria del producto. Como es de esperarse, la vida útil del producto esta en función de la temperatura, ya que mientras más baja sea la temperatura de

congelación, mayor será la vida útil del alimento (Heldman y Hartel, 1997; Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Diferentes alimentos son preservados por congelación. Muchos tipos de frutas y hortalizas son congelados y pueden conservar este estado aún antes de ser consumidos. Varios tipos de productos cárnicos como res, pollo y pescado son congelados para aumentar su vida útil. Productos de panadería y otros alimentos preparados tienen beneficios cuando son preservados por congelación, aumentando la vida útil por medio del almacenamiento a bajas temperaturas (Singh y Heldman, 2001; Campanone et al., 2001; Cleland et al., 1998).

Las limitaciones de la congelación de alimentos como método o técnica de conservación incluyen los posibles daños en la calidad y el gasto energético que se requiere. La generación de cristales de hielo en las estructuras de la mayoría de los alimentos genera cambios estructurales irreversibles, y en la mayoría de los casos provoca cambios negativos en la calidad y características del producto (Campanone et al., 2001). Los requerimientos de refrigeración asociados con los procesos de congelación de alimentos, necesitan mantener niveles de temperatura por debajo de -18°C , estos son factores que se deben tener en consideración para evaluar el costo de los procesos de preservación de alimentos por congelación (Heldman y Hartel, 1997; Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002). El valor del aumento de la vida útil del producto debe ser comparado con los gastos energéticos que requiere el método y de los gastos durante el almacenamiento, para decidir si es viable la aplicación de este método de

conservación al producto en cuestión (Heldman y Hartel, 1997).

Dependiendo del tipo de alimento que se pretenda congelar, existen sistemas de congelación de alimentos, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo con la temperatura aplicada (arriba o debajo de -40°C), el producto procesado (sólido o líquido), el medio de congelación (aire, superficie fría, líquido), y el camino de proceso (continuo o batch) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002). Por ello, en este trabajo se presenta una revisión de los principales equipos utilizados para la congelación de alimentos.

Revisión Bibliográfica

Para que se logre una adecuada congelación en un producto alimenticio, éste debe ser expuesto a bajas temperaturas por el tiempo suficiente para remover el calor sensible y el calor latente de fusión, resultando en la conversión del agua líquida al estado sólido (hielo) (Cleland et al., 1998; Sun y Zhu, 1999). En la mayoría de los casos, aproximadamente el 10% de agua de producto se mantiene en estado líquido. (Do et al., 2004). Para que se logre el proceso de congelación en el periodo de tiempo deseado, el medio de congelación debe de tener una temperatura mucho menor que la temperatura final deseada en el producto (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

El proceso de congelación se lleva a cabo en sistemas diseñados para que el alimento entre en contacto con un medio a bajas temperaturas y que permita la remoción del calor complementado con los sistemas de congelación. La mayoría de los sistemas de congelación son usados dependiendo de las características que

presenta el alimento antes y después de que se lleve a cabo la congelación (Singh y Heldman, 2001).

A continuación se presenta los tipos de equipos utilizados para congelación de alimentos clasificados de acuerdo al medio de congelación que emplean:

1. Equipo de congelación por aire

Flujos de aire a bajas temperaturas son empleados en los sistemas de congelación de alimentos por medio de túneles, bandas transportadoras, y equipos de lecho fluidizado. En todos los casos, el flujo de aire se aplica continuamente al producto y, dependiendo del equipo de congelación, el flujo es horizontal o vertical (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002). En el congelador de túnel, el flujo de aire que prevalece es horizontal. En los equipos de lecho fluidizado, el flujo de aire es vertical ascendente, y en el equipo de congelación de bandas, ambos flujos de aire son utilizados. Dado que el calor específico del aire es bajo, las cantidades de aire que se necesitan para congelación son grandes (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

Congeladores de túnel. Son empleados para la congelación de un amplio rango de productos, desde productos finamente cortados, productos molidos, hasta las aves de corral o mitades de canales (Farouk et al., 2004).

Este equipo consta de un cuarto aislado con una sola puerta, o dos puertas con una operación continua. La diferencia entre los tipos de túneles es que la temperatura del aire varía de -30 a -40°C , las cámaras de aislamiento son gruesas, y la velocidad de aire es alta (3-6 m/s). Este

equipo requiere intercambiador de calor y ventiladores de alta potencia. El aumento de velocidad de aire reduce el tiempo de congelación, pero el beneficio de dicha reducción no es muy significativo si el incremento de gasto de energía se eleva tres veces en relación con la velocidad de enfriamiento (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Para este equipo, los tres principales sistemas de congelación son: (1) el impulso a través del sistema, en la que por cada carro que ingresa en el túnel, una mesa rodante con producto congelado sale; (2) el sistema rack, el cual es aplicado para la congelación de canales; y (3) sistema de manejo de cadena, en el cual los carros son dirigidos por cadenas dentro y fuera del túnel. (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Si las piezas de alimento no son muy grandes se pueden introducir hasta 40 bandejas por carro y pueden contener de 250 a 300 kg de producto. El tiempo de calentamiento depende del tamaño y de la conductividad térmica del producto. Para productos en bandejas, el tiempo es entre 1.5 – 6 h. Esto es en equipos de unifila o de fila doble. Usualmente, los ventiladores se encuentran encima de los carros. El intercambiador de calor se encuentra en ambos lados, y en el caso de equipos de doble fila, estos se encuentran también entre los carros.

La capacidad de un túnel con ocho carros de cargas es de 1.5 a 4 ton/h. Esto corresponde a una capacidad específica de aproximadamente $25 \text{ kg/m}^2\text{h}$ de bandeja por área.

Las ventajas de un túnel de congelación son: (1) flexibilidad, los túneles son adecuados para una gran

variedad y cantidades de productos pequeños; (2) de fácil limpieza; y (3) simple. Las desventajas son: (1) requiere un espacio relativamente largo; (2) más mano de obra se requiere que en los equipos de lecho fluidizado o de bandas; y (3) significativa pérdida del producto (2-3%) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

entre el aire y el producto incrementa por el movimiento relativo entre el producto y el transporte del aire.

Ejemplos de tiempos de congelación son de 3-4 minutos para chicharos y de 9-13 minutos para papas a la francesa y fresas. La capacidad del equipo de lechos fluidizados varía entre aproximadamente

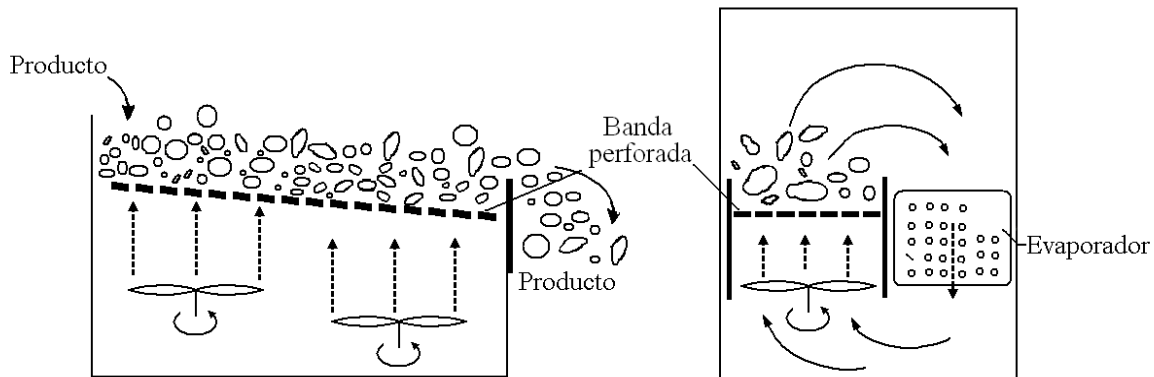


Fig. 1. Congelador de lecho fluidizado (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Congeladores de lecho fluidizado. Es un método de congelación rápido individual (IQF), usado en congelación de piezas pequeñas o cortes de piezas de alimentos (diámetro de aproximadamente 3 cm a hasta un largo de 12 cm), como chicharos, papas a la francesa, zanahorias rebanadas o cortadas, frijoles y champiñones (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997). Las piezas de alimentos son congeladas individualmente.

El equipo consiste en una banda inclinada, ventiladores (usualmente radiales) con flujo de aire descendente, y el aire de enfriamiento del intercambiador de calor se encuentra a -40°C (figura 1). Los productos son enfriados rápidamente debido a que el aire lo rodea completamente, y la transferencia de calor

1-12 ton/h. Las dimensiones del congelador de lecho fluidizado son de 2-11 m de largo, 2-9 m de ancho, y 3-6 m de alto (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

Las ventajas de este equipo son: (1) gran capacidad específica; (2) reducida pérdida de peso del producto; (3) pequeñas dimensiones; y (4) pocas piezas móviles. Las desventajas incluyen: (1) relativamente alto requerimiento energético; (2) de uso no universal; y (3) requiere homogeneidad en el tamaño de las piezas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Campañone et al., 2001).

Congeladores de banda. Este equipo consta de bandas moviéndose a través de un flujo de aire frío (figura 2 y 3). Las bandas pueden ser rectas o curvas, están

elaboradas de acero o plástico. Dichas bandas permiten el paso del aire a través de ellas. En todos los casos, un mecanismo automático mantiene la tensión de las bandas constante (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Este tipo de equipo es empleado para piezas sensibles y relativamente grandes de alimento. Ejemplos de productos congelados por este sistema son rodajas de manzana, coliflor, fresas, y alcachofas. También es empleado en endurecimiento de alimentos precongelados (Saravacos y

(figura 2a). En la primera zona, el aire recircula vigorosamente, causando un congelación en la superficie del producto (congelación de corteza). El congelación del producto es completado en la segunda zona. En este sistema las fresas pueden ser congeladas en 12 min, los filetes de pescado en aproximadamente 20 min. La capacidad de este equipo es de 0.2-6 ton/h. La longitud general del equipo es de 5-13 m. De ancho es entre 4 y 5 m. Para incrementar la versatilidad del equipo, dos o más bandas pueden moverse paralelamente a diferentes velocidades.

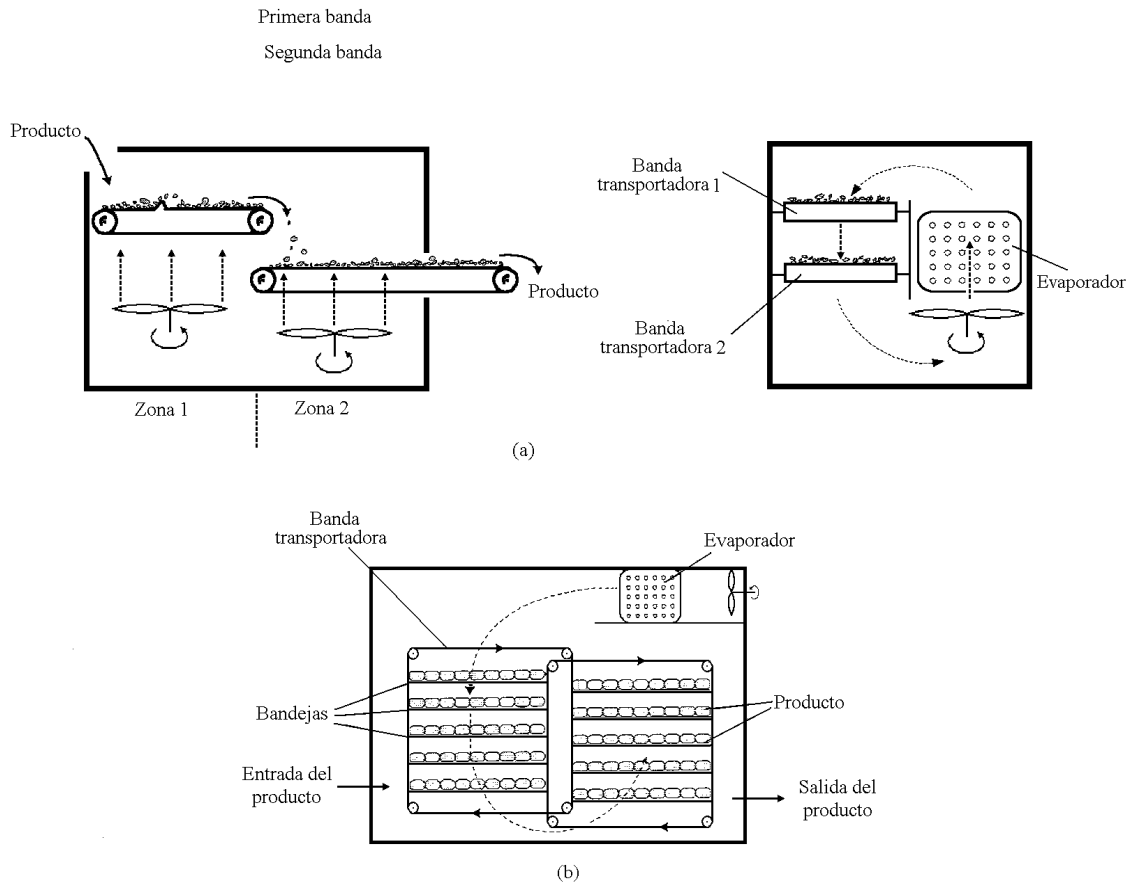


Fig. 2. Congelador de bandas transportadoras (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

i. *Bandas rectas.* Es algunos casos, las bandas rectas son separadas en zonas

Una sola banda tiene un ancho de 0.5-0.8 m. La altura general del equipo es de 5m. Para congelar la misma cantidad de alimento, este equipo requiere más espacio que el empleado por el equipo de lecho

fluidizado, pero es aproximadamente 30% menos que el equipo de congelación por banda en espiral (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

ii. *Sistema de elevador.* En la figura 2b se presenta este tipo de equipo, el cual consta de bandas paralelas que llevan grandes estantes cargados, para después ocupar la posición más elevada en el equipo, después es bajado. De esta manera, el congelación puede ser controlado por la velocidad de las bandas durante el ascenso y descenso del producto.

Este método es frecuentemente usado en endurecimiento de productos como empaques de helado. La capacidad de endurecimiento del equipo depende del tipo de helado y la textura deseada. Por ejemplo, pueden endurecer a 20000 L/h. El método es muy flexible. Además, el control de la congelación a través de la velocidad de las bandas, hace posible

iii. *Bandas en curva.* Las bandas en curva (espiral) son usadas para ahorrar espacio. Hay dos tipos principales, el de espiral y el de semiespiral, los cuales consisten en una combinación de bandas curvas y rectas. El tipo de espiral es usado con frecuencia en congelación de hamburguesas, piezas de pescado, y comidas preparadas. Es también usada en endurecimiento de productos congelados (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Para la construcción de este tipo de equipos de tipo espiral, el lago no debe exceder de 300m. El ancho es 4-7 m. El aire es soplado horizontalmente (figura 3a) o verticalmente a través del producto (figura 3b) el cual se mueve alrededor del cilindro.

Las ventajas de este tipo de equipos son: (1) que puede llevar a cabo el congelación de un amplio rango de productos delicados; (2) congelación de productos húmedos y pegajosos; (3)

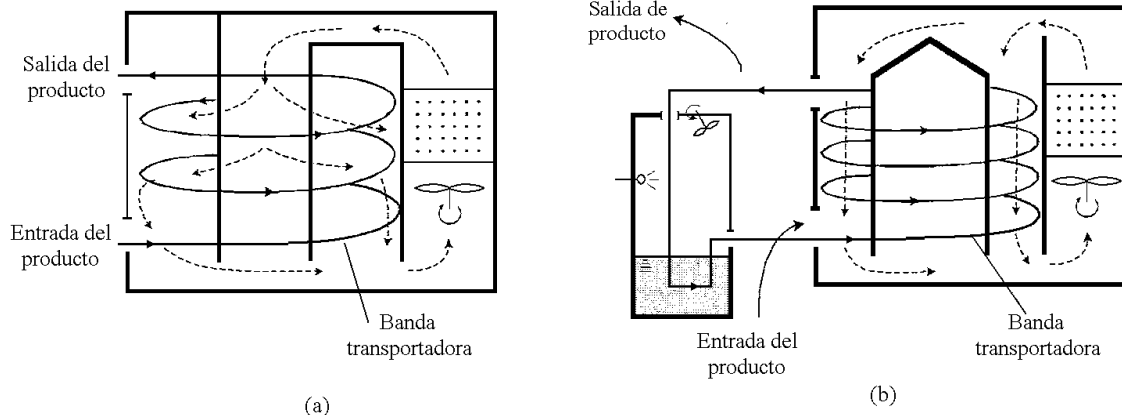


Fig. 3. Congelador de bandas transportadoras en espiral o de curva (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

también la congelación de diferentes productos o paquetes de diferentes tamaños al permitir cargar y vaciar las bandas en diferentes posiciones (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

posibilidad de congelar piezas largas; y (4) congelación de productos empacados o no empacados. Las desventajas son: (1) movimiento relativo de piezas (ventiladores y cinturones); (2) relativo alto consumo de energía; (3) elevada

inversión inicial; y (4) requiere distribución homogénea de los productos en las bandas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

2. Equipo de congelación por superficie

Los alimentos pueden ser congelados rápidamente en equipos de congelación por placas (figura 4). Este sistema consiste en varias placas de paredes dobles, y en su interior se encuentra circulando un refrigerante. El alimento es puesto entre las placas, las cuales presionan el alimento por medio de un sistema hidráulico ligero (0.06-0.1 bar), lo que provoca la reducción de las bolsas de aire entre la superficie de refrigeración y el empaque. Cuando la congelación termina, las placas son separadas y el producto es removido para recarga (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Las placas dobles (figura 5) están elaboradas de una aleación de aluminio extruído de calidad alimenticia. Si el equipo es usado para congelar pescado en buques, la aleación de aluminio tiene que

5-20. El espacio (distancia) es hasta de 7 cm, y la superficie es 1.5-2.0m² (ejemplo, 1.5 X 0.8 m o 2.0 X 1.1 m). El equipo vertical usualmente tiene 12-16 placas, separadas por distancias de 5-9.5 cm. La superficie de las placas puede ser 1.2 X 0.6 m.

El equipo de placas es utilizado en congelación de pescado entero, filetes de pescado, piezas de carne (ejemplo, chuletas), producto empacado en envases rectangulares, y productos semisólidos (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Yuhasz y O'Brien, 1982).

La capacidad de este equipo varía de 6-13 ton/ 24h. La capacidad de refrigeración de las unidades largas es aproximadamente 75 kW. El congelado de un bloque de pescado de 5cm puede durar aproximadamente 1.15h. La capacidad específica de la placa del equipo de congelación es aproximadamente 160 kg/m²h. El producto antes de entrar al equipo, es puesto en bandejas de metal. Esto evita la congelación de las placas por

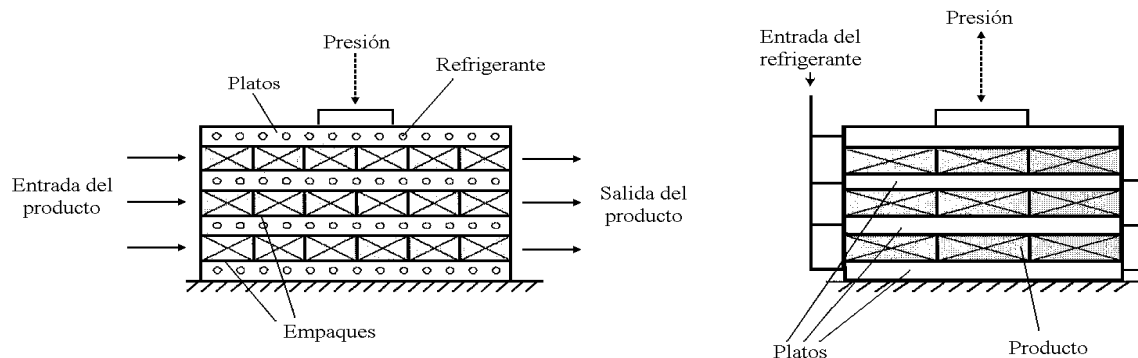


Fig. 4. Congelador de placas horizontales (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

ser resistente al agua de mar. Las placas pueden estar en forma paralela o vertical. Las placas verticales son empleadas en la congelación de pescado en buques, porque esto requiere menos altura libre. El número de placas paralelas puede variar de

la pérdida de agua del producto. Las placas paralelas son puestas en cabinas aisladas. En un sistema continuo, son usadas dos puertas, una para alimentar, y una para descargar. La gran ventaja de este equipo es la buena capacidad específica, la

cual es aproximadamente 4 veces tan alta como la de los congeladores de túneles ($85 \text{ kg/m}^2\text{h}$). Las dimensiones en general de una cabina que contiene 20 placas paralelas pueden ser de 3 X 2 X 2 m y el peso de 1.8 a 2.0 ton (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Yuhasz y O'Brien, 1982).

rápido que en un congelador de lecho fluidizado, y 25 veces más rápido que por inmersión en cualquier otro líquido criogénico. En el caso de N_2 o CO_2 , y algunas veces la salmuera, el medio de congelación puede estar en contacto directo con el alimento.

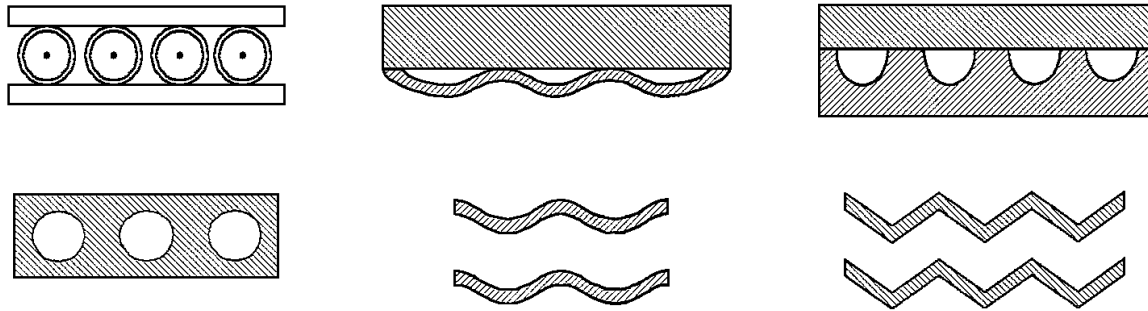


Fig. 5. Estructura de doble pared y superficie de placas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

3. Congelación por inmersión

Congeladores líquidos. En la congelación por éste método, el equipo empleado no es complicado. Se utilizan líquidos criogénicos como el nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2), salmueras, mezclas no tóxicas de agua y solutos (ejemplo, azúcar-álcohol diluidos en agua) y otros líquidos (ejemplo, propilenglicol/agua) (Persson y Loedahl, 1996). El alimento que va a ser congelado es sumergido en el líquido o bien, el líquido asperjado en el alimento (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

La congelación por líquidos es muy rápida debido a la baja temperatura a la cual se encuentra el líquido y al contacto directo con la superficie del producto. La velocidad de congelación de un producto asperjado con nitrógeno es 2.5 veces más

En todos los demás casos, solo alimentos empacados pueden entrar en contacto con los líquidos ya sea por inmersión o aspersión (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Congelación en moldes. El congelado por líquidos es usado también para la congelación de productos en forma de cuerpos compactos o *pellets*. En este caso, los alimentos lácteos, el huevo líquido, las pulpas de frutas, salsas, y purés de vegetales son congelados entre dos bandas metálicas paralelas que se encuentran en movimiento (figura 6). La capacidad de las bandas corrugadas en los congeladores líquidos es de 0.2-1.5 ton/h. El empaque de las *pellets* puede estar elaborado con bolsas plásticas o cartón, o en el caso de un proceso mayor en la misma fábrica, en cajas de bases (0.5 ton/caja) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

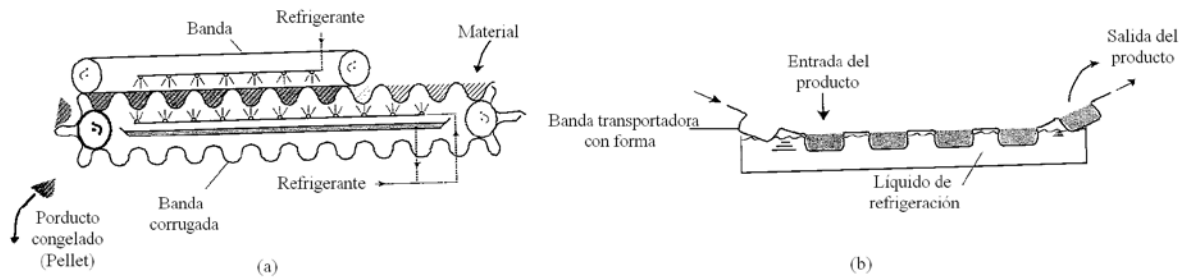


Fig. 6. Congelador de pellets (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Líquidos Criogénicos. En el caso de N_2 criogénico, el tipo de congelación de banda recta es muy empleado. Sin embargo, si esta no cuenta con suficiente espacio, los congeladores de banda de espiral son utilizados, o en su defecto, el producto es directamente sumergido en N_2 líquido (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

El tiempo de congelación en los equipos de banda en espiral depende del tipo y tamaño del producto. Usualmente este varía entre 20 y 90 min. La superficie de uno o dos espirales es de 20 –200 m^2 . El congelador de espiral con N_2 criogénico

alimentos por líquidos criogénicos (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Las ventajas de este método son: (1) alta velocidad de congelación (alta capacidad, mejor calidad); (2) baja pérdida de peso del producto durante el congelado (0.1-1.0%); (3) bajo capital inicial (una tercera parte de los sistemas mecánicos); (4) poco espacio de piso (capacidad específica de 125 kg/m^2h); (5) bajo costo de mantenimiento (de simple construcción); y (6) de fácil manejo. Las desventajas incluyen: (1) el costo de los líquidos criogénicos es alto; (2) alto consumo de

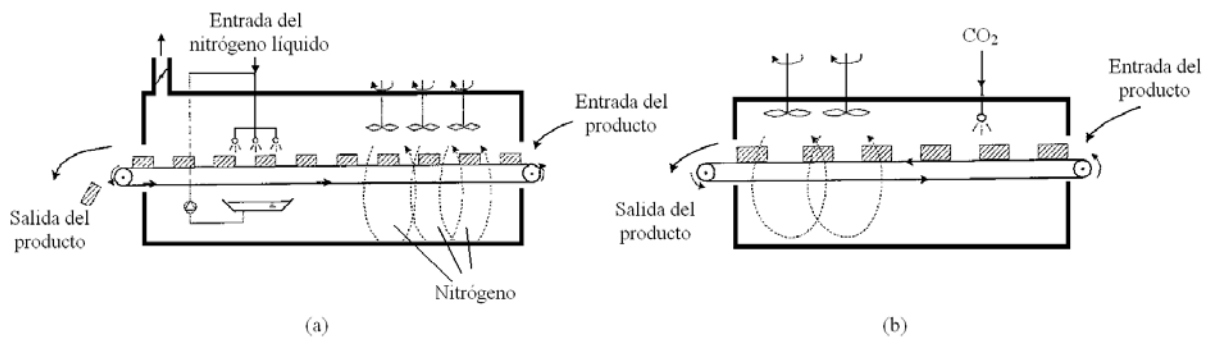


Fig. 7. Congelador criogénico (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

requiere para el movimiento de las bandas y para la ventilación-evaporación del gas N_2 , un poder de 10-30 kW. En la figura 7 se muestran dos ejemplos de equipos de bandas rectas para el congelado de

líquido criogénico; (3) dependencia de limitado número de proveedores de líquido criogénico; (4) instalaciones de almacenamiento sofisticadas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Conclusiones

En la industria y procesamiento de alimentos, la congelación se emplea como método de conservación, cuyo principal fundamento es la disminución de temperatura a -18°C o a temperaturas menores del punto de congelación de los sistemas alimenticios en cuestión. Durante la congelación, se forman cristales de hielo, y los productos se concentran más al congelarse el agua. Lo anterior ocasiona que menos agua se encuentre disponible para las reacciones de deterioro, así mismo, esta indisponibilidad del agua evita el crecimiento de poblaciones microbiana en el alimento.

Para la elaboración de productos congelados, se han desarrollado múltiples sistemas de congelación, entre los que destacan los sistemas que emplean como medio de congelación aire frío a alta velocidad, los sistemas de congelación por contacto de superficie por medio de placas, y los sistemas de inmersión o esparcido de líquidos criogénicos.

Estos sistemas de congelación presentan diferentes diseños de equipos. Los equipos que tienen como medio de congelación el empleo de aire a bajas temperaturas y alta velocidad, se encuentran los de túnel, lecho fluidizado y de banda recta y curva (espiral). En los equipos cuyo principio es la congelación de los alimentos por contacto, se encuentra los congeladores de placas, en los cuales el producto se congela entre placas dobles que contienen en el interior refrigerantes con temperaturas hasta de -70°C . Por último, los equipos que se basan en la congelación por inmersión, en los cuales los alimentos, empacado o sin empacar, son sumergido en líquidos criogénicos o esparcido por estos.

Para el diseño de este tipo de equipos se tiene que tomar en cuenta las dimensiones, las características de los productos, la capacidad y el gasto energético para evaluar la viabilidad de la aplicación de este método de conservación en la industria de alimentos.

Referencias

- Campañone, L. A., Salvadori, V. O., y Mascheroni, R. H. 2001. Weight loss during freezing and storage of unpackaged foods. *Journal of Food Engineering*. 47(2):69-79
- Cleland A. C. Y Ozilgen S. 1998. Thermal design calculations for food freezing equipment-past, present and future. *International Journal of Refrigeration*. 21(5):359-371
- Do, G., Sagara, Y., Tabata, M., Kudoh, K., y Higuchi, T. 2004. Three-dimensional measurement of ice crystals in frozen beef with a micro-slicer image processing system. *International Journal of Refrigeration*. 27(2):184-190
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., y Merts, I. 2004. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*. 66(1):171-179
- Heldman, D. R. y Hartel, R. W. 1997. Capítulo 6. Freezing and frozen-food storage. En Principles of Food Processing. Chapman & Hall. New York. pp. 113-125
- Persson, P. O. y Loedahl, G. 1996. Freezing Technology. En C.P. Mallet (Ed). *Frozen food technology*. Ed. London: Blackie Academic and professional.
- Saravacos, G. D. y Kostaropoulos, A. E. 2002. *Handbook of Food Processing Equipment*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. Nueva York. pp. 416-419
- Singh, R. P. y Heldman, D. R. 2001. Capítulo 7: Food Freezing. En *Introduction to Food Engineering*. 3a Edición. Food Science and Technology, International Series. New York. pp. 109-417
- Sun, D., y Zhu, X. 1999. Effect of heat transfer direction on the numerical prediction of beef freezing processes. *Journal of Food Engineering*. 42(1):45-50
- Yuhasz, J. P. Y O'Brien, S. A. 1982. System for making frozen food article. En <http://www.google.com/patents?hl=es&lr=&vi d=USPAT4332145&id=TfYwAAAAEBAJ&o>

[i=fnd&dq=articles+of+food+freezing,](#)
accesado 03/12/2007.