



LIBRO BLANCO

La hazaña del frío: elegir la tecnología de congelación correcta para su línea de producción

Dr Chris Kennedy

Independent consultant in the food industry,
Member of the Institute of Refrigeration,
The Institute of Food Science and Technology
and the Institute of Physics

2. Comparativa de las tecnologías de congelación

1. Introducción

La refrigeración y la congelación son ya un aspecto esencial de muchos procesos de producción y distribución de alimentos. Hay una tendencia clara en la industria alimentaria que revela que el crecimiento de la demanda de alimentos congelados y refrigerados continuará, por lo que cada vez más fabricantes están mejorando o ampliando sus equipos de refrigeración y congelación.

Pero esto no es tan sencillo como solía ser. La tecnología de congelación ha avanzado y los congeladores mecánicos tradicionales, que siguen siendo los sistemas más ampliamente utilizados, comparten el sitio con las nuevas tecnologías que proclaman tener ventajas sobre sus predecesores.

¿Cuáles son los sistemas de congelación a disposición de los procesadores alimentarios en la actualidad? ¿Cuáles son los pros y los contras de los mismos y cómo pueden seleccionar los fabricantes el mejor para sus negocios?

En la actualidad hay tres categorías de congeladores:

- los *congeladores mecánicos* usan un refrigerante en circulación para conseguir la reducción de la temperatura mediante un intercambio térmico entre el aire y los alimentos;
- los *congeladores criogénicos* logran una reducción de la temperatura mediante la aplicación directa de nitrógeno líquido (-196°C) o dióxido de carbono sobre los alimentos;
- los *congeladores mecánicos de chorro de aire* dirigen chorros de aire a alta velocidad al producto alimentario.

Dentro de estas categorías, hay varios diseños de congelador, incluidos el túnel, espiral, IQF (congelación individual y rápida) y sistemas de lecho fluido. El sistema óptimo dependerá de varios factores, como el tipo y tamaño del producto, la producción necesaria y la disposición de la fábrica.

Las tres tecnologías, y todos los congeladores, tienen ventajas, desventajas y limitaciones. En este documento, compararemos las tecnologías de congelación mecánica, criogénica y de chorro de aire mecánico más que los sistemas específicos. La mejor tecnología sólo puede seleccionarse cuando los procesadores alimentarios analicen sus circunstancias y requisitos específicos.

Congelación mecánica

Los congeladores mecánicos fueron los primeros en utilizarse en el sector alimentario y se emplean en la gran mayoría de líneas de congelación / refrigeración. Los sistemas normalmente son sistemas de uso exclusivo, propiedad del procesador alimentario y explotados por él mismo.

Funcionan haciendo circular un refrigerante, normalmente amoniaco, por el sistema, lo que extrae el calor del producto alimentario. Este calor se transfiere a un condensador y se disipa en el aire o en el agua. El refrigerante mismo, ahora un líquido caliente a alta presión, se dirige a un evaporador. Al pasar por una válvula de expansión, se refrigera y se vaporiza en estado gaseoso. Ahora que es de nuevo un gas a baja presión y baja temperatura, puede reintroducirse en el sistema.

Congelación criogénica

Los congeladores criogénicos son un avance más reciente, pero se vienen utilizando con éxito por los fabricantes alimentarios de todo el mundo. Estos sistemas normalmente son de alquiler, en vez de propiedad del fabricante alimentario.

El equipo criogénico usa gases a muy baja temperatura (normalmente nitrógeno líquido o dióxido de carbono sólido) que se aplican directamente al producto alimentario.

Congelación por chorro de aire

Los congeladores mecánicos por chorro de aire se crearon en los últimos diez años. Normalmente el producto se coloca en una cinta transportadora, a la que se dirigen chorros de aire a alta presión. Este aire se acumula en una cámara por encima (y a veces también por debajo) del congelador y se canaliza a través de ranuras, orificios o tubos cortos, hacia el alimento.

Este proceso produce una congelación más rápida que los congeladores mecánicos tradicionales, porque rompe la capa límite de la superficie y mejora la transferencia térmica.

A continuación se muestra un resumen de las diferencias clave de las tecnologías de congelación:

Características	Congeladores mecánicos	Congeladores criogénicos	Congeladores por chorro de aire
Propiedad	Normalmente propiedad del productor alimentario	Normalmente alquilado al proveedor (que también suministra el refrigerante)	Normalmente propiedad de los productores alimentarios
Estructura de costes	Alta inversión inicial, costes de explotación más reducidos	Baja inversión inicial, mayores costes variables subsiguientes	Alta inversión inicial, costes de explotación inferiores que los sistemas criogénicos pero superiores que los congeladores mecánicos tradicionales
Ubicación en la fábrica	Fija, normalmente sobre una base de hormigón Emplazamiento limitado por el espacio disponible	Flexible, emplazamiento más sencillo debido a que ocupan menos espacio que los congeladores mecánicos	Más flexible que los congeladores mecánicos tradicionales
Refrigerante	Normalmente se utiliza amoniaco, R22 ...	Nitrógeno líquido (LIN) o dióxido de carbono sólido (CO ₂)	Normalmente se utiliza amoniaco, R22 ...
Tasa de transferencia térmica/velocidad de congelación	Más lenta, debido a la relativa alta temperatura del refrigerante	Más rápida, debido a la gran diferencia de temperatura entre la superficie del producto y el refrigerante	Más rápida, a condición de que el producto sea plano y no más alto de 20 mm

3. Factores que influyen en la elección de la tecnología de congelación

Los fabricantes alimentarios tienen que tener en cuenta varios factores a la hora de decidir qué tecnología instalar en sus líneas de producción. En sentido amplio, estos factores se encuentran dentro de cuatro categorías: calidad del producto y requisitos de producción, requisitos de gestión de la fábrica, consideraciones financieras y factores medioambientales.

3.1 Calidad del producto

Pérdida de humedad/contenido en humedad

Todos los métodos de congelación causan algún grado de pérdida de humedad, durante el mismo proceso de congelación (pérdida de peso por evaporación) y/o durante la descongelación (pérdida por goteo).

- La pérdida de peso por evaporación reduce el peso, y por tanto el valor del producto, especialmente en la carne, aves y pescados y mariscos. Al mismo tiempo, la deshidratación superficial influye en la textura, color y tiempo de cocinado del producto. La pérdida de peso por evaporación reduce la conductividad térmica de la capa superficial y por tanto prolonga el tiempo de cocinado. Esto es especialmente importante en aplicaciones en las que el tiempo de cocinado es limitado, como en las hamburguesas de los establecimientos de comida rápida.

En la mayoría de las aplicaciones, la mejor manera de rebajar la pérdida por evaporación es reducir la temperatura lo más rápidamente posible. Una reducción rápida de la temperatura reduce la presión de vapor del agua libre de la superficie del alimento y por tanto reduce la deshidratación.

- La pérdida por goteo se produce durante la descongelación si un producto alimentario ha sufrido daños celulares causados por la formación de cristales de hielo grandes, durante un proceso de congelación lento. Esta pérdida de humedad afecta al color, sabor y calidad nutricional del producto descongelado ya que la humedad perdida contiene nutrientes y pigmentos. El daño estructural puede causar asimismo una degradación de la textura o una reducción de la firmeza, especialmente en verduras y frutas. El estudio de 2002 de Agnely y Mascheroni demostró los efectos de los daños de congelación a través de la medición de la textura de fresas congeladas utilizando una prueba de compresión. Demostraron que las fresas mantenían su firmeza en un mayor grado cuando se habían congelado rápidamente usando congelación criogénica.

Color

La congelación afecta al color de los alimentos descongelados de dos maneras. La primera, la pérdida de pigmentos debido a la pérdida por goteo, ya se ha explicado. La segunda es que a medida que se forman cristales de hielo durante la congelación, se produce una concentración de solutos en la fracción restante sin congelar. Este aumento en la concentración acelera procesos como la oxidación y el oscurecimiento enzimático. Cuanto más tiempo permanezca el producto a una temperatura cercana a la meseta de congelación (es decir, cuanto más lento sea el proceso de congelación), mayores serán los efectos.

La investigación de Agnely y Mascheroni mostró los resultados de las mediciones del color en hamburguesas descongeladas. Estos demuestran la importancia de la velocidad de congelación y las ventajas de una tasa de congelación más rápida:

- Se reduce tanto la pérdida por goteo como el drenaje del pigmento
- Se minimiza el oscurecimiento de la carne: el color de las hamburguesas congeladas criomecánicamente es más parecido al color original de la carne que las congeladas utilizando sólo métodos mecánicos.

Productos delicados

Dados su diseño de sistema y sus características de manipulación del producto, los congeladores criogénicos se consideran los más adecuados para manipular productos frágiles o delicados, como muchos tipos de frutas blandas.

Calidad del producto: conclusiones

La investigación y la experiencia demuestran que la congelación rápida reduce las pérdidas de humedad y de rendimiento y minimiza los cambios en la textura, color y sabor del producto. Por tanto ¿qué tecnología conseguirá la reducción de temperatura más rápida?

La tasa a la que los congeladores reducen la temperatura se describe como la tasa de transferencia térmica media (por unidad de área), o $h \Delta T$. Cuando mayor sea la tasa de transferencia térmica media, más rápidamente se reducirá la temperatura.

Supongamos una temperatura media de la superficie del producto durante el proceso de congelación de -10°C . Un congelador en espiral mecánico con una temperatura del aire de -30°C y un coeficiente de transferencia térmica de 25 W/Km^2 tiene una tasa de transferencia térmica media específica de $25 \times 20 = 500 \text{ W/Km}^2$.

Un túnel de congelación criogénica con una temperatura media de -80°C y un coeficiente de transferencia térmica de 60 W/Km^2 tiene una tasa de transferencia térmica media específica de $60 \times 70 = 4.200 \text{ W/Km}^2$.

Debido a su tasa de congelación más alta, los congeladores mecánicos por chorro de aire o los criogénicos son las mejores tecnologías para una calidad de producto óptima. Sin embargo, los congeladores mecánicos por chorro de aire han demostrado conseguir una transferencia térmica similar a los sistemas criogénicos sólo en aplicaciones limitadas, como alimentos finos con superficies planas y perpendiculares, como las hamburguesas. La transferencia térmica depende en gran medida de la dirección del flujo de aire, de forma que para productos más voluminosos o desiguales, la congelación por chorro de aire puede ser considerablemente menos deseable.

3.2 Gestión de la fábrica

Cada fábrica de procesamiento alimentario es única y tiene que analizarse a la hora de elegir una tecnología de congelación. Entre los factores a observar están el espacio disponible, el nivel de flexibilidad requerido y la higiene, limpieza y mantenimiento.

Espacio ocupado/espacio disponible

En la mayoría de los casos, los congeladores criogénicos ocupan menos espacio que los mecánicos, a igualdad de niveles de producción. Algunos sistemas mecánicos por chorro de aire ahora se suministran de forma modular y también ocupan poco espacio. Esto puede demostrarse comparando los valores de dos congeladores típicos usados para congelar hamburguesas.

Producción	Congelador mecánico	Congelador criogénico
2.000kg/hora	Espacio ocupado: 9,5 x 6,5m, altura mínima necesaria: máx. 3,7m. Ocupación total: 62m²	Espacio ocupado 12 x 1,6m, altura 1,75m. Ocupación total: 19m²
500 kg/hora	6,5 x 3m (total 19,5m ²)	4 x 1.6m (total 6.4m ²)

Volumen de negocio

La fluctuante demanda de los consumidores puede causar repentinos y a menudo inesperados aumentos o reducciones en el volumen de negocio. Los gestores de las fábricas dependen de muchas variables ajenas a su control, como la aceptación del producto por el consumidor y su ciclo de vida útil.

Por tanto, es imperativo prever, lo más exactamente posible, el posible volumen de negocio máximo durante el periodo de amortización del equipo de congelación. En el caso de los congeladores mecánicos, éste puede durar varios años. Una previsión muy optimista reducirá la eficacia, mientras que una planificación pesimista dará como resultado una capacidad de congelación insuficiente.

Mientras que los congeladores mecánicos tienen una producción máxima fija para todo producto específico, los congeladores criogénicos y mecánicos por chorro de aire modulares pueden adaptarse (aumentando la longitud del túnel, por ejemplo) para responder rápidamente a los cambios del volumen de negocio. Hay que tener en cuenta que, dado que los congeladores criogénicos normalmente se alquilan, esos cambios no requieren un importante desembolso de capital adicional por parte del fabricante.

Hay que destacar que la tecnología de congelación mecánica por chorro de aire ha superado muchos de los problemas de flexibilidad de los sistemas mecánicos tradicionales, especialmente en cuanto a peso y espacio ocupado. Por otra parte, la congelación mecánica por chorro de aire es menos flexible que los procesos mecánicos tradicionales porque sólo es idónea para productos planos y no más altos de 20mm. Por tanto los sistemas criogénicos y mecánicos tradicionales son más adecuados para líneas de producción que algunas veces, o siempre, manipulen productos más altos o desiguales.

Configuración de la línea de producción

En el sector alimentario actual de rápidos cambios, los fabricantes a menudo tienen que modificar la disposición de sus instalaciones. Esto es especialmente cierto en la fabricación por contrato. Los grandes congeladores mecánicos en espiral son equipos muy grandes cuyo peso a menudo precisa descansar sobre una base de hormigón. Reconfigurar la posición de un túnel de congelación criogénico o mecánico por chorro de aire no siempre es sencillo, pero raramente exige cambios en la estructura del edificio.

Cambios de producto

Especialmente para los procesadores alimentarios más pequeños, es importante la capacidad de congelar una gama de diferentes productos. Tanto el tiempo de congelación como los tiempos muertos influyen en la capacidad del fabricante para cambiar productos. Cuando se cambia de producto, lo ideal es que todo el primer producto salga del congelador antes de que entre el segundo. Esto se debe a que las diferencias de los tiempos de congelación determinan el

“tiempo de residencia” y la velocidad de la cinta transportadora para un producto dado. Cuando más prolongado sea el tiempo de residencia, mayor será el tiempo muerto entre dos productos.

Si es necesaria la limpieza en el momento del cambio de producto, como es el caso a menudo con los productos revestidos, o el cambio entre productos crudos y cocinados, los fabricantes han de tener en cuenta las características de higiene y limpieza, como se detalla continuación.

Si un fabricante trabaja sólo un tipo de producto, a velocidades muy altas, diariamente durante un largo periodo de tiempo, la congelación mecánica puede ser la tecnología más adecuada. Esto depende, por supuesto, de tener suficiente espacio, capital disponible, contratación de personal cualificado, etc.

Mantenimiento, higiene y limpieza

Estos procesos deben ser todo lo rápidos y sencillos posible para maximizar el tiempo de funcionamiento y optimizar la eficacia de la línea. La acumulación de humedad o escarcha en los evaporadores de los congeladores mecánicos, por ejemplo, puede prolongar los tiempos de producción y reducir el rendimiento.

La higiene y limpieza exhaustivas y regulares son, por supuesto, esenciales en el sector alimentario, pero también han de tener un impacto mínimo sobre la productividad. Los congeladores más pequeños y de diseño sencillo son más rápidos y baratos de limpiar. Un menor número de piezas internas complejas, una altura reducida y una accesibilidad óptima, reducen el tiempo necesario para los procesos de limpieza y los hacen más eficaces.

Los congeladores mecánicos por chorro de aire a menudo son más pequeños y ofrecen un acceso más fácil, similar a los sistemas criogénicos. Sin embargo, sus estructuras siguen siendo complejas y difíciles de drenar, por lo que la limpieza es complicada y presentan más posibles problemas de higiene.

Gestión de la fábrica: conclusiones

Teniendo en cuenta los problemas que preocupan a los gestores de las fábricas, puede concluirse que los congeladores criogénicos son a menudo la tecnología preferida para muchos procesadores de alimentos, debido a su:

- menor espacio ocupado,
- adaptabilidad a los cambios del volumen de negocio,
- flexibilidad en la manipulación de diferentes productos,
- diseño más sencillo y más accesible,
- menor coste de inversión inicial.

3.3 Consideraciones financieras

La instalación o aumento del equipo de congelación implica costes en diversos aspectos, como inversión de capital, costes de explotación y costes de mano de obra durante la explotación y el mantenimiento.

Inversión y costes de explotación

Hay una marcada diferencia entre la congelación criogénica y mecánica cuando hablamos de costes. Mientras que la congelación mecánica requiere una inversión inicial mucho mayor, los costes de explotación son superiores con el equipo criogénico. La medida de esta diferencia depende de un gran número de factores, pero en toda línea de productos dada, habrá un punto en el tiempo en el que el coste acumulativo de la congelación criogénica comenzará a superar el coste de la congelación mecánica.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que el clima económico actual dificulta la financiación. Los fabricantes incapaces o renuentes a realizar una inversión importante pueden beneficiarse de los sistemas de congelación criogénica.

Costes laborales

Debido a su tamaño y complejidad, los congeladores mecánicos tienden a necesitar más mano de obra para limpieza. Las demandas de mantenimiento también son superiores para los sistemas mecánicos, igual que el nivel de cualificación de los técnicos de mantenimiento. La importancia relativa de estos factores dependerá del modelo de congelador y del coste local de la mano de obra.

Calidad del producto

Como se ha mencionado, minimizar la pérdida de humedad es clave para maximizar la calidad y el valor del producto, especialmente en productos de alto valor. La elección del sistema de congelación por tanto, tiene implicaciones financieras así como de calidad para los fabricantes.

Consideraciones financieras: conclusiones

Es imperativo que todos los factores financieros se tengan en cuenta a la hora de elegir entre congelación criogénica y mecánica. Los fabricantes deben observar los costes durante un periodo específico y definir el coste total de propiedad de cada tecnología. Los proveedores de congeladores puede ayudar en esto, pero la tecnología mecánica por chorro de aire es casi siempre más cara que la congelación mecánica tradicional debido al coste de generación de aire a alta velocidad. Las decisiones pueden verse influidas en gran medida por la disponibilidad de capital para invertir.

3.4 Factores medioambientales

Con la creciente concienciación del uso y desperdicio de energía, y el impacto de la fabricación en las emisiones de carbono y los avances en la legislación, los productores alimentarios han de tener en cuenta el impacto medioambiental de su tecnología de congelación.

La Food and Drink Federation y el Carbon Trust calcula que la fabricación alimentaria es responsable de sólo el 10% de las emisiones relacionadas con la energía de la cadena alimentaria. En su mayor parte (aproximadamente el 60%) se debe a la refrigeración y congelación por parte de los grandes procesadores de alimentos congelados. Los congeladores mecánicos requieren menos energía de la necesaria para la producción de nitrógeno líquido, pero en el total del sistema de producción alimentaria, ambas tecnologías contribuyen sólo con un pequeño porcentaje de emisiones.

4. Conclusiones

¿Qué nos dice el análisis? Es obvio que seleccionar una tecnología de congelación no es sencillo y que no hay una única tecnología que sea perfecta para todos los fabricantes.

Antes de elegir un congelador específico, los usuarios han de tener en cuenta la financiación disponible, el producto o productos que se van a manipular, la disposición y la gestión de la fábrica y los requisitos de flexibilidad.

Los sistemas de congelación criogénicos ofrecen un amplio abanico de ventajas en términos de tasa de congelación en una gama de alimentos, de lo que resultan unos productos de mayor calidad. La baja inversión, la flexibilidad y la facilidad de limpieza son también atractivos para muchos fabricantes alimentarios en la actualidad. Los sistemas mecánicos precisan una inversión superior, pero pueden proporcionar ventajas financieras a largo plazo. Los avances en la tecnología de congelación por chorro de aire están acortando el hueco que separa los sistemas mecánicos y criogénicos en determinada medida, pero las ventajas se limitan a un tipo específico de producto. Se recomienda a los fabricantes que trabajen con los principales proveedores de congeladores para identificar la tecnología que mejor se adapte a sus necesidades, y el equipo más adecuado para sus líneas de producción.

5. Te escuchamos

Para tratar sobre la mejor tecnología de congelación para sus instalaciones, **o para una revisión gratuita de sus procesos de congelación actuales**, concierte una cita con uno de los especialistas de Air Products:

Tel 902 110 149

Fax 91 657 95 73

Email apbulkes@airproducts.com

Acerca del autor:

El Dr. Chris Kennedy es un respetado consultor independiente del sector alimentario.

En 2009, analizó las consideraciones clave para elegir un nuevo equipo de congelación. Validó o refutó las opiniones sobre los beneficios de las diferentes tecnologías de congelación, haciendo referencia a los datos publicados siempre que era posible. Este libro blanco resume los puntos clave de la investigación.

El Dr. Kennedy es miembro del Institute of Refrigeration, el Institute of Food Science and Technology y el Institute of Physics. Tiene 15 años de experiencia en proporcionar servicios de consultoría para el sector alimentario.

te escuchamos
www.carbueros.com