



Tecnologías para la Industria Alimentaria - Cristalización fraccionada



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca

Cristalización fraccionada

La integración de tecnología en la industria alimentaria es fundamental para aumentar la competitividad, optimizar procesos, reducir costos y garantizar productos de alta calidad. Por este motivo, desde la Dirección Nacional de Alimentos y Desarrollo Regional hemos elaborado esta ficha, que ofrece un análisis integral sobre el uso, la disponibilidad, las consideraciones regulatorias, la legislación aplicable y las oportunidades que esta tecnología presenta en mercados nacionales e internacionales. Esta herramienta busca proporcionar soluciones innovadoras adaptadas tanto a pequeñas como a grandes empresas.

ÍNDICE

Definición	03
Por qué es importante	03
Origen de la tecnología	03
Técnicas de cristalización fraccionada	03
Aplicaciones en la industria alimentaria	04
Materias primas del proceso de cristalización fraccionada	04
Fundamentos de la tecnología de cristalización fraccionada	05
Procesos de fraccionamiento	06
Etapas de la cristalización fraccionada	07
Limitaciones de la tecnología de cristalización fraccionada	11
Ventajas de la cristalización fraccionada	11
Fuentes	12

Definición

La cristalización fraccionada consiste en un proceso tecnológico que se emplea para separar distintas fracciones de una materia grasa basándose en las diferencias en su punto de fusión. Esta separación está basada únicamente en principios físicos.

Por qué es importante

Mediante esta tecnología se obtienen fracciones con funcionalidad y propiedades fisicoquímicas específicas, que satisfacen la demanda de las industrias de margarina, panificados y confitería, fritura, cremas artificiales, aderezos y salsas, entre otras.

Además, la cristalización fraccionada no conlleva la modificación química de los triglicéridos por lo que no produce un aumento en el contenido de isómeros trans.

Esta característica la hace particularmente interesante para elaborar materias grasas que ayudan a reducir el contenido de grasas trans en el producto final, sin comprometer la funcionalidad deseada.

Origen de la tecnología

El origen de este proceso data de principios del siglo XX y está estrechamente vinculado a la producción y comercialización de aceite crudo de palma en Malasia.

Este aceite, cuando se lo almacena a temperatura ambiente, tiene la particularidad de separarse en dos fases: una sólida (estearina) y una líquida (oleína).

Esto se debe a su composición de ácidos grasos que presenta más de 40% de saturados, principalmente palmítico, y aproximadamente un 40% de insaturados mayormente oleico.

La comercialización de las fracciones de aceite de palma tuvo una incidencia positiva en la economía de los países productores. A raíz de ello, a partir de la década de 1970 se avanzó notablemente en el desarrollo del proceso de fraccionamiento.

Técnicas de cristalización fraccionada

Inicialmente se propusieron y se llevaron a cabo tres técnicas diferentes:

- › fraccionamiento con solvente,
- › fraccionamiento con uso de detergente y
- › fraccionamiento en seco.

Esta última es la de mayor importancia y aplicación actual es el fraccionamiento en seco, ya que sus costos operativos son bajos, es un proceso completamente reversible y conlleva mínimas pérdidas de aceite durante la operación.

Aplicaciones en la industria alimentaria

La cristalización permite dividir una grasa o aceite en distintas fracciones, cada una con características funcionales definidas. Con este proceso se busca ajustar el punto de fusión y aumentar la estabilidad de las porciones líquidas y sólidas para adecuarlas a su aplicación final.

Debido a ello habitualmente se llevan a cabo procesos de refinamiento y modificación química de los aceites previos al fraccionamiento, con el fin de optimizar los resultados.

Materias primas del proceso de cristalización fraccionada

Aceites Vegetales	Grasas Animales
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aceite de palma ▶ Aceite de coco ▶ Aceite de algodón ▶ Aceite de soja hidrogenado ▶ Aceite de palmiste ▶ Aceite de girasol alto esteárico alto oleico 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Grasa bovina ▶ Grasa ovina ▶ Grasa de la leche ▶ Aceite de pescado

Las distintas fracciones obtenidas se utilizan como materia prima en la fabricación de:

- › Aderezos
- › Margarinas
- › Shortenings (materia grasa sólida, plástica, que se emplea para aportar aireación, estructura y textura en pastelería y productos panificados)
- › Aceites para fritura, ya sean de uso industrial o doméstico
- › Grasas sustituto de la manteca de cacao
- › Otras formulaciones específicas para productos de panificación y pastelería

Fundamentos de la tecnología de cristalización fraccionada

Las grasas comerciales utilizadas como materia prima de distintos procesos poseen un comportamiento polimórfico característico. Es decir, presentan fases sólidas de idéntica composición química que difieren en la configuración de su estructura cristalina.

Cada una de estas formas polimórficas tiene propiedades específicas que permiten diferenciarlas de las demás, como por ejemplo volumen específico y punto de fusión.

Los triglicéridos pueden adoptar varias formas cristalinas, pero existen tres principales: α , β' y β . Según la estabilidad relativa que presenten **dos formas cristalinas comparadas entre sí**, pueden clasificarse como:

- › enantiotrópicas: donde una forma puede transformarse reversiblemente en otra dependiendo de la temperatura, o
- › monotrópicas: que presentan una forma estable y una o más metaestables, con una tendencia a transformarse de manera no reversible, en condiciones normales, hacia la forma más estable.

En el caso de las grasas naturales, que son mezclas complejas de triglicéridos, el comportamiento observado es mayormente **monotrópico**.

Característica	Forma α	Forma β'	Forma β
Empaquetamiento	Hexagonal	Ortorrómico	Triclínico
Densidad	Menos denso	Densidad intermedia	Más denso
Punto de Fusión	Más bajo	Medio	Más alto

El comportamiento polimórfico de una grasa está determinado por varios factores, principalmente por su composición en ácidos grasos y por la posición relativa que ocupan cada uno de estos en los triglicéridos. En general aquellas grasas cuya composición en triglicéridos es homogénea, tienden a cristalizar en formas α , como por ejemplo la manteca de cacao. Distinto es lo que ocurre con las grasas de composición heterogénea donde los ácidos grasos están distribuidos al azar, cristalizan a formas β' ; como los aceites de palma, de semilla de algodón y de colza, como también las grasas de origen animal.

En la tecnología de los alimentos, el comportamiento polimórfico de las grasas permite dirigir la cristalización hacia estructuras con tamaño, morfología y estabilidad determinadas, mediante el control de las variables del proceso. En la mayoría de las aplicaciones, es deseable favorecer la cristalización en la forma α , cuyos cristales finos y uniformes generan redes consistentes capaces de retener pequeñas burbujas de aire durante el batido o amasado. Esto contribuye a lograr productos más plásticos, untables y cremosos como margarinas, shortenings y masas panificadas.

Como se mencionó antes, una consecuencia directa del polimorfismo es la presencia de diferentes puntos de fusión para una misma grasa. En grasas reales - mezclas complejas de triglicéridos - esta característica se combina con la diversidad composicional y permite aplicar procesos de fraccionamiento mediante enfriamiento controlado, separando fracciones sólidas y líquidas con propiedades funcionales específicas.

Procesos de fraccionamiento

En la industria de grasas y aceites se han desarrollado y utilizado distintos procesos de fraccionamiento que se basan en el polimorfismo y en el principio de cristalización:

Fraccionamiento con solvente

Consiste en diluir el aceite en solventes orgánicos (como acetona o hexano) previamente a la etapa de cristalización. De esta forma se logra reducir el tiempo de cristalización y facilitar la posterior filtración. Las ventajas del fraccionamiento con solvente son la selectividad y el alto rendimiento, que dan como resultado productos de alta pureza. Sin embargo, presenta altos costos de producción e inversión y presenta riesgos relacionados con el uso de solventes. Por esto último actualmente se aplica muy poco en las industrias de fraccionamiento de grasas y aceites, restringiéndose en general para la producción de fracciones grasas muy específicas, como las grasas sustitutas de la manteca de cacao.

Fraccionamiento con uso de detergente

Este método utiliza agentes tensioactivos (detergentes) con el objeto de facilitar la separación de las fases luego de la cristalización. El detergente se adsorbe en la superficie de los cristales y favorece su agregación, lo que mejora su recuperación por centrifugado. Luego es necesario lavar la estearina y oleína obtenidas para eliminar los residuos de detergentes. Aunque esta técnica ofrece buena selectividad y rendimiento, sus altos costos operativos, la complejidad del proceso y los problemas asociados a la eliminación de detergentes han llevado a que deje de utilizarse en la actualidad. No existen antecedentes de aplicación industrial del fraccionamiento con detergentes. Su uso se limitó a estudios de laboratorio y ensayos a pequeña escala, y no fue adoptado comercialmente.

Fraccionamiento en seco

También denominado cristalización fraccionada, es la más simple y económica de las técnicas desarrolladas. Consiste básicamente en la separación de las distintas fracciones de una grasa o aceite por cristalización bajo enfriamiento controlado, hasta una temperatura final determinada. Luego la fase líquida se filtra. A diferencia del fraccionamiento con solvente o con detergente, no se requiere de tratamientos posteriores al producto final. Si bien es una técnica simple puede aplicarse para la obtención de fracciones específicas de una gran variedad de materias grasas, siempre y cuando se conozcan las condiciones óptimas de proceso.

Etapas de la cristalización fraccionada

La cristalización fraccionada en seco es un proceso que comprende dos etapas principales: cristalización y separación. A pesar de ser un proceso simple desde el punto de vista operacional, es necesario que estén perfectamente determinadas las condiciones del proceso, las cuales dependen en mayor medida de la materia prima y del producto final que se desea obtener.

Para ello es esencial que se realicen ensayos de laboratorio donde se evalúe el comportamiento de la grasa bajo las condiciones de proceso, y determinar de esta forma la curva de enfriamiento del aceite o grasa que se quiere modificar.

Cristalización

Debido al polimorfismo de las grasas y a la intersolubilidad de los distintos componentes sólidos, el proceso de cristalización resulta complejo. Como se mencionó antes la forma cristalina deseada es la β' , ya que estos cristales son pequeños, firmes y generan una microestructura uniforme que facilita la etapa de separación. Si se logra que la grasa cristalice en la forma indicada, la etapa de separación posterior se llevará a cabo con facilidad y se obtendrán óptimos resultados.

Por esto último es clave la selectividad durante la etapa de cristalización, y su éxito depende directamente del control de las variables o parámetros de cristalización durante el enfriamiento.

Para entender cuál es el grado de incidencia de cada una de las variables en el resultado final, es necesario explicar las distintas etapas en las que se divide la cristalización.

a. Formación de núcleos: para iniciar el proceso es necesario calentar la materia grasa a fraccionar hasta una temperatura mayor a la de su punto de fusión, de forma tal de fundir todos los cristales de la fase sólida. Esto se lleva a cabo en un equipo denominado homogeneizador. Con esto se logra que la formación de núcleos de cristalización se determine por factores externos, mediante el control de la temperatura de enfriamiento. El esquema o curva de enfriamiento depende de la materia prima, del producto final y de los equipos de fraccionamiento con los que se trabaje, principalmente del diseño de cristizador elegido.

La formación de núcleos se inicia cuando las condiciones de temperatura son tales que el aceite fundido está superenfriado y puede llevarse a cabo por tres tipos distintos de fenómenos:

i. Formación de núcleos homogénea: ocurre en fases líquidas superenfriadas en ausencia de impurezas ni otras superficies, cuando las moléculas del líquido se unen formando

grupos crecientes, que, si se mantienen estables y el nivel de sobresaturación es suficiente, llegan a formar un núcleo de cristalización. Sin embargo, en la práctica la formación de núcleos homogénea es prácticamente inexistente, ya que siempre se presentan impurezas en la fase fundida.

ii. Formación de núcleos heterogénea: ocurre por la presencia de impurezas o sustancias extrañas, las que actúan como aceleradores de la cristalización. Generalmente las paredes del cristizador, las paletas del agitador o impurezas mecánicas son sólidos que determinan la formación heterogénea de núcleos.

iii. Formación de núcleos secundaria: ocurre como fase posterior a la formación de núcleos por otro fenómeno, y se debe a las partículas que pueden perderse de los cristales ya formados o a **colisiones entre cristales** generadas por la agitación.

b. Crecimiento del cristal: las variables que determinan la velocidad de crecimiento de los cristales, luego de la formación de los núcleos, son la temperatura y las condiciones de transporte de masa, fuertemente influenciadas por la viscosidad del sistema. Una vez que comienzan a crecer los cristales de la fase sólida, aumenta progresivamente la viscosidad del medio, lo cual dificulta la transferencia de calor y puede ralentizar el crecimiento cristalino.

Por ello, el equipo en el que se lleva a cabo la cristalización debe contar con un sistema de agitación continua, que pueda ser ajustado dependiendo la etapa del proceso y el producto que se desea obtener. La agitación permite mantener condiciones homogéneas dentro del cristizador, favoreciendo una cristalización continua y uniforme.

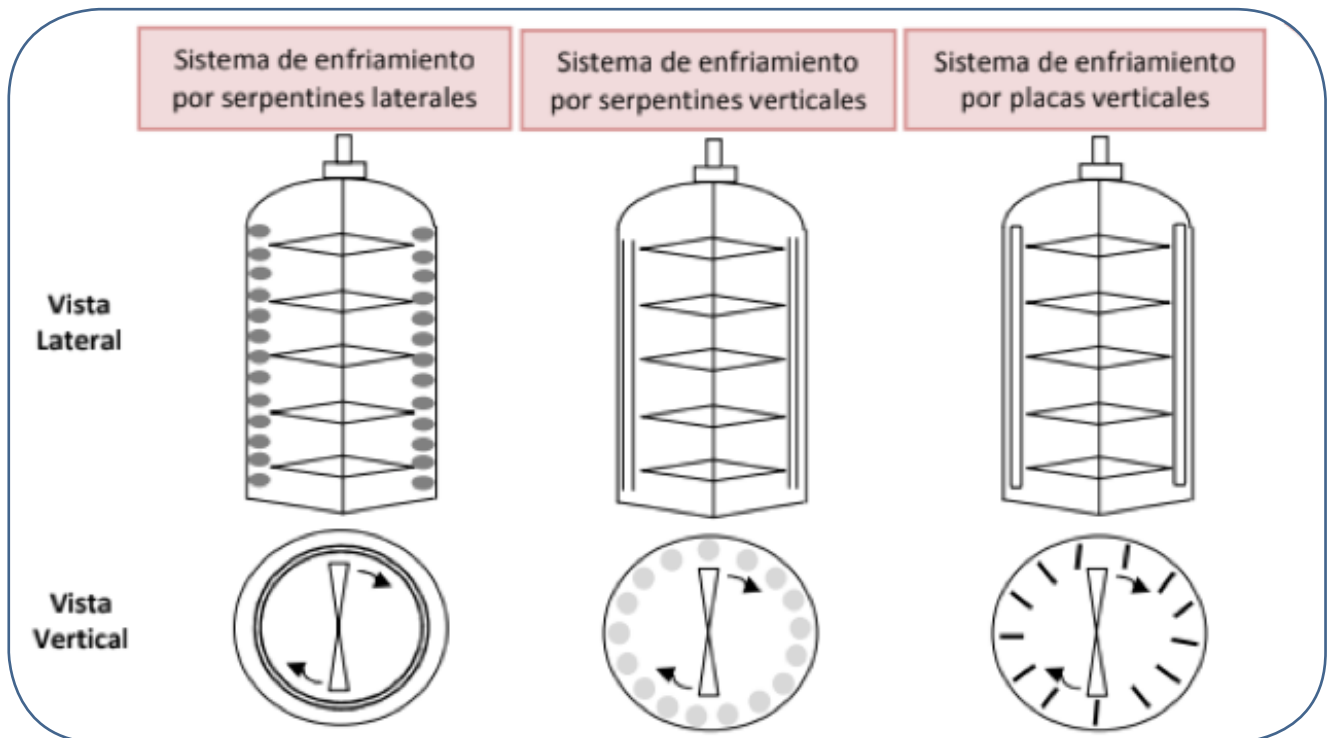
Diseño y elección del cristizador

Como se mencionó previamente, las características y especificaciones técnicas del equipo son determinantes para el éxito de la etapa de cristalización. En particular, el sistema de intercambio de calor y de agitadores son fundamentales para la velocidad de formación y crecimiento de los cristales, como así también de su selectividad.

Respecto a la transferencia de calor, esta se hace por circulación de agua de enfriamiento a través de serpentines -horizontales o verticales-; o mediante superficies encamisadas, como los intercambiadores de placas verticales. Todos estos sistemas han demostrado alta eficiencia, ya que permiten un enfriamiento controlado y una buena distribución térmica dentro del cristizador.

El diseño del equipo también condiciona el tiempo total requerido para completar la cristalización, especialmente en sistemas donde la viscosidad aumenta rápidamente. En cuanto a la agitación, el sistema más utilizado es el de impulsores, aunque se emplean también configuraciones de paletas o de tipo ancla cuando se requiere un mezclado más suave y uniforme.

Diagrama de tanques cristalizadores convencionales con agitadores tipo impulsores



Fuente: Parzanese,2017

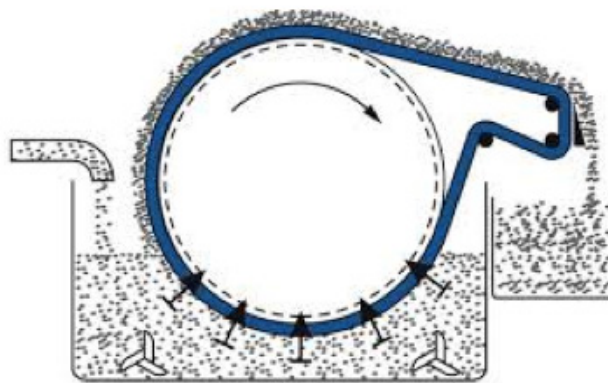
Separación

Una vez finalizada la cristalización se obtienen una fracción sólida y una líquida que deben ser separadas para finalizar el proceso. Debido a las características físicas de ambas fases la separación se realiza por filtración. Esta es una operación mecánica, por lo cual el resultado depende mayormente de las características del filtro utilizado. Inicialmente se utilizaban filtros de prensas formadas por una única placa y un bastidor. Sin embargo, estos dispositivos presentaban dificultades para secar la fase sólida que quedaba en la prensa y para su vaciado, ya que era una operación manual.

En la actualidad se utilizan mayormente dos tipos de filtros: tambor rotativo de vacío y prensa de membranas. Cada uno presenta ventajas y desventajas, por lo que deben tenerse en cuenta cuáles son las propiedades que se pretende para el producto final al momento de la elección del sistema de filtración:

› *Filtro de tambor rotativo de vacío:* Este equipo trabaja en forma continua, y la operación puede dividirse en tres fases. Inicialmente los cristales se concentran debido a la succión de la fase líquida que realiza una bomba de vacío. Aquí se forma una torta de estearina sobre la superficie del tambor rotativo. Luego la torta se seca por la acción de una corriente gaseosa (aire, nitrógeno) y finalmente se realiza la descarga del filtro por contracorriente de aire y raspado.

Las ventajas de este método son su sencillez de operación y su bajo costo. La utilización de filtros de vacío es recomendable cuando se desean obtener estearinas blandas, denominadas así porque contienen una mayor proporción de oleína en la fracción sólida.



Fuente de imagen: <https://www.xn--oorx25k.com/en/>

Esto ocurre debido a que, durante la filtración al vacío, los cristales quedan recubiertos de oleína por efecto capilar o la retienen ocluida dentro de la estructura aglomerada. Las estearinas blandas se utilizan en la elaboración de productos como vanaspati, ciertos shortenings blandos y otras grasas de aplicación panadera o culinaria.

› *Filtro prensa de membranas:* Esta técnica presenta diversas ventajas sobre los filtros de tambor rotativo de vacío: mayor eficiencia de separación, mayor protección contra la oxidación y tolerancia a los cambios de morfología del cristal, más velocidad de filtración y menor consumo de energía. Debido a estas mejoras, actualmente esta técnica es la preferida para la separación en procesos de cristalización fraccionada.

Estos equipos están formados por una serie de placas de material filtrante unidas por un cilindro hidráulico. La operación de filtración es un proceso semicontinuo dividido en dos etapas.

Filtración bajo presión:

El filtro se llena con la lechada proveniente de la cristalización, sobre la cual se aplica presión para separar la mayor parte de la fase líquida.

Estrujado (membrane squeezing):

Luego de la primera filtración, las membranas se expanden para comprimir la torta de cristales y extraer la oleína retenida en los intersticios sólidos.

Finalmente, el filtro se abre y la estearina se descarga por gravedad. Las presiones aplicadas sobre la lechada durante la primera etapa de filtración pueden variar según el equipo, y están en el rango de 4 – 8 bar para filtros estándar.

Sin embargo, se encuentran en desarrollo filtros que operan con presiones mayores de hasta 50 bar, para ser utilizados en la producción de fracciones especiales, como por ejemplo para grasas sustituto de la manteca de cacao.

Por otro lado, es importante mencionar que existen diferentes configuraciones de filtros prensa, que varían según sus características técnicas. Entre ellas se encuentran los filtros con **barras laterales** o **barras superiores**, así como aquellos con alimentación central o **alimentación por la esquina**.

La elección del equipo adecuado dependerá de diversos factores:

- › las características de la materia prima y de las fracciones obtenidas,
- › el nivel de eficiencia y velocidad de filtración requerido,
- › el espacio disponible para la instalación,
- › los costos operativos y de inversión,
- › y el volumen de producción esperado.

Por estos motivos, la selección del sistema de filtración debe evaluarse caso por caso, considerando tanto las propiedades del proceso como las necesidades del producto final.

Limitaciones de la tecnología de cristalización fraccionada

El mayor inconveniente de este proceso es alcanzar la selectividad deseada en la cristalización. Para esto es necesario contar con los conocimientos suficientes respecto a las propiedades físicas de la materia grasa que se desee procesar.

En muchos casos debido a la compleja composición química de grasas y aceites, es difícil conocer por completo su comportamiento frente a cambios de temperatura. Es por ello que la investigación y desarrollo continúan, con el objetivo de ampliar su campo de aplicación y permitir la obtención de fracciones adicionales, como superestearinas, top-oleínas o sustitutos de manteca de cacao.

Ventajas de la cristalización fraccionada

La cristalización fraccionada es una operación física de separación, totalmente reversible, que no altera la composición química de la grasa; por ello, no se generan ácidos grasos trans durante el proceso. Esta técnica tiene costos operativos menores que otros métodos de modificación de grasas. Además, puede aplicarse a aceites crudos, refinados o previamente modificados mediante interesterificación o hidrogenación. Gracias a su larga trayectoria en la industria de grasas y aceites, se ha logrado un notable desarrollo de equipos automatizados, disponibles a distintas escalas, que facilitan y optimizan todas las etapas del proceso.

En conjunto, la cristalización fraccionada se presenta como una herramienta versátil y eficiente para la obtención de fracciones de grasas de alta calidad y funcionalidad, con una amplia gama de aplicaciones.

eficiente para la obtención de fracciones de grasas de alta calidad y funcionalidad, con una amplia gama de aplicaciones.

Fuentes

- › https://www.ocl-journal.org/articles/ocl/full_html/2021/01/ocl210022s/ocl210022s.html
- › Triglycerides as Novel Phase-Change Materials: A Review and Assessment of Their Thermal Properties - Rebecca Ravotti, Jörg Worlitschek, Colin R. Pulham, Anastasia Stamatou - www.mdpi.com/1420-3049/25/23/5572
- › Desarrollos en la tecnología de fraccionamiento. Libro de Oro de A&G - 10° Aniversario - Tomo II - 225
- › Química de los alimentos. Owen R. Fennema. Segunda Edición.
- › Augustine S. H. Ong, & Boey, P. L. (1987). Revisión de algunos procesos de fraccionamiento y estudio de un nuevo método de fraccionamiento del aceite de palma. Palmas, 8(2), 61-73. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/161>
- › <https://www.sefar.mx/es/609/Filtraci%C3%B3n-de-Proceso/Qu%C3%ADmicos/Filtros-de-tambor-rotatorio/Filtro-de-tambor-rotatorio.htm?Folder=7256079>



**Ministerio
de Economía**
República Argentina

**Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca**