

MODELO DE DESTILACIÓN FRÍA SÓLIDO LÍQUIDO PARA CONCENTRACIÓN DE FLUIDOS

Vicenç Rodríguez Barraguer

Josep M^a Nacenta Anmella

Joaquim Lloveras Macià

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Abstract

The cold solid-liquid distillation, using combined techniques of Cold and Hydraulics, is a new technology based on physical procedures that allows the water separation in ice crystal form from the treated fluid. It can be used in many areas, like the food industry or where a custom, concentrated water-solution is needed.

By way of guidance, if the energy consumption to extract a kg of water from a solution is compared, it is necessary to supply 2400 kJ of heat to vaporize the water, while it is only necessary to remove 330 kJ to freeze it.

It is very suitable to the beverage industry because it makes possible the concentration of a wide variety of fruit juices, with no vitamin and aroma degradation, no volatile species loss and no undesirable chemical and biochemical changes.

In this article, a qualitative and quantitative proved, technologic process of solid-liquid distillation is presented, with some operation schemes. The experimental cases executed in the prototype shows the better operation of the cold solid-liquid distillation process than the evaporative conventional one.

Keywords: *cold distillation solid liquid; concentration; freezing; crystals of ice*

Resumen

La destilación fría sólido líquido mediante técnicas combinadas de frío e hidráulicas, es una nueva tecnología basada en procedimientos físicos que permite la separación del agua en forma de cristales de hielo del fluido tratado. Se puede utilizar indistintamente en la industria alimentaria como en otras áreas donde se requiera obtener un concentrado "a medida" según el caso.

A modo orientativo, si comparamos el consumo energético por kg de agua extraída, al utilizar técnicas de calor o frío, tenemos que para eliminar un kg de agua por vapor se necesitan 2400 kJ mientras que por hielo utilizando frío, solo se necesitan 330 kJ.

En la industria alimentaria y de bebidas es muy adecuada al poder concentrar diferentes variedades de zumos de frutas sin pérdidas de vitaminas y aromas, consiguiendo prevenir la pérdida de volátiles y evitar los cambios químicos y bioquímicos indeseables.

A lo largo del artículo se presenta, de forma tanto cualitativa como cuantitativa, el proceso tecnológico de destilación sólido-líquido, con esquemas de funcionamiento. Las muestras experimentales realizadas en el prototipo muestran que el proceso de destilación por frío sólido líquido funciona mejor que el convencional por evaporación.

Palabras clave: *destilación fría sólido líquido; concentración; congelación; cristales de hielo*

1. Introducción

Los distintos métodos y formas de destilar utilizados para concentrar fluidos son bien conocidos desde hace muchos años, pero la aplicación generalizada que se hace a la mayoría de fluidos a los que se quiere concentrar no siempre es acertada.

La observación de los concentrados obtenidos por estos métodos tradicionales (destilación por calor, evaporación) hace pensar que la obtención de estos ha sido realizada con el único objetivo de concentrar, sacrificando algunas propiedades importantes del propio fluido. La pérdida de volátiles y aromas contenidos en el fluido de origen puede ser significativa, en concreto, en el caso de bebidas alimentarias.

La técnica de destilación más adecuada en función de la naturaleza del líquido o mezcla de líquidos que se va a destilar determinará el utilizar metodologías alternativas que puedan dar un producto final de más calidad; un producto con valor añadido.

En la elaboración de concentrados, de tipo alimentario, el modelo de destilación fría sólido líquido ofrece, no solo una alternativa a la destilación por calor, sino un procedimiento capaz de resolver doble objetivo: el tener un concentrado con más propiedades y el de obtenerlo con menor energía consumida.

Energéticamente hablando, también se ha de tener en cuenta el consumo y eficiencia del método utilizado, para llevar a cabo según que técnicas de concentración. Sabemos que por cada kilo de agua evaporada, se necesitan 2400 KJ utilizando destilación por ebullición, frente a los 330 KJ por hielo utilizando frío. El método de destilación fría sólido líquido, no solo proporciona un producto concentrado de más calidad sino que también representa un ahorro energético frente a otros (Nacenta, 1984).

El proceso físico de la destilación fría sólido líquido, permite la separación del agua de la solución mediante el enfriamiento de ésta hasta la separación en forma de cristales de hielo de alta pureza, permitiendo así obtener un concentrado a voluntad según el caso requerido. El resultado final, es la obtención del agua en forma de hielo por un lado y el concentrado que se va generando por el otro.

Como antecedentes de primeros estudios que hablan de concentración por congelación lo encontramos en los años cincuenta, aunque el uso de estas tecnologías en la industria no resultaba rentable por los altos costos de inversión y operación.

Referenciando otros métodos, que utilizan técnicas de frío para la obtención de concentrados, se tiene como más importante el de concentración por congelación de Grasso Grenco, actualmente llevado por la multinacional GEA Process Engineering, 1950-2000 (GEA, 2011) que opera a presión elevada y muy baja temperatura.

Los concentrados por congelación varían en multitud y formas con aplicación de distintas técnicas en función del objetivo deseado en los diferentes procesos; englobarlos en un mismo grupo puede inducir a error. Por ejemplo, otro caso planteado fue el de desalinización de agua de mar por congelación mediante el aprovechamiento de frío en la regasificación del Gas Natural Licuado a -160°C (Lloveras, 2000).

El modelo de destilación fría sólido líquido que se presenta en este artículo, difiere de la concentración por congelación mencionada, ya que se opera a temperatura entre 0°C y -5°C y a presión atmosférica. El intercambiador no es de superficie raspada ni existen columnas lavadoras. Es un modelo, todavía experimental, de fluido descendente, donde intervienen parámetros controlables, como la variación de la temperatura de congelación y la velocidad del fluido tratado, según densidad de éste, al deslizarse por el intercambiador, para trabajar en una o dos etapas, así como el de poder utilizar antiespumantes en los fluidos que lo requieran.

1.1 Aportación del modelo de destilación sólido líquido en el sector de concentrados líquidos alimentarios.

El que se persigue con este procedimiento de destilación sólido líquido es el de ofrecer un modelo que pueda operar a escala industrial ofreciendo concentrados de más calidad, que contengan los aromas y vitaminas (caso de bebidas alimentarias) de origen. Con este sistema de frío no se escapan los volátiles ni se deterioran las vitaminas contenidas, ofreciendo un producto que conserva sus propiedades nutricionales y sensoriales de origen, ya que todo se trabaja alrededor de los 0°C o inferior.

El poder trabajar con este proceso, a baja temperatura, permite prevenir y evitar los cambios químicos y bioquímicos indeseables, minimizando al máximo las pérdidas de propiedades organolépticas, consiguiendo frenar la degradación natural.

Al ser un modelo experimental, la investigación y desarrollo, va enfocada y orientada para conseguir:

1. Definir un buen conjunto de la operación de destilación sólido líquido, mediante técnicas de frío novedosas.
2. La observación y estudio de los fenómenos de transferencia de calor que tienen lugar durante la destilación.
3. La estimación de los tiempos de destilación en la formación de los distintos espesores de hielo.
4. Saber la influencia que ejerce en el fluido el tiempo de congelación.
5. La fenomenología de los diferentes fluidos en este tipo de destilación y la formación de hielo.
6. Conseguir el mejor concentrado y de más calidad, para cada tipo de fluido.
7. Sistemas mecánico hidráulicos que permitan una mejor destilación.
8. Localizar puntos eutécticos de las distintas soluciones. El punto de congelación va disminuyendo al aumentar la concentración hasta el punto eutéctico de cada soluto.
9. Proyección y expansión de esta tecnología en el campo de los concentrados.

2. Método de destilación fría sólido líquido. Caso de estudio.

Los casos de estudio de fluidos que se han llevado a cabo son diversos, pero por razones de espacio y tema la exposición se centrará a dos de tipo alimentario.

En la industria alimentaria de bebidas, principalmente zumos, representa frente a la destilación por calor, una útil y buena alternativa que soluciona el hueco de la mejor calidad, al poder conseguir un producto muy mejorado.

También es una vía de solución para concentrar soluciones acuosas sensibles al calor, sustancias termolábiles, para obtener concentrados que requieren un tratamiento riguroso que no pueden dar otros métodos.

2.1 Descripción del proceso tecnológico de destilación fría sólido líquido.

Termodinámicamente hablando, el proceso empieza extrayendo el calor de la disolución, hasta el punto de la formación de los cristales de hielo. Para ello se deben dar las condiciones de frío adecuadas y el movimiento continuo del fluido.

La máquina prototipo de destilación sólido líquido (ver Figura 1 y Figura 2) que ha permitido realizar las pruebas y verificar los resultados con éxito, puede dar 8 Kw de frío y consiste en

una cámara cerrada que trabaja a presión atmosférica con sistema de frío (ciclo de compresión convencional) que se puede invertir. Está compuesta por un compresor hermético, un intercambiador de calor con superficies de curvatura de radio grande o cuasi planas, un condensador por aire y según el zumo, otro por líquido, dos turbo ventiladores de apoyo a la condensación además de las válvulas, visor, y elementos de todo un sistema frigorífico. (ASHRAE, 2010).

La máquina prototipo de destilación sólido líquido utilizada en la concentración de zumos, consume 23,22 KW eléctricos en la formación de 1000 Kg/h de hielo.

La parte hidráulica, está formada por los colectores de alimentación y por dos bombas de impulsión de velocidad variable. También existe un sistema enlazante de depósitos para el trasvase del fluido. (Bossert, 1985). (Byron, Warren y Edwin, 1964).

Figura 1 Esquema simplificado del Sistema de Frío

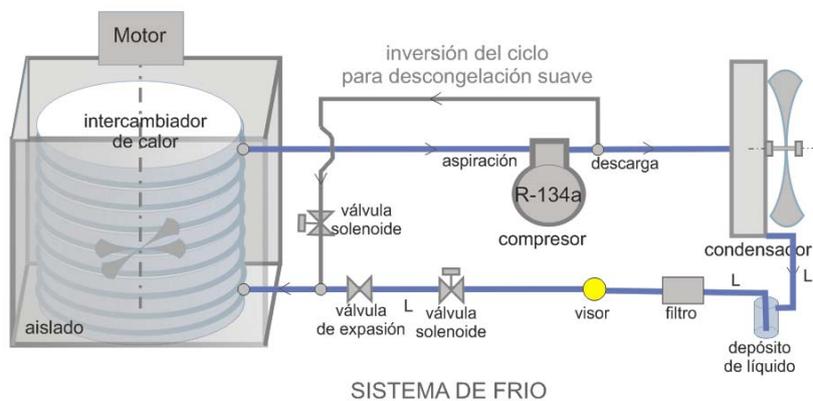


Figura 2 Fotografía Máquina Prototipo de Destilación



2.2 Caso de estudio en bebidas alimentarias.

A continuación se comentan dos casos de concentrado de bebidas alimentarias: zumo de naranja y concentrado de café.

Los zumos de naranja, según el origen de procedencia, se presentan con porcentajes variables de azúcares y agua, pero esto no representa ningún problema a la hora de hacer los destilados.

El caso del café es un mundo aparte y complicado, existe toda una ciencia del café dedicada al estudio y elaboración de muy distintas variedades. Se otorgan más de 800 volátiles (25 potentes compuestos volátiles) y 700 solubles contenidos en el complejo café, según diversos estudios.

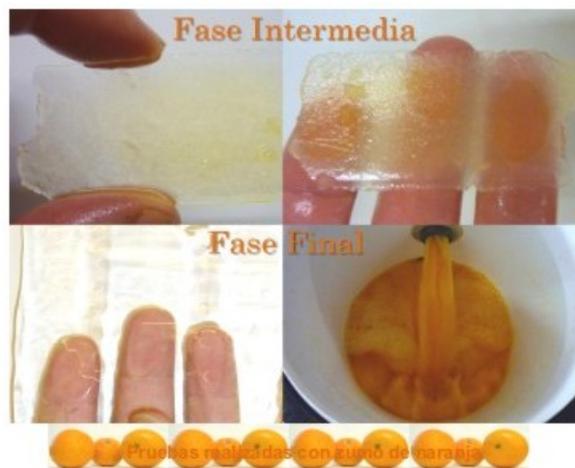
El hacer tanto hincapié en los aromas, como factor esencial, es porqué son los responsables del sabor de la bebida, y el poder contenerlos en las reducciones concentradas es el reto planteado.

Un zumo de naranja viene influenciado principalmente por factores físicos, químicos, microbiológicos y enzimáticos, que suelen ser los responsables de las características organolépticas (aroma, sabor, consistencia, color, estabilidad, turbidez) así como las características nutricionales (vitaminas). Las posibles alteraciones se producen durante la distribución, almacenamiento y refrigeración del producto.

Se realizó el proceso para concentrar zumo de naranja (ver Figura 3) por el método de destilación fría sólido líquido, para ver si la reducción mantenía las mismas propiedades organolépticas.

Los resultados fueron satisfactorios ya en una primera etapa de destilación. La fase intermedia presentaba unos cristales de hielo con escasas trazas de zumo, lo que iba indicando buen presagio. En la fase final, se obtuvo cristales de hielo puro.

Figura 3. Fotografías en el proceso de concentrado de zumo de naranja



Como observaciones significativas, puede decirse que la formación de espuma en el movimiento continuo del zumo, limitaba la formación del grosor del hielo y la pureza del mismo. Se recurrió en estos casos a antiespumantes alimentarios de uso conocido.

Como consecuencia con la reducción, se podía disponer de más variedad para obtener bebidas con concentrados diferentes que daban una mayor calidad.

Se debe mencionar que las diferentes pruebas que se realizaron daban resultados distintos durante el proceso de destilado, según se tratase de concentrar zumos ya comercializados o zumos obtenidos de fruta fresca y de una variedad. No se paró a analizar si los concentrados procedentes de marcas comerciales contenían aditivos o mezcla de variedades, pues el trabajo estaba enfocado en observar y demostrar que por el procedimiento *físico* de destilación sólido líquido se conseguía minimizar las pérdidas organolépticas y hacer inalterable el zumo.

Para la realización experimental de concentrado de café, se elaboró, por separado, café exprés de una prestigiosa marca, en las variedades natural y mezcla. Se utilizaron dos cafeteras semi-profesionales de marca distinta que garantizaran un buen café exprés con todos sus aromas.

En el proceso de concentrado del café (ver Figura 4) se consiguió hacer un buen concentrado a partir del café expreso previamente elaborado, en dos etapas de destilado. La formación de espuma que se iba generando obligaba a buscar y utilizar un antiespumante alimentario que no influenciara en el aroma del concentrado.

La fase intermedia de una primera destilación presentaba cristales de hielo con muy poco café, pero lo más sorprendente era que en este primer hielo no se apreciaban prácticamente rastro de las sustancias volátiles de café, lo que indicaba que permanecían en la parte que se iba concentrando.

Figura 4. Fotografías en el proceso de concentrado de café.



3. Resultados

Como resultados en el concentrado de zumo de naranja y café se mencionan los porcentajes más significativos obtenidos en la concentración final de parada; es decir aquella concentración que presentaba una separación razonable respecto al contenido de soluto retenido.

3.1 Zumo de naranja

- Zumo envasado, comercial “100% fruta”, reducido a 45 % (en 2ª etapa de destilación)
- Zumo natural, reducido a 24,5 % (en 1ª etapa de destilación)
- Zumo natural, reducido a 44,6 % (en 2ª etapa de destilación)

Se logró extraer el agua contenida en el zumo en forma de hielo, consiguiendo, en media, un concentrado del orden del 45% y manteniendo prácticamente inalteradas todas sus propiedades al introducirle nuevamente el agua.

3.2 Café concentrado

Como resultados varios podemos mencionar los porcentajes de concentración medios obtenidos:

- Café exprés natural, reducido a 54,6 % (en 2ª etapa de destilación)
- Café exprés mezcla, reducido a 54,5 % (en 2ª etapa de destilación)

El resultado final presentaba de media, un concentrado alrededor del 55 % con un alto contenido de aromas encerrados.

4. Conclusiones.

La obtención de concentrados con la destilación fría sólido líquido nos enfoca hacia una tecnología más innovadora en continuo desarrollo, para mejorar y hacer los procesos de destilación más valorados y más eficientes. Dar a los concentrados un contenido más rico donde no se pierdan propiedades (como aromas, vitaminas, volátiles) implica un valor añadido.

Una buena destilación fría sólido líquido, bien equilibrada, nos dará una buena pureza de cristales de hielo, lo que implica obtener un concentrado de más calidad donde las propiedades no queden disminuidas.

Muestras concentradas procedentes de distintos destilados, tanto en zumos naturales como los ya envasados, demostraban que en el 98 % de los casos las pérdidas organolépticas eran prácticamente inapreciables respecto a su naturaleza original. Se degustaron los zumos antes y después de los destilados, aportando el agua perdida.

Se observó contenido de colorantes en la mayoría de zumos comerciales. Los zumos procedentes de fruta madura, con más contenido en sacarosa presentaban más formación de espuma en la segunda etapa.

Con respecto al café el proceso de concentrado es más laborioso y complicado que en los zumos, pero en cambio presentaba la ventaja de una conservación posterior más duradera, incluso a temperatura ambiente.

En el proceso de recirculado sin alimentación, cuando se llega a un concentrado más extremo (variable en todos los casos) el hielo se va volviendo más opaco lo que implica retención de soluto de la disolución.

Tras varias pruebas y con diferentes concentrados, se puede concluir que el grado de concentrado adecuado para cada bebida, ha de estar en equilibrio con todos los parámetros exigibles. Es decir, un concentrado extremo, con más gasto energético no siempre compensa el uso final, de ahí el decidir si el grado de concentración es siempre exigible.

Respecto al rendimiento obtenido con esta máquina prototipo de destilación sólido líquido, se puede decir que en la liberación de 1000 Kg/h de hielo se consume 23,22 KW eléctricos.

La destilación fría sólido líquido, es otro tipo de destilación que hasta ahora no se había realizado. Pensemos que las bebidas alimentarias se deterioran con la temperatura, lo que hace pensar en la utilización del frío, pero en un "frío controlado".

Referencias

- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Fundamentals Volume (S.I. edition.)*. Atlanta: 2001
- ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION, SI Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta. 2010.
- Bosser, J. (1985) *Vademécum de mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*, Barcelona: ETSEIB - CPDA .
- BYRON BIRD R.; WARREN E. STEWART; EDWIN N. LIGHTFOOT. *Fenómenos de Transporte*. 1964.
- GEA Process Engineering S.A de C.V. *Concentración por congelación de Niro Process Technology*. Obtenido de http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/concentracion_por_congelamiento.asp [visitado, abril 2011].
- Lloveras, J., García-Carrillo, A., Muñoz, J.S., Escasez de agua potable en la cuenca del Mediterráneo. Estudio de desalinización de agua de mar en la terminal de regasificación de GNL de Barcelona. *Actas del XVI Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos*, Vol. HA-04, pp. 1051-1055, Lleida 2000.
- Nacenta, J.M^a; Ribas, E.; Rogla I. *Ahorro de energía en refrigeración*. ETSEIB - CPDA. 1984.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Vicenç Rodríguez Barraguer
Ingeniero Industrial
Phone: +34 93 3395437
E-mail : vicenc.rodriiguez@enginyers.net