

## EQUIPO DE CRIOCONCENTRACIÓN DE FLUIDOS POR PLACAS DE PELÍCULA DESCENDENTE

Raventós, M<sup>1</sup>, Auleda, J.M<sup>1</sup>, Hernández, E<sup>1</sup>, Ibarz, A.<sup>2</sup><sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroalimentaria UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA<sup>2</sup>Departamento de Tecnología de alimentos Universidad de Lleida

**Palabras clave:** equipo de crioconcentración, fluidos, zumos, °Brix, intercambiador de placas.

## Resumen

La crioconcentración es una técnica basada en la separación de sólidos solubles de una solución, mediante la congelación del agua que esta contiene. Existen equipos en el mercado en que la cristalización del hielo se realiza a presión elevada. En este caso se encarece la operación y la separación de los cristales se hace mediante centrífugas, filtros o columnas de lavado.

En este trabajo se presenta el nuevo equipo diseñado y se muestran las bases de funcionamiento para la concentración de fluidos. El equipo trabaja a presión atmosférica usando placas de acero inoxidable soldadas dentro de las cuales circula un fluido refrigerante a modo de intercambiador de calor.

## INTRODUCCIÓN

La concentración es una operación muy utilizada en la industria alimentaria para reducir el volumen de producto y facilitar su manejo, transporte, almacenamiento y conservación.

La crioconcentración se basa en la separación de sólidos solubles de una solución mediante la congelación del agua que esta contiene. Se presenta el desarrollo de un equipo semiindustrial que permita su aplicación en la industria alimentaria. Se persigue la obtención de un producto de gran calidad a un coste competitivo.

Hay dos métodos esenciales para cristalización de hielo en soluciones. Uno es la cristalización en capa sobre una superficie fría (Muller & Sekoulov, 1992; Flesland 1995), y el otro es la cristalización en suspensión (Huige & Thijssen, 1972).

A escala industrial para la concentración de fluidos alimentarios el sistema de crioconcentración que se emplea se basa en el método de cristalización en suspensión. Dicho método ha sido ampliamente investigado (Huige & Thijssen, 1972; Huige 1972). En este sistema es muy importante el crecimiento o formación de cristales de hielo suficientemente largos para una sencilla separación de la solución (Omran & King, 1974; Shirai et al, 1985; Hartel & Cheng 1993).

También existe tecnología y equipos industriales que utilizan la cristalización en capa sobre superficies frías para la producción de hielo en escamas (Mueller, Omega Engineering,). No se conoce la aplicación a escala piloto de esta tecnología para concentración de fluidos alimentarios.

Para ensayar un sistema de crioconcentración más simple que los que se usan hasta el momento, se ha desarrollado un nuevo equipo para trabajar a presión atmosférica utilizando placas en lugar de la nucleación convencional lo que permite obviar la separación física de cristales que es sustituida por un cambio de ciclo en el circuito refrigerante.

En este documento se presenta el esquema del equipo diseñado, sus bases de funcionamiento y los primeros resultados obtenidos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La cristalización se realiza a presión atmosférica sobre placas dobles de acero inoxidable AISI 316L soldadas de modo que por su interior circula un fluido refrigerante (Fig. 1). Su recorrido zigzagueante permite mantener la temperatura de congelación en la totalidad de las placas que actúan a modo de evaporador del circuito frigorífico. A su vez, el fluido a concentrar se distribuye homogéneamente por la parte superior formando una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende y se recircula continuamente gracias al impulso de una bomba.

Una vez se ha recogido el concentrado, los cristales formados en la placa se deshacen mediante una inversión de ciclo de modo que puedan ser retirados de forma simple.

Cada etapa se inicia con la misma cantidad de solución (35 lts) a la concentración con que se finalizó la etapa anterior. Por este motivo, al inicio de cada etapa debe prepararse una cantidad de solución igual al hielo eliminado en la etapa anterior pero de la concentración de partida. Entre cada dos etapas de concentración la solución de conserva en cámara frigorífica a  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ .

La cristalización se realiza a presión atmosférica sobre 5 placas dobles (800 x 600 mm) de acero inoxidable AISI 316L soldadas de modo que por su interior circula un fluido refrigerante (R-404 A). Su recorrido zigzagueante permite mantener la temperatura de congelación en la totalidad de las placas que actúan a modo de evaporador del circuito frigorífico.

A su vez, el fluido a concentrar se distribuye homogéneamente por la parte superior mediante 6 tubos de PVC  $\varnothing 32 \times 2,4$  mm perforados linealmente con orificios circulares de 2 mm de diámetro, separados 1-2 cm entre si. Con esta disposición se consigue una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende y se recircula continuamente gracias al impulso de una bomba. Se trata de una bomba centrífuga de 0,75 kW de potencia, caudal entre 30-100 l/min, altura manométrica 21-30 m.c.a.

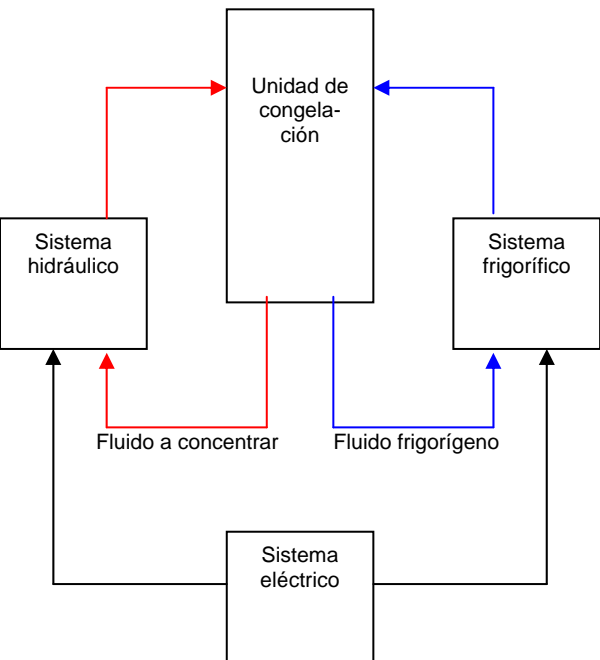


Fig. 1 Esquema básico de funcionamiento del equipo de crioconcentración diseñado

El sistema frigorífico sigue un ciclo de compresión convencional, condensación por aire y compresor hermético 1,38 kW, (potencia frigorífica: 2,870 kW a -5°C).

El circuito hidráulico dispone de una bomba centrífuga de 0,75 kW de potencia, caudal entre 30-100 l/min que impulsa el fluido hacia el colector que alimenta a 6 conductos de distribución de PVC Ø 32 x 2,4 mm perforados linealmente con orificios circulares de 1-2 mm de diámetro, separados 1-2 cm entre si, dependiendo del grado de concentración de la solución. Con esta disposición se consigue una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende a ambos lados de la placa y se recoge en el depósito para su recirculación.

#### CICLO DE CONCENTRACIÓN

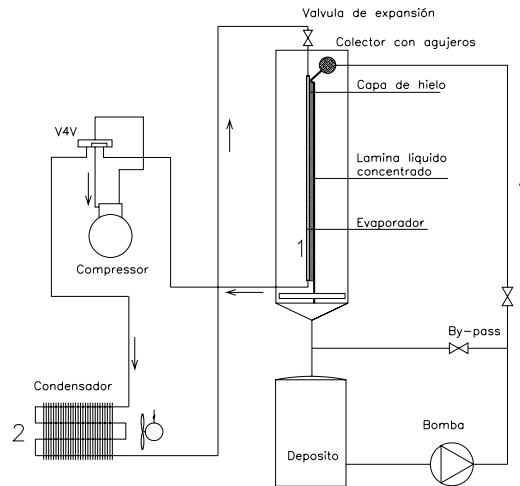


Fig. 2 Equipo en fase de concentración

#### CICLE PER DESPENDRE EL GEL

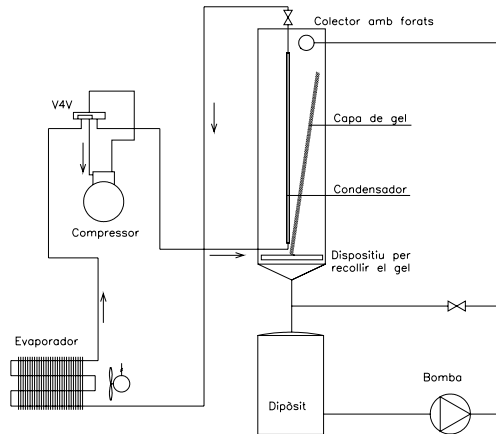


Fig. 3 Equipo en fase de desescarche

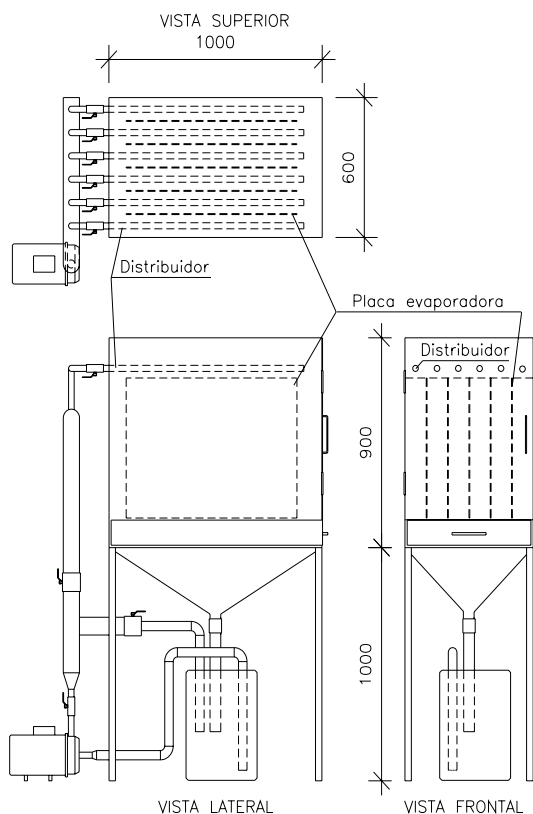


Fig. 4 Esquema básico del equipo de crioconcentración diseñado

El caudal ensayado es del orden de 0,95 l/s. para una solución de 10°Brix.

La medida de temperatura de la solución se ha realizado con un termómetro digital TESTO, provisto de sonda con banda termopar tipo K, con una resolución de 0,1°C. La temperatura del refrigerante se toma a partir del dispositivo manométrico situado en la línea de baja presión del sistema frigorífico del equipo.

La concentración de la solución se determina con un refractómetro digital automático ATAGO modelo DBX-55A con un rango de medida de 0-55 °Brix.

Se trabaja por etapas de concentración (fig. 2), de manera que cuando se alcanza un espesor suficiente de hielo (aproximadamente 1 cm de promedio), se realiza la inversión del ciclo frigorífico (desescarche) para separar el hielo formado sobre la placa (fig. 3), que se recoge en la bandeja inferior perforada.

## RESULTADOS

El equipo diseñado permite obtener, en las condiciones de ensayo utilizadas hasta el momento, concentrados de 31,2°Brix de sacarosa, 24,9°Brix de glucosa y 26,6°Brix de fructosa. En zumos, se han obtenido concentraciones de 30,8°Brix en pera y de 30,2°Brix en manzana. Se encuentra un comportamiento diferente según cual sea la

solución ensayada. Es destacable la producción de espuma en zumos naturales. (JOFE, 79 P.577-585)

## CONCLUSIONES

El equipo es más productivo en soluciones con baja concentración de solutos. Parece factible que después de las oportunas pruebas para mejorar los parámetros de interés (grado de concentración, producción y pureza de hielo), pueda emplearse en la pre-concentración de fluidos alimentarios, o bien combinarse con otros sistemas (evaporación, ósmosis inversa) para obtener concentraciones más altas.

La pureza del hielo disminuye a medida que aumenta el grado de concentración. Si bien la pureza del hielo es inferior respecto a equipos comerciales existentes en el mercado, es de destacar la simplicidad, tanto constructiva como de utilización, del equipo ensayado

Los resultados de los ensayos realizados en equipos de laboratorio (Flesland 1995; Cheng et al. 1999) se confirman satisfactoriamente en esta aplicación a escala piloto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, P., Chen, X.D., Free, K.W. (1999). An experimental study on the spatial uniformity of solute inclusion in ice formed from falling film flows on a sub-cooled surface. *Journal of Food Engineering*. 39. 101-105.
- Flesland, O. (1995). Studies on freeze concentration by suspension and layer crystallization. Ph. Thesis. University of Trondheim. Norway.
- Hartel, R.W., Espinel, L.A. (1993). Freeze concentration of skim milk. *Journal of Food Engineering* 20. 101-120
- Miyawaki, O. (2005). Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. *Journal of Food Engineering*. Vol 69, pp 107-113
- Ping Chen et al. "A generalizad correlation of solute inclusión in ice formed from aqueous solutions and food liquids on sub-cooled surface". *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol.78. April 2000. p.312-319.
- Ramteke, R.S., Singh, N.I., Rekha, M.N. and Eipeson, W.E. (1993). Review. Methods for concentration of fruit juices: a critical evaluation. *J. Food Sci. Technol*, Vol 30, nº 6, 391-402.
- Raventós, M. Hernández, E., Auleda, J.M., Ibarz "Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator" *Journal of food engineering*. 79. 2007, págs. 577-585
- Thijssen, H.A.C., (1986) The economics and potentials of freeze concentration for fruit juices. *International Federation of Fruit Juice Producers, XIX Scientific Technical Commission. Symposium Den Haag. Grenco Process Technology and Dept. of Chemical Engineering, Eindhoven University of Technology*. pp 97-103.
- Van Mil, P.J.J.M., and Bouman, S (1990). Freeze concentration of dairy products. *Neth. Milk Dairy J.* 44, 21-31
- Valente, M., Duverneuil, G., Nicolas, J. (1986). *Studies on freeze concentration of whole kiwi fruit*, ISHS Acta Horticulturae 194; 249-260. *International Symposium on Fruit and Vegetables for Processing*, Capetown (South Africa)
- Van Weelden, Freeze concentration: the alternative for single strength juices, *Fruit Processing* 4(5) 140-143 *Niro Process Technology*, The Netherlands, 1994.
- Verschuur, R. Scholz, Van Nistelrooij, Scheurs; *Innovations in freeze concentration technology*; *Niro Process Technology*, The Netherlands, 2002.