

Tecnología de cristalización continua de azúcar por enfriamiento. Ensayos en microplanta.

Dr. Rolando Santana Machado, Dra. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas, M. C. Silvia López Menéndez, Dr. Tito Díaz Bravo. Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. lourdes@quimica.cujae.edu.cu, Teléfono: 2663396.

Resumen

Se presenta el resultado del proceso de cristalización continua de azúcar por enfriamiento utilizando un procedimiento en que se realizan por separado, de modo continuo y en orden consecutivo, las operaciones de evaporación-concentración y de cristalización. Para la operación de cristalización se empleó un equipo de diseño original, que imprime una alta circulación a la masa. Al finalizar la evaluación no se observaron incrustaciones azucaradas en los elementos del sistema de cristalización, lo que asegura su continuidad. No se observaron conglomerados o granos gemelos, ni nucleación secundaria. La velocidad de cristalización fue elevada. El coeficiente de variación de tamaño del azúcar obtenido osciló entre 28 – 31 %, y se obtuvo una reducción de color hasta 5-9 Horne partiendo de meladuras concentradas de 100 – 180 Horne. A partir de azúcar crudo disuelto, simulando licor concentrado, y sin purificación o decoloración se obtuvo un azúcar refino con calidad superior a la que estipula la norma de azúcar refino. El rendimiento en cristales fue entre 27 – 37 %, lo que avala la buena labor de agotamiento del sistema de cristalización.

Palabras claves: Cristalización continua, cristalización por enfriamiento.

Abstract

Results obtained by continuous crystallization of sugar by cooling are presented. Procedure is based on carrying out separately, in a continuous way and in serial order, the operations of evaporation-concentration and crystallization. For the crystallization operation a module of original design was used. A high mass circulation is imposed by the designed module. When the evaluation was finished, incrustations were not deposited, and conglomerates and secondary nucleation were not observed. The crystallization rate was high. Obtained sugar's coefficient of variation of size oscillated between 28 - 31%. Starting with concentrated syrup of 100 - 180 Horne, a color reduction up to 5-9 Horne was obtained. Starting from dissolved raw sugar, simulating concentrated liquor, and without purification, a refined sugar was obtained with higher quality in comparison to Cuban Normative for Refine B. The crystal's yield was between 27 - 37%. Results endorse the good exhaustion work in the crystallization system.

Key words: Crystallization by cooling, continuous crystallization.

Introducción

El procedimiento convencional utilizado para la obtención de azúcar es la cristalización en tachos al vacío, por efecto de la evaporación del agua presente en la solución azucarada. Estos aparatos presentan el inconveniente de que la operación es discontinua, insertándose en medio de un proceso tecnológico continuo. Esta discontinuidad hace compleja la automatización y provoca picos en la demanda de vapor. Por otra parte la circulación de la masa cocida en los tachos al vacío se realiza por convección libre, creando zonas subsaturadas donde ocurre la disolución de los cristales y zonas sobresaturadas en las que ocurre nucleación secundaria. Se han hecho intentos para provocar la circulación forzada en los tachos al vacío, con alto consumo de potencia. (1, 8) Otros trabajos se han dirigido hacia la cristalización continua en equipos similares a los de vacío, donde se mantiene el proceso de evaporación y el de concentración unidos al de cristalización, sin resultados que eliminen la amplia distribución de tamaño de cristales obtenida, y el corto tiempo en que la operación es continua, producto de las incrustaciones de azúcar. (1, 6) Otros investigadores han estudiado el proceso de cristalización continua de azúcar por enfriamiento, manteniéndose aún la deficiente circulación y la baja velocidad de cristalización debido a los bajos valores de los coeficientes de transferencia de masa alcanzados en los equipos utilizados. (4, 5, 7)

La tecnología de cristalización continua de azúcar por enfriamiento que se propone en el presente trabajo da respuesta positiva a los inconvenientes antes señalados.

Desarrollo

Descripción de la tecnología cristalización continua de azúcar por enfriamiento

La esencia del procedimiento se basa en realizar por separado, de modo continuo y en orden consecutivo, las operaciones de evaporación-concentración y de cristalización, mediante una instalación compuesta por dos tipos de equipos funcionalmente diferentes, coordinados entre sí. Para la operación de cristalización se emplea un equipo de diseño original, que imprime una alta circulación a la masa, que llamaremos por analogía masa movida. En la Figura 1 se presenta un esquema de las características del equipo utilizado. Consta de una cuba cilíndrica de diámetro D , que lleva en su interior un tubo central guía sin tope o fondo, de diámetro d_t , dentro del cual se encuentra un impelente de tornillo helicoidal. Este es un helicoide de diámetro d , con una pequeña holgura entre la pared interior del tubo central y el extremo de la hélice.

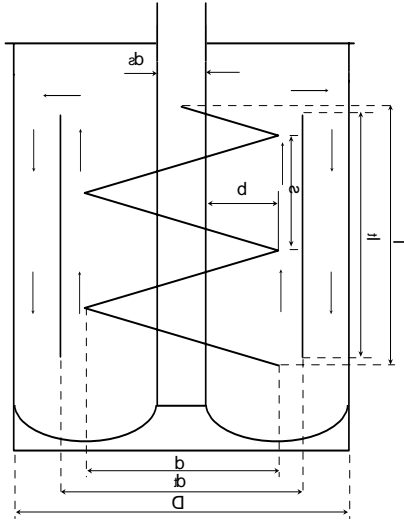


Figura 1: Impelente de tornillo helicoidal

El sistema tecnológico está compuesto de tantos bloques de cristalizadores como sean necesarios para llevar una meladura de pureza y brix dados, hasta una miel final con pureza de compromiso. Cada uno de los bloques está compuesto por un calentador para elevar la temperatura del material hasta cerca de 90 °C; un evaporador que concentra el material hasta un brix ligeramente inferior al de saturación a 90°C y que entrega el licor madre azucarado, subsaturado, caliente, concentrado y exento de cristales; un conjunto de cristalizadores de nuevo tipo conectados en serie (cascada de cristalizadores), en número entre 3 y 6 elementos en dependencia de la pureza del material a tratar y que tiene como objetivo preparar el magma con cristales de tamaño comercial, por enfriamiento escalonado del producto que entrega el evaporador. Las temperaturas de los escalones sucesivos corresponden a valores que aseguran grados de sobresaturación del licor madre del magma en la región inferior de la zona metaestable. Al primer elemento de la cascada se añade de modo continuo, el medio de semillamiento, en una proporción que garantice el tamaño final del grano adecuado. (2)

La determinación del número de cristalizadores, el perfil de temperatura y el tiempo de residencia se realiza mediante la optimización dinámica con respecto al tiempo del modelo físico-químico de la cinética de cristalización de la sacarosa. La solución del modelo requiere, paso a paso, la integración numérica de la ecuación diferencial ordinaria no lineal: (3)

$$\frac{dP}{dt} = V_e * S \quad \text{donde } P : \text{masa de cristal, } V_e : \text{velocidad másica superficial específica; } S : \text{área de un cristal}$$

Resultados experimentales a nivel de microplanta

Una cascada compuesta por 6 elementos fue instalada en la Facultad de Ingeniería Química. A ella se alimentaba una solución azucarada, concentrada, ligeramente subsaturada y exenta de cristales a 90-95°C. Cada elemento de la cascada tiene un diámetro igual a su altura de 0,16 m y consta de un impelente helicoidal, al que se le imprime una velocidad de 125 rpm, y una camisa por donde circula el agua de enfriamiento o calentamiento, según sea necesario para mantener la temperatura deseada en la masa movida. Las soluciones concentradas a alimentar a la cascada se prepararon mezclando meladura, miel A, miel B, azúcar o agua, según el brix y pureza deseados y calentando éstas para lograr la disolución de los cristales. Una vez obtenida la solución deseada, se mantenía a 90-95°C en un termostato y se alimentaba de manera continua a la cascada por medio de una bomba dosificadora de flujo variable, ajustada de acuerdo al tiempo de residencia deseado. La semilla se alimentaba al primer cristizador mediante otra bomba dosificadora de flujo menor, en dependencia del flujo y pureza del material concentrado, del tamaño del grano deseado y de la concentración de núcleos semilla en la solución portadora.

Resultados simulando meladuras concentradas

A continuación se presenta en la Tabla 1 un ejemplo de los datos obtenidos para cada corrida.

Tabla 1: Resultados de una corrida simulando meladura concentrada

Meladura preparada (utilizando meladura, miel A y azúcar) para Brix=83,5%; Pureza= 83,5%			
Semilla añadida: Cristal 600		Tamaño de la semilla= 0,010mm	
Tiempo de residencia en cada elemento: 35 min			
# Cristizador	Temperatura °C	Tamaño promedio mm	Rendimiento en cristales %
1	70	0,139	13,92
2	64	0,207	19,02
3	57	0,254	23,36
4	50	0,347	25,22
5	40	0,424	26,89
6	40	0,480	28,10

En la Tabla 2 se resumen los intervalos en que se ensayaron las variables durante el estudio así como los resultados alcanzados en las diferentes corridas.

Tabla 2: Resultados finales de tamaño de cristal y rendimiento en cristales para meladuras

Meladura concentrada: Brix: 80-86% Pureza: 80-88%; Color: 100-180 Horne	Tamaño final del cristal mm: 0,37 – 0,52
Tamaño de la semilla mm: 0,005; 0,085; 0,01	Rendimiento en cristales %: 27,0 – 37,4
Tiempo de residencia: 22-35 minutos	Azúcar obtenido: Color Horne: 5-9; Pol: 99,28-99,85

Perfil de temperatura °C: 70-60-55-50-45-40; 60-44-40-40-40; 70-65-60-50-40-40; 65-60- 55-50-45-40	Coefficiente de variación de tamaño %: 28-31
--	--

Resultados simulando licores concentrados

A continuación se presenta en la Tabla 3 un ejemplo de los datos obtenidos para cada corrida.

Tabla 3: Resultados de una corrida simulando licores concentrados

	Licor concentrado	Azúcar obtenido	Miel de rechazo
Brix %	84,0	99,97	73,6
Pol %	83,8	99,94	70,8
Pureza %	99,8		96,2
Color Horne	9,1	0,85	16,6
Reductores %	0,25	0,013	0,51
Cenizas %	0,12	0,01	0,20
Tiempo de residencia: 27 min Perfil de temperatura °C: 60-50-40-40-40-40 Semilla: pasta estable (0,005 mm)		Rendimiento en el 3er elemento: 27,96% Rendimiento en el 4to elemento: 28,31% Rendimiento en el 6to elemento: 31,09%	

En la Tabla 4 se resumen los intervalos en que se ensayaron las variables durante el estudio así como los resultados alcanzados en las diferentes corridas.

Tabla 4: Resultados finales para licores concentrados

Meladura concentrada: Brix: 80-86% Pureza: 96,5-99,8%; Color: 9-15 Horne	Azúcar obtenido: Color Horne: 0,85-1,25; Pol: 99,21-99,94 %; Brix: 99,95-99,97 %; Reductores: 0,011-0,018 %; cenizas; 0,010- 0,017 %
Tamaño de la semilla mm: 0,005	
Tiempo de residencia: 22-30 minutos	Rendimiento en cristales en el último elemento %: 31-38
Perfil de temperatura °C: 70-60-50-40-40-40; 60-50-40-40-40; 50-40-40-35-35-35	Coefficiente de variación de tamaño %: 28-29

Del análisis de los resultados presentados y de otras observaciones realizadas durante las corridas se concluye que:

- No se observaron incrustaciones azucaradas en los elementos de la cascada, lo que asegura su continuidad.
- No se observaron conglomerados o granos gemelos. El hábito del cristal fue similar al teórico en las soluciones de alta pureza y en las de baja pureza hubo cierta deformación del hábito.
- Se observó un crecimiento permanente y progresivo de los cristales al pasar de un elemento de la cascada a otro. No se observó nucleación secundaria para los perfiles de temperatura estudiados.

- La velocidad de cristalización fue elevada, lo que está avalado por el cambio de tamaño en corto tiempo de operación.
- De las pruebas de tamices se comprobó el bajo coeficiente de variación del azúcar producido, oscilando los valores entre 28 – 31 %, siendo esto altamente ventajoso.
- Partiendo de meladuras concentradas de 100 – 180 Horne se obtuvieron azúcares de 5 – 9 Horne, lo que pone de manifiesto la alta calidad del azúcar obtenido con la tecnología.
- A partir de azúcar crudo disuelto, simulando licor concentrado, y sin otro tipo de tratamiento de purificación o decoloración se obtuvo un azúcar refino con calidad superior a la que estipula la norma de azúcar refino B e incumpliendo sólo la norma de refino A en el color.
- Tanto con meladura concentrada como con licor concentrado se obtuvieron valores de rendimiento en cristales entre 27 – 37 %, muy cerca de los predichos por la termodinámica, lo que avala la buena labor de agotamiento de la cascada.

Conclusiones

La tecnología de cristalización propuesta elimina la discontinuidad del proceso de cristalización convencional. La homogeneidad en el tamaño y la alta velocidad de cristalización hacen posible la cristalización continua sin usar “pie de templeas” desarrollados en tachos discontinuos, siendo ésta una de las ventajas de la tecnología. Con la tecnología se alcanzan altas velocidades de cristalización lo que reduce el tiempo de operación en la fábrica. Se alcanzan resultados muy alentadores en términos del color del azúcar producido, sin haber hecho uso de métodos químicos para la decoloración. Por consiguiente se recomienda realizar el escalado a nivel de planta piloto para verificar el comportamiento de la instalación.

Bibliografía

1. Austmeyer, K.: Analyses of sugar boiling and its technical consequences. Parts I, II, III. Int. Sugar J. Vol 88 (1045, 1046, 1047), 3-6, 23 – 30; 50 – 54, GB, 1986.
2. Guerra, J.: Procedimiento e instalación para la cristalización continua de azúcar por enfriamiento. Certificado de autor de invención No 21874 ONIITEM, Cuba, 2 de septiembre de 1989.
3. Guerra, J.: The kinetics of sugar crystallization by cooling. Int. Sugar J. Vol 88 No.1024, 99 - 105, GB, 1984.
4. Mantovani, G et al: The CCC system of continuous cooling crystallization Int. Sugar J. Vol. 90 No 1079, GB, 1988.

5. Mantovani, G; G. Vaccari: Standpoint of cooling crystallization as a method of beet or cane sugar purification. Association AVH 6to Symposium Reines, Francia, 36-44, 1999.
6. Quintana, P; E, Bolaños; B, Miranda, L Salcedo: Mathematical modeling and kinetic parameter estimation in batch crystallization. AIChE J. Vol. 50 No 7, 1407-1417, EEUU, 2004.
7. Vaccari, G et al: Pilot plant for continuous crystallization from raw juice. Int. Sugar J. Vol. 97, No 1157, 209-218, GB, 1995.
8. Vázquez, C; G. González, A. Valdés: Agitación mecánica en tachos de masa cocida B. ATAC Vol. 62, No 1, 41-44, Cuba, 2001.

Agradecimientos

Se agradece la contribución de los diplomantes de la Facultad de Ingeniería Química, Idalberto Delgado Díaz, Roberto Medina Sardiñas, Angela Calderín Hernández y Aramis Vasallo Pérez que tanto esfuerzo dedicaron a la obtención de los resultados del presente trabajo.