

Influencia del campo magnético estático en la recristalización de la sacarosa en soluciones impuras

Influence of the Static Magnetic Field in the Recrystallization of the Sucrose in Impure Solutions

**Ing. Yaima Torres-Ferrer¹, ytorres@cnea.uo.edu.cu; Dr.C. Guillermo
Ribeaux-Kindelán¹; Dr.C. Carlos Hernández-Pedraza²; Dr.C. Fidel Gilart-Gonzalez¹**

**¹Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba,
Cuba; ²Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente,
Santiago de Cuba, Cuba**

En este trabajo se presenta una evaluación de la influencia de un campo magnético estático de moderada intensidad sobre el proceso de recristalización de una solución sobresaturada de sacarosa con impurezas. Se diseñan y ejecutan experimentos en los que se determina la influencia de un campo magnético estático sobre la velocidad de nucleación y la morfología de los microcristales de sacarosa. Se caracteriza el dispositivo acondicionador magnético utilizado en los ensayos con valores de inducción magnética media aproximada de 2 774 y 3 376 Gauss. Se establece que la aplicación del campo magnético en el rango de valores empleado provoca un retardo de un 50 % en el proceso de recristalización de la sacarosa en una solución impura, propiciando una mejor uniformidad y regularidad en la superficie y bordes de los microcristales.

Palabras clave: *cristalización, campo magnético, sacarosa.*

This paper presents an evaluation of the influence of a static magnetic field of moderate intensity on the process of recrystallization of a supersaturated solution of sucrose with impurities. In the work is designed and executed experiments determining the influence of a static magnetic field on the nucleation rate and the morphology of microcrystals of sucrose. It characterizes the magnetic conditioning device used in the tests, with values of average flux density of approximatel y 2 774 and 3 376 Gauss. The application states that the magnetic field in the range of values used causes a 50 % delay in the process of recrystallization of sucrose in an impure solution, favoring a better uniformity and regularity in the surface and edges of the microcrystals.

Keywords: *crystallization, magnetic field, sucrose.*

Introducción

El estudio del fenómeno de la nucleación y crecimiento de cristales tiene especial interés e importancia, pues permite comprender mejor el efecto de las condiciones de cristalización sobre la morfología cristalina de los materiales. La cristalización es un proceso complejo que se caracteriza por las etapas de formación de sobresaturación, nucleación y crecimiento cristalino; así como, de fenómenos secundarios, tales como agregación, aglomeración, quebramiento, redisolución y maduración.

Es ilimitada la diversidad y la cantidad de impurezas que pueden encontrarse en soluciones de azúcar, por lo general, todas ellas disminuyen la velocidad de cristalización.

En Cuba, como en otros países donde la industria azucarera representa un reglón prioritario de la economía, se ha notado un auge por las aplicaciones del magnetismo en esta industria durante los últimos veinte años. El Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) de Santiago de Cuba ha sido uno de los pioneros en nuestro país en las investigaciones de este tipo.

Del análisis de la literatura científica de este tema, que ha sido muy poca la publicada durante los últimos 40 años, se puede concluir que los resultados presentados son, en algunos casos, contradictorios, y en la mayoría, carentes de una explicación física, del posible mecanismo de acción.

Durante los últimos seis años Ribeaux G. *et al.* /1-3/ han estudiado la influencia del campo magnético sobre la cristalización de la sacarosa en soluciones puras, y han encontrado que los campos magnéticos estáticos de moderada intensidad entre 715 y 3 440 G afectan ese proceso, provocando una disminución de la velocidad de nucleación y un aumento de la velocidad de crecimiento de los cristales. Según estos autores los efectos observados se pueden explicar a partir de la interacción de los momentos dipolares magnético rotacional y diamagnético de las moléculas de agua con el campo magnético externo, principalmente la amplificación de las fluctuaciones magnéticas que se producen dentro de la solución de sacarosa como consecuencia del intercambio de energía con el campo magnético externo, a través del momento angular de los rotores moleculares de agua.

Sin embargo, no se han encontrado referencias de investigaciones en las que se estudie la influencia del campo magnético estático sobre la velocidad de

recristalización de soluciones sobresaturadas de azúcar en presencia de impurezas, así como la confirmación de la explicación física de un posible mecanismo de acción que permita explicar este fenómeno, lo que permitiría dar un primer paso para la posible introducción de esta tecnología en el proceso de cristalización en la industria azucarera. De ahí la novedad, la actualidad y el aporte científico de este trabajo, cuyo objetivo específico es valorar la influencia de campos magnéticos estáticos de moderada intensidad sobre el proceso de recristalización de soluciones de azúcar crudo.

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en el laboratorio de fluidos del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Se realizaron tres tipos de experimentos y cinco réplicas de cada uno: un primer caso en el cual la muestra no fue sometida al tratamiento magnético (SCM), y los casos dos y tres en los que la muestra fue sometida al tratamiento magnético (CCM) con intensidades de campos magnéticos diferentes, 2 774 y 3 376 G, respectivamente; se midió la variable tiempo de recristalización.

Se controlaron las variables cantidad de impurezas, sobresaturación, temperatura y velocidad de agitación de la muestra. El acondicionador magnético utilizado fue adaptado para los experimentos desarrollados: consiste en una pareja de imanes de una aleación de ALNICO (Aluminio Níquel Cobalto), cuya geometría y disposición se muestran en la figura 1; el área entre los polos tiene la posibilidad de ser regulada convenientemente, en este caso se fijó según el diámetro del vaso cristizador. Sobre los polos, y para lograr la intensidad de campo deseada se colocaron placas de imanes de NeFeB (Neodimio Hierro Boro).

El instrumento utilizado para las mediciones de la inducción magnética fue un gaussímetro de efecto Hall de la marca LakeShore, modelo 410. El dispositivo fue caracterizado midiendo la intensidad del campo magnético en cinco puntos a lo largo del eje longitudinal, lo que permite conocer el valor medio aproximado de dicho campo en el área donde se colocará la muestra. Para la caracterización cinética de la cristalización de la sacarosa se utilizó el método fotométrico. Como detector luminoso se utilizó un fotodiodo del tipo FDS010 acoplado a un multímetro digital MK 1 325. Este se utilizó para la caracterización cinética de la cristalización de la sacarosa teniendo en cuenta

que la turbidez (o la transparencia) de una solución, que es una medida aproximada de la masa de material cristalizado.

En la figura 1, se muestra la instalación experimental utilizada en los ensayos.



Fig.1 Instalación experimental utilizada en los ensayos

Procedimiento experimental

Se trituraron 120 g de azúcar crudo en una batidora eléctrica con molino, se diluyó en 37,92 g de agua destilada, lo que corresponde a 1,15 % de sobresaturación; el pesaje se realizó en una balanza técnica digital de procedencia china, marca Sartorius con una precisión de $\pm 0,01\text{g}$. La disolución se vertió en un cristizador de doble camisa, que consiste en un vaso cilíndrico encamisado con fondo plano y volumen útil de 300 mL, construido de vidrio Pirex. Para controlar la temperatura de la disolución, se empleó un termostato de procedencia alemana marca Julabo F12 capaz de estabilizar la temperatura con una exactitud de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (previamente encendido y programado para una temperatura T1 de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para la agitación de la disolución se utiliza un agitador mecánico, la velocidad de agitación fijada fue de 1 200 rpm. Con el objetivo de facilitar la disolución total de los cristales, la muestra se diluye durante 30 min a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego se reprograma el termostato a una T2 de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ con el objetivo de enfriar paulatinamente la muestra saturada, facilitando condiciones de baja solubilidad para su posterior saturación y cristalización. Se realizaron diez réplicas (STM) y diez (CTM). Las mediciones fueron tomadas cada 10 min. El experimento se prolongó en el tiempo hasta que los cambios observados en la intensidad de la luz alcanzaron la saturación. De cada una de las muestras se tomó una porción para el estudio del tamaño de los microcristales formados, para esto se realizaron fotografías

digitales con zoom 5,1 con una cámara digital Sony de 7,2 mega pixeles a través de un microscopio óptico Motic con aumento de 10x10.

Análisis de los resultados

La solución SCM alcanza la saturación a los 60 min y CCM en los dos casos a los 120 min, es decir, que el campo magnético ejerce una acción inhibitoria en el proceso de nucleación, lo que corroboró lo ya obtenido por Ribeaux, G. *et al.* /1-3/, relacionado con el retardo en la velocidad de nucleación de la sacarosa que provoca la presencia de un campo magnético estático.

En la figura 2, se muestran las curvas promedios de las replicas del comportamiento de los tiempos y sus desviaciones de los tres casos experimentales.

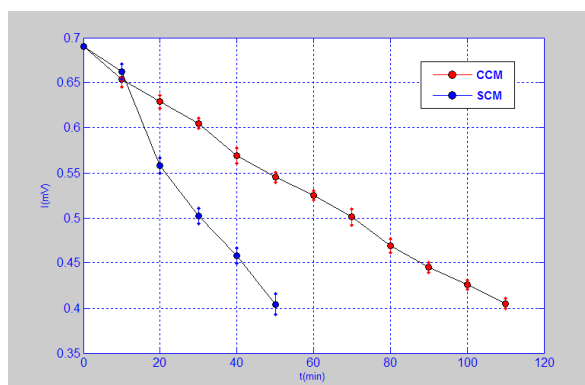


Fig. 2 Curvas promedios del comportamiento de los tiempos de saturación sin campos magnéticos (SCM) y con campos magnéticos (CCM)

La curva que muestra el caso CCM tiene en cuenta el resultado de los dos valores de campo magnético empleado, entre los cuales no existieron diferencias significativas en cuanto al tiempo, tal y como se muestra en la gráfica de la figura 3.

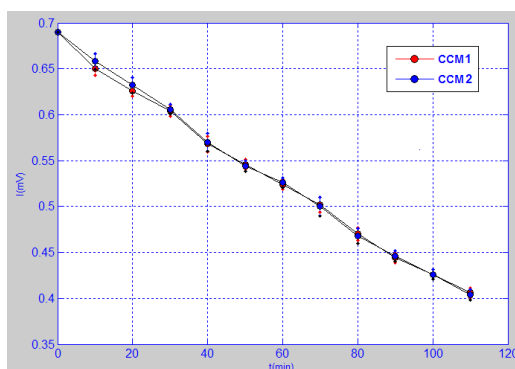


Fig. 3 Curvas de los tiempos de saturación para los campos magnéticos 1(CCM1) y 2 (CCM2)

En las figuras 4 y 5, se muestran ejemplos de las fotografías realizadas a los microcristales de dos muestras SCM y CCM, respectivamente.

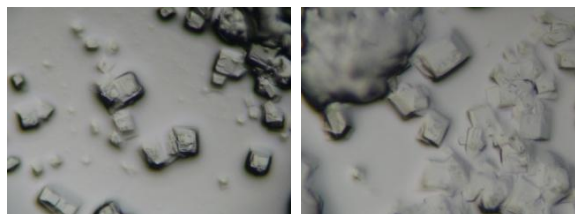


Fig. 4 Muestra sin campos magnéticos (SCM)



Fig. 5 Muestra con campos magnéticos (CCM)

Como puede observarse, los microcristales obtenidos SCM tienen una dimensión media aproximada de $75 \cdot 137,5 \mu\text{m}$, estos microcristales poseen en su superficie deformaciones y rugosidades, a diferencia de aquellos microcristales que se obtienen CCM que son más pequeños con dimensión media aproximada de $50 \cdot 37,5 \mu\text{m}$, una superficie más pulida y una mejor regularidad en su forma y hábito.

A manera de resumen de los resultados presentados se puede decir que el tratamiento magnético retarda el proceso de aparición de los núcleos cristalinos, con tendencia a una mayor regularidad en la forma y el tamaño de los microcristales.

Asumiendo que el blanco del campo magnético es el agua, los efectos observados pudieran explicarse a partir del modelo mecano-cuántico que predice que las fluctuaciones magnéticas que se producen de manera natural dentro de una solución acuosa (la solución de sacarosa en este caso) pueden ser amplificadas significativamente mediante el intercambio de energía con un campo magnético externo a través del momento angular de los rotores moleculares de agua /5/. Los altos campos magnéticos ($\sim 10 \text{ T}$) generados localmente durante tales amplificaciones estarían asociados a campos eléctricos locales muy intensos ($\sim 10^9 \text{ V/m}$). Campos eléctricos con intensidades

de ese orden disminuyen la constante dieléctrica del agua debido a que destruyen parcial o completamente la red de enlaces de hidrógeno /6/ y afectan estos enlaces de una manera anisótropa, fortaleciendo los enlaces de hidrógeno paralelos al campo y debilitando los ortogonales /7/.

La destrucción parcial de la red de enlaces de hidrógeno del agua de hidratación puede tener un efecto, en algunos aspectos, similar al del aumento de la temperatura sobre la deshidratación y disociación de las moléculas de sacarosa, lo que explicaría los efectos del campo magnético estático de moderada intensidad sobre el proceso de cristalización /8/.

El campo magnético fluctuante, al provocar la destrucción de los enlaces por puentes de hidrógeno del agua de hidratación de las unidades cinéticas de la solución de sacarosa, les permitiría a estas interactuar más intensamente unas con otras, por lo que, debido a la pequeña masa de las mismas, las incesantes colisiones facilitarían más la destrucción de ellas que su crecimiento, pudiendo crecer solamente aquellas que sobrepasen determinada masa crítica. Esta sería la razón por la cual el proceso de nucleación resultó ser más lento en las muestras tratadas magnéticamente que en las no tratadas.

Una vez alcanzada la masa crítica, el crecimiento de los cristales se vería facilitado por la acción del campo magnético externo /8/, lo que conduciría también a la obtención de cristales más regulares.

La tendencia a una mayor uniformidad en el tamaño de los microcristales crecidos bajo la acción del campo magnético aplicado sería una consecuencia de una mayor uniformidad en las dimensiones y la forma de los núcleos formados y en el estado de la superficie de ellos, a causa de la intensificación de los choques entre las unidades cinéticas durante el proceso de nucleación, lo que conduciría también a un menor tamaño de los cristales.

Conclusiones

Al aplicar campos magnéticos estáticos con valores de 2 774 y 3 376 G ocurre un retardo aproximado de un 50 % en el proceso de recristalización de la sacarosa en soluciones impuras.

Los microcristales obtenidos al aplicar el campo magnético tienen una mayor uniformidad en tamaño y su forma es más regular.

No se observó diferencia significativa en el efecto producido en el rango de intensidad de campo magnético aplicado.

Bibliografía

RIBEAUX KINDELÁN, G.; ARES, O.; FALCÓN, F.; GIRASOLES, M. "Verificación mediante la AFM de la influencia del campo magnético en la cinética de la cristalización de soluciones azucaradas". *Revista Cubana de Química*. 2006, vol. XVIII, núm. 1, p. 312-313.

RIBEAUX KINDELÁN, G.; ARES, O.; FERNÁNDEZ, A.; FALCÓN, F. "Influencia del Campo Magnético Estático en la nucleación y cristalización de la sacarosa". *Bol. Soc. Quím. Méx.* 2008, vol. 2, núm. 2, p. 60-62.

RIBEAUX KINDELÁN, G.; PARISI, M., CHIANESE, A. "Investigation on cane sugar crystal growth by image analysis". *17th International Workshop on Industrial Crystallization*. Halle (Saale), Germany, September 8-10, 2010.

CEFALAS, A. C. *et al.* "Nanocrystallization of CaCO₃ at solid/liquid interfaces in magnetic field: A quantum approach". *Applied Surface Science*. 2008, vol. 254, p. 6715-6724.

DANIELEWICZ FERCHMIN, I.; FERCHMIN, A. R. "Water at ions, biomolecules and charged surfaces". *Phys. Chem. Liquids*. 2004, vol. 42, p. 1-36.

VEGIRI, A. "Reorientational relaxation and rotational-translational coupling in water clusters in a d.c. external electric field". *J. Mol. Liq.* 2004, vol. 110, p. 155-168.

RIBEAUX, G., GILART, F. "Influencia de un campo magnético estático sobre la cristalización de la sacarosa en solución". Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2011.