

## Influencia del Campo Magnético Estático en la Nucleación y Cristalización de la Sacarosa

Guillermo Ribeaux Kindelán,<sup>1\*</sup> Oscar Ares Muzio,<sup>2</sup> Federico Falcón Rodríguez<sup>2</sup> y Adolfo Fernández García<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, CNEA, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas s/n, CP 90400, Santiago de Cuba, Cuba. ribeaux@cnea.uo.edu.cu

<sup>2</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales ICTM-IMRE, Universidad de La Habana, Zapata e/ G y Mason, CP 10400, Ciudad Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Centro de Biofísica Médica, CBM, Universidad de Oriente, Patricio Lumumba CP 90500, Santiago de Cuba, Cuba.

**Abstract.** Studies have shown that the kinetics of the crystallization of some inorganic salts experience changes in the presence of a magnetic field in a certain intensity. Based on this premise, experimentation was carried out as described in this paper, where, using the photometric method with the help of a laser and a photodiode, was verified by observing the change of turbidity in an oversaturated solution of sucrose by crystallized controlled cooling, that the presence of a magnetic field gradient of 0.25 T and intensity of 0.1 T, favors the formation of a greater number of centers of crystallization within the solution, supported by the increase time that the same delay in reaching its maximum solubility with regard to the solution that crystallizes under normal conditions.

**Key Word.** Magnetic field, magnetic treatment, crystallization kinetics, nucleation, crystallization, sucrose

**Resumen.** Estudios realizados han demostrado que la cinética de la cristalización de algunas sales inorgánicas experimenta cambios en presencia de un campo magnético de determinada intensidad. Teniendo como base esta premisa se realizó la experimentación que se describe en el presente trabajo, donde, empleando el método fotométrico con la ayuda de un láser y un fotodiodo, se verificó, observando el cambio de turbidez de una solución sobresaturada de sacarosa que cristaliza por enfriamiento controlado, que la presencia de un campo magnético estático con gradiente de 0.25 T e intensidad de 0.1 T, favorece la formación de un mayor número de núcleos y centros de cristalización en el seno de dicha solución, corroborado por el aumento del tiempo que demora la misma en alcanzar su máxima solubilidad con respecto a la solución que cristaliza en condiciones normales. **Palabras clave.** Campo magnético, tratamiento magnético, cinética de cristalización, nucleación, cristalización, sacarosa.

### 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. Los estudios sobre la influencia del campo magnético en las soluciones de sacarosa son pocos, pues la gran parte de estos se han centrado en la nucleación y cristalización de sales inorgánicas bajo la influencia de un campo magnético (fundamentalmente en  $\text{CaCO}_3$ ) [1]. En la industria azucarera se han dirigido hacia el tema del empleo del tratamiento magnético como método para evitar y/o eliminar las incrustaciones que se forman en las superficies de los sistemas de intercambio calórico, haciendo precipitar o forman diferente todas aquellas sales que se depositan en las superficies de estos tubos [2,3]. El caso que nos ocupa centra la atención en el análisis de la influencia de un campo magnético de magnitudes conocidas en la nucleación y cristalización de una solución sobresaturada de sacarosa en condiciones de laboratorio, cuyo comportamiento describe las diferencias cuando se aplica el campo magnético y en ausencia de este. El entendimiento de los efectos del campo magnético sobre los sistemas acuosos es muy complejo y los conocimientos acerca de éstos en la cinética de la cristalización de soluciones de azúcar son poco conocidos, el hecho de que en la industria azucarera se hayan obtenido resultados relevantes en los sistemas de evaporación con la aplicación de esta tecnología, ha despertado especial interés en los tecnólogos de la rama, interesándose por conocer que podría estar

sucediendo con el producto final (cristal de azúcar) una vez introducido el tratamiento magnético al jugo de caña durante el proceso de fabricación.

De toda la bibliografía consultada relacionada directamente con el tratamiento magnético a líquidos, se encontraron dos artículos interesantes en los que se hace referencia a la interacción e influencia del campo magnético en algunas de las propiedades físico químicas de soluciones azucaradas [4,5], se consultó además una patente sobre el tema [6]. Bisheng y col. [7] plantean que algunas propiedades físicas de las soluciones de azúcar en agua se afectan cuando son tratadas en un campo magnético. Encontraron que la evaporación de las soluciones azucaradas puede aumentarse con un campo magnético adecuado. Existen otras investigaciones en las que se trata igualmente la influencia del campo magnético en la cristalización, pero en este caso hacen referencia a las proteínas [8-10].

### Materiales y Métodos

Como método para determinar el cambio de turbidez de la solución de sacarosa como medida de la formación de los núcleos en el seno de la solución, se utilizó el fotométrico, el cual se utiliza tradicionalmente para la determinación de la turbidez en el análisis de aguas y otros líquidos. En nuestras condiciones experimentales, nos auxiliamos, de un láser, un fotodiodo y un multímetro para implementar dicho método. En trabajo, se ha utilizado la turbidez como una medida semicuantitativa del contenido de sólidos en suspensión en la

solución de sacarosa, que serían, en este caso, los núcleos de los cristales. Cuantos más núcleos en suspensión haya en la solución, mas “sucía” parecerá ésta y más alta será la turbidez. La medida de la turbidez puede proporcionar, por tanto, una estimación de la aparición y concentración de núcleos en suspensión en la solución de sacarosa.

Para obtener los datos experimentales se procedió de la siguiente manera: Se tomaron los valores de intensidad de luz como el valor del voltaje (mV) a medida que cambiaba la turbidez de la solución como señal de la aparición de los primeros núcleos. Estos valores se leyeron cada 2 min cuando no se aplicó el tratamiento magnético y cada 5 min cuando fue aplicado dicho tratamiento. Se culminó el experimento cuando ya no se observaron cambios de la turbidez en el tiempo; lo que se verifica cuando los valores de la lectura en el multímetro se mantienen constantes.

Como fuente de campo magnético se utilizó un circuito como el que aparece en la siguiente fotografía, los imanes son de NeFeB.

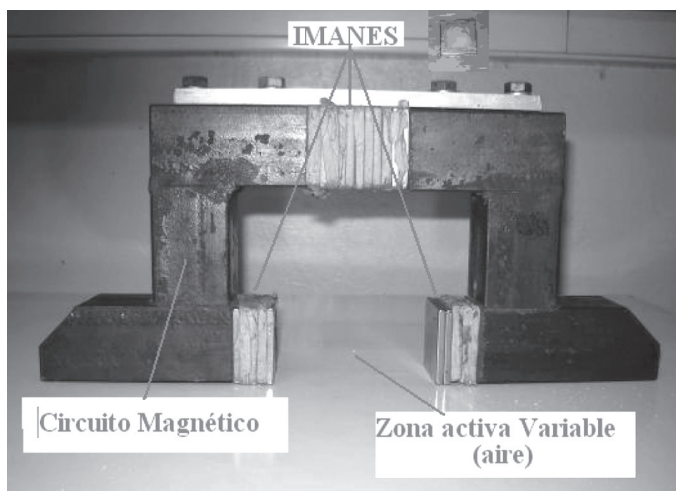


Fig. 1. Circuito magnético.

Las características del circuito magnético se determinaron con ayuda de un Gaussímetro de sonda Hall, pero de igual manera y para conocer con detalles el comportamiento de las líneas de flujo y el gradiente de campo magnético, se realizó una modelación en 2D, con el software FEMM 4.2. Los resultados de la modelación se muestran a continuación, con la cual se pudo determinar que el valor del gradiente de campo magnético empleado es de 0.25 Tesla y se corroboró que el valor de la inducción de campo magnético en la zona activa del dispositivo magnético fue de 0.1 Tesla (Fig. 2-4).

El montaje del experimento se muestra en la siguiente figura 5.

### Resultados y discusión

Una vez realizadas las mediciones y recopilados los datos de varias réplicas del patrón (sin tratamiento magnético “STM”)

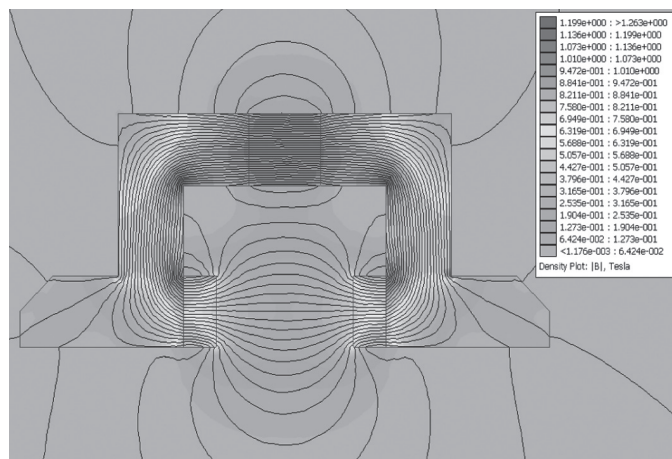


Fig. 2. Esquema del mapa del valor de inducción de campo y líneas de flujo del circuito magnético.

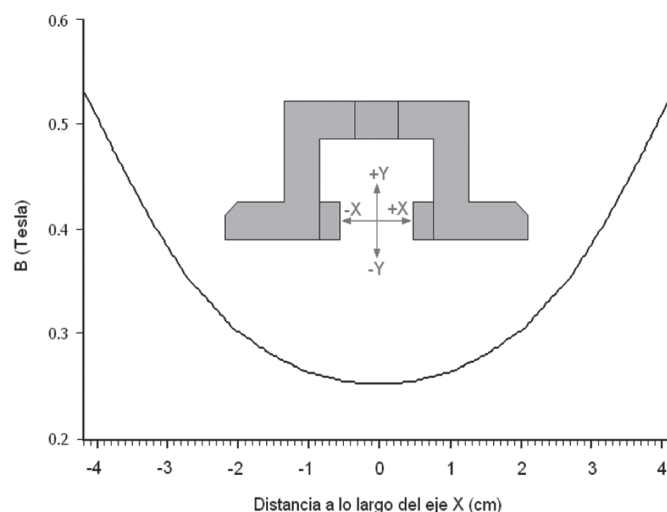


Fig. 3. Esquema del comportamiento del gradiente de campo a lo largo del eje x.

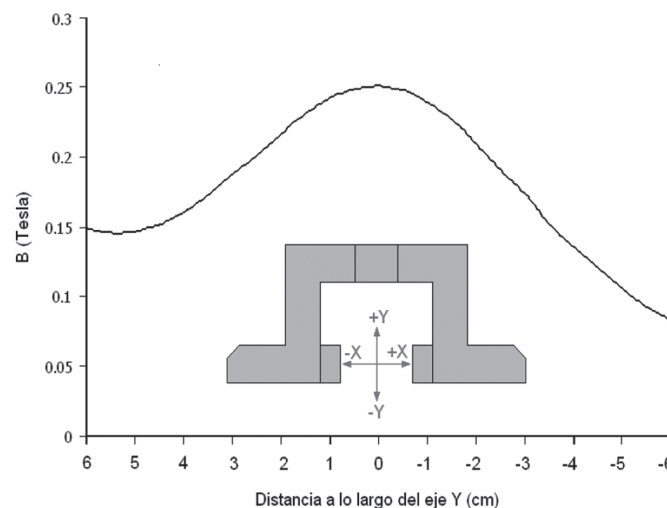


Fig. 4. Esquema del comportamiento del gradiente de campo a lo largo del eje y.

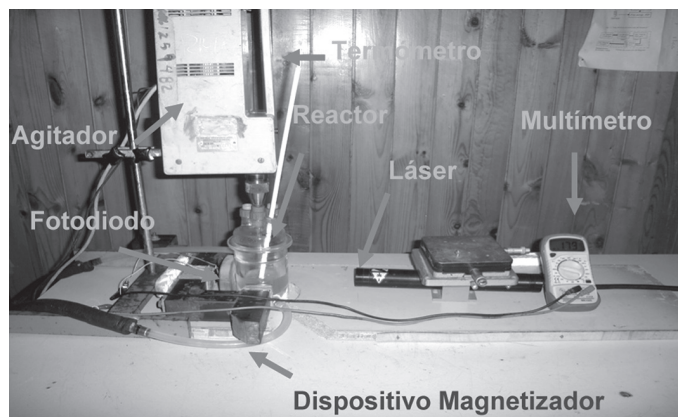


Fig. 5. Esquema de montaje del experimento 1.

y las muestras (con tratamiento magnético “CTM”), se procedió al trazado y ajuste de las curvas obtenidas, empleando el Software profesional STAFGRAF, el cual permite obtener los gráficos conjuntamente con el modelo y ajuste, así como el procesamiento estadístico de los valores promedios. Se obtuvieron familias de curvas para ambos casos, las cuales fueron promediadas, obteniendo las curvas para los patrones y las muestras que se muestran en la fig. 6.

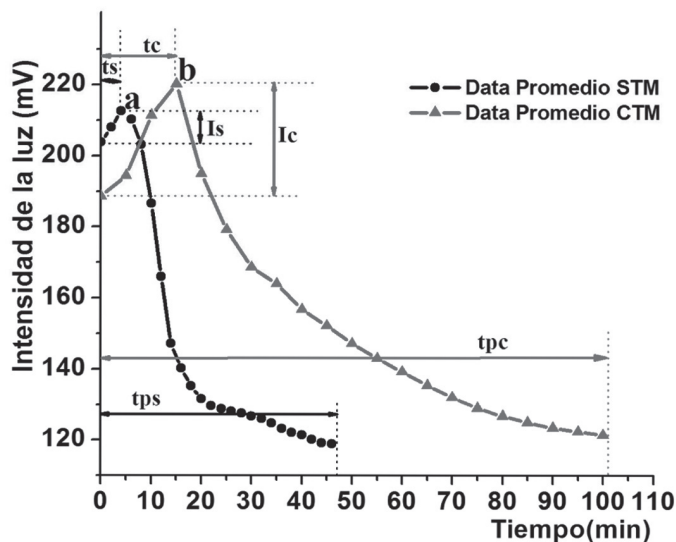


Fig. 6: Gráfico de los valores experimentales promedio sin y con TM.

La diferencia entre las curvas de las muestras y los patrones, fue que los puntos de máxima solubilidad (a y b) no se alcanzaron en igual período de tiempo ( $t_s \neq t_c$ ), esto significa que cuando se aplica el tratamiento magnético, la solución, antes de que comiencen a detectarse los núcleos,

es más transparente que cuando no se aplica el tratamiento magnético. El fenómeno observado se puede interpretar de la siguiente manera: sin campo magnético la nucleación ocurre paulatinamente, mediante la unión de las moléculas, o sea, el número de núcleos en la solución va aumentando durante un tiempo, y al mismo tiempo, los núcleos ya formados van incrementando su tamaño. Esto significa que sin campo magnético, durante un tiempo, coexisten dos fenómenos: la formación de nuevos núcleos y el crecimiento de los ya existentes [11]. Con campo magnético el fenómeno es diferente: el campo insolubiliza fuertemente a la solución desde un principio [8], por lo cual desde el primer momento se forma un alto porcentaje de los núcleos que habrá en la misma durante todo el proceso. A partir del momento en que se forman todos los núcleos, sólo resta el crecimiento de los mismos, es decir, tienden a quedar más separados en el tiempo los procesos de formación de núcleos y de posterior crecimiento de los mismos. Por lo que es evidente que el campo magnético favorece la formación de un mayor número de núcleos y al mismo tiempo de centros de nucleación.

## Conclusiones

Se demostró que con la presencia de un campo magnético estático de 0.1 T de intensidad y con un gradiente de campo de 0.25 T, cuando se emplea el método de la cristalización por enfriamiento de una solución de sacarosa sobresaturada, se favorece la formación de un mayor número de núcleos y al mismo tiempo de centros de nucleación en el seno de la solución, evidenciado por el hecho de que aumenta el tiempo que demora dicha solución en alcanzar su máxima solubilidad durante el proceso de nucleación.

## Referencias

- Higashitani, K.; Freitas, A. B. M. *J. Colloid Interface Sci.* **1993**, *156*, 90.
- Ribeaux Kindelán, G. *Cubasolar. Energía y Tú* **2004**, *26*, 21-24.
- Benson, R. F.; Carpenter, R. K.; Martin B. B.; Martin D. F. *TransIChemE.* **1997**, 34-38.
- Guo, S. Study on the effect of magnetic treatment on sucrose crystallization. *Chemical Abstracts* **1995**, XP-002090986, *122*, No. 8, p. 155.
- Zharova, E. Y. Effect of a magnetic field on the formation of crystallization centers on hydrated glucose. **1968**. CAPLUS 90517.
- Crystallization of sugars - US Patent 6579375 2, June 17, **2003**
- Bisheng, Z.; Siyuan, G.; Lin, L.; Miaoyan, C. *International Sugar Journal* **1996**, *98*, 1166.
- Ataka, M. *J. Cryst. Growth* **1997**, *173*, 592.
- Kinoshita, T.; Ataka, M.; Warizaya, M.; Neya, M.; Fujii, T. *Acta Crystallogr. Section D*, **2003**, *59*, 7.
- Moreno, A.; Quiroz-García, B.; Yokaichiya, F.; Stojanof, V.; Rudolph, P. *Cryst. Res. Technol.* **2007**, *42*, 231 – 236.
- Keshra, S. Additive and crystallization processes. 2007. Wiley, p 66-96. ISBN 978-0-470-06153-4.