

# Dispositivo ajustable *in situ*, para máxima efectividad del tratamiento magnético antincrustante en evaporadores

Ricardo Domingo Martínez-Águila\*, Rafael Dunand-Castellanos, Sara Mendoza-Ferrer, Yeider Rodríguez-Molina

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

Vía Blanca # 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba

\* [ricardo702@yahoo.com](mailto:ricardo702@yahoo.com)

## RESUMEN

El tratamiento magnético antincrustante (TMA) se ha venido consolidando como una tecnología ecológica, efectiva y de bajo costo; sin embargo, un pobre efecto antincrustante se ha observado en frecuentes aplicaciones del TMA. Esta situación, generalmente, se presenta debido a consideraciones que van desde el diseño del magnetizador, su instalación en la red hidráulica, hasta propiedades del fluido acuoso. En este trabajo se estudian varios diseños de magnetizadores que pueden variar el campo magnético  $B$  *in situ* para maximizar la efectividad del TMA, con el empleo del método cristalóptico; todo con el objetivo de comparar tipos de magnetizadores y corroborar los resultados de la aplicación del tratamiento magnético superficial (TMS), en evaporadores de ingenios azucareros.

**Palabras clave:** incrustación; tratamiento magnético antincrustante; magnetizador; evaporador.

## ABSTRACT

Anti-scale magnetic treatment (AMT) has been consolidating as an ecological, effective and low-cost technology; however, a poor anti-scale effect has been observed in frequent applications of AMT. These situations generally arise because they suffer from considerations ranging from magnetic conditioner design, its installation in the hydraulic network, to the properties of the aqueous fluid. In this work, several designs of magnetic conditioner that can vary the magnetic field  $B$  "in situ" and adjusted to maximize the effectiveness of the AMT are studied, using the crystallo-optical method, all with the aim of giving foundations and corroborating the results achieved from the application of surface magnetic treatment (SMT) in evaporators of sugar mills.

**Key words:** scale; anti-scaling magnetic treatment; magnetic conditioner; evaporator.

## INTRODUCCIÓN

Hoy día el tratamiento magnético antincrustante (TMA) de fluidos acuosos es considerado, por investigadores y constructores de equipos, como una tecnología ecológica, de bajo costo y efectiva para la prevención de las incrustaciones en equipos e instalaciones de intercambio calórico.

La efectividad del TMA depende de varios factores, entre los que se destacan:

1. El arreglo de imanes y materiales utilizados en el magnetizador, que genera el campo magnético  $B$ , en la región por donde se hace pasar el fluido acuoso.
2. La ubicación del magnetizador en la red hidráulica con relación al equipo o instalación de intercambio calórico.
3. Las propiedades termodinámicas, hidráulicas y de composición del fluido.

Los factores anteriormente referidos son las causas que provocan que, en situaciones de aplicación del TMA, no se logre un efecto antincrustante observable (1).

Las mediciones de efectividad del TMA en sistemas de intercambio calórico constituyen la mejor garantía para la comercialización de magnetizadores, pero estas mediciones *per se* no resultan viables si no se complementan con ajustes en las características magnéticas de estos dispositivos magnetizadores; así como en cambios de ubicación y parámetros hidráulicos de la instalación. Por ello, muchas empresas comercializadoras de estos dispositivos adolecen de resultados fiables del efecto antincrustante (2), pues carecen de una evaluación de efectividad y, menos aún, realizan cambios *in situ* en las características magnéticas y de ubicación en la red hidráulica del magnetizador, para que ajuste y/o personalice el TMA a propiedades termodinámicas, hidráulicas y de composición del fluido acuoso, en la aplicación particular.

Con esta concepción y la introducción del tratamiento magnético superficial (TMS) en la aplicación del TMA al jugo de caña, en evaporadores de ingenios azucareros, se realizaron evaluaciones indirectas de efectividad del TMA, basadas en el monitoreo de presión de vapor y concentración (BRIX) cuerpo/calandria, de cada evaporador del multi-efecto (3).

Un TMA efectivo se presenta cuando la relación de presión de vapor cuerpo/calandria decae más lentamente para un flujo (m<sup>3</sup>/h) y concentración del jugo (Brix) determinados, lo cual trae por consecuencia mayor eficiencia energética del evaporador, que permite aumentar su tiempo de trabajo entre limpiezas y lograr considerables ahorros en insumos de agua, químicos, entre otros. Sin embargo, este procedimiento de evaluación del TMA resulta muy engorroso, no solo por la cantidad de medidas en los instrumentos, recogida de muestras y análisis de laboratorio para obtener la data, sino también por tiempo que estos trabajos requieren; más aún, si resultara necesario llevar a cabo ajustes en el campo magnético B del magnetizador.

Todo lo anterior se puso de manifiesto en las aplicaciones del Sistema magnético antincrustante (SMA), basado en magnetizadores AZUMAG, en ingenios del país y, en especial, durante las transferencias tecnológicas a los ingenios de CALESA, en Panamá (2008) y ALUR en Uruguay (2008). En este último se instaló la extensión del Método cristalóptico (MCO) al jugo de caña, para evaluar la efectividad del TMA y se comprobó que la relación de dimensiones de microcristales, en este caso de azúcar, se mantiene como en los microcristales de calcita con TMA o sin ella, para el agua (4).

En el año 2009, ingenieros de ALUR reprodujeron este procedimiento del MCO desarrollado al jugo de caña, para evaluar la efectividad del TMA, luego de cambios realizados en el conjunto de evaporación del ingenio (5).

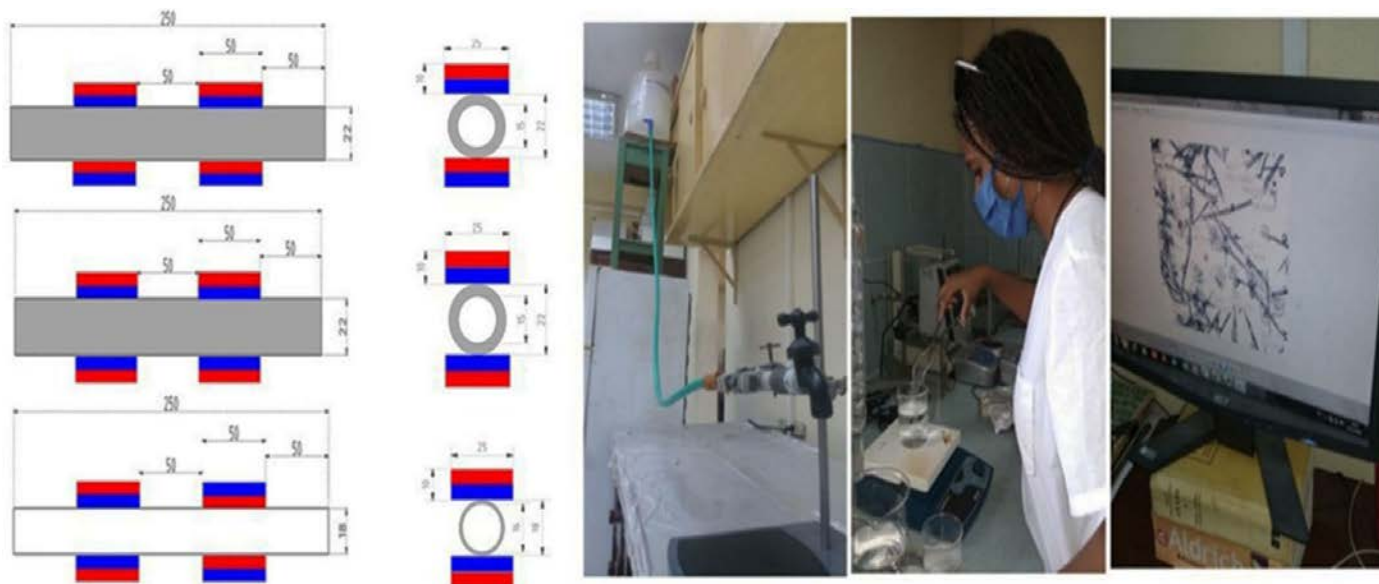
No obstante las evidencias en los resultados de las aplicaciones del SMA, basados en magnetizadores AZUMAG y el TMS, es preciso fundamentar esta novedosa tecnología de TMA, que se presenta en este trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con el TMA se incrementa la nucleación en la masa del fluido acuoso; o sea, la generación de núcleos cristalinos en los que ocurre la precipitación de las sales de dureza como el carbonato de calcio y magnesio. Estos núcleos compiten entre sí y con las superficies de intercambio calórico y dan lugar a microcristales más pequeños y a una incrustación reducida. El Método cristalóptico (MCO) (precipitación acelerada del carbonato de calcio) consiste en obtener, por cocción, estos microcristales y medir sus dimensiones, de manera que la efectividad del tratamiento sea mayor en relación directa con la razón de promedios de tamaños de microcristales con TMA o sin ella, respectivamente.

En la figura 1 se muestran esquemas de tres diseños de magnetizadores, ajustables en cuanto al campo magnético B y a las dimensiones de la Zona de activación magnética (ZAM), con simples

cambios de polaridad de imanes, disposición geométrica y material del conducto; asimismo, se muestran etapas del MCO en las que se obtuvieron las muestras, los microcristales por cocción y se realizaron las mediciones de sus dimensiones.

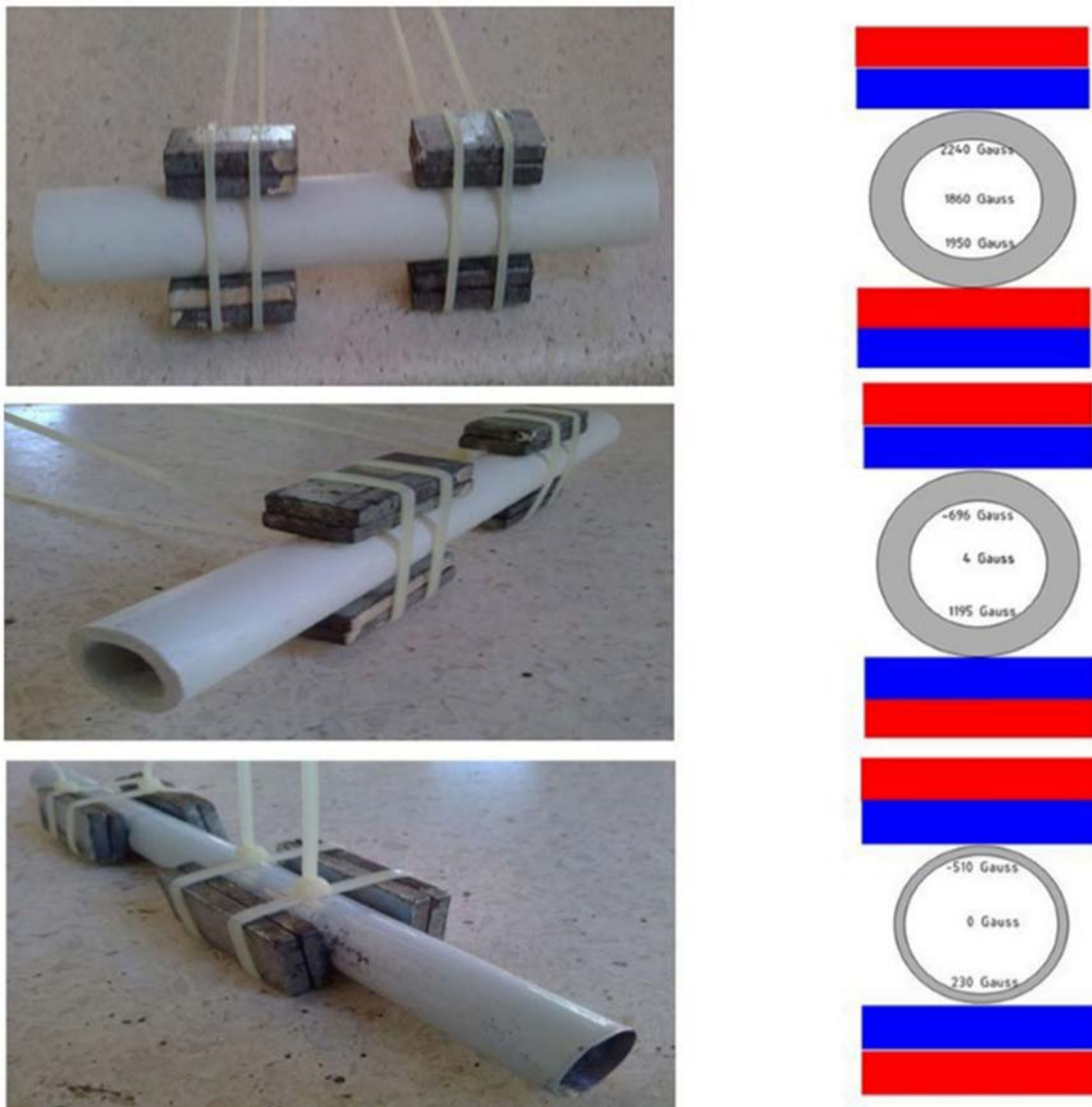


**Figura 1.** Magnetizadores y etapas del procedimiento MCO.

Para el desarrollo del trabajo se construyeron tres prototipos de magnetizadores, basados en imanes de neodimio (dimensiones 50x20x5 mm) y se midieron con un gaussímetro los valores del campo magnético B, en el interior del conducto de cada prototipo. Los conductos de los dos primeros prototipos son de tubo de PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro y responden a equipos magnetizadores para el TMA con igual geometría, dimensiones y materiales empleados, en los que solo cambian las polaridades de los imanes.

En el tercer prototipo de magnetizador, el conducto, también de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro, es de acero magnético, por lo que prácticamente no hay campo magnético B en la ZAM por donde corre el fluido acuoso. Este tipo de TMA es el novedoso TMS, empleado con los magnetizadores AZUMAG en evaporadores de ingenios azucareros.

En la figura 2 se muestran los tres prototipos construidos, sus polaridades magnéticas y los valores del campo magnético B en la sección de paso de la ZAM, justo debajo del centro de uno de los bloques de imanes.



**Figura 2.** Prototipos de magnetizadores y mediciones del campo magnético B.

Sobre los valores del campo magnético B, en la sección de paso de la ZAM, de estos tres prototipos, se destaca que:

- En el prototipo de campo magnético B homogéneo, el valor de B es prácticamente constante y relativamente alto (aproximadamente 2000 Gauss) en la ZAM. Las pequeñas diferencias son debido a no uniformidades de la pared del conducto de PVC; así como también de la disposición del arreglo de imanes.
- Para el prototipo de campo magnético B heterogéneo se presenta un cambio de sentido del campo magnético B, al cruzar el eje de la ZAM. Sus valores próximos a las paredes del conducto son relativamente altos y nulos en el eje, por lo que presenta un alto gradiente de campo magnético B (del orden de 1300 Gauss/cm).
- En el prototipo del TMS, la pared del conducto de acero magnético es muy fina y permite, en algo, el paso del flujo magnético B hacia su interior, pero en el volumen es cero. No obstante, debido a los imanes, el material ferromagnético del tubo está activado en el sentido que sus dominios magnéticos están orientados y afloran en su interior (capa límite) campos electromagnéticos superficiales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 1.** Resultados del MCO del prototipo de campo magnético B homogéneo.  
Relación de tamaño de microcristales: Prom (sin TMA) / Prom (con TMA) = 1.17

B homogéneo con TMA (1/4 h)			B homogéneo sin TMA		
Muestra	1	1.1	Muestra	1	1.1
1.0	88.6	105.9	1.0	93.4	109.6
2.0	85.1	71.2	2.0	57.4	15.6
3.0	85.3	113.4	3.0	126.2	93.9
4.0	79.5	97.0	4.0	96.6	105.8
5.0	85.9	72.0	5.0	41.9	110.5
6.0	51.7	94.7	6.0	43.0	101.7
7.0	88.5	52.7	7.0	124.9	123.6
8.0	65.4	55.1	8.0	102.5	116.7
9.0	96.7	53.2	9.0	86.9	87.3
10.0	74.0	66.4	10.0	69.6	72.4
		<b>Prom (µm)</b>			<b>Prom (µm)</b>
		<b>79.1</b>			<b>93.5</b>

**Tabla 2.** Resultados del MCO del prototipo de campo magnético B heterogéneo.  
Relación de tamaño de microcristales: Prom (sin TMA) / Prom (con TMA) = 1.84

B homogéneo con TMA					B homogéneo con TMA				
Muestra 1	1/4 h	3 h	6 h	24 h	Muestra 2	1/4 h	3 h	6 h	24 h
1	31.1	101.6	85.4	74.6	1	35.3	89.5	58.2	90.9
2	47.9	50.7	59.3	59.2	2	31.5	58.0	80.2	93.9
3	33.5	37.0	73.3	76.0	3	58.2	86.5	78.1	69.0
4	38.8	49.0	81.5	75.7	4	25.7	79.8	79.9	78.2
5	39.3	63.8	80.4	80.0	5	39.9	94.1	72.0	73.5
6	24.1	84.5	83.5	71.6	6	39.7	57.7	57.9	80.1
7	30.2	44.4	85.0	74.0	7	36.6	52.1	80.1	66.9
8	64.8	49.9	65.9	78.7	8	34.3	56.1	75.0	78.2
9	34.9	44.7	67.0	92.2	9	31.8	64.0	81.3	77.7
10	42.3	56.4	56.1	78.8	10	33.3	85.9	71.6	72.1
<b>Prom (µm)</b>	<b>38.6</b>	<b>57.9</b>	<b>73.7</b>	<b>76.1</b>	<b>Prom (µm)</b>	<b>36.8</b>	<b>72.4</b>	<b>73.4</b>	<b>78.1</b>



**Tabla 3.** Resultados del MCO del TMA del prototipo de campo magnético B superficial.  
Relación de tamaño de microcristales: Prom (sin TMA) / Prom (con TMA) = 3.12

<b>B homogéneo con TMA (1/4 h)</b>			<b>B homogéneo sin TMA (3 h)</b>		
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Muestra</b>	<b>4</b>	<b>4.1</b>
1	21.4	24.0	1	114.2	63.5
2	26.3	27.6	2	127.2	70.5
3	22.8	27.6	3	103.2	84.2
4	25.9	27.1	4	69.1	61
5	24.8	14.0	5	102.4	89
6	16.2	30.7	6	100.4	75.4
7	25.1	23.3	7	75.0	50.2
8	21.2	25.8	8	93.7	55.2
9	18.8	18.4	9	89.9	58.8
10	23.5	19.4	10	57.9	36.6
		<b>Prom (µm)</b>			<b>Prom (µm)</b>
		<b>23.2</b>			<b>78.9</b>

Como puede observarse en los resultados experimentales, la ZAM homogénea presenta muy poca efectividad en el TMA, en comparación con las otras dos disposiciones, heterogénea y superficial, por lo que se puede inferir que la fuerza de Lorentz, sobre las cargas eléctricas del fluido acuoso, no es el factor esencial en el aumento de la nucleación durante el TMA, sino más bien actúan fuerzas dipolares magnéticas sobre impurezas con momento magnético (oxígeno disuelto, radicales, entre otros) presentes en el fluido acuoso y que aumentan debido a procesos de oxidación incrementada (trazas), cuando el material del conducto es de naturaleza ferromagnética (6).

Adicionalmente, también se puede observar en las tablas 2 y 3 que los microcristales de calcita presentan mayores dimensiones en las muestras cuando aumenta el intervalo de tiempo entre el TMA y el proceso de cocción de estas en el MCO; lo que indica que hay una disminución del efecto antincrustante, con el aumento en distancia del dispositivo magnetizador a las superficies de intercambio calórico.

## CONCLUSIONES

- Se resuelve la controversia en cuanto a la superior efectividad de magnetizadores para el Tratamiento magnético superficial (TMS), sobre otros dispositivos, en aplicaciones del TMA al jugo de calentadores y evaporadores en ingenios de azúcar de caña. De manera que sus implicaciones económicas no se limitan solo a las transferencias de esta tecnología magnética por el ICIDCA, sino también a las exportaciones de equipos magnetizadores realizadas por instituciones del país.
- Se realizaron los diseños de las estructuras magnéticas y se construyeron los diferentes prototipos de magnetizadores para el TMA, en especial del magnetizador para el Tratamiento magnético superficial (TMS).
- Se instalaron los equipos en el ICIDCA para ejecutar los procedimientos requeridos por el Método cristalóptico (MCO) en la evaluación de efectividad del TMA.
- Se procesaron decenas de muestras con TMA y sin ella, con el MCO y se midieron las dimensiones de cientos de microcristales de calcita.

- Se comprobó que los magnetizadores de campo B heterogéneo y, por ende, de mayor gradiente en la ZAM, presentan mayor efectividad en el TMA que los de B homogéneo. Y estos resultados fueron superiores en el prototipo de magnetizador para el TMS (campo magnético B superficial).
- Se demostró que la efectividad del TMA disminuye con el tiempo transcurrido luego de la activación del fluido acuoso y, por ende, dependerá de la distancia del magnetizador a las superficies de intercambio calórico y de la velocidad del fluido acuoso; todo lo cual se corrobora con los resultados de Zavaleta *et al.* (7).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Othman, *et al.* A Review: Methodologies Review of Magnetic Water Treatment As Green Approach of Water Pipeline System, *Pertanika J. Sci. & Technol.* 27 (1), 2019.
2. Martínez, R., Abad, J. Dispositivo para el tratamiento magnético superficial de fluidos. Patente CU 22603 A1. Fecha de publicación: 2000.02.10.
3. Martínez, R., *et al.* Determinación y Optimización de la Efectividad del Tratamiento Magnético Anti-incrustante Aplicado al Jugo de Caña en el Ingenio Alfredo Mones Quintela (Uruguay. Octubre 2009), IV Evento Internacional de Electromagnetismo Aplicado, CNEA 2011.
4. Klassen, V.I. Magnetización de los Sistemas Acuoso, Editorial Química, Moscú, 1982.
5. Martínez, R., Dunand, R. Procedimiento de Puesta en Marcha del Sistema Magnético Anti-incrustante en Evaporadores. Ingenio Alfredo Mones Quintela de ALUR (Alcoholes del Uruguay), Diversificación 2019, La Habana, Cuba.
6. Martínez, R., *et al.* Tratamiento Magnético Superficial de Fluidos. Sistema Magnético Anti-incrustante, II Evento Internacional de Electromagnetismo Aplicado, CNEA 2007.
7. Zavaleta, M., *et al.* Efecto del Campo Magnético en el Tratamiento de aguas duras, *TECNIA*, Vol. 8, No 01, págs. 69-76, 1998, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.