

## INCREMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA CON EL USO DE LA MAGNETIZACIÓN EN LAS AGUAS DE ALIMENTACIÓN A GENERADORES DE VAPOR EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

### INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY WITH THE USE OF MAGNETIZATION IN THE WATER OF FEEDING TO STEAM GENERATORS IN THE SUGAR INDUSTRY

**MSc. María de Lourdes de la Cruz-Aragoneses, Dra. Martha Nápoles-García**

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Cuba. maria.delacruz@reduc.edu.cu

---

#### RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla en el central Siboney de la provincia de Camagüey, Cuba. Se demuestra la efectividad de la magnetización en la disminución de la corrosión y en el incremento de vida útil de las superficies metálicas expuestas, mejorando la influencia sobre la formación de incrustaciones al obtenerse superficies limpias, observándose solamente una deposición ligera no incrustante en forma de fina arenilla. Se obtuvieron los parámetros cinéticos y de caracterización de las incrustaciones, los que muestran en todos los casos una disminución significativa validada por el tratamiento estadístico a través de una prueba de hipótesis. Se contribuye a un ahorro energético para el central que es considerable comparado con otros como Brasil de la misma provincia, con un impacto económico, social y ecológico para la industria azucarera.

**Palabras clave:** magnetización, incrustaciones, corrosión, superficies térmicas, calderas, eficiencia energética.

---

## ABSTRACT

This paper deals with the evaluation of magnetic treatment effect in boiler feeding water for avoiding formation of inlays and negative corrosion effects. This work is developed in Siboney sugar mill, in Camaguey, Cuba. Magnetic treatment effectiveness is demonstrated, because of useful life of exposed metallic surfaces is increased and corrosion effects decreased. It is proved because there was slight deposition in form of a fine send. Kinetic parameters and inlay characterization show in all cases significant when implementing hypothesis test. This result permits to save energy as well as fuel and provides a very important environmental effect.

**Keywords:** magnetization, corrosion, inlays, thermal surfaces, boilers, energetic improvement.

---

## INTRODUCCION

Desde hace varias décadas, se ha generalizado en la industria azucarera la utilización en amplia escala del bagazo como combustible, tratando de alcanzar la operación estable y eficiente de la fábrica así como un excedente que permita la diversificación con el incremento del valor agregado de la producción. Ya desde los años 70 se comenzó la modificación de los hornos y calderas para la utilización definitiva del bagazo como combustible, logrando la mayor eficiencia energética del generador de vapor.

La introducción del bagazo como combustible en las calderas de los centrales ha permitido entre algunos aspectos, el alcanzar valores de eficiencia cercanos al 80 %, la eliminación de los problemas de corrosión y deterioro de los tubos, que se presenta fundamentalmente cuando se quema petróleo, dada la escasa presencia de azufre en su composición elemental, así como la ausencia de sodio y vanadio en las cenizas. Así las calderas bagaceras están sometidas a la erosión provocada por las partículas sólidas en la corriente de gases, fenómeno atribuible a los altos niveles de materia extraña en la caña, siendo la corrosión causada por las impurezas del agua la que tiene una especial importancia, por ser una de las principales causas de roturas en los tubos [6].

El agua destinada a la alimentación de los equipos productores de vapor, presenta a menudo una serie de dificultades, surgidas principalmente por impurezas contenidas en la misma, que provoca que la caldera y los equipos accesorios no trabajen de forma normal, estas precipitan en las superficies internas de calentamiento, formando sedimentos que poseen un coeficiente de conductividad térmica muy bajo provocando un sobre calentamiento del metal de los tubos, así como incrustaciones que obstruyen el paso del agua a través de los mismos [5,6].

Por lo antes expuesto es necesario eliminar o reducir su contenido hasta valores admisibles que garanticen una buena operación de los equipos. Varias son las medidas encaminadas para prevenir la formación de incrustación y corrosión en las calderas. Una de ellas es el uso de la técnica de magnetización sobre los fluidos, que provoca la interacción del campo magnético con los iones presentes en las soluciones acuosas del fluido que se desplaza a través del mismo. Como se

evidencia el tratamiento magnético de fluidos constituye una solución a los problemas antes planteados en los generadores de vapor en la industria azucarera, constituyendo este trabajo una continuación y un cumplimiento de la metodología empleada en el diagnóstico y evaluación de estos problemas en los centrales de la provincia de Camagüey.

## **FUNDAMENTACION TEORICA**

El tratamiento del agua como facilidad auxiliar para la generación de vapor Varias son las tecnologías existentes para tratar el agua de alimentación a los generadores de vapor de cualquier industria de procesos, y se clasifica en dos grandes grupos, según se plasma en los trabajos de De La Cruz (1999); Betancourt (2006); (De La Cruz, 2008). Entre éstas tecnologías se destacan los tratamientos químicos y físico-químicos, los tratamientos por intercambio de iones, la ósmosis inversa y el tratamiento magnético del agua.

Los citados autores reportan que en los últimos años, ésta última tecnología ha cobrado gran fuerza sobre todo cómo tratamiento del agua de alimentación a los generadores de vapor, por medio del cual se hace pasar el agua dura por un campo magnético alto (del orden de 500 Gauss) a una velocidad media del orden de algunos litros por minuto, luego de aplicado, el agua adquiere una propiedad singular, no produce incrustaciones.

No se reportan evidencias de estudios que se extienden a evaluar el papel de las tecnologías de tratamiento de aguas en el aseguramiento de la fiabilidad y la disponibilidad operacional, disminuyendo los riesgos por incrustaciones y corrosión lo cual conduce a mejorar los problemas de indisponibilidad en los generadores de vapor como parte de los sistemas auxiliares de la industria de procesos químicos, consumiendo menos reactivos químicos que encarecen los procesos y contaminan el medio ambiente.

En la actualidad existen tres tipos generales de métodos populares de acondicionamiento de fluidos: químicos, intercambio de iones y ósmosis reversa. El acondicionamiento químico de fluidos se usa primordialmente en la industria. Este método emplea productos químicos añadidos al fluido de proceso (generalmente agua). Estos aditivos controlan cualquier tipo de factores: pH, capacidad térmica, corrosión, etcétera.

De La Cruz (1999); Betancourt (2006); (De La Cruz, 2008), destacan las principales desventajas de los tratamientos químicos al agua, entre ellos:

- Los químicos son muy costosos.
- Los sistemas dependientes de químicos requieren un monitoreo y mantenimiento constante para asegurar adecuados niveles de acondicionamiento.
- Los químicos, en sí mismos, pueden ser peligrosos para los empleados y para el medio ambiente (causando generalmente problemas siempre que los fluidos de proceso son descargados o regados).
- El método de introducir químicos puede producir una no deseada caída de presión dentro del sistema que puede incrementar los requerimientos de energía y los costos de producción.

Los suavizadores por intercambio de iones: ablandadores de agua basados en el uso de sal han sido usados en muchas aplicaciones por años. Este sistema utiliza el intercambio iónico entre el sodio en una sal (NaCl), por el calcio, CaCO<sub>3</sub>(u otros minerales) en el agua. Al tiempo que este método produce agua suave acondicionada lo hace a un elevado costo.

Empezando con el suavizador: el equipo está diseñado para acumular y almacenar sales minerales. A su vez, los depósitos minerales lentamente dañan el sistema. Este daño rápidamente empobrece la efectividad del sistema y como resultado, reduce la eficiencia del mismo desde su primer día de uso. Con respecto a las tuberías y sistemas de calentamiento, el sodio liberado en el agua ablandada es corrosivo. Con este solo intercambio, la corrosión debido a las incrustaciones ha sido reemplazada por la corrosión debido al sodio, un efecto indeseable.

Finalmente, la preocupación más importante está relacionada con la salud de los individuos y el medio ambiente. Individualmente, los efectos negativos del sodio en el cuerpo humano son de conocimiento común.

Ambientalmente, en cantidades corrientes, las comunidades están prohibiendo los sistemas de intercambio de iones debido al siempre peligro de contaminación por sodio de las aguas subterráneas. Ósmosis reversa o ultrafiltración, es un método normalmente usado en la industria. El proceso involucra el forzar agua no tratada a través de una membrana que selectivamente filtra ciertos constituyentes fuera del fluido. Este sistema requiere de muy altas presiones debido a que la membrana usada como filtro es esencialmente no porosa. En áreas con alto contenido de minerales o sal, las membranas deben ser lavadas frecuentemente y reemplazadas a menudo. Esto requiere siempre de un tiempo de paro y un uso mayor (pérdida) de agua. Las unidades de ósmosis reversa desperdician típicamente la mitad del agua procesada.

En oposición a lo planteado, De La Cruz (1999); Betancourt (2006); (De La Cruz, 2008), reportan en sus estudios que el tratamiento magnético tiene grandes ventajas para su uso en comparación con los anteriores métodos de acondicionamiento de fluidos, entre las cuales se pueden destacar:

1. No tiene partes móviles.
2. Su tiempo de uso es ilimitado siempre y cuando se mantengan la hermeticidad del mismo.
3. Con el tratamiento magnético del agua no es necesario dar tratamientos químicos.
4. La utilización del magnetizador permite el uso de grandes concentraciones de sales en agua a tratar y mejora el pH.
5. Disminuye sensiblemente la corrosión al crear una capa pasivadora sobre las superficies metálicas.
6. Al no existir incrustaciones en los intercambiadores que funcionan con agua tratada magnéticamente, mejora la transferencia de energía térmica y disminuyen los costos operativos para lograr esa transferencia de calor.

7. Son de fácil colocación, solamente debe de reemplazarse un tramo de cañería conductora de agua a tratar o la colocación de una derivación en el caso de que solo sea necesario tratar una parte del agua.

8. No hay tiempo desperdiciado, ni para la instalación, ni para la operación o mantenimiento.

9. Nada se añade al fluido. El magnetismo trabaja reacondicionando las moléculas presentes en el fluido. No se requiere aditivos.

Estos argumentos inducen la necesidad de evaluar la influencia del tratamiento magnético del agua de calderas, en el mantenimiento preventivo y en la indisponibilidad industrial para lograr la reconversión de la actual industria de procesos en Cuba.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Metodología**

#### **Caracterización de las aguas empleadas en el tratamiento magnético**

Se tomaron muestras de agua antes y después de magnetizar. El magnetizador utilizado es de imanes permanentes, el cual se encuentra en la línea de alimentación de agua al generador de vapor en el central Siboney.

Se realizaron diferentes análisis para seguir el comportamiento de diferentes indicadores como son:

1. Acidez (mg/L)
2. Alcalinidad (mg/dm<sup>3</sup>)
3. Dureza (mg/L de Ca CO<sub>3</sub>)
4. Conductividad (μs )
5. pH

La caracterización se realizó con una frecuencia de dos veces por semana durante 30 días Evaluación cinética preliminar empleando las normas cubanas La evaluación cinética se efectuó a través de ensayos de campo, empleando el método gravimétrico que es el más difundido en la práctica. Este método basa sus resultados en el número de repeticiones y en la calidad de preparación y limpieza superficial llevada a cabo en las muestras objeto de ensayo. El procedimiento se realiza a través de los siguientes pasos recogidos en la norma nc:12-00-10:81.

Una vez determinado el peso inicial y final en cada una de las muestras y sus dimensiones se procede a calcular el índice gravimétrico negativo o disminución del espesor: Ver a continuación la tabla 1.

**Tabla 1**  
Periodicidad de los ensayos

Area de ensayo	Cantidad de muestras en cada área	Cantidad de muestras extraídas a los 15 días	Cantidad de muestras extraídas a los 30 días
Tanque Antes de TM	16	6	10
Tanque Después TM	16	6	10
Domo	16		16
Total	48	12	36

$$DP = \frac{P_i - P_f}{A * t_{exp}} \left( \frac{g}{m^2 h} \right)$$

donde:

Pi y Pf: pesos iniciales y finales de las muestras metálicas (g)

A: área de la muestra expuesta al medio corrosivo (m<sup>2</sup>)

Con el número de réplicas se halla el DP promedio y con este el DE a través de la ecuación:

$$DE = \frac{-\Delta E}{t} = \frac{e_i - e_f}{t} \left( \frac{mm}{a} \right)$$

donde:

ΔE: variación de los espesores inicial y final.

DE: índice de penetración o disminución de espesor (mm/año).

Posteriormente con el valor de DE se lleva a la escala decimal de resistencia a la corrosión y se halla el grado y grupo de estabilidad corrosiva según nc: 12-00-10:81 Las muestras se colocaron en los siguientes lugares:

Tanque de agua de alimentación (antes del tratamiento magnético).

\* Tanque de agua después del tratamiento magnético.

\* Domo superior.

### **Caracterización de las incrustaciones formadas y estado de las superficies de calentamiento**

Este análisis se efectúa con la misma distribución y periodicidad que la tarea anterior, pero se basa en determinar el aumento de peso ( $\Delta P$ ) en  $g/m^2 h$ , lo cual se realiza sin retirar los productos o incrustaciones después de extraídas las muestras.

$$\Delta P = \frac{P_f - P_i}{A * t_{exp}} \left( g/m^2 h \right)$$

También se determina la densidad promedio de las incrustaciones formadas ( $g/m^2$ ) y el espesor promedio en m.

Con estos índices puede calcularse las pérdidas en caso de obtenerse superficies incrustadas o ahorro en caso de que el tratamiento magnético elimine o reduzca el espesor de estas incrustaciones. También con la densidad de las incrustaciones formadas ( $g/m^2$ ) y la carga térmica de la caldera es posible caracterizar la superficie de calentamiento en una de las cuatro categorías siguientes:

- \* Limpia
- \* Depósitos ligeros
- \* Muy incrustada
- \* Catastróficamente incrustada

Esto se toma de referencias de la bibliografía [2, 3]

### **Cálculo del ahorro energético que se deriva de la aplicación del tratamiento magnético**

Esto se realiza según el procedimiento empleado por la Comisión Nacional de Energía (CNE)

## **RESULTADOS**

Ver a continuación la tabla 2 y 3.

Tabla 2  
Caracterización del agua de alimentación a calderas

Antes del tratamiento magnético			Después del tratamiento magnético		Resultados de la Prueba de Hipótesis
Indicadores	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
Alcalinidad parcial (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	No tienen	-	-	-	-
Alcalinidad total (mg/L)	64	0,082	62	0,091	No tienen diferencia significativa estadística
Acidez (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	40	188,5	40	153,23	No tienen diferencia significativa estadística
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	0	4 147,2	0	4 147,2	No tienen diferencia significativa estadística
Conductividad (µs)	68	117063	64	1331195	No tienen diferencia significativa
pH	7,5	0,68	8,5	0,41	Significación estadística

Tabla 3  
Resultados de las pérdidas económicas indirectas para espesor de incrustaciones de 0,000375 m.

Central	Pérdidas de calor (kJ/año) * 10 <sup>-10</sup>	Consumo adicional de combustible (t/año)	Pérdidas monetarias (\$/año)
Siboney	1,032 4	1349	21 853,8
Brasil	2,1542	2 814,12	45 025,92

## CONCLUSIONES

1. El tratamiento magnético no varía la composición química del agua, solo el indicador pH incrementa significativamente posterior al tratamiento magnético, lo cual es favorable pues propicia la pasividad de las superficies expuestas al agua tratada
2. El mismo incrementa la estabilidad de las superficies metálicas expuestas al agua tratada y reduce a cero el espesor de las incrustaciones creando una película no adherente en forma de fina arenilla.

3. Los tiempos de limpieza pueden prolongarse a períodos superiores a los 15 días.
4. El ahorro energético producido es significativo para el caso del central Siboney (con tratamiento magnético), comparado con el central Brasil (sin el tratamiento).
5. Las pérdidas económicas directas e indirectas se reducen por el empleo del agua magnetizada en los generadores de vapor.
6. Sustituye o alivia el tratamiento de agua por vías tradicionales, sobre todo para generadores de vapor de baja presión, como el caso del CAI Siboney.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. DOMÍNGUEZ J. Selección y evaluación de inhibidores de corrosión por métodos electroquímicos, 1993.
2. ESKEL, N. Tratamiento de agua para la industria y otros usos, México, 1976.
3. FELIÚ S, ANDRADE, M. Corrosión y protección metálicas. Madrid, 1994.
4. GONZÁLEZ DE TANAGO, J. Los materiales de construcción en la ingeniería química. Madrid, 1995.
5. LÓPEZ CHAPELLÍ, L. Algunos aspectos teóricos y prácticos sobre el tratamiento del agua. Matanzas, 1984, pág. 82.
6. PÉREZ GARAY, L. Generadores de vapor. La Habana, 1986.
7. SMITH , W., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Madrid, 1992.

Recibido: Septiembre de 2010  
Aprobado: Abril de 2011

*MSc. María de Lourdes de la Cruz-Aragoneses.* Departamento de Ingeniería Química,  
Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Cuba.  
maria.delacruz@reduc.edu.cu