

Aplicación de un campo magnético ortogonal al flujo en sistemas de agua para reducir la formación de incrustaciones

Santiago David Vaca Jiménez¹,

¹ Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, santiago.vaca@epn.edu.ec

Resumen. Las sales que se encuentran disueltas en el agua que se utiliza para los procesos productivos tienen un gran impacto en las instalaciones y equipos. La característica incrustante del agua se da debido a la presencia de carbonatos de calcio y magnesio. Estas sales se depositan en las paredes del recipiente que contiene el fluido, generando sarro, en esta investigación se buscó determinar el alcance de un sistema magnético que evite la deposición de estas sales y su posible eliminación.

Mediante la definición de dos etapas experimentales se realizaron las pruebas con el objetivo de comprobar la disminución de las deposiciones dentro de tuberías y equipos, la existencia de la memoria magnética en el fluido y su reducción superficial.

Durante la primera etapa (en un banco de pruebas) se observó la disminución del espesor de sarro en una tubería de acero, indicando que el campo magnético ortogonal aplicado sobre el fluido genera un cambio en las características del mismo.

En la segunda etapa se evaluó la aplicación del sistema a la entrada de agua de calderas y sus respectivos ablandadores. Observándose una reducción en las incrustaciones existentes dentro de la caldera y un aumento en la eficiencia catiónica del ablandador.

Palabras Claves: incrustaciones, tratamiento magnético de agua

Abstract. Water used for production processes has dissolved salts in it, which may have an impact on facilities and equipment. scaling and fouling occurs due to the presence of calcium and magnesium carbonates. These salts are deposited on the walls of the vessel containing the fluid, generating scaling. This study was aimed to determine the capacity of a magnetic system used to prevent and eliminate the deposition of these salts.

Two experimental stages were defined in order to check the scaling decrease within piping and equipment, the existence of the magnetic memory in the fluid and the reduction of its surface tension.

During the first stage, reduced thickness of scaling was observed in a steel pipe indicating that the orthogonal magnetic field applied on the fluid generates a change in its characteristics.

In the second stage, the system was applied to several boilers and their softeners, locating it at the water inlet of both. Experimental results showed a reduction in the existing scale inside the boiler and an efficiency increase of the cationic softener.

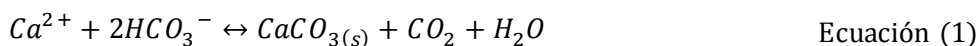
Keywords: scaling, fouling, magnetic water treatment

1. Introducción

Son muy conocidos las desventajas y daños que generan la deposición de carbonatos de calcio y magnesio en instalaciones de agua, especialmente en las aplicaciones en las que el fluido se encuentra a mayor temperatura, afectando así los procesos que se utilizan en la agricultura e industria y deteriorando las instalaciones de uso doméstico.

La deposición de carbonatos generan incrustaciones en las paredes del recipiente que contiene el fluido, haciendo una capa de sarro alrededor de las mismas y produciendo taponamientos de tuberías, obstrucción en filtros y membranas, pérdida de eficiencia en calefactores e intercambiadores de calor, entre otros problemas comunes. Por lo tanto, su estudio y posible control se hacen necesarios para mejorar los procesos productivos y evitar el deterioro de las instalaciones.

El proceso químico general para este efecto es el siguiente:



Esta reacción se ve afectada por la temperatura debido a que la solubilidad del carbonato de calcio disminuye cuando aumenta la temperatura, incrementando la deposición y formación de incrustaciones (1).

Para la prevención se han desarrollado y comercializado varios métodos, entre los que podemos nombrar los procesos de descarburación electroquímicos, o adición de ácidos, uso de inhibidores químicos de nucleación y cristalización de los carbonatos, entre otros. El problema de estos procesos es que usan químicos que generalmente son peligrosos para el ambiente y para la salud humana, por lo que muchos países han prohibido o restringido su uso para aplicaciones en agua potable o para elementos que tendrán contacto directo con alimentos o medicinas.

Por esta razón este documento se enfocará en el estudio de uno de los sistemas de control más promisorios para la industria: los sistemas magnéticos en el tratamiento de agua.

1.1 Revisión de literatura y Fundamentación

Durante varios años, la discusión sobre los sistemas magnéticos han resultado ser muy controversiales entre la comunidad científica debido a la falta de comprensión de los fenómenos involucrados en los procesos físicos, microscópicos y atómicos que envuelve, y básicamente debido a que se ha demostrado que su funcionamiento depende mayoritariamente en el régimen de operación (2) y composición del agua a tratar (1). Esto no ha evitado que varios sistemas magnéticos se comercialicen y apliquen por varios años en la industria.

Además se pudo constatar que no se ha logrado un claro consenso en la explicación del fenómeno involucrado en el funcionamiento del sistema (3), aunque existen teorías e investigaciones que llegan a resultados bastante promisorios, demostrando experimentalmente que el sistema funciona reduciendo las deposiciones de carbonato de calcio y magnesio, favoreciendo su formación en la solución del fluido en lugar de crear incrustaciones en las paredes del volumen que lo contiene (1,2,4), y es aplicable a tuberías, calderas, intercambiadores de calor, entre otros equipos.

Entre las explicaciones que se manejan, se entiende que el tratamiento magnético de agua, genera una pre-precipitación del carbonato de calcio y magnesio en forma de partículas finas que se encuentran en suspensión (5). Además, el contenido de calcita que se ha demostrado que crea incrustaciones (1, 6) se reduce constantemente mediante el tratamiento magnético del agua, generando un incremento en el contenido de aragonita (4, 6, 7) lodo que no incrusta y es fácilmente removible (1, 6)

Otros investigadores en cambio, han estudiado que el sistema funciona dado que cambia la dispersión de la solubilidad y cristalización de los elementos (2). Esto debido a que el campo magnético altera el spin de los protones de hidrógeno en el agua mediante resonancia magnética generando un cambio en la hidratación magnética de los iones y las superficies sólidas (8-10); y debido también a los efectos que la fuerza Lorentz ejerce sobre los iones y las partículas dispersas (basado en la teoría magneto-hidrodinámica MHD) (11-15).

Además a estos fenómenos físico-químicos involucrados, muchos investigadores han encontrado resultados que indican que la aplicación del sistema tiene un efecto particular sobre el flujo del fluido. Por ejemplo, se conoce que la aplicación de un campo magnético ortogonal a un flujo conductor puede incrementar o reducir la turbulencia en el fluido,

promoviendo la agregación o eliminación de los coloides ferromagnéticos como de los diamagnéticos (16).

En el mismo tema, se han encontrado pruebas que determinan que el flujo es perturbado de manera que a una velocidad de flujo constante, el flujo cercano a las paredes es acelerado y por lo tanto reducido a lo largo del eje central (14, 15)

Finalmente en lo que respecta a la justificación a la memoria magnética que posee el agua mucho tiempo después de la aplicación del campo magnético, una teoría ha sido contemplada dentro de los círculos científicos. En (1) se recopila trabajos en los cuales se pone en duda la teoría clásica de nucleación, y sugieren una teoría en la que las soluciones de carbonato de calcio (no saturadas) contienen racimos o grupos pre-nucleados termodinámica-estables llamados DOLLOPs (Dynamically-Ordered Liquid-Like Oxyanion Polymers). Estos DOLLOPs, serían los que, cuando están sujetas a un campo magnético alteran su composición y se deforman, favoreciendo un cierto tipo de estructura de racimo, y estos son los que permiten tener una gran memoria magnética en la solución.

1.2 Formulación de objetivos e hipótesis

Si se consideran como verdaderos los resultados obtenidos en las investigaciones previas (realizados por terceros), el sistema magnético de tratamiento deberá reducir significativamente las incrustaciones en las paredes de los elementos que los contienen. Además el fluido deberá presentar una memoria magnética mucho después de pasar por el campo magnético.

Por lo tanto, se diseñará y probará un sistema en el cual se introducirá un campo magnético al flujo interno de agua en una tubería. Se buscará cambiar las características físicas del entorno y alterar la composición cristalina de los carbonatos disueltos, y así disminuir la existencia de incrustaciones.

Para esto se definirán dos escenarios que ayudarán a cuantificar los resultados: el primero constará de una experimentación en laboratorio donde se controlarán los parámetros, y el segundo será la revisión de los resultados cuando el sistema se coloca en un equipo industrial que trabaja bajo las condiciones normales de operación.

En el primer caso, se construyó una banca de ensayos que consta de dos tuberías paralelas en las que se acoplarán trozos de tuberías que presentan incrustaciones (sacados de una misma tubería con incrustación), asegurando la similitud en las condiciones tanto físicas como de flujo en los dos ramales. En uno de los ramales se colocará el sistema magnético y así después de algún tiempo de operación se compararán las características de las tuberías testigos. Así se buscará cuantificar la reducción de incrustaciones dentro de una tubería.

En el segundo caso, se instalará el sistema en la entrada de agua de alimentación de algunos equipos y se medirán los componentes físico-químicos del agua y se realizarán inspecciones visuales. Con esto se podrá determinar las cualidades del sistema en lo que respecta a la memoria magnética y así determinar si el sistema genera un cambio significativo en las propiedades físicas de las sales disueltas en el agua de alimentación.

2. Materiales y métodos

Como se definen dos partes experimentales dentro de este marco investigativo, se definirán los materiales y métodos de las dos, pero antes se definirá el sistema magnético a implementar.

El sistema magnético consta de imanes permanentes de alta intensidad (mayor a 5500 Gauss de intensidad efectiva) de Neodimio sinterizado, construidos específicamente para que se acoplen al diámetro de la tubería. Cada imán tiene dos lengüetas para su acople con otros imanes para sí tomar la figura circular de mejor manera.



Figura 3. Sistema de Imanes Permanentes acoplados a una tubería.

En la primera experimentación se utilizará el banco de pruebas que ya se mencionó anteriormente que consta de tuberías de 51 mm (2 pulgadas) de diámetro nominal de acero al carbono ASTM 153 que conduce agua de la red hasta las probetas (tuberías con incrustaciones de 51 mm de diámetro nominal y acero al carbono ASTM A53) y desde estas hasta un sumidero para su recirculación.

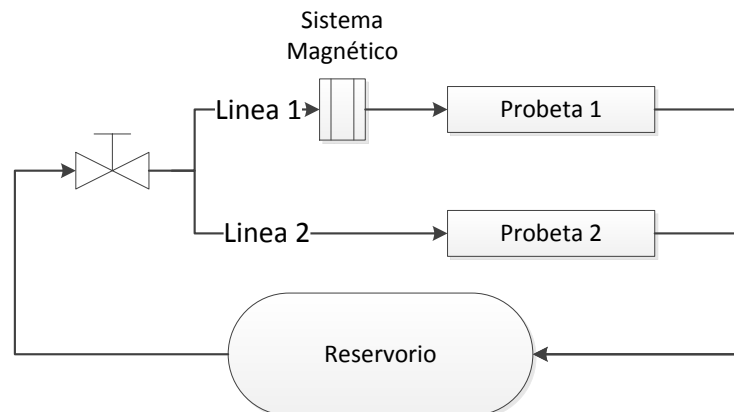


Figura 4. Esquema del banco de pruebas.

Como se espera una reducción en el espesor de la incrustación en la primera probeta, se estimó necesario el implementar un sistema de filtrado previo al retorno del fluido para que las partículas que sean removidas no influyan en el desarrollo del experimento, ya que estas podrían causar un mayor efecto de erosión al interior de las tuberías influenciando el resultado final de la experimentación.

3. Resultados y/o Discusión

3.1 Resultados de la Primera Etapa

Para la primera parte de la investigación, después de cuatro series de pruebas se determinaron los siguientes resultados (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

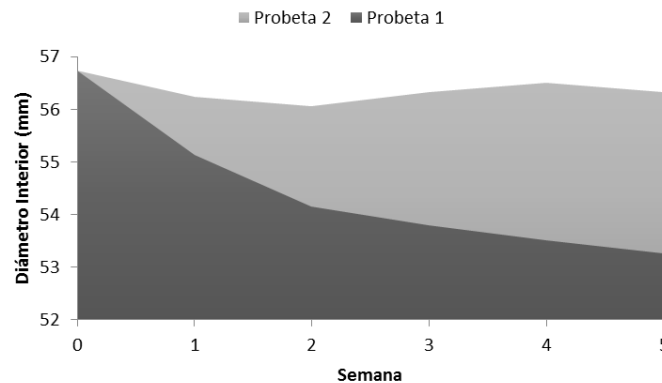


Figura 5. Diferencia entre diámetros interiores (incrustaciones) de tuberías en la probeta 1 (con sistema magnético) y la probeta 2.

De estos resultados es posible asegurar que existe una diferencia significativa entre las probetas, por lo que se podría decir que el sistema magnético presenta una disminución en el espesor de las incrustaciones en tuberías que presentan deposiciones de sarro en sus paredes.

Además es posible asegurar que la disminución que se presenta es sostenida durante el periodo de aplicación, siendo las primeras dos semanas el momento de mayor desincrustación. Esto podría significar que el sistema presenta su mayor eficiencia a pocas semanas de instalación, no significando que pierda su eficiencia, sino que la velocidad de desincrustación se verá reducida a partir de la tercera semana.

3.2 Resultados de la segunda etapa

En lo que respecta a la segunda parte de las experimentaciones es posible indicar que el sistema muestra un periodo en el cual la cantidad de sales disueltas aumentan (las primeras semanas), lo que significaría una inclusión dentro del fluido de las incrustaciones que se van desprendiendo de las paredes del equipo (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Posteriormente (a partir de la tercera semana), las sales disueltas muestran una disminución drástica y sostenida durante el periodo de prueba lo que dejaría en evidencia una mayor segregación y coagulación de las sales disueltas que decantarían hasta el fondo del caldero y serían desalojadas mediante el régimen de purgas frecuentes en el caldero.

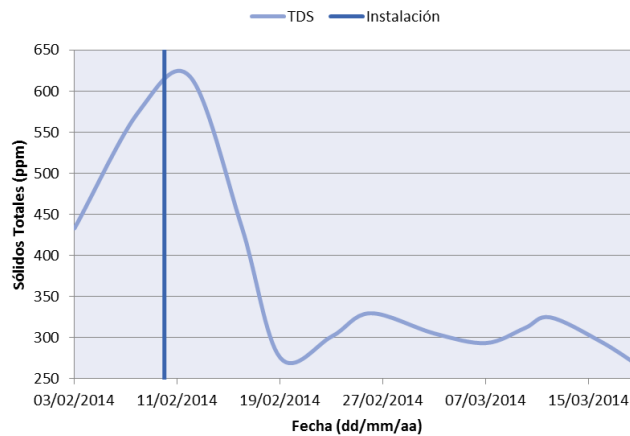


Figura 6. Variación de sólidos totales disueltos en el agua de la caldera durante el periodo de prueba.

Por otro lado, al hablar sobre la eficiencia catiónica del ablandador (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), es importante observar cómo se mejoró esta con la aplicación del sistema magnético, lo que podría indicar que el cambio físico del agua que ingresa al ablandador permitirá una mayor facilidad de reacción entre la cama del ablandador y el fluido.

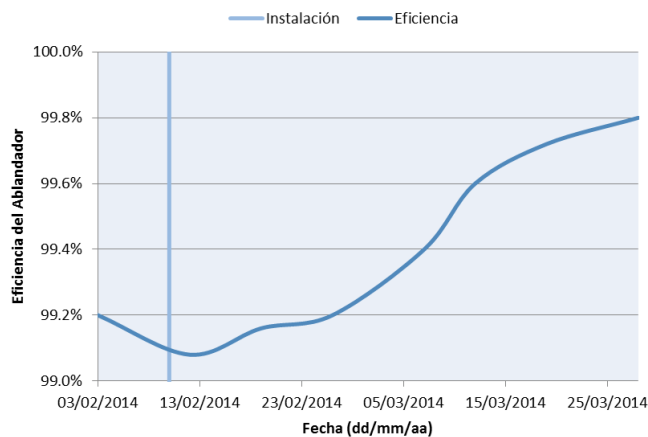


Figura 7. Eficiencia catiónica del ablandador.

3.2 Discusión

La pertinencia y notoriedad de este trabajo de investigación está fundamentado en apoyar o extender los conocimientos generados con anterioridad, por lo que la comparación de los resultados obtenidos en estas experimentaciones deberá ser contrastada con experimentaciones comprobadas con anterioridad. Por lo tanto, cabe recalcar que los resultados obtenidos para este sistema magnético para este proyecto de investigación tiene tres efectos a analizarse: La reducción de incrustaciones debido al cambio físico del flujo, la memoria magnética posterior a la aplicación del campo magnético que incrementa el espacio de acción del equipo, y la mejora de la eficiencia catiónica dentro del ablandador debido a una reducción de la tensión superficial.

Para el primer efecto, se probó experimentalmente que la reducción de las incrustaciones ocurre debido a cambios físicos en el flujo, aunque no se pudo establecer con certeza la razón. De todas maneras, estos resultados tienen asidero y comparación con las experiencias realizadas por (5), en las que se encontraron resultados que indican la

reducción en la producción de sarro mediante el incremento del proceso de nucleación homogénea de carbonato de calcio. Y además se estima que debido a las corrientes inducidas de Eddy, el gradiente de velocidad es mayor cerca de las paredes lo que acentúa el desprendimiento de incrustaciones debido a un incremento en la erosión ocasionada por el flujo. Así mismo, en (17) se estableció un aumento en las propiedades físicas de las partículas de precipitación, coagulación y sedimentación, mediante la influencia de la agregación de partículas coloides, mejorando la separación sólido-líquido.

En cuanto a la memoria magnética, es importante decir que los resultados obtenidos comprueban su existencia y se manifiesta en los resultados de disminución de incrustaciones dentro de la caldera (muy lejos del lugar de aplicación del campo magnético y en condiciones casi estáticas del fluido). De esta manera, se llegan a resultados que tienen concordancia con lo realizado en (18), donde se reportó que el tratamiento magnético del agua presenta una memoria que se extiende más allá de 200 horas, y que tiene su justificación en los resultados obtenidos en (19), donde se determinó un aumento constante en el contenido de aragonita durante las primeras 30 horas de incubación, la cual se mantienen constante posteriormente.

La mejora existente en la eficiencia catiónica del ablandador llegaría a ser la parte más nueva e interesante dentro de esta investigación. A través de los resultados obtenidos es posible estimar una mejora significativa que puede deberse básicamente a una reducción en la tensión superficial. Existen estudios que apoyan esta hipótesis, como por ejemplo la realizada en (20), en la cual, se determina que un sistema similar es capaz de generar una reducción del 8% en la tensión superficial del agua.

Con esta premisa y en una situación similar, en (2) se demostró que el tratamiento magnético es capaz de mejorar el sistema de lavado de ropa, mejorando la calidad de la misma después del lavado (se consiguieron mejores blancos) y reduciendo el consumo de detergente (debido a la disminución de la tensión superficial) y dejan en la discusión la posible incorporación del sistema para reducir el uso de detergentes y consumo de energía.

4. Conclusiones

Mediante la experimentación fue posible atribuir la disminución de incrustaciones al sistema magnético únicamente, el cual mostró su capacidad de desincrustación con el pasar del tiempo.

Esto podría traducirse en aplicaciones industriales, en los cuales la presencia de deposiciones de calcio y magnesio representa una gran dificultad a vencer en los procesos de mantenimiento preventivo y reactivo.

Si bien algunos investigadores han atribuido el funcionamiento de estos sistemas a muchas razones, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación parecerían indicar que se cumple la condición de cambio de velocidad de flujo cercano a los bordes de la tubería (al disminuir las incrustaciones en la primera experimentación).

Además en lo que respecta a la segunda parte de la experimentación, parece comprobarse la teoría de cambio estructural de las sales disueltas y lo correspondiente a la memoria magnética debido a la presencia de los DOLLOPs, ya que la disminución de incrustaciones en la caldera no corresponden a un cambio de régimen de flujo en el equipo.

De la aplicación en la industria (segunda parte de la investigación) es importante resaltar que tanto los resultados cuantitativos como los cualitativos (inspección visual) demostraron que el sistema evita la creación de incrustaciones en las paredes del equipo.

que lo contiene y se ha llegado a evidenciar que inclusive llegan a disminuir las incrustaciones existentes.

Finalmente, los resultados parecerían indicar que el sistema en estudio puede proveer los medios necesarios para garantizar un buen funcionamiento de los equipos y su aplicación, como instrumento de mantenimiento preventivo, entraría en discusión en la industria ya que evitaría el uso extensivo de químicos y requeriría menor tiempo-hombre de operación y control. Esto también comparable a lo que se determinó en (6) donde sus resultados fueron muy concluyentes al indicar la posibilidad de la reducción de químicos para tratar el agua.

Agradecimientos

A la Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de Ingeniería Mecánica por su valioso apoyo a la investigación. A la empresa Laboratorios INPEL Quality, por ofrecer sus instalaciones y por invertir en este proyecto de investigación.

Referencias

1. Coey, j. M. D. Magnetic water treatment - how might it work? *Philosophical Magazine*, 2012, 92(31), 3857-3865. ISSN: 1478-6443
2. Lipus, Lucija C., BOJAN Acko y BRANKO Neral. Influence of magnetic water treatment on fabrics' characteristics. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 52, 374-379. ISSN: 0959-6526
3. Baker, J. S. y JUDD S. J. Magnetic amelioration of scale formation. *Water Research*, 1996, 30(2), 247-260. ISSN: 0043-1354
4. Gryta, Marek. The influence of magnetic water treatment on CaCO₃ scale formation in membrane distillation process. *Separation and Purification Technology*, 2011, 80, 293-299. ISSN: 1383-5866
5. Alimi F. y otros. Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material. *Chemical Engineering and Processing: Procees Intensification*, 2009, 48, 1327-1332. ISSN: 0255-2701
6. Kobe, S., y otros. The influence of the magnetic field on the crystallisation form of calcium carbonate and testign of a magentic water treatment device. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2001, 236, 71-76. ISSN: 0304-8853
7. Gabrielli, C., y otros. Magnetic water treatment for scale prevention. *Water Research*, 2001, 40, 3249-3259. ISSN: 0043-1354
8. Higashitani, k. y Oshitani, J. Magnetic effects on thicknees of adsorbed layer in aqueous solutions evaluated directly by atomic force microscope. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1998, 204, 363-368. ISSN: 0021-9797
9. Lungader Madsen, H. E. Crystallization of calcium carbonate in magnetic field ordinary and heavy water. *Journal of Crystal Growth*, 2004, 267(1-2), 251-255. ISSN: 0022-0248
10. Chibowski, E., y otros. Some magnetic field effects on in situ precipitated calcium carbonate. *Water Science and Technology*, 2004, 49(2), 169-176. ISSN: 0273-1223
11. Hartmann, J. y Lazarus F. Hg-dynamics II: experimental investigations on the flow of mercury in a homogeneous magnetic field. *Kiobenhavske Selskab af Laerdoms og Videnskabers Elskere*, 1937, 7, 1-45.

12. Hartmann, J. Hg-dynamics I: theory of the laminar flow of an electrically conductive liquid in a homogeneous magnetic field. *Kiobenhavske Selskab af Laerdoms og Videnskabers Elskere*, 1937, 6, 1-28.
13. Lipus, Lucija C., Krobe J. y Crepinsek L. Dispersion destabilization in magnetic water treatment. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2001, 236, 60-66. ISSN: 0021-9797
14. Busch, Kenneth W. y otros. Magnetohydrodynamic aggregation of cholesterol and polystyrene latex suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996, 183, 528-538. ISSN: 0021-9797
15. Martemianov, S. y Sviridov A. Study of near wall hydrodynamics and mass transfer under magnetic field influence. A, Alemany, Ph. Marty, J. P. Thibault (Eds.). *Transfer Phenomena in Magnetohydrodynamic and Electroconducting Flows*. Kluwer Academic Publishers, 1999. 229.
16. Busch, Kenneth W. y BUSCH Marianna A. Laborator studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction. *Desalination*, 1997, 109(2), 131-148. ISSN: 001-9164
17. Zaidi, Nur Syamimi y otros. Magnetic Field Application and its Potential in Water and Wastewater Treatment Systems. *Separation & Purification Reviews*, 2014, 43(3), 206-240. ISSN: 1542-2127
18. Coey, J. M. D., Cass S. y Magn J. Magnetic water treatment. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2000, 209(1), 71-74. ISSN: 0304-8853
19. Botello-Zubiate, M. E., y otros. Influence of magnetic water treatment on the calcium carbonate phase formation and the electrochemical corrosion behavior of carbon steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 2004, 369, 256-259. ISSN: 0925-8388
20. Cho, Young I., y otros. Physical Water Treatment for the Mitigation of Mineral Fouling in Cooling-Tower Water Applications. En: *Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications*. Santa Fe, New Mexico: CIE, 2003. pp. 20-31