

Efectos del campo magnético en la dureza total, calor específico y punto de ebullición del agua

Nuria de los Ángeles Vaillant López

E-MAIL: nuriavl@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba.

Gabriela Carreras Fernández

E-MAIL: gabycarrerasf.98@nauta.com

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba

Guillermo Ribeaux Kindelán

E-MAIL: ribeaux@uo.edu.cu

Centro de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Para examinar el efecto del tratamiento magnético (TM), en la dureza total (DT), punto de ebullición (PE) y capacidad de conservación de calor (CC) del agua de la fuente "Coscolluela", de La Habana, las muestras fueron sometidas a un campo magnético (CM) generado por imanes permanentes, marca NOVAMAG, para tres valores de intensidad de CM (325 mT, 268 mT y 217 mT), velocidad de circulación 0,073 m/s, tres tiempos de exposición (1.09 s, 2.18 s, 3.27 s) y temperatura ambiente ($22 \pm 1^\circ\text{C}$). Se obtuvieron variaciones en la DT, el PE y la CC de las muestras con TM. En cuanto a la memoria magnética, en los periodos de 48h y 72h se mantuvieron los efectos provocados por el CM para el PE y la CC, no así para DT.

PALABRAS CLAVES: conservación de calor, dureza total, memoria magnética, punto de ebullición, tratamiento magnético.

Effects of the magnetic field on the total hardness, specific heat and boiling point of water

ABSTRACT

To examine the effect of the magnetic treatment (MT), in the total hardness (TH), point of boil (PB) and capacity of conservation of heat (CC) of the water of the source "Coscolluela", of Havana, the samples were subjected to a magnetic field (MC) generated by permanent imams, NOVAMAG marks, for three values of intensity of MC (325 mT, 268 mT y 217 mT), speed of circulation of 0,073 m/s, three times of exhibition (1,09s, 2.18s, 3.27s) and ambient temperature ($22 \pm 1^\circ\text{C}$). Variations were obtained in the TH, the PB and the CC of the samples with MT. As for the magnetic memory, in the periods of 48h and 72h they stayed the effects caused by the MC for the Pb and the CC but didn't for the TH.

KEYWORDS: heat conservation, total hardness, magnetic memory, boiling point, magnetic treatment.

01 INTRODUCCIÓN

El creciente déficit y el continuo incremento de la demanda de agua en los últimos años, ha propiciado la búsqueda de nuevas y factibles tecnologías para el ahorro y reúso de las aguas. Teniendo en cuenta que la mayoría de los tratamientos para la potabilización se realizan con productos químicos no degradables, caros y cuyos lodos contaminan el medio ambiente, se hace impostergable el uso de tecnologías limpias y económicas, como el TM.

A pesar de los años transcurridos de las primeras instalaciones de acondicionadores magnéticos para reducir incrustaciones en tuberías y calderas, el tema no ha perdido actualidad, aunque muchas veces con ánimos comerciales, se le atribuyen al agua que ha sido tratada magnéticamente, propiedades mágicas, y abunda el uso de terminología pseudocientífica, que contribuye a que esta técnica sea tomada con escepticismo en la comunidad científica.

De forma general, no existen dudas de la efectividad del TM, pero si coexisten discrepancias en la explicación del fenómeno que se observa, existiendo incógnitas en la explicación teórica de la influencia del CM sobre las propiedades de los sistemas acuosos. Este asunto se complejiza si tiene en cuenta la influencia de parámetros externos como la temperatura, el material de las tuberías y el amplio rango posible de frecuencias, intensidad, tiempo de exposición y velocidad del fluido, entre otros.

Las teorías que explican el efecto de las aplicaciones magnéticas sobre los sistemas acuosos no han sido íntegramente esclarecidas por los investigadores que trabajan el tema. Muchos artículos describen diferentes tipos de mecanismos de acción del campo magnético, y varios de ellos, llegan a conclusiones que entran en conflicto entre sí. El estudio de la influencia del TM en las propiedades físico - químicas de las aguas cubanas, y específicamente La Habana, favorecerían el esclarecimiento de algunas de las teorías existentes y su posible aplicación en centros y localidades con aguas de características similares.

La provincia La Habana, cuenta con un potencial de recursos hídricos propios evaluados en 430 hm³, de los cuales 323 hm³ son aprovechables. El abasto de agua a la capital del país se efectúa a través de 68 fuentes, de las cuales 67 son subterráneas y sólo una superficial. De las 67 fuentes subterráneas, 55 son de agua potable, mientras que 12 son de agua salobre que sirven a la zona costera del Este de la ciudad (Lasa 2008).

Las oportunidades del TM dirigidas hacia la eficiencia energética, permiten favorecer la aparición de ahorro por la disminución en el consumo de combustible a partir de una menor demanda energética del agua para la generación de la misma cantidad de vapor. Desde el punto de vista práctico, esto favorece el empleo del TM como complemento de las tecnologías de tratamiento de agua, donde se conjugarían los efectos anti-incrustantes con la disminución de la temperatura de ebullición.

Estudiar el efecto que produce el CM sobre la temperatura de ebullición del agua para evaluar una posible reducción de la misma, implicaría el acercamiento entre las temperaturas inicial y final en el proceso de calentamiento del agua, repercutiendo directamente sobre la cantidad de calor y un consecuente ahorro de energía.

02 TRATAMIENTO MAGNÉTICO

TRATAMIENTO MAGNÉTICO

Los acondicionadores magnéticos se ubican en los sistemas de manera que el fluido circule a través del campo magnético, en el que interactúan las líneas de inducción magnética directamente con el fluido, según muestra la figura 1.

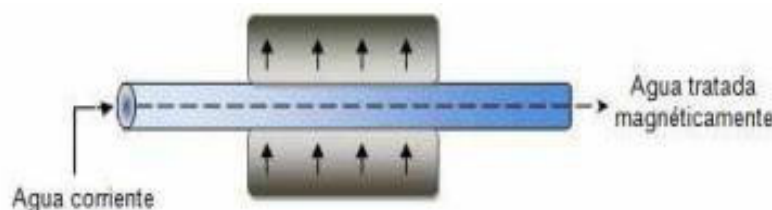


Figura 1. Tratamiento magnético del agua. Fuente: (Vaillant 2019)

Para garantizar un tratamiento eficiente deben cumplirse varios requerimientos, de los cuales, los más importantes son: lograr la perpendicularidad de líneas de inducción magnética B con respecto al movimiento del fluido y la permanencia o el tiempo de exposición del fluido al CM.

Los diferentes enfoques para la aplicación del tratamiento magnético tienen efectos significativamente diferentes en el rendimiento de cada sistema. El uso de imanes permanentes normalmente crea un campo magnético uniforme. Sin embargo, el campo se puede variar cambiando la orientación y disposición de los imanes. Diferentes formas (y geometría) de imanes permanentes también pueden exhibir diferentes valores de intensidad de campos magnéticos.

Cuando el agua circula por el campo magnético creado por los acondicionadores magnéticos, sobre los iones de las sales que están disueltos en el agua, inciden las líneas del campo magnético, surgiendo fuerzas que los mueven de su posición de equilibrio y, se dice, que el agua modifica algunas propiedades físico - químicas (Vaillant 2019).

A pesar del tiempo acontecido desde las primeras instalaciones de acondicionadores magnéticos en el mundo y en Cuba a través del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), desde 1992, esta tecnología no ha perdido actualidad ya que sus aplicaciones han ido más allá de prevenir, retardar o eliminar la formación de depósitos o incrustaciones.

03 DISEÑO EXPERIMENTAL

SISTEMA EXPERIMENTAL

El sistema experimental del presente estudio estuvo conformado por una bomba peristáltica (Thermo Fisher Scientific, FH 100) para generar el flujo del fluido; una tubería de silicona de 2,85 m de longitud y 0,7 cm de diámetro interior, dos vasos de precipitado con capacidad de 1 000 mL cada uno y dos pares de imanes permanentes (acondicionadores magnéticos) con polos norte y sur, ubicados uno frete al otro para generar un campo magnético homogéneo. El tamaño de cada uno de los imanes es de 5 cm x 3 cm x 0,1 cm (largo, ancho y alto) y la separación entre cada par fue de 6,5 cm orientados en repulsión como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Sistema experimental para el tratamiento magnético

Los acondicionadores magnéticos pertenecen a la marca NOVAMAG diseñados y contruidos por el CNEA, son dispositivos constituidos a base de imanes de tierras raras, hechos de una aleación de neodimio (Nd₂), hierro (Fe₁₄) y boro (B), y fueron acreditados en los laboratorios de caracterizaciones magnéticas del CNEA.

Las muestras de agua fueron tomadas del grifo, abastecido por la fuente "Cosculluela", y analizadas en los laboratorios de calidad del agua de la empresa Aguas de La Habana. Se eligieron tres mediciones de parámetros para estudiar el efecto del TM al agua: dureza total, punto de ebullición y temperatura (capacidad de conservación del calor luego de haber alcanzado el punto de ebullición).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para el estudio se tomaron cuatro muestras de 1 000 mL de agua, la primera sin TM (STM), las otras tres muestras fueron impulsadas por la bomba peristáltica con una velocidad de rotación constante de 35 rpm. Cada una de las muestras se analizó para un valor de intensidad de CM diferente según se muestra en la tabla 1 y los valores fueron medidos con un gaussímetro de efecto hall de la marca LakeShore (modelo 41).

Tabla 1. Parámetros de intensidad utilizados y su nomenclatura

Separación entre caras polares (cm)	Intensidad (mT)	Intensidad (Gauss)	Nomenclatura
1,2	325	3250	TMA
1,8	268	2678	TMB
2,5	217	2170	TMC

En las figuras 3, 4 y 5, se pueden observar los mapas de las escalas de valores de inducción de campo magnético en la zona de trabajo para las distancias de 1,2 cm, 1,8 cm y 2,5 cm respectivamente entre las caras polares, obtenidos mediante simulación haciendo uso del software profesional COMSOL Multiphysics 3.2.

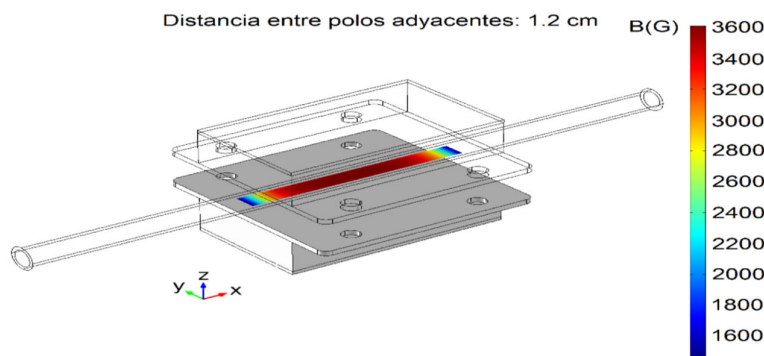


Figura 3. Mapa de escala de valores de inducción de CM para una distancia entre polos de 1,2 cm.

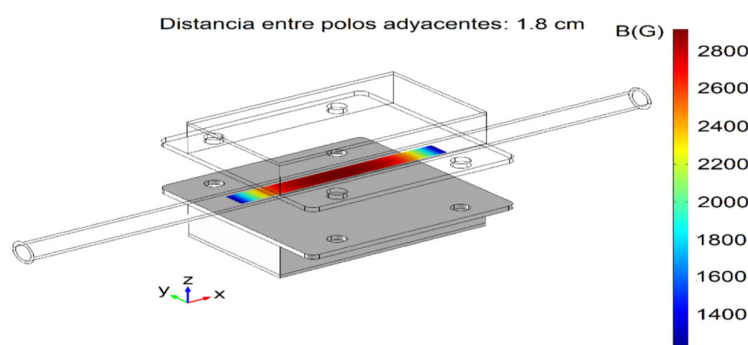


Figura 4. Mapa de escala de valores de inducción de CM para una distancia entre polos de 1,8 cm.

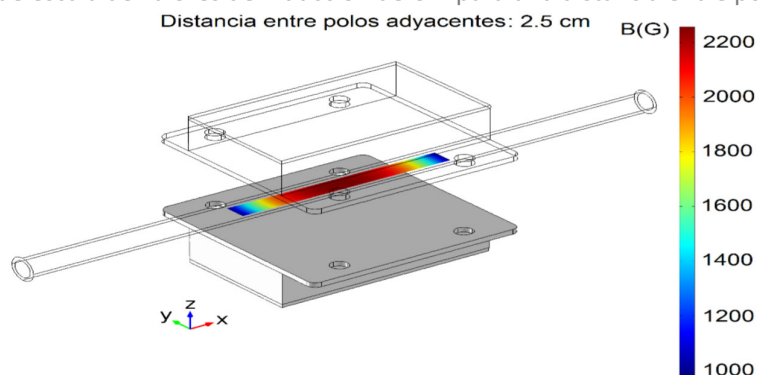


Figura 5. Mapa de escala de valores de inducción de CM para una distancia entre polos de 2,5 cm.

Cabe destacar que, independientemente de que la simulación del software es más precisa, los valores de intensidad de campo magnético medido manualmente con el gaussímetro y declarado en los experimentos, están dentro del rango de valores de inducción de CM en la zona de trabajo obtenidos por el software (ver tabla 2).

Tabla 2. Valores promedios de inducción de campo magnético medio, mínimo y máximo en la zona de trabajo.

Magnitud	Distancia entre los polos adyacentes (cm)		
	1,2	1,8	2,5
B_{medio} (G)	3267	2548	1923
B_{max} (G)	3633	2950	2293
B_{min} (G)	1444	1209	974
B_{std} (G)	521	455	362
B_{centro} (G)	3608	2914	2257

El fluido pasa por el sistema a una velocidad de circulación constante promedio de 0,073 m/s. Para cada valor de intensidad (325 mT, 268 mT y 217 mT) se analizó el comportamiento de la DT, PE y CC para tres tiempos de exposición al CM diferentes: (1,09s, 2,18s y 3,27s).

La temperatura de las muestras no fue controlada por lo que se mantuvo igual a la temperatura ambiente del medio (22 ± 1 °C). La investigación se llevó a cabo en tres etapas:

Primera etapa: análisis de DT, PE y CC de la muestra control.

Segunda etapa: aplicación del CM en los tiempos definidos, y medición de la DT, PE y CC.

Tercera etapa: estudio de la memoria magnética en las muestras con TM, a las 48 h y 72 h luego de su exposición al CM.

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Se determina DT por el Método Volumétrico (APHA 1992), (NC ISO 6058, 2009) y (NC ISO 6059, 2010) de Calidad del Agua. Se utilizó una bureta automática (Duran Germany) de 25 mL con una precisión de $\pm 0,03$ mL, una pipeta aforada de bulbo central de 25 mL y un erlenmeyer de 250 mL (figura 6).



Figura 6. Diseño experimental para determinar dureza

Para la determinación del PE de las muestras se utilizó una plancha de inducción (IKA C-MAG HS 10), termómetro con rango de medición de 0 °C – 200 °C y con una precisión de ± 1 °C, un vaso de precipitado con capacidad de 100 mL y soporte universal (figura 7). La temperatura inicial de cada

una de las muestras fue igual a la temperatura ambiente del medio, aproximadamente de 22 ± 1 °C. La temperatura de la plancha se mantuvo constante para todos los análisis (350 °C).



Figura 7. Diseño experimental para determinar punto de ebullición.

Para el análisis del comportamiento de la temperatura o CC de las muestras luego de haber alcanzado el punto de ebullición, se llevó a cabo un estudio de la variación de la temperatura en el tiempo, para ello se empleó un termómetro con rango de medición de 0 °C – 200 °C, con una precisión de ± 1 °C, y un cronómetro.

04 EFECTO DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO EN LA DUREZA, EL PUNTO DE EBULLICIÓN Y LA CAPACIDAD DE CONSERVACIÓN DE CALOR DEL AGUA

DUREZA DEL AGUA

La figura 8 muestra los resultados obtenidos durante la prueba de DT para todas las muestras analizadas. Se puede observar una disminución de la misma con el aumento de la intensidad del CM e independiente del tiempo de exposición para cada intensidad de CM (1,09 s, 2,18 s, 3,27 s). Con las intensidades de CM (268 mT) y (325 mT) se mantienen idénticos valores de DT.

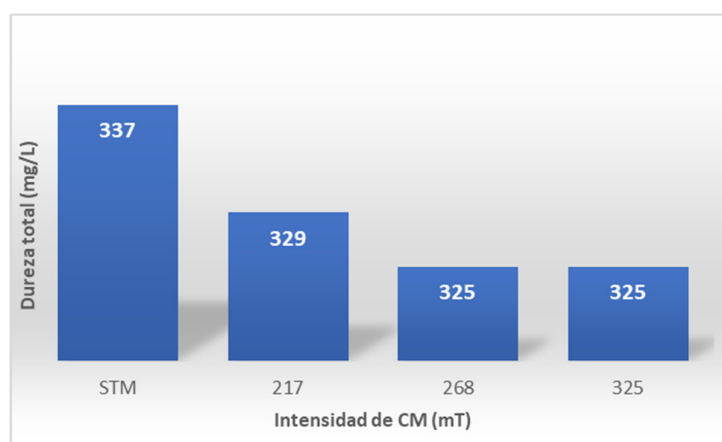


Figura 8. Comportamiento de la dureza total en las muestras analizadas.

Varios estudios han encontrado reducciones significativas en el grado de dureza del agua, aunque no de manera directa, sino que plantean la existencia de una disminución considerable en la concentración de CaCO_3 y un aumento en el grado de precipitación del mismo. Gehr et al. (1995)

confirman que existe una reducción de 9,8 % en la concentración de CaCO_3 en la fase acuosa de la muestra para una intensidad de campo magnético de 4,75 T, un tiempo de exposición al campo magnético de 2 min y una temperatura de 21 °C.

Vera (2018) presentó una reducción en 3,6% de los valores de DT del agua, después de ser expuesta a un CM de 120 mT y una velocidad de flujo de 40 L/min, también reporta una disminución en la dureza con el aumento del tiempo de exposición. Sin embargo, en este trabajo se obtiene una disminución aproximada de un 8,3 % de la DT, que se especula, puede deberse a las diferentes condiciones experimentales entre los dos estudios (intensidades de CM y tiempos de exposición)

PUNTO DE EBULLICIÓN

En la figura 9 se muestran los valores obtenidos durante el análisis de las diferentes muestras; como puede observarse existe una disminución aparente del punto de ebullición. La muestra sin tratamiento magnético (STM) lo alcanzó para una temperatura de 100 °C, mientras que las muestras con TM e intensidades de campo de (325 mT, 268 mT y 217 mT) lo alcanzaron a una temperatura de 99 °C, 98 °C y 98 °C respectivamente.

No se registró una influencia directa de los diferentes tiempos de exposición utilizados (1,09s, 2,18s y 3,27s) en la variación de los resultados obtenidos.

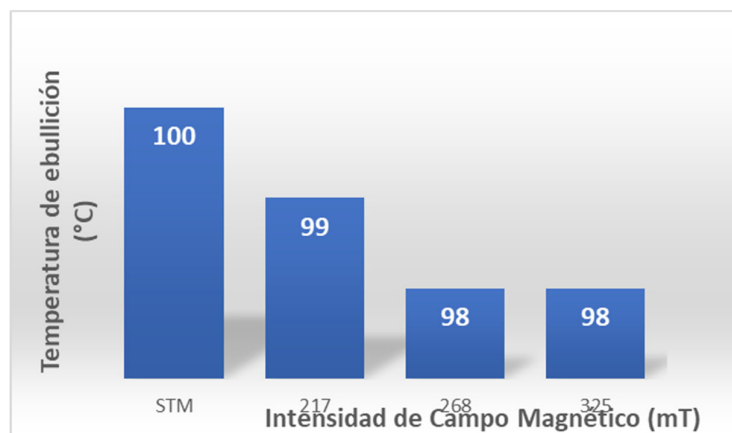


Figura 9. Punto de ebullición para las muestras analizadas.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Wang et al. (2018) que estudiaron el efecto del TM en el PE entre otras variables. Para ello, utilizaron imanes permanentes con cuatro tipos de intensidades de CM: 100 mT, 200 mT, 300 mT y 400 mT; obteniendo una disminución en el PE con el aumento de la intensidad, siendo 3 000G la intensidad de CM que obtuvo menor PE. Los autores obtienen un rango de diferencia de temperatura de 2,06 °C entre la muestra control y la muestra tratada con intensidad de CM 300 mT; mientras que, en el presente estudio, la diferencia de temperaturas entre ambos extremos es de 2 °C aproximadamente, teniendo en cuenta que el rango de precisión del termómetro empleado para realizar la medición es de ± 1 °C.

Acea (2005) plantea en su trabajo, que existe una tendencia general hacia la disminución de la temperatura de ebullición del agua empleada como consecuencia de la acción del CM, con una única excepción en el régimen de tratamiento correspondiente a la velocidad de 1,0 m/s y al campo generado por una corriente igual a 1,0 A, donde surge un ligero incremento. Resulta significativo el hecho de que las mayores reducciones de la temperatura de ebullición se obtienen para el menor valor de inducción magnética, siendo superior cuando la velocidad es de 1,0 m/s, donde la

temperatura de ebullición es 1,27 % menor que para la referencia.

CAPACIDAD DE CONSERVACIÓN DE CALOR DEL AGUA

Después de alcanzado el PE de cada una de las muestras, se analizó el comportamiento de la disminución de la temperatura en el tiempo, para ver si existía una influencia directa del CM en la capacidad de conservación de calor del agua.

En la figura 10 se pueden observar los resultados obtenidos durante esta prueba. Para las muestras con TM se alcanza el punto de ebullición entre los 98°C - 99°C; además, de manera general el comportamiento en cada caso es bastante similar, aunque se observa una mayor conservación de la temperatura en las muestras con TM.

Para las tres intensidades de CM involucradas, se conservó la temperatura entre 1°C - 2°C más que en la muestra control como promedio. Para 217 mT y 268 mT se observa en los primeros 25 minutos, una mayor estabilidad y diferencia de la CC contra la muestra control, existiendo una relación directa entre la intensidad del CM y la CC.

A partir de los 30 min se estabilizó el comportamiento de la temperatura en todas las muestras, alcanzando los 23 °C a los 90 min. No se encuentran dependencias de la CC con el tiempo de exposición.

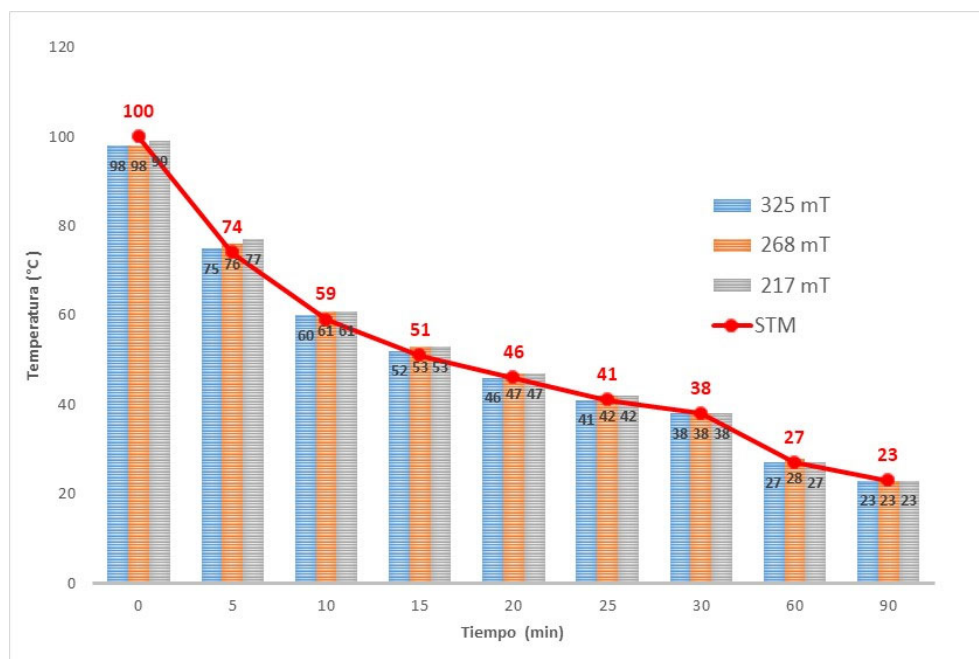


Figura 10. Punto de ebullición y conservación de calor

Este efecto registrado de la influencia del CM sobre la capacidad de conservación de calor del agua, al igual que el resultado obtenido en la disminución del PE, podría representar a escala industrial, en grandes volúmenes de agua, un significativo ahorro de energía.

Los resultados de Wang et al. (2018) confirman el obtenido en este estudio. Durante su investigación, plantearon que el comportamiento de las curvas de la temperatura de las muestras en el tiempo, se comportaron de manera similar. Informan el efecto del campo magnético en las propiedades físicas parciales del agua, con el agua del grifo y 4 tipos de agua magnetizada que se

midieron en la misma condición. Ellos encontraron que varias propiedades del agua cambiaron después del tratamiento magnético: el aumento del calor de evaporación, la disminución del calor específico y el punto de ebullición. Resumen además que los cambios dependen del efecto de la magnetización.

Zhou et al. (2000), presentaron los resultados de una simulación de Monte Carlo del agua líquida para estudiar la influencia de un CM externo sobre la energía interna y la capacidad calorífica del agua pura. Analizaron la estructura del agua calculando la función de distribución radial $g(r)$ de las moléculas de agua. Encontraron una función multipico del efecto magnético versus la inducción magnética ($B^{\rightarrow}$). Mostraron un cambio significativo en la energía interna y la capacidad calorífica a $B \sim 0,2$ T. Con el aumento de B , el segundo pico de $g(r)$ aumentó marcadamente. Los cálculos los hicieron para sistemas de 64 y de 125 moléculas. Reportaron que los campos magnéticos del orden de 0,2 T aumentan el número de moléculas de agua monoméricas, pero también la tetraedralidad.

MEMORIA MAGNÉTICA

Varios estudios confirman la existencia de la memoria magnética de hasta 200 h en algunas propiedades del agua que han sido modificadas después de la exposición del fluido a un CM. (Coey and Cass 2000) (Coey 2012).

Los resultados obtenidos pasadas las 48 h y las 72 h de la exposición al CM de las muestras, se pueden observar a continuación para los diferentes parámetros estudiados.

DUREZA TOTAL

En el caso de la DT, para las condiciones experimentales de este estudio, los valores de las muestras con TM volvieron al valor control. Es decir, para las 48h y 72h, las muestras retomaron su valor inicial. Se concluye que no existe influencia de memoria magnética para esta propiedad.

PUNTO DE EBULLICIÓN

Los valores de temperatura con que las diferentes muestras con TM alcanzan el punto de ebullición permanecen iguales a los presentados en la figura 9. A las 48 h y 72 h, esta propiedad mantiene los cambios provocados por el efecto del CM, sin otras variaciones notables por la precisión del instrumento de medición empleado durante el análisis. Lo que deduce la existencia de memoria magnética en las condiciones experimentales estudiadas para esta propiedad.

CONSERVACIÓN DE CALOR

El comportamiento de la variación de la temperatura en el tiempo es similar al obtenido en la figura 10. Como se muestra, durante los primeros 25 min para las intensidades (268 mT y 217 mT) se conservó el calor 2°C más que en la muestra sin TM, mientras que para 325 mT solo se conservó 1°C más que en la muestra sin TM, por lo que se observa en este parámetro la influencia de la memoria magnética.

Estos resultados relacionados con la memoria magnética, son resguardados por lo planteado por Coey (2012), que agrega que el CM no solo influye en la estructura y morfología del CaCO_3 sino también que el agua podría adquirir una impresión magnética de larga duración (memoria). Aunque reconoce que los efectos de la memoria en el agua tienen una historia infeliz, su artículo se basa en la evidencia de un mecanismo de nucleación no clásico para el CaCO_3 y se recopilan trabajos en los cuales se pone en duda la teoría clásica de nucleación, sugiriendo una teoría en la que las soluciones

de CaCO_3 (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 CM 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.

05 CONCLUSIONES

Para el caso de la DT del agua analizada se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con TM y el control (STM) a las 0 h; observándose una aparente disminución de los valores de dureza por efecto del CM, que se corresponde con los límites cuantitativos establecidos por otras investigaciones. No siendo así a las 48 h y 72 h, pues los valores de DT del agua con TM retornan al valor inicial (STM).

En el caso del PE y la CC, para las muestras con TM se alcanza la ebullición entre los 98°C - 99°C y se observa una mayor conservación de la temperatura en las muestras con TM durante los primeros 25 min. Para 325 mT se conservó la temperatura 1°C más que en la muestra control, mientras que para 268 mT y 217 mT se conservó 2°C más que en la muestra control, existiendo una relación directa entre la intensidad del CM y la capacidad de conservación de calor. A partir de los 30 min se estabilizó el comportamiento de la temperatura en todas las muestras, alcanzando los 23°C a los 90 min.

El efecto de la memoria magnética estudiado bajo las condiciones establecidas en el presente estudio, no fue visible en todos los parámetros analizados, pues no se registraron resultados positivos de esta en la DT a las 48 h y 72 h. Sin embargo, propiedades como el PE y la CC si registraron patrones de comportamiento muy similares a los medidos después de hacer pasar las muestras por el CM.

El resultado obtenido en PE, al relacionarlo con los obtenidos en la DT, revela la necesidad de un ajuste en el régimen de TM, para lograr que ambos efectos se manifiesten simultáneamente, y provocar un verdadero ahorro por el incremento de la eficiencia energética, a partir de las variaciones que tienen lugar en el agua por la acción del CM.

De manera general los resultados obtenidos en esta investigación resultan de gran interés, pues la aplicación del TM en las diferentes entidades que son abastecidas por "Coscutuella", y de manera general; en aguas de características similares, representaría un ahorro considerable para la economía nacional. El TM además de ser una tecnología limpia y eficiente puede ser producida a nivel nacional, lo que hace más económica y rentable su aplicación.

06 REFERENCIAS

- Acea C.M.** (2005). "Efecto del tratamiento magnético sobre la temperatura de ebullición", Revista Ingeniería Energética, Vol. XXVI, No. 1, pp 3-5. E-ISSN: 1815-5901.
- APHA** (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC. USA.
- Coey J.M.D. and Cass, S.** (2000). "Magnetic Water Treatment". Journal of Magnetism and Magnetic materials. 209 (1-3): pp. 71-74. ISSN 0304-8853, [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(99\)00648-4](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(99)00648-4).
- Coey J.M.D.** (2012). "Magnetic water treatment – how might it work?" Philosophical Magazine Vol. 92, No. 31, (1) pp 3857–3865 <http://dx.doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>.

- Gehr R., Zhai Z.A., Finch J.A. and Ram S.** (1995). "Reduction of soluble mineral concentration in CaSO₄, saturated water using a magnetic field". Pergamon, Wat. Res. Vol. 29 (3), pp 933 – 940. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00214-r.
- Lasa V.** (2008). "La experiencia en La Habana". INRH. En EXPOZARAGOZA, Agua y ciudad. <https://www.zaragoza.es>.
- NC ISO 6058:2009** (2009). "Calidad Del Agua — Determinación Del Contenido De Calcio — Método Por Valoración Con EDTA". La Habana, Cuba.
- NC ISO 6059:2010** (2010). "Calidad Del Agua — Determinación De La Suma De Calcio Y Magnesio — Método Por Valoración Con EDTA". La Habana, Cuba.
- Vera R.** (2018). "Evaluación de tres tipos de tuberías usadas en tratamientos magnéticos para la reducción de concentraciones de calcio y magnesio en aguas duras" (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta. Ecuador.
- Vaillant N.** (2019). "Agua, dureza y magnetismo", 54 pp., Cuba, La Habana, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, (monografía), ISBN: 978-959-261-601-1.
- Wang Y., Wei H. and Li Z.** (2018). "Effect of magnetic field on the physical properties of water" in Results in Physics, Vol. 8. pp. 262-267. ISSN 2211-3797 <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>: www.journals.elsevier.com/results-in-physics.
- Zhou K., Lu G., Zhou Q.C., Song J.H., Jiang S.T. and Xia H.** (2000). "Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field", Journal of Applied Physics, Vol. 88, pp. 1802-1805. DOI:10.1063/1.1305324.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Nuria Vaillant López <https://orcid.org/0000-0001-7362-084X>

Participó en la búsqueda y organización de la información, el diseño experimental, procesamiento y análisis de resultados, y la redacción y revisión del trabajo.

Gabriela Carreras Fernández <https://orcid.org/0000-0002-3296-3536>

Participó en la búsqueda de información, los análisis experimentales y su procesamiento y redacción.

Guillermo Ribeaux Kindelán <https://orcid.org/0000-0002-3296-3536>

Participó en la elaboración del diseño experimental, el análisis de resultados, el cálculo de los parámetros de intensidad de campo magnético utilizados y su nomenclatura, y la revisión del documento final.