



Joaquín Melgarejo Moreno  
(Editor)



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO (EDITOR)

# Congreso Nacional del Agua Orihuela

*Innovación y Sostenibilidad*



Coordinado por:  
Patricia Fernández Aracil



CAMPUSHABITAT5U



Instituto Estudios  
Económicos  
Provincia Alicante

© los autores, 2019  
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-034-1

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado - electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

# **TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS Y DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO CON DISPOSITIVO TK3K**

**Sergio Martínez Moya**

Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante

**Nuria Boluda Botella**

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante

**Jaime García Quiles**

Ecotecnica Energy System, S.L.

## **RESUMEN**

La aplicación de técnicas electromagnéticas (EM) al tratamiento de aguas se ha desarrollado en los últimos años para evitar y eliminar las incrustaciones de carbonato cálcico en conducciones. En ausencia de tratamiento se forma un precipitado duro e incrustante de calcita, y cuando el agua es tratada, se forma aragonito, que no precipita e incluso elimina incrustaciones previas. En la Universidad de Alicante se han realizado estudios preliminares sobre los efectos del electromagnetismo en la dureza, así como para el tratamiento de microorganismos y algas. En esta línea de investigación se va a realizar una tesis doctoral en colaboración con la empresa ECOTÉCNICA ENERGY SYSTEMS S.L. y financiada por la Generalitat Valenciana dentro del programa para la formación de doctores y doctoras en empresas valencianas. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica sobre la aplicación de técnicas EM al tratamiento de agua, con el fin de aplicar estos conocimientos al diseño de una planta piloto para el estudio del equipo TK3K patentado por la empresa, así como de otros dispositivos desarrollados con diferentes prestaciones.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las técnicas electromagnéticas han sido utilizadas desde hace tiempo en multitud de campos para diferentes tipos de tratamientos. En el ámbito del agua uno de sus principales usos es reducir los depósitos de cal, dado que estas técnicas tienen influencia en la formación cristalina de los precipitados de carbonato cálcico que producen incrustaciones, en forma de calcita en ausencia de tratamiento. Las técnicas electromagnéticas dan lugar a la cristalización como aragonito, cuya precipitación no

produce incrustaciones en las conducciones de agua, e incluso es capaz de disolver precipitados de calcita previamente formados. Es importante destacar también la influencia del tratamiento electromagnético sobre las poblaciones de microorganismos, generando diferentes respuestas de los organismos, que podrían ser útiles en el tratamiento de aguas.

La Generalitat Valenciana financió en 2016 y 2017 dos trabajos de investigación desarrollados por alumnado del máster en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua, en los laboratorios del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante, con equipos de electromagnetismo proporcionados por la empresa ESALTIA, que dieron lugar a los trabajos finales de máster que fueron publicados en la web. A partir de la difusión de estos trabajos, la empresa ECOTÉCNICA ENERGY SYSTEMS S.L. se mostró interesada y suscribió un proyecto con la Universidad de Alicante (ECOTÉCNICA1-18Y). Además, dentro del Plan GenT 018 de la Generalitat Valenciana, y en programa para la formación de doctores y doctoras en empresas valencianas se obtuvo una beca en diciembre de 2018. En este trabajo se abordará el estado actual de las técnicas de EM, analizando diversos dispositivos y condiciones utilizadas en ensayos para intentar conseguir una mayor comprensión de los avances con esta tecnología para el tratamiento de aguas así como el diseño de una planta piloto que se utilizará con los equipos proporcionados por la empresa para la realización de la tesis doctoral.

## **2. TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS**

### **2.1. Efecto del electromagnetismo en la dureza del agua**

Desde hace décadas se conoce que el tratamiento de aguas por electromagnetismo es una técnica enormemente efectiva, debido a la prevención de la formación de incrustaciones de cal en equipos de tratamiento de aguas industriales, calentadores, sistemas de agua potable... siendo un punto especialmente vulnerable aquellos procesos en los que se produce una transferencia de calor (Latva et al., 2016).

Hay un gran número de estudios de laboratorio en los que se han aplicado tratamientos electromagnéticos al agua para estudiar su efecto en el control y eliminación de deposiciones de cal. En estudios como los de Latva et al. (2016), se observa una formación de escamas menos compactas tras la aplicación del campo electromagnético, debido al aumento en la concentración de aragonito (forma de aguja), y a una menor presencia de cristales de calcita (estructura romboédrica).

Otros trabajos corroboran estos resultados, pues la aplicación de un campo electromagnético generó la formación de unos depósitos blandos y fácilmente eliminables formados principalmente por aragonito, mientras que el agua no tratada generaba un depósito mucho más duro formado por calcita. Para identificar las formaciones cristalinas con la aplicación del tratamiento electromagnético y sin su

aplicación se utilizó microscopía electrónica de transmisión (Liu et al., 2010).

Se ha observado en algunos estudios, que la eficiencia de inhibición de incrustaciones aumenta con el tiempo de tratamiento electromagnético, pero no muestra un cambio significativo tras un cierto tiempo de exposición, que en el caso de Ge et al. (2010) fue de 60 minutos. Se ha observado que los efectos de la aplicación electromagnética en la formación de incrustaciones dependen de la dureza del agua, a mayor dureza mejores serán los efectos en la inhibición de los depósitos.

Se han encontrado trabajos que afianzan la creencia en la efectividad de estos tratamientos como es el caso de los estudios de Kozic et al. (2006), en el que se puso a prueba un equipo que llevaba años dando muy buenos resultados en la industria. Con la ayuda de programas informáticos se realizaron análisis que comprobaron la eficiencia del equipo del electromagnetismo en la reducción de la formación de depósitos de carbonato.

En los estudios realizados por Catly (2009) con el dispositivo Hydronic se observó la formación cristalina de la calcita y el aragonito mediante microscopía electrónica. Las diferencias morfológicas entre los cristales de calcita y aragonito, las dos estructuras cristalinas del carbonato cálcico se muestran en la Figura 1.

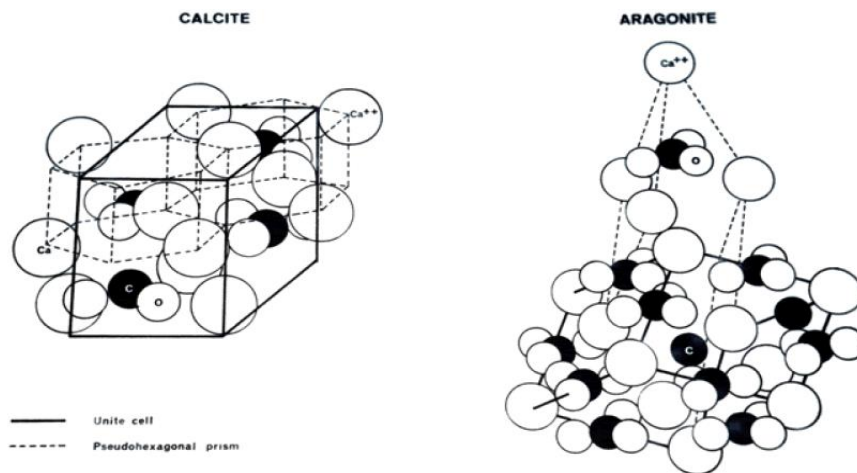


Figura 1. Morfología de los cristales de calcita y aragonito. Fuente: Catly, 2009.

En los experimentos de Catly (2009) se aprecia la eficacia de la técnica, en la que se tomaron muestras de los residuos producidos sin tratamiento, donde aparece la formación de calcita (Figura 2a) y con tratamiento electromagnético, con formación de aragonito (Figura 2b).

Por otro lado, también se estudió el efecto de diferentes frecuencias en el tratamiento electromagnético, no obstante, no se apreciaron diferencias notables en la morfología de los cristales de aragonito formados entre las 7 frecuencias utilizadas (500 Hz, 1KHz, 2KHz, 3KHz, 4.5KHz, 5KHz) (Catly, 2009).

Una ventaja del tratamiento electromagnético frente a los tratamientos químicos de ablandamiento del agua convencionales, es que el tratamiento electromagnético no tiene efecto en las características químicas del agua tratada. En los estudios de Mahmoud et al. (2016), los parámetros químicos del agua tratada electromagnéticamente tenían prácticamente los mismos valores que el agua de referencia, por lo que el tratamiento solo afecta a la morfología cristalina del carbonato.

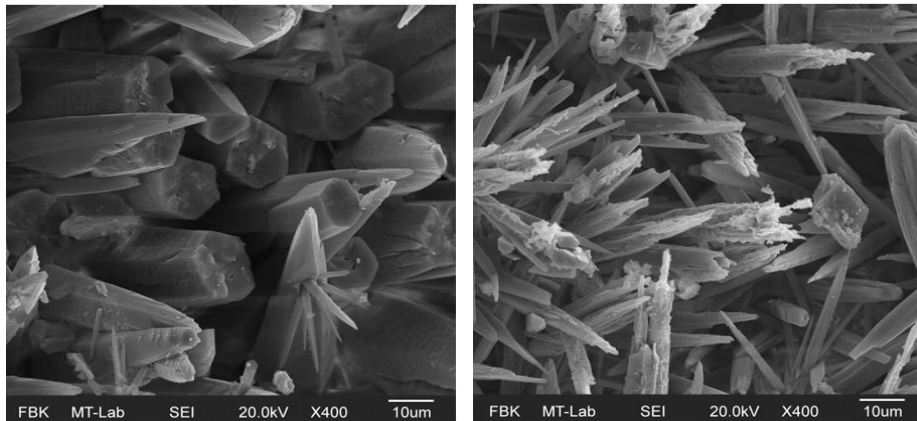


Figura 2. Formaciones cristalinas sin tratamiento (a) y con tratamiento (b). Fuente: Catly, 2009.

La eficacia del electromagnético puede durar desde minutos hasta cientos de horas, dependiendo del tipo de agua y el equipo utilizado. Algunos experimentos han podido observar tiempos de duración del aragonito antes de su transformación nuevamente a calcita de más de 200 horas. Los estudios indican que el campo electromagnético influye promoviendo la nucleación del aragonito cuando el agua fluye más allá de los imanes. Los núcleos son estables durante cientos de horas y se forman los cristales cuando el agua se calienta hasta la sobresaturación (Coe y Cass, 2000).

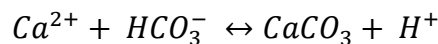
Para que pueda darse el fenómeno de la formación de depósitos de cal, se necesita un núcleo de cristalización sobre el que generarse el depósito. Según los estudios de Kronenberg (1985), el agua, al pasar por la tubería, transporta micropartículas de carbonato, estas partículas están rodeadas de moléculas de agua formando una cápsula a su alrededor que, cuando choca contra la superficie de la tubería, se rompe liberando la partícula de carbonato que se adhiere a la conducción. De esta manera aparece el núcleo de cristalización sobre el que irá chocando nuevas partículas formando el depósito de carbonato cálcico.

Al aplicar un campo electromagnético, el agua debido a su polaridad, tiende a colocarse en función de las líneas del campo magnético rompiendo esa envuelta que cubre las partículas de carbonato en el propio fluido. Al quedar libre el núcleo de cristalización en el propio fluido se forma un cristal que no se adhiere a la conducción, sino que sedimentaría o sería arrastrado por el fluido, evitando así la formación de depósitos.

Para poder comprobar este proceso se utiliza el efecto Tyndall. Si se hace pasar un haz de luz a través del fluido, se puede medir el grado de dispersión de la luz, estos cristales formados en el fluido deben provocar una mayor dispersión por lo que se puede estudiar la efectividad del tratamiento analizando el grado de dispersión (Kronenberg, 1985).

Experimentos posteriores corroboraron este efecto, ya que se observó que las muestras que fueron tratadas electromagnéticamente presentaban un contenido mayor de residuos sólidos que no se adherían a las paredes del recipiente tras la evaporación del agua, si no que quedaban en el fondo. Por el contrario, en el agua no tratada, una vez que era evaporada, los sólidos se adherían a las paredes del recipiente (Zavaleta et al., 1998).

Hay diferentes variables que influyen en la aparición de deposiciones de cal cuando se aplican campos electromagnéticos, una de las más importantes es el pH. En el propio proceso de formación del carbonato cálcico se produce una liberación de protones, según la ecuación siguiente, que tiende a acidificar el medio (Mahmoud, et al., 2016):



Además, los campos electromagnéticos influyen en el pH de la solución, produciendo una reducción en el valor inicial del pH, que afecta directamente el crecimiento de las incrustaciones de cal. Parsons et al. (1997) demostraron que los efectos del tratamiento electromagnético sobre la formación de incrustaciones se eliminan cuando se procede a controlar el pH del medio. Esta observación indica que el pH juega un papel fundamental en el mecanismo, por el cual los campos electromagnéticos reducen la formación de precipitados. Otros parámetros podrían verse alterados de forma conjunta, cuando el tratamiento electromagnético es aplicado (Ge et al., 2010), que provocó la disminución del pH y aumentó la concentración de oxígeno disuelto.

En el año 2016 se realizó en la Universidad de Alicante un trabajo fin del master en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua financiado por la Generalitat Valenciana, que abordaba este campo (Verdú, 2016). Se utilizó el equipo de electromagnetismo comercial Antical RF, proporcionado por la empresa ESALTIA y el agua utilizada para la elaboración de este estudio fue principalmente de red, no obstante, también se hicieron experimentos con agua sintética para poder experimentar con concentraciones conocidas.

Cabe destacar que para realizar los análisis de formación de cristales de aragonito o calcita en agua se utilizó el test de Meigen, un test rápido y sencillo con el que se puede saber el tipo de cristalización mediante el empleo de nitrato de cobalto y calor. En la figura 3 se muestra el montaje utilizado para los ensayos.

Tras finalizar este proyecto se pudo concluir que, en primer lugar, tras la aplicación del electromagnetismo se produce formación de cristales de aragonito y una disminución de los cristales de calcita y además, la reversibilidad de los cristales de aragonito fue



estimada en 72 horas aproximadamente en las condiciones del experimento. También se pudo demostrar la eficacia del test de Meigen a la hora de mostrar la presencia de cristales de aragonito en el medio (Verdú, 2016).

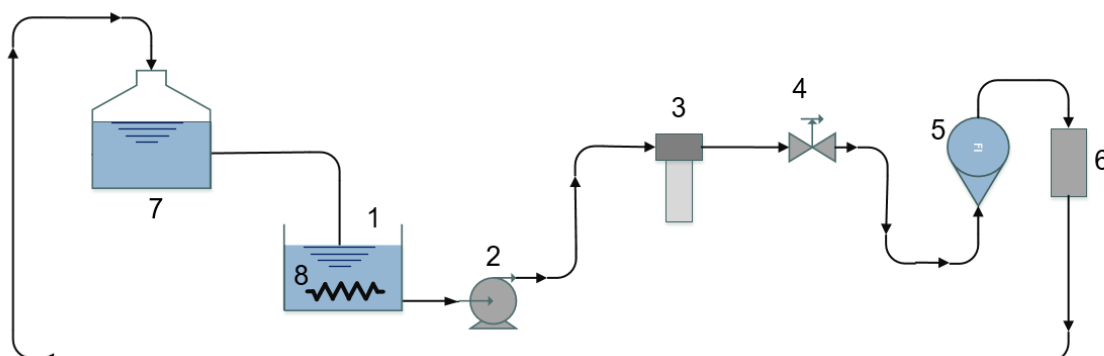


Figura 3: Montaje utilizado en los estudios de EM para tratamiento de la dureza. Fuente: Verdú, 2016.

1. Depósito para almacenar el agua de alimentación (50 L)
2. Bomba que impulsa 22 L/min
3. Filtro de seguridad de tamaño de poro de micras
4. Válvula de paso
5. Rotámetro
6. Antical RF
7. Depósito de recogida (50 L)
8. Resistencia para calentar el agua

## 2.2. Otros efectos de la aplicación de campos electromagnéticos en el tratamiento de aguas

La aplicación de campos electromagnéticos como tratamiento para el agua no solo provoca una disminución de la dureza, sino que también tiene aplicaciones en otros ámbitos.

Los estudios de Rajczykowski y Loska (2018) demostraron que la aplicación de campos electromagnéticos aumentaba la eficacia del proceso de adsorción en carbón activo, de metales pesados como el cobre, el níquel o el cadmio. De los resultados obtenidos se extrajo que es posible acelerar y aumentar la eficiencia del proceso de adsorción de metales pesados en solución acuosa, manteniendo unas condiciones adecuadas.

Por otro lado, los experimentos de Piyadasa et al. (2017), demostraron que los campos electromagnéticos generan respuestas adaptativas positivas o negativas de diferentes microorganismos bajo diversas condiciones. Mediante experimentos controlados, se demostró claramente que tales respuestas dependen de la interacción de numerosos factores y parámetros, como el microorganismo a estudiar, las especificaciones del dispositivo generador del campo electromagnético (forma de onda, frecuencia,

intensidad, etc.), caudal, tiempo de exposición, y posiblemente otros factores. Tras el estudio también se observó esta dependencia de los parámetros sobre la precipitación del carbonato cálcico y la formación de depósitos.

En el ámbito de los estudios microbiológicos, el trabajo de Mercier et al. (2016), demostró que el tratamiento electromagnético en aguas fluviales promovió la concentración de microorganismos planctónicos, limitando la cantidad de microorganismos sésiles en las formaciones de biofilms. También se observó que la aplicación del electromagnetismo afectó a la estructura de las poblaciones planctónicas y sésiles, principalmente produciendo un cambio en las clases de Proteobacterias durante la formación del biofilm. Este estudio demostró que los campos electromagnéticos de baja frecuencia pueden modular la formación de biofilms.

En el año 2017 se realizó en la Universidad de Alicante un trabajo fin del master en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua financiado por la Generalitat Valenciana, siguiendo la línea comenzada en el año 2016 y ampliándola con estudios microbiológicos.

Se utilizó el mismo equipo y montaje que para los estudios de Verdú (2016), con el equipo de electromagnetismo comercial Antical RF proporcionado por la empresa ESALTIA. La única diferencia reseñable entre los dos trabajos fue que en este último se instaló un equipo de medición redox en continuo, y en lugar de agua potable de red se utilizó agua procedente de un estanque de la Universidad de Alicante que cuenta con gran presencia microbiológica.

Tras la finalización del estudio se observó un posible efecto bactericida tras la aplicación del sistema de tratamiento por EM, pues existía una disminución en la formación de colonias bacterianas. Asimismo la medida del potencial redox mostró que la utilización del equipo hace aumentar el poder desinfectante en el agua al observarse un potencial de oxidación-reducción mayor (Gonzàlvez, 2017).

### **3. ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS UTILIZADOS**

Las investigaciones realizadas hasta el momento se han llevado a cabo a partir de diversos dispositivos que se han empleado para distintos usos. Con el fin de conocer los aspectos fundamentales para poder realizar el diseño de una planta piloto se han elaborado las Tablas 1 y 2 con las especificaciones de los experimentos realizados en los artículos citados previamente.

Como se puede observar, los equipos utilizados para generar los campos electromagnéticos son muy diferentes entre todos los artículos estudiados, así como las intensidades utilizadas. Mientras que en unos casos se utilizaron dispositivos comerciales diseñados para este uso, en otros casos fueron fabricación propia. Las

intensidades utilizadas varían entre 0.001-0.8 T.

En cuanto a los montajes se observa que el material utilizado predominantemente es el PVC, no obstante, también encontramos varios estudios en los que se utilizan conducciones de cobre o acero. El agua utilizada es muy diferente en todos los casos, agua de red, aguas naturales, sintéticas... y por tanto esta tecnología puede ser aplicada a aguas para diferentes usos.

**Tabla 1. Sistemas utilizados en los diferentes experimentos (a). Fuente: elaboración propia.**

Artículo	Equipo de EM	Velocidad del fluido o caudal	Intensidad	Material de conducc.	Diámetro conducc.	Agua utilizada	Toma de muestras	Análisis de agua	Análisis de conducc.	Parámetros variados y analizados
Latva et al, 2016	Dispositivo MWT de Bauer Water Ltd.PJ-20iHS	Constante	0.026 T	4 líneas cobre y 4 polietileno de alta densidad	16 mm	Agua de red almacenada	Colectores en cada línea	Durante 9 meses de forma periódica	Tras 9 meses	Temperatura, pH, oxígeno disuelto, redox, conductividad eléctrica, cloro libre, cloro total, sulfato, cloruro, nutrientes, alcalinidad, dureza total, cobre y hierro, amonio, fosfato, nitrato y formación de cristales
Liu et al, 2010	-	0.5 m/s	0.01-0.04 T	Acero con bajo contenido en carbono	-	Agua con 400 ppm de CaCl <sub>2</sub> . Agregados 50 ppm de NaHCO <sub>3</sub> por día	En tubería tras experimento	-	Tras 1 mes	pH, temperatura y formación de cristales
Catly, 2009	Dispositivo Hydronic de Artigiancavi Snc	-	-	Acero inoxidable	-	Agua del sistema de pruebas de la compañía suministradora del equipo	Tras la aplicación electrom.	Análisis tras toma directa con tratamiento y sin tratamiento	Residuos del sistema de pruebas de la compañía	Temperatura, frecuencia y formación de cristales
Mahmoud et al, 2016	Imanes permanentes, modelo GMX 8000. Efecto perpendicular al flujo del agua	-	0.8 T	PVC	76.2-203.2 mm	Agua de una fábrica de ladrillos	Durante los 5 días posteriores al tratamiento	Análisis tras toma directa con tratamiento y sin tratamiento	-	pH, temperatura, conductividad eléctrica, concentración de calcio, magnesio y carbonatos, dureza total y formación de cristales
Coey y Cass, 2000	Filtro de plástico con una pila de imanes de ferrita recubiertos de teflón y collar de anillo partido de 20 mm con imanes de Nd-Fe-B en el cuello de la botella.	0.04 a 1.2 m/s	0.1 T	-	-	Aguas subterráneas de un pozo de piedra caliza en Irlanda y agua mineral embotellada	Tras la aplicación electrom.	Durante las 200h posteriores al experimento	-	Na, Mg, K, Ca, Fe, Mn, Zn, SO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , Cl, pH, conductividad y formación de cristales
Kronenberg, 1985	Imanes de anillo de tipo ferrita, magnetizados axialmente y colocados alrededor del conducto y una barra cilíndrica de acero blando en el centro del conducto	1 a 6 m/s	hasta 0.1 T	-	-	Aguas con diferentes contenidos minerales	Tras la aplicación electrom.	se tomaron 20, 50 y 100 microlitros y se dejaron evaporar	-	Formación de cristales

**Tabla 2. Sistemas utilizados en los diferentes experimentos (b). Fuente: elaboración propia.**

Artículo	Equipo de EM	Velocidad del fluido o caudal	Intensidad	Material de conduc.	Diametro conduc.	Agua utilizada	Toma de muestras	Análisis de agua	Análisis de conduc.	Parámetros variados y analizados
Zavaleta et al, 1998	Dispositivo EM perpendicular a la velocidad del flujo, proporcionado por la empresa SELAGA	0.75 a 3 m/s	0.03 T	plástico	-	Agua de red	Tras la aplicación electrom.	Análisis tras toma directa con tratamiento y sin tratamiento	-	pH, temperatura, conductividad, sulfato, carbonato, bicarbonato, cloruro, dureza total y formación de cristales.
Parsons et al, 1997	Electroimán no intrusivo. Campo magnético de fuerza ajustable ortogonal al flujo de fluido	151 min-1	0.7 T	tubería de cobre recubierto de PVC	-	Disolución de agua pura con 300 ppm de calcio	Tras la aplicación electrom.	Durante el experimento	-	pH, temperatura y formación de depósitos
Rajczykowski & Loska, 2018	Anillo permanente de imanes de neodimio tipo N38	-	0.517 T	Vidrio	-	Agua desmineralizada con níquel, cobre y cadmio disueltos	Tras cada una de las 6 repeticiones de 60 minutos	tras cada una de las 6 repeticiones de 60 minutos	-	pH, conductividad y concentración de metales pesados
Piyadasa et al, 2017	2 equipos comerciales	flujo bajo (92 ml min-1) y flujo alto (460 ml min-1)	-	PVC	-	Agua inoculada con bacterias	Punto de almacenaje del agua tras aplicación el tratamiento	Cultivos bacterianos con el agua tratada	-	pH, temperatura y formación de colonias
Mercier et al., 2016	Aqua-4D system (Planet Horizons Technologies, Sierre, Switzerland)	25 l h <sup>-1</sup>	0.001 - 0.005 T	PVC	50 mm	Agua natural filtrada en un tamiz de 50 µm	En el interior del acuario	Semanalmente	-	Temperatura, pH, oxígeno disuelto, potencial redox y conductividad.
Verdú, 2016 y Gozávez, 2017	Antical RF	22L/min	-	PVC	20 mm	Agua de red, agua sintética y agua de estanque	Tras la aplicación electrom.	Durante el experimento	-	Temperatura, pH, potencial redox y formación de cristales

La toma de muestras se llevó a cabo en el agua tratada en la mayoría de las investigaciones, aunque en algún caso las conducciones fueron también analizadas. Los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados son diversos dependiendo del estudio, pero en un gran número de ensayos determinan pH, temperatura y formación de cristales, ya que son los factores predominantes que afectan a la efectividad del tratamiento.

#### **4. DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS CON EL DISPOSITIVO TK3K (ECOTÉCNICA ENERGY SYSTEMS S.L.)**

El equipo de EM utilizado para la realización de este proyecto es el TK3K, un dispositivo que actualmente está desarrollado, fabricado y siendo comercializado por la empresa ECOTÉCNICA ENERGY SYSTEMS S.L. En la figura 4 se muestra el esquema del montaje experimental diseñado en función de los datos obtenidos en estudios previos. Este montaje podrá sufrir adaptaciones y modificaciones durante el periodo de experimentación en función de los resultados.

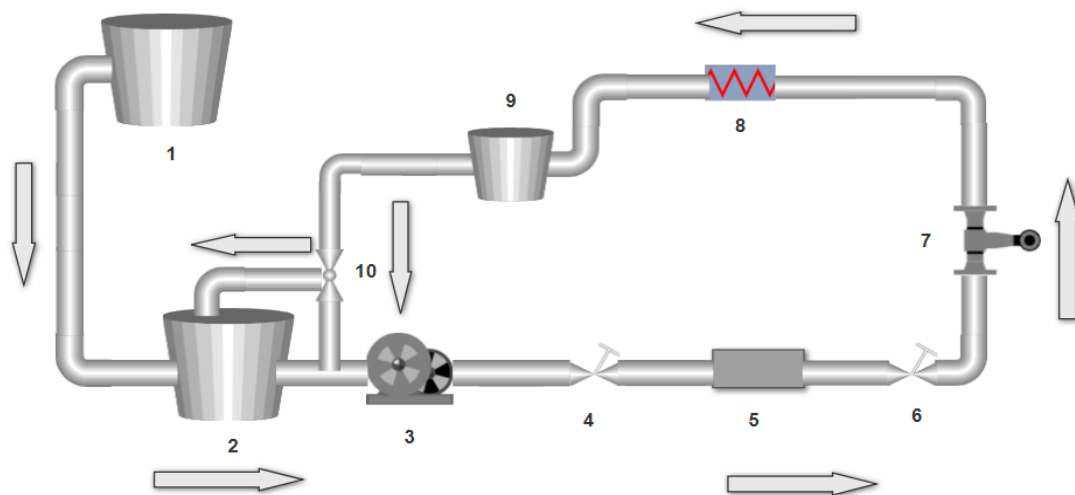


Figura 4. Diseño del montaje de la planta piloto. Fuente: elaboración propia.

Las partes en las que está dividido el sistema son:

1. Depósito de agua de entrada de alta capacidad (50 L), que permite la extracción de muestra.
2. Depósito de test de alta capacidad (50 L) con extracción de muestra.
3. Bomba.
4. Válvula de purga.
5. Sistema de generación de energía electromagnética computarizado (TK3K).
6. Válvula de purga
7. Caudalímetro digital.
8. Sistema de control de temperatura.
9. Depósito de test de baja capacidad con extracción de muestra.
10. Válvula de paso

Para la realización del montaje se han tenido en cuenta factores y especificaciones necesarias a la hora de realizar los experimentos. Se deben incorporar una serie de sondas y diferentes medidores que aún no aparecen reflejados en el esquema de la planta, debido a que se está estudiando las características óptimas de los dispositivos. En la tabla 3 se muestra las características de la planta diseñada.

**Tabla 3: Especificaciones de la planta piloto diseñada. Fuente: elaboración propia.**

Equipo de EM	Velocidad del fluido o caudal	Intensidad	Material de conducciones	Diametro interior conducciones	Agua utilizada	Toma de muestras	Análisis de agua	Análisis de conducciones	Parámetros variados y analizados
TecnoKal 3000 (Tk3k) modelos 22LC, 26LC, 26PRO Y 32PRO	Amplio rango de caudales hasta un máximo de 3000 L/h	-	PVC	12,7 - 25,4 mm	Agua de red, agua sintética y agua de diferentes orígenes	Diferentes puntos de muestreo a lo largo del sistema	Análisis tras toma directa con tratamiento y sin tratamiento	Tras largos periodos de actividad	Temperatura, pH, formación de cristales, intensidad, caudal, longitud de onda, crecimiento bacteriano... entre otros

Se realizará experimentación con diferentes modelos de TK3K, dado que son los equipos que actualmente se están fabricando, y ya se tienen implantados en algunas instalaciones reales después de funcionar durante varios años. Otro factor que debe ser estudiado es la orientación de la aplicación del campo electromagnético, para conocer los efectos en aguas de distintas calidades. Actualmente se está trabajando en el diseño de un nuevo modelo de TK3K, que permita variar los parámetros de generación de los campos de energía electromagnética.

Para el control del pH y temperatura, el dispositivo incluirá varios medidores en continuo en diferentes puntos del sistema, con sistema de adquisición de datos. Los ensayos con agua de distintas calidades como: potables de la red de abastecimiento, sintéticas, ornamentales, de piscinas, etc. no provocan excesivo ensuciamiento de los depósitos y conducciones. Sin embargo, para estudios de tratamiento biológico en aguas con gran carga algal y bacteriana, se utilizarán dispositivos adaptados que eviten el ensuciamiento o permitan la limpieza de los mismos. Además se prevé estudiar la variación del pH y el impacto en conductos metálicos, mediante tramos de conducto de cobre, hierro, acero inoxidable, etc. para conocer si produce algún tipo de alteración en cada tipo de materiales por separado e incluso las interferencias entre ellos mismos.

## REFERENCIAS

- CATLY, Y. (2009). *Studying electric field effect on water by analyzing the instrument "Hydronic"*. Faculty of Mathematical, Physical and Natural Sciences. University of Trento, Italy.
- COEY, J. and CASS, S. (2000). Magnetic water treatment. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 209 (1-3), 71-74.
- GE, H., GONG, X., LIU, R., MENG, X. and GU, Y. (2010). Scale inhibition of electromagnetic water treatment and corrosion behavior of carbon steel in simulated water, *4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)*.
- GONZÁLVEZ, N. (2017). *Efecto del electromagnetismo sobre la dureza, bacterias y algas en agua*. Universidad de Alicante.

- KOZIC, V., KROPE, J., LIPUS, L.C. and TICAR, I. (2006). Magnetic field analysis on electromagnetic water treatment device. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém*, 34, 51-54.
- KRONENBERG, K. (1985). Experimental evidence for effects of magnetic fields on moving water. *IEEE Trans. Magn. Mag-21*, 2059-2061.
- LATVA, M., INKINEN, J., RÄMÖ, J., KAUNISTO, T., MÄKINEN, R., AHONEN, M., MATILAINEN, J. and PEHKONEN, S. (2016). Studies on the magnetic water treatment in new pilot scale drinking water system and in old existing real-life water system. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 215-224.
- LIU, C., LIN, C., YEH, M., CHAO, Y. and SHEN, P. (2010). Surface Modification and Planar Defects of Calcium Carbonates by Magnetic Water Treatment. *Nanoscale Research Letters*, 5(12), 1982-1991
- MAHMOUD, B., YOSRA, M. and NADIA, A. (2016). Effects of magnetic treatment on scaling power of hard waters. *Separation And Purification Technology*, 171, 88-92.
- MERCIER, A., BERTAUX, J., LESOBRE, J., GRAVOUIL, K., VERDON, J., IMBERT, C., VALETTE, E. and HÉCHARD, Y. (2016). Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low-frequency electromagnetic fields. *Biofouling*, 32(3), 287-299.
- PARSONS, S., WANG, B., JUDD, S. and STEPHENSON, T. (1997). Magnetic treatment of calcium carbonate scale—effect of pH control. *Water Research*, 31(2), 339-342.
- PIYADASA, C., YEAGER, T., GRAY, S., STEWART, M., RIDGWAY, H., PELEKANI, C. and ORBELL, J. (2017). Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devices - controlled studies under static and flow conditions. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(3), 871-877.
- RAJCZYKOWSKI, K. and LOSKA, K. (2018). Stimulation of Heavy Metal Adsorption Process by Using a Strong Magnetic Field. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(1).
- VERDÚ, D. (2016). *Efecto del electromagnetismo sobre la dureza del agua*. Universidad de Alicante.
- ZAVALETA, M., VALERA, A., RIVAS, E., MENDOZA, A. and TINOCO, S. (1998). Efecto del campo magnético en el tratamiento de aguas duras. *TECNIA*, 8(1), 69-76.