

Tecnología híbrida de electro-oxidación y ozono de bajo consumo energético para la reutilización de aguas de proceso/Hybrid technology of electro-oxidation and ozone of low energy consumption for the wastewater reuse

Autores/Authors: *Javier Donato (Director, SITRA, jdonato@sitra.es), Pedro Gómez (Director General, APRIA Systems, pedro.gomez@apriasystems.es), Sonia Sanchis (Investigador Principal, LEITAT Technological Center, ssanchis@leitat.org), Vicent Sala (Investigador Principal, MCIÀ-Universitat Politècnica de Catalunya, vicenc.sala@upc.edu). Javier Donato (Head, SITRA, jdonato@sitra.es), Pedro Gómez (CEO, APRIA Systems, pedro.gomez@apriasystems.es), Sonia Sanchis (Principal Researcher, LEITAT Technological Center, ssanchis@leitat.org), Vicenc Sala (Principal Researcher, MCIÀ-Universitat Politècnica de Catalunya, vicenc.sala@upc.edu).*

Resumen:

En la ponencia se presentará el proyecto EOLUTION, el cual tiene por objeto desarrollar, demostrar y validar una tecnología para el tratamiento y desinfección de aguas innovadora, versátil, de bajo consumo y cercana al mercado, permitiendo su reutilización a un bajo coste, siendo respetuosa con el medio ambiente. La solución propuesta se basa en la combinación simultánea de las tecnologías de electro-oxidación (EO) y ozono (O₃) orientada a la reutilización de agua, generando una reducción del gasto de agua de consumo. Se desarrolla la tecnología EOLUTION para aplicarla en el sector industrial de aguas de lavado de fruta y verdura, tratando y desinfectando el agua para reutilizarla como agente higienizante en un bucle cerrado.

EOLUTION incluye una serie de soluciones tecnológicas que permitirán la reducción de más del 30% del consumo energético y el 63% del coste en energía frente a procesos convencionales de EO para el tratamiento de aguas. La minimización del consumo energético se conseguirá mediante: i) un diseño innovador de la celda de EO, ii) sistemas eléctricos de potencia de alta eficiencia (HEPE), iii) un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) unido a sensores *on-line* y a un dispositivo de estimación de parámetros "sensorless".

El concepto de EOLUTION engloba la tecnología innovadora, híbrida, optimizada y versátil de EO&O₃ para el tratamiento y reutilización de aguas junto con las tecnologías de ahorro energético anteriormente mencionadas. Debido a la versatilidad de la tecnología propuesta se podrá seleccionar, previamente en el laboratorio, la combinación óptima de EO&O₃ para cada aplicación, estrategia innovadora y adaptable al tratamiento de desinfección de aguas de diferente procedencia.

Abstract:

The paper will present the EOLUTION project, which aims to develop, demonstrate and validate an innovative and versatile technology for the treatment and disinfection of water, allowing its reuse at low cost and respecting the environment. A hybrid technology of electro-oxidation and ozone (EO&O₃) is proposed for the treatment and disinfection of water, aiming at its reuse in the fruit and vegetable washing cycle, which means a reduction in the water consumption. In EOLUTION, the water is treated and disinfected to be reused as a sanitizing agent in closed loop.

EOLUTION includes a set of technological solutions that will allow the reduction of more than 30% of energy consumption and 63% of the energy costs compared to conventional EO processes for water treatment. The minimization of energy consumption will be achieved through: i) an innovative design of the EO cell, ii) high efficiency electric power systems (HEPE), iii) a Decision Support System (DSS) linked to on-line sensors and a parameter estimation "sensorless" device. With EOLUTION, the optimum combination of EO&O₃ for each application can be selected in the laboratory, an innovative strategy adaptable to the disinfection treatment of waters from different origins.

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas y su escasez constituyen un problema prioritario en materia de medio ambiente, ya que es un bien escaso que se ha utilizado de manera intensiva durante las últimas décadas.

El sistema EOLUTION se introducirá en el **sector del tratamiento de aguas y aguas residuales** para proporcionar una **tecnología innovadora, inteligente, de bajo consumo energético y cercana al mercado, basada en el proceso híbrido de electro-oxidación y ozono para tratamiento y desinfección de agua orientado a su reutilización**. EOLUTION permitirá superar las principales barreras pre-comerciales que suponen un reto para la expansión de la tecnología de EO en el mercado del tratamiento y reutilización de aguas: altos costes de operación derivados del elevado coste eléctrico y el reemplazamiento de electrodos. La tecnología híbrida de EO&O₃, junto con las innovadoras medidas de ahorro energético, supondrán una solución inteligente y sostenible para reutilización de aguas allí donde las tecnologías convencionales no son válidas técnica/económicamente.

En EOLUTION se propone la **combinación simultánea de las tecnologías de electro-oxidación (EO) y ozono (O₃) orientada a la reutilización de agua**, generando, por tanto, una reducción del gasto de agua de consumo. La versatilidad de la tecnología reside en la posibilidad de seleccionar previamente la combinación óptima de EO&O₃ para cada aplicación, resultando una estrategia no sólo innovadora sino a la vez adaptable al tratamiento y desinfección de aguas de diferente procedencia. En este sentido, se estudiará la tecnología de EO&O₃ aplicada en el **sector industrial** para aguas de lavado de fruta y verdura, en la que el agua de lavado se tratará y desinfectará para reutilizarla como agente higienizante en un bucle cerrado.

Con la combinación de EO&O₃ se obtienen efectos sinérgicos que aceleran la velocidad de degradación de materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno, DQO) y de desinfección. Se pretende obtener una eliminación del 99-100% de microorganismos seleccionados, >60% de materia orgánica y >70% de pesticidas. La adición de ozono aumentará la eficiencia del sistema y evitará la posible formación de subproductos de desinfección.

EOLUTION incluye una serie de soluciones tecnológicas que permitirán la reducción de más del **30% del consumo energético y el 63% del coste en energía** frente a procesos convencionales de EO para el tratamiento de aguas. La **minimización del consumo energético** se conseguirá mediante: i) un **diseño innovador de la celda de EO**, ii) **sistemas eléctricos de potencia de alta eficiencia (HEPE)**, iii) un **Sistema de Soporte a la Decisión (DSS)** unido a sensores *on-line* y a un dispositivo de estimación de parámetros "sensorless".

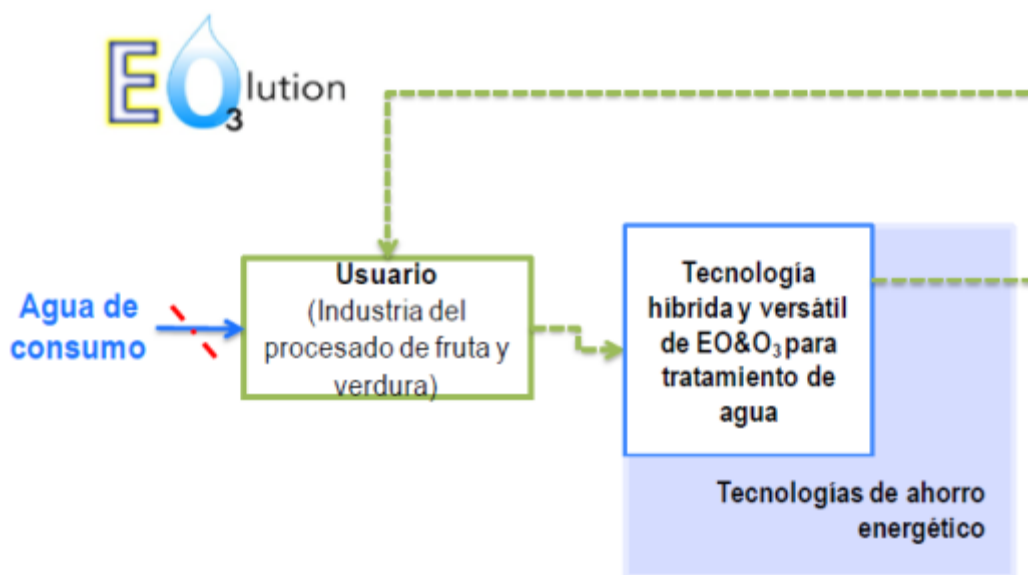


Figura 1. Concepto global de EOLUTION aplicado al sector de lavado de fruta y verdura.

A continuación, se muestran dos gráficas comparativas en las que se ve la estimación de la reducción del consumo y costes eléctricos.

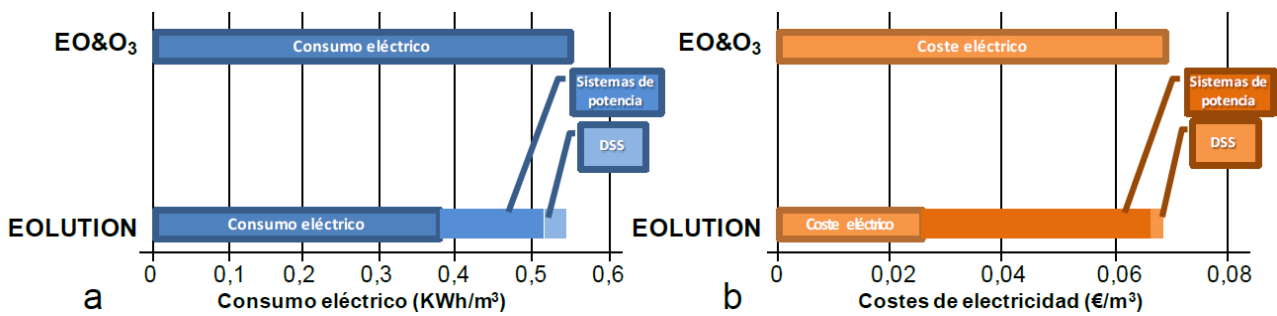


Figura 2. Reducción del consumo a) coste y b) eléctrico de EOLUTION en comparación con EO&O3. [1]

Por otro lado, la figura 3 muestra un esquema sobre la importancia de la tecnología EOLUTION en el concepto de economía circular.

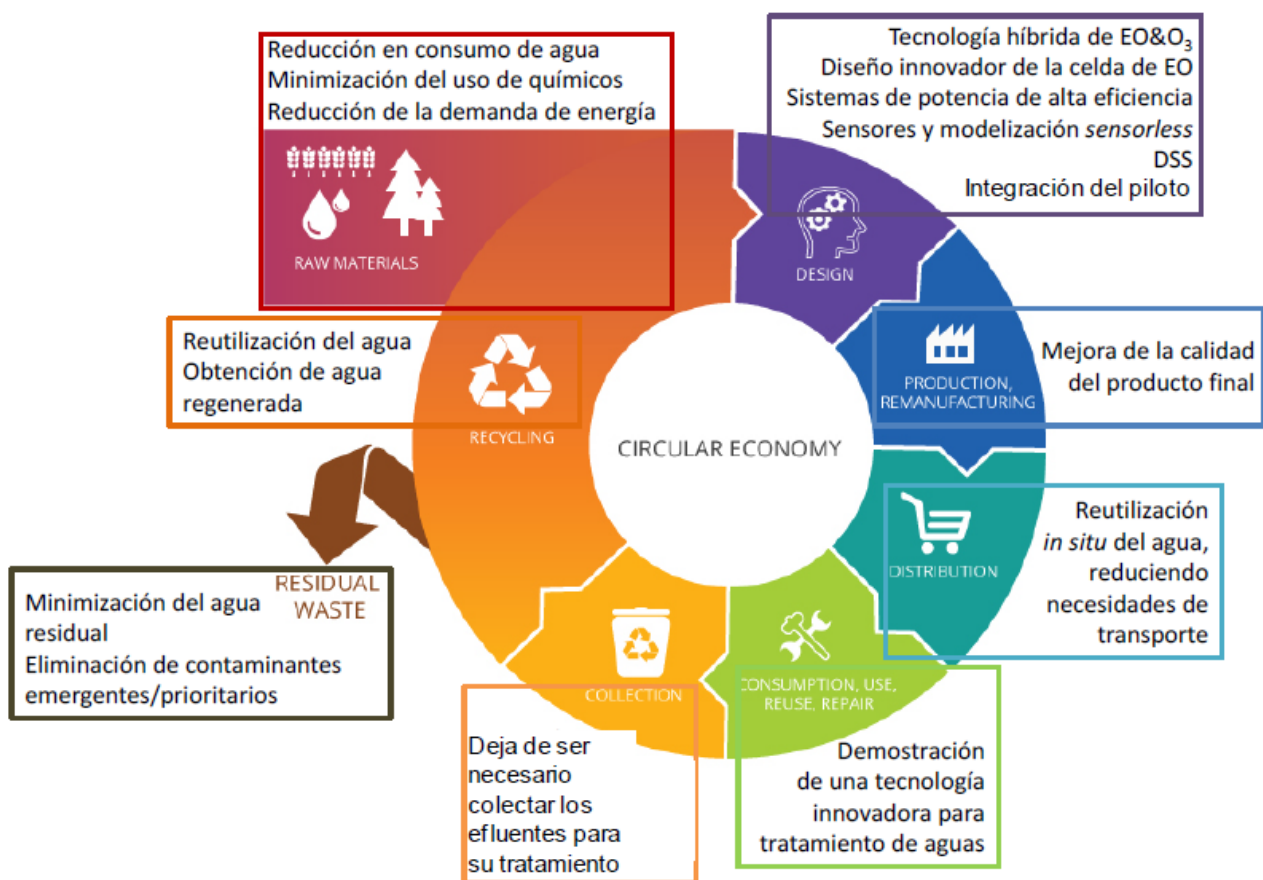


Figura 3. EOLUTION en el concepto de Economía Circular.

1.1 Objetivos del proyecto EOLUTION

A continuación, se describen tanto los objetivos principales como los específicos del proyecto EOLUTION.

1.1.1 Objetivos principales

-Reducción del gasto de agua de consumo a través de su reutilización, dando lugar a una mayor independencia de las actuales fuentes de agua por parte del usuario. Se espera un 40 % de reducción en el consumo de agua en la industria de procesado de fruta y verdura mediante la reutilización del agua en bucles de lavado, reduciendo la adición de agua fresca.

-Reducción del consumo de energía en el tratamiento de aguas, obteniendo una reducción >30 % del consumo eléctrico combinado EO&O₃ (consumo final del tratamiento mediante EO <0,35 kWh/m³, consumo final para el sistema de ozonización <0,12 kWh/m³, consumo final para el sistema de ozonización <0,025 kWh/m³). ^{[2][3][4]}

-Reducción de los costes de operación no eléctricos, es decir, minimización del coste de inversión y reemplazamiento de electrodos y eliminación de tratamientos de afino y de la necesidad de aportar agentes químicos al sistema (ej. hipoclorito, electrolito, etc.).

1.1.2 Objetivos específicos

-Desinfección de aguas con la que se pretende conseguir una eliminación del 99-100 % de la carga microbiana (*Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Pseudomonas sp.*). ^{[5][6][7]}

-Tratamiento de aguas para obtener la calidad deseada del agua residual mediante la aplicación de la estrategia EOLUTION. Se pretende obtener una reducción de carga orgánica >60%, principalmente procedente de la eliminación de compuestos recalcitrantes.

-Eliminación de contaminantes emergentes/prioritarios, >70% en varios compuestos diana (pesticidas). ^{[5][6][7]}

-Diseño innovador de la celda EO para incrementar la eficiencia del proceso.

-Diseño y desarrollo de sistemas electrónicos de alta eficiencia (HEPE) aplicados al tratamiento de aguas.

-Despliegue de un sistema de inteligencia artificial para asistir al análisis de la calidad de agua antes y después del tratamiento.

-Desarrollo de un DSS conectado con el sistema de monitoreo y control para un tratamiento de agua eficiente.

-Minimización del impacto ambiental de EOLUTION mediante la minimización de compuestos clorados, reducción del empleo de reactivos externos y reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

1.2 Principales elementos innovadores

En cuanto a la tecnología EO&O₃ propiamente dicha, presenta ciertas ventajas frente al uso de cada una de las tecnologías por separado.

-Tanto la EO como la ozonización son tecnologías consolidadas, sin embargo, su uso combinado supone un paso adelante con resultados prometedores a escala de laboratorio.

-Con esta técnica se pretenden estudiar materiales alternativos para los electrodos y, de esta manera, poder reducir costes y aumentar su durabilidad.

-Se evitará el empleo de electrolitos clorados y, de esta manera, se minimizará la generación de hipoclorito. Siguiendo en esta línea, también se reemplazarán los desinfectantes clorados entre un 90-100 %, lo que supone la reducción de la generación de subproductos de desinfección (DBP) en el proceso.

-Se reducirá el uso de agua de consumo en un 40 %, en comparación con el gasto actual, debido a la reutilización de agua en los procesos de lavado.

En cuanto al consumo energético de la tecnología EOLUTION, se espera obtener una reducción superior al 30 % del consumo eléctrico del proceso de EO en EOLUTION y una reducción del 7 % del consumo eléctrico de la ozonización en comparación con los tratamientos actuales. ^{[2][3][4]}

También se desarrollarán Sistemas Electrónicos de Alta Eficiencia (HEPE) aplicados al tratamiento de aguas.

-Los sistemas HEPE se implementarán por primera vez para tratamiento de aguas durante el proyecto EOLUTION.

-EOLUTION mejorará la fuente de alimentación de los procesos electroquímicos, pasando de fuentes de alta potencia convencionales e ineficientes a unas fuentes de potencia de altas prestaciones; mejor eficiencia

eléctrica ($\eta > 95\%$), mayor densidad de potencia (menor volumen y peso para mayor potencia de trabajo), mejor calidad de potencia (mitigación del 100% de los consumos reactivos). Todo ello comportará una reducción significativa de los costes eléctricos y de las posibles penalizaciones por consumos reactivos.

En cuanto al desarrollo de sensores & DSS para la mejora de los tratamientos de agua, se puede decir que el desarrollo de un DSS integrado en un sistema de tratamiento de agua, basado no sólo en parámetros medibles sino también en la estimación sensorless (sensores software) para parámetros no medibles on line (o bien cuya monitorización resulta demasiado costosa) es una innovación rompedora que tiene previsto aplicarse a estala piloto.

En resumen, EOLUTION pretende obtener un fluido higienizante a partir de agua usada en el lavado de fruta y verdura, no sólo la desinfección del agua: el agua no sólo se trata, sino que se obtiene un producto de valor que reemplaza el uso de agentes químicos desinfectantes. Esta tecnología se podrá integrar, fácilmente, en el ciclo de lavado dentro de la industria de procesado de fruta y verdura.

EOLUTION empleará especies oxidantes no cloradas electro-generadas in situ como agente desinfectante. De esta manera, se evitan los costes derivados del empleo de agentes como el cloro/hipoclorito (almacenaje, consumo). Aparte de esto, esta tecnología permite la eliminación de pesticidas del agua, pudiendo reutilizar la misma y evitando el vertido de estos contaminantes emergentes/prioritarios.

2 MÉTODOLÓGÍA

2.1 Especificaciones de EOLUTION

El objetivo global de esta primera etapa en el proyecto es establecer la información preliminar requerida para diseñar la estrategia EOLUTION focalizándose en los diferentes casos de estudio y actividades del proyecto: tratamiento de EO&O₃, sistemas electrónicos de potencia, mercado, etc. Para ello, se desarrollan los siguientes puntos:

- Caracterización del agua seleccionada tanto físico-química como microbiológica.
- Conocimiento sobre los tratamientos de agua actuales que se llevan a cabo y cómo encajaría el sistema EOLUTION.
- Inventario de posibles actores relacionados con el campo de acción de EOLUTION, consumidores finales, etc.

Por tanto, se llevarán a cabo diferentes tareas para recoger la información preliminar necesaria para concluir con éxito las siguientes etapas del proyecto. Esto incluye la caracterización físico-química y microbiológica del agua objeto de estudio, el contacto con el usuario final para conocer los actuales tratamientos que se llevan a cabo, así como un estudio preliminar del mercado potencial de EOLUTION que incluya potenciales usuarios de la tecnología.

Para el análisis de las aguas se emplean diversos equipos: analizador COT/NT, conductivímetro, pH-metro, GC/MS, técnicas analíticas para microorganismos y kits de DQO, entre otros.

2.2 Optimización e implementación de la tecnología híbrida EO&O₃ para reutilización de agua

Para lograr una tecnología de EO&O₃ optimizada para el tratamiento del agua objeto de estudio es necesaria la consecución de los siguientes objetivos parciales:

- Optimización de las condiciones de operación, adaptando la tecnología híbrida de EO&O₃ al tipo de agua a tratar. En cuando a las condiciones de operación mencionadas, se pretenden determinar parámetros específicos como son el tiempo de retención en la celda de EO o el mínimo tiempo de dosificación de O₃ necesario para obtener los resultados buscados.
- Estudio de materiales duraderos y eficientes para el tratamiento mediante EO&O₃. En este punto se estudian diversos materiales para conformar los electrodos del tratamiento mediante EO y, de esta manera, determinar con cuales se obtienen mejores rendimientos. Algunos de los materiales que se proponen para el ánodo son el BDD (Diamante Dopado con Boro), el Platino y el Rutenio.

- Diseño del pre-piloto (planta piloto de EO&O₃ sin las tecnologías de ahorro energético) para el tratamiento optimizado del agua seleccionada a una escala semi-industrial (500 L/h), de manera que sea representativo y escalable a tamaño industrial; incluyendo electrodos, reactor, generador de ozono y conexión hidráulica.
- Construcción del pre-piloto de EO&O₃ para el tratamiento optimizado del agua seleccionada, listo para integrar las tecnologías de ahorro energético y la subsecuente instalación en el usuario final.

Se llevarán a cabo ensayos preliminares a escala de laboratorio para adaptar y optimizar la tecnología versátil de EO&O₃ al agua seleccionada, estudiando la influencia de diferentes condiciones de operación (densidad de corriente, disposición de los electrodos, tiempo de tratamiento, etc.) sobre la calidad final del agua obtenida. El análisis del efluente incluirá parámetros físico-químicos, microbiológicos (desinfección) y del efecto sobre la fruta/verdura, con el objetivo de evaluar la viabilidad de EOLUTION para la obtención de agua reutilizada con carácter higienizante para el lavado de fruta y verdura, asegurando la inocuidad del agua sobre los productos finales. También será necesario determinar el material óptimo de los electrodos persiguiendo la máxima eficiencia y durabilidad con el menor coste de inversión posible, con el objetivo de reducir, en la medida de lo posible, los costes de reemplazamiento de los electrodos de la planta EOLUTION. Los resultados obtenidos serán la base del diseño de la planta de EO&O₃, que se construirá también en la presente actividad, la cual culmina con la obtención de un pre-piloto de EO&O₃ para el tratamiento y reutilización eficiente del agua, que se acoplará más adelante con las tecnologías de ahorro energético para su integración en el usuario final.

A continuación, se muestra un esquema de los ensayos:

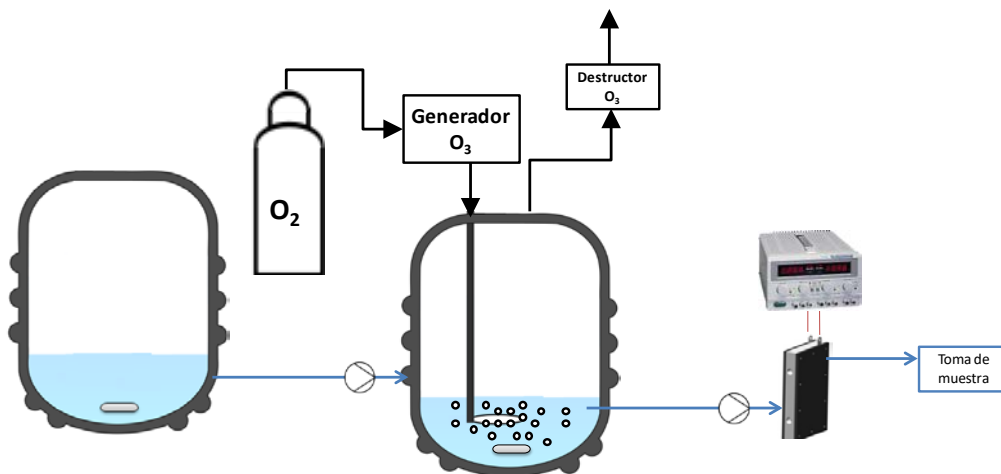


Figura 4. Esquema de ensayos.

Las condiciones óptimas del proceso dependerán de los requerimientos de los usuarios y, para obtenerlas, hay que realizar medidas de microflora total y análisis más exhaustivos, no sólo microbiológicos si no también físico-químicos.

Para obtener estas condiciones se ha llevado a cabo el montaje experimental de la tecnología EO&O₃ a escala de laboratorio. Con este montaje, se han realizado pruebas hidráulicas para comprobar la ausencia de fugas en la celda electroquímica y pruebas de estanqueidad de ozono en el reactor. A continuación, se puede ver el montaje realizado.



Figura 5. Montaje experimental de la tecnología EOLUTION.

Los ensayos a escala de laboratorio se han realizado empleando celdas electroquímicas y otro equipamiento (reactor, bombas, conexionado, etc.). Para la caracterización del agua de entrada y salida, se han empleado también varios equipos analíticos: analizador COT/NT, conductivímetro, pH-metro, GC/MS, técnicas analíticas para microorganismos, kits de DQO, etc.

Para el diseño de la celda electroquímica y el pre-piloto de EO&O₃, se emplea el software CAD de diseño asistido por ordenador.

2.3 Sistemas electrónicos de alta eficiencia, DSS y sensores para el tratamiento de aguas

Se pretenden desarrollar tecnologías de ahorro energético: sistemas electrónicos de alta eficacia (HEPE), sistema de soporte a la decisión (DSS) y sensores, las cuales se integrarán a continuación con el pre-piloto de EO&O₃ construido en una fase anterior. Los objetivos específicos son:

- El desarrollo de una solución óptima de sistemas electrónicos de potencia, diseñada para mantener altos niveles de eficiencia y bajo/nulo consumo de energía reactiva para el proceso de EO, logrando una reducción del 25 % del consumo de energía y del 60 % de los costes de electricidad.
- El diseño de un sistema de control de proceso y reglas de control que minimicen el consumo de energía (3-7 %) y costes requeridos para la implementación y mantenimiento del proceso de EO&O₃.

De acuerdo con las especificaciones definidas al principio, se ha diseñado un sistema electrónico de potencia de topología de modulación de ancho de pulso (PWM) óptima para el proceso de EO, probándose su operación mediante la simulación de las condiciones de carga, dinámica y potencia requeridas. Esta topología se basa en una estructura funcional electrónica dual: i) una función primaria que compense o corrija la fase corriente y mantenga el consumo de potencia reactiva al mínimo y ii) una segunda función que inyecte corriente controlada a la celda de EO. Todo ello deberá hacerse con las mínimas pérdidas posibles, manteniendo a la vez altos niveles de eficiencia. A partir de los resultados simulados, se seleccionará la topología que presente mejores características, funcionalidades y reducción de energía/costes. Esta topología se diseñará e implementará basándose en componentes comerciales disponibles.

Para el diseño del sistema de sensores, se llevará a cabo una matriz de datos MIMO a partir del estudio y caracterización de las aguas tratadas en el proceso, lo que permitirá establecer dependencias y observabilidades multi-paramétricas que se emplearán en el sistema de control. Los sensores software y técnicas *sensorless* se diseñarán e implementarán a partir de los estudios de observabilidad con el objetivo de obtener una estimación a tiempo real de los parámetros no medibles on-line mediante sensores asequibles. Esta estimación de los valores críticos, junto con los parámetros medidos on-line, se utilizarán para general un lazo de control principal para el proceso (DSS), determinando la potencia, tiempo de

tratamiento y energía necesarios para llevar a cabo el tratamiento del agua bajo el menor coste energético posible, manteniendo la eficiencia del proceso.

El desarrollo del sistema de potencia HEPE se basará en semiconductores de SiC de banda ancha, programando los lazos de control en una plataforma de Procesado de Señal Digital (DSP) o Matriz de puertas programable por campo (FPGA). El comportamiento térmico del HEPE se analizará mediante termografía y tests de emisividad EMI.

Los sensores on-line empleados se definirán durante la ejecución del proyecto.

2.4 Integración, demostración y viabilidad de EOLUTION

Se integra el pre-piloto de EO&O₃ con las tecnologías de ahorro energético, obteniéndose la planta piloto de EOLUTION. Una vez instalada en el usuario final, se realizarán tareas de puesta en marcha, llevándose a cabo los reajustes que fueran necesarios para la ejecución adecuada y óptima de la planta, teniendo en cuenta la eficiencia del tratamiento, el consumo energético y los posibles riesgos asociados. De esta forma, se llevará a cabo de manera satisfactoria la demostración y validación de la tecnología EOLUTION para la reutilización de agua en una industria de procesamiento de fruta/verdura. Paralelamente a la fase de demostración, y con el objetivo de asegurar que el sistema desarrollado en EOLUTION puede utilizarse de manera segura y fiable y que se trata de una tecnología viable en térmicos tecno-económicos, se llevará a cabo una evaluación de costes. Para ello, se pondrá especial atención en la evaluación de los retos de pre-comercialización de la solución EOLUTION (consumo eléctrico y de electrodos, generación de DBPs, etc.)

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del sistema de análisis mediante estimación *sensorless* y como medida de apoyo a la fase de demostración y validación, se emplearán métodos de análisis convencional de KWQPs como analizador COT/NT, GC/MS, kits de DQO y laminocultivos (carga microbiana).

3 RESULTADOS

Del proyecto EOLUTION, aun en fase de desarrollo, ya se han obtenido los primeros resultados a nivel de laboratorio.

Para poder diseñar el proceso EO&O₃ correctamente, en primer lugar, se llevó a cabo una caracterización físico-química y microbiológica del agua que se tratará en el proyecto. Una vez que se ha obtenido dicha caracterización, se llevó a cabo la optimización de las condiciones de operación para el tratamiento de las aguas seleccionadas. Para ello, se han desarrollado diferentes ensayos preliminares a escala de laboratorio, pudiendo seleccionar las mejores condiciones de operación para el tratamiento híbrido EO&O₃. En estos ensayos, a nivel de laboratorio, se han estudiado variables como tiempos de operación, separación de electrodos, materiales idóneos para la EO y otros parámetros que intervienen en el proceso. De estos ensayos se han obtenido los siguientes resultados:

-De los diversos materiales estudiados como materiales anódicos, se ha obtenido que con el Rutenio se alcanzan los mejores resultados, en cuanto a desinfección se refiere. Con este material para el ánodo se consigue un menor coste de electrodo y una mayor durabilidad del mismo, en relación al resto de materiales que se plantearon. Por contra, es necesario destacar que, con ese material, no se suelen dar grandes resultados en la mineralización de compuestos orgánicos. En cuanto al material catódico se seleccionó acero inoxidable.

-El tiempo de retención en la celda de EO es otra de las variables clave que necesita optimización. Como resultado a los estudios realizados para esta variable, se ha determinado que para un caudal concreto de unos 7 L/h, 12 segundos de tiempo de retención son suficientes.

-En cuanto a la aplicación de O₃, también se ha buscado la dosificación mínima efectiva para el proceso. Para este caso concreto, a nivel de laboratorio se determinó que, una vez probados diferentes tiempos, con 5 minutos de aplicación se obtienen los resultados buscados.

Una vez obtenidas las condiciones idóneas de funcionamiento para el desarrollo de la propuesta de EO&O₃, se diseña el pre-piloto de la tecnología. En este diseño se incluye la incorporación e integración de las

tecnologías de ahorro energético que se van a desarrollar a lo largo del proyecto. Una vez diseñado el pre-piloto EO&O₃, se llevará a cabo la construcción del mismo.

Por otro lado, también se están desarrollando los sistemas de potencia de alta eficiencia para el tratamiento de agua mediante la tecnología EOLUTION. La selección de la topología de potencia se ha centrado en la minimización de las pérdidas por conducción del sistema y en la mitigación de los consumos reactivos. Para ello, se ha seleccionado y diseñado una topología preliminar que cumple estos dos requisitos mediante el uso de 4 técnicas de alta eficiencia; Corrección del Factor de Potencia, Pasivos de altas prestaciones, Conmutadores de alta frecuencia SiC y Conmutación "soft-switching resonante".

El proyecto EOLUTION se encuentra actualmente en fase de ejecución, por lo que se espera alcanzar resultados relevantes sobre la viabilidad tecno-económica del proceso a lo largo de los próximos meses.

4 CONCLUSIONES

El desarrollo de las tecnologías de ahorro energético permitirá reducir los consumos y costes eléctricos del proceso.

La tecnología EOLUTION, que está en fase de desarrollo del proyecto, tiene una gran importancia debido a las grandes ventajas que presenta la tecnología propuesta. Se pretende poder obtener grandes beneficios como la reducción del consumo de agua en los procesos gracias a la reutilización de la misma; una mejor calidad del producto final; ahorro en los costes; y una minimización del agua residual, evitando también los contaminantes emergentes/prioritarios.

Una vez desarrollada la tecnología EOLUTION, se podrá seleccionar, previamente, a nivel de laboratorio, la combinación óptima de EO&O₃ para cada aplicación, estrategia innovadora y adaptable al tratamiento de desinfección de aguas de diferente procedencia. Por tanto, esta tecnología proporcionará una gran flexibilidad para el tratamiento de los diferentes procesos en los que se quiera implantar.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Precio industria de la electricidad en España para el año 2015: 0,092 €/m³ (Fuente: MINETUR).
- [2] Consumo estimado de EO 0,5 kWh/m³ a partir de resultados previos en laboratorio.
- [3] Consumo estimado de O₃ 0.125 kWh/m³ de acuerdo con H. Cooley, R. Wilkinson. Implications of future water supply sources for energy demands. WaterReuse Research Foundation. Alexandria, VA, 2012. ISBN: 978-1-934183-55-7.
- [4] Consumo estimado de EO&O₃ de 0.57 kWh/m³ (reducción gracias a efectos sinérgicos).
- [5] Goodburn C., Wallace CA., 2013 *Food Control* 32(2), 418-427.
- [6] Wu J., Luan T., Lan C., Lo TWH., 2007 *Food Control* 18(5), 466-472.
- [7] Maldonado MI., Malato S., Perez-Estrada LA., Gernjak W., Oller I., Domenech X., 2006 *J Hazard Mat.* B138, 363–369.