I Congreso Digital de AEDyR – 2021
REF: AedyrDIG21-33

ISBN 978-84-09-27519-9

DESARROLLO DE UN NUEVO MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA ASEGURAR LA CIRCULARIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS DESDE LA EDAR A ENTORNOS INDUSTRIALES "REWACER". /DEVELOPMENT OF A NEW MODEL OF CIRCULAR ECONOMY TO ENSURE THE CIRCULARITY OF REGENERATED WATER FROM EDAR TO INDUSTRIAL ENVIRONMENTS "REWACER".

Autores/Authors: Isabel Tormos (Responsable Proyectos I+D+i / R&D Project Manager, FACSA, itormos@facsa.com), Paloma Torrent (Técnico I+D+i, FACSA, paloma.torrent@facsa.com), Lorena Chacón (Técnico departamento ofertas y estudios, FACSA, lchacon@facsa.com), Alicia Andreu (Senior researcher on water issues, ITC-AICE, alicia.andreu@itc.uji.es), Salome Agudo (Técnico de I+D, ITC-AICE, sagudo@itc.uji.es), Raúl Moliner (Responsable del Área de Comercialización, ITC-AICE, raul.moliner@itc.uji.es), Mª Magdalena Lorente (Reseracher on área of new materials, ITC, magda.lorente@itc.uji.es), Didac Velilla (Responsable de Laboratorio, Estudio Cerámico, dvelilla@estudioceramico.es), José Sanz (Responsable del área de I+D+i, Euroarce (Grupo SAMCA), josesanz@samca.com), José Antonio Mendoza (Profesor Universidad, UPV/ISIRYM, jamendoz@upv.edu.es), Inés Beltrán (Ingeniera municipal, Ayuntamiento de Castellón), Cristóbal Badenes (Director de Servicios Públicos, Infraestructuras y Medio Ambiente, Ayuntamiento de Castellón)

Resumen:

El proyecto REWACER consiste en desarrollar un novedoso modelo de economía circular del agua en la provincia de Castellón que permita abastecer la demanda de agua del sector industrial cerámico (principal sector industrial de uso intensivo de la provincia), con el efluente de las EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales). De esta forma, se quiere evitar que las industrias cerámicas utilicen agua de pozo o acuífero en sus diferentes procesos de producción y que las aguas residuales tratadas sean vertidas a cauce o mar, garantizando su reutilización.

Con el fin de desarrollar un nuevo sistema de regeneración de aguas residuales que permita obtener un agua que cumpla con las especificaciones exigidas por el sector cerámico en sus diferentes procesos de fabricación, se está estudiando a escala laboratorio diferentes tecnologías y configuraciones de modo que permita conocer aquella combinación de tecnologías que genere el agua con mejor calidad. Las diferentes aguas regeneradas obtenidas en laboratorio están siendo testeadas por los socios cerámicos para fabricar: soportes de baldosas de revestimiento poroso (pasta roja y pasta blanca), esmaltes blancos (brillo y mate) y engobes.

Cabe indicar que uno de los puntos novedosos del proyecto, es la fabricación de un carbón activo sostenible a partir de restos de poda que deberá permitir la adsorción de contaminantes similar a la que se obtiene con carbones activos comerciales.

Una vez definido el sistema híbrido de regeneración de aguas, será construido a escala piloto e instalado en una EDAR real con el fin de validar los resultados obtenidos en laboratorio y producir un agua regenerada de forma continua que permita el abastecimiento de los socios cerámicos del proceso.

Abstract:

The REWACER project consists of developing a novel circular water economy model in the province of Castellón that allows supplying the water demand of the ceramic industrial sector (main industrial sector of intensive use in the province), with the effluent from the WWTP (Stations Wastewater Treatment Plants). In this way, the intention is to avoid that the ceramic industries use well or aquifer water in their different production processes and that the treated wastewater is dumped into the riverbed or sea, guaranteeing its reuse.

In order to develop a new wastewater regeneration system that allows obtaining water that meets the specifications demanded by the ceramic sector in its different manufacturing processes, different technologies and configurations are being studied at a laboratory scale in order to know that combination of technologies that generates the best quality water. The different reclaimed waters obtained in the laboratory are being tested by the ceramic partners to manufacture: tile supports with porous coating (red paste and white paste), white enamels (gloss and matte) and engobes.

One of the most important points of the project is the manufacture of a sustainable Activated Carbon from pruning remains that should allow the adsorption of pollutants similar to that obtained with commercial activated carbons.

Once the hybrid water regeneration system has been defined, it will be built on a pilot scale and installed in a real WWTP in order to validate the results obtained in the laboratory and produce a regenerated water continuously that allows the supply of the ceramic partners of the process.

Palabras clave:

Efluente, agua regenerada, industria cerámica, carbón activo, ultrafiltración, nanofiltración

Keywords:

Effluent, reclaimed water, ceramic industry, active carbon, ultrafiltration, nanofiltration

1 INTRODUCCIÓN

El agua regenerada se puede definir como el agua residual depurada sometida a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destine. El uso de este recurso alternativo no sólo reduce la necesidad de captación de agua potable, sino que trae consigo un ahorro económico, energético y ambiental. El agua regenerada juega por tanto un papel fundamental en la implementación, funcionamiento y mantenimiento de estas soluciones basadas en la naturaleza.

Actualmente, cada vez más se investigan nuevos modos de funcionamiento de los procesos con el afán de obtener un resultado que mejore las condiciones medioambientales. Es por esta razón, que se debe de diseñar, planificar, gestionar y mantener este tipo de soluciones basadas en la naturaleza y, en consecuencia, el papel de las empresas es fundamental.

Por este motivo, FACSA, en colaboración con el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC), el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), Estudio Cerámico y la Sociedad Anónima Minero Catalana Aragonesa (SAMCA), y con el respaldo del Ayuntamiento de Castellón de la Plana, ha puesto en marcha una nueva línea de investigación para fomentar la reutilización de los recursos hídricos y promover un modelo de economía circular en la gestión del ciclo integral del agua, que ha sido financiada por la Agència Valenciana de la Innovació.

1.1 Antecedentes

El sector cerámico es realmente importante en España y muy especialmente en la Comunidad Valenciana. España es el segundo productor cerámico del mundo detrás de Italia, y el 99% de esta producción está situada en Castellón, en lo que se llama el triángulo cerámico formado por las poblaciones de Villarreal, Onda y Alcora. En este triángulo se pueden encontrar casi la totalidad de las fábricas cerámicas españolas y todos los servicios que el sector cerámico necesita: materias primas, productos especiales, servicios tercerizados, decoradores, gas, transitorios, etc.

La fabricación de productos cerámicos es un proceso complejo que comporta una serie de procesos que hay que controlar para que el producto final cumpla con los criterios del cliente.

Las baldosas cerámicas son piezas planas de poco espesor constituidas por un soporte de naturaleza arcillosa y porosidad variable y, en la mayoría de los casos, un recubrimiento (esmalte cerámico) de naturaleza esencialmente vítrea.

1.1.1 Sector cerámico

La cerámica es, por su propia naturaleza y su proceso de producción, un material sostenible. Las materias primas que forman las piezas cerámicas provienen de la tierra (la arcilla) que, junto al agua y el fuego de la cocción, componen un producto natural y de alta calidad. La arcilla es una materia prima natural que, por sus propiedades y condiciones, ha estado ligada al desarrollo del hombre, desde el inicio de los tiempos, en su impulso por mejorar las condiciones de vida y confort en su hábitat.

Toda aquella producción de materiales cerámicos destinados al revestimiento de suelos (pavimento) y paredes (revestimiento) se engloba dentro de la industria cerámica. El otro tipo de cerámica existente se denomina cerámica artesanal o loza y consiste en la producción de utensilios cerámicos como pueden ser tazas, platos, bandejas, tejas, tubos, etc.

La principal diferencia entre ambas cerámicas consiste en la forma de producir. El proceso productivo en la cerámica industrial es un proceso en continuo y complejo (en lo referente a la cantidad de variables que interfieren en el resultado final) mientras que en la cerámica de loza suelen ser ciclos discontinuos.

La fabricación de productos cerámicos es un proceso complejo que comporta una serie de procesos que hay que controlar para que el producto final cumpla con los criterios del cliente. Las baldosas cerámicas son

piezas planas de poco espesor constituidas por un soporte de naturaleza arcillosa y porosidad variable y, en la mayoría de los casos, un recubrimiento (esmalte cerámico) de naturaleza esencialmente vítrea. Este concepto abarca una amplia gama de productos que pueden clasificarse bajo diferentes criterios:

- Coloración del soporte. Se pueden encontrar baldosas de cocción roja o blanca, la propia coloración está plenamente relacionada con las materias primas utilizadas. Así, tenemos la pasta roja (utiliza arcillas rojas ricas en óxidos de hierro) y la pasta blanca (utiliza arcillas blancas, refractarias y pobres óxidos de hierro).
- Uso final. Las baldosas cerámicas se utilizan para recubrir paredes (revestimientos cerámicos) y suelos (pavimentos cerámicos).
- Características del proceso de fabricación. La mezcla y trituración de las materias primas que forman el soporte cerámico puede realizarse en presencia o en ausencia de agua: preparación vía húmeda (seguido generalmente de un proceso de secado por atomización de la suspensión resultante) y preparación vía seca, respectivamente.
- Forma de la baldosa. Por su parte, la forma de la baldosa se consigue mediante técnicas de prensado o técnicas de extrusión; también se puede diferenciar entre baldosas esmaltadas y no esmaltadas, en función de las necesidades estéticas y/o técnicas exigidas.
- Esmaltado. El proceso de esmaltado se puede realizar sobre el soporte crudo o sobre el soporte previamente cocido. En el primer caso la pieza se cuece una sola vez (proceso de monococción), y en el segundo dos veces, con la primera se cuece el soporte solo y posteriormente se realiza una segunda cocción de la pieza esmaltada y decorada (proceso de bicocción).

En función del proceso con el que se han conformado y de la cantidad de agua que pueden absorber. Se pueden indicar, principalmente, los siguientes tipos:

- Porosa o Revestimiento. Obtenido por prensado en seco, con alta absorción de agua (11-15%), esmaltado y empleado generalmente para revestimientos de interior.
- Gres esmaltado o Pavimento. Obtenido por prensado en seco, con baja o media-baja absorción de agua (2-6%), empleado generalmente para pavimento de interior.
- Gres Porcelánico o Pavimento. Obtenido generalmente por prensado en seco (en los últimos años algunas empresas lo producen mediante extrusión), con muy baja absorción de agua. El más extendido es el gres porcelánico esmaltado, con una absorción de agua máxima del 0.5%, aunque también puede encontrarse no esmaltado, conocido como porcelánico técnico que presenta una absorción de agua inferior al 0.1%. Presenta, además de la porosidad extremadamente baja, otras muy buenas prestaciones técnicas (excelentes propiedades mecánicas y químicas, gran resistencia a la helada, a los agentes químicos y a los productos de limpieza, buena resistencia a la abrasión y elevado módulo de rotura), por lo que puede ser empleado tanto para pavimentos como revestimientos interiores y exteriores.
- Gres Rústico. Obtenido por extrusión, con absorción de agua de media a alta, puede ser esmaltado y no esmaltado. Se usa principalmente en pavimentos de interior y exterior siempre que se desee obtener un claro ambiente rústico.

Atendiendo al proceso de fabricación de las baldosas, se destacan seis fases que varían según se realice por vía húmeda o vía seca. A continuación, se muestra el proceso de fabricación:

Figura 1: Proceso fabricación en la industria cerámica

1. Preparación de la composición: Una vez elegidas las materias primas a emplear, y determinada la proporción en la que va a intervenir cada una de ellas (formulación), se realiza el pesaje y la dosificación de las mismas. Dichas materias primas son minerales que bien se encuentran en su estado natural o bien han sido sometidos a un tratamiento previo.
2. Fabricación de la pasta blanca atomizada: El material pesado es triturado para garantizar su total homogeneización y obtener una distribución de tamaños de partícula óptima para que las diferentes materias primas interactúen adecuadamente en las etapas posteriores del proceso. Esta homogeneización y trituración puede realizarse en vía seca o vía húmeda**.** En este segundo caso es necesario un posterior secado de la suspensión resultante (barbotina), que se lleva a cabo generalmente mediante un proceso de atomización.
    a. Vía seca: Se suele utilizar en procesos de fabricación de baldosas donde, a priori, los requisitos de estabilidad dimensional del soporte o de calidad de la superficie esmaltada no sean tan exigentes, o donde el coste del proceso vía húmeda resulte inviable.
    b. Vía húmeda: se lleva a cabo en un molino de bolas que trabaja en continuo. En el molino se introducen los sólidos mezclados con un 35% de agua aproximadamente y el aditivo desfloculante que ayuda a mantener aquellos en suspensión y, por tanto, la molturación. El producto molturado en forma de suspensión, habitualmente denominado barbotina.
3. Conformado y secado de la pieza: Con la mezcla de materias primas homogeneizada y en condiciones de humedad determinadas, se da forma al producto mediante procesos de prensado o de extrusión. La pieza obtenida se seca antes de pasar a las etapas posteriores del proceso de fabricación.
4. Esmaltado y decoración: Las baldosas cerámicas pueden ser recubiertas por una o varias capas de esmalte y posteriormente decoradas, bien por necesidades únicamente estéticas, bien para conferirles ciertas propiedades físico-químicas. Este proceso puede realizarse sobre el soporte crudo o sobre el soporte previamente cocido (bizcocho). Dentro del esmaltado destacan tres partes diferenciadas como los engobes, esmaltes y las fritas.
5. Cocción: Las piezas conformadas secas y, en su caso, esmaltadas y decoradas, son introducidas en un horno donde son sometidas a un ciclo térmico a alta temperatura que conduce al producto final deseado.
6. Clasificación y embalaje: La clasificación de las baldosas se realiza al final del proceso de forma automática mediante equipos mecánicos y observación superficial.

1.2 Objetivos

El proyecto REWACER tiene como principal objetivo cubrir la demanda hídrica del sector cerámico con agua regenerada en las estaciones depuradoras de aguas residuales, reduciendo de este modo, el consumo de agua de acuífero y promoviendo el aprovechamiento de residuos. En concreto, se desarrollará un nuevo tratamiento que permita tratar las aguas de salida de una depuradora con el fin de obtener la calidad óptima para su utilización en la industria azulejera.

Con el fin de optimizar la calidad del agua y adaptar sus características a las necesidades de la industria cerámica, FACSA validará la nueva tecnología mediante una planta piloto que se instalará en una de las EDAR que gestiona. El ITC contribuirá con su conocimiento en técnicas avanzadas de membranas para el tratamiento de aguas y sobre metodologías, técnicas de análisis ambiental y del ciclo hidrológico. Por su parte, el ITE fabricará carbón activo aplicable al tratamiento de compuestos orgánicos y las empresas Estudio Cerámico y SAMCA realizarán pruebas a escala real de producción con agua regenerada.

Durante las dos anualidades para la cual está previsto el proyecto, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- Analizar el sector cerámico en la provincia de Castellón y de las EDAR con el fin de diseñar una red de distribución óptima y sostenible de las EDAR a las industrias cerámicas.
- Realizar un balance hídrico representativo y detallado de la industria cerámica y establecer los criterios de demanda de agua en el sector. Así como definir las calidades de agua requeridas para cada uso catastradas con las calidades de los efluentes de las EDAR.
- Realizar las pruebas a escala de laboratorio para la obtención del agua regenerada a partir del agua de las depuradoras y el sistema hibrido de membranas de nano filtración con el CA.
- Definir los criterios técnicos de la demanda de agua de las industrias cerámicas y conductividad del efluente que permita obtener un mapa con todas las industrias cerámicas de la zona para crear la red de abastecimiento a partir de la EDAR seleccionada.
- Desarrollar las tecnologías de tratamientos terciarios acorde a las necesidades técnicas de la demanda identificadas y calidades de los efluentes de las EDAR.
- Validar la calidad del agua regenerada que permita cumplir los requerimientos definidos por el proceso cerámico y garantizar la calidad del producto final a escala piloto validado

2 METODOLOGÍA

El proyecto REWACER se pretende llevar a cabo tras la realización cinco fases consecutivas que se explican a continuación:

La **primera fase** del proyecto parte de un análisis hídrico de las aguas de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales y las calidades de las industrias cerámicas. Para ello, se debe obtener una caracterización en detalle de todas las EDAR con tratamiento secundario ubicadas en la provincia de Castellón, para definir la necesidad de tratamientos terciarios adecuados para la industria de destino. Para tal fin, se ha recogido información de localización, origen del agua, volumen vertido y calidad del agua tratada. Toda esta información se ha introducido en diferentes fichas para finalmente elaborar un Excel que permitió observar las diferencias en funcionamiento de las 115 EDAR de la provincia de Castellón.

En cuanto a la calidad de las aguas de las industrias cerámicas se refiere, se realizó un análisis hídrico en cuanto a consumos de agua para conocerlas calidades requeridas en las diferentes configuraciones de plantas industriales del sector cerámico. Las configuraciones a tener en cuenta fueron las que se presentan a continuación:

- Plantas de atomización: diferenciando plantas de pasta roja y pasta blanca por criterios de calidad.
- Plantas de ciclo completo: atomización y fabricación de baldosas.
- Plantas de fabricación de baldosas: sin etapa de atomización.
- Plantas de tratamiento mecánico: pulido principalmente.

- Plantas de fabricación de fritas y esmaltes
- Plantas de colores cerámicos.

Por último, tras obtener toda la información anteriormente citada, ésta fue integradas en un mapa interactivo, identificando la ubicación de cada industria y EDAR, con su correspondiente ficha técnica.

Tras conocer las EDAR que cumplen con los requisitos, en la **segunda fase** se está trabajando en el desarrollo de las tecnologías de tratamiento que permitan obtener un agua óptima según las necesidades industriales. A partir de las fichas, se estuvo en disposición de seleccionar 3 estaciones depuradoras para llevar a cabo los ensayos a escala laboratorio. Se caracterizaron los efluentes secundarios de estas depuradoras con el fin de establecer las calidades de agua de partida antes del estudio de los tratamientos. Este análisis permitió conocer los parámetros de DQO, SS, turbidez, pH, conductividad, nitrógeno total y fósforo total, proteínas y carbohidratos.

A su vez, también se estudiaron las calidades requeridas por la industria cerámica para identificar las mejores tecnologías disponibles según las necesidades de cada tipología de proceso cerámico.

Una vez conocido esto, se pasó a realizar pruebas a escala de laboratorio con los efluentes secundarios procedentes de las EDAR seleccionadas y con diferentes tipos de membranas. Las de ultrafiltración, permitirían la eliminación de materia orgánica de las aguas y las de nanofiltración, la eliminación de iones y, por tanto, conductividad del agua.

Además, también se quiso comprobar si el uso de carbón activo permitía reducir el ensuciamiento de las membranas de ultrafiltración, al ser utilizado como pre-tratamiento. Para ello, se evaluaron tanto carbones activos comerciales aptos para la exigencia de calidad que se requieren en procesos cerámicos, como carbones activos (CA) sostenibles obtenidos a partir de restos de poda de jardines y que cumplían con las especificaciones competentes frente a los carbones comerciales actuales. Estos carbones activos sostenibles fueron evaluados de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas como son: la distribución granulométrica del material para evaluar el tamaño de partícula, contenido en cenizas, densidad, superficie activa, distribución y tamaño de poros, número de yodo y capacidad de retención frente a los contaminantes emergentes para tener una calidad definida del agua. Se han ensayado dos tipos de CA, C001 y C002, resultando el C001 fue más efectivo, pues con 1000 ppm se logró rebajar la DQO hasta 15-20 mg/L, mientras que empleando el C002 a la misma concentración la DQO apenas se redujo, necesitándose de 5000 ppm para alcanzar 15-20 mg/L de DQO.

Para el sistema híbrido de regeneración de agua, se evaluó el carbón activo junto con membranas planas poliméricas y membranas tubulares cerámicas; obteniendo tanto la calidad de agua conseguida como también el ensuciamiento de las membranas.

Figura 2 : Planta de NF utilizada.

Una vez conocidas las mejores condiciones de trabajo que permiten obtener un agua regenerada de óptima calidad para abastecer a las empresas cerámicas, la **tercera fase** del proyecto permitirá validar el proceso diseñado a escala pre-industrial mediante la implantación y pilotaje de una planta piloto que, tras realizar todas las validaciones necesarias, será implantada en una de las EDAR gestionadas por la empresa FACSA,

Figura 3: Planta piloto REWACER

seleccionando la más acorde a la finalidad del presente proyecto. Las aguas obtenidas, serán ensayadas para la obtención de pasta roja, pasta blanca, engobes y esmaltes.

Esta instalación es un piloto a escala semi-industrial es de filtración tangencial con membranas poliméricas en espiral y membranas cerámicas tubulares. Esta planta piloto de filtración consta de dos partes bien diferenciadas. En primer lugar, se puede encontrar una etapa de pre-tratamiento o parte de ultrafiltración (UF), ésta consta de un módulo donde se pueden colocar hasta siete membranas cerámicas de microfiltración. En este caso se han utilizado 7 membranas cerámicas. La parte de UF es capaz de operar a presiones que oscilan entre 1 y 4 bares.

Sin embargo, el núcleo importante de la planta piloto es la parte de nanofiltración (NF), donde se pueden utilizar simultáneamente tres membranas poliméricas en espiral de tipo 2540 en configuraciones muy diversas (en serie, en paralelo y combinaciones de ambas). Con una capacidad de filtración de más de 10000 litros de agua al día.

Todo el piloto está equipado de instrumentos de medida en línea para la medida de las variables necesarias que permiten el seguimiento en continuo de la filtración, así como de un sistema informático de captación de datos para el registro de dichas variables. La instalación dispone de varios caudalímetros, conductímetros, termómetros, manómetros y medidores de pH, electroválvulas, conectados a un autómata que es el responsable de coordinar todas las partes de la planta piloto para llevar a cabo los diferentes ensayos.

Hasta el momento, sólo se han realizado ensayos con el permeado obtenido tras el tratamiento con membranas de la muestra de agua de la EDAR OBVA. Como agua de referencia se ha tomado el agua que cada empresa suele usar en sus procesos. La muestra de agua se ha nombrado: Permeado NF-270 EDAR OBVA P=8 bar, Factor de Conversión (FC)=50%.

A continuación, tomando como referencia las condiciones de preparación óptimas con el agua de red o de pozo, según la empresa, se ha sustituido esta por el agua regenerada antes mencionada; empleando las condiciones óptimas de preparación obtenidas previamente. Este estudio se ha realizado con ambas composiciones, comparando el uso de agua de red con el uso del agua EDAR OBVA.

Los resultados que se obtengan del pilotaje, en la **cuarta fase** serán escalados a nivel semi-industrial para poder llevar a cabo una producción en continuo de la producción. Se estudiará el espacio disponible en las industrias cerámicas, así como sus instalaciones y procesos de producción para poder definir el acondicionamiento de sus instalaciones.

Definido el acondicionamiento en cada una de las empresas, se realizará la validación de las aguas regeneradas para los procesos cerámicos. Cada empresa cerámica determinará su producto para evaluar el rendimiento y calidad a escala real. Para ello, se realizarán todas las pruebas de calidad necesarias, y se analizarán si las aguas regeneradas pueden afectar al producto final.

Por último, la **quinta fase** del proyecto consistirá en el diseño de la red de abastecimiento a realizar desde cada una de las EDAR hasta las diferentes industrias a abastecer, seleccionando varias zonas de aplicación. Los factores determinantes para el diseño de esta serán la calidad de agua regenerada, la demanda de cada empresa y la proximidad a las estaciones depuradoras de su zona.

3 RESULTADOS

En la primera fase del proyecto, teniendo en cuenta la calidad del efluente del estudio realizado sobre las diferentes Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), así como las empresas cerámicas de la provincia de Castellón, permitió seleccionar las EDAR objeto de estudio a escala laboratorio. Estas EDAR son: Nules-Vilavieja, La Vall d'Uixó, Onda-Betxí-Vilareal-Alquerías. (OBVA).

Además de las EDAR citadas anteriormente, en la actualidad se está realizando la validación del efluente secundario procedente de la EDAR de Castellón de la Plana, con el fin de verificar otras tecnologías de regeneración de aguas depuradas para la reutilización posterior de las mismas.

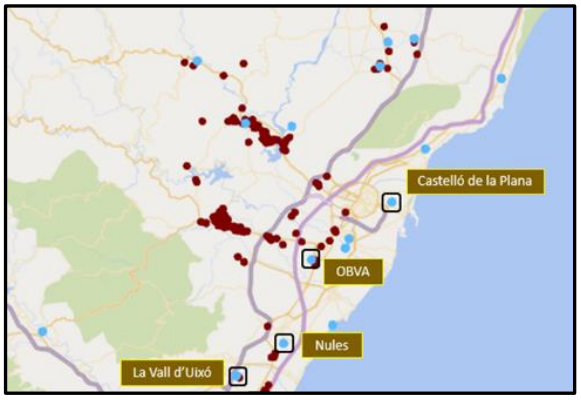

Figura 4 : Ubicación de las EDAR seleccionadas para el estudio descrito anteriormente

Primero se estudió la eficacia del tratamiento utilizando muestra de agua de efluente de la EDAR OBVA con el fin de demostrar si existía una variabilidad de las aguas, y si el nuevo sistema de tratamiento permitía obtener siempre una buena calidad del agua, lo que aseguraría un abastecimiento continuo de agua a las industrias cerámicas. Las muestras fueron tomadas por triplicado, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1 : Resultados analíticos EDAR OBVA con las muestras del efluente.

	Resultado análisis		
Parámetro	**Muestra 1**	**Muestra 2**	**Muestra3**
DQO	20 mg/L	23 mg/L	21 mg/L
SMPp	8 mg/L	7 mg/L	8 mg/L
Conductividad	1,914 mS/cm	1,911 mS/cm	1,913 mS/cm

Tras someter dichas muestras al tratamiento nuevo de regeneración de aguas, los resultados de la caracterización de las muestras fueron los siguientes:

Tabla 2: Resultados caracterización permeado de las muestras EDAR OBVA tras tratamiento regeneración.

Parámetro	Resultado análisis					
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra3	
	Permeado	Rechazo	Permeado	Rechazo	Permeado	Rechazo
DQO	8 mg/L	27 mg/L	10 mg/L	29 mg/L	9 mg/L	28 mg/L
SMPp	2 mg/L	12 mg/L	3 mg/L	14 mg/L	2 mg/L	13 mg/L
Conductividad	1,042 mS/cm	2,560mS/cm	1,025 mS/cm	2,563mS/cm	1,039 mS/cm	2,561mS/cm

En primer lugar, se han analizado los resultados para el estudio de **pasta roja**. A partir del agua procedente de la EDAR OBVA se ha realizado un tratamiento de nanofiltración, utilizando la membrana NF-270, a una presión de 8 bares y un factor de conversión del 50%. El presente apartado detalla los resultados obtenidos del estudio reológico de este permeado, comparado con el agua de origen procedente de la EDAR OBVA. En este caso el estudio se ha realizado tanto con la composición de pavimento de color de cocción rojo (GR) como con la composición de revestimiento de color de cocción rojo (PR), en las condiciones óptimas de preparación desarrolladas en los apartados anteriores (contenido en sólidos y grado de molturación). En este caso, el uso del permeado OBVA en la preparación de las suspensiones cerámicas produce el mismo efecto en ambas composiciones: una disminución de la viscosidad y de la cantidad de desfloculante necesaria para alcanzar el mínimo de viscosidad, siendo el efecto más acusado en las composiciones de pavimento de color de cocción roja (GR).

Tabla 3 : Comportamiento en la desfloculación de las composiciones GR obtenidas con agua de la EDAR OBVA antes y después del tratamiento membranario (nf-270, p=8 bar, fc=50%) (cs=69%, rechazo a 63µm = 2-3%).

Composición	Agua Red	EDAR OBVA	Permeado OBVA
Contenido en sólidos (%)	69	69	69
Contenido en desfloculante (%)	1	1,05	1,05
Viscosidad mínima (cP)	500	500	480
Tixotropía mínima (cP)	675	650	613

Tabla 4 : Comportamiento en la desfloculación de las composiciones GR obtenidas con agua de la EDAR OBVA antes y después del tratamiento membranario (nf-270, p=8 bar, fc=50%). (cs=72%, rechazo a 63µm = 4-5%).

Composición	Agua Red	EDAR OBVA	Permeado OBVA
Contenido en sólidos (%)	72	72	72
Contenido en desfloculante (%)	1	0,95	0,9
Viscosidad mínima (cP)	725	740	563

Tixotropía mínima (cP)	780	875	613

Los resultados obtenidos en la fabricación de productos de **pasta blanca** con el agua regenerada fueron:

Con el control de las aguas se puede comprobar que la conductividad del agua regenerada es de 808 µs, prácticamente el tratamiento ha reducido a la mitad la conductividad, por lo que a priori debería obtener mejores resultados geológicos que el resto. El resto de los parámetros fueron correctos.

En cuanto a la fabricación de engobes y esmaltes, los resultados de las pruebas realizadas desde otra empresa cerámica con el agua regenerada, se realizaron en las mismas condiciones de preparación y aplicación para que no hubiese ninguna variable ni parámetro que afectara al resultado y siempre comparando con el esmalte de referencia y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5 : Resultados de la fabricación de engobes y esmaltes con agua regenerada.

N.º ref.	Engobe	Esmalte	Origen agua	Densidad (g/l)	Viscosidad (s)	Tipo pasta	Observaciones
REG1ENPB3	2001		OVBA	1,83	210	PB50	ok
REG1ENGP3	5001		OVBA	1,81	76	PB50	ok
REG1BLPB3	2001	2010	OVBA	1,8	35	PB50	ok
REG1CRPB3	2001	2023	OVBA	1,8	42	GP18	ok
REG1MATGP3	5001	7015	OVBA	1,75	30	GP18	ok
REG1SATGP3	5001	7076	OVBA	1,75	55	GP18	ok

Los resultados mostraron que no se detectó ningún problema relacionado con la reología de la barbotina, ni con el acabado de las piezas. A nivel de laboratorio, en la realización de las tiras de esmalte no se detectó ninguna incidencia, por lo que solo faltaría realizar las pruebas a escala pre-industrial.

A continuación, se adjuntas las fotografías de las pruebas realizadas, donde se ha esmaltado los engobes con sus respectivos soportes, así como los esmaltes aplicados sobre engobes de producción.

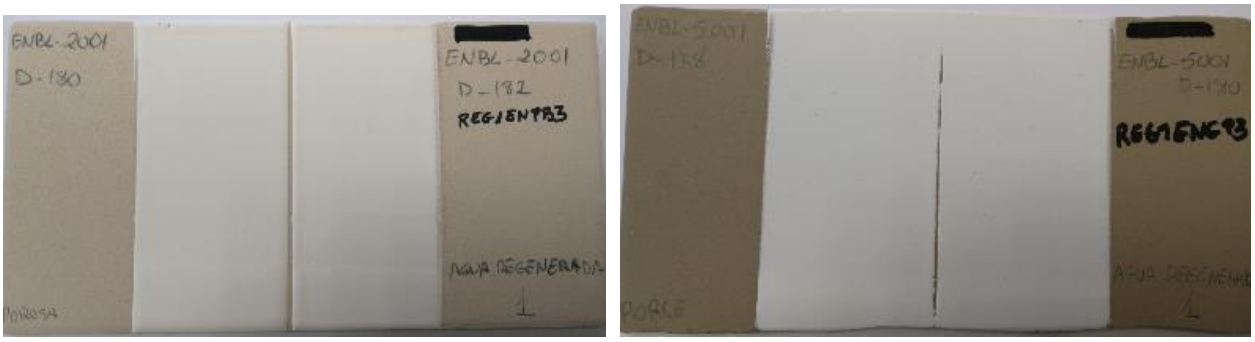

Figura 5: Engobes fabricados con agua regenerada.

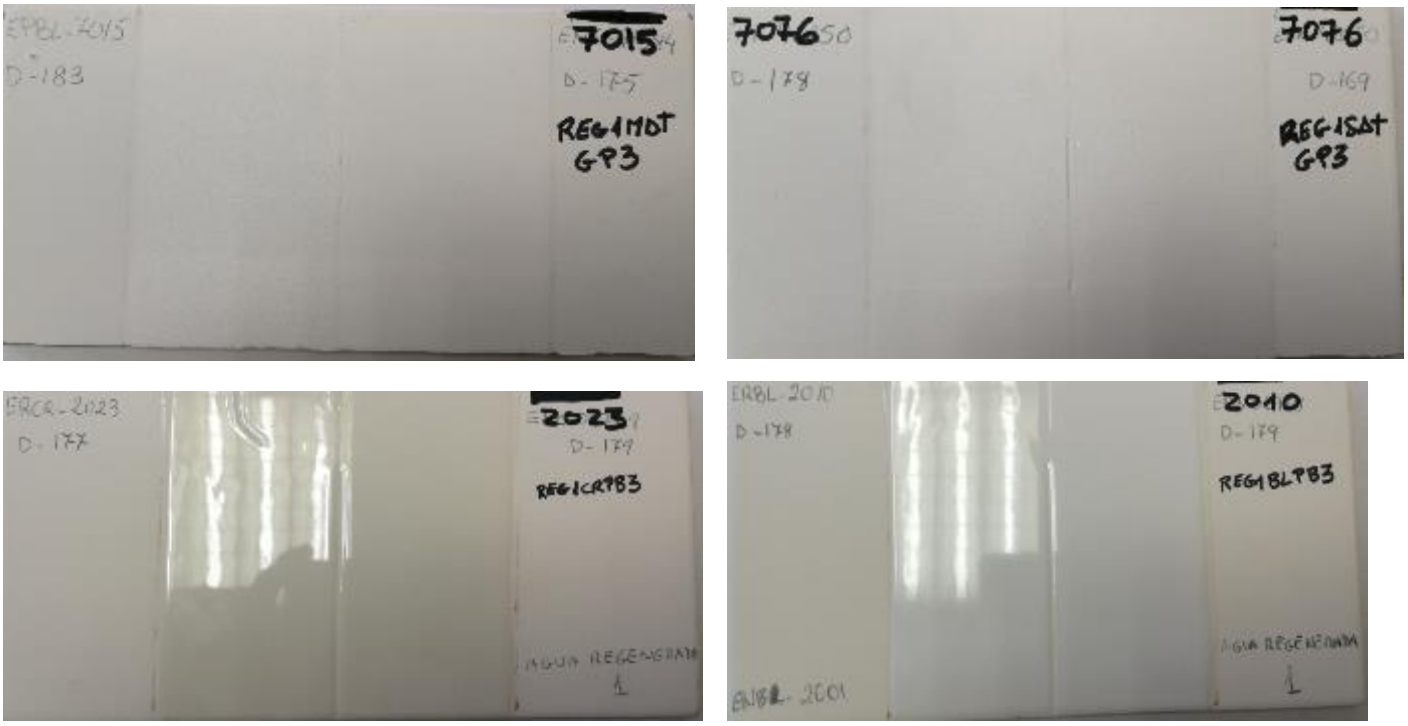

Figura 6: Esmaltes fabricados con agua regenerada.

4 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el estudio realizado sobre las diferentes Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y también de las empresas cerámicas de la provincia de Castellón, las EDAR seleccionadas para el estudio ya que presentan las calidades, recursos hídricos y proximidad para las empresas azulejeras que participan en el proyecto serán Nules-Vilavieja, La Vall d'Uixó, Onda-Betxí-Villareal-Alquerías. (OBVA).

Por otro lado, una vez obtenida la reutilización de aguas residuales tratadas en la industria cerámica se recomiendan los procesos de UF (que puede ir en combinación con adsorción con carbón activo) y NF, siendo este último proceso aplicable cuando se necesite reducir parcialmente el contenido en sales del efluente secundario.

Además, en cuanto a las muestras analizadas se destaca que:

- La DQO de las muestras se debe principalmente a los productos solubles microbianos (carbohidratos y, principalmente, proteínas).
- Los ensayos de UF han concluido que se descarta la membrana de polisulfona y entre las de polisetersulfona apenas se ha encontrado diferencias entre las de 100 y 5 kDa, tanto en la densidad de flujo de permeado como en el rechazo a la materia orgánica. Por ello se recomienda un corte molecular elevado en la UF, ya que si no hay diferencia en el rechazo es seguro que a bajas presiones transmembranales la membrana más abierta ofrezca mayores densidades de flujo de permeado.
- Con efluentes de tan alta calidad la adsorción con carbón activo no es necesaria para mejorar la calidad del efluente. Sin embargo, no se descarta el uso de carbón activo para disminuir a largo plazo el ensuciamiento de las membranas.
- Si se quiere eliminar conductividad, parámetro importante para la fabricación cerámica, la NF es necesaria. La membrana NF 270 ha ofrecido en el ensayo a concentración variable un permeado de menos de 10 mg/L de DQO y una conductividad de 1,042 mS/cm, lo que permite su reutilización en la industria cerámica.

- El tratamiento aconsejado de acuerdo con los ensayos realizados es una UF de 100 o 150 kDa como pretratamiento a la NF, seguida de dicha NF para reducir la conductividad. No se descarta el uso de carbón activo si bien no es necesario cuando la calidad del agua a tratar ya es de por sí muy alta (baja DQO). Por tanto, el sistema híbrido a validar, deberá contener dichos elementos para asegurar un agua regenerada de buena calidad para los procesos cerámicos.

Por último, en cuanto a las primeras las experiencias el agua regenerada, tanto para la pasta blanca como para la roja hubo una disminución de la viscosidad y de la cantidad de desfloculante necesaria para alcanzar el mínimo de viscosidad, siendo el efecto más acusado en las composiciones de pavimento de color de cocción roja (GR). En el caso de los engobes y esmaltes, no se detectó ningún problema relacionado con la reología de la barbotina, ni con el acabado de las piezas. A nivel de laboratorio, en la realización de las tiras de esmalte no se detectó ninguna incidencia, por lo que solo faltaría realizar las pruebas a escala pre-industrial.

5 BIBLIOGRAFÍA

- M. J. Orts; J. E. Enrique;A. Gozalbo; F. Negre. Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. AICE (Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas) - ITCE (Instituto de Tecnología Cerámica). (1991).
- Tecnología de la Fabricación de Azulejos. ATC (Asociación Técnicos Cerámicos).
- M.C Trapote; B. Martinez. Regeneración y reutilización de las aguas residuales. (2012.)
- Illueca-Muñoz, J.; Mendoza-Roca, J.A.; Iborra-Clar, A.; Bes-Piá, A.; Fajardo-Montañana, V.; Martínez-Francisco, F.J.; Bernácer-Bonora, I. Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse. Desalination 222 (2008), pp. 222-229.
- S. Muthukumaran, D.A. Nguyen, K. Baskaran, Performance evaluation of different ultrafiltration membranes for the reclamation and reuse of secondary effluent, Desalination. 279 (2011).