

# VALORIZACIÓN DE RESIDUOS COCIDOS DE BALDOSAS CERÁMICAS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

**José Planelles-Aragó<sup>(1)</sup>, Vicente Lázaro<sup>(1)</sup>, Juan Francisco Noguera<sup>(2)</sup>,  
Marta Pérez-Argilés<sup>(3)</sup>, Blai López-Rius<sup>(3)</sup>, Victoria Pérez-Quiles<sup>(4)</sup> y  
Javier Poveda<sup>(4)</sup>.**

**(1) Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las  
Industrias Cerámicas (AICE) - Universitat Jaume I. Castellón. España.**

**(2) NEOS additives S.L. Castellón. España**

**(3) AIMPLAS – Instituto Tecnológico del Plástico. Valencia. España**

**(4) SAXUN -Giménez Ganga S.L.U. Alicante. España**

## RESUMEN

El presente trabajo aborda la valorización del tiesto cocido de pasta roja como materia prima secundaria en los procesos de fabricación de nuevas baldosas cerámicas, así como agente de refuerzo en matrices poliméricas, tanto termoplásticas como termoestables, con el fin de obtener composites de aplicación en el sector de la construcción. En el texto se describen las operaciones mediante las cuales un residuo que se acumulaba en vertederos se convierte en una materia prima alternativa que contribuye a establecer una economía circular en la industria cerámica, así como una relación de simbiosis industrial en el sector del plástico. Los resultados obtenidos a lo largo de los distintos estudios realizados ponen de manifiesto el potencial del tiesto de cocción roja como materia prima secundaria con el fin de reducir, tanto el impacto medioambiental asociado a la generación de este residuo, así como los costes de fabricación en ambos sectores industriales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las próximas décadas estarán marcadas por cambios sociales y económicos fundamentales, en los que las empresas y organizaciones tendrán (o deberían tener) una contribución fundamental. En este sentido, las empresas desde su propuesta de valor, su organización, así como desde la cadena de valor, deben contribuir al establecimiento de una economía circular y a la consecución de los objetivos marcados para un desarrollo sostenible (ODS). Ambos elementos guardan una estrecha relación ya que, por un lado, los ODS constituyen la hoja de ruta a seguir, mientras que la economía circular representa la herramienta de ejecución para generar un escenario de crecimiento económico y social respetuoso con nuestro planeta.

No obstante, las rutas hacia el paradigma circular están plagadas de numerosos obstáculos, entre los que destacan las barreras culturales que evidencian que una transición de tal magnitud solo podrá producirse si existe una transformación cultural profunda. Esto es así porque en nuestra sociedad está fuertemente arraigado el modelo lineal de producir y consumir que resulta, sin duda alguna, insostenible. A este respecto, surge la simbiosis industrial (SI) como una herramienta estratégica para la transición hacia un sistema económico circular, caracterizado por una eficiencia máxima en la gestión de los recursos, que nos permita extraer todo su valor, y una generación de residuos, emisiones y fugas de energía mínimas. Algo que requiere de enfoques destinados a ralentizar, cerrar y estrechar los bucles descritos por materiales y energía, tales como un diseño duradero u operaciones de mantenimiento, reparación, reacondicionamiento, reutilización y reciclaje, entre otras.

Desde el prisma particular de las empresas, la SI puede contribuir a reducir costes, proporciona oportunidades de crecimiento y consolida la imagen de estas ante sus clientes. Simultáneamente, la SI constituye un valioso aliado para hacer frente a retos comunes tales como el cambio climático o la escasez de recursos, mitigando los efectos de nuestros modos de producción sobre el medioambiente y mediante un aprovechamiento más eficiente y responsable de los recursos naturales. Básicamente, la SI consiste en la utilización, por parte de una empresa o sector, de los recursos de otras empresas o sectores, con el resultado de mantener los recursos en uso productivo durante más tiempo, considerando el término recurso en su sentido más amplio, englobando así subproductos, residuos, energía, agua, logística, capacidades, experiencia, equipos y materiales.

Así pues, el concepto de SI descansa básicamente sobre dos pilares teóricos: la ecología industrial (EI) y la sostenibilidad. En primer lugar, porque asimila el funcionamiento de las industrias al de los ecosistemas naturales, considerando sistemas industriales diversos, resilientes y regenerativos, con un enfoque colectivo para lograr una ventaja competitiva a través del intercambio de recursos entre sus integrantes. En segundo lugar, porque adopta un enfoque sistémico para un desarrollo industrial más sostenible e integrado, desde un punto de vista medioambiental y que, al mismo tiempo, suponga beneficios económicos.

En la industria cerámica, el uso de materias primas secundarias derivadas de los flujos de residuos reduce la dependencia, tanto del precio como de la disponibilidad, de las materias primas vírgenes. Sin embargo, la inyección de corrientes residuales procedentes de otros sectores es una cuestión compleja en la que entran en juego múltiples factores de diversa naturaleza, ya sean técnicos, medioambientales o económicos. Desde un punto de vista técnico, en muchos casos es necesario realizar labores de adaptación que hagan posible la interacción simbiótica o sinergia.

Algunos ejemplos a este respecto serían las operaciones de pretratamiento de las corrientes de residuos, con el fin de eliminar contaminantes, o la adaptación de los procesos de fabricación a materias primas secundarias, con una composición química diferente. Por otro lado, deben también analizarse los efectos de la incorporación de residuos sobre las propiedades del producto acabado, así como el impacto medioambiental asociado al empleo de estas materias primas secundarias y su efecto sobre el equilibrio coste-beneficio.

En este particular contexto se enmarca el proyecto RECERCO (INNEST/2022/133), financiado por la Agencia Valenciana de la Innovación (AVI), centrado en la valorización de tiesto cocido cerámico, es decir, fragmentos procedentes de baldosas cerámicas, principalmente de arcilla roja, que han sido descartadas en la etapa de clasificación por no cumplir con los estándares de calidad de producto final. Así, el objeto del proyecto reside en incorporar este residuo, debidamente tratado, como materia prima secundaria, tanto en la fabricación de nuevas baldosas cerámicas, así como formando parte de compuestos de matriz polimérica de aplicación en el sector de la construcción. Con ello, se pretende reducir la cantidad de estos residuos que actualmente se destinan a vertedero (más de 15.000 t anuales) para su gestión, minimizando los impactos ambientales asociados y la dependencia de determinadas materias primas vírgenes, como es el caso de la arcilla blanca y cargas minerales como el carbonato cálcico o el talco, y además crear nuevos productos de alto valor añadido.

De este modo, un residuo generado en la industria de la Comunidad Valenciana se convierte en materia prima de interés en el sector de la edificación, estableciéndose relaciones de SI, tanto dentro del propio sector cerámico (intrasectorial), así como entre este y el sector del plástico, en el área de la construcción (intersectorial).

## **2. CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE RESIDUAL**

### **2.1. ANÁLISIS SECTORIAL**

La fabricación de baldosas cerámicas en la Unión Europea (UE) genera residuos en diferentes etapas del proceso de producción, con un total estimado de alrededor de 1,4 millones de toneladas por año. Aunque una parte muy importante de estos residuos se reintroduce en el proceso productivo, todavía existe un determinado porcentaje de estos que no se somete a operaciones de reciclado, destinándose a vertedero. Esto se debe a los cambios que su uso ocasionaría en el comportamiento y propiedades finales de las baldosas cerámicas, siendo necesario dedicar esfuerzos de I+D para su adaptación como materias primas secundarias.

Con el objeto de reducir el impacto ambiental derivado del uso de materias primas vírgenes, la industria cerámica ha conseguido reutilizar prácticamente el 100% de los residuos de arcilla antes de la etapa de cocción y, además, ha desarrollado métodos para recuperar gran parte del tiesto cocido. Sin embargo, estos últimos desarrollos se han centrado, casi en exclusividad, en los tiestos de cocción blanca, es decir derivados del uso de arcillas blancas. Esto es una consecuencia de la evolución que ha experimentado el sector, pasando de emplear mayoritariamente arcillas locales de cocción roja a materias primas de cocción blanca, en su mayoría importadas y de mayor valor. De este modo, mientras que en las últimas décadas del siglo pasado la fabricación de baldosas de cocción blanca suponía únicamente el 15% de la producción, en 2021 este porcentaje superó el 70%.

Con respecto a los tiestos de cocción roja, que se abordan en RECERCO, la situación es bien distinta, al proceder de materias primas locales, abundantes y de, al menos hasta hace poco, relativo bajo coste, como son las arcillas locales de coloración roja. Por consiguiente, un volumen elevado de este residuo se deposita en vertederos o se utiliza como carga en productos de un bajo valor añadido, como áridos para hormigones y material de relleno en estabilización de suelos. Sin embargo, la crisis de suministro asociada a la arcilla blanca, procedente en su mayoría de Ucrania (alrededor del 75%) y derivada del conflicto bélico actual, así como la irrupción de la nueva normativa en materia de residuos y economía circular (Ley 7/2022 del 8 de abril), ponen de manifiesto la necesidad de impulsar la valorización del tiesto de cocción roja. Esto, entre otras cosas, supone redefinir este residuo que se acumula en vertederos, como una materia prima secundaria valiosa, tanto dentro de la industria cerámica, como en otros sectores como el del plástico, a través del establecimiento de sinergias entre sectores, en el marco de la SI.

En España, los fabricantes de baldosas cerámicas producen 500 millones de m<sup>2</sup> anuales<sup>1</sup>. Por otra parte, los datos sectoriales señalan que el volumen de tiesto cocido generado en el sector supone alrededor de un 3% con respecto a la producción total en m<sup>2</sup>. Si, además, tenemos en cuenta que la producción de pasta roja representa alrededor de un 30% de la producción total, podemos hacer una estimación del volumen de tiesto de cocción roja generado anualmente en el sector. Para efectuar este cálculo consideraremos los siguientes productos y su proporción englobados dentro de la categoría de pasta roja:

- a) Gres rojo (30%)
- b) Porosa roja (70%)

A partir de los valores de densidad superficial de cada producto 19,7 kg/m<sup>2</sup> (gres rojo) y 16,4 kg/m<sup>2</sup> (porosa roja), obtendremos un valor de densidad superficial ponderado para los productos de pasta roja de 17,5 kg/m<sup>2</sup>. Con todo esto obtenemos un resultado de 78750 toneladas de tiesto rojo producidas anualmente en el sector de pavimentos y revestimientos cerámicos español.



**Figura 1.** Tiesto de cocción roja en la empresa gestora de residuos ECOVILAR S.L. Fuente: ITC-AICE

<sup>1</sup> Asociación española de fabricantes de azulejos y pavimentos cerámicos - ASCER (2022).

## 2.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

En el marco del proyecto RECERCO, se realizó un mapeo de distintas empresas de la provincia de Castellón que se ocupan de la gestión de tiestos de cocción roja procedentes de las empresas de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos. Estas empresas recogen los fragmentos de baldosas y los trituran llevándolos hasta un determinado tamaño de grano, para su posterior comercialización y distribución como áridos. En el presente estudio, se recopilaban muestras de tiesto rojo procedentes de distintas empresas con el fin de observar variaciones en cuanto a la composición química de las mismas. Las muestras se sometieron a fraccionamiento granulométrico empleando tamices, y las fracciones resultantes se llevaron a análisis químico mediante Fluorescencia de rayos X, con el fin de observar discrepancias de composición química entre las fracciones de distintos tamaños de partícula ( $\phi$ ).

Óxidos (%)	$\phi > 4\text{mm}$	$\phi < 125\mu\text{m}$
SiO <sub>2</sub>	66,8	66,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,5	16,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,11	2,95
CaO	4,39	5,11
MgO	1,43	1,62
Na <sub>2</sub> O	1,86	1,84
K <sub>2</sub> O	2,65	2,39
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,63
ZrO <sub>2</sub>	0,18	0,30
BaO	0,07	0,13
PbO	<0,01	0,11
ZnO	0,13	0,29
HfO <sub>2</sub>	<0,01	<0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,14
SrO	0,01	0,02
MnO	0,03	0,03
CuO	<0,01	<0,01
ppc(1000°C)	0,45	1,59

**Tabla 1.** Composición química promedio de las muestras de tiesto rojo fraccionadas.

Los resultados de los análisis de las distintas muestras sugieren que, en líneas generales, no existen diferencias apreciables en cuanto a la composición química de las distintas fracciones de material separadas, lo cual pone de manifiesto la homogeneidad química del material objeto de estudio.

### 3. VALORIZACIÓN DEL RESIDUO

#### 3.1. PRETRATAMIENTO

En SI, se denominan sinergias de sustitución a aquellas que implican la reutilización, por parte de una empresa, de corrientes residuales procedentes de otra. De esta forma, estos residuos, tras las operaciones de valorización permitentes pasan a poder ser utilizados como si de materias primas se tratasen (materias primas secundarias). En base a este esquema, el tiesto rojo que se genera en el sector cerámico deberá someterse a un conjunto de operaciones con el fin de poder modificar sus propiedades y poder incorporarlo nuevamente en el proceso productivo cerámico, así como en la fabricación de materiales plásticos reforzados (composites). Esto consiste, básicamente, en transformar los fragmentos de baldosas en un material en polvo que pueda ser debidamente procesado, tanto en la fabricación de nuevas baldosas, como en la obtención de composites de matriz polimérica, tanto termoplásticos como termoestables.

Los requerimientos asociados a cada una de las aplicaciones estudiadas en el proyecto se resumen en la siguiente tabla:

Aplicación	Requerimientos
<i>Baldosas cerámicas</i>	- Granulometría: 13% rechazo en tamiz de 63 $\mu\text{m}$ (vía húmeda)
<i>Composite – termoplásticos</i>	- Granulometría: d90 1,35-2,30 $\mu\text{m}$ - Dureza: similar al $\text{CaCO}_3$ (3 escala de Mohs) - Color - coordenadas cromáticas L*ab (¿requiere mezclar con pigmentos?) - Humedad (¿exige secado previo?)
<i>Composite – termoestables</i>	- Granulometría: d90 10-15 $\mu\text{m}$

**Tabla 2.** *Requerimientos técnicos de las aplicaciones: composites y cerámica.*

A partir de estas indicaciones el residuo se procesó con el objeto de poder aproximarnos, al máximo, a los valores anteriores, siempre y cuando fuese técnicamente viable. Tal y como se desprende de la información facilitada por las empresas involucradas, la granulometría es un factor crucial en todas las aplicaciones contempladas en el proyecto. Concretamente, el tiesto se procesó con un sistema de micronización en seco de materias primas tales como arcillas, cuarzo, feldespato, fritas, sílice y zirconio entre otras, pudiendo asegurar un bajo consumo de energía en una alta producción para partículas menores a 10 micras. Los resultados del estudio efectuado con el tiesto rojo se muestran a continuación:

Granulometría d90 / $\mu\text{m}$	Producción /kg/h	Consumo energético específico / kWh	Cantidad producida / kg
6.9	10	1702	64
9.6	35	544	225
29.4	119	149	555

**Tabla 3.** Resultados obtenidos en la molienda del tiesto cocido.

Como era de esperar, cuanto menor es el tamaño de partícula que deseamos alcanzar, menor es la producción del molino y requiere de un mayor consumo energético. Con respecto al resto de requerimientos, tal y como se desprende de la Tabla 2, la aplicación en termoplásticos es especialmente restrictiva en cuanto a granulometría y dureza. Por todo esto, es necesario alcanzar un compromiso entre los parámetros que demanda la aplicación en termoplásticos y la viabilidad técnica y económica de la valorización del residuo.

### 3.2. APLICACIÓN 1: FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

La introducción del tiesto cocido como materia prima secundaria en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas requiere de una reformulación de la composición de la baldosa y, por consiguiente, del estudio del efecto que tiene la presencia de esta nueva materia prima en las diferentes etapas del proceso de fabricación cerámico (prensado, secado y cocción) y sobre las propiedades finales de los soportes cerámicos.

A continuación, se resumen las principales conclusiones alcanzadas en este estudio:

- En el marco de este proyecto, se ensayaron porcentajes diferentes de tiesto (0 -40%) que se mezclaron con arcilla roja. Además, se partió de material de dos granulometrías diferentes, concretamente d90 29,4 y 9,6  $\mu\text{m}$ .
- Durante la etapa de prensado, la compacidad del soporte cerámico (densidad aparente) disminuye de forma proporcional al porcentaje de tiesto introducido. Esta pérdida de densidad aparente es mayor al introducir la fracción más fina de tiesto debido a un peor empaquetamiento de este con las partículas de arcilla. Este comportamiento se repite también cuando se mide la resistencia mecánica del soporte.
- En cambio, tras la etapa de cocción, la densidad aparente del soporte cocido aumenta con el porcentaje de tiesto introducido. Esto se debe a un menor contenido en carbonatos en el soporte derivado del reemplazo de arcilla por tiesto en la composición cerámica. Estos carbonatos ralentizan la sinterización y esto hace que los soportes densifiquen más a una misma temperatura. Como era de esperar, los valores más altos de densidad se alcanzan con la fracción más gruesa de tiesto puesto que ya se partía en crudo de un valor más alto.

- Con el objeto de maximizar el porcentaje de tiesto introducido y mejorar la plasticidad de las composiciones cerámicas, se estudió la adición de pequeños porcentajes de diversos plastificantes (polisacáridos, poliacrilamidas y glicoles). Los resultados obtenidos indican claramente que pequeños porcentajes de glicoles (2,5-5%) mejoran considerablemente la densidad aparente del soporte en la etapa de prensado y permiten trabajar con el porcentaje más alto de tiesto (40%).



**Figura 2.** Soportes cerámicos fabricados incorporando un 40% de tiesto en la composición  
Fuente: ITC-AICE

Estos resultados permiten diseñar nuevas composiciones cerámicas que requieran de una menor temperatura de cocción y que, por consiguiente, tengan asociado un menor consumo energético y de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, además de un menor coste de fabricación, tal y como se evaluará en la segunda fase del proyecto.

### 3.3. APLICACIÓN 2: FABRICACIÓN DE COMPOSITES

La introducción de tiesto cocido como elemento de refuerzo de matrices poliméricas, tanto termoplásticas como termoestables, requiere de un pretratamiento del tiesto con el fin de ajustar sus propiedades a las habituales de los materiales que se emplean para tal fin. Tras las operaciones realizadas las propiedades finales obtenidas fueron las siguientes:

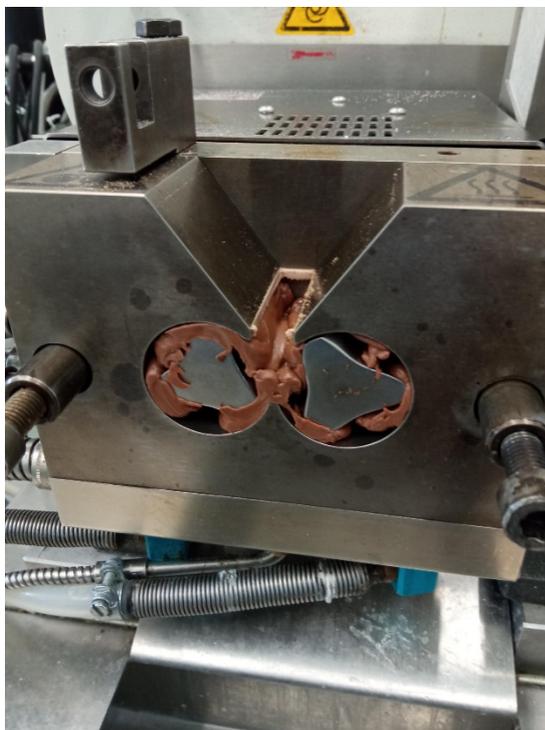
<b>Granulometría</b> d90 / μm	<b>Humedad</b> / %	<b>Color / (L*, a, b)</b>	<b>Dureza / escala</b> <b>Mohs</b>
6.9 y 9.6	0,45	(65.1, 14.4, 21.0)	6-7

**Tabla 4.** Propiedades del tiesto cocido para ser empleado como material de refuerzo en matrices poliméricas.

En el marco del proyecto, se estudia la incorporación del tiesto cocido como agente de refuerzo en perfilería de persianas de PVC (termoplásticos). Por otro lado, también se desarrollan nuevas formulaciones de *gel coat* y *top coat* que maximicen la incorporación del residuo de tiestos cocidos en el sector de construcción para su aplicación en mobiliario urbano y depósitos (termoestables). En todos los casos, al tratarse de aplicaciones de exterior, las formulaciones deben ser adaptadas con el fin de obtener buenos grados de resistencia al envejecimiento frente a condiciones de climatológicas, es decir, temperatura, radiación UV y humedad.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos hasta la fecha en la formulación de composiciones de PVC.

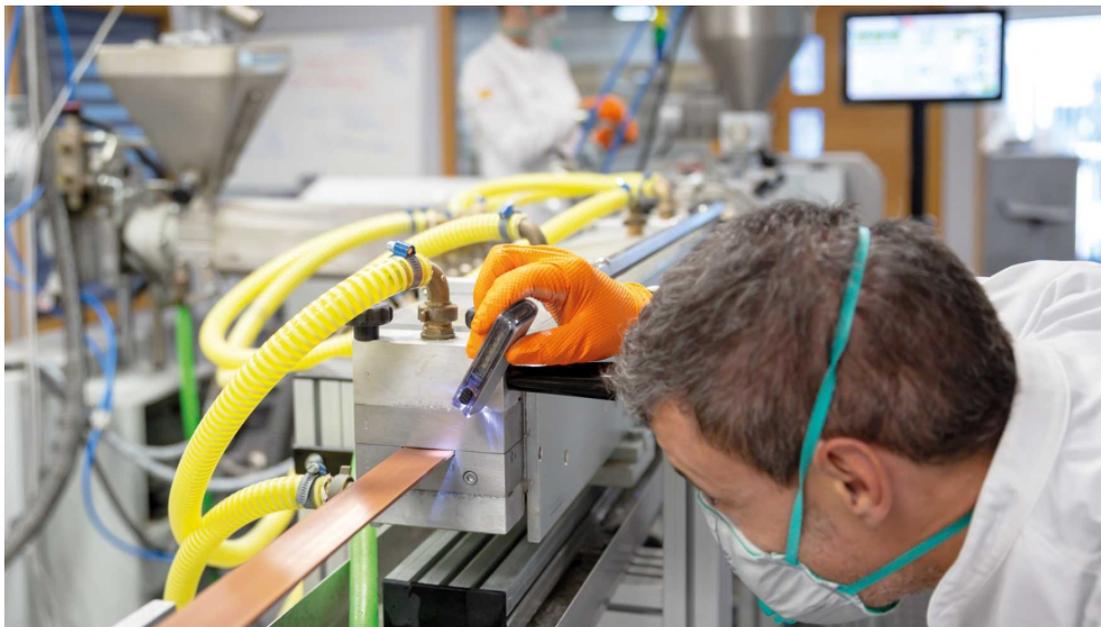
- El estudio se centró en reemplazar, completamente (36 *phr*, *parts per hundred resin*), el carbonato cálcico empleado en este tipo de formulaciones por tiesto cocido con una granulometría de 6.9  $\mu\text{m}$ , lo más próxima posible a la del carbonato. Así pues, el cambio de carga mineral no ocasionó modificaciones significativas ni en la reología, ni en el grado de mezcla con la resina, ni en el comportamiento en extrusión.



**Figura 3.** Preparación de composiciones de PVC que incorporan tiesto rojo como carga mineral. (Fuente: AIMPLAS)

- Los resultados de los ensayos de flexión, dureza y tracción de la nueva formulación de PVC indican que estas propiedades mecánicas no varían significativamente con el reemplazo de carga mineral. Sin embargo, se observa una disminución en la resistencia al impacto.
- La resistencia térmica de la nueva formulación se estudió a partir de la medida de la temperatura de reblandecimiento de Vicat. Los resultados indican que el reemplazo de carbonato cálcico por tiesto no modifica este parámetro.

- Finalmente, tras someter la nueva composición a envejecimiento acelerado, con el fin de evaluar su idoneidad para aplicaciones de exterior, se observa una degradación de las propiedades mecánicas mucho más lenta y gradual en el caso de emplear tiesto como carga mineral.



**Figura 4.** Obtención de perfiles de PVC incorporando tiesto de cocción roja como carga mineral. (Fuente: SAXUN-Giménez-Ganga)

Por todo lo anterior, los resultados obtenidos en matrices de PVC son prometedores y abren la vía para el diseño de nuevas composiciones con propiedades mejoradas para aplicaciones de exterior.

#### 4. CONCLUSIONES

A lo largo del texto se han ido mostrando los distintos resultados obtenidos hasta la fecha en el proyecto RECERCO. Así, se ha mostrado como el tiesto cocido de pasta roja puede emplearse como materia prima secundaria, tanto en la fabricación de baldosas cerámicas, así como en la obtención de perfiles de persianas de PVC. En ambos casos los resultados son prometedores y contribuyen a la viabilidad técnica de esta sinergia que, además de contribuir a lograr la condición de residuo cero en la industria cerámica, conecta a esta con el sector del plástico a través de la simbiosis industrial. Con esto, la industria cerámica elimina un residuo que tradicionalmente acababa en vertedero y que, tras las operaciones de valorización oportunas, se transforma en una materia prima alternativa al carbonato cálcico en la fabricación de compuestos de PVC reforzados.