

## **NEXT-CER. INDUSTRIALIZACIÓN DE SISTEMAS CERÁMICOS ESTRUCTURALES DE ALTO RENDIMIENTO TÉRMICO Y GEOMETRÍA OPTIMIZADA**

***R. Díaz Rubio, M. Millanes Sánchez, C. Peces Martín, C. Chirico Rodríguez***

NOTIO - Centro Tecnológico de Actividades de la Construcción, Toledo, España

### **RESUMEN**

La descarbonización del sector de la edificación exige una reingeniería de los materiales tradicionales. La cerámica estructural, históricamente relegada en la construcción contemporánea por la complejidad de ejecución y los puentes térmicos de los sistemas convencionales, requiere una evolución disruptiva para recuperar su competitividad y afrontar los retos contemporáneos del sector mediante estrategias de industrialización y criterios bioclimáticos.

El objetivo principal de la investigación llevada a cabo es generar materiales y soluciones capaces de reducir el consumo energético del edificio durante todo su ciclo de vida, al tiempo que se incrementa la competitividad del sector de la cerámica estructural mediante productos que sean técnica, ambiental y económicamente viables.

El póster expone los resultados del proyecto NEXT-CER, una iniciativa de I+D orientada a la creación de un sistema constructivo integral que fusiona la capacidad portante de la fábrica tradicional con la eficiencia de la industrialización y la excelencia térmica de los bloques aligerados de última generación.

La metodología empleada combina el análisis de los problemas detectados en los sistemas convencionales con la exploración de los avances recientes en la fabricación de elementos cerámicos. Este proceso incluye el estudio de soluciones tradicionales y contemporáneas, identificando sus limitaciones con el objetivo de establecer los criterios que sientan las bases del nuevo desarrollo. Los aspectos considerados en esta propuesta incluyen la recuperación de la capacidad portante del muro, la eliminación de puentes térmicos, la simplificación del montaje y la adecuación a procesos industrializados. A partir de estos requisitos, se desarrolla un ejercicio de diseño centrado en la geometría y la proporción de la pieza, así como el comportamiento térmico y mecánico del material cerámico. Todo esto orientado al desarrollo de un sistema constructivo que integre en un único elemento las distintas capas que habitualmente componen las fachadas.

El resultado de este proceso es un sistema constructivo innovador basado en una pieza cerámica de gran formato que combina la apariencia del ladrillo tradicional con las prestaciones de los bloques aligerados contemporáneos. La pieza integra en un solo elemento las funciones de sustento y cerramiento, recuperando así la lógica constructiva histórica, pero incorporando soluciones que mejoran su rendimiento. El elemento se configura como un ladrillo aligerado de acabado visto, con doble capa aislante en su interior. Además, sus dimensiones están optimizadas para facilitar el montaje y la industrialización, y la simetría bidireccional de las piezas contribuye a agilizar la ejecución y

minimizar errores en obra. El interior de la pieza está diseñado para reducir la conductividad del aire y asegurar la rotura del puente térmico en las llagas. La rectificación de sus caras permite el uso de juntas finas, lo que elimina los puentes térmicos en los tendeles. Además, el sistema se completa con dos piezas especiales para facilitar encuentros precisos y garantizar la continuidad del cerramiento, evitando interrupciones.

En conclusión, la propuesta demuestra que es posible unir tradición y tecnología para generar un sistema cerámico que simplifica el proceso constructivo, mejora el comportamiento térmico y estructural de la envolvente y avanza hacia modelos más sostenibles.

**PALABRAS CLAVE:** innovación cerámica, sistemas constructivos, optimización energética, cerámica estructural, industrialización constructiva.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción se encuentra en un punto de inflexión donde la sostenibilidad económica, social y ambiental es imperativa. La obsolescencia del modelo de economía lineal, junto con las estrictas normativas y directivas europeas, exige una transformación radical en los procesos industriales. En este contexto, la transición hacia estrategias circulares no solo responde a la crisis climática, sino que actúa como motor de innovación capaz de optimizar los tiempos de ejecución y la eficiencia operativa, convirtiendo las exigencias normativas en ventajas competitivas para el sector [1].

A la presión regulatoria se suma la creciente escasez de mano de obra cualificada, lo que obliga al sector a evolucionar hacia sistemas constructivos tecnificados [2]. En este escenario, el uso de formatos preensamblados de gran dimensión, optimizados bajo estándares de alta eficiencia energética, emerge como una solución eficaz. Estos sistemas no solo agilizan los plazos de ejecución sin mermar la calidad técnica, sino que garantizan una mayor precisión geométrica, minimizan la generación de residuos en obra y reducen significativamente la huella ambiental respecto a los métodos tradicionales.

Bajo estas premisas se articula NEXT-CER, un proyecto de I+D diseñado para aportar soluciones tangibles a las problemáticas actuales del sector. El objetivo central de NEXT-CER es el diseño de un sistema de fachada eficiente y sostenible que revalorice e impulse la industria de los materiales cerámicos. Para ello, la investigación aborda el desafío desde cuatro ejes transversales: el sistema constructivo, la pieza, la fabricación y la sostenibilidad como hilo conductor.

A lo largo de la historia, la industria del ladrillo ha demostrado una notable resiliencia, evolucionando mediante la optimización de procesos y el desarrollo de soluciones de alta eficiencia, en respuesta a las demandas del mercado y el marco normativo. Esta transformación identifica hitos críticos, como la estandarización del "ladrillo métrico" en 1942 [3], que marcó la transición de la manufactura artesanal a la producción sistémica. Más adelante, la introducción de grandes formatos y bloques aligerados machihembrados [4] supuso un avance cualitativo, optimizando tanto el rendimiento en la puesta en obra como las prestaciones térmicas de los cerramientos contemporáneos.

En la actualidad, la innovación se encamina hacia la industrialización total, donde el material cerámico se integra en sistemas complejos. Las líneas de investigación se centran en la mejora de la sostenibilidad del proceso edificatorio, abordando aspectos como la eficiencia energética, el uso

racional de recursos y la descarbonización. Se priorizan sistemas constructivos en seco y de montaje rápido, que reducen la necesidad de mano de obra y el impacto ambiental en obra [5]. Asimismo, se orientan al desarrollo de soluciones con alta inercia térmica, mejor aislamiento acústico, mayor resistencia mecánica y durabilidad extendida [6]. Se fomenta también el empleo de materiales locales o de bajo impacto ambiental y estrategias para minimizar el uso de materias primas y la generación de residuos [7].

Identificadas las necesidades del sector, el nuevo sistema constructivo se diseña para restituir la capacidad portante a la envolvente, eliminar puentes térmicos y simplificar los procesos mediante la industrialización. La solución técnica propuesta hibrida las ventajas de los modelos analizados: integra la sencillez de los sistemas tradicionales y el reducido espesor del ladrillo visto ventilado con la eficiencia térmica y competitividad de los bloques de arcilla aligerada. De este modo, se capitalizan las prestaciones de los bloques cerámicos de una sola hoja, pero recuperando la estética y proporciones del ladrillo convencional.

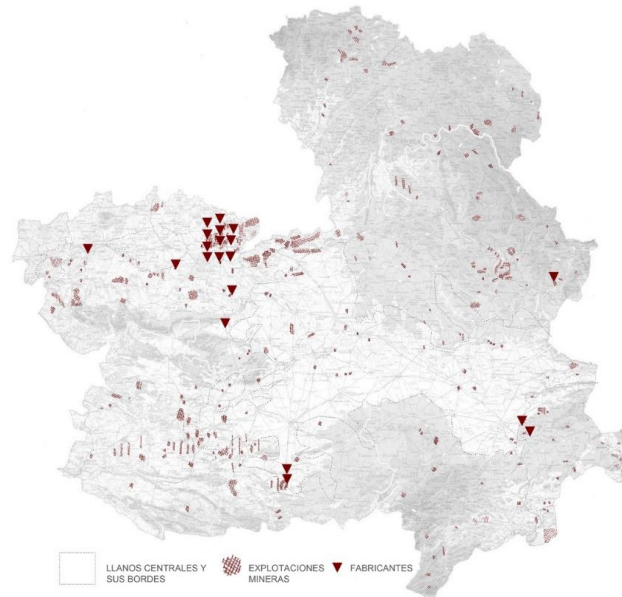
## **2. DESARROLLO / METODOLOGÍA**

La metodología aplicada en el presente proyecto se articula a través de cinco actividades teórico-prácticas interconectadas, diseñadas para transformar el análisis histórico y técnico en una solución constructiva real y transferible al mercado.

### **2.1. Análisis del estado de la cuestión y generación de base de datos**

El proyecto comienza con una investigación multidisciplinar sobre la cerámica estructural en Castilla-La Mancha. La labor culmina en una base de datos estructurada que sistematiza el conocimiento y permite establecer vínculos directos entre el potencial de los recursos locales y los nuevos modelos de construcción sostenible, sentando las bases para el desarrollo de las nuevas soluciones portantes.

En el ámbito de los recursos materiales, se realiza una clasificación exhaustiva de las arcillas industriales de la región. El estudio presta especial atención a las arcillas terciarias de la cuenca del Tajo, debido a sus propiedades de plasticidad y resistencia mecánica. Respecto a la evolución industrial, el análisis rastrea la trayectoria histórica del sector hasta el panorama contemporáneo. La Figura 1 refleja que la región mantiene el liderazgo nacional de la producción de cerámica estructural. El estudio de los sistemas constructivos caracteriza las técnicas vernáculas regionales, como el aparejo toledano o el mudéjar. En estos sistemas, el ladrillo trasciende su función de cerramiento para actuar como un elemento esencial de identidad y durabilidad.



**Figura 1.** Localización de empresas fabricantes de cerámica estructural de CLM. **Fuente:** Proyecto NEXT-CER.

## 2.2. Identificación de tendencias y análisis comparativo

El estudio comparativo se desarrolla entre la evolución nacional y las tendencias internacionales, identificándose un desfase histórico en la industrialización. Mientras Europa avanzaba hacia la prefabricación, España mantuvo procesos artesanales hasta la segunda mitad del siglo XX.

El análisis técnico de cerramientos realizado en esta fase de trabajo (Tabla 1) revela que los sistemas multicapa han mejorado la eficiencia térmica, pero han incrementado la complejidad y el coste. Se concluye que existe una pérdida de prestaciones originales del ladrillo, relegado a menudo a un papel meramente estético.

**Tabla 1.** Comparativa sistemas constructivos de fachada

Sistema constructivo	Nº de elementos	Espesor (mm)	Trasmittancia (W/ m <sup>2</sup> ·K)	Costes (€/m <sup>2</sup> )	Peso (KN/m)
Termoarquilla y aislamiento por el exterior.	6	390	0.39	122.8	9.6
Ladrillo visto y cámara de aire ventilada	7	325	0.44	142.42	11.5
Aplacado cerámico y cámara de aire ventilada	5	350	0.42	169.94	7.9
Dos hojas trabadas	3	410	0.19	144.53	12.5

## 2.3. Diseño, fabricación y validación de prototipos

El diseño se orienta al desarrollo de un sistema de fachada de ladrillo visto portante que integra estructura, aislamiento y acabado en una sola hoja. Tras evaluar diversas configuraciones, se

selecciona una pieza optimizada de 500x245x90 mm y peso reducido, cuya geometría interna minimiza la conductividad del aire y permite alojar material aislante para eliminar puentes térmicos. El prototipo incorpora un sistema de machihembrado bidireccional, que facilita el montaje y minimiza errores en obra, completándose con piezas especiales para resolver puntos singulares. Esta fase se vincula a una validación experimental que comienza con fabricación aditiva para ajustar parámetros dimensionales y geométricos. Posteriormente, el proceso se traslada a una planta piloto para la fabricación por extrusión con moldes de precisión, utilizando arcillas locales para asegurar la idoneidad del material regional y una mayor probabilidad de escalabilidad. El sistema se somete a una campaña de ensayos físicos y mecánicos bajo los estándares normativos para validar su viabilidad técnica como cerramiento estructural contemporáneo.

Finalmente, los resultados han sido transferidos al sector mediante la edición de un catálogo de nuevas piezas cerámicas para la modernización tecnológica de la industria regional.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto NEXT-CER ha logrado, como resultado global, la definición y validación de nuevos y disruptivos sistemas constructivos cerámicos para fachadas, de alto valor añadido, alineando las necesidades del sector con las tendencias arquitectónicas más vanguardistas y los rigurosos estándares de calidad actuales.

#### 3.1. Propiedades geométricas y prestaciones del nuevo sistema constructivo

El proceso de diseño comprende el desarrollo y la evaluación de distintas configuraciones de piezas cerámicas que evolucionan progresivamente hacia soluciones optimizadas en peso, dimensiones y comportamiento térmico. El análisis sistemático de cada modelo permite perfeccionar parámetros críticos como la geometría de los huecos, el sistema de machihembrado, la integración del aislamiento y la compatibilidad técnica con los procesos de fabricación industrial existentes.

Así, el proceso de optimización geométrica se desarrolló en dos fases iterativas complementarias. En primer lugar, se desarrollaron y evaluaron nueve de piezas cerámicas, progresando desde propuestas de gran volumen hacia soluciones equilibradas en peso, dimensiones, comportamiento térmico y viabilidad industrial (Modelo 1: 330x190x250 mm, 19,8 kg → Modelo 9: 500x245x90 mm, 8,3 kg). En segundo lugar, la caracterización térmica de cada geometría candidata se realizó mediante análisis de Elementos Finitos con el software ANSYS, con una malla de 30.585 elementos y un salto térmico de 20°C, que permitió obtener los flujos de calor por sección y calcular la transmitancia U resultante para cada configuración de arcilla estudiada ( $\lambda$  entre 0,40 y 0,60 W/mK). La fase de fabricación aditiva permitió validar la viabilidad física de estas geometrías complejas antes de su producción en planta piloto.

El modelo final (Figura 2(a)) ha sido seleccionado por su mayor viabilidad técnica y potencial de aplicación. La solución se define sintéticamente como un ladrillo aligerado de acabado visto que incorpora una doble capa aislante y contribuye a la rotura del puente térmico del aparejo. Para la rotura de puente térmico y la mejora de la transmitancia del sistema, se ha integrado en las celdillas lana de roca como material aislante, cuya conductividad térmica fue considerada en el estudio de elementos finitos para la caracterización del sistema. Este material se selecciona por su baja

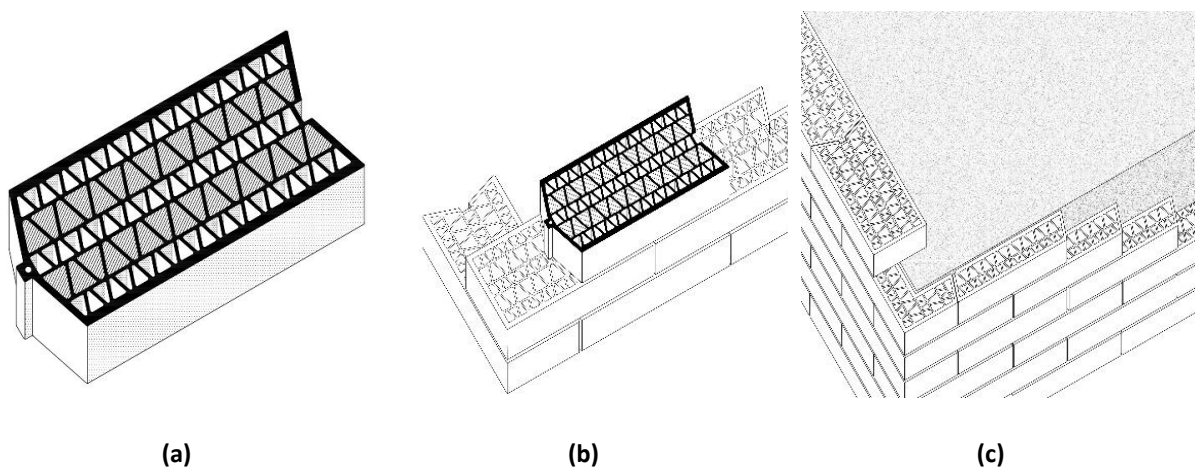
conductividad térmica y su facilidad de inserción mecánica en el proceso de industrialización propuesto.

La pieza base presenta unas dimensiones nominales de 500 mm de soga, 245 mm de tizón y 90 mm de grueso. A partir de una densidad absoluta seca de  $1.840 \text{ kg/m}^3$ , obtenida mediante ensayos de laboratorio, el componente alcanza un peso final de 8,3 kg. Esta magnitud resulta altamente competitiva frente a los bloques cerámicos aligerados convencionales, lo que garantiza una manipulación ergonómica y una puesta en obra eficiente que favorece el rendimiento de los operarios.

Atendiendo a su configuración interna, el ladrillo posee un porcentaje de huecos del 59%, circunstancia que lo clasifica dentro del grupo de piezas aligeradas según las prescripciones del Documento Básico SE-F Fábrica. La sección transversal integra dos tipologías de celdillas: cavidades menores destinadas a encerrar volúmenes de aire y huecos de mayor dimensión para alojar material aislante. El diseño estructural de la pieza se resume en una hibridación técnica que ofrece ligereza, baja transmitancia, durabilidad y acabado estético.

La geometría triangular de las perforaciones desempeña un papel determinante en el comportamiento estructural e higrotérmico del sistema. Dicha geometría se traslada asimismo a las testas de la pieza, conformando un sistema de machihembrado que garantiza la rotura del puente térmico.

La versatilidad del sistema constructivo se garantiza mediante el desarrollo de piezas especiales que resuelven puntos singulares de la fachada: una pieza de esquina (Figura 2(b)) y una pieza de sección reducida (Figura 2(c)) para frente de forjado y revestimiento de pilares.



**Figura 2. (a) Pieza base. (b) Pieza especial de esquina. (c) Encuentro con forjado. Fuente:** Proyecto NEXT-CER.

Finalmente, el diseño apuesta por la simetría bidireccional como estrategia para optimizar la puesta en obra. Esta propiedad geométrica simplifica el montaje al eliminar la necesidad de orientar la pieza de forma unívoca durante su manipulación. Se reducen drásticamente las probabilidades de error y se aceleran los tiempos de ejecución.

### 3.2. Fabricación: Resultados de los ensayos físico-químicos

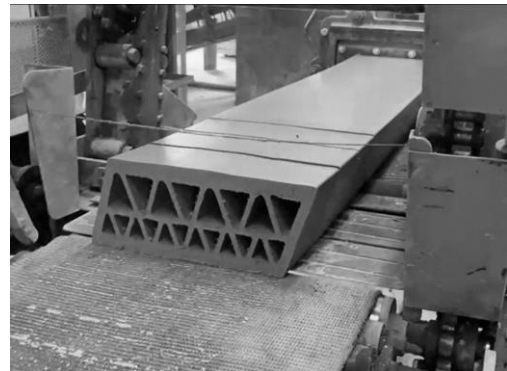
La fase de experimentación comienza con la implementación de técnicas de fabricación aditiva para la obtención de los primeros prototipos. Este método permite reducir la incertidumbre antes del escalado. Durante el ciclo de impresión, se monitoriza la estabilidad del material, lo que garantiza una extrusión precisa. Asimismo, las pruebas de cocción realizadas en un rango de entre 975 °C y 1050 °C arrojan resultados positivos en todas las muestras, consolidando la viabilidad de la impresión como herramienta eficiente para el análisis preventivo de los procesos de fabricación.

Tras definir los parámetros críticos, el proceso se traslada a una planta piloto de escala semi-industrial, instalación de referencia en España que permite validar los productos en condiciones análogas a las de fabricación masiva. La metodología incluye el uso de una línea de moldeo por extrusión, secaderos controlados y hornos de gas natural con capacidad de regulación de atmósfera. Un factor determinante es la selección de arcillas locales de Castilla-La Mancha, cuya caracterización confirma propiedades óptimas para funciones estructurales y exposición a la intemperie: baja porosidad, alta resistencia mecánica y estabilidad dimensional frente a ciclos térmicos.

Para la extrusión de las piezas definitivas, se emplea un molde de alta precisión fabricado en acero templado (Figura 3), diseñado específicamente para soportar presiones elevadas y formatos anchos. El material empleado, con una humedad del 14% al 16%, presenta un amplio margen de trabajabilidad, permitiendo un vacío superior al 82% durante el moldeo para asegurar la compacidad del producto. El proceso finaliza con un secado controlado y una cocción a 1050 °C, obteniendo muestras suficientes para la verificación del comportamiento del prototipo conforme a las normativas de ladrillo caravista.



(a)



(b)

**Figura 3. (a) Pieza base. (b) Pieza especial de esquina.**

Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos avalan la idoneidad técnica del nuevo sistema constructivo. El prototipo presenta una absorción de agua media del 12% y una densidad absoluta seca de 1840 kg/m<sup>3</sup>, confirmando un equilibrio óptimo entre ligereza y volumen. La ausencia de fisuras, exfoliaciones o eflorescencias garantiza la durabilidad estética y estructural del acabado visto. En términos de estabilidad, los valores de expansión por humedad (0,13 mm/m) y la calificación como material no heladizo tras los 100 ciclos de congelación ratifican su resistencia en condiciones ambientales extremas.

Destaca especialmente el rendimiento mecánico del sistema, con una resistencia media normalizada a compresión de 36 N/mm<sup>2</sup>, valor que supera ampliamente los mínimos exigidos por las normativas para piezas con función portante. Complementariamente, el estudio térmico mediante el método de elementos finitos revela una conductividad de entre 0,132 y 0,170 W/mK. Estos datos suponen una notable mejora de la eficiencia térmica --de entre el 30% y el 45%-- respecto a los bloques de arcilla aligerada convencionales.

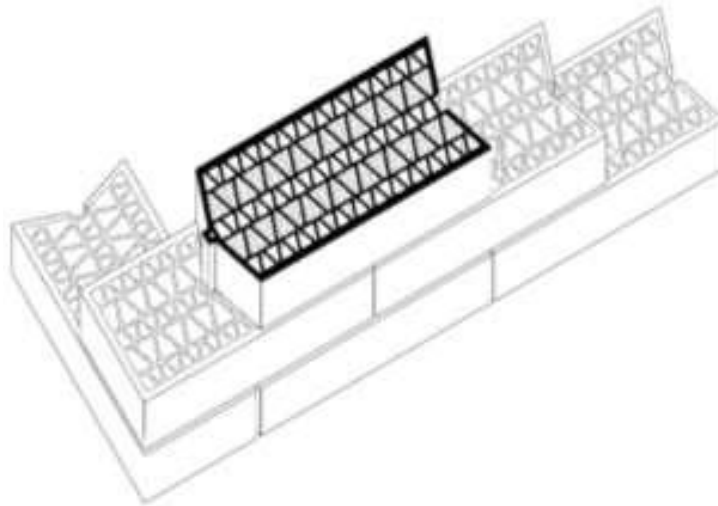
Se resumen a continuación los datos obtenidos en los ensayos de validación:

- Absorción de agua: Se registra un valor medio del 12% tras 24 horas de inmersión, dentro del rango habitual para piezas cerámicas vistas y sin desviaciones significativas entre probetas.
- Densidades: La densidad absoluta seca es de 1.840 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad aparente seca se sitúa en 875 kg/m<sup>3</sup>, lo que confirma la ligereza de la pieza en relación con su resistencia y volumen.
- Aspecto y estructura: Las piezas no presentan fisuras ni exfoliaciones, lo que demuestra una cocción homogénea y un buen comportamiento estructural a nivel superficial.
- Eflorescencias: La pieza ha sido calificada como no eflorescente, garantizando la estabilidad cromática y la durabilidad estética del acabado visto.
- Expansión por humedad: Con un valor medio de 0,13 mm/m, se sitúa en un rango óptimo que limita los movimientos higroscópicos en obra. La dilatación potencial es de tan solo 0,09 mm/m, lo que reduce el riesgo de fisuraciones por variaciones ambientales.
- Heladicidad: Se ensayan seis probetas bajo ciclos de congelación y descongelación con circulación de aire, sin que se detecten defectos. La muestra es calificada como no heladiza, ratificando su resistencia frente a ciclos térmicos extremos.
- Resistencia a compresión: Se obtiene una resistencia media normalizada de 36 N/mm<sup>2</sup>, con un valor característico de 30,3 N/mm<sup>2</sup>, lo que sitúa al prototipo muy por encima de los valores mínimos exigidos para piezas estructurales cerámicas. Estos resultados avalan el uso portante del sistema en obra.

El proyecto aborda principalmente el comportamiento térmico en régimen estacionario. Otros factores, como la evaluación del transporte combinado de calor y humedad, incluyendo el riesgo de condensaciones intersticiales conforme a UNE-EN 15026:2024, requiere una caracterización higroscópica completa del material (isotermas de sorción, coeficiente de difusión de vapor, etc.) que constituye una línea de trabajo futura. No obstante, los bajos valores de absorción de agua (12%) y expansión por humedad (0,13 mm/m) obtenidos en los ensayos de validación llevados a cabo aportan indicadores favorables de cara a dicho análisis.

En conjunto, los resultados de los ensayos validan la robustez, eficiencia y capacidad estructural del prototipo, confirmando la viabilidad técnica de las nuevas soluciones constructivas desarrolladas.

Destacar que la validación experimental del prototipo se realizó únicamente a escala de pieza, conforme a la normativa de ladrillo caravista. La ejecución de muros completos para su validación está prevista en la siguiente fase de desarrollo industrial, en colaboración con las empresas fabricantes identificadas en el proyecto (Figura 4).



**Figura 4.** Simulación de muro con sistema Next-Cer.

#### 4. CONCLUSIONES

Una de las principales conclusiones es que los resultados alcanzados durante el desarrollo del proyecto constituyen una novedad a nivel internacional en el sector, en el ámbito de la fabricación de piezas cerámicas para fachadas de edificios. Las piezas desarrolladas se alinean con las tendencias globales que promueven una mayor eficiencia energética, un aumento del ciclo de vida y un menor consumo de recursos. Además, la principal innovación del proyecto radica en que es una pieza de acabado final, caravista. Los sistemas desarrollados son sencillos, accesibles y asequibles, lo que facilita su puesta en obra incluso en contextos con mano de obra menos especializada y amplía su potencial de uso en zonas rurales o municipios pequeños. Esta combinación vanguardista representa un paso adelante respecto a las soluciones disponibles en el mercado y amplía significativamente las posibilidades de uso del material cerámico.

Desde el punto de vista estratégico, se prevé que los resultados del proyecto contribuyan a mejorar la competitividad del sector regional. Los nuevos productos responden a las exigencias contemporáneas y aportan valor añadido. Este proyecto ofrece nuevas oportunidades de negocio adaptadas a la construcción sostenible y a los sistemas constructivos industrializados. Además, la incorporación de nuevos productos permite aumentar la actividad productiva, generar empleo y fomentar la fijación de población.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, el sistema aporta beneficios significativos en varias dimensiones: mejora del comportamiento térmico, no requiere revestimientos adicionales, reduce el número de operaciones constructivas, el uso de materiales complementarios y los residuos asociados. Esto se traduce, concretamente, en una reducción del 10% de la Huella de Carbono respecto de los sistemas convencionales.

Cabe destacar que el proyecto permite reforzar el vínculo entre tradición e innovación, ofreciendo soluciones cerámicas que se sitúan a medio camino entre lo tradicional y lo tecnológico, que conservan la identidad del material cerámico, pero la proyectan hacia el futuro, contribuyendo a una arquitectura más sostenible, eficiente, inclusiva y territorialmente equilibrada.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto NEXT-CER (SBPLY\_23\_76300\_000008) cuenta con la cofinanciación de la Unión Europea y el Gobierno de Castilla-La Mancha (Fondo Europeo de Desarrollo Regional: Programa FEDER 2021-2027), a través de la convocatoria de Ayudas a Centros Tecnológicos, de Agencia Regional de Investigación e Innovación (INNOCAM).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] B.I. Oluleye, D.W.M. Chan, A.B. Saka y T.O. Olawumi, “Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, 2022.
- [2] FLC, *Informe Sobre el Sector de la Construcción 2023*. Madrid: Observatorio Fundación Laboral de la Construcción, 2023.
- [3] I. Paricio, *La construcción de la arquitectura: La técnica*. Barcelona: ITEC (Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya), 1985.
- [4] Consorcio Termoarcilla - Hispalyt. (2020). *Manual Técnico de la Termoarcilla*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida, 2020.
- [5] M.Marzouk y M.Zaher, “Planning of modular construction projects using Work Breakdown Structure and Last Planner System”, *Journal of Building Engineering*, vol.29, pp.101-156, 2020.
- [6] L.F.Cabeza, A.Castell, M.Medrano, R.Leppers y O.Zubillaga, “Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.29, pp.394–416, 2014.
- [7] F.Pomponi y A.Moncaster, “Circular economy for the built environment: A research framework”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 710–718, 2017.