
Proyecto MULTI CERAM

E3 Informe sobre los resultados obtenidos en la evaluación de los diferentes sistemas.

E4 Informe de validación del sistema/s óptimo/s

IMDEEA/2019/2

30 de diciembre de 2019

Convocatoria de ayudas del Instituto Valenciano de Competitividad (IVACE) dirigida a centros tecnológicos de la Comunidad Valenciana para el ejercicio 2019. Proyecto apoyado por el IVACE (Generalitat Valenciana) y cofinanciado en un 50% por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunidad Valenciana 2014-2020 con número de expediente IMDEEA/2019/2



ÍNDICE

1. Descripción del entregable.....	4
2. Objetivos específicos.....	4
3. Diseño experimental.....	4
4. Estudio comportamiento frente a requerimientos críticos (Tarea 3.1).....	9
4.1. Recopilación previa de métodos de ensayo	9
4.1.1. Resistencia mecánica a cargas.....	9
4.1.2. Deformabilidad sin carga.....	9
4.1.3. Resistencia a impacto	10
4.1.4. Flexibilidad	11
4.2. Ensayos realizados	12
4.2.1. Resistencia mecánica a cargas.....	12
4.2.2. Deformabilidad sin carga (variación dimensional y de planitud por envejecimiento)	65
4.2.3. Resistencia a impacto	107
4.2.4. Resistencia a flexión	136
5. Estudio comportamiento frente a requerimientos significativos (Tarea 3.2)	151
5.1. Recopilación previa de métodos de ensayo	151
5.1.1. Cohesión entre capas	151
5.1.2. Comportamiento acústico.....	151
5.1.3. Transmisión de vibraciones.....	152
5.1.4. Tensiones entre capas	152
5.2. Ensayos realizados	152
5.2.1. Cohesión entre capas	152
5.2.2. Comportamiento acústico.....	157
5.2.3. Transmisión de vibraciones.....	167
5.2.4. Tensiones entre capas	176
6. Estudio comportamiento frente a requerimientos secundarios (Tarea 3.3)	184
6.1. Recopilación previa de métodos de ensayo	184

6.1.1. Permeabilidad al agua.....	184
6.1.2. Comportamiento térmico	184
6.2. Ensayos realizados	185
6.2.1. Permeabilidad al agua.....	185
6.2.2. Comportamiento térmico	189
7. Estudio económico de los sistemas cerámicos (Tarea 4.2).....	198
7.1. Evaluación de los sistemas analizados en el proyecto	200
8. Conclusiones.....	203

1. Descripción del entregable

Este entregable corresponde a los paquetes de trabajo nº3 “Evaluación sistemas propuestos” y nº4 “Validación del sistema/s óptimo/s”. En el paquete 3 se pretende realizar un diseño experimental para evaluar las prestaciones de los sistemas propuestos en el entregable 2.

En el paquete 4 se pretende evaluar el comportamiento de los sistemas en el tiempo de forma que se permita identificar aquellos sistemas con buenas características y además perdurables en el entorno de uso al que aplica el proyecto (pavimentos interiores de tránsito peatonal)

En primer lugar, se hace una revisión de los métodos identificados en la memoria de solicitud para evaluar el comportamiento del sistema frente a los diferentes requerimientos (críticos, significativos y secundarios). Posteriormente, en base a esta información se definen los métodos a utilizar. En algunos casos siguen la metodología de la normativa identificada, en otros casos, después de evaluar los métodos normativos, se ha optado por desarrollar en el laboratorio nuevos métodos que se adapten mejor a la naturaleza de las muestras a ensayar (sistema multicapa en lugar de un material homogéneo).

En base a la información obtenida en las tareas del paquete 3, se van a evaluar los sistemas óptimos frente al envejecimiento con el fin de determinar si existe alguna alteración de las propiedades debido al cambio de condiciones ambientales o al uso. Posteriormente, se intentará evaluar la viabilidad económica de aquellos sistemas que hayan cumplido con las especificaciones técnicas requeridas.

2. Objetivos específicos

- Cuantificar las características técnicas de cada uno de los sistemas propuestos
- Identificar los sistemas para particiones horizontales cerámicas que minimicen el riesgo de aparición de patologías
- Evaluar el mantenimiento de las características de los sistemas durante el uso previsto
- Concretar los mejores sistemas en base a la relación prestaciones del sistema frente al coste de materiales e instalación

3. Diseño experimental

Se ha realizado el diseño experimental de los ensayos a realizar. La secuencia de realización de los ensayos se ha planificado priorizando la caracterización respecto a los requerimientos críticos, luego respecto a los requerimientos significativos y por último respecto a los requerimientos secundarios.

Durante el desarrollo del proyecto irá variando en función de los resultados e información que se vaya obteniendo.

		Sistema				
Requerimiento	Ensayo	ON1	ON4	ON7	R1	R5
Crítico	Compresión (resistencia mecánica y deformabilidad)	<p>SI (sistema completo con gres, porcelánico y lámina cerámica)</p> <p>Sistema cerámico con porcelánico con espesor de recreado 20 mm y 60 mm</p> <p>SI (sistema completo con gres para evaluar comportamiento con diferencias de espesor de adhesivo con gres)</p>	SI (sistema completo únicamente con gres)	<p>SI (sistema completo únicamente con gres)</p> <p>Se evalúa también reproducibilidad del método</p>	NO	NO
	Carga puntual (resistencia mecánica y deformabilidad)	<p>SI (sistema completo)</p> <p>Inicial con los tres tipos de cerámica y tras envejecimiento únicamente con gres</p> <p>Se evalúa reproducibilidad con gres</p> <p>Sistema cerámico con porcelánico con</p>	SI (sistema completo)	<p>SI (sistema completo)</p> <p>Inicial y tras envejecimiento únicamente con gres</p> <p>Se evalúa también reproducibilidad del método</p>	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)

		<p>espesor de recrecido 20 mm y 60 mm</p> <p>Sistema completo con los tres tipos de cerámica con huecos en la capa de adhesivo</p>				
	Flexión (resistencia mecánica y deformabilidad)	NO	NO	NO	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)
	Deformabilidad sin carga (variación dimensional y planitud por envejecimiento)	<p>SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)</p> <p>Sistema completo con los tres tipos de cerámica con huecos en el adhesivo</p>	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)	SI (capas adheridas: recrecido, adhesivo y baldosa) con gres	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)
	Impacto (duro y coeficiente restitución)	<p>SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica)</p> <p>Sistema completo con huecos en el adhesivo con gres</p>	SI (sistema completo con lámina cerámica)	SI (sistema completo con gres)	SI (sistema completo con lámina)	SI (sistema completo con lámina) Ojo, la base es tarima
Significativo	Comportamiento acústico (ruido aéreo)	SI (sistema completo con lámina cerámica para ruido aéreo)	SI (sistema completo con lámina cerámica para ruido aéreo)	SI (sistema completo con gres para ruido aéreo)	SI (sistema completo con los tres tipos de	SI (sistema completo con los tres tipos de cerámica para ruido aéreo)

	Como paso previo preparar sólo probetas de ON1 con lámina con el fin de poner a punto el ensayo				cerámica para ruido aéreo)	
	Transmisión vibraciones Como paso previo preparar sólo probetas de ON1 con lámina con el fin de poner a punto el ensayo	SI (sistema completo con lámina cerámica)	SI (sistema completo con lámina cerámica)	NO	NO	NO
	Cohesión entre capas (adhesión a cizalla) Como paso previo preparar sólo probetas de ON1 con lámina con el fin de poner a punto el ensayo	SI (capas adheridas: recrecido, regularización, adhesivo y lámina cerámica) Comparación del comportamiento utilizando adhesivo no deformables	NO	NO	NO	NO
	Tensiones entre capas Como paso previo preparar sólo probetas de ON1 con lámina con el fin de poner a punto el ensayo	SI (capas adheridas: recrecido, regularización, adhesivo y lámina cerámica)	NO	NO	NO	NO

Secundario	Permeabilidad al agua Como paso previo preparar sólo probetas de ON7 con gres con el fin de poner a punto el ensayo	SI (capas adheridas: recrecido, regularización, adhesivo con gres y porcelánico)	NO	SI (sistema completo con gres)	NO	NO
	Confort térmico Como paso previo preparar sólo una probeta de ON4 con lámina cerámica para poner a punto el ensayo	NO	SI (capas adheridas: calefacción radiante, recrecido, regularización, adhesivo con los tres tipos de cerámica)	NO	NO	NO

4. Estudio comportamiento frente a requerimientos críticos (Tarea 3.1)

4.1. Recopilación previa de métodos de ensayo

4.1.1. Resistencia mecánica a cargas

UNE-EN ISO 10545-4:2015. Resistencia a la flexión y carga de rotura. Baldosas cerámicas. Este ensayo consiste en ejercer sobre las baldosas una fuerza progresiva a velocidad constante, mediante un rodillo apoyado sobre su zona central hasta provocar la rotura. Mientras, la baldosa permanece apoyada sobre otros dos rodillos, situados cada uno a una distancia de un centímetro de sus extremos.

ASTM C648-04 (2014). Resistencia a la rotura por carga. Baldosas cerámicas. Este ensayo consiste en ejercer sobre las baldosas una fuerza progresiva a velocidad constante en el punto central de la pieza, mediante un puntero acabado en forma semiesférica, hasta provocar la rotura de esta. Mientras, la baldosa permanece apoyada sobre tres puntos correspondientes a los vértices de un triángulo equilátero, situados de forma que el punto de aplicación de la carga coincida con el centro de dicho triángulo.

UNE-EN 772-1:2011 + A1:2016. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. Esta norma europea especifica un método para determinar la resistencia a compresión de las piezas para fábrica de albañilería. Las probetas, después de su preparación, cuando sea necesario, se colocan en el centro del plato de una máquina de ensayo de compresión. Se aplica una carga uniformemente repartida, y se aumenta de manera continua hasta que se produce la rotura.

UNE-EN 1605:2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la deformación bajo condiciones específicas de carga de compresión y temperatura. Esta norma especifica el equipo y los procedimientos para determinar la deformación causada por condiciones específicas de cargas de compresión, temperatura y tiempo de exposición. Es aplicable a productos aislantes térmicos. Se aplica una carga de compresión específica a la probeta de ensayo y se mide la deformación relativa en dos etapas con diferentes condiciones de temperatura y tiempo.

4.1.2. Deformabilidad sin carga

UNE-EN 1603:2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la estabilidad dimensional bajo condiciones normales y constantes de laboratorio (23°C/50% de humedad relativa). Esta norma especifica el equipo y los procedimientos para evaluar los cambios dimensionales irreversibles con el tiempo de probetas de ensayo y productos acabados, bajo condiciones de laboratorio normales y constantes. Es aplicable a productos aislantes térmicos. Se mide la longitud, anchura y desviación de la planicidad de las probetas de ensayo en varios intervalos de tiempo, bajo condiciones normales de laboratorio, hasta que se alcanza la estabilidad relativa.

UNE-EN 1604:2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura y humedad. Esta norma especifica el equipo y los procedimientos para evaluar los cambios dimensionales de probetas de ensayo bajo condiciones específicas de temperatura, humedad relativa y duración de exposición. Esta norma propone un rango de condiciones. Es aplicable a los productos aislantes térmicos. Se determinan los cambios en las dimensiones lineales que se dan cuando las probetas de ensayo han sido acondicionadas, exponiéndolas a condiciones ambientales especificadas durante un periodo de tiempo definido, y posteriormente reacondicionadas.

UNE-EN ISO 23999:2012. Revestimiento de suelo resilientes. Determinación de la estabilidad dimensional y el encorvamiento después de la exposición al calor. El cambio relativo en la distancia entre las marcas o una posición específica sobre una probeta se mide antes y después de la exposición a un tratamiento de calor. Las probetas se colocan en una estufa a una temperatura elevada, después de lo cual se determina la ondulación y estabilidad dimensional.

4.1.3. Resistencia a impacto

UNE-EN ISO 10545-5:1998. Resistencia al impacto. Medida del coeficiente de restitución. Baldosas cerámicas. Esta norma se basa en la determinación del coeficiente de restitución, midiendo la altura de rebote de una bola de acero de 19 mm (28,1 g) que cae desde una altura de 1 m sobre la superficie de las probetas. El ensayo se realiza sobre 5 probetas, obtenidas de 5 baldosas, instaladas mediante una resina epoxi sobre bloques normalizados de cemento y arena, previamente fraguados.

CSTB Cahier 3778:2017. Anexo 6. Resistencia al impacto duro. Baldosas cerámicas no esmaltadas. La muestra a ensayar consiste en 3 maquetas constituidas por piezas enteras sobre bloques de mortero de cemento y arena. Las piezas se adhieren mediante una capa de cemento-cola. Se coloca la maqueta de ensayo en una bandeja sobre un lecho de arena fina. Se sitúa una bola de acero de 510 g a 80 cm de distancia. Se deja caer la bola, de manera que el punto de impacto quede situado dentro de un círculo de 2 cm de diámetro en el centro de la probeta. Se producirá un solo impacto, recogiendo la bola después del primer rebote. Finalmente, se colorea la superficie de las probetas alrededor del punto de impacto con azul de metileno para poder apreciar mejor los defectos producidos: fisuras, hendiduras, grietas o desconchados.

CSTB Cahier 3778:2017. Anexo 7. Resistencia al impacto ligero. Baldosas cerámicas esmaltadas. El ensayo consiste en pegar 3 probetas de 75mm x 75mm (cortadas a partir de 3 baldosas) en un bloque de cemento, mediante una capa de resina epoxi. Pasadas 48 horas se procede a realizar el ensayo. Se coloca la maqueta de ensayo debajo de un dispositivo que nos permita soltar una bola de acero de 50 gr. desde una altura de 1 m sobre las probetas, de manera que el punto de impacto quede situado dentro de un círculo de 2 cm de diámetro en el centro de la probeta. Se producirá un solo impacto, recogiendo la bola después del primer rebote. Se colorea la superficie de las probetas alrededor del punto de impacto con azul de metileno para poder apreciar mejor los defectos producidos. El nivel de deterioro ocurrido se clasifica en función de los defectos aparecidos según la tabla que los describe.

ETAG N° 034-2012 Parte 1 Apdo. 5.4.4.1. Resistencia al impacto de cuerpos rígidos. Fachadas ventiladas. Dicho procedimiento está basado en la norma ISO 7892: 1988. Mediante este ensayo se determina resistencia al impacto de una bola de 500 g en los revestimientos utilizados en la construcción de fachadas ventiladas y sus sistemas de instalación o anclaje. El método consiste en utilizar un dispositivo pendular para producir el impacto de la bola de acero sobre la superficie de la pieza. La energía total utilizada se regula modificando la masa de la bola de acero y su altura de caída. Los ensayos se efectúan en diferentes posiciones de las baldosas para valorar la influencia del sistema de anclaje y el comportamiento de la pieza en las zonas de impacto más desfavorables.

UNE-EN 12825:2002 Apdo. 5.5.1. Ensayo de impacto de un cuerpo duro. Pavimentos elevados registrables. El ensayo consiste en lanzar sobre la superficie de la baldosa un indentador de acero. Este indentador de 4,5 kg y extremos hemisférico de 50 mm diámetro se lanza desde una altura de 600 mm, a través de un tubo guía. La baldosa de ensayo se monta sobre sus pedestales, y se ensaya en tres posiciones: centro de la baldosa, el punto medio de un lado y en cualquier otro punto considerado más débil. Al final del ensayo, la baldosa no debe presentar signos de rotura o fisura después de los impactos.

UNE-EN 12825:2002 Apdo. 5.5.2. Ensayo de impacto de un cuerpo blando. Pavimentos elevados registrables. El ensayo consiste en dejar caer un saco de lona relleno de bolas de acero, con una masa de

40 kg y un diámetro máximo de 300 mm, sobre la baldosa de ensayo, montada sobre sus pedestales, desde una altura de 1 m sobre las siguientes posiciones: el centro de la baldosa y el punto medio de un lado, permitiendo que todo el fondo del saco golpee sobre la baldosa. Tras el ensayo la baldosa no debe presentar signos de rotura o fisura.

UNE 56754:1988. Tableros de partículas. Ensayos. Determinación de la resistencia al impacto. Se especifica el método de ensayo para determinar la resistencia al impacto de los tableros de partículas. Una vez bien sujeta la probeta sobre el marco, se deja caer el peso de 4,5 kg sobre el punto medio de la probeta desde una altura de 25 mm y sus múltiplos hasta la rotura de esta, anotándose la altura para la cual la probeta ha roto completamente. La rotura del tablero se presenta cuando aparece un orificio de cualquier dimensión que atraviese al tablero.

UNE-EN ISO 13753:2008 Vibraciones mecánicas y choques. Vibración mano-brazo. Método para medir la transmisibilidad de la vibración de los materiales resilientes cargados por el sistema mano-brazo. El método propuesto utiliza un sistema de excitación de las vibraciones (vibrador) sobre el cual se coloca el material resiliente, y sobre este la masa de carga. Los acelerómetros miden las vibraciones sobre el vibrador y sobre la masa superior. Los resultados obtenidos sirven para seleccionar los materiales que mejor atenúan las vibraciones en las empuñaduras de las herramientas y en la fabricación de guantes, es decir, aquellos que más evitan la transmisibilidad de vibraciones por el sistema mano-brazo.

4.1.4. Flexibilidad

ETAG Nº 034-2012 Parte 1 Apdo. 5.4.1.2. Resistencia al viento. Medida de la carga de rotura bajo presión. Fachadas ventiladas. El método consiste en simular la acción del viento sobre las piezas instaladas utilizando los dispositivos de anclaje suministrados por el peticionario. Dicho dispositivo está provisto de una conexión a una entrada de aire comprimido mediante un manómetro digital con el fin de controlar la presión ejercida. Se eleva la presión en el sistema a razón de 10 mbar/minuto hasta que se produce algún deterioro en el sistema. En ese momento se anota la presión máxima alcanzada y se evalúa el tipo de defectos aparecidos. A partir de la presión máxima alcanzada, se calcula la presión corregida.

UNE 41250-3:2016. Métodos de ensayo para la medida de las deflexiones en firmes de carretera. Parte 3. Deflectómetro de impacto. Se describe el método de ensayo de medida de la deflexión utilizando el equipo deflectómetro de impacto en firmes de carretera. Se trata de reproducir las sollicitaciones que un eje pesado ejerce en el firme al circular sobre él a una cierta velocidad, por medio de la caída de una masa desde una determinada altura. Los valores de la deflexión medidos bajo el punto de aplicación y a diferentes distancias de este, conforman el llamado cuenco de deflexión, a partir del cual puede obtenerse información sobre la capacidad estructural y la rigidez global del firme. El análisis de la forma del cuenco de deflexión permite identificar la existencia de defectos estructurales en las capas que componen el firme. Asimismo, permite determinar los módulos de elasticidad de cada una de las capas mediante técnicas denominadas "de cálculo inverso", dato necesario par el estudio de la rehabilitación estructural del firme.

UNE-EN 13696:2009. Suelos de madera y parqué. Método de ensayo para la determinación de la elasticidad, la resistencia a la abrasión y la resistencia al impacto. Esta norma define un método de ensayo que permite: determinar la resistencia a la abrasión de los suelos de madera barnizados, la elasticidad del barniz y la resistencia al impacto de suelos barnizados. La resistencia a la abrasión se evalúa desgastando la cara de las probetas o elementos representativos de ensayo con un abrasivo determinado aplicado mediante dos ruedas con carga. La resistencia a la abrasión se evalúa mediante el número de vueltas necesarias para producir un desgaste determinado. La elasticidad del barniz se determina apoyando hasta el contacto total una placa de metal dotada de un conjunto de conos, cada uno de una altura y ángulo diferentes. La elasticidad del acabado se evalúa por la altura del cono por encima de la cual se agrieta el barniz. Para la evaluación de la resistencia al impacto se determina la adecuación de la cara para soportar

el impacto de objetos que caen sobre el suelo de madera. Para ello se utiliza un equipo para ensayo de caída libre con una bola de acero de 224 g y 38,1 mm de diámetro.

ASTM C1259-01. *Standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio for advanced ceramics by impulse excitation of vibration*. Este método de ensayo permite determinar las propiedades elásticas dinámicas de materiales cerámicos a temperatura ambiente. Estos materiales poseen frecuencias de resonancia mecánica específicas que están determinadas por el módulo elástico, la masa y la geometría de la muestra de prueba. Por lo tanto, las propiedades elásticas dinámicas de un material se pueden calcular si se pueden medir la geometría, la masa y las frecuencias de resonancia mecánica de ese material.

ASTM E837. *Determining residual stresses by the hole-drilling strain gage method*. Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar las tensiones residuales cerca de la superficie de los materiales isotrópicos lineales elásticos. El ensayo descrito es aplicable en aquellos casos en los que las tensiones no varían significativamente con la profundidad y no exceden la mitad de la resistencia elástica.

UNE-EN ISO 24344:2012. *Revestimientos de suelo resilientes. Determinación de la flexibilidad y de la deformación*. Esta norma describe dos métodos para la determinación de la capacidad de un revestimiento de doblarse sin romperse o agrietarse. Mediante el método A la probeta se dobla 180° alrededor de un mandril bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad. En el método B, la probeta se deforma con un cilindro con un radio de curvatura mucho mayor que el espesor de la probeta mediante una fuerza central entre dos soportes fijos.

4.2. Ensayos realizados

4.2.1. Resistencia mecánica a cargas

4.2.1.1. Resistencia mecánica a la carga puntual

Se ha determinado la resistencia a la carga puntual de las muestras con geometría cúbica y área cuadrada de 100 mm x 100 mm. El ensayo consiste en ejercer, sobre la cara superior de las probetas, una fuerza progresiva de compresión normal al área rectangular central de 25 x 25 mm de la base rectangular superior de la probeta. Se empleó una velocidad de desplazamiento de 5 mm/min hasta provocar su rotura. Para ejercer esta presión se utilizó un punzón localizador de carga cúbico de acero templado de 25 x 25 mm de área (625 mm²). El ensayo se considera terminado cuando se alcanza una carga máxima o la rotura de la baldosa superficial de la probeta.

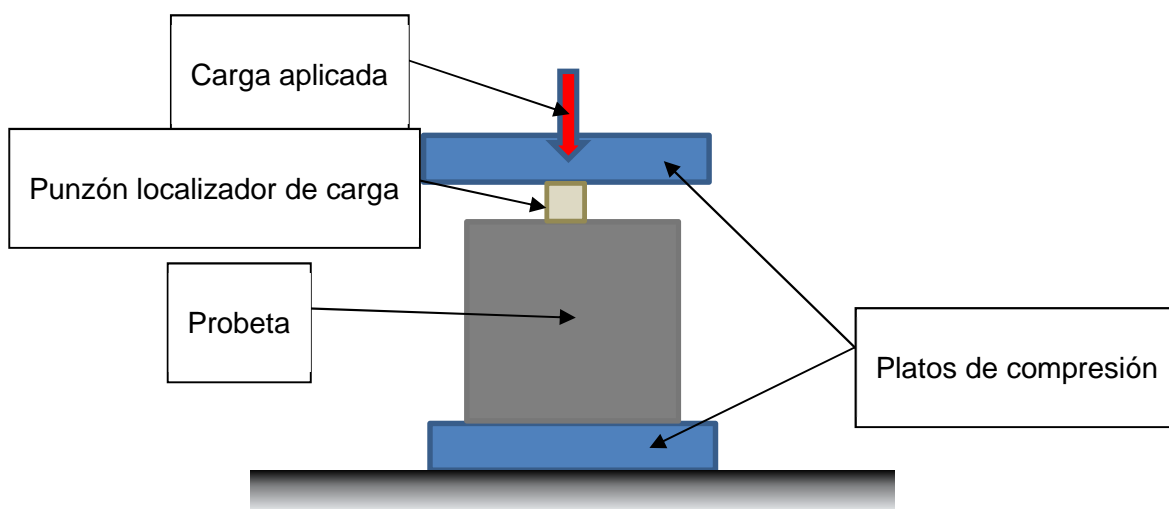


Figura 1. Esquema del ensayo de determinación de la resistencia mecánica a la carga puntual.



Figura 2. Detalle del ensayo de determinación de la resistencia mecánica a la carga puntual.

La resistencia mecánica a la carga puntual viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_p}$$

donde:

σ : resistencia mecánica a la compresión (MPa)

F_{\max} : fuerza máxima antes de la rotura o carga de rotura (N)

A_p : Área de compresión del punzón localizador de carga (mm²)

El estudio se ha realizado sobre todos los sistemas cerámicos representativos de obra nueva (ON1, ON4, ON7) y de rehabilitación (R1, R5), con todos los recubrimientos de baldosas cerámicas (gres porcelánico, lámina cerámica y gres BIIa).



Figura 3: Sist. Construc.ON1



Figura 4: Sist. Construc. ON4



Figura 5: Sist. Construc. ON7



Figura 6. Sistema constructivo R1



Figura 7. Sistema constructivo R5

Para comprobar la influencia de condiciones de temperatura y humedad anómalas, también se ha realizado el ensayo sobre muestras de todos los sistemas, tanto de obra nueva como de rehabilitación, con recubrimiento de baldosas de gres BIIa, a los que se les ha sometido a un envejecimiento acelerado.

El proceso se lleva a cabo en una cámara climática, manteniendo la muestra en su interior durante 7 días en unas condiciones de 60 °C de temperatura y 90% de humedad relativa del aire.



Figura 8. Vista de la cámara climática donde se realiza el envejecimiento

Así mismo, la evolución de la deformación en función de la carga se ha analizado a partir de los ensayos de resistencia mecánica a la compresión (4.2.1.2) y a la carga puntual (4.2.1.1). Para ello se ha registrado la carga ejercida sobre las probetas y la posición corregida de la máquina de ensayos mecánicos en cada instante, hasta el momento de la rotura.

Resultados obtenidos

Sistema ON1 con gres porcelánico

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-1	2900	12,9	20,6	11,7
ON1-2	3008	14,5	23,3	9,9
ON1-3	2924	14,7	23,6	10,4
Valor medio			22,5	10,7
Desv. Estándar			1,7	0,9

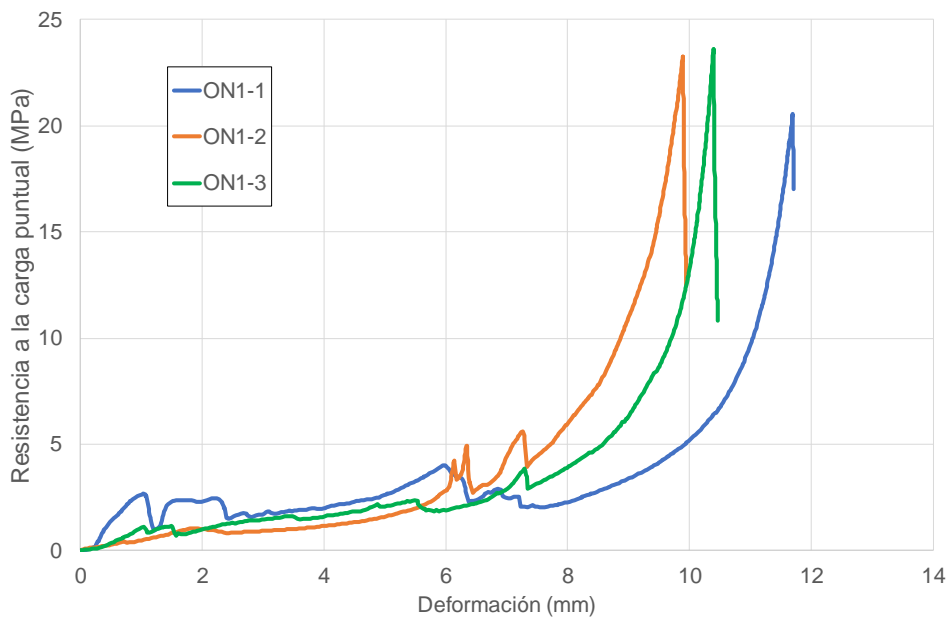


Figura 9. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 10. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual

Sistema ON1 con gres Blla

- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-25	2923	8,4	13,4	9,5
ON1-26	2990	8,5	13,6	9,1
ON1-27	2928	9,6	15,3	8,8
Valor medio			14,1	9,1
Desv. Estándar			1,0	0,3

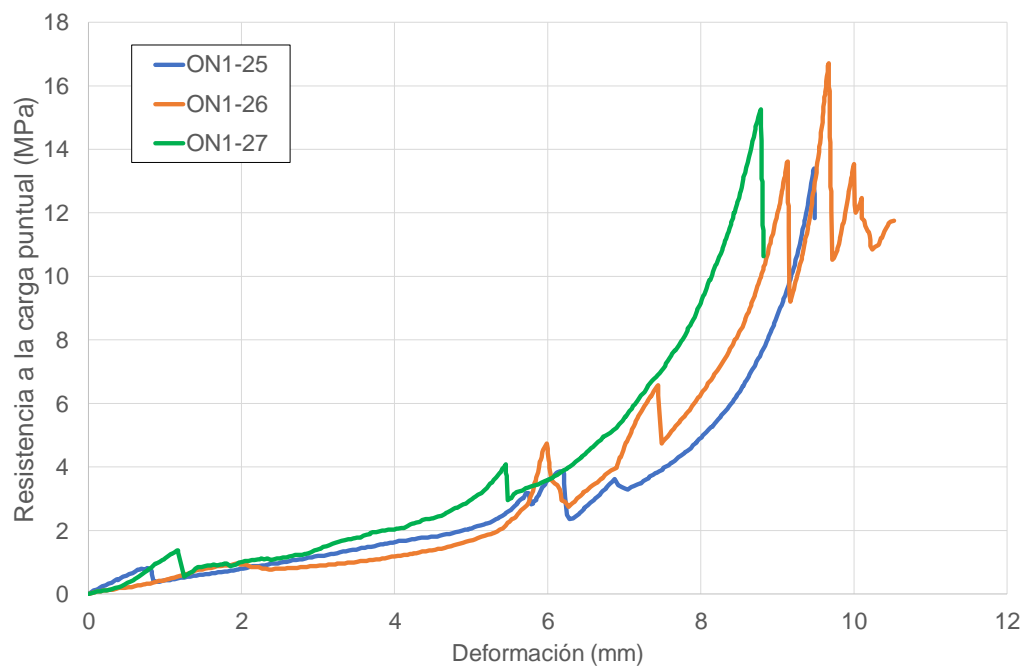


Figura 11. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 12. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON1 con lámina cerámica

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-6	2881	3,3	5,2	6,0
ON1-7	2901	3,2	5,1	7,4
ON1-8	2857	3,1	4,9	6,8
Valor medio			5,1	6,7
Desv. Estándar			0,3	1,7

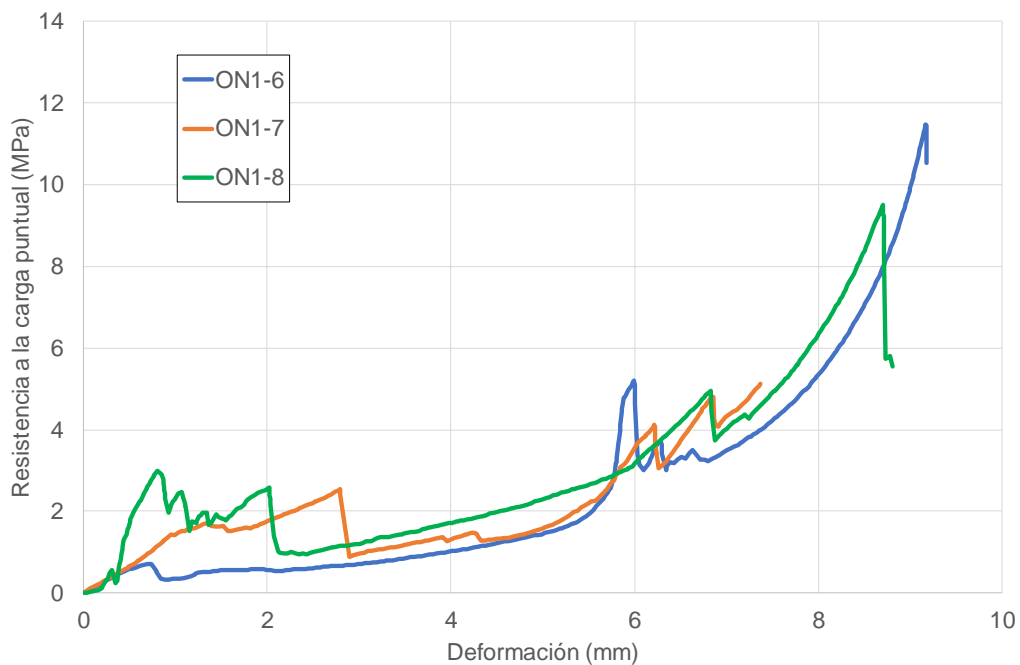


Figura 13. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 14. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON4 con gres porcelánico

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-1	2784	4,8	7,6	14,5
ON4-2	2800	3,9	6,2	6,0
ON4-3	2788	6,0	9,6	18,0
Valor medio			7,8	12,8
Desv. Estándar			1,7	6,2

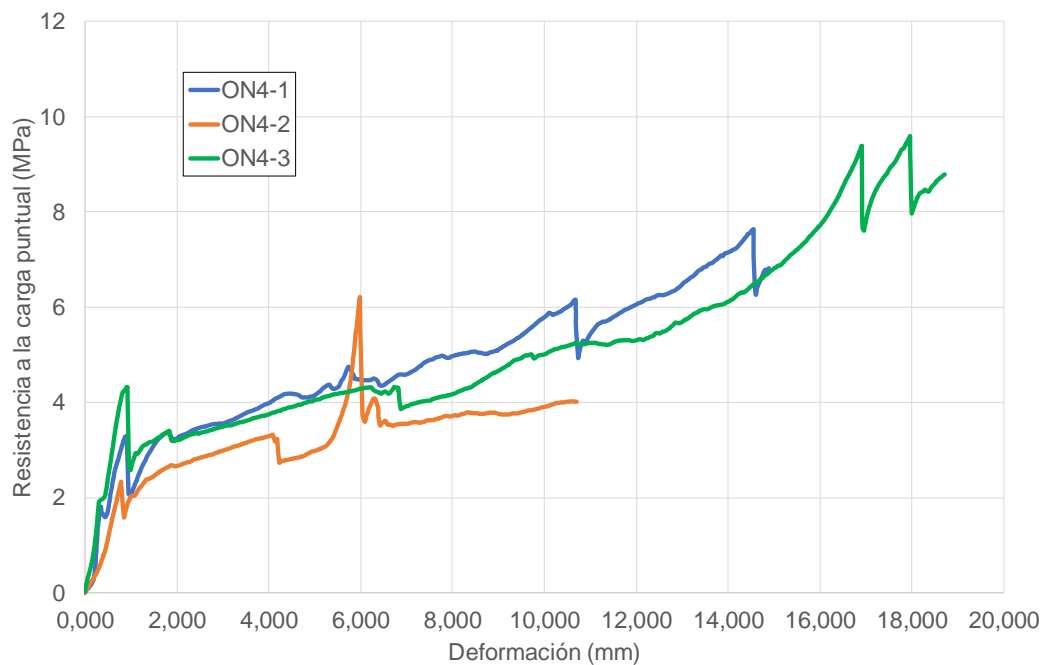


Figura 15. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 16. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON4 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-21	2793	3,4	5,5	6,3
ON4-22	2699	4,9	7,9	15,6
ON4-23	2814	4,2	6,8	11,8
Valor medio			6,7	11,2
Desv. Estándar			1,2	4,7

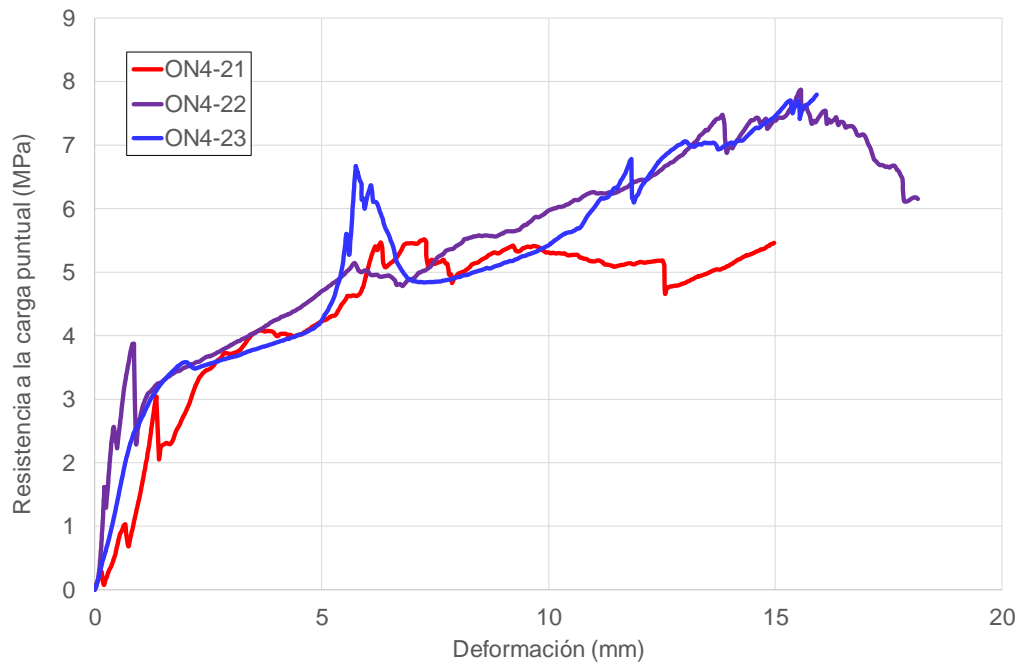


Figura 17. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 18. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Para evaluar la reproducibilidad del método se realizan nuevas maquetas y se vuelven a ensayar.

Sistema ON4 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-21	5,6	8,6	14,9
ON4-22	5,9	9,1	15,3
Valor medio		8,8	15,1
Desv. Estándar		0,4	0,3

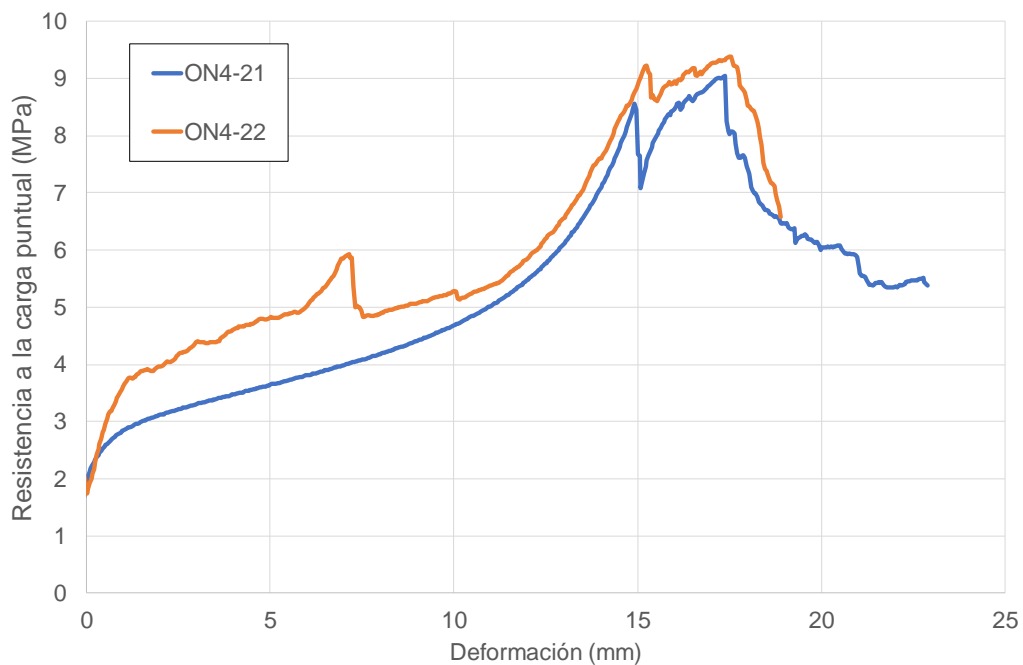


Figura 19. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 20. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON4 con lámina cerámica

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-6	2748	1,9	3,0	0,6
ON4-7	2662	2,6	4,2	4,6
ON4-8	2633	2,8	4,5	5,7
Valor medio			3,9	3,6
Desv. Estándar			0,8	2,7

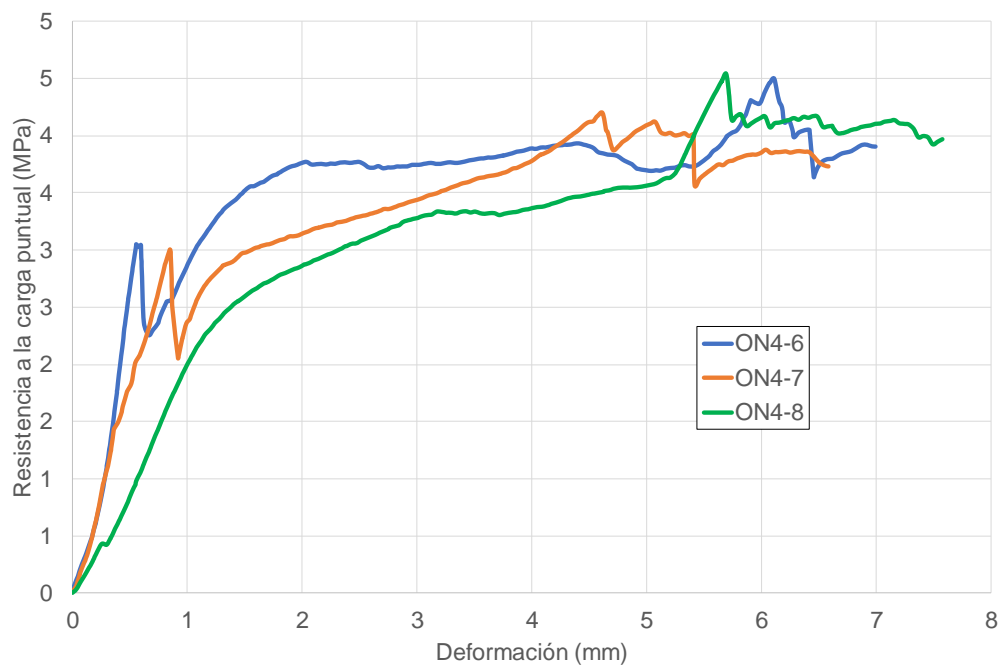


Figura 21. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 22. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON7 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON7-4	-	-	-	-
ON7-5	3290	9,2	14,7	3,1
ON7-6	3264	9,0	14,4	1,4
Valor medio			14,6	2,2
Desv. Estándar			0,3	1,2

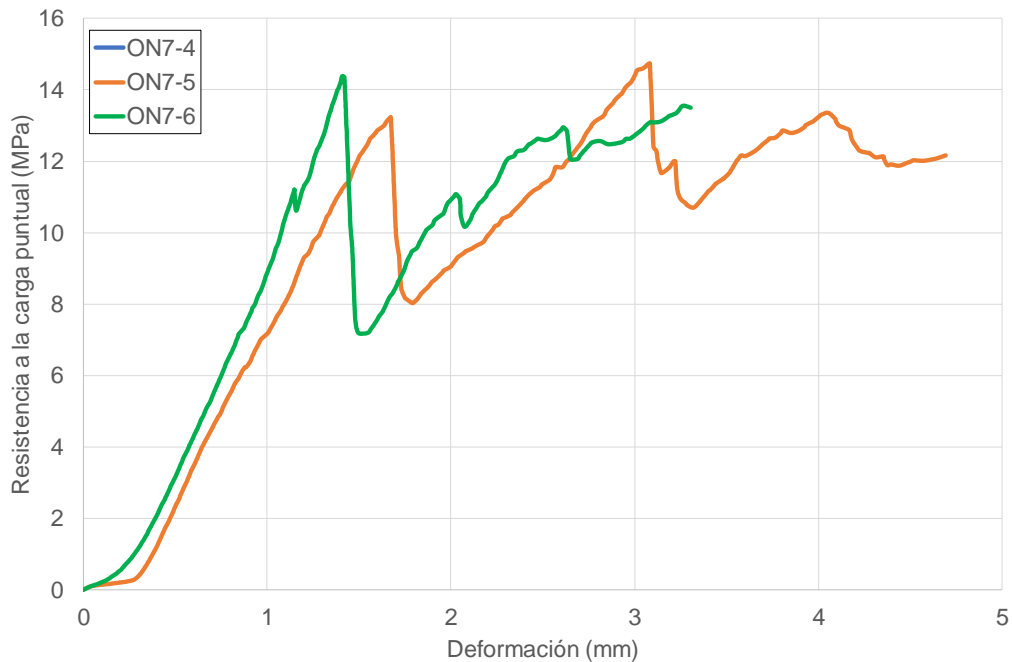


Figura 23. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.

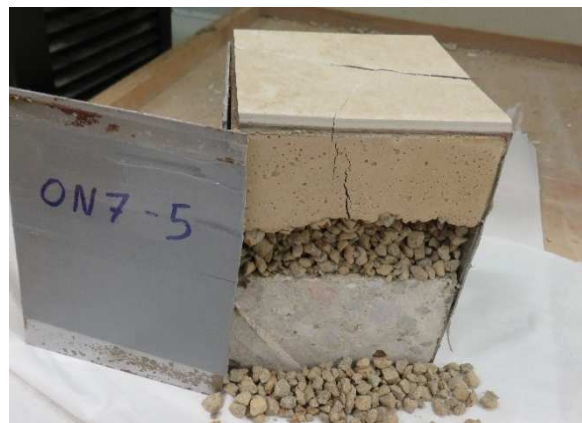


Figura 24. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Para comprobar la reproducibilidad del método se realizan nuevas maquetas del sistema y se repite el ensayo.

Sistema ON7 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON7-20	17,8	28,4	0,9
ON7-21	16,8	26,8	0,9
ON7-22	19,3	30,8	1,5
Valor medio		28,7	1,1
Desv. Estándar		2,0	0,4

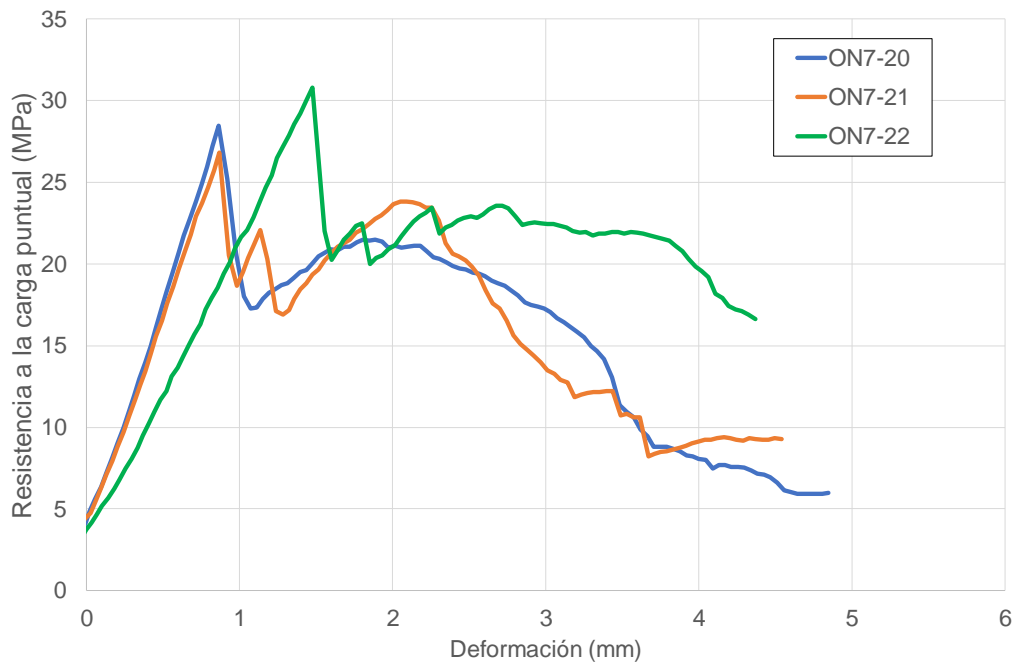


Figura 25. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.

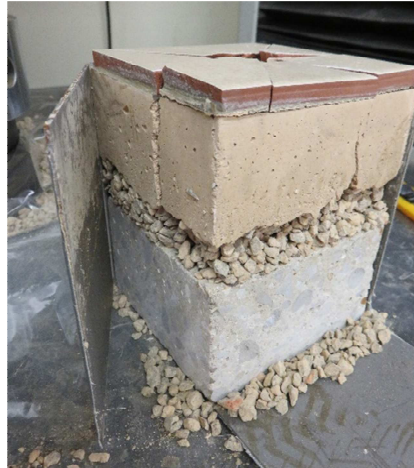


Figura 26. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R1 con gres porcelánico

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R1-1	980	4,6	73	0,3
R1-2	986	4,7	76	0,5
R1-3	994	3,6	57	0,4
Valor medio			69	0,4
Desv. Estándar			10	0,1

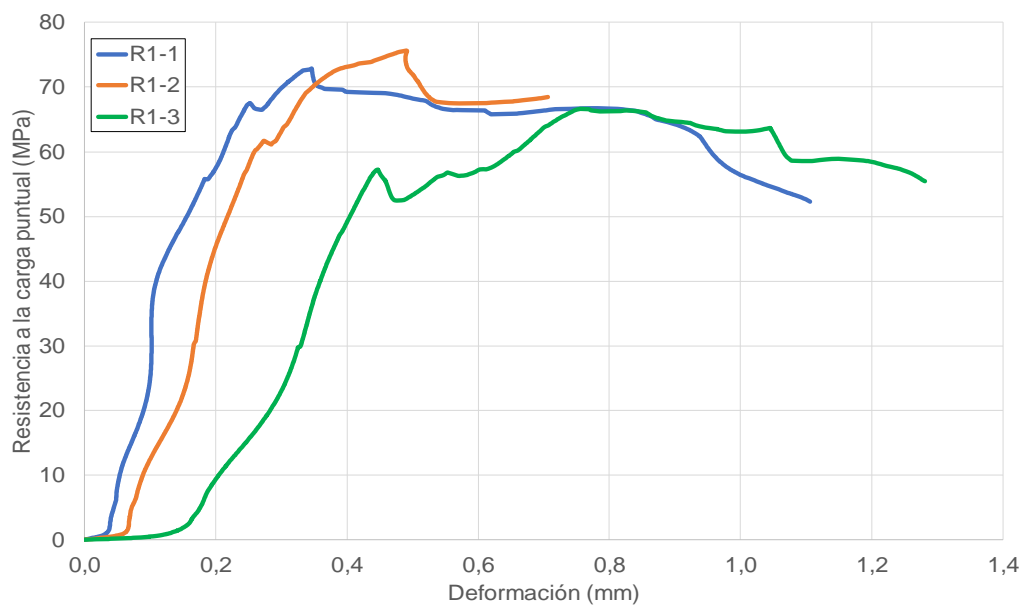


Figura 27. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 28. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R1 con gres BIIa

- Baldosa superficial: Gres BIIa
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R1-21	931	3,9	63	0,5
R1-22	933	4,6	73	0,6
R1-23	949	4,7	75	0,7
Valor medio			70	0,6
Desv. Estándar			7	0,1

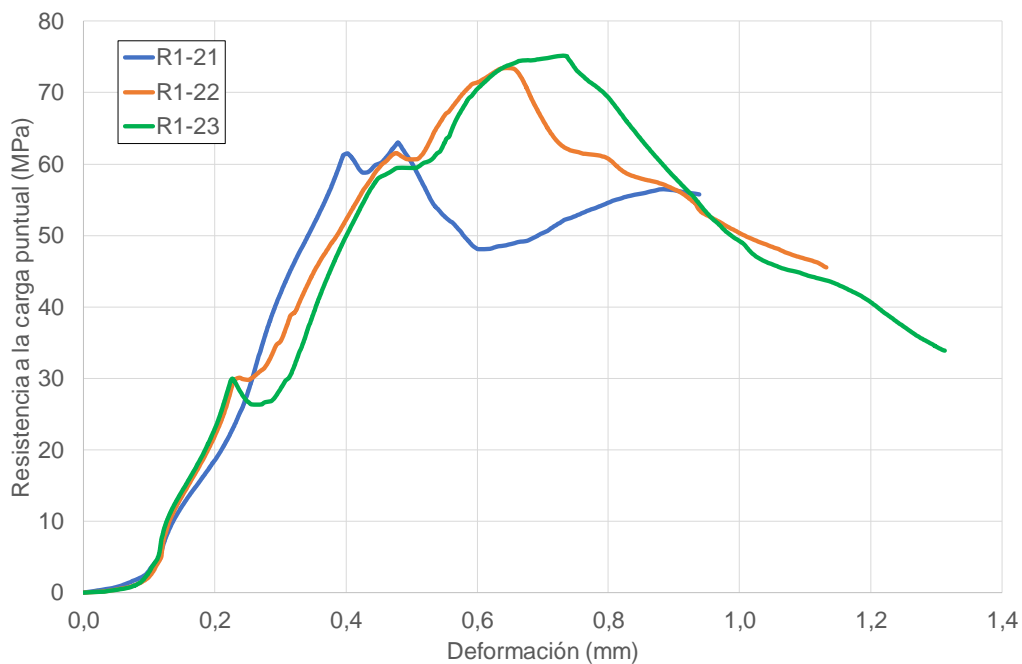


Figura 29. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 30. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R1 con lámina cerámica

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R1-9	910	3,5	55,9	0,9
R1-10	896	3,6	58,2	0,6
R1-11	902	3,6	57,5	0,6
Valor medio			57,2	0,7
Desv. Estándar			1,2	0,2

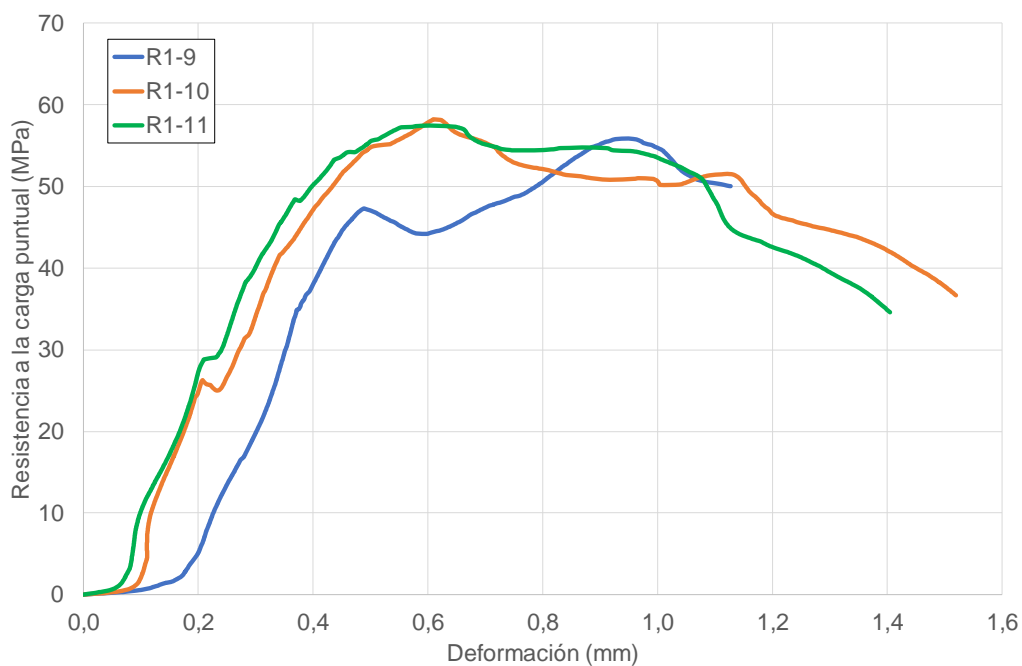


Figura 31. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 32. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R5 con gres porcelánico

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R5-1	357	12,4	19,8	1,2
R5-2	339	12,1	19,3	1,0
R5-3	332	12,1	19,3	0,7
Valor medio			19,5	1,0
Desv. Estándar			0,3	0,2

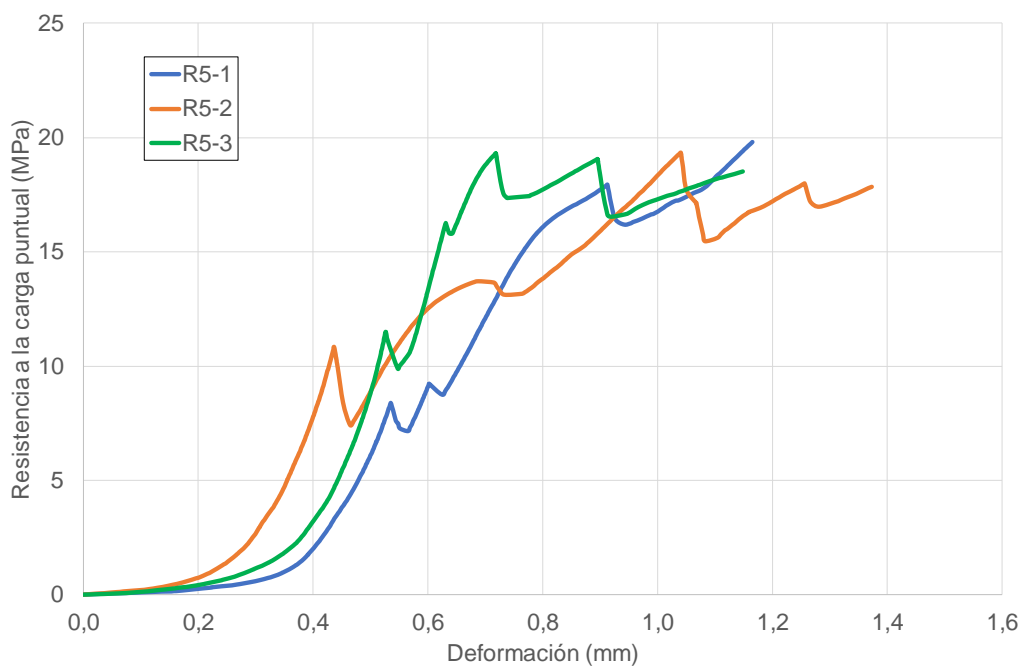


Figura 33. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 34. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R5 con gres B11a

- Baldosa superficial: Gres B11a
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R5-21	302	10,6	17,0	1,3
R5-22	295	11,4	18,2	0,8
R5-23	294	10,7	17,1	1,2
Valor medio			17,4	1,1
Desv. Estándar			0,7	0,2

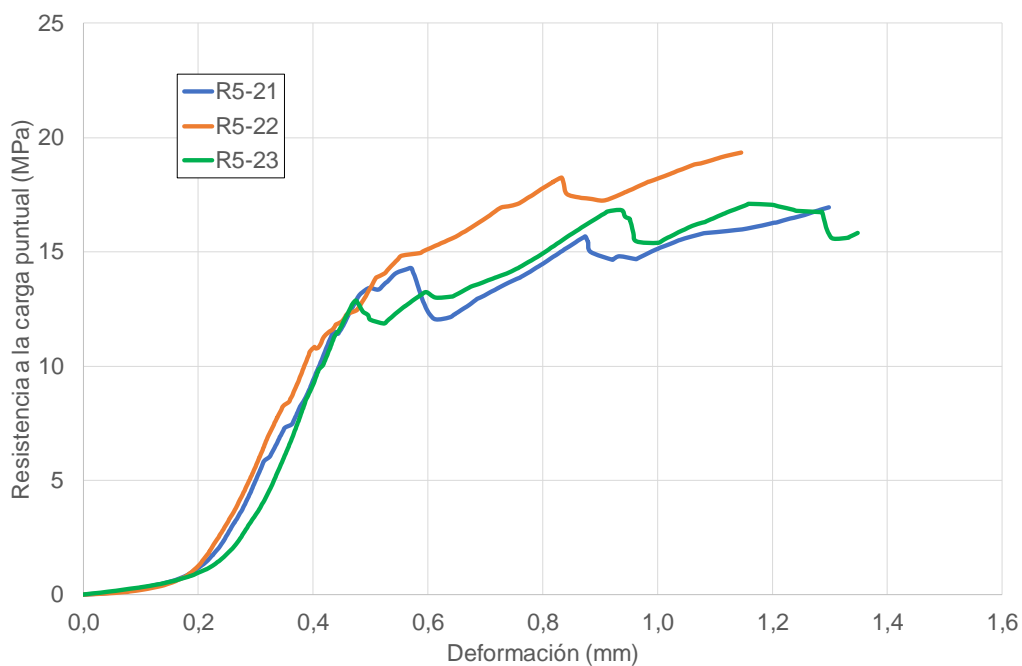


Figura 35. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 36. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema R5 con lámina cerámica

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
R5-9	268	12,2	20	0,8
R5-10	274	9,1	14	0,9
R5-11	267	11,3	18	0,7
Valor medio			17	0,8
Desv. Estándar			3	0,1

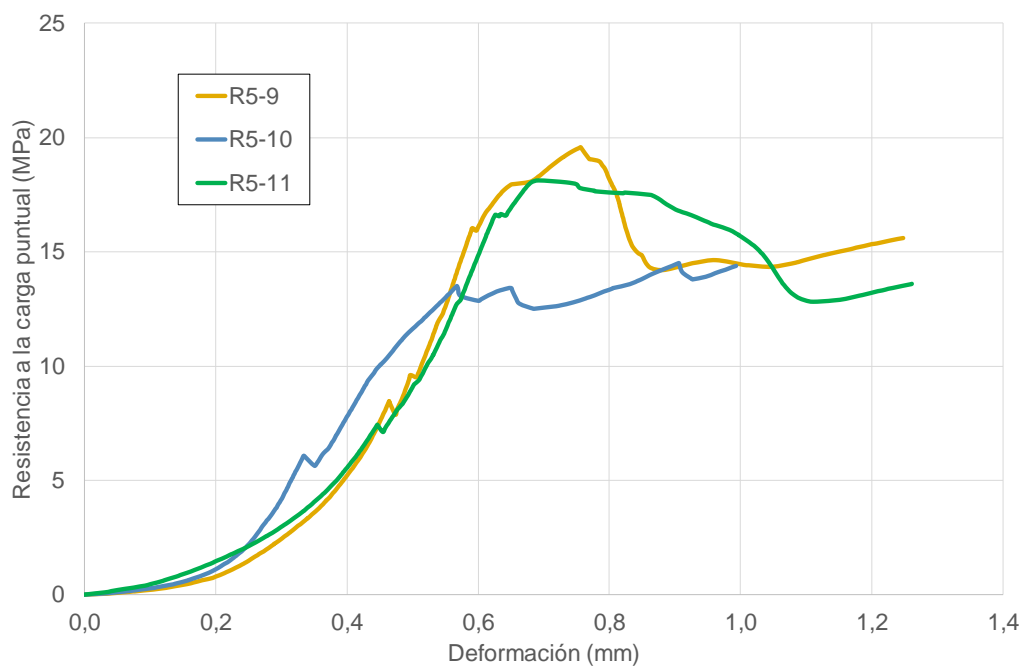


Figura 37. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 38. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON1 con gres Blla (tras envejecimiento)

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Envejecimiento por humedad y temperatura
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-28	2974	9,9	16	14,1
ON1-29	2947	11,7	18	14,2
ON1-30	2907	12,5	20	15,4
Valor medio			18	14,5
Desv. Estándar			2	0,7

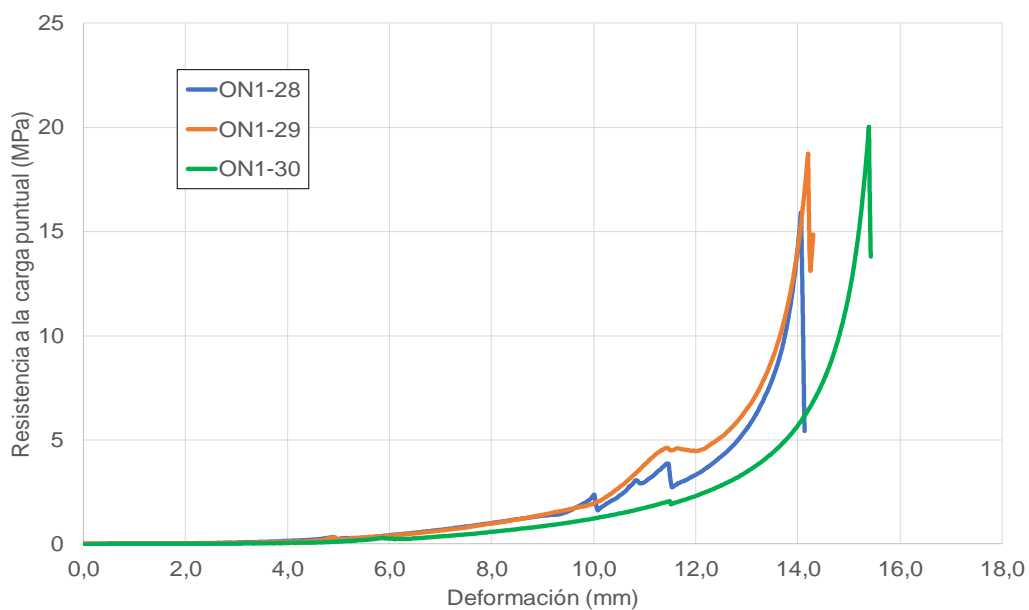


Figura 39. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 40. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON4 con gres Blla (tras envejecimiento)

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Envejecimiento por humedad y temperatura
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-18	2781	2,8	4,5	13,5
ON4-19	2734	2,7	4,4	10,0
ON4-20	2788	2,7	4,3	12,1
Valor medio			4,4	11,9
Desv. Estándar			0,1	1,8

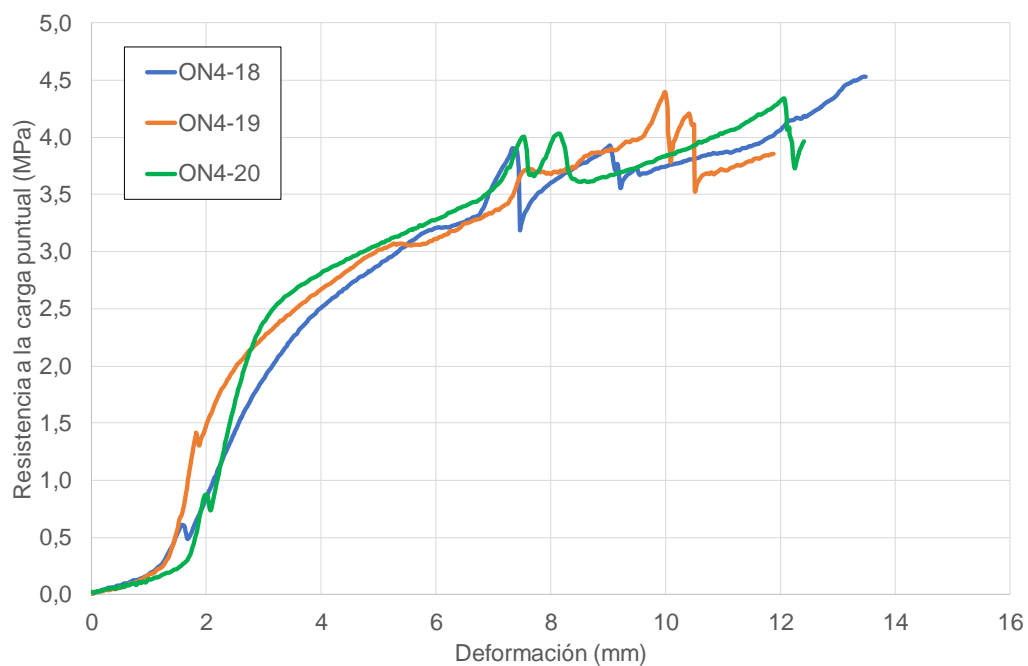


Figura 41. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 42. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Para comprobar la reproducibilidad del método se realizan nuevas maquetas del sistema y se repite el ensayo.

- Sistema ON4 con gres Blla (tras envejecimiento)
- Baldosa superficial: Gres Blla
- Envejecimiento por humedad
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-27	3,7	6,0	21,1
ON4-28	3,7	5,9	18,6
ON4-29	4,2	6,7	18,4
Valor medio		6,2	19,4
Desv. Estándar		0,4	1,6

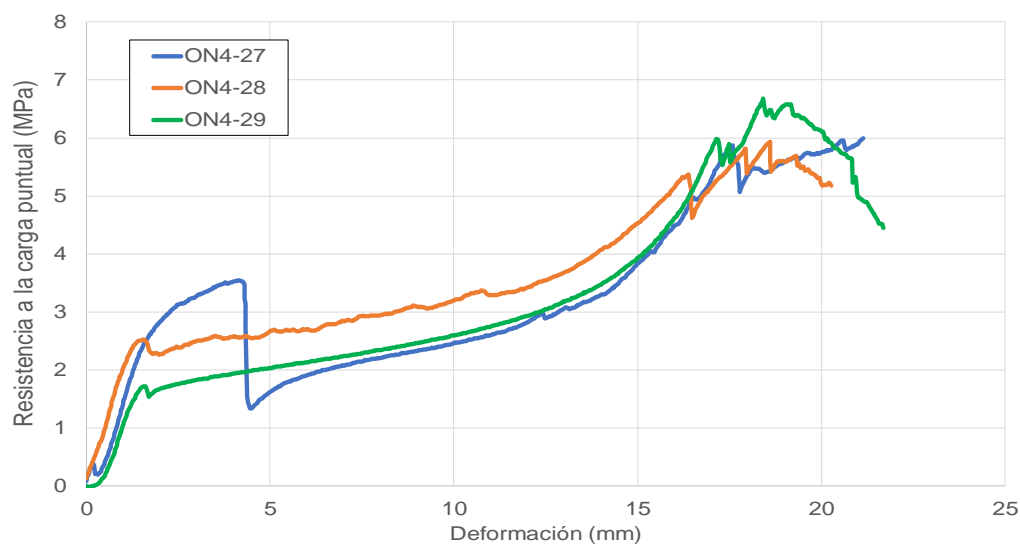


Figura 43. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 44. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Sistema ON7 con gres Blla (tras envejecimiento)

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Envejecimiento por humedad y temperatura
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON7-7	3277	10,1	16	4,2
ON7-8	3324	7,1	11	1,9
ON7-9	3234	9,0	14	2,2
Valor medio			14	2,7
Desv. Estándar			2	1,2

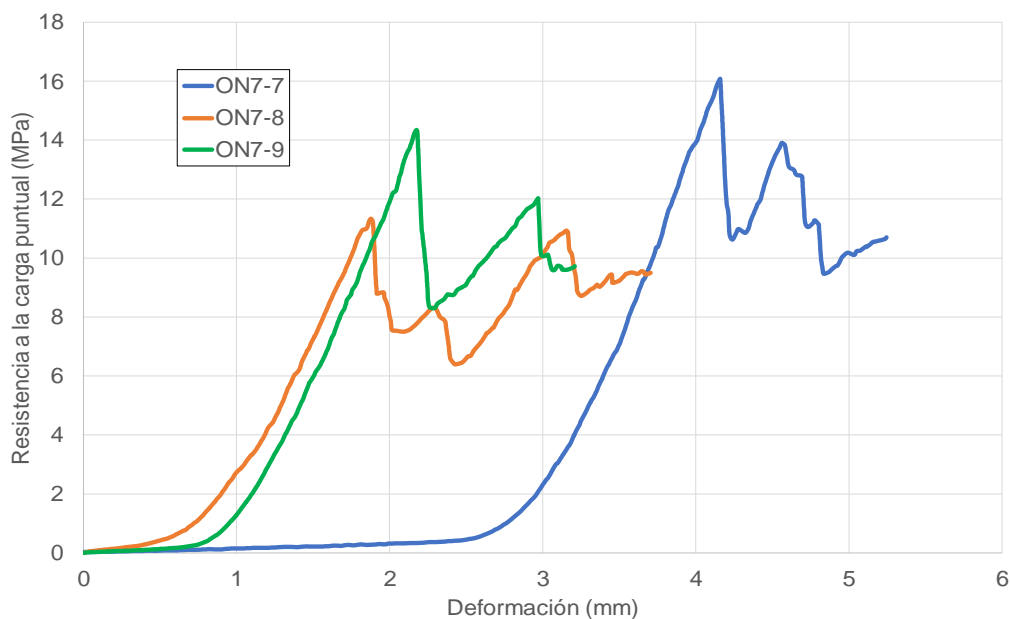


Figura 45. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 46. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Evaluación del comportamiento de los sistemas con una aplicación defectuosa del adhesivo por huecos en la capa de adhesivo

A continuación, se muestran los resultados de cada una de las soluciones constructivas

Muestra: **ON1 porcelánico hueco**

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-77	21,0	33,6	10,5
ON1-78	20,1	32,2	11,0
ON1-79	16,0	25,7	10,3
Valor medio		30,5	10,6
Desv. Estándar		4,2	0,3

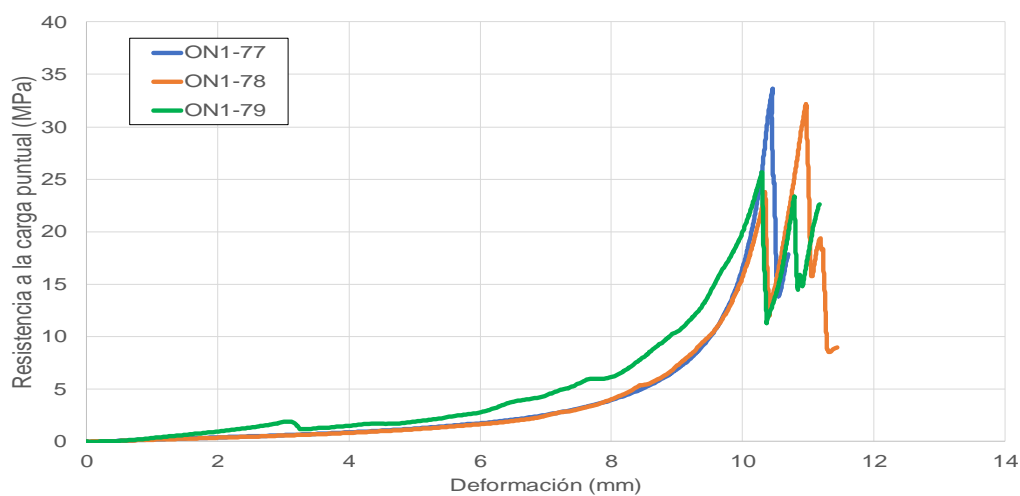


Figura 47. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 48. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual

Muestra: **ON1 gres hueco**

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-80	11,4	18,2	10,6
ON1-81	12,1	19,4	10,2
Valor medio		18,8	10,4
Desv. Estándar		0,8	0,3

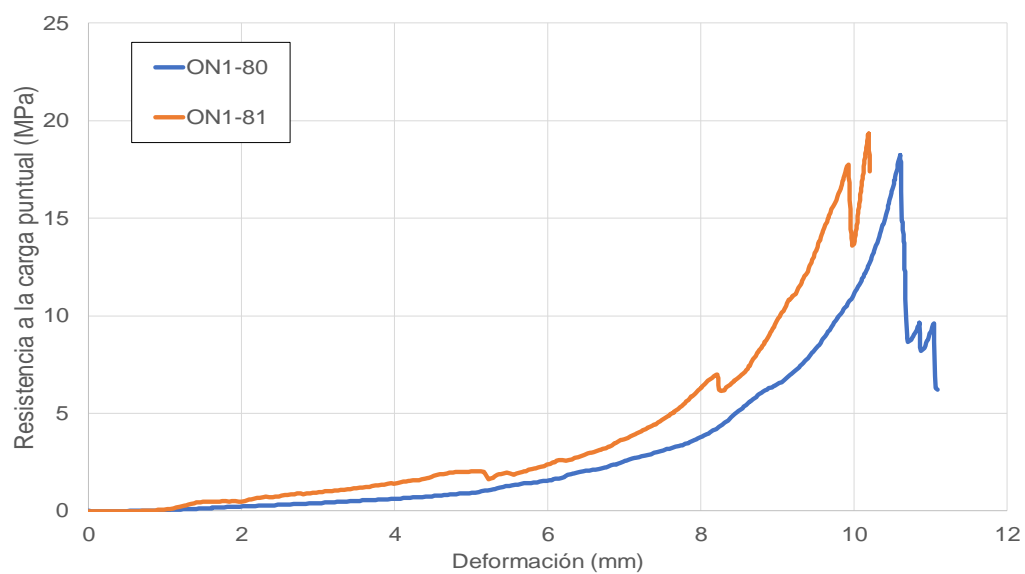


Figura 49. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 50. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Muestra: **ON1 lámina hueco**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-83	11,0	19,2	10,4
ON1-84	13,1	20,9	9,7
ON1-85	14,3	22,9	10,0
Valor medio		21,0	10,0
Desv. Estándar		1,8	0,3

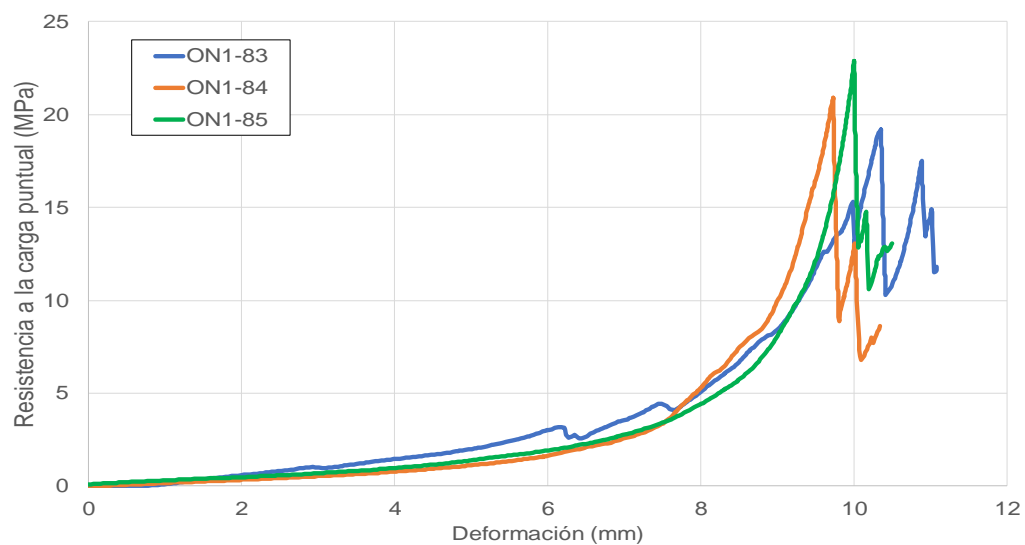


Figura 51. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 52. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Evaluación del comportamiento de los sistemas con una aplicación defectuosa del adhesivo por diferencia de espesor en la capa de adhesivo

Muestra: **ON1 gres variación espesor**

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)		Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-74	10,5		16,9	9,6
ON1-76	7,6		12,1	9,9
Valor medio			14,5	9,7
Desv. Estándar			3,40	0,2

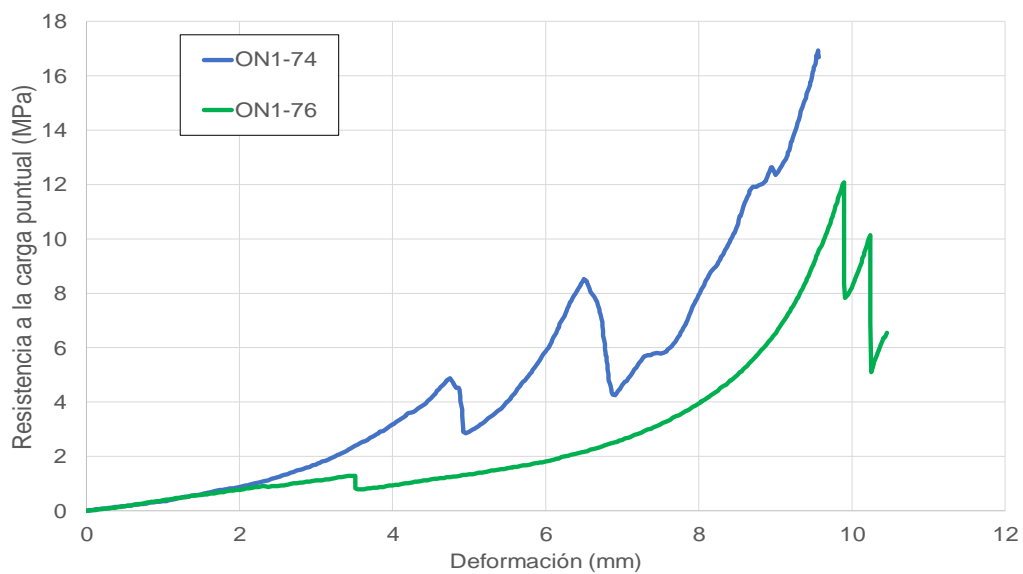


Figura 53. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.

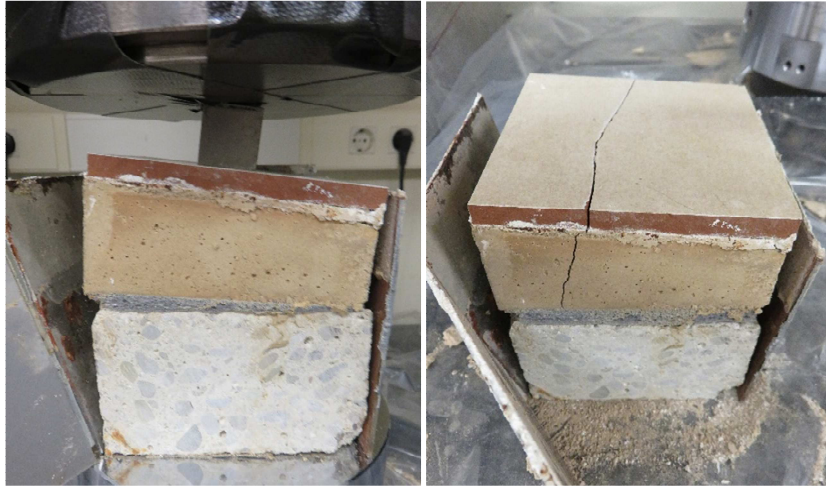


Figura 54. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Evaluación de la influencia del espesor de la capa de recrecido sobre el comportamiento del sistema a carga puntual

Muestra: **ON1 recrecido 20 mm**

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-62	13,4	21,4	10,4
ON1-63	10,5	16,7	9,9
ON1-64	11,9	18,7	10,4
Valor medio		19,0	10,2
Desv. Estándar		2,3	0,3

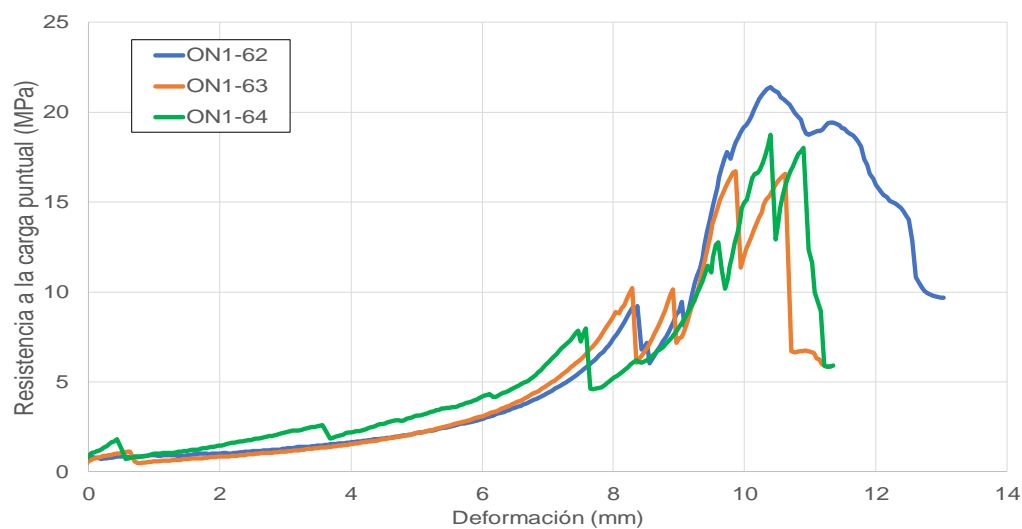


Figura 55. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 56. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Muestra: **ON1 recrecido 60 mm**

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-65	22,4	35,9	9,9
ON1-66	23,8	38,2	9,8
ON1-67	24,2	38,6	10,4
Valor medio		37,6	10,0
Desv. Estándar		1,5	0,3

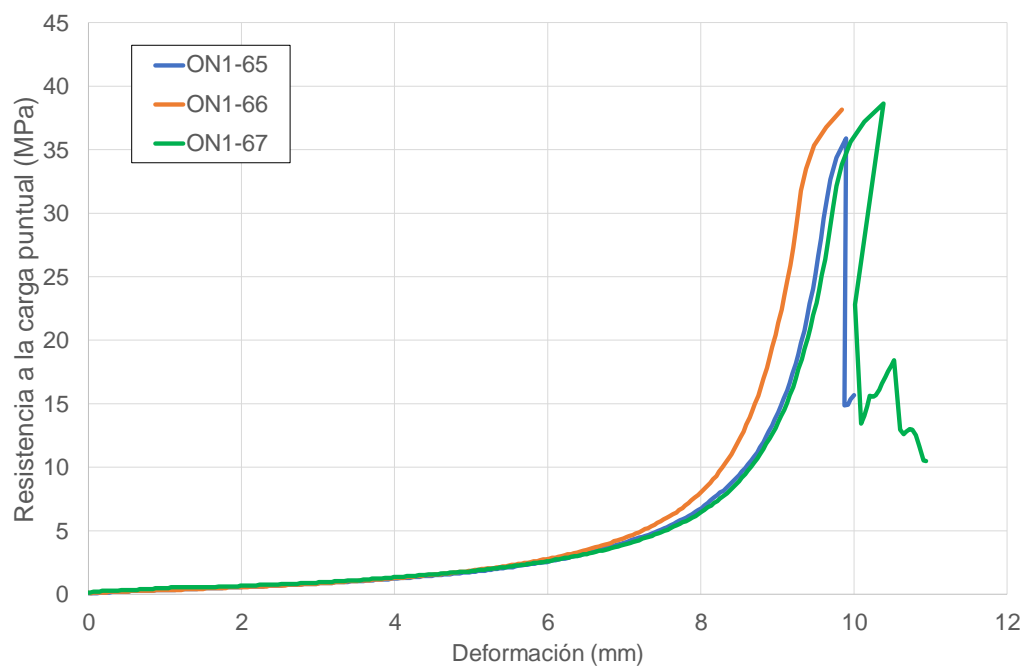


Figura 57. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 58. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Evaluación del comportamiento de los diferentes tipos de cerámica frente al ensayo de resistencia a las cargas puntuales

Muestra: **Porcelánico**

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
Porcelánico-2	4,8	6,7	0,7
Porcelánico-3	4,2	7,7	0,7
Porcelánico-5	4,8	7,0	0,7
Valor medio		7,1	0,7
Desv. Estándar		0,5	0,0

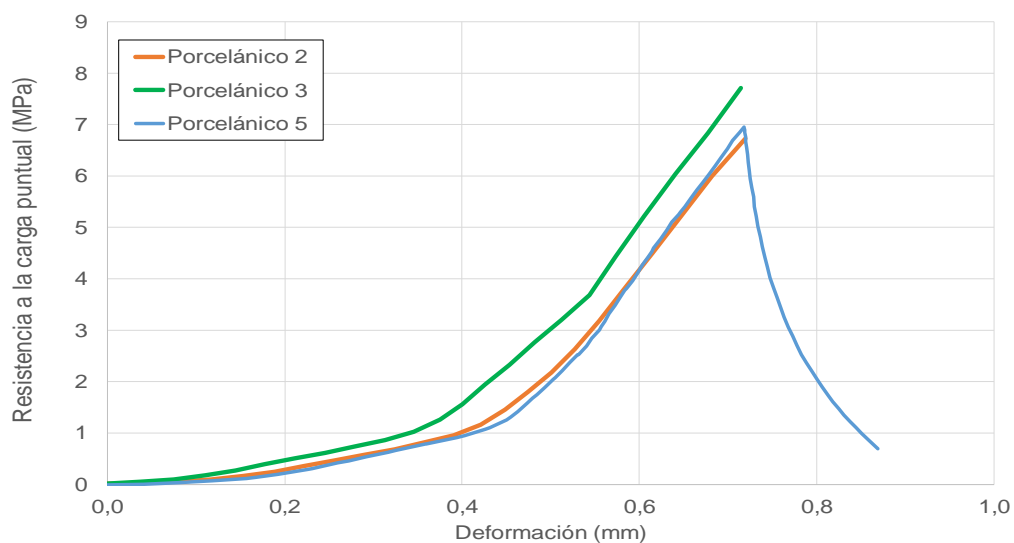


Figura 59. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.



Figura 60. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Muestra: **Gres**

- Baldosa superficial: Gres BIIa
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
Gres-1	18,0	2,9	0,7
Gres-2	19,8	3,2	0,6
Gres-3	20,3	3,2	0,7
Valor medio		3,1	0,7
Desv. Estándar		0,2	0,05

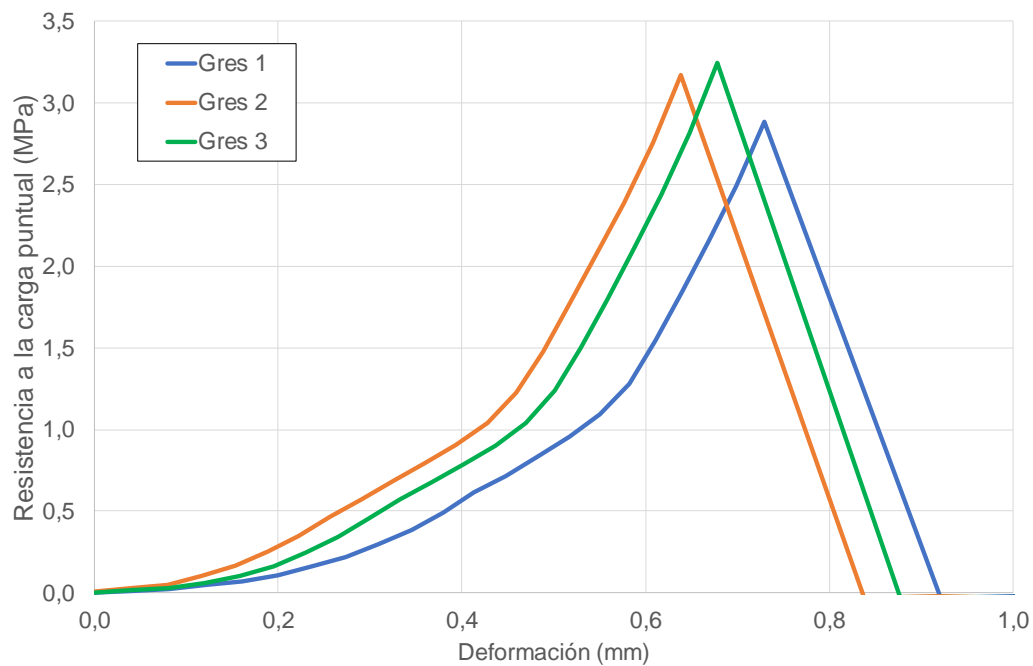


Figura 61. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.

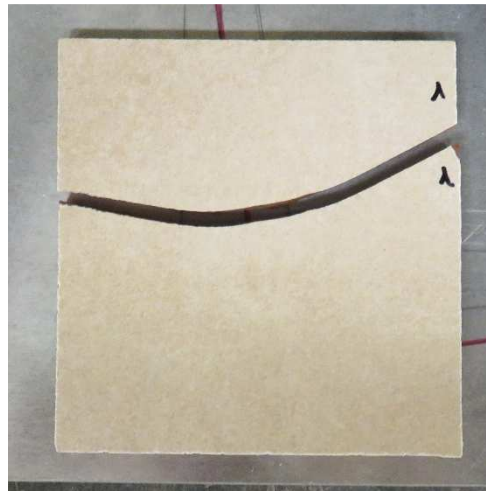


Figura 62. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Muestra: **Lámina**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de compresión: 625 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
Lámina-3	22,1	3,5	0,7
Lámina-4	19,2	3,1	0,7
Lámina-5	21,1	3,4	0,7
Valor medio		3,3	0,7
Desv. Estándar		0,2	0,0

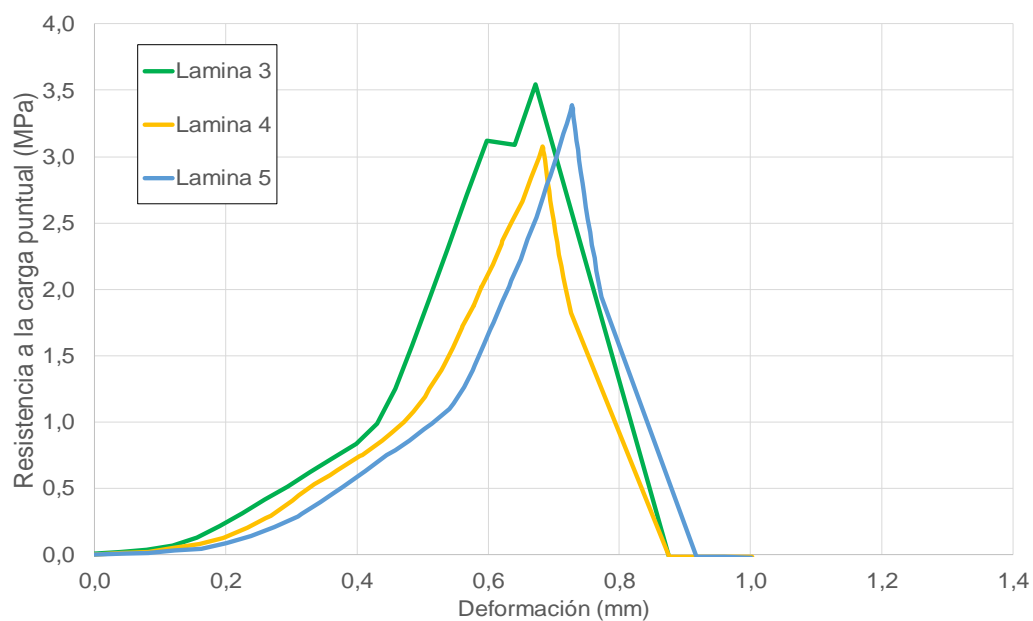


Figura 63. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación.

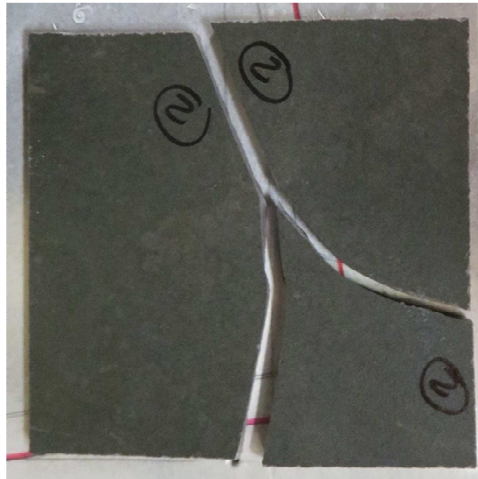


Figura 64. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la carga puntual.

Interpretación de resultados

Tabla 1: Resistencia a la carga puntual (MPa)

Sistema constructivo	Baldosa superficial		
	Gres Porcelánico	Gres BIIa	Lámina 6 mm
ON1	22,5	14,1	5,1
ON4	7,8	6,7	3,9
ON7	--	14,6	--
R1	69	71	57,2
R5	19,5	17,4	17

Tabla 2: Deformación antes de rotura (mm)

Sistema constructivo	Baldosa superficial		
	Gres Porcelánico	Gres BIIa	Lámina 6 mm
ON1	10,7	9,1	6,7
ON4	12,8	11,2	3,6
ON7	--	2,2	--
R1	0,4	0,6	0,7
R5	1,0	1,1	0,8

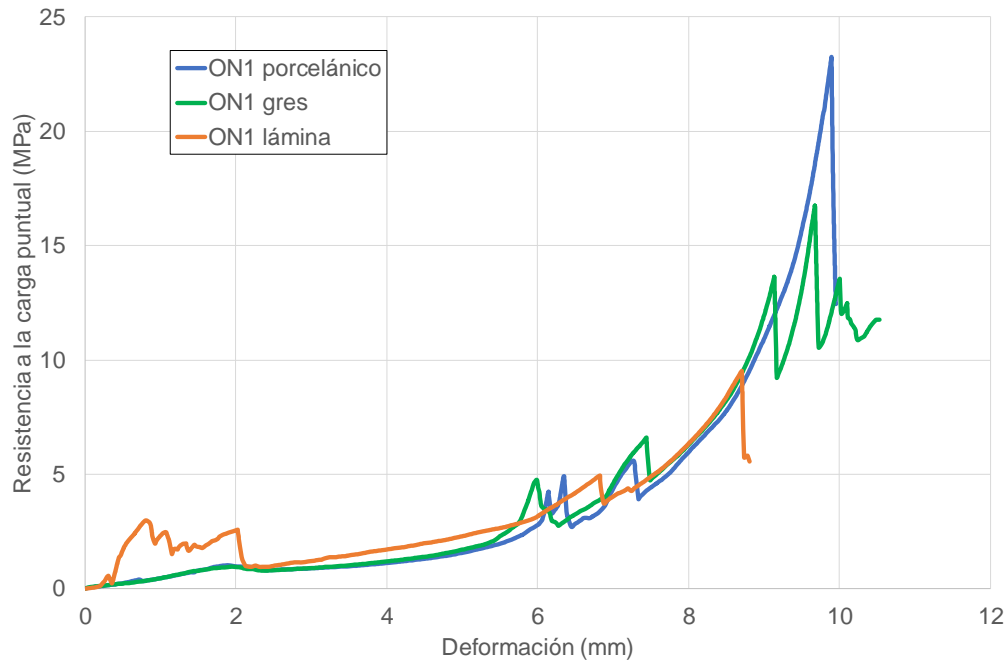


Figura 65. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo ON1.

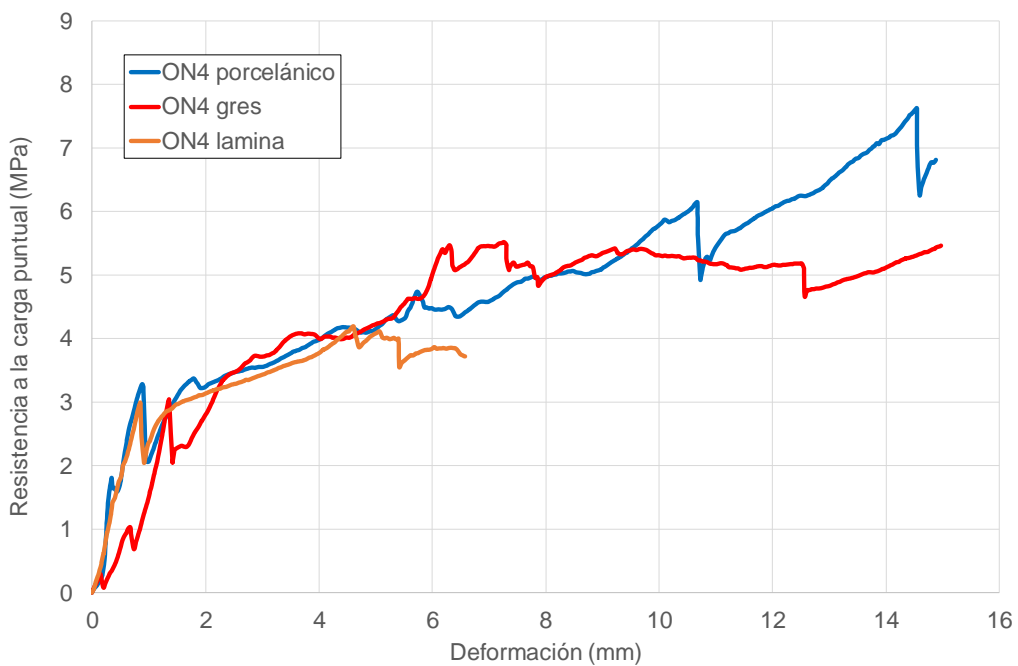


Figura 66. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo ON4.

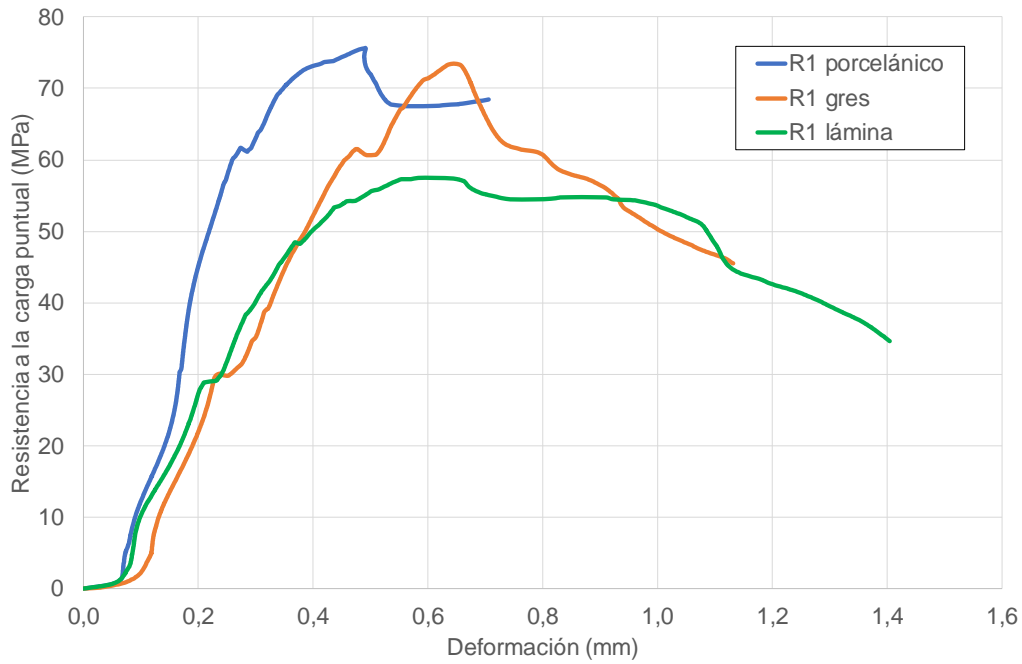


Figura 67. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo R1.

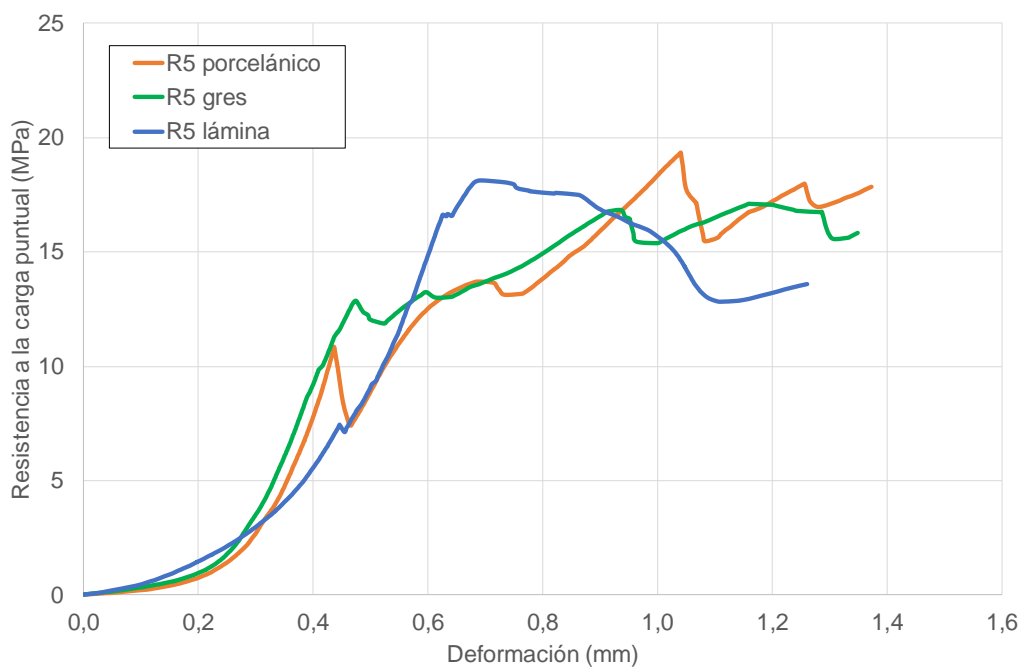


Figura 68. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo R5.

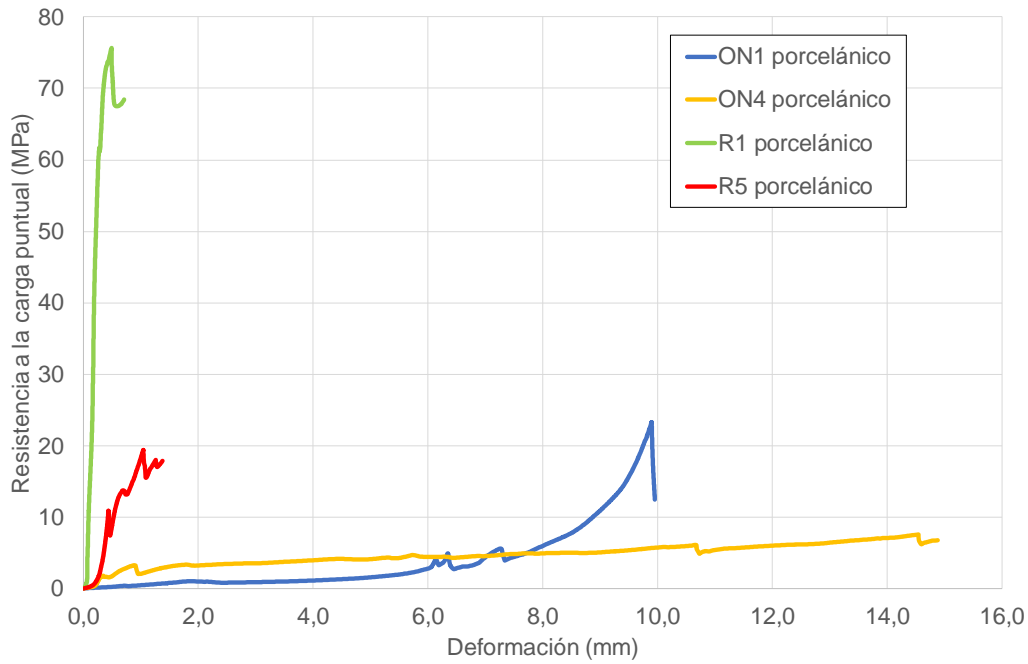


Figura 69. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación de los sistemas constructivos con baldosa superficial de Gres porcelánico.

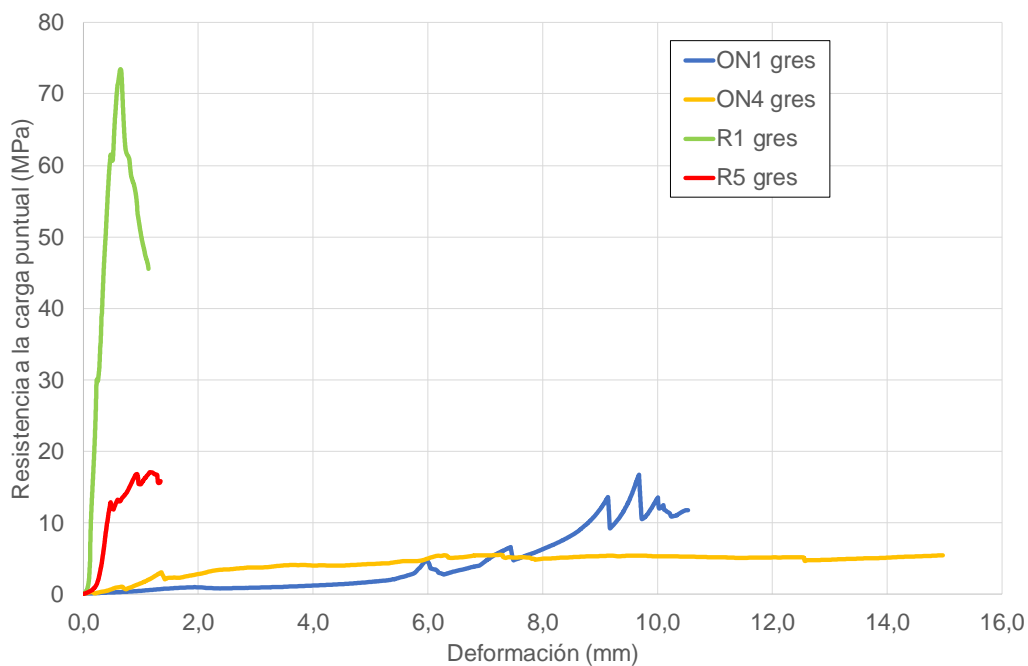


Figura 70. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación de los sistemas constructivos con baldosa superficial de Gres BIIa.

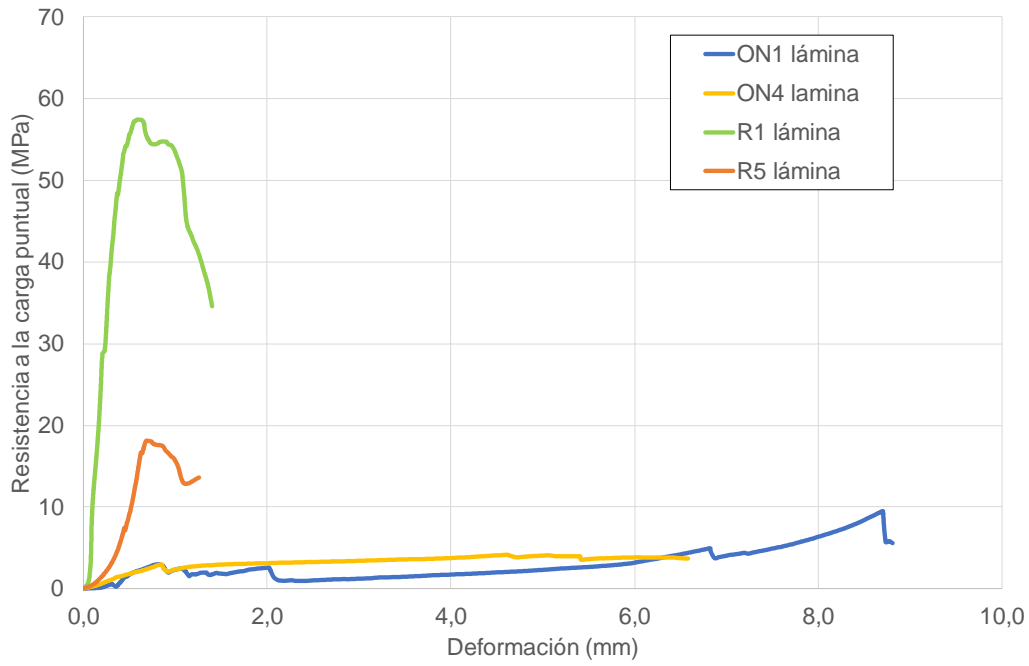


Figura 71. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación de los sistemas constructivos con baldosa superficial de Gres Blla.

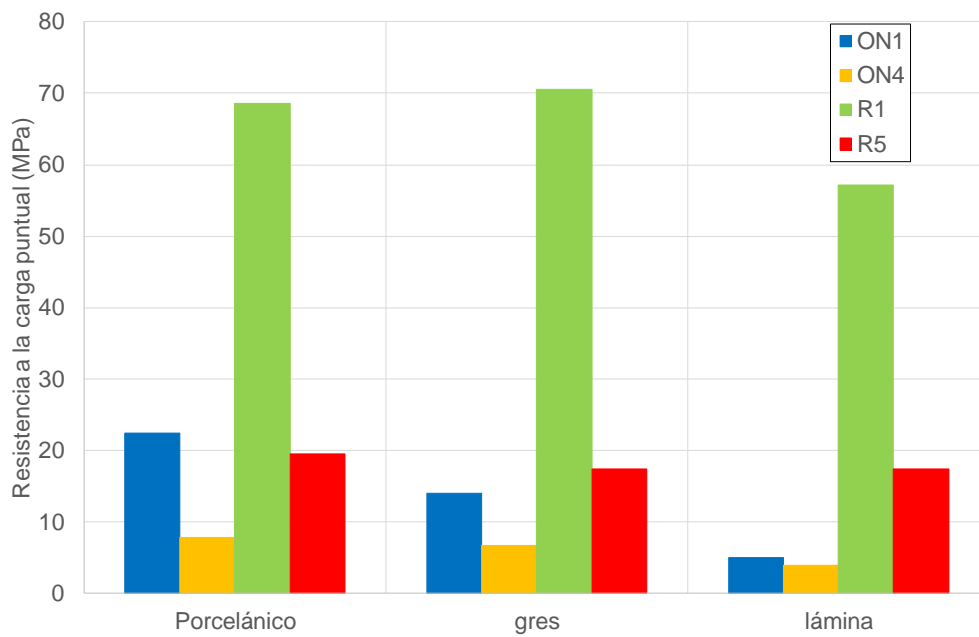


Figura 72. Resistencia a la carga puntual de los sistemas constructivos con tres tipos de baldosa superficial.

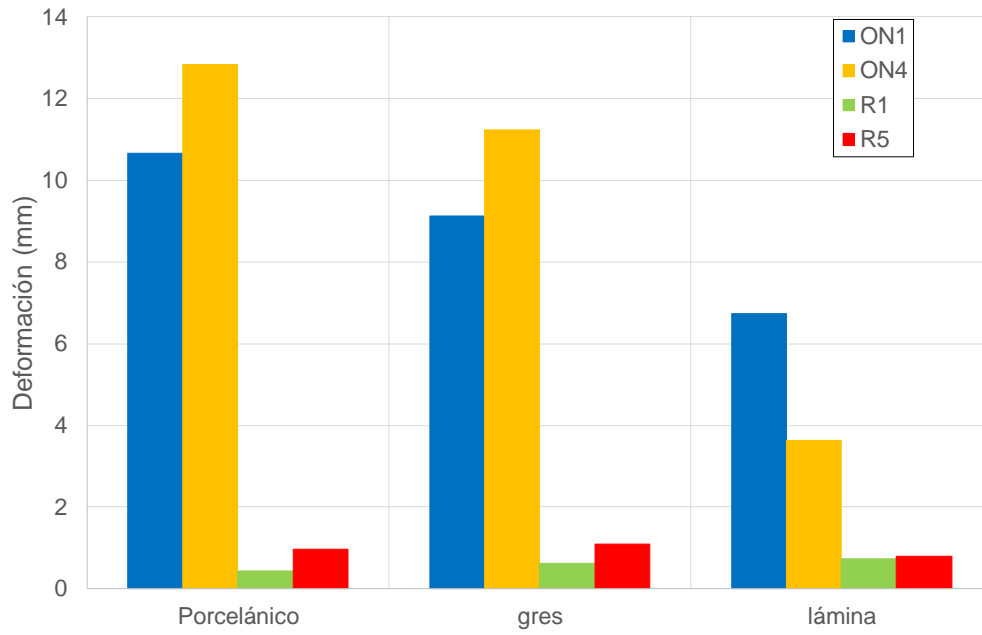


Figura 73. Deformación antes de la rotura de los sistemas constructivos con tres tipos de baldosa superficial.

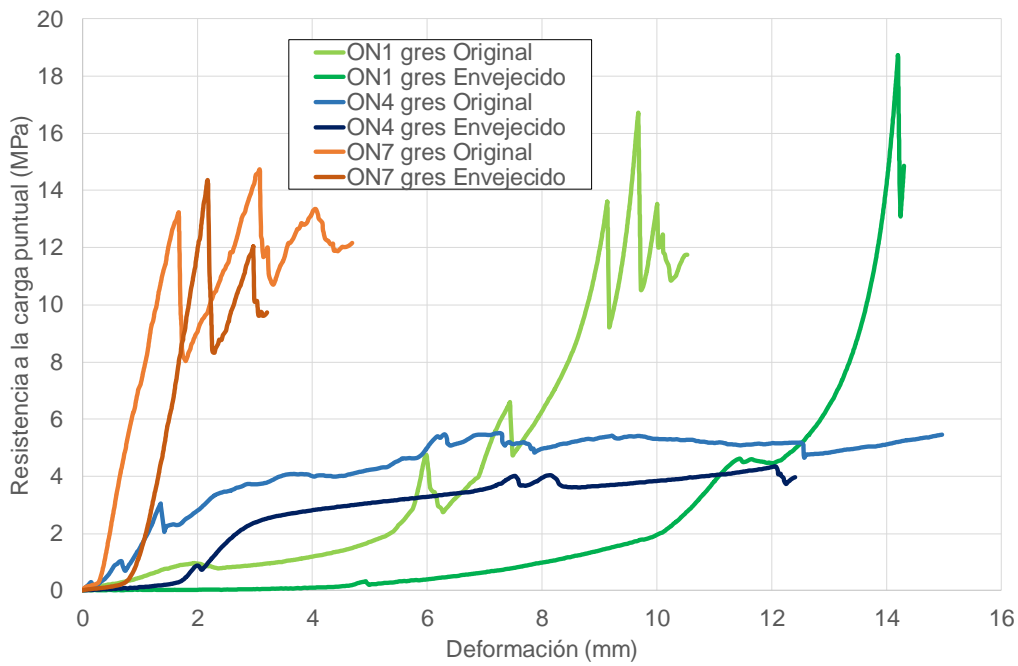


Figura 74. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación de los sistemas constructivos ON1, ON4 y ON7 con baldosa superficial de Gres Billa, Original y envejecido

Resultados tras envejecimiento:

Tabla 3: Resistencia a la carga puntual (MPa) con gres Blla

Sistema constructivo	Original	Envejecido
ON1	14,1	18
ON4	6,7	4,4
ON7	14,6	14

Tabla 4: Deformación antes de rotura (mm) con gres Blla

Sistema constructivo	Original	Envejecido
ON1	9,1	14,5
ON4	11,2	11,9
ON7	2,2	2,7

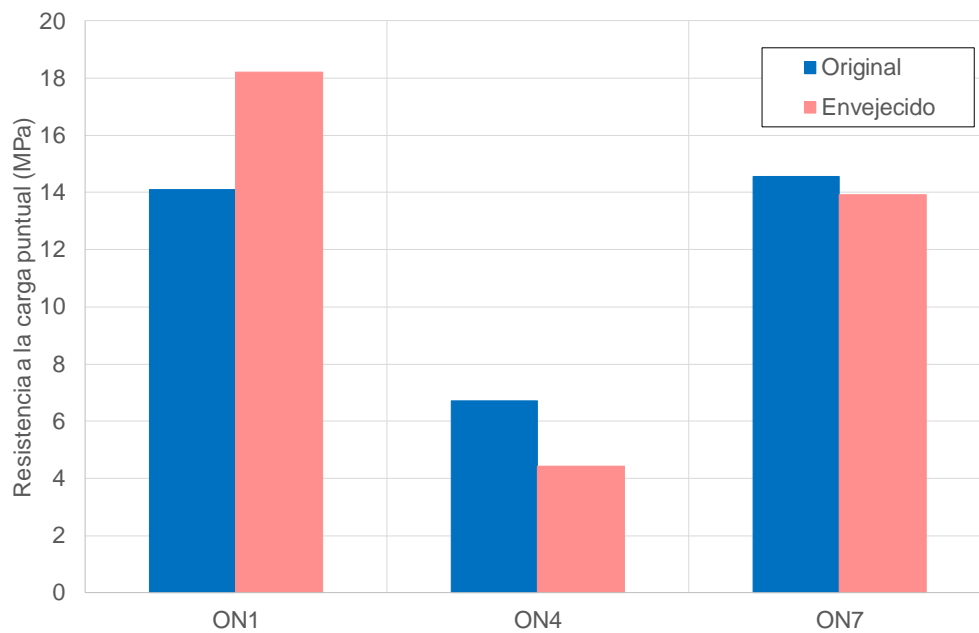


Figura 75. Resistencia a la carga puntual de los sistemas constructivos ON1, ON4 y ON7 con baldosa superficial de Gres Blla, Original y envejecido

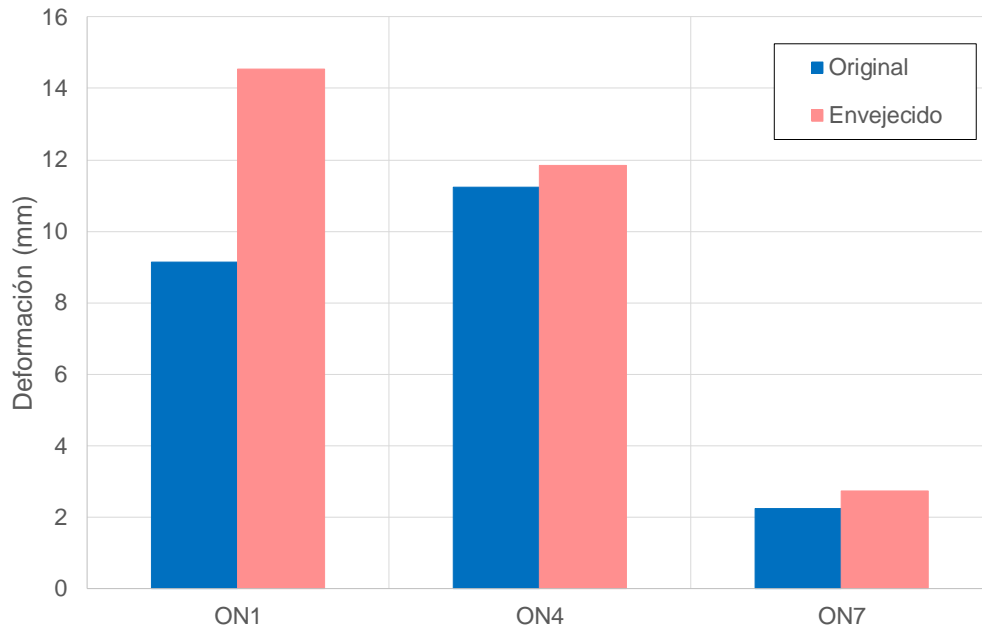


Figura 76. Deformación antes de la rotura de los sistemas constructivos ON1, ON4 y ON7 con baldosa superficial de Gres BIIa, Original y envejecido.

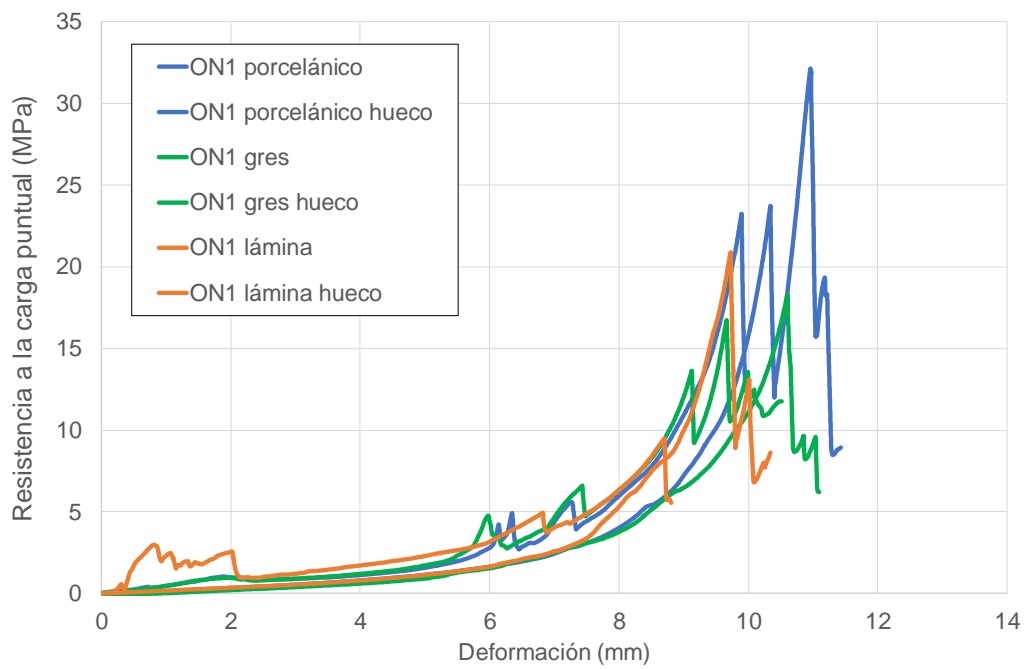


Figura 77. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo ON1.

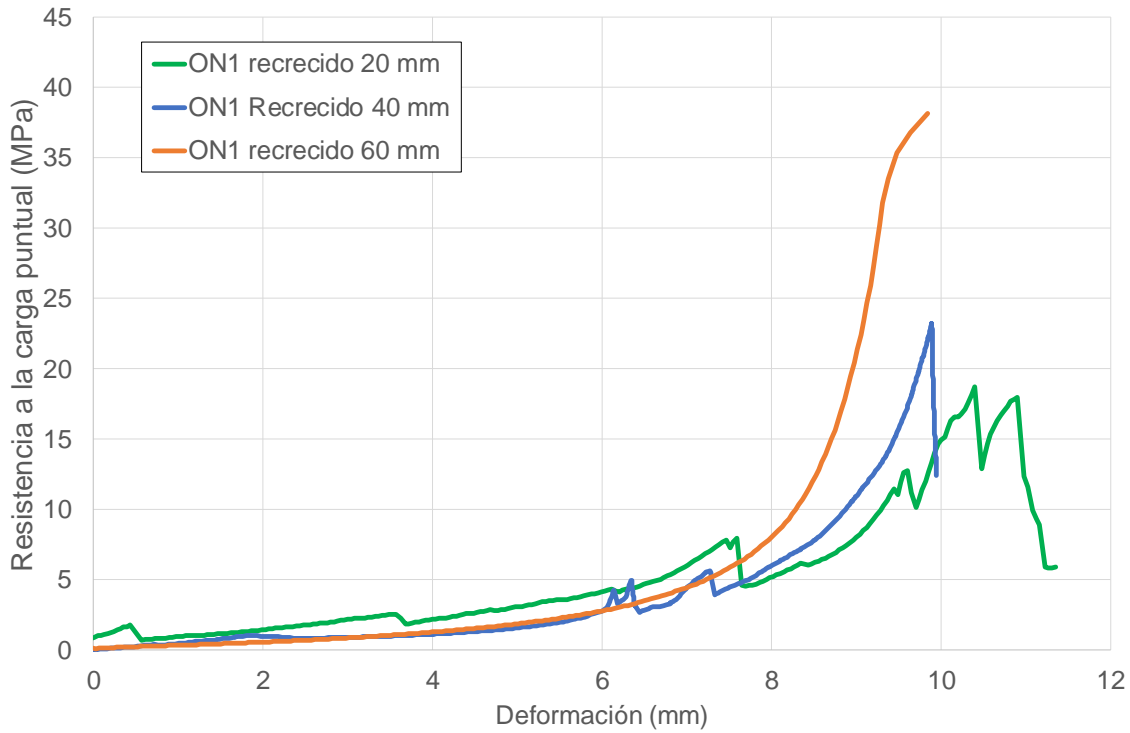


Figura 78. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo ON1 y diferentes espesores de recrecido.

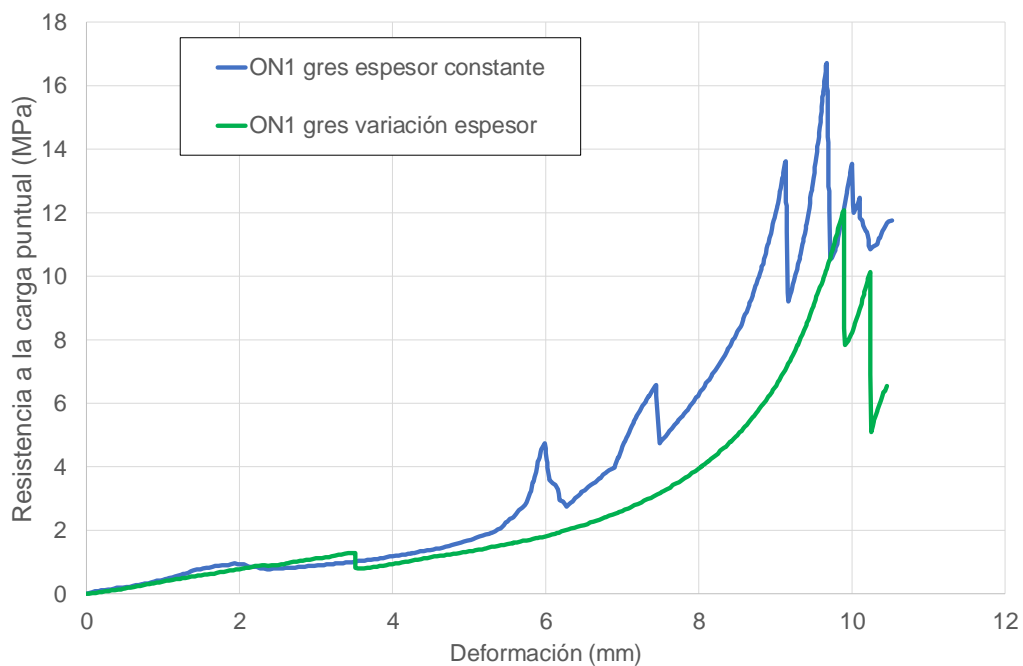


Figura 79. Variación de la resistencia a la carga puntual con la deformación del sistema constructivo ON1 con variación del espesor del recrecido.

Tabla 5: Resistencia a la carga puntual (MPa), Sistema constructivo ON1 sin y con hueco

Sistema constructivo	Baldosa superficial		
	Gres Porcelánico	Gres BIIa	Lámina 6 mm
Original	22	14	5
Con hueco	30	19	21
Baldosa sola	7,1	3,1	3,3

Tabla 6: Deformación antes de rotura (mm). Sistema constructivo ON1 sin y con hueco

Sistema constructivo	Baldosa superficial		
	Gres Porcelánico	Gres BIIa	Lámina 6 mm
Original	10,7	9,1	6,7
Con hueco	10,6	10,4	10,0
Baldosa sola	0,72	0,68	0,69

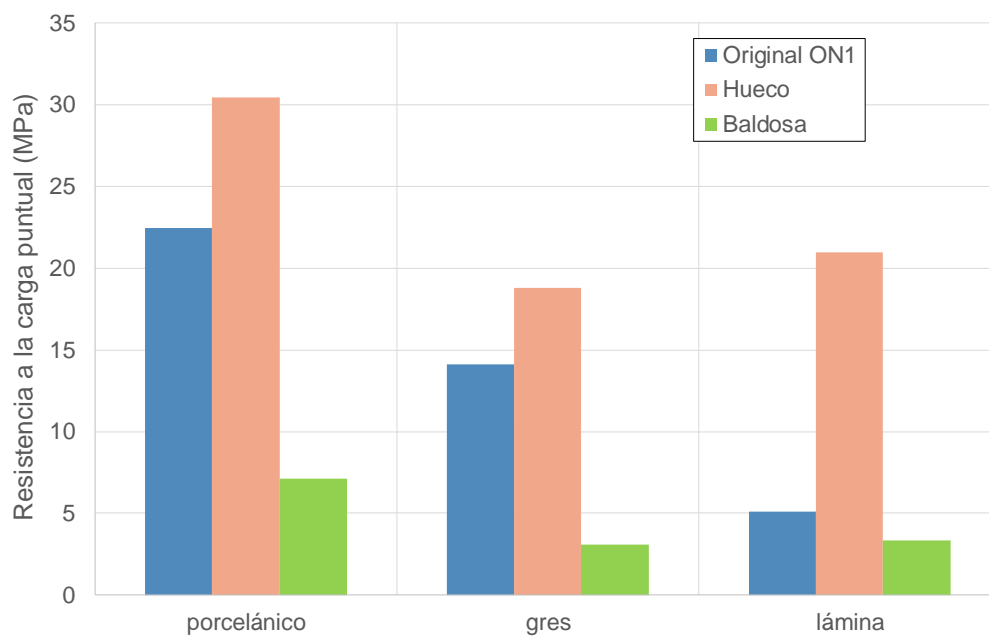


Figura 80. Resistencia a la carga puntual de los sistemas constructivos con tres tipos de baldosa superficial.

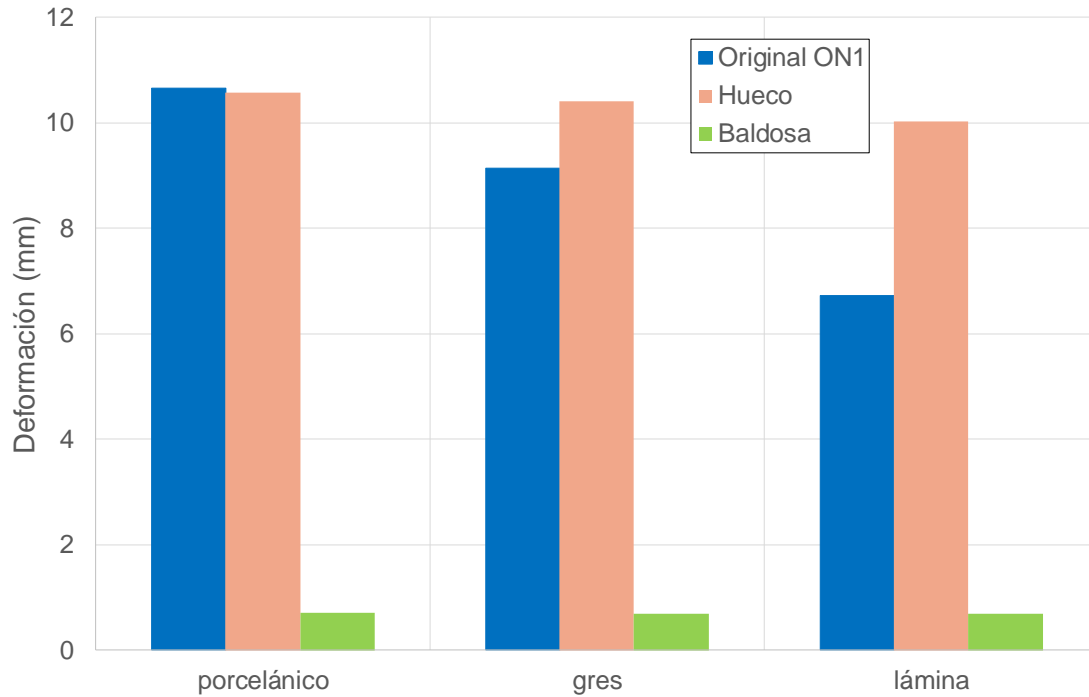


Figura 81. Deformación antes de la rotura de los sistemas constructivos con tres tipos de baldosa superficial.

Tabla 7: Resistencia a la carga puntual (MPa), Sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de recrecido

Sistema constructivo	Espesor de recrecido (mm)		
	20	40	60
ON1 porcelánico	19	22	38

Tabla 8: Deformación antes de rotura (mm). Sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de recrecido

Sistema constructivo	Espesor de recrecido (mm)		
	20	40	60
ON1 porcelánico	10,2	10,7	10,0

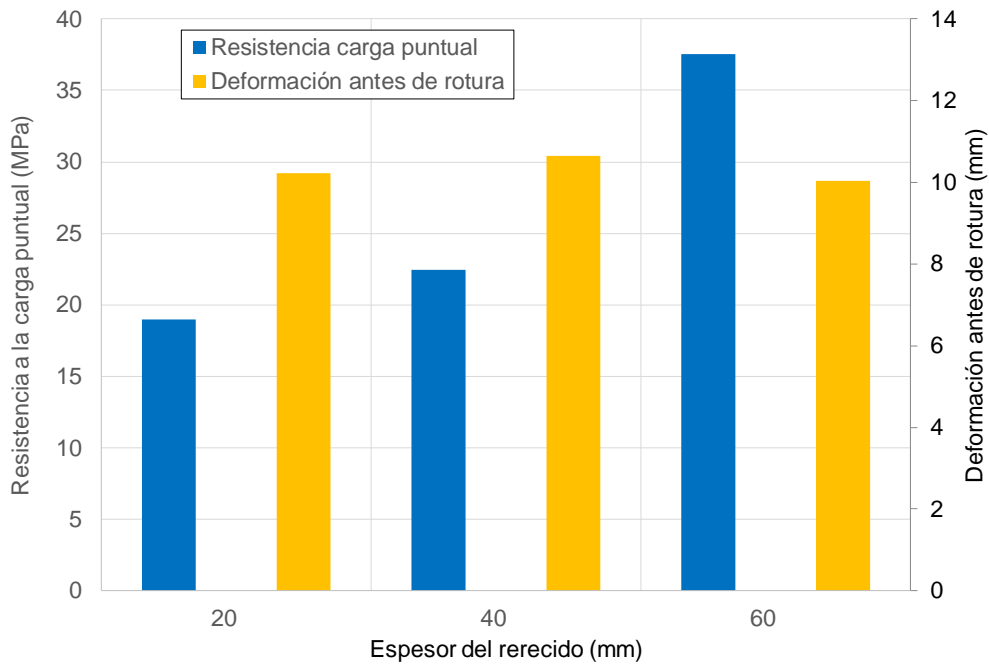


Figura 82. Resistencia a la carga puntual y deformación antes de la rotura del sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de revecido.

- Los sistemas que presentan en conjunto capas más rígidas y homogéneas soportan una carga puntual mayor y menor deformación antes de rotura, independientemente del recubrimiento cerámico.
- Para los sistemas con capas intermedias deformables, la deformabilidad no guarda relación directa con la resistencia a la carga puntual, sí con la rigidez de las capas intermedias, capas más deformables generan mayor deformabilidad al conjunto del sistema.
- En general, dentro de un mismo sistema, cuanto mayor es la resistencia a cargas de un tipo de recubrimiento cerámico, también es mayor la deformación del sistema.
- El gres porcelánico tiene un comportamiento a la carga puntual ligeramente mejor que el gres, siendo la lámina cerámica la que tiene peor comportamiento.
- En el caso de sistemas cerámicos correctamente diseñados y ejecutados, parece que el comportamiento frente al envejecimiento por humedad y temperatura de la resistencia a cargas puntuales, varía en función del sistema. Si es cierto que aumenta ligeramente la deformabilidad en los casos que existen capas intermedias deformables, esto podría justificarse debido al aumento de volumen de las capas porosas del sistema por hidratación, el cual perderían al ser comprimidas.
- Sistemas con pequeñas heterogeneidades en la aplicación de la capa de adhesivo (surcos y pequeños puntos de adhesivo) no se ven afectados en su comportamiento frente a cargas puntuales, ni en resistencia ni en deformabilidad. No se han evaluado grandes heterogeneidades puesto que la experiencia indica que sí afectan significativamente.
- Los espesores de las capas rígidas del sistema afectan a la resistencia frente a cargas puntuales, no a la deformabilidad del sistema. Mayores espesores de capas de mortero aumentan la resistencia.
- En el estudio de reproducibilidad del método no se han obtenido valores aceptables. No se han podido determinar las causas. Una posible explicación es que la variabilidad en la preparación de las maquetas en diferentes periodos o el tiempo de maduración de las mismas haya podido influir. Si es cierto que las tendencias en los valores obtenidos se mantienen.

- Si se evalúa la cerámica independientemente al sistema cerámico, se obtiene el mejor comportamiento a la resistencia a la carga puntual para el porcelánico. Los resultados para el gres y la lámina cerámica son iguales. La deformabilidad en todos los casos es la misma.

4.2.1.2. Resistencia mecánica a la compresión

Se ha determinado la resistencia a la compresión de las muestras con geometría cúbica y área de compresión cuadrada de 100 mm x 100 mm aproximadamente. El ensayo consiste en ejercer sobre las probetas, una fuerza progresiva de compresión normal a toda la superficie, con una velocidad de desplazamiento de 5 mm/min hasta provocar su rotura. El ensayo se considera terminado cuando se alcanza una carga máxima o la rotura de la baldosa superficial de la probeta.

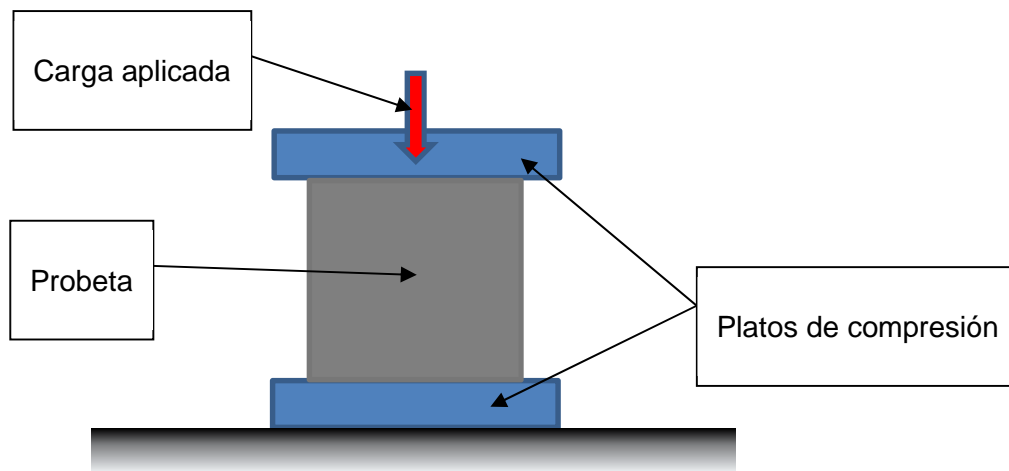


Figura 83. Esquema del ensayo de determinación de la resistencia mecánica a la compresión.



Figura 84. Detalle del ensayo de determinación de la resistencia mecánica a la compresión.

La resistencia mecánica a la compresión viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A}$$

donde:

σ : resistencia mecánica a la compresión (MPa)

F_{\max} : fuerza máxima antes de la rotura o carga de rotura (N)

A : Área de compresión de la probeta (mm²)

El estudio se ha realizado sobre los sistemas cerámicos representativos de obra nueva (ON1, ON4, ON7) con recubrimiento de baldosas cerámicas BIIa.

Resultados obtenidos

Sistema ON1 con gres BIIa

- Baldosa superficial: Gres BIIa
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-22	2943	76,2	7,5	10,2
ON1-23	3007	72,3	7,1	12,8
ON1-24	2955	70,1	6,9	11,2
Valor medio			7,2	11,4
Desv. Estándar			0,3	1,3

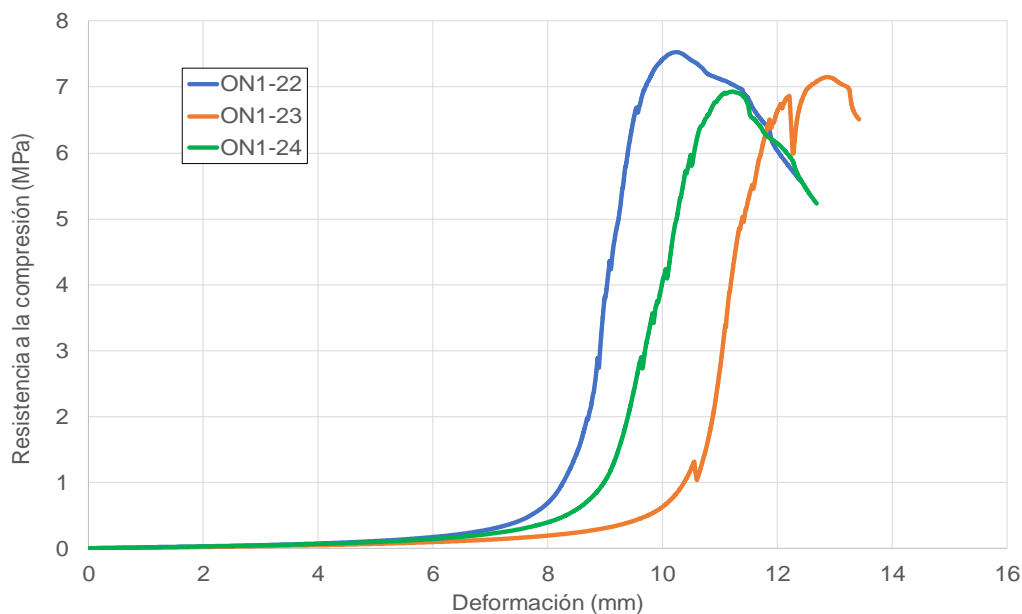


Figura 85. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 86. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Sistema ON4 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON4-15	2812	28,2	2,8	20,2
ON4-16	2723	33,7	3,4	19,7
ON4-17	2788	34,4	3,4	18,5
Valor medio			3,2	19,5
Desv. Estándar			0,3	0,8

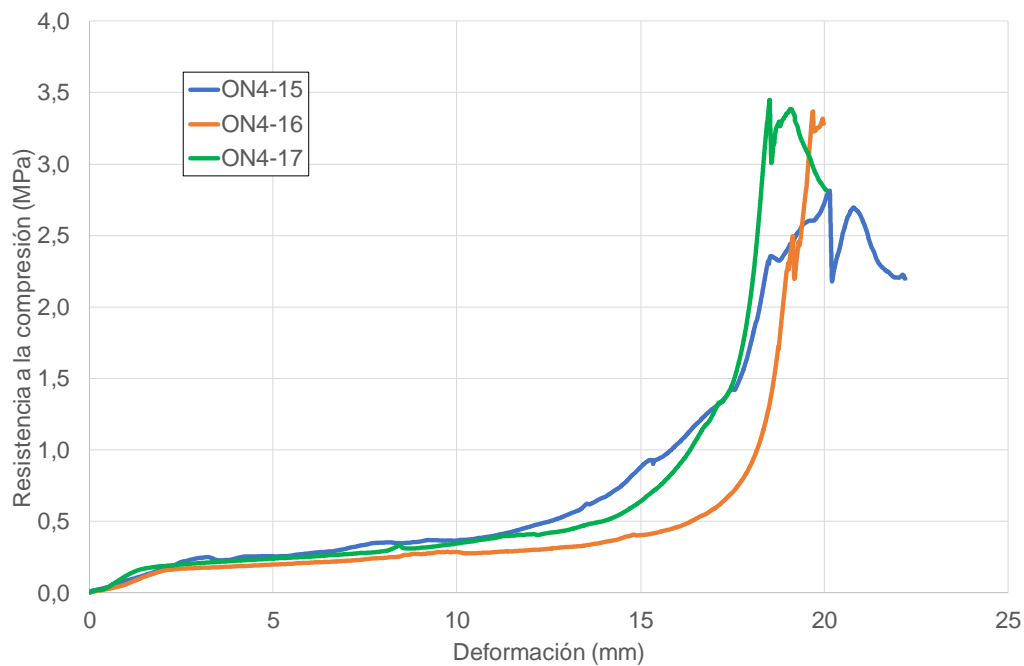


Figura 87. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 88. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Sistema ON7 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Masa (g)	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON7-1	3247	28,2	2,91	5,0
ON7-2	3242	27,3	2,82	5,1
ON7-3	3242	28,0	2,88	5,0
Valor medio			2,87	5,0
Desv. Estándar			0,05	0,1

Figura 89. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 90. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Para evaluar la reproducibilidad del método se realizan nuevas maquetas y se ensayan a compresión

Sistema ON7 con gres Blla

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON7-17	50,3	5,9	5,9
ON7-18	42,6	4,3	9,6
ON7-19	55,3	5,5	9,1
Valor medio		5,2	8,2
Desv. Estándar		0,9	2,0

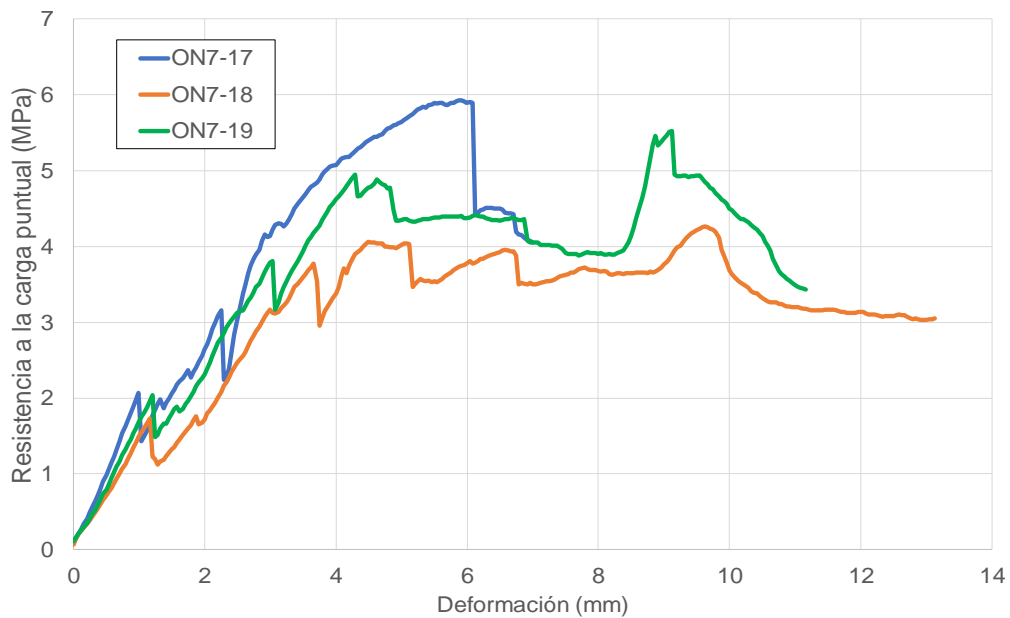


Figura 91. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 92. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Evaluación del comportamiento frente a la compresión modificando los espesores de la capa de recredidoMuestra: **ON1 recredido 20 mm**

- Baldosa superficial: Gres Porcelánico
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-53	22,4	22,5	13,8
ON1-54	19,8	19,8	13,0
Valor medio		21,1	13,4
Desv. Estándar		1,9	0,5

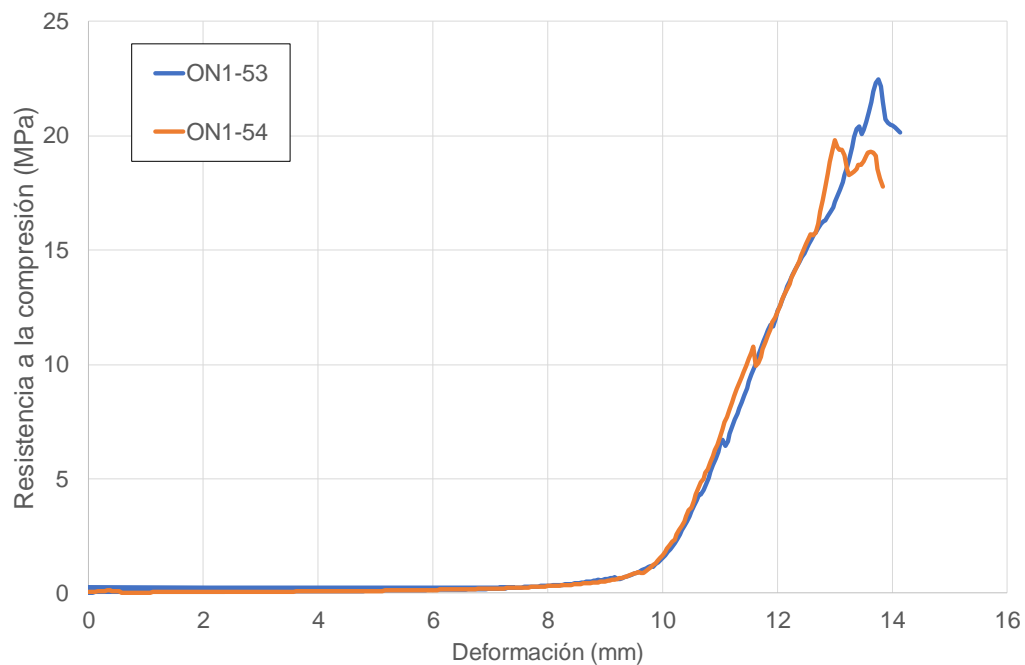


Figura 93. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 94. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Muestra: **ON1 recredido 40 mm**

- Baldosa superficial: Gres Porcelánico
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-45	9,0	9,0	11,6
ON1-46	8,4	8,4	13,4
Valor medio		8,7	12,5
Desv. Estándar		0,4	1,2

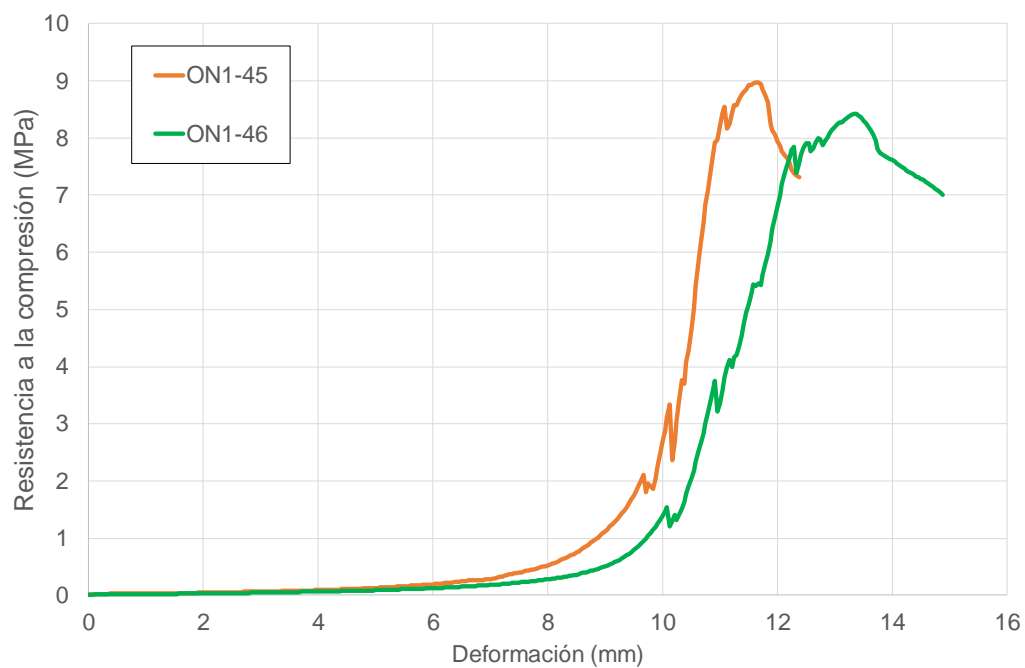


Figura 95. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 96. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Muestra: **ON1 recrecido 60 mm**

- Baldosa superficial: Gres Porcelánico
- Área de compresión: 10000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1-56	50,2	5,0	11,0
ON1-57	53,2	5,3	12,6
ON1-58	52,7	5,3	11,6
Valor medio		5,2	11,7
Desv. Estándar		0,2	0,8

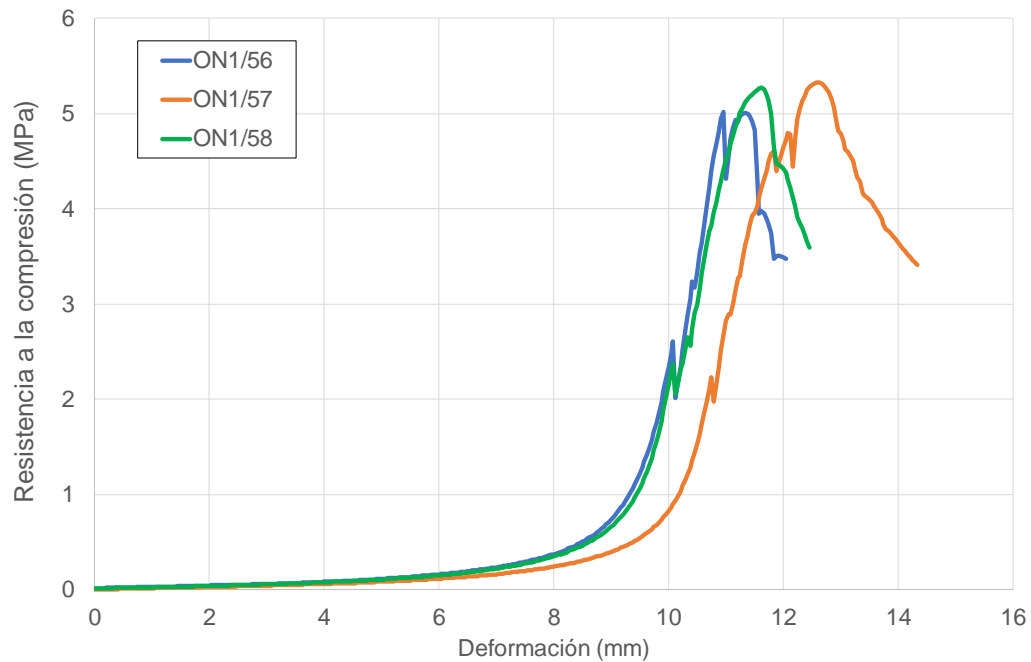


Figura 97. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación.



Figura 98. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la compresión.

Interpretación de resultados

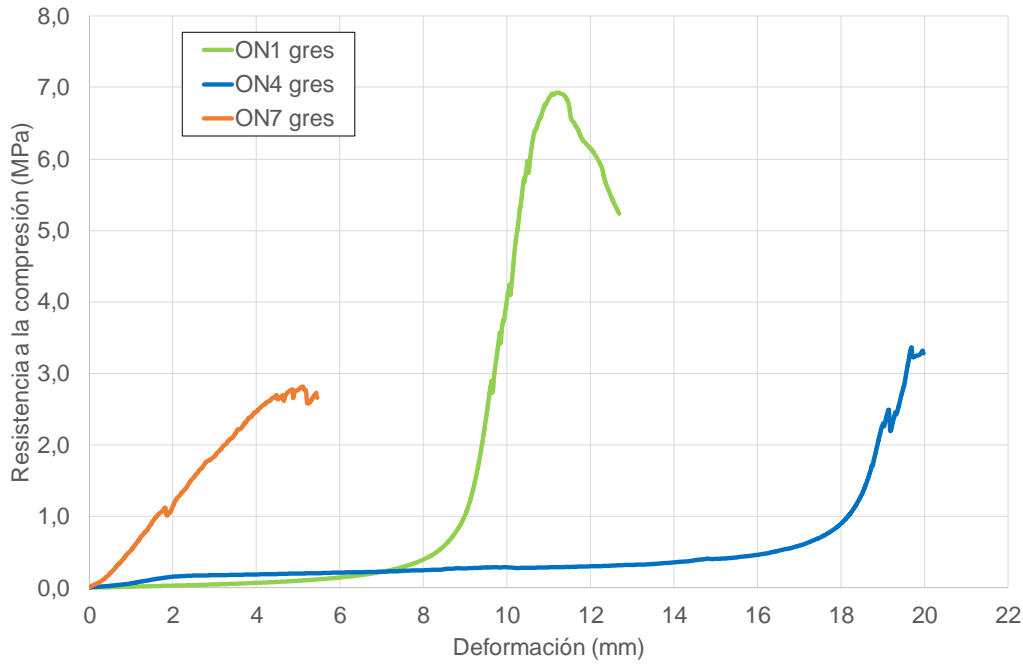


Figura 99. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación de los sistemas constructivos ON1, ON4 y ON7 con baldosa superficial de Gres Blla.

Tabla 9: Resistencia a la compresión y la deformación antes de rotura Gres Blla.

Sistema constructivo	Resistencia a la compresión (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)
ON1	7,2	11,4
ON4	3,2	19,5
ON7	2,9	5,0

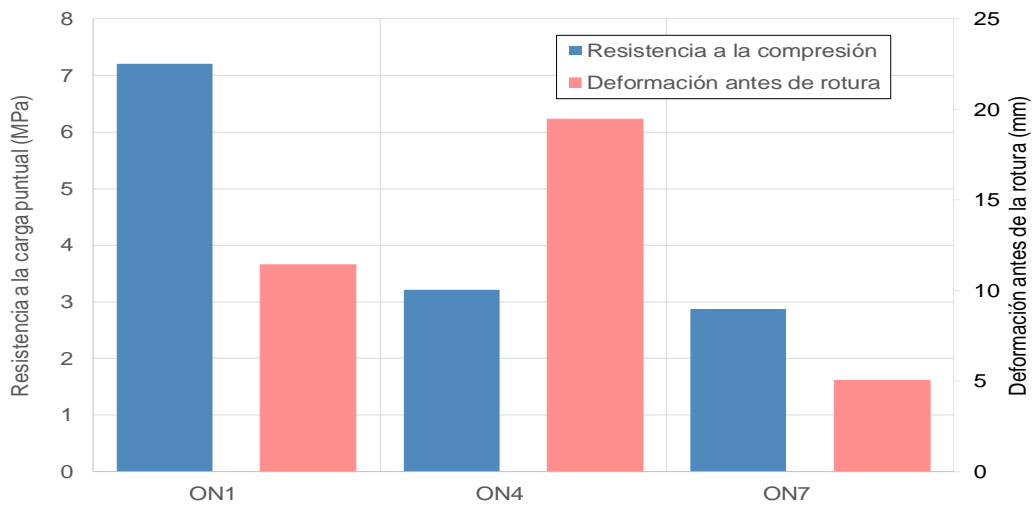


Figura 100. Resistencia a la compresión y la deformación antes de la rotura de los sistemas constructivos ON1, ON4 y ON7 con baldosa superficial de Gres Blla.

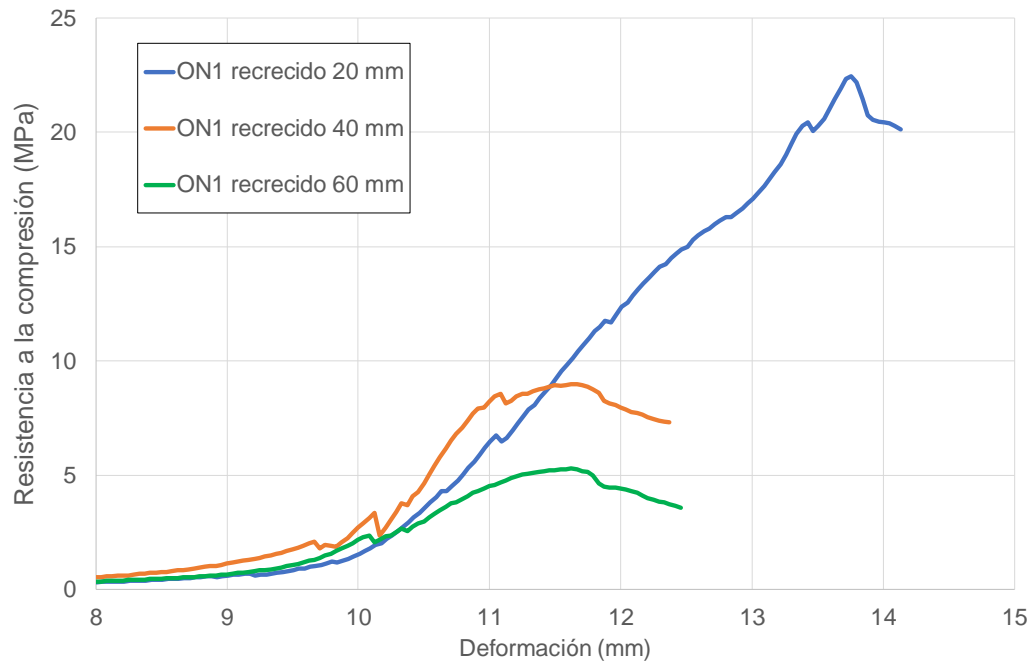


Figura 101. Variación de la resistencia a la compresión con la deformación del sistema constructivo ON1 y diferentes espesores de recocado..

Tabla 10: Resistencia a la compresión (MPa), Sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de recocado

Sistema constructivo	Espesor de recocado (mm)		
	20	40	60
ON1 porcelánico	21	8,4	5,2

Tabla 11: Deformación antes de rotura (mm). Sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de recocado

Sistema constructivo	Espesor de recocado (mm)		
	20	40	60
ON1 porcelánico	13,4	12,5	11,7

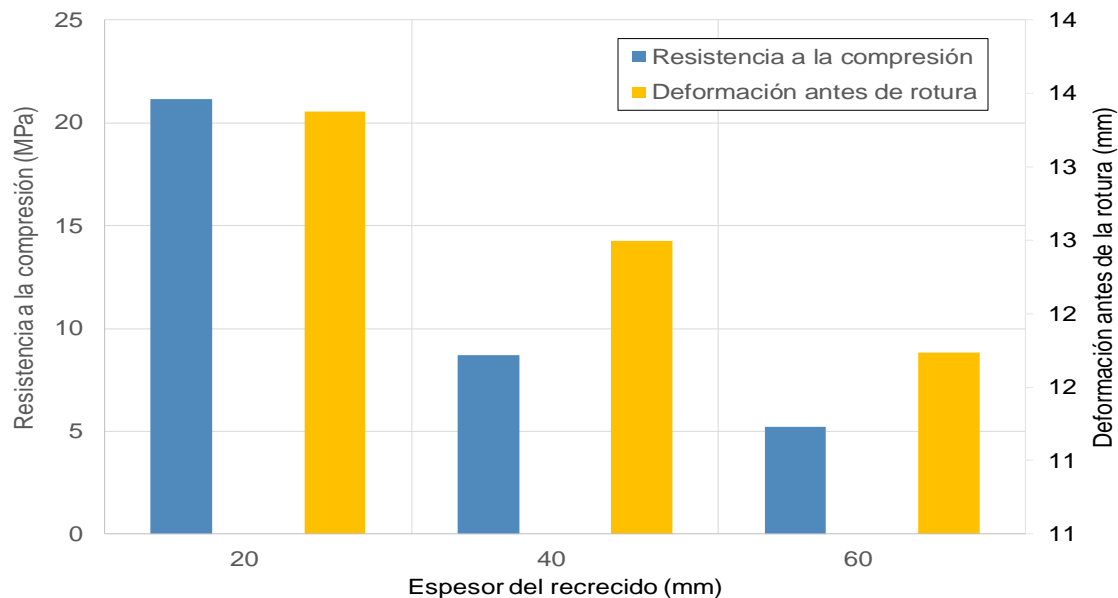


Figura 102. Resistencia a la compresión y deformación antes de la rotura del sistema constructivo ON1 con diferentes espesores de recrecido.

- Parece que la resistencia a la compresión se ve más afectada por capas inestables y heterogéneas (por ejemplo, de garbancillo suelto) que por el espesor de las capas de recrecido situadas bajo la baldosa.
- Los resultados obtenidos parecen indicar que, al contrario de lo que sucede en la resistencia a la carga puntual, la resistencia a la compresión no guarda relación directa con el espesor de las capas rígidas bajo la cerámica. No obstante, no se ha encontrado una explicación a este hecho. Una explicación propuesta es que, a mayor espesor de capa de mortero, mayor tiempo necesita de maduración, por lo que alcanza el grado de madurez y por tanto de resistencia en un periodo de tiempo más largo. Puesto que las maquetas se han dejado madurar el mismo tiempo antes de ensayar, ha podido ocurrir que, en las maquetas de mayor espesor, las capas de mortero no hubieran alcanzado la misma rigidez y grado de maduración que en las maquetas con capas de mortero de menor espesor.
- Para los sistemas con capas intermedias deformables, la deformabilidad no guarda relación directa con la resistencia a la compresión, sí con la rigidez de las capas intermedias, capas más deformables generan mayor deformabilidad al conjunto del sistema.
- Respecto a los diferentes materiales cerámicos, el de mejor comportamiento frente a cargas es el gres porcelánico (menor absorción de agua). El espesor de la baldosa también influye, de forma que, a mayor espesor, también mayor resistencia mecánica.
- En el estudio de reproducibilidad del método no se han obtenido valores aceptables. No se han podido determinar las causas. No obstante, una posible explicación es que la variabilidad en la preparación de las maquetas en diferentes periodos o el tiempo de maduración de las maquetas haya podido influir. También la interferencia del encofrado durante la realización del ensayo ha podido contribuir en algún caso.

4.2.2. Deformabilidad sin carga (variación dimensional y de planitud por envejecimiento)

Se han determinado las dimensiones de los sistemas ON1, ON4, ON7 (modificado solo con capa de recrecido) y R1 con todos los recubrimientos de baldosas cerámicas (gres porcelánico, lámina cerámica y gres Blla) siguiendo el método de medida establecido en la norma UNE-EN ISO 10545-2: 2019 "Baldosas Cerámicas - Parte 2: Determinación de las dimensiones y del aspecto superficial". Se han determinado las medidas de planitud de la superficie de la baldosa cerámica y las distancias entre dos lados de la baldosa.

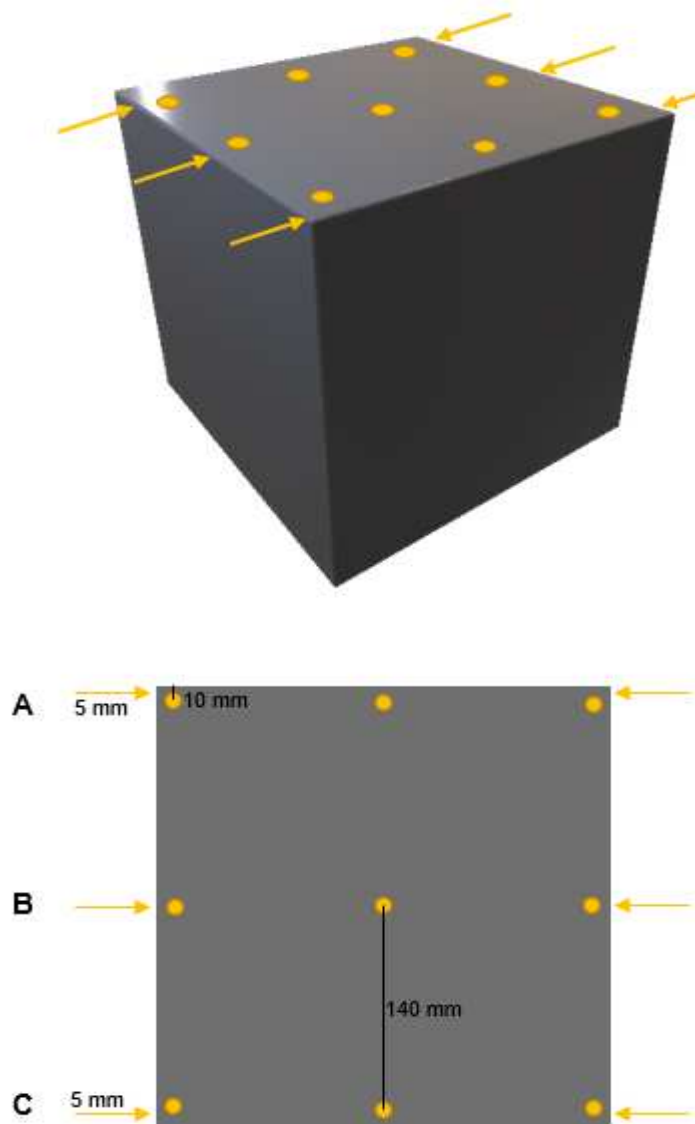


Figura 103. Esquema de las medidas realizadas en las probetas de 300x300mm, se realizan 9 puntos para obtener las curvaturas y 6 puntos en los lados a 5mm de las esquinas, para obtener 3 distancias.

Las medidas se han realizado utilizando el brazo de medición portátil ROMER ABS ARM 7330 calibrado externamente en un laboratorio acreditado por ENAC. La incertidumbre asignada a las medidas individuales es $l(k=2) = 0,075 \text{ mm}$.

Se han realizado un total de 9 medidas en la superficie, a 10 mm de los bordes de la baldosa y en las posiciones centrales de arista y probeta (

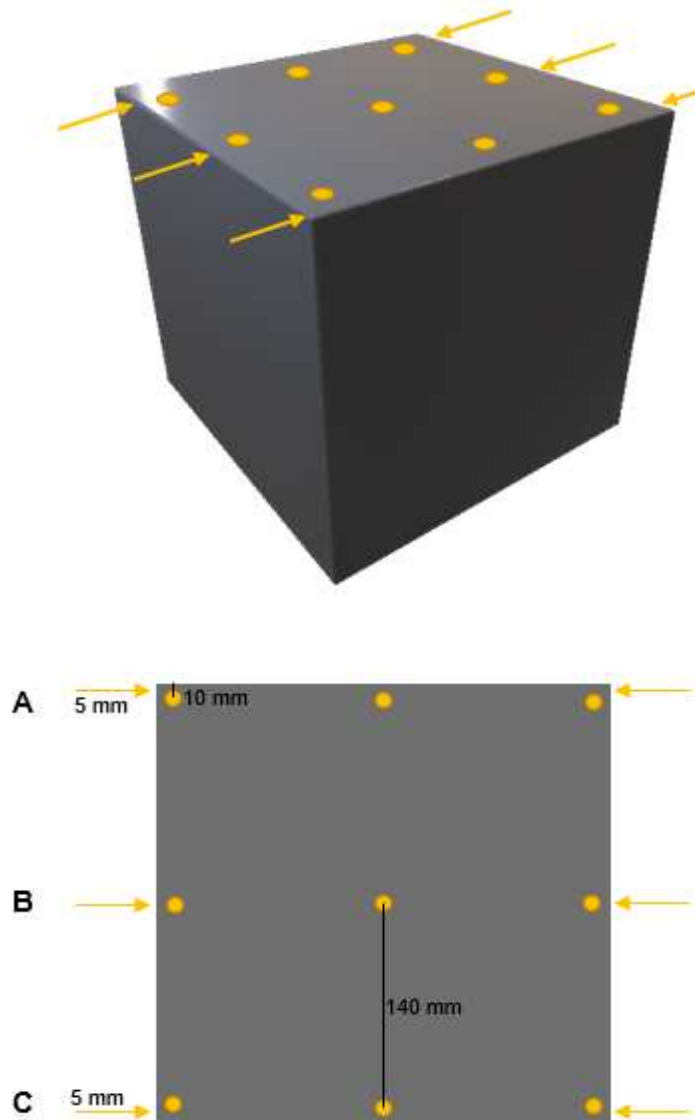


Figura 103). Las medidas de la variación dimensional se han realizado en solo en una dirección, midiendo en puntos lo más próximo a la superficie y a 5 mm de la esquina, así como en el centro de la arista.



Figura 104. Equipo de medida de las variaciones dimensionales de las probetas, brazo de medición portátil ROMER ABS ARM 7330.

Una vez se han medido todas las probetas en condiciones ambientales de laboratorio, se les realiza un envejecimiento a las probetas en condiciones de temperatura y presión por vapor de agua. Este envejecimiento se realiza en un autoclave horizontal.

Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100°C, los productos plásticos de la calefacción radiante empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Por tal razón, se estableció una temperatura de 80 °C para realizar el envejecimiento.

Tabla 12. Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas

T (°C)	P (atm)
40	0,073
60	0,196
80	0,466
100	1,00
120	1,96

El envejecimiento consistió en una presión de vapor de 0,466 atm durante 10 horas en autoclave.



Figura 105. Autoclave horizontal en el que se realizó el envejecimiento de las probetas.

Una vez realizado el envejecimiento, se extraen las probetas del autoclave y se dejan en el laboratorio hasta alcanzar la temperatura ambiental. Se vuelven a medir todas las probetas en las mismas posiciones iniciales, para comprobar las variaciones dimensionales tras el envejecimiento.

Resultados obtenidos

Para comparar los resultados entre probetas, se ha medido la altura absoluta de las probetas desde la base (una placa patrón), en la que se hace el cero como plano de referencia. Todas las probetas se han colocado de la misma manera para minimizar los errores. Los valores de curvaturas y distancias entre cantos son medidas relativas entre los puntos.

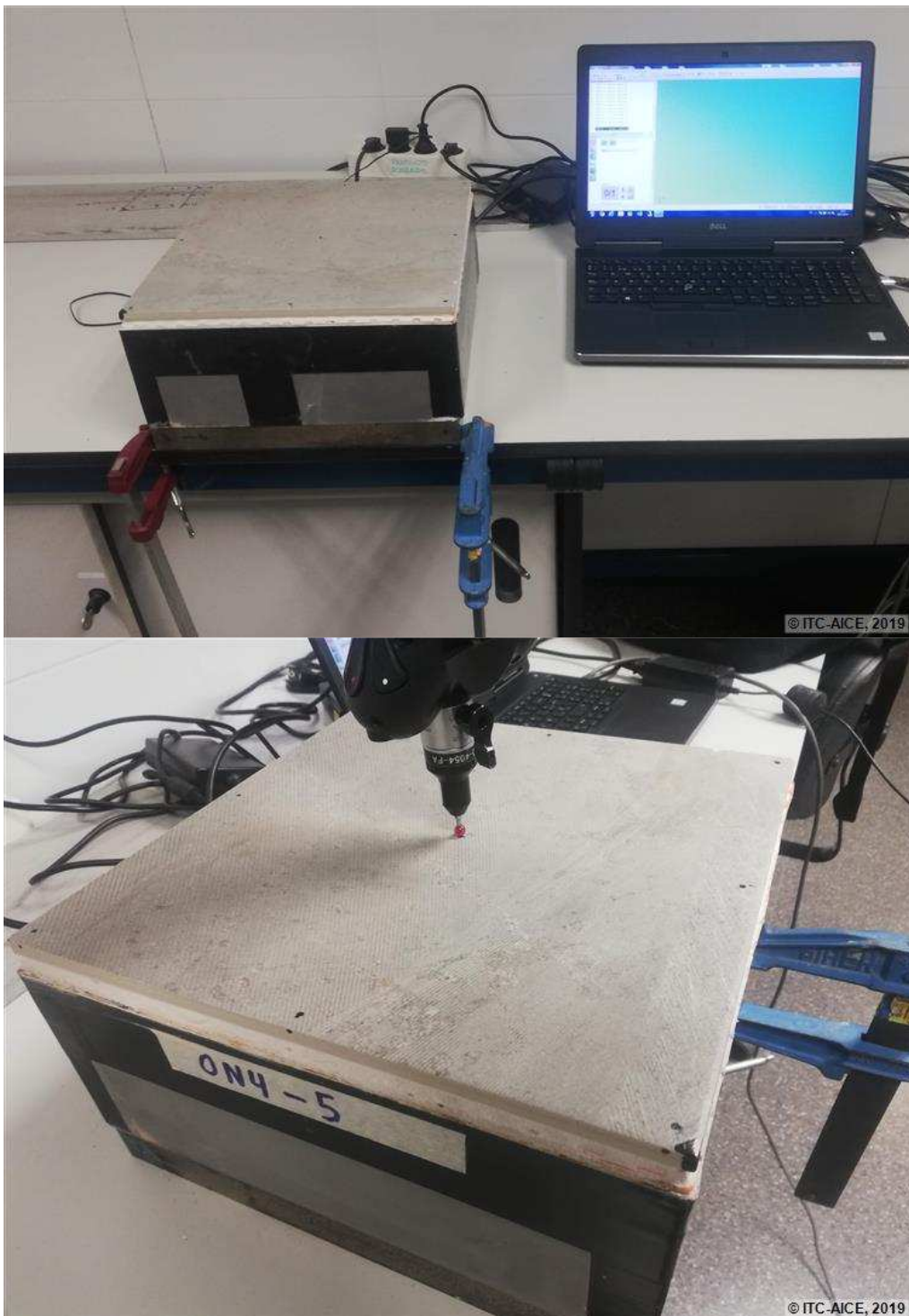


Figura 106. Colocación de las probetas sobre la placa patrón, la cual estaba fijada para evitar su movimiento. Con la punta del brazo medidor se tocaba en los puntos de medida.

Sistema ON1 con porcelánico Bla

Tabla 13. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	123,50	123,40	122,64
	150	123,40	123,34	122,59
	290	122,81	122,75	122,01

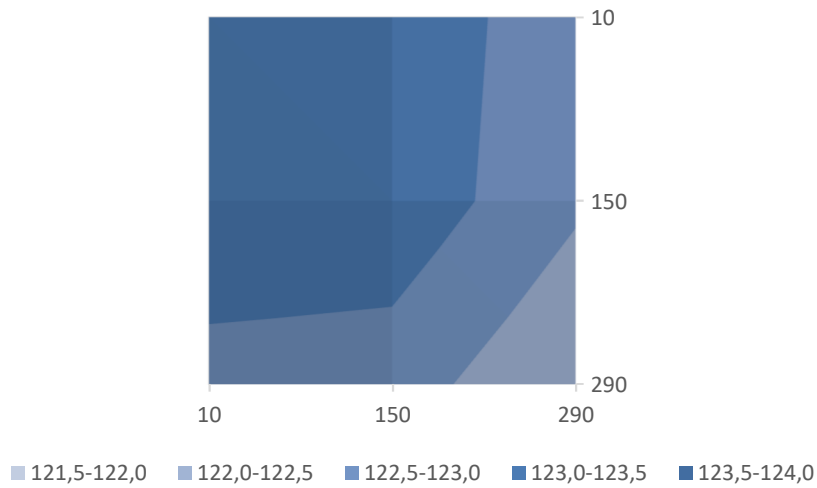


Tabla 14. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	123,28	122,61	121,52
	150	123,54	122,96	122,03
	290	123,51	123,02	122,13

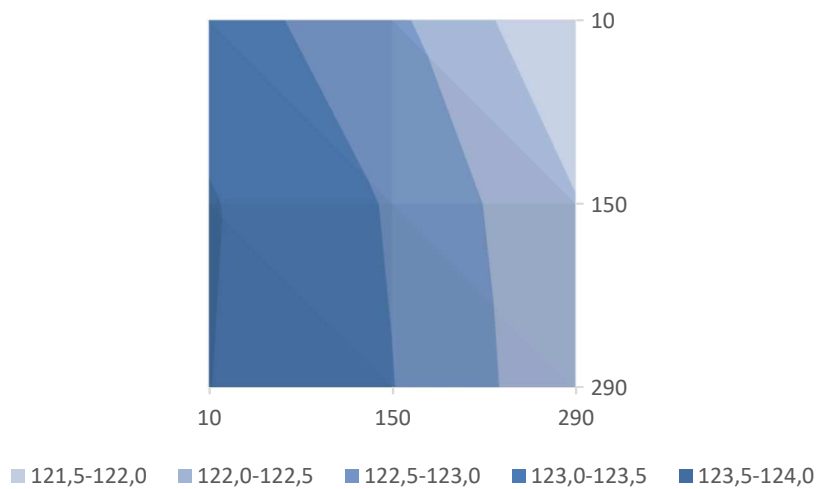


Tabla 15. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,59	0,59	0,62	0,62	0,25	0,25	0,44	0,44
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,33	0,34	0,23	0,21	0,21	0,19	0,01	-0,04
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,06	-0,06	0,06	0,06	-0,38	-0,38	0,38	0,38

Tabla 16. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,34	-0,34	-0,18	-0,18
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,11	-0,15	-0,22	-0,26
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,32	-0,32	0,32	0,32

Tabla 17. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	299,54	299,58	0,05
B	299,88	299,83	-0,06
C	300,64	300,58	-0,06

Sistema ON1 con gres Blla

Tabla 18. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	120,83	121,48	121,60
	150	121,50	122,08	122,11
	290	121,59	121,91	121,40

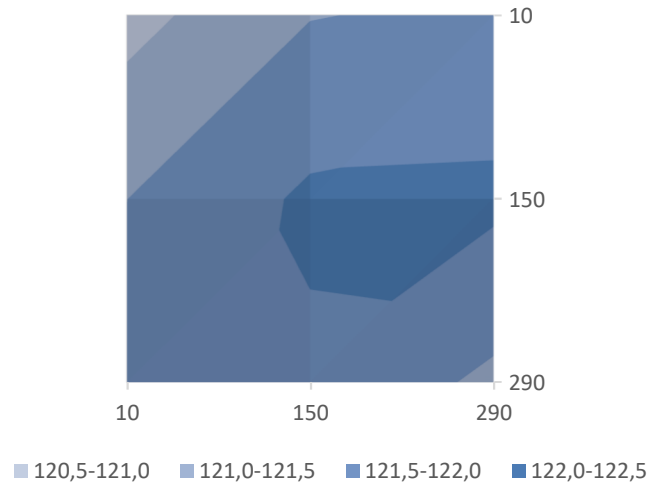


Tabla 19. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	121,26	120,38	119,33
	150	122,27	121,50	120,62
	290	123,07	122,25	120,86

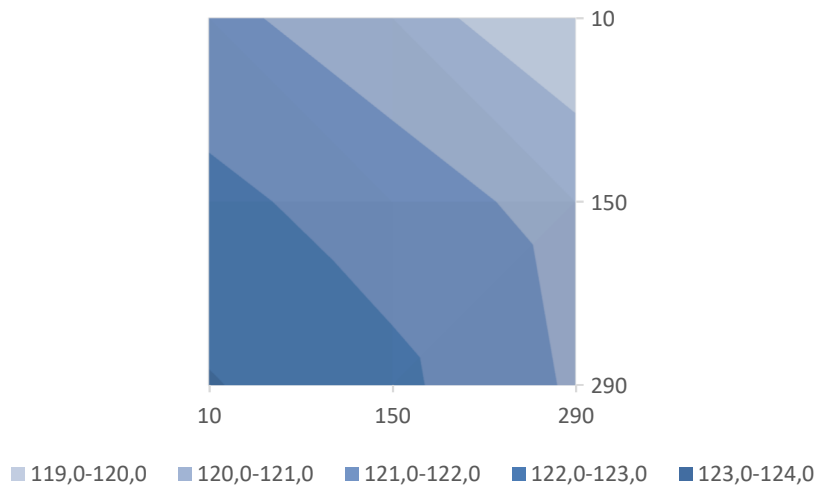


Tabla 20. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,97	0,97	0,49	0,49	0,43	0,43	0,30	0,30
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,27	0,42	1,09	0,77	0,08	0,28	0,66	0,24
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,96	0,96	-0,96	-0,96	0,28	0,28	-0,28	-0,28

Tabla 21. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,54	-0,54	-0,19	-0,19
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,19	-0,14	-0,42	-0,53
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,69	-0,69	0,69	0,69

Tabla 22. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,80	301,11	0,31
B	300,39	300,60	0,21
C	300,37	300,53	0,15

Sistema ON1 con lámina de 6mm

Tabla 23. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,37	119,51	119,11
	150	119,85	119,95	119,43
	290	119,84	119,80	119,18

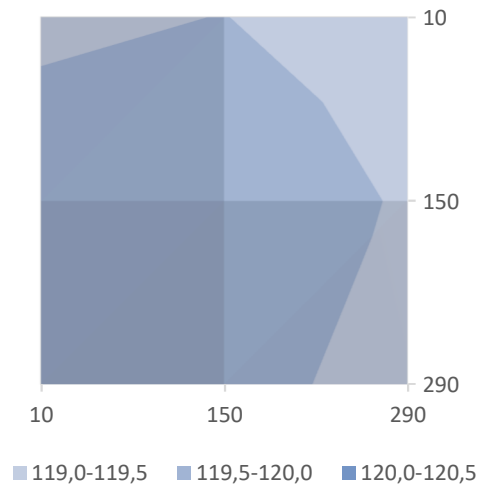


Tabla 24. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,17	119,38	119,15
	150	119,69	119,95	119,73
	290	119,98	120,22	120,05

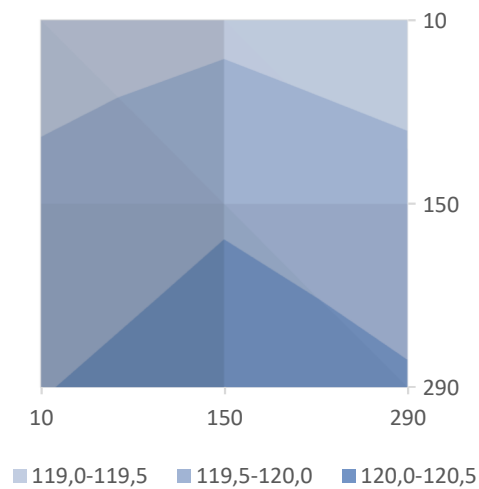


Tabla 25. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,67	0,67	0,47	0,47	0,34	0,34	0,38	0,38
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,27	0,28	0,48	0,45	0,22	0,20	0,08	0,07
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,40	0,40	-0,40	-0,40	-0,09	-0,09	0,09	0,09

Tabla 26. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,34	-0,34	-0,09	-0,09
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,05	-0,08	-0,40	-0,38
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,49	-0,49	0,49	0,49

Tabla 27. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,00	300,03	0,04
B	299,99	300,03	0,04
C	299,94	299,96	0,02

Sistema ON4 con porcelánico Bla

Tabla 28. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	129,37	128,91	128,01
	150	129,43	129,00	128,18
	290	129,26	128,83	128,07

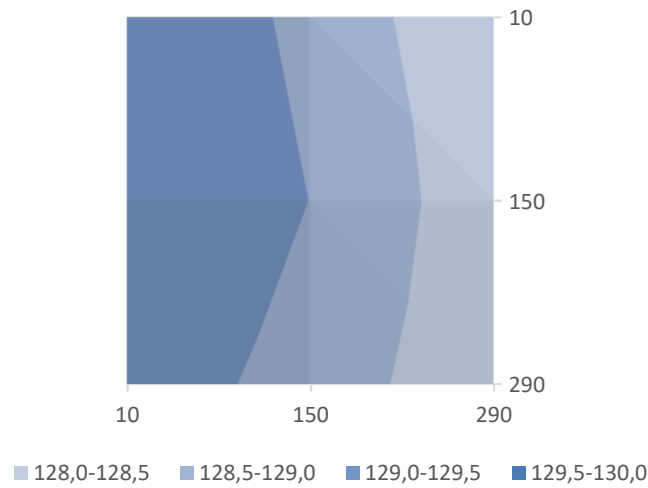


Tabla 29. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	129,83	129,14	128,29
	150	129,87	129,21	128,40
	290	129,93	129,32	128,51

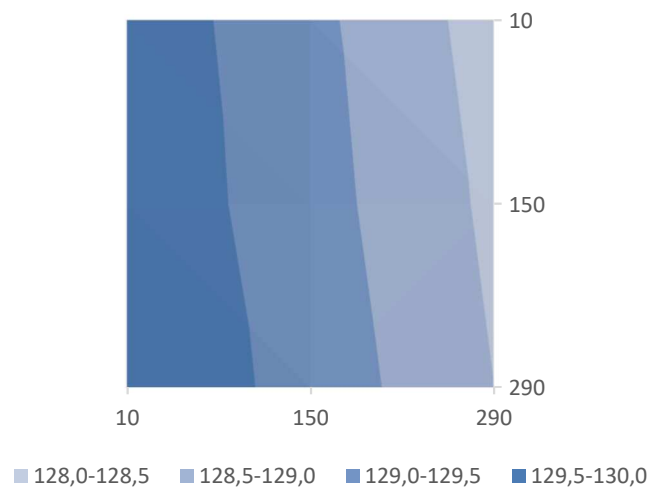


Tabla 30. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,28	0,28	0,36	0,36	0,04	0,04	0,10	0,10
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,22	0,17	0,05	0,03	0,08	0,10	-0,05	-0,07
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,17	-0,17	0,17	0,17	-0,11	-0,11	0,11	0,11

Tabla 31. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,23	-0,23	-0,26	-0,26
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,14	-0,07	-0,11	-0,10
AL1	AL2	AA1	AA2
0,06	0,06	-0,06	-0,06

Tabla 32. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	299,31	299,35	0,04
B	300,02	300,17	0,15
C	299,78	299,84	0,06

Sistema ON4 con gres Blla

Tabla 33. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	128,02	128,65	127,71
	150	128,22	128,22	127,33
	290	127,48	127,32	126,36

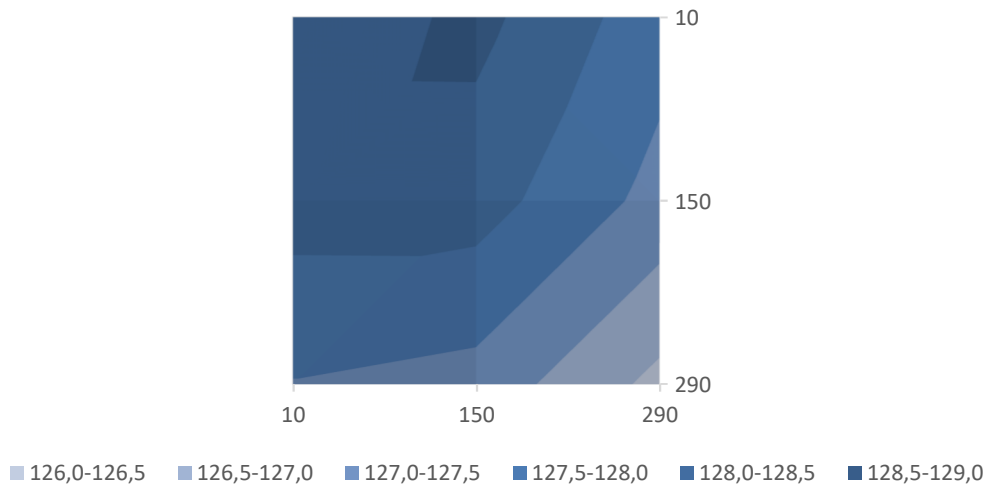


Tabla 34. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	128,39	128,73	128,01
	150	128,44	128,13	127,46
	290	127,99	127,58	126,79

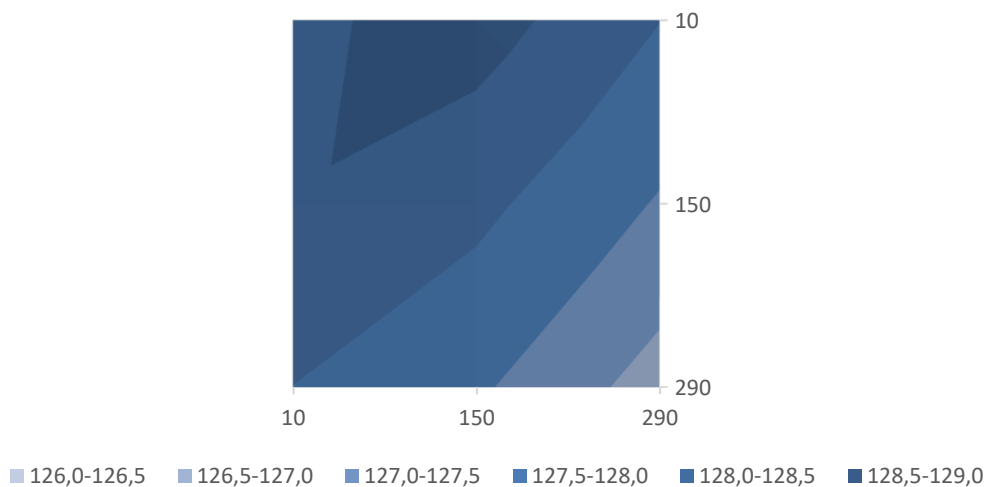


Tabla 35. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
1,04	1,04	0,63	0,63	0,54	0,54	0,12	0,12
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,79	0,40	0,70	0,88	0,53	0,19	0,47	0,66
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,82	0,82	-0,82	-0,82	0,83	0,83	-0,83	-0,83

Tabla 36. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,26	-0,21	-0,23	-0,22
AL1	AL2	AA1	AA2
0,01	0,01	-0,01	-0,01

Tabla 37. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,84	300,86	0,02
B	300,56	300,62	0,06
C	300,69	300,63	-0,07

Sistema ON4 con lámina de 6mma

Tabla 38. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	126,01	125,69	124,75
	150	126,66	126,30	125,37
	290	126,70	126,37	125,46

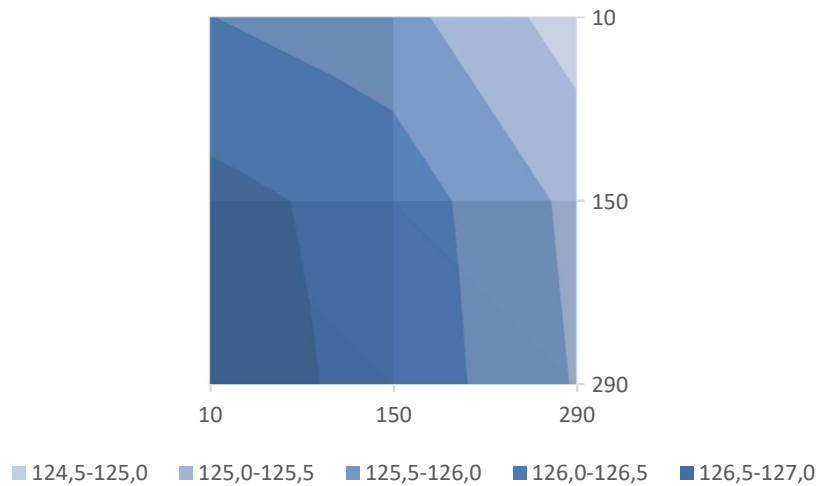


Tabla 39. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	126,33	125,71	124,82
	150	126,73	126,15	125,31
	290	126,94	126,33	125,48

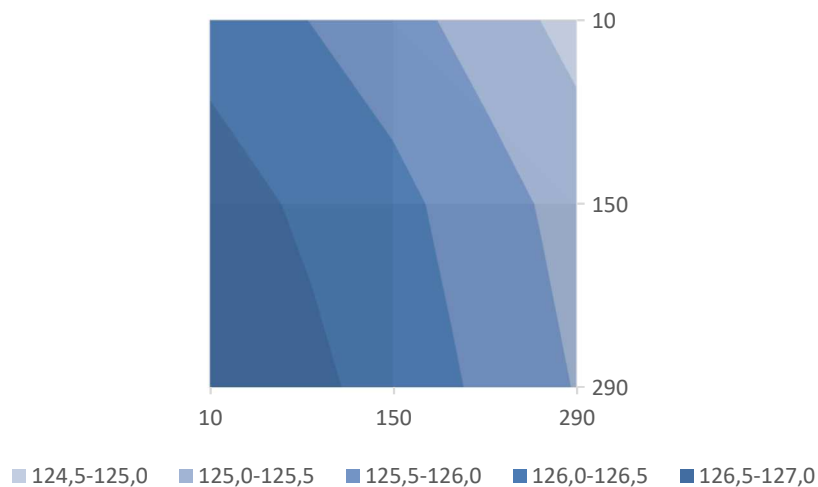


Tabla 40. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,56	0,56	0,57	0,57	0,25	0,25	0,27	0,27
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,31	0,28	0,25	0,29	0,14	0,12	0,14	0,07
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,02	-0,02	0,02	0,02	-0,04	-0,04	0,04	0,04

Tabla 41. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,31	-0,31	-0,30	-0,30
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,17	-0,16	-0,12	-0,22
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,02	-0,02	0,02	0,02

Tabla 42. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,17	300,19	0,02
B	300,14	300,15	0,01
C	300,11	300,12	0,01

Sistema ON7 con gres Blla

Tabla 43. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	46,90	48,16	48,48
	150	48,63	49,50	49,70
	290	49,35	50,23	50,46

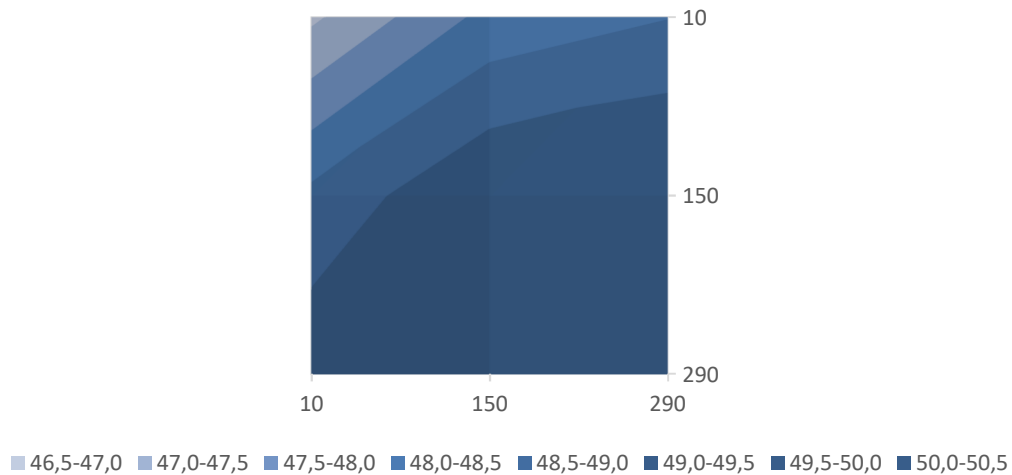


Tabla 44. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	46,92	48,05	48,47
	150	48,60	49,38	49,66
	290	49,43	50,24	50,50

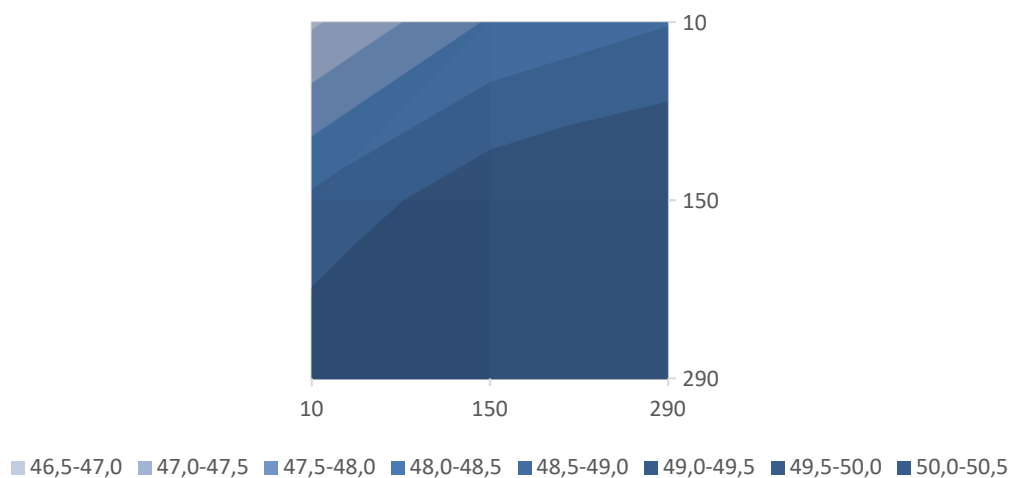


Tabla 45. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,82	0,82	0,59	0,59	0,64	0,64	0,43	0,43
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,47	0,33	0,47	0,73	0,36	0,25	0,36	0,64
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,47	0,47	-0,47	-0,47	0,42	0,42	-0,42	-0,42

Tabla 46. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,18	-0,18	-0,16	-0,16
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,11	-0,08	-0,10	-0,10
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,05	-0,05	0,05	0,05

Tabla 47. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	294,94	294,94	0,00
B	295,02	295,11	0,09
C	295,21	295,10	-0,12

Sistema R1 con porcelánico Bla

Tabla 48. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	44,13	43,68	42,98
	150	44,72	44,30	43,69
	290	45,12	44,70	43,98

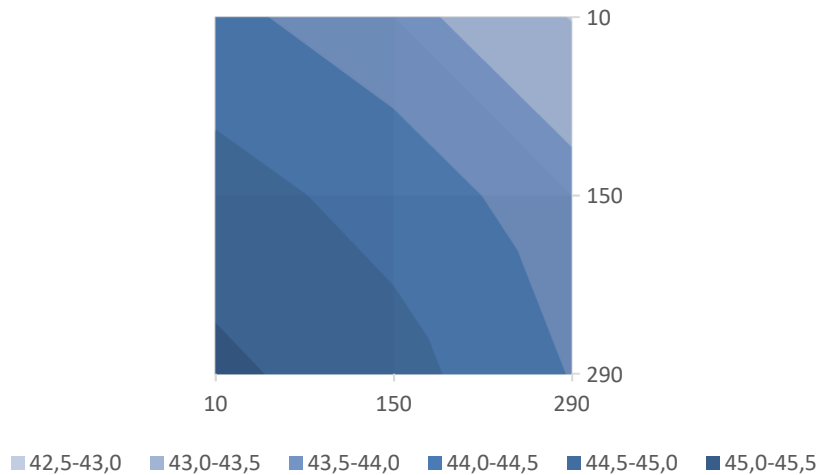


Tabla 49. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	44,15	43,69	42,96
	150	44,84	44,39	43,72
	290	45,21	44,77	43,99

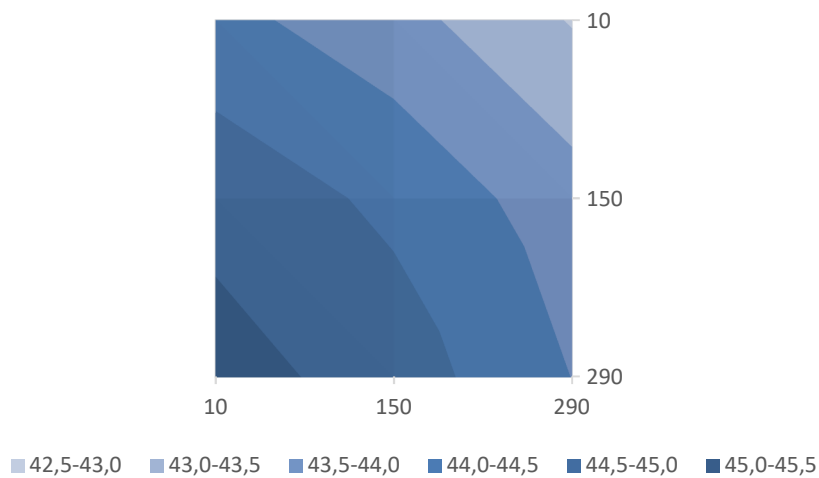


Tabla 50. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,24	0,24	0,25	0,25	0,31	0,31	0,30	0,30
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,13	0,15	0,21	0,09	0,13	0,17	0,25	0,17
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	-0,03	-0,03

Tabla 51. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,07	0,07	0,04	0,04
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,01	0,01	0,05	0,08
AL1	AL2	AA1	AA2
0,05	0,05	-0,05	-0,05

Tabla 52. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	298,48	298,58	0,10
B	298,89	298,88	-0,01
C	298,73	298,75	0,02

Sistema R1 con gres BIIa

Tabla 53. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	42,60	43,20	43,17
	150	42,98	43,56	44,00
	290	43,20	43,74	44,19

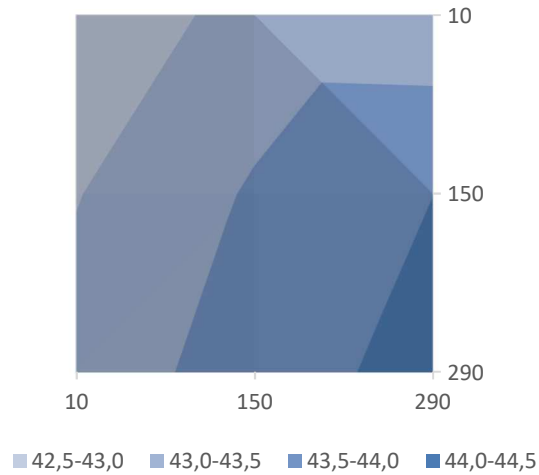


Tabla 54. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	42,57	43,17	43,17
	150	43,06	43,59	44,02
	290	43,38	43,86	44,28

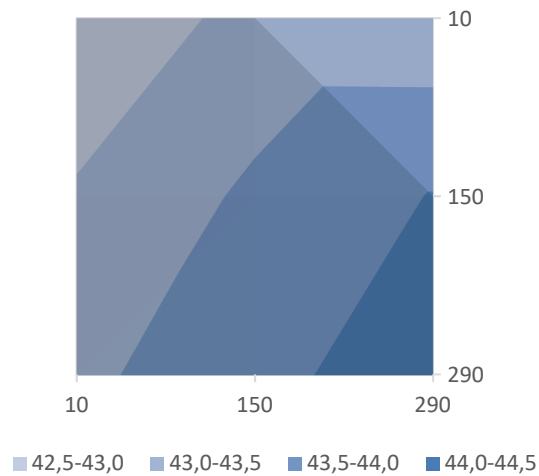


Tabla 55. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,16	0,16	0,37	0,37	0,16	0,16	0,32	0,32
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,31	0,05	0,11	-0,13	0,30	0,03	0,15	-0,07
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,42	-0,42	0,42	0,42	-0,30	-0,30	0,30	0,30

Tabla 56. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,00	0,00	-0,06	-0,06
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,01	-0,02	0,04	0,06
AL1	AL2	AA1	AA2
0,11	0,11	-0,11	-0,11

Tabla 57. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	299,34	299,39	0,05
B	299,09	299,23	0,14
C	299,27	299,33	0,06

Sistema R1 con lámina de 6mm

Tabla 58. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	42,40	42,34	42,17
	150	42,33	42,28	42,07
	290	41,87	41,87	41,69

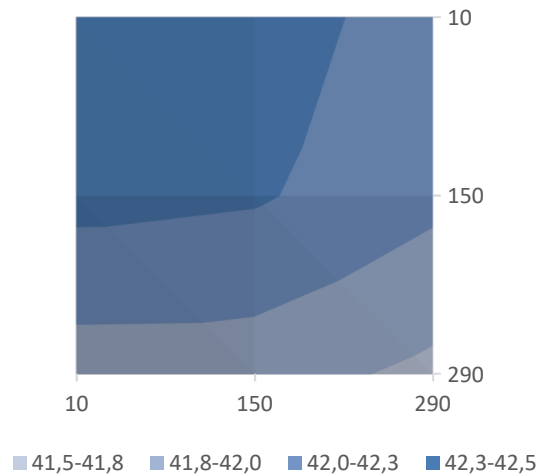


Tabla 59. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	42,37	42,31	42,17
	150	42,29	42,27	42,08
	290	41,89	41,87	41,78

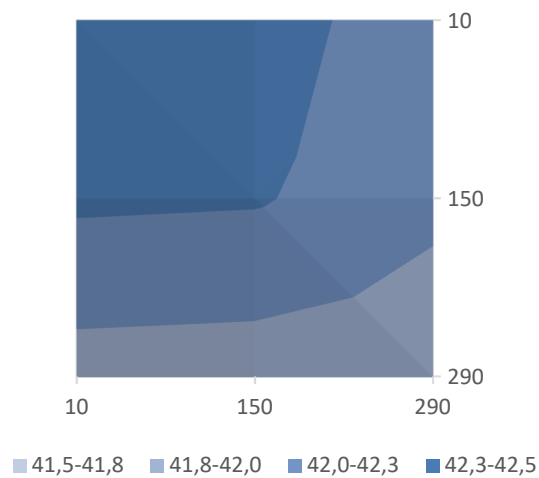


Tabla 60. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,24	0,24	0,26	0,26	0,20	0,20	0,24	0,24
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,05	0,08	0,11	0,17	0,04	0,04	0,06	0,12
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,05	-0,05	0,05	0,05	-0,09	-0,09	0,09	0,09

Tabla 61. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,04	-0,04	-0,02	-0,02
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,01	-0,05	-0,05	-0,05
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,04	-0,04	0,04	0,04

Tabla 62. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,43	300,41	-0,01
B	300,39	300,43	0,04
C	300,35	300,40	0,05

Evaluación del comportamiento con aplicación inadecuada de la capa de adhesivo



Figura 107. Aplicación del adhesivo

Sistema ON1-86 llana 10mm con gres BIIa

Tabla 63. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	120,47	120,48	120,00
	150	121,45	121,31	120,79
	290	122,39	122,14	121,05

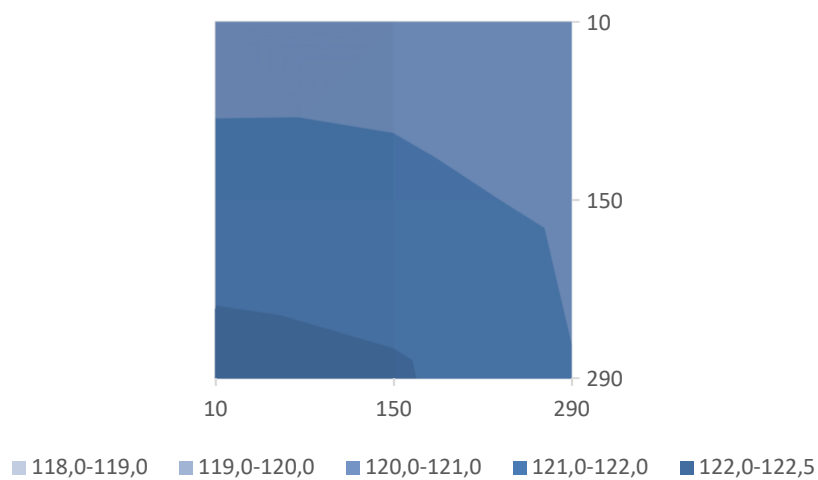


Tabla 64. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	118,15	118,37	118,16
	150	119,46	119,54	119,32
	290	120,84	120,79	120,00

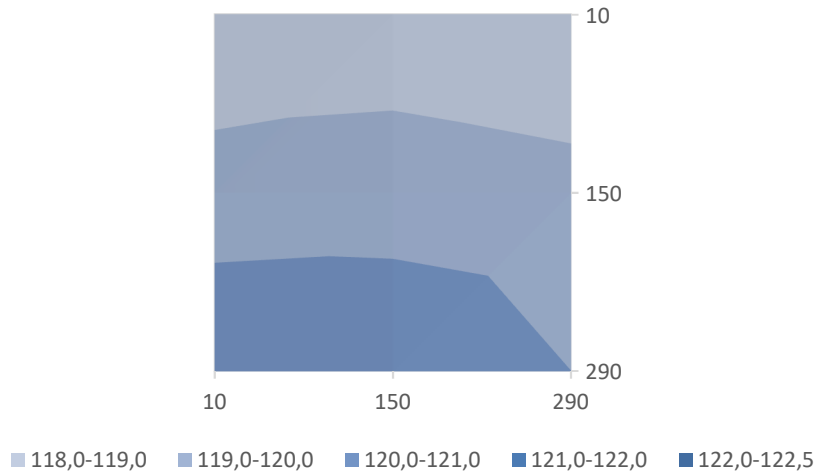


Tabla 65. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,55	0,55	0,12	0,12	0,46	0,46	0,04	0,04
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,25	0,42	0,70	0,46	0,21	0,37	0,66	0,39
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,87	0,87	-0,87	-0,87	0,85	0,85	-0,85	-0,85

Tabla 66. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,09	-0,09	-0,08	-0,08
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,04	-0,06	-0,04	-0,06
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,02	-0,02	0,02	0,02

Tabla 67. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	298,55	298,59	0,05
B	298,44	298,54	0,10
C	298,30	298,38	0,08

Sistema ON1-87 llana 10mm con gres Blla

Tabla 68. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,887	119,483	119,285
	150	120,493	120,140	119,799
	290	120,156	120,203	119,888

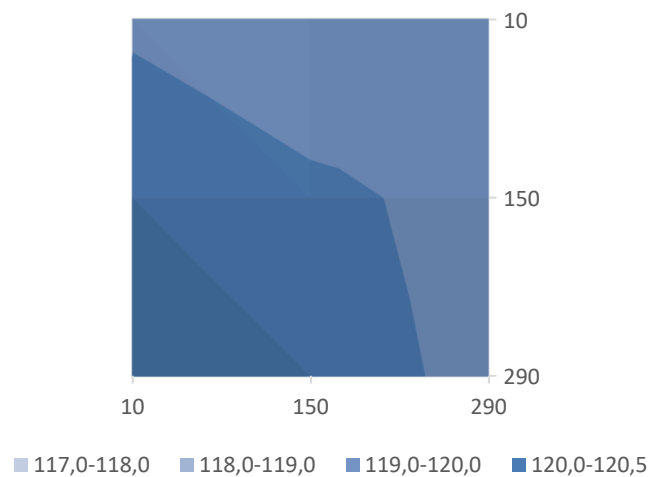


Tabla 69. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	117,12	117,94	119,17
	150	117,88	118,77	119,83
	290	117,80	119,11	120,22

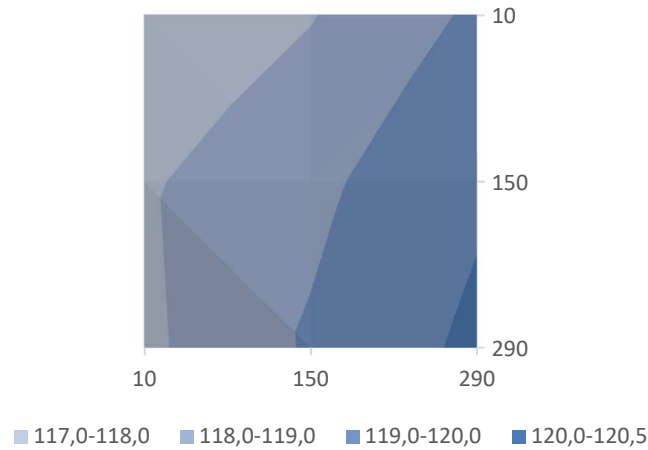


Tabla 70. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,25	0,252	0,42	0,42	0,10	0,10	0,29	0,29
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,11	0,18	0,04	0,30	-0,21	0,10	-0,05	0,23
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,34	-0,34	0,34	0,34	-0,37	-0,37	0,37	0,37

Tabla 71. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,15	-0,15	-0,13	-0,13
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,10	-0,08	-0,09	-0,07
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,03	-0,03	0,03	0,03

Tabla 72. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	298,70	298,77	0,07
B	298,25	298,34	0,09
C	298,44	298,35	-0,10

Sistema ON1-88 llana 10mm con porcelánico Bla

Tabla 73. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	118,494	119,718	120,959
	150	119,257	120,634	121,748
	290	119,737	121,253	122,290

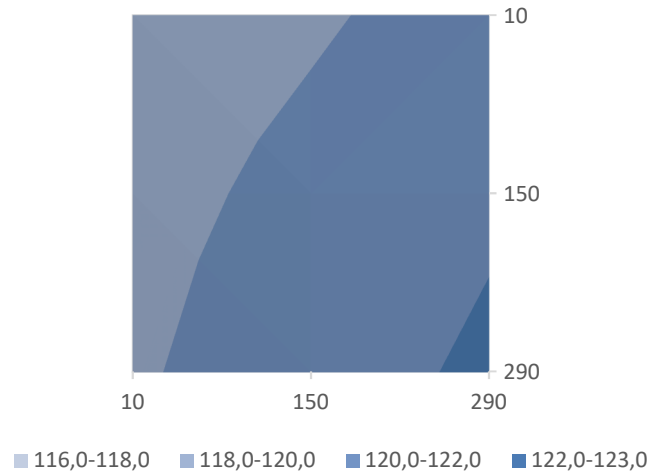


Tabla 74. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	116,00	118,16	120,39
	150	117,46	119,72	121,86
	290	118,62	121,06	123,16

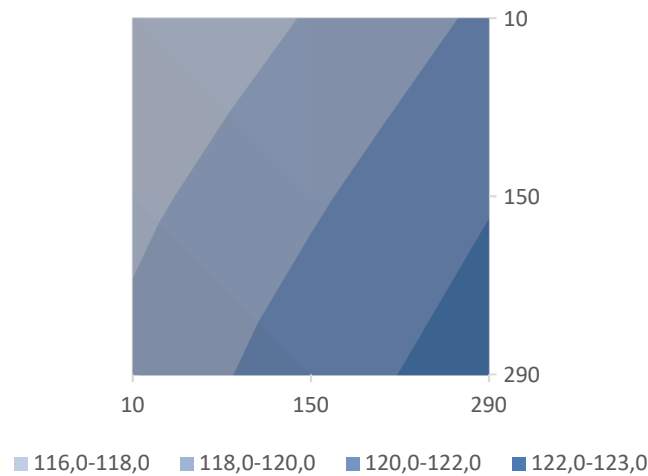


Tabla 75. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,24	0,24	0,29	0,29	0,14	0,14	0,22	0,22
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,00	0,24	0,08	0,10	-0,03	0,17	0,01	0,08
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,09	-0,09	0,09	0,09	-0,15	-0,15	0,15	0,15

Tabla 76. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,10	-0,10	-0,07	-0,07
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,03	-0,07	-0,07	-0,02
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,06	-0,06	0,06	0,06

Tabla 77. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	298,41	298,49	0,08
B	298,26	298,49	0,24
C	298,43	298,56	0,13

Sistema ON1-89 llana 10mm con porcelánico Bla

Tabla 78. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,275	119,789	120,123
	150	120,866	121,435	121,788
	290	122,247	122,844	123,216

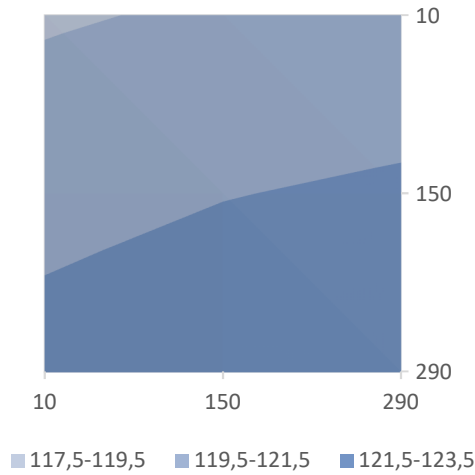


Tabla 79. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	117,45	118,83	120,13
	150	118,61	120,06	121,41
	290	119,80	121,23	122,57

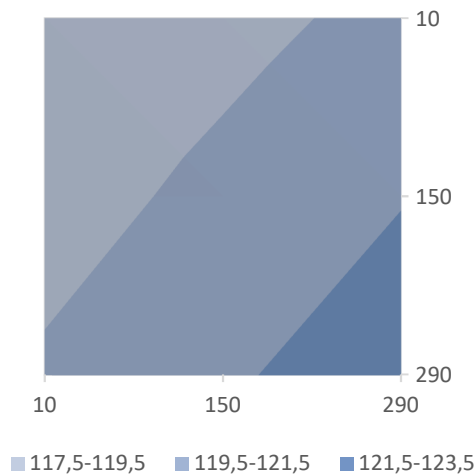


Tabla 80. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,19	0,19	0,25	0,25	0,05	0,05	0,10	0,10
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,09	0,11	0,06	0,04	0,04	0,05	0,01	-0,06
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,12	-0,12	0,12	0,12	-0,09	-0,09	0,09	0,09

Tabla 81. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,14	-0,14	-0,15	-0,15
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,05	-0,06	-0,05	-0,10
AL1	AL2	AA1	AA2
0,03	0,03	-0,03	-0,03

Tabla 82. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	298,16	298,28	0,12
B	298,20	298,44	0,23
C	298,52	298,58	0,07

Sistema ON1-90 llana 10mm con lamina 6mm

Tabla 83. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,177	120,417	121,601
	150	117,991	119,305	120,526
	290	116,923	118,212	119,452

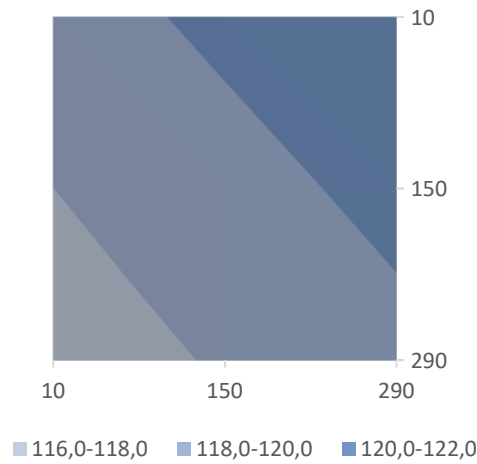


Tabla 84. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,05	119,44	119,98
	150	118,27	118,81	119,37
	290	117,77	118,29	118,82

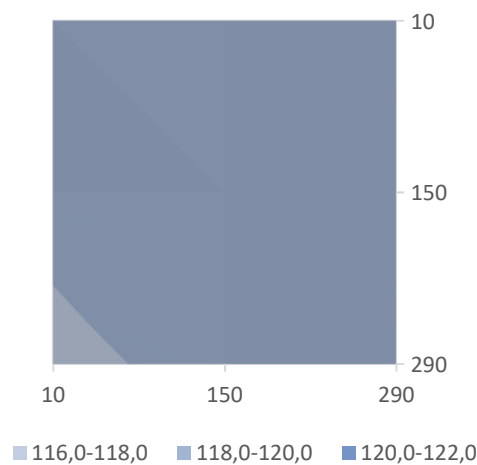


Tabla 85. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,01	-0,01	0,04	0,04	-0,13	-0,13	-0,06	-0,06
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
0,03	0,02	-0,05	-0,11	-0,07	-0,01	-0,10	-0,20
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
-0,10	-0,10	0,10	0,10	-0,13	-0,13	0,13	0,13

Tabla 86. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,12	-0,12	-0,11	-0,11
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,10	-0,03	-0,05	-0,09
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,03	-0,03	0,03	0,03

Tabla 87. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	300,31	300,40	0,09
B	300,29	300,42	0,12
C	300,21	300,30	0,10

Sistema ON1-91 llana 10mm con lamina 6mm

Tabla 88. Altura absoluta desde la base- Probeta original y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	119,299	119,769	120,340
	150	119,166	119,629	120,177
	290	118,971	119,380	119,922

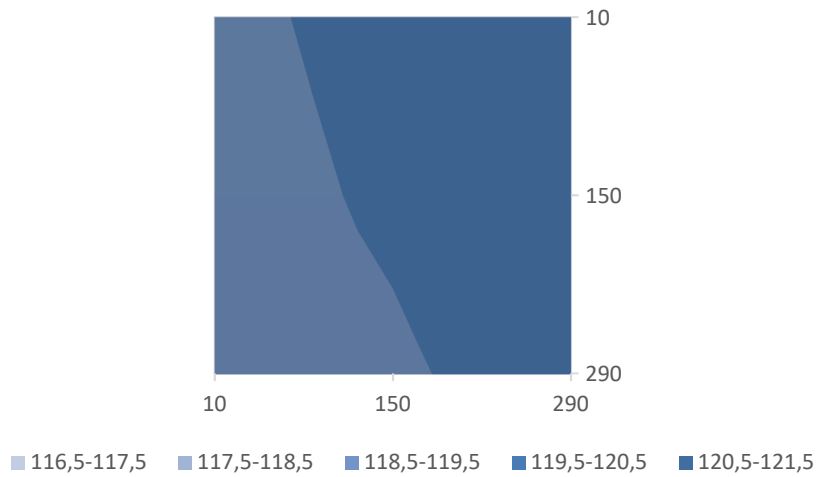


Tabla 89. Altura absoluta desde la base- Probeta envejecida y su posicionamiento en el plano (mm)

		Dirección en X (mm)		
		10	150	290
Dirección en Y (mm)	10	116,52	117,66	119,00
	150	117,68	118,81	120,16
	290	118,90	120,03	121,34

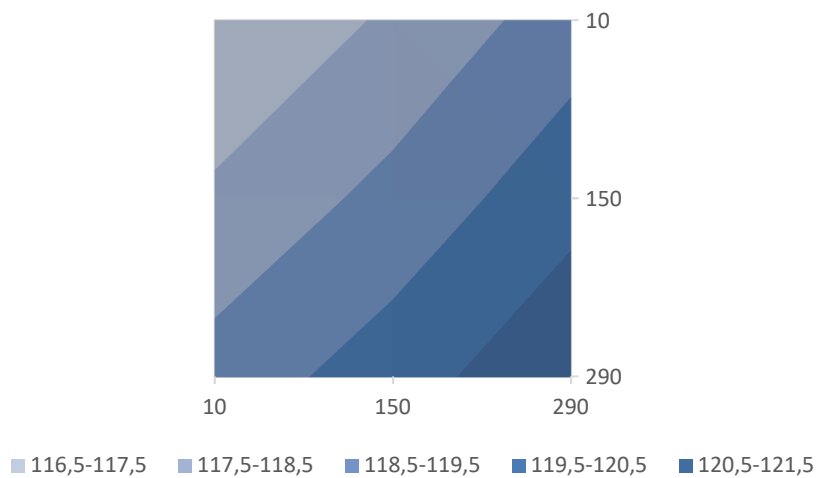


Tabla 90. Curvaturas de la probeta original y envejecida

Curvaturas probeta original (mm)				Curvaturas probeta envejecida (mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2	CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
0,02	0,02	-0,03	-0,03	-0,12	-0,12	-0,14	-0,14
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2	CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,05	-0,07	0,09	0,08	-0,10	-0,10	0,01	-0,01
AL1	AL2	AA1	AA2	AL1	AL2	AA1	AA2
0,09	0,09	-0,09	-0,09	0,03	0,03	-0,03	-0,03

Tabla 91. Diferencia de curvaturas entre la probeta envejecida y la original

Diferencia curvaturas(mm)			
CCL1	CCL2	CCA1	CCA2
-0,14	-0,14	-0,11	-0,11
CLL1	CLL2	CLA1	CLA2
-0,05	-0,03	-0,08	-0,09
AL1	AL2	AA1	AA2
-0,06	-0,06	0,06	0,06

Tabla 92. Distancia entre los bordes de la probeta original y la envejecida, y su diferencia (mm)

Distancia	Probeta original	Probeta envejecida	Diferencia
A	299,75	299,86	0,11
B	299,76	299,89	0,13
C	299,60	299,69	0,09

Interpretación de resultados

Se observa que, en la variación de la altura absoluta de las probetas tras el envejecimiento, en los sistemas R1 y ON7, se mantienen estables las probetas. En el sistema ON4 hay alguna probeta que se mantiene igual (lámina de 6mm), mientras que la de gres Blla varia ligeramente y en la de gres porcelánico Bla hay un aumento en la altura absoluta.

El sistema en el que se observa mayor variación de altura absoluta es el ON1, en el que hay tanto aumentos como descensos de altura. El envejecimiento debe afectar más al aislante del sistema ON1 que al del sistema ON4.

Al comparar los cambios en la curvatura de las probetas, hemos separado los valores de curvatura central y lateral, de los de alabeo, los cuales solo mostraban variación en el sistema ON1.

En la Figura 108, tenemos los valores las variaciones de curvaturas agrupados de todos los sistemas estudiados tras el envejecimiento en autoclave.

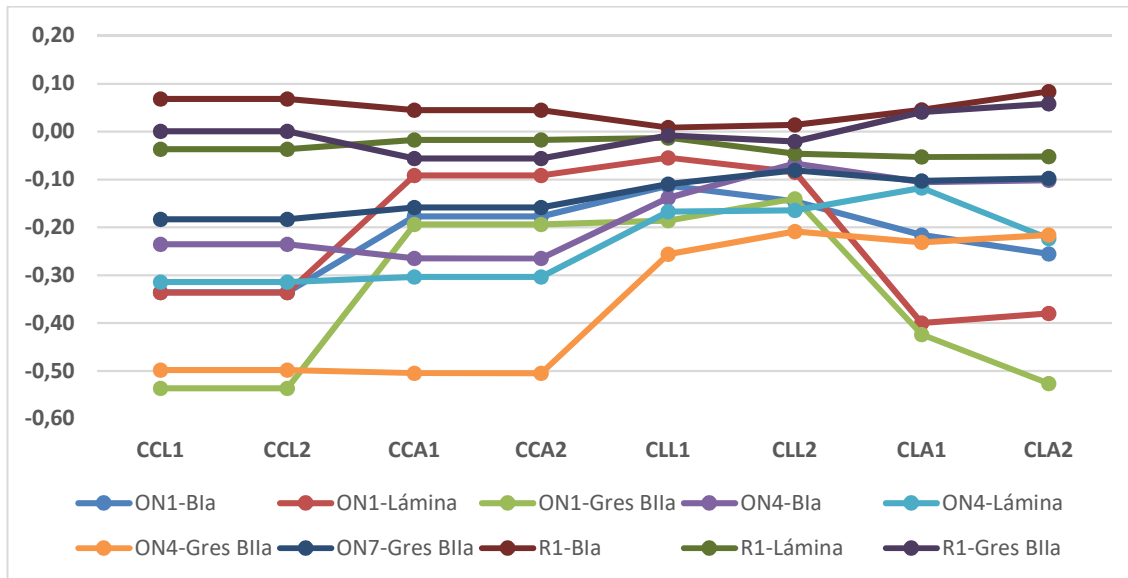


Figura 108. Variación de las curvaturas centrales y laterales de los sistemas, en mm.

En las siguientes figuras podemos ver estos mismos valores separados en cada sistema.

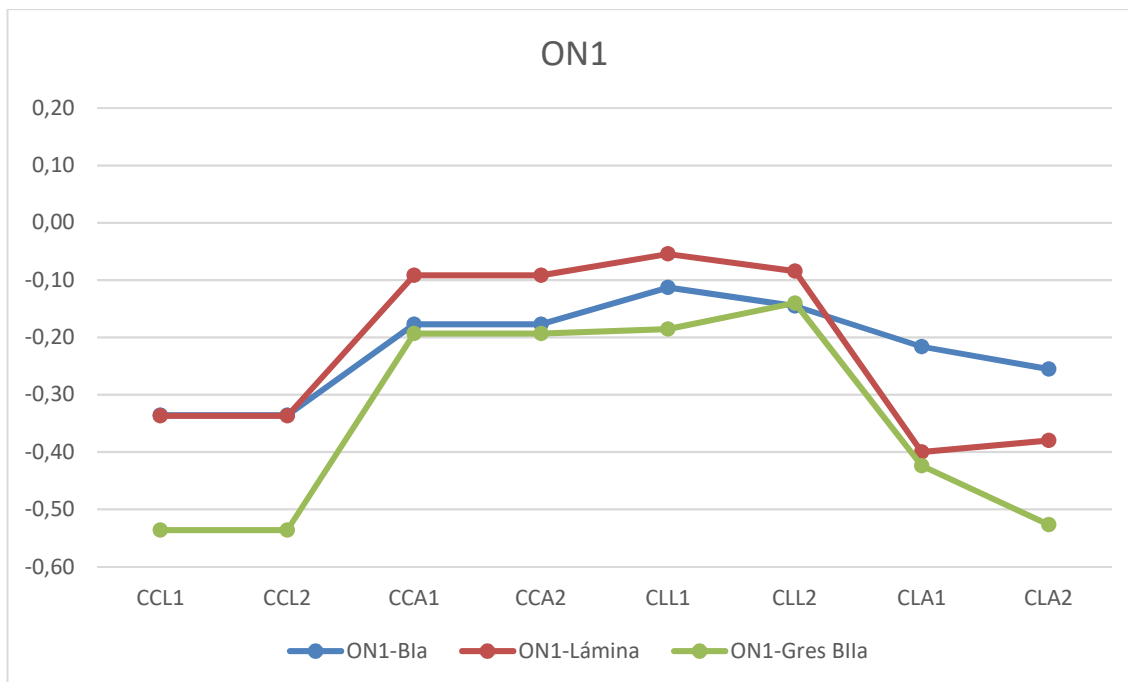


Figura 109. Variación de la curvatura en el sistema ON1 tras envejecimiento.

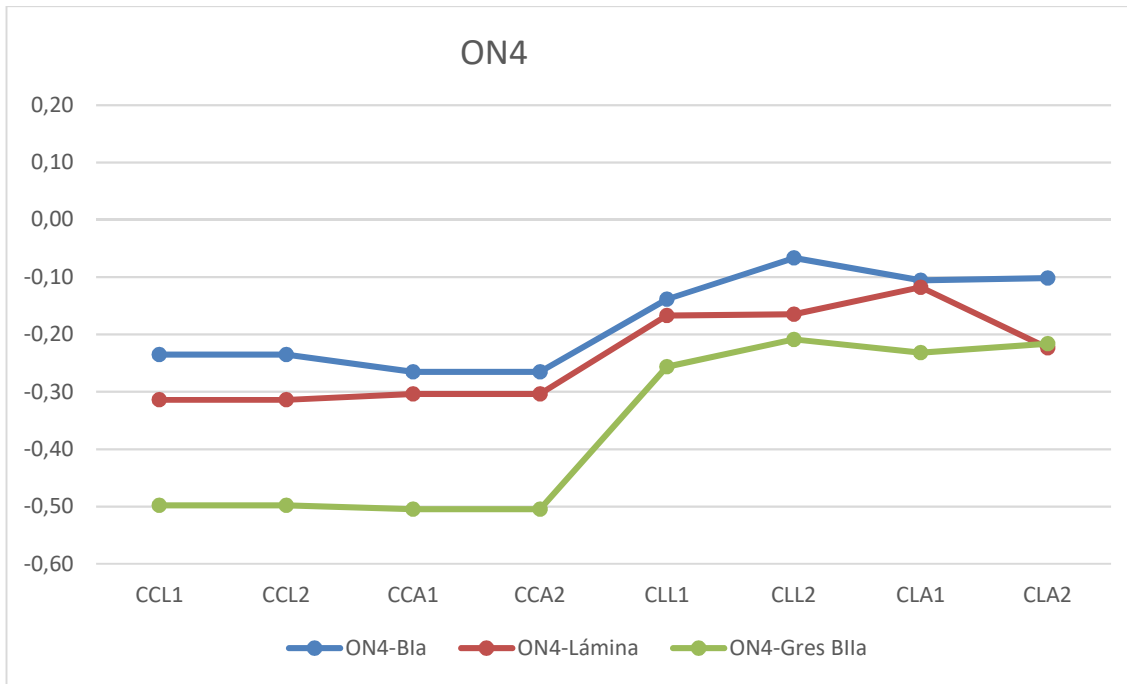


Figura 110. Variación de la curvatura en el sistema ON4 tras envejecimiento.

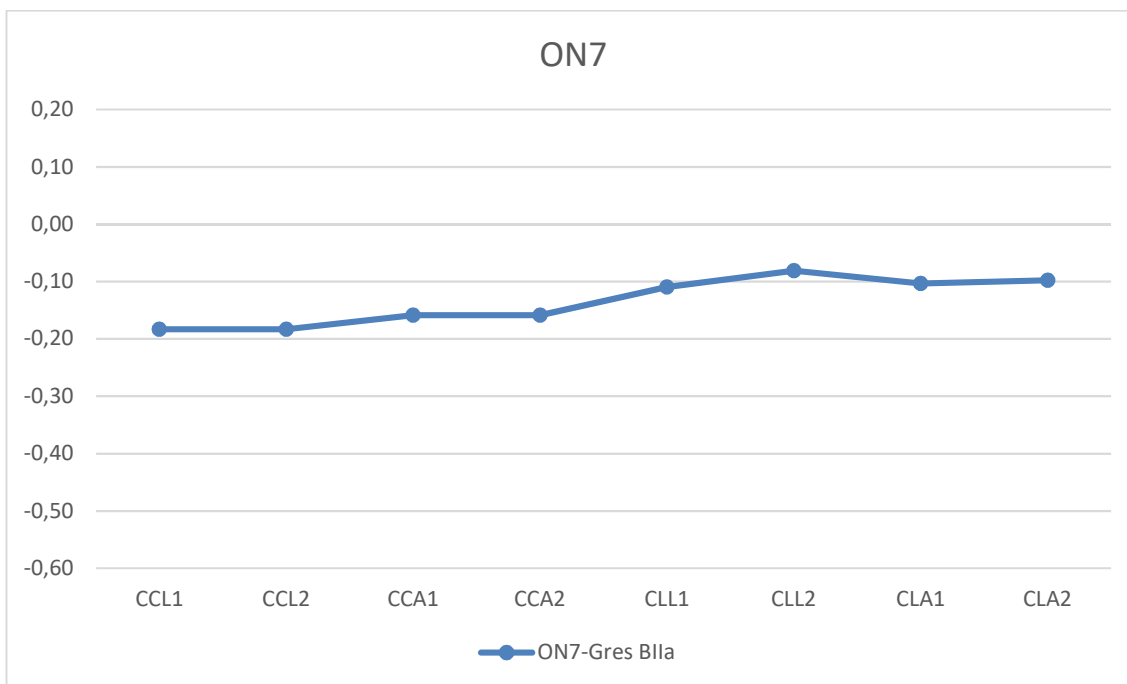


Figura 111. Variación de la curvatura en el sistema ON7 tras envejecimiento.

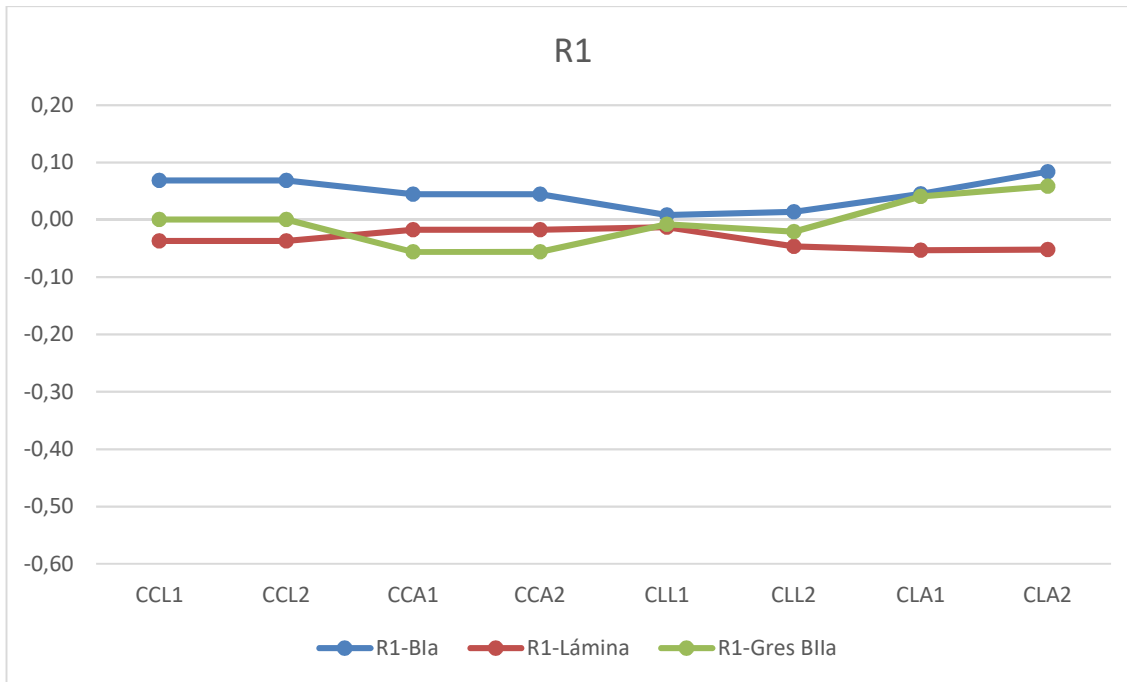


Figura 112. Variación de la curvatura en el sistema R1 tras envejecimiento.

Todos los sistemas en origen tenían curvatura central y lateral positiva y tras el envejecimiento han disminuido su curvatura, a excepción del sistema R1 en el que prácticamente se ha quedado estable. Así pues, el envejecimiento ha producido una alteración en los sistemas ON1, ON4 y ON7 que provoca variación de la curvatura superficial. Esta variación es más significativa en los sistemas ON1 (sistema con capa de aislante acústico a ruido de impacto de polietileno) y ON4 (sistema de calefacción radiante con placa de nódulos de poliestireno con recubrimiento de lámina de polietileno), que en el sistema ON7 (sistema con capa de desolidarización de garbancillo).

También podemos observar que los sistemas con gres Blla, tienen en general, más variación de curvatura, lo cual si lo comparamos con las variaciones de las distancias longitudinales A-B-C, podemos ver que en este material se produce una mayor expansión de las piezas cerámicas, lo cual contribuye a una mayor variación (descenso) en las curvaturas.

Tabla 93. Variación de las distancias longitudinales de las probetas tras el envejecimiento, en mm.

Probetas	Distancia longitudinal		
	A	B	C
ON1-Bla	0,05	-0,06	-0,06
ON1-Lámina	0,04	0,04	0,02
ON1-Gres Blla	0,31	0,21	0,15
ON4-Bla	0,04	0,15	0,06
ON4-Lámina	0,02	0,01	0,01
ON4-Gres Blla	0,02	0,06	-0,07
ON7-Gres Blla	0,00	0,09	-0,12
R1-Bla	0,10	-0,01	0,02
R1-Lámina	-0,01	0,04	0,05
R1-Gres Blla	0,05	0,14	0,06

En las probetas con mala instalación del adhesivo aumenta la variación de la altura absoluta de las probetas tras el envejecimiento respecto a las bien instaladas. Todas ellas del sistema ON1, tanto en sentido positivo como en negativo.

Tabla 94. Variación de las alturas absolutas máximas de las probetas con aplicación defectuosa del adhesivo tras el envejecimiento, en mm.

Probetas	Máximo original	Máximo envejecido	Diferencia
Gres-86	122,39	120,84	-1,55
Gres-87	120,49	120,22	-0,27
Bla -88	122,29	123,16	0,87
Bla -89	123,22	122,57	-0,65
Lámina-90	121,60	119,98	-1,62
Lámina-91	120,34	121,34	1,00
Bla - OK	123,50	123,54	0,04
Lámina- OK	119,95	120,22	0,27

Tabla 95. Variación de las alturas absolutas mínimas de las probetas con aplicación defectuosa del adhesivo tras el envejecimiento, en mm.

Probetas	Mínimo original	Mínimo envejecido	Diferencia
Gres-86	120,00	118,15	-1,85
Gres-87	119,29	117,12	-2,17
Bla -88	118,49	116,00	-2,49
Bla -89	119,28	117,45	-1,83
Lámina-90	116,92	117,77	0,85
Lámina-91	118,97	116,52	-2,45
Bla - OK	122,01	121,52	-0,49
Lámina- OK	119,11	119,15	0,04

Las probetas bien colocadas mantienen la estabilidad dimensional al tener mejor agarre del adhesivo.

Al comparar los cambios en la curvatura de las probetas, se comprueba que las probetas bien colocadas sufren una mayor variación de la curvatura, ya que el adhesivo provoca que las baldosas aumenten la curvatura central, mientras que en la mala colocación del adhesivo no se produce tanta tensión y el aumento es menor. Tras el envejecimiento, las baldosas van recuperando la curvatura original, y al estar mal colocadas, esta variación es menor.

En la Figura 108, tenemos los valores las variaciones de curvaturas agrupados de todos los sistemas estudiados tras el envejecimiento en autoclave.

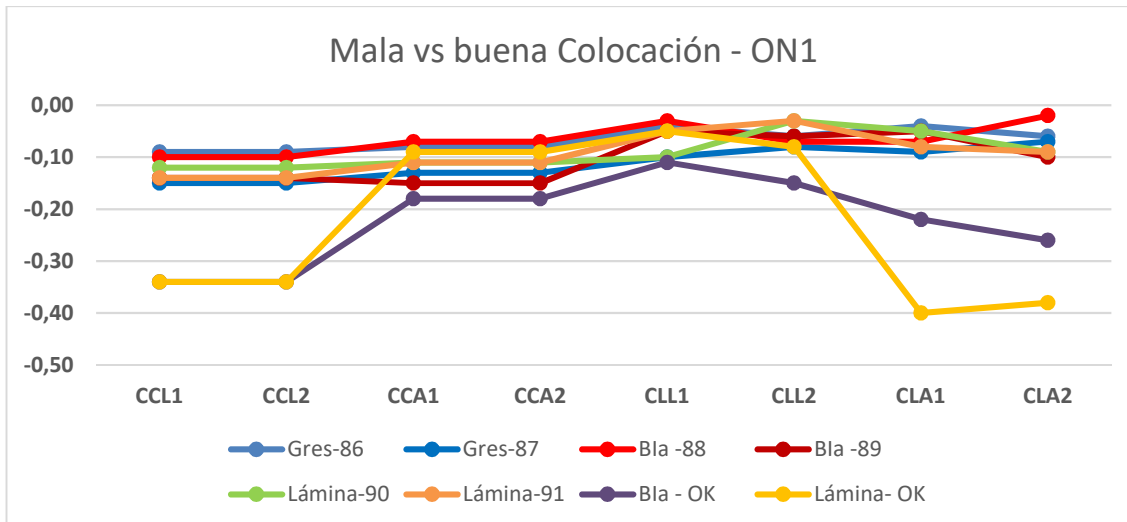


Figura 113. Variación de las curvaturas centrales y laterales de los sistemas, en mm.

- Los resultados confirman que la deformabilidad sin carga (variación dimensional y de planitud), de los sistemas cerámicos sometidos a procesos de envejecimiento por temperatura y ambiente húmedo, se ve afectada tanto por el comportamiento de las capas inferiores del sistema como por el comportamiento del recubrimiento cerámico. A menor absorción de agua de la cerámica, mejor comportamiento del sistema frente a este fenómeno. Las capas inferiores más rígidas y homogéneas facilitan la estabilidad del conjunto frente a alteraciones de temperatura y humedad.
- Una incorrecta ejecución del adhesivo modifica el comportamiento del sistema respecto a la deformabilidad por envejecimiento, aumenta la variación dimensional y disminuye la variación de curvatura.

4.2.3. Resistencia a impacto

4.2.3.1. Resistencia a impacto "duro"

El ensayo se ha definido en base al método descrito en el anexo 6 del Cahier 3778_V3:2018 del Centre Scientifique et Technique du Bâtiment "Détermination de la tenue au choc lourd des carreaux céramiques non émaillés-choc à la bille de 510 g".

Inicialmente el ensayo se ha realizado sobre probetas de 230mm x 230mm de los diferentes sistemas a evaluar (ON1, ON4, ON7, R1 y R5). El tipo de baldosa cerámica del sistema ON7 es gres de media absorción de agua (BIIa).

El sistema ON1 se ha evaluado con todos los tipos de cerámicas. El resto de sistemas se han ensayado únicamente con lámina cerámica de gres porcelánico de 6 mm de espesor. El ensayo se ha repetido sobre dos probetas de cada sistema.

Tras un tiempo mínimo de 7 días se procede a realizar el ensayo.

Se coloca la maqueta de ensayo debajo de un dispositivo que nos permita soltar una bola de acero de 510 gr. desde diferentes alturas, desde 300 mm hasta 1 m (desde el punto más bajo de la bola) sobre las

probetas, de manera que el punto de impacto quede situado dentro de un círculo de 2 cm de diámetro en el centro de la probeta. Se producirá un solo impacto, recogiendo la bola después del primer rebote.

En la primera probeta se van realizando los impactos en el mismo punto, aumentando las alturas 100 mm, empezando desde 300 mm. En el momento en que se obtenga un defecto catastrófico (nivel 4 y/o 5, según Tabla 96) ya no se realizan más impactos en la probeta y se anota la altura de fallo catastrófico (h_f).

En la segunda probeta se realiza el impacto a la altura en la que se obtiene el defecto catastrófico por impactos acumulados, h_f .

Se colorea la superficie de las probetas alrededor del punto de impacto con azul de metileno u otro colorante para poder apreciar mejor los defectos producidos. El nivel de deterioro ocurrido se clasifica en función de los defectos aparecidos según la Tabla 96.

Tabla 96

Nivel	Defectos aparecidos
0	-Ninguna huella alrededor del punto de impacto
1	-Fisuras circulares alrededor del punto de impacto -Ni fisuras radiales ni desconchados
2	-Fisura(s) radial(es) de longitud $l \leq 5$ mm (precisar el número) -Ningún desconchado
3	-Fisura(s) radial(es) de longitud $5 \text{ mm} < l \leq 10$ mm (precisar el número) -Ningún desconchado
4	-Fisura(s) radial(es) de longitud $l > 10$ mm (precisar el número) -Ningún desconchado
5	-Desconchados (pérdidas de material)



Figura 114. Montaje del ensayo. La bola de acero se encuentra dentro del cilindro, el cual está dividido en las alturas de ensayo, desde 300 mm hasta 1000 mm en subdivisiones de 100 mm.

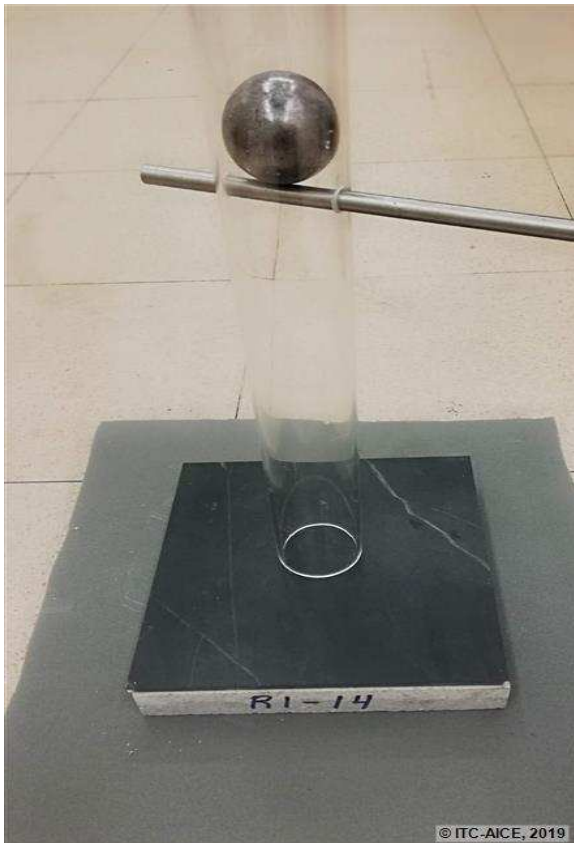


Figura 115. Montaje de ensayo. Mediante un cilindro de acero se deja caer la bola de acero desde la altura de ensayo.

Resultados obtenidos

Sistema ON1

Sistema ON1 con lámina cerámica de 6 mm

Tabla 97. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON1 - 11

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
600	Fisura radial de longitud $l > 10$ mm	4



Figura 116. Defectos aparecidos en la probeta ON1-11. Se puede observar la fisura radial que atraviesa la pieza desde el centro hasta el extremo de la probeta

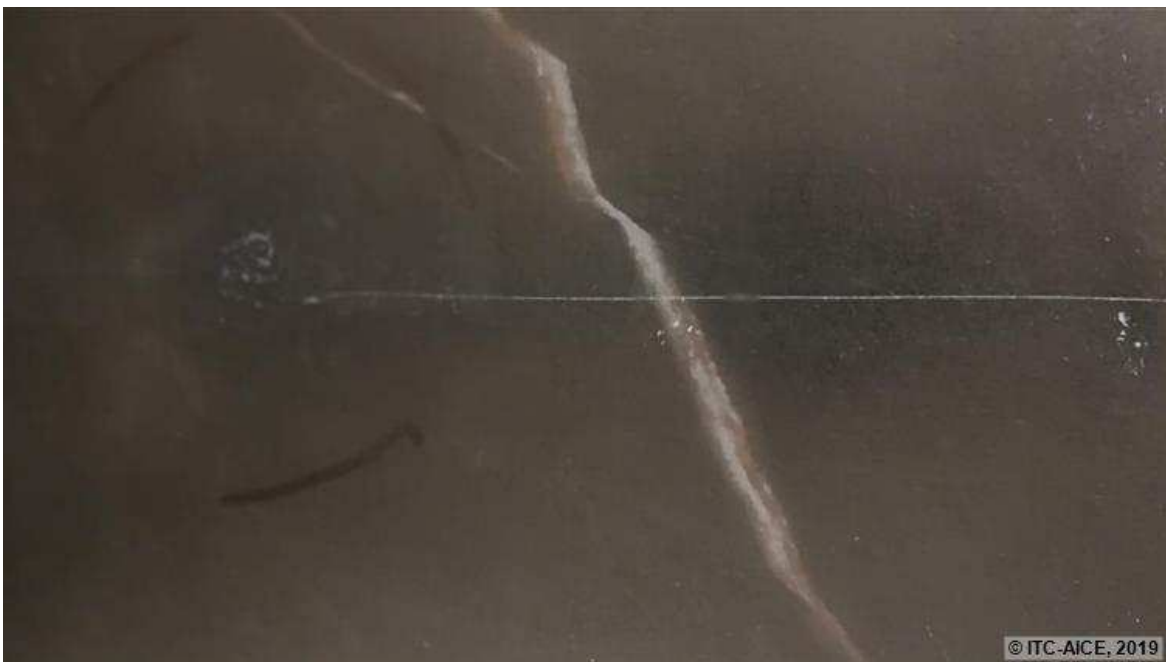


Figura 117. Detalle de la fisura radial de la probeta ON1-11

Tabla 98. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta ON1 - 12

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
600	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1



Figura 118. Defectos aparecidos en la probeta ON1-12. Se puede observar la fisura circular en la zona de impacto.



Figura 119. Detalle de la fisura circular de la probeta ON1-12

Sistema ON1 con baldosa cerámica B1a

Tabla 99. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON1 - 68

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisura radial de longitud $l > 10$ mm	4

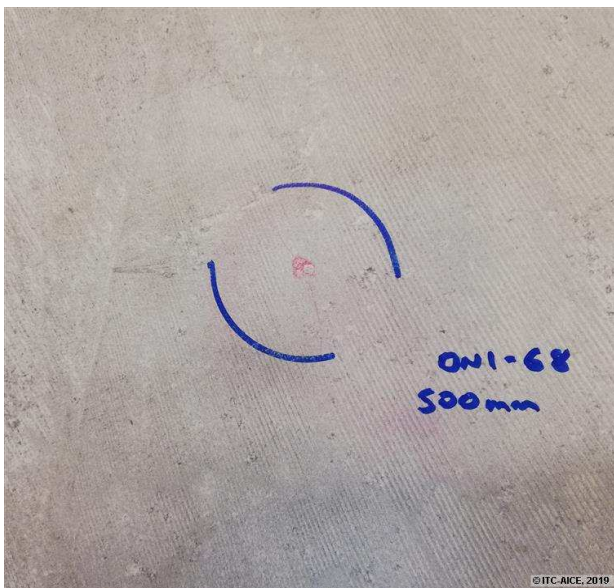


Figura 120. Defectos aparecidos en la probeta ON1-68. Se puede observar la fisura radial que atraviesa la pieza desde el centro.



Figura 121. Detalle de la fisura radial de la probeta ON1-68

Tabla 100. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta ON1 - 69

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1

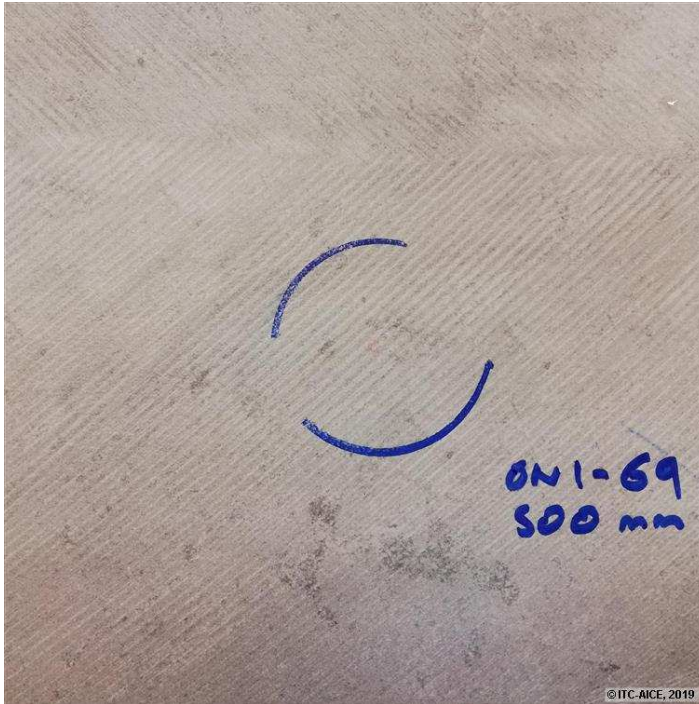


Figura 122. Defectos aparecidos en la probeta ON1-69. Se observa la fisura circular en la zona de impacto.

Sistema ON1 con gres cerámico Blla

Tabla 101. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON1 - 70

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
600	Fisura radial de longitud $l > 10$ mm	4



Figura 123. Defectos aparecidos en la probeta ON1-70. Se puede observar la fisura radial que se genera en la pieza desde el centro.



Figura 124. Detalle de la fisura radial de la probeta ON1-70

Tabla 102. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta ON1 - 71

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
600	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1

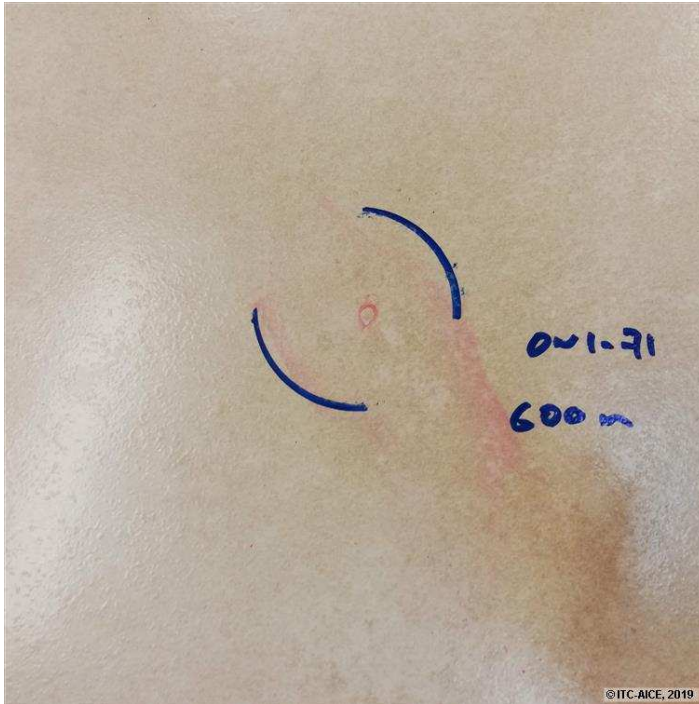


Figura 125. Defectos aparecidos en la probeta ON1-71. Se puede observar la fisura circular en la zona de impacto.

Evaluación del comportamiento del sistema frente a heterogeneidades en la capa de adhesivo

Sistema ON1 llana 10mm con baldosa cerámica gres Blla

Tabla 103. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON1 - 97

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
600	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
700	Fisura radial de longitud $l > 10$ mm	4

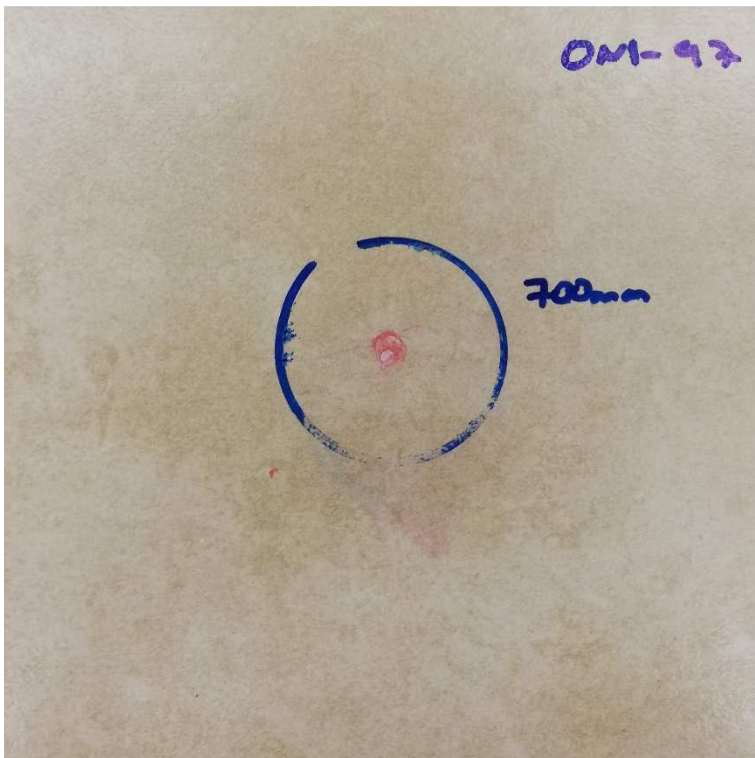


Figura 126. Defectos aparecidos en la probeta ON1-97. Se puede observar la fisura radial que crece desde el punto de impacto.



Figura 127. Detalle de la fisura radial de la probeta ON1-97

Tabla 104. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto directo en probeta ON1 - 98

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
700	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1

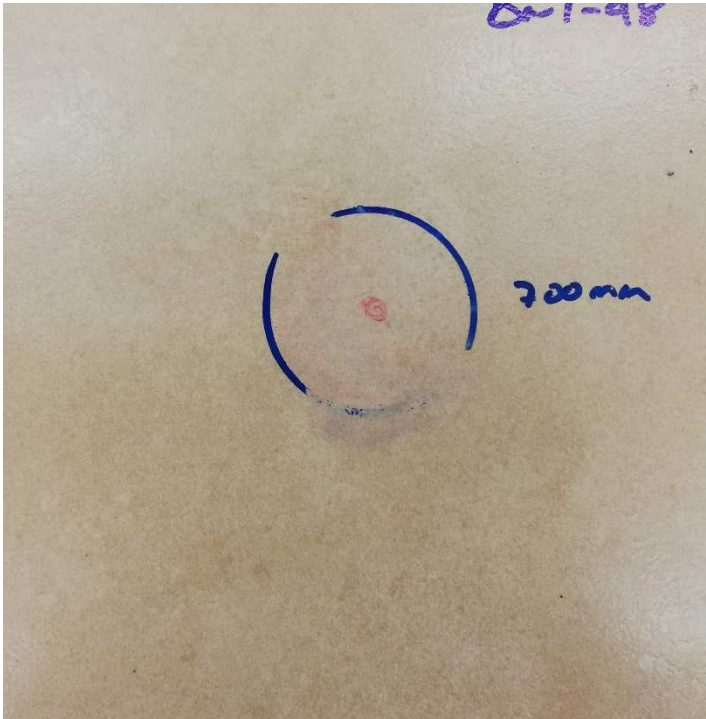


Figura 128. Defectos aparecidos en la probeta ON1-98. Se observa la fisura circular en la zona de impacto.

Sistema ON4 con lámina cerámica de 6 mm

Tabla 105. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON4 - 11

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	2 Fisuras radiales de longitud $l > 10$ mm	4



Figura 129. Defectos aparecidos en la probeta ON4-11. Se puede observar las fisuras radiales que atraviesan la pieza desde el centro hasta el extremo de la probeta



Figura 130. Detalle de las fisuras radiales de la probeta ON4-11

Tabla 106. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta ON4 - 12

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1



Figura 131. Defectos aparecidos en la probeta ON4-12. Se puede observar la fisura circular en la zona de impacto.



Figura 132. Detalle de la fisura circular de la probeta ON4-12

Sistema ON7 con baldosa de gres cerámico Blla

Tabla 107. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta ON7 - 14

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
600	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
700	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
800	Desconchados	5



Figura 133. Defectos aparecidos en la probeta ON7-14. Se puede observar los desconchados que aparecen en la

zona de impacto.



Figura 134. Detalle de los desconchados de la probeta ON7-14

Tabla 108. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta ON7 - 15

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
800	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto 2 fisuras radiales de longitud longitud $l \leq 5$ mm	2



Figura 135. Defectos aparecidos en la probeta ON7-15. Se puede observar la fisura circular en la zona de impacto y las fisuras radiales.



Figura 136. Detalle de las fisuras circular y radiales de la probeta ON7-15

Sistema R1 con lámina cerámica de 6 mm

Tabla 109. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta R1 - 14

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
400	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
500	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
600	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
700	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
800	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
900	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1
1000	Desconchado	5



Figura 137. Defectos aparecidos en la probeta R1 - 14. Se puede observar el desconchado que aparecen en la zona de impacto.



Figura 138. Detalle de los desconchados de la probeta R1 - 14

Tabla 110. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta R1 - 15

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
1000	Fisuras circulares alrededor del punto de impacto	1



Figura 139. Defectos aparecidos en la probeta R1-15. Se puede observar la fisura circular en la zona de impacto.



Figura 140. Detalle de las fisuras circulares de la probeta R1-15

Sistema R5 con lámina cerámica de 6 mm

Tabla 111. Resultados de ensayo de impacto duro: impactos acumulados en probeta R5 - 14

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	3 Fisuras radiales de longitud $l > 10\text{mm}$ Desconchado	5



Figura 141. Defectos aparecidos en la probeta R5 - 14. Se puede observar el desconchado que aparece en la zona de impacto y las fisuras radiales.



Figura 142. Detalle de los defectos de la probeta R5 - 14

Tabla 112. Resultados de ensayo de impacto duro: impacto en probeta R5 - 15

Altura (mm)	Defectos aparecidos	Nivel
300	2 Fisuras radiales de longitud $l > 10\text{mm}$	4

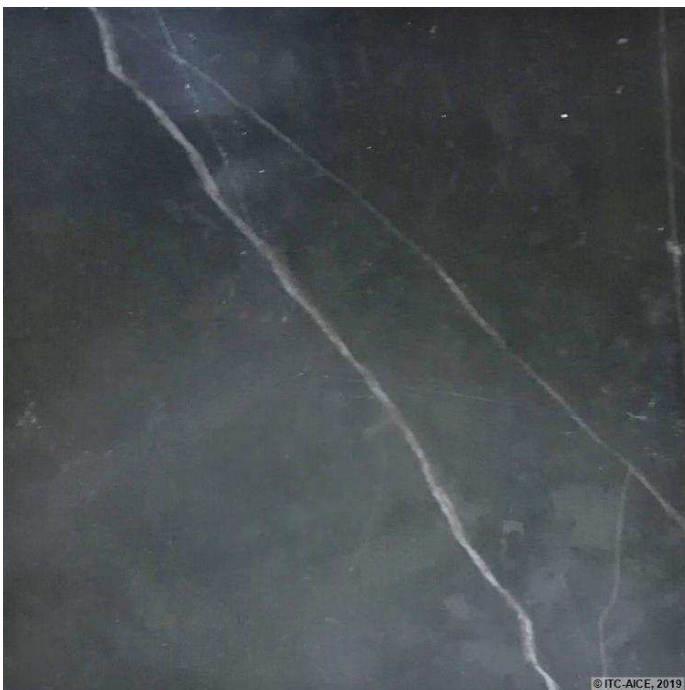


Figura 143. Defectos aparecidos en la probeta R5-15. Se puede observar las fisuras radiales propagándose desde la zona de impacto.



Figura 144. Detalle de las fisuras radiales de la probeta R5-15

Interpretación de resultados

Tabla 113 Resumen de resultados de los ensayos de impacto duro

Sistemas	Capa superior	Altura fallo catastrófico h_f impactos acumulados	Fallo catastrófico h_f - impacto directo (a altura fallo catastrófico)	Nivel h_f – impacto directo
ON1	Lamina 6 mm	600 mm	No	1
ON1	Gres Blla	600 mm	No	1
ON1	Porcelánico Bla	500 mm	No	1
ON4	Lamina 6 mm	500 mm	No	1
ON7	Gres Blla	800 mm	No	2
R1	Lamina 6 mm	1000 mm	No	1
R5	Lamina 6 mm	300 mm	SI	4

- Los sistemas con capas inferiores más rígidas (R1 y ON7) tienen el fallo catastrófico a mayor altura (h_f) tras los impactos acumulados. La rigidez de las capas inferiores a la cerámica afecta al resultado, capas más rígidas mejoran el comportamiento del sistema.
- En los sistemas con menor altura de fallo catastrófico (R5 y ON4), no se produce rebote de la bola de acero. Toda la energía cinética se transfiere al sistema.
- Tanto la baldosa de gres como la lámina tienen un comportamiento aceptable frente al impacto duro si los comparamos con un producto como el porcelánico al que se le supone un buen comportamiento debido a las características intrínsecas del producto.
- Cuando no existe fallo catastrófico, el deterioro superficial puede ser función del acabado. En el proyecto no se ha evaluado la contribución de diferentes tipos de acabado (esmaltado-no esmaltado, suave-áspero, pulido-liso-relieve, brillo-mate). No obstante, la experiencia indica que en general, el acabado esmaltado en las baldosas presenta peor comportamiento que el acabado no esmaltado.
- En el caso de baldosas de gres B11a, pequeñas heterogeneidades en la capa de adhesivo no modifican el comportamiento del conjunto frente al impacto duro. No se ha evaluado el comportamiento de otros tipos de cerámicas.

4.2.3.2. Resistencia al impacto por medida del coeficiente de restitución

Este ensayo se ha realizado siguiendo el método descrito en la norma UNE-EN ISO 10545-5: 1998 "Baldosas Cerámicas - Parte 5: Determinación de la resistencia al impacto por medición del coeficiente de restitución", que consiste en determinar el coeficiente de restitución, midiendo la altura de rebote de una bola de acero de 19 mm (28,1 g) que cae desde una altura de 1 m sobre la superficie de las probetas. Esta altura se mide con un micrófono que mide el intervalo de tiempo entre en primer y segundo impacto, cuando se deja caer la bola de acero.



Figura 145. colocación de la probeta de ensayo en el equipo de impacto por medida del coeficiente de restitución.



Figura 146. Colocación de la bola de acero en el equipo antes de soltarla para impactar sobre la probeta.

Para una bola que impacta sobre una superficie estática horizontal, el coeficiente de restitución (e) se calcula con la ecuación

$$e = \frac{v}{u}$$

Donde

v es la velocidad de partida (rebote)

u es la velocidad de aproximación

En el momento inicial antes de soltar la bola, solo hay energía potencial que al impactar con la superficie de la baldosa se transforma en energía cinética, despreciando el rozamiento del aire.

$$mgh_1 = \frac{1}{2}mu^2$$

Por consiguiente

$$u = \sqrt{2gh_1}$$

Esta energía cinética tras el impacto se transformara en energía potencial al alcanzar la altura del primer rebote.

$$mgh_2 = \frac{1}{2}mv^2$$

Por consiguiente

$$v = \sqrt{2gh_2}$$

Donde

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

Si la altura del rebote se determina dejando rebotar la bola dos veces y midiendo el intervalo de tiempo entre 2 rebotes, la ecuación del movimiento es

$$h_2 = u_0t + \frac{gt^2}{2}$$

Donde

u_0 es la velocidad en lo alto del rebote (=0)

t es igual a $T/2$, siendo T el intervalo de tiempo en segundos

de donde sustituyendo la aceleración de la gravedad g por $9,81 \text{ m/s}^2$, obtenemos

$$h_2 = 1,226T^2 \text{ (m)}$$

De este modo y considerando $h_1 = 1\text{m}$

$$e = \sqrt{\frac{1,226T^2}{1}} = 1,11xT$$

El ensayo se realiza sobre probetas de $100 \times 100 \text{ mm}$, por cada probeta se mide el coeficiente de restitución 2 veces en zonas diferente. Habitualmente se mide el coeficiente de restitución en 2 probetas.



Figura 147. Montaje del equipo de coeficiente de restitución por impacto

Resultados obtenidos

Sistema ON1 con lámina cerámica de 6 mm

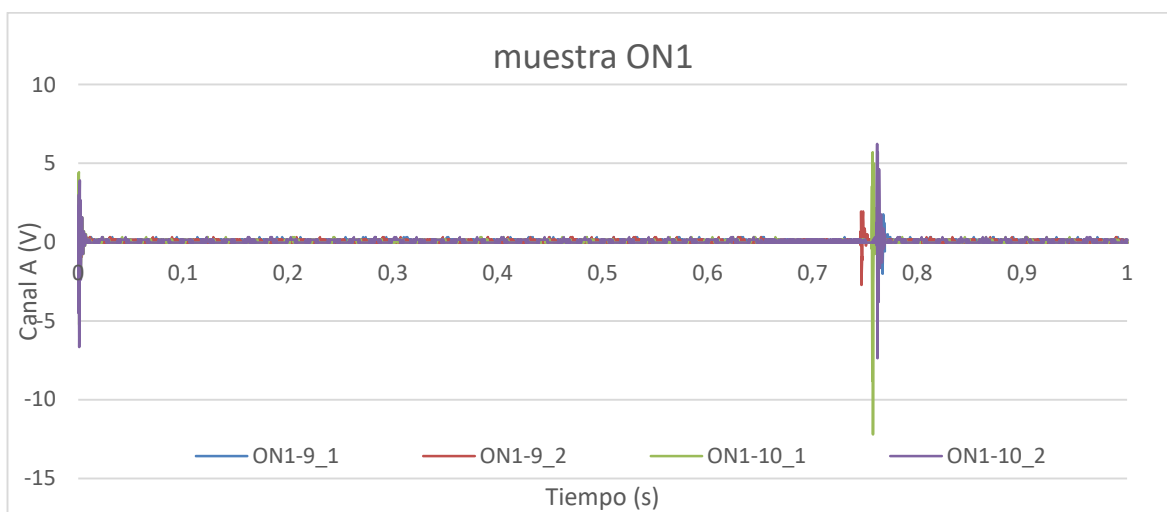


Tabla 114. Resumen de los resultados de la muestra ON1

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Sin efectos visibles	0,77	0,85
2	Sin efectos visibles	0,75	0,83
3	Sin efectos visibles	0,76	0,84
4	Sin efectos visibles	0,76	0,84
Valor medio			0,84

Sistema ON4 con lámina cerámica de 6 mm

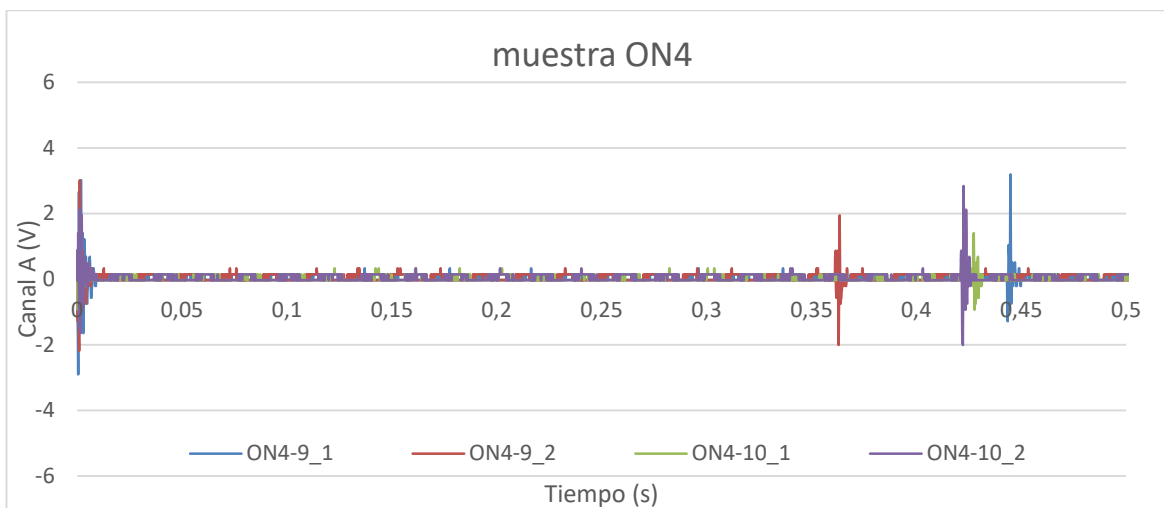


Tabla 115. Resumen de los resultados de la muestra ON4

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Sin efectos visibles	0,44	0,49
2	Sin efectos visibles	0,36	0,40
3	Sin efectos visibles	0,43	0,47
4	Sin efectos visibles	0,42	0,46
Valor medio			0,45

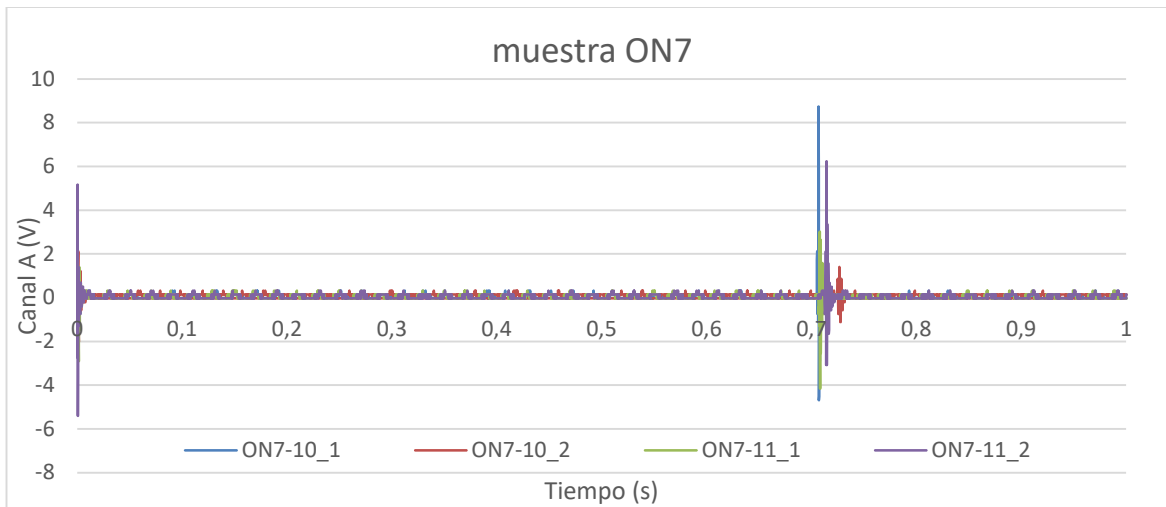
Sistema ON7 con gres Blla

Tabla 116. Resumen de los resultados de la muestra ON7

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Sin efectos visibles	0,71	0,78
2	Sin efectos visibles	0,73	0,81
3	Sin efectos visibles	0,71	0,78
4	Sin efectos visibles	0,72	0,79
Valor medio			0,79

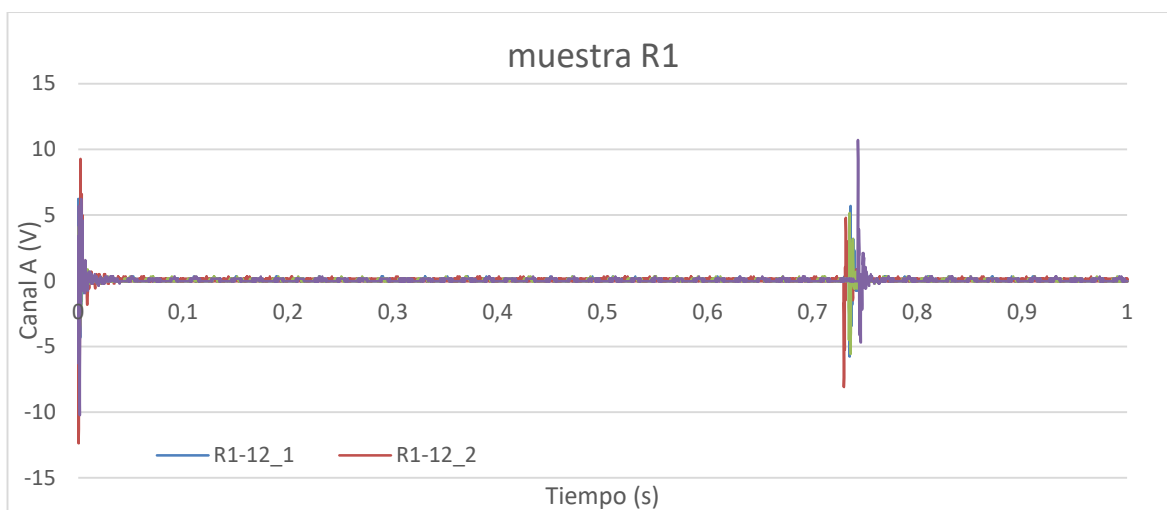
Sistema R1 con lámina cerámica de 6 mm

Tabla 117. Resumen de los resultados de la muestra R1

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Sin efectos visibles	0,74	0,82
2	Sin efectos visibles	0,73	0,81
3	Sin efectos visibles	0,74	0,82
4	Sin efectos visibles	0,74	0,82
Valor medio			0,82

Sistema R5 con lámina cerámica de 6 mm

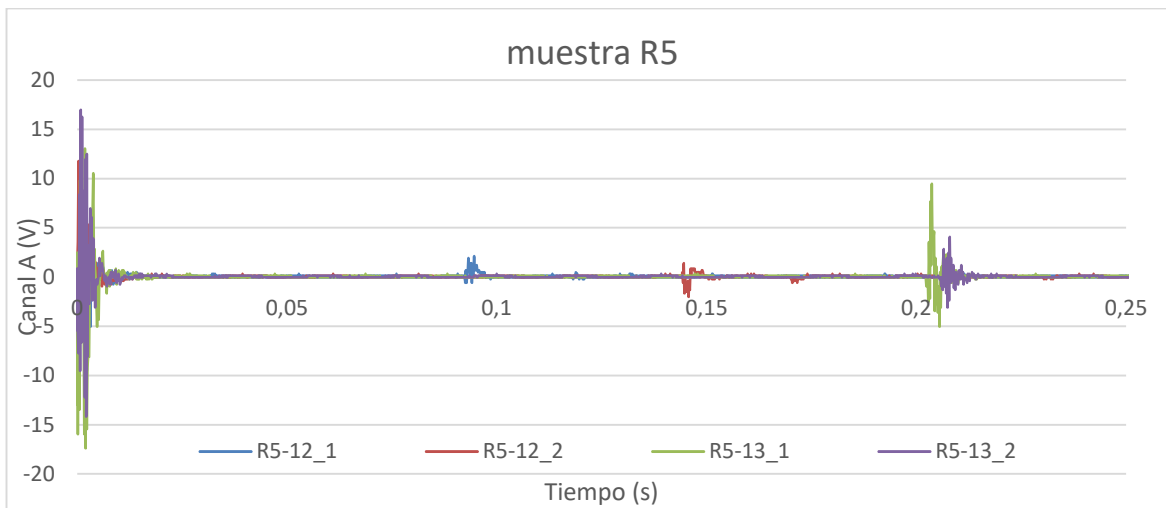


Tabla 118. Resumen de los resultados de la muestra R5

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Fisuras concéntricas	0,09	0,10
2	Fisuras concéntricas	0,15	0,17
3	Fisuras concéntricas	0,20	0,22
4	Fisuras concéntricas	0,21	0,23
Valor medio			0,18

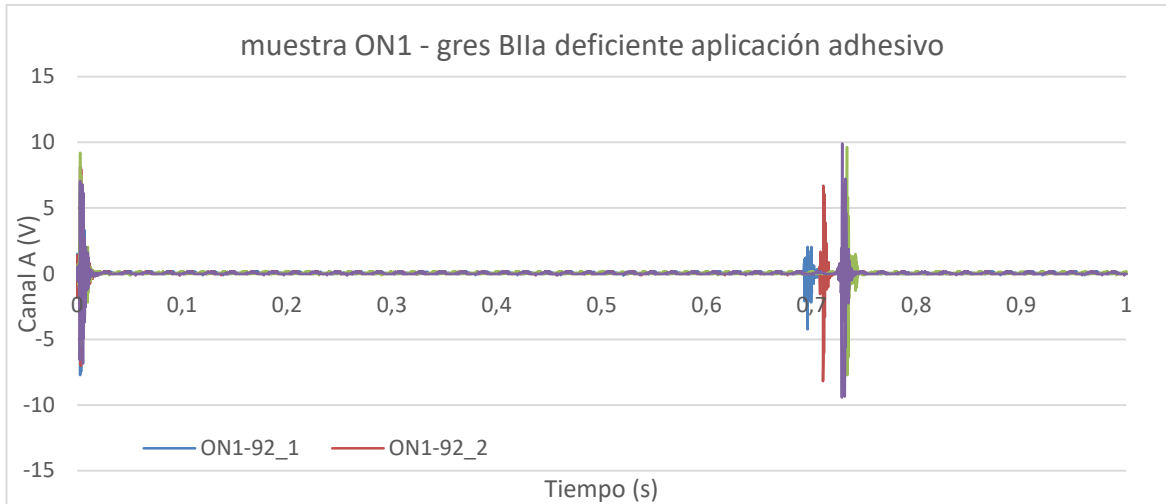
Evaluación del comportamiento del sistema frente a heterogeneidades en la capa de adhesivoMuestra: **ON1 – gres Blla**

Tabla 119. Resumen de los resultados de la muestra ON1

Probeta	Daños observados	Intervalo de tiempo, T (s)	Coefficiente de restitución, e
1	Sin efectos visibles	0,70	0,77
2	Sin efectos visibles	0,71	0,78
3	Sin efectos visibles	0,73	0,81
4	Sin efectos visibles	0,73	0,81
Valor medio			0,79

Interpretación de resultados

Tabla 120 Resumen de resultados de los ensayos de resistencia al impacto por medida del coeficiente de restitución

Sistemas	Capa superior	Daños observados	Coefficiente de restitución, e
ON1	Lamina 6 mm	Sin efectos visibles	0,84
ON4	Lamina 6 mm	Sin efectos visibles	0,45
ON7	Gres Blla	Sin efectos visibles	0,79
R1	Lamina 6 mm	Sin efectos visibles	0,82

R5	Lamina 6 mm	Fisuras concéntricas	0,18
----	-------------	----------------------	------

Tabla 121 Resumen de resultados de los **ensayos** de resistencia al impacto por medida del coeficiente de restitución

Sistemas	Capa superior	Daños observados	Coefficiente de restitución, e
ON1	Lamina 6 mm	Sin efectos visibles	0,84
ON7	Gres Blla	Sin efectos visibles	0,79
ON1 – mala instalación	Gres Blla	Sin efectos visibles	0,79

La norma UNE-EN 14411 establece esta característica como opcional para el fabricante, y en su anexo O aconseja un valor mínimo de 0,55 para baldosas destinadas a suelos de bajas exigencias mecánicas.

El coeficiente de restitución nos indica la energía perdida en el rebote de una esfera de acero sobre una superficie adherida a un determinado sistema, que, descontando la energía de rozamiento del aire y la deformación de la bola de acero, se le atribuye a la deformabilidad del sistema

Los sistemas con capas más rígidas (ON1, ON7 y R1) el coeficiente de restitución es similar al que se realizaría con el ensayo normalizado, por lo que una parte importante de la energía de caída de la bola revierte en que la bola alcance la altura de rebote.

En los sistemas con capas menos rígidas (ON4 y R5), el rebote de la bola de acero es mucho menor ya que la energía cinética se transfiere al sistema, y en el caso del sistema R5 se llegan a producir fisuras circulares.

- No se ha evaluado el comportamiento de los diferentes tipos de cerámicas, únicamente de los diferentes tipos de sistemas
- La rigidez de las capas inferiores (relacionada con el grado de compacidad, deformabilidad y espesor de cada capa) afecta significativamente al resultado. El coeficiente de restitución está directamente relacionado con la deformabilidad del sistema. Mayor coeficiente implica menor deformabilidad.
- Coeficientes de restitución pequeños implican mayor transmisión de energía de impacto al sistema y por tanto mayor probabilidad de generar defectos en la cerámica.
- Pequeñas heterogeneidades en la aplicación del adhesivo (surcos y aplicación por puntos de grosor no muy elevado), no afectan al resultado, ni en daños observados ni en el coeficiente de restitución obtenido.

4.2.4. Resistencia a flexión

Este ensayo se ha realizado siguiendo el método descrito en la norma UNE-EN ISO 10545-4: 2015 "Probetas Cerámicas - Parte 4: Determinación de la resistencia a la flexión y de la fuerza de rotura", que consiste en ejercer sobre las probetas una fuerza progresiva a velocidad constante, mediante un rodillo

apoyado sobre su zona central hasta provocar la rotura. Mientras, la probeta permanece apoyada sobre otros dos rodillos, situados cada uno a una distancia de un centímetro de sus extremos.

Parámetros fijos del ensayo:

Diámetro del apoyo, $d= 20 \text{ mm}$

Espesor del caucho, $t= 5 \text{ mm}$

Distancia entre los puntos de apoyo y los bordes de la probeta, $l_1= 10 \text{ mm}$

Distancia entre los rodillos de apoyo, $l_2= 280 \text{ mm}$

El ensayo se realiza sobre los sistemas R1 y R5 y con los diferentes tipos de baldosas cada uno de ellos

Resultados obtenidos

Sistema R1 con baldosa cerámica de gres porcelánico



Figura 148 Montaje del ensayo de flexión: Probeta R1-6



Figura 149. Rotura de la probeta. Todas las capas están adheridas.

Tabla 122. Resultados del ensayo de flexión en muestras R1 – Gres porcelánico.

Probeta	Espesor zona rotura (mm)	Carga de rotura (kN)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)
R1-4	44,25	8,34	6
R1-5	44,85	9,28	6
R1-6	44,37	8,27	6
Valor medio		8,63	6

Sistema R1 con lámina cerámica de 6 mm



Figura 150. Montaje del ensayo de flexión: Probeta R1-16

Sistema R1 con gres BIIa

Figura 151. Rotura de la probeta. Todas las capas están adheridas.

Tabla 123. Resultados del ensayo de flexión en muestras R1 – Lamina de 6 mm.

Probeta	Espesor zona rotura (mm)	Carga de rotura (kN)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)
R1-16	41,10	7,42	6
R1-17	40,70	7,61	6
R1-18	41,85	8,53	7
Valor medio		7,85	6

Sistema R1 con baldosa cerámica de gres BIIa

Figura 152. Montaje del ensayo de flexión: Probeta R1-26



Figura 153. Rotura de la probeta. Todas las capas están adheridas.



Figura 154. Rotura de la probeta R1-27. La capa inferior (terrazo) presenta fisuras transversales.

Tabla 124. Resultados del ensayo de flexión en muestras R1 – Gres BIIa.

Probeta	Espesor zona rotura (mm)	Carga de rotura (kN)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)
R1-26	43,35	8,86	7
R1-27	43,27	6,36*	5*
R1-28	43,00	9,37	7
Valor medio		8,20	7

*Estos valores no se han utilizado en los valores medios, debido a que la capa inferior presentaba defectos que afectaban a la carga de rotura.

En la Figura 155 se puede observar que los pavimentos sobre pavimento existente de baldosa de terrazo (R1), prácticamente no deforman, ya que la deformación que vemos en el gráfico es la correspondiente a los cauchos de 5mm, que se comprimen aproximadamente un 50%, por lo que se puede exponer que a partir de 5mm, empezaría la deformación de la probeta. Las deformaciones en las probetas R1 varían entre 0,25 y 0,4 mm.

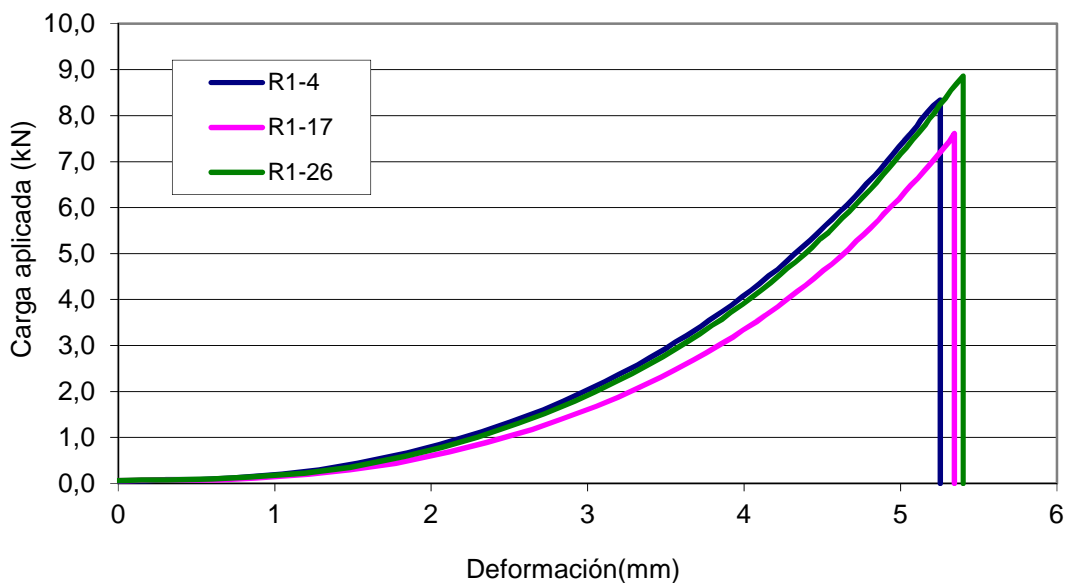


Figura 155. Gráfico de los soportes rígidos (R1) con diferentes capas superiores de baldosas cerámicas (R1-4 gres porcelánico, R1-17 lámina cerámica y R1-26 gres BIIa).

Si se considera que todo el espesor de la probeta es homogéneo, se puede calcular la resistencia a la flexión de las probetas de pavimento sobre pavimento existente de baldosa, R1 y se comprueba que independientemente de la capa superior, el valor medio de cada muestra está entre 7- 6 N/mm².

La capa inferior que aporta el mayor espesor, corresponde a baldosas de terrazo que en el caso de ser clase 3 según las especificaciones de las normas de Baldosa de Hormigón UNE-EN 1339:2004/Baldosa de terrazo uso exterior UNE-EN 13748-2, correspondería a valores de resistencia a la flexión ≥ 5 N/mm² (MPa).

Tabla 125. Especificación de la resistencia a la flexión de las baldosas de hormigón según UNE-EN 1339

Clase Resistencia a la Flexión	Valor medio Resistencia a la Flexión (MPa)
1	$\geq 3,5$
2	$\geq 4,0$
3	$\geq 5,0$

Sistema R5 con baldosa cerámica de gres porcelánico



Figura 156. Montaje del ensayo de flexión: Probeta R5-4

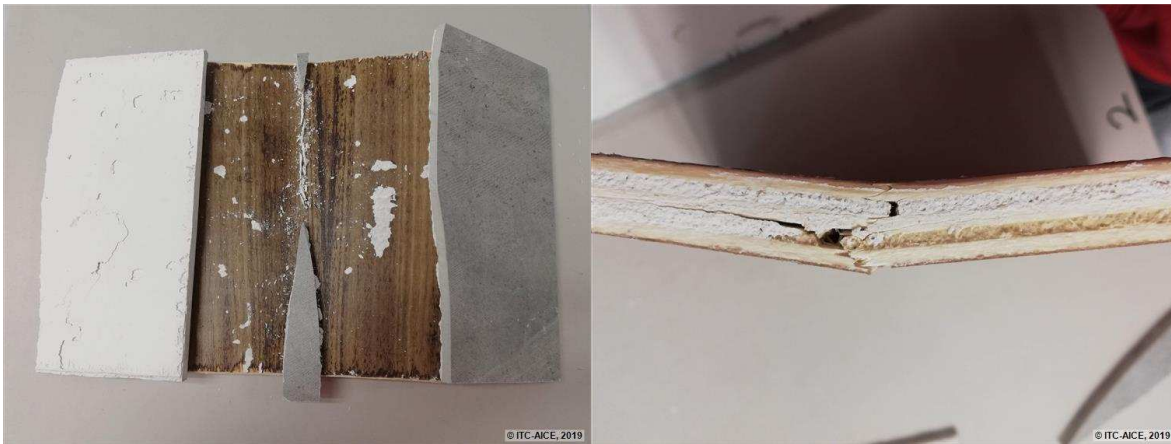


Figura 157. Rotura de la probeta. Las capas superiores, baldosa y adhesivo, rompen y se despegan del soporte. La madera no llega a separarse entre sí.

Tabla 126. Resultados del ensayo de flexión en muestras R5 – Gres porcelánico.

Probeta	Carga de rotura Cerámica (kN)	Carga de rotura Madera (kN)
R5-4	5,52	7,47
R5-5	4,48	6,54
R5-6	4,42	7,65
Valor medio	4,81	7,22

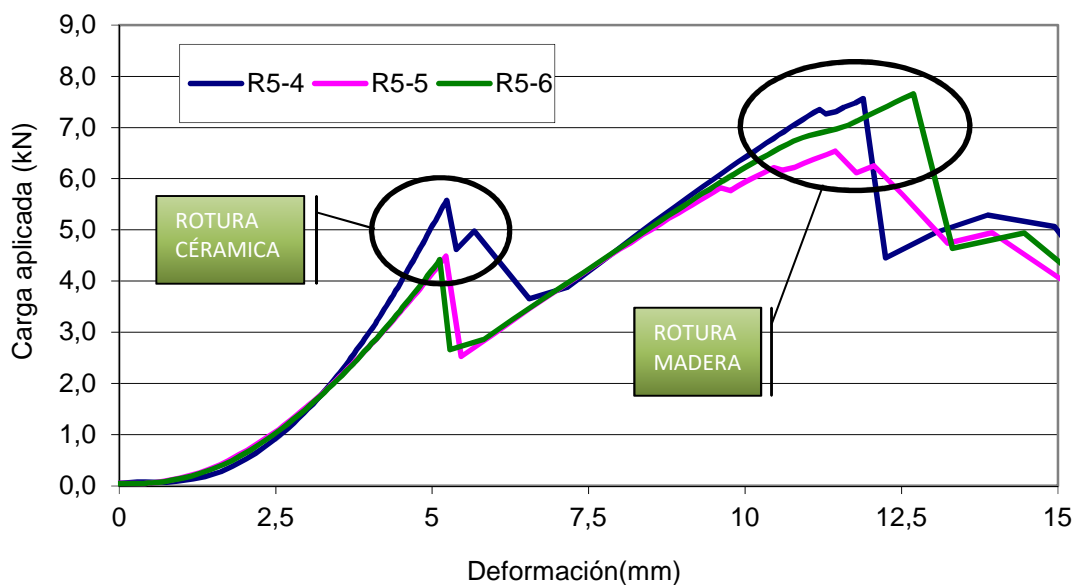


Figura 158. Gráfico de los soportes flexibles (R5) con capa superior de gres porcelánico.

Sistema R5 con lámina cerámica

Figura 159. Montaje del ensayo de flexión: Probeta R5-4

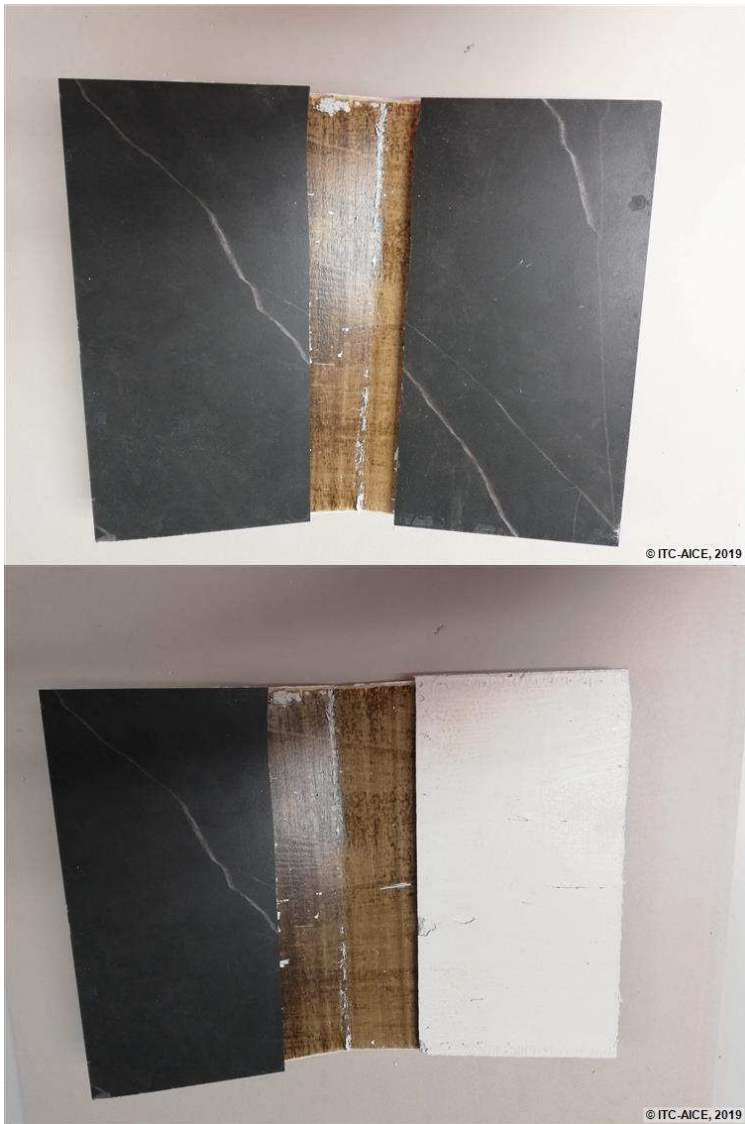


Figura 160. Rotura de la probeta. Las capas superiores, baldosa y adhesivo, rompen y se despegan del soporte. La madera no llega a separarse entre sí.

Tabla 127. Resultados del ensayo de flexión en muestras R5 – Lamina de 6 mm.

Probeta	Carga de rotura Cerámica (kN)	Carga de rotura Madera (kN)
R5-16	3,10	5,92
R5-17	3,35	7,54
R5-18	3,44	6,63
Valor medio	3,30	6,70

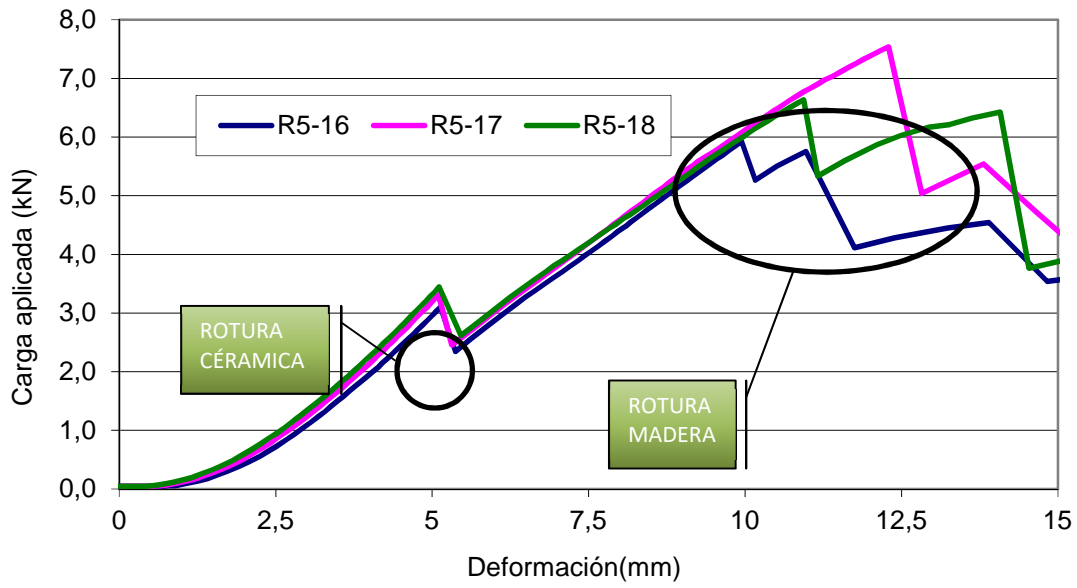


Figura 161. Gráfico de los soportes flexibles (R5) con capa superior de lámina de 6mm.

Sistema R5 con baldosa cerámica BIIa



Figura 162. Montaje del ensayo de flexión: Probeta R5-4

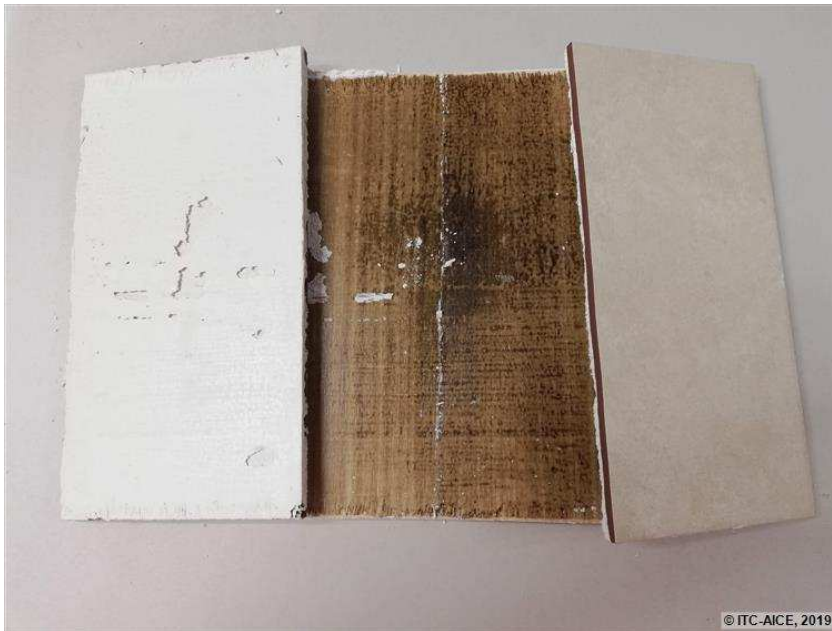


Figura 163. Rotura de la probeta. Las capas superiores, baldosa y adhesivo, rompen y se despegan del soporte. La madera no llega a separarse entre sí.

Tabla 128. Resultados del ensayo de flexión en muestras R5 – Gres BIIa.

Probeta	Carga de rotura Cerámica (kN)	Carga de rotura Madera (kN)
R5-24	2,96	6,01
R5-25	3,06	7,17
R5-26	2,89	6,96
Valor medio	2,97	6,71

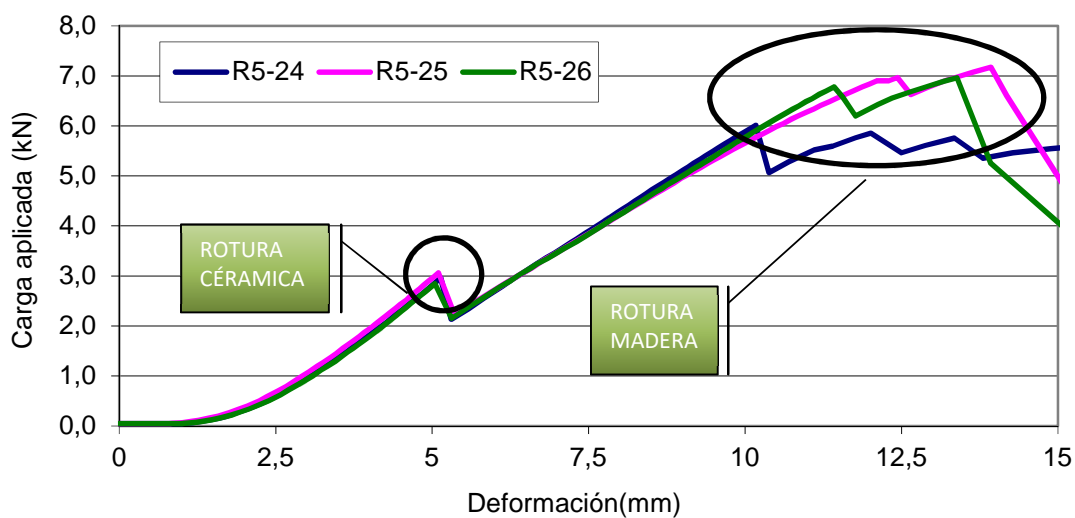


Figura 164. Gráfico de los soportes flexibles (R5) con capa superior de gres BIIa.

Interpretación de resultados

Los resultados para el sistema R1 se recogen en la Tabla 129.

Tabla 129. Resultados de la carga de rotura media en el sistema cerámico R1.

Capa superior cerámica	Carga de rotura media (kN)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)
Gres porcelánico	8,63	6
Lamina de 6 mm	7,85	6
Gres Blla	8,20	7

En la Figura 165, se puede comparar las diferentes cargas de rotura frente a las deformaciones que se obtienen con los diferentes tipos de baldosas cerámicas a estudiar. El gres porcelánico tiene una mayor carga de rotura que los otros materiales cerámicos, tal y como ocurriría en el ensayo normalizado de flexión de baldosa cerámica UNE-EN ISO 10545-4: 2015 realizado únicamente sobre el material cerámico. Además es el que soporta mayor deformación antes de colapsar.

En cambio, con la lámina de 6 mm obtenemos valores mayores que en el gres, esto se debe a que, al realizar el ensayo sobre un soporte flexible, pero que proporciona cierto apoyo rígido, los valores de carga de rotura no corresponden únicamente a la flexión, sino que interviene la resistencia a compresión.

Sobre los 5 mm de deformación total se produce la rotura de la capa cerámica, por lo que podemos considerar que los cauchos se han comprimido al 50%. Las roturas de las piezas cerámicas se producen con deformaciones no superiores a 0,25 mm.

Tabla 130. Resultados de la carga de rotura media de la cerámica sobre soportes flexibles R5.

Capa superior cerámica	Carga de rotura media (kN)
Gres porcelánico	4,81
Lamina de 6 mm	3,30
Gres Blla	2,97

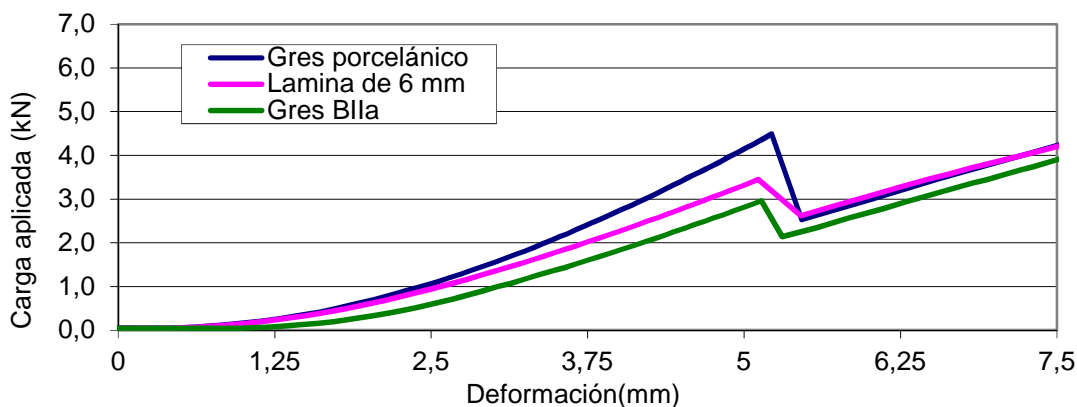


Figura 165. Gráfico de los soportes flexibles (R5) con diferentes capas superiores

Los sistemas sobre soporte rígido, R1, alcanzan su carga de rotura en torno a los 8kN, independientemente del tipo de baldosa, al alcanzar su límite de deformación. Por tanto, la rigidez del soporte condiciona la resistencia a la flexión del conjunto.

El sistema colapsa solidariamente en todas sus capas. Todas las capas de las probetas de soportes rígidos, R1, permanecen unidas tras ser sometidas al ensayo.

Las capas superiores cerámicas sobre los soportes flexibles, R5, tienen cargas de rotura diferentes. A menor absorción de agua y mayor espesor, aumenta la carga.

Los soportes flexibles en los sistemas R5, comienzan a fracturar en valores que rondan los 7kN, a partir de los cuales comienza a deformarse con celeridad. Estos valores son superiores incluso a los de las baldosas, debido posiblemente a la flexibilidad de esta capa de madera, que le permite deformarse antes de colapsar.

Las capas superiores, cerámica y adhesivo, se separan del soporte flexible en los sistemas R5 al producirse la rotura de la cerámica. Por tanto, el sistema no se comporta solidariamente debido a la diferente deformabilidad de cada uno de los componentes del sistema.

- En sistemas formados por baldosas cerámicas y capas de similar rigidez o deformabilidad, el conjunto se comporta solidariamente frente a la flexión, siendo muy superior la resistencia del conjunto a la de cada uno de sus componentes por separado.
- Sobre soportes muy rígidos, la rigidez del soporte condiciona el resultado del conjunto, ya que los valores obtenidos para los diferentes tipos de baldosas cerámicas son muy similares.
- En sistemas compuestos por baldosas sobre capas con cierta deformabilidad, aumenta ligeramente la resistencia a la flexión de la baldosa puesto que tiene una base de apoyo. En este caso la resistencia de la baldosa queda condicionada por el grado de absorción de agua de la misma. Esto podría justificar que la lámina cerámica (de espesor reducido) obtenga un mejor resultado que el gres B1a (mayor espesor).

5. Estudio comportamiento frente a requerimientos significativos (Tarea 3.2)

5.1. Recopilación previa de métodos de ensayo

5.1.1. Cohesión entre capas

UNE-EN 1742:1999. Determinación de la resistencia a cortante entre diferentes capas de elementos multicapa de hormigón celular curado en autoclave u hormigón de áridos ligeros con estructura abierta. La resistencia a cortante entre capas de un elemento multicapa se determina aplicando una fuerza a compresión horizontal actuando en la dirección longitudinal del elemento en una cara del extremo de la capa inferior, mientras el elemento se coloca en posición horizontal sobre dos rodillos cerca de los extremos. El elemento se apoya en el extremo opuesto en la capa superior para evitar el desplazamiento horizontal y levantamiento. La resistencia a cortante se calcula a partir de la fuerza a cortante resultante actuando en el plano del elemento a rotura, dividida por la longitud y el ancho medidos del elemento.

UNE-EN 1348:2008. Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 2: Métodos de ensayo. Esta norma especifica los métodos para determinar las características de los adhesivos utilizados para la colocación de baldosas cerámicas en interiores y exteriores. Se describen los siguientes métodos de ensayo: determinación del tiempo abierto, determinación del deslizamiento, determinación de la adherencia en adhesivos cementosos, determinación de la adherencia a cizalla de adhesivos en dispersión, determinación de la adherencia a cizalla de adhesivos de resinas reactivas y determinación de la deformación transversal en adhesivos cementosos.

5.1.2. Comportamiento acústico

UNE-EN ISO 10140-2:2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo. Esta norma se refiere a la medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Para ello se utilizan dos recintos adyacentes horizontales o verticales, uno se considera recinto emisor y el otro recinto receptor. El elemento sometido a ensayo se monta en una abertura en la pared de separación entre estos dos recintos. En el recinto emisor se genera un campo acústico difuso mediante uno o varios altavoces. Los niveles de presión acústica medios se miden en ambos recintos en el rango de frecuencias de 100 Hz a 5000 Hz.

UNE-EN ISO 10140-3:2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 3: Medición del aislamiento acústico al ruido de impactos. Esta norma se refiere a la medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Para ello se utilizan dos recintos verticales adyacentes, el superior o "recinto emisor" y el inferior o "recinto receptor". El suelo que es el elemento de ensayo separa estos dos recintos. La fuente de impactos se coloca en la parte superior del elemento de ensayo en posiciones diferentes y los niveles de presión acústica se miden en el recinto receptor, generalmente en el rango de frecuencias de 100 Hz a 5000 Hz.

UNE-EN 16251-1:2015. Acústica. Medición en laboratorio de la reducción de la transmisión del ruido de impacto por revestimientos de suelo sobre un suelo de pequeñas dimensiones. Parte 1: Suelos pesados. En esta norma se especifica un método de medición en laboratorio para determinar la mejora del aislamiento acústico al ruido de impacto mediante un revestimiento de suelo colocado sobre una muestra normalizada de hormigón y excitado por una máquina de martillos normalizada. El método está limitado a los revestimientos de suelo blandos, flexibles, cuya transmisión por el suelo de ruido de impactos es "local", es decir, que se realiza a través de la superficie próxima a los puntos de excitación, de manera que el tamaño de la muestra del suelo no influya en los resultados. Los resultados proporcionan únicamente información sobre el ruido radiado.

5.1.3. Transmisión de vibraciones

UNE-EN ISO 13753:2008. Vibraciones mecánicas y choques. Vibración mano-brazo. Método para medir la transmisibilidad de la vibración de los materiales resilientes cargados por el sistema mano-brazo. (ISO 13753:1998). Esta norma ha sido elaborada para la medición y evaluación de los materiales resilientes utilizados en el recubrimiento de empuñaduras y la fabricación de guantes con el objetivo de evaluar las vibraciones transmitidas por el brazo. Se describe, por tanto, un método reproducible y fiable para medir la atenuación de las vibraciones de una muestra de material en forma de lámina o capa. El método utiliza un sistema de excitación de las vibraciones (vibrador) sobre el cual se coloca el material resiliente y la masa de carga que se encuentra en la parte superior. Los acelerómetros miden las vibraciones sobre el vibrador y las vibraciones de las masas. El vibrador puede impulsarse mediante una señal aleatoria de banda ancha o por una señal sinusoidal.

UNE-EN ISO 6721-3:1996. Plásticos. Determinación de las propiedades mecano-dinámicas. Parte 3: Vibración en flexión. Método de la curva de resonancia. (ISO 6721-3:1994 + Corrigendum Técnico 1:1995). Esta parte de la norma especifica un método de vibración en flexión basado en curvas de resonancia para la determinación del módulo complejo en flexión. Se puede determinar esta propiedad en función de la temperatura y de la frecuencia. El ensayo se realiza con probetas rectangulares, situadas verticalmente, sujetas por su extremo superior y con el otro extremo libre (método A), o suspendidas horizontalmente mediante hilos en los nodos de vibración (método B). El método A es apropiado para materiales plásticos y/o relativamente blandos, y el método b es más apropiado para ensayar probetas rígidas.

5.1.4. Tensiones entre capas

ASTM E837 – 13a. Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method. Este método describe cómo evaluar los esfuerzos residuales presentes en un material, provocados bien durante su fabricación o desempeño. Estos esfuerzos son una fuente importante de fallo del material, especialmente en materiales sometidos a esfuerzos o ambiente corrosivos. El ensayo consiste en realizar un agujero con un taladro para determinar los perfiles de tensión residual de un material isotrópico linealmente elástico mediante el uso de galgas extensométricas.

5.2. Ensayos realizados

5.2.1. Cohesión entre capas

Se ha determinado la adhesión a la cizalla entre capas de las muestras con geometría cúbica y área cuadrada de 100 mm x 100 mm. El ensayo ha consistido en ejercer, sobre el canto de la baldosa colocada en la superficie, una fuerza progresiva de compresión paralela al área de adhesión. En el ensayo se empleó una velocidad de desplazamiento de 5 mm/min hasta provocar su rotura. El ensayo se considera terminado cuando se alcanza una carga máxima o la rotura de la unión entre baldosa y recreado.



Figura 166. Detalle del ensayo de adhesión a la cizalla

La resistencia a la adhesión a la cizalla viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_p}$$

donde:

σ : resistencia mecánica a la compresión (MPa)

F_{\max} : fuerza máxima antes de la rotura o carga de rotura (N)

A_p : Área de adhesión (mm²)

Resultados obtenidos

Los ensayos se han realizado sobre probetas de las siguientes soluciones constructivas:

- ON1: Pavimento sobre forjado con solera nivelada de semiseco, con acabado superficial lámina de 6 mm.
- Para el pegado de la baldosa se han utilizado dos tipos de adhesivos cementosos. C2 y C2S1

Muestra: **ON1 adhesivo C2S1**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de cizalla: 10 000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)	Rotura
ON1-41	14047	1,34	1,3	Cohesiva en adhesivo
ON1-42	16414	1,59	1,5	Cohesiva en adhesivo
ON1-43	11407	1,11	1,2	Parte adhesiva entre baldosa y adhesivo y parte cohesiva en adhesivo
Valor medio		1,35	1,3	
Desv. Estándar		0,24	0,2	

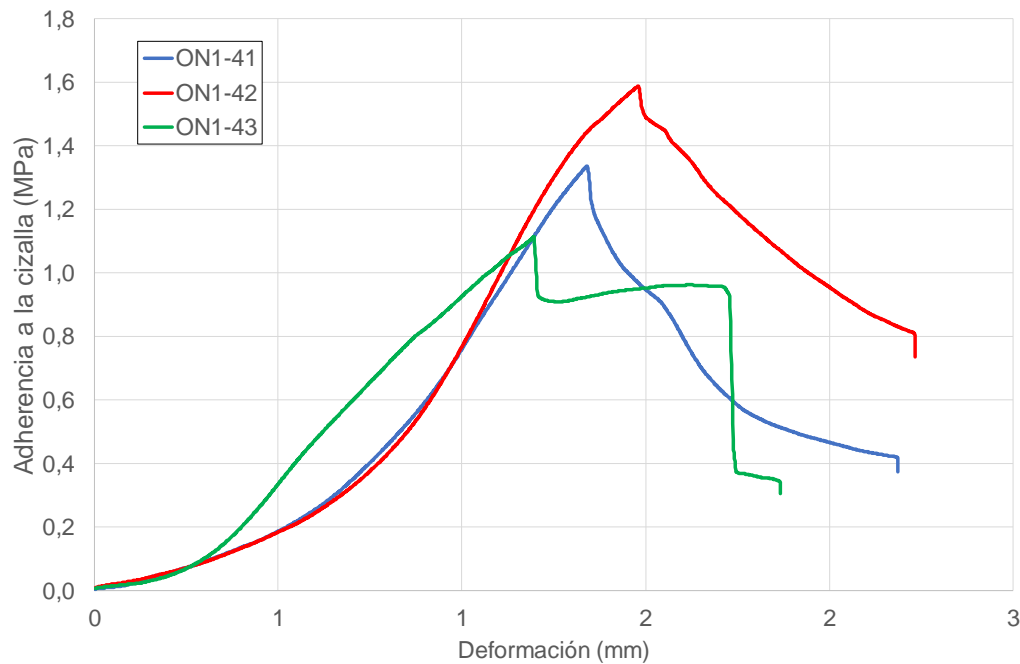


Figura 167. Variación de la adherencia a la cizalla con la deformación.



Figura 168. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la cizalla

Muestra: **ON1 adhesivo C2**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm
- Área de cizalla: 10 000 mm²
- Velocidad de ensayo 5 mm/min

Probeta	Fuerza (kN)	Resistencia mecánica (MPa)	Deformación antes de rotura (mm)	Rotura
ON1-94	9208	0,90	1,8	Adhesiva entre baldosa y adhesivo
ON1-95	9705	0,94	1,0	Cohesiva en adhesivo
ON1-96	11054	1,04	2,5	Cohesiva en adhesivo, algo adhesiva entre baldosa y adhesivo
Valor medio		0,97	1,8	
Desv. Estándar		0,07	0,8	

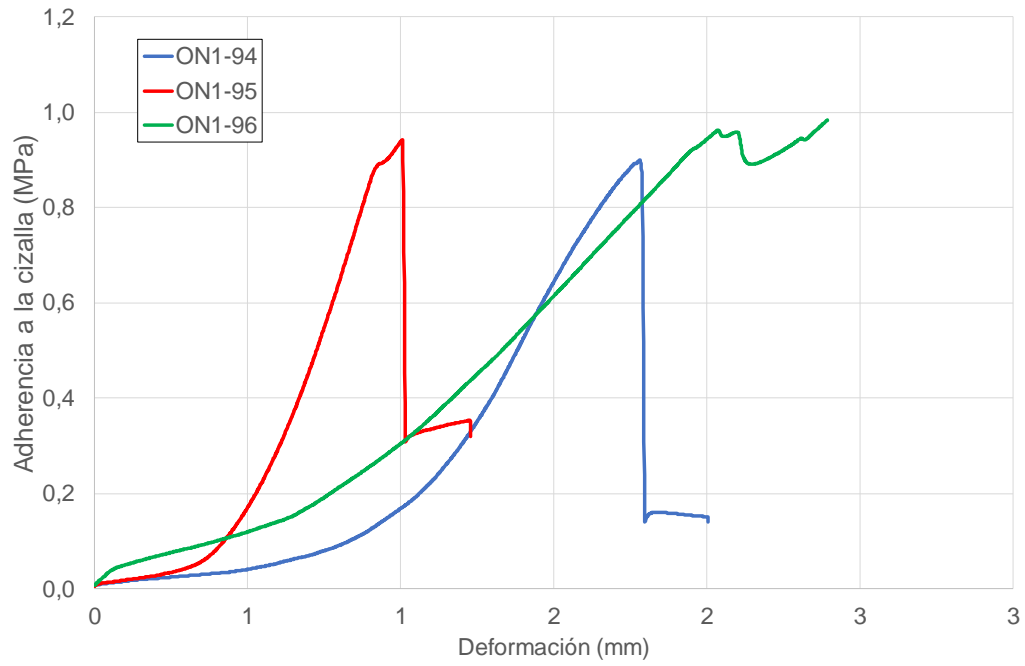


Figura 169. Variación de la adherencia a la cizalla con la deformación.



Figura 170. Aspecto de la rotura después del ensayo de resistencia a la cizalla

Interpretación de resultados

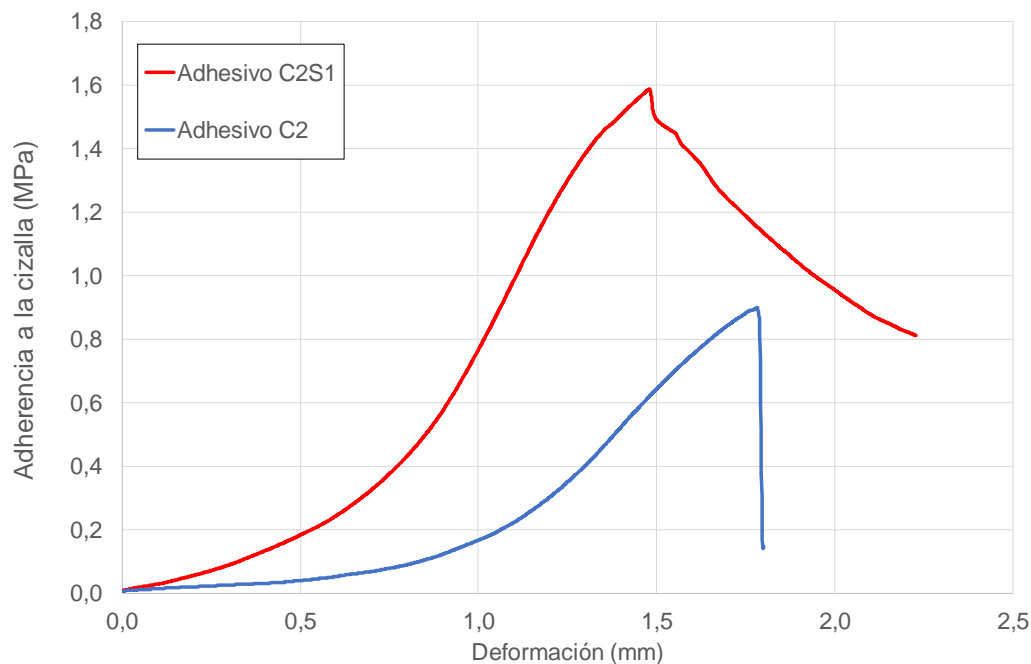


Figura 171. Variación de la adherencia a la cizalla con la deformación del sistema constructivo ON1.

- El adhesivo deformable (S1) presenta mayor capacidad de adherencia frente a la rotura por cizalla. Sin embargo, no parece que deforme más frente a esfuerzos por cizalla. Puesto que la aplicación del adhesivo en las maquetas no ha sido lo homogénea que cabía esperar, parece que esto influye significativamente en el comportamiento del adhesivo.

5.2.2. Comportamiento acústico

El aislamiento del sonido consiste en impedir la propagación del mismo por medio de obstáculos más o menos reflectores y la absorción, es la disipación de energía en el interior del medio de propagación. Es pues importante distinguir entre aislamiento y acondicionamiento acústico.

El acondicionamiento acústico se debe tener muy en cuenta a la hora de construir todo tipo de recintos donde se va precisar una buena inteligibilidad de la palabra o una buena audición. El objetivo del acondicionamiento acústico de un local es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo, es decir, controlar la energía sonora (directa y reflejada). Para conseguir dicho objetivo interesa que el intervalo de tiempo que transcurre entre el sonido directo, que llega antes que todas las reflexiones, y éstas sea lo suficientemente bajo para evitar el eco. La energía reflejada debe ser mínima, lo que conlleva a que la calidad acústica del local esté determinada por la absorción de los materiales que recubren dicho local. El tiempo de reverberación ha de ser adecuado al uso y tamaño de la sala.

El aislamiento acústico consiste en conseguir que la energía que atraviesa una barrera u obstáculo sea lo más baja posible, lo que supone instalar materiales que tengan una impedancia lo más distinta posible a la del medio que conduce el sonido. Podríamos hablar de dos tipos de mecanismos para controlar el aislamiento acústico: Aislamiento del sonido transmitido por el aire y Aislamiento del sonido transmitido por vía sólida. Impactos y vibraciones.

Para definir de forma adecuada las metodologías de ensayo a utilizar se realizó un análisis de los métodos descritos en la normativa española, haciendo especial hincapié en los documentos relativos a medidas en laboratorio, entre las que cabe citar:

- UNE-EN ISO 140-1:1998. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas. (ISO 140-1:1997) y Modificación 1: Requisitos específicos aplicables al marco de la abertura de ensayo para particiones ligeras de doble capa. (ISO 140-1:1997/AM1:2004).
- UNE-EN ISO 140-3:1995. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción y Modificación 1: Condiciones especiales de montaje para particiones ligeras de doble capa. (ISO 140-3:1995/AM 1:2004).
- UNE-EN ISO 140-6:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. (ISO 140-6:1998).
- UNE-EN ISO 140-8:1998. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimientos de suelos sobre forjado normalizado pesado. (ISO 140-8:1997).
- UNE-EN ISO 140-11:2006. Acústica. Medición del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Parte 11: Medición en el laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimientos de suelos sobre suelos ligeros de referencia (ISO 140-11:2005).

Tras analizar los procedimientos de ensayo normalizados para evaluar el comportamiento acústico, se comprobó que resultaba inviable disponer estos medios ya que se requieren de instalaciones especiales de gran volumen para poder ensayar una superficie mínima de 10 metros cuadrados. Tras consultar con diferentes laboratorios especializados, el elevado coste de ejecución de cada ensayo (>1500 euros) así como la necesidad de desarrollar cada solución propuesta para cubrir la superficie mínima requerida, imposibilita en gran medida el número de posibles prototipos a evaluar, por lo que se decidió abordar la construcción de un sistema de cabinas acústicas a escala reducida para poder efectuar las evaluaciones mediante ensayos sobre prototipos.

En la fotografía siguiente se muestra la instalación desarrollada para efectuar las medidas acústicas de los prototipos respecto al ruido aéreo, constituida por dos cabinas aisladas (para emisión y recepción) con una sección de 61 cm x 61 cm (Figura 172). En su interior se dispone de un sistema de posicionamiento para efectuar medidas con un sonómetro calibrado en distintas posiciones del volumen de los recintos (Figura 173). Entre las dos cabinas se ha instalado una ventana fabricada con bloques de hormigón de espesor de 7 y 14 cm, donde se instalan las probetas de ensayo de formato 30 cm x 30cm (Figura 175).



Figura 172 Sistema de medida mediante cabinas acústicas a escala.



Figura 173 Detalle del sistema de posicionamiento del sonómetro en la cabina de recepción.



Figura 174 Detalle del sistema de posicionamiento del altavoz en la cabina de emisión.

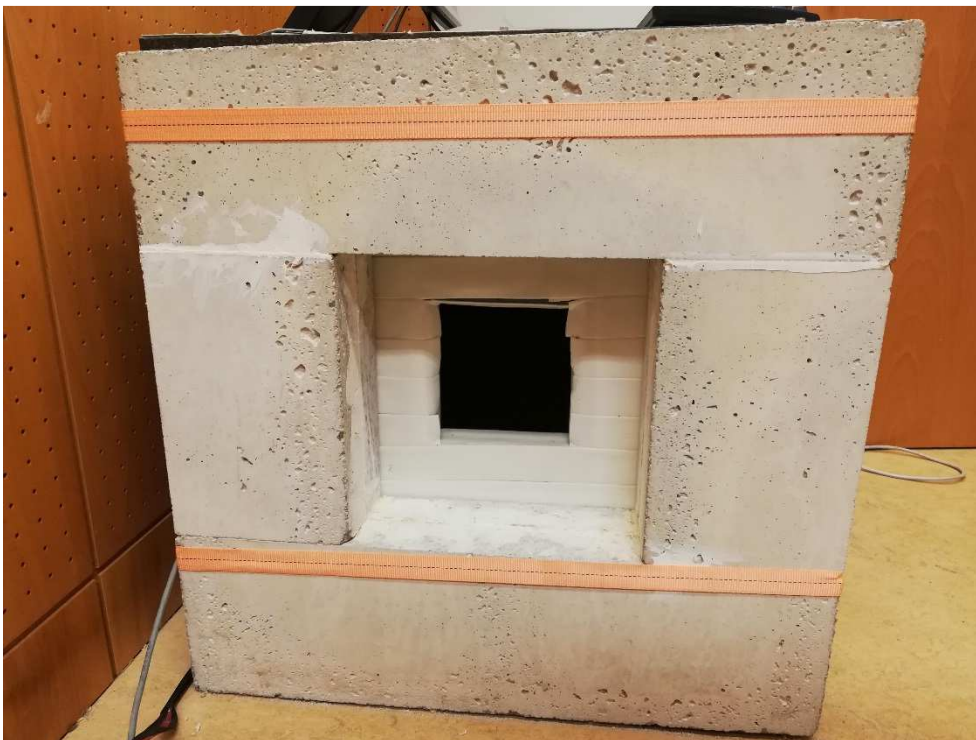


Figura 175 Ventana de hormigón para la colocación de las probetas de ensayo

Se dispone también de un osciloscopio que permite analizar los espectros de ruido, descompuestos en bandas de tercio de octava, para así asegurar la estabilidad de la fuente de emisión a lo largo de la duración de la medida. Este mismo equipo se utilizó para determinar que el tiempo de reverberación (T), cuya medida se realiza, para cada frecuencia de forma individual, determinando la curva de caída de presión sonora al desconectar la fuente (Figura 176).

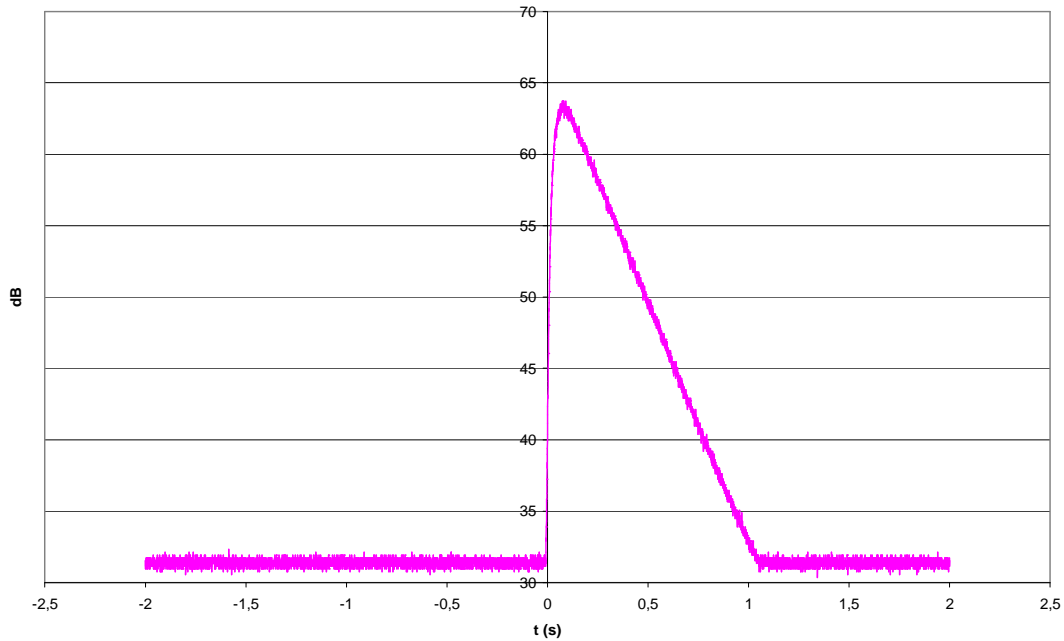


Figura 176 Determinación del tiempo de reverberación a 800 Hz en la cabina de recepción.

En la figura siguiente se comprueba el cumplimiento del margen establecido por la norma UNE-EN ISO 140-1 ($1 < T < 2s$).

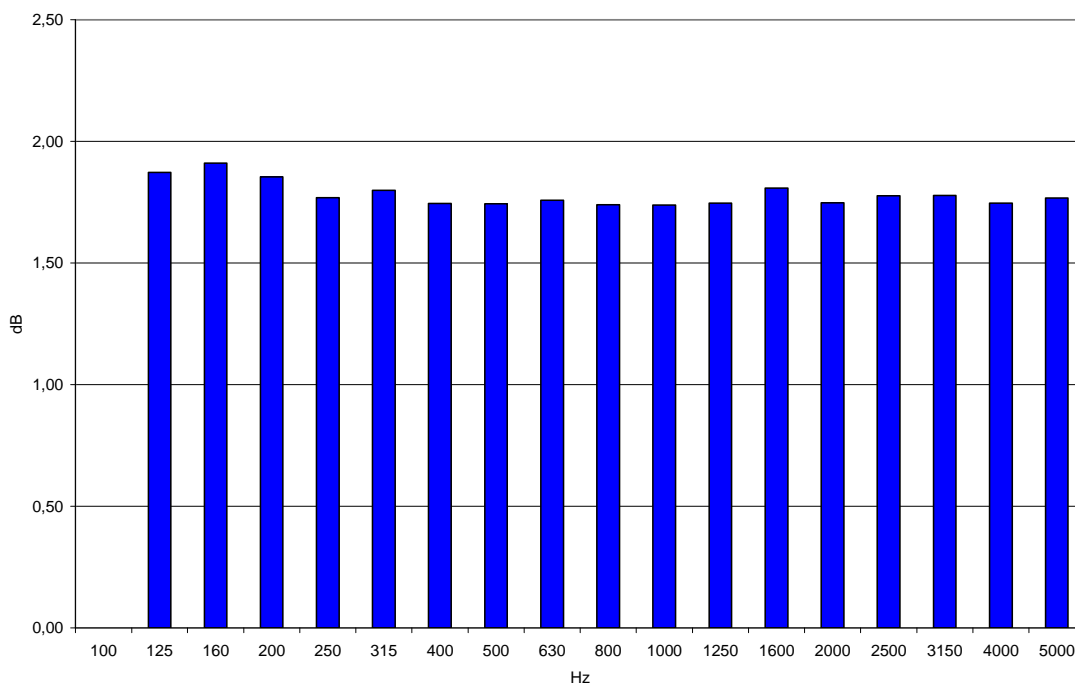


Figura 177 Valores de tiempo de reverberación (T) para cada frecuencia, medidos en la cámara de recepción.

Las cabinas están ubicadas en un recinto acondicionado acústicamente y constituidas por paneles de aislamiento acústico de equipamiento industrial, para evitar interferencias de ruido de fondo durante los ensayos. Ambas cabinas se soportan sobre un sistema flotante que evita transmisiones indirectas a través del soporte, y no presentan ningún puente acústico entre ellas.

La limitación de la potencia del ruido de fondo resulta necesaria, ya que no es posible determinar el aislamiento a ruido aéreo para aquellas frecuencias en las que la diferencia entre el nivel de potencia en recepción y el ruido de fondo no sea superior a 10dB. Como puede observarse en la gráfica siguiente, para la frecuencia de 100 Hz no es posible estimar el aislamiento de una placa de cartón-yeso de 10 mm mediante los medios de ensayos desarrollados.

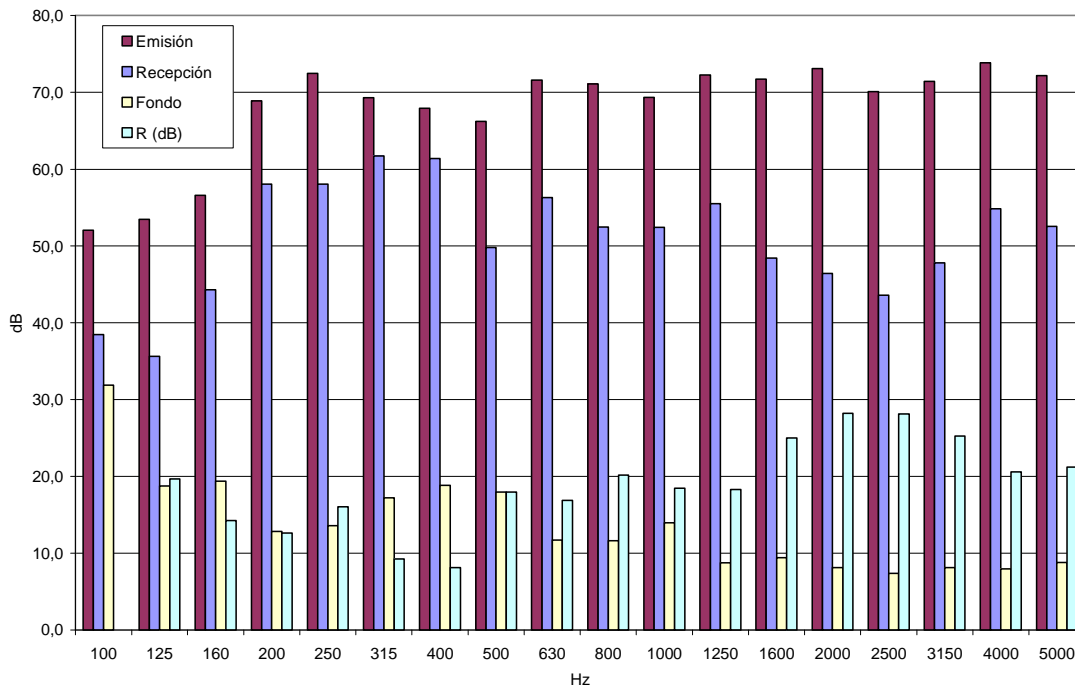


Figura 178 Valores de potencia de Emisión, Recepción, Ruido de fondo e Índice de reducción sonora (R) de una medida.

Para comprobar el sistema desarrollado para realizar el ensayo, en trabajos previos se efectuó un análisis comparativo respecto a los resultados obtenidos en laboratorio acreditado para la medida de particiones secas de cartón-yeso de hoja simple. En la Figura 179 se presentan los datos comparativos entre ambos sistemas de medida.

Como puede observarse, para las frecuencias bajas existe bastante discrepancia entre ambos métodos de medida, aunque para frecuencias medias-altas (>500Hz), la correlación es adecuada siendo que el índice ponderado de reducción sonora (R_w) difiere solamente en un decibelio.

Analizando el problema se comprobó que el sistema de medida desarrollado presenta una serie de limitaciones derivadas de la reducida profundidad de la cabina de emisión del sonido. Para las frecuencias inferiores a 200 Hz, la longitud de onda es del mismo orden de magnitud que la distancia recorrida por el sonido en la cabina de emisión, por lo que este sistema de medida no permite valorar la contribución de bajas frecuencias, ya que se producen interferencia y por lo tanto no es posible efectuar las medidas con suficiente precisión.

Para minimizar este problema se introdujeron paneles difusores en la parte trasera de la cabina de emisión, sin embargo, no fue posible mejorar sustancialmente la homogeneidad del frente de sonido, por lo que no es posible evaluar el aislamiento a ruido aéreo para frecuencias inferiores a 200 Hz.

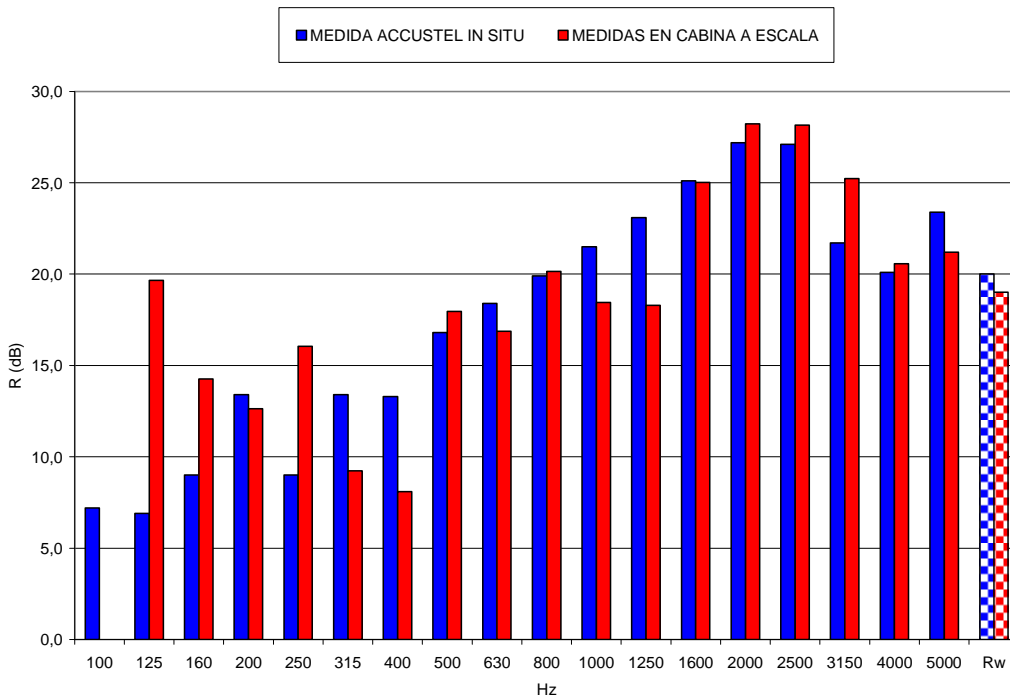


Figura 179 Resultados comparativos entre los resultados de medias normalizadas y de la cabina a escala.

Asimismo, se observó que, para algunas frecuencias medias, cuya longitud de onda es múltiplo de las dimensiones del recinto de generación, aparecen ocasionalmente ciertas anomalías en la medida respecto a los valores que se obtienen cuando el ensayo se efectúa sobre una superficie de 10 m^2 (según UNE-EN ISO 140-1:1998). Esto puede deberse tanto al citado efecto de coincidencia como a la limitación de ensayar superficies de tamaño tan reducido. Para estas dimensiones a escala, los modos de vibrar asociados a frecuencias medias están muy limitados por el anclaje perimetral, el cual tiene además una notable influencia en el resultado para formatos reducidos.

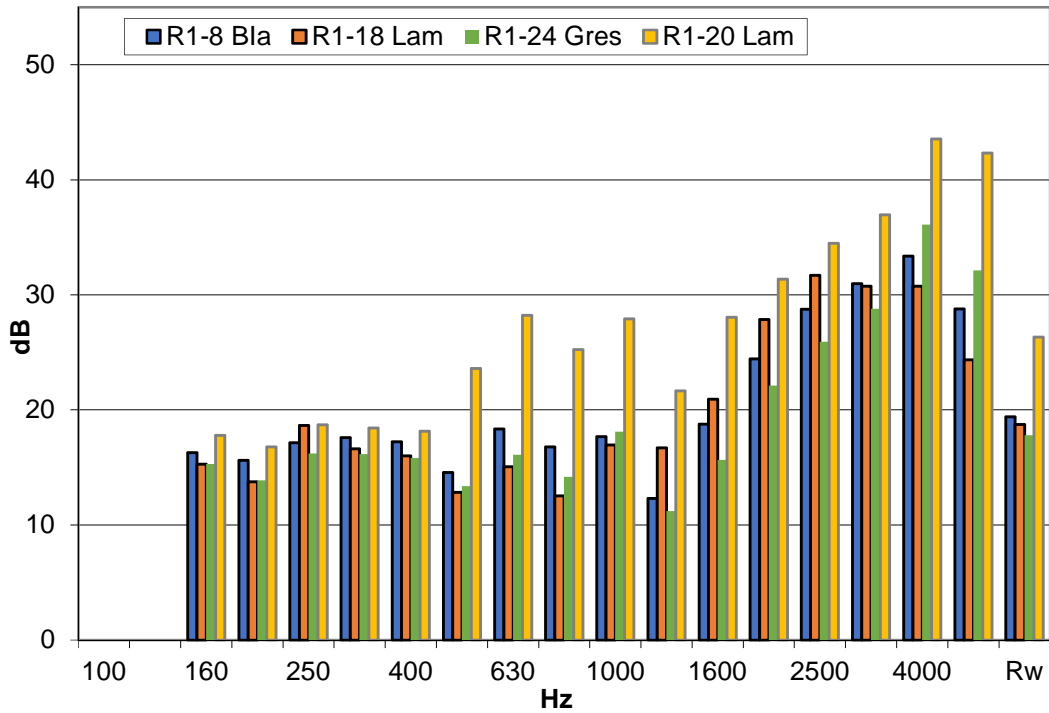
Por ello, la evaluación no será representativa del comportamiento del sistema constructivo con sus dimensiones reales, pero dada la imposibilidad de efectuar ensayos normalizados, se decidió utilizar el sistema de ensayo a escala a efectos de evaluar comparativamente las combinaciones de materiales a partir del valor del índice ponderado de reducción sonora.

Aunque el sistema de ensayo no cumple con los requisitos establecidos en la norma UNE-EN ISO 140-1:1998/A1:2005 debido a la reducida superficie de disponible para la instalación del sistema constructivo a evaluar, el comportamiento para frecuencias medias-altas es bastante similar, siendo que el valor del índice ponderado de reducción sonora (R_w) difiere solamente en un decibelio.

Resultados obtenidos

Sistema R1 con diferentes tipos de baldosas cerámicas

Medidas iniciales con los diferentes tipos de baldosas, se observa que no se obtiene valores similares entre las dos muestras de lámina.



Sistema R5 con diferentes tipos de baldosas cerámicas

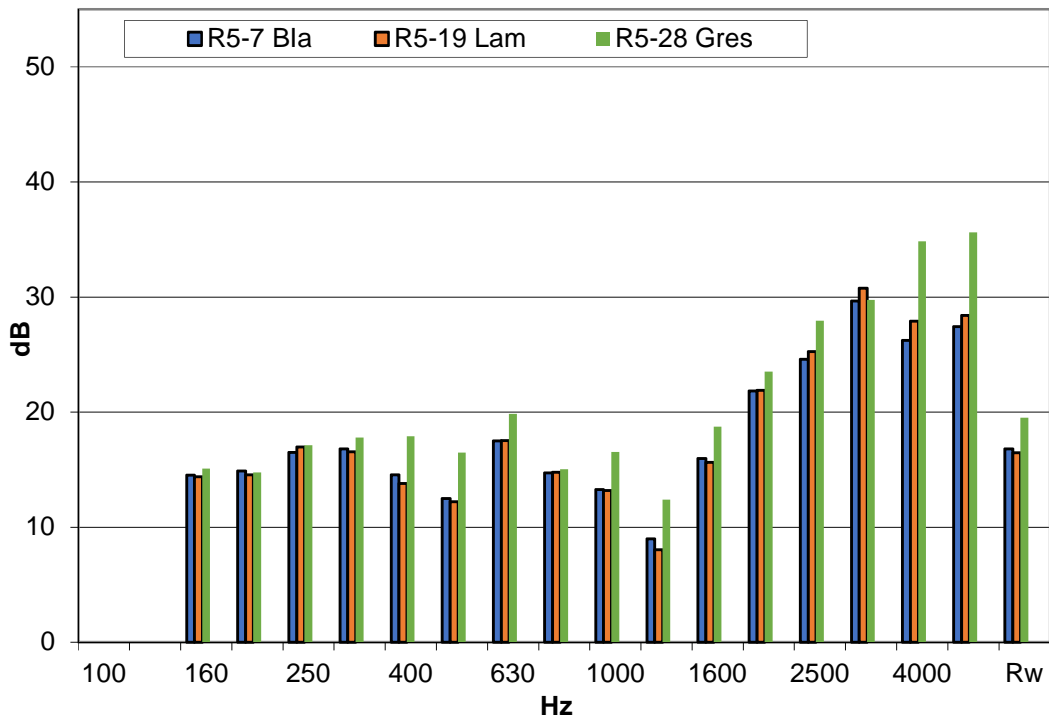
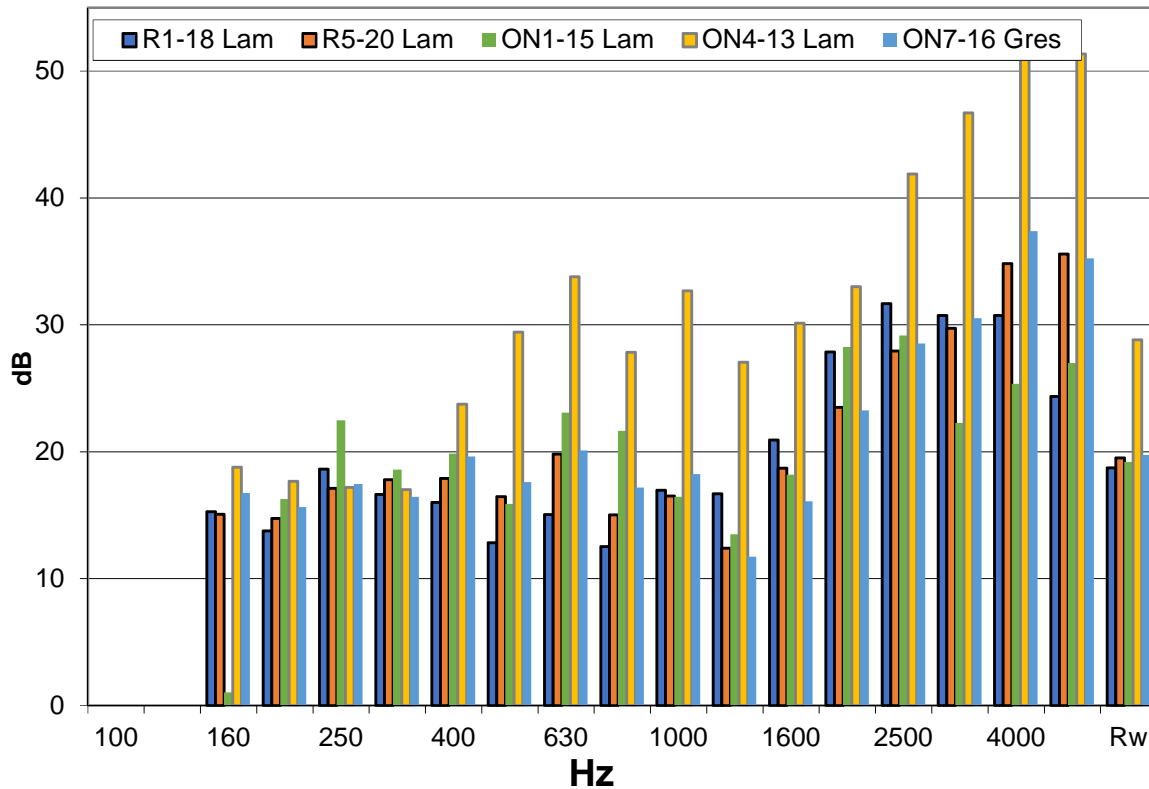
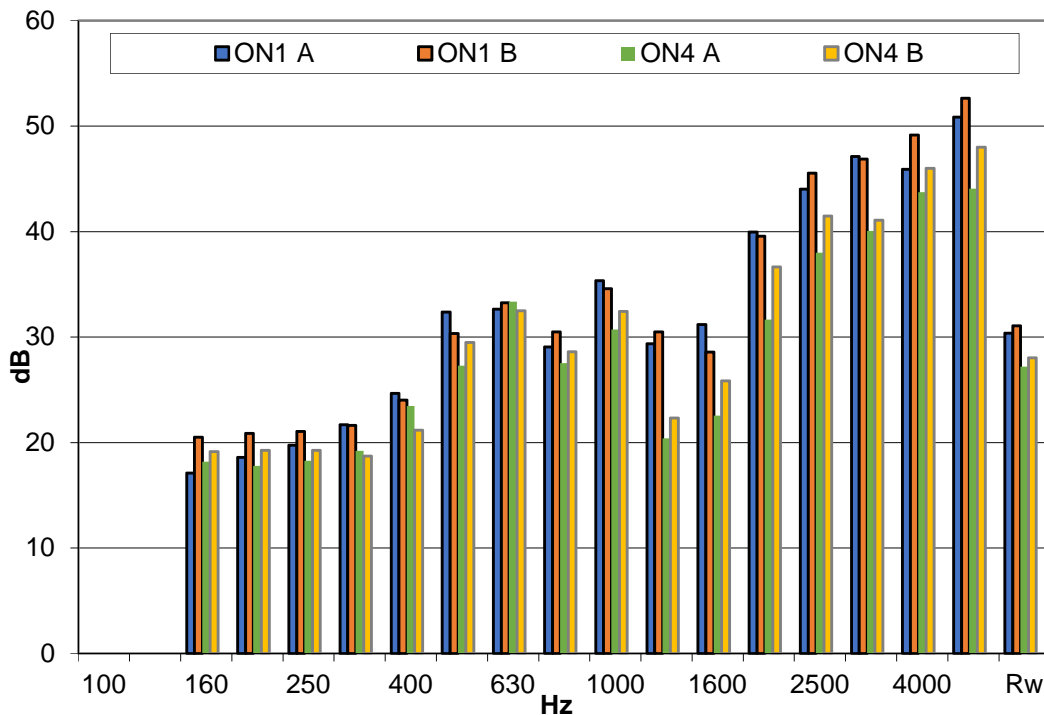


Lámina cerámica con diferentes tipos de sistemasRepetición sistemas ON1 -ON4 con diferentes posicionamientos probeta

Para evaluar la reproducibilidad se vuelven a realizar medidas de los sistemas ON1 y ON4 con el fin de comparar con los resultados obtenidos inicialmente. Estas medidas se obtienen como promedio de medidas repetidas sin retirar la maqueta de la caja (A) y posteriormente como promedio de medidas realizadas después de retirar las maquetas de la caja (B).

Parece que la repetibilidad entre las medidas realizadas en la misma fecha es aceptable. Sin embargo, si comparamos con las medidas realizadas inicialmente, el sistema ON4 repite bastante bien, no así el sistema ON1, en el que se obtiene un valor muy superior al obtenido inicialmente.



Interpretación de resultados

Inicialmente se ha intentado poner a punto el método de ensayo para la medida de sistemas cerámicos utilizando las maquetas diseñadas en el proyecto. Se ha observado que la reproducibilidad no es lo suficientemente buena, por lo que actualmente la fiabilidad de los valores obtenidos es dudosa. Muy posiblemente debido a la dificultad a la hora de encasillar las maquetas en la ventana de ensayo.

Se han repetido desde las medidas iniciales los sistemas ON4 y ON1, colocando las probetas en la ventana de ensayo, para comprobar la validez del método. En una primera vez se miden 5 veces las probetas (medida A), se extrae la probeta y se vuelve a colocar y se realizan las medidas (medida B). Al repetir esto en el mismo momento se ve que no hay una gran variación entre las medidas A y B. El problema surge al comparar estos valores con los obtenidos inicialmente, siendo muy parecidos en el ON4 con R_w en torno a 28dB, mientras que con el sistema ON1 teníamos valores de $R_w=19$ dB y pasamos a tener valores de $R_w=31$ dB.

Con los resultados obtenidos, parece que el sistema con el que se obtiene un mejor resultado de aislamiento a ruido aéreo es el sistema ON4 (pavimento sobre forjado estable con calefacción radiante), donde la capa que conforma la lámina con los nódulos de calefacción instalados parece que ejerce una función acústica interesante.

Con los datos que se tienen actualmente, no es posible asegurar qué tipo de recubrimiento tiene un mejor comportamiento acústico al ruido aéreo debido a los problemas de reproducibilidad de las medidas. No obstante, no parece que el recubrimiento cerámico tenga una influencia significativa, lo cual es lógico teniendo en cuenta la poca masa que aporta la cerámica respecto al conjunto del sistema.

- El estudio experimental realizado sugiere que la repetibilidad del método (medidas diferentes realizadas sin modificar ningún elemento, realizadas una a continuación de la otra y sin retirar la

muestra de la cabina de ensayo) es aceptable. No así la reproducibilidad (medidas realizadas retirando la muestra de la cabina o en diferentes días)

- Los resultados obtenidos parecen indicar que el recubrimiento cerámico no tiene una incidencia significativa en los resultados, muy posiblemente debido a la poca masa que aporta respecto al conjunto del sistema
- Sistemas con capas que tienen prestaciones acústicas presentan mejores resultados, tal como era de esperar.

5.2.3. Transmisión de vibraciones

La forma más efectiva de reducir vibraciones no deseadas es detener o modificar la causa de las vibraciones. Si esto no es posible realizarlo, a veces es posible diseñar un sistema aislante de vibraciones entre la causa de las vibraciones del sistema o componente de interés. Esto se puede realizar mediante el uso de materiales con alto amortiguamiento, como la goma, para cambiar la rigidez y amortiguación entre la causa de las vibraciones y el componente que necesita ser protegido de las vibraciones.

Es sabido que cuando la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, tiene lugar un fenómeno de resonancia. La característica más importante de la resonancia es que da lugar a grandes desplazamientos, al amplificar de manera importante las vibraciones del sistema. En la mayor parte de los sistemas mecánicos, la presencia de grandes desplazamientos es un fenómeno indeseable ya que provoca la aparición de tensiones y deformaciones igualmente grandes que pueden ocasionar el fallo del sistema.

La frecuencia natural de un sistema puede cambiarse variando tanto la masa como la rigidez de este. En la práctica, la masa no resulta fácil de cambiar. Por ello, la rigidez del sistema es el parámetro que se puede modificar de forma más habitual a la hora de alterar las frecuencias naturales de un sistema. La efectividad de un aislante de vibraciones se establece en términos de su transmisibilidad. La transmisibilidad (Tr) puede definirse como el cociente entre la amplitud de la fuerza transmitida y la de la fuerza de excitación.

Una manera de evaluar la reducción de la transmisibilidad de un sistema puede realizarse mediante la determinación de un módulo de elasticidad aparente del sistema formado por el conjunto de las diferentes capas, de manera que se evalúa una rigidez aparente de este.

Para ello se ha pretendido presentar un método basado en el procedimiento de medida del módulo dinámico de Young, de la norma ASTM E 1879-01 "Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration". Durante el ensayo, se mide la frecuencia de vibración fundamental de las probetas prismáticas de sección constante, excitada por un impulso elástico, dicho impulso consiste en un golpe ligero con un martillo. Por otra parte, un transductor piezoeléctrico capta la vibración mecánica resultante y la transforma en una señal eléctrica permitiendo medir su frecuencia. Para realizar el ensayo se han preparado probetas de los sistemas ON1 y ON4 de formato 30 x 150 mm.

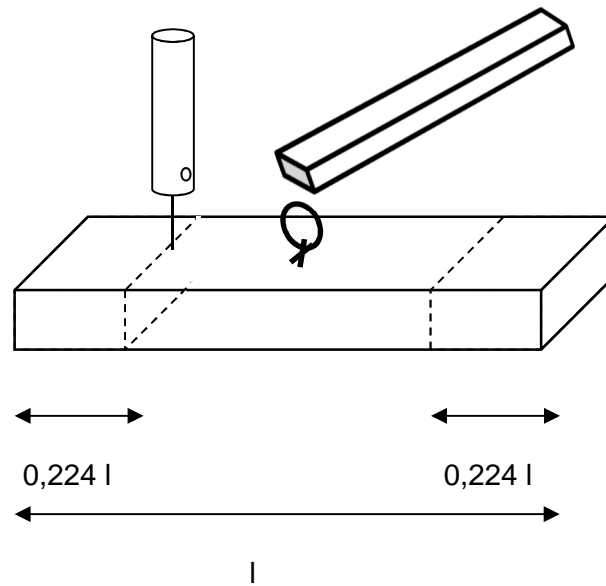


Figura 180. Esquema de la colocación del sensor piezoeléctrico sobre la pieza.



Figura 181. Ejemplo de una probeta de la muestra ON1.

Para la determinación del módulo de elasticidad aparente del sistema se ha determinado la frecuencia de vibración, las dimensiones geométricas y la densidad aparente de las probetas.

Dado el desconocimiento de la influencia de los diferentes partes del conjunto se ha realizado el ensayo de diferentes maneras:

- C: Frecuencia de vibración sin encofrado desde el aislante hasta la baldosa

La frecuencia de vibración de la señal eléctrica captada está en relación con la capacidad de transmisión del sistema. Cuanto mayor es el módulo de elasticidad aparente determinado mayor es la rigidez del sistema y menor su capacidad amortiguadora.

Resultados obtenidos

Para la determinación del módulo de elasticidad aparente del sistema se ha determinado la frecuencia de vibración, las dimensiones geométricas y la densidad aparente de las probetas.

Dado el desconocimiento de la influencia de los diferentes partes del conjunto se ha realizado el ensayo de diferentes maneras:

- A: Frecuencia de vibración manteniendo el encofrado.
- B: Frecuencia de vibración sin encofrado.
- C: Frecuencia de vibración sin encofrado contemplando sólo desde el aislante hasta la baldosa

Los resultados obtenidos se muestran a continuación. Cada una de estas medidas se han hecho en los dos extremos de la probeta dada la heterogeneidad del recrecido y la presencia de grietas como puede apreciarse en las siguientes imágenes.

Muestra: **ON1 lámina**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm

Probeta	Masa (g)	A: Frecuencia de vibración (kHz)	B: Frecuencia de vibración (kHz)	C: Frecuencia de vibración (kHz)
ON1-19	1601,1	4,70 - 7,80	2,26 ¹ - 7,65	2,34 ¹ - 7,65
ON1-20	1592,8	6,13 - 6,24	8,35 - 8,34	8,38 - 8,38
ON1-21	1538,8	5,68 - 5,70	8,07 - 1,93 ²	7,97 - 1,93 ²
Valor medio		6,0	8,1	8,1
Desv. Estándar		1,0	0,3	0,4

¹ valor poco reproducible, presencia de grieta cercana

² mal acabado del recrecido en la zona de captación de la señal

Como se puede observar, la presencia del encofrado (A) desvirtúa el resultado respecto a la muestra sin el encofrado (B y C). Por su parte el hecho que los ensayos B y C den resultados similares es debido a que el aislante actúa como amortiguador y no permite que la onda del impulso se trasmita a través del hormigón. En las medidas B y C donde los resultados son más bajo que el resto, puede estar asociado a la presencia de alguna grieta o hueco en el recrecido cerca de la zona de medida, que absorba el impulso ejercido.

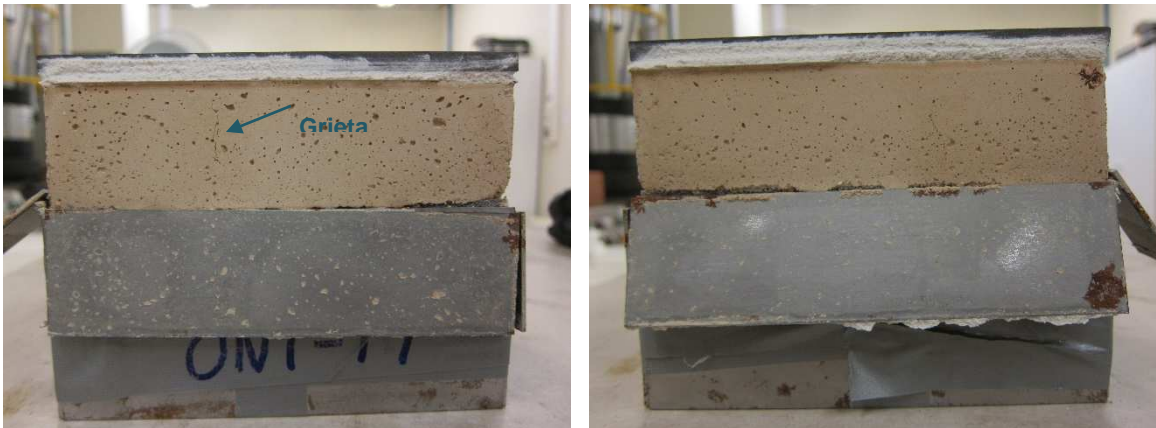


Figura 182. Perfiles laterales de la probeta ON1-19

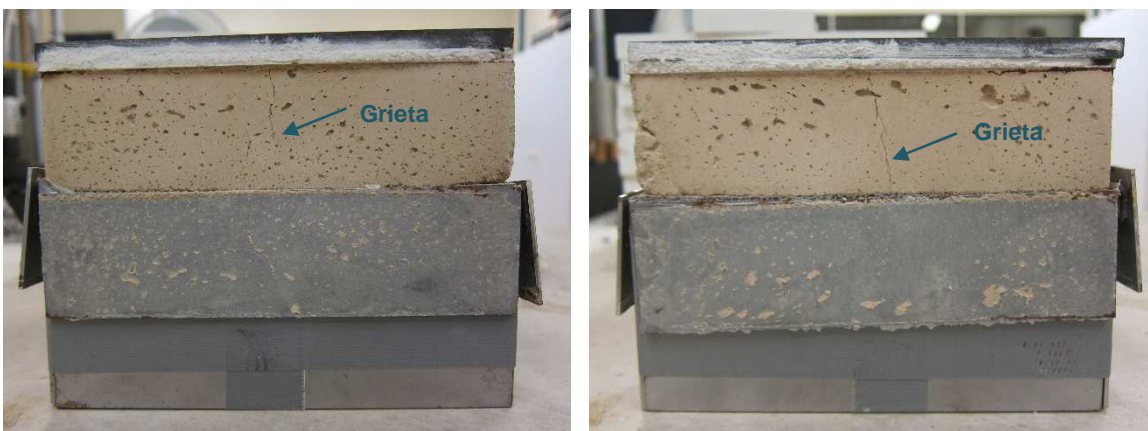


Figura 183. Perfiles laterales de la probeta ON1-20

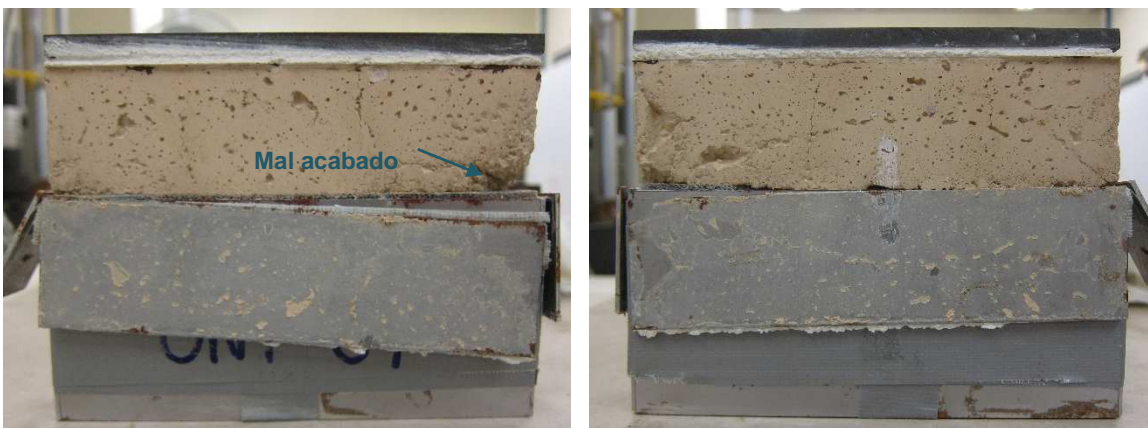


Figura 184. Perfiles laterales de la probeta ON1-21

A partir de los resultados obtenidos en el modo C: Frecuencia de vibración sin encofrado desde el aislante hasta la baldosa, se ha calculado el módulo de elasticidad aparente de estas probetas. Así mismo, para poder ver la diferencia de rigidez aparente entre la baldosa superficial y el sistema ON1, también se ha calculado el módulo de elasticidad de la lámina de 6 mm.

Probeta	ON1	Lámina 6 mm
1	-	66,6
2	26	66,0
3	31	63,9
4	31	62,8
5	28	66,9
6	-	66,8
Valor medio	29	65,5
Desv. Estándar	14	1,7

Sistema: **ON4 lámina**

- Baldosa superficial: Lámina de 6 mm

Probeta	Situación: tarugo central Frecuencia de vibración (kHz)	Situación: Paso central Frecuencia de vibración (kHz)
ON4-30	1,36 – 1,39	1,49 - 1,48
ON4-31	1,38 – 1,30	1,62 – 1,60
ON4-32	1,15 - 1,13	1,69 – 1,67
ON4-33	1,28 – 1,28	2,12 – 2,09
ON4-34	1,13 - 1,13	1,80 – 178
ON4-35	1,20 – 1,16	1,84 – 1,82
Valor medio	1,24	1,75
Desv. Estándar	0,10	0,20



Figura 185. Perfiles laterales de la probeta ON4-30 Situación: nódulo central

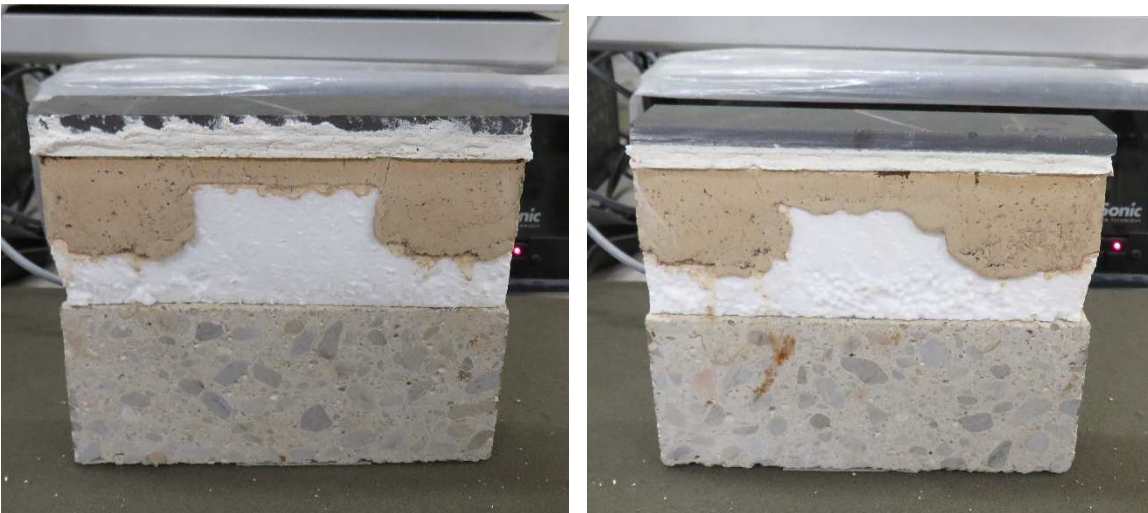


Figura 186. Perfiles laterales de la probeta ON4-31 Situación: nódulo central



Figura 187. Perfiles laterales de la probeta ON4-32 Situación: nódulo central



Figura 188. Perfiles laterales de la probeta ON4-33 Situación: nódulo central

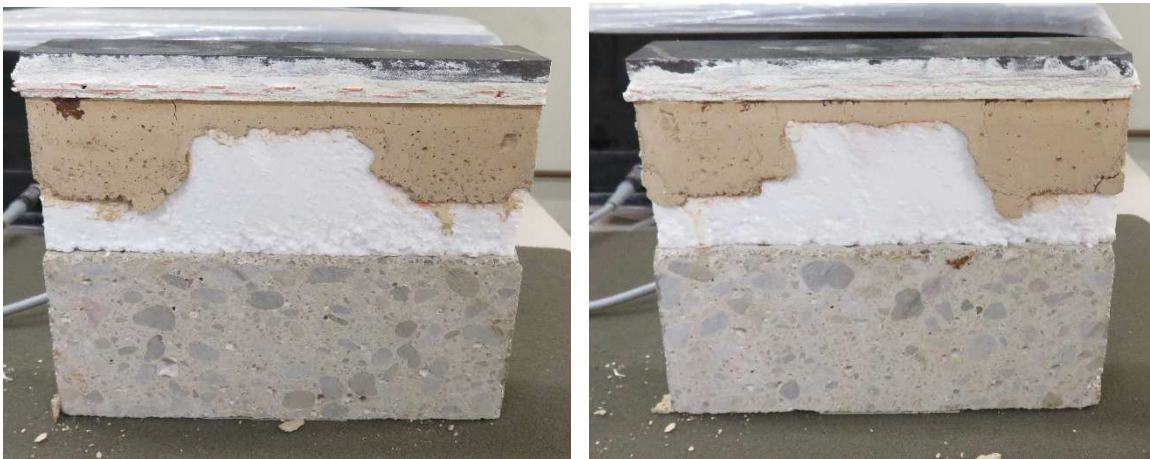


Figura 189. Perfiles laterales de la probeta ON4-34 Situación: nódulo central



Figura 190. Perfiles laterales de la probeta ON4-35 Situación: nódulo central



Figura 191. Perfiles laterales de la probeta ON4-30 b Situación: Paso central

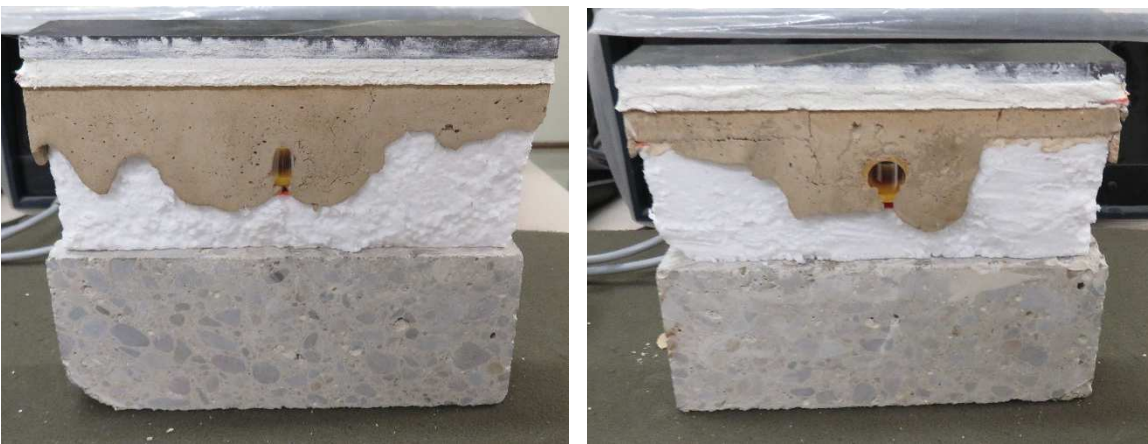


Figura 192. Perfiles laterales de la probeta ON4-31 b Situación: Paso central

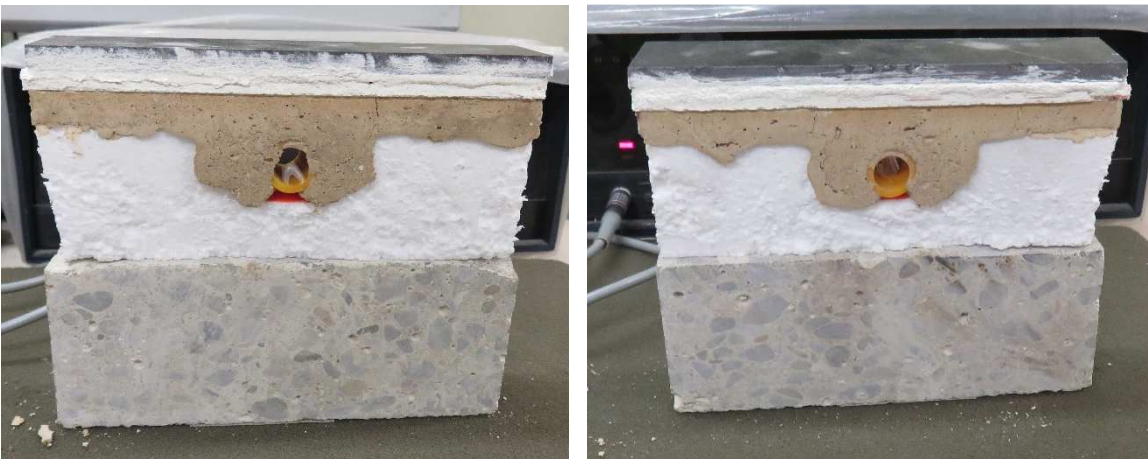


Figura 193. Perfiles laterales de la probeta ON4-32 b Situación: Paso central



Figura 194. Perfiles laterales de la probeta ON4-33 b Situación: Paso central



Figura 195. Perfiles laterales de la probeta ON4-34 b Situación: Paso central

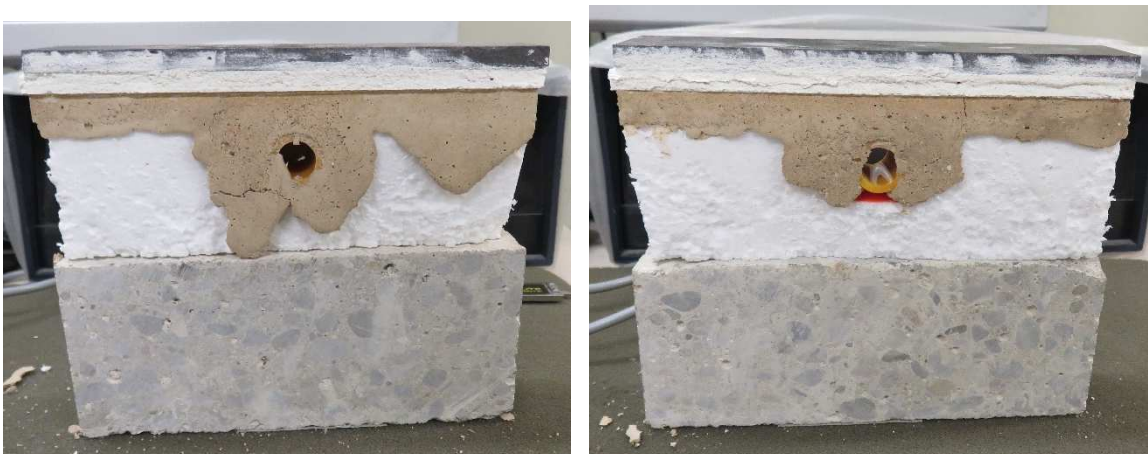


Figura 196. Perfiles laterales de la probeta ON4-35 b Situación: Paso central

A partir de los resultados obtenidos en el modo C: Frecuencia de vibración sin encofrado desde el aislante hasta la baldosa, se ha calculado el módulo de elasticidad aparente de estas probetas. Así mismo, para poder ver la diferencia de rigidez aparente entre la baldosa superficial y las diferentes variantes del sistema ON4, también se ha calculado el módulo de elasticidad de la lámina de 6 mm

Probeta	ON4 Situación: nódulo central	ON4 Situación: Paso central	Lámina 6 mm
1	0,42	0,51	66,6
2	0,42	0,57	66,0
3	0,31	0,63	63,9
4	0,39	0,98	62,8
5	0,31	0,71	66,9
6	0,33	0,78	66,8
Valor medio	0,37	0,70	65,5
Desv. Estándar	0,04	0,16	1,7

En estos resultados se puede observar como el módulo de elasticidad aparente del sistema es muy inferior del de la lámina de 6 mm por lo tanto la amortiguación de las vibraciones será mayor en presencia de la capa de calefacción radiante que en un hipotético sistema en el que la lámina de 6 mm se hubiera colocado directamente sobre la solera.

Interpretación de resultados

En los resultados se puede observar como a pesar de la elevada dispersión debida a la presencia de grietas y huecos en el recocado, el módulo de elasticidad aparente del sistema es un 30% del de la lámina de 6 mm por lo tanto la amortiguación de las vibraciones será mayor en presencia de las capas de recocado, aislante o módulo de calefacción radiante, que en un hipotético sistema en el que la lámina de 6 mm se hubiera colocado directamente sobre la solera.

- Discontinuidades o heterogeneidades (grietas, fisuras, oquedades) en las capas inferiores de mortero, así como capas intermedias deformables, afectan a la transmisión de vibraciones del sistema.
- El módulo de elasticidad de un sistema cerámico es inferior al de la baldosa cerámica, por lo tanto, el conjunto del sistema reduce significativamente la capacidad de transmitir vibraciones de la cerámica.
- No se ha evaluado el comportamiento de cada tipo de cerámica

5.2.4. Tensiones entre capas

Los daños por retracción, hace referencia a daños por deformaciones intrínsecas del mortero, como consecuencia de los movimientos en el interior del material, debidos a los fenómenos de pérdida progresiva de agua: Entre estos daños podemos distinguir entre las fisuras que se forman cuando el hormigón se encuentra todavía en estado plástico y se desarrollan durante las primeras 2 - 4 horas, que son las de exudación y las de ahogado y aquellas que surgen en el proceso de endurecimiento del hormigón, que son las de retracción hidráulica.

Las deformaciones en el interior del material dan lugar a tensiones internas en el mortero que hacen que agote su capacidad resistente a la tracción, fisurándose. En el mortero se producen tres fenómenos que pueden dar lugar a fisuras:

- El asentamiento plástico se produce por el fenómeno de exudación debido al asentamiento de las partículas gruesas de la masa que se desplazan a la parte inferior y la ascensión del agua de amasado hacia la superficie, que se evapora. El mortero experimenta una disminución de volumen, asentándose y quedando coaccionado por la armadura o el encofrado.
- En la fase de fraguado, principalmente en la fase inicial, se produce una reacción exotérmica con desprendimiento de calor, produciéndose el fenómeno de afogado o retracción plástica, y como consecuencia del posterior enfriamiento, es decir, cuando la velocidad de evaporación supera a la exudación, se produce la contracción de la masa y la aparición de fisuras. En este fenómeno influye por tanto la temperatura ambiente y el viento, pues las evaporaciones del agua superficial producen incrementos apreciables de la contracción.
- Una vez fraguado el hormigón, éste sigue experimentando un cambio de volumen debido a la pérdida del agua de cristalización y del gel que rodea al cemento, produciéndose contracciones debido a la retracción hidráulica.

La aparición de fisuras en diferido como consecuencia principalmente de la retracción hidráulica, puede ser predicha con la determinación de tensiones residuales presentes en la capa de recrido. Para ello se ha pretendido adaptar el modelo empleado en la determinación del perfil de tensiones residuales causado por gradiente térmico en el enfriamiento de las baldosas cerámicas durante su fabricación.

Para cuantificar las tensiones residuales se utilizó el método de relajación de deformaciones por corte. Este ensayo consiste en pegar una galga extensiométrica en la parte en la que está colocada la baldosa de una probeta (figura 197). A continuación, se realizan cortes de profundidad creciente en la parte contraria donde ha sido colocada la galga, mediante un disco de diamante, midiéndose la deformación de la galga (ϵ_g) en función de la profundidad de la entalla (a_i) (figura 198). A mayor tensión residual, mayor es también la deformación ϵ_g .

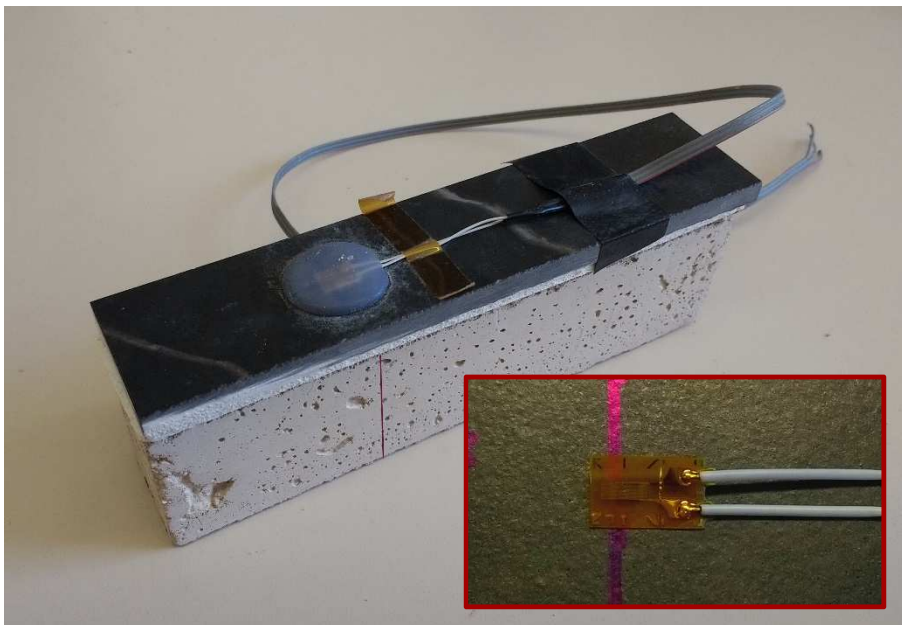


Figura 197 - Detalle de una galga colocada en la superficie de una probeta.

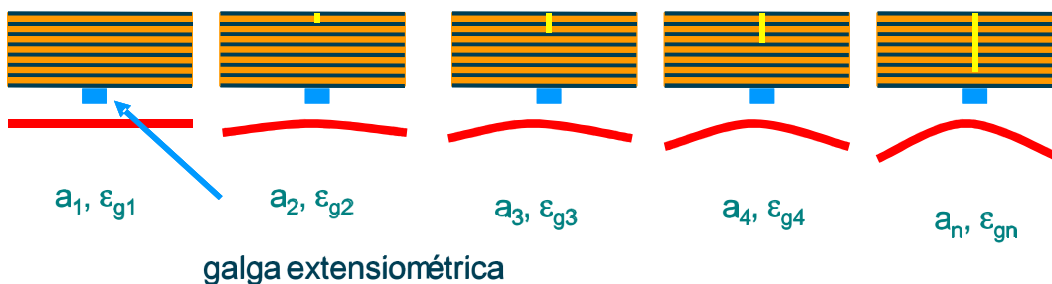
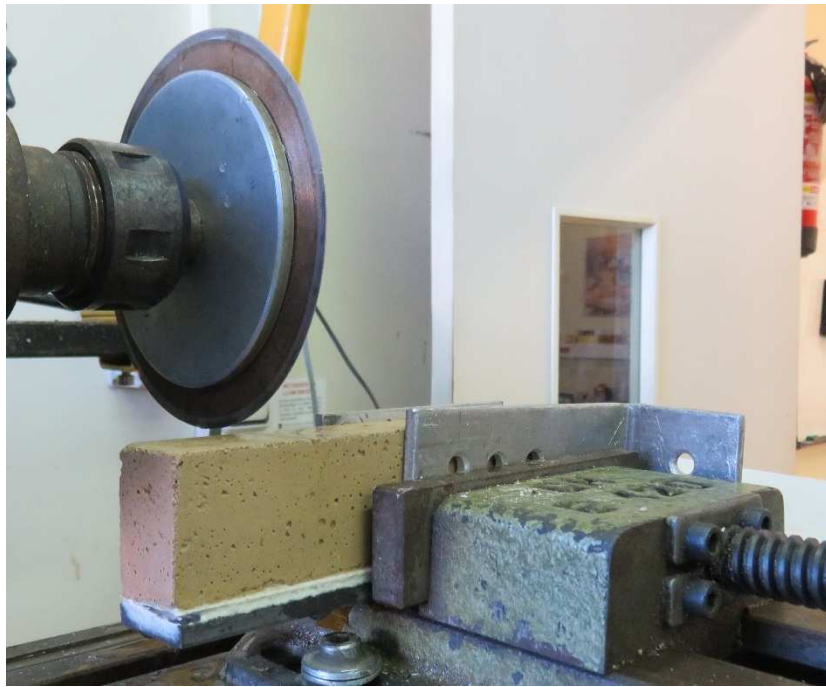


Figura 198 - Representación esquemática del fundamento del método empleado para medir las tensiones residuales.

Para poder calcular el perfil de tensiones residuales en el recocado, es necesario conocer la relación entre $\epsilon_g(a_i)$ y la tensión en cada punto del interior de este. Esta relación viene determinada por unos factores de calibrado, que deben calcularse teóricamente para cada geometría mediante un método numérico (en este caso se utilizó el método de los elementos finitos). Finalmente, una vez conocidos los factores de calibrado es posible calcular el perfil de tensiones.

Debe señalarse que en la aplicación de este método se supuso que el medio es homogéneo.

Dada las características del recocado y su facilidad a ser hidratado, previamente a la realización del ensayo y evitar la medida solapada del estado de tensiones de la probeta y las tensiones provocadas por la hidratación de la misma. Las probetas se mantuvieron sumergidas en agua al menos 17 horas antes de ser ensayadas.

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de la determinación del perfil de tensiones de la muestra ON1, se muestran a continuación. El examen de las probetas del sistema ON1 preparadas para el presente ensayo, muestra como en algunas de ellas se aprecian grietas en el recocado, posiblemente siendo estas fisuras por exudación o de ahogado y defectos de llenado. Estas probetas tuvieron que ser desechadas, ya que si la probeta esta fisurada o mal conformada el estado de tensiones que se había creado ha sido relajado a través de estas fisuras. En consecuencia, el ensayo se realizó con menor número de probetas.

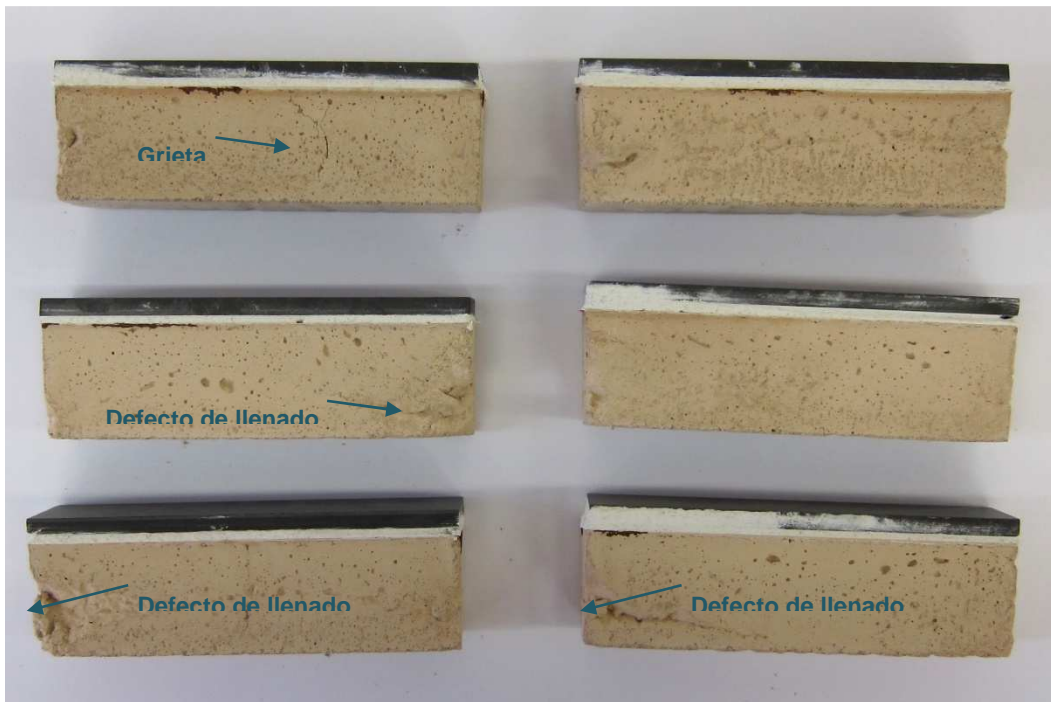


Figura 199. Aspecto de las probetas previamente al ensayo

En primer lugar, se determinó con el tiempo el efecto producido por la hidratación del recredido en el estado de tensiones de sistema. Para ello como se muestra en la figura 200 se ha registrado la deformación sufrida por las galgas extensiométricas durante las 17 horas que el sistema se ha mantenido sumergido en agua destilada. En esta grafica se puede observar como la hidratación progresiva de la capa de recredido hace que el volumen de esta aumente y por lo tanto las tensiones de compresión sobre la lámina de 6 mm colocada en la superficie, aumenten en consecuencia.

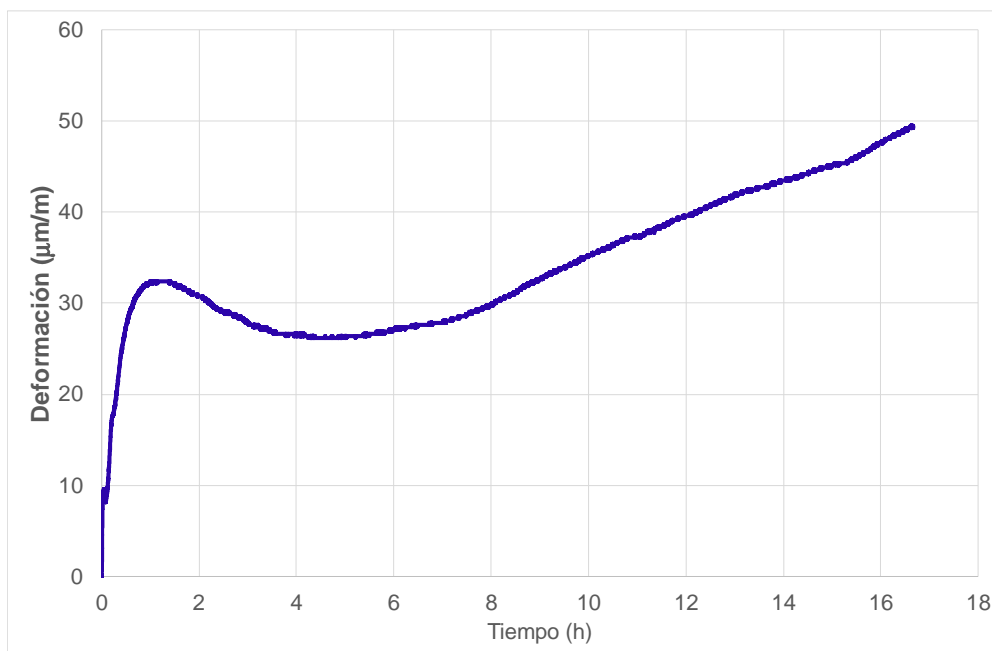


Figura 200. Evolución de la deformación de la galga extensiométrica durante el periodo de hidratación con el tiempo de inmersión en agua.

Una vez la probeta se encuentra hidratada y teniendo la precaución de impedir el efecto reversible de la deshidratación, manteniendo húmeda continuamente la probeta, se iniciaron los ensayos. En la Figura 201, se muestra la variación de la deformación de la galga con la profundidad de la entalla realizada. El signo negativo de la deformación registrada por la galga, indica que se están relajando tensiones de tracción.

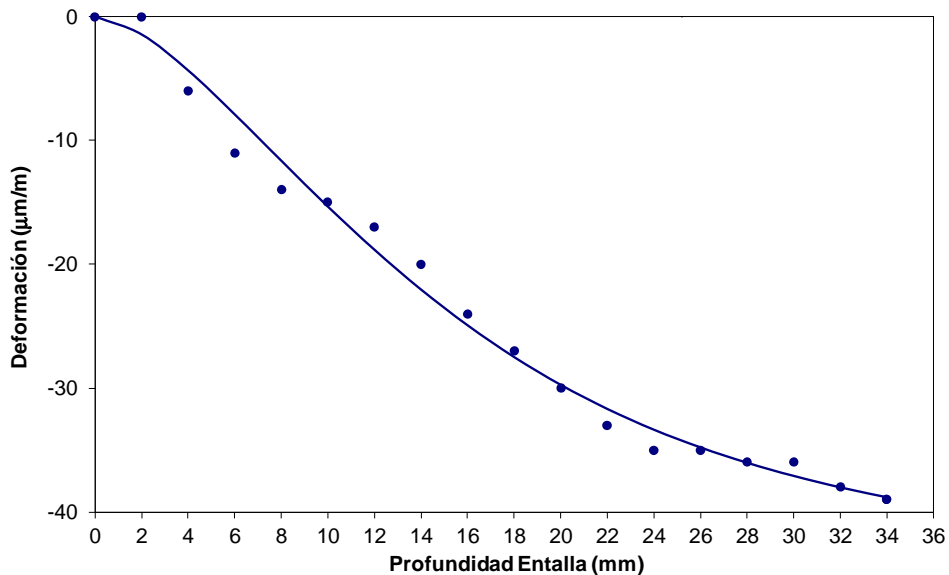


Figura 201. Variación de la deformación con la profundidad de entalla

Las tensiones debidas al gradiente de retracción del recrecido varían según una función polinómica. En este caso, las deformaciones registradas por la galga extensiométrica (figura 201) se han ajustado al polinomio de Legendre de grado 4 (λ_2 , λ_3 y λ_4). En la tabla siguiente se muestran los valores de los coeficientes del polinomio de Legendre de grado 2, 3 y 4 y el del valor de R^2 correspondiente al ajuste realizado, junto con los valores de las tensiones de las diferentes zonas: En la figura 202 se representa el perfil de tensiones en la sección del recrecido de la probeta sin tener en cuenta las tensiones propias de la lámina cerámica, ya que esta no ha llegado a ser cortada. El signo de las tensiones indica el tipo de tensión que se está produciendo. De forma que las tensiones positivas son de tracción y negativas de compresión.

- σ abajo: tensión en la superficie inferior (cara en contacto con la solera).
- σ centro: tensión en el centro.
- σ arriba: tensión en la superficie en adhesión con la lámina de 6 mm

Obteniéndose los siguientes resultados.

Propiedades	ON1
Espesor (mm)	50,4
Densidad aparente (g/cm ³)	1,67
Módulo de elasticidad (GPa)	29
$\lambda_2 \pm \varepsilon$	-47,8 \pm 2,3
$\lambda_3 \pm \varepsilon$	-21,1 \pm 4,9
$\lambda_4 \pm \varepsilon$	-8,7 \pm 10,9

R^2	0,9856
σ_s posterior (MPa)	1,0
σ_s centro (MPa)	-0,7
σ_s cara lámina adherida (MPa)	2,2

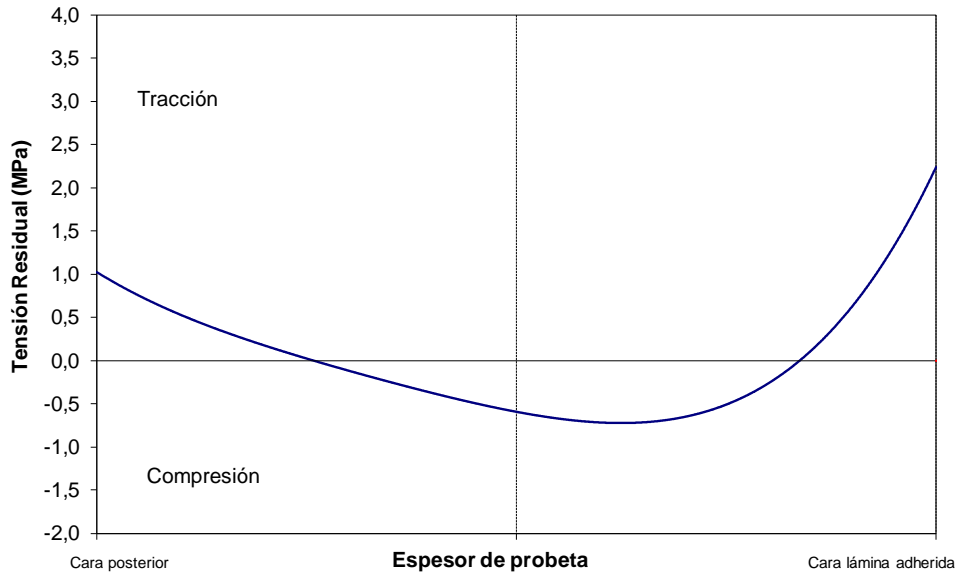


Figura 202. Perfil de tensiones

Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos de las tensiones en las superficies del recocado indican que ambas son tensiones de tracción y el valor de estas son del orden de las tensiones que presentan una baldosa cerámica no tensionada por gradientes térmicos. Por ello se puede considerar que el sistema ensayado no presenta un estado de tensiones que pueda derivar en fisuras o deterioro de la adhesión de la baldosa cerámica.

La forma del perfil de tensiones mostrado en la figura 202, puede ser analizado como el resultado de la compensación de las tensiones que se han generado durante el conformado y pegado de la baldosa cerámica. Esta hipótesis no ha sido corroborada experimentalmente, ya que con las probetas disponibles únicamente podía ser determinadas las tensiones del conjunto. Una posible comprobación, puede ser determinar las tensiones de fraguado del recocado, pero para ello se tendría que ensayar la probeta sin la lámina cerámica colocada. Por otra parte, conocer las tensiones de retracción e hidratación del recocado de forma separada a las del fraguado no es posible ya que se generan tras colocar la lámina cerámica sobre una muestra fraguada. Por ello una manera de estimar las tensiones del conjunto retracción – hidratación es identificarlas conociendo las del conjunto como complementarias a las de fraguado.

Por lo tanto y a falta de corroborar esta hipótesis, en el sistema ensayado se puede suponer que se han producido tres tipos de tensiones, dos de las cuales (retracción e hidratación, no pueden ser identificadas por separado). A continuación, pasamos a describirlas:

- Tensiones producidas durante la fase de fraguado del mortero, el cual se encuentra confinado en el molde y todavía no ha sido pegada la baldosa cerámica. Durante este periodo la sección de la probeta sufre una reducción volumétrica, la cual no es homogénea. Los fenómenos indicados anteriormente que se producen durante el fraguado pueden hacer que la superficie en contacto

con el aire fragüe antes que la interior, quedando esta primera superficie en contracción y la interior en tracción como se esquematiza en la figura 203 y figura 204

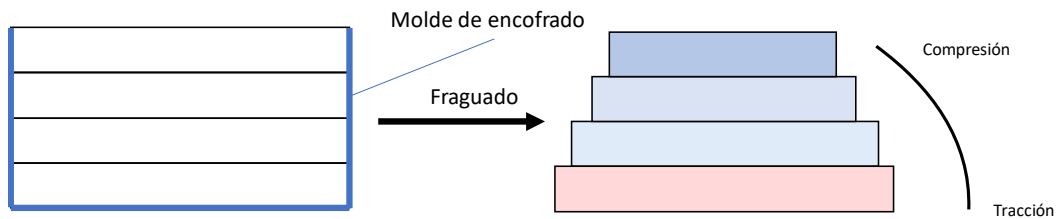


Figura 203. Generación de tensiones en el mortero redecido confinado en el molde de encofrado durante el fraguado.

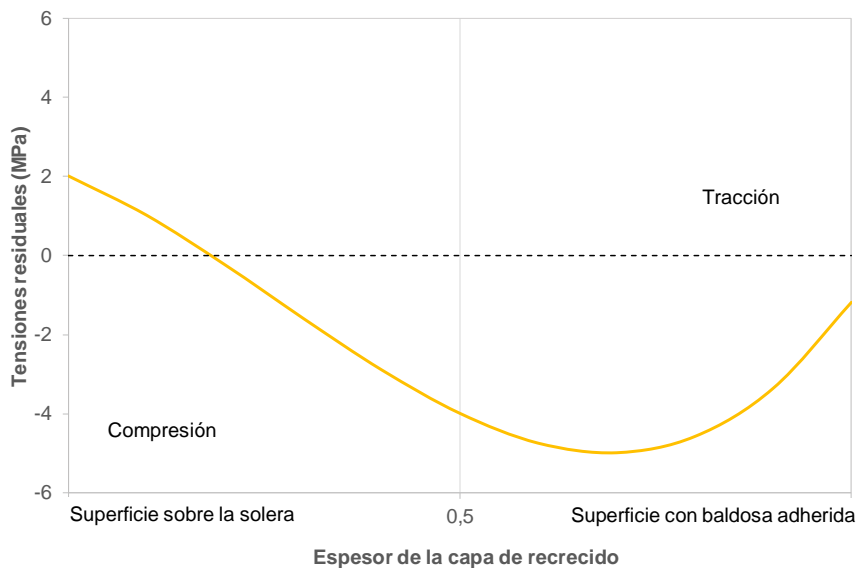


Figura 204. Supuesto perfil de tensiones del mortero redecido debido al fraguado.

- Tensiones producidas durante la fase de retracción del mortero sobre el cual ha sido pegada la lámina de 6 mm. Durante este periodo la sección de la probeta sufre una reducción volumétrica. Esta reducción es igual en toda la sección de la probeta por lo que al estar la probeta anclada por la superficie superior a la lámina de 6 mm, se genera un perfil lineal de tensiones. como se muestra en la figura 205 este hecho produce que la cara adherida a la lámina de 6 mm se encuentra en tracción y la cara opuesta en compresión.

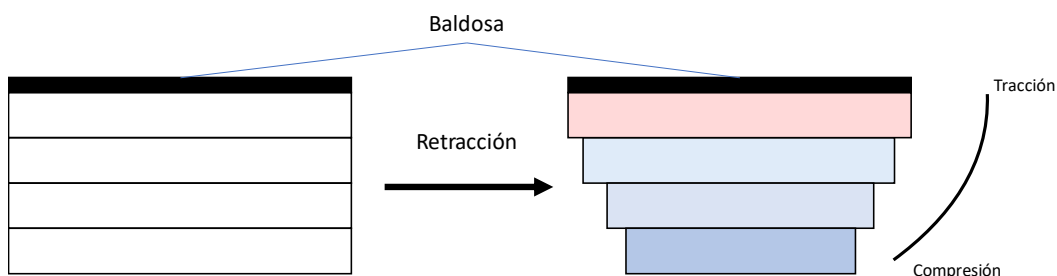


Figura 205. Generación de tensiones en el mortero redecido con la baldosa cerámica adherida durante la retracción del mortero.

- Tensiones que se producen debidas a la hidratación del mortero por la presencia de humedad o agua. Las fases presentes en el redecido como resultados de las reacciones de fraguado son

susceptible de ser hidratadas y esta hidratación produce un aumento volumétrico homogéneo de la probeta que al igual que en las tensiones de retracción al estar la probeta anclada por la superficie superior a la lámina de 6 mm, se genera un perfil lineal de tensiones. En la figura 206 se esquematiza como la cara adherida a la lámina de 6 mm se encuentra en compresión y la cara opuesta en tracción. La suma de estas dos tensiones (retracción e hidratación) que se generan simultáneamente se han deducido conjuntas en la figura 207

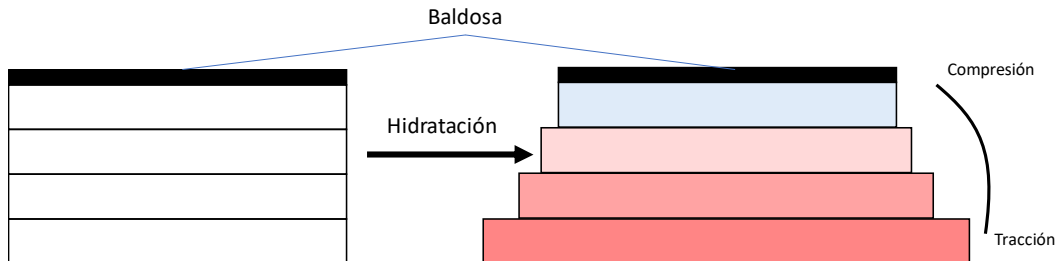


Figura 206. Generación de tensiones en el mortero redecido con la baldosa cerámica adherida debidas a la hidratación del mortero.

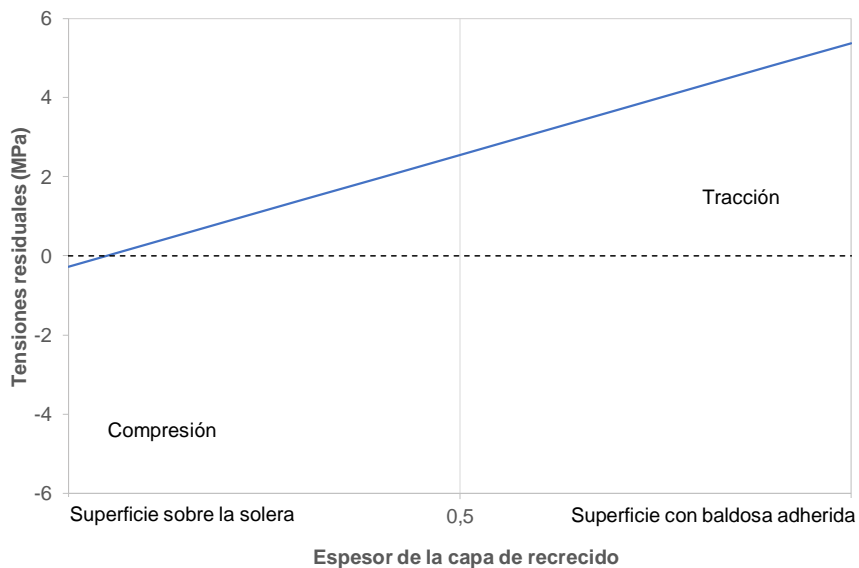


Figura 207. Supuesto perfil de tensiones del mortero redecido debido a la retracción e hidratación.

La suma de ambos perfiles de tensiones daría lugar a un perfil como el obtenido experimentalmente en el ensayo (Figura 208).

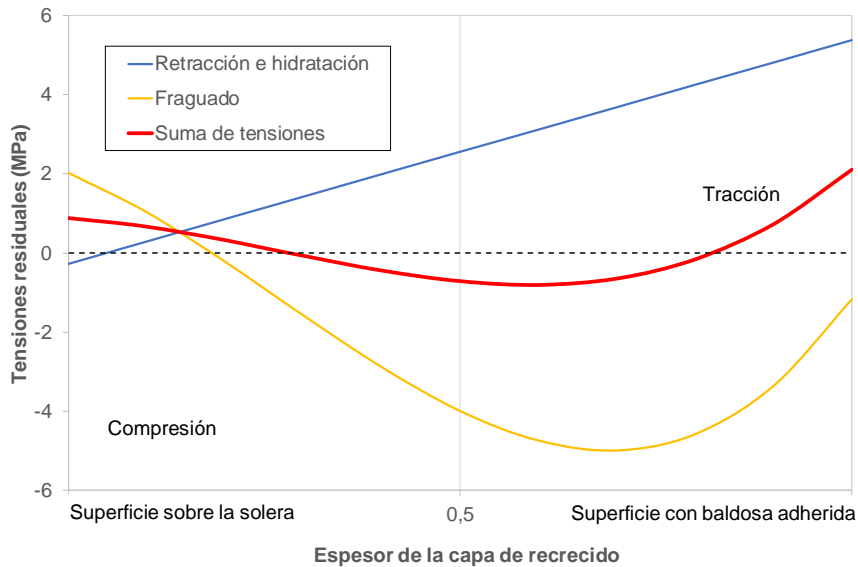


Figura 208. Perfil de tensiones resultante de la suma de los perfiles de fraguado y retracción

- Este ensayo únicamente es aplicable en sistemas continuos de capas adheridas entre sí. Discontinuidades o heterogeneidades (grietas, fisuras, oquedades) en las capas inferiores de mortero, afectan significativamente al resultado, ya que son zonas de relajación de tensiones.
- Para el sistema evaluado, se obtiene un perfil de tensiones similar al de una baldosa cerámica no tensionada excesivamente. Por lo que en este caso no es previsible la aparición de patologías por tensiones propias del sistema.

6. Estudio comportamiento frente a requerimientos secundarios (Tarea 3.3)

6.1. Recopilación previa de métodos de ensayo

6.1.1. Permeabilidad al agua

UNE-EN ISO 12572:2016. Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. Esta norma especifica un método basado en ensayos de plato para determinar la permeancia al vapor de agua de los productos de edificación y la permeabilidad de los materiales de construcción bajo condiciones isotermas. En general el aplicable a todos los materiales y productos de edificación higroscópicos y no higroscópicos. La probeta de ensayo se sella a la parte abierta del plato de ensayo que contiene un desecante o una solución saturada acuosa. El conjunto se sitúa en una atmósfera de ensayo con temperatura y humedad controlada. Debido a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua en la probeta y la cámara se consigue que un flujo de vapor de agua pase a través de las piezas. El conjunto se pesa de forma periódica con el fin de determinar el coeficiente de transmisión de vapor de agua hasta que se alcanza el estado estacionario.

6.1.2. Comportamiento térmico

ASTM E1225-13 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids Using the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique. Entre las distintas técnicas de medida de la conductividad térmica de materiales, el método comparativo, recogido en esta norma es el más adecuado para muestras porosas o materiales compuestos. Este método permite determinar conductividades térmicas en estado

estacionario, en el intervalo de valores de 0,2 a 200 W/mK, y a temperaturas de ensayo en el rango 100-1300 K

ASTM D 7984. Determinación de la conductividad térmica en piezas conformadas. Este método de ensayo mide la facilidad de transporte térmico a través de una muestra de tejido de manera que el calor es generado por un elemento calefactor. Las propiedades de confort térmico al tacto de algunas prendas de vestir se relacionan con esta propiedad. Este método de ensayo se puede aplicar a cualquier tejido con una efusividad térmica en el intervalo de 35 a 1700 $Ws^{1/2}/m^2 \cdot K$. El equipo utilizado para la medida de la conductividad de tejidos (*Modified Transient Plane Source* (MTPS)) consiste en un sensor que aplica una fuente de calor constante y momentánea a la muestra.

UNE-EN ISO 22007-2:2016. Plásticos. Determinación de la conductividad térmica y la difusividad térmica. Parte 2: Método de la fuente de calor plana transitoria (disco caliente). El procedimiento experimental consiste en que la probeta a ensayar contiene una sonda de disco caliente integrada. Se produce un pico de calor en forma de función escalonada mediante una corriente eléctrica y así genera un campo térmico dinámico dentro de la muestra. El incremento de la temperatura de la sonda se mide en función del tiempo.

UNE-EN ISO 22007-3:2012. Plásticos. Determinación de la conductividad térmica y la difusividad térmica. Parte 3: Método por análisis de la oscilación de la temperatura. Esta norma describe un método para la medición de la difusividad térmica en dirección del espesor de una probeta delgada y plana mediante la medición de la desviación de fase de una oscilación de temperatura entre las superficies frontal y posterior de la probeta. Se utilizan resistencias eléctricas, una actúa como calentador para generar la oscilación de la temperatura por efecto Joule de una corriente alterna y la otra como termómetro para detectar la oscilación de la temperatura. Este método implica el análisis de la desviación de fase de la oscilación de temperatura, que se propaga a través de la probeta, como una función de la raíz cuadrada de la frecuencia angular de la oscilación de la temperatura.

6.2. Ensayos realizados

6.2.1. Permeabilidad al agua

En esta anualidad se pretende desarrollar el ensayo de la permeabilidad al agua que consiste en determinar cambios de color en la baldosa superficial de los sistemas constructivo producido por el traspaso de agua desde la base hasta la cara interior de la superficie vidriada de la baldosa superficial. Para realizar el ensayo como se muestra en la figura 209, las probetas de los sistemas constructivos se sumergen parcialmente en agua situando la baldosa superficial en la parte superior. De esta forma, la succión del agua y el paso hacia las capas superiores se produce a través de la solera de hormigón. El área de sección de 100 x 100 mm² de las probetas de los sistemas constructivos, se redujo aproximada a 80 x 80 mm², con el fin de asegurar que el traspaso de agua se realice únicamente por la cara inferior de la probeta sumergida en el agua.

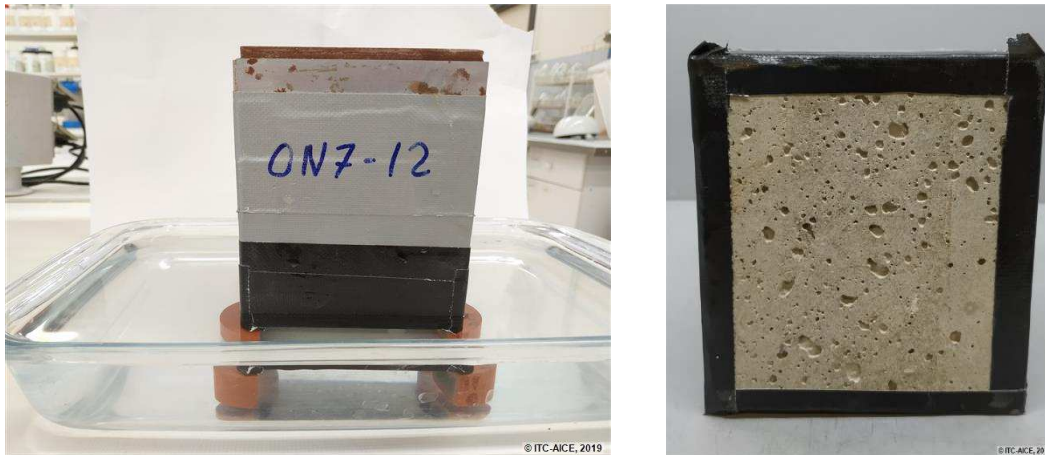


Figura 209. Montaje empleado para la determinación de la permeabilidad al agua y detalle de la reducción de la sección de paso.

Las probetas se mantuvieron sumergidas en el agua el tiempo necesario para alcanzar la saturación, para ello se determinó el peso inicial anterior al ensayo y la ganancia de peso cada cierto periodo de tiempo. De forma simultánea se midieron las coordenadas cromáticas iniciales de la superficie de la baldosa superficial y las que presentaban las probetas cada vez que se media la ganancia de peso.

La coordenada cromática L^* de las probetas se midieron en un espectrofotómetro de reflectancia difusa, Macbeth modelo Color-Eye 7000. Las condiciones de medida del equipo fueron:

- Iluminante estándar CIE D65.
- Observador estándar CIE 10°.
- Componente ultravioleta incluida.
- Componente especular incluida.

Las medidas se realizaron utilizando el sistema de coordenadas cromáticas CIELab, cuyo significado es:

- L^* : Eje de luminosidad ($L^* = 100$ blanco, $L^* = 0$ negro).
- a^* : Eje rojo – verde ($a^* > 0$ rojo, $a^* < 0$ verde).
- b^* : Eje amarillo – azul ($b^* > 0$ amarillo, $b^* < 0$ azul).

Como resultado del ensayo se indica la variación de ΔL^* en función del tiempo de ensayo hasta una ganancia de peso constante. Este parámetro (ΔL^*) es la modificación en la coordenada cromática L^* que experimenta la probeta cuando se somete a la acción del líquido. ΔL^* se calcula a partir de la expresión:

$$\Delta L^* = L^*_t - L^*_i$$

Siendo:

- L^*_i : coordenada cromática L^* de la probeta previamente a la realización del ensayo.
- L^*_t : coordenada cromática L^* tras un periodo de ensayo t .

Resultados obtenidos

A continuación, se detalla la evolución con el tiempo de ΔL^* y la ganancia en peso del sistema constructivo ensayado y el resultado establecido.

Sistema ON7 con baldosa cerámica gres BIIa

- Baldosa superficial: Gres BIIa
- Área de succión: 6400 mm²

Tiempo de ensayo(h)	Probeta: ON7-12		Probeta: ON7-13	
	ΔL^*	Ganancia de peso (%)	ΔL^*	Ganancia de peso (%)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,00
0,25	0,0	0,20	0,0	0,23
0,5	0,0	0,36	0,0	0,38
1	-0,1	0,53	0,1	0,45
2	-0,1	0,69	0,0	0,47
3	-0,1	0,80	0,1	0,53
6	-0,1	1,01	0,1	0,66
21	-0,1	1,42	0,0	0,88
24	0,1	1,46	0,0	0,91
27	0,2	1,49	0,1	0,92
45	0,2	1,58	0,0	1,07
51	0,2	1,62	0,0	1,12
117	0,1	1,76	0,1	1,30
141	0,1	1,82	0,1	1,34
165	0,1	1,88	0,0	1,38

Resultado: No hay mancha visible por humedad a las 165 h de ensayo

En la figura 210 se muestra la evolución de ΔL^* y la ganancia de peso con el tiempo para las dos probetas. Observándose como en ambos casos, en el periodo de tiempo en el que las probetas han llegado a la saturación máxima, la coordenada cromática L* no ha variado apreciablemente para considerar la formación de mancha por permeabilidad al agua.

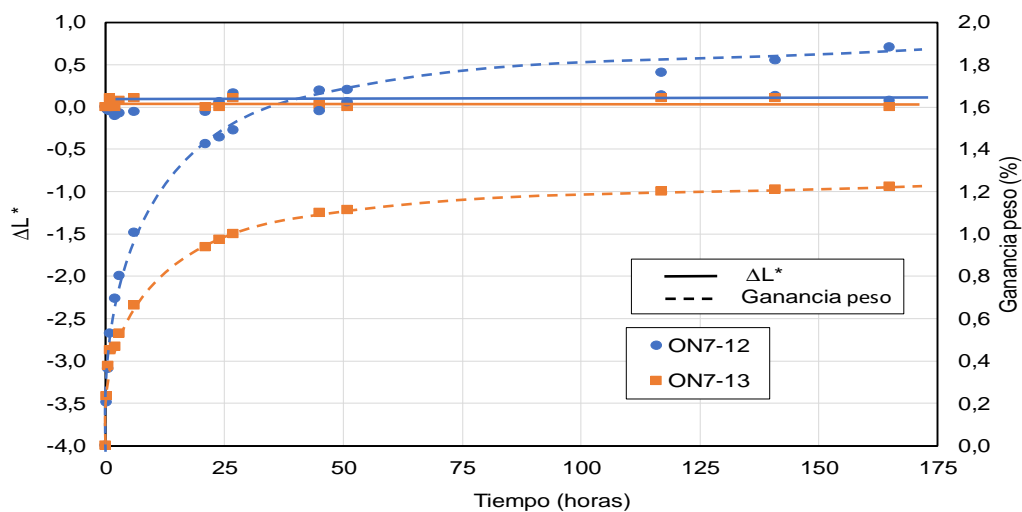


Figura 210 Variación del ΔL^* y la ganancia de peso con el tiempo de ensayo para las dos probetas ON7-12 y ON7-13.

Muestra: **ON1 porcelánico**

- Baldosa superficial: Gres porcelánico
- Área de succión: 6400 mm²

Tiempo de ensayo(h)	Probeta: ON1-72	
	ΔL^*	Ganancia de peso (%)
0,00	0,0	0,00
0,25	0,0	2,16
0,5	0,0	4,50
1	0,1	6,25
3	0,0	6,76
6	0,1	6,96
12	0,0	7,09
23	0,1	7,28

Resultado: No hay mancha visible por humedad a las 23 h de ensayo

Muestra: **ON1 gres**

- Baldosa superficial: Gres Blla
- Área de succión: 6400 mm²

Tiempo de ensayo(h)	Probeta: ON1-73	
	ΔL^*	Ganancia de peso (%)
0	0,0	0,00
0,25	0,0	2,22
0,5	0,0	3,72
1	0,1	6,22
3	0,0	6,70
6	0,0	7,06
12	0,0	7,13
23	0,0	7,19

Resultado: No hay mancha visible por humedad a las 23 h de ensayo

En la figura 210 se muestra la evolución de ΔL^* y la ganancia de peso con el tiempo para las dos muestras. Observándose como en ambos casos, en el periodo de tiempo en el que las probetas han llegado a la saturación máxima, la coordenada cromática L^* no ha variado apreciablemente para considerar la formación de mancha por permeabilidad al agua.

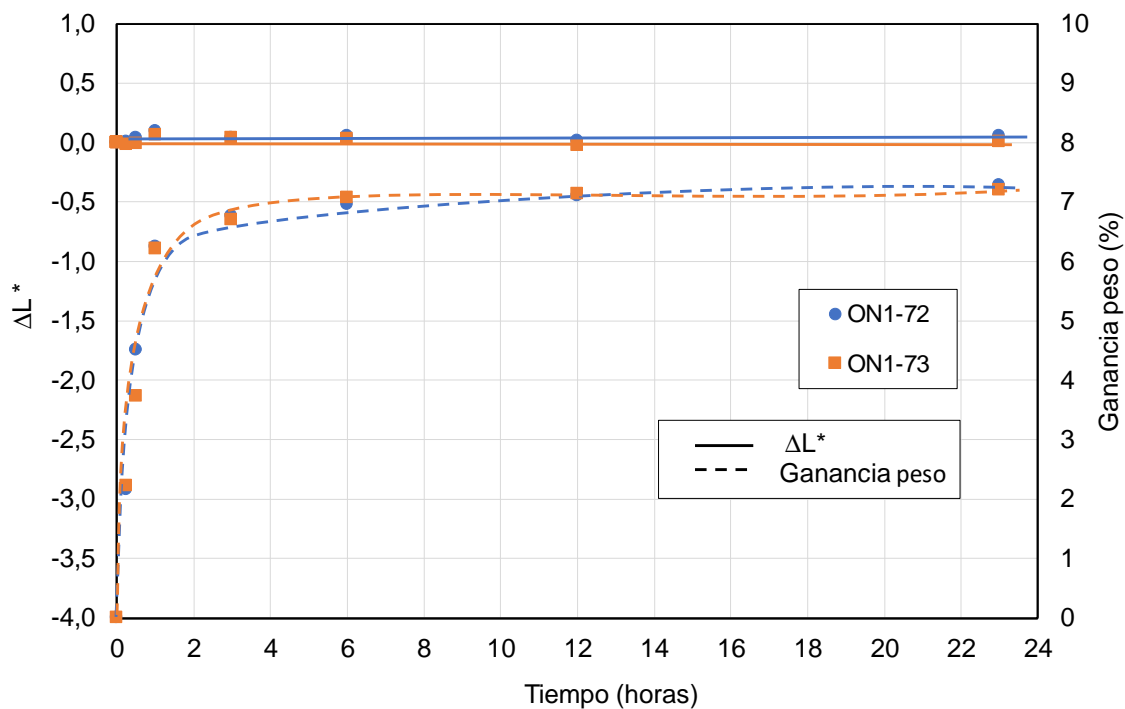


Figura 211 Variación del ΔL^* y la ganancia de peso con el tiempo de ensayo para las dos probetas ON1-72 y ON1-73.

Interpretación de resultados

Se ha puesto en marcha un ensayo para determinar la permeabilidad al agua. Con el ensayo se ha conseguido impregnar de agua la probeta, pero para el caso empleado como muestra (NO7) el resultado ha sido negativo (no ha aparecido cambio de color debido a la presencia de agua en las capas inferiores al esmalte) (figura 210). Muy probablemente debido a que la capa de desolidarización no se ha saturado por completo debido a su alta porosidad y por tanto la humedad no ha progresado hasta la baldosa. En ninguno de los sistemas ensayados transcurridas 23 h de ensayo, hay mancha visible por humedad y con ello cambio de color superficial apreciable.

- El sistema experimental desarrollado permite transferir agua al sistema. No obstante, esta ganancia de humedad no ha generado un cambio de color. No se ha podido determinar si es debido a que el agua no ha alcanzado al recubrimiento cerámico.
- Capas inferiores impermeables o que dificulten el tránsito del agua hacía capas superiores reducen el riesgo de aparición de manchas de humedad en el recubrimiento cerámico del sistema por ascenso capilar.

6.2.2. Comportamiento térmico

El objetivo que se persigue con la realización de este ensayo es la puesta a punto de un test válido y fiable para la evaluación y/o comparación del comportamiento de diferentes sistemas constructivos para suelo radiante de un elemento multicapa. Para ello se evalúa el tiempo que se tarda en alcanzar, en el centro de la superficie de la muestra, una temperatura objetivo para unas condiciones de temperatura y caudal de agua determinadas.

El ensayo se evalúa tanto para el ensayo de refrigeración, como para el ensayo de calefacción.

El montaje consiste en un sistema de control de caudal y temperatura. El caudal se regula mediante una válvula de aguja a la salida del sistema a ensayar y se mide mediante un caudalímetro de turbina conectado a un captador de datos. Por otro lado, se controla tanto la temperatura del agua, (baño, entrada y salida del sistema), que se mide mediante tres sensores de temperatura Pt100, como el cambio de temperatura que se produce en la superficie. Se ha colocado un *bypass* para facilitar la regulación del caudal y el inicio de ensayo, de manera que se alcance lo más rápidamente posible la temperatura en la entrada y salida del sistema, una vez alcanzada la temperatura del baño requerida. La temperatura en la superficie de la pieza se controla mediante el uso de termopares de contacto tipo T situados en diferentes puntos de la baldosa tal y como se muestra en la Figura 214.

Por último, se registra la temperatura ambiental durante el ensayo. El registro de todas las variables se realiza de forma automática mediante un captador de datos, y gracias a la conexión a un ordenador, nos permite la observación rápida y gráfica de la variación de las temperaturas y el caudal durante la realización del ensayo. En la Figura 212 se presenta una vista general del montaje experimental.

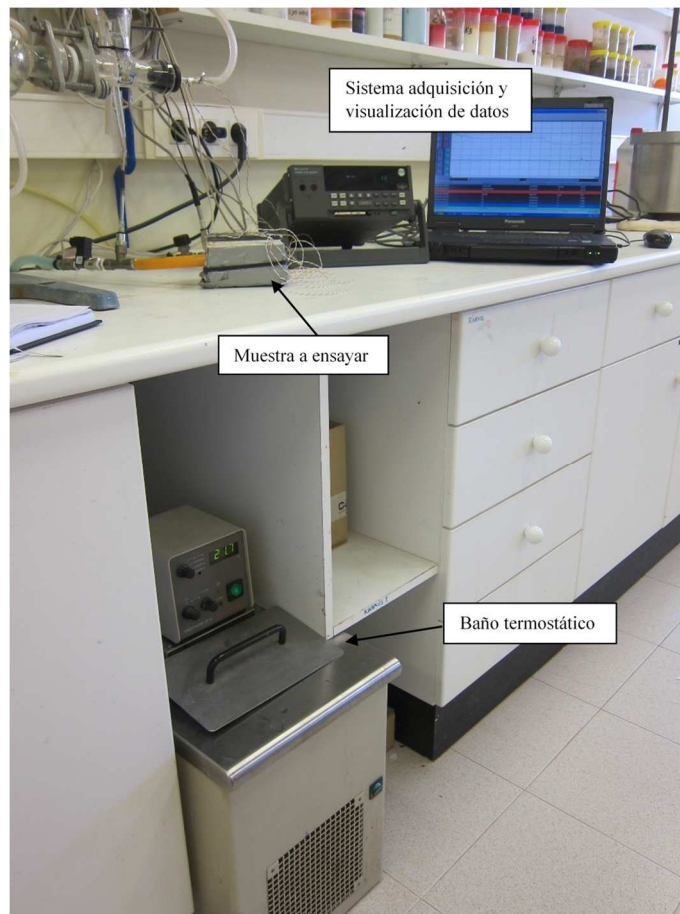


Figura 212. Montaje del experimento. Vista general



Figura 213. Montaje del experimento. Elementos de control de temperatura y caudal del agua

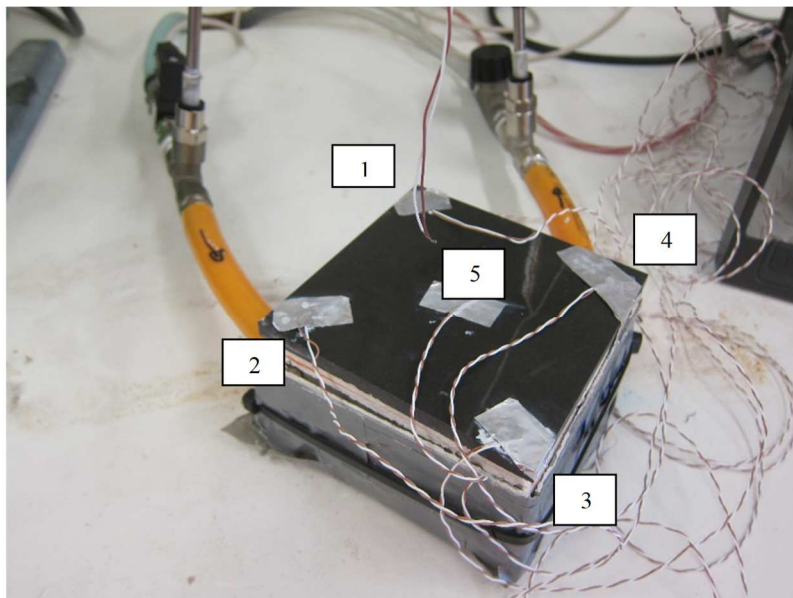


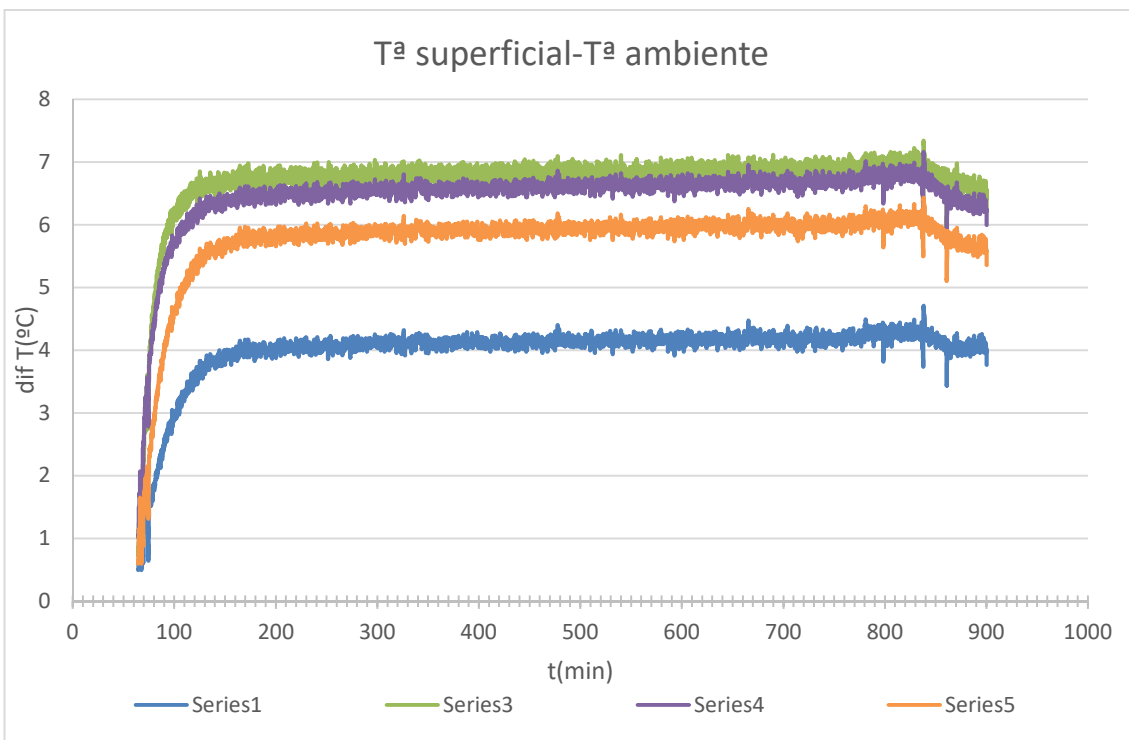
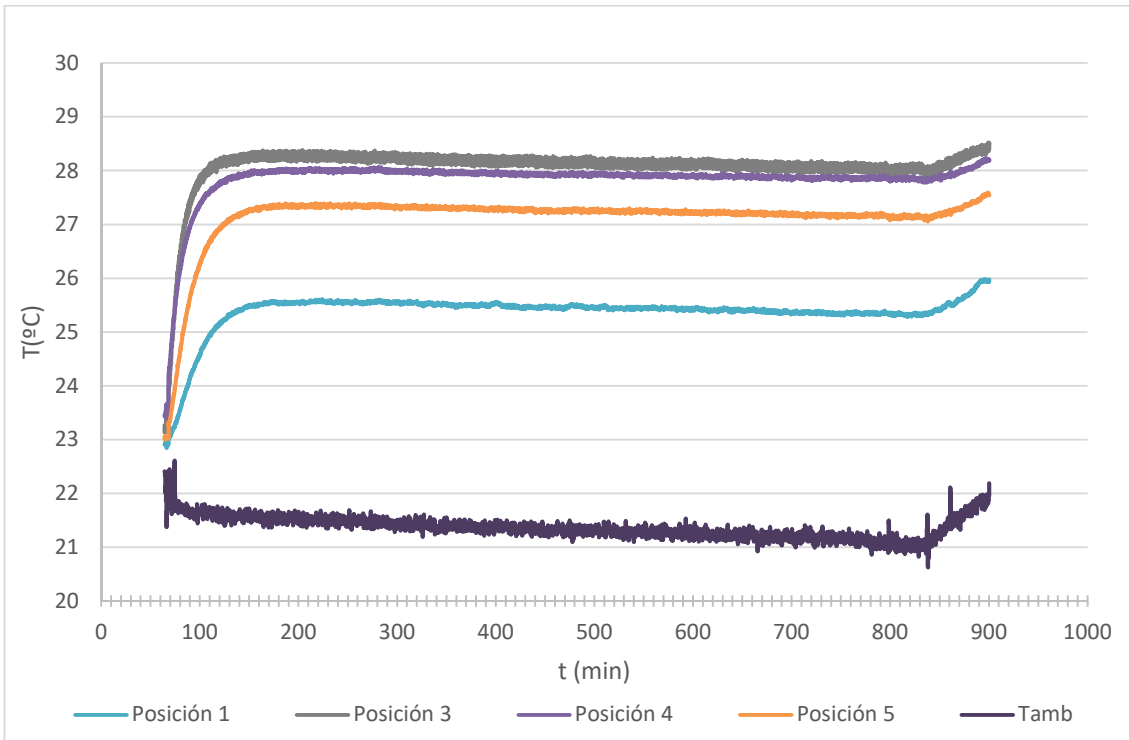
Figura 214. Posición de los termopares en la superficie de la pieza

Resultados obtenidos

Sistema ON4 con lámina cerámica de 6 mm

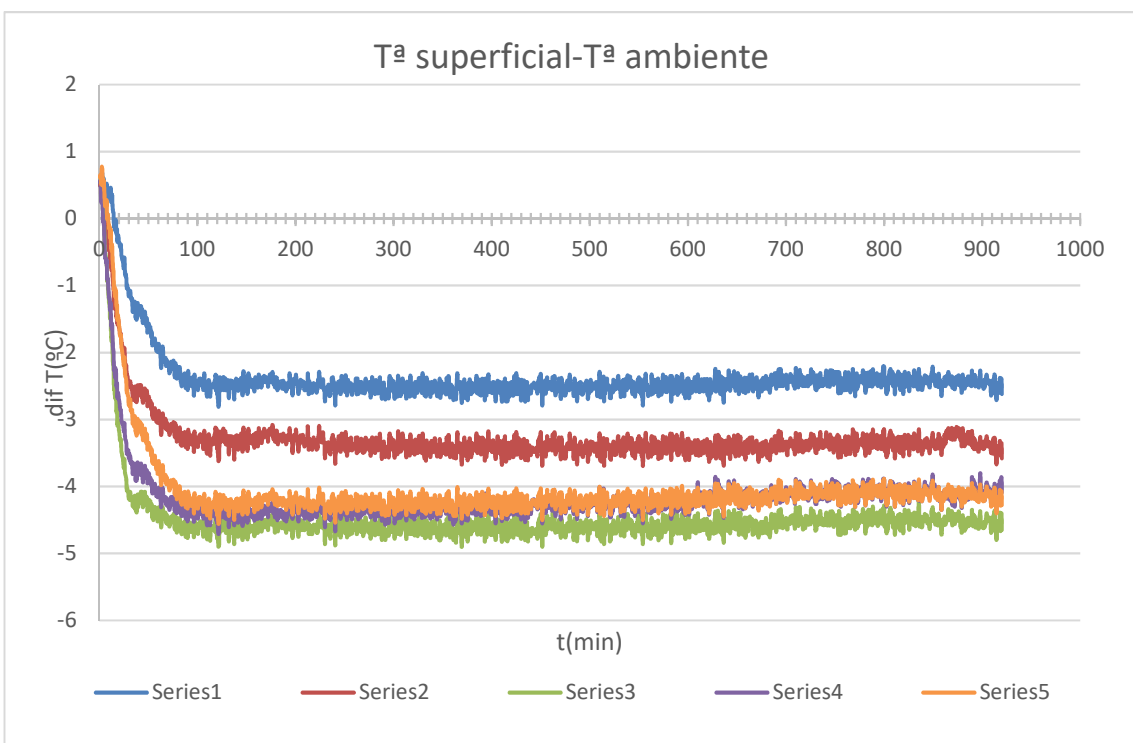
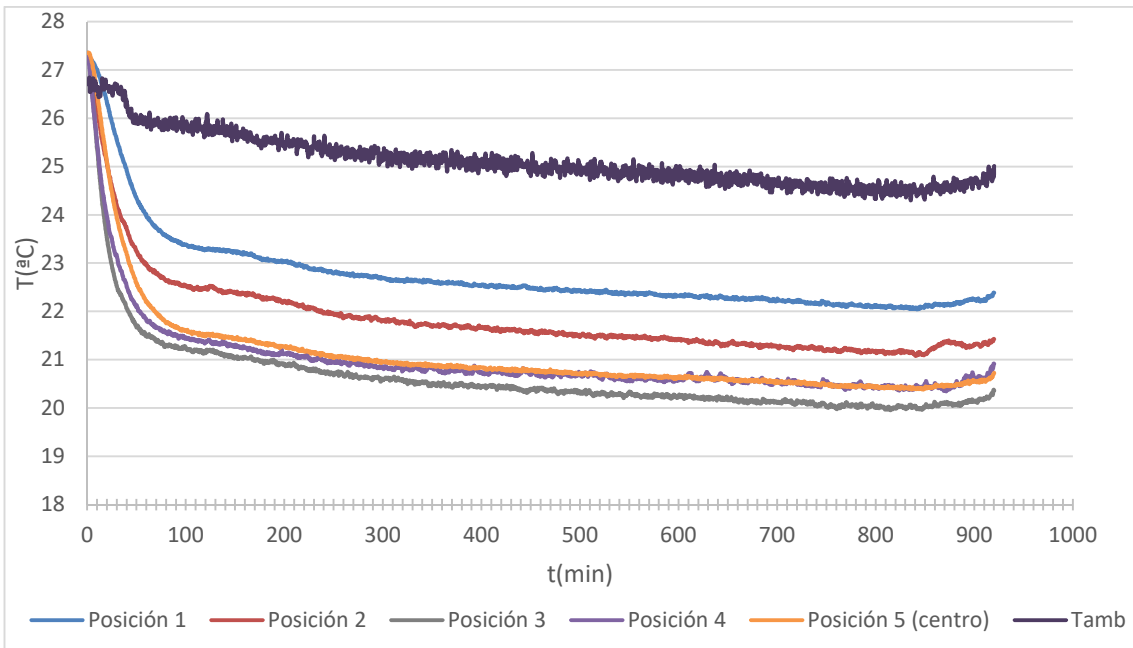
Ensayo de calefacción

Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=1,1 \text{ l/min}$; $T_{\text{agua entrada}}=36,5^{\circ}\text{C}$.



Ensayo de refrigeración

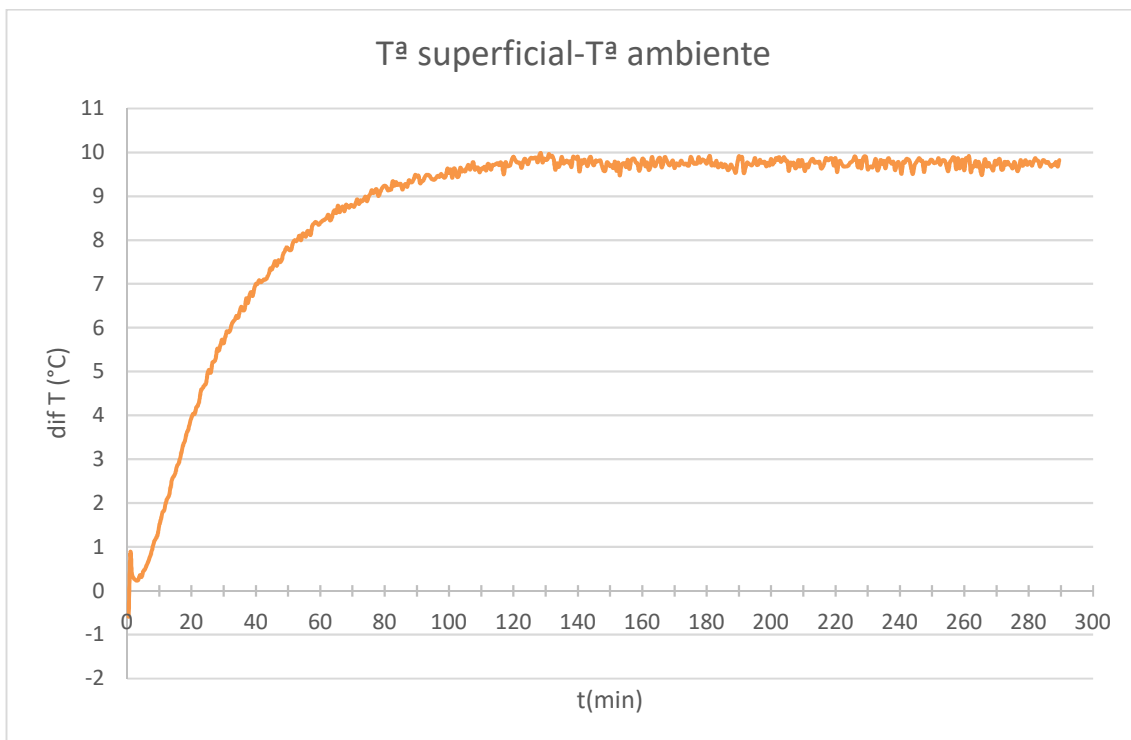
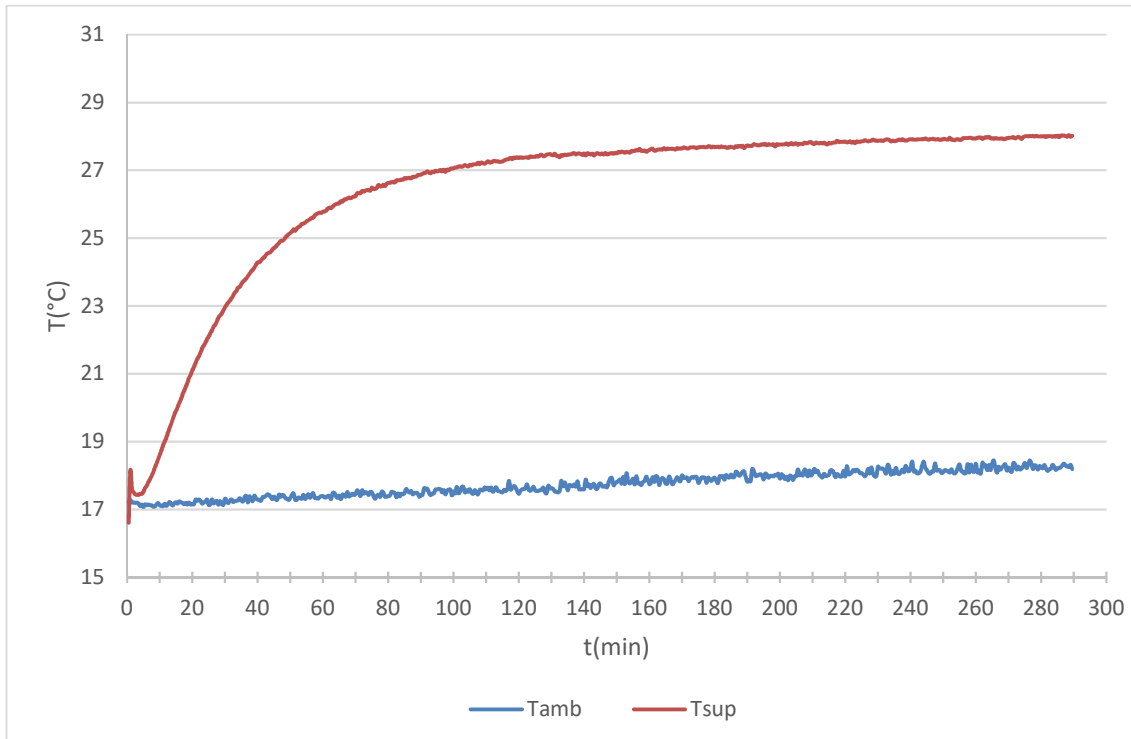
Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=0,4\text{l}/\text{min}$; $T_{\text{agua entrada}}=12,8^{\circ}\text{C}$.

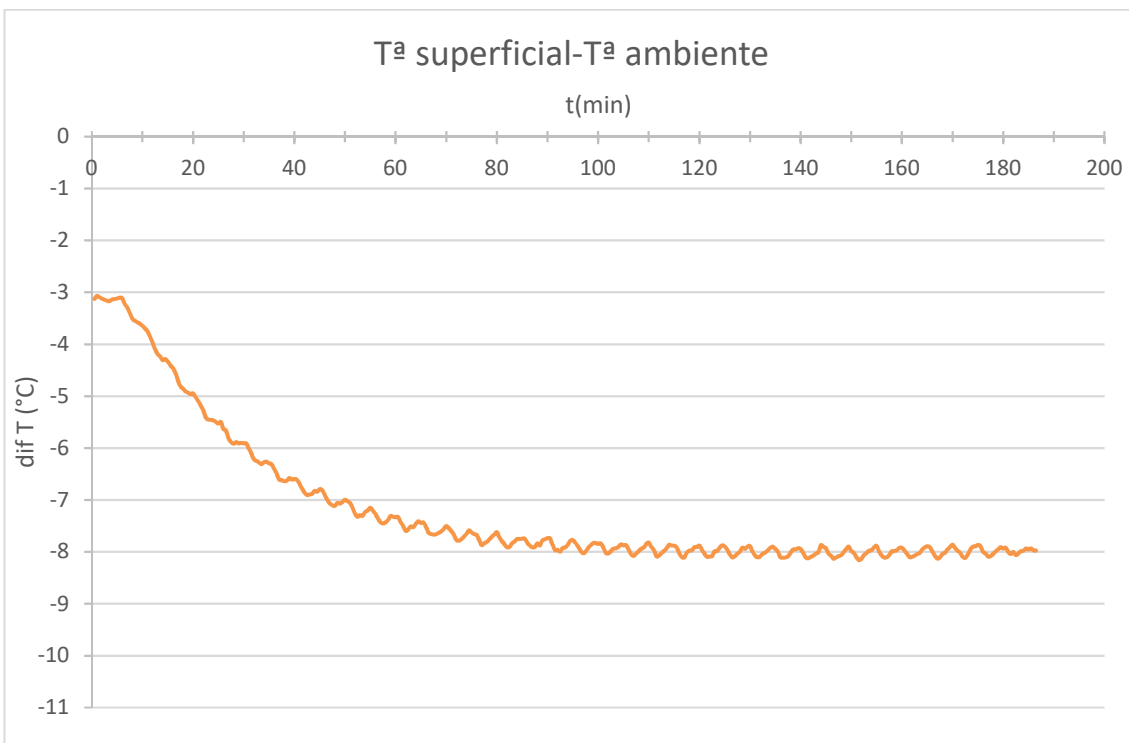
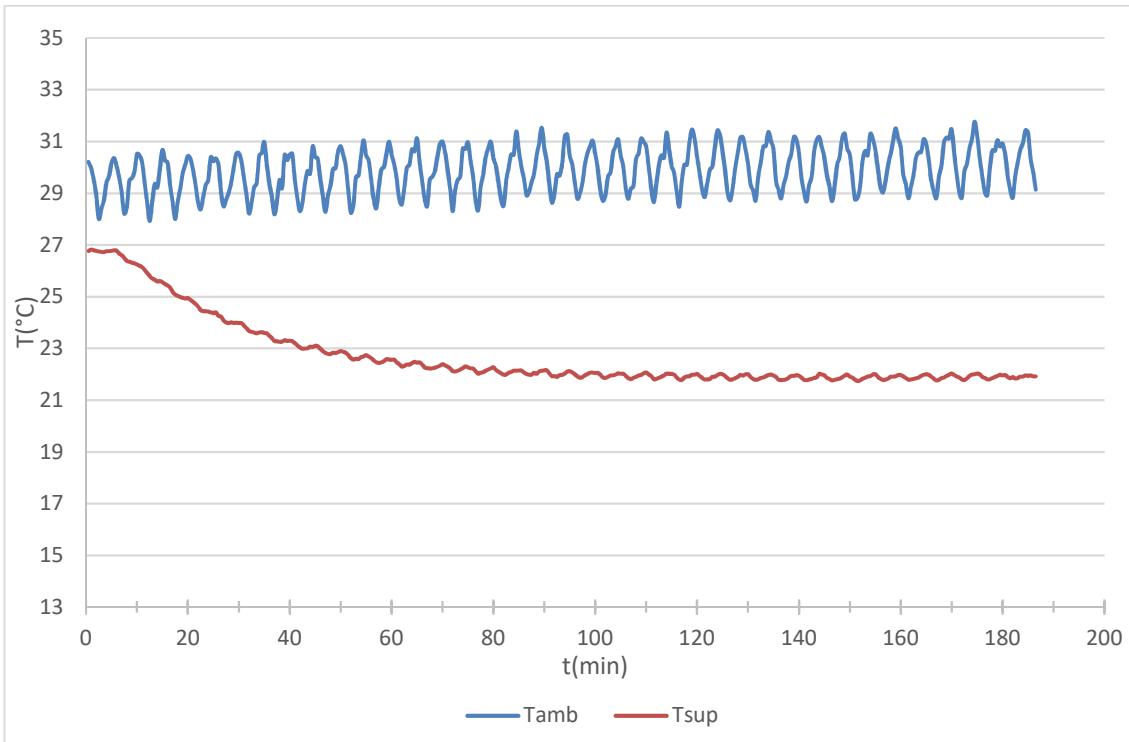


Sistema ON4 con porcelánico

Ensayo de calefacción

Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=1 \text{ l/min}$; $T_{\text{agua entrada}}=35,7^{\circ}\text{C}$

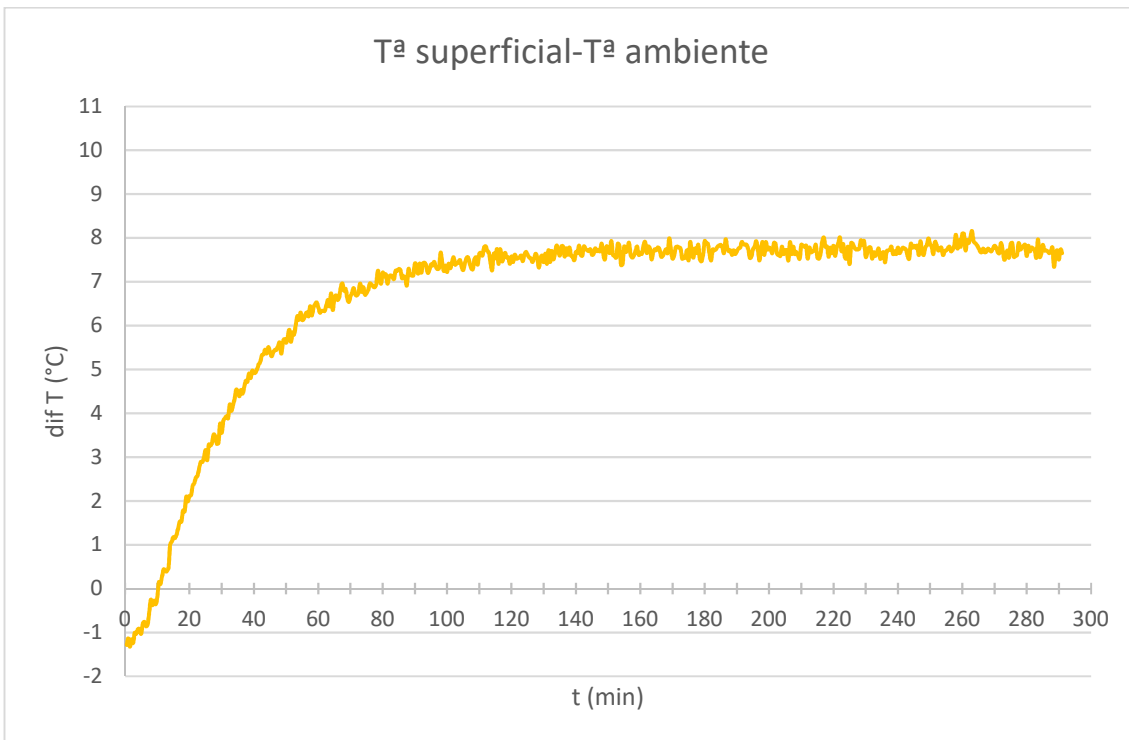
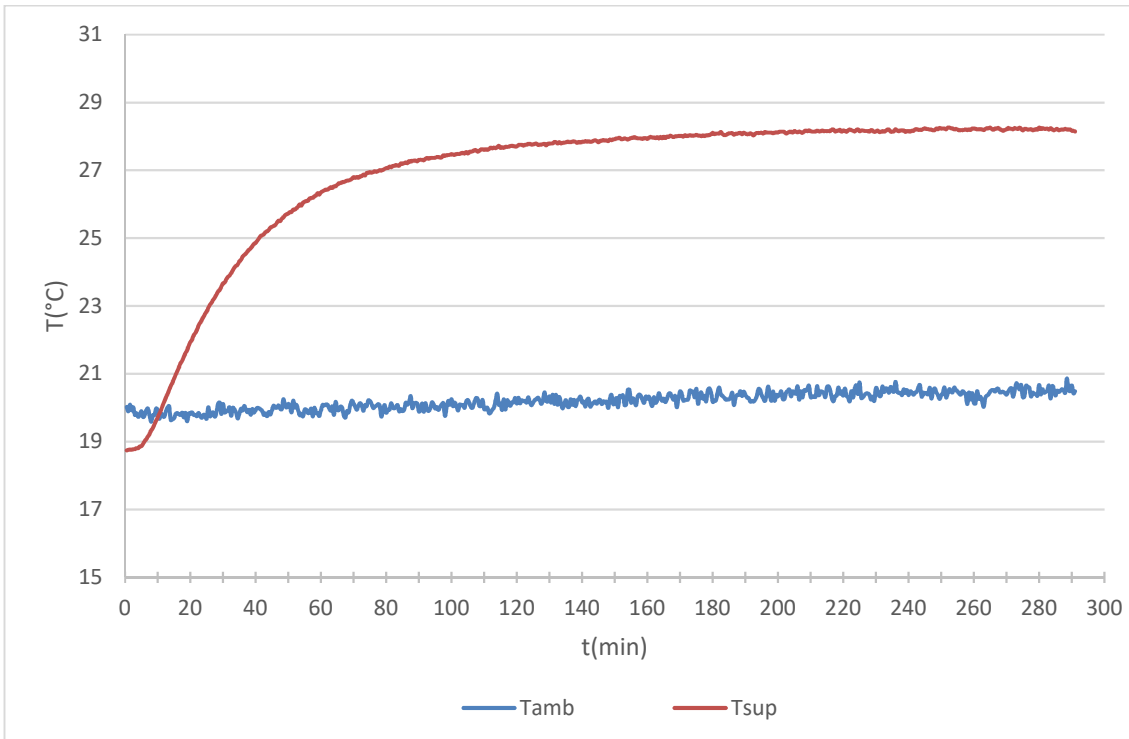


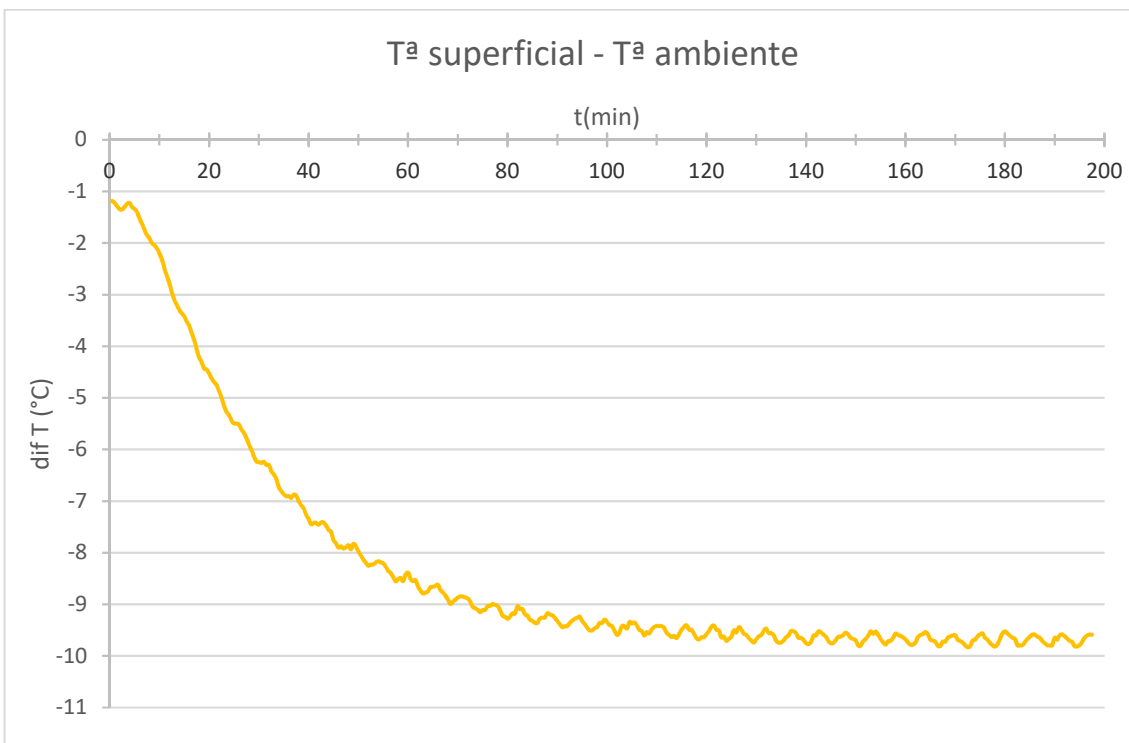
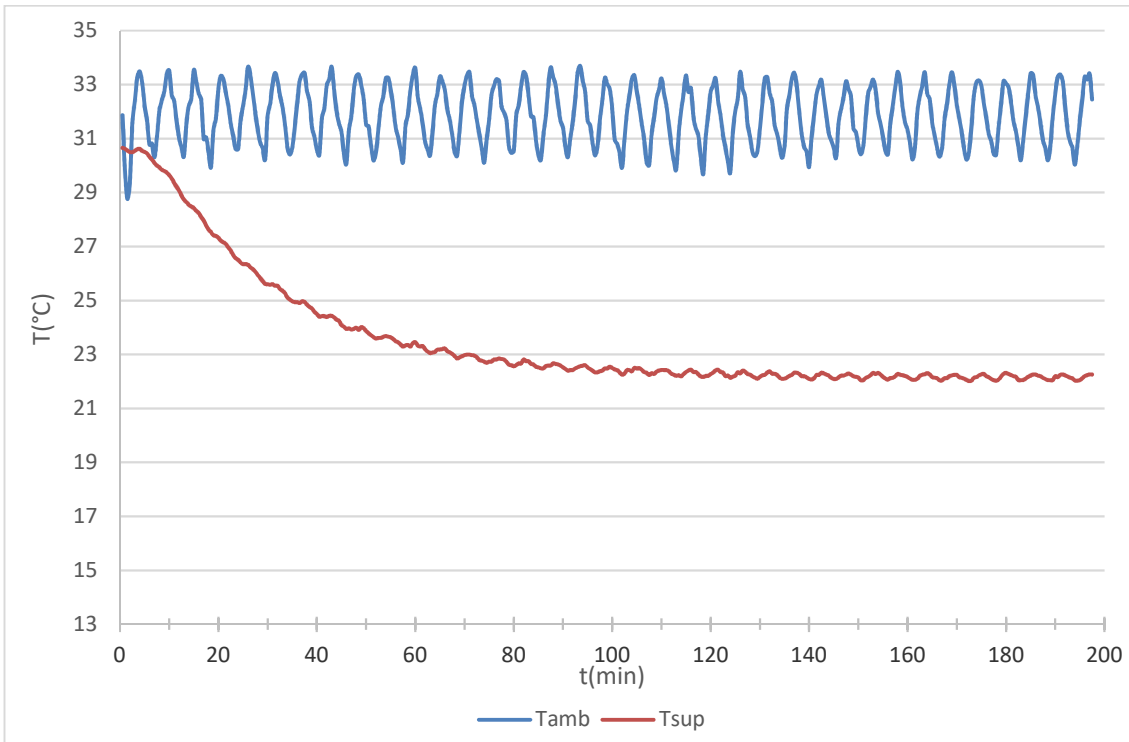
*Ensayo de refrigeración*Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=1 \text{ l/min}$; $T_{\text{agua entrada}}=13,1^\circ\text{C}$ 

Sistema ON4 con gres Blla

Ensayo de calefacción

Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=1 \text{ l/min}$; $T_{\text{agua entrada}}=35,7^{\circ}\text{C}$



*Ensayo de refrigeración*Condiciones de ensayo $Q_{\text{agua}}=1 \text{ l/min}$; $T_{\text{agua entrada}}=13,1^\circ\text{C}$ 

Interpretación de resultados

Se observa que la temperatura ambiente afecta de manera importante a la temperatura medida en la superficie de la muestra por lo que, si se requiere comparar diferentes sistemas, se plantean dos opciones: mantener las condiciones ambientales lo más estables posible durante el ensayo o evaluar la bondad del sistema mediante el flujo de calor que depende de la diferencia de temperatura entre ambiente y temperatura de calefacción/refrigeración.

La temperatura medida en diferentes puntos de la superficie de la pieza dista bastante de ser homogénea para una pieza tan pequeña con un solo paso de agua, por lo que se decide controlar únicamente y como forma de comparación de diferentes sistemas de suelo radiante de piezas pequeñas, la temperatura en el centro de esta, considerándola la más representativa.

Según la construcción del sistema, la extraña variación de temperatura que se observa en la posición 2 se debe a la existencia de material despegado que impide un buen contacto entre las capas internas del sistema y por tanto la buena transmisión de calor entre las mismas.

Las variables que controlar son:

1. Tiempo que tarda el centro de la superficie de la pieza en alcanzar una temperatura objetivo, para unas condiciones de ensayo determinadas: temperatura y caudal del agua en el circuito y temperatura ambiental.
2. Comprobación de la existencia de fisuras en la capa superficial cerámica debido a deformaciones en el recocado por la diferencia de dilatación térmica de ambos materiales. Si estas se producen, la eficiencia del sistema de calefacción o refrigeración cambia notablemente.
 - El recubrimiento cerámico tiene un buen comportamiento en un sistema de suelo radiante. No existen diferencias significativas entre los diferentes tipos de cerámica evaluados.
 - Respecto al tiempo de estabilización del sistema, tampoco se aprecian diferencias significativas en la eficacia del sistema para calefacción y para refrigeración. Alrededor de las dos horas es cuando se alcanza este tiempo de estabilización.
 - Para el sistema evaluado, la diferencia entre la temperatura de entrada del agua y la temperatura ambiente, frente a la diferencia entre la temperatura del ambiente y la temperatura alcanzada en la superficie de la baldosa, es similar entre calefacción y refrigeración.

7. Estudio económico de los sistemas cerámicos (Tarea 4.2)

Complementariamente a la evaluación del comportamiento de los sistemas cerámicos para pavimentos interiores de uso residencial, se ha definido una metodología para la valoración cualitativa del coste de ejecución de los sistemas cerámicos en base a cinco factores con incidencia relevante en este aspecto. Esta metodología se ha aplicado a los cinco sistemas cerámicos evaluados en el proyecto.

En este caso, la comparación se establece en base a los sistemas reales en condiciones de ejecución en obra. La comparación y el orden en cada uno de los cinco factores, se ha obtenido por la percepción del instalador y atendiendo a criterios objetivos como el coste de los materiales, recursos y equipamiento necesario para su ejecución, cualificación del instalador, tiempo, técnica de colocación requerida, etc.

Los cinco factores a evaluar comparativamente entre estos cinco tipos de sistemas cerámicos son: coste de materiales y aplicación (F1), dificultad de ejecución (F2), rapidez de ejecución (F3), rapidez de entrega

(F4) y problemas de ejecución asociados (F5). Vamos a exponer previamente algunas cuestiones a tener en cuenta de los propios factores a comparar.

F1: Coste de materiales y aplicación. Se considera en este factor el coste de los materiales del sistema en su conjunto y de los recursos necesarios para su correcta ejecución. Es evidente que los sistemas de obra nueva conllevan más capas de adecuación y funcionales, por tanto, mayor coste de materiales y del tiempo de aplicación que los sistemas de reforma en los que aplicamos directamente sobre un pavimento preexistente que hace las funciones de soporte.

Otra cuestión fundamental en relación al coste que se debe considerar objetivamente es el tipo de baldosa cerámica que se seleccione. El tipo de baldosa cerámica prescrita tiene una repercusión directa en la ratio de coste de materiales y aplicación de forma significativa, incluso en el mismo tipo de sistema cerámico.

En general, diremos que el sistema ON1, ON4, R1 o R5 tendrán una ratio distinta en función de la selección de baldosas gres B1a, de gres porcelánico B1a o una lámina cerámica de 6mm de espesor. El coste irá de menor a mayor según se trate de uno u otro material en el orden indicado, menor para gres, superior en porcelánico y mayor en caso de lámina cerámica.

A esto hay que añadir que el material de agarre requerido también será de mayores prestaciones y por tanto, de mayor coste en el caso de una lámina cerámica que requiere necesariamente un C2 S1, a continuación un porcelánico que requiere un C2 y por último, un gres que se podría instalar con un C1.

Otra cuestión añadida es la técnica de colocación. Por regla general, los formatos en baldosas de gres son menores a las baldosas de gres porcelánico, y por supuesto a las láminas cerámicas, motivo por el cual, en ocasiones, no se requiere hacer el doble encolado. Esto supone un coste menor, no tanto por la cantidad de adhesivo, sino más bien por el tiempo necesario para realizar la operación de doble encolado.

Otra cuestión a tener en cuenta en el caso del gres porcelánico en formatos medianos y grandes y en el caso de la lámina cerámica, se requiere el uso y aplicación de sistemas de nivelación. Esto incrementa el coste por la adquisición del propio sistema y también del tiempo invertido en su aplicación y retirada.

Finalmente, también tenemos que mencionar la inversión en herramienta de mano, equipamiento y maquinaria. En el caso de las baldosas de porcelánico de gran formato y las láminas cerámicas, se requiere mayor inversión por parte del instalador en equipamiento y sobre todo en máquinas para manipulación, transporte y corte de piezas.

F2: Dificultad de ejecución. Se considera en este factor la mayor o menor dificultad de ejecución en los siguientes términos: dificultad de aplicar la técnica de colocación específica, necesidad de mayor cualificación del instalador, necesidad de contar con equipamiento, herramienta y maquinaria específica.

Al igual que en el factor anterior, para un mismo sistema cerámico de pavimento, en general, la dificultad de ejecución será inferior en el caso baldosas de gres B1a cuyo formato medio es inferior al de los otros tipos de baldosas de gres porcelánico y lámina cerámica. Suelen ser baldosas de tamaños más reducidos y cuyas formas también suelen ser más regulares, o bien cuadradas o bien rectangulares, lo que facilita la ejecución.

En el caso de baldosas de gres porcelánico, los formatos son mayores, abundando además las baldosas con un lado muy largo, formatos no regulares, etc, que aumentan la dificultad de ejecución desde el replanteo inicial hasta la propia instalación. Lo mismo ocurre con las láminas cerámicas.

F3: Rapidez de ejecución. Se considera en este factor la productividad y el rendimiento que se puede alcanzar en cada tipo de sistema. Es evidente que este factor depende de muchos aspectos específicos de

cada proyecto, como la superficie total, las interrupciones, huecos, morfología del pavimento o formato y tipo de baldosa, distribución de trama de juntas e incluso la experiencia y pericia del propio instalador.

En este caso, en aras a una mayor objetividad, no se tendrá en cuenta este tipo de variables y se establece la comparativa en términos de ejecución.

F4: Rapidez de entrega. Se considera el tiempo necesario para la puesta en servicio del pavimento y su tránsito seguro desde la ejecución según el uso de materiales o bien por el sistema utilizado. Para este apartado, en todos los sistemas, a excepción del ON7, se puede mejorar sustancialmente la ratio positiva en este factor con el uso de adhesivos de fraguado rápido F, que reducen de forma notable en tiempo de puesta en servicio y facilitan el tránsito prematuro en un pavimento. Se aplican del mismo modo, aumentan de forma moderada la dificultad para formatos de baldosas grandes o láminas cerámicas puesto que el tiempo abierto es más reducido. Por supuesto, el uso de estos materiales incrementa el factor F1 al incrementar el coste de adquisición, aunque el consumo por unidad no debe aumentar.

También aquí puede influir el tipo de baldosa cerámica en los tiempos de entrega y puesta en servicio para un tránsito inmediato de forma segura. Si recurrimos a baldosas de gres BIIa, que son generalmente de formatos menores y con mayor capacidad de absorción de agua, favorecen el mejor y más rápido fraguado de los adhesivos. En cambio, con baldosas de gres porcelánico y sobre todo con láminas cerámicas, ambas de muy baja capacidad de absorción de agua y sobre todo de formatos muy grandes, tienden a dificultar y retrasar el fraguado de los adhesivos.

En estos casos, suele ser aconsejable dejar pasar el mayor tiempo posible antes de proceder al rejuntado para que el adhesivo pueda secar más fácilmente a través de las pocas juntas que quedan disponibles.

F5: Problemas de ejecución asociados. Se considera aquí la probabilidad de que se produzca algún tipo de patología asociada a los materiales o la ejecución de forma prematura a corto o medio plazo. Una vez más tenemos que señalar que los sistemas de obra nueva deberían ser más proclives a sufrir algún tipo de patología por el simple hecho de que tienen un mayor número de capas con materiales distintos con funciones diferentes y en muchos casos, ejecutados en obra real por instaladores distintos. Si consideramos en los sistemas de reforma R1 y R5 que la base constituida por el pavimento preexistente se encuentra en buenas condiciones para constituir el soporte de colocación según los requisitos establecidos en la Norma UNE138002, por regla general, la probabilidad de que se produzca alguna patología o defecto será siempre inferior.

También en este factor se considera el tipo de baldosa como influencia directa en la probabilidad de patologías a corto y medio plazo en el pavimento. Los pavimentos con baldosas de gres BIIa por regla general tienen formatos inferiores y más regulares, por lo que la probabilidad de sufrir patologías derivadas de tolerancias dimensionales, alineación de juntas o desnivel entre piezas serán inferiores a las de baldosas de gres porcelánico con formatos muy alargados o de láminas cerámicas con formatos muy superiores.

7.1. Evaluación de los sistemas analizados en el proyecto

Teniendo en cuenta estas consideraciones previas derivadas de la propia naturaleza de cada uno de los factores a tener en cuenta, pasamos a considerar comparativamente los cinco sistemas en relación a los cinco factores. En esta comparación se tiene en cuenta a igualdad de baldosa cerámica utilizada en cada sistema y se establece el orden de cada sistema en relación a la influencia de cada factor.

F1: Coste de materiales y aplicación. En este primer factor, el sistema con mayor coste de materiales y también de ejecución es el sistema ON4, pero por supuesto, también aporta una función adicional que el resto no comparten, la calefacción radiante. Tanto por los materiales prefabricados, el sistema de tuberías y demás instalación en termostatos, la lámina de desolidarización, etc, es el sistema más costoso. Además, hay que tener en cuenta que, a igualdad de condiciones, un pavimento con calefacción radiante, por las propias características y variaciones dimensionales por cambio de temperatura requiere de un adhesivo de superiores prestaciones que si el recrecido no es calefactado. Lo mismo ocurre con las juntas de colocación y las juntas de movimiento.

El siguiente sistema por nivel de coste de materiales y aplicación sería el ON1, por la aplicación del aislante y sobre todo por el coste y tiempo de fraguado de la solera nivelada.

En tercer lugar, estaría el sistema ON7 que, a pesar de tener una ratio de coste de materiales bastante reducida, se ve penalizado por la necesidad de recursos y mano de obra en la instalación. Este sería el sistema con un menor coste de materiales y aplicación entre los tres que componen el grupo de pavimentos de obra nueva.

Finalmente estarían los dos sistemas de reforma R1 y R5, ya que en estos supuestos tan solo hay que aplicar el coste de imprimación, material de agarre y baldosa con su correspondiente instalación.

Recordemos que estamos partiendo del supuesto de contar con pavimento preexistentes en buenas condiciones de adherencia, resistencia, planitud, etc para poder colocar las baldosas cerámicas directamente.

F2: Dificultad de ejecución. En este factor el orden sería el mismo que en el factor anterior, el sistema con mayor dificultad de ejecución es el sistema ON4, pero por supuesto, también aporta una función adicional que el resto no comparten, la calefacción radiante. Su aplicación requiere conocer los requisitos del fabricante del sistema de calefacción radiante y efectuar cálculos en función de la potencia de calefacción deseada y otros factores que intervienen.

El siguiente sistema por nivel dificultad de ejecución sería el ON1, sobre todo por la correcta ejecución de la solera nivelada en condiciones de planitud óptimas para la instalación de baldosas cerámicas con adhesivos.

En tercer lugar, estaría el sistema ON7 que, a pesar de ser un sistema más tradicional que no requiere del uso de materiales muy avanzados a nivel tecnológico, sí requiere de práctica y experiencia.

Finalmente estarían los dos sistemas de reforma R1 y R5, ya que en estos supuestos no tenemos la dificultad en la aplicación de aislantes y otras funciones, ni la preparación de la solera nivelada.

F3: Rapidez de ejecución. En cuestión de rapidez en la ejecución, productividad y rendimiento que se puede alcanzar en cada tipo de sistema de pavimento cerámico, el orden sería inverso al visto en los factores anteriores.

Los sistemas con mayor rapidez de ejecución son los correspondientes a reforma R1 y R5. Puesto que no requieren de ejecución de capas de adecuación ni tampoco la demora en tiempo entre la ejecución de una capa y otra. Por tanto, se aplica la imprimación que seca rápidamente y ya se puede proceder a la colocación.

Le seguiría el sistema ON7 que tiene más capas que los anteriores, pero por sus propias características no precisa tiempos de espera para alcanzar las condiciones óptimas de colocación. Se coloca la capa de

garbancillo para la desolidarización que va en seco, posteriormente el recredido de mortero y se aplica el espolvoreado de cemento como puente de unión en fresco para recibir la baldosa cerámica.

El siguiente en orden de rapidez de ejecución sería el sistema ON1 que requiere más tiempo que los anteriores por disponer de más capas previas a la colocación de las baldosas y requiere de tiempo de fraguado para alcanzar las condiciones óptimas antes de proceder a la colocación.

Finalmente, el sistema considerado con menor rapidez de ejecución sería el ON4 muy próximo al anterior y dependiendo del tipo de sistema de calefacción utilizado.

F4: Rapidez de entrega. Considerando el tiempo de puesta en servicio desde el inicio del sistema en todas sus capas y no solamente entendido como el tiempo previsto para el tránsito desde la aplicación del adhesivo y la cerámica, el orden sería el siguiente.

Los sistemas con mayor rapidez de entrega y listos para su tránsito en condiciones seguras son los correspondientes a reforma R1 y R5. Puesto que no requieren de ejecución de capas de adecuación ni tampoco la demora en tiempo entre la ejecución de una capa y otra, su puesta en servicio tan solo depende del tiempo de fraguado del material de agarre y del propio material de rejuntado.

Le seguiría el sistema ON7 que tiene más capas que los anteriores, pero por sus propias características no precisa tiempos de espera para alcanzar las condiciones óptimas de uso puesto que el recredido de mortero se ejecuta con semisecos que tienen poca cantidad de agua en la dosificación, con menos retracción, más resistencia y fraguado más rápido.

El siguiente en orden de rapidez de entrega y puesta en servicio sería el sistema ON4 que requiere más tiempo que los anteriores por disponer de más capas previas a la colocación de las baldosas y requiere de tiempo de fraguado para alcanzar las condiciones óptimas antes de proceder a la colocación.

Finalmente, el sistema considerado con menor rapidez en la entrega o puesta en servicios sería el ON1 muy próximo al anterior, pero al requerir una solera nivelada de mayor espesor medio que en el caso del sistema de calefacción radiante, el tiempo de secado es ligeramente superior.

En cuanto a la puesta en servicio para el tránsito sin tener en cuenta las capas de adecuación, considerando solamente la colocación de la cerámica con el material de agarre sobre el soporte ya preparado, los tiempos se igualan y van en función de las características del adhesivo como hemos comentado, por un lado, y del formato de la baldosa por otro lado.

F5: Problemas de ejecución asociados. La valoración de este factor es más compleja puesto que se debe tener en cuenta una amplia variedad de patologías que podrían manifestarse en un pavimento cerámico, tanto por la preparación del soporte, la prescripción de los materiales, la ejecución de las capas, la incorrecta aplicación de las técnicas de colocación, o la incorrecta aplicación de los materiales.

En primer lugar, el sistema que consideramos con menor probabilidad de manifestar una patología a corto o medio plazo sería el sistema ON7. Esto es debido, por un lado, al uso de materiales tradicionales en la preparación, con morteros semisecos que derivan en el uso de poca cantidad de agua y dan lugar a buenas prestaciones de resistencia y poca retracción durante menor tiempo que una solera con mortero tradicional.

Por otro lado, la no utilización de adhesivos para cerámica en capa fina con llana dentada, ya nos está eliminando la posibilidad de un gran número de patologías derivadas del mal uso de los adhesivos. Con esta técnica no tenemos problemas de colocación a puntos o pegotes, tampoco retracción diferencial por espesores no uniformes, no hay posibilidad de despegues por tiempo abierto caducado, etc.

A esto tenemos que sumar que es una técnica únicamente compatible con baldosas de más de 3% de capacidad de absorción de agua y formatos medios. Por tanto, todos los problemas derivados de las tensiones de grandes formatos por ausencia de junta de colocación o junta insuficiente, etc, tampoco son de aplicación.

Como consecuencia de todo lo comentado, no es frecuente que tengamos baldosas colocadas con este sistema que tengan huecos en el reverso con todo lo que esto puede conllevar.

A continuación, tendríamos los sistemas de reforma R1 y R5 considerando que se aplican sobre un pavimento preexistente con los requisitos apropiados para la colocación de un nuevo pavimento cerámico por adherencia. Dentro de estos dos sistemas, el R5 tendría mayor probabilidad de patologías por las propias características de la madera como soporte en cuanto a su sensibilidad al agua y a las deformaciones.

Posteriormente tendríamos el sistema ON1 y ON4 en los cuales se incrementaría la probabilidad de patologías a corto o medio plazo por el mayor número de capas, por un lado, la utilización de adhesivos cementosos y sobre todo por el crecimiento en el uso de baldosas de porcelánico y lámina cerámica de mayor formato. En general, se debe tener especial cuidado con los sistemas con calefacción radiante, no obstante, como en el caso que nos ocupa, se dispone de una capa de desolidarización específica, no debería tener mayores probabilidades que el sistema ON1.

8. Conclusiones

A continuación, se recogen las conclusiones finales del proyecto en relación a los objetivos y resultados esperados.

Objetivo general	Comentarios
<p>Obtener un sistema o sistemas cerámicos para uso en pavimentos interiores de edificios (particiones horizontales), con prestaciones mejoradas, y riesgo mínimo de aparición de patologías derivadas de su instalación, uso o mantenimiento</p>	<p>El conocimiento generado en el proyecto indica que los sistemas cerámicos utilizados habitualmente para uso en pavimentos interiores de tránsito peatonal (uso residencial), cumplen con los requerimientos derivados del uso al que van destinados y funcionalidad que le requiera siempre que estén correctamente diseñados (criterios definidos en el entregable E2) y ejecutados (especificaciones recogidas en el entregable E2).</p> <p>Se ha definido una metodología completa de caracterización de las propiedades de estos sistemas en el entregable E3/E4. Esta caracterización permite evaluar el comportamiento de los sistemas con vistas a minimizar el riesgo de aparición de patologías.</p>

Objetivos específicos	Comentarios
Definir los diferentes tipos de materiales que pueden utilizarse en cada una de las capas funcionales del sistema	En el entregable E1 se han definido los materiales y características que pueden utilizarse en las diferentes capas del sistema
Identificar la compatibilidad entre los materiales que conforman cada una de las capas del sistema	En el entregable E1 se han definido los criterios de compatibilidad entre los materiales que pueden conformar las diferentes capas del sistema cerámico.
Definir las diferentes combinaciones de elementos o capas que pueden conformar un sistema multicapa cerámico	Según la funcionalidad requerida, los materiales y capas variarán. En el entregable E1 se recogen los diferentes tipos de materiales existentes para cada capa, así como sus posibles combinaciones en función de la compatibilidad entre ellos.
Establecer la metodología para la evaluación de las características requeridas (mecánicas, térmicas y acústicas) a los sistemas	<p>En el entregable E3/E4 se define una metodología completa de caracterización de los sistemas cerámicos en su conjunto para los usos contemplados en el proyecto. Las actividades realizadas han permitido desarrollar los diferentes métodos de ensayo, así identificar las variables a tener en cuenta a la hora de ejecutarlos.</p> <p>Esta metodología supone un enfoque novedoso, puesto que anteriormente únicamente había métodos definidos para evaluar por separado las características específicas de cada uno de los materiales que conforman el sistema cerámico y no el conjunto. Por tanto, ha sido necesario comprobar inicialmente que se podían realizar los ensayos y que tenían sensibilidad para poder evidenciar diferencias de comportamiento, bien entre los sistemas o bien entre los recubrimientos cerámicos dentro de un mismo sistema. En aquellos ensayos que la metodología ha resultado más sencilla de desarrollar, también se han realizado unas primeras pruebas de reproducibilidad o repetibilidad del método.</p>
Conocer las variaciones en las prestaciones de los sistemas por envejecimiento	En el entregable E3/E4 se concreta la influencia que tiene el envejecimiento en diferentes características evaluadas del sistema. En el entorno de uso estudiado en el proyecto (pavimentos interiores de uso residencial), el envejecimiento está asociado a variaciones de temperatura y/o humedad.
Definir los mejores sistemas en base a las prestaciones técnicas evaluadas y en relación al tipo de	Tal como se ha comentado anteriormente, y tomando como referencia la adecuación a la funcionalidad requerida, todos los sistemas cerámicos que cumplan con los criterios de diseño y con las especificaciones de ejecución indicadas en el entregable E2,

soporte o base que tienen, así como al uso previsto	son adecuados para el uso como pavimento en interiores de uso residencial.
Identificar los sistemas con relación coste-prestaciones optimizada	En el entregable E3/E4 se ha definido una metodología para la valoración cualitativa del coste asociado a los diferentes sistemas cerámicos en base a distintos factores con incidencia relevante en este aspecto.
Definir las especificaciones técnicas requeridas a un sistema cerámico multicapa de pavimentación en interiores de edificios con el fin de minimizar el riesgo de aparición de patologías	En el entregable E2 se recogen estas especificaciones desarrolladas en los criterios de diseño y ejecución de los sistemas cerámicos

Resultados esperados	Comentarios
Propuesta de los materiales con las mejores características para utilizarse en cada una de las capas funcionales del sistema cerámico de partición horizontal.	<p>En el entregable E1 se han identificado los materiales para las diferentes capas funcionales del sistema cerámico.</p> <p>Posteriormente en el entregable E2 se han concretado los de mejores características para cada capa en función del sistema cerámico de partición horizontal definido. En el entregable E3/E4 se han validado estos materiales para los diferentes sistemas cerámicos evaluados.</p>
Conocer la compatibilidad entre los materiales que conforman cada una de las capas del sistema, especialmente orientada a que las prestaciones de las baldosas no se vean afectadas negativamente.	<p>En el entregable E1 se han identificado las posibles incompatibilidades que pueden existir entre los materiales asociadas a la estabilidad del sistema, a las acciones químicas, a la adecuación de materiales contiguos y con las prestaciones derivadas del uso previsto.</p> <p>Estas incompatibilidades se han tenido en cuenta a la hora de diseñar los sistemas cerámicos en el entregable E2.</p> <p>En el entregable E3/E4 se recoge la evaluación de los sistemas propuestos y validación de los mismos, trabajando sobre sistemas en los que no se prevé incompatibilidad entre materiales</p>
Concretar las diferentes combinaciones de elementos o capas que pueden conformar un	En el entregable E2 se han definido los diferentes sistemas cerámicos para particiones horizontales más habituales y que cumplen con los criterios de compatibilidad y de requerimientos del sistema identificados en el entregable E1. De todos los sistemas cerámicos identificados, se han seleccionado para su

<p>sistema multicapa cerámico en función del uso previsto.</p>	<p>estudio en el entregable E3 aquellos que resultan más interesantes teniendo en cuenta criterios de grado de utilización actualmente y representatividad de los diferentes tipos de sistemas.</p>
<p>Establecer los criterios de diseño para los sistemas cerámicos de partición horizontal en base a las características técnicas establecidas como requerimiento a los nuevos sistemas que se desarrollen.</p>	<p>En el entregable E2 se han definido los criterios iniciales de diseño para los sistemas cerámicos. En la evaluación de los sistemas en el entregable E3/E4 se ha verificado que los sistemas descritos cumplen con estos requerimientos iniciales de diseño. En la validación de los mismos en el entregable E3/E4 se ha comprobado que efectivamente se cumplen y además son adecuados al uso previsto.</p>
<p>Identificar y diseñar los mejores sistemas con el fin de minimizar el riesgo de aparición de patologías. Teniendo en cuenta las prestaciones técnicas evaluadas en relación al tipo de soporte o base que tienen, así como al uso previsto. Mejores sistemas en base al binomio prestaciones técnicas (iniciales y en el tiempo)-coste de materiales e instalación.</p>	<p>Las actividades recogidas en el entregable E3/E4 respecto a la evaluación de los sistemas cerámicos y su validación frente al uso previsto sugiere que existen diferentes sistemas adecuados en función de las prestaciones requeridas, siempre que cumplan con los criterios de diseño y ejecución del sistema recogidos en el entregable E2.</p>
<p>Obtener el conocimiento necesario para desarrollar en el futuro nuevos sistemas cerámicos multicapa industrializados o prefabricados, con mayor funcionalidad y fiabilidad que los existentes en la actualidad</p>	<p>La información obtenida ha servido para definir los criterios de diseño de los sistemas cerámicos para uso como pavimento en interiores de uso peatonal, su evaluación mediante una serie de ensayos y su validación frente a los requerimientos del uso previsto. Por tanto, se ha definido toda una metodología que sirve para el desarrollo y evaluación de futuros sistemas cerámicos encaminados a introducirlos en la construcción industrializada, prefabricada o modular</p>