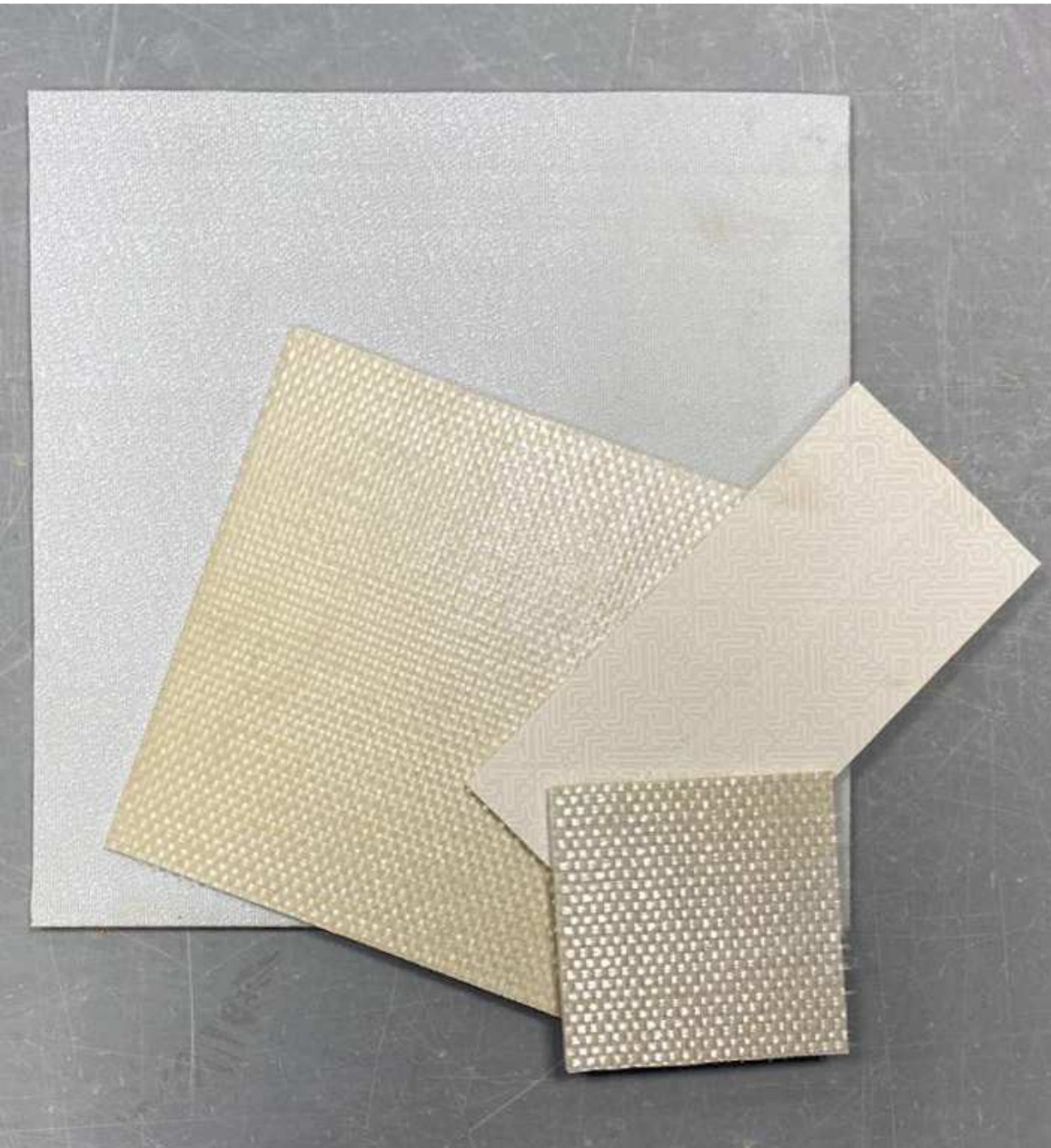




# HARDLAM

---



**Título del proyecto:** *HARDLAM. Optimización de los elementos de refuerzo en lámina cerámica.*

**Financiado por:** *IVACE*

**Cofinanciado por:** *Fondo europeo de Desarrollo Regional*

**Programa:** *Proyectos de I+D en cooperación con empresas*

**Actuación subvencionable:** *IMDEEA-Proyectos de I+D en cooperación con empresas*

**Nº expediente:** *IMDEEA/2022/2*

**Periodo:** *enero 2022-junio 2023*



## Objetivos específicos

## OBJETIVO GENERAL

- Generar el conocimiento para **mejorar las prestaciones mecánicas de las láminas cerámicas mediante refuerzo** para optimizar el comportamiento en entornos de uso con requerimientos mecánicos significativos y minimizar el riesgo de aparición de disfunciones o patologías.

- ✓ Conocer los sistemas de refuerzo y materiales compuestos utilizados en construcción y en otros productos de recubrimiento de superficies.
- ✓ Identificar materiales alternativos a los utilizados actualmente en el refuerzo, susceptibles de mejorar las prestaciones mecánicas y la estabilidad del conjunto.
- ✓ Conocer las prestaciones de los sistemas y materiales de refuerzo actuales de lámina cerámica.
- ✓ Desarrollar metodologías de ensayo para evaluar las prestaciones específicas de cada uno de los materiales que conforman el refuerzo y del conjunto en combinación con la lámina cerámica.
- ✓ Evaluar las limitaciones y posibilidades de optimización de los refuerzos en baldosas de bajo espesor. Conocer las variaciones en las prestaciones de los sistemas frente al uso.
- ✓ Definir uno o varios sistemas de refuerzo que mejoren a los actuales. Bien en prestaciones, bien en coste, bien en sostenibilidad o bien en su aplicación en el proceso productivo.

ID	Variables Independientes				
	Espesor (mm)	Malla	Tejido	Malla de Refuerzo	Adhesivo
1	3	No	-	-	-
2	5	No	-	-	-
3	3	No	-	-	Resina EPOXI
4	5	No	-	-	Resina POLIURETANO
5	3	No	-	-	Resina EPOPUR
6	5	No	-	-	Resina POLIURETANO
7	3	Sí	Tafetan	Fibra de Vidrio	Resina EPOXI
8	5	Sí	Tafetan	Fibra de Vidrio	Resina EPOXI
9	3	Sí	Sarga	Fibra de Vidrio	Resina EPOXI
10	5	Sí	Sarga	Fibra de Vidrio	Resina EPOXI
11	3	Sí	Tafetan	Fibra de carbono	Resina EPOXI
12	5	Sí	Tafetan	Fibra de carbono	Resina EPOXI
13	3	Sí	Sarga	Fibra de carbono	Resina EPOXI
14	5	Sí	Sarga	Fibra de carbono	Resina EPOXI
15	3	Sí	Tafetan	Aramida	Resina EPOXI
16	5	Sí	Tafetan	Aramida	Resina EPOXI
17	3	Sí	Sarga	Aramida	Resina EPOXI
18	5	Sí	Sarga	Aramida	Resina EPOXI
19	3	Sí	Tafetan	Fibra Natural	Resina EPOXI
20	5	Sí	Tafetan	Fibra Natural	Resina EPOXI
21	3	Sí	Tafetan	Fibra de Vidrio	Resina EPOPUR
22	5	Sí	Tafetan	Fibra de Vidrio	Resina POLIURETANO
23	3	Sí	Sarga	Fibra de Vidrio	Resina POLIURETANO
24	5	Sí	Sarga	Fibra de Vidrio	Resina POLIURETANO
25	3	Sí	Tafetan	Fibra de carbono	Resina POLIURETANO
26	5	Sí	Tafetan	Fibra de carbono	Resina POLIURETANO
27	3	Sí	Sarga	Fibra de carbono	Resina POLIURETANO
28	5	Sí	Sarga	Fibra de carbono	Resina POLIURETANO
29	3	Sí	Tafetan	Aramida	Resina POLIURETANO
30	5	Sí	Tafetan	Aramida	Resina POLIURETANO
31	3	Sí	Sarga	Aramida	Resina POLIURETANO
32	5	Sí	Sarga	Aramida	Resina POLIURETANO
33	3	Sí	Tafetan	Fibra Natural	Resina POLIURETANO
34	5	Sí	Tafetan	Fibra Natural	Resina POLIURETANO

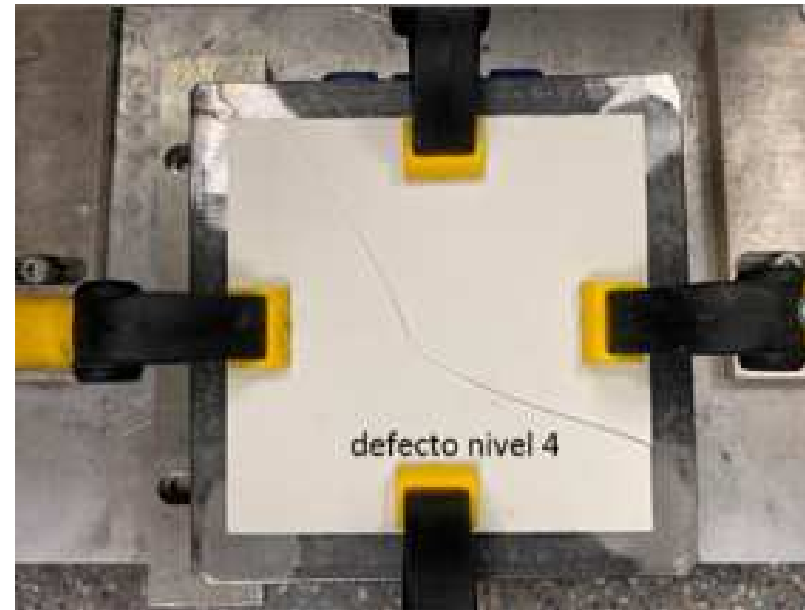
## ESTUDIO PREVIO DE LA INCIDENCIA DE LAS DIFERENTES VARIABLES EN EL SISTEMA DE REFUERZO

Diseño factorial que tiene en cuenta las combinaciones e interacciones entre los distintos factores.

## ENSAYOS PARA EL ESTUDIO PRELIMINAR

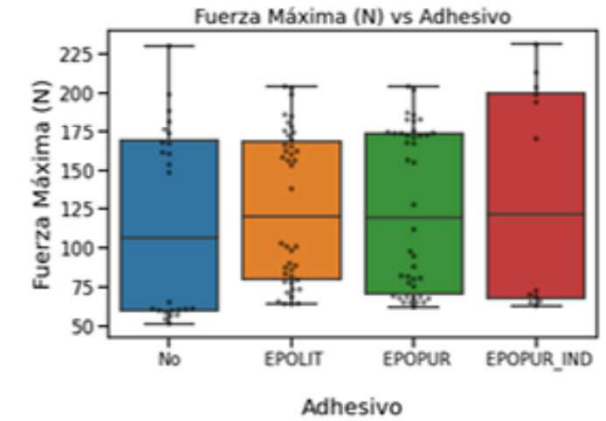
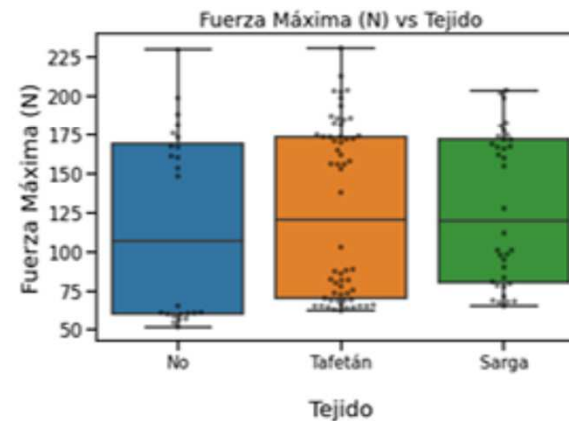
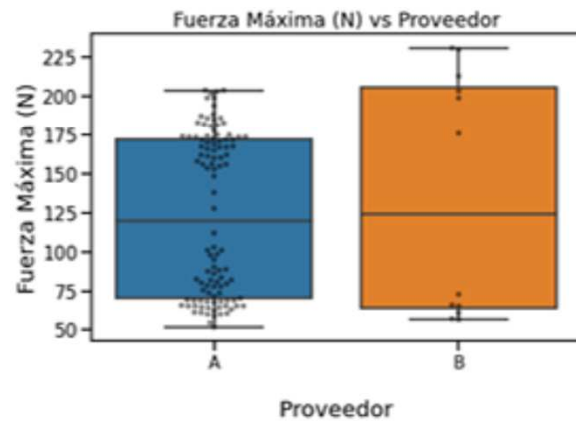
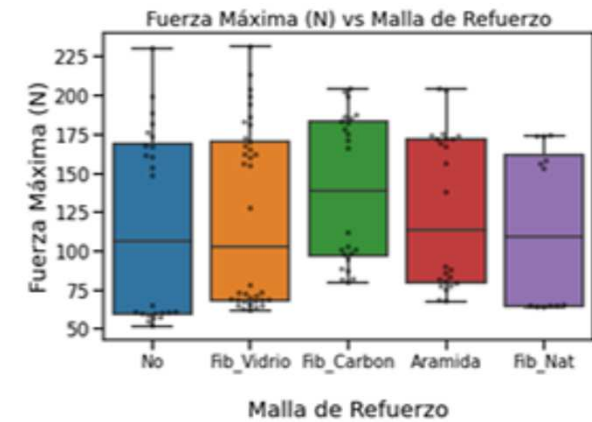
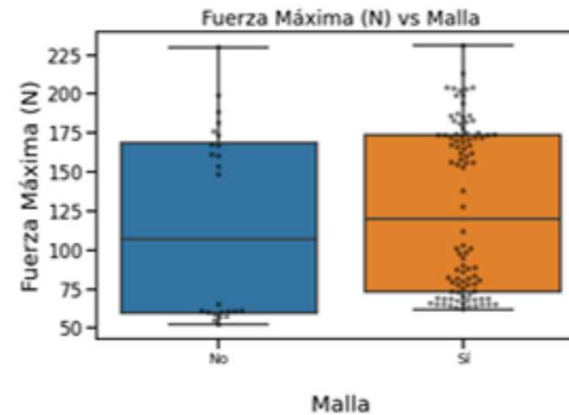
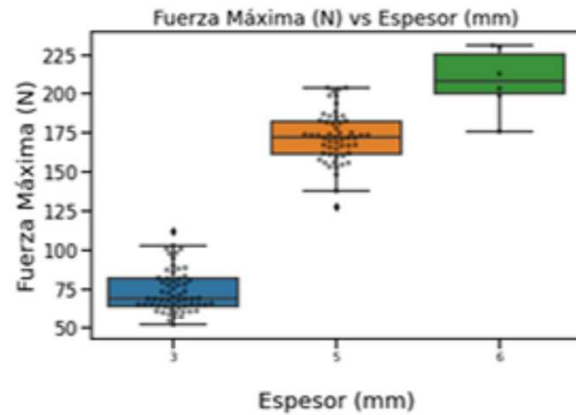


**Flexión**  
Formato 30x30 mm

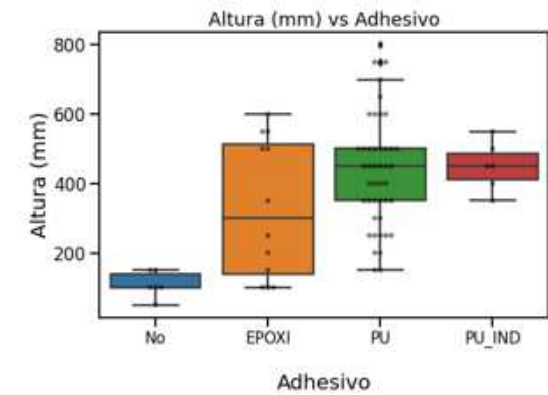
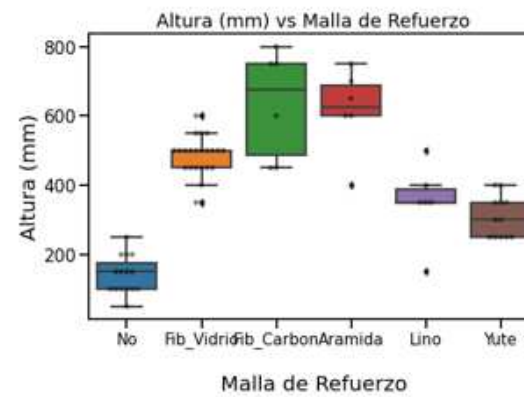
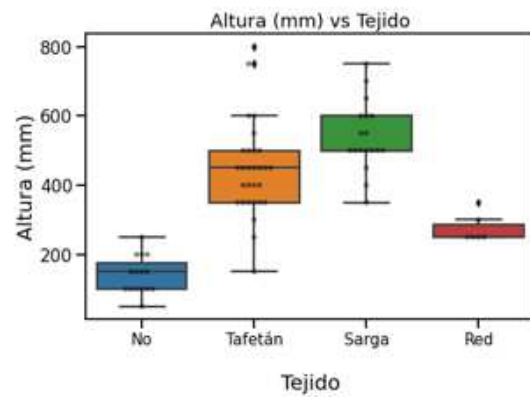
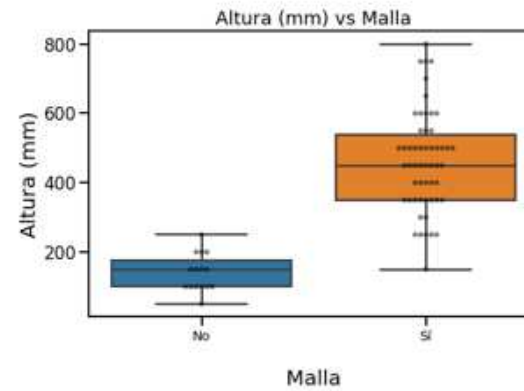
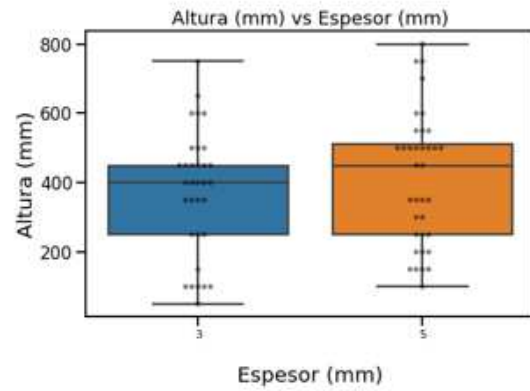


**Impacto**  
Formato 100x000 mm

## Diagramas Box-plot del ensayo de resistencia a flexión



## Diagramas Box-Plot del ensayo de resistencia a impacto



flexión



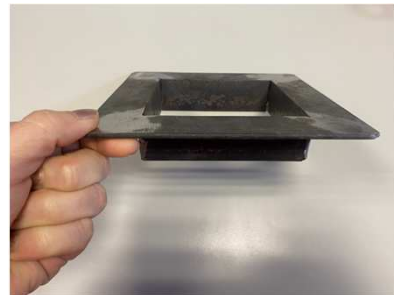
Diseño factorial completo.  
Análisis de varianza ANOVA

- El espesor es la variable relevante
- Láminas cerámicas de espesor 5 mm no mejoran significativamente su resistencia a la flexión mediante el uso de mallas de refuerzo.. Si se nota incidencia en láminas de espesor 3 mm. En este caso:
  - ✓ El material de refuerzo más favorable para incrementar la resistencia a la flexión de las láminas es la fibra de carbono.
  - ✓ El tejido Sarga parece el más favorable para incrementar la resistencia a la flexión de las láminas.
  - ✓ Los adhesivos no tienen un impacto estadísticamente significativo en la resistencia a la flexión de las láminas.

impacto



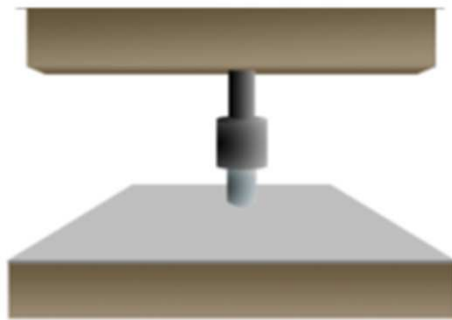
Diseño factorial fraccionado.  
Análisis de varianza ANOVA



- Piezas sin refuerzo:
  - ✓ El espesor influye significativamente.
- Piezas con refuerzo:
  - ✓ La presencia de malla incrementa la resistencia al impacto
  - ✓ Espesor: No se observan diferencias significativas derivadas del espesor
  - ✓ Tejido: La Sarga parece el mejor tejido posible para la lámina
  - ✓ Malla de refuerzo: La aramida, la fibra de carbono y la fibra de vidrio son las mejores mallas de refuerzo
  - ✓ Adhesivo: No se observan grandes diferencias en función del adhesivo



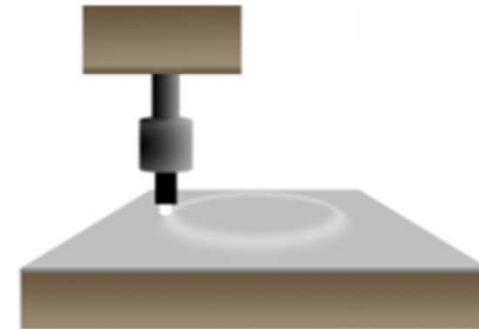
# EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ACTUALES Y DE LAS NUEVAS PROPUESTAS PARA EL USO COMO PAVIMENTO



CARGA CONCENTRADA  
PROGRESIVA



IMPACTO

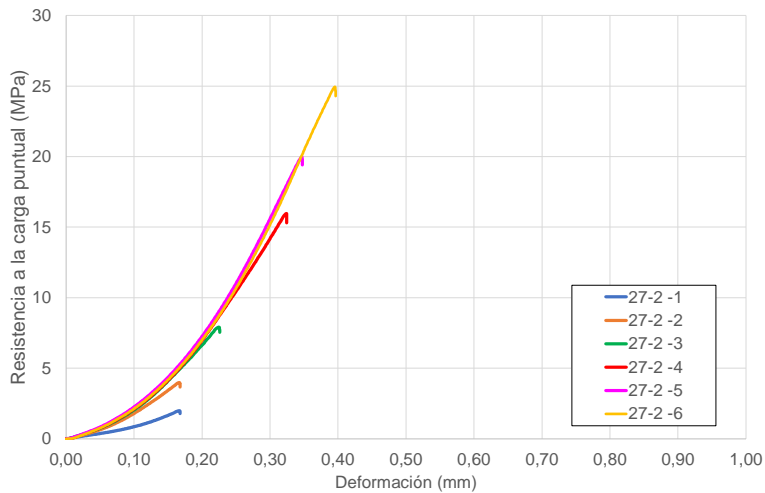
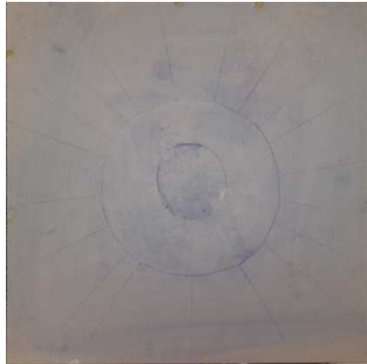


RODADURA

# USO COMO PAVIMENTO: CARGA CONCENTRADA PROGRESIVA



30X30



Sistema	6L con malla de refuerzo F. carbono	6L con malla de refuerzo F. de vidrio
Base deformable	4 Mpa sin defecto / 8 Mpa sin defecto	2,1 Mpa sin defecto

Base deformable: base 2cm + adh. cementoso

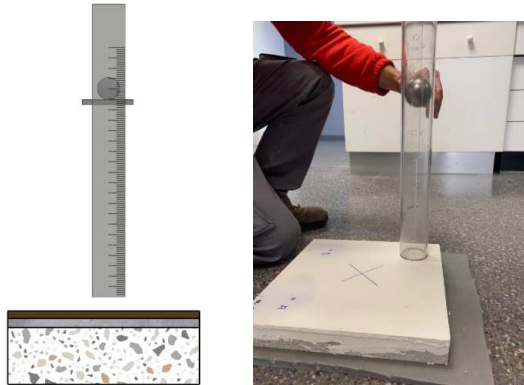
Sistema	6L con malla de refuerzo F. carbono	6L sin refuerzo	3L con malla de refuerzo F. carbono
Base rígida	25 MPa sin defecto (2)	25 MPa sin defecto (2) / 20 sin defecto (1)	16 MPa sin defecto / 4 MPa sin defecto

Base rígida: Hormigón 4cm + adh. cementoso

Se toma como valor de referencia para resistencia máxima a la compresión:

- **4 N/mm<sup>2</sup> (4 MPa)**, que se corresponde con una carga concentrada de 255 kg para **cargas ligeras**.
- **8 N/mm<sup>2</sup> (8 MPa)**, que se corresponde con una carga concentrada de 510 kg para **cargas medias**.

## USO COMO PAVIMENTO: IMPACTO

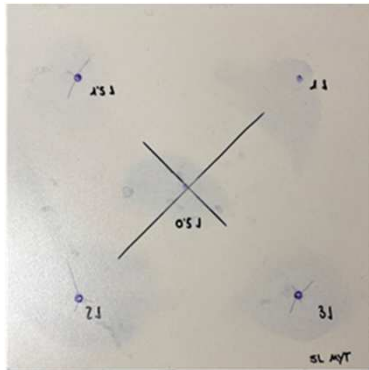


Sistema	Energía (J) que produce defecto $\leq$ nivel 3
3L MAS	1
3L MCT	1,5
5L MLT	2
5L MYT	1

Base rígida: Hormigón 4cm + adh. cementoso

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)

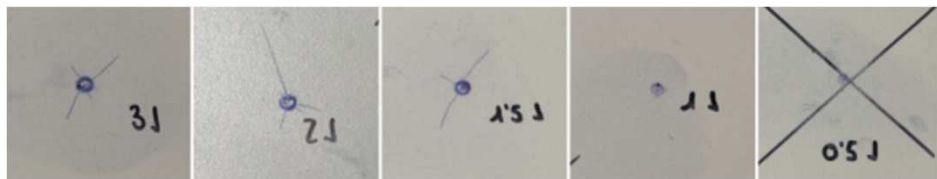
30X30



	6L con malla de refuerzo F. carbono	6L con malla de refuerzo industrial	6L con malla de refuerzo lino	6L sin malla de refuerzo
Energía con defecto $\leq$ nivel 3	3,5J (6/6)	3J (2/2)	2J (2/2)	3J (2/2)

Lámina de 6 mm

Base rígida: Hormigón 4cm + adh. cementoso



	Sin refuerzo	Refuerzo vidrio	F. Carbono	F.
Energía con defecto $\leq$ nivel 3	0.5J (2/2)	3J (2/4) 2J (4/5)	3J (7/8)	

Lámina de 6 mm

Base deformable: base 2cm + adh. cementoso

## USO COMO PAVIMENTO: CARGAS DINÁMICAS (RODADURA)



Piezas de 400x200 mm junta de 3 mm  
***Criterio de aceptación: deterioro en junta o superficie de las piezas <1 mm***



Sistema	3L sin refuerzo
Base deformable	No cumple

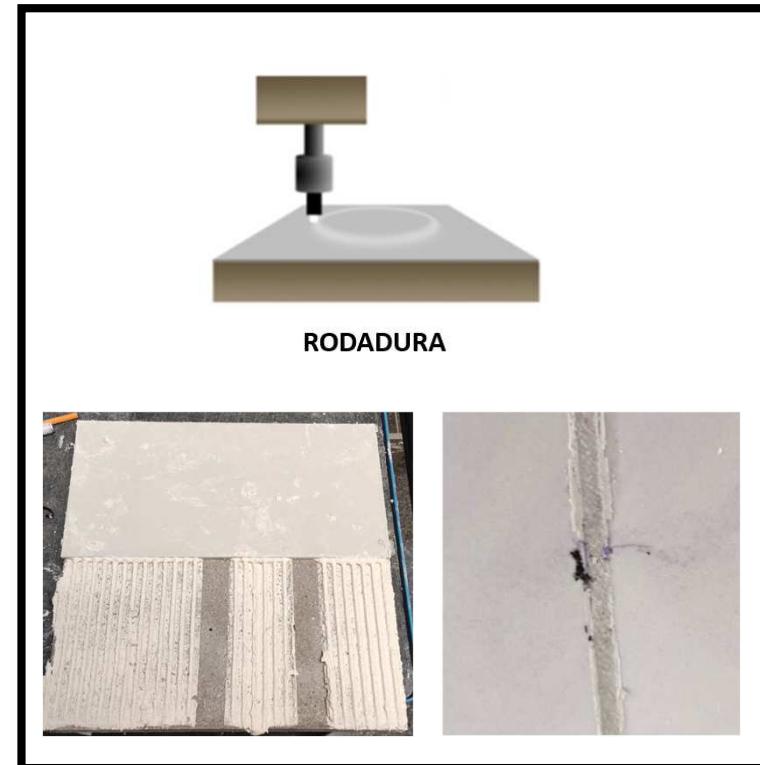
Sistema	3L sin refuerzo	3L con malla de refuerzo F. natural	3L con malla de refuerzo F. carbono
Base rígida	Cumple (junta ligeramente afectada)	Cumple (junta afectada)	Cumple

Ensayo basado en el método descrito en el anexo 5 del Cahier 3778 del Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

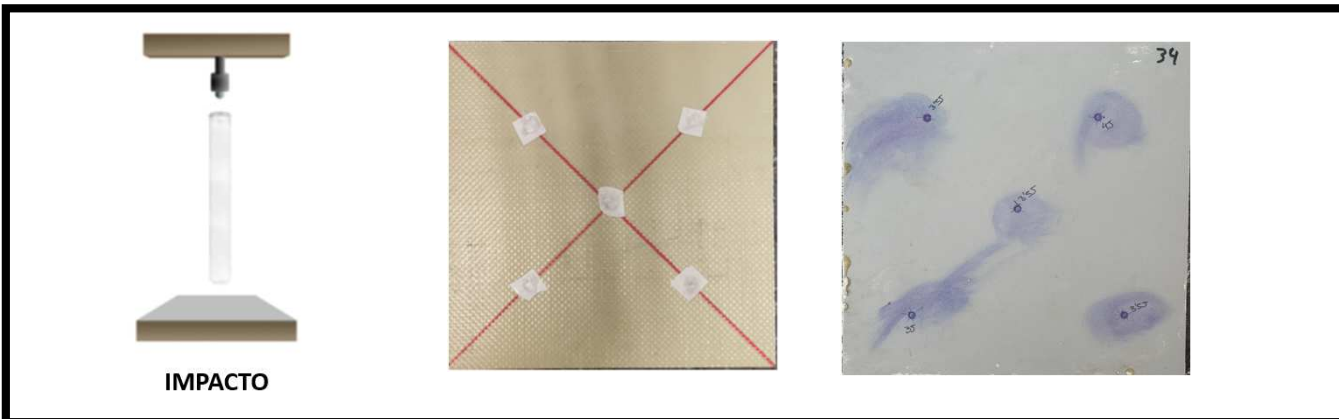
# EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ACTUALES Y DE LAS NUEVAS PROPUESTAS **FRENTE A UNA INSTALACIÓN DEFECTUOSA**



CARGA CONCENTRADA  
PROGRESIVA

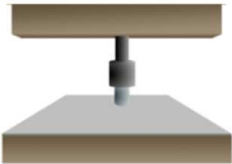


RODADURA




IMPACTO

# EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ACTUALES Y DE LAS NUEVAS PROPUESTAS **FRENTE A UNA INSTALACIÓN DEFECTUOSA**



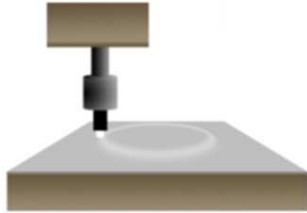
CARGA CONCENTRADA PROGRESIVA

	6L con malla de refuerzo F. carbono	6L con malla de refuerzo F. vidrio	6L sin refuerzo
Energía con defecto $\leq$ nivel 3	8 Mpa sin defecto / 25 Mpa sin defecto	8 Mpa sin defecto (2)	8 Mpa sin defecto / 20 Mpa sin defecto



IMPACTO

	6L con malla de refuerzo F. carbono	6L con malla de refuerzo F. vidrio	6L sin refuerzo
Energía con defecto $\leq$ nivel 3	3J (4/6)	3 J (1/2) 2,5 J (4/6)	3 J (2/4) 2,5 J (2/4)



RODADURA

Sistema	
6L con malla de refuerzo F. carbono	Cumple
6L con malla de refuerzo F. vidrio	Cumple (junta ligeramente afectada)
6L sin refuerzo	Cumple (junta afectada)

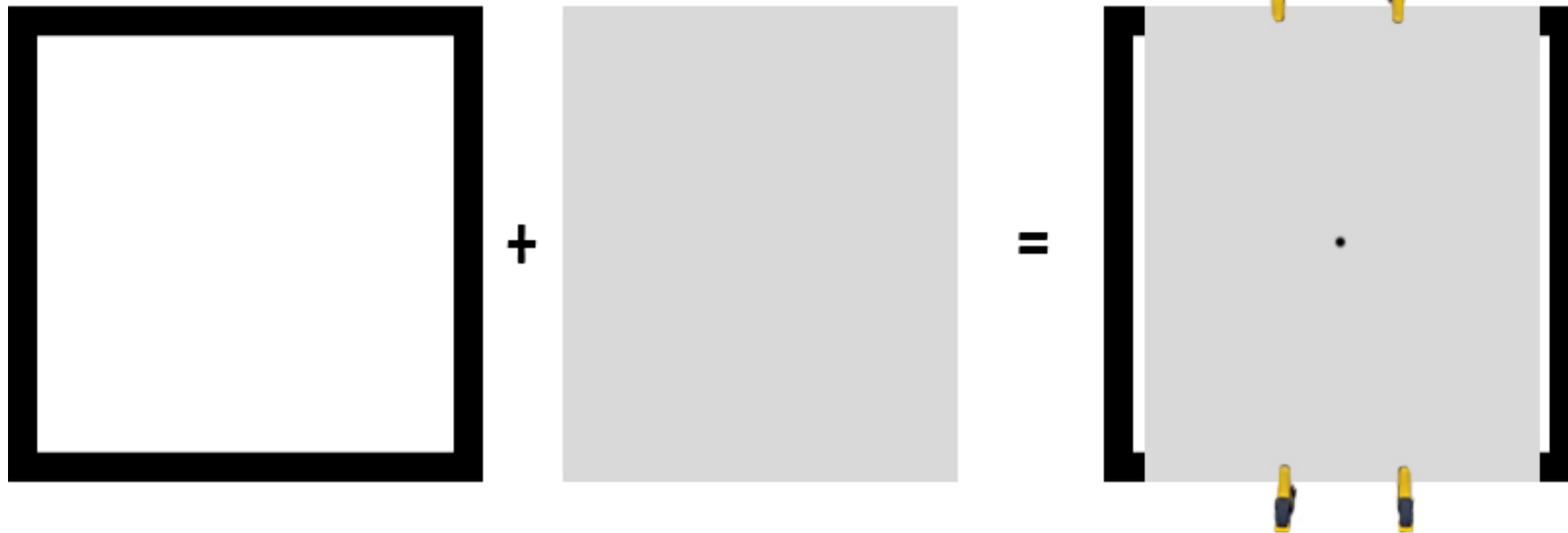
# Criterios de diseño para los sistemas de refuerzo de láminas cerámicas para el uso como pavimento

Lámina	Tipo de refuerzo	Soporte base rígida				Soporte base deformable		
		Uso particular	Uso público cargas ligeras	Uso público cargas medias	Instalación defectuosa	Uso particular	Uso público cargas ligeras	Uso público cargas medias
3	Sin refuerzo / Con cualquier tipo	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
6	Sin refuerzo	✓	✗	✗	⚡	✗	✗	✗
	Malla de materiales naturales	⚡	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Malla de fibra de vidrio (estándar)	✓	✓	⚡	⚡	✗	✗	✗
	Malla de materiales sintéticos de altas prestaciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	⚡

Leyenda:

- ✓ Bajo riesgo de aparición de patologías asociadas al comportamiento mecánico de la lámina cerámica
- ⚡ Riesgo de aparición de patologías asociadas al comportamiento mecánico de la lámina cerámica
- ✗ Alto riesgo de aparición de patologías asociadas al comportamiento mecánico de la lámina cerámica

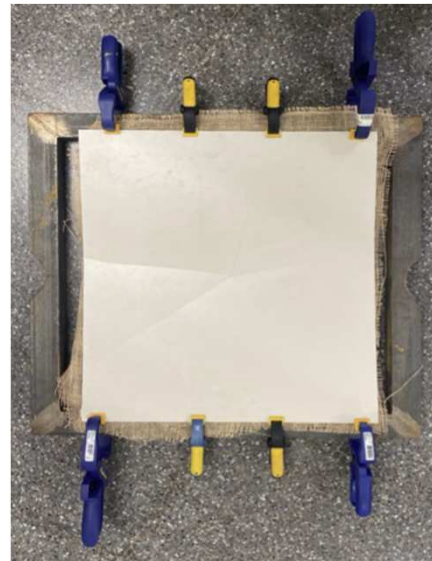
# EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ACTUALES Y DE LAS NUEVAS PROPUESTAS PARA EL USO COMO **FACHADA VENTILADA**



IMPACTO

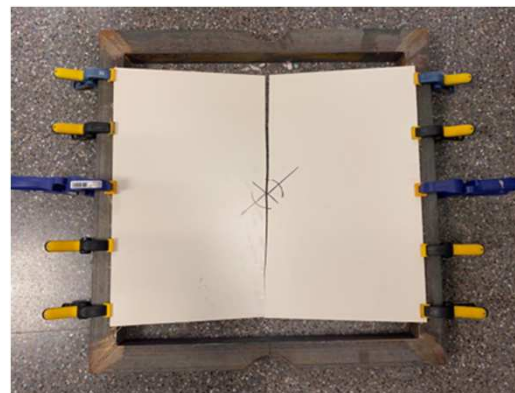


## USO COMO FACHADA VENTILADA: IMPACTO



Cumple

**Criterio de aceptación:** E impacto desde 3J hasta 14J, la lámina rompe, pero la red de refuerzo la retiene.



No cumple

Yute red  
Poliuretano

# USO COMO FACHADA VENTILADA: IMPACTO

Cumple



Yute red

Hilo silicona



Paraaramida

Poliuretano



Lana Sarga

Poliuretano



Lino tejido

Poliuretano



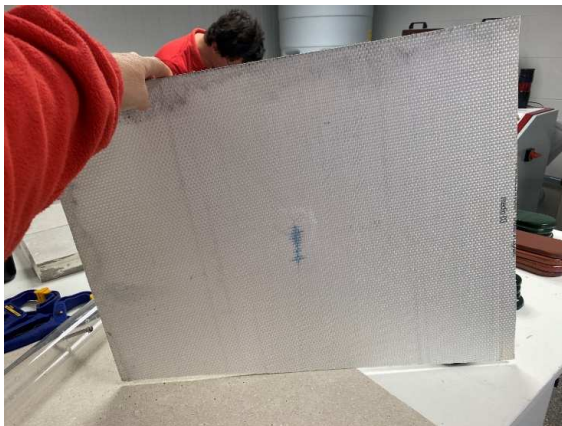
Yute tejido

Poliuretano



PES

Poliuretano



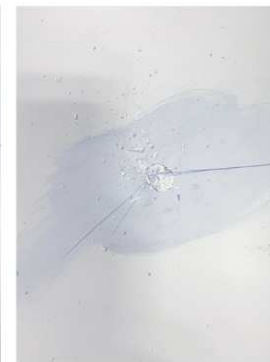
3J



4J



6J



7J



14J

# HARDLAM



Optimización de los elementos de refuerzo en lámina cerámica

