

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN CON ADICIÓN DE FIBRAS DE CFRP RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO

## COMPARISON OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE CONTAINING RECYCLED CFRP FIBERS AND POLYPROPYLENE FIBERS

María Isabel Prieto-Barrio<sup>1</sup>, María de las Nieves González-García<sup>2</sup>, Alfonso Cobo-Escamilla<sup>1</sup>, David Alonso-Redondo<sup>3</sup>

Dpto. Tecnología de la Edificación/ Universidad Politécnica de Madrid<sup>1</sup>; Dpto. Construcciones Arquitectónicas y su Control/ Universidad Politécnica de Madrid<sup>2</sup>; Ekora Rehabilitación<sup>3</sup>

### RESUMEN

La incorporación de fibras naturales o recicladas en el hormigón representa un campo de mejora a nivel estructural y hacia la sostenibilidad. El objetivo de esta investigación es determinar si la adición de fibras de carbono reciclado (CFRP), endurecidas con resina epoxi, mejora el comportamiento del hormigón y si su desempeño es comparable al obtenido con adición de fibras de polipropileno. Se ensayaron 120 probetas, a compresión, flexión e impacto, que contenían fibras de CFRP recicladas o fibras de polipropileno. Los resultados muestran que la adición de fibras mejora sustancialmente la ductilidad del hormigón. Los hormigones que contienen fibras de CFRP recicladas en cantidades de 3 kg/m<sup>3</sup> y 6 kg/m<sup>3</sup> obtienen mejores comportamientos a flexión e impacto que los hormigones con las mismas cantidades de fibras de polipropileno, haciendo viable esta alternativa de reciclaje para las fibras de CFRP.

### ABSTRACT

The incorporation of natural or recycled fibers in concrete represents a field of improvement at a structural level and towards sustainability. The objective of this research is to determine whether the addition of recycled carbon fibers (CFRP), hardened using epoxy resin, improves the behavior of concrete and whether its performance is comparable to that achieved by adding polypropylene fibers. In this research, 120 specimens were tested by compression, flexion and impact, containing recycled CFRP fibers or polypropylene fibers. The results show that the addition of fibers substantially improves the ductility of the concrete. The concretes containing recycled CFRP fibers in quantities of 3 kg/m<sup>3</sup> and 6 kg/m<sup>3</sup> obtain better flexural and impact behaviors than concretes featuring the same amounts of polypropylene fibers, making this recycling alternative viable for CFRP fibers.

**PALABRAS CLAVE:** Fibras CFRP recicladas, Fibras de Polipropileno, Hormigón, Flexión, Impacto;

**KEYWORDS:** Recycled CFRP fibers, Polypropylene Fibers, Concrete, Compression, Flexural, Impact

**OBJETIVO:** El objetivo de esta investigación es determinar si la adición de fibras de CFRP recicladas, que han sido endurecidas con resina epoxi, mejora el comportamiento del hormigón y si sus propiedades son comparables a las que se logran con la adición de fibras de polipropileno, lo que resultaría en una alternativa viable de reciclaje para este tipo de residuos.

**OBJECTIVE:** The objective of this research is to determine whether the addition of recycled CFRP fibers, which have been hardened using epoxy resin, improves the behavior of concrete and whether its properties are comparable to those achieved by adding polypropylene fibers, which would result in a viable recycling alternative for this type of waste.

**MATERIALES AND MÉTODO:** Los materiales empleados para la realización de la presente investigación son:

Cemento CEM II/B-L 32.5 N cement, árido fino silíceo lavado de tamaño de 0–4 mm, árido grueso silíceo lavado de tamaño 4–12 mm, agua potable del Canal de Isabel II de Madrid, superplasticante MasterGlenium SKY 604, con adición de un 0.7% en peso de cemento, macrofibra de polipropileno (SikaFiber T-48) y fibras recicladas de CFRP extraídas de elementos madera de 80 mm x 155 mm x 1000 mm, empleadas como refuerzo flexión en forma de "U". Para poder evaluar el comportamiento del hormigón, se realizaron 5 amasadas (c/a/g/w=1/2/3,6/0,5): una amasada de referencia y cuatro amasadas que contienen fibras de polipropileno o fibras de carbono recicladas en cantidades de 3 kg/m<sup>3</sup> y 6 kg/m<sup>3</sup>.

Table 1. Characteristics of the fibers used

Materiales/Materials	Características/Characteristics
Fibra de CFRP reciclada bidireccional Two-way CFRP fabric (0°/90°)	Gramaje/Grade 160 ± 5% (g/m <sup>2</sup> ) Longitud/Length 48mm Espesor/Thickness 0.04mm Ancho/Width 2 mm Módulo de elasticidad/Modulus of elasticity 208,590N/mm <sup>2</sup> Resistencia a tracción/Tensile strength 4757N/mm <sup>2</sup>
Fibras de polipropileno Polypropylene fibers	Densidad/Density 0.91 kg/l (+20°C) Cantidad/Quantity (units/kg) 102 million Longitud/Length 48mm Diámetro equivalente/Equivalent diameter 0.93 mm Eslbelitz/Slenderness ratio 51.61 Resistencia a tracción/Tensile strength 400N/mm <sup>2</sup> Módulo de elasticidad/Modulus of elasticity 6.2N/mm <sup>2</sup> Punto de fusión/Melting point 170°C

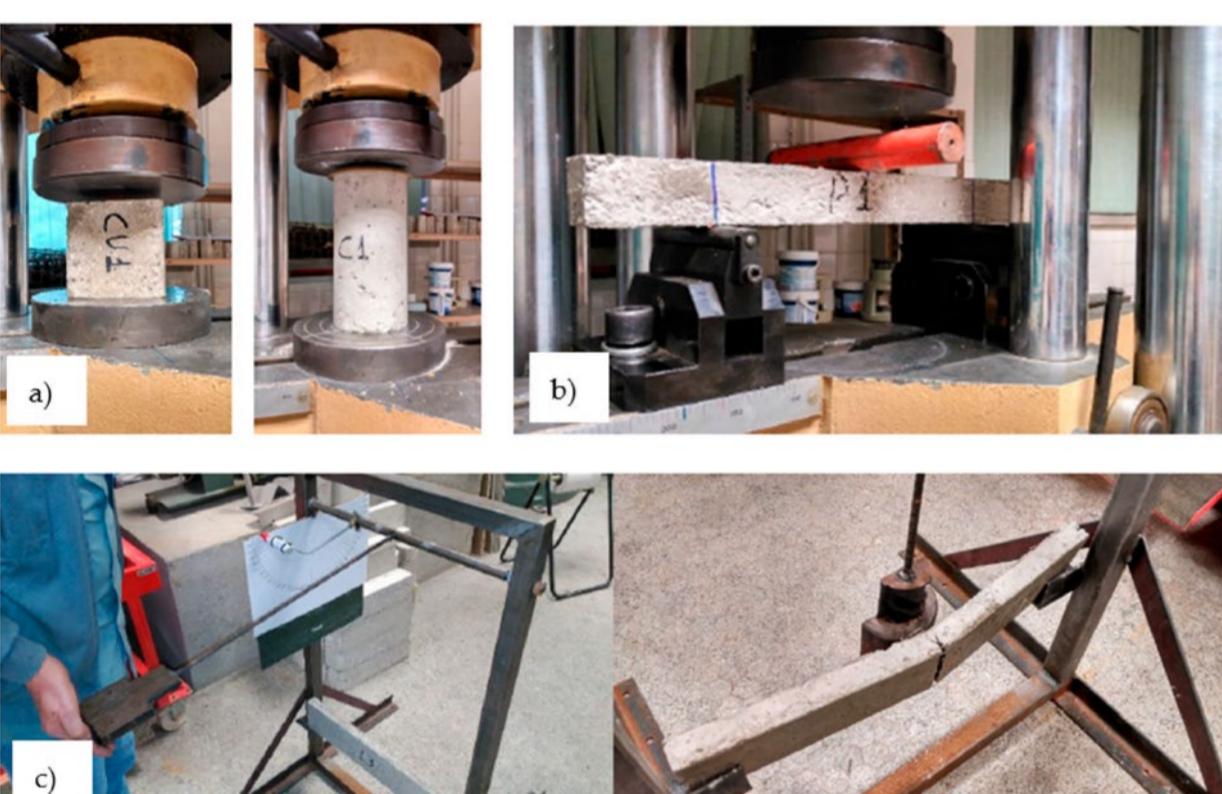


Figura 2. Ensayos realizados: (a) compresión; (b) flexión; (c) impacto.

Figure 2. Tests performed: (a) compression; (b) flexural; and (c) impact.



Figura 1. Fibras de polipropileno y fibras de CFRP recicladas.

Figure 1. Polypropylene fibers and recycled carbon fibers.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** Según se puede observar en las figuras 3 y 4, la adición de fibras no mejora sus características, pero la pérdida de resistencia que experimenta la adición de fibras de carbono recicladas es compatible con los requisitos del hormigón. En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, donde se puede observar que la adición de fibras al hormigón mejora su ductilidad, obteniendo el mejor rendimiento de las probetas que contienen 3 kg/m<sup>3</sup> de fibra de carbono reciclada. Según se puede observar en la figura 6, el mejor rendimiento a impacto se logra con el hormigón que contiene 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra de carbono reciclada, que presenta una que presenta una mejora del 45,68%.

**RESULTS AND DISCUSSION:** As can be seen in Figures 3 and 4, the addition of fibers does not improve its characteristics in compression, but the loss of strength experienced by the addition of recycled carbon fibers is compatible with the requirements of the concrete. Figure 5 shows the results obtained in the flexural tests, where it can be observed that the addition of fibers to concrete improves its ductility, obtaining the best performance from the specimens containing 3 kg/m<sup>3</sup> of recycled carbon fiber. As can be seen in figure 6, the best impact performance is achieved with concrete that contains 6 kg/m<sup>3</sup> of recycled carbon fiber, which presents an improvement of 45.68%.

### CONCLUSIONES

- A pesar de presentar un peor comportamiento a compresión que los hormigones sin adiciones, los hormigones con adición de fibras de CFRP reciclado no difieren en gran medida de los hormigones con fibras de polipropileno, alcanzando unas resistencias superiores a los 25N/mm<sup>2</sup>, lo que los hace viables para su uso en edificación.
- Los ensayos a flexión ofrecen unos resultados muy esperanzadores para las fibras de carbono recicladas, obteniéndose los mejores resultados en resistencias máximas y buenos resultados en resistencias residuales con un número mínimo de fibras actuando en la zona de rotura.
- Los resultados a impacto en hormigones con fibras de CFRP recicladas, presentaron una gran homogeneidad, además de mejorar sustancialmente la capacidad de absorción de energía respecto a los hormigones convencionales y con fibras de polipropileno.
- Los resultados obtenidos han mostrado el buen comportamiento de estas fibras a pesar de su reducido número en la zona de rotura de algunas de las probetas ensayadas. Consiguiendo una mayor cantidad de fibras en las zonas de mayores tensiones, mediante la reducción de su tamaño o con mayor cantidad de fibras por m<sup>3</sup>, se podría aumentar el potencial que estas fibras.
- Por todo lo anterior se puede concluir que las fibras de CFRP recicladas en cantidades de 3 kg/m<sup>3</sup> y 6 kg/m<sup>3</sup> suponen una alternativa al empleo de fibras de polipropileno, lo que supone un avance desde el punto de vista mecánico y medioambiental.

### CONCLUSIONS

- Despite displaying worse compressive behavior than concretes without added fibers, those containing recycled carbon fibers do not differ greatly from concretes containing polypropylene fibers, achieving strengths of more than 25 N/mm<sup>2</sup> and thus making them viable for use in building construction.
- The flexural tests offered encouraging results for recycled carbon fibers, as these obtained the best results for maximum strengths and good results for residual strengths, with a minimum number of fibers present in the region of rupture.
- The impact resistance test results for concretes containing recycled carbon fibers displayed great uniformity in addition to substantially improving the energy absorption capacity when compared to conventional concretes and those containing polypropylene fibers.
- The results obtained have revealed the good performance of these fibers despite their reduced number in the region of rupture of some of the specimens. Ensuring a larger quantity of fibers in the areas experiencing greater strain by reducing their size or adding a larger amount of fibers per m<sup>3</sup> makes it possible to increase the potential that these fibers can offer.
- For all these reasons, it may be concluded that recycled CFRP fibers in quantities of 3 kg/m<sup>3</sup> and 6 kg/m<sup>3</sup> represent an alternative to the use of polypropylene fibers, which constitutes progress from both a mechanical and an environmental point of view.

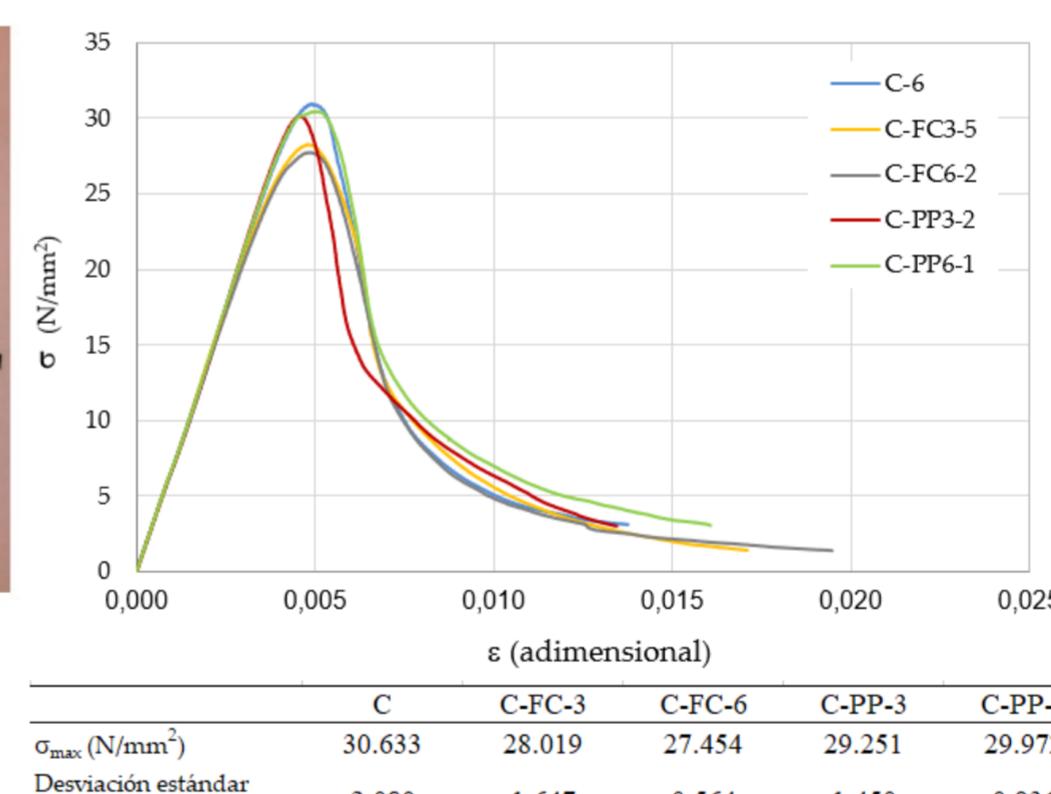


Figura 3. Gráfica tensión-deformación del ensayo a compresión en probetas cilíndricas.

Figure 3. Strength-strain graph from the compression tests on the cylindrical specimens.

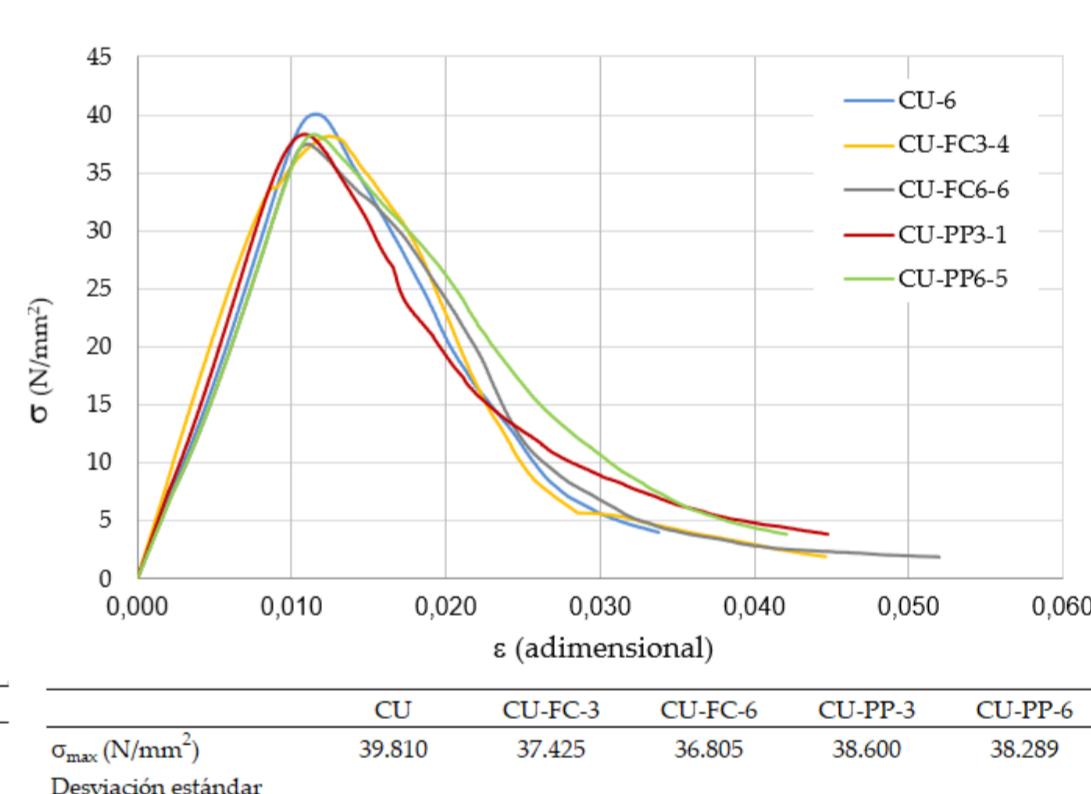


Figura 4. Gráfica tensión-deformación del ensayo a compresión en probetas cúbicas.

Figure 4. Strength-strain graph from the compression tests on the cubic specimens.

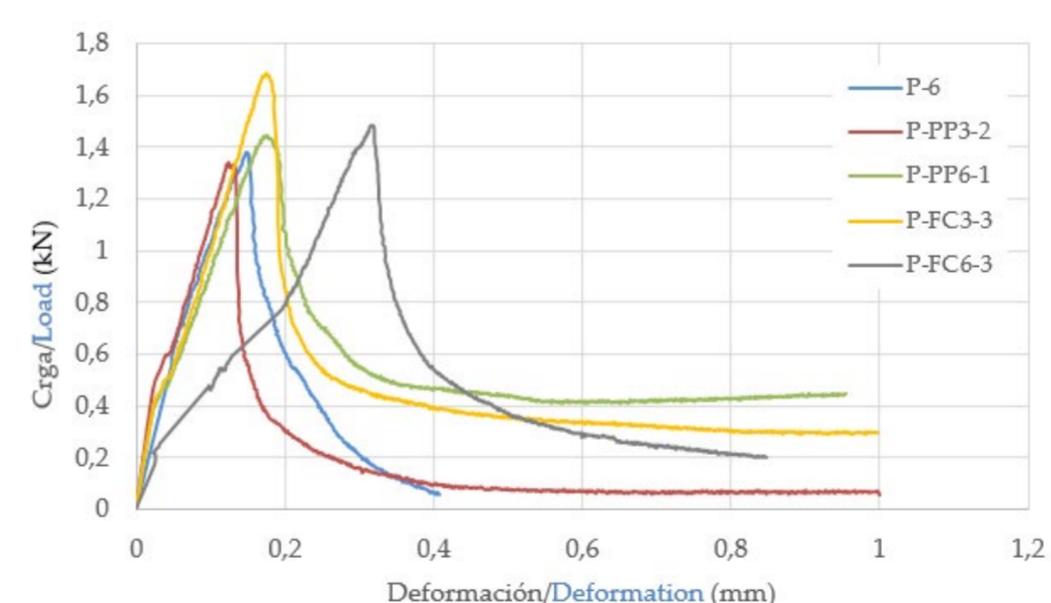


Figura 5. Gráfica carga-deformación del ensayo a flexión. Figura 5. Load-deformation graph from the flexural tests.

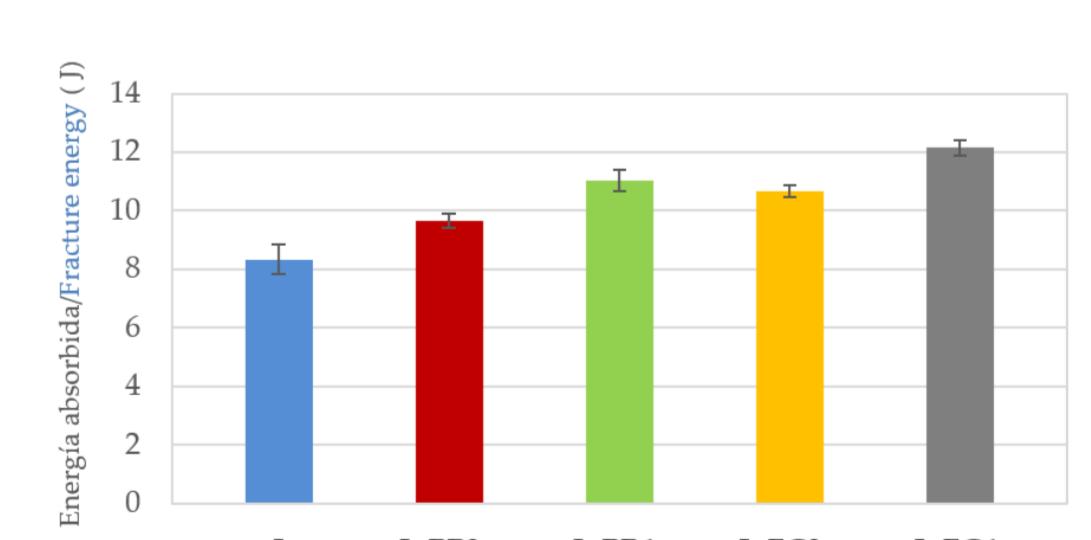


Figura 6. Valores medios de la energía absorbida en el ensayo a impacto.

Figure 6. Mean values for the fracture energy in the impact testing.