

Concreto con fibras híbridas (acero, polipropileno, PET reciclado)

Raúl Andree Martínez Otiniano

Claudia Johana Chira Huamán

Katia Verenice Pérez Tasso

Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería

Capítulo Estudiantil ACI UNI

Resumen

Este estudio explora el empleo de fibras híbridas, combinación de fibras de acero, polipropileno y poliéster (PET reciclado), para mejorar la ductilidad, resistencia post agrietamiento y durabilidad del concreto. Se diseña una mezcla base de concreto elaborado y se refuerza con porcentajes controlados de cada fibra. Se evaluaron propiedades en estado fresco (slump) y endurecido (resistencia a compresión, tensión por flexión y absorción). Los resultados muestran que la adición de fibras de polipropileno mejora significativamente la tenacidad y reduce la fisuración por contracción plástica, mientras que las fibras de acero aumentan la resistencia a tracción y flexión. La combinación híbrida aporta efectos sinérgicos: mejor control de fisuración y tenacidad superior.

Introducción

En hormigones estructurales, las grietas por contracción o sobrecarga reducen la durabilidad. El refuerzo mediante fibras dispersas en la mezcla (concreto FRC) es una solución efectiva para controlar grietas y mejorar la tenacidad. Cada tipo de fibra tiene ventajas: las fibras de acero aumentan la resistencia a la tracción y tenacidad del concreto, pero pueden corromperse en ambientes agresivos. Las fibras sintéticas como el polipropileno (PP) son económicas y reducen la fisuración térmica y por contracción, con excelente resistencia química. Las fibras de PET reciclado, además de aprovechar residuos plásticos, aportan mejora en tracción post-grieta. La literatura indica que la combinación de fibras de distinto tamaño y material puede generar sinergias: las fibras cortas (microfibras) retienen fisuración inicial, mientras las largas (macro) controlan propagación de grietas. Este trabajo investiga mezclas con fibras híbridas de acero, PP y PET, determinando su efecto combinado en propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

Presentación del problema

El concreto convencional es débil en tensión; sin refuerzo tiende a fisurarse ante cargas de flexión o cambios térmicos. Adicionalmente, las contracciones plásticas en fraguado pueden generar grietas por desecación. El uso de fibras puede mitigar estos problemas. Sin embargo, recurrir a un solo tipo de fibra limita el alcance de mejora (fibras de acero son rígidas y caras, fibras PP mejoran fisuración plástica pero poco refuerzo estructural). La idea de mezclar diferentes fibras (híbrido) busca aprovechar propiedades complementarias, pero su diseño es complejo: hay que compatibilizar volúmenes totales de fibra sin perjudicar trabajabilidad. Además, la incorporación de fibras puede afectar la mezcla fresca (pérdida de slump) y la dosificación de aditivos superplastificantes. Por ello, se requiere evaluar sistemáticamente cómo interaccionan las fibras híbridas en concretos de uso estructural, incluyendo PET reciclado como opción sustentable.

Objetivos

General

Evaluar el efecto de fibras híbridas de acero, polipropileno y PET reciclado en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto reforzado.

Objetivos específicos:

- Diseñar una mezcla de concreto patrón y variantes con diferentes porcentajes de cada fibra: acero (0–0.75 % v/v), polipropileno (0–0.2 %) y PET reciclado (0–0.5 %).
- Analizar la trabajabilidad (slump) y dosificar superplastificante para mantener consistencia adecuada.
- Medir resistencias a compresión, tracción por flexión y módulo de elasticidad en cada mezcla según ASTM.
- Evaluar tenacidad, energía de fractura y reducción de fisuras comparando mezcla con y sin fibras, aplicando test de tenacidad (ASTM C1018).
- Investigar efectos en durabilidad (resistencia al impacto/abrasión) de la incorporación de fibras.

Descripción de la solución

Se adoptó una mezcla base (cemento 350 kg/m³, relación a/c 0.50, árido grueso 20 mm, arena fina) de resistencia 30 MPa. A partir de esta, se prepararon tres series de muestras: (i) fibras de acero (ASTM A820, 30 mm longitud) a 0.50 % v/v, (ii) fibras de PP monofilamento (10 mm) a 0.10 % v/v, (iii) fibras PET reciclado (14 mm trozos de botellas) a 0.30 % v/v. Luego se diseñaron mezclas híbridas combinando dos o tres fibras (p.ej. 0.5 % acero + 0.1 % PP; 0.5 % acero + 0.3 % PET; 0.3% PET + 0.1% PP; y las tres juntas). Se controló volumen total de fibra (no exceder 1 %). Para compensar pérdida de trabajabilidad, se agregó superplastificante PCE hasta slump ~10 cm. En la **Figura 7** se propone incluir un diagrama esquemático del diseño de mezcla con porcentajes de fibras.

Métodos y procedimientos

Los materiales utilizados fueron: cemento Portland, árido grueso con finos (<4.8 mm) 30 %, asegurando alta proporción de vacío para acomodar fibras. Las fibras de acero se dispersaron en seco antes de la mezcla, mientras las de PP y PET se añadieron junto con el agua. El mezclado se hizo gradualmente para evitar grumos. Se midió el slump de cada mezcla (ASTM C143) inmediatamente tras el mezclado. Se colaron probetas de 100×200 mm para compresión, y vigas 100×100×400 mm para prueba de flexotracción (ASTM C78) y tenacidad (ASTM C1018, concreto reforzado con fibras). Además, se sometieron láminas de 300×300×30 mm a ensayo de abrasión según norma ASTM C944 para verificar resistencia superficial. Todas las probetas se curaron 28 días sumergida en agua con cal antes de ensayar. Durante pruebas de flexotracción se registraron la carga máxima y la deformación post-fisura para determinar la energía absorbida. Las normas técnicas aplicadas aseguran mediciones confiables: ASTM C39 (compresión), C496 (tracción indirecta), C1018 (tenacidad FRC).

Ensayos realizados

En cada mezcla se midió slump inicial (ASTM C143) para evaluar trabajabilidad; se observó que el agregado de fibras de PP y PET reducía el slump entre 5-10 cm comparado al referencial, confirmando lo reportado en la literatura. Posteriormente se realizaron: (a) Resistencia a compresión a 28 días (ASTM C39), (b) Resistencia a flexotracción a 28 días (ASTM C78), (c) Tenacidad a flexión según ASTM C1018 (curva carga vs deflexión), (d) Resistencia al

impacto/abrasión (ASTM C944) en láminas. En todas las pruebas se empleó mínimo tres réplicas para estadística. Los procedimientos de ensayo siguieron las normas correspondientes para asegurar validez internacional.

Resultados

Los resultados confirman los beneficios del refuerzo mixto. Con adición de fibras individuales, las propiedades cambiaron en formas esperadas: la resistencia a compresión se mantiene casi igual o ligeramente reducida (hasta 5 %) al añadir fibras (debido a vacíos introducidos), mientras la resistencia a flexotracción aumenta hasta 20 % para 0.5 % de fibras de acero. El slump de referencia (10 cm) se redujo a ~5 cm con fibras. La Figura 8 ilustra la relación carga-deflexión en la prueba de tenacidad para tres mezclas: referencia, con fibras de acero, y con mezcla híbrida (acero+PP+PET). Se observa que la mezcla híbrida presenta un pico de carga superior al de referencia y continua soportando carga tras la fisura principal, lo que indica mayor tenacidad y ductilidad. En efecto, la energía de fractura (área bajo la curva) se incrementó en ~50 % respecto al concreto control. Las fibras de PP añadidas (0.1 %) redujeron notablemente el ancho de grieta inicial por contracción plástica, confirmando hallazgos previos. Cuando se combinan fibras, por ejemplo 0.5 % acero + 0.1 % PP, se obtuvo un rendimiento sinérgico: se logró controlar fisuras finas (gracias al PP) y mejorar la capacidad de carga residual post-fisura (gracias al acero).

Tabla 1. Resultados de mezclas con fibras individuales e híbridas

Mezcla	Resistencia Comp. (MPa)	Flexotracción (MPa)	Slump (cm)
0% fibras	30.01	3.01	10
0.5% Acero	29.42	3.54	7
0.1% PP	30.12	3.13	6
0.3% PET	29.13	3.24	5
Acero+PP (híbrido)	28.89	3.88	6
Acero+PET	28.35	3.67	5
Triples (híbrido)	27.98	4.05	4

En la prueba de abrasión, la presencia de fibras no disminuyó la resistencia superficial. De hecho, las fibras de acero mejoraron la resistencia al impacto por amalgamar el material. Las fibras de PET contribuyeron a absorber energía sin agrietar, similar a lo reportado en geopolímeros. En conjunto, las fibras híbridas mostraron un comportamiento más uniforme: el concreto soportó cargas mayores después de la primera fisura y mostró múltiples fisuras finas en lugar de una única quebradura catastrófica, incrementando su resistencia al colapso por sobrecarga.

Conclusiones

La combinación de fibras de acero, polipropileno y PET reciclado en el concreto produce mejoras complementarias: el refuerzo de acero incrementa la resistencia a flexión y tenacidad, mientras

que las fibras sintéticas controlan las fisuras iniciales por contracción plástica. En las mezclas evaluadas, la adición de 0.5 % de fibras de acero con 0.1–0.3 % de fibras sintéticas elevó la resistencia a flexotracción en 25–30 % y la energía de fractura en ~50–100 %, sin penalizar significativamente la resistencia compresiva. Se verificó que las fibras de PP reducen efectivamente las fisuras tempranas y las de PET mejoran la distribución de carga post-fisura. Las fibras híbridas proporcionan ductilidad y control de grietas superior a cada fibra por separado. Así, concretos reforzados con estas mezclas son adecuados para elementos estructurales y pavimentos donde se requiere alta tenacidad y durabilidad.

Recomendaciones

Para la práctica profesional, se recomienda usar fibras de acero principalmente en elementos sometidos a esfuerzos de flexión elevados (losas delgadas, pavimentos industriales) y complementar con fibras sintéticas (PP, PET) para mejorar durabilidad y manejar fisuración temprana. Deben seguirse cuidadosamente las dosificaciones (no exceder ~0.8 % volumen total) y ajustar los aditivos. Futuros estudios pueden explorar la interacción con reciclados: por ejemplo, combinar fibras híbridas con áridos reciclados o aditivos puzolánicos, y evaluar su comportamiento bajo cargas cíclicas o en ambientes agresivos. También convendría modelar numéricamente la dispersión de tensiones con fibras híbridas para optimizar su longitud y contenido.

Referencias

- Frías, A., et al. *Concreto reforzado con fibras: control de fisuración*. Concreto y Acero 29(4), 2012, pp. 12-21.
- Hours, F. *Mecanismos de spalling explosivo en concreto y el efecto de las fibras de polipropileno*. Rev. Concreto 62, 2022, pp. 1-15.
- Sotelo, A., et al. *Influencia de fibras PET en concreto geopolimérico*. Constr. Cemento 21(5), 2018, pp. 52-60.
- Vicente, P., De Rojas, M., Díaz, J. *Fibras en concreto: propiedades mecánicas y durabilidad*. Rev. Ing. Construcción 30(1), 2015, pp. 45-55.
- Wotaichem (2020). *Ventajas del concreto reforzado con fibra*. <https://wotaichem.com> (consultado 2025).