

Introducción

En los pavimentos, la alta temperatura combinada con una elevada velocidad del viento y baja humedad, generan condiciones críticas para el desarrollo de la fisuración por contracción plástica. Estas fisuras pueden aumentar el riesgo de agrietamiento por contracción por secado, o acelerar el ingreso de agentes nocivos y afectar la durabilidad, la capacidad de servicio y la estética del pavimento. Entre las soluciones a este problema aparece la incorporación de microfibras poliméricas. Las fibras largas adicionalmente transfieren esfuerzos en el hormigón endurecido al ejercer un efecto de costura de las fisuras. Las principales limitaciones de las fibras sintéticas son el costo y su contribución a las emisiones de CO₂, las que podrían reducirse empleando fibras naturales adecuadas. Entre las fibras naturales más empleadas en ingeniería civil aparecen fibras largas de coco, yute y sisal.

En el Indian Institute of Technology de Madras (IITM) se estudiaron hormigones con fibras de coco cortas; se encontró que pueden reducir la trabajabilidad, controlar la exudación, disminuir el asentamiento plástico, el alabeo de las losas y controlar la contracción plástica. Sin embargo, en algunos casos los hormigones mostraron reducciones en la resistencia a compresión con respecto a las mezclas sin fibras. Como parte de un programa de cooperación con el IITM, se estudiaron hormigones para pavimentos cuando se incorporan en la matriz distintas dosis de fibras de coco de distinta longitud. Como referencia también se evaluó el hormigón sin fibras y otro que incorpora una dosis típica de microfibras sintéticas de amplio uso. Este trabajo analiza el comportamiento en estado endurecido incluyendo la respuesta estática y especialmente el desempeño frente a impactos repetidos de baja velocidad.

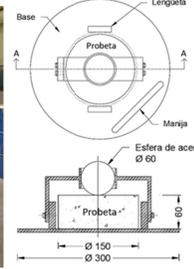


Campaña experimental

Estado fresco	Estado endurecido
Asentamiento (As)	Compresión
Numero de golpes Remoldeo de Powers (NP)	Resistencia (f_c)
Contenido de aire	Módulo de elasticidad (E)
Peso unitario (PUV)	Flexión estática EN14651
Capacidad (C), velocidad (V) y duración (D) de la exudación	Tensión de primera fisura (f_l)
	Tensión residual a 0,5 y 2,5 mm de abertura de fisura (f_{R1} y f_{R3})
	Impacto
	GIL*
	ACI-544

Ensayos de impacto

ACI-544

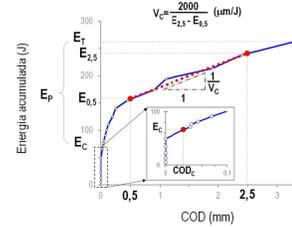


- ▶ Marillo Proctor ($m=4,54$ kg)
- ▶ Discos moldeados 150×60 mm
- ▶ Caída gravitatoria ($h=457$ mm)
- ▶ Impactos repetidos
- ▶ Alturas fijas (2 Fases)

GIL*



- ▶ Masa de proyectil $m=5$ kg
- ▶ Prismas $75 \times 105 \times 160$ mm
- ▶ Entalla 17 mm
- ▶ Caída gravitatoria
- ▶ Impactos repetidos
- ▶ Alturas crecientes (2 Fases)
- ▶ $E=m \cdot g \cdot h$



	h_0 (mm)	Δh_0 (mm)	N	Fin
Fase 1	25	25	1	Fisura
Fase 2				COD > 3 mm

E_c : energía acumulada en la fisuración
 COD_c : abertura inicial de la fisura
 E_p : energía acumulada post- fisuración
 E_t : energía acumulada total ($E_c + E_p$)
 V_c : tasa de apertura de fisura

Resultados

Nombre	Hormigón		Estado fresco							Estado endurecido									
	Fibras		As	NP	PUV	Aire	Exudación			Compresión		Flexión EN14651			Impacto GIL*			Impacto ACI 544	
	Tipo	kg/m ³	mm	golpes	kg/m ³	%	C	V	D	f_c	E	f_l	f_{R1}	f_{R3}	E_c	E_t	V_c	N_1	N_{1+2}
C	-	-	160	16	2390	2,1	4,8	11	310	38,4 ⁽⁵⁾	38,0 ⁽⁴⁾	5,13 ⁽⁷⁾	-	-	17 ⁽¹⁹⁾	32 ⁽¹⁴⁾	238 ⁽²¹⁾	9 ⁽⁶⁵⁾	15 ⁽⁵¹⁾
A	Coco 10 mm	1	170	10	2380	1,9	3,5	9	310	39,6 ⁽²⁾	36,2 ⁽⁵⁾	5,20 ⁽⁹⁾	1,03 ⁽¹⁷⁾	0,08 ⁽⁴²⁾	16 ⁽²²⁾	30 ⁽¹⁸⁾	214 ⁽³⁶⁾	10 ⁽⁶⁴⁾	19 ⁽²⁵⁾
B	Coco 10 mm	4	145	19	2370	1,9	3,2	10	280	41,2 ⁽³⁾	37,3 ⁽³⁾	5,31 ⁽⁹⁾	1,26 ⁽¹⁸⁾	0,29 ⁽²⁵⁾	15 ⁽²²⁾	31 ⁽²⁰⁾	203 ⁽³²⁾	7 ⁽⁴³⁾	23 ⁽³¹⁾
D	Coco 50 mm	1	155	12	2370	2,1	2,9	12	190	38,4 ⁽⁴⁾	38,0 ⁽⁴⁾	5,31 ⁽⁸⁾	1,18 ⁽⁴⁴⁾	0,06 ⁽²⁵⁾	19 ⁽²¹⁾	30 ⁽¹¹⁾	306 ⁽⁵⁸⁾	11 ⁽⁵¹⁾	25 ⁽²⁷⁾
E	Coco 50 mm	4	135	19	2380	1,9	2,2	9	220	36,8 ⁽⁷⁾	37,5 ⁽⁸⁾	5,36 ⁽⁸⁾	1,44 ⁽¹⁶⁾	0,42 ⁽²⁵⁾	24 ⁽²⁷⁾	63 ⁽¹⁴⁾	79 ⁽²⁵⁾	18 ⁽⁸²⁾	50 ⁽³⁶⁾
P	Polimérica	0,6	150	13	2380	2,3	2,4	9	280	40,1 ⁽²⁾	38,4 ⁽²⁾	5,31 ⁽⁵⁾	1,57 ⁽²⁰⁾	0,18 ⁽¹⁶⁾	19 ⁽²³⁾	37 ⁽²¹⁾	221 ⁽¹⁷⁾	14 ⁽⁷³⁾	21 ⁽⁵⁵⁾

Análisis de los resultados

- ▶ Aumentos en la energía de remoldeo (ensayo de Powers) que indican que las fibras de coco mejoraron la cohesión de modo similar a las microfibras sintéticas.
- ▶ No se encontraron variaciones significativas en el contenido de aire, pero sí una pequeña reducción en el peso unitario en los hormigones con ambos tipos de fibras.
- ▶ No se encontraron efectos negativos en compresión. Ligera reducción en la resistencia y en el módulo de elasticidad en la mezcla E (mayor contenido de las fibras de coco más largas)
- ▶ En flexión: contribución marginal de las fibras de coco en la resistencia, similar al caso de la mezcla con microfibras sintéticas.
- ▶ Mejoras marginales en el rendimiento en impacto. En el ensayo GIL las fibras de coco no redujeron el ancho de la primera fisura. La tasa de fisuración (V_c) en estado fisurado con 4 kg/m³ de fibras largas se produjo una reducción de la V_c de más de 200 %. En el método ACI 544, Al utilizar fibras de coco de 50 mm en mayor dosis (hormigón E), se presentó incremento de energía total mayor al 200 %.

Conclusiones

- ⇒ En el hormigón fresco, al igual que las microfibras poliméricas, las fibras de coco mejoran la cohesión y reducen la exudación. Para asentamientos similares, para bajos contenidos de fibras (0,1 % en volumen) se redujo la energía de remoldeo y aumentó ligeramente para un volumen de fibras de 0,4 %.
- ⇒ Utilizando bajos contenidos de fibras de coco (< 0,4 % en volumen) no son de esperar efectos negativos sobre la resistencia y rigidez en compresión. En el caso de flexión, incluso pueden aparecer ligeras mejoras en la capacidad residual postfisuración, respecto a las observadas con microfibras sintéticas, que pueden justificar cierta contribución de las fibras de coco de mayor longitud en la respuesta al impacto.
- ⇒ La incorporación de 4 kg/m³ de fibras de coco de 50 mm, mejoró la respuesta en impacto, incrementando la energía total (E_t) y reducciones en la tasa de fisuración (V_c).