

RESISTENCIA AL IMPACTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS: INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO

Juan C. Vivas¹

LEMIT-CIC. Avenida 52 y 122, La Plata, juancarlos.vivas@ext.ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La incorporación de fibras en el hormigón incrementa sustancialmente la resistencia al impacto del material. Cuantificar dicha mejora es de especial interés en la ingeniería, ya que muchas de estructuras son sometidas este tipo de sollicitación y representa una necesidad para optimizar tanto el tipo como la dosis de fibras. En este sentido, en el LEMIT-CIC, se ha diseñado un ensayo de flexión por impactos repetidos con caída libre de peso, el cual se encuentra en fase de prueba. En el presente trabajo se muestra el plan de trabajo de un estudio paramétrico que tiene como objetivo analizar la influencia de las dimensiones de la probeta, la luz libre entre apoyos y la masa del proyectil sobre la resistencia al impacto expresada en términos de energía de primera fisura y energía total, en aras de determinar un criterio de ajuste de los resultados, referidos al caso estándar de la propuesta. Adicionalmente se plantea la comparación de los resultados de la resistencia residual obtenida en el ensayo estático a flexión, según la norma EN14651, frente a los obtenidos en el ensayo de impacto.

Palabras claves: hormigón reforzado con fibras, impacto, drop-weight, estudio paramétrico.

INTRODUCCIÓN

El Hormigón Reforzados con Fibras (HRF) es un material particularmente resistente ante impacto [1, 2] y muchas estructuras se encuentran sometidas a asta acción dinámica, como pavimentos, pisos industriales, pistas de aterrizaje, cerramientos para defensa, entre otros. En el LEMIT se ha estado llevando a cabo una investigación cuyo propósito es determinar la influencia del tipo y dosis de fibras en la resistencia al impacto de los HRF y que en primera instancia se ha enfocado en el desarrollo de un método para tales fines [3-5]. La justificación de un nuevo procedimiento radica en que a pesar de los numerosos esfuerzos que se han llevado a cabo para cuantificar la resistencia al impacto en HRF, ninguno de los métodos ha sido ampliamente aceptado, porque en la mayoría de los casos resultan muy complejos, costosos, de gran dispersión o implementación muy específica [6].

El método en desarrollo es económico en cuanto a tiempo de ejecución y recursos y emplea dispositivos disponibles en muchos laboratorios en el mundo. Entre otras ventajas permite evaluar una amplia gama de HRF, caracteriza al material tanto al momento de la aparición de la primera fisura como en estado fisurado, esto último resulta de particular interés conforme la aplicación del HRF [4]. Sin embargo, como los resultados se expresan en términos de energía, dependen del tamaño de probeta y otros parámetros de ensayo. En la presente comunicación se describe la investigación en curso, cuyo objetivo es conocer en qué medida distintos parámetros de la prueba (geometría de la probeta, luz

¹ Becario doctoral CONICET. Facultad de Ingeniería UNLP-LEMIT, La Plata, Argentina.

entre apoyos, masa del proyectil) modifican los resultados con respecto al caso estándar. En base a los datos obtenidos se evaluará la necesidad de factores de corrección de los resultados, tanto ante pequeños cambios respecto a la geometría propuesta como la posibilidad de emplear para el ensayo otras dimensiones de probetas.

ENSAYO DE IMPACTO

El ensayo propuesto evalúa la resistencia a fisuración y la capacidad postfisuración del HRF; tanto el método, como la máquina, probeta adoptada y dispositivos han sido descritos en trabajos previos y en un artículo de este mismo Congreso AATH2020 [3-5]. No obstante, el procedimiento se describe sucintamente a continuación.

La técnica consiste en aplicar impactos repetidos por caída de un proyectil, de masa (m), sobre una probeta prismática de 150 mm de altura simplemente apoyada, a la que se realizó una entalladura de 25 mm al centro de la cara traccionada, y, luego de cada impacto se registra la apertura de fisura (COD), la cual se mide 5 mm por encima del ápice de la entalladura (120 mm por debajo de la cara superior). Los impactos se realizan según un patrón preestablecido y análogo entre distintas muestras, variando la altura de caída del proyectil (h) conforme a dos fases: en la Fase 1, con el fin de determinar la resistencia de la matriz, se da un impacto inicial a altura (h_0) igual a 100 mm y posteriormente se dan impactos cada vez a mayor cota, con incrementos entre uno y otro (Δh) de 50 mm. La Fase 1 finaliza al detectar una fisura (COD $\approx 20 \mu\text{m}$). El incremento paulatino de la altura busca lograr mayor precisión en el valor de energía de fisuración. Posteriormente se continúa con la Fase 2, cuyo objetivo es evaluar la capacidad del HRF en estado fisurado. También se parte de la altura inicial $h_0 = 100 \text{ mm}$ pero, a diferencia de la Fase 1, se aplican tres impactos en cada nivel de altura para verificar si el tipo y contenido de fibras es capaz de detener el crecimiento de la fisura, y los incrementos de altura (Δh) posteriores son iguales a 100 mm. Se evita emplear mayor número de golpes a igual altura para que no se produzca una excesiva disipación de energía sin crecimiento del COD. El ensayo finaliza cuando la COD es mayor a 3 mm.

Los resultados de ensayo se valoran principalmente en términos de energía. La energía potencial de cada caída se calcula como $m \cdot g \cdot h$ (siendo g la aceleración de la gravedad), y la energía acumulada (E^*) es la suma de la energía potencial de todos los impactos recibidos por la probeta hasta un dado momento. De modo que la representación de la E^* versus la COD da lugar a la Curva de Impacto, y cuyo esquema general se muestra en la Figura 1.

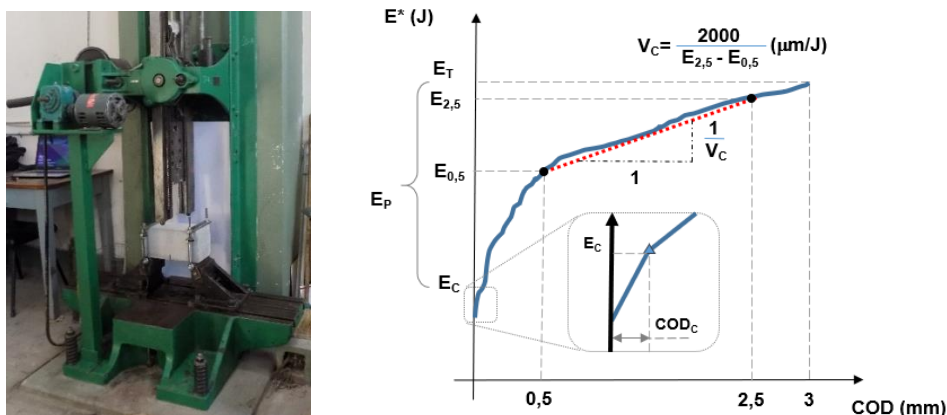


Figura 1: Ensayo de impacto: dispositivos y resultados.

Los parámetros característicos definidos para el análisis son para la Fase 1 la energía de primera fisura (E_C) y la abertura inicial de la fisura (COD_C), y para la Fase 2 la energía postfisuración (E_P) y velocidad de crecimiento de la COD (V_C). También se calcula la energía total (E_T) acumulada en ambas fases. Mayores detalles de estos parámetros se pueden encontrar en el trabajo citado [4].

ESTUDIO PARAMÉTRICO

La probeta estándar en el ensayo de impacto propuesto tiene sección cuadrada de 150 mm de arista y 300 mm de largo. La luz libre entre apoyos (L) es 240 mm, y la entalla, que se practica mediante aserrado y se ubica en el centro de la cara traccionada, posee 25 mm de profundidad (e). Por su parte, el proyectil estándar es de masa (m) igual a 5 kg.

Considerando los objetivos propuestos, se contempla estudiar el efecto individual de las variables del ensayo, por lo que se variarán una a una las magnitudes de la base de la probeta (b); la altura útil de la probeta (h_{sp}), calculada como la diferencia entre la altura del prisma y la profundidad de entalladura; otras variables serán la luz libre de los apoyos (L) y la masa del proyectil (m). La altura total de los prismas permanecerá constante. En la Tabla 1 se muestran los valores adoptados de cada parámetro en estudio. El número de ensayos de impacto de cada escenario será igual a 6 (seis), cantidad que surgió de un estudio de variabilidad en que se encontró que con este número de pruebas los valores medios de la E_T , variable global de la prueba de impacto, se obtiene con un 15% de error y 90% de confiabilidad.

Adicionalmente, en aras de analizar la vinculación entre las propiedades estáticas y de impacto del HRF, se caracterizará al material mediante ensayos de flexión conforme a la norma EN14651 [7] que utiliza carga central sobre un prisma de sección cuadrada de 150 mm de arista al cual también se le realiza una entalla de 25 mm de profundidad en el centro de la cara traccionada, y luz entre apoyos igual a 500 mm. Además del ensayo de sobre vigas de tamaño estándar, se realizarán ensayos para otros dos anchos de viga (ver Tabla 2); en todos los casos número de muestras será igual a 6 (seis).

Tabla 1: Variables a considerar en los ensayos impacto.

Serie	Identificación	b (mm)	$h_{sp} = h - e$ (mm)	L (mm)	m (kg)
Estándar	C	150	125	240	5
Base	b100	100	125	240	5
	b70	70	125	240	5
Altura	h100	150	100	240	5
	h140	150	140	240	5
Luz	L350	150	125	350	5
	L500	150	125	500	5
Masa	m10	150	125	240	10
	m20	150	125	240	20

Tabla 2: Ensayos de caracterización estática en flexión.

Serie	Identificación	b (mm)	$h_{sp} = h - e$ (mm)
Estándar	C	150	125
Base	b100	100	125
	b70	70	125

MATERIALES Y MEZCLAS

Para este estudio se elaboró un HRF en base a un H50, utilizando 500 kg/m³ de cemento CPF40, 50 kg/m³ de filler calcáreo, 780 kg/m³ de arena silíceo natural y 950 kg/m³ de piedra partida granítica de tamaño máximo 12 mm. La relación agua cemento fue 0,30. A dicho hormigón de base se incorporaron 30 kg/m³ de fibras de acero con ganchos en sus extremos de 50 mm de longitud y 1 mm de diámetro cuya resistencia a tracción supera los 1100 MPa. Estas fibras son de amplio uso estructural y la dosis escogida frecuentemente empleada en pisos y pavimentos industriales.

Se moldearon veintidós prismas en total, la mayoría de dimensiones 150x150x600 mm y otros de 150x150x900 mm, a los que se suman seis cilindros de 100x200 mm para evaluar la resistencia a compresión. Todas las probetas fueron compactadas en mesa vibrante, se desmoldaron a las veinticuatro horas y se introdujeron en cámara húmeda para su curado (Figura 2 izquierda). En la medida de las posibilidades se procederá a retirar las muestras de cámara húmeda y proceder al aserrado de las entalladuras de flexión (conforme ejemplifica la Figura 2 derecha). Luego de realizar los ensayos de flexión se procederá de inmediato a separar las mitades de las muestras y realizar las entalladuras de impacto, para finalmente iniciar los ensayos de impacto.



Figura 2: Curado en cámara húmeda (izq.) y entallado (der.) de las probetas.

AGRADECIMIENTOS

A Hormigones Avellaneda por el suministro del hormigón, la colaboración de los Ing. Francisco Hours y Pablo Bossio en el moldeo de las probetas, al Dr. R. Zerbino, la Ing. G. Giaccio y la Dra. M.C Torrijos que orientan esta línea de investigación, y a la financiación del LEMIT-CIC y de los proyectos CONICET PIP112-201501-00861 y UNLP 11/I244.

REFERENCIAS

- [1] ACI Committee 544, "Measurement of properties of fiber reinforced concrete 544.2R-89", ACI 544.2R, (1999).
- [2] Goicolea JM, "Estructuras sometidas a impacto" UPM. Madrid, (2009).
- [3] Vivas JC, Zerbino RL, "Estudio de la resistencia al impacto de hormigones reforzados con fibras" 19° Congr. Int. Metal. y Mater. CONAMET-SAM, Valdivia, Chile, (2019).
- [4] Vivas JC, Torrijos MC, Giaccio G, Zerbino R, "Influencia del tipo de fibra en la resistencia al impacto de HRF", IX Congr. Int. y 23° Reunión Técnica, AATH2020, (2020).
- [5] Vivas JC, Zerbino R, Torrijos MC, Giaccio GM, "Impact response of different classes of fibre reinforced concretes", RILEM-fib X Int. Symp. Fibre Reinf. Concr., (2020).
- [6] Barr B, Bouamra A, "Development of a repeated drop-weight impact testing apparatus for studying fibre reinforced concrete materials", Composites, 19, (1988), 453-466.
- [7] EN 14651:2005, "Test Method for Metallic Fibered Concrete - Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality (LOP), Residual)", Technical Committee CEN/TC 229, (2005).