

Comportamiento de la resistencia a compresión simple experimental en cilindros estándar elaborados de concreto reforzado con fibras de polipropileno y correlación del módulo de ruptura

CUEVAS-SANDOVAL, Alfredo*†, ZÚÑIGA-GUTIERREZ, Martín, BARRAGÁN-TRINIDAD, Raziél y SANTIAGO-NÁJERA, Yeninn

Unidad Académica de Ingeniería, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria Sur, Chilpancingo, Gro.

Recibido Junio 4, 2014; Aceptado Octubre 13, 2014

Resumen

Desde sus inicios la industria de la construcción se ha visto en la necesidad de explorar los diferentes tipos de materiales que componen al concreto con el fin de conocer sus propiedades físicas, pues en ellos se combina de la mejor manera el bajo costo, su considerable durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para uso estructural. Con el fin de mejorar estas propiedades se han hecho varios esfuerzos, entre los cuales destacan el reforzamiento del concreto mediante fibras, con ello se busca incrementar la resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión, tenacidad, fatiga, impacto y permeabilidad.

Resistencia, compresión, cilindros.

Abstract

Since its inception the construction industry has seen the need to explore the different types of materials that make up the concrete in order to meet their physical properties, for in them is combined to the best low cost, its considerable durability and adequate compressive strength for structural use. In order to improve these properties have been several efforts, among which concrete reinforcement by fibers, it is sought to increase the flexural strength, abrasion resistance, toughness, fatigue, impact and permeability.

Resistance compression cylinders.

Citación: CUEVAS-SANDOVAL, Alfredo, ZÚÑIGA-GUTIERREZ, Martín, BARRAGÁN-TRINIDAD, Raziél y SANTIAGO-NÁJERA, Yeninn. Comportamiento de la resistencia a compresión simple experimental en cilindros estándar elaborados de concreto reforzado con fibras de polipropileno y correlación del módulo de ruptura. Foro de Estudios sobre Guerrero. Mayo 2013 Abril 2014, 1-1: 217-222

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: acuevas36@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La utilización de las fibras para mejorar las características mecánicas de un material, no es una técnica nueva. En el caso específico del refuerzo del concreto hidráulico con fibras sintéticas se han obtenido buenos resultados con el transcurso de los años.

Las fibras sintéticas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y, entre ellas, se definen dos categorías: las de alto y las de bajo módulo de elasticidad.

Las principales ventajas de la adición de fibras sintéticas en el concreto son, en estado endurecido, el incremento de la tenacidad y de la resistencia al impacto y, en el estado fresco, el control de la contracción plástica. Adicionalmente, controla la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura y brinda mayor resistencia a la fatiga.

Durante los últimos años se han realizado diversos estudios para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras ha variado entre 0.1 y 10% del volumen. Algunos estudios indican que la presencia de las fibras tiene efectos negativos en la resistencia a compresión, aunque se alcanzan ligeros incrementos en la resistencia a flexión, cuando el contenido de fibra es relativamente alto. Otros estudios presentan efectos favorables de la adición de fibra sobre la tenacidad e incremento en la resistencia a compresión, del orden de 25%, cuando se emplea un porcentaje volumétrico de 0.5% de fibras de polipropileno. En la práctica actual de la construcción a la matriz de concreto se añaden fibras discontinuas en volúmenes relativamente bajos, usualmente en porcentajes menores a 2%, aunque lo más común es que varíe entre 0.1 y 0.7%.

Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado ya sea en revolventadoras o en plantas fabricadoras de concretos. Normalmente en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1%).

Los factores principales que interviene en el desempeño del concreto son:

1. Propiedades físicas de las fibras y de la matriz
2. Resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.

Las fibras de polipropileno, son químicamente inertes, ligeras, resistencia igualable al acero, no existe oxidación y tienen un escaso rechazo en el concreto proyectado respecto a la fibra de acero. Se producen como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas, o como filmes y cintas.

Este tipo de fibras reducen la fisuración por contracción plástica y disminuye el agrietamiento sobre la armadura de acero. Las fibras actúan dentro de un elemento de concreto, transmitiendo todas las fuerzas de carga y de flexión hacia todas direcciones, evitando que se generen micro-grietas por esfuerzos internos y cambio de temperatura.

Las Micro Fibras, están elaboradas de polipropileno 100% virgen, con un agente antimicrobiano que forma parte integral de su composición, la cual altera la función metabólica de los microorganismos impidiendo su crecimiento y reproducción.

Cabe mencionar que a nivel de construcciones especiales sabemos que las fibras han adquirido una importancia notable a nivel de seguridad estructural en proyectos como túneles y minas donde las condiciones de trabajo y esfuerzo del concreto son completamente más drásticos.



Figura 1 Fibras sintéticas de polipropileno

Objetivo

Evaluar el comportamiento de la resistencia y determinar el módulo de ruptura del concreto hidráulico reforzado con fibras de polipropileno y diferentes porcentajes de fibra, por medio de ensayos de cilindros estándar a compresión simple bajo condiciones de laboratorio.

Metodología

Este trabajo se enfocó en el estudio del efecto de los porcentajes de fibra de polipropileno en la resistencia del concreto comúnmente utilizado en la región de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, y estimar el módulo de ruptura o rotura en el concreto de acuerdo a lo que RCDF. Es un estudio de tipo transversal realizado en el mes de julio del 2014.

Se evaluó el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras sintéticas de polipropileno, para esto se fabricaron cilindros estándar con distintos porcentajes de fibra; 0%, 0.20%, 0.60%, 1.0%. Los factores controlados en el experimento son banco de arena, agua, grava, cemento y resistencia de diseño. El banco de arena utilizado fue el “papagayo” y de grava el banco “Xocomulco” tipo triturada de tamaño de $\frac{3}{4}$ ”, materiales a los cuales previamente se han determinado como los mejores en cuanto a propiedades físicas y mecánicas (Cuevas et al., 2009). Para el mezclado del concreto se utilizó agua purificada.

Se elaboraron mezclas de concreto para una resistencia a compresión de diseño con un $f'c$ (f prima c)= 300 kg/cm² (30 Mpa). Los materiales para la elaboración de concreto cumplen las especificaciones de la normas mexicanas (NMX) y los reglamentos de construcción vigentes, así como, los procedimientos de ensaye se efectuaron siguiendo los lineamientos indicados en las normas y reglamentos mencionados.

El factor estudiado es porcentaje de fibra. La variable respuesta es resistencia a compresión del concreto determinada de acuerdo a las normas mexicanas (NMX-C-083-ONNCCE-2002, NMX-C-155-ONNCCE-2004). EL módulo de ruptura (MR) se determinó por medio de correlación de ensayos de resistencia a compresión ($f'c$) en cilindros estándar de concreto hidráulico consideramos el criterio del American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto, ACI) y el Reglamento de construcción del Distrito Federal (RCDF). El factor de correlación entre el MR y $f'c$ llega a ser muy amplio, fluctuando entre el 10 y 20% de la resistencia a la compresión. La relación del ACI es la siguiente: $K \cdot f'c$: Resistencia a la compresión en kg/cm²; K: Un factor que está entre 2,0 y 2,7. El A.C.I recomienda 2,0.

El criterio recomendado por el RCDF para estimar la resistencia media a tensión por flexión o módulo de rotura, (f_r) se puede suponer igual en un concreto clase 1 de: 0.63 , en MPa (2 , en kg/cm²). El análisis se efectuó utilizando el programa estadístico Statistical Product and Service Solutions (SPSS), v 18.0.

Resultados

A continuación en este apartado se muestran los resultados más sobresalientes de esta evaluación. Se hizo un análisis de los porcentajes de fibra y la resistencia alcanzada a 28 días, se obtuvo la media, la mediana y la desviación estándar.

Como se puede observar, en la tabla 1. El promedio a resistencia a compresión más alto es cuando el concreto no contiene fibra (0% de fibra), y el más bajo es cuando contiene 1% de fibra.

La menor desviación estándar y coeficiente de variación (CV) se obtiene con concreto que contiene el 1% de fibra. La mayor desviación estándar y CV es en concretos con contenido del 0.60% de fibra.

Porcentaje de fibra	N	Media	Mediana	Desv. Upp.	Varianza	Minimo	Maximo	Rango	C.V.
0%	5	312.3034	310.5370	11.63487	135.370	298.28	330.51	32.23	3.7255
0.20%	5	308.1420	300.5500	14.50203	210.309	294.71	327.50	32.79	4.7063
0.60%	5	309.1860	312.2300	18.06080	326.192	278.48	325.37	46.89	5.8414
1.00%	5	240.5640	241.9800	7.89072	62.263	228.78	248.08	19.30	3.2801
Total	20	292.5488	304.8605	33.24516	1105.241	228.78	330.51	101.73	4.3883

Tabla 1 Estadísticos de resistencia a compresión del concreto a la edad 28 días.

Se realizó un comparativo del porcentaje de fibra incluido en las diferentes mezclas de concreto y la resistencia alcanzada en cada uno de ellos. En la figura 2, se observa que la menor dispersión de los datos es en el concreto con 0% de fibra (concreto convencional), la mayor dispersión es con el 0.20% de fibra. Se observan datos atípicos para los porcentajes 0% y 0.60%. Los valores de resistencia más bajos son con un 1% de fibra en la masa del concreto, lo que indica que a mayor porcentaje de fibra menor resistencia a compresión.

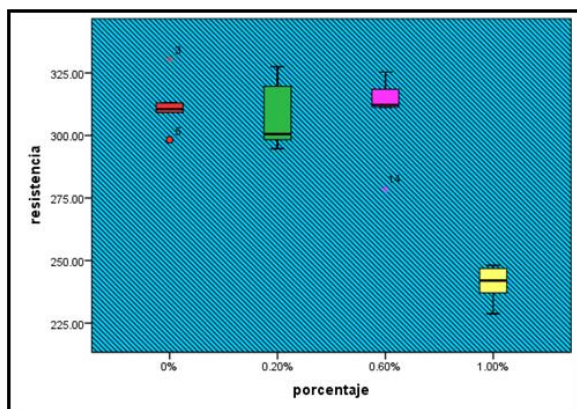


Figura 2 Resistencia del concreto con diferentes porcentajes de fibra.

Para conocer el efecto del porcentaje de fibra adicionada en el concreto y ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días se ajustó un modelo completamente al azar, E-1. Se verificaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia del modelo y los cuales se cumplen de manera satisfactoria.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, i = 1, \dots, 4. j = 1, \dots, 5. \dots \dots \dots E-1$$

En el modelo ajustado el tratamiento (porcentaje de fibra) es significativo, Tabla 2. El valor de R², indica que el 86% de la variación del porcentaje de fibra agregado en el concreto es explicado por el modelo.

Existe evidencia con un $\alpha=.05$ que indica que las medias de resistencia del concreto elaborado con porcentajes de fibra a la edad de 28 días da resultados diferentes.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	18063.034	3	6021.011	32.806	.000
Intra-grupos	2936.539	16	183.534		
Total	20999.573	19			

Tabla 2 Modelo ajustado del tratamiento del porcentaje de fibra.

En la tabla 3. La comparación de media que se realiza es para porcentaje de fibra donde se observan dos grupos, siendo el subconjunto 2 el que presenta la mayor resistencia, que se compone de 0% de fibra, seguido de 0.60% y 0.20%. El subconjunto 1 la resistencia más baja, que corresponde al 1%. Lo que indica que en esfuerzos de resistencia a compresión del concreto, la adición de fibras en la masa del mismo no incrementa la resistencia y se observa un efecto inverso de disminución de la resistencia.

PORCENTAJE DE FIBRA	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
HSD de Tukey ²	1.00%	5	240.5640
	0.20%	5	308.1420
	0.60%	5	309.1860
	0%	5	312.3034
Sig.			1.000
			.961

Tabla 3 Comparación de medias de resistencia en subconjunto de grupos.

Módulo de ruptura: El cálculo de la correlación del módulo de ruptura (MR), por medio de ensayos de resistencia a compresión ($f'c$) en cilindros estándar de concreto hidráulico de acuerdo al criterio del ACI y RCDF, tabla 4. El análisis estadístico de los resultados de módulo de ruptura mantiene un comportamiento similar a los resultados de resistencia a compresión.

Porcentaje de fibra	N	Media	Mediana	Desv.Típ.	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango	C.V.
0%	5	35.3394	35.2441	0.6548	.430	34.54	36.36	1.82	1.85
0.20%	5	35.1002	34.6728	0.82245	.676	34.33	36.19	1.86	2.34
0.60%	5	35.1550	35.3401	1.04343	1.089	33.38	36.08	2.70	2.97
1.00%	5	31.0169	31.1114	0.51099	.261	30.25	31.50	1.25	1.65
Total	20	34.1529	34.9196	1.99398	3.976	30.25	36.36	6.11	2.20

Tabla 4 Estadísticos del módulo de ruptura, obtenidos por correlación de la resistencia a compresión.

Discusión y conclusión

La resistencia de los concretos elaborados con los diferentes porcentajes de fibra mantiene una tendencia a la baja cuando el porcentaje de fibra se incrementa. Lo cual es evidente con el porcentaje 0% la resistencia es la mayor y con el 1% la resistencia es la menor. Lo que confirma que para esfuerzos de compresión la fibra no influye de manera significativa y en cambio puede inducir a que la resistencia disminuya de manera sustancial.

Para obtener resistencias que cumplan con el $f'c$ de proyecto el concreto debe contener un porcentaje de fibra en el rango de 0% al 0.60%, así como, se observa en la comparación de medias, subgrupo 2 y el subgrupo 1 con el 1% la resistencia no cumple con el $f'c$, Tabla 3.

En cuanto a la relación con el módulo de ruptura alcanzado, lo que nos indica que no hay cambios significativos respecto al comportamiento en el módulo de ruptura obtenido.

El módulo de ruptura o rotura correlacionada tiene un comportamiento igual que la resistencia a compresión e indica que está dentro del rango permitido según el ACI (10% al 20%).

De la resistencia de proyecto a 28 días. Los cálculos utilizados para estimar con el ACI y RCDF son equivalentes. El factor de correlación obtenido entre el MR y $f'c$ es de 11.67%, de la resistencia a compresión. El cual, aplica únicamente para este concreto con los componentes mencionados y bajo las condiciones descritas. Las aplicaciones de este concreto es en pisos, losas de pavimentos, entre otras aplicaciones donde la flexión sea uno de los esfuerzos principales y la adición de fibra se utilice con el fin de mejorar esta propiedad y disminuir agrietamiento, sin exceder un porcentaje de 0.60% de este material en la masa del concreto.

Referencias

Cuevas, S., Godínez, J. y Santes, P. A. (2009), Análisis del efecto de banco de arena, temporada de extracción y edad de prueba, en la resistencia del concreto hidráulico bajo un experimento factorial, Aportaciones y Aplicaciones de la Probabilidad y Estadística, Vol. 3, BUAP, México.

GDF-RCDF (2004), Normas Técnicas Complementaria para diseño y construcción de estructuras de concreto; Tomo I, Gaceta Oficial del DF, México.

Kosmatka, Steven, H., Panarese, C. y William, C. (2005), Diseño y control de mezclas de concreto, Portland Cement Association, USA .

NMX-C-083-ONNCCE-2002, Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto – Método de prueba.

NMX-C-155-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Concreto – Concreto hidráulico industrializado – Especificaciones.

NMX-C-159-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio

NMX-C-403-ONNCCE-1999, Industria de la construcción – Concreto hidráulico para uso estructural.

De Jesús Domínguez, Roberto, 2012. Evaluación del comportamiento del módulo de ruptura experimental en vigas de concreto reforzado con fibras. Tesis de licenciatura. UAI UAGro.