

EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES PLÁSTICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO

EFFECTS OF THE ADDITION OF POLYPROPYLENE FIBER IN PLASTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE HYDRAULIC

César Hugo Armas Aguilar¹

Fecha de recepción: 17 de mayo 2016

Fecha de aceptación: 20 de setiembre 2016

Resumen

Se estudió experimentalmente los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas (asentamiento, contenido de aire, peso unitario, temperatura y potencial de fisuración) y mecánicas (compresión y flexión) del concreto hidráulico en la región Lambayeque, mediante adiciones de fibra en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto de resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm². Se utilizó agregado fino y grueso (piedra de ½ pulg.) de las canteras La Victoria y Tres Tomas, respectivamente, Cemento Portland Tipo MS, fibra de Polipropileno, aditivo curador y aditivo superplastificante.

Se concluye que una dosis de fibra de polipropileno de 400 gr/m³ de concreto logra reducir el potencial de fisuración en condiciones reales hasta en un 90%, demostrándose que esta dosis causa los siguientes efectos respecto a sus propiedades plásticas, reduce el asentamiento hasta en un 50%, el contenido de aire lo disminuye hasta en un 25%, no altera la temperatura y el peso unitario del concreto fresco. Mientras que respecto a sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y flexión las incrementa aproximadamente en un 3% y 14% a la edad de 28 días, respectivamente.

Palabras claves: Fibra de polipropileno, propiedades plásticas del concreto, propiedades mecánicas de concreto, cambios volumétricos, fisuración.

Abstract

Experimentally it investigated the effects of adding polypropylene fiber in the plastic (slump, air content, unit weight, temperature and potential cracking) and mechanical (compressive and flexural) properties hydraulic concrete in the Lambayeque region through additions fiber in doses of 0, 200, 300 and 400 gr/m³ concrete compressive strengths of 175, 210 and 280 kg/cm². It used fine and coarse aggregate (stone ½ in.) From the quarries La Victoria and Tres Tomas respectively Portland Cement Type MS, polypropylene fiber additive curator and superplasticizer additive.

It is concluded that a dose of polypropylene fiber of 400 gr/m³ concrete does reduce the potential for cracking under real conditions up to 90%, showing that this dose causes the following effects regarding their plastic properties, reduces settling up in 50% air content decreased as much as 25%, does not alter the temperature and the unit weight of fresh concrete. While regarding their mechanical properties of compressive strength and bending the increase by about 3% and 14% at the age of 28 days, respectively.

Keywords: polypropylene fiber, plastic properties of concrete, mechanical properties of concrete, volume changes, cracking.

¹Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo. Egresado. Universidad Señor de Sipán. Chiclayo, Lambayeque, Perú. aaguilarc@crece.uss.edu.pe.

1. Introducción

En los últimos años las fibras sintéticas, en particular la fibra de polipropileno han ganado popularidad en el uso del concreto, principalmente para mejorar la resistencia al agrietamiento por contracción plástica, asiento plástico y contracción térmica. Sin embargo estudios realizados muestran resultados contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto, dejando un vacío por estudiar.

Resulta oportuno y adecuado desarrollar tecnologías que nos permita la optimización del concreto, mejorar sus propiedades plásticas y mecánicas, estas propiedades se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, y/o ante la aplicación de ciertas fibras sintéticas durante su dosificación.

Ante este contexto se estudió experimentalmente los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas (asentamiento, contenido de aire, peso unitario, temperatura y potencial de fisuración) y mecánicas (compresión y flexión) del concreto hidráulico en la región Lambayeque, mediante adiciones de fibra en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto de resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm². Se utilizó agregado fino y grueso (piedra de ½ pulg.) de las canteras La Victoria y Tres Tomas, respectivamente, Cemento Portland Tipo MS, fibra de Polipropileno, aditivo curador y aditivo superplastificante.

2. Materiales y métodos

La presente investigación Cuantitativa Cuasi experimental se realizó en Región Lambayeque, utilizándose Cemento Portland Tipo MS Pacasmayo Antisalitre Fortimax3 por ser uno de los cementos más usados en la región, respecto a la fibra de polipropileno se utilizó Chema Fibra Ultrafina, aditivo curado Membranil Reforzado, aditivo superplastificante Chemament 440, respecto a los agregados se utilizó piedra de media pulgada y arena, procedente de las canteras Tres Tomas y La Victoria, respectivamente.

La variable independiente fue la fibra de polipropileno, mientras que por variables dependiente se tuvo las propiedades plásticas (Asentamiento, Porcentaje de aire contenido, Peso unitario, Temperatura, Potencial de fisuración) y mecánicas (resistencia a la compresión y flexión) del concreto hidráulico.

La población de estudio para la presente investigación está conformado por concretos de resistencias a la compresión $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm², patrones que serán adicionados con fibra de polipropileno en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto.

Para evaluar las propiedades del concreto se ensayaron en compresión 144 probetas (36 especímenes por cada diseño de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² respectivamente, adicionalmente para el diseño de mezcla de 280 kg/cm² se hicieron 36 especímenes que fueron curados con aditivo Membranil Reforzado, con la finalidad de comparar los métodos de curado), para flexión se ensayaron 36 vigas (12 vigas por diseño) y para medir la fisuración por contracción plástica se ensayaron 12 losas (4 losas por diseño) en túnel de viento según la norma ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete, y 6 losas en condiciones reales (expuestas a la intemperie).

Los ensayos se ejecutaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Señor de Sipán, la presente investigación se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de febrero a mayo del 2016.

3. Resultados

El agregado fino y grueso fueron ensayados según las exigencias de las Normas Técnicas Peruanas, las propiedades se muestran a continuación:

Tabla 1

Resumen del análisis de agregados

Propiedad	Norma	A. Fino	A. Grueso
Humedad Natural	NTP 339.185	0.87%	0.07%
Absorción	NTP 400.021 y NTP 400.022	1.01%	0.75%
Peso Específico de Masa	NTP 400.021 y NTP 400.022	2.53 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³
Peso Unitario Varillado	NTP 400.017	1.63 gr/cm ³	1.55 gr/cm ³
Módulo de Fineza	NTP 400.012	2.92	6.86
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	NTP 400.012	---	1/2"
Peso Unitario Suelto	NTP 400.017	1.50 gr/cm ³	1.40 gr/cm ³

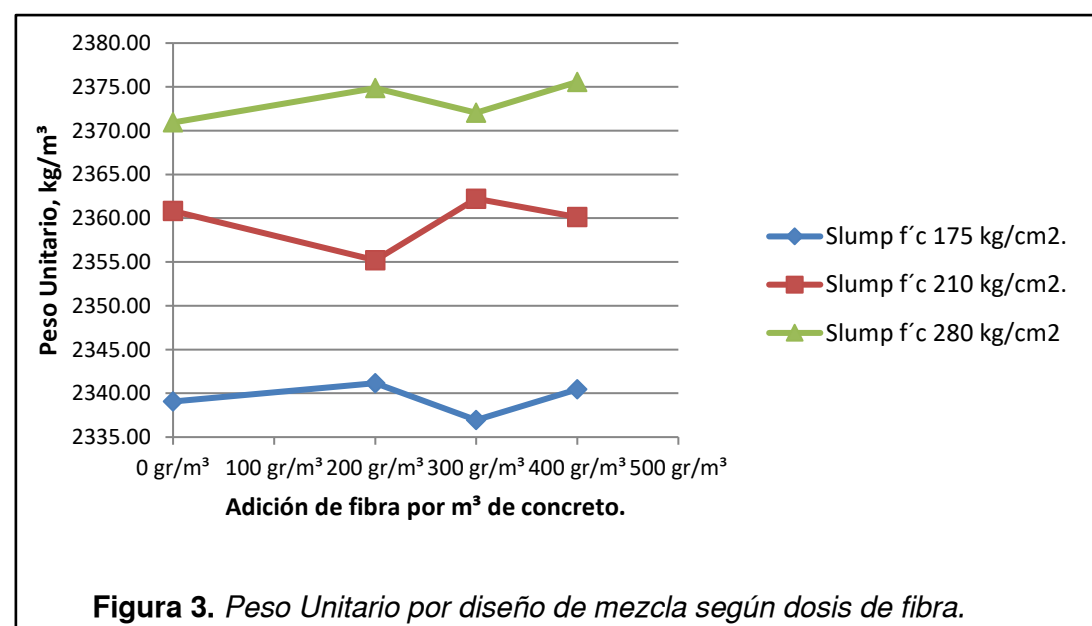
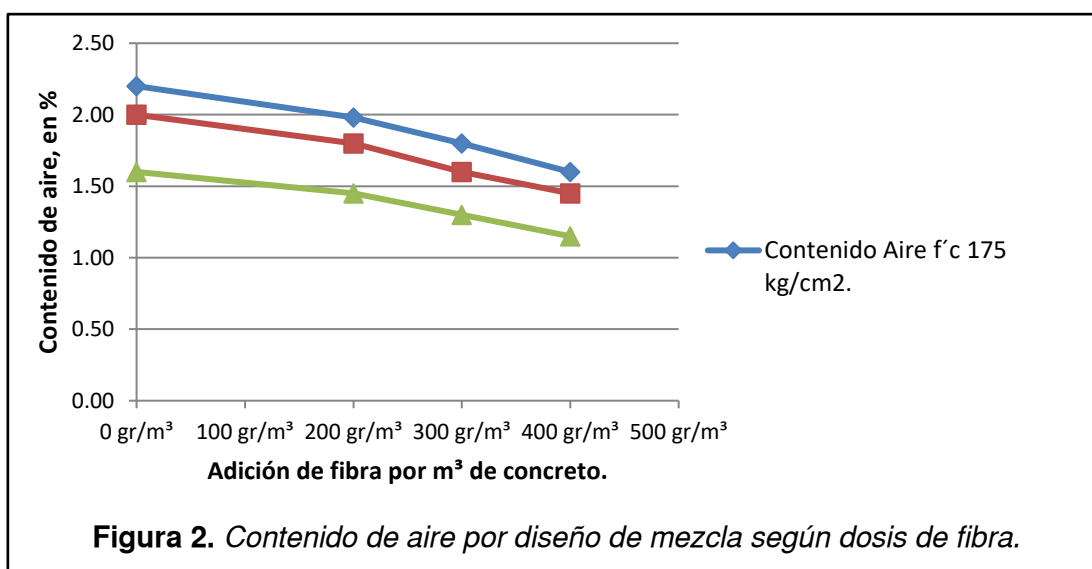
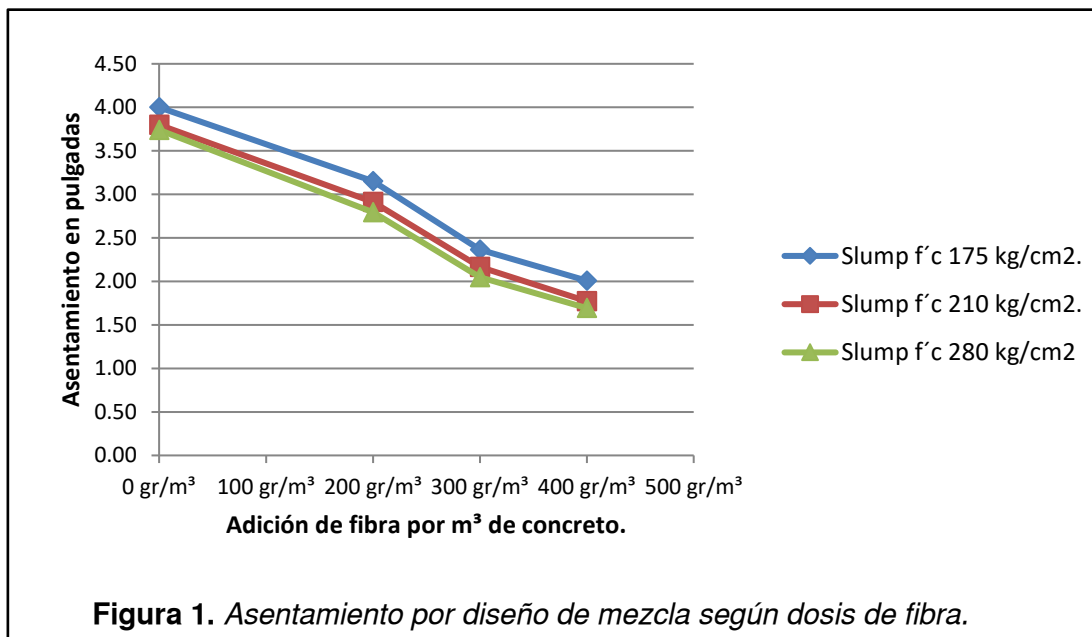
Conocidas las propiedades de los agregados, se procedió a efectuar el diseño de mezcla convencional para resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm².

Tabla 2

Resumen del Diseño de Mezcla Patrón según resistencia.

Diseño de Mezcla Patrón	Slump, Pulg.	Cemento	Arena	Piedra 1/2"	Agua, lt	Factor Cemento, bls/m³
175.00 kg/cm² Arena 48%	Peso	3 a 4	1	2.54	31.88	7.98
Piedra 1/2" 52% R a/c 0.75	Volumen	3 a 4	1	2.54	31.88	7.98
210.00 kg/cm² Arena 48%	Peso	3 a 4	1	2.32	28.90	8.57
Piedra 1/2" 52% R a/c 0.68	Volumen	3 a 4	1	2.32	28.90	8.57
280.00 kg/cm² Arena 48%	Peso	3 a 4	1	1.84	24.23	10.40
Piedra 1/2" 52% R a/c 0.57	Volumen	3 a 4	1	1.84	24.23	10.40

De las propiedades plásticas del concreto respecto al asentamiento, contenido de aire, peso unitario, temperatura y potencial de fisuración se obtuvo los siguientes resultados:



El ensayo de potencial de fisuración por contracción plástica se realizó según Norma Internacional ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete. 12 losas de concreto fueron colocadas en el túnel de viento, ambiente que se mantuvo una temperatura interior constante de 30°C, con la finalidad de obtener tasas de evaporación mayores o iguales a 1.5 lt/m²/h, que es el valor el cual supone un alto riesgo de fisuración.

Adicionalmente se realizaron 6 ensayos de fisuración por contracción plástica en condiciones ambientales reales, para corroborar la selección de la dosis de fibra que logre reducir la fisuración por contracción plástica.

Tabla 3

Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno, ensayos en túnel de viento.

Mezcla	Dosis	Primera fisura	Ancho promedio de fisura, mm	CRR, %	Tasa Evaporación, kg/m ² /h
175.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 25 min	2.00	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 30 min	1.20	40.00	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 55 min	0.90	55.00	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 10 min	0.70	65.00	≥ 1.5
210.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 20 min	1.80	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 15 min	1.00	44.44	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 45 min	0.80	55.56	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 0 min	0.60	66.67	≥ 1.5
280.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 0 min	1.70	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 10 min	0.90	47.06	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 50 min	0.70	58.82	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 35 min	0.60	64.71	≥ 1.5

Para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² se observó que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 65% aproximadamente, según resultados obtenidos en el túnel de viento.



Figura 4. Fisurómetro.



Figura 5. Fisurómetro.

Tabla 4

Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno. Ensayos en condiciones ambientales reales.

Mezcla	Dosis	Temperatura del concreto, °C	Primera fisura	Eso, KPa	Esa, KPa	Ancho promedio de fisura, mm	CRR, %	Tasa Evaporación, kg/m ² /h
175.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	26.40	3 hr 45 min	3.44758	2.93475	1.40	0.00	0.58
	400.00 gr/m ³	26.60	5 hr 30 min	3.48849	2.93475	0.10	92.86	0.60
210.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	26.80	3 hr 30 min	3.52983	2.93475	1.10	0.00	0.62
	400.00 gr/m ³	27.00	5 hr 15 min	3.57160	2.93475	0.10	90.91	0.64
280.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	26.75	3 hr 30 min	3.51946	2.93475	1.00	0.00	0.61
	400.00 gr/m ³	26.80	5 hr 10 min	3.52983	2.93475	0.10	90.00	0.62

Tabla 5

Parámetros atmosféricos promedios del Mes de Abril en Chiclayo. Estación C.O. Reque.

Parámetro	Valor
Temperatura promedio	23.70 °C
Humedad relativa promedio	82.00 %
Velocidad del viento promedio	25.20 Kph

Fuente: SENAMHI, 2016.

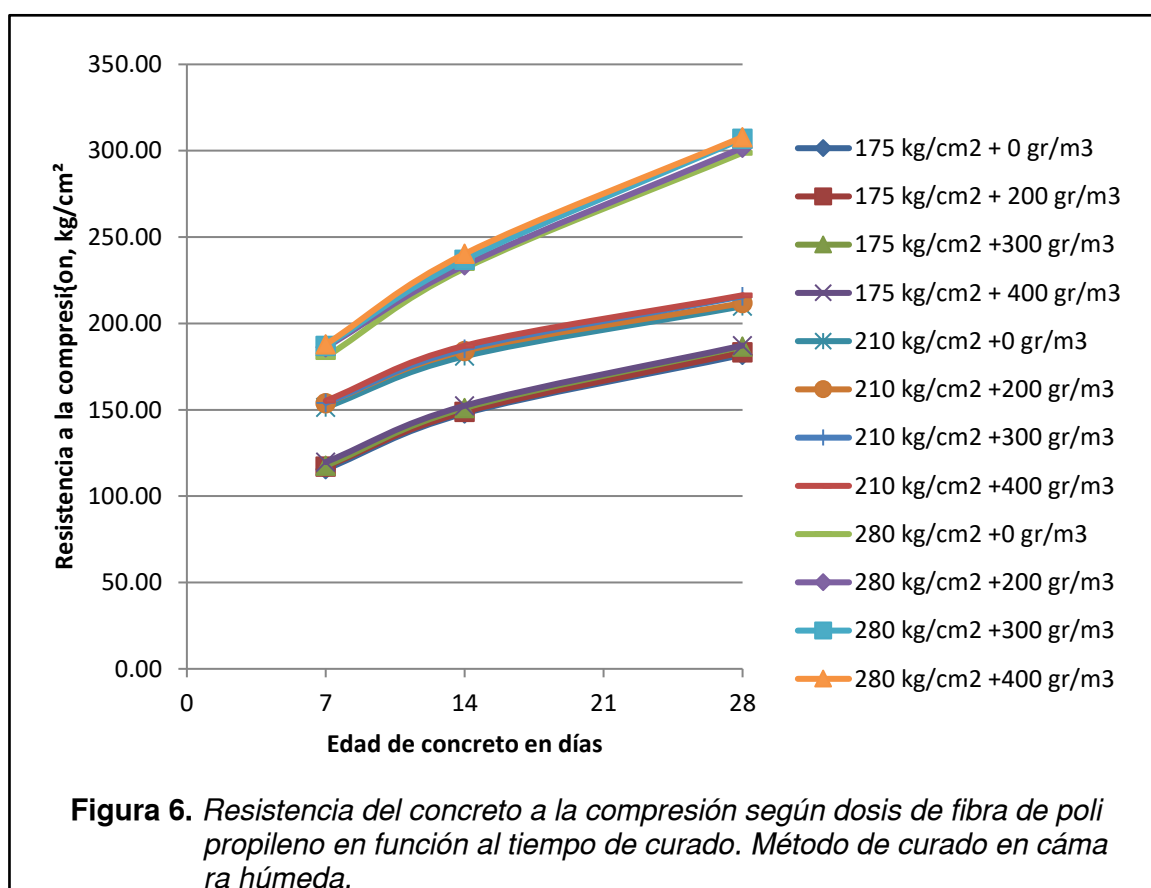
Para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² se observó que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 90% aproximadamente, según resultados obtenidos en condiciones ambientales reales.

De las propiedades mecánicas, respecto a la resistencia a la compresión se obtuvo los siguientes resultados:

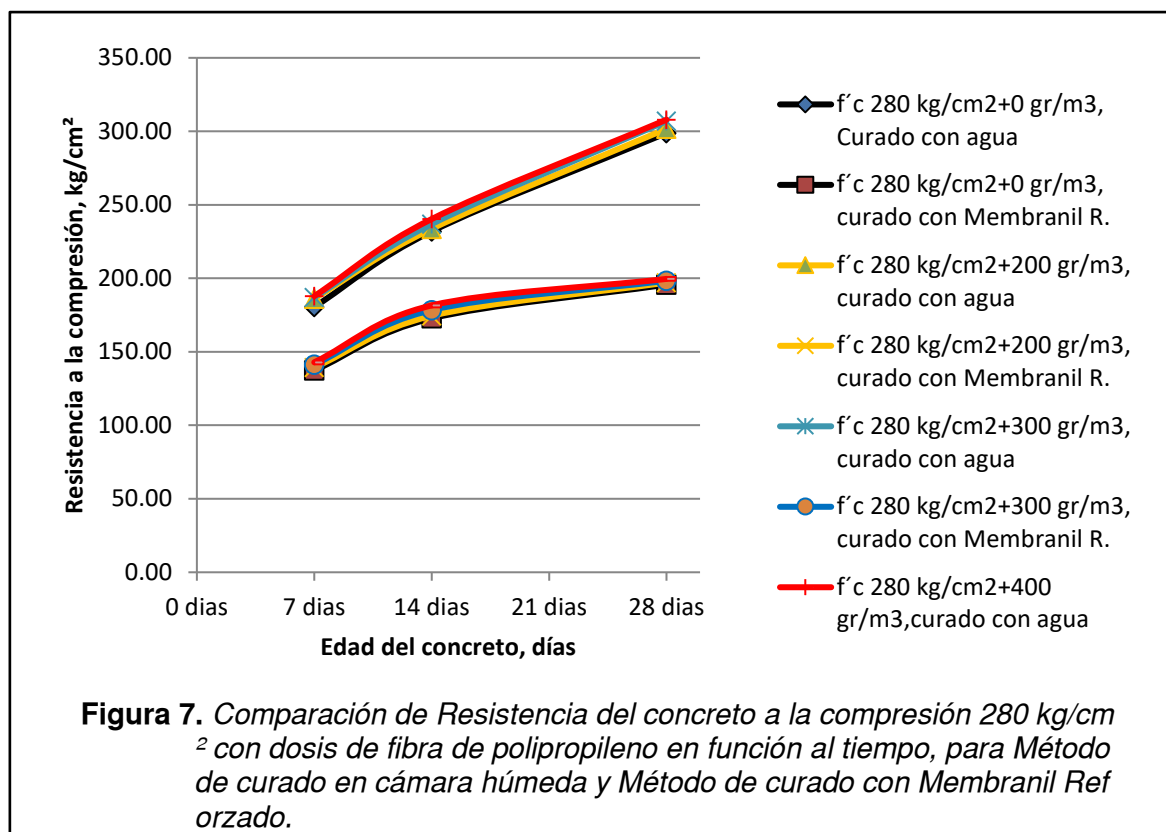
Tabla 6

Porcentaje de Incremento de la Resistencia a la Compresión según dosis de fibra de polipropileno.

f'c	Dosis Fibra	f'c 28 días	% Incremento de Resistencia
175	0 gr/m ³	181.82	0.00%
	200 gr/m ³	183.29	0.81%
	300 gr/m ³	186.6	2.63%
	400 gr/m ³	187.23	2.97%
210	0.00 gr/m ³	209.95	0.00%
	200.00 gr/m ³	211.75	0.86%
	300.00 gr/m ³	215.68	2.73%
	400.00 gr/m ³	216.31	3.03%
280	0.00 gr/m ³	298.82	0.00%
	200.00 gr/m ³	301.68	0.96%
	300.00 gr/m ³	306.93	2.71%
	400.00 gr/m ³	307.93	3.05%



Adicionalmente con fines de comparar el método de curado, se ensayaron 36 probetas que fueron curadas con aditivo Membranil Reforzado y expuestas a la intemperie, a los 28 días el concreto adicionado con fibra de polipropileno en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto solo alcanzaron el 65.49, 65.95, 66.37 y 66.79% respectivamente de la resistencia patrón real de 298.92 kg/cm² curado con agua.



De las propiedades mecánicas, respecto a la resistencia a la compresión se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 7
Módulo de rotura a flexión según resistencia y dosis de adición de fibra de polipropileno.

Resistencia a la compresión f'c	Dosis de fibra	Carga P, Kg	Sección Viga		Luz entre apoyos L, cm	Módulo Rotura por flexión MR, Kg/cm ²	Incremento %
			Base b, cm	Peralte d, cm			
175.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	2550.50	15.24	15.24	48.34	34.83	100.00
	200.00 gr/m ³	2670.73	15.24	15.24	48.34	36.47	104.71
	300.00 gr/m ³	2790.50	15.24	15.24	48.34	38.11	109.41
	400.00 gr/m ³	2890.55	15.24	15.24	48.34	39.48	113.33
210.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	3050.52	15.24	15.24	48.34	41.66	100.00
	200.00 gr/m ³	3180.20	15.24	15.24	48.34	43.43	104.25
	300.00 gr/m ³	3360.63	15.24	15.24	48.34	45.90	110.17
	400.00 gr/m ³	3480.55	15.24	15.24	48.34	47.53	114.10
280.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	4100.36	15.24	15.24	48.34	56.00	100.00
	200.00 gr/m ³	4322.37	15.24	15.24	48.34	59.03	105.41
	300.00 gr/m ³	4490.00	15.24	15.24	48.34	61.32	109.50
	400.00 gr/m ³	4690.69	15.24	15.24	48.34	64.06	114.40

4. Discusión

El ensayo de asentamiento ha sido realizado según NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

Respecto a los resultados obtenidos del asentamiento, se tiene que este disminuye al incorporar fibra de polipropileno en el concreto y continua disminuyendo cuando se incrementa la dosis de fibra, para dosis de 400 gr/m³ el asentamiento se redujo en más del 50% para los tres diseños, 175, 210 y 280 kg/cm².

Otros resultados comparables de otras investigaciones reportan también disminución del asentamiento cuando se incrementa la adición de fibra de polipropileno, los investigadores Kolli Ramujee. (2013), Milind, V. (2015), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), López, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), Vidad, J. (2006) y Tello, A. (2008), demostraron en sus investigaciones que la adición de fibra de polipropileno reduce significativamente el asentamiento, llegando en algunos casos a utilizarse un aditivo superplastificante para recuperar la trabajabilidad del concreto.

El ensayo de contenido de aire ha sido realizado según NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico.

Respecto a los resultados obtenidos del contenido de aire, se tiene que este disminuye al incorporar fibra de polipropileno en el concreto y continua disminuyendo cuando se incrementa la dosis de fibra, para dosis de 400 gr/m³ el contenido de aire se redujo en más del 25% para los tres diseños, 175, 210 y 280 kg/cm².

Dávila, M. (2014) y López, J. (2014) afirman que no existe una tendencia de aporte significativo de la fibra de polipropileno sobre el contenido de aire. Mientas que Rojas, H. (2009) concluye que el contenido de aire aumenta ligeramente a medida que la dosificación de fibra va aumentando debido a que la fibra forma una red interna atrapando más aire.

El ensayo de temperatura ha sido realizado según NTP 339.184:2013. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto para los diseños de mezclas de 175, 210 y 280 kg/cm², no afecta la temperatura del concreto, obteniéndose temperaturas del concreto que van desde los 26 °C hasta los 28°C.

López, J. (2014), concluye que no existe variación en la temperatura por adición de fibra de polipropileno al concreto. Cabe resaltar que de las investigaciones mencionadas en los antecedentes solo el autor mencionado realizó ensayos de temperatura al concreto en estado plástico.

El ensayo de peso unitario ha sido realizado según NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto no afecta el peso unitario.

Dávila, M. (2014) y López, J. (2015) concluyen que la adición de fibra de polipropileno no causa efecto alguno en el peso unitario del concreto. Mientas que Rojas, H. (2009) y García, P. (2007) demostraron que la adición de fibra de polipropileno en el peso unitario para cada mezcla evaluada sufre una disminución (aligeramiento) a medida que se va incrementando la dosificación de fibra en la mezcla. Esto se debe principalmente a que la fibra atrapa más aire.

El ensayo de potencial de fisuración se realizó según ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

Ensayos realizados en el túnel de viento para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² mostraron que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 65% aproximadamente, mientras que en condiciones ambientales reales esta misma dosis logra inhibir hasta un 90% de la fisuración por contracción plástica.

Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Milind, V. (2015), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), Manzano, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007) y Tello, A. (2008), concluyen

que la adición de fibra de polipropileno reduce significativamente la fisuración por contracción plástica, en porcentajes hasta del 90%, respecto al diseño convencional.

El ensayo de resistencia a la compresión se ha realizado según NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Se observó que adiciones de fibra de polipropileno en el concreto hidráulico incrementan ligeramente la resistencia a la compresión hasta un 3% cuando se aplica dosis de 400 gr/m³ de concreto. Sin embargo se demostró estadísticamente que este aporte no es significativo.

Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Mohamed, R. (2006), Saeid Kakooei. (2012), López, J. (2015), Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), concluyen que la adición de fibra de polipropileno produce un ligero incremento en la resistencia a la compresión.

Dávila, M. (2010), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), concluyen que la adición de fibra de polipropileno no produce algún incremento o reducción en la resistencia a la compresión.

Mientras que Manzano, J. (2014) y Vidad, J. (2006), concluyen que la adición de fibra de polipropileno tiende a reducir la resistencia a la compresión.

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó según NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Se observó que la resistencia a la flexión es un 20 % de la resistencia a la compresión, ambos son concreto convencional. La adición de fibra de polipropileno en el concreto hidráulico genera un incremento aproximado de 14% del módulo de rotura a flexión cuando se utiliza una dosis de fibra de polipropileno de 400 gr/m³ de concreto. Se demostró estadísticamente que el aporte si es significativo.

Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Mohamed, R. (2006), Milind, V. (2015), Saeid Kakooei. (2012), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), Manzano, J. (2014), López, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), Vidad, J. (2006), Tello, A. (2008), concluyen que la adición de fibra de polipropileno genera un incremento en la resistencia a la flexión del concreto.



Figura 8. *Probetas 4 x 8 pulg.* Probetas listas para ser ensayadas en prensa hidráulica. Las cuatro primeras probetas de la derecha (blanquecinas) fueron curadas con Membranil Reforzado



5. Conclusiones

Se realizó diseños de mezclas estándar $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm^2 , que fueron patrón de comparación con las mezclas que tuvieron adición de fibra de polipropileno, permitieron determinar la influencia de la fibra sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto. Los diseños patrones fueron adicionados con fibra de polipropileno en proporciones en peso de 200, 300, y 400 gr por m^3 de concreto.

Se analizó los efectos de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas del concreto hidráulico, asentamiento, contenido de aire atrapado, temperatura, peso unitario y potencial de fisuración. Concluyendo, el asentamiento y el contenido de aire se reducen significativamente, mientras que la temperatura del concreto y su peso unitario no muestran variación significativa. Respecto al potencial de fisuración a mayor dosis de fibra mayor inhibición de fisuras por contracción plástica.

El contenido óptimo de fibra de polipropileno es de 400 gr/m^3 de concreto que logra inhibir el potencial de fisuración en condiciones de laboratorio (túnel de viento) hasta un 65% y en condiciones ambientales reales logra inhibir el fisuramiento hasta en una 90%. Esta dosis de fibra redujo el asentamiento hasta en un 50%, el contenido de aire lo disminuyó hasta en un 25%, no altera la temperatura y el peso unitario del concreto fresco.

Se analizó los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico (compresión y flexión). Ambas propiedades se ven incrementadas con la adición de fibra de polipropileno, aproximadamente en un 3% y 14% a la edad de 28 días, respectivamente. La dosis de 400 gr/m^3 genera una resistencia a la compresión a los 28 días de 187.23, 216.32 y 307.93 kg/cm^2 para los diseños patrones de 175, 210 y 280 kg/cm^2 , respectivamente. Respecto al módulo de rotura a flexión genera resistencias de 39.48, 47.54 y 48.34 kg/cm^2 para los diseños patrones de 175, 210 y 280 kg/cm^2 , respectivamente. Estadísticamente se demostró que solo el aporte a flexión es significativo.

Referencias

- Calavera, J. (2005). Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. España: Intemac, segunda edición.
- Cifuentes, H., Alcalde, M., y Medina, F.(2011). Influencia de la adición de fibras de polipropileno sobre el comportamiento en fractura de elementos de hormigón de ancho variable. España.
- Cifuentes, H. y y Medina, F.(2007). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño. México.
- Dávila, M. (2014). Efecto de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto. México.
- De los Ángeles, M., y Gutiérrez, P. (2011).Caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica. Colombia.
- García, P. (2007). Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto. Perú.
- Kolli Ramujee. (2013). Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Volume 2, Issue 8. Page 3409 - 3413. India.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., and Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Estados Unidos: Portland Cement Association.
- López, J (2015). Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado. México.
- López, J. (2014). Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. Guatemala.
- López, T., Rosales, D. Hernández, J., Horta, J. (2012). Características mecánicas de un suelo fino reforzado con micro fibras de polipropileno. México.
- Manzano, J. (2014). Evaluación del Efecto en la Contracción del Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno. Colombia.
- Milind V. Mohod. (2015). Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. Volume 12, Issue 1 Ver. I. Page 28-36. India.
- Mohamed R. (2006) Effect of polypropylene fibers on the mechanical properties of normal concrete. Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Volume 34, Nº. 4. Page. 1049-1059. Egypt.
- Munizaga, G. (2009). Fisuración por retracción en hormigones: influencia del tipo de cemento. Chile.
- Ottazzi, G. (2013). Diseño en Concreto Armado. Perú. Asociación Capitulo Peruano del Instituto Americano del Concreto, segunda edición.
- Pey Shiuan Song y Chi Jen Tu. (2013). Effect of Different Types of Polypropylene Fibers on the Properties of Mortar. Journal of C.C.I.T., Volume 43, Nº.2. China.
- Rojas, H. (2009). Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (plumas de aves). Perú.
- Saeid Kakooei, Hazizan Md Akil, Morteza Jamshidi and Jalal Rouhi. (2012). The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. Construction and Building Materials. Page 73-77. Malaysia.
- San Bartolomé, A., y Ríos, R. (2013). Comportamiento a fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzados en su zona central con barras de acero, fibra de polipropileno y con fibra de acero. Concreto y cemento, investigación y desarrollo. Volumen 5, Nº1. Páginas 2-16. Perú.
- Serrera, A. (2013). Análisis de la adición de fibras de polipropileno en hormigones mediante métodos computacionales. España.
- Stewart, D. (2004). Development of a performance based, integrated design/selection mixture methodology for fiber reinforced concrete airfield pavements. Estados Unidos.
- Tello, A. (2008). Uso del aditivo superplastificante Rheobuild 1000 y la fibra de polipropileno Fibermesh 300 en edificios con ductilidad limitada aplicada al conjunto habitacional Lomas Caminos del Inca. Perú.

Vidad, J. (2006). Análisis del comportamiento del concreto con incorporación de fibras de polipropileno. Perú.

INEI. (2012). Cuadro Estadístico sobre Venta local de cemento por empresa, según departamento, 2009-2012.

Normas Técnicas Peruanas e Internacionales.

NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico

NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

NTP 339.184. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

NTP. 339.033. HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.

NTP 339.088 CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland.

NTP 334.082 CEMENTOS PORTLAND, especificación de la performance.

ASTM 1157 Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico.

NTP 334.001 CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura.

NTP 400.037 AGREGADOS, especificaciones normalizadas para agregados en concreto.

NTP 400.013 AGREGADOS, método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y concreto.

NTP 400.012 AGREGADOS, análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

NTP 400.021 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, de agregado grueso.

NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, de agregado fino.

NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

ASTM C-494. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.