

**Análisis del Comportamiento del Hormigón Reforzado con Fibras Metálicas para el
Ensayo de Flexotracción**

**Analysis of the behavior of the reinforced concrete with metal fibers for the
Flexotraction Test**

Darwin Campoverde-Cajamarca, Wilmer Zambrano-Zambrano, Mario Narváez-Espinoza,
Norma Armijos-Sánchez

dfcampoverde_est@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El material compuesto llamado hormigón es el preferido en la mayoría de las construcciones civiles gracias a su gran resistencia a la compresión y a su larga vida, pero debido a muchas desventajas que dicho material presenta, se ve la necesidad de buscar formas para reforzarlo y satisfacer solicitaciones de cargas a las cuales por si solo el concreto no puede resistir. Es por esta razón que en este trabajo se ha analizado el comportamiento que tienen las fibras metálicas en el hormigón frente al ensayo de flexotracción. Para el presente trabajo se ha utilizado fibras metálicas Dramix de la serie 3D 45/30 BG a las que corresponde una longitud de 30 mm y diámetro de 0.62 mm. Estas fibras poseen una resistencia a la tracción de 1.270 N/mm² según el proveedor y fabricadas conforme a las normas ASTM A820 y ASTM C 1116 para concretos reforzados con fibras. Como conclusión de este trabajo tenemos una correlación entre los valores de resistencia a la tracción indirecta y módulos de rotura, obteniendo expresiones que nos sirven para dejar de lado el control de módulos de rotura mediante el ensayo a flexotracción.

Palabras clave: Hormigón, fibras metálicas, flexo tracción, módulo de rotura.

ABSTRACT

The composite material called concrete is preferred in most civil constructions due to its great resistance to compression and its long life, but due to many disadvantages that this material presents, it is necessary to look for ways to reinforce it and satisfy demands of loads to which alone the concrete cannot resist. It is for this reason that in this work we have analyzed the behavior of metallic fibers in concrete against the flexural stress test. For the present work has been used metal fibers Dramix 3D series 45/30 BG to which corresponds a length of 30 mm and diameter of 0.62 mm. These fibers have a tensile strength of 1,270 N / mm² according to the supplier and manufactured according to ASTM A820 and ASTM C 1116

standards for fiber reinforced concrete. As a conclusion to this work, we have a correlation between the values of indirect tensile strength and break modules, obtaining expressions that help us to leave aside the control of break modules by means of the flexotraction test.

Keywords: Concrete, metal fibers, flexure traction, breaking module.

INTRODUCCIÓN

El uso de fibras para reforzar el hormigón no es algo nuevo (Ileudv, Carrillo Julián, William, & Giovanni, 2013), pero si cabe destacar que el usar fibras metálicas ha ido ganando gran popularidad en las últimas décadas debido a diversos estudios que demuestran que la principal razón para utilizar este tipo de fibras es aumentar su resistencia a la fractura así como su resistencia a la tracción gracias a la capacidad que tienen las fibras para servir como puente entre las grietas (Krayushkina, Khymerik, Skrypchenko, Moshkovskiy, & Pershakov, 2017) y (Abdel-Rahman, Hassan, & Soliman, 2016), mejorando las propiedades post agrietamiento del concreto (Nilforoush, Nilsson, & Elfgren, 2017).

Se ha demostrado que la inclusión de fibras metálicas en la mezcla de concreto genera un aumento en el módulo de elasticidad del mismo, así como un ligero incremento en su resistencia a la compresión (Ruiz, Ramírez, Logreira, & León, 2015) y también se ha logrado comparar un hormigón sin fibras con uno reforzado con fibras metálicas llegando a la conclusión de que el segundo es altamente superior en diferentes aspectos de sus propiedades mecánicas (González, Castaño, Alvarado, & Gasch, 2014). Dependiendo del tipo y cantidad de fibras que se usen en la mezcla la resistencia a la tracción y flexión, la tenacidad, la contracción y fluencia, entre otras propiedades se verán mejoradas en mayor o menor cantidad (Abd Elaty & Ghazy, 2017).

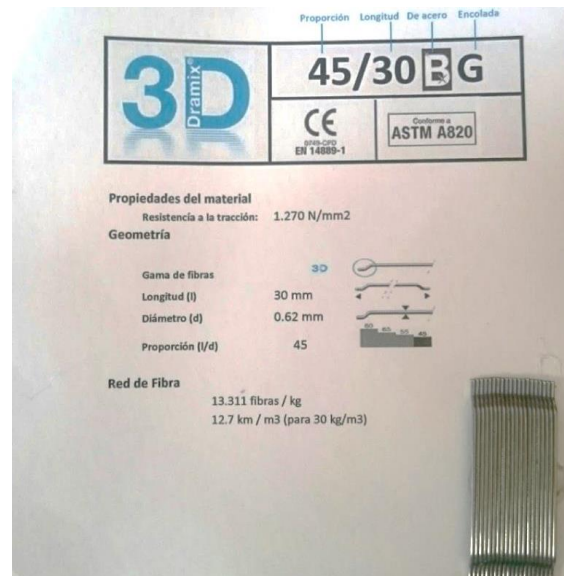
MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha establecido diseñar hormigón con una resistencia a la compresión a los 28 días de curado de 21 Mpa el cual según la tabla 801-1.1, Clases y usos de hormigones de cemento Pórtland (Mop-001-F 2002, 2002), corresponde a un hormigón tipo C que puede ser usado para diferentes elementos que trabajan a tracción como: Pavimentos rígidos, tanques y reservorios cilíndricos o cónicos. En nuestro caso este hormigón ha sido utilizado en suelo industrial con requisitos de carga normales y cargas dinámicas.

Se ha utilizado fibras metálicas Dramix de la serie 3D 45/30 BG a las que corresponde una longitud de 30 mm y diámetro de 0.62 mm. Es decir, las fibras tenían un aspecto de 45. Estas

fibras poseen una resistencia a la tracción de 1.270 N/mm² según el proveedor y fabricadas conforme a la norma ASTM A820.

Figura 1. Propiedades de las Fibras Metálicas



La mezcla de hormigón simple fue preparada siguiendo las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes propuesta por el MOP-001-F 2002. Se ha utilizado una cantidad de fibras de 25kg por cada metro cubico de mezcla usando la metodología de mezclado sugerida por la norma ASTM C 1116 para concretos reforzados con fibras.

La resistencia para la que se ha diseñado es de 21 MPa, se cuenta con un agregado grueso de tamaño máximo 19.5 mm, un módulo de finura de la arena de 2.01 y ha diseñado con una relación agua-cemento de 0.51. La dosificación para 1 saco de cemento de 50kg ha sido de:

- Agua = 25.5 lt
- Grava = 145.65/8 kg
- Arena = 68.38 kg

Se ha tomado en cuenta el agua a agregar debido a la absorción en caso de usar agregados secos.

Para la evaluación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón de cemento hidráulico se seguirá la norma NTE INEN 1 573, para la evaluación del momento de rotura de vigas de hormigón de cemento hidráulico con carga en los tercios se utilizará la norma NTE INEN 2554 y para la evaluación de la resistencia a la tracción indirecta en probetas de hormigón de cemento hidráulico se seguirá lo dispuesto en la norma ASTM C 496.

Es importante conocer que los operadores responsables de la realización de los ensayos mencionados anteriormente deben cumplir con requisitos técnicos de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1 077. Es por esta razón que se ha implementado un plan para la capacitación de las personas que van a intervenir en cada uno de los ensayos a realizarse en este trabajo de titulación.

DISCUSIONES

Durante los ensayos a compresión de los elementos sin refuerzo de fibras metálicas y los reforzados con fibras metálicas Dramix 3D 45/30 BG, se ha notado un aumento de la resistencia promedio un 6% a los 21 días de curado.

Tabla 1. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón sin fibra

N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días de Curado	PROBETAS SIN FIBRA					
				A/C	Asent. (cm)	Área (cm ²)	Masa (g)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)
19						78,50	3801	144,80	18,81
20	27/07/2017	03/08/2017	7	0,51	6,00	78,50	3854	121,50	15,79
21						78,50	3803	128,30	16,67
22						78,50	3935	172,50	22,41
23	27/07/2017	10/08/2017	14	0,51	6,00	78,50	3853	160,90	20,91
24						78,50	3805	170,20	22,12
25						78,50	3823	202,70	26,34
26	27/07/2017	17/08/2017	21	0,51	6,00	78,50	3870	193,30	25,12
27						78,50	3843	199,80	25,96
								PROM	25,805

En la tabla 1 se tiene los resultados de nueve cilindros de hormigón sin fibras metálicas ensayados a los 7, 14 y 21 días de curado la cual muestra un promedio de resistencia a la compresión de 25.81MPa. Se observa que las probetas ensayadas a los 7 días alcanzan un 70% de la resistencia diseñada y a los 14 días de curado ya cuentan con un 89%. También se ha observado que en el momento de la fractura la mayoría de los cilindros adoptaron el tipo 2 y tipo 3 del esquema de los modelos típicos de fractura propuesto en la norma NTE INEN 1 573.

Tabla 2. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón reforzadas con fibras metálicas

PROBETAS CON FIBRA									
Nº	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días de Curado	A/C	Asent. (cm)	Área (cm ²)	Masa (g)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)
64						78,50	3876	145,30	18,88
65	29/07/2017	05/08/2017	7	0,51	6,00	78,50	3906	143,80	18,68
66						78,50	3878	149,20	19,39
67						78,50	3924	184,60	23,99
68	29/07/2017	12/08/2017	14	0,51	6,00	78,50	3907	177,70	23,09
69						78,50	3920	179,50	23,32
92						78,50	3836	210,00	27,29
93	29/07/2017	19/08/2017	21	0,51	8,00	78,50	3922	211,30	27,46
								PROM	27,371

En la tabla 2 se muestra los valores de resistencia de 8 probetas de hormigón ensayadas a los 7, 14 y 21 días de curado las cuales tienen como resistencia promedio a la compresión de 27.31 MPa. A los 7 días de curado presentan un porcentaje de resistencia a la compresión con respecto al f'_c diseño de 77% y a los 14 días de curado un porcentaje de resistencia promedio de 96%. Los valores obtenidos en los ensayos de probetas sin fibras cumplen con la resistencia requerida a diferentes edades de curado y las probetas reforzadas demuestran una mejora en dicha resistencia como ya se ha dicho de un 6%.

Tabla 3. Calculo de los momentos de rotura para vigas sin fibras con carga a los tercios

VIGAS SIN FIBRAS								
Nº	Días de Curado	Asentamiento (cm)	A/C	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	R (Mpa)
1				450	150	150	27400	3,653
2	21	6	0,51	450	150	150	27100	3,613
3				450	150	150	26100	3,480
4				450	150	150	32700	4,360
5	21	5	0,51	450	150	150	29000	3,867
6				450	150	150	27000	3,600
7				450	150	150	27900	3,720
8	21	6	0,51	450	150	150	30300	4,040
9				450	150	150	28500	3,800
10				450	150	150	30300	4,040
11	21	9	0,51	450	150	150	29300	3,907
12				450	150	150	28400	3,787

13				450	150	150	23800	3,173
14	21	10	0,51	450	150	150	28200	3,760
15				450	150	150	29000	3,867
							PROM	3,778
							MAX	4,360
							MIN	3,173
							DS	0,273

En la tabla 3 se tiene el cálculo del momento de rotura para vigas cargadas a los tercios tal como lo establece la norma NTE INEN 2554. Las vigas fueron ensayadas con un curado de 21 días de edad obteniendo como resultado un promedio de momento de rotura de 3.78 MPa, un valor máximo de 4.36 MPa, un valor mínimo de 3.17MPa y un valor de desviación estándar de 0.273.

En tabla 4 se tiene los valores de momentos de rotura para vigas reforzadas con fibras metálicas Dramix e la serie 3D 45/30 BG. Como resultado se tiene un promedio de momentos de rotura de 4.69 MPa, un valor máximo de 4.93 MPa y un valor mínimo momento de rotura de 3.83 MPa. Con estos valores se obtiene una desviación estándar de 0.318.

Tabla 4. Calculo de los momentos de rotura para vigas reforzadas con fibras metálicas Dramix de la serie 3D 45/30 BG con carga a los tercios

VIGAS CON FIBRAS								
Nº	Días de Curado	Asentamiento (cm)	A/C	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	R (Mpa)
16				450	150	150	35600	4,747
17	21	10	0,51	450	150	150	35600	4,747
18				450	150	150	37000	4,933
19				450	150	150	28700	3,827
20	21	10	0,51	450	150	150	30700	4,093
21				450	150	150	35000	4,667
22				450	150	150	35100	4,680
23	21	7	0,51	450	150	150	36200	4,827
24				450	150	150	35800	4,773
25				450	150	150	37000	4,933
26	21	9	0,51	450	150	150	34400	4,587
27				450	150	150	36100	4,813
28				450	150	150	36800	4,907
29	21	10	0,51	450	150	150	37000	4,933
30				450	150	150	36500	4,867
							PROM	4,689
							MAX	4,933
							MIN	3,827

DS 0,318

En la tabla 5 se hace referencia a la correlación entre los valores de resistencia a la tracción indirecta de probetas reforzadas con fibras, así como de módulos de rotura de vigas igualmente con fibras reforzadas.

Tabla 5. Correlación entre TI y MR de especímenes con y sin refuerzo

Tracción Indirecta (TI)	SIN FIBRAS		CON FIBRAS		
	Módulo de Rotura (MR)	MR = $0,3492TI + 2,5109$ Mpa	Tracción Indirecta (TI)	Módulo de Rotura (MR)	MR = $0,0158TI + 4,8605$ Mpa
3,444	3,653	3,714	3,909	4,747	4,799
3,323	3,613	3,671	3,832	4,747	4,800
3,689	3,480	3,799	3,648	4,933	4,803
3,718	3,867	3,809	3,778	4,667	4,801
3,444	3,600	3,714	4,179	4,680	4,794
3,597	3,720	3,767	3,950	4,827	4,798
3,527	4,040	3,742	3,947	4,773	4,798
3,648	3,800	3,785	4,023	4,933	4,797
3,718	4,040	3,809	3,310	4,587	4,808
3,610	3,907	3,771	3,626	4,813	4,803
3,788	3,787	3,834	3,661	4,907	4,803
3,788	3,760	3,834	3,603	4,933	4,804
3,937	3,867	3,886	3,285	4,867	4,809

Figura 2. Resistencia a la Tracción Indirecta VS Modulo de Rotura

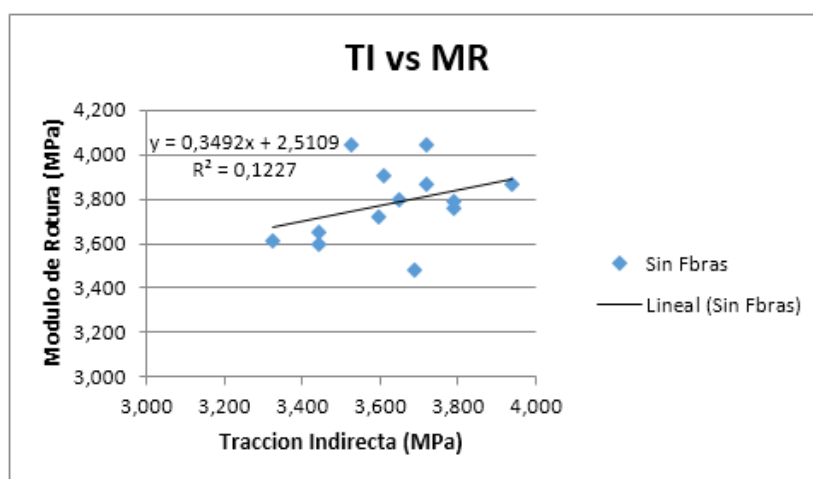
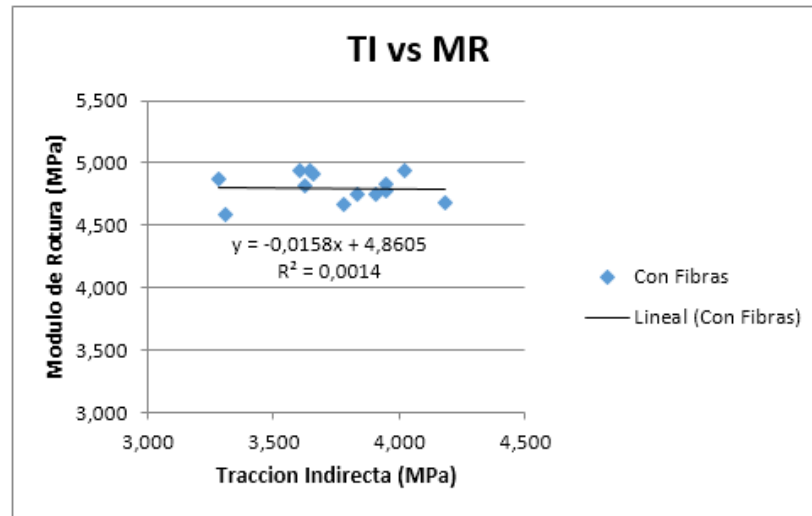


Figura 3. Resistencia a la Tracción Indirecta VS Modulo de Rotura de especímenes reforzados con fibras metálicas



CONCLUSIONES

- Se logró establecer una correlación entre los valores de resistencia a la tracción indirecta (TI) de probetas cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro y los módulos de rotura (MR) que presentan las vigas con refuerzo de fibras metálicas y sin refuerzo de las mismas, obteniendo las siguientes expresiones: Para los elementos sin refuerzo $MR = 0.3492TI + 2.5109$ y $MR = -0.0158TI + 4.8605$ para los reforzados. Con estas expresiones se puede calcular módulos de rotura de hormigón a partir del ensayo de tracción indirecta. El ensayo de tracción indirecta ha demostrado ser más sencillo de realizar en relación al ensayo de flexotracción, debido a la facilidad con la que se preparan y manipulan las probetas cilíndricas en comparación a las vigas que poseen gran volumen.
- Realizados los ensayos de flexión y tracción indirecta, se observó que los elementos no reforzados con fibras metálicas tuvieron una falla frágil en contraste a los que sí fueron reforzados, los cuales presentaron una falla dúctil ya que al momento de generarse la grieta sufrieron primero una acusada deformación, antes de llegar a la falla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Elaty, M. & Ghazy, M. (2017). Fluidity evaluation of fiber reinforced-self compacting concrete based on buoyancy law. *HBRC Journal*.

Abdel-Rahman, A. M., Hassan, N. Z. & Soliman, A. M. (2016). Punching shear behavior of reinforced concrete slabs using steel fibers in the mix. *HBRC Journal*.

Antonius, Widhianto, A., Darmayadi, D. & Asfari, G. (2014). Fire resistance of normal and high-strength concrete with contains of steel fibre. *Asian Journal of Civil Engineering*, 15(5), 655–669.

Aylie, H. & Okiyarta, A. (2015). Experimental Study of Steel-fiber Reinforced Concrete Beams with Confinement. *Procedia Engineering*, 125, 1030–1035.

González, N., Castaño, J., Alvarado, Y. & Gasch, I. (2014). Influencia del volumen de fibras y curado posterior sobre el comportamiento post - fisura de un concreto de ultra alto desempeño. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(3), 220–233.

Ileudv, F., Carrillo Julián, W., William, A. & Giovanni, G. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería Investigación Y Tecnología*, 14(3), 435–450.

Krayushkina, K., Khymerik, T., Skrypchenko, O., Moshkovskiy, I. & Pershakov, V. (2017). Investigation of Fiber Concrete for Road and Bridge Building. *Procedia Engineering*, 187, 620–627.

Marciukaitis, G. & Šalna, R. (2017). Calculation of Punching Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Flat Slabs. *Procedia Engineering*, 172, 1110–1114.

Nilforoush, R., Nilsson, M. & Elfgren, L. (2017). Experimental evaluation of tensile behaviour of single cast-in-place anchor bolts in plain and steel fibre-reinforced normal- and high-strength concrete. *Engineering Structures*, 147, 195–206.

Ruiz, D., Ramírez, C., Logreira, L. & León, M. (2015). Evaluación del comportamiento de vigas en voladizo de concreto reforzado con fibras ante la aplicación de cargas cíclicas. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30(1), 17–31.