

Dispositivo para Producir Fibras Rizadas para Reforzar el Concreto

Device to Produce Fibers to Reinforce the Concrete

Investigación

Dr. Alejandro Meza-de Luna¹, Dra. Rosario Moreno-Virgen², Luis Ignacio Herrera-Montoya³, Abraham Alvarado- Laguna³, Daniel Gallegos-Sánchez³, José de Jesús Esquivel-López³, TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Mecánica¹, Departamento de Ciencias Básicas², Estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica³.
Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423, alejandro.meza@mail.ita.mx

Resumen

Aunque el concreto reforzado con fibras (FRC) ha demostrado una mayor capacidad estructural que el concreto convencional, las fibras comerciales no son distribuidas en algunos mercados locales. Sin embargo, alambres comerciales, como lo son el galvanizado y el recocido, son de distribución general. En éste artículo, un dispositivo para producir fibras rizadas a partir de alambre comercial es presentado, su funcionamiento es manual por medio de una palanca que operan un par de engranes. Las fibras producidas con diferente dosificación, fueron vertidas en muestras de 150x150x500 mm, de acuerdo a la norma ASTM C1018. Los resultados demuestran que el dispositivo de rizado de alambre propuesto es capaz de generar fibras de alambre galvanizado y recocido, las fibras propuestas mostraron factibilidad debido a una resistencia residual a flexión adquirida por el concreto.

Palabras clave: Norma ASTM, fibras rizadas, acero, concreto reforzado.

Abstract

Even though Fiber-Reinforced Concrete (FRC) has been proved to have superior structural integrity than conventional concrete, commercial steel fibers to reinforce the concrete are not available in some local market. However, some conventional materials such as galvanized and annealed wire are accessible. In this paper, a device to produce crimped fibers from steel wire is proposed and is based on a simple two gear mechanisms operated manually by means of a crank. Fibers produced, with different dosages, were immersed in samples of 150X150X500 mm, according to standard ASTM C1018. The results indicated that the proposed wire crimping device is capable of generating galvanized and annealed fibers, the proposed fibers showed feasibility due to the concrete acquired a residual strength under bending load.

Keywords: ASTM Standard, crimped fiber, steel, reinforced concrete.

Introducción

El concreto tiene una alta resistencia a compresión, pero a tensión falla de manera frágil [1]. Cuando fibras comerciales son mezcladas al concreto, propiedades como módulo de rigidez, carga máxima, ductilidad, resistencia a la fatiga y control del agrietamiento pueden ser mejoradas [2-7]. El concreto reforzado con fibras de acero (SFRC) -de acuerdo a su denotación en inglés *Steel Fiber Reinforced Concrete*- es un material compuesto en el cuál las fibras metálicas son distribuidas en forma aleatoria en una matriz de concreto. Su uso se ha incrementado en diferentes aplicaciones como: losas industriales, recubrimiento en túneles, tuberías, y pavimentos para vehículos y aeronaves [8-12].

Emon et al. [13] han reportado que las fibras de acero no se distribuyen en Bangladesh. Este inconveniente también se ha presentado en Aguascalientes, México. Las fibras comerciales se tienen que solicitar a las principales ciudades, como Cd. de México, lo que genera un costo adicional por transportación.

El alambre galvanizado y recocido puede ser una alternativa para la generación de fibras. El alambre galvanizado es manufacturado a partir de varillas de acero laminado y cubierto con una delgada capa de zinc [13, 14]. Emon et al. [13] estudiaron el efecto de fibras galvanizadas con forma recta, inmersas en especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto; el diámetro de las fibras que utilizaron fue de 0.5 mm, 0.7 mm y 1 mm, con longitud de 91 mm; el concreto que diseñaron se basó en una relación agua/cemento de 0.45, con una mezcla con proporciones de 1:1.5:3, para el cemento, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. Sus resultados indican un incremento en la resistencia a compresión, ductilidad y resistencia residual. Por otra parte, el alambre recocido es un material que logra aumentar su

deformación en frío, la cual depende de la temperatura de elaboración y el tiempo de calentamiento [15-18].

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación es utilizar alambre galvanizado y recocido para generar fibras rizadas; la deformación plástica para rizar el alambre se efectuó con un dispositivo de rizado de alambres. Las fibras, en diferentes proporciones fueron inmersas en especímenes de concreto prismáticos para ser estudiados a flexión, bajo un ensayo de tres puntos de acuerdo a la norma ASTM C78 [19]. Los resultados muestran que el concreto reforzado con fibras de acero galvanizadas (GSFRC) – de la nomenclatura en inglés *Galvanized Steel Fiber Reinforced Concrete*– y el concreto reforzado con fibras de acero recocidas (ASFRC) – de la nomenclatura en inglés *Annealed Steel Fiber Reinforced Concrete*– presentaron una respuesta mecánica superior comparado con el concreto convencional (CC).

Fundamentos teóricos

Fundamentos del trabajo de metales

Diferentes procesos pueden ser utilizados para deformar plásticamente un material y generar una forma permanente. En general, estos procesos aplican una compresión al material para deformarlo, para el trabajo de los metales se sugieren las siguientes propiedades: una baja resistencia a la fluencia y alta ductilidad [20].

Comportamiento de los metales a tensión

El comportamiento de los metales se suele ensayar a tensión, los resultados son graficados relacionando el esfuerzo y la deformación, presentando una zona elástica y plástica que se puede ser observada en la Figura 1. En la zona elástica, la relación esfuerzo-deformación es lineal y obedece la Ley de Hooke, de acuerdo a la ecuación 1. Mientras que la zona plástica tiene un comportamiento no-lineal, misma que para su análisis en diferentes procesos de manufactura se suele simplificar utilizando una escala logarítmica. La ecuación 2 muestra la relación aplicable a la zona plástica [20].

$$\sigma_e = Ee \quad (1)$$

$$\sigma_p = K\epsilon^n \quad (2)$$

$$\epsilon = \ln(1 + e) \quad (3)$$

Donde

σ_e : esfuerzo en la zona elástica

σ_p : esfuerzo en la zona plástica

E: módulo de elasticidad

e: deformación unitaria

ϵ : deformación verdadera

K: coeficiente de resistencia

n: exponente de endurecimiento por deformación

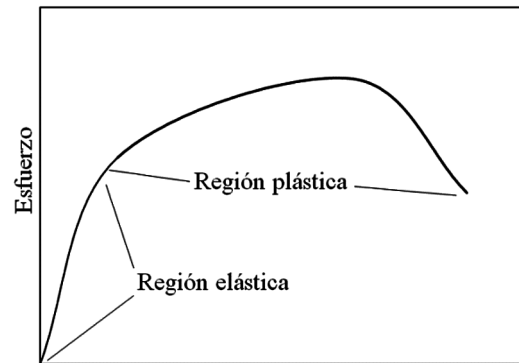


Figura 1. Zona elástica y plástica que presentan comúnmente los metales en un diagrama esfuerzo-deformación a tensión.

Comportamiento a flexión del concreto

Un concreto convencional (CC), que no contiene refuerzo, tiene una falla frágil cuando es sometido a cargas de flexión. Además, se caracteriza por presentar una carga máxima ante una baja deformación. Una vez que llega a este valor, la resistencia es nula. Por otra parte, un SFRC tiene un comportamiento diferente, después de la falla por agrietamiento las tensiones aplicadas son transferidas a las fibras metálicas y éstas controlan la propagación de la falla cambiando el comportamiento frágil a una ruptura dúctil. Esta ruptura dúctil también es conocida como resistencia residual, es decir, una capacidad de carga que puede adquirir el concreto después que ha agrietado, debido a la incorporación de las fibras en el concreto [21, 22]. A diferencia del CC, que tiene una resistencia residual que tiende a cero, el SFRC generará una capacidad residual que dependerá de parámetros relacionados con el concreto y las fibras. En forma cualitativa, la Figura 2 muestra el comportamiento común de un concreto CC y del SFRC a flexión.

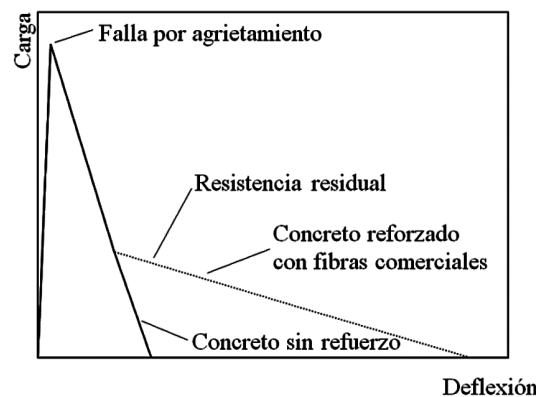


Figura 2. Comportamiento a flexión de un concreto sin refuerzo y un concreto reforzado con fibras de acero comerciales

La capacidad de resistencia residual, también conocida como resistencia post-agrietamiento depende del contenido de fibras, del tipo de fibra, su distribución, y orientación, así como de las propiedades de la matriz de concreto [22]. Por otra parte, la trabajabilidad del concreto –la manera en cómo el concreto permite ser manipulado– depende del contenido de fibras. Es decir, a mayor contenido de fibras la trabajabilidad se reduce. Debido a estas características, se recomiendan dosis de 20 a 40 kg/m³ [23].

El contenido de fibras se clasifica en tres: de bajo, medio y alto contenido de fibras. El SFRC con bajo contenido de fibras tiene un comportamiento similar al del concreto sin refuerzo, su resistencia residual es escasa o nula [24]. El SFRC con medio contenido de fibras se caracteriza por una disminución en su capacidad de carga máxima, pero puede continuar resistiendo cargas menores que la registrada en la primera fisura; su capacidad dependerá de la transferencia mecánica de las fibras representada por el deslizamiento y el arrancamiento de las fibras [24]. Finalmente, el SFRC con alto contenido de fibras puede tener un desempeño post-agrietamiento superior a la de la carga máxima, lo que genera una serie de agrietamientos a través del concreto, produciendo un decrecimiento en la rigidez [23].

Materiales y métodos

Alambres utilizados

Los alambres galvanizados y recocidos son de uso común en el sector de la construcción e industrial, por lo que son materiales que se pueden adquirir en pequeñas ferreterías y grandes centros de distribución de materiales metálicos. Aunque existen diferentes calibres de estos materiales, dos sobresalen por su distribución, motivo por lo que fueron considerados para este estudio como materia prima. La Tabla 1 muestra las propiedades y características técnicas de los alambres comerciales utilizados.

Tabla 1. Datos técnicos del alambre para producir fibras

Alambre	Calibre	Diámetro nominal (mm)	Resistencia axial a tensión (MPa)
Galvanizado	18	1.20	379-517
Recocido	15.25	1.78	343-448

Dispositivo para rizar las fibras

Un dispositivo para producir el rizado de las fibras fue construido. La Figura 3 muestra sus principales

componentes, los cuales son una guía, un juego de engranes y una manivela. Para la conformación del rizado, el alambre fue conducido a través de una guía hacia los engranes, donde los dientes de los engranes deformaron plásticamente el alambre generando una forma rizada. La fuerza de activación fue manual, mediante una manivela localizada en la parte posterior del dispositivo. Los engranes tienen un módulo de 2.5 con 22 dientes de 3.75 mm de altura. La Figura 4 muestra un rollo de alambre rizado.

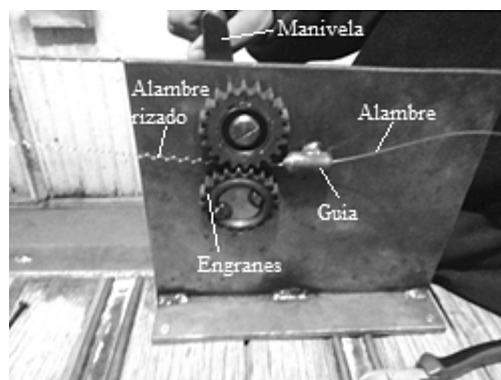


Figura 3. Dispositivo para producir alambre rizado



Figura 4. Alambre rizado con el dispositivo

Producción de fibras

Una vez que el alambre fue rizado, un vernier digital fue utilizado para medir una longitud de 42 mm y posteriormente cortarlo con pinzas de corte convencionales. Para calcular la relación de aspecto de las fibras, se utilizó la ecuación 4, los resultados indican una relación de aspecto de 35 y 23.5, para las fibras hechas con alambre galvanizado y alambre recocido, respectivamente. El ACI -American Concrete Institute- recomienda que la relación de aspecto sea mayor a 20 para que tenga un buen desempeño mecánico [25]. La Figura 5 y 6 muestran las fibras producidas.

$$RA = \frac{l}{d} \quad (4)$$

Donde:

RA: relación de aspecto

l: longitud (mm)

d= diámetro (mm)

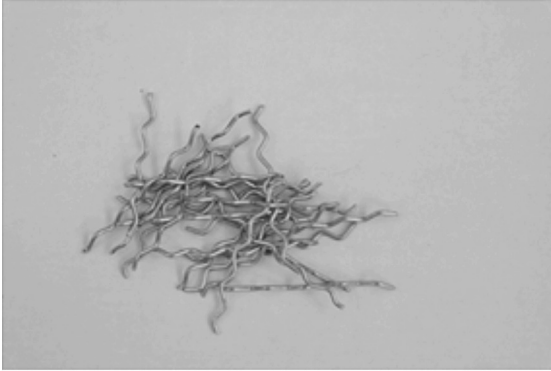


Figura 5. Fibras producidas a partir de alambre galvanizado



Figura 6. Fibras producidas a partir de alambre recocido

Materiales del SFRC

Las fibras producidas fueron utilizadas para generar muestras de SFRC con tres dosificaciones, 20, 30 y 40 kg/m³; las cuales fueron mezcladas con cemento Portland, arena, y agregados, la Tabla 2 muestra las proporciones de los materiales empleados.

Tabla 2 Componentes en la matriz de concreto, sin fibras.

Componente	Dosis (Kg/m ³)
Cemento Portland	308.0
Arena	673.4
Agregado medio (20 mm)	531.2
Agregado grueso (40 mm)	648.0
Agua	185.0

Ensayos de flexión

Para realizar las muestras de concreto reforzado con fibras de alambre galvanizado (GSFRC) y las muestras de concreto reforzado con fibras de alambre recocido (ASFRC) se siguieron las recomendaciones de las normas ASTM C-78 [26] y ASTM C-192 [27]. Las dimensiones de las muestras prismáticas fueron de 150X150X500 mm, ensayadas después de ser fraguadas durante un lapso de tiempo de 28 días. Los ensayos de flexión, acorde a los principios de ensayo de tres puntos, se realizaron en una máquina universal mostrada en la Figura 7, con una capacidad de 60 toneladas.

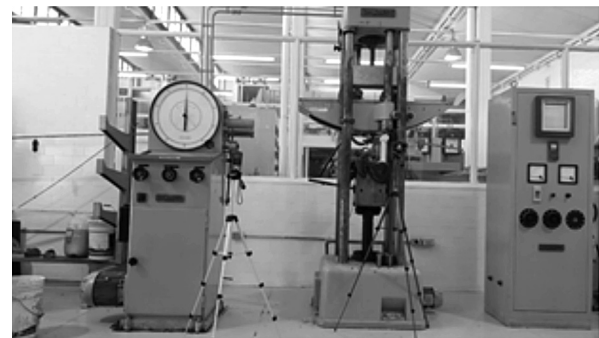


Figura 7. Máquina universal utilizada para los ensayos de flexión de tres puntos

Resultados y discusión

Con el objetivo de analizar si las fibras producidas con el dispositivo de rizado de alambre son viables para generar una resistencia residual en el concreto, siete muestras fueron ensayadas, tres de GSFRC, tres de ASFRC y una de concreto convencional (CC), utilizada esta última como referencia. Las muestras se analizaron bajo el ensayo de tres puntos hasta la ruptura. La Figura 8 muestra un espécimen ensayado. Mientras que las Figuras 9 y 10 muestran los resultados, los cuales indican que las fibras inmersas en el concreto le otorgaron una ductilidad post-agrietamiento, su capacidad dependió de la proporción de fibras; además, se observó que a mayor dosificación de fibras la capacidad de carga y la deflexión medida fueron incrementadas. En contraste con la muestra CC, la cual después de alcanzar su carga máxima su resistencia residual es nula.

Otro parámetro a destacar es la capacidad de carga máxima en la matriz de concreto, factor que se incrementó en las muestras GSFRC y ASFRC en comparación con el concreto de referencia CC. Como se muestra en la Figura 11, cuando la dosis fue de 20 y 30 kg/m³ el aumento en las muestras GSFRC y ASFRC fue de 6.8% y 4.4%, respectivamente, comparadas con la respuesta de la muestra CC. Mientras que cuando se cambió el contenido de fibras a 40 kg/m³ el aumento fue de 28.3% y 11.9%.

Contrastando el comportamiento mecánico entre las muestras GSFRC y ASFRC, las reforzadas con fibras rizadas de alambre galvanizado generaron un mejor comportamiento mecánico que las reforzadas con fibras de alambre recocado, éste comportamiento fue atribuido a dos factores, una mayor capacidad a tensión del alambre galvanizado y una mayor relación de aspecto de las fibras galvanizadas.



Figura 8. Muestra de concreto reforzado con fibras

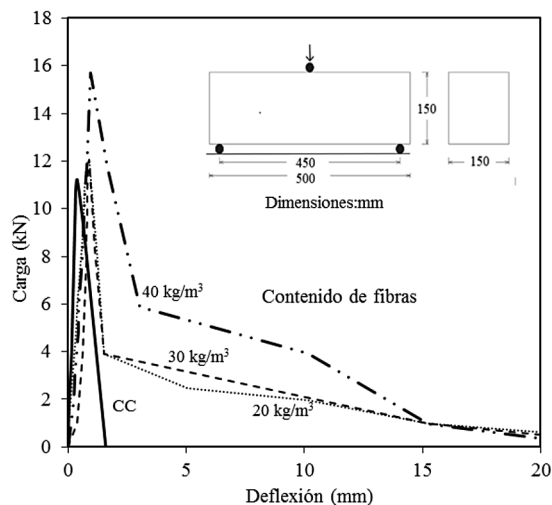


Figura 9. Resultados de las muestras GSFRC

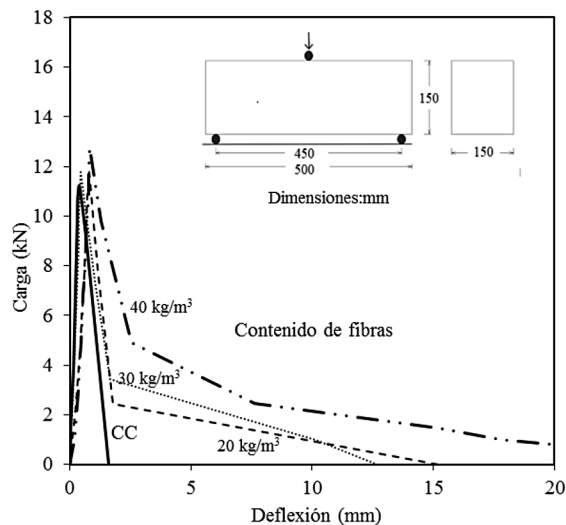


Figura 10. Resultados de las muestras ASFRC

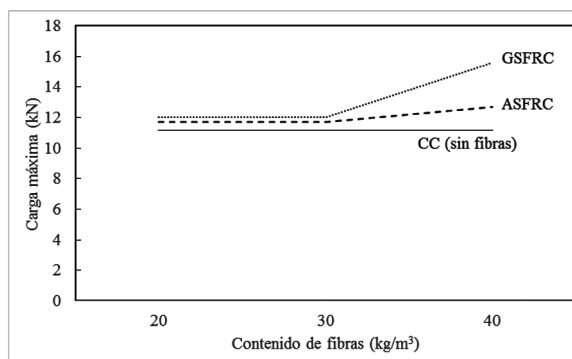


Figura 11. Carga máxima registrada en las muestras GSFRC, ASFRC y CC

Conclusión

La disponibilidad de las fibras comerciales de acero es limitada en algunos lugares del mundo, por lo que en esta investigación se propone un dispositivo para rizar alambres comerciales, para posteriormente ser cortados y generar fibras galvanizadas y recocidas. El dispositivo tiene un mecanismo simple compuesto de un juego de engranes y una manivela que permite transmitir la fuerza en forma manual.

Las fibras producidas fueron mezcladas con concreto para realizar muestras prismáticas de concreto reforzado con fibras. Las dimensiones de las muestras y los procedimientos de su elaboración se basaron en normas del ASTM.

Los resultados de los ensayos han permitido observar una pertinencia del uso de las fibras hechas a partir de alambre galvanizado, así como de las que se obtuvieron a partir de alambre recocido; debido a que se observó una capacidad de resistencia residual que depende de las fibras utilizadas y de su porcentaje.

Esta investigación contribuye a la búsqueda de fibras alternativas para reforzar el concreto, permitiendo plantear futuras líneas de investigación, como la caracterización mecánica del concreto reforzado con las fibras propuestas, basado en una mayor cantidad de muestras que permitan su análisis estadístico.

Agradecimientos

Se agradece al TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes por su apoyo en la Convocatoria Fomento a la Investigación 2017, en el proyecto “Mecanismo para generar fibras metálicas, para reforzar el concreto, a partir de alambre recocido y galvanizado”. De la misma forma se agradece a los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica por su participación en este proyecto.

Referencias

- [1] Ding, Y.; Zhang, F.; Torgal, F., (2012). Shear behavior of steel fibre reinforced self-consolidating concrete beams based on the modified compression field theory. *Composite Structure*, vol. 94, pg. 2440–2449.
- [2] Yoo, D.Y.; Banthia, N., (2017). Experimental and numerical analysis of the flexural response of amorphous metallic fiber reinforced concrete. *Materials Structure*, vol. 50.
- [3] Arabani, M. and Pedram, M., (2016). Laboratory investigation of rutting and fatigue in glassphalt containing waste plastic bottle. *Construction and Building Materials*, vol. 116, pg. 378-383.
- [4] Germano, F.; Tiberti, G.; Plizzari, G., (2016). Post-peak fatigue performance of steel fibre reinforced concrete under flexure. *Materials Structure*, vol. 49, pg. 4229-4245.
- [5] Wang, Z.; Yiqun Tang, Y.; Wang, J., (2011). Strength and toughness properties of steel fibre reinforced concrete under repetitive impact. *Magazine of Concrete Research*, vol. 63, pg. 883-891.
- [6] Masud, M.; Chorzepa, M.G., (2016). Impact resilience of multiscale fibre reinforced composites. *Magazine of Concrete Research*, vol. 68, pg. 379-390.
- [7] Abrishambaf, A.; Barros, J.A.O.; Cunha, V.M.C.F.; Fraz, C., (2017). Time dependent behaviour of fibre pull-out in self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composite*, vol. 77, pg. 14-28.
- [8] Carmona, S.; Molins, C.; Aguado, A.; Mora, F., (2016). Distribution of fibers in SFRC segments for tunnel linings. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 51, pg. 238-249.
- [9] Colombo, M.; Martinelli, P.; di Prisco, M., (2016). On the blast resistance of high performance tunnel segments. *Materials Structure*, vol. 49, pg. 117-131.
- [10] Nehdi, M.L.; Mohamed, N.; Soliman, A.M., (2016). Investigation of buried full-scale SFRC pipes under live loads. *Construction and Building Materials*, vol. 102, pg. 733-742.
- [11] Lee, C.; Park, J.Y.; Lee, J.; Choi, O.C., (2013). Comparative structural performance of amorphous steel fibre reinforced concrete slabs on grade. *Magazine of Concrete Research*, vol. 65, pg. 506-518.
- [12] Alani, A.; Beckett, D.; Khosrowshahi, F., (2012). Mechanical behaviour of a steel fibre reinforced concrete ground slab. *Magazine of Concrete Research*, vol. 64, pg. 593-604.
- [13] Emon, M.A.B.; Manzur, T.; Sharif, M. S., (2017). Suitability of locally manufactured galvanized iron (GI) wire fiber as reinforcing fiber in brick chip concrete. *Case Studies in Construction Materials*, vol. 7, pg.217-227.
- [14] Gelfi, M.; Solazzi, L.; Poli, S., (2017). Influence of the Manufacturing Process on Defects in the Galvanized Coating of High Carbon Steel Wires. *Materials*, vol. 10, pg. 264-276.

- [15] Yang, C.C. and Liu, C.L., (2016). Improvement of the Mechanical Properties of 1022 Carbon Steel Coil by Using the Taguchi Method to Optimize Spheroidized Annealing Conditions. *Materials*, vol. 9, pg. 693-702.
- [16] Jaya, B.N.; Goto, S.; Richter, G.; Kirchlechner, C.; Dehm, G., (2017). Fracture behavior of nanostructured heavily cold drawn pearlitic steel wire before and after annealing. *Materials Science & Engineering A*, vol. 707, pg.164–171.
- [17] Prasad, M.J.N.V.; Reiterer, M.W.; Kumar, K.S., (2015). Microstructure and mechanical behavior of annealed MP35N alloy wire. *Materials Science & Engineering A*, vol. 636, pg. 340-351.
- [18] Liu, Y.D.; Zhang, Y.D.; Tidu, A.; Zuo, L., (2012). Fiber Texture Evolution of Ferrite Wires during Drawn-torsion and Drawn-annealing-torsion Process. *Journal of Material Science Technology*, vol. 28, pg. 1010-1014.
- [19] ASTM C78. 2000. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [20] Groover, M.P., (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mc. Graw Hill, tercera edición.
- [21] Zhu, E.C.; Guan, Z.W.; Shen, S.Z., (2002). Non-linear finite-element analysis of thin shell SFRC structures. *Magazine of Concrete Research*, vol. 54, pg. 291-298.
- [22] Thomee, B.; Schikora, K.; Bletzinger, K.U., (2006). Material modelling of steel fiber reinforced concrete, *Computers and Concrete*, vol. 3, pag. 197-212.
- [23] Naaman, A.E., (2013). Engineered steel fiber with optimal properties for reinforcement of cement composites. *Journal of advanced concrete technology*, vol. 1, pg. 241-252.
- [24] Balaguru, P.N., & Shah, S.P. (1992). *Fibre-reinforced cement composites*. New York: Mc Graw Hill, Inc.
- [25] ACI (American Concrete Institute) (2010) ACI 360R-10. Guide to Design of Slabs on Ground, Reported by Committee. American Concrete Institute, Detroit, USA.
- [26] ASTM C78. 2000. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [27] ASTM C-192. 2000. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, United States.
- Recibido:** 5 de junio de 2018
Aceptado: 2 de octubre de 2018