



ESCUELA DE VERANO UNLP 2019

1. Denominación del Curso: **APLICACIONES Y CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS**

2. Docentes a cargo:

- Docente Coordinador por la UNLP:

Dr. Ing. Raúl Zerbino. Prof. Asociado Ordinario. Fac. Ing. UNLP.

- Docentes invitados:

Dra. Estefanía Cuenca, Assistant Professor (Profesora con grado de doctor) – Politecnico di Milano (Italia)

Dr. Antonio Conforti, Postdoctoral Fellow DICATAM (Dipartimento di Ingegneria Civile Ambiente Territorio Architettura e Matematica) Univ de Brescia, Italia. Profesor Maestría en Civil and Environmental Eng

- Otros docentes colaboradores:

Ing. Graciela M. Giaccio. Prof. Adjunto Ordinario. Fac. Ing. UNLP.

Dra. María Celeste Torrijos, Auxiliar docente. Fac. Ing. UNLP.

3. Fundamentación:

El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) constituye un material de alta performance especialmente apto para losas sobre el piso, como pavimentos y pisos industriales, y para la construcción de túneles. Asimismo es un material ideal para el refuerzo o reparación de estructuras. Combinado con armaduras convencionales provee resistencia al corte y controla la fisuración con la consecuente extensión de la vida en servicio de construcciones expuestas en ambientes agresivos. Si bien se ha avanzado en el uso de HRF en Argentina y a nivel internacional, la industria de la construcción desconoce en buena medida las propiedades y ventajas que confieren diferentes fibras, los criterios de caracterización de HRF y normas de ensayo para tal fin. Es necesario brindar criterios para control de calidad en estado fresco, difundir normas de diseño estructural, y el uso de fibras en hormigón autocompactante, de alta resistencia y autosanado.

4. Objetivos:

- Favorecer el conocimiento de las propiedades y posibilidades de aplicación que brinda la incorporación de fibras al hormigón.
- Transmitir y analizar los procedimientos y herramientas para caracterizar un Hormigón Reforzado con Fibras.
- Presentar los diferentes tipos de fibras disponibles en la actualidad, las dosis y criterios de diseño de mezclas, sus respuestas características y sus aplicaciones.
- Presentar lineamientos para el uso de fibras en obra y control de calidad del hormigón.

5. Perfil del estudiante:

El curso está destinado a profesionales con Título de Ingeniero en Construcciones, Hidráulico, Civil o en Materiales.

6. Contenidos:

MODULO 1: Refuerzo de fibras en materiales a base de cemento Portland.

Antecedentes. Tipos de fibras. Mecanismo de acción de las fibras y propiedades que le confieren al hormigón. Fibras de reciente desarrollo.

MODULO 2: Comportamiento mecánico y metodologías de evaluación. Variables que modifican la respuesta mecánica. Resistencia y tenacidad en flexión, criterios de evaluación. Resistencia residual y resistencia equivalente. Ensayos sobre prismas (EN14651 y ASTM C1609). Parámetros de diseño estructural. Clasificación de hormigones reforzados con fibras. Ensayo de paneles cuadrados (EFNARC). Resistencia a tracción directa y corte. Distribución y orientación de las fibras en elementos estructurales.

MODULO 3: Estado fresco. Elaboración de HRF. Diseño de mezclas. Evaluación del hormigón fresco. Control de calidad.

MODULO 4: Aplicaciones y perspectivas futuras. Aplicaciones de Hormigones con fibras de acero, de Hormigones con macrofibras sintéticas y Hormigones con macrofibras de vidrio. Alternativas para el diseño estructural de pisos, pavimentos y diferentes estructuras incluyendo el uso combinado de fibras y barras de armadura convencional. Nuevas posibilidades: Hormigón de Alta Resistencia con fibras, Hormigón Autocompactante con fibras, Hormigón de Ultra Alta Resistencia para reparación y refuerzo estructural.

Actividades Prácticas:

Prácticas 1 y 2: Elaboración de HRF vibrado y Hormigón autocompactante con diferentes tipos de fibras.

Práctica 3, 4 y 5: Evaluación del hormigón endurecido. Flexión de prismas (EN14651 y ASTM C1609), ensayo de paneles cuadrados (EFNARC).

7. Modalidad: presencial teórico práctico.

8. Metodología:

La dinámica de desarrollo de cada clase incluirá la presentación del tema, el análisis de las normativas de ensayo y resultados, y la descripción y discusión sobre diferentes casos de aplicación.

El curso incluye trabajos prácticos relacionados con la elaboración y caracterización en estado endurecido de hormigones reforzados con fibras.

9. Forma de evaluación:

Examen final.

10. Bibliografía:

De lectura obligatoria

ACI 544.2R-89 (Reapproved 1999) Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete

EN 14651, Test method for metallic fibered concrete- Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual), June 2005

EN 14889-1, Fibres for concrete - Part 1: Steel fibres - Definitions, specifications and conformity, August 2006

EN 14889-2, Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definitions, specifications and conformity, August 2006

Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete. Concrete Society A cement and concrete industry publication, Tech Report N°63, March 2007

Guidance on the use of macro-synthetic-fibre-reinforced concrete. Concrete Society A cement and concrete industry publication, Tech Report N°65, April 2007.

Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras EHE/08, Instrucción de Hormigón Estructural, Anejo 14: 623-640 (2008)

Bibliografía complementaria

Barragán B, Gettu R, Ramos G, García T, Fernández C, Oliver R. Potential use of steel fibre reinforced concrete for the Barcelona metro tunnel lining. Proc of Int. Conference on Advances in Concrete and Construction 2004

Barragán, B., Gettu, R., Agulló, L. and Zerbino, R. Shear failure of steel fiber-reinforced concrete based on push-off tests. ACI Mat J, 103, 4, 2006, 251-257.

Barragán, B., Gettu, R., Giaccio, G, Zerbino, R. 2001. Resistencia y tenacidad frente a sollicitaciones de corte en hormigones reforzados con fibras de acero Hormigón 37:25-43

Barragán, B.E. Gettu, R., Zerbino R.L, Martín, M.A, 2003 El ensayo de tracción uniaxial para hormigón reforzado con fibras de acero, Hormigón y Acero, N° 221-222: 125-134.

Borg R., E Cuenca, E. Gastaldo, L. Ferrara (2017) Crack sealing capacity in chloride rich environments of mortars containing different cement substitutes and crystalline admixtures". J of Sustainable Cement-Based Materials 1-19.

Borg R.P., E. Cuenca, E.M. Gastaldo Brac, L. Ferrara (2018) Crack sealing capacity in chloride-rich environments of mortars containing different cement substitutes and crystalline admixtures. J of Sus Cem Bas Mat 7(3):141-159

Conforti A., Minelli F., Plizzari G.A. (2013) Wide-shallow beams with and without steel fibres: a peculiar behavior in shear and flexure, Composites Part B: Engineering, 51: 282-290

Conforti, A., Minelli, F., Plizzari, G.A. (2017) Shear behaviour of prestressed double tees in self-compacting polypropylene fibre reinforced concrete, *Engineering Structures* 146: 93-104,

Conforti, A., Minelli, F., Tinini, A., Plizzari G.A. (2015) Influence of polypropylene fibre reinforcement and width-to-effective depth ratio in wide-shallow beams, *Engineering Structures* 88:12-21,

Conforti, A., Tiberti, G., Plizzari G.A. (2016) Splitting and crushing failure in FRC elements subjected to a high concentrated load", *Composites Part B: Engineering*, 105: 82-92,

Conforti, A., Tiberti, G., Plizzari, G.A., Caratelli, A Meda A. (2017) Precast tunnel segments reinforced by macro-synthetic fibers, *tunnelling and underground space technology* 63:1-11,

Conforti, A., Tinini, A., Minelli, F., Plizzari, G.A., Moro S. (2017) Structural applicability of polypropylene fibres: Deep and wide-shallow beams subjected to shear, *ACI SP 310:171-180*

Conforti, A., Zerbino, R., Plizzari, G.A. (2018) Influence of steel, glass and polymer fibers on the cracking behavior of reinforced concrete beams under flexure, *Structural Concrete*, July 2018, 1-11

Cuenca E.; J. Echegaray-Oviedo; P. Serna. Influence of concrete matrix and type of fiber on the shear behavior of self-compacting fiber reinforced concrete beams. *Composites Part B: Engineering*. 75:135-147, 2015.

Cuenca E.; L. Ferrara. Self-healing capacity of fiber reinforced cementitious composites. State of the art and perspectives. *KSCE J of Civil Engineering*, 21 (7): 2777-2789, 2017.

Cuenca E.; Serna P. Failure modes and shear design of prestressed hollow core slabs made of fiber-reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*. 45(1): 952 - 964, 2013

Cuenca E.; Serna P. Shear behavior of prestressed precast beams made of self-compacting fiber reinforced concrete". *Const Build Mat* 45:145 – 156, 2013

Cuenca, E. A. Tejedor, L. Ferrara. A methodology to assess crack-sealing effectiveness of crystalline admixtures under repeated cracking-healing cycles. *Const Build Mat* 179:619-632, 2018.

Cuenca, E., Conforti, A., Minelli, F., Plizzari, G.A., Navarro-Gregori, J., Serna, P. (2018) A material-performance-based database for FRC and RC elements under shear loading, *Mat and Struc* 51, (11)

di Prisco M. FRC: Structural applications and standards. *Mat and Struc* 2009, 42:1169–71

Echegaray-Oviedo J., J. Navarro-Gregori, E. Cuenca, P. Serna. Modified push-off test for analyzing the shear behavior of concrete cracks. *Strain*, 53 (6), e12239, 2017.

EN 14650 2005 Precast concrete products- General rules for factory production control of metallic fibered concrete.

EN 14721 2005 Test method FPR metallic fibre concrete- measuring the fibre content in fresh and hardened concrete.

Ferrara L., T. Van Mullem, M.C. Alonso, P. Antonaci, R.P. Borg, E. Cuenca, A. Jefferson, P.L. Ng, A. Peled, M. Roig-Flores, M. Sánchez, C. Schroefl, P. Serna, D. Snoeck, J.M. Tulliani, N. De Belie. Experimental characterization of the self-healing capacity of cement based materials and its effects on the material performance: A state of the art report by COST Action SARCOS WG2. *Const Build Mat* 167: 115-142, 2018.

Foster, SJ. The application of steel-fibres as concrete reinforcement in Australia: from material to structure. *Mat and Struc* (2009) 42:1209–1220

Gettu R, Ramos G, García T, Barragán B, Fernández C, Oliver R (2004) Estudio experimental del HRF para uno de los tramos del túnel de la línea 9 del metro de Barcelona. *Cemento Hormigón* 866: 52-67

Gettu, R., Barragán, B., Ramos, G., Capilla, F. 2004 Recientes avances en la caracterización del hormigón reforzado con fibras de acero. *Hormigón y acero* 233:29-143.

Guerini, V., Conforti, A., Plizzari, G.A., Kawashima, S. (2018) Influence of steel and macro-synthetic fibers on concrete properties, *Fibers*, 6 (3), 47

Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato. Consiglio Naz Delle Ricerche, Roma 2006, 59 p.

Luccioni, B., Isla, F., Codina, R., Ambrosini, D. Zerbino, R., Giaccio, G., Torrijos, M.C. (2017) Effect of Steel Fibers on static and blast response of high strength concrete, *International J of Impact Engineering* 107: 23-37

Miguez Passada D., González A., Violini D. Pappalardi M., Zerbino R. (2013) Desarrollo e implementación de un HRF sintéticas para la repavimentación de la ruta 24 de Uruguay. *Cemento hormigón*, 956: 52-58

Minelli; F. Conforti; A. Cuenca E.; Plizzari G. (2014) Are steel fibres able to mitigate or eliminate size effect in shear? *Mat and Struct* 47(3):459-473.

Monetti, D., Tobes, J. M., Héctor, S., Martín, R., Giaccio, G., Zerbino, R. (2009) Uso de fibras sintéticas en hormigones para obras viales. *Rev. Carreteras*, año LV, 196: 90-96

Ortiz Navas F., J. Navarro-Gregori, G. Leiva Herdocia, P. Serna, E. Cuenca (2018) An experimental study on the shear behaviour of reinforced concrete beams with macro-synthetic fibres. *Const Build Mat* 169:888-899

Parra-Montesinos G.J., Wight J.K., Kopczynski C., Lequesne R.D., Setkit M., Conforti A, Ferzli J. (2017) Elimination of diagonal reinforcement in earthquake-resistant coupling beams through use of fiber-reinforced concrete, *ACI SP 313*:1-8

Parra-Montesinos GJ, Wight JK, Kopczynski C, Lequesne RD., Setkit M., Conforti A., Ferzli J. (2017), Earthquake-resistant fiber reinforced concrete coupling beams without diagonal bar, *ACI SP 310*: 461-470

Research ort FHWA-ICT-08-016, Design and concrete material requirements for ultra-thin whitetopping

The European guidelines for self-compacting concrete specification production and use. 2005

Tobes, J.M., Bossio, M.E., Giaccio, G., Zerbino, R. Hormigón autocompactante con fibras, efecto de la geometría del elemento estructural sobre la orientación del refuerzo. 18 Reunión Técnica AATH, 2010, Argentina. Trabajo 82

Torrijos, M. C., Barragán, B., Zerbino R. Physical-mechanical properties, and mesostructure of plain and fiber reinforced self compacting concrete, *Const Build Mat* 2008. V22 1780-88.

Torrijos, M. C., Barragán, B., Zerbino R. Placing conditions, mesostructural characteristics and post-cracking response of fibre reinforced self-compacting concretes, *Construction and Building Mat V 24*, 2010: 1078–1085.

Torrijos, M.C., Giaccio, G., Zerbino, R. Orientación de fibras de acero en hormigón autocompactante, estudio sobre losas y vigas. 18 Reunión Técnica AATH, 2010, Mar del Plata, Argentina. T68.

Torrijos, M.C., Giaccio, G., Zerbino, R. Orientación del refuerzo y anisotropía en hormigones con fibras, en *Proc. VII Cong Int, 21ª Reunión Técnica, AATH, Salta – Argentina, T2-60*. 2016: 219-226.

Torrijos, MC, Morea, F, Giaccio, G, Zerbino, R (2016) Respuesta mecánica de elementos mixtos representativos del uso de HRF como refuerzo tipo whitetopping. *Proc. VII Cong Int, 21ª Reunión Técnica AATH Salta, T2-61*:227-234

Zerbino R, Tobes JM, Bossio ME, Giaccio G. On the orientation of fibres in structural members fabricated with self compacting fibre reinforced concrete. *Cement Concrete Comp* 34 (2012): 191-200.

Zerbino R., Giaccio G., Barragán, B.E, Peyrú, E. Hormigones reforzados con macrofibras de vidrio: comportamiento mecánico y aplicaciones VI Cong Int, 20ª Reunión Técnica AATH, 2014 Concordia - Entre Ríos - Argentina, 67-174.

Zerbino R., Giaccio, G., Torrijos M.C., Luccioni B., Isla F., Codina R., Ambrosini D. Respuesta frente a cargas estáticas y frente a explosiones en hormigones de alta resistencia reforzados con fibras HAC2018

Zerbino, R., Giaccio, G., Pombo, R. Estudio experimental de la respuesta mecánica de hormigones reforzados con macrofibras sintéticas para uso en pisos industriales en *Proc. VII Cong Int, 21ª Reunión Técnica, AATH, Salta – Argentina, T2-92*. 2016: 275-282.

Zerbino, R., Giaccio, G., Torrijos, M.C. Hormigones de Ultra Alta Resistencia Reforzados con Fibras, en *Proc. VII Cong Int, 21ª Reunión Técnica AATH, Salta – Argentina, T2-65*. 2016, 259-266.