



Received: 16-03-2016
Accepted: 29-03-2016

Anales de Edificación
Vol. 2, Nº3, 20-25 (2016)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2016.3468

Estudio del comportamiento en zonas sísmicas del hormigón pretensado con refuerzo de fibras Study of the behavior in seismic zones of reinforced prestressed concrete

Eugenia Soledad Carbel

F.A.U.D., Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (euge_carbel@hotmail.com)

Resumen— El hormigón pretensado reforzado con fibras, presenta simultáneamente las ventajas de los hormigones pretensados y de los reforzados con fibras. Se consigue un material de altas prestaciones en cuanto a su tenacidad, ductilidad y resistencia a la tracción, como así también para mejorar las características de agrietamiento y de deformación de los elementos estructurales del hormigón causados por solicitaciones sísmicas. En este trabajo se ha estudiado el comportamiento mecánico de un hormigón pretensado reforzado con fibras de acero y de poliamida, y su capacidad de resistir las grandes fuerzas de inercia causadas por las solicitaciones sísmicas. Para una evaluación comparativa se presentan ensayos de corte cíclico entre muros estructurales construidos con hormigón convencional y los reforzados con fibras, mediante modelos de histéresis. Los resultados muestran la variación de respuesta del hormigón con el tiempo, la diferencia existente con los hormigones tradicionales y la viabilidad del empleo de fibras. Comprobando que la adición de fibras en el hormigón armado convencional puede mejorar las actuaciones estructurales y funcionales, de las estructuras de hormigón relacionadas a las acciones sísmicas, a su vez las fibras de acero son más eficaces en mejorar el rendimiento de corte de PCCV que fibras de poliamida.

Palabras clave— Hormigón pretensado ; refuerzo de fibra; capacidad de corte sísmico.

Abstract- Prestressed concrete reinforced with fibers, simultaneously presents the advantages of prestressed concrete and reinforced with fibers. It achieves a high performance material in terms of its toughness, ductility and tensile strength, as well as to improve the cracking and deformation characteristics of the structural elements of the concrete caused by seismic stresses. In this work the mechanical behavior of a prestressed concrete reinforced with steel and polyamide fibers and its ability to withstand the large forces of inertia caused by seismic stresses has been studied. For a comparative evaluation, cyclic cutting tests are presented between structural walls constructed with conventional concrete and those reinforced with fibers using hysteresis models. The results show the variation of concrete response with time, the existing difference with traditional concrete and the feasibility of using fibers. Finding that the addition of fibers in conventional reinforced concrete can improve the structural and functional performances of concrete structures related to seismic actions, in turn steel fibers are more effective in improving the PCCV cutting performance than fibers of polyamide..

Index Terms— Prestressed concrete; fiberreinforcement; seismic shear capacity.

I. INTRODUCCIÓN

Las fuerzas de inercia causadas por movimientos de tierra fuerte crean las fuerzas de corte. En el hormigón pretensado se coloca acero tensado (activo) que precomprime el hormigón, permitiendo así que los elementos estructurales tengan una gran resistencia a la tracción con la ventaja de impedir el agrietamiento del hormigón. La incorporación de fibras a la matriz del hormigón modifica sustancialmente las propiedades del material base, aumentando su ductilidad y resistencia a flexotracción (Sánchez et al., 2015). Las fibras pueden proporcionar igual resistencia a los esfuerzos en todas las direcciones porque se distribuyen al azar en todo el volumen del concreto en un espacio relativamente pequeño. Además, las fibras aumentan la resistencia a la formación y a la propagación de grietas y así reducen la longitud y la anchura de la grieta. Los miembros de cemento reforzado (RC) generalmente muestran un rápido deterioro en el esfuerzo cortante resistiendo mecanismos bajo una carga cíclica invertida.

en comparación con el hormigón regular. El cemento reforzado con fibra de acero (SFRC) es aplicado sobre todo en el campo de la planta industrial y construcciones del túnel, pero hoy en día es sugerida como un estribo parcial en vigas RC o refuerzo de la perforación en las placas, o incluso como una sustitución completa de refuerzos de acero convencionales en la construcción de la losa plana. El comportamiento de corte de muros estructurales de hormigón de fibra (FRC) fue investigado en un número limitado de estudios. Este estudio evalúa la capacidad de resistencia de recipientes de contención de hormigón pretensado (PCCV) construidos con hormigón reforzado con fibras (HRFA) o poliamida fibra de hormigón (PFRC). Para una evaluación comparativa de la capacidad de corte de muros estructurales, construidos con hormigón convencional o FRC, se realizaron pruebas cíclicas de las muestras de pared. Los modelos de histéresis se derivaron de los resultados de la prueba y fueron utilizados como parte de un análisis pushover de los PCCVs (Choun y Park, 2015).

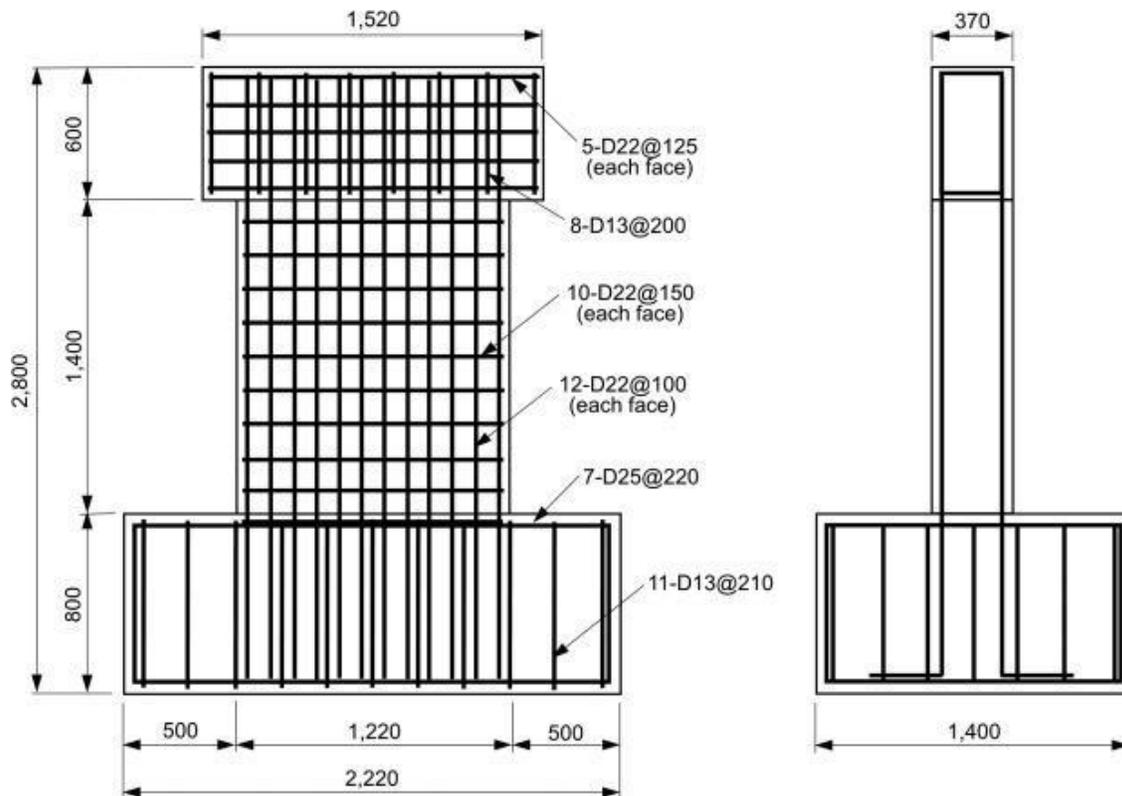


Fig. 1. Geometría y refuerzo de los detalles de la probeta (mm).

Sin embargo, el uso de compuestos de hormigón reforzados con fibras de alto rendimiento proporciona tolerancia al daño,

II. SISTEMA EXPERIMENTAL

Para las pruebas de esfuerzo cortante cíclico se utilizaron dos tipos de fibras: las fibras de acero y poliamida. Las fibras de acero se han utilizado más ampliamente en aplicaciones de

Eugenia Soledad Carbel está en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, en Argentina.

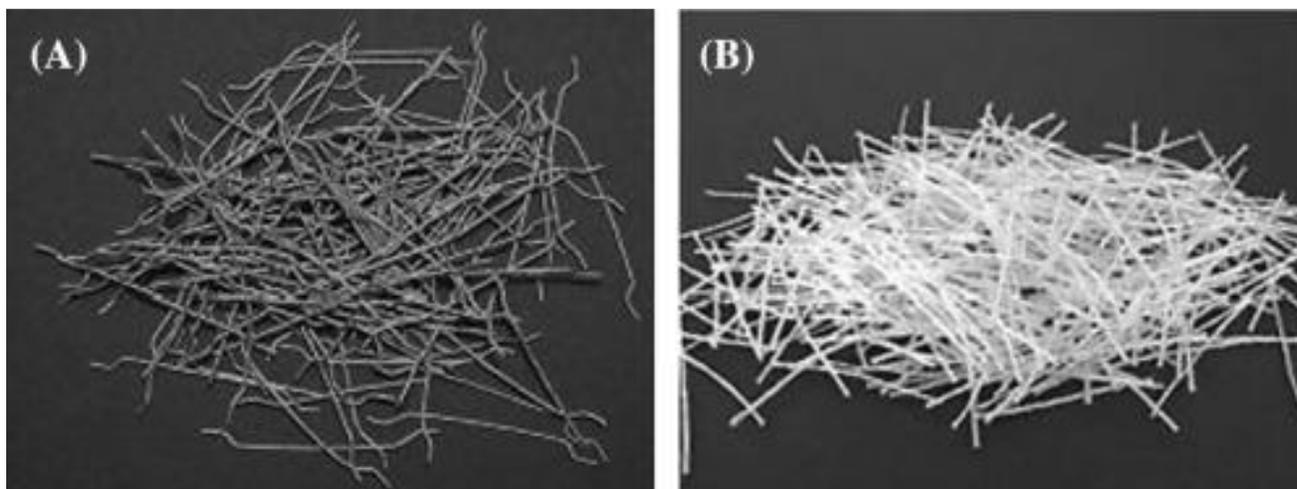


Fig. 2. Imágenes de las fibras de acero (A) y poliamida (B) para FRC.

FRC porque el acero es altamente compatible con compuestos de cemento. Las fibras de poliamida (a menudo llamadas fibras de nylon) son conocidas por tener una excelente resistencia a la humedad, álcalis y ambientes químicos. Este estudio experimental investigó la respuesta cortante de muros estructurales construidos con RC convencional, reforzado-SFRC (R-SFRC), y reforzado-PFRC (R-PFRC) bajo invertido de cargas cíclicas.

TABLA I
DATOS DEL HORMIGÓN UTILIZADO EN LAS MUESTRAS

Mix proportions	Plain concrete	SFRC	PFRC
Cement (kgf/m ³)	325.50	325.50	376.00
Water (kgf/m ³)	162.75	162.75	188.00
Coarse aggregate (kgf/m ³)	938.77	938.77	722.00
Sand (kgf/m ³)	748.89	748.89	883.00
Coarse aggregate size (mm)	19	19	20
Fly ash (kgf/m ³)	81.38	81.38	94.00
Water-reducing agent (kgf/m ³)	2.60	3.66	—
Air-entraining agent (%)	0.15	0.15	0.2
Superplasticizer (%)	—	—	2.0
Viscosity agent (%)	—	—	0.15
Water/cement ratio (%)	40	40	40
Fibers (%)	—	1.0	1.5

PFRC, polyamide fiber reinforced concrete; SFRC, steel fiber reinforced concrete.

A. Probetas

En un modelo PCCV sometido a fuerza lateral, se produce una falla. El modo de falla se define como la fisuración del hormigón, pérdida de adherencia entre hormigón y varilla y agrietamiento de espesor de la pared. La muestra consta de las siguientes tres partes: (1) viga de carga, que transfiere las cargas en la pared; (2) la pared, que modela la parte inferior de una pared del cilindro de la PCCV; y (3) el pie, que ancla la

muestra a una planta fuerte. Todas las barras de refuerzo tenían una fuerza de rendimiento nominal de 400MPa. Cuantías de armaduras verticales y horizontales en la pared de los ejemplares se determinaron teniendo en cuenta los detalles de refuerzo de la sección de pared PCCV (fig. 1).

B. Proporciones de mezcla del hormigón

Se han usado mezclas de cemento con una resistencia a la compresión de 42 MPa (Tabla 1). Para evaluar el efecto de las fibras en respuesta acciones de corte, proporciones de la mezcla equivalente fueron utilizadas para hormigón normal y SFRC, except las proporciones de agentes reductores de agua y fibras. Una fracción de volumen de 1.0% de las fibras de acero final enganchado fue agregada para HRFA, considerando que una fracción de 1.5% del volumen de fibras de poliamida recta fue utilizada para PFRC. Las fibras de acero y poliamida para FRC se pueden observar en la figura 2.

III. RESULTADOS

A. Resistencia a compresión y tensión

Resultados de las pruebas de compresión y tensión del hormigón normal, HRFA y PFRC. Como se indicó, las fibras de acero y poliamida proporcionan mejoras significativas en la dureza del hormigón normal. El pico de tensión aparece en una gran variedad en PFRC, debido a fibras de poliamida permiten deformaciones que ocurren en la etapa temprana (fig.3).

Resumiendo la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para los tres tipos de concreto en el momento de la prueba. La comparación de sus propiedades con las de las muestras de hormigón en masa, las muestras de HRFA tenían

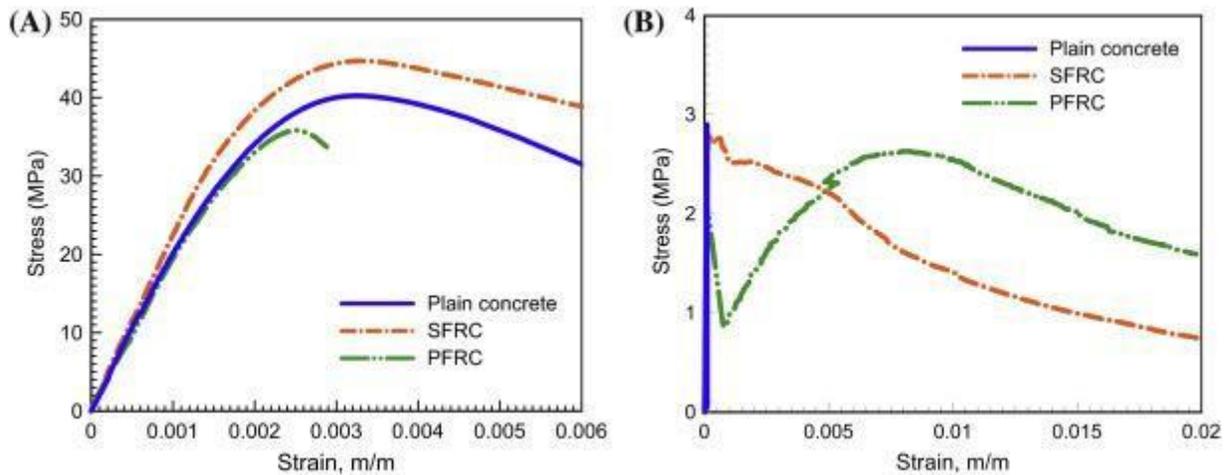


Fig. 3. Comportamientos mecánicos de hormigón en masa y la FRC (A) Compresión. (B) Tensión. FRC, hormigón reforzado con fibras.

TABLA I
DATOS DEL HORMIGÓN UTILIZADO EN LAS MUESTRAS

Tipo	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Hormigón	40,2	20,134
SFRC	44	22,058
PFRC	35,8	19,227

PFRC, Hormigón reforzado con fibras de Poliamida ; SFRC, Hormigón reforzado con fibras de acero

valores de 11 % y 10 % más altos en resistencia a la compresión y módulo de elasticidad , mientras que las muestras PFRC tenían valores de 11 % y 4 % inferiores en resistencia a la compresión y módulo de elasticidad,

respectivamente (Tabla 2).

B. Patrones y modos de falla

Muestra de los patrones de agrietamiento y los modos de falla de los tres ejemplares después de los ensayos cíclicos. Ambos muestras reforzados de fibra exhibieron un mayor número de fisuras de anchura pequeña. Como las fibras se distribuyen aleatoriamente a través del volumen del hormigón a una distancia mucho más cercana, el espaciado de crack está mucho más cercano y el ancho de la grieta es más pequeño en los especímenes reforzados con fibra. El espécimen de RC, que falló al 2.25%, expone un modo de falla diagonal típica con aplastamiento en las esquinas. La muestra R-SFRC falló después de romper al 3,5%. La muestra R-PFRC, que falló al 3.0%, expone un modo de falla combinada de fallos diagonal y a la flexión. Las fibras limitan la abertura de la grieta de

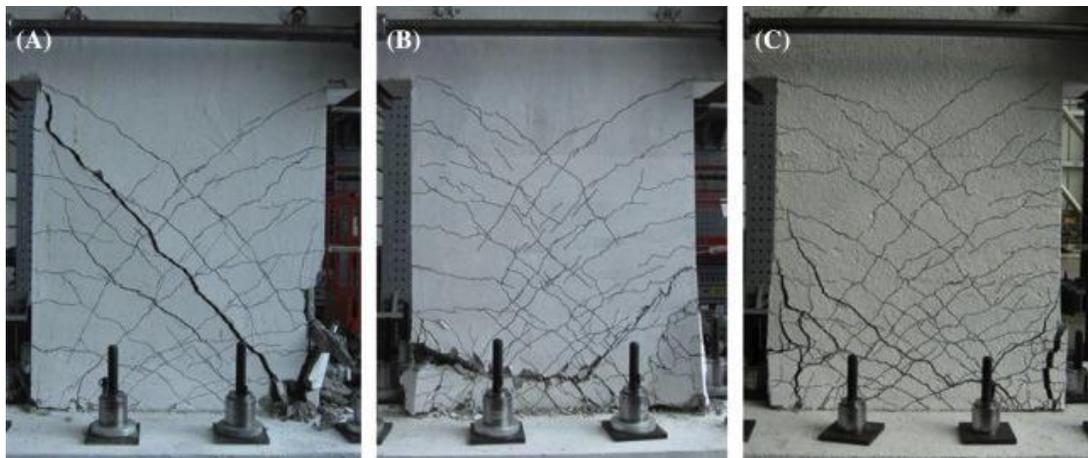


Fig. 4. Falla-patrones para diferentes muros de hormigón. (A) RC (deriva de 2.25%), (B) R- SFRC (deriva del 3,5%) y (C) R-PFRC (deriva de 3.0%). RC, hormigón; R-PFRC, Hormigón reforzado con fibra de poliamida ; R-SFRC, Hormigón reforzado con fibra de acero

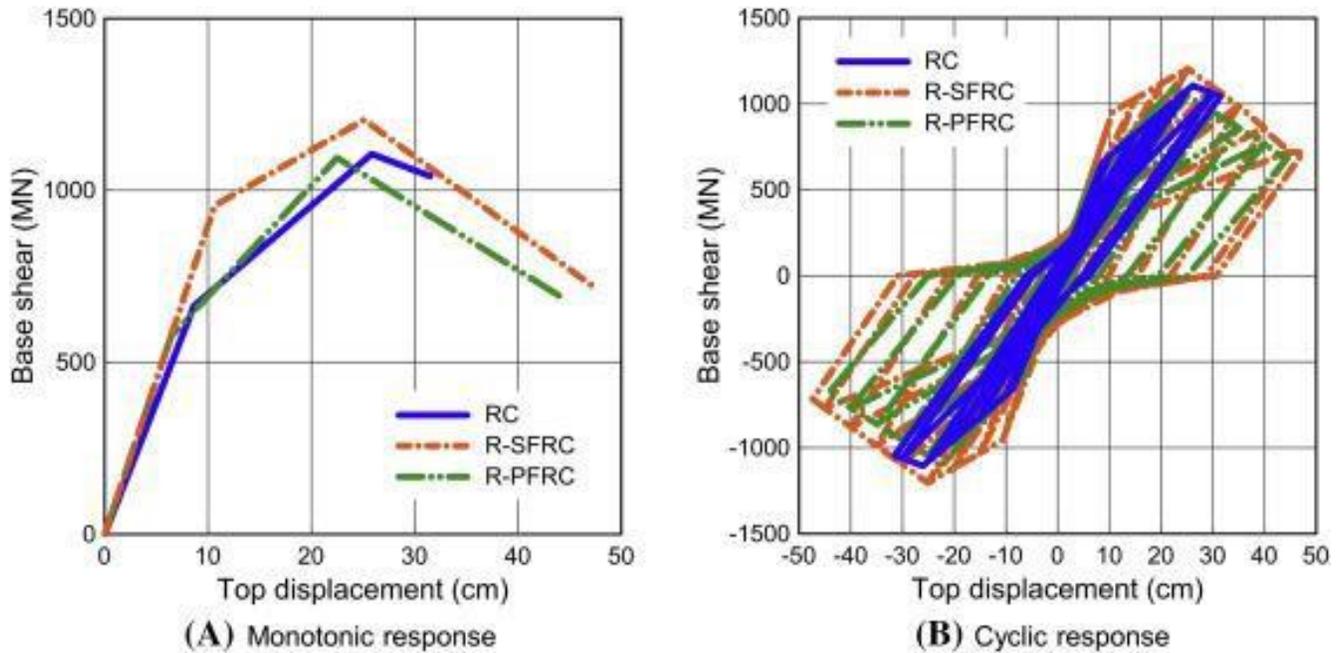


Fig. 5. Máxima resistencia al cizallamiento, máximo desplazamiento lateral y energía de disipación de capacidades para PCCV / RC, PCCV / R- PFRC, y PCCV / R- SFRC (Choun y Park, 2015).

tensión (fig.4).

C. Resistencia al esfuerzo cortante

El modelo de histéresis fue utilizado para simular una degradación de la resistencia y rigidez. El análisis del pushover cíclico dio lugar a las curvas de capacidad para PCCVs construidos con diferentes tipos de concreto. (fig.4). La fuerza máxima del esfuerzo cortante, el desplazamiento lateral máximo y la capacidad de disipación de energía de PCCV/RC, R/PCCV-PFRC y PCCV / R-SFRC. (Tabla 3). La resistencia al corte máximo y el desplazamiento lateral para un SFRC/R-PCCV eran ~ 9% y ~ 52%, mayores que las de un PCCV/RC, respectivamente, y el máximo desplazamiento lateral para un PCCV/R-PFRC era ~ 42% mayor que para un PCCV/RC. Las capacidades de disipación de energía fueron ~ 390% y ~ 207% más grande en un R/PCCV-SFRC y R/PCCV-PFRC, respectivamente. La adición de fibras en el RC convencional no aumenta la resistencia al corte máximo de un PCCV en gran medida, pero aumenta el desplazamiento lateral máximo

de un PCCV significativamente. En particular, la capacidad de disipación de energía en una fibra PCCV reforzada se ha mejorado notablemente. Las fibras de acero son más eficaces que las fibras de poliamida en la mejora de la capacidad de resistencia sísmica de un PCCV (fig.5).

La capacidad de resistencia del esfuerzo cortante de un PCCV construido con FRC puede mejorarse considerablemente. Las fibras de acero son más efectivas en mejorar el rendimiento de corte de un PCCV que las fibras de poliamida. Cuando SFRC contiene fibra de acero en una fracción de volumen de 1.0%, el máximo desplazamiento lateral de la PCCV pueden mejorarse por > 50% en comparación con la de PCCV convencional. Cuando PFRC contiene fibras de poliamida en una fracción de volumen del 1,5%, se puede mejorar el desplazamiento lateral máximo de un PCCV ~ 40%. En particular, la capacidad de disipación de energía en una fibra reforzada de PCCV puede ser mejorada por >200%.

TABLA II
CAPACIDAD MÁXIMA DE RESISTENCIA DE PCCVs PARA UNA FUERZA LATERAL

Tipo	Resistencia al Corte máximo (MN)	Maximo desplazamiento lateral en la parte superior (cm)	Capacidad de disipacion de Energia (MN*cm)
PCCV/RC	1,105	30,8	43,84
PCCV/R-SFRC	1,205	46,8	214,617
PCCV/R-PFRC	1,094	43,8	134,66

PCCV, Recipiente de contención Hormigón Pretensado RC, Hormigón; R-PFRC, Concreto reforzado con fibras de Poliamida; R-SFRC, Concreto reforzado con fibras de acero

IV. CONCLUSIONES

Para una evaluación comparativa del rendimiento al corte de muros estructurales construidos con hormigón convencional, HRFA y PFRC; se realizaron ensayos cíclicos y se derivaron los modelos de histéresis. Se observó que la adición de las fibras en el hormigón convencional se consigue un material de altas prestaciones en cuanto a su tenacidad, ductilidad y resistencia a la tracción, como así también para mejorar las características de agrietamiento y de deformación de los elementos estructurales del hormigón causados por sollicitaciones sísmicas.

La adición de fibras en el hormigón armado convencional pueden utilizarse con eficacia para mejorar el comportamiento

estructural y funcional de un PCCV sometido a acciones sísmicas.

REFERENCES

- Choun, Y.-S. & Park, J. (2015). Evaluation of seismic shear capacity of prestressed concrete containment vessels with fiber reinforcement. *Nucl. Eng. Technol.* 47, 756–765.
- Sánchez, J. L., Cobo, A., Díaz, B. & Mateos, I. (2015). Estudio experimental del comportamiento a compresión de hormigones autocompactantes reforzados con fibras de acero. *Experimental study of performance self-compacting concrete reinforced with steel fibers.* *An. Edif.* 1, 17–26.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.