

ENSAYO EXPERIMENTAL DE UNIÓN HÍBRIDA DE HORMIGÓN POSTESADO.

Germán Nanclares ⁽¹⁾

(1) CONICET, Mendoza, Argentina, gnanclares@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen

A partir de la ocurrencia de eventos sísmicos trascendentales en los últimos años, se ha observado un pobre desempeño de estructuras de hormigón premoldeado, las fallas observadas se deben fundamentalmente a defectuosos detalles de unión e inadecuado diseño en las conexiones con otros elementos. Por esta razón, el empleo de estructuras prefabricadas tiene un uso muy limitado en zonas de alta peligrosidad sísmica. En la década de los 90 surgió el concepto de la tecnología PRESSS «*Precast Seismic Structural System*», con la intención de proporcionar una alternativa a las construcciones de hormigón prefabricado, habitualmente concebidas emulando uniones rígidas de hormigón colado in-situ. Este método está conformado por un sistema de unión de elementos de hormigón premoldeado, constituidos por una armadura de acero dúctil convencional (que provee un mecanismo de disipación energética) y por un tendón postesado sin adherencia, que provee un mecanismo de restitución elástica. Esta combinación se denomina “Unión Híbrida” que permite disipar la energía sísmica a través de la rotación rígida «*Rocking Motion*» del conjunto mediante la apertura de una única grieta, permitiendo un desempeño muy eficiente a través de disipación del tipo “Bandera” «*Flag Shape System*».

En este trabajo se presentan los resultados experimentales del ensayo de una unión híbrida donde se analizan los aspectos que definen su comportamiento.

Palabras-clave: Uniones Híbridas, Sistema PRESSS, Disipación histerética tipo bandera, control de deformaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución del diseño de estructuras sismorresistentes ha sido de gran auge en los últimos años, particularmente a partir del desarrollo del método de diseño denominado Diseño por Capacidad ([Paulay & Priestley, 1992](#)) donde se ha destacado la importancia de proveer mecanismos confiables y de alto rendimiento en términos de resistencia sísmica. A esta innovadora línea ideológica se le sumó posteriormente la tecnología PRESSS «*Precast Seismic Structural System*», desarrollada desde el final de la década de los 90 en un amplio programa de investigación coordinado conjuntamente entre Estados Unidos y Japón, ([Priestley, 1991](#)), ([Priestley, 1992](#)), ([Nakaki, et al., 1999](#)); a los que se sumó un nutrido grupo de investigadores de la Universidad de Christchurch, Nueva Zelanda, ([Pampanin, et al., 2010](#)).

El sistema que aquí se postula está conformado por un mecanismo de unión de elementos estructurales fabricados con hormigón premoldeado, constituidos por una armadura de acero dúctil convencional (que provee el mecanismo de disipación energética) y por un tendón postesado sin adherencia que provee el principal mecanismo de restitución elástica a la unión. Esta combinación constituye lo que se denomina una “Unión Híbrida” que permite disipar la energía sísmica a través de la rotación rígida «*Rocking Motion*» del conjunto, permitiendo a la vez un desempeño muy eficiente a través de un mecanismo de disipación del tipo “Bandera” «*Flag Shape System*» en el ciclo de comportamiento de histéresis.

Las uniones híbridas permiten a las estructuras desarrollar ductilidad a través de la deformación plástica de barras de acero y al mismo tiempo restituye la configuración global al estadio inicial a través de tendones no adheridos que permiten la rotación rígida. Esta combinación innovadora establece un control eficiente de deformaciones y daño consecuente.

El objetivo principal de este trabajo es exponer la evidencia experimental recabada durante los ensayos que constituyen un trabajo más amplio (Nanclares, 2016), presentado como tesis de maestría.

2. ASPECTOS MECÁNICOS

La unión híbrida queda determinada por la combinación de sus dos componentes principales, los elementos prefabricados poseen una superficie de contacto discreta que es atravesada por la armadura de disipación y por la armadura postesada. De esta manera, la demanda de rotaciones se concentra en dicha interfaz (Pampanin, et al., 2010). Considerando el aporte individual de cada uno de los mecanismos intervinientes, queda descrita la curva de respuesta global que se indica en la Fig. 1(c), denominada como respuesta “Tipo Bandera” (Park, 2003).

2.1. Mecanismo de Restitución Elástica

El proceso constructivo del sistema requiere vincular los elementos de la unión por medio de un cable de alta resistencia, que posteriormente será tensado a niveles inferiores al de su límite de proporcionalidad, de esta manera se debe asegurar que el comportamiento mecánico de dicho tendón es lineal en todo momento (NZS 3101, 2006). Para dar cuenta de este importante requisito, no debe existir adherencia en toda la longitud del cable (Stanton, et al., 1997). La respuesta cíclica es elástica y su comportamiento es el indicado en la Fig. 1.(a).

2.2. Mecanismo de Disipación

La armadura de acero estructural que forma parte de la unión, disipa energía mecánica al experimentar deformaciones inelásticas cuando es sometida a acciones cíclicas. El comportamiento histerético convencional es bien conocido en la literatura y largamente tratado en cursos de hormigón armado, la respuesta teórica es como está indicada en la Fig 1.(b), en donde el área encerrada por la curva es la energía disipada en el ciclo de deformaciones considerado.

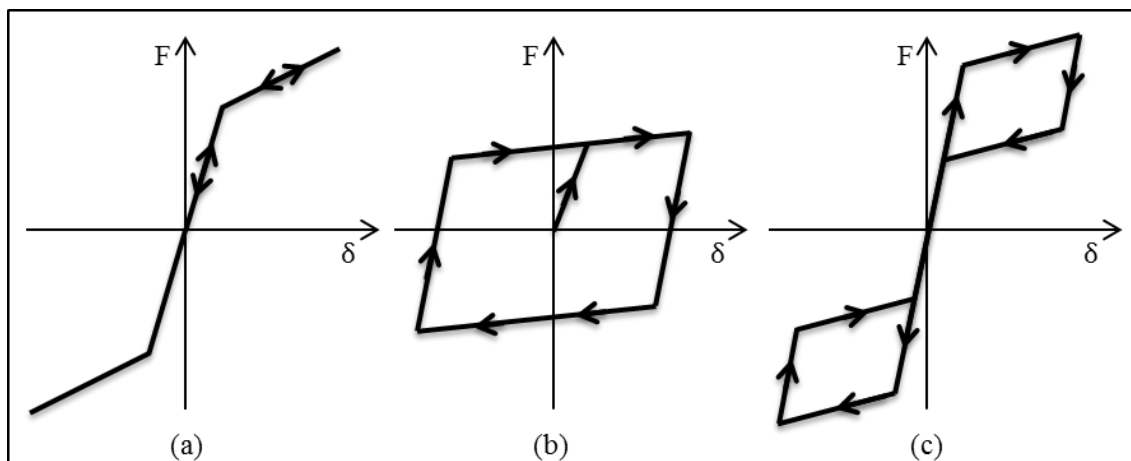


Figura 1. Comportamiento mecánico de uniones híbridas según sus componentes (Nanclares, 2016).

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

La respuesta estructural es evaluada a través del ensayo de una unión (Fig.2), construida en escala 1:2, cuando es sometida a ciclos incrementales reversibles de deformación. En la imagen de la Fig. 2 se indica la respuesta estructural obtenida, expresada en términos de Fuerza vs. Desplazamiento, como así también en términos de Momento Flector vs. Ángulo de distorsión porcentual.

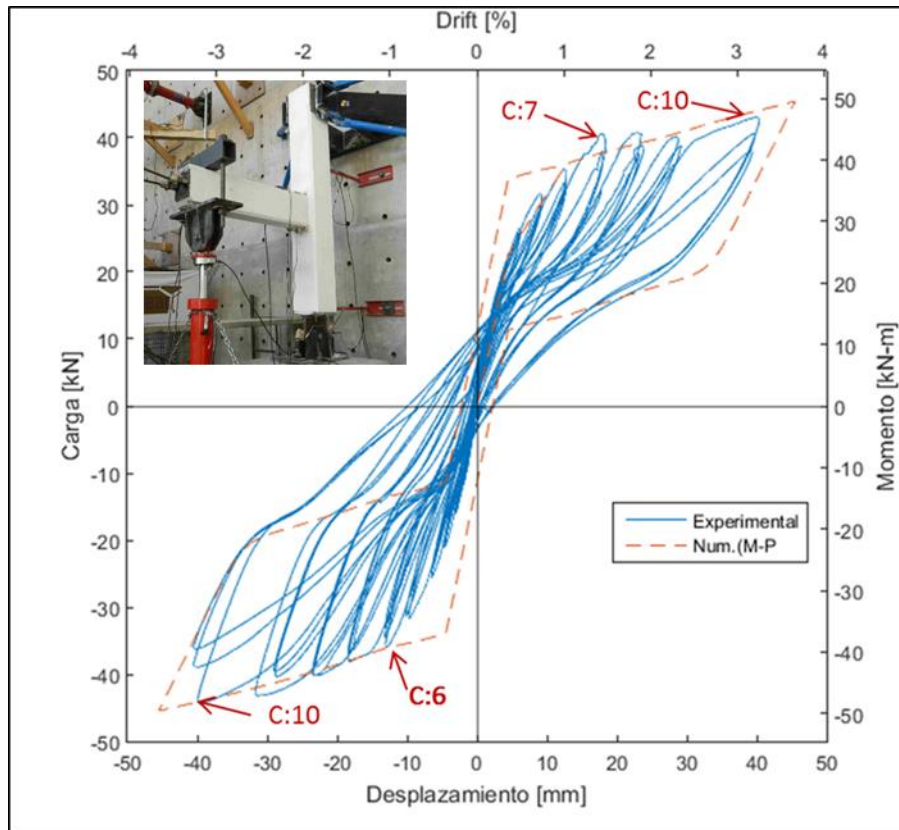


Figura 2. Ensayo experimental de Unión Híbrida

3.1. Resumen del Ensayo

Se presenta una síntesis de los sucesos relevantes del ensayo en la Tabla 1, donde se indica el valor de los desplazamientos impuestos en cada ciclo de carga. Se destaca de lo observado en la Fig.2 que se evidencia levemente la forma de bandera que se espera, sin embargo, la falla de adherencia de las barras en los ciclos 6 y 7 (Fig. 3) reduce la fracción de disipación histerética al mismo tiempo que introduce una componente de fricción entre la barra y el hormigón cuando esta desliza en su interior.



Figura 3. Falla de anclaje en armadura longitudinal, deslizamiento de armadura de disipación.

Por su parte, se evalúa el coeficiente de disipación relativa de energía, tal como se define en (Kim, et al., 2004). Este factor es de importancia ya que en la norma estadounidense (ACI 374.1-05, 2005) se establece como criterio de aceptación un valor mínimo de 0,125 para una distorsión de 3,5% (Valor intermedio entre ciclos 10 y 11) indicado en la Fig. 4.

Finalmente, al completar un ciclo completo de carga reversible, se evalúa el desplazamiento residual que manifiesta la unión. Este valor se expresa en función del ángulo de distorsión de piso.

Una vez concluido el ensayo, se realiza una inspección visual de la probeta a fin de evaluar el estado de fisuración que presentan los elementos de hormigón. En este aspecto es útil destacar que el daño que presenta tanto la viga como la columna es moderado. Si bien en las esquinas de la viga se produjo degradación del hormigón de recubrimiento, no se observa extensión de fisuras a lo largo de la misma. De forma análoga, la columna muestra pocas fisuras visibles en sus caras laterales, mientras que la parte posterior exhibe el deterioro que provocó el arrancamiento de las barras de acero longitudinal.

Tabla 1. Resumen del ensayo experimental.

Ciclo	Drift Θ [%]	Flecha Δ [mm]	Comentario
1	0,128	1,594	
2	0,204	2,532	
3	0,343	4,256	
4	0,495	6,138	Apertura de la SC. Fisuración del <i>grout</i> de la interfaz.
5	0,739	9,163	Desprendimiento de material en la SC.
6	1,022	12,677	Fisura en el <i>grout</i> de la parte posterior de la columna, en una barra disipativa superior. Deslizamiento de barra longitudinal superior.
7	1,431	17,739	Fisura en el <i>grout</i> de relleno de la parte posterior de la columna, deslizamiento de una barra de acero dúctil de la posición inferior.
8	1,864	23,114	Desprendimiento de <i>grout</i> en la de la junta
9	2,279	28,270	Desprendimiento del <i>grout</i> de anclaje de barras disipativas inferiores.
10	3,172	39,331	Deslizamiento de la restante barra de la armadura disipativa superior (Carga negativa), Falla en adherencia de barras disipativas superiores. Fisuración de la cara lateral de la columna.
11	3,989	49,457	Deslizamiento de la restante barra longitudinal inferior. Falla en la adherencia de barras disipativas inferiores.
12	4,999	61,988	Fin del ensayo, verificación de deformaciones residuales y daño en los elementos.

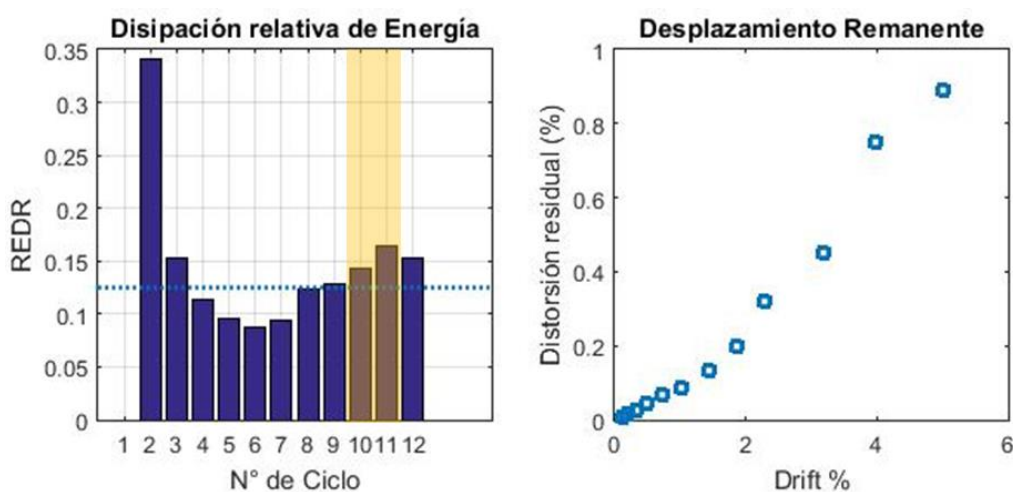


Figura 4. Disipación relativa de energía y deformación residual.

Con relación a la capacidad de disipación de energía, se destaca el cumplimiento del criterio de aceptación tanto en el ciclo número 10 como en el 11 (Fig. 4), a pesar de haberse producido anteriormente la falla de adherencia mencionada en la Tabla 1. El momento en que se produce el deslizamiento de la armadura es coincidente con la mínima eficiencia de energía disipada.

4. CONCLUSIONES

A partir del ensayo llevado a cabo fue posible identificar el comportamiento global de la unión, es fundamental destacar la ocurrencia de una falla de anclaje de las barras encargadas de disipar energía, lo cual no puede pasarse por alto. Este tipo de fallas conduce normalmente a colapsos del tipo frágil, con degradación de resistencia y trae asociados fuertes incrementos en las deformaciones.

A pesar de este suceso, la respuesta global manifiesta una leve forma de bandera con capacidad de recentrado, lógicamente este aspecto se ve afectado por el arrancamiento de las barras. Cuando se considera la acción conjunta del mecanismo de disipación y el mecanismo de recentrado, la respuesta global deriva en la mencionada “bandera” histerética. En este sentido se puede afirmar que la capacidad de recentrado se mantuvo inalterada ya que es provista exclusivamente por la armadura postesada. Por otra parte, al fallar el anclaje de la armadura dúctil, se altera fuertemente la capacidad de disipación de la unión.

Por su parte, el estado general de la unión una vez terminado el ensayo es de buena conservación, se verificó la concentración de deformaciones inelásticas en la interfaz de contacto y se comprobó que no hubo extensión de fisuras en la longitud de la viga.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece profundamente al Dr. Ing. Francisco Crisafulli y al MSc. Ing. Eduardo Vega por dirigir conjuntamente la tesis que dio origen a este trabajo, asimismo el agradecimiento para el Dr. Ing. Daniel Ambrosini y a todos los miembros del cuerpo docente de la Maestría en Ingeniería Estructural de la Universidad Nacional de Cuyo que fueron quienes brindaron el marco académico para que este estudio se realizara. Finalmente, se reconoce con gratitud a la Facultad de Ingeniería por proveer las instalaciones para realizar el estudio experimental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 374.1-05, 2005. *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*. s.l.:American Concrete Institute Farmington Hills, MI.

CIRSOC 201, 2005. *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*, República Argentina: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

INPRES CIRSOC 103 II, 2013. *Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Parte II. Construcciones de Hormigón Armado*. República Argentina: INTI CIRSOC.

Kim, J. y otros, 2004. *Cyclic Load Testing of Precast Hybrid Frame Connections*. Vancouver, Canada, 13th World Conference on Earthquake Engineering.

Nakaki, S. D., Stanton, J. F. & Sritharana, S., 1999. An overview of the PRESSS Five-Story Precast Test Building. *PCI Journal*, 44(2), pp. 26-39.

Nanclares, G., 2016. *Estudio Analítico-Experimental de Sistemas de Uniones Híbridas en Estructuras Premoldeadas de Hormigón Postesado*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina: Tesis de Maestría.

NZS 3101, 2006. Apendix B: Special provisions for the seismic design of ductile jointed precast concrete structural systems. En: *Concrete Structures Standard*. Wellington, New Zealand.: s.n., p. AP:B.

Pampanin, S., Marriot, D. & Palermo, A., 2010. *PRESSS Design Handbook*. Auckland, New Zealand: NZ Concrete Society.

Park, R., 2003. *The fib state-of-the-art report on the seismic design of precast concrete building structures*. Christchurch, New Zealand., Pacific Conference on Earthquake Engineering, pp. 1-13.

Paulay, T. & Priestley, M., 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons inc.

Priestley, M. J., 1992. Third Meeting of the U.S. Japan Joint Technical Coordinating Committee on Precas Seismic Structural Systems. (*JTCC-PRESSS*), Report No. 92/05.

Priestley, N. M., 1991. Overview of Press Research Program. *PCI Journal*, 36(4), pp. 50-57.

Stanton, J., Stone, W. C. & Cheok, G. S., 1997. A Hybrid Reinforced Precast Frame for Seismic Regions.. *PCI Journal*, 42(02), pp. 20-32.