

Muros de Corte con Placa de Acero en la Rehabilitación de Estructuras Sísmicamente Vulnerables

Eduardo Totter^(a), Francisco Crisafulli^(a)

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina,
eduardo.totter@ingenieria.uncuyo.edu.ar; jcrisa@uncu.edu.ar

Resumen

La ingeniería estructural ha bregado por la búsqueda de soluciones tendientes a disminuir el nivel de vulnerabilidad de construcciones ubicadas en zonas del planeta de elevado riesgo sísmico. El objetivo de una intervención de rehabilitación sobre una estructura sísmicamente vulnerable consiste en lograr una cierta modificación favorable de la configuración estructural previa de la misma. Una alternativa válida para su utilización en una propuesta de rehabilitación, la constituyen los muros de corte con placa de acero. Se busca lograr la concreción de un dispositivo estructural que permita obtener un incremento de resistencia, rigidez, ductilidad y capacidad de disipación de energía en la estructura a intervenir. En la presente comunicación breve de divulgación se presentan algunos aspectos destacados de la solución estructural mencionada junto con una serie de consideraciones de interés para el lector.

Palabras-clave: Muro de Corte con Placa de Acero, Rehabilitación Estructural, Vulnerabilidad Sísmica.

1. INTRODUCCIÓN

Los habitantes de asentamientos humanos ubicados en zonas de influencia de fallas geológicamente activas conocen desde la antigüedad el poder destructivo que poseen los fenómenos naturales conocidos como terremotos. La ingeniería estructural ha bregado por la búsqueda, desarrollo e investigación aplicada de soluciones estructurales tendientes a disminuir el nivel de vulnerabilidad de construcciones edilicias ubicadas en zonas del planeta de elevado riesgo sísmico.

Durante la ocurrencia de un terremoto, una gran cantidad de edificaciones de variadas características manifiestan una determinada serie de fallas tanto estructurales como no estructurales entre las que se pueden mencionar daños localizados de diverso alcance, colapsos parciales e incluso en el peor escenario colapsos totales. La necesaria mitigación del poder destructivo de un terremoto se relaciona al seguimiento de adecuados criterios de diseño estructural, junto con un entendimiento profundo de la respuesta y comportamiento de la estructura resistente que será sometida a la acción de tales eventos.

En el caso de estructuras existentes, la mayor cantidad de falencias y puntos críticos de debilidad la presentan aquellas que han sido diseñadas para la acción predominante de cargas gravitatorias, junto con las que se diseñaron y construyeron bajo la órbita de Reglamentos de Construcción antiguos, obsoletos o inexistentes. Algunos ejemplos de ello lo constituyen ciertas estructuras de hormigón armado y/o mampostería diseñadas entre los años 40' y 70' del pasado siglo. En general las estructuras mencionadas presentan de esta manera un determinado nivel de vulnerabilidad sísmica, [Aguiar Falconi y Barbat, 1997], [Aguiar Falconi, 2003].

En vista del panorama descripto, es clara la importancia que reviste la definición de criterios precisos y procedimientos sistemáticos tendientes a disminuir la problemática presentada, a partir de la disponibilidad concreta de soluciones estructurales apropiadas para la rehabilitación de estructuras sísmicamente vulnerables. Las mismas deben lograr el objetivo de lograr una modificación favorable de la configuración estructural previa a los efectos de modificar y mejorar

convenientemente la respuesta y el comportamiento global de la estructura intervenida, atenuando o eliminando de esta manera su nivel de vulnerabilidad.

El diseño de un adecuado procedimiento de rehabilitación sísmica implica una cuidadosa determinación de los factores de vulnerabilidad y de los posibles daños previos que presenta la estructura analizada. En general el concepto de vulnerabilidad sísmica impacta negativamente sobre algunos de los aspectos fundamentales en los cuales se basa el diseño sismorresistente, es decir resistencia, rigidez, ductilidad y capacidad de disipación energética bajo cargas cíclicas, [Elnashai y Di Sarno, 2008]. En la presente comunicación breve de divulgación se presentan algunos aspectos destacados de la solución estructural mencionada a partir de resultados obtenidos en el marco de trabajos desarrollados en Proyectos de Investigación asociados a la temática analizada, junto con una serie de consideraciones generales que pueden resultar de interés para el lector.

2. MUROS DE CORTE CON PLACA DE ACERO EN LA REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS SÍSMICAMENTE VULNERABLES

El objetivo principal de una intervención de rehabilitación sobre una estructura sísmicamente vulnerable consiste en lograr una modificación favorable de la configuración estructural previa, la cual deriva necesariamente en cambios sobre la respuesta y el comportamiento de la estructura intervenida.

Bajo el seguimiento de adecuados criterios de diseño, se busca lograr una mejora sustancial en el desempeño sísmico disminuyendo o eliminando por completo las condiciones de vulnerabilidad inicial detectadas o el daño previo que la estructura pueda presentar. De esta manera, un adecuado enfoque de rehabilitación estructural específico tiende al logro de un cierto grado o nivel de control del impacto que un determinado evento sísmico genera sobre la estructura aumentando de esa manera la seguridad y confiabilidad de la misma.

En el marco mencionado, una alternativa válida a la hora del diseño de una propuesta determinada de rehabilitación, la constituyen los muros de corte con placa de acero, MCPA (*Steel Plate Shear Walls - SPSW*), en alguna de sus versiones de configuración, [Alinia y Dastfan, 2005], [Formisano, et.al, 2010], [Totter y Crisafulli, 2016], [Totter et.al., 2017]. Su utilización se encuentra asociada al hecho de lograr la concreción de un dispositivo estructural que permita obtener un incremento apreciable de resistencia, rigidez, ductilidad y capacidad de disipación de energía en la estructura a intervenir.

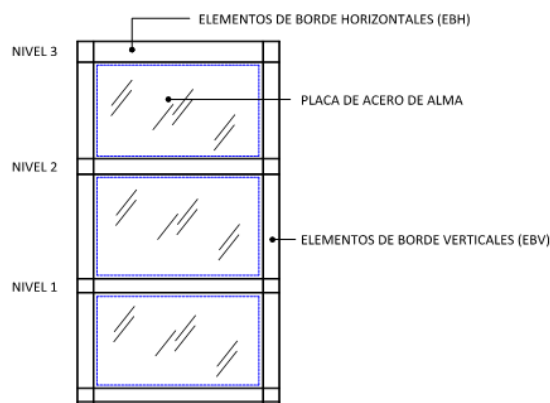


Figura 1. Vista lateral y configuración geométrica de un muro de corte con placa de acero de tres niveles en altura y un vano en dirección longitudinal. Elementos componentes del mismo.

Los MCPA logran dicho objetivo a partir del trabajo conjunto de placas planas de acero de pequeño espesor, rigidizadas o no, junto con una serie de estructuras de borde perimetrales a las cuales la placa se encuentra sólidamente conectada en forma total o parcial, [*Caccese et.al., 1993*], [*Berman, 2011*], [*Guo et.al., 2013*].

Los elementos de borde horizontales (*EBH*) o vigas y los elementos de borde verticales (*EBV*) o columnas interactúan con la placa de alma generando una configuración estructural solidaria que forma un campo de tracción diagonal sobre la placa (*CTD*) que confiere al sistema sus principales características en cuanto a capacidad de carga, rigidez inicial, rigidez post-pandeo, ductilidad y capacidad de disipación energética. La Figura 1 muestra un MCPA de tres niveles en altura y un vano, junto con sus principales elementos constituyentes.

Las particularidades mencionadas, permiten el logro tanto de un adecuado control de los desplazamientos horizontales de los diversos niveles de la estructura, como así también de una adecuada resistencia a las fuerzas de corte y momentos de vuelco actuantes sobre la misma, ya sean los generados por un terremoto o por la acción del viento como cargas laterales horizontales contenidas en su plano, [*Shaishkin et.al., 2005*], [*Ozcelik y Clayton, 2017*], [*Jalali y Banazadeh, 2016*], [*Totter et.al., 2018a*].

En virtud de dichas características y de una serie de ventajas adicionales que se obtienen desde el punto de vista netamente arquitectónico, constructivo y económico, la utilización adecuada de sistemas estructurales basados en MCPAs se convierte en una posibilidad cierta y ventajosa a la hora de abordar tanto el diseño de nuevas estructuras como así también la selección de metodologías de rehabilitación de estructuras existentes sísmicamente vulnerables, en edificaciones tanto de baja como de gran altura, ya sean de hormigón armado, de acero o estructuras mixtas, [*Guo et.al., 2011*], [*Totter et.al., 2018b*].

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se ha diseñado una metodología de trabajo que posee dos componentes principales que son por una parte la correspondiente a los análisis numéricos y analíticos necesarios y por otra la componente netamente experimental de desarrollo en el laboratorio de estructuras.

La correspondiente caracterización de la respuesta estructural y el comportamiento *post-pandeo* de los muros de corte con placa de acero, implica el desarrollo, análisis y validación de modelos estructurales apropiados que permitan estudiar en profundidad las principales variables y parámetros que gobiernan su desempeño. A tal efecto, es necesario proceder al estudio, desarrollo, calibración e implementación de modelos estructurales para la representación de tabiques con placas de acero. Dichos modelos poseen diversos grado de refinamiento desde el punto de vista de una *micro* y *macro-modelación*, a partir de la utilización de diversas implementaciones computacionales y del planteo de diferentes hipótesis de respuesta tanto de la estructura en si misma como de los materiales que la componen.

De esta manera uno de los objetivos principales de esta etapa es conocer y evaluar adecuadamente las ventajas y limitaciones de los distintos tipos de modelos implementados y analizados. Una investigación de las características presentadas está centrada en el análisis del comportamiento de las estructuras bajo estudio en el rango no lineal para los casos de muros de corte con placa de acero convencionales y muros de corte con placa de acero parcialmente conectada. Se desarrollaron modelos de análisis simplificados a partir de criterios de discretización de la placa de acero en un determinado número de riostras de tracción con capacidad de compresión y modelos refinados de elementos finitos.

4. RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES GENERALES

Se destaca netamente la importancia de la fase experimental, la cual constituye una herramienta de validación y calibración final de los modelos numéricos estudiados previamente. Se desarrollaron a nivel de modelación previa y experimentación en laboratorio, diversos aspectos tales como caracterización y prueba de medios de conexión, materiales constituyentes de las estructuras analizadas, comportamiento no lineal de la placa de acero (*rango post-pandeo por corte*) y comportamiento global de las estructuras analizadas. Todas las evaluaciones experimentales de los presentes proyectos fueron desarrolladas en el Laboratorio de Estructuras del Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico (IMERIS), perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

Se implementaron diversos modelos estructurales de bandas para el estudio de muros de corte con placa de acero, tanto convencionales como parcialmente conectados. Las estructuras exhibieron adecuados valores de resistencia, rigidez, ductilidad y aceptable capacidad de disipación energética bajo cargas cíclicas reversibles.

Se realizaron diversos análisis estructurales numéricos sobre estructuras sísmicamente vulnerables que permiten afirmar que los muros de corte con placa de acero son una alternativa válida a la hora de diseñar estrategias de rehabilitación sísmica.

Es necesario avanzar con mayor profundidad en el estudio de ciertos aspectos de relevancia, tales como las conexiones entre la placa y sus elementos de borde, especialmente en los referido a la conexión de la placa a elementos de hormigón armado. Por otra parte un aspecto de investigación futura lo constituye la rehabilitación a partir de la utilización de muros de corte con placa de acero de muros de mampostería o bien con cierto grado de vulnerabilidad sísmica o bien con la presencia de cierto nivel de daño previo.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores del presente trabajo desean agradecer a la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado de la Universidad Nacional de Cuyo, por el financiamiento parcial de las diversas investigaciones asociadas al presente trabajo, en el marco de los Proyectos Bianuales de Investigación que lleva adelante dicha Secretaría.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alinia, M.M., Dastfan, M., (2005). *Behaviour of Thin Steel Plate Shear Walls Regarding Frame Members*. Journal of Constructional Steel Research. 62, 730-738.

Aguiar Falconi, R., Barbat, A.H., (1997). *Daño Sísmico en Estructuras de Hormigón Armado*. Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, ISBN: 9978-97-057-9. Ecuador.

Aguiar Falconi, R., (2003). *Análisis Sísmico por Desempeño*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, CEINCI-ESPE, Ecuador, 329p.

Berman, J.W., (2011). *Seismic Behavior of Code Designed Steel Plate Shear Walls*. Engineering Structures. 33, 230-244.

Caccese, V., Elgaaly, M., Chen, R., (1993); “*Experimental Study of Thin Steel Plate Shear Walls under Cyclic Loads*”. Journal of Structural Engineering. ASCE. Vol.119, Nro.2.

Elnashai, A.S., Di Sarno, L., (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-02483-6.

Formisano, A., De Matteis, G., Mazzolani, F.M., (2010). *Numerical and Experimental Behaviour of a Full-Scale RC Structure Upgraded With Steel and Aluminium Shear Panels*. Computer and Structures. 88, 1348-1360.

Guo, L., Rong, Q., Xinbo, M., Zhang, S. (2011). *Behaviour of Steel Plate Shear Wall Connected to Frame Beams Only*. International Journal of Steel Structures. Vol.11, Nro 4, 467-479.

Guo, L, Jia, M., Li, R., Zhang, S., (2013). *Hysteretic Analysis of Thin Steel Plate Shear Walls*. International Journal of Steel Structures. Vol.13, 1, 163-174.

Jalali, S.A., Banazadeh, M., (2016). *Development of a New Deteriorating Hysteresis Model for Seismic Collapse Assessment of Thin Steel Plate Shear Walls*, Thin-Walled Structures, 106: 244-257.

Ozcelik, Y., Clayton, P.M., (2017). *Streep Model for Steel Plate Shear Walls with Beam-Connected Web Plate*. Engineering Structures 136, 369-379.

Shishkin, J., Driver, R., Grondin, G., (2005). *Analysis of Steel Plate Shear Walls Using the Modified Strip Model*. Structural Engineering Report 261. Department of Civil Engineering. The University of Alberta. Edmonton, Alberta, Canadá.

Totter, E., Crisafulli, F.J., (2016). *Caracterización de la Respuesta Estructural de Muros de Corte con Placa de Acero Sometidos a la Acción de Fuerzas Sísmicas*. Memorias de las XXIV Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, Argentina.

Totter, E., Formisano, A., Crisafulli, F.J., Mazzolani, F., (2017). *Seismic Upgrading of RC Structures with Only Beam Connected Steel Plate Shear Walls*. XXVI Congresso dei Tecnici dell' Acciaio, Venezia, Italy.

Totter, E., Formisano, A., Crisafulli, F.J., Mazzolani, F. *Seismic Upgrading of RC Structures with Only Beam Connected Steel Plate Shear Walls*. Ingegneria Sismica. International Journal of Earthquake Engineering, Vol.2, 2018. Junio 2018.

Totter, E., Formisano, A., Mazzolani, F., Crisafulli, F.J, (2018). *Strip Model Analysis for Steel Plate Shear Walls in Earthquake Resistance Structures*. Key Engineering Materials, Vol. 763, pp. 743-750, 2018