

COMPORTAMIENTO DE DISIPADORES DE ACERO REALIZADOS CON TUBOS PERFORADOS

Eduardo D. Quiroga, Gonzalo S. Torrisi, Francisco J. Crisafulli

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario, Mendoza, Argentina,
dquiroga@fing.uncu.edu.ar, gtorrisi@fing.uncu.edu.ar, jcrisa@uncu.edu.ar

Palabras clave: Disipadores. Histeréticos. Fluencia. Elementos Finitos. Densidad de Mallas

Resumen. La práctica profesional, métodos convencionales y algunos reglamentos, conciben el Diseño Sísmico como una jerarquización de componentes estructurales que disipan la energía del terremoto en forma segura, preservando vidas y minimizando el riesgo de colapso estructural aún cuando se puede producir daño de componentes. Los Sistemas Disipación son una alternativa a los métodos convencionales y su objetivo es localizar en ciertos dispositivos los efectos de deformaciones no lineales inducidos a las construcciones, permitiendo sustituirlos en caso de daño. La mejora del comportamiento estructural es una medida confiable para reducir la vulnerabilidad y los disipadores metálicos por fluencia están entre las soluciones posibles. Se presentan en este trabajo resultados preliminares de ensayos sobre prototipos destinados a implementar el uso disipadores por fluencia de acero en construcciones sismorresistentes nuevas o existentes. Además se discute la comparación con modelos de elementos finitos refinados y modelos simples para implementar en programas de uso común en la práctica profesional. Se busca obtener una correlación en la respuesta entre los modelos de elementos finitos y los resultados experimentales para el tipo de disipador analizado.

1 INTRODUCCIÓN

Durante un evento sísmico las construcciones se aceleran y el desplazamiento del suelo produce que el propio peso desequilibre a la estructura haciéndole perder su estabilidad y, en algunos casos, llevarla al colapso. Las normas modernas de diseño sísmico admiten que, ante la ocurrencia de eventos excepcionales, la construcción o sus componentes presenten algún daño producto de incursiones en rango no lineal.

La filosofía del diseño por capacidad tiene por objeto ordenar los componentes estructurales creando una jerarquía y una secuencia para la aparición de la no linealidad en cada uno de ellos, definiendo zonas específicas que soporten esas deformaciones sin degradación importante protegiendo a otras más sensibles. (Paulay y Priestley, 1992).

La propuesta de diseño innovador se orienta a definir esas zonas que serán las encargadas de la disipación protegiendo tanto estructura como contenido. El objetivo de los Sistemas de Protección Sísmica, para aislar o disipar la energía del terremoto, es controlar el comportamiento global de la construcción a través del diseño de su desempeño estructural.

Existen variadas propuestas de disipadores que son clasificados de acuerdo con la variable cinemática que pongan en juego. En este trabajo se focaliza el estudio de los amortiguadores por fluencia controlados por desplazamiento que además se encuadran dentro de los dispositivos de tipo histerético por la forma de disipación.

Dentro de un plan de ensayos para riostras de acero se presentan resultados preliminares obtenidos de prototipos destinados a desarrollar e implementar el uso disipadores por fluencia de acero en construcciones sismorresistentes nuevas o existentes. Por medio de la modelación con elementos finitos se busca la calibración de modelos para su implementación en programas de uso común en la práctica profesional

2 DISIPADORES HISTERÉTICOS

Los sistemas de disipación histeréticos, que incluyen a los amortiguadores metálicos y a los de fricción, se encuadran en la categoría de los dispositivos activados por el desplazamiento. Los metálicos hacen uso de la propiedad de los metales –histéresis – aprovechando el comportamiento en rango inelástico de disipación. Los segundos disipan por la fricción entre dos superficies en contacto que se desplazan una sobre otra. (Christopoulos y Filiatrault, 2006)

Los disipadores histeréticos por fluencia tienen por objeto consumir energía durante un evento sísmico a través de la fluencia de los metales (acero, plomo, cobre), manteniendo a los componentes convencionales (vigas, columnas, muros, etc.) en condición elástica. Estos dispositivos se vinculan a la estructura en formas diversas, siendo una de las más usuales su colocación a través de riostras de acero. Los reglamentos sismorresistentes los admiten considerando para ellos distintos factores de reducción en la demanda de acuerdo con el comportamiento inelástico de cada uno. No están considerados aún en el reglamento Argentino los Sistemas de Protección Sísmica.

Para el caso de las construcciones de acero, los sistemas resistentes a cargas horizontales son clasificados en cuatro grupos según la AISC: pórticos a momentos (Moment Frame), sistemas arriostrados (Brace Frame) y sistemas de tabiques (Shear Wall). En todos los casos se consideran elementos constituidos sólo por acero y compuestos de acero más hormigón (Composite Systems).

En el Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103, Parte IV “Construcciones de Acero”, considera a los pórticos no arriostrados, pórticos sismorresistentes arriostrados: concéntricamente (PSAC), excéntricamente (PSAE) y sistemas

duales, con factores de reducción “R” que van desde 3,5 a 6,0. En todos los casos se limita la esbeltez de las riostras para asegurar un comportamiento adecuado del componente.

Los sistemas arriostrados (brace) son uno de los tipos estructurales más comunes en la estructuración sismorresistente de edificios con distintas configuraciones topológicas y con una respuesta aceptable. Al incorporar el concepto de sistemas innovadores se ha propuesto una solución que conjuga las ventajas del arriostramiento con el disipador mediante la fusión de ambas.

Transformar a la riostra misma en un disipador es una solución que ha sido validada tanto en el ámbito científico como en las construcciones mismas sometidas a terremotos. Es el caso de las barras con pandeo restringido (BPR o Buckling Restrained Braced BRB), desarrolladas en Japón (Wada, Aiken, etc). Estos sistemas han adquirido gran difusión y han sido incorporados en reglamentos actuales tanto para obras nuevas como en rehabilitaciones (AISC 341-10, FEMA 547 2006).

Las “riostras fusible” (Crisafulli, 2006) también son una alternativa ventajosa y demandan un menor compromiso tecnológico en su desarrollo e implementación.

Los pórticos arriostrados con diagonales centradas constituyen sistemas resistentes de alta rigidez elástica para acciones laterales transfiriéndolas hasta los vínculos por medio de esfuerzos axiales en sus componentes. (Crisafulli, 2011). La respuesta del sistema está determinada principalmente por el comportamiento de las diagonales de acero y el conocimiento de la respuesta cíclica inelástica del componente permite estimar la respuesta del elemento o el sistema en su conjunto y, naturalmente, el comportamiento estará condicionado por las características geométricas y mecánicas de la diagonal.

Desde el punto de vista geométrico inciden la esbeltez de la barra λ (relación entre la longitud de pandeo y el radio de giro de la sección), los vínculos extremos y la forma de la sección.

Al tomar en consideración las condiciones mecánicas tendrán influencia las siguientes propiedades del material: módulo de elasticidad (E), tensión de fluencia (F_y), Efecto Bauschinger, fatiga de bajo ciclaje, entre los más importantes. Para caracterizar la respuesta elastoplástica del material es necesario conocer y definir su ley constitutiva.

3 DISIPADORES HISTERÉTICOS PERFORADOS

3.1 Descripción

Los disipadores perforados se constituyen en el sistema de arriostramiento y en él se generan zonas específicas con una disminución de la sección transversal donde se concentrarán las deformaciones plásticas por tracción. Para lograr un comportamiento histerético estable se deben controlar tanto el pandeo global de la riostra como el pandeo local de la zona “fusible”.

Los disipadores perforados responden a las siguientes premisas (Quiroga et al., 2010):

- Sencillez en la utilización de arriostramientos diagonales (especialmente en rehabilitación de construcciones existentes)
- Uso de secciones tubulares para obtener esbeltez global reducida
- Generación de una zona específica de disipación de energía donde se concentran las deformaciones plásticas en forma estable
- Control independiente de rigidez y de resistencia axial de la barra

3.2 Geometría

Las riostras diagonales se obtienen a partir de barras de acero de sección tubular rectangular, cuadrada, o circular. En general se usan las dos últimas secciones ya que la riostra presenta la misma longitud efectiva de pandeo respecto de sus dos ejes principales ($kL_x=kL_y$). Por ello en este trabajo se consideran sólo secciones tubulares cuadradas o circulares.

Para generar la zona de disipación se produce una disminución de la sección transversal bruta (A_g) por medios mecánicos (corte o perforación) sin introducción de calor para evitar alteraciones significativas en la respuesta del material.

Se ha evaluado un sistema de arriostramiento perteneciente a un edificio de dos niveles a evaluar en otro proyecto (Figura 1) y de acuerdo con la demanda sísmica se ha dimensionado la sección de la riostra por aplicación del reglamento para construcciones de acero, resultando un área bruta necesaria de 1100 mm². (CIRSOC 301, 2005).

Para obtener la predicción del comportamiento de la estructura completa se propone el estudio analítico y experimental de prototipos representativos de las zonas de disipación obtenidas a partir de tubos estructurales cuadrados de 100 x 100 x 3,2 mm (HSS) y tubos circulares de 100 x 3,2 mm (HCS) cuyas secciones resultan las más adecuadas a tal fin.

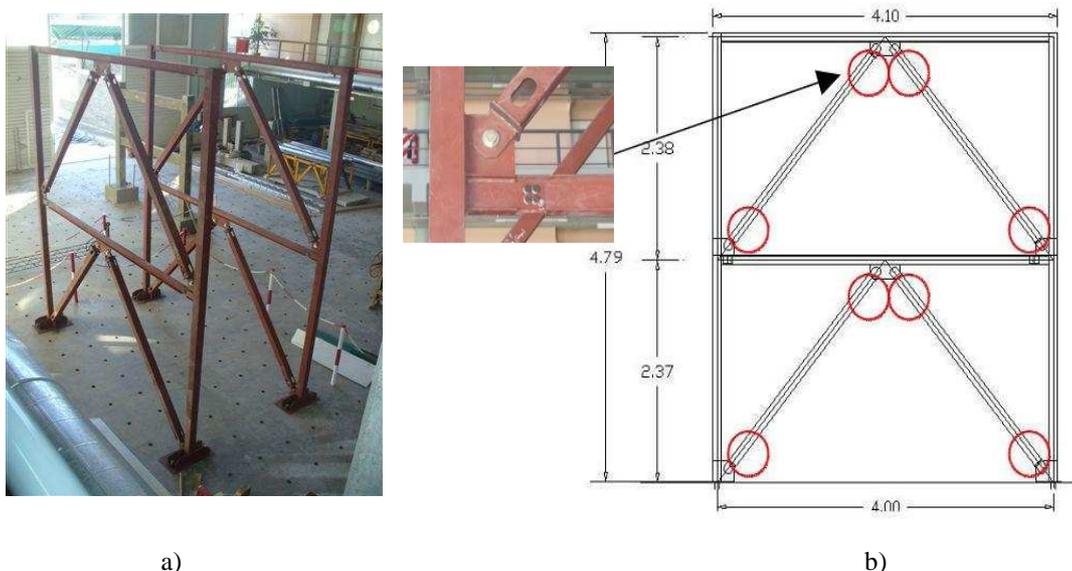


Figura 1: Disipadores Perforados. a) Pórticos de Acero. b) Esquema de zonas de disipación

Para generar las zonas de disipación por fluencia, en el caso de la sección cuadrada (HSS, por sus siglas en inglés Hollow Square Section), se practica una abertura rectangular en cada cara de 50 mm. de ancho 100 mm. de longitud y en los extremos se realizan acuerdos circulares para generar una zona de transición eliminando esquinas y de ese modo minimizar concentraciones no deseadas de esfuerzos. (Figura 2a)

Para la sección circular (HCS, por sus siglas en inglés Hollow Circular Section) se realizan perforaciones produciendo una disminución en el área bruta (A_g), que se obtiene por medio de 8 agujeros de 16mm separados en forma equidistante con un ángulo de 45° entre sí dando lugar al área neta (A_n). De todos los modelos de sección circular preparados con 5, 7 o 9 filas de agujeros, en este trabajo sólo se evalúa el prototipo de 9 filas de agujeros con una separación de 30 mm. en dirección longitudinal identificado como HCS-9F. (Figura 2b).



Figura 2: Disipadores Perforados. a) Cuadrados. b) Circulares

3.3 Caracterización del material base

La producción industrial de las barras tubulares de acero se realiza a partir de chapas lisas planas plegadas o conformadas y para finalizar se unen en toda su longitud por medio de un proceso de soldadura automática.

Las características mecánicas de estas barras tubulares difieren de las propiedades de la chapa que les dieron origen debido al proceso de fabricación. A partir de los datos de proveedores se pueden obtener las características de las chapas, pero no se indican las propiedades efectivas de los tubos fabricados.

- Límite mínimo de fluencia = 237 MPa
- Alargamiento rotura = 20 % (probeta de $L_0=50\text{mm}$)

Es indispensable contar con la información de las características mecánicas de los tubos que darán origen a las riostras para poder predecir, en forma confiable, el comportamiento estructural y de ese modo poder incorporarlas en modelos matemáticos que permiten determinar con precisión la respuesta de un sistema estructural completo.

Se han realizado ensayos de caracterización de los materiales de los tubos para establecer las propiedades mecánicas reales a partir de los valores nominales de las chapas mediante probetas preparadas de acuerdo con la prescripción de la norma IRAM-IAS 1986 para el ensayo de tracción. (Quiroga et al. 2010).

El ensayo de probetas se realizó en una máquina universal tipo Amsler equipada con celda de carga controlada digitalmente; la medición se realizó con transductores electrónico tipo LVDT, potenciómetros y reloj comparador para realizar un control de mayor precisión en la obtención de datos. En la Figura 3c se reproduce el gráfico de respuesta tensión-deformación para la probeta identificada como "I", una de las 8 ensayadas, y en las Figura 3a y Figura 3b la misma probeta durante y luego del ensayo, respectivamente.

La tensión de fluencia alcanza 380 MPa, 58 % mayor que la tensión nominal del material base de 240 MPa, mientras que la de rotura alcanza 550 MPa (20% mayor que 370 MPa). El plafón de fluencia que en el material base va desde 1% a 5% lo que da una deformación del 4%, en el tubo estructural se reduce al 1%. La deformación de rotura es del 14,5%, un 27% menor que la del material base.

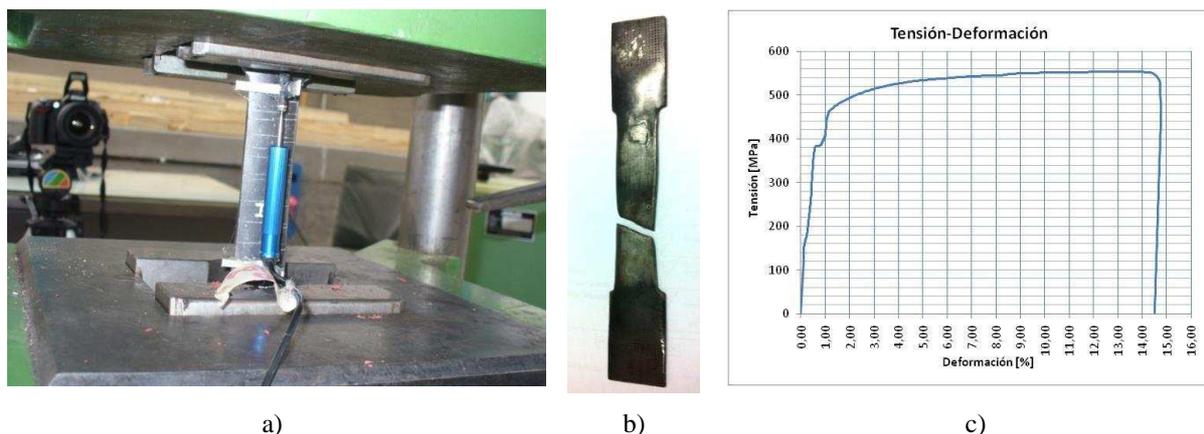


Figura 3: Ensayo Material Base. a) Montaje en máquina universal e instrumentación. b) Probeta después del ensayo. c) Gráfico Tensión-deformación

Para la definir la ley constitutiva del material que luego se incorpora al software de análisis se han considerado los siguientes parámetros:

- Tensión de fluencia (F_y) y rotura (F_u): 370 MPa y 550 MPa, respectivamente
- Alargamiento inicial y final de fluencia: 0,7%, 1,1% respectivamente
- Alargamiento de rotura: 18,5%
- Rigidez inicial (módulo E) y post-fluencia = 202000MPa y 6000MPa (alfa = 2,9%)

A partir del resultado de los ensayos se ha podido caracterizar la forma de la curva tensión-deformación del material base encontrando valores de las tensiones características (fluencia y rotura) mayores que los nominales. El módulo de Elasticidad ha sido ajustado a los valores nominales y se identifica la rigidez post-fluencia con un factor del 2,9% para ser incorporado al modelo numérico.

3.4 Prototipos de disipadores: Geometría y ensayos

3.4.1 Prototipos cuadrados

El prototipo de disipador cuadrado se obtiene a partir de un tubo estructural cuadrado con las características mecánicas descritas anteriormente. Se ha propuesto comenzar un ensayo del tubo sin perforar para que luego sirva de patrón en la calibración y ajuste del modelo de elementos finitos lo que permite evaluar la sensibilidad del tamaño de las mallas utilizadas.

El ensayo de compresión se realizó en la máquina universal Amsler y la medición con el sistema de adquisición de datos mediante potenciómetros y se ha representado una cuadrícula para comparar el patrón de deformaciones reales con el modelo. Al someter al prototipo a compresión se produce la falla por abollamiento local de las placas de pared en la zona superior del tubo (Figura 4a).

En segundo término se ensayó un prototipo de disipador cuadrado, al que se le han practicado aberturas en las cuatro caras debilitando el área neta de manera que al observar una sección transversal quedan conformadas cuatro secciones tipo “L” en cada esquina del tubo. Al someterlo al ensayo a compresión la respuesta es el pandeo de la cuatro “L” con un giro alrededor del eje débil de esta sección. (Figura 4b). Los valores obtenidos en compresión resultan aceptables hasta cierto nivel de demanda, produciéndose una falla por pandeo local tal como se muestra en la figura 4c donde se ha representado la curva tensión-deformación para el componente comprimido ensayado que ha alcanzado una tensión de 320 MPa. (Quiroga et al. 2010).

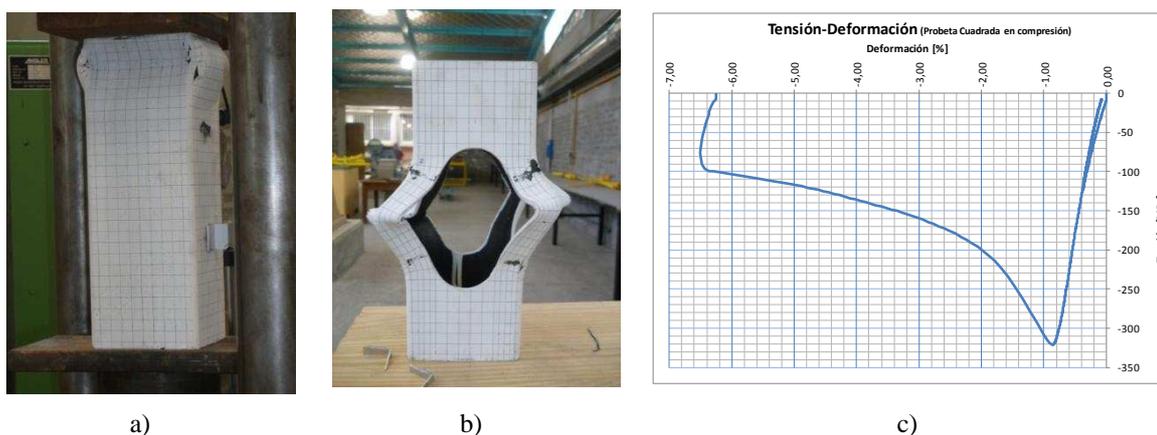


Figura 4: Prototipo Cuadrado. a) Sin perforaciones. b) Con perforaciones. c) Respuesta en compresión

3.4.2. Prototipos circulares

Los prototipos circulares se obtienen a partir un tubo estructural circular con perforaciones mecánicas según diferentes patrones de distribución. Se ha iniciado la serie de ensayos con un prototipo de nueve agujeros (HCS-9F) en la máquina Universal con un sistema de adquisición de datos digital electrónicos ubicados cada 120° que permitan detectar diferencias en las deformaciones entre los tres dispositivos de medición. En la [Figura 5a](#) se observa el montaje previo al ensayo y en la [Figura 5b](#) el prototipo luego de los tres ciclos a los que se sometió.



Figura 5: Prototipo circular perforado. a) Montaje e instrumentación previo al ensayo. b) Después del ensayo

La especificación AISC 341-10 establece protocolos de ensayos para riostras y no requiere la aplicación de acciones dinámicas. Además reconoce como aceptable el resultado de los ensayos mediante la aplicación de cargas cíclicas en forma lenta dado que no se ha demostrado la necesidad del control de velocidad ensayos dinámicos y por ello los ensayos realizados se alinean con este criterio respecto de la velocidad de aplicación de la acción.

Como resultado preliminar se representa ([Figura 6](#)) el comportamiento histerético demostrado en los ensayos cíclicos por aplicación de un protocolo que conduce a una deformación inelástica acumulada expresada como una fracción de la deformación de piso para la riostra considerada. En el gráfico tensión-deformación, para el tubo circular (HCS-9F),

se han representado los distintos ciclos diferenciados por color para facilitar su identificación y permitir cuantificar cada parámetro para reproducir la forma de cada uno. También se observa una disminución en la resistencia desde 275 a 225 MPa en los sucesivos ciclos (4, 5 y 6), mientras que la deformación específica última ha llegado al 3.75%. La Figura 7 muestra la preparación del prototipo y el dispositivo de ensayo.

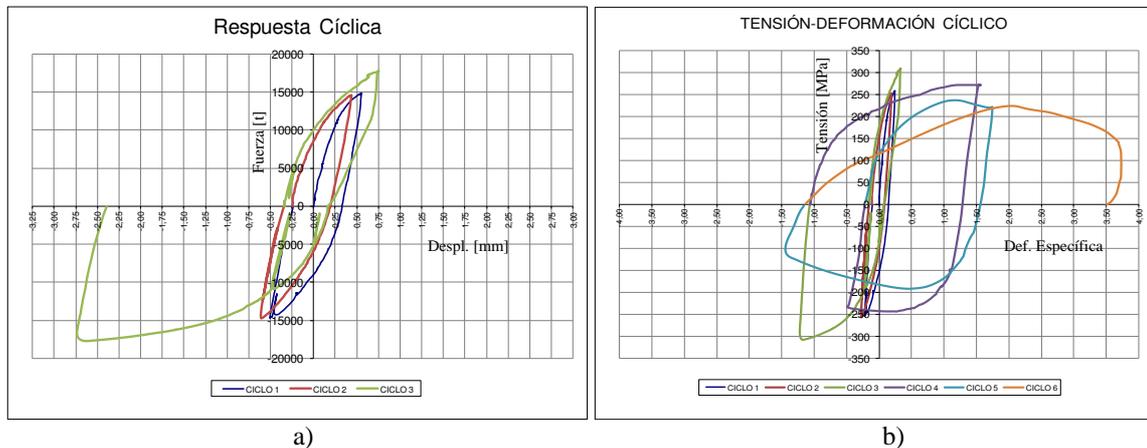


Figura 6: Respuesta histerética de prototipos. a) HSS, b) HCS-9F

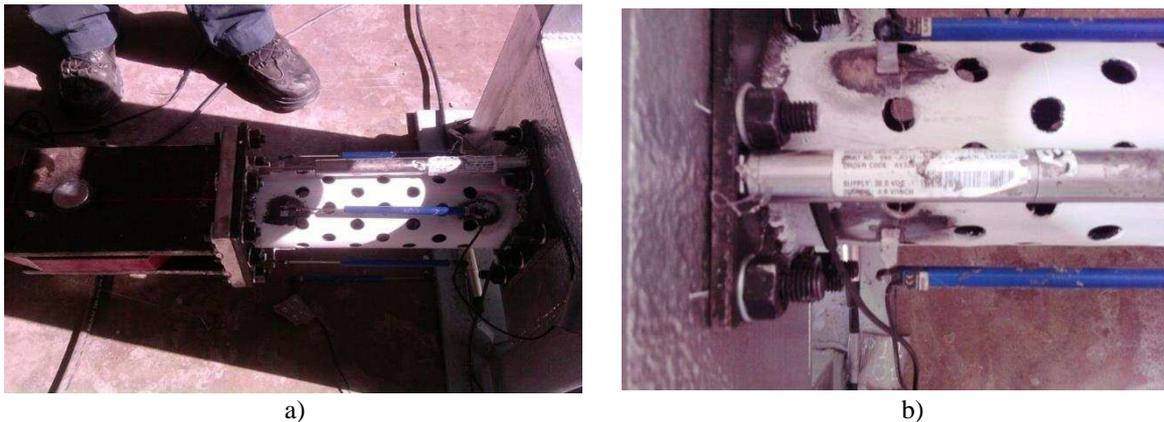


Figura 7: Ensayo. a) Montaje general. b) Detalle de instrumentación

4 PROTOTIPOS DE DISIPADORES: MODELACIÓN CON MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

La realización de ensayos físicos resulta vital para conocer el comportamiento de los prototipos, pero al momento de diseñarlos se necesita una herramienta matemática capaz de representar la respuesta de los componentes de manera fiel.

En esa dirección se ha realizado simulaciones numéricas de los prototipos ensayados mediante la utilización del programa ABAQUS (Simulia, 2006).

4.5.1. Ley constitutiva del material

A partir de los ensayos de tracción en probetas y de compresión en prototipos se ha obtenido una ley elastoplástica (ver Figura 1 y Figura 2) que permite caracterizar el tipo de acero utilizado (F-24), pero con las modificaciones identificadas a través del proceso de

fabricación propio de los tubos estructurales.

En todos los modelos se utilizó un material elastoplástico con el criterio de fluencia de Von Mises y endurecimiento isotrópico (Crisfield, 2002; Lubliner, 2008, Simulia, 2006). Se han evaluado dos escenarios considerando el aumento de la rigidez post-fluencia con endurecimiento y sin él.

4.5.2. Propiedades del elemento finito

En primer término se han modelado los tubos cuadrados sin alteración ni perforaciones de las paredes con el objeto de permitir una correlación con las observaciones de los ensayos mediante la evaluación de distintas densidades de mallas uniformes y no uniformes que sean capaces de representar las configuraciones deformadas.

Para el tubo sin perforaciones se probó con una malla uniforme con elementos de 3.20 mm. a 10 mm. de lado hasta obtener una respuesta similar al abollamiento localizado obtenido de los ensayos (Figura 4a).

En el caso del dissipador perforado cuadrado se ha considerado la singularidad en la zona del agujero y por ello se distinguen dos zonas: área bruta (sin agujeros) y área neta (con agujeros). En la zona del área neta se densifica la malla al doble de la utilizada en el área bruta. Se utilizaron en este caso elementos de 3.2 mm. de lado, obteniendo con esta opción una buena respuesta. Por último para el dissipador perforado circular se ha dispuesto una malla con elementos de 3.20 mm. de lado.

En todos los casos el elemento finito empleado es tridimensional de 8 nodos, denominado C3D8 (Simulia, 2006).

A continuación (Figura 8), se presentan los 3 tipos de mallas utilizados para modelar la probeta cuadrada sin perforaciones. La malla 1 está realizada con elementos de 3.20 mm. de lado, la malla 2 posee elementos de 6.25 mm. de lado y finalmente la malla 3 está compuesta por elementos de 10 mm. de lado.

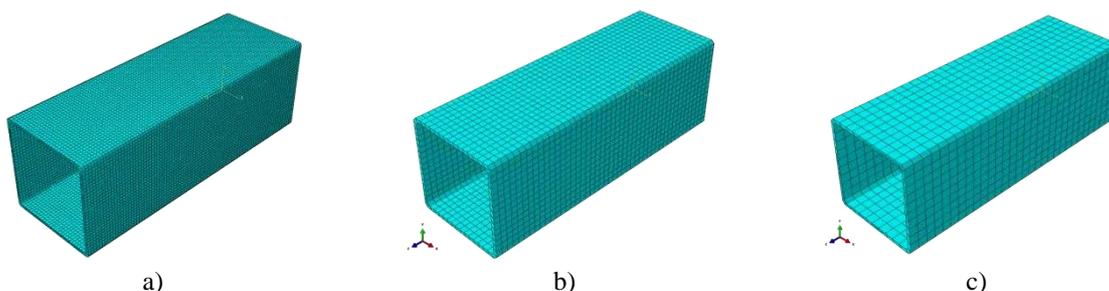


Figura 8: Distintas densidades de mallas utilizadas. a) Malla 1, b) Malla 2, c) Malla 3

La Figura 9 muestra las respuestas obtenidas con las tres discretizaciones y como se puede observar no se ven modificadas sustancialmente al representar al prototipo con diferente densificación de malla. La fuerza es prácticamente igual en los tres casos (± 4000 kg), mientras que la máxima deformación está alrededor de 20 mm. La rigidez, representada por la pendiente es casi idéntica en los tres casos. El rango de deformaciones inelásticas es ± 20 mm.

Por ello se eligió como parámetro de control para la selección de la malla más adecuada a aquella que presentara una configuración deformada similar a la observada experimentalmente.

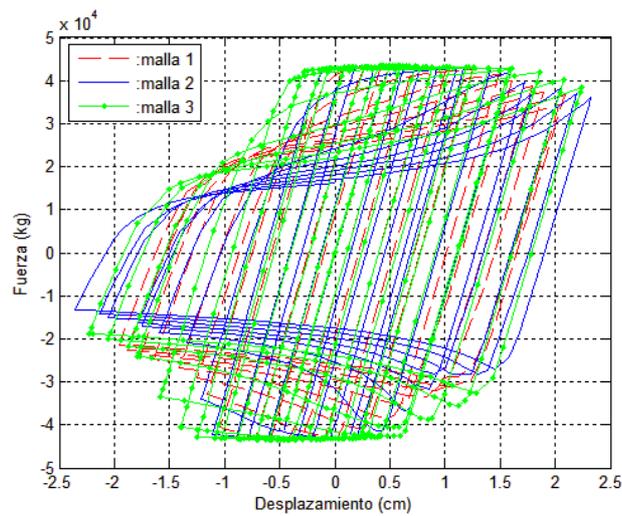


Figura 9: Respuestas cíclicas obtenidas con las mallas 1 a 3. a) Malla 1, b) Malla 2, c) Malla 3

4.5.3. Resultados experimentales

Con la base de los puntos anteriores se ha trabajado sobre la sensibilidad y precisión de la respuesta en deformaciones en función de las distintas densificaciones de mallas. Una vez satisfecha esta condición se ha evaluado la respuesta histerética para convalidar la predicción analítica y los resultados experimentales.

4.5.3. 1. Prototipo cuadrado sin agujeros

Se muestra en primer término (Figura 10a) el resultado del prototipo cuadrado sin agujeros con el que se comenzó el estudio de las mallas de elementos finitos y puede observarse cómo el modelo matemático ha capturado en forma muy aceptable el comportamiento en el ensayo de compresión, incluso evidenciando el abollamiento localizado en la zona de aplicación de la carga.

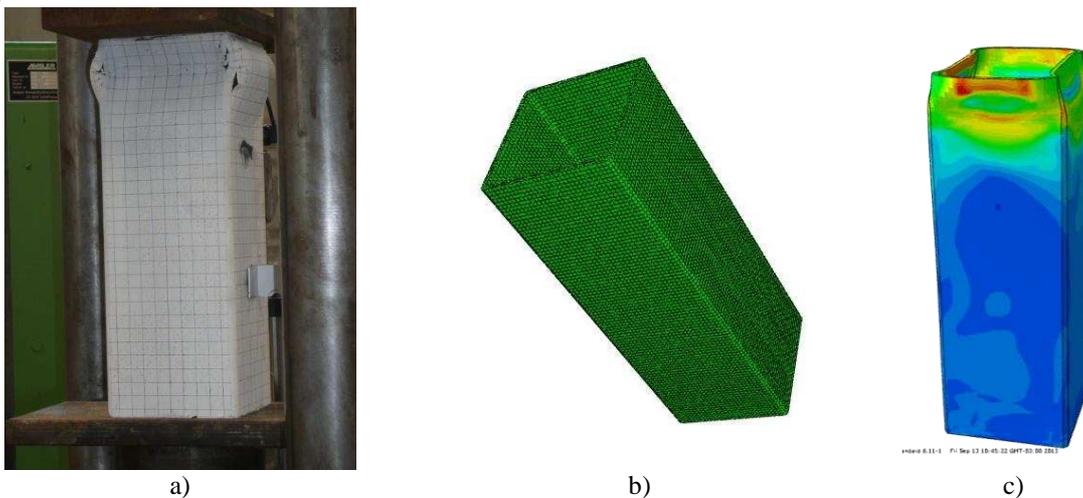


Figura 10: Probeta cuadrada. a) Ensayo experimental, b) Modelo discretizado, c) Predicción analítica.

4.5.3. 2. Prototipo Disipador Cuadrado Perforado

Se repite la experiencia trabajando ya con el disipador perforado. Como se esperaba alteración en la zona perforada se modificó la densidad de malla y esto permitió mejorar notablemente el resultado de la predicción analítica (Figura 11 b y c)

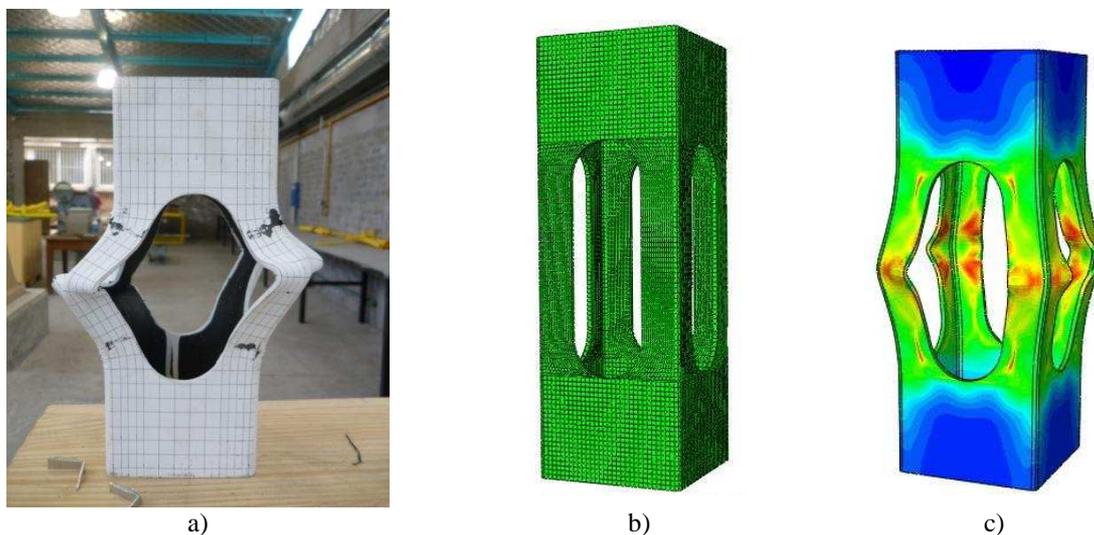


Figura 11: Probeta cuadrada con huecos. a) Ensayo Experimental, b) Modelo discretizado, c) Predicción analítica.

La probeta de la Figura 12 fue ensayada a compresión en la máquina universal AMSLER y se puede observar una configuración deformada no uniforme dado que no es posible eliminar la excentricidad accidental. Se ha considerado este fenómeno en la modelación numérica obteniéndose una muy buena correlación en término de deformaciones. Se muestra también el comportamiento en términos de tensiones.

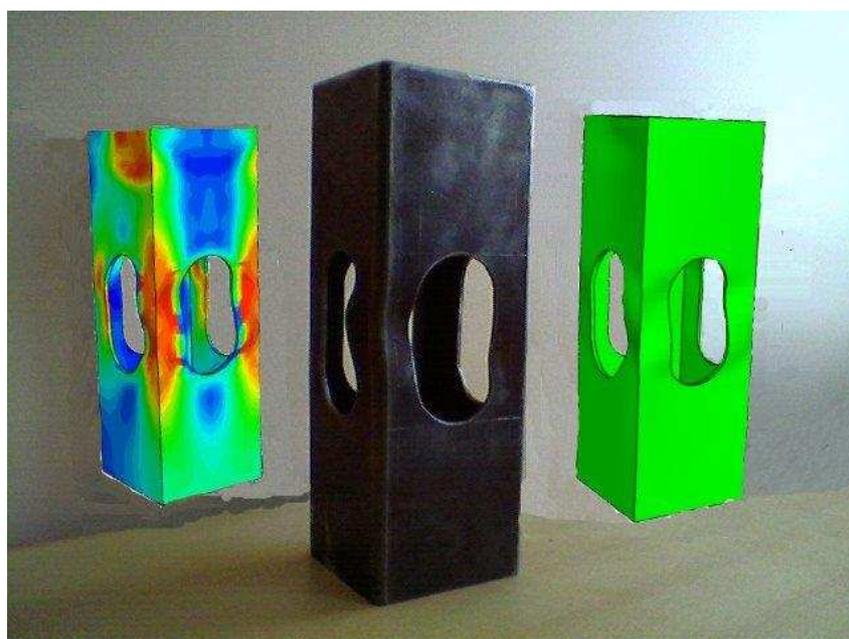


Figura 12: Probeta cuadrada con huecos. Carga excéntrica.

4.5.3. 3. Prototipo Disipador Circular Perforado

Se evalúa el resultado experimental de dos prototipos circulares perforados ensayados en forma cíclica en máquina universal y en un montaje en losa reactiva.

La [Figura 13](#) se muestra comparativamente el resultado final del ensayo (máquina universal) y su correlación analítica en términos de deformaciones y tensiones. En el caso de las deformaciones puede observarse como se ha capturado con bastante precisión el fenómeno de pandeo localizado en las zonas de debilitamiento de la sección. Luego se muestra el comportamiento en esfuerzos con una escala cromática creciente.

En la [Figura 14](#) se puede observar el resultado final del ensayo a esfuerzos de tracción-compresión alternativos (gato hidráulica + losa reactiva) donde se ha producido la rotura física de la probeta en el área neta obtenida después de agujerear el prototipo. El modelo analítico reproduce los dos fenómenos observados: pandeo localizado y rotura en la zona debilitada. Para este caso se representan en la [Figura 15](#) las tres curvas de respuesta superpuestas: resultado experimental, con ley elastoplástica con la consideración del (curva verde de trazo) y sin él (curva roja continua), observando que tiene una mejor correlación cuando se considera el primer caso.

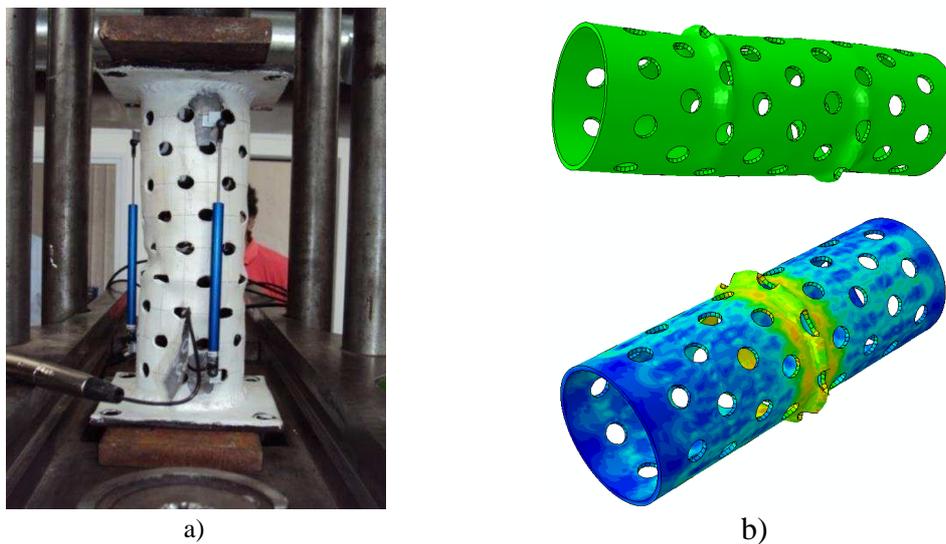


Figura 13: Prototipo circular perforado. a) Resultado experimental, b) Predicción analítica.



Figura 14: Prototipo circular perforado. a) Resultado experimental, b) Predicción analítica

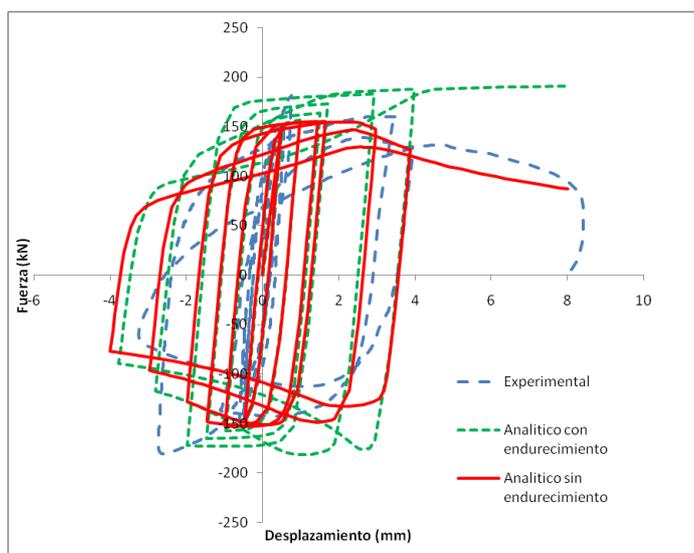


Figura 15: Comparación de respuesta analítica de la probeta circular perforada

4.5.3. 4. Prototipo Disipador Cuadrado: Diagonal completa

El foco del análisis de prototipos se centra en conocer, principalmente, la respuesta de las zonas debilitadas de manera tal que pueda modelarse la diagonal completa. Se intenta obtener una predicción en el comportamiento de la estructura global presentada en la Figura 1 que permita controlar el ensayo adecuadamente.

En la Figura 16 se muestra la predicción analítica de la respuesta de la diagonal que contiene un disipador perforado y que será el elemento de arriostramiento del pórtico de acero rigidizado concéntricamente que se prepara para ser ensayado en el Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico (IMERIS) de la Universidad Nacional de Cuyo.

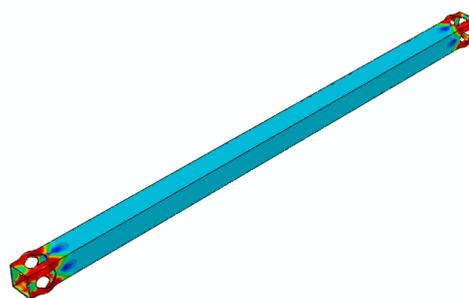
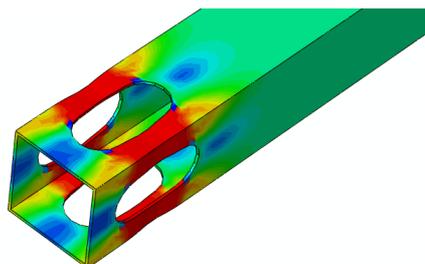
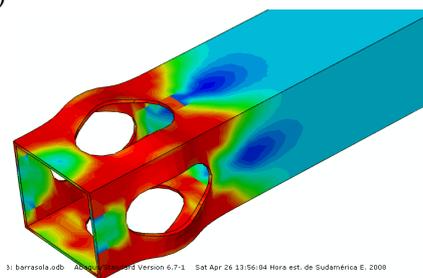


Figura 16 a)



b)



c)

Figura 16: Modelo diagonal+disipador. a) Deformada global, b) Ciclo de tracción, c) Ciclo de compresión.

4.5.3. 5. Resumen

Como se suponía en todos los casos se puede observar que la zona de plastificación coincide con la zona de sección reducida de la probeta. Además, las zonas de abollamiento en los prototipos ensayados se hacen manifiestas en los resultados numéricos con muy buena correlación. Esto es muy útil a la hora de realizar posteriores simulaciones ya que se posee un modelo de elementos finitos calibrado con ensayos experimentales.

Con base a los resultados obtenidos en los prototipos con una buena correlación matemático-experimental, se espera que la predicción analítica de las diagonales completas y dela estructura aporticada espacial mostrada en la figura 1 sea adecuada y represente la que se obtendrá en los ensayos para permitir el diseñar y programar este ensayo.

5 CONCLUSIONES

Los disipadores histeréticos por fluencia son de fabricación sencilla y se busca su caracterización con técnicas y materiales locales, en especial para disipadores perforados.

Se presentan en este trabajo resultados numéricos obtenidos mediante modelos de elementos finitos no lineales, que fueron analizados con el programa ABAQUS. Estos modelos fueron calibrados con datos experimentales correspondientes al ensayo cíclico de distintos disipadores.

Se ha identificado la ley constitutiva del material base empleado en la construcción de los disipadores a partir de ensayos normalizados de tracción y compresión, los que mostraron la diferencia entra las variables nominales y las reales. Esto permitió incorporar en el programa de análisis sus propiedades y variar la condición de deformación post-fluencia.

Los disipadores perforados presentan zonas singulares que alteran la distribución de elementos finitos. Por ello se evaluaron distintas configuraciones en la densificación de mallas hasta lograr una muy buena correlación entre los resultados experimentales y la modelación numérica tanto en probetas macizas como perforadas.

La curva de respuesta histerética obtenido del modelo numérico mostró una mejor calibración con los resultados experimentales cuando se consideró el endurecimiento post-fluencia del material base.

Por último se presenta la predicción analítica de comportamiento de la diagonal-disipador completa que se introduce en la estructura aporticada espacial para ser ensayada. Esta predicción permitirá poder diseñar el protocolo de ensayo del pórtico apoyados en la evidencia de la buena correlación de respuesta analítica lograda en los prototipos ensayados.

REFERENCIAS

- Christopoulos, C. And Filiatrault, A., "Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation", IUSS Press. Italy. 2006.
- Crisafulli, F., "Rehabilitación Sísmica de Estructuras Aporticadas con Diagonales Dúctiles de Acero", VIII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Chile. 2006.
- Crisafulli, F., "Diseñosismorresistente de construcciones de acero", Asociación Latinoamericana del Acero. ALACERO. Chile. 2011.
- Crisfield, M.A., "Non-linear finite element analysis of solids and structures.", Volume 1: essentials", John Wiley & Sons, 345p., 2002.
- Lubliner, J., "Plasticity Theory", Courier Dover Publications, 2008
- Paulay, T. and Priestley, M.J.N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons Inc., 744 p. 1992.
- Quiroga, E., Torrisi, G. y Crisafulli, F., "Evaluación Analítica y Experimental de Estructuras Sismorresistentes con Disipadores de Fluencia", X Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Chile. 2010.
- ABAQUS/SE. User's Manual, versión 6.6. Dassault Systemes Simulia Corp, 2006. URL. www.simulia.com
- AISC,"AISC/ANSI 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois.2010.
- ANSI/AISC 341-10, "Seismic Provisions for Structural Buildings", Chicago. 2010.
- FEMA 450-1, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", Part 2: Commentary. Washington D. C. 2004.
- FEMA 547, "Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Building", Integrancy on Seismic Safety in Construction (ICSSC). 2006
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, "INPRES-CIRSOC 103.Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte I: General", Buenos Aires, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, "INPRES-CIRSOC 103. Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte IV: Construcciones de acero", Buenos Aires, 2000
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, "CIRSOC 301. Reglamento Argentino para Construcciones de Acero", Buenos Aires, 2005.
- INSTITUTO DE RACIONALIZACIÓN ARGENTINO DE MATERIALES. "Método de Ensayo de Tracción de chapas y flejes finos de acero". IRAM-IAS U 500-102 Parte III. 1986..