

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Rubén Tosoni ⁽¹⁾

Resumen

Debido a los últimos terremotos destructivos y a la situación comprometida a la que se encuentran las edificaciones realizadas con anterioridad a las lecciones aprendidas y a las exigencias actuales de los códigos de edificación, surge de inmediato buscar soluciones que den respuesta a esta importante problemática social, es por ello que las tendencias actuales consisten en hallar sistemas sismorresistentes que cubran dicha necesidad, es decir la demanda de ductilidad, en dispositivos que actúen como protección sísmica.

El presente trabajo se basa en la búsqueda de una de estas posibles soluciones para su discusión y posible desarrollo y consiste en el aprovechamiento del acero mediante arriostramientos con diagonales en V invertida concéntricas al que he llamado: “*Bielas vinculantes*” que por sus características geométricas de sección maciza en general, tienen el agregado, como idea innovadora, de su ubicación en planta, en forma *independiente* de los planos resistentes existentes *vinculando cada piso directamente con el plano de fundaciones o referencia*.

De esta forma, permite tomar la acción sísmica excedente, en función de la *rigidez necesaria* adecuada y disipar además energía, en forma segura e histerética por tracción y compresión del acero (esfuerzo por demás apto para el metal) por intermedio de su *elemento fusible*, con lo cual la estructura logra la capacidad de absorber la demanda sísmica necesaria (*ductilidad*), permitiendo de esta manera acondicionar la edificación a las necesidades presentes con el mínimo de esfuerzo y costo ya que evita cualquier modificación o refuerzo de las barras existentes (vigas, columnas, tabiques y/o fundaciones), logrando superar, inclusive, problemas torsionales y de pisos flexibles no tenidos en cuenta en viejos diseños.

El sistema o dispositivo evita además, un sin número de anclajes costosos resumiéndolos a unos pocos y sencillos que facilitan su montaje y puesta en servicio.



Palabras claves: Protección sísmica, dispositivo independiente, sistema de bielas vinculantes, rigidez necesaria, elemento fusible, ductilidad necesaria

⁽¹⁾ Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

1. INTRODUCCION

Las diagonales metálicas han sido utilizadas desde el comienzo del siglo pasado para resistir cargas horizontales de viento y luego para construcciones sismorresistentes.

Es sabido los inconvenientes que presentan estos sistemas como ser la degradación de rigidez y resistencia por diferencia de su comportamiento a tracción y compresión por las incertidumbres relacionadas con los problemas de inestabilidad por pandeo, que traen aparejado, por lo tanto, una reducción de la ductilidad disponible.

Sin embargo, las estructuras con arriostramientos centrados representan en diversas situaciones la solución más viable. Tal es el caso de la *rehabilitación sísmica de estructuras existentes*, ya sean metálicas o de hormigón armado, o de proyectos con condicionantes arquitectónico especiales.

El presente trabajo se basa en el aprovechamiento del acero mediante arriostramientos con bielas dispuestas como diagonales en V invertidas concéntricas *vinculando los pisos directamente a tierra o plano de fundación*.

La solución buscada, además, trata de dar respuesta a las lecciones aprendidas de los últimos terremotos, que según muchos autores se pueden resumir, para una estructura sometida a sollicitaciones sísmicas, en:

- No hay que tener en cuenta la resistencia únicamente, sino que los tres aspectos fundamentales son: *rigidez, resistencia y ductilidad*.
- Los mayores daños y colapsos de los edificios durante un sismo son los *desplazamientos o deformaciones relativas resultantes*.
- No interesa la resistencia que se le confiera a un edificio si está mal diseñado.
- *La rigidez* es un parámetro fundamental para aceptar o descartar el diseño conceptual y dimensionamiento preliminar de los elementos estructurales. (Los edificios que mostraron un comportamiento excelente en los últimos terremotos poseen una gran sobrerresistencia y redundante hiperestaticidad, condiciones que están íntimamente ligadas al tipo de elementos y conexiones o uniones que éstos poseen entre sí para conformar la estructura).

Surge entonces, de lo anteriormente detallado por las experiencias acumuladas, una seria problemática actual, que afecta principalmente a *América Latina* y es respondernos a la pregunta: ¿qué hacemos con los edificios *existentes* que se construyeron tiempo atrás y están fuera de los últimos conceptos tecnológicos descubiertos (como ser el confinamiento) o de las nuevas sollicitaciones debido a los sismos y vientos de la última década, y por ende a la normativa vigente, y que todavía siguen en funcionamiento?.

En este sentido se están estudiando distintas alternativas ya que es un tema de alto *impacto social* por todos los inconvenientes que trae aparejado el mismo.

Especialistas y eminencias a nivel mundial, opinan que lo *mínimo* que deberíamos exigir es que las mismas sean rehabilitadas de acuerdo a los códigos presentes, el problema está que los métodos actuales son sumamente onerosos (por ejemplo, se sabe que aproximadamente recuperar un edificio en zona sísmica frente a las nuevas exigencias de los códigos oscila en un 25 % del valor del mismo) y dificultosos debido a que exigen desalojos, fuera de servicios en forma parcial o total de los locales del mismo y en tiempos extremadamente largos, lo que trae aparejado traslados, deterioro de equipamientos e instalaciones, problemas

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

habitacionales, etc., con el agravante más serio aún que, además de un alto costo, no se sabe a ciencia cierta cómo responderá la estructura en la generalidad de los casos, debido a cómo se han llevado a cabo los refuerzos: empalmes, cambios de secciones y rigideces resultantes, etc. Además, en la mayoría de los casos son soluciones "*parciales*" y no totales o "globales" como deberían ser para toda la edificación.

Sin ir más lejos, en nuestra propia provincia, según el informe de los especialistas el 80% de los edificios en altura levantados en Mendoza lo han hecho bajo normativas y códigos obsoletos y deberían ser reforzados (fuente: diario Uno del 15 de marzo del 2010 nota al ingeniero Carlos Llopiz), lo que pone de manifiesto la urgencia de abordar el tema para preparar la ciudad ante un terremoto de índole destructivo como el ocurrido en nuestro vecino país de Chile, cosa que no ocurre en Mendoza. desde 1861 y por lo que existe una gran incertidumbre al respecto.

2. SOLUCIONES METÁLICAS ACTUALES

2.1 *Comportamiento estructural:*

Las distintas tipologías estructurales existentes, utilizadas en nuestro medio, a rehabilitar se pueden resumir en construcciones de hormigón armado que pueden dividirse en tres grandes grupos:

- estructuras aporticadas
- estructuras atabicadas
- estructuras mixtas

Cada una de estas tipologías presenta ventajas y limitaciones que el ingeniero estructural debe evaluar en cada caso, especialmente para construcciones ubicadas en zonas sísmicas.

Las estructuras metálicas representan una alternativa conveniente para resistir los esfuerzos y deformaciones inducidas por los terremotos. Sus ventajas comparativas surgen, principalmente, de las características del acero que presenta propiedades ventajosas en términos de rigidez, resistencia y ductilidad. Sin embargo, para lograr un comportamiento adecuado es necesario controlar ciertos efectos negativos, como los problemas de inestabilidad por pandeo o la posibilidad de comportamiento frágil del material o sus uniones, mediante un diseño cuidadoso.

Las soluciones actuales, del tipo metálico, para la rehabilitación edilicia más común se resumen en:

2.2 *Arriostrar los pórticos con uniones concéntricas:*

En la rehabilitación edilicia a partir de elementos metálicos las soluciones tienden a disponer diagonales ya que, *aparentemente*, con elementos relativamente livianos de fácil fabricación y con menores tiempos de obra se lograría la respuesta buscada. (ver Fig 1)

Sin embargo a medida que se profundiza en la solución comienzan a surgir problemas desde lo *funcional* y *arquitectónico* ya que, en la mayoría de los casos, se ven limitadas su aplicación por los problemas de ubicación (plano resistente adecuado), por posibles entorpecimiento de circulaciones y a las dificultades de anclaje a lo existente.

Aún superados estos inconvenientes la situación se sigue complicando en lo que respecta al objetivo principal que se busca, que es su respuesta ante la acción de un terremoto del tipo destructivo y es aquí donde se concentran los verdaderos problemas ya que si bien logramos

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

buena rigidez y control de desplazamiento lateral, la misma nos conlleva a una redistribución de esfuerzos que la mayoría de las veces hace que se supere la capacidad resistente de las uniones de nudos, columnas o vigas y fundaciones disponibles que concluyen en ecuaciones de ejecución y *puesta en servicio vs economía* insuperables.

Además, de los últimos estudios, desde el punto de vista *estructural* se ha comprobado que la respuesta bajo acción sísmica de este tipo de estructuras puede ser inadecuada en ciertos casos debido a:



Figura 1 . Reacondicionamiento edificio por intermedio de diagonales concéntricas (Escuela Normal-Mendoza).

- degradación de rigidez y resistencia del sistema.
- por lo tanto una reducción de la ductilidad disponible.
- dificultad para definir claramente el mecanismo de deformación plástica debido a la diferencia de la resistencia a tracción y compresión de las diagonales de acero.
- incertidumbres relacionadas con los problemas de inestabilidad.

Estos cuatro aspectos resumen a que la esbeltez de la riostra sea uno de los factores determinantes de la respuesta cíclica no-lineal por lo que se busca riostras del tipo robustas (esbeltez menores de 50 a 60) descartando las esbeltas ($\lambda > 130$ a 106).

2.3 Pórticos con riostras dispuestas en V o V invertida

Este tipo de arriostramiento se diferencia del anterior en el hecho de que su disposición geométrica, por lo general, hace que el vértice del mismo no coincida con un nudo viga-columna del pórtico. (ver Fig 2)

Por tal motivo las conclusiones a las que se han arribado de su estudio se pueden resumir como:

- Mientras la estructura responde en rango elástico, las fuerzas axiales en las riostras y en la viga permanecen en equilibrio.
- Cuando la riostra comprimida pandea, su capacidad resistente disminuye un cierto valor y la fuerza axial en la riostra traccionada aumenta originando así una fuerza vertical en la viga.
- En pórticos con riostras en V invertida, es el más desfavorable porque la fuerza vertical originada se suma a los efectos de la carga gravitatoria que pueden actuar sobre la viga. En los pórticos arriostrados en V, ambas acciones se contrarrestan.
- De lo expuesto se deduce que la respuesta de este sistema estructural en rango inelástico depende no solo de la relación entre la resistencia a compresión y tracción de las riostras y

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

de la resistencia post-pandeo de la riostra comprimida, sino también de la resistencia flexional de la viga de anclaje.

- Por lo tanto los pórticos arriostrados en V invertida con vigas *débiles* pueden presentar problemas serios bajo acciones inducidas por sismos severos. Ello se debe a que luego del pandeo de la riostra comprimida se puede generar una rótula plástica en la viga y por ende deben evitarse en el diseño sismorresistente.
- Es necesario entonces concluir que debemos contar con una viga *fuerte* capaz de resistir, sin plastificarse, los esfuerzos resultantes de la acción sísmica y de las cargas gravitatorias, situación más que complicada en construcciones existentes.



Figura 2. Ejemplos de estructuras con arriostramientos en V invertida

2.4 Arriostrar los pórticos con uniones excéntricas:

Los pórticos arriostrados excéntricamente constituyen la mejor alternativa desde el punto de vista estructural debido a que combinan las ventajas de los dos sistemas anteriores, esto es, adecuada rigidez lateral para controlar los desplazamientos laterales y capacidad para disipar energía mediante deformaciones plásticas. (Popov - 1987). (ver Fig 3)

Si bien las diagonales con conexiones excéntricas representa una excelente solución estructural tienen el inconveniente de ser difíciles de aplicar para la rehabilitación sismorresistente de estructuras existentes de *hormigón armado* que justamente corresponden al universo de las estructuras a rehabilitar en *América Latina*.



Figura 3. Ejemplo de estructura con arriostramientos excéntricos.

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

2.5 Arriostrar los pórticos con diagonales concéntricas dúctiles:

Para dar respuesta a los inconvenientes mencionados se está avanzando con el diseño sismorresistente de pórticos con diagonales de acero *dúctiles* con uniones concéntricas, para obtener un mecanismo de deformación plástica que sea estable, condición de fundamental para poder aplicar los criterios del diseño por capacidad.

En los últimos años se han propuesto diseños innovadores para riostras, con el objeto de lograr una adecuada disipación de energía por fluencia del acero. Con igual criterio, se han desarrollado y empleado distintos tipos de elementos amortiguadores o disipadores que se pueden interponer entre las riostras y el pórtico, cuya descripción no es motivo de este trabajo.

Dentro de los ejemplos más reconocidos figuran:

- 1) *riostras con pandeo restringido* denominadas “unbonded braces” o “yielding braces” en inglés, propuesto por Wada en Japón y por Clark en USA

Consiste en una riostra muy esbelta, formada por ejemplo por uno o dos perfiles ángulos, que se comportan estructuralmente como un tensor (ver Figura 4). Esta barra se dispone dentro de un tubo de sección circular o cuadrada, el cual se llena con mortero con lo cual se logra:

- Evitar el pandeo de la riostra
- Resistencia a compresión y tracción prácticamente iguales
- Alcanzar la fluencia en ambas direcciones de carga
- Lograr una excelente capacidad de disipar energía mediante el desarrollo de deformaciones plásticas.
- Permitir, en algunos casos, ser aplicada en la rehabilitación de edificios con resultados satisfactorios.

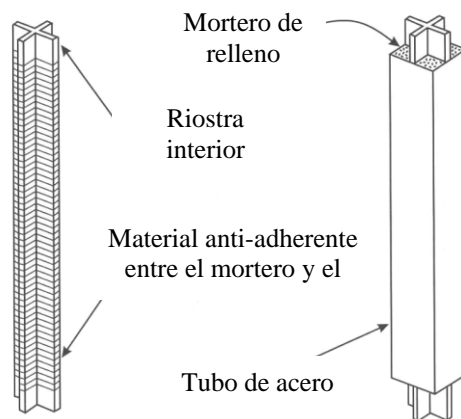


Figura 4. Riostras tipo tensor diseñadas para fluir en tracción y compresión.

Sin embargo presenta limitaciones desde el punto de vista de su respuesta global como de implementación en obra, que, evidentemente, restringen su uso para una utilización más generalizada o masiva que es lo que se pretende.

Respecto al primer punto podemos decir:

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- La rigidez como la resistencia axial de la riostra están determinadas por la sección transversal de la barra interior.
- Esto impide al ingeniero estructural elegir estos parámetros con cierta independencia según los requerimientos de cada caso y por lo tanto se hace casi imposible lograr proteger todos los elementos resistentes existentes, quedando limitando entonces su uso, para casos muy particulares en la rehabilitación edilicia objeto de este trabajo.
- Por lo general el cambio de rigidez que origina en los planos resistentes donde se implementan las riostras origina esfuerzos adicionales en nudos que no siempre están diseñados para soportar los mismos, justamente, en los puntos más neurálgicos de la estructura.
- Como la influencia se transmite de piso a piso producen también situaciones no deseadas en columnas y fundaciones existentes que por lo general se deben reforzar también.
- Esta misma situación, cuando las riostras entran en fluencia pueden generar los llamados pisos “blandos”.
- Incertidumbre respecto a las respuestas necesarias de cada anclaje montado.

En respuesta a lo segundo:

- El diseño de los anclajes en los nudos existentes dificulta tremendamente en obra su implementación, debido a que la mayoría de las estructuras son de hormigón armado, encareciendo tanto los aspectos de fabricación como de montaje.
- El número de estos anclajes se multiplica innumerables veces de acuerdo a la cantidad de vanos a arriostrar y a la altura del edificio como así también de la cantidad de planos resistentes necesarios a ejecutar.
- Todos estos aspectos se suman a las incomodidades y a la necesidad de terminaciones finas a restaurar, posibles entorpecimiento de circulaciones y tiempos lentos de ejecución y por ende de puesta en servicio.
- Por último su alta deformación residual, luego de un sismo severo, trae aparejado un alto costo de reparación.

2) *riostras con fusible* como las propuestas por Englekirk, 1994, y Crisafulli, 2000 y 2002.

El primer tipo de riostra con fusible consiste en intercalar un elemento dúctil en el camino de transmisión de cargas. Para ello se colocan dos planchuelas en la zona de intersección del arriostramiento en X, las cuales tienen una sección transversal menor que el resto de las riostras asegurando así que se produzca la fluencia. Figura 5 (a)

Otro tipo de riostra con fusible consiste en producir deliberadamente un debilitamiento de la sección transversal, donde se concentrarán las deformaciones plásticas. Esta reducción se logra mediante perforaciones o caladuras, dispuestas en forma simétrica. La riostra se debe diseñar para evitar el pandeo de la barra y de los elementos de la sección debilitada, permitiendo así que se produzca la fluencia tanto en tracción como en compresión.

Con el detalle propuesto se puede conseguir que la resistencia a tracción y compresión estén determinadas por la sección reducida, mientras que la rigidez axial y la esbeltez de la barra dependen fundamentalmente de la sección sin reducir (esto es válido siempre y cuando la longitud de la perforación sea significativamente menor que la longitud total de la riostra). Figura 5 (b)

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

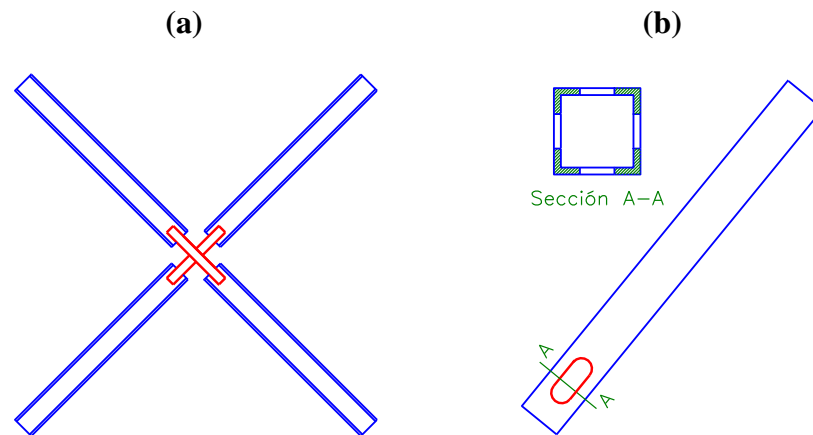


Figura 5. Riostras con fusible mediante el debilitamiento de la sección resistente.
(Crisafulli IACA 2002)

Este tipo de arriostramiento dúctil logra, a diferencia del anterior:

- Mejorar la libertad para asignar en cada caso la resistencia y rigidez axial de la riostra., lo cual resulta muy conveniente en nuestra tareas de rahnilitación sísmica de edificios.
- Presentan la ventaja de limitar la máxima fuerza que las riostras pueden transmitir reduciendo las incertidumbres por pandeo.
- Con ello también se protegen otros elementos, como las uniones o las columnas de los pórticos, para controlar la ocurrencia de fallas frágiles o problemas de inestabilidad.
- Las riostras con fusible representan una alternativa interesante cuyo comportamiento en términos de rigidez, resistencia y ductilidad, puede estimarse analíticamente.

Como limitaciones, además de las referidas en obra las cuales también se repiten para este caso, se pueden resumir en:

- La capacidad de disipar energía de las riostras con fusible es relativamente baja, en comparación por ejemplo con las riostras con pandeo restringido
- Las uniones deben diseñarse de modo que no introduzcan esfuerzos flexionales significativos en las riostras, lo cual podría inducir un estado de compresión no uniforme en el fusible.
- Se debe evaluar la capacidad de desarrollar deformaciones plásticas sin alcanzar la fractura en la zona fusible verificando de poder alcanzar la ductilidad global necesaria por la estructura.
- Debe considerarse, además, que la deformación última del acero disminuye por efecto de los posibles ciclos de deformación plástica que inducirá el terremoto.

Finalmente como corolario de todo lo expuesto podemos agregar:

“Es importante considerar, también, que las expectativas actuales de la sociedad han producido un cambio sobre el concepto de construcción sismorresistente. Si bien la

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

seguridad de las vidas humanas sigue siendo el principal objeto del diseño, es necesario en muchos casos asegurar niveles adicionales de desempeño, tales como operabilidad de la construcción después de un terremoto moderado, limitación y control de daño en equipamientos, reducción de los costos de reparación, etc. Estos nuevos criterios están siendo incorporados al proceso de diseño y es de esperar que las próximas generaciones de códigos los incluyan en forma explícita. Es por ello que la ingeniería estructural enfrenta el desafío de adecuarse a estos criterios y desarrolle nuevas soluciones tanto para el diseño de nuevas construcciones como para la rehabilitación de las existentes”. (Crisafulli IACA 2002)

3. SOLUCIÓN METÁLICA PROPUESTA:

Repasadas las soluciones actuales el objetivo de este trabajo es dar respuestas a los inconvenientes descriptos en un innovador sistema o dispositivo, para lo cual trataremos:

- a) Describir los **aspectos generales** del sistema.
- b) Analizar el **comportamiento estructural** en las edificaciones existentes mediante dicho dispositivo, dispuesto geométricamente en forma innovativa (arriostrado concéntrico y en V invertida), especialmente en rango no-lineal, de tal forma que actúe en forma *independiente* de los marcos existentes, o dicho de otra manera, que no precise necesariamente estar enmarcado por un plano resistente existente.
- c) Discutir los **criterios de diseño** que permiten controlar esta mejora junto a los requerimientos reglamentarios. Utilizando el concepto de *riostras dúctiles con fusible* destacando las posibles bondades (rendimiento) principales que puedan lograrse positivamente sobre la respuesta global de la estructura sometida a acciones sísmicas.
- d) Presentar posibles **detalles innovativos** para la construcción del fusible de la riostra dúctil.
- e) Resumir las **ventajas y desventajas** del sistema objeto de estudio.
- f) Describir brevemente los **lineamientos de análisis de cálculo** seguidos para dicho sistema.

a) Aspectos generales.

Disposición geométrica innovadora:

De lo expuesto, el diseño de estructuras metálicas arriostradas, requiere de la habilidad y experiencia del ingeniero estructural a los efectos de adoptar adecuadamente la rigidez y resistencia de las riostras para cumplir con los objetivos del diseño sismorresistentes. Además, deben cumplirse los requerimientos reglamentarios y que condicionan fundamentalmente la esbeltez y las relaciones ancho-espesor de las riostras en caso de utilizar tubos o caños estructurales.

El primer aspecto importante y el gran desafío, entonces, para la recuperación de edificios, es lograr lo que yo denomino *rigidez inteligente*, es decir, la necesaria para poder canalizar el excedente de energía de la que es capaz de absorber la estructura existente, debido a las nuevas demandas de los terremotos actuales, de tal forma que queden protegidos los elementos ya construidos.

Para ello se disponen de *riostras o bielas dúctiles del tipo macizo que vinculan las masas al plano de referencia o fundación* directamente pudiendo presentar distintas alternativas.(ver Fig 6 y Fig 7).

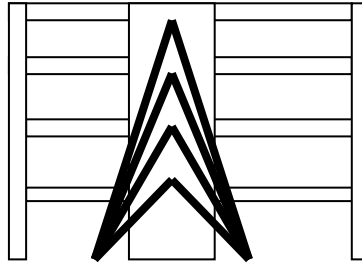
Estas riostras atraviesan las losas de los distintos niveles ocupando mucho menos espacio en planta y en altura permitiendo dejar libres posibles circulaciones.

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

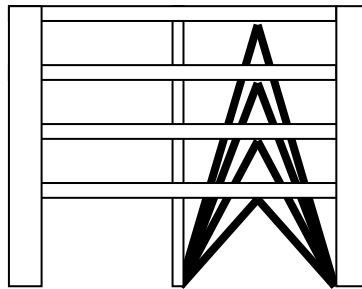
RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Además pueden ser fundadas en forma independiente y actuar fuera de los planos resistentes existentes llámese pórticos o tabiques.

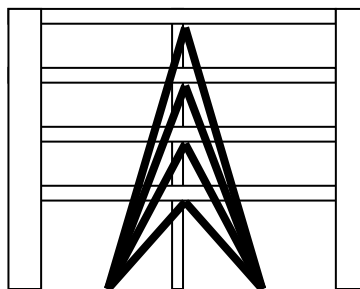
Los anclajes pueden reducirse a las zonas de losas o vigas y fundación y no de nudos como en el caso de las diagonales tradicionales, disminuyendo considerablemente la cantidad de uniones a materializar y por ende su costo de implementación.



a) Dispositivo externo anclado en tabique



b) Dispositivo interno anclado en losas con aprovechamiento de fundaciones existentes



c) Dispositivo con fundación independiente y aprovechamiento de pilar central como “zipper column”

Figura 6

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

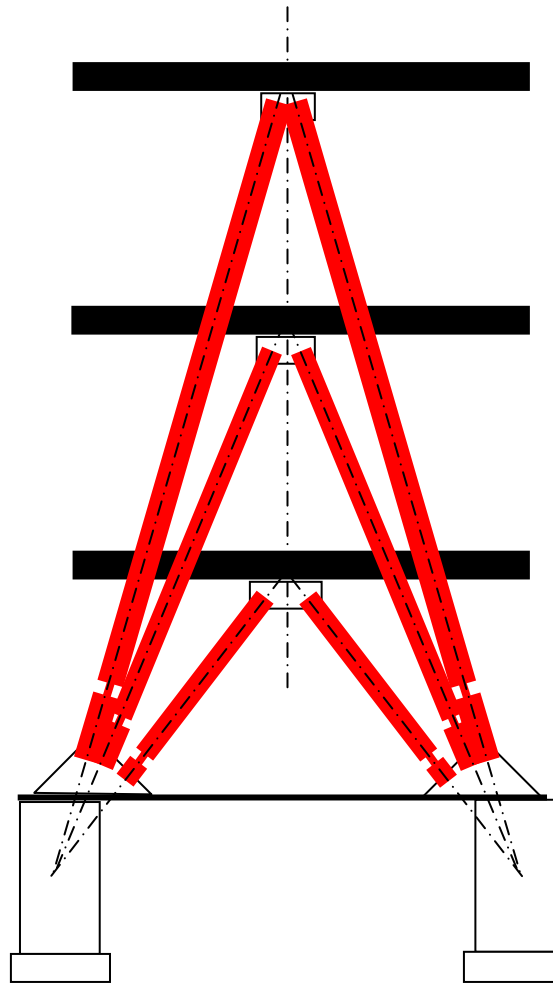


Figura 7. Disposición más común

b) Comportamiento estructural:

Sin lugar a dudas el lector ya se habrá percatado de las posibles dificultades que se pueden llegar a presentar para esta tipología estructural adoptada y para lo cual trataré de ir dando respuesta a cada una de ellas.

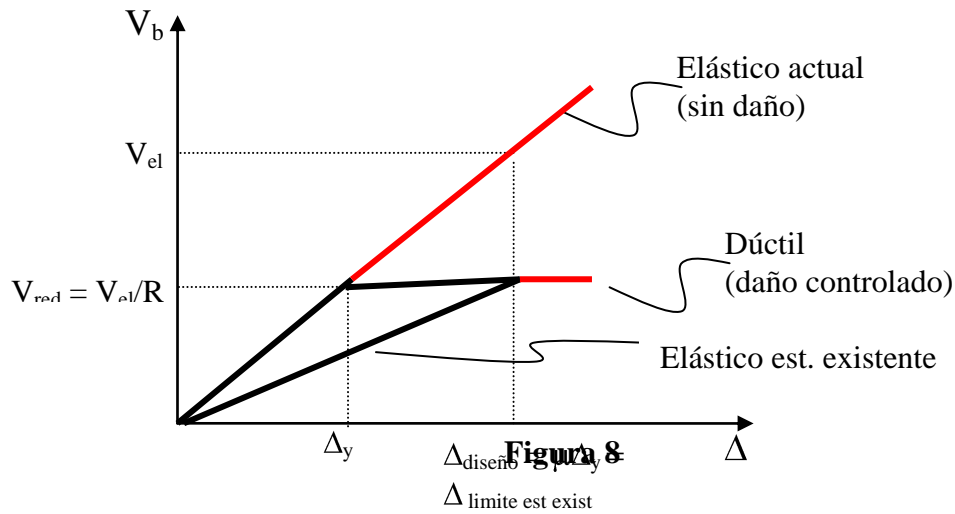
Comencemos entonces en intentar explicar el comportamiento estructural básico de este tipo de sistema o dispositivo al que he llamado “*bielas vinculantes*”:

1) El criterio *básico* de diseño radica en la posibilidad de que las bielas dispuestas de esta manera pueden asumir el excedente del impacto sísmico con una rigidez tal que deje protegido los demás elementos existentes dentro del rango elástico para los cuales fueron diseñados y a su vez disipar la energía necesaria, mediante comportamiento inelástico del elemento fusible, otorgando el amortiguamiento global necesario para toda la estructura, de tal forma que el desplazamiento horizontal de diseño correspondientes a las bielas coincida con el valor límite elástico, en lo posible, de cada elemento existente. (ver Fig 8)

Esquemáticamente:

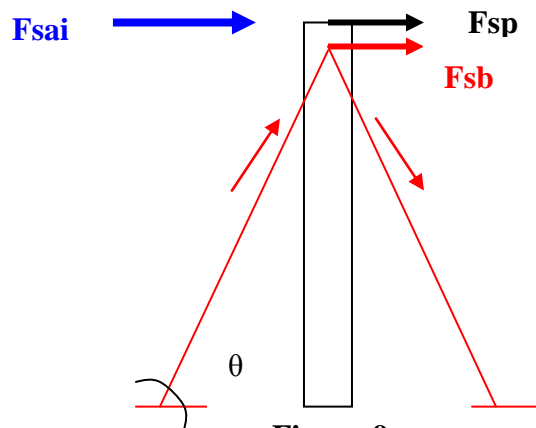
(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA



2) Esto, que a priori parece sencillo decir, pero muy difícil de lograr en la práctica, se consigue por el hecho del fácil manejo de las deformaciones de piso ya que la matriz rigidez global de la estructura se ve incrementada en su diagonal ppal. solamente (r_{ii}) permitiendo controlar los desplazamientos relativos entre estos (tan perjudicial durante un sismo destructivo), mientras que los elementos de influencia (r_{ij}) no se ven modificados (de ahí su independencia sobre el resto).

Dicho de otra manera, lo que estamos intentando decir, es que el delta de las fuerzas inerciales (valores actuales – valores de diseño en el pasado) son descargadas directamente a tierra sin influenciar sobre el piso siguiente y por ende los esfuerzos de *corte* y *vuelco* sobre los elementos existentes son controlados de tal forma que no superan los valores para los cuales fueron diseños con anterioridad. (ver Fig 9)



Donde:

F_{sa} = fuerza sísmica actual en el piso i

F_{sp} = fuerza sísmica de diseño del pasado en el piso i .

F_{sb} = fuerza sísmica sobre bielas. (excedente entre la fuerza actual que llega al piso y la fuerza de diseño del pasado).

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Fbt = fuerzas sobre bielas de tracción.

Fbc = fuerzas sobre bielas de compresión.

Para lo cual se verifica: $F_{sai} = F_{sp} + F_{sb}$ y $F_{bt} = F_{bc} = F_{sb} / 2 \cos \theta$.

3) Este simple concepto es posible trasladarlo de igual forma al realizar la *distribución sísmica en planta o espacial*, de la fuerza sísmica actual de tal manera que lo antedicho se verifique en *cada elemento resistente existente*, al poder disponer de total independencia en lo referente a:

- Mayor independencia en la ubicación real del dispositivo en planta y en altura respecto a los posibles lugares disponibles, de acuerdo a la arquitectura del proyecto existente.
- Posibilidad de elegir adecuadamente las secciones de bielas o riostras en función de las rigideces estrictamente necesarias en cada piso.
- Posibilidad de elegir adecuadamente las secciones de los elementos fusibles sin mayores problemas de interacción.
- Elección del ángulo de arranque θ según el caso en estudio hasta encontrar la respuesta óptima.

c) Criterios de diseño y requerimientos reglamentarios:

Aspectos importantes de diseño:

- Evitar comportamiento de post-pandeo para lo cual se diseña la biela en régimen elástico y lejos de la carga crítica (de hecho las demandas de rigideces en edificios a recuperar verifican esta condición generalmente).
- Esto se obtiene a partir de la premisa de obtener la rigidez axial necesaria por deformación sin considerar las restricciones por losas, es decir tomando como longitud efectiva la correspondiente a la distancia comprendida desde el anclaje superior (losa o viga) hasta la inferior (fundaciones o nivel de referencia s/códigos) y de la sección sin reducir (ver fig 7) mientras que la resistencia a tracción y compresión quedarán determinadas luego por la sección reducida o *fusible*, (esto es válido ya que la longitud de la sección reducida es significativamente menor que la longitud total de la biela).
- Lógicamente la esbeltez de la riostra condiciona el rendimiento del dispositivo pero si se tiene en cuenta que, en la mayoría de los casos, las mismas quedan confinadas cada vez que atraviesan una losa, la longitud de pandeo se reduce drásticamente por lo que su aprovechamiento es aún superior y por lo tanto la carga sísmica actuante queda por debajo de la crítica, situación a verificar siempre y con lo cual damos cumplimiento al primer punto.
- Lo antedicho deja de lado la posibilidad de riostras muy esbeltas del tipo tensor, que deben evitarse como sistema estructural sismorresistente debido a que conduce una respuesta estructural con ciclos de histéresis con estrechamiento severo y, por lo tanto, con baja capacidad de disipación de energía.
- El sistema presenta en cada plano arriostrado barras diagonales orientadas en ambas direcciones otorgando un comportamiento simétrico de la estructura tan necesario para cargas reversibles laterales.

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- El control del pandeo es fundamental para arriostramientos en V invertida, situación que queda cubierta por el bajo estado tensional (ya sea de tracción o compresión) al que quedan sometidas las bielas en su tramo elástico (sección sin reducir) “obligando” al elemento fusible a entrar en fluencia en una forma estable y uniforme debido al diseño apropiado con el que se lo verifica, esto nos da una igual respuesta en tracción y compresión, permitiendo de esta forma disipar energía adecuadamente, y nos protegería de la formación de una rótula plástica en la misma. (igualmente podríamos verificar la viga o losa con el criterio de viga fuerte para mayor seguridad como veremos más adelante).
- El elemento fusible presenta también ventajas en su diseño, por tratarse de bielas *macizas* ya que permite una transición suave sin concentración de tensiones y mayor estabilidad ante posibles esfuerzos flexionales inducidos por las bielas, evitando así posibles fallas localizadas por impacto, fatiga o fracturas. Además, como en este dispositivo la forma de hacer llegar a la fluencia del metal se hace justamente por tracción y compresión, el estructuralista puede escoger distintas calidades de acero también para esta zona. (ver Fig 11 y 12).

Aspectos o requerimientos reglamentarios:

Haremos mención del Proyecto de Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Parte IV, 2000, en el cual distingue claramente dos tipos de estructuras: los pórticos especiales arriostrados concéntricamente y los pórticos convencionales arriostrados concéntricamente.

Como el caso que nos compete es la rehabilitación de edificios consideraremos los requisitos para los pórticos convencionales, para los cuales, las deformaciones serán de magnitud limitada asignando un valor máximo de ductilidad global de 3.5.

Otros códigos admiten valores similares comprendidos usualmente entre 3 y 5, dependiendo de diversos factores. Así, por ejemplo, la norma neocelandesa, NZS 3404, 1997, Steel Structures Standard, considera un factor de comportamiento estructural que puede aumentar las acciones sísmicas según la disposición geométrica de las riostras y su esbeltez.

No es el objetivo de este trabajo describir en detalle las prescripciones de los distintos reglamentos, lo cual cada uno puede hacer referencia en su propio país, pero sí el de analizar los aspectos salientes que se relacionan con los temas planteados.

Parámetro	Pórticos convencionales
Esbeltez máxima de la riostra, $\lambda = k l / r$	$\lambda \leq \frac{1890}{\sqrt{F_y (MPa)}}$ (excepto para edificios bajos)
Resistencia a compresión de las riostras	$P_u \leq 0.8 \theta_c P_n$

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Disposición de las riostras	En cualquier plano arriostrado deben disponerse en direcciones alternadas. No se permiten arriostramientos en K, salvo para edificios bajos.
-----------------------------	---

Tabla 1. Principales requerimientos del Reglamento INPRES-CIRSOC 104, Parte IV, 2000, para pórticos arriostrados concéntricamente:

Como modo de ejemplo la fila primera nos conduce para alturas de entrepiso $h = 2700\text{mm}$ generalmente y para $k=1$ y $\theta=75^\circ$ (valor promedio del ángulo de arranque y que se mantiene prácticamente constante para todas las bielas del dispositivo) nos arroja una longitud de pandeo l igual a:

$$l = \frac{h}{\text{sen}\theta} \cong 2800\text{mm}$$

$$\lambda \leq \frac{1890}{\sqrt{F_y \text{ (MPa)}}} = 122.. (\text{para } F_y = 240)$$

Que para secciones circulares macizas, de igualar las esbelteces, llegamos a la siguiente expresión del diámetro mínimo necesario:

$$D_{\text{mín}} = \frac{4l}{\lambda} \cong 92\text{mm}$$

Valor, en general, promedio o por debajo de los requerimientos de rigidez que conducen a verificar también la carga crítica.

Puede presentarse la situación contraria, es decir, que los aspectos de rigidez axial estén cubiertos (generalmente se dan para los primeros niveles) y no así los relacionados con la carga crítica, por lo que, en estos casos, podemos caer a soluciones tubulares para lo cual a igual sección transversal incrementamos su inercia. En tal caso las normativas indican, según el Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de acero (CIRSOC 301-edición Agosto 2000), valores límites de la relación diámetro-espesor para tubos, definidos por la siguiente expresión:

$$\frac{D}{t} \leq \frac{150}{\sqrt{F_y \text{ (MPa)}}}$$

Mientras que el documento base del INPRES-CIRSOC 103, Parte IV indica valores límites de la relación ancho-espesor para tubos rectangulares definidos por la siguiente expresión:

$$\frac{b}{t} \text{ o } \frac{h_c}{t} \leq \frac{288}{\sqrt{F_y \text{ (MPa)}}}$$

Para el caso de pórticos con riostras dispuestas en V y anclados sobre losa no hay disposiciones pero se podría seguir el segundo criterio que establece El Proyecto INPRES-CIRSOC 103, Parte IV, 2000 el cual requiere que se considere, en este caso la losa, el efecto de la fuerza vertical, P_{un} , resultante de la diferencia de esfuerzos de tracción y compresión en

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

las riostras. Para estimar el valor máximo de dicha fuerza, debe considerarse la resistencia a fluencia en tracción, P_y , y la mínima resistencia a compresión de la riostra, la cual se estima como $0.3 \phi_c P_n$ (siendo P_n la resistencia nominal a compresión de la riostra). Para el caso de riostras dispuestas simétricamente, y considerando $\phi_c=0.85$, se obtienen la siguiente expresión:

$$P_{un} = \left(P_y - 0.26 P_n \right) \text{sen } \theta$$

Que siguiendo con nuestro ejemplo y a los fines prácticos:

$$P_y \cong 153 \text{ t}$$

$$P_n = F_{crit} A_g \cong 131 \text{ t}$$

Por lo que:

$$P_{un} = \left(P_y - 0.26 P_n \right) \text{sen } \theta \cong 21 \text{ t}$$

Valor razonable que finalmente se puede dividir por el área perimetral de influencia de la placa de anclaje y estimar una tensión de corte tipo punzonamiento inferior a la admisible. (ver Fig 10) sin mencionar que la *resistencia* de la biela dúctil lo define en realidad la *sección reducida* (elemento fusible) y no la sección sin reducir como lo hemos realizado en el ejemplo, por lo que, en la práctica, obtendremos valores menores aún de P_{un} .

$$\tau_p = \frac{P_{un}}{Uxe} \leq \tau_{adm}$$

Donde:

U = perímetro de las placas de acero

e = espesor de losa de H^oA

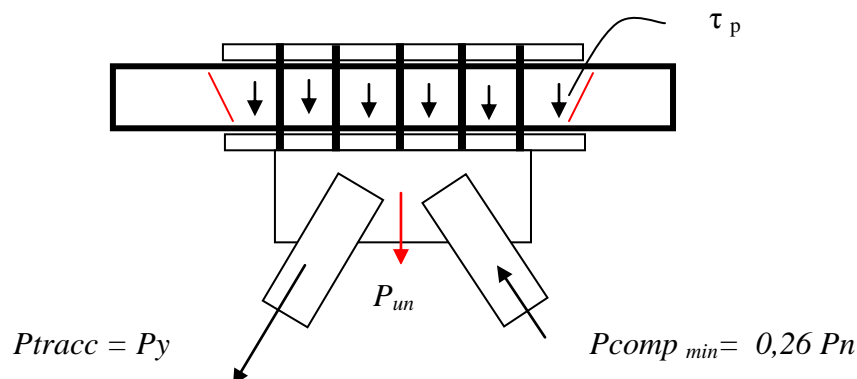


Figura 10. Anclaje superior en losa

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Finalmente deberemos tener en cuenta también la necesidad de verificar las deformaciones impuestas a la losa de anclaje para que el dispositivo actúe correctamente.

Otro podría ser el caso, en el que el dispositivo, se vincule a alguna viga existente, para lo cual se seguiría el mismo camino y de no verificar, plantear algún tipo de refuerzo en la misma.

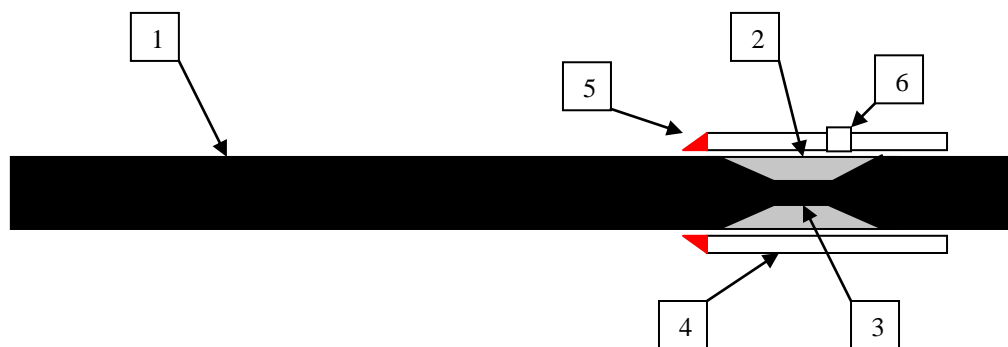
Todo esto se debe, a que los requerimientos, *nos deben asegurar* que se evite la formación de una rótula plástica, o lo que es peor, algún tipo de falla localizada ya sea en la viga o losa, caso contrario, la capacidad de ductilidad global de la estructura será limitada o irrupida.

d) Detalle innovativo del elemento fusible:

El elemento fusible presenta características que tienen por función asegurar el desarrollo de la plastificación, en tal sentido, cuenta con una camisa que puede deslizarse en la dirección del esfuerzo de tracción o compresión a la que se ve sometida la biela o riostra con la finalidad de confinar el mortero interior que mantiene la estrangulación de no fallar por pandeo localizado. A su vez la transición se realiza en forma suave igual que en una probeta de ensayo a tracción para impedir cambios bruscos de sección y concentraciones de tensiones indeseadas que pueden conducir a fallas por fractura lo que dejaría a la riostra fuera de servicio de no contar con algún dispositivo de seguridad.

Dicha camisa puede ser retirada e inspeccionada luego de un sismo severo para analizar inclusive su comportamiento y/o reparación.

Otro detalle interesante puede ser el de elegir particularmente la calidad del acero correspondiente a la varilla de estrechamiento propiamente dicha (punto 3 de la Fig 11) la cual podría ir roscada y soldada en el interior de la biela de acero macizo.(Fig 12)



Detalle de elemento fusible:

1-riostra o biela de acero redondo macizo

2-hormigón confinado.

3-estrechamiento de sección circular (torneado).

4-camisa de acero deslizante. (con esto evitamos falla por pandeo en sector de fluencia)

5-cordón de soldadura perimetral

6-boca para ingreso de mortero con tapón

Figura 11. Detalle de biela dúctil

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA



Figura 12. Posibilidad de varilla de estrangulamiento roscada con calidad de acero a elección.

e) Resumen de ventajas y desventajas del sistema o dispositivo bielas vinculantes:

El lado innovador y ventajoso que se discute en el presente trabajo se pueden resumir en los siguientes aspectos:

Ventajas

1) estructurales:

a) Rigidez:

- En sistemas estructurales solamente aporticados otorgar en forma directa y sencilla la rigidez requerida por las demandas actuales de proyecto.
- Permitir jugar en el diseño estructural para lograr una respuesta global óptima (torsión, vuelco), y no parcial como en la mayoría de los casos, debido a la flexibilidad que posee el sistema por las distintas combinaciones que se pueden lograr en secciones y disposiciones en planta respecto a direcciones, niveles y sentidos.
- Evitar provocar una degradación de la resistencia o hiperestaticidad de la estructura existente al minimizar las roturas.
- Controlar posibles efectos torsionales perjudiciales (este sistema como presenta la posibilidad de ir incorporando rigidez a la estructura en forma independiente de los planos resistentes por piso existentes, puede lograr también ir reubicando los centros de masa y rigidez dando como resultado una disminución notable de los momentos torsores actuantes).
- Permitir a los elementos estructurales existentes (vigas, columnas y tabiques) una disminución o a lo sumo una igualdad de solicitaciones: M , N y Q dentro del régimen elástico para lo cuales fueron calculados en el pasado o bien *diseñar*, a partir de los resultados obtenidos, algún tipo de daño, en determinadas secciones, pero en forma controlada.
- El comportamiento de riostras con fusibles indican rigideces mayores a la de otros sistemas, esta propiedad resulta ventajosa en recuperación edilicia, ya que por lo general es necesario controlar los desplazamientos laterales de la estructura, cosa que el dispositivo lo logra. Es importante destacar que este aumento de rigidez no implica un aumento de resistencia, como ocurre en el caso de los arriostramientos diagonales gracias a su elemento fusible.
- Ser implementado tanto en estructuras de H°A° como de acero.

b) Deformación:

- Permitir un control directo de los desplazamientos relativos entre pisos (efecto más perjudicial en los sismos severos), condición sobre la que actúa directamente el dispositivo por su diseño en lo que respecta a su ubicación relativa innovadora en la

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.

E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

estructura ya que incrementa los r_{ii} (diagonal de la matriz rigidez de la estructura) sin “modificar” los r_{ij} , por lo que, puede dar solución, en forma directa, a posibles pisos flexibles existentes por cambios de rigideces bruscas por ejemplo.

c) *Ductilidad:*

- Evitar el comportamiento de post-pandeo en las riostras bajo cargas de compresión, manteniendo un régimen elástico en ellas de tal forma que este asegurado el mismo comportamiento que en tracción y derivando únicamente el régimen no-lineal en el elemento fusible, con lo cual se obtienen valores de amortiguamiento equivalentes importantes. (admite, en todo caso, la posibilidad de ubicar un puntal central “*zipper column*” para asegurar aún más este comportamiento o aprovechar alguna columna existente. Ver Fig 6).
- Que el excedente de energía, de acuerdo a las demandas actuales, sea canalizado a través del dispositivo “*bielas vinculantes*” (diagonales de acero) las cuales conectan las losas con el terreno de fundación en forma directa, disipando parte de esta energía mediante el elemento fusible, logrando un mecanismo de deformación plástica en forma dúctil y estable, permitiendo con esta condición fundamental aplicar los criterios del diseño por capacidad.
- El comportamiento *global* del dispositivo hace pensar una respuesta uniforme, evitándose los pisos “blandos”, una vez que las riostras (*fusible*) entran en fluencia. Esto se logra gracias a la ubicación particular de las bielas ya que cada piso esta “sujeto” en forma independiente del otro, una posible fractura, por ejemplo, del elemento fusible en las bielas de un piso determinado haría que se deje de disipar energía en el mismo, pero podría seguir transfiriendo carga al suelo su parte “elástica” si se diseña algún tipo de dispositivo de seguridad en dicha zona; además tanto el piso que se ubica por encima o por debajo de donde se produce la fractura seguirían “sostenidos” igualmente, evitando una *falla de piso* localizada (tipo panqueque) que llevaría al colapso parcial o total de la estructura.

2) *Funcionales:*

- Pocos elementos o piezas que lo conforman
- Elementos maniobrables.
- Fácil armado en obra

3) *Arquitectónicas:*

- Las bielas vinculantes pueden ser visualizadas u ocultadas según el caso en fachadas, muros o tabiques. En general son de bajas dimensiones respecto a otros elementos o soluciones por lo que no ocupan espacios importantes.
- Por su disposición geométrica en general, y debido a que, con dos o tres dispositivos como máximo por dirección y de pocos elementos constitutivos cada uno de ellos, no entorpece circulaciones, pasos, accesos, como así también instalaciones complementarias (eléctricas, gas o sanitarias).

4) *Económicas:*

- Piezas macizas de fácil obtención en mercado y de bajo costo con variedad de secciones y dimensiones.
- Baja producción de hs hombre en taller ya que no precisa elaboración complicada, quedando sólo las piezas de anclajes y fusible como elementos de fabricación mecanizada.

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- Fácil transporte.
- Fácil armado y de ejecución en obra con roturas mínimas (pasos entre losas y construcción de anclajes y apoyos) por lo que también es mínima la mano de obra calificada.
- Debido a que alcanza rigideces comparables con las de muros y tabiques de hormigón armado permite el reemplazo de éstos dentro de las soluciones tradicionales, reduciendo de esta forma, los tiempos de ejecución, como así también el peso adicional a la estructura.
- En la rehabilitación los esfuerzos a los que quedan sometidas las barras son menores o iguales para las que fueron diseñadas evitando por lo tanto redimensionamientos con refuerzos, cambio de secciones, etc.
- Menor peso propio respecto a las soluciones tradicionales por lo tanto se necesitan fundaciones de menor sección y profundidad.
- Sin mantenimiento.
- No modifica o perjudica instalaciones.
- Las molestias son mínimas evitando que el edificio suspenda su funcionamiento en forma parcial o total.
- Otorga una solución global con un costo por debajo de los métodos tradicionales actuales.

Desventajas

1) estructurales:

- Control de esbelteces de las bielas para los pisos superiores para que no actúen como tensores:

“Las riostras esbeltas presentan ciclos de histéresis muy estrechos y con baja capacidad de disipación de energía, lo cual no es conveniente para construcciones sismorresistente. Esta es la razón por la cual las riostras tipo tensor, tan esbeltas que su resistencia a compresión es nula, deben evitarse ya que pueden afectar significativamente la respuesta global edilicia.. Por el contrario, las riostras poco esbeltas exhiben ciclos más estables, pudiendo incluso desarrollar cierto grado de fluencia en compresión antes de que los efectos de inestabilidad degraden la respuesta”. (Crisafulli IACA 2002)

(Para evitar lo mencionado, además de contar con elemento fusible, se considera que las bielas atraviesan las losas por pasos adecuadamente ejecutados de tal forma que no influyan el desplazamiento horizontal en los pisos en cuestión pero sí logren restringir la longitud de pandeo).

- Distribución de esfuerzos en anclaje superior cuando se presentan losas de distintos tipos (aliviadas, macizas, etc) o vigas existentes.
- Ubicación de fundaciones independientes a las existentes.
- Rendimiento de bielas para edificios de gran altura.

f) Lineamientos de análisis de cálculo seguidos:

En una primera instancia y para comprobar la eficacia y eficiencia del sistema se utilizó un análisis dinámico lineal tridimensional para una excitación armónica en la base , obteniendo la solución particular del problema, por lo cual se prosiguió de la siguiente manera:

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- 1) Se adoptó para el análisis el modelo de Maxwell para el cual la parte elástica (k) se halla en *serie* con el amortiguador viscoso (c) ya que responde a la manera real en que se construyen las bielas vinculantes dúctiles.
- 2) Reemplazamos en dicho modelo el amortiguamiento viscoso por el histerético $c = h/\omega$.
- 3) De la función respuesta en frecuencia obtenemos las expresiones de C_{equiv} y K_{equiv} .
- 4) Establecemos los valores de amortiguamiento y rigidez en forma horizontal (multiplicando por $\cos^2\theta$ las expresiones anteriores) al cual llamamos C_h y K_h .
- 5) Planteamos C_h en función de K_h como: a) $C_h = \alpha K_h$
- 6) Adoptamos un perfil de K_h para cada piso como un % de la rigidez existente. (Esta será una matriz rigidez diagonal por como están dispuestas las bielas de nuestro dispositivo).
- 7) Haciendo en la ecuación a): $h/K_b = \beta_1$, reemplazando y despejando determinamos α para valores adoptados de β_1 para cada piso. (donde K_b = rigidez de la biela).
- 8) Con K_h y β_1 adoptados despejamos la rigidez necesaria para las bielas K_b (parte elástica o sección sin reducir de las mismas).
- 9) Con K_h y α determinamos C_h (que será también una matriz amortiguamiento diagonal por como están dispuestas las bielas de nuestro dispositivo).
- 10) Resolvemos las ecuaciones de equilibrio dinámico tridimensional por análisis Modal, para una excitación armónica en la base y por tanteo, variando K_h , buscamos la solución *óptima*. (solución *óptima* = lograr que queden protegidos los elementos existentes, esto es: que queden sometidos a igual o menor esfuerzo de corte para el cual fueron diseñados por ejemplo, con la menor cantidad de kg de acero a utilizar para las bielas).
- 11) Verificamos a su vez que el valor histerético del punto 7) adoptado $h = \beta_1 K_b$ se desarrolle verdaderamente en función del diseño del elemento fusible y a través de adoptar una constitutiva bilineal adecuada.

Perfiles de K_h estratégicamente adoptados luego de tres o cuatro tanteos, para valores prácticamente constantes de β_1 y θ convergen a soluciones excelentes en lo referente a dimensiones de bielas tanto en su parte elástica (sección no reducida) como histerética (sección reducida). Los resultados así obtenidos en edificios de mediana altura (2 a 10 pisos) dieron resultados muy interesantes por lo viable de su respuesta en lo físico y sin lugar a dudas en lo económico respecto a las soluciones tradicionales (costos directos, indirectos y tiempos de ejecución y puesta en servicio principalmente).

4. CONCLUSIONES

El dispositivo propuesto: “*Bielas Vinculantes*” creo que abre un nuevo camino a la ingeniería de recuperación edilicia ya que responde en gran medida a los aspectos conflictivos de otros sistemas, ya sean estos de orden respuesta-estructural como económico, y resume las cualidades de los últimos avances en materia de rehabilitación de estructuras por intermedio de arriostramientos metálicos.

Se ha buscado con el sistema una respuesta que asegure un comportamiento dúctil de la riostra, tanto en tracción como en compresión, y permitan al diseñador elegir con *libertad* la rigidez axial y la resistencia de la riostra a los efectos de alcanzar la solución más conveniente

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero. Consultor. Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “BIELAS VINCULANTES” DEL TIPO HISTERÉTICO PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

para cada caso (esto es resguardar vidas con las menores dificultades posible), aspecto por demás importante en la rehabilitación sísmica de edificios.

Desde luego es necesario avanzar con verificaciones experimentales y analíticas más rigurosas para ajustar y comprobar el comportamiento de esta solución innovadora. Queda por lo tanto abierta dicha posibilidad para convalidar los resultados obtenidos a la fecha.

Ing. R. Tosoni.

5. REFERENCIAS

Proyecto de Reglamento INPRES-CIRSOC 103 para Construcciones Sismorresistentes. Parte IV: Construcciones Metálicas. 2000.

Proyecto de Reglamento CIRSOC 301 para Estructuras de Acero. Agosto 2000.

AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 1997, American Institute of Steel Construction, Chicago, USA.

NZS 3404, Steel Structures Standard, 1997.

Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza, 1987, Mendoza, Argentina.

Crisafulli, F. J., 2002, “*Diseño Sismorresistente de Pórticos con rigidizaciones metálicas concéntricas*”, 1º Seminario Internacional de Estructuras de Acero IACA 2002, Bs. As. Argentina.

Bazán / Meli, 2000, “*Diseño sísmico de edificios*”.

J.M.Kelly, 1998, “*Seminario Internacional Análisis, Diseño y Aplicaciones de sistemas de aislamiento sísmico y disipación de energía*”, Mendoza, Argentina.

Priestley, M. J. N., 1994, “*Últimas tendencias en el diseño sismorresistente*”, 2º-EIPAC-94, Mendoza, Argentina.

Singiresu S. Rao, 1990, “*Mechanical Vibrations*”, segunda edición.

(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar