

# CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Rubén Tosoni <sup>(1)</sup>

## 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, 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 cableados en diagonales en V o V invertida concéntricas al que he llamado: “*Tensores vinculantes*” que por sus características geométricas de sección circular de alta resistencia, 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, se logra un control directo de las vibraciones introducidas a una edificación por sismo o viento, tomando parte de dichas acciones y disipando energía principalmente en forma friccional, (por resbalamiento de los cables a través de su *elemento de apoyo friccional*) con lo cual, la estructura, logra la capacidad de absorber la demanda sísmica necesaria, 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 tensores vinculantes, disipación por Coulomb, anclajes pasivos y activos.

---

<sup>(1)</sup> 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

# CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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 tensores cableados dispuestos como diagonales en V o 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

# CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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

<sup>(1)</sup> 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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 edilicio 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 ( $> 130$  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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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.

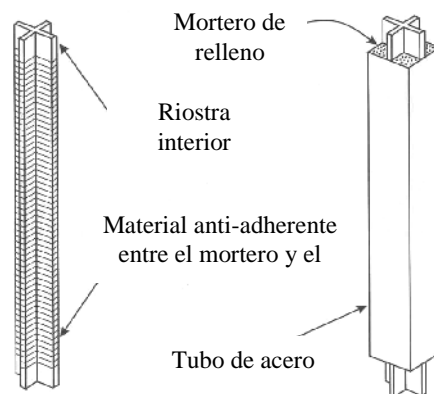
En los últimos años se han propuesto diseños innovadores para riostras, con el objeto de lograr una adecuada disipación de energía por fluencia del acero. Con igual criterio, se han desarrollado y empleado distintos tipos de elementos amortiguadores o disipadores que se pueden interponer entre las riostras 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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 trasmite 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)

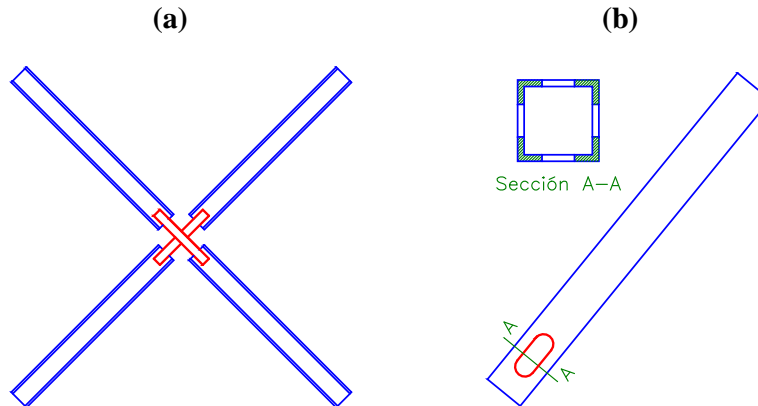
Otro tipo de riostra con fusible consiste en producir deliberadamente un debilitamiento de la sección transversal, donde se concentrarán las deformaciones plásticas. Esta reducción se logra mediante perforaciones o caladuras, dispuestas en forma simétrica. La riostra se debe diseñar para evitar el pandeo 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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 rehabilitación 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*

<sup>(1)</sup> 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

# CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL 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 con dicho dispositivo, dispuesto geoméricamente en forma innovativa (arriostrado concéntricamente y en V o V invertida), en rango 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 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 anclaje friccional.
- e) Resumir **las ventajas y validaciones necesarias** 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 cableadas, requiere de la habilidad y experiencia del ingeniero estructural a los efectos de adoptar adecuadamente la rigidez y resistencia de los cables para cumplir con los objetivos del diseño sismorresistentes.

El primer aspecto importante y el gran desafío, entonces, para la recuperación de edificios, es lograr lo que yo denomino *amortiguamiento inteligente*, es decir, el necesario 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 **cables que vinculan las masas al plano de referencia o fundación** directamente y que pueden dar lugar a dos alternativas:

- (a) *Sistema simple* con cables solamente *friccionales*.
- (b) *Sistema dual*, que presentan dos tipos de cables: friccionales: que son los que aportan el amortiguamiento necesario y cables *rigidizantes*: que como su nombre lo indica, aportan la rigidez necesaria.

Para ambos sistemas la disposición de los cables pueden presentar distintas alternativas.(ver Fig 6 y Fig 7). (no existen antecedentes de empleo o aplicaciones de cables en tal sentido para edificios)

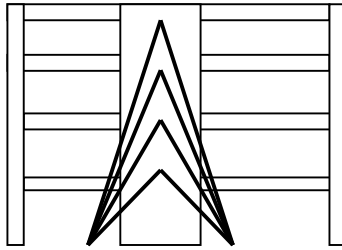
(1) Ingeniero estructuralista especialista en acero.Consultor.Posgrado en evaluación de proyectos.  
Profesor de Seguridad en la Construcción, Instituto Tecnológico IES N°19 INSUTEC.  
E-mail: emesrl@yahoo.com.ar

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

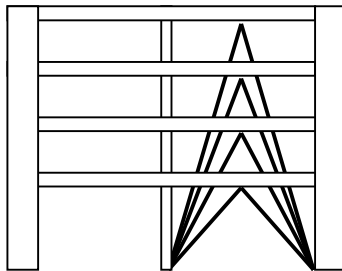
Estos cables atraviesan las losas de los distintos niveles sin ocupar espacio en planta y en altura permitiendo dejar libres posibles circulaciones.

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

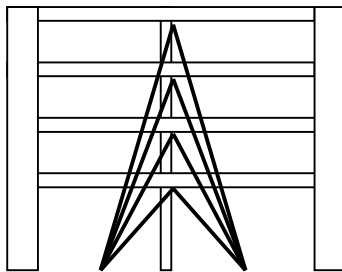
Los anclajes pueden reducirse a las zonas de losas, tabiques o vigas y fundación y no de nudos como en el caso de las diagonales tradicionales, disminuyendo considerablemente la cantidad de uniones a materializar y por ende su costo de implementación.



a) Dispositivo externo anclado en tabique



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

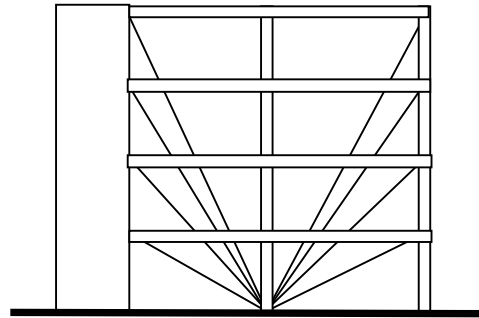


c) Dispositivo con fundación independiente y aprovechamiento de pilar central como “zipper column”

**Figura 6**

<sup>(1)</sup> 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA



**Figura 7** Dispositivo en V

### ***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 “*Tensores vinculantes*”:

1) El criterio *básico* de diseño radica en la posibilidad de que los cables dispuestos de esta manera pueden asumir el excedente del impacto sísmico con una rigidez tal que permita transmitir parte de ella directamente a tierra y la restante ser absorbida por fricción (Coulomb), dejando protegidos los demás elementos existentes dentro del rango elástico para los cuales fueron diseñados, otorgando el amortiguamiento global necesario para toda la estructura, de tal forma que los desplazamientos horizontales de diseño correspondientes a cada piso y por ende los relativos entre ellos no superen el límite elástico, en lo posible, de cada elemento existente.

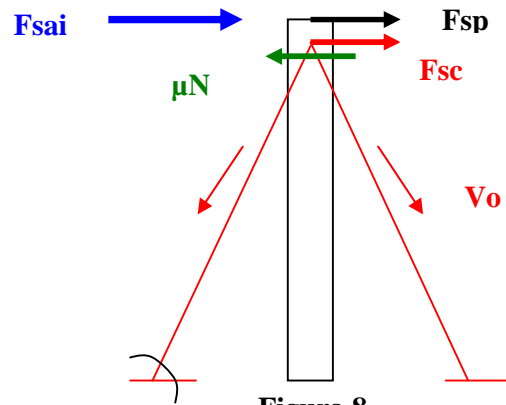
2) Esto, que a priori parece sencillo decir, pero muy difícil de lograr en la práctica, se consigue por dos efectos directos que traen aparejados los cables:

- (a) El manejo de las deformaciones de piso por el incremento de la matriz rigidez global de la estructura en su diagonal ppal. solamente (rii) permitiendo controlar los desplazamientos relativos entre estos (tan perjudicial durante un sismo destructivo), mientras que los elementos de influencia (rij) no se ven modificados (de ahí su independencia sobre el resto) (con cables del tipo *rigidizantes* de ser necesario)
- (b) La creación de una matriz amortiguamiento diagonal a elección, de acuerdo a las características dinámicas propias de los cables y de la construcción existente. (cables *friccionales*).

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) pueden ser disipadas y 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 8)

<sup>(1)</sup> 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

**CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE  
DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO  
FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA**



Donde:

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

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

$F_{sc}$  = fuerza sísmica sobre cables.

$V_o$  = fuerzas de postesado de cables. (dan origen a  $N$ ).

$\mu$  = coeficiente de fricción.

$\mu \cdot N$  = Fuerza friccional.

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 cables en función de las rigideces y disipación estrictamente necesarias en cada piso.
- Posibilidad de elegir dichas secciones sin mayores problemas de interacción.
- Elección del ángulo de arranque según el caso en estudio como otra variable para encontrar la respuesta óptima.

**c) Criterios de diseño y requerimientos reglamentarios:**

*Aspectos importantes de diseño:*

- Uno de los aspectos más importantes del sistema es lograr que los cables permanezcan tensados en todo el proceso vibratorio, esto se logra a partir de:
  - (a) *Para cables friccionales:* colocando el cable en una sola pieza, rodeando el apoyo anclaje friccional superior (este puede ser pasivo o activo) de losa y sujetando solamente los extremos del mismo en los anclajes inferiores (uno pasivo y el otro por lo general activo) ubicados en el plano de referencia.
  - (b) *Para los cables rigidizantes:* en el caso de ser necesarios, se logra verificando que el desplazamiento último de diseño del piso no supere el valor de postesado inicial  $V_o$ , con lo cual los cables en el proceso reversible permanecerán siempre traccionados,

(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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

evitando posibles tirones. (el cable se dispondrá de igual forma pero prensado en su parte superior).

- Lógicamente la esbeltez de los arriostramientos en estas condiciones no entran en juego, por lo que, el sistema cableado, puede resultar una respuesta adecuada aún en rascacielos para lo referente al control vibratorio, quedando sujeto su rendimiento quizás a limitaciones constructivas únicamente.
- El sistema presenta en cada plano arriostrado igual comportamiento en ambas direcciones otorgando una respuesta simétrica de la estructura tan necesario para cargas reversibles laterales.
- Si bien por ser el sistema del tipo friccional en la linealización armónica el mismo, no entrega una rigidez equivalente ( $k_e=0$ ), pero evidentemente hasta superar el valor estático friccional el cable *friccional* no resbala por lo que se obtiene una componente de rigidez inicial que razonablemente contribuye en el control de las deformaciones. En tal sentido, como ya hemos explicado, el sistema puede presentar, de ser necesario, un comportamiento dual, esto es: un par de cables *anclados* que aporten rigidez en todo el proceso (*cables rigidizantes*) y otro par libre con  $\mu_e = \mu_d$  que aportan únicamente amortiguamiento (*cables friccionales*).
- El desplazamiento horizontal de cada piso del edificio en cuestión, en relación a las dimensiones del cable, (hipotenusa de un triángulo rectángulo) da por resultado un valor Normal (originado por las fuerzas iniciales de postesado) de compresión sobre el apoyo, que se puede tomar constante a medida que ocurre el desplazamiento como así también respecto a la rigidez horizontal equivalente de los cables, esto permite una independencia entre ambos.
- Dicho valor normal N puede actuar en forma contraria al peso propio de la edificación (ver Fig 7) y evitar así incrementos en fundaciones.
- El valor del ángulo de arranque de los cables, la sección propia de ellos, el valor de la fuerza de postesado inicial ( $V_0$ ), el coeficiente friccional estático y dinámico ( $\mu$ ) son todos parámetros con los que se pueden jugar y que permiten rápidamente converger en una solución óptima según las características propias de la estructura existente o mejorar el comportamiento dinámico de proyectos nuevos.
- Los criterios de pérdida de fuerza de tesado inicial a tiempo infinito (por relajación del acero, arrastre en cuñas, etc) en cables es una materia ampliamente difundida y conocida en el mundo ingenieril y estudiada en estructuras de hormigón armado pre y postesadas, asumiendo un valor aproximado entre 15 al 20% en estas últimas, por lo que, en tal sentido, no se esperarían inconvenientes.

### *Aspectos o requerimientos reglamentarios:*

El sistema cableado no cuenta con una normativa a cumplimentar debido a su alto contenido innovativo, es más, desde el punto de vista antisísmico están prohibidas las bielas tipo tensor ya que se las analiza desde el punto de vista de su comportamiento inelástico, para lo cual, presenta fuertes estrechamiento histeréticos por los problemas de pandeo asociados, dando como resultado respuestas inestables y que difieren de acuerdo a la dirección de estudio produciendo finalmente una importante degradación de rigidez, lo que pueden ocasionar, serios inconvenientes en relación a la respuesta global de la estructura, pudiendo inclusive, conducir al colapso.

<sup>(1)</sup> 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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

Mencionaremos solamente el 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 para los cuales se establecen condicionamientos en relación de esbelteces y resistencia a compresión de bielas rígidas, condiciones todas ellas no aplicables a nuestro caso.

Para el caso de pórticos con riostras del tipo tensor (cableadas) dispuestas en V y apoyados 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 en la losa o viga, el efecto de la fuerza vertical,  $P_{un} = N$ , para nuestro caso, dado por la fuerza de tesado  $V_o$

$$P_{un} = N = 2V_o \operatorname{sen}\theta$$

Valor que finalmente deberá ser resistido por la viga o losa.

Para esta última, se puede dividir la fuerza  $N$  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).

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

Donde:

$U$  = perímetro de las placas de acero

$e$  = espesor de losa de H<sup>o</sup>A

Finalmente podemos mencionar que estos valores en el campo analítico son predeterminados y bajos (cosa que no es posible, muchas veces, con riostras rígidas), al punto de no tener que modificar inclusive fundaciones (aspecto más que importante en la recuperación de edificios). 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 ésta en la viga o losa, donde se anclará el apoyo superior, caso contrario, la capacidad rigidización o de amortiguamiento global de la estructura será limitada o irrupida.

### ***d) Detalle innovativo del elemento apoyo anclaje friccional:***

El elemento apoyo anclaje friccional superior presenta características que tienen por función dar respuesta a dos posibles puntos:

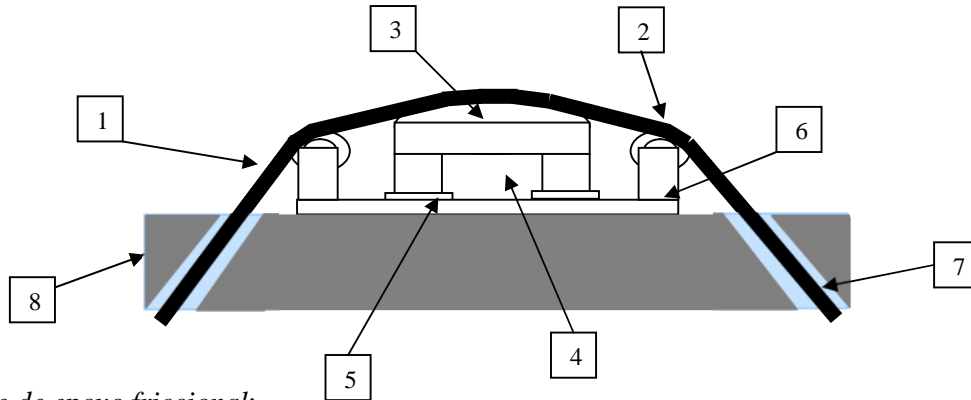
- (a) Asegurar el desarrollo de la disipación de energía por fricción entre el cable, al deslizarse por la placa de apoyo, y permitir a su vez un libre acceso a la misma a través de dos rodamientos.
- (b) Ser del tipo activo. Es decir, permitir la opción del tesado del cable de una forma sencilla y eficaz y para ello posibilitar el gateado del mismo.

(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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

A los fines prácticos se muestra un esquema de posible anclaje activo friccional:



*Detalle de epoyo friccional:*

- 1- cable de acero
- 2-rodamientos de acero.
- 3-base de apoyo de cable (a fijar una vez tesado los cables).
- 4-espacio para colocar expansores o gatos.
- 5-suplementos o cuñas.
- 6-placa de sujeción (embrocada a losa o viga).
- 7-paso por losa con sello elástoplasto (burlete)
- 8-losa o viga estructura.

El elemento anclaje para cables rigidizantes será el mismo con la diferencia que estos serán prensados en su parte superior.

### ***e) Resumen de ventajas y validaciones necesarias del sistema o dispositivo tensores vinculantes:***

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

#### ***1) estructurales:***

##### ***a) Rigidez:***

- Aportar rigidez en caso de ser necesario en forma directa y sencilla, especialmente para estructuras del tipo flexibles como ser pórticos de acero u hormigón armado.
- 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.

(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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- Permitir proteger los elementos estructurales existentes (vigas, columnas ,y tabiques) o bien *diseñar*, a partir de los resultados obtenidos, algún tipo de daño, en determinadas secciones, pero en forma controlada.
- Mejorar el comportamiento a flexo-compresión de columnas y /o tabiques con el adicional de normal otorgado por las fuerzas de tesado de tal forma que inclusive no afecte, en lo posible, a fundaciones existentes.
- Ser implementado tanto en estructuras de H°A° como de Acero.
- En proyectos nuevos, puede presentar ser un sistema mecánico de muy bajo costo, útil para el control de vibraciones, no sólo en zonas sísmicas sino de vientos por ejemplo también.
- No presenta limitaciones de altura por lo que puede ser una respuesta interesante para edificios de gran altura.
- 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.
- Aporta un control directo de vibraciones por lo que asegura y previene posibles daños en *estado de servicio* bajo acciones moderadas ya sean estas de viento o temblores no severos.

### c) Amortiguamiento:

- Evitar comportamientos inadecuados y de difícil control como ser los de post-pandeo en las riostras rígidas bajo cargas de compresión.
- Lograr que el excedente de energía, bajo acciones del tipo destructivas o severas y de acuerdo a las demandas actuales, sea canalizado a través del dispositivo “*tensores vinculantes*” (diagonales cableadas en acero) las cuales conectan las losas con el terreno de fundación en forma directa, disipando parte de esta energía mediante el apoyo superior friccional y logrando de esta manera un amortiguamiento en forma estable, permitiendo con esta condición fundamental ampliar los criterios de respuesta elástica en función del % del amortiguamiento crítico ( ) dado por los espectros de diseño .
- El comportamiento *global* del dispositivo hace pensar una respuesta uniforme, evitándose los pisos “blandos”.Esto se logra gracias a la ubicación particular de los cables ya que cada piso esta “sujeto” en forma independiente del otro, una posible falla, por ejemplo, de algún cable 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 produzco 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:

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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- Los *tensores vinculantes* pueden ser visualizadas u ocultadas según el caso en fachadas, muros o tabiques. Por tratarse de cables con bajas dimensiones, 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:

- Cables de fácil obtención en mercado de alta resistencia y de bajo costo respecto a otros sistemas, 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 apoyo friccional como elementos de fabricación mecanizada. (el resto de los anclajes de cables lo proveen las fábricas de cables postesados).
- 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 y la necesidad de reparaciones finas.
- Permite el reemplazo de las soluciones tradicionales, reduciendo de esta forma, los tiempos de ejecución, como así también no trae aparejado un 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.
- No genera esfuerzos adicionales significativos por lo que no requiere modificaciones de fundaciones existentes.
- Prácticamente sin mantenimiento.
- No modifica o perjudica instalaciones.
- Las molestias son mínimas evitando que el edificio suspenda su funcionamiento en forma parcial o total.
- Puesta en servicio inmediata.
- Otorga una solución global con un costo muy por debajo de los métodos tradicionales actuales.

### 5 )Sociales:

- Puede representar una solución más que importante en el aspecto social, ya que, en la actualidad, son muy pocos los edificios rehabilitados estructuralmente y dichos métodos distan mucho de ser soluciones viables, tanto en lo económico como en lo funcional, dejando a un gran porcentaje de la sociedad desprotegida ante un evento destructivo como lo es un terremoto, con las consecuencias sabidas en lo que respecta a muertes y daños irreparables.

### Validaciones necesarias:

(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

## CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

- Control de efectos de rigidez real aportada y disipación de energía para los distintos modos de vibración.
- Efectos destructivos en los cables como ser alto impacto o latigazo.
- Rendimiento del control vibratorio por cables 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 unidimensional para una excitación armónica en la base, obteniendo la solución particular del problema.

- Se aplicó para ello el análisis modal construyendo una matriz amortiguamiento del tipo proporcional a la masa y a la rigidez.
- La primera se igualó con las características de la matriz amortiguamiento dado por coulomb de los cables aprovechando que la disposición de los mismos nos dan también una matriz diagonal.
- Con el amortiguamiento adoptado como % del crítico ( ) y las frecuencias naturales dadas por cada modo se determinó de los espectro de pseudoaceleraciones elásticos los valores de  $S_a$  con los cuales se obtuvieron las respuestas buscadas, de tal forma que el cortante sobre la estructura existente, una vez cableada, no supere el cortante de la estructura sin cablear.

Con valores de  $\mu$  adoptados se dimensionaron perfiles de cables estratégicamente ubicados, que respondieron a secciones y tesado ( $V_o$ ) para valores de  $\mu$  entre acero-acero, acero-teflón, acero-latón, acero-cobre o teflón-teflón en edificios de mediana altura (5 a 10 pisos) con resultados muy interesantes por lo viable de su respuesta en lo estructural 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 “*Tensores Vinculantes*” creo que abre un nuevo camino a la ingeniería de recuperación edilicia y al control de vibraciones para edificios de gran altura 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 disipación de energía.

Se ha buscado con el sistema una respuesta que asegure un comportamiento friccional del cable, de tal forma que el mismo se encuentre siempre bajo tensión (tracción), y permitan al diseñador elegir con *libertad* la rigidez axial y la resistencia del cable a los efectos de alcanzar la solución más conveniente 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.**

(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

# CONTROL DE VIBRACIONES Y RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE DISPOSITIVO INDEPENDIENTE “TENSORES VINCULANTES” DEL TIPO FRICCIONAL PARA PROTECCIÓN SÍSMICA

## 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.

<sup>(1)</sup> 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