

# SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Daniel Quiroga

Una gran parte de la población mundial vive en regiones de alta sismicidad, con riesgo de sufrir efectos de terremotos de distinta severidad que causan grandes daños materiales y pérdida de vidas.

El impacto social de un terremoto es muy importante. En terremotos destructivos se postula como objetivo evitar la pérdida de vidas, mientras que en el caso de eventos de menor magnitud y más frecuentes, en el diseño convencional, se esperan daños menores reparables, pero a veces la interrupción de la función puede ocasionar pérdidas económicas varias veces mayores que el costo de las reparaciones.

Ante un evento catastrófico una población se recuperará en menor tiempo según su capacidad de transformar y soportar el tremendo impacto, lo que hoy se conoce como resiliencia.

La resiliencia es una conocida propiedad en la mecánica de materiales y, en la psicología, se utiliza la acepción como la capacidad de las personas para sobreponerse a un impacto o a un evento dramático. Existen organizaciones dedicadas a difundir y desarrollar ciudades resilientes (Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres - UNISDR).

La práctica ingenieril puede aportar dotando de resiliencia a las construcciones, en particular, y a las ciudades, en general, por medio de propuestas de diseño que tengan

como objetivo de desempeño evitar deformaciones residuales o reemplazos de componentes estructurales durante los eventos frecuentes y diseñar sistemas de protección para toda la estructura en el caso de eventos extraordinarios.

En la práctica profesional, los métodos convencionales y los reglamentos actuales conciben el diseño sísmico como una jerarquización en los componentes estructurales de tal modo que disipen la energía en forma segura buscando preservar la vida humana y minimizar el riesgo del colapso estructural, pero asumiendo el ingreso de energía a las estructuras para ser disipada en distintas partes de la misma, ocasionando daño en sus componentes.

En las nuevas tendencias de diseño se aspira evitar el ingreso de la energía mediante el aislamiento sísmico o bien, una vez ingresada, disiparla mediante artefactos específicos dispuestos en la construcción. A estos dispositivos se los conoce como Sistemas de Protección Sísmica.

## La energía del terremoto

La acción sísmica accidental es de una gran magnitud, pero de baja probabilidad de ocurrencia comparada con el resto de las fuerzas de diseño tales como nieve, viento, etc. La filosofía actual de diseño sismorresistente considera esta disyuntiva y prevé considerar acciones reducidas asociadas a un terremoto con determinada recurrencia, pero permitiendo que la estructura se comporte más allá del límite elástico y, mediante detalles adecuados,

permitir que pueda sostener deformaciones plásticas haciendo uso de la ductilidad.

El terremoto libera energía en el hipocentro y se manifiesta a nivel de la corteza destruyendo la infraestructura o bien, al ingresar a un edificio, generando daños al superar la resistencia de sus componentes estructurales.



En términos de balance de energía, se puede expresar mediante una ecuación la energía que ingresa a la estructura (a un lado) y cómo se distribuye en la misma (al otro) (Uang-Bertero-Akiyama, 1999).

$$E'_I = E'_K + E_D + (E_S + E_H)$$

Siendo:

$E'_I$  = Energía total introducida por un terremoto (input)

$E'_K$  = Energía de deformación por energía cinética

$E_D$  = Energía disipada por amortiguamiento viscoso y está relacionada con el amortiguamiento inherente al propio sistema estructural

$E_S$  = Energía de deformación elástica

$E_H$  = Energía disipada por amortiguamiento histerético

Una estructura bajo la acción de un terremoto tendrá un desempeño adecuado si es capaz de soportar la demanda de deformaciones sin que se produzcan fallas frágiles que limiten el comportamiento plástico, siempre que esas deformaciones sean compatibles con la estabilidad global de la construcción.

Como consecuencia de esta incursión inelástica se espera que la estructura sufra daños en las zonas de mayor demanda de sus componentes estructurales. Si bien la estructura puede resultar estable, en algunos casos, podría suceder que no continúe prestando las funciones para las que fue creada y deba ser descartada.

En cambio, para un movimiento determinado gran parte de la energía puede ser disipada mediante la incorporación de algún dispositivo y así disminuir la participación de los componentes estructurales minimizando o evitándoles el daño.

### Sistemas de Protección Sísmica

El diseño sísmico convencional tiene como objetivo la jerarquización de componentes donde se pretende la disipación de energía conocidos como "rótulas plásticas" que concentrarán el daño estructural a través del comportamiento inelástico de los materiales.

Como una alternativa al diseño convencional se presenta el diseño innovador de estructuras por la adición de dispositivos conocidos como Sistemas de Protección Sísmica. Estos Sistemas son muy eficientes, confiables y versátiles lo que ha llevado

a que se hayan difundido ampliamente, en especial en países más desarrollados tecnológicamente.

El objetivo de los Sistemas de Protección Sísmica es localizar en ciertos dispositivos los efectos de deformaciones lineales y no lineales que el terremoto induce a las construcciones para que luego, en caso de daño, éstos puedan ser sustituidos fácilmente. En algunos casos se los conoce como fusibles (haciendo una analogía eléctrica) concentrando la falla en elementos de reemplazo sencillo, sin que se trasmita a los componentes principales de la estructura. Se presentan como alternativa para minimizar las dificultades, interrupciones de funciones o para mejorar el desempeño en construcciones nuevas, y se los puede clasificar en (Christopoulos y Filiatrault, 2006):

| SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA            |  |
|---|--|
| SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO | Amortiguadores Pasivos (No requieren fuentes de energía) |
|   | Amortiguadores Activos y Semiactivos                     |
| SISTEMAS DE AISLAMIENTO                   |  |



Ensayo en mesa vibradora a) Base Fija b) Base aislada (UCSD)

### AISLAMIENTO SÍSMICO

Las construcciones se vinculan al terreno a través de sus apoyos que se denominan en forma genérica fundaciones o bases. De este modo se garantiza la transferencia de todas las acciones de la superestructura al terreno para asegurar el equilibrio.

El aislamiento sísmico es un subsistema estructural que se incorpora en el edificio con el objeto de modificar sus propiedades dinámicas y se coloca entre la fundación y los puntos de soporte del edificio, o bien, en el caso de puentes, entre la superestructura del tramo y la infraestructura (pilas y estribos). Esto se logra proporcionando al sistema de aislamiento de una rigidez lateral más baja que la vertical lo que produce el desacople del movimiento enunciado obteniendo un aumento del período propio del edificio.

La construcción aislada se desplazará más que si se tratara de edificios de base fija. Esta situación se pone de manifiesto en los ensayos en mesa vibradora realizados en la Universidad de California (UCSD), donde se observan dos modelos a escala de un edificio convencional (izquierda) y un edificio aislado (derecha).

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

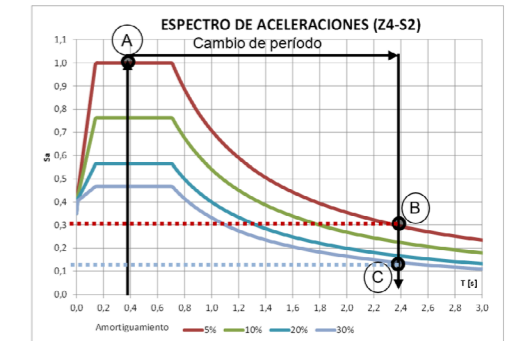
La incorporación de dispositivos de aislamiento a una construcción (puente, edificio, etc.) modifica sus propiedades dinámicas a partir de dos parámetros: el período y el amortiguamiento. La geometría y el material del aislador le

proporcionan características de período y amortiguamiento que, introducidos en el sistema global de la construcción, también producirán modificaciones en las dos propiedades dinámicas enunciadas.

El nuevo sistema (construcción + aislamiento) tendrá ahora un nuevo período y un nuevo amortiguamiento ocasionando una modificación en la respuesta estructural.

Se ejemplifica a continuación la modificación en el comportamiento global de la construcción. Se hace notar que ambos espectros que a continuación se ilustran son derivados del reglamento actual para explicar el fenómeno.

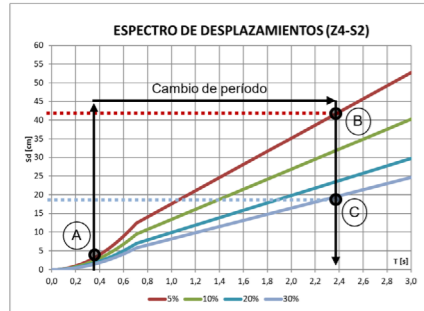
El efecto de la incorporación de aislamiento se observa en la siguiente imagen al pasar de un caso (punto A) a otro (punto B) por aumento del período y del punto B al punto C por aumento del amortiguamiento. En ambos casos se produce una disminución en las demandas de aceleración.



Influencia del aislamiento en la respuesta de aceleraciones.

Paralelamente se observa en esta otra imagen el efecto del aislamiento en los desplazamientos donde se produce una mayor demanda al aumentar el período y pasar del edificio de base fija (punto A) al edificio de base aislada (punto B). Si complementariamente se puede disponer de la incorporación de amortiguamiento suplementario, la demanda de desplazamientos decrece (del punto B al punto C).

Las solicitaciones impuestas a la estructura con aislamiento serán menores que la demanda del terremoto permitiendo un comportamiento cercano al elástico, pero, es evidente que la reducción depende tanto de las características del edificio como del espectro del terremoto.



Influencia del aislamiento en la respuesta de desplazamientos.

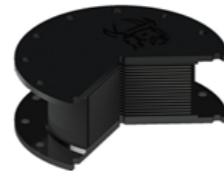
### TIPOS DE AISLADORES

Existe una gran cantidad y, en forma permanente, hay desarrollos de nuevos dispositivos que se distinguen por el principio de funcionamiento o por las características de los materiales constitutivos. Los más relevantes son:

- Elastómeros
- Apoyos de goma natural y sintética de bajo amortiguamiento
- Goma de Alto Amortiguamiento
- Goma y Plomo
- Resortes
- Péndulo de Fricción
- Otros Sistemas

### Elastómero

Al principio se usaron los apoyos de goma natural como bloques de goma sin placas de acero internas y posteriormente se desarrollaron los apoyos con placas de acero vulcanizadas en el interior lo que evita las deformaciones y le confiere un aumento importante en la rigidez vertical respecto del valor de la rigidez horizontal. Se los diferencia entre apoyos de bajo y alto amortiguamiento (<https://cauchosvikingo.com/aisladores-sismicos/>).



Aislador elastomérico en el capitel de una columna de acero en el subsuelo de un edificio.  
[www.architecture.org.nz](http://www.architecture.org.nz)



Hospital Ishinomaki de la Cruz Roja con un sistema aislamiento-disipación. La superestructura de hormigón armado se apoya en un chasis de vigas de acero sobre aisladores de neopreno. Las piezas verdes en forma de "U" son disipadores adicionales.  
[www.structuremag.org](http://www.structuremag.org)

La instalación de los aisladores se realiza en una interface entre la fundación y la superestructura. Sobre el sistema de fundación se coloca una placa que recibe el aislador, generalmente por medio de barras de anclaje, dejando una disposición similar para recibir a la superestructura ([www.iomm.org.my](http://www.iomm.org.my))



### Apoyos de goma natural y sintética de bajo amortiguamiento

Los apoyos de goma natural de bajo amortiguamiento y de goma sintética se han usado ampliamente en Japón junto con dispositivos de amortiguamiento suplementarios, tales como amortiguadores viscosos, barras de acero, barras de plomo o dispositivos friccionales entre otros (Naeim y Kelly, 1999).

El aislador se conforma con dos placas exteriores de acero y otras interiores más finas que se vulcanizan con la goma en un proceso bajo presión y temperatura dentro de un molde. Las placas internas de acero evitan la deformación transversal de la goma (forma de barril) y le confiere rigidez vertical, mientras que no tiene efecto en la rigidez horizontal. El comportamiento del material a corte es prácticamente lineal para deformaciones del orden del 100%, con valores de amortiguamiento en un rango de 2% a 3%, siendo de fabricación sencilla, fácil de moldear y con respuesta mecánica casi inalterable por temperatura o envejecimiento. La desventaja más importante es que necesita de un dispositivo de amortiguamiento suplementario que demandará conexiones a la estructura.



Aislador cilíndrico con placas cuadradas.  
[www.agom.it](http://www.agom.it)



Aislador cilíndrico con placas cilíndricas e insertos para hormigón.  
[www.mageba.com](http://www.mageba.com)

### Apoyos con Alto Amortiguamiento: Goma o Plomo

En 1982 se desarrolló en Malasia (Malaysian Rubber Producers Research Association) un compuesto de goma natural con suficiente amortiguamiento, el que se obtiene por medio de agregados. Los métodos de vulcanización, pegado y construcción del aislador se mantienen del mismo modo que los anteriores.

Su comportamiento es no lineal, presentando valores altos de rigidez y amortiguamiento para bajas deformaciones de corte (del orden del 20%), lo que minimiza la respuesta para viento o cargas sísmicas de bajo nivel. Esta formulación del material permite prescindir de dispositivos de amortiguamiento suplementarios.

En Nueva Zelanda en 1975 se inventaron los aisladores con la incorporación de una barra de plomo. Su constitución es similar a los anteriores, a los que se adiciona una barra de plomo insertas en agujeros previstos en la parte central. Al deformarse por corte las placas de acero deforman al plomo hasta una tensión de fluencia del orden de 10 MPa proporcionando una respuesta bilineal con ciclos estables ya que el plomo se recristaliza a temperatura ambiente y su fluencia no produce fallas por fatiga. El plomo debe

quedar muy ajustado dentro del aislador, lo que se logra haciendo que la barra de plomo sea levemente mayor que el agujero e introduciéndolo a la fuerza



Esquema Aislador Goma y Plomo  
(<https://www.fipmec.it/es/products/dispositivos-antisismicos-y-antivibratorios/>)

## Resortes

Los aisladores de resortes se han usado generalmente en equipos industriales y no habían tenido desarrollo en el aislamiento de edificios. Una de las primeras aplicaciones reportadas es una construcción unifamiliar en Santa Mónica, California identificada como Casa Lowe.

En nuestro país se ha realizado una instalación de características similares en uno de los edificios destinado a la residencia estudiantil de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional de Mendoza. De los tres bloques proyectados, de tres niveles cada uno, se implementó en uno de ellos un sistema de cuatro aisladores de resortes con el agregado de cuatro amortiguadores viscosos. Para seguimiento de la respuesta sísmica se instrumentaron dos torres, una aislada y otra de base fija.



Vista exterior del edificio de Residencia Universitaria de la UTN de la FRM y sistemas de aisladores de resortes y amortiguador viscoelásticos ubicados en la interfase entre la superestructura y su fundación.  
www.gerb.com

Durante el sismo ocurrido en Mendoza el 18 de junio de 2012 se pudieron obtener los registros de ambos edificios poniéndose en evidencia la disminución de la demanda a partir de la observación de los registros. Para un movimiento Este-Oeste se logró una reducción pasando de 24% a 7% de la aceleración de la gravedad (Tornello, M.).



Residencia UTN - FRM. Registros de aceleraciones sísmicas Mendoza el 18/06/2012. Arriba: torre con base fija, abajo: torre aislada

Los aisladores de resortes son apropiados para filtrar movimientos horizontales, pero presentan un amortiguamiento del orden del 2% solamente (Tornello y Sarrazin, 2005), lo que conduce a que se deban utilizar en paralelo con algún sistema que incorpore amortiguamiento suplementario.

Frente a las acciones verticales son menos rígidos que los elastoméricos lo puede evaluarse desde dos ópticas: una desfavorable, ya que se producen acoplamientos entre las acciones verticales y horizontales y, otra favorable, ya que

permitirían filtrar las vibraciones verticales provenientes de sismo de falla cercana (Tornello y Sarrazin, 2005).

## Péndulo de Fricción

El sistema de péndulo friccional consta de dos partes: (a) una superficie con curvatura y que se vincula a la estructura principal del edificio, realizada en acero inoxidable perfectamente pulido para permitir el deslizamiento y (b) el deslizador, que se vincula a la estructura de fundación, con una superficie con curvatura que permite el movimiento relativo gracias al revestimiento con materiales de bajo coeficiente de fricción, en general, PTFE (Politetrafluoretileno). El principio de funcionamiento es que en primer término el dispositivo desacopla los desplazamientos entre la superestructura y la fundación trabajando según el concepto de aislamiento sísmico, con la ventaja adicional de que se produce una fuerza de recentrado debido al propio peso en cada apoyo actuando sobre la superficie esférica, lo que genera una estabilización y vuelta a su posición inicial. Las superficies de contacto deben ser capaces de permitir este deslizamiento y por ello se trata en general de acero inoxidable y revestimientos de teflón para disminuir el rozamiento.

Se destaca el desarrollo de un sistema



Montaje de un Péndulo de fricción.



Ensayo de un Péndulo de fricción.

de péndulo de fricción que se ha utilizado para la reconstrucción de viviendas luego del terremoto de L'Aquila, Italia, el 6 de abril de 2009. El proyecto denominado C.A.S.E (Complessi Antisismici Sostenibili ed Eco-compatibili) estaba destinado a la construcción de 185 edificios de departamentos, con una planta baja común a todos, donde alberga los estacionamientos resueltos con columnas de acero que, en los

capiteles, se ubicaron alrededor de 7400 aisladores tipo péndulo de fricción. Sobre ellos se construyeron los entresijos y edificios prefabricados que se completaron en tan sólo 9 meses.



Aislador de péndulo "Isoslab System" (Freyssinet y Studio Calvi). Edificio con planta baja de cocheras aislado.

### Otros Sistemas de Aislamiento

Se han desarrollado otros sistemas, continuando la investigación y desarrollo en forma permanente buscando mejoras de distinta índole respecto de los existentes. Se muestran algunos que no han tenido tanta aplicación.



Aisladores deslizantes de doce piezas  
[www.fhwa.dot.gov](http://www.fhwa.dot.gov)



Deslizador con teflón del Aeropuerto de Mineta, C.A.  
[www.structure.org](http://www.structure.org)

## DISIPACIÓN DE ENERGÍA SISMICA

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA DISIPACIÓN

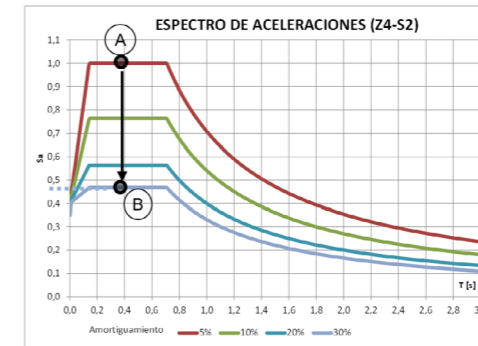
La disipación de energía sísmica que ingresa a una estructura se produce a través del amortiguamiento suplementario que le suministren los mecanismos dispuestos para tal fin.

Las propiedades dinámicas del sistema estructural (construcción + disipadores) podrán ser modificadas de acuerdo con sus características en términos de

amortiguamiento o en términos de rigidez.

A continuación, se muestra el comportamiento de un sistema en el que se han incorporado dispositivos de disipación. Se hace notar que ambos espectros son esquemas gráficos conceptuales para explicar el fenómeno y no son estrictamente exactos en términos numéricos.

Tal como se mencionó en los sistemas de aislamiento se suelen agregar dispositivos de disipación o bien el mismo aislador tiene propiedades que modifican el amortiguamiento.



Influencia del amortiguamiento en la respuesta de aceleraciones.



Influencia del amortiguamiento en la respuesta de desplazamientos

Se muestra en los espectros el efecto de pasar de una situación primitiva (punto A) a una construcción con algún sistema que incorpora amortiguamiento suplementario (punto B) logrando reducciones en la demanda de aceleración y, en menor medida, de desplazamiento.

El diseño sismorresistente convencional considera la disipación de energía en componentes que forman parte de la estructura y se manifiesta, en general, en zona de comportamiento no lineal conocidas como rótulas plásticas. La respuesta estructural depende de la estructura en general y de la respuesta a nivel local de estas rótulas como se aprecia en el esquema a continuación (Soong y Dargush, 1999). La selección o diseño de esta secuencia de rotulación se la conoce como el diseño del Mecanismo de Plastificación.



Estructura con Diseño convencional

Los sistemas de disipación de energía tienen por objeto consumir una parte de la energía sísmica que ingresa a la estructura, sin fuentes de alimentación externas, y que

se activan por el movimiento del sistema estructural principal con la ventaja de poder reemplazarse fácilmente en caso de daño (como si fuera un fusible).

Los Sistemas de Disipación pueden ser: pasivos, con control activo, con control híbrido y con control semiactivo.



Cada sistema de disipación requiere de un impulso externo para su activación que puede ser por aceleración, velocidad o desplazamiento.

La clasificación más común se muestra en la tabla siguiente:

|  |   |                                 |
|--|---|---------------------------------|
| <b>SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO</b> | <b>AMORTIGUADORES PASIVOS</b>               | <b>FLUENCIA DE METALES</b>      |
|  |   | <b>FRICCIÓN</b>                 |
|  |   | <b>VISCOELÁSTICOS</b>           |
|  |   | <b>MASA SINTONIZADA</b>         |
|  |   | <b>LÍQUIDO SINTONIZADO</b>      |
|  | <b>AMORTIGUADORES ACTIVOS Y SEMIACTIVOS</b> | <b>AUTOCENTRADO</b>             |
|  |   | <b>ARRIOSTRAMIENTOS</b>         |
|  |   | <b>MASA SINTONIZADA</b>         |
|  |   | <b>RIGIDEZ VARIABLE</b>         |
|  |   | <b>AMORTIGUAMIENTO VARIABLE</b> |
|  |   | <b>PIEZOELÉCTRICO</b>           |
|  |   | <b>REOLÓGICO</b>                |

## TIPOS DE DISIPADORES

### DISIPADORES HISTERÉTICOS

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

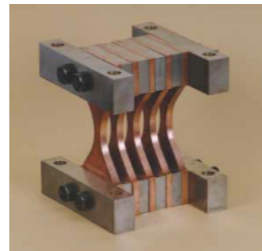
### Disipadores metálicos o de Fluencia

Los dispositivos metálicos hacen uso de las propiedades de los metales (acero, plomo, etc) para disipar energía. Se los conoce también como disipadores de fluencia o por plastificación.

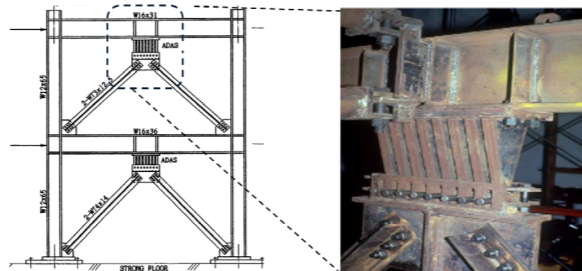
Los disipadores de fluencia

se basan en la deformación plástica de componentes sólidos de acero a flexión, corte, torsión o combinación de ellos, produciendo la disipación y manteniendo su rigidez luego de ciclos estables de deformación (Bruneau, Uang y Sabelli, 2011).

Presentan una alta rigidez elástica y pueden sostener muchos ciclos estables de deformación post-fluencia dando como resultado altos niveles de disipación de energía o amortiguamiento. Los disipadores histeréticos por fluencia pueden ser por flexión, axiales de pandeo restringido, de placas post-críticas, de corte y torsionales entre los más comunes. Entre los primeros desarrollos figuran los sistemas ADAS, TADAS y los de placas plegadas.



Dispositivo ADAS (CDT. Documento N° 29. Chile)



Dispositivo TADAS. Esquema y montaje para ensayo. Tsai et al. (1993)



Edificio Titanium, Chile. Disipador de placas plegadas. www.adi-ag.cl

### Barras de Pandeo Restringido

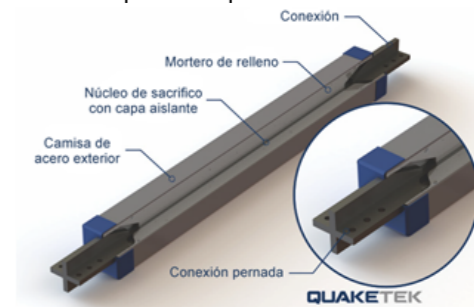
Muchas investigaciones dieron lugar a una gran cantidad de dispositivos entre los que se destacan las Barras de Pandeo Restringido (BPR) o Riostras de Pandeo Restringido (RPR) o, por su denominación en inglés BRB (Buckling Restrained Brace).

El desarrollo de las barras de pandeo restringido se inicia en 1970 (Kimura et al.). El más completo que permitió validar un dispositivo para la Nippon Steel es de 1989 (Wada et al.).

Las BPR están constituidas por tres partes principales: un tubo exterior tipo camisa, un corazón de acero interior que constituye principalmente el disipador y un mortero de relleno que llena el espacio entre la barra de disipación y la camisa exterior. Para permitir el deslizamiento entre la barra interior y el mortero se disponen distintas soluciones de superficies deslizantes.

El principio de funcionamiento es muy simple. Cuando la riostra es solicitada a tracción, trabaja la sección de acero interior que está conectada directamente a la estructura principal. Cuando el esfuerzo se invierte, la sección interior es sometida a compresión, pero, como en general tiene mucha esbeltez, tiende a pandearse. En ese momento entra en juego el resto del dispositivo que tiene una esbeltez mucho menor y se retrasa el pandeo del conjunto. De este modo la barra queda en condiciones de admitir un nuevo ciclo en tracción y así en sucesivos ciclos ir disipando la energía por el comportamiento en tracción de la

barra del núcleo central. Como premisa de diseño se pueden manejar con bastante independencia ambas resistencias (tracción y compresión) permitiendo cubrir un espectro amplio de soluciones estructurales.



Componentes de BRB (Quaketek)

### Disipadores de placas (post-críticas) Muros de corte con placas de acero (SPSW)

Los muros de corte con placas de acero (Shear Plate Steel Wall, en inglés) es un sistema estructural formado por placas de acero vinculadas en todo su perímetro a vigas y columnas, en general, también de acero, donde la placa de acero se diseña para un comportamiento post-crítico, es decir, posterior al pandeo y al formarse bandas traccionadas (campos de tracción de Basler) se produce un mecanismo de disipación, mientras que el resto de los componentes de borde permanecen elásticos.

Desde el muro simple de placas de acero con



marco perimetral también de acero se han desarrollado otros sistemas con placas perforadas y muros compuestos (acero + hormigón). En la imagen se observa el estado final de la placa luego del ensayo a cargas horizontales en un muro de corte con placas de acero donde se aprecia el comportamiento post-crítico por medio de las bandas traccionadas (Bruneau, Uang y Sabelli, 2011).



Muro de acero al finalizar el ensayo cíclico

### Disipadores por fricción

Los dispositivos por fricción utilizan el rozamiento como principio de disipación.

Se pueden lograr mediante conexiones abulonadas con pernos de alta resistencia que presionan las placas y, cuando los esfuerzos sísmicos intentan desplazarlas relativamente, se genera fricción entre los componentes. Los más conocidos son “Slotted Bolt Connections” (Tremblay y Steimer, 1993), “Dispositivo de Fricción Sumitomo” (Aiken y Kelly 1993) y “Sistema Pall” (Pall y Marsh 1981).

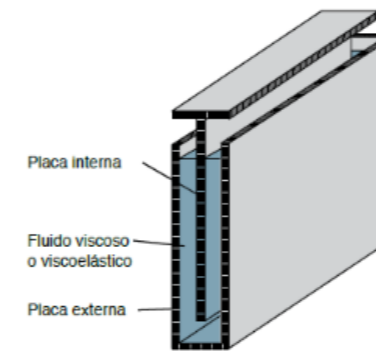
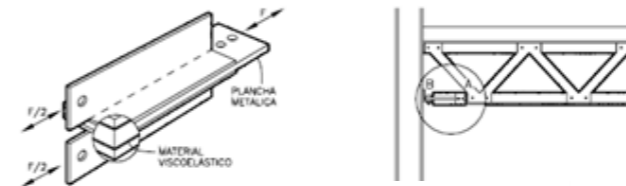


Disipador por fricción tipo Pall. Rehabilitación de un edificio de 14 pisos (Shao, Pall y Soli, 2012)

### DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Los disipadores viscoelásticos pertenecen al grupo de dispositivos activados por el desplazamiento o por la velocidad.

Previo a su utilización en la ingeniería civil después de 1969, se empleaban en las estructuras aeroespaciales. Los edificios de las torres gemelas en Manhattan (World Trade Center, desaparecidas el 11 de septiembre de 2001) tenían dispuestos alrededor de 100 disipadores por planta para el control de vibraciones del viento.



Dispositivo Viscoso (CDT. Documento N° 29. Chile)  
Disipadores viscoelásticos

Los materiales más comunes que se utilizan son polímeros que disipan energía bajo la acción de deformaciones de corte. En el caso de sólidos viscoelásticos, el más simple es un dispositivo que se introduce en las riostras de un sistema estructural y al interrumpir la sección de acero de la riostra se vinculan las dos partes con un material viscoelástico como el que se muestra en el esquema anterior.

Los amortiguadores de fluido viscoso pueden presentarse como cilíndricos, lineales para pared y de fluido por orificio. El principio de funcionamiento es similar al de un amortiguador de automóvil donde se produce la transformación de la energía mecánica en calor cuando un pistón deforma el fluido viscoso.

Estos dispositivos se emplean con éxito en edificios como complemento del aislamiento para proporcionar un amortiguamiento suplementario, tanto para acciones sísmicas como para vibraciones inducidas por el viento (Constantinou, Soong y Dargush, 1998).



Disipadores de fluido viscoso.  
[www.taylordevices.com](http://www.taylordevices.com)



Amortiguador viscoso  
[www.gerb.com](http://www.gerb.com)

## SISTEMAS DE AUTOCENTRADO

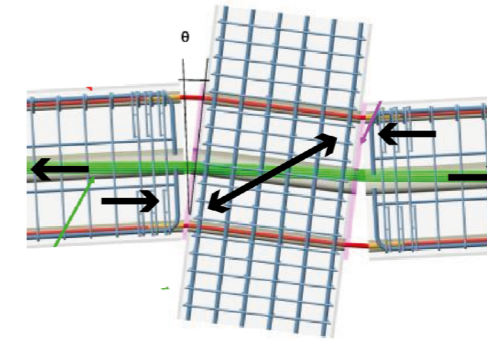
Los sistemas de autocentrado o de recentrado tienen la particularidad de volver a los parámetros involucrados (fuerzas y desplazamientos) a sus condiciones iniciales. Los sistemas de autocentrado más comunes son: muros oscilantes (rocking wall), pórticos resistentes a momento postesados y aleaciones con memoria de forma (shape memory alloys) que presentan un comportamiento histerético autocentrado.

Las primeras investigaciones con sistemas de autocentrados, usando el concepto de estructuras oscilantes como se describió en construcciones antiguas, fueron desarrolladas en la década de 1990 durante casi diez años bajo un programa denominado U.S. PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) llevado a cabo por Priestley y Nakaki. La idea era aprovechar las ventajas del prefabricado adicionando la técnica del postesado sin adherencia (unbonded post-tensioning elements).

A partir del concepto de componentes oscilantes se provee de un sistema de re-centrado por medio de la acción del postesado y de la acción de la gravedad, manteniendo un comportamiento elástico en todo el sistema estructural y reservando la disipación de energía solo para dispositivos

puntuales dispuestos a tal efecto.

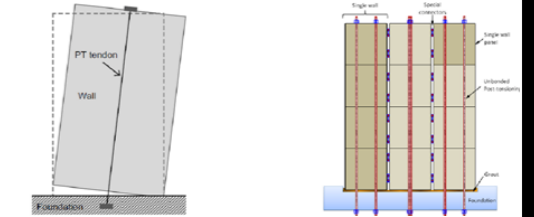
Las aplicaciones más comunes se han desarrollado en pórticos y tabiques. En el caso de los pórticos el sistema de postesado se coloca en el baricentro de la sección y en los extremos, donde se producen los máximos desplazamientos por la rotación, se disponen las barras de disipación (mild steel).



Sistema de pórtico híbrido (<https://www.clarkpacific.com/>)

Para el caso de los muros hay diferentes configuraciones al emplear uno o varios tendones para obtener el efecto del autocentrado. La disipación puede obtenerse por medio de placas colocadas en la interface de cada muro o a través de barras de acero dúctil.

También se han podido desarrollar sistemas de autocentrado para mampostería, estructuras de acero y estructuras de madera.



Sistema de muros oscilantes postesados (Kurama et al. 1999, Priestley et al. 1999)

## AMORTIGUADORES DE ABSORCIÓN DINÁMICA

Los sistemas de amortiguadores de absorción dinámica o sintonizados, utilizan la fuerza de inercia de una masa como fuerza reactiva de control. El objetivo de diseño de un amortiguador sintonizado es, al igual que el resto de los sistemas, reducir las demandas de disipación de energía en el sistema estructural principal.

Si bien en principio se desarrollaron para fuerzas de viento, también se utilizan para las acciones sísmicas. Los problemas que los afectan son cuando se salen de sintonía porque la estructura principal tiene incursiones

inelásticas que modifican sus propiedades dinámicas originales y su respuesta ante acciones impulsivas, característica de los terremotos de falla cercana.

Los dos sistemas conocidos son amortiguadores de masa sintonizada y de líquido sintonizado.

### Masa Sintonizada TMD (Tuned Mass Damper)

Los primeros desarrollos fueron de Frahm en 1909 y Den Hartog en 1956 (Soong y Dargush, 1997) donde el objetivo era que la masa principal del edificio "M" permanezca estacionaria por la elección de los parámetros de frecuencia de una masa auxiliar "m", lo que significa sintonizar, poner en frecuencia, ambas masas "m" y "M". Uno de los ejemplos más modernos es el del edificio Taipei 101 que cuenta con una masa suspendida en los últimos niveles que cumple esta función. Se completa el sistema con disipadores viscosos para proveer amortiguamiento.



Amortiguador de masa sintonizada. Taipei 101. Esquema (izquierda) Péndulo y amortiguadores viscosos (derecha) (<https://arquitectl.blogspot.com/2014/08/taipei.html>)

Otra aplicación se puede observar en un edificio en Chile con una masa de hormigón de 160 toneladas vinculada a un disipador de fluido viscoso para proporcionar un amortiguamiento suplementario.



Amortiguador de masa sintonizada. Edificio Cámara Chilena de la Construcción ([www.revistabit.cl](http://www.revistabit.cl))



Edificio One Rincon Hill South Tower. USA. Esquema de funcionamiento (<https://www.reddit.com>)

### Líquido sintonizado TLD (Tuned Liquid Damper)

El principio de un amortiguador de líquido sintonizado es similar al descrito para masa sintonizada. La masa está representada por un líquido que se moverá cuando sea activado por una excitación exterior, generalmente, de viento o sismo.

La disipación se produce por el oleaje y por el pasaje entre cámaras tipo columnas utilizando el principio de vasos comunicantes (TLCD, Tuned Liquid Column Damper). La respuesta del sistema es altamente no lineal ya sea por el oleaje del líquido o por la presencia de orificios en la comunicación de las dos cámaras.

En la imagen puede observarse la instrumentación en un edificio y el esquema de funcionamiento. Se aprecia una barrera de tubos (baffles) para generar un comportamiento no lineal del oleaje (sloshing).

Los TLD presentan algunas ventajas respecto de los TMD ya que la fuerza de restauración no necesita ningún mecanismo porque el agua responde en forma instantánea a pesar de que el nivel de excitación sea mínimo. Su implementación práctica es simple y se debe disponer un tanque de agua común y esto permite adaptarlo a construcciones existentes. Dado que la frecuencia del amortiguador depende fundamentalmente de la columna de agua, el posible error es mínimo debido a la suficiente precisión que se puede lograr en la medición y control del nivel de la misma.

Por último, cuando se debe resolver una construcción con propiedades dinámicas diferentes en sus dos direcciones principales, se deberá lograr sintonizar ambas frecuencias. La solución simple será la de disponer un tanque rectangular con propiedades necesarias en cada dirección, en lugar del tanque cuadrado o cilíndrico para situaciones similares según dos ejes con iguales características.

## CONCLUSIONES

La difusión y utilización masiva de los Sistemas de Protección Sísmica por los diseñadores de estructuras sismorresistentes debe venir acompañada de desarrollos locales de estos dispositivos, al igual que la regulación a través de reglamentos y guías de diseño. Un reglamento nacional actualmente se encuentra en elaboración.

De este modo la ingeniería aportará su colaboración en la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones, en particular, y de las poblaciones, en general, tendientes a la mejora de la resiliencia estructural que no será otra cosa que contribuir a la resiliencia de las personas y, en último caso, a la resiliencia de las ciudades.

# EDIFICIO ALVEAR 1

## VISTA PUEBLO. MENDOZA

Edificio destinado a Oficinas Premium y de locales comerciales. Contará con una superficie total de 6.024m<sup>2</sup> cubiertos en un total de 7 niveles y un amplio hall de ingreso con seguridad y recepción personalizada. En planta baja, zócalo comercial con locales, y en 1er piso, amenities con salas de reuniones, coffee work, área de esparcimiento y recreación, área de reuniones informales y auditorio.

A partir del 2º y hasta el 6º piso, encontramos 16 espacios modulables por piso, donde cada oficina puede tener una superficie desde 35m<sup>2</sup> hasta 860m<sup>2</sup> (planta completa), complementadas con amplios espacios comunes.

En el 7º piso se ha previsto un restaurante con acceso desde un ascensor exterior panorámico independiente de las circulaciones internas y terrazas técnicas para equipos de acondicionamiento y generación de energía limpia.

La propuesta arquitectónica está basada en un sistema constructivo en acero, totalmente innovador en la provincia, para un edificio de esta envergadura. Con una envolvente en piel de vidrio, carpinterías curtain wall con vidrios dobles, panelería de aluminio compuesto, acero inoxidable combinados con materiales cálidos como el ladrillo visto bostoniano y revestimientos en madera. Los pasillos cuentan

con un generoso ancho de 2,50m, sistema de climatización Heat Pumper y sistema de cámaras CCTV para la seguridad de todo el edificio.

El edificio está desarrollado íntegramente con estructura de acero y entrepisos mixtos (steel deck) soportados por vigas metálicas alivianadas (alveolares). Por la morfología de la planta es un solo bloque prismático.

El sistema estructural sismorresistente contempla estrategias con sistemas de protección sísmica mediante dispositivos de disipación sísmica.

En la dirección Norte – Sur se diseñaron pórticos sismorresistentes no arriostrados (PSNA) con vigas de sección reducida (dog bone) para predecir la posición de rótula plástica por flexión y el comportamiento de sobrerresistencia hacia la conexión con la columna. Complementariamente se ha dispuesto una conexión precalificada del tipo EP4B (Extended Plate 4 bulones) que contempla una placa extrema con 4 bulones por extremo las que se diseñan con hipótesis de diseño por capacidad.

En dirección Este – Oeste se diseñaron pórticos sismorresistentes arriostrados excéntricos (PSAE) con enlaces de conexión de sección reducida trabajando como

elementos “fusibles” donde se concentra la disipación de energía. Estos dispositivos clasifican como disipadores pasivos hysteréticos por fluencia del metal. El “fusible” permite ubicar la posición de rótula plástica por corte y predecir el comportamiento de sobrerresistencia hacia la conexión con la viga fuera del enlace. Complementariamente se ha dispuesto también una conexión precalificada del tipo EP4B (Extended Plate 4 bulones) que prevé una placa extrema con 4 bulones por extremo las que se diseñan con hipótesis de diseño por capacidad y permiten su eventual reemplazo.

### DATOS TÉCNICOS

- Superficie total: 19.000 m<sup>2</sup>
- Proyecto arquitectónico: BYK arquitectos. Arq. Pablo Belinsky y asociados
- Proyecto estructural: 3D Ingeniería SA. Ings. Daniel Quiroga, Carlos Frau y asociados
- Construcción: Stornini Construcciones, Ings Mauricio y Fernando Stornini (obra civil); IMISA (obra metálica). Ing Diego Alfei





**LOSA SOBRE  
SUBSUELO:  
ENTREPISO SIN VIGAS.  
COLUMNAS CON  
CAPITEL**

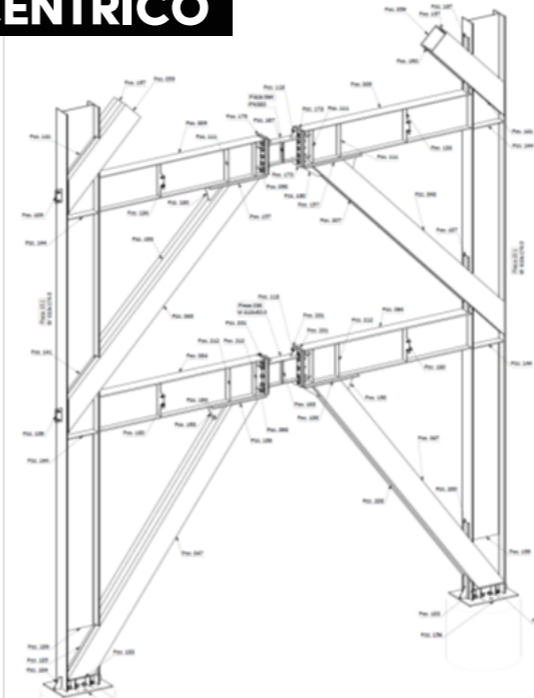


**FACHADA ESTE. MONTAJE DE  
PÓRTICOS DE ACERO**



**VIGA SECCIÓN  
REDUCIDA (DOG  
BONE) PARA LOS  
PÓRTICOS NO  
ARRIOSTRADOS**

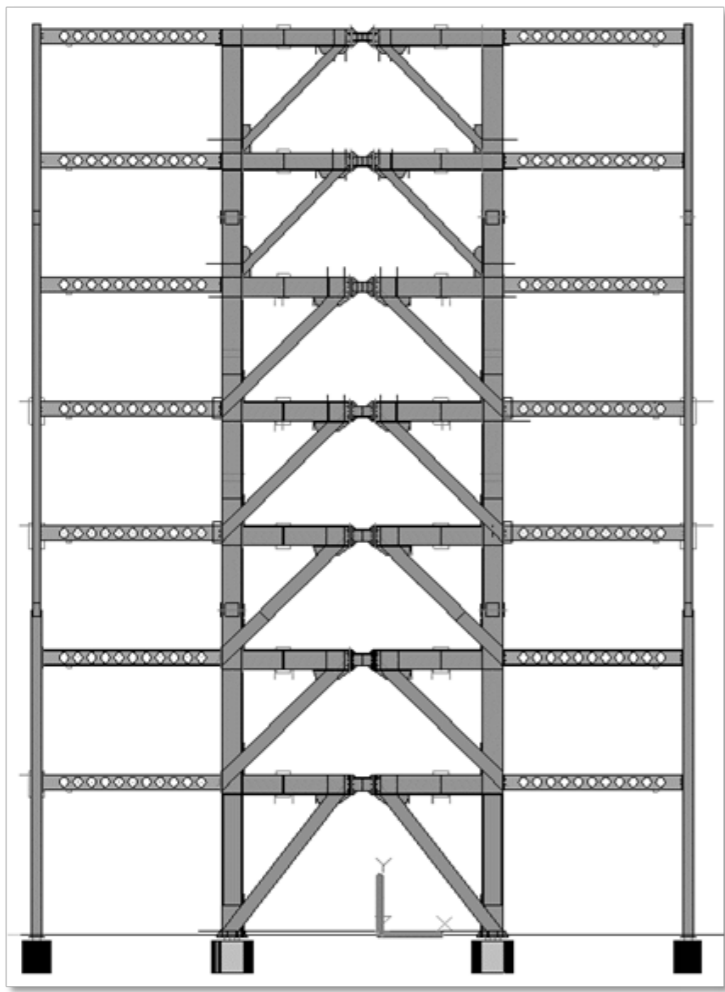
**PÓRTICO ARRIOSTRADO  
EXCÉNTRICO**



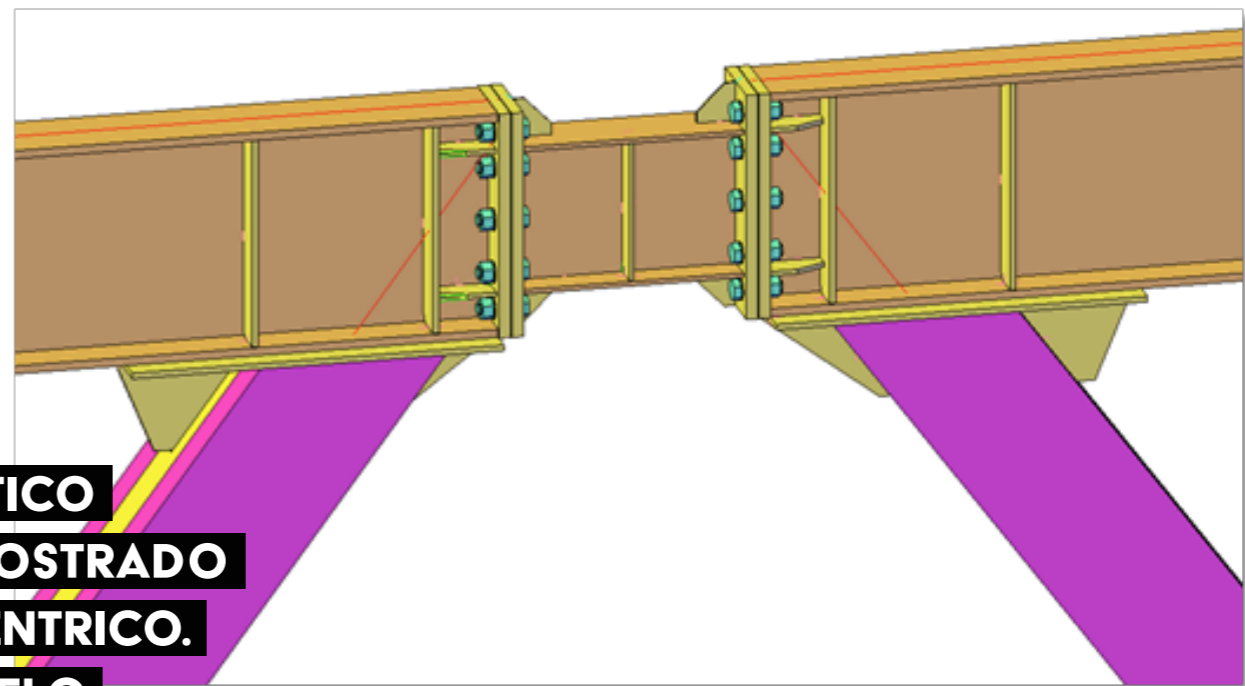
**MODELO BIM**



**MONTAJE MEDIA SECCIÓN**



**PÓRTICO  
ARRIOSTRADO  
EXCÉNTRICO.  
MODELO BIM**



**PÓRTICO  
ARRIOSTRADO  
EXCÉNTRICO.  
MODELO  
BIM DETALLE  
ENLACE  
ABULONADO**



# EDIFICIO DEL INSTITUTO DE HISTOLOGÍA Y EMBRIOLOGÍA DE MENDOZA (IHEM, CONICET-UNCUYO)

Este edificio está destinado a la actividad científica para el Instituto de Histología y Embriología de Mendoza (IHEM) de la Universidad Nacional de Cuyo y se inició en mayo de 2012. Cuenta con 6700 m<sup>2</sup> distribuidos en 4 plantas libres con divisiones internas de muros de roca de yeso y una planta en subsuelo de cocheras.

Tanto las fachadas norte y sur como así también la cubierta, están compuestas por termopaneles, garantizando una excelente aislación térmica y durabilidad. Las ventanas son de doble vidriado hermético.

El edificio cuenta con sectores de distintos niveles de bioseguridad, para reducir al mínimo el riesgo de exposición al trabajador o del medio ambiente. Cuenta con control de acceso, vestíbulos con una zona para separar la ropa limpia de la sucia y duchas, controles atmosféricos, muros con placas de plomo, entre otros.

Las atmósferas se encuentran controladas según las necesidades específicas de cada local, mediante el manejo de las presiones de aire y aportes de aire filtrado. Asimismo, tiene un sistema de calefacción, ventilación y aire

acondicionado.

Además de las instalaciones básicas de cualquier edificio, en el IHEM se dispuso instalación de dióxido de carbono, luz ultravioleta, circuito cerrado de agua, aire comprimido, nitrógeno y grupo electrógeno.

Las características del edificio están pensadas tanto para preservar su estructura como también la integridad de las personas y del equipamiento minimizando las vibraciones, permitiendo el adecuado funcionamiento de los microscopios electrónicos.

La estructura está resuelta con muros de hormigón armado visto, fundaciones y losas de planta baja, también en hormigón armado. Las plantas superiores son entresijos mixtos (steel deck), y cubierta superior metálica.

La estrategia de diseño ha sido utilizar sistemas de protección sísmica mediante aisladores de neopreno y péndulos de fricción que despegan a la estructura de las fundaciones modificando sus propiedades dinámicas y disminuyendo las acciones sobre la estructura principal que pudieran derivar de un terremoto.

## DATOS TÉCNICOS:

Superficie total: 6700 m<sup>2</sup>

Proyecto arquitectónico: Furtado Isgró arquitectos

Proyecto estructural: Ing. Agustín Reboredo

Construcción: Santiago Monteverdi





**DETALLE CONEXIÓN  
AISLADOR  
ELASTOMÉRICO-  
TABIQUE DE  
HORMIGÓN ARMADO**



**AISLADOR  
ELASTOMÉRICO.  
POSICIONADO  
INFERIOR**



**AISLADOR  
ELASTOMÉRICO.  
POSICIONADO  
INFERIOR**

**AISLADOR TIPO  
PÉNDULO DE  
FRICCIÓN**





**AISLADOR  
ELASTOMÉRICO.  
POSICIONADO  
SUPERIOR  
SOBRE BAJO  
COLUMNAS**

**FACHADA OESTE.  
ESCALERA DE  
EMERGENCIA  
DESVINCULADA  
DEL PISO PARA  
PERMITIR EL  
DESPLAZAMIENTO  
LIBRE DEL EDIFICIO**



**DETALLE:**

**SEPARACION PARA**

**PERMITIR LOS**

**MOVIMIENTOS**

**HORIZONTALES**

**DEL EDIFICIO.**

**TOPE DE**

**SEGURIDAD CON**

**ESPACIO PARA**

**DESPLAZAMIENTO**

**LIBRE**



**DETALLE:**

**SEPARACION PARA**

**PERMITIR LOS**

**MOVIMIENTOS**

**HORIZONTALES DEL**

**EDIFICIO.**

**EN LA FACHADA SUR**

**SE HA CUBIERTO LA**

**JUNTA EN TODA SU**

**LONGITUD**