

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN AL AISLAMIENTO SÍSMICO

RESUMEN

En este capítulo se presenta una breve introducción al Aislamiento Sísmico de Base, se plantean los principios que rigen su diseño, se muestran las ventajas de las estructuras con aislamiento frente a las estructuras sin aislamiento basal.

Se pone especial énfasis en el estudio de los Aisladores Elastoméricos y los Aisladores tipo FPS (Friction Pendulum System) o Sistema de Péndulo de Fricción de primera generación, los cuales son objeto de estudio en el presente trabajo, definiendo en primera instancia sus elementos y sus principales características, además se muestran construcciones en las cuales se han implementado estos dos tipos de protección sísmica de base.

Finalmente se plantean la justificación y el objetivo del presente trabajo de investigación.



1.1.- GENERALIDADES

Una premisa fundamental para el Ingeniero Estructural es la de obtener altos niveles de seguridad y mejorar el comportamiento de las estructuras ante eventos dinámicos (sismos, vientos, etc.). Hace casi un siglo surgió la idea de proteger a las estructuras ante los eventos sísmicos, buscando desde un inicio separarlas de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su fundación. Pero este anhelo de los ingenieros estructurales se concretó solo unos años atrás, cuando esta idea se materializó, hasta convertirse hoy en día, en una técnica efectiva y comprobada para el diseño sismorresistente de estructuras.

En la actualidad se cuentan con conceptos, técnicas, y dispositivos innovadores, que se basan en criterios de control de movimiento, dentro de estos, los Aisladores Sísmicos de Base constituyen una de las alternativas más promisorias, su uso está cada vez más difundido debido a la eficiencia que estos han demostrado. Los aisladores de base reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija, a la vez que permiten reducir los esfuerzos sísmicos notablemente y pueden ser adaptados a estructuras nuevas, así como también se pueden incorporar en puentes y edificios existentes, razón por la cual, este sistema constituye una alternativa válida para ser utilizada en países con alta vulnerabilidad sísmica como el Ecuador.



Existen básicamente dos tipos de sistemas de aislamiento: los apoyos elastoméricos y los apoyos deslizantes. Los apoyos elastoméricos emplean un elastómero de caucho natural o neopreno reforzado con finas láminas de acero. Por otra parte tenemos los apoyos deslizantes, estos poseen una superficie de deslizamiento que permite la disipación de energía por medio de las fuerzas de rozamiento. Uno de los dispositivos más innovadores es el FPS (Friction Pendulum System) o Sistema de Péndulo de Fricción, mismo que combina la acción del deslizamiento con la generación de una fuerza restitutiva debido a la geometría cóncava del deslizador.

El aislamiento de base es un sistema ampliamente usado para la protección de diversos tipos de estructuras y sus contenidos ante acciones sísmicas, el sistema ha sido objeto de numerosos estudios teóricos, se han desarrollado varios modelos matemáticos y toda esta investigación ha sido complementada con ensayos de laboratorio, y formulación de modelos a escala, los mismos que han demostrado el excelente comportamiento que se puede lograr con la implementación de este sistema de protección, para estructuras sometidas a eventos dinámicos moderados y severos.

Pero la efectividad del sistema de aislamiento sísmico no solamente se quedó a nivel de laboratorio, sino que adicionalmente su efectividad fue evidenciada por los registros de la respuesta dinámica de los edificios con aislamiento de base sacudidos por los sismos de Northridge en 1994 y Kobe en 1995. Este hecho sentó un precedente muy importante, pues las estructuras con aislamiento sísmico experimentaron un comportamiento muy satisfactorio



durante estos sismos devastadores, al punto de que solamente en Japón se construyeron más de 80 hospitales y 400 edificios con aislamiento sísmico entre 1997 y 1998.

También es importante mencionar las bondades de los aisladores de base cuando son implementados en estructuras existentes. Es así que en estructuras con sistemas de pórticos de hormigón armado diseñadas en la década del 70, que han sido sacudidas por acciones sísmicas, se han presentado fallas tales como: falla en nudos, deslizamiento de las armaduras longitudinales por falta de longitud de desarrollo, falla de columnas a cortante, pandeo local de las armaduras longitudinales por refuerzo transversal insuficiente o demasiado espaciado, entre otras. Como consecuencia de lo manifestado se tiene muchas estructuras que son altamente vulnerables a sufrir gran daño o incluso colapsar ante una sollicitación sísmica. Una vez identificada la vulnerabilidad, generalmente se procede a reforzar la estructura, esto se lo hace a través de los siguientes mecanismos:

- Uso de diagonales metálicas;
- Introducción de muros estructurales;
- Contrafuertes Exteriores;
- Introducción de pórticos adicionales;
- Incremento de secciones en elementos estructurales, encamisado de columnas o vigas, etc.



Por lo general, las soluciones antes mencionadas terminan afectando sustancialmente a la funcionabilidad de la edificación, se incurre en gastos altos y la tarea puede resultar además muy complicada, sin olvidar que dependiendo del tipo de medida de reforzamiento que se tome, se puede afectar en menor o mayor medida al normal comportamiento de la estructura, por lo que el tema debe ser tomado muy en cuenta.

Es en este contexto que el aislamiento sísmico de base surge como una alternativa válida para construir edificaciones y reducir la demanda sísmica de las mismas, o para reforzar las estructuras existentes, en las que por resultar muy frágiles, lo conveniente es disminuir su demanda de desplazamientos relativos.

Como se manifestó anteriormente, la alternativa del aislamiento de base es una técnica comprobada, la principal razón para que este tipo de soluciones no se haya implementado en países como el Ecuador, es el retraso en el desarrollo tecnológico. La utilización de esta técnica requiere de profesionales debidamente capacitados tanto en el diseño como en la etapa constructiva, no obstante se anhela que la construcción del Puente Bahía de Caráquez – San Vicente sea el inicio de una venturosa incursión del Ecuador en el prometedor campo del aislamiento sísmico.

1.2.- PRINCIPIOS DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

La acción sísmica transmite energía a la estructura, que se transforma en energía elástica de movimiento y deformación ($E_{\text{elástica}}$), y en energía disipada



(E_{disipada}). El principio de conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, por lo tanto debe mantenerse el equilibrio entre la energía de entrada y la suma de la energía elástica y la energía disipada, como se plantea en la ecuación 1.1.

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{elástica}} + E_{\text{disipada}} \quad (1.1)$$

La energía elástica se conforma por la energía almacenada de deformación elástica $E_{\text{potencial}}$ y por energía de movimiento $E_{\text{cinética}}$. La energía de entrada debe encontrarse en equilibrio y se plantea la ecuación 1.2.

$$E_{\text{elástica}} = E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinética}} \quad (1.2)$$

A partir de este momento nos centramos en las posibilidades que tiene una estructura para disipar energía. Una estructura tiene dos posibilidades de disipar energía. Una de ellas es por medio de energía de amortiguamiento ($E_{\text{amortiguamiento}}$) y la otra es por medio de energía histerética ($E_{\text{histerética}}$), la cual se basa en la ductilidad de sus miembros, la formación de articulaciones plásticas en ellos y un consecuente daño estructural, que en muchas ocasiones es apreciable. Reemplazando las anteriores ecuaciones tenemos:

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinética}} + E_{\text{amortiguamiento}} + E_{\text{histerética}} \quad (1.3)$$

La disipación de energía dentro de una estructura es posible por amortiguamiento viscoso, por fricción, por amortiguamiento histerético, por impacto y radiación. Se recalca que el principio fundamental del diseño sismorresistente se base en que la capacidad de disipación de energía de las estructuras debe ser mayor que la demanda de energía histerética. En la



actualidad, las nuevas tecnologías para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras dicen que la tendencia no debe ser rigidizar la estructura, sino más bien reducir la energía de entrada (E_{entrada}), o incrementar su capacidad de disipación de energía (E_{disipada}).

La disminución de la energía de entrada se puede lograr por medio del aislamiento de base, mientras que el incremento en la capacidad de disipación de energía de las estructuras se puede lograr por medio de dispositivos disipadores de energía.

La filosofía del diseño sismorresistente convencional se basa en aumentar las capacidades de resistencia y deformación de los elementos estructurales, teniendo siempre en cuenta los criterios de ductilidad. Cuando sobre estas estructuras actúa un sismo, se generan altas aceleraciones, altos esfuerzos y sustanciales derivas, las mismas que pueden dañar la estructura y llevarla incluso al colapso.

Por otra parte y en contraste con la filosofía de diseño convencional, las estructuras con aislamiento de base vibran como un cuerpo rígido, con grandes deformaciones de desplazamiento que son soportadas por los aisladores.

En la figura 1.1 (a) se muestra una estructura sin aislamiento de base, se ve como la aceleración del suelo es transmitida en gran medida a la superestructura, mientras que en la figura 1.1 (b) se muestra una estructura con aislamiento de base, en esta las fuerzas laterales no solamente que se



han reducido en magnitud, sino que se han redistribuido sobre los pisos, mitigando el momento que tiende a volcar la estructura.

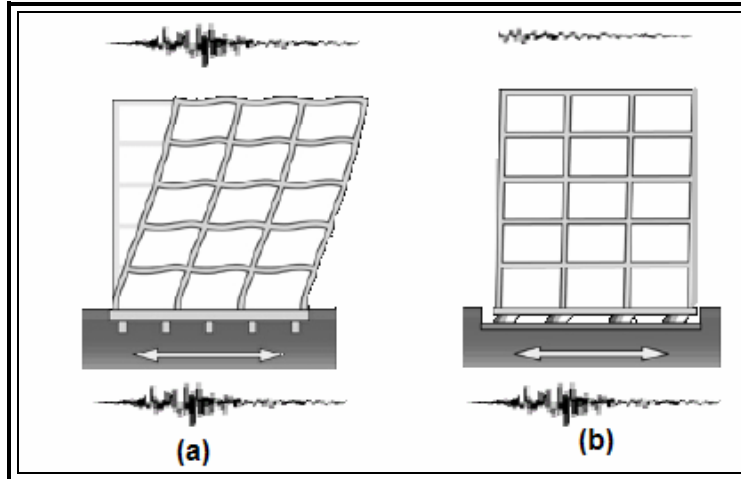


Figura 1.1: Comportamiento de una estructura sin aislamiento de base (a) y con aislamiento de base (b).

El aislamiento sísmico está orientado a reducir las fuerzas inducidas por el sismo en una estructura, esto se logra mediante la modificación de las siguientes propiedades dinámicas de la estructura:

- El incremento de su periodo fundamental (a valores que pueden estar comprendidos entre 2 y 2.5 seg.)¹, y
- El aumento de su amortiguamiento (a valores del orden de 10% o mayores).

Las modificaciones de las características dinámicas de una estructura a los niveles antes mencionados derivan en una mayor capacidad de esta para disipar energía o en una disminución de la energía de entrada en la estructura

¹ En el caso de aisladores FPS se pueden tener períodos de vibración mayores



inducida por el sismo. Es claro que esto no sería posible en estructuras “clásicas”, pues para obtener tales valores, sería necesario reducir las dimensiones de los elementos estructurales hasta el punto en el que con certeza no podrían soportar ni siquiera su peso propio.

En la figura 1.2 se muestra un espectro de aceleración para razones de amortiguamiento de $\xi = 5, 10, 15\%$. La flexibilización de la estructura, y el consecuente incremento de su período fundamental, hacen que la estructura incurra en rangos en los cuales las ordenas espectrales son mucho menores, con ello se reduce su demanda de deformaciones y se reducen los esfuerzos en los elementos estructurales.

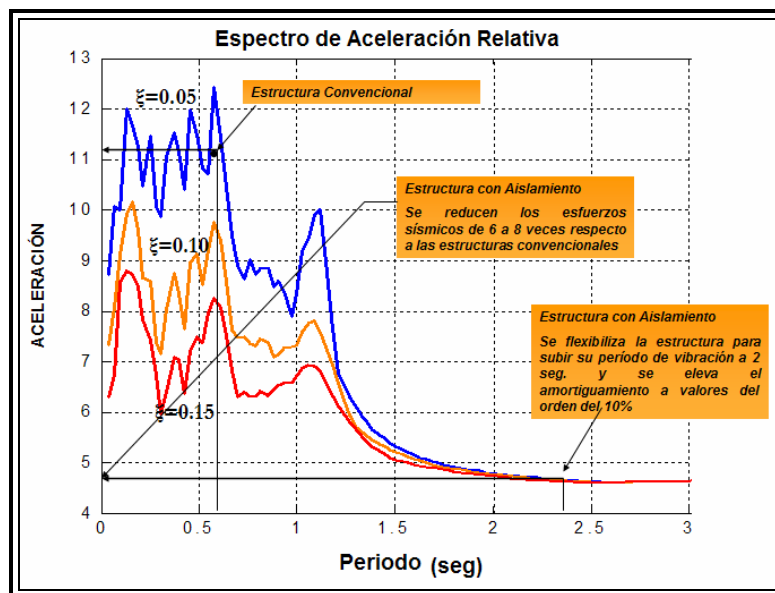


Figura 1.2: Espectro de aceleración para razones de amortiguamiento de $\xi = 5, 10$ y 15%

Pues bien, al analizar la figura 1.2, es claro que la conveniencia de usar aisladores de base depende de las formas de los espectros. En la figura 1.3 se



presenta el espectro de respuesta elástico del sismo de México 1985, vemos claramente que en este caso la utilización de aisladores de base es inadecuada, ya que por la forma del espectro, las ordenas espectrales son mayores y la respuesta sísmica se incrementa cuando tenemos un periodo fundamental cercano a 2 seg, que coincide con los valores de periodo que se tiene en estructuras con aislamiento de base.

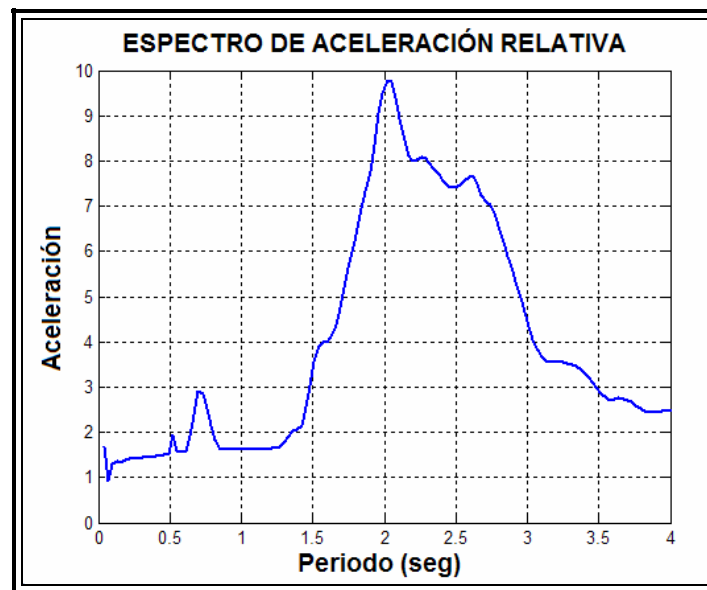


Figura 1.3: Espectro de aceleración sismo de México
valor de $\xi = 5\%$

Pero no solamente la forma del espectro determina la aplicabilidad del aislamiento sísmico. Este sistema tiene mayor efectividad en estructuras asentadas en suelos rígidos, y que tengan periodos fundamentales bajos. Por otra parte, no es efectivo en estructuras asentadas en suelos blandos y con periodos fundamentales altos.



1.3.- AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Básicamente un aislador elastomérico está formado por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas con placas planas de acero adheridas a la goma, mediante un proceso en el cual se aplica al conjunto presión a temperatura muy alta, la goma se vulcaniza y el elemento adquiere su propiedad elástica.

La notable flexibilidad lateral en el elastómero permite el desplazamiento lateral de los extremos del aislador, mientras que las láminas de refuerzo evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical, al punto de que el elemento resultante es prácticamente incompresible. Tanto en la parte superior como en la inferior se colocan dos placas de acero y sus pernos de anclaje, las mismas que van conectadas a la superestructura (la superior) y a la fundación (la inferior) como se muestra en la figura 1.4.

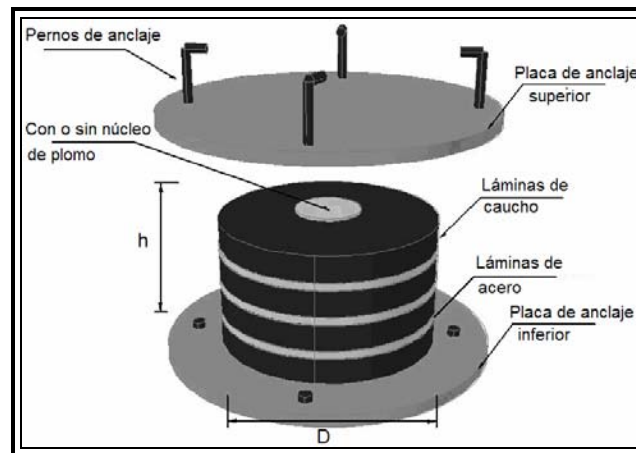


Figura 1.4: Detalle de un aislador elastomérico

Existen tres tipos de apoyos elastoméricos ampliamente usados: apoyos de caucho natural (NRB), apoyos de caucho con núcleo de plomo (LRB), y apoyos de caucho de alta disipación de energía (HDR).



Los aisladores elastoméricos pueden alcanzar importantes valores de amortiguamiento, para lo cual será necesario modificar la composición química de la goma, con lo cual se pueden esperar valores de amortiguamiento viscoso equivalente que fluctuarían entre 12% y 18%.

No obstante, si se quiere lograr niveles de amortiguamiento mayores (20% a 40%), se puede incorporar en el aislador un núcleo de plomo (LRB), tal como se muestra en la figura 1.4. El dispositivo resultante es idéntico al aislador elastomérico convencional salvo que en el centro del aislador se incorpora el núcleo de plomo que estará confinado por las láminas de goma y acero.

El núcleo de plomo cumple dos funciones principales. La primera es la de aumentar el amortiguamiento del aislador, pues el plomo puede fluir bajo deformación lateral, y la segunda, es la de proveer mayor rigidez lateral a la estructura, tanto para cargas de servicio como para cargas eventuales como por ejemplo las provenientes de viento. En conclusión al incorporar al aislador un núcleo de plomo, se tiene un elemento que combina en una unidad física un elemento flexible y un disipador de energía.

En la figura 1.5 se muestra un aislador elastomérico que está siendo ensayado, estos aisladores pueden alcanzar deformaciones laterales muy altas, los valores alcanzados son de entre el 100 y 200% de su altura. El material del que están hechos los aisladores tiene una flexibilidad que permite tener una deformación lateral que puede ser de hasta el 600%, esto desde el punto de vista de material exclusivamente, pues hablar de estos niveles de deformación es un aislador no tiene sentido. En tanto que el orden de las deformaciones en



el hormigón es de 3 milímetros por cada metro, lo que representa apenas un 0.3%.



Figura 1.5: Ensayo de un Aislador en el Laboratorio de Dinámica Estructural de la Universidad Católica (Chile)

Alrededor del mundo existen varias empresas que se han dedicado a fabricar este tipo de aisladores, una de las más importantes es la gigante japonesa Bridgestone, conocida mundialmente por la fabricación de neumáticos para vehículos. Otros proveedores son André (Inglaterra), Skellerup-Oiles (Nueva Zelanda), DIS (Estados Unidos), y VULCO (Chile). Otra empresa importante es Algasism, empresa radicada en Italia, y que desde 1985 ha venido fabricando aisladores elastoméricos. Entre las características principales de los aisladores LRB producidos por la empresa italiana podemos mencionar:

- Capacidad de carga superior a 15000 KN.
- Dimensiones desde 300mm hasta 1200 mm de diámetro.
- Alta protección contra envejecimiento, características y propiedades constantes.



- Poca necesidad de mantenimiento y facilidad de instalación

La tabla 1.1 muestra las propiedades y características de algunos aisladores elastoméricos del tipo LRB.

Tabla 1.1: Propiedades de aisladores LRB (Algasism)

LRB	Max carga Vert (KN)	Max despl. Retar (mm)	Max despl. Para Sismo (mm)	Despl. Total (mm)	Diam núcleo Plomo (mm)	Diam Caucho (mm)	Rigid Horiz K2 (KNm)	Rigid Horiz Keff (KNm)	Altura global Aislador H (mm)
LRB 300	700	40	72	112	30	300	0.490	0.774	197
LRB 400	1700	52	94	146	40	400	0.670	1.069	230
LRB 500	2800	64	115	179	50	500	0.850	1.230	263
LRB 600	4000	78	140	218	60	600	1.005	1.589	294
LRB 700	5700	90	162	252	70	700	1.185	1.710	348
LRB 800	7500	102	184	285	80	800	1.356	2.150	394
LRB 900	9500	102	184	286	90	900	1.729	2.733	394
LRB 1000	11000	105	189	294	100	1000	2.073	3.278	428
LRB 1100	14000	105	189	294	110	1100	2.509	3.966	428
LRB 1200	16000	105	189	294	120	1200	2.986	4.720	428

1.3.1 Estructuras con Aisladores Elastoméricos

En el Ecuador no se cuenta aún con ninguna estructura con aislamiento sísmico de base, sin embargo la construcción del puente Bahía de Caráquez – San Vicente, en el cual se implementarán aisladores de base del tipo FPS, sienta un precedente importante en la Ingeniería Sísmica del país. Actualmente existen numerosas aplicaciones de sistemas de aislamiento de base con apoyos elastoméricos en varios países tales como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Italia y en varios países latinoamericanos como Brasil, Chile y Colombia. A continuación se muestran algunas aplicaciones:



En los Estados Unidos tenemos entre otros a Los Angeles City Hall (figura 1.6), esta es la estructura con aislamiento de base más alta del mundo. Este edificio es el centro del gobierno de la ciudad de los Ángeles, California. Se terminó de construir en 1928, tiene 32 pisos y una altura total de 138m.



Figura 1.6: Los Angeles City Hall

Este edificio fue sacudido en 1994 por el sismo de Northridge, siendo los pisos más afectados el vigésimo quinto y vigésimo sexto, por sus características de pisos blandos. En la actualidad posee un sistema de aislamiento sísmico que le permitirá sufrir un daño mínimo y seguir funcionando ante un sismo de magnitud 8.2. Su sistema de aislamiento está compuesto por 450 aisladores elastoméricos, 70 apoyos deslizantes y 70 amortiguadores viscosos.

Por otra parte, el San Francisco City Hall fue diseñado en 1912 para reemplazar la estructura anterior que fue destruida en 1906 por el terremoto de San Francisco. Esta estructura de cinco pisos fue sacudida por el sismo de Loma Prieta en 1989, al igual que otras, sufrió importantes daños. Los



ingenieros recomendaron implementar en este edificio un sistema de aislamiento de base, para esto se usaron 530 cojinetes con núcleo de plomo para protegerla contra futuros daños. El City Hall es el edificio con aislamiento de base más grande del mundo. Ahora está diseñado para permanecer operativo incluso después de un gran terremoto. El trabajo de construcción en el sistema sísmico empezó en marzo de 1995 y está ahora completo.



Figura 1.7: San Francisco City Hall, California, USA.
530 aisladores elastoméricos con corazón de plomo

Japón es uno de los países para los cuales el diseño sísmico es prioridad, en tal virtud han desarrollado gran cantidad de mecanismos para la protección sísmica, entre ellos los aisladores de base. A juicio del autor, en ningún otro país en el mundo el aislamiento sísmico se ha difundido tanto como en Japón, pues su aplicación incluye viviendas, edificios, complejos industriales y fabulosos puentes.

El Hospital de la Universidad de Kyorin, está ubicado en la ciudad de Mitaka, fue construido por Takenaka Corporation. Su sistema de aislamiento incluye 83



aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) o Apoyos de Goma con núcleo de Plomo y 10 aisladores elastoméricos sin núcleo de plomo. Otra de las bondades que presentan los sistemas de aislamiento es que se evita la paralización post – sismo, aspecto de vital importancia sobre todo en edificios cuya función así lo demanda, como son hospitales, estaciones de bomberos, etc.



Figura 1.8: Hospital de la Universidad de Kyorin

Chile es probablemente el país latinoamericano en el cual la investigación y la implementación de aisladores de base en sus estructuras han tenido un importante desarrollo. Por citar un ejemplo podemos mencionar el edificio del Hospital Militar, en su superficie de cerca de 50 mil metros cuadrados, se instalaron 164 aisladores sísmicos, los cuales tienen una capacidad para cargas máximas verticales de 800 toneladas, estas características lo convierten en uno de los edificios más grandes del mundo construidos con este tipo de avance. Los aisladores elastoméricos colocados en esta estructura tienen 90 cm de diámetro y 30 cm de altura, con una separación de libre juego de



movimiento del edificio ante un sismo de 40 cm. Estos aisladores son los más grandes que se han usado en Chile.



Figura 1.9: Edificio del Hospital Militar

1.4.- AISLADORES TIPO FPS

Este tipo de aisladores utilizan las características de un péndulo simple para incrementar el periodo natural de una estructura aislada, el periodo de la estructura se selecciona simplemente escogiendo el radio de curvatura de la superficie cóncava del aislador. Básicamente estos dispositivos son de acero inoxidable y constan de una superficie cóncava, un patín esférico articulado y una platina de cubierta (ver Figura 1.10). Durante un sismo, el patín articulado se desliza en la superficie cóncava generando en la estructura soportada pequeños movimientos de péndulo. La disipación de energía se logra mediante la fuerza de fricción dinámica, la cual genera el amortiguamiento necesario para absorber la energía de entrada. En consecuencia, las fuerzas y movimientos laterales transmitidos a la estructura se reducen en gran



proporción, pues las grandes deformaciones de desplazamiento son soportadas por los aisladores.

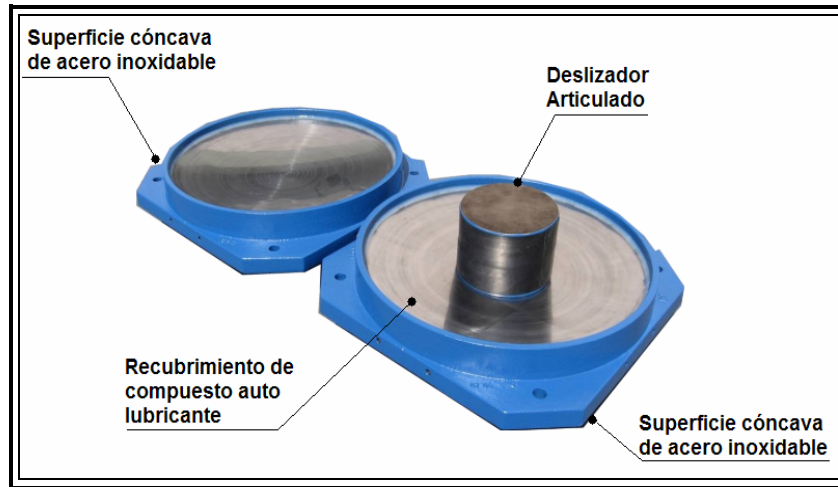


Figura 1.10: Detalle de un aislador tipo FPS

Muchos detalles de los dispositivos friccionales son importantes y no resultan obvios, como por ejemplo que el "deslizador" es de forma lenticular esférico de modo que el deslizador esté en contacto con la superficie cóncava en un área y no un solo punto, como sería el caso al tener un deslizador perfectamente esférico. Este detalle evita que la superficie esférica de acero se raye, pues dicha superficie es pulida como un espejo, y cualquier rayón podría impedir el desplazamiento libre del aislador. El deslizador está recubierto por un Politetrafluoroetileno, PTFE o teflón de alta resistencia, que tiene un coeficiente de fricción bajo y tiene por objeto evitar la ralladura de la superficie esférica de acero, este material permite trabajar con presiones de diseño cercanas a 500 Kg/cm².

La superficie cóncava y la superficie del deslizador tienen el mismo radio, lo que permite un buen encaje y una distribución de presión bajo cargas verticales



relativamente uniforme. Los dispositivos pueden montarse en posición hacia arriba o hacia abajo (figura 1.11), la operación del aislador es conceptualmente la misma en términos de efecto de aislamiento, pero diferentes para las implicaciones de diseño en la superestructura y en la cimentación (efecto $P-\Delta$).

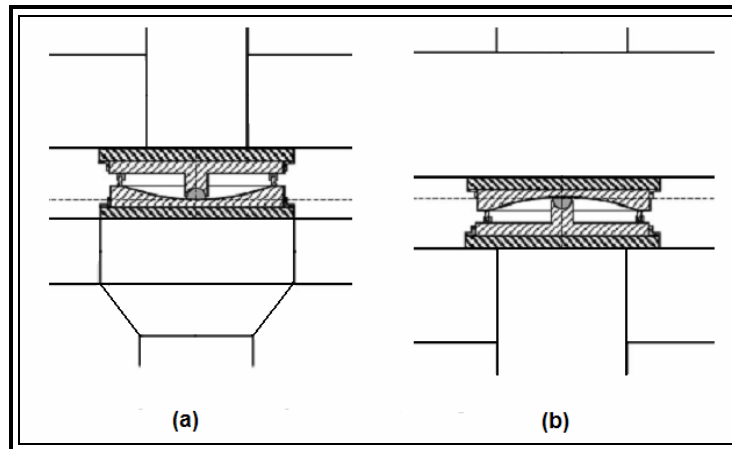


Figura 1.11: Aislador FPS en posición hacia abajo (a) y hacia arriba (b)

Una de las características más relevantes de los FPS es que los desplazamientos residuales son reducidos debido a la acción auto – centrante que es inducida por la concavidad de la superficie esférica. Típicamente un aislador FPS puede proveer un periodo de vibración dinámico equivalente dentro de un rango de 2 a 5 segundos y una capacidad de desplazamiento superior a 1 m.

Un aspecto muy importante de los FPS es que el período de la estructura es independiente de la masa de la estructura soportada, lo cual es una gran ventaja sobre los aisladores de tipo elastomérico, ya que menos factores son involucrados en la selección del aislador. Es así que en los aisladores elastoméricos, para incrementar el periodo de un aislador sin variar las



dimensiones en planta, uno tiene que incrementar la altura del aislador, la cual está limitada por requerimientos de estabilidad. Para los FPS, uno puede variar el periodo simplemente cambiando el radio de la superficie cóncava, en tal virtud el tamaño del aislador será principalmente controlado por el máximo desplazamiento de diseño. Otra ventaja del FPS es que tiene una muy alta capacidad de carga vertical, unos 130000 KN, una capacidad muy superior a la de los aisladores elastoméricos, que como se citó anteriormente alcanzan valores de 15000 KN.

El sistema FPS hace que la estructura aislada se comporte como una estructura con base fija cuando las cargas laterales en la estructura son menores que la fuerza de fricción. Una vez que las cargas laterales exceden esta fuerza de fricción, como en el caso de excitaciones debidas a acciones sísmicas, el sistema responderá en su periodo de aislamiento. El coeficiente de fricción dinámica puede variar en un rango de 4 a 20% para permitir diferentes niveles de resistencia lateral y de disipación de energía.

1.4.1 Estructuras con Aisladores FPS

El uso de los aisladores tipo Péndulo Friccional cada vez es mayor, estos dispositivos han sido implementados con éxito en Edificios, puentes, aeropuertos, complejos industriales, plataformas de perforación petrolera e inclusive en obras de arte. Es importante destacar que en el puente Bahía de Caráquez – San Vicente se implementarán péndulos de fricción de tercera generación. A continuación se presentan algunas de las estructuras que incorporan este tipo de sistema de aislamiento.



El Pasadena City Hall en California es un claro ejemplo de que los aisladores de base funcionan muy bien cuando son incorporados en estructuras ya existentes. Este emblemático edificio sufrió daños tras el sismo de Northridge en 1994 y a partir de esa fecha comenzaron las investigaciones para determinar cual era la mejor alternativa para protegerlo contra eventos sísmicos futuros. Uno de los principales retos que tuvieron los investigadores y diseñadores fue que la estructura estaba dentro de la lista de patrimonios culturales, por lo tanto, las intervenciones estructurales de ninguna manera podían modificar su arquitectura.



Figura 1.12: Pasadena City Hall, California

El Aeropuerto Internacional de San Francisco fue diseñado para resistir un sismo de magnitud 8, considerando su cercanía a la falla de San Andrés. Los 267 Péndulos de Fricción, protegen a este edificio de los movimientos severos de la tierra cuando ocurre un sismo fuerte. Este sistema de aislamiento ha sido el de menor costo, y provee el comportamiento sísmico deseado. El uso de aisladores tipo FPS en lugar de aisladores elastoméricos, ha permitido la



disminución en el tamaño de vigas y columnas, con lo cual se ahorraron 600 toneladas adicionales de acero estructural.



Figura 1.13: Aeropuerto Internacional de San Francisco

Mills-Peninsula Health Services New Hospital, está localizado a dos millas de la falla de San Andrés, su superficie es de 42000 m². Ha sido diseñado para resistir hasta un sismo de magnitud 8.



Figura 1.14: Mills - Peninsula Health Services New Hospital



Los 176 aisladores tipo FPS son instalados entre la cimentación y las columnas del edificio, estos permiten desacoplar la estructura para que pueda moverse 30 pulgadas en cualquier dirección durante un sismo.

Una aplicación importante de los aisladores FPS la encontramos en puentes, este tema no es motivo del presente trabajo, sin embargo, en la figura 1.15 se muestra lo que será la primera estructura con aislamiento sísmico en el Ecuador, el Puente Bahía de Caráquez – San Vicente.



Figura 1.15: Modelo del futuro puente Bahía de Caráquez –San Vicente

1.5.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de la presente investigación radica en que constituye un aporte al desarrollo de la Ingeniería Sísmica en el país. El avance de la ciencia y la técnica no ha dejado de lado a la Ingeniería Civil, en tal virtud en la actualidad se dispone de dispositivos y conceptos innovadores para el diseño y construcción de estructuras sismorresistentes, los mismos que han sido brevemente revisados en el presente capítulo. Si bien es cierto que en el



Ecuador recién estamos incursionado en este campo del Aislamiento Sísmico, también debemos recalcar que nuestros vecinos nos llevan algunos años de ventaja, por lo que se justifica aún más la necesidad de desarrollar una investigación seria en torno a este tema, que nos evite quedarnos rezagados, y que nos permita acortar la brecha tecnológica existente entre los países desarrollados y los llamados países en vías de desarrollo. Una investigación que nos ayude a entender de mejor manera el comportamiento, las bondades y limitaciones, así como los problemas que se presentan en estructuras que incorporan sistemas de aislamiento sísmico, y que a la postre nos permita definir, o a su vez adaptar una normativa acorde a las características y a la realidad de nuestro país, pues cabe señalar que en la actualidad el CEC 2000 no contempla una normativa sobre estructuras con aislamiento sísmico.



REFERENCIAS

1. Bueno R, Reyes J.C., (2005), "Criterios para el uso de aisladores en la base de una estructura en concreto". Universidad de los Andes. 11p Bogotá, Colombia.
2. Gonzáles Herrera R., (2001), "Modelación estructural y comparación económica de edificios con asilamiento en la base". Universidad de los Andes. 9 p, Bogotá, Colombia.
3. Casarotti C., (2004), *Bridge Isolation and Dissipation Devices*, Tesis para optar por el grado de Master en Ciencias de la Ingeniería. University of Pavia and Rose School. 164 p, Pavia, Italia.
4. Seguín E., (2007), Torsión en sistemas aislados sísmicamente con dispositivos elastoméricos, Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. 229 p., Santiago de Chile.
5. Zayas V.A., Earthquake Protection Systems. Friction Pendulum Bearings. www.earthquakeprotection.com.