



Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil

Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

N° A13-13 REHABILITACION DE UN EDIFICIO DE MARCOS MEDIANTE AISLACION BASAL

Fernando Elorza¹, Ruben Boroschek², Patricio Bonelli¹

1.- Departamento de Obras Civiles Universidad Técnica Federico Santa María
Casilla 110 V, Valparaíso, Chile

e-mail: patricio.bonelli@usm.cl

2.- Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Blanco Encalada 2002, Santiago Chile

e-mail: rborosch@ing.uchile.cl

RESUMEN

En un estudio de vulnerabilidad se detectó que las columnas de un edificio de marcos de cinco podrían fallar al corte a bajos desplazamientos. Al aislar el edificio en la base se pueden disminuir las deformaciones laterales y por lo tanto, el corte en las columnas. En este trabajo se muestran los resultados de un estudio un proyecto de aislación del edificio en su base. Se consideraron aisladores de goma, agregándose núcleos de plomo en los aisladores que están en el perímetro para disminuir los desplazamientos y controlar las vibraciones ante viento o sismos menores. El análisis con los registros de Viña del Mar y Lolleo, del terremoto del 3 de marzo de 1985 en Chile Central, da una respuesta lineal para las columnas siendo suficiente su resistencia actual al corte. El análisis con un registro artificial obtenido a partir del registro de Llayllay, del mismo sismo, detecta una posible falla al corte en las columnas centrales. Se concluye que a pesar de la incorporación de aisladores, sería recomendable de todas maneras encamisar todas las columnas del edificio, dado que al aumentar el periodo del sistema la influencia de los modos superiores se hace significativa.

Palabras Claves: aislamiento, falla al corte, modos superiores.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Los marcos de hormigón armado, diseñados a mediados de la década del 70, han quedado vulnerables a fallas al corte, que pueden ocurrir a bajos desplazamientos laterales, siendo necesario reforzar los elementos para suministrarles una ductilidad adecuada. Se ha planteado como una alternativa, disminuir las demandas de deformación y por lo tanto los esfuerzos en los elementos. Para ello se puede aislar el edificio en su base o rigidizar la estructura agregando muros o marcos con arriostramientos en diagonal.

En un proyecto de refuerzo de un Hospital en el Norte de Chile, se estudiaron diferentes alternativas para evitar que las columnas tuvieran una falla frágil al corte (Bonelli, Boroschek, 2004). Se optó por confinar las columnas en sus bases y agregar muros de hormigón armado. Los muros, además de disminuir las demandas de desplazamientos, modifican la deformada en la vertical disminuyendo drásticamente las demandas de corte en las columnas en los pisos superiores. Los giros en las bases de las columnas hacen necesario proveerlas localmente de ductilidad.

En este trabajo se muestra un diseño de un sistema de aislación en la base, planteado como una posible alternativa para reforzar el edificio de marcos que forma parte de dicho hospital. En la figura 1.1 se muestra un esquema de la planta del segundo piso del edificio y de uno de sus ejes longitudinales. El edificio es de cinco pisos, con plantas regulares y simétricas. Las columnas son de sección transversal cuadradas de 70 [cm]. de ancho en los dos primeros pisos y de 60 [cm] en el resto.

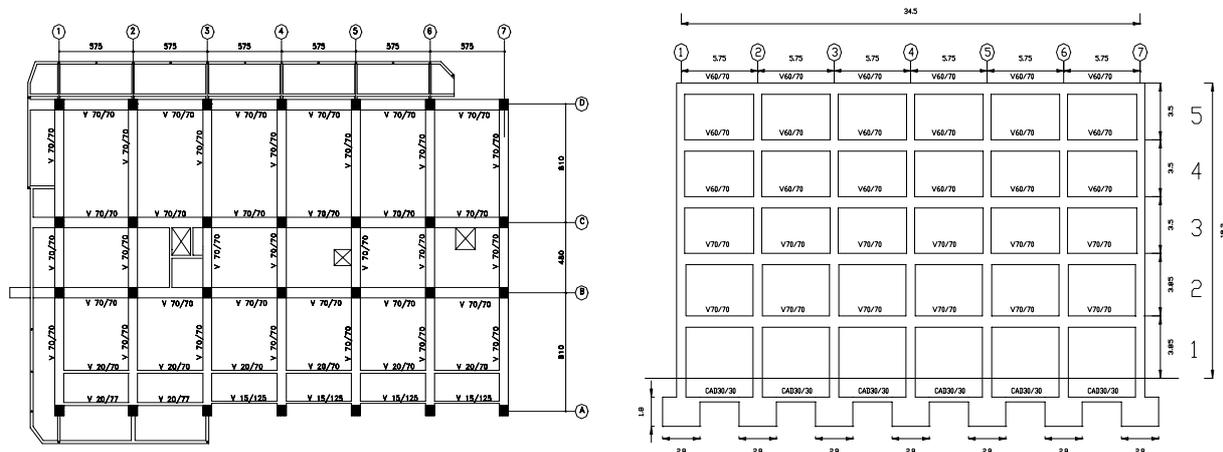


FIGURA 1.1. PLANTA Y ELEVACIÓN DE UN EJE LONGITUDINAL DEL EDIFICIO DE MARCOS

El edificio aparece como vulnerable a una falla al corte en las columnas, vigas y nudos a desplazamientos en el techo del orden de los 5 [cm], según estudios previos. El sistema de aislación debería garantizar que el edificio no sobrepase la resistencia actual de sus elementos, que en las columnas está controlada por el corte.

2. SOLICITACIÓN SÍSMICA DE DISEÑO

El edificio está en una Zona 3, de alta sismicidad, sobre un suelo tipo III, de acuerdo a la clasificación de la norma chilena de Diseño Sísmico de Edificios, NCh33Of.96.

El terremoto del 3 de marzo de 1985, ha sido el evento sísmico de mayor magnitud registrado en una zona epicentral en Chile, con una magnitud Ms 7.8. Algunos de los registros obtenidos por la red de acelerogramas, son compatibles con el tipo de suelo del Hospital, seleccionándose para este estudio los registros de Ventanas, Llay-Llay y Viña del Mar.

Para cumplir con la Norma NCh 2745.Of.2003 se generó además un registro artificial con un espectro de respuesta compatible con el espectro especificado en la norma. El registro artificial se obtuvo a partir del registro de Llay-Llay.

3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON AISLADORES

Existen distintas formas de incluir los aisladores en un modelo de análisis. Se pueden usar resortes horizontales y verticales con propiedades equivalentes, o bien, considerar la ley constitutiva no lineal usando un modelo bilineal.

El análisis se hizo con el programa Sap-2000 asimilándose los aisladores a resortes lineales equivalentes, considerándose un amortiguamiento global a través de un factor de escalamiento del espectro de Diseño (SMP) según lo establecido por la Norma de Aislación Sísmica NCh 2745 Of.2003. En los análisis no lineales se usó el elemento Isolate 1.

4. RIGIDEZ Y AMORTIGUAMIENTO GLOBAL DE LA ESTRUCTURA

El sistema de aislación debe ser capaz de evitar cualquier fallas frágil, posibles de ocurrir en el marco que se estudia. Para ello se debe verificar que el corte en los elementos que aparecen como vulnerables, no supere su resistencia.

La resistencia al corte de cada elemento se calculó con las expresiones del ACI 318-99.

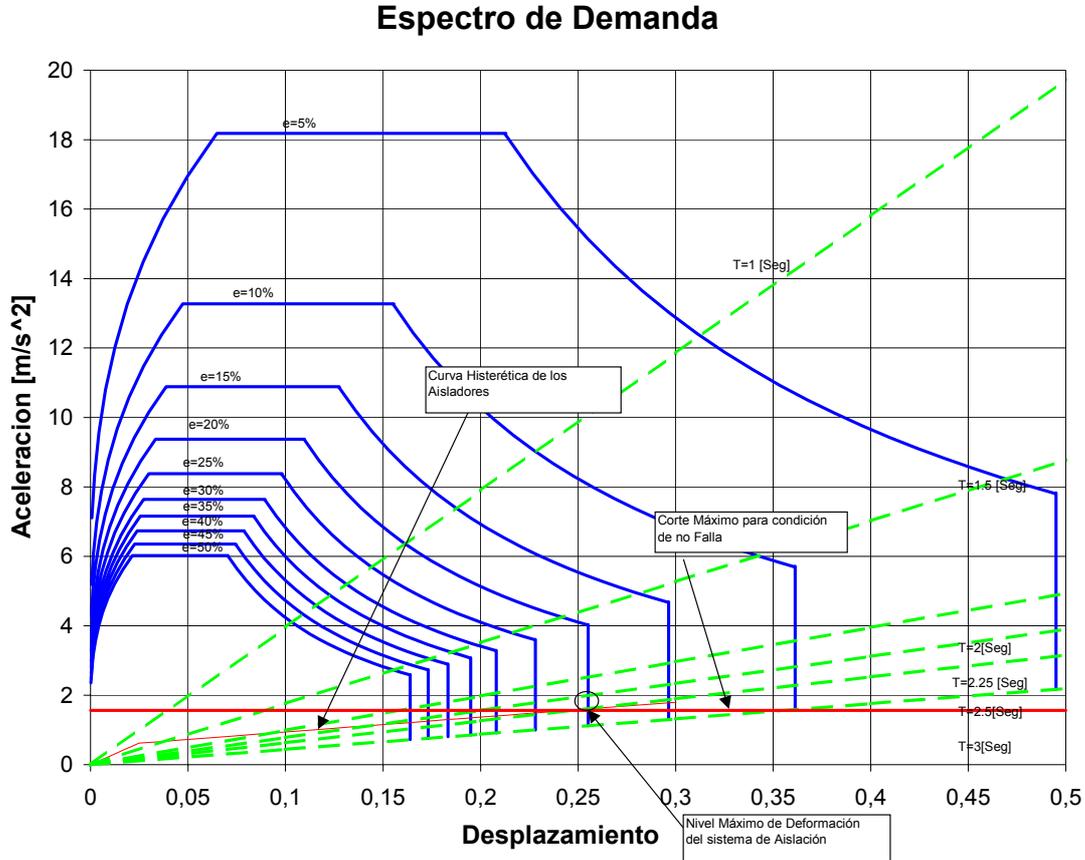
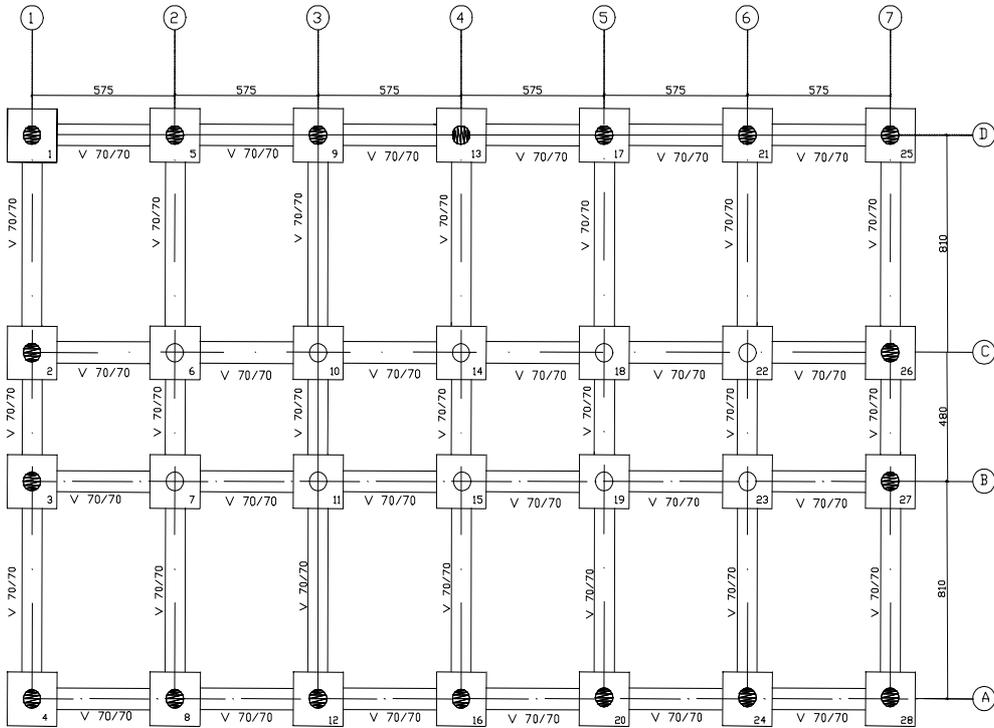


FIGURA 4.1. ESPECTROS DE DEMANDA Y CAPACIDAD

Para garantizar una resistencia mínima de la estructura aislada, la Norma de Aislación exige que el desplazamiento mínimo de diseño para una Zona III y un Suelo 3, sea de por lo menos 243 mm. Se garantiza de esta manera que la estructura tenga cierta resistencia a fuerzas laterales. En la figura 4.1 se dibujaron los espectros de demanda de la norma y las curvas de respuestas del sistema con aisladores. Se escogió finalmente un periodo de $T=2.5$ [Seg] y una razón de amortiguamiento respecto al crítico de un $\xi=15\%$, satisfaciendo así los mínimos de la norma. Con estos valores se obtiene un desplazamiento de 276 mm. No se justifica un amortiguamiento mayor porque no se conseguiría una reducción significativa ni del desplazamiento máximo ni del corte máximo en el plano de aislación.

Se consideraron cuatro tipos de goma para los aisladores. Los tres primeros son producidos por la Empresa Vulco S.A. El cuarto tipo se especificó en el Edificio Habitacional Andalucía. En la tabla 4.1 se incluyeron las propiedades de cada uno de ellos. Los aisladores internos están sometidos a cargas axiales del orden de 440 Ton, produciendo una gran deformación de corte en el aislador. La máxima deformación de corte de diseño de la goma es de un 250%, para no superarla se redujo la deformación de corte de diseño del aislador a un 100%.

En la figura 4.2 se muestra el plano de la planta mostrándose la distribución de los aisladores propuestos.



PLANTA DE ESTRUCTURAS PISO DE AISLACION CUERPO I1

FIGURA 4.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS AISLADORES

En la tabla 4.2 se hace un resumen de las propiedades del sistema de aislación utilizado. Para obtener las propiedades de rigidez y amortiguamiento equivalente de los aisladores elastoméricos y con corazón de plomo se probaron diversas soluciones hasta llegar a los valores de la tabla 4.3. La rigidez horizontal equivalente ante el desplazamiento del espectro de diseño es 3996.431 [Ton/m], y el amortiguamiento equivalente del sistema de aislación es de un 15 %.

TABLA 4.1. PROPIEDADES DE LAS GOMAS ESPECIFICADAS PARA LOS AISLADORES

Deformación de Corte [%]	Módulo de Corte de la Goma				Amortiguamiento de la Goma				
	G1 [Kg/cm ²] Compuesto 1	G2 [Kg/cm ²] Compuesto 2	G3 [Kg/cm ²] Compuesto 3	4 [Kg/cm ²] Compuesto 4	Deformación de Corte [%]	e1 [Kg/cm ²] Compuesto 1	e2 [%] Compuesto 2	e3 [%] Compuesto 3	e4 [%] Compuesto 4
50	7.2	4.8	10.5	6.1	50	13	4	8.8	9.7
100	6	4.2	8.6	5.12	100	12	3.5	7.7	8.3
150	5	3.5	7.9	5.2	150	10	3.2	4.7	7.15

Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica
IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción - Chile

TABLA 4.2. PROPIEDADES DEL AISLADOR

Tipo de Sistema de Aislación		Unidades
Cantidad de Aisladores elastoméricos	10	
Cantidad de Aisladores con núcleo de plomo	18	
Masa de la estructura	631.683	Ton/g
Periodo Equivalente	2.5	Seg
Amortiguamiento Equivalente	15	%
Periodo Inicial	1.37	Seg
Periodo Post Fluencia	2.90	Seg
Razón de corte de Fluencia v/s Peso	5.11	%
Razón de corte de Máximo v/s Peso	17.83	%
Fuerza de Fluencia	316.224	Ton
Desplazamiento de Fluencia	0.021	Mts
Desplazamiento Último	0.276	Mts
Fuerza Desplazamiento Último	1103.474	Ton
Razón Corte de Nch 433 of 963 v/s Masa	8	%
Razón Corte por Viento v/s Peso	1.1	%
1.5*Razón de corte de Fluencia v/s Peso	7.66	%
Grado de No linealidad conjunto	21	%
Periodo de base fija X	0.56	
Periodo de base fija Y	0.6	
Razón de periodos caso X, fase Elástica	2.45	
Razón de periodos caso X, Fase Plástica	5.17	
Razón de periodos caso Y, Fase Elástica	2.29	
Razón de periodos caso Y, Fase Plástica	4.83	

TABLA 4.3. PROPIEDADES EQUIVALENTES DE LOS AISLADORES

Propiedades	Tipo de Aislador		Unidades
	Elastomérico	Elastomérico con núcleo de plomo	
Diámetro de la goma	107	77	cm
Altura de la goma	28	28	cm
Diámetro del núcleo de plomo	---	6.7	cm
Rigidez Horizontal Equivalente	195.491	113.510	Ton/m
Amortiguamiento Equivalente	12	17.2	---
Desplazamiento	27.6	27.6	cm

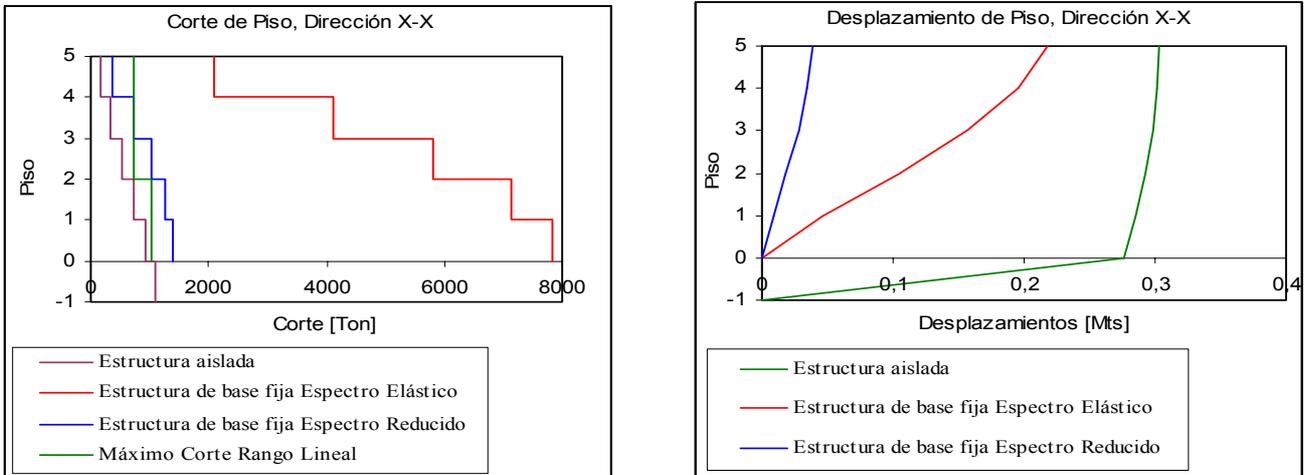


FIGURA 4.3. CORTE EN ESTRUCTURA AISLADA Y DESPLAZAMIENTOS LATERALES

En la figura 4.3 izquierda se muestra el corte de diseño de la estructura aislada y se compara con el corte calculado para una estructura empotrada en su base. Además se dibujó el corte proveniente del espectro elástico en una estructura convencional sin aplicar factores de reducción. En la figura de la derecha se comparan los desplazamientos laterales para los tres casos.

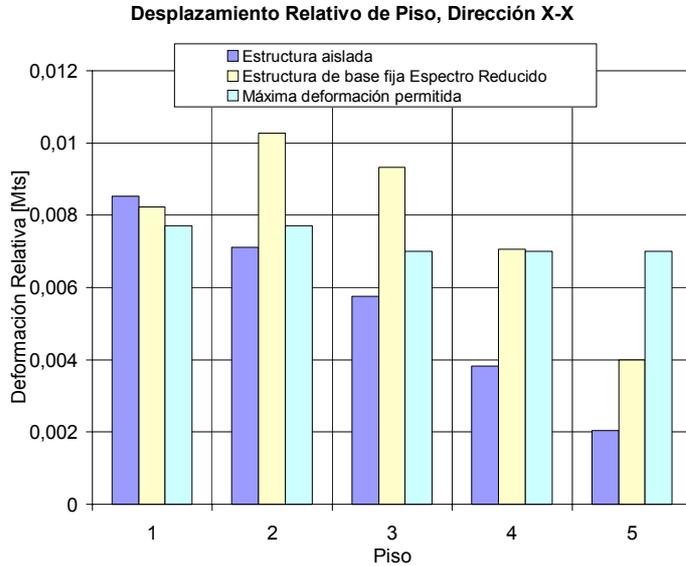


FIGURA 4.4. CORTE EN LA ESTRUCTURA AISLADA Y DESPLAZAMIENTOS LATERALES

En la figura 4.4 se comparan los desplazamientos relativos calculados para la estructura aislada con los calculados para una estructura convencional con el espectro reducido de la norma NCh433Of.96, que se podría interpretar como los desplazamientos que podrían ocurrir bajo sismos frecuentes. Se indicó en la figura el desplazamiento relativo permitido, para cada piso.

5. DEMANDAS GLOBALES CON EL ESPECTRO MÁXIMO POSIBLE (SMP)

En la figura 5.1 se comparan los esfuerzos de momento y corte con la resistencia que las columnas actualmente poseen a la flexión y al corte respectivamente. En el cálculo de la resistencia a la flexión y al corte se consideraron las fuerzas axiales actuantes durante la respuesta.

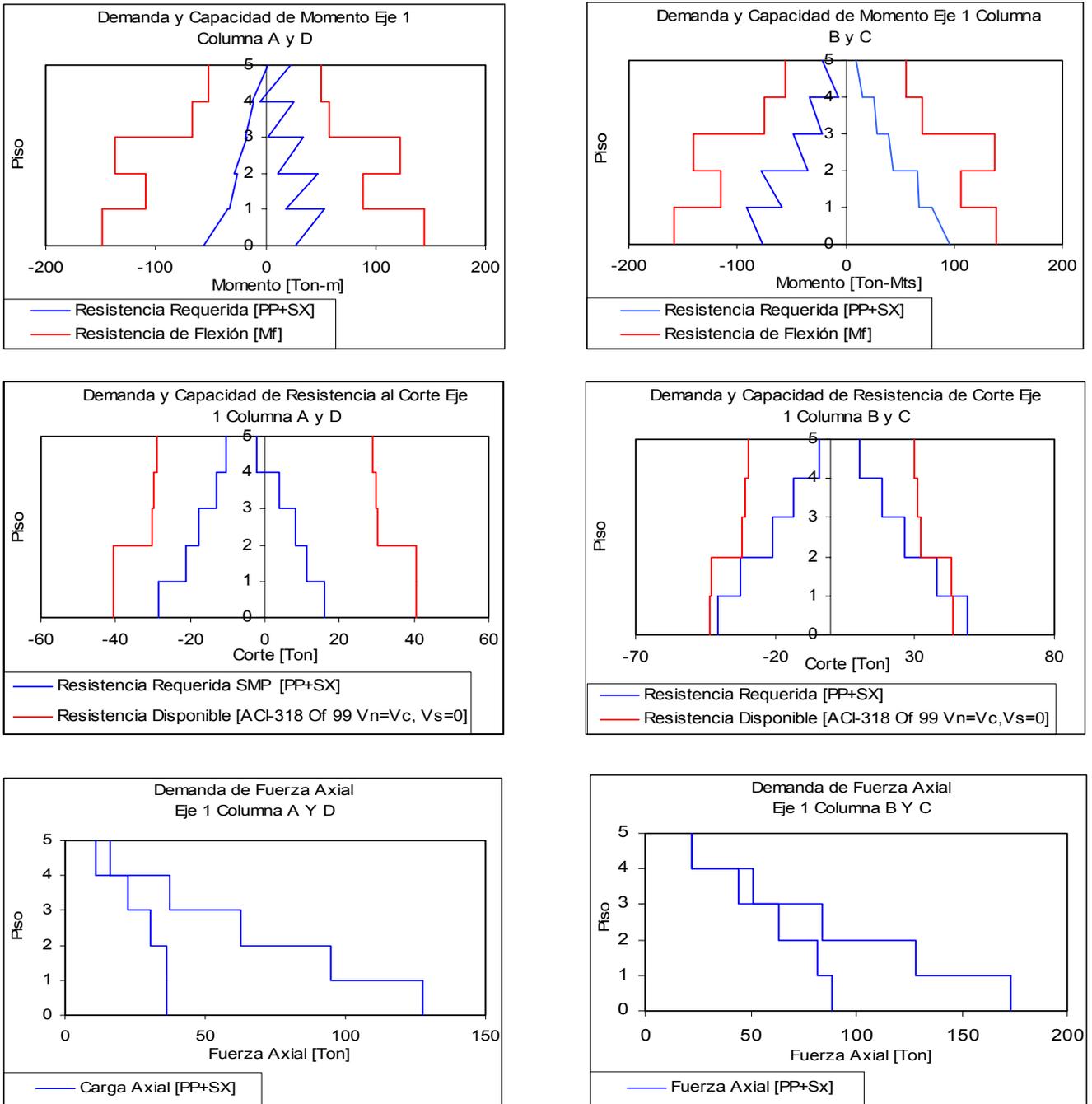


FIGURA 5.1. ESFUERZOS INTERNOS CALCULADOS PARA LA ESTRUCTURA AISLADA

6. ANÁLISIS DINÁMICO

En el análisis dinámico no lineal se utilizaron la componente S20W de Viña del Mar (1985), escalada a 0.55g, para considerar la aceleración máxima estimada para el lugar en un estudio de vulnerabilidad Sísmica realizada en la zona, la componente N10E de Llole (1985), y un Registro Artificial propuesto a partir del registro de Llay-Llay (1985), con un espectro de respuesta compatible con el Espectro de Diseño (SMP), según lo exige la norma de diseño de estructuras aisladas vigente en Chile.

Para los dispositivos de goma y con núcleo de plomo se usó un modelo bilineal, que representa muy bien la respuesta del aislador con núcleo de plomo. En el SAP2000 se eligieron los resortes Plastic 1 e Isolator 1, desarrollados especialmente para aisladores. En la tabla 6.1 se muestran las propiedades de los aisladores elastoméricos sin núcleo de plomo y de los aisladores con núcleo de plomo.

TABLA 6.1 PROPIEDADES DE LOS AISLADORES

Propiedad	Unidades	Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo. Tipo 1-2-3	Aislador Elastomérico Tipo 4
Modulo de Corte 100%	Kgf/m ²	60000	60000
Diámetro aislador	m	0,77	1,07
Area del aislador	m ²	0,462	0,899
Altura del Aislador	m	0,276	0,276
Diámetro núcleo de plomo	m	0,067	----
Area núcleo de plomo	m ²	0,003525	----
Esfuerzo de Fluencia plomo	Kgf/m ²	1000000	----
Fuerza de Fluencia plomo	Ton	3,597	----
Rigidez después de fluencia	Ton/m	79,423	154,538
Desplazamiento de fluencia	m	0,0276	0,0276
Fuerza a desplazamiento cero	Ton	3,597	----
Fuerza de fluencia	Ton	11,597	15,564
Rigidez Inicial (antes de la fluencia)	Ton/m	420,184	563,948

En el programa SAP-2000 se utilizaron los siguientes valores para el aislador sin corazón de plomo:

Rigidez inicial 563,948 [Ton-Mts]

Factor de rigidez, entre la rigidez pos fluencia y rigidez inicial 0.274

Fuerza de fluencia del dispositivo 15,564 [Ton]

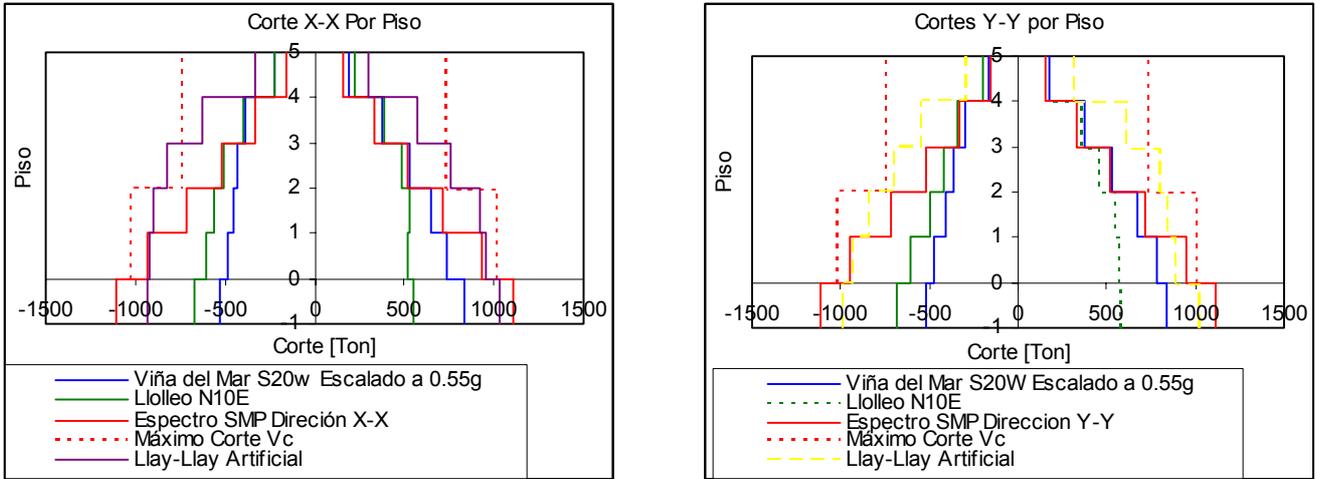
Y para el aislador con corazón de plomo:

Rigidez inicial 420,184 [Ton-Mts]

Factor de rigidez, entre la rigidez pos fluencia y rigidez inicial 0.189

Fuerza de fluencia del dispositivo 11,597 [Ton]

En la figura 6.1 se muestran los diagramas de corte en la altura calculados con los registros considerados.



6.1. ESFUERZOS DE CORTE CALCULADOS PARA LA ESTRUCTURA AISLADA

El corte en la base varía entre 500 y 1100 toneladas, dependiendo del tipo de registro considerado. En la figura 6.2 se dibujaron las aceleraciones máximas esperadas en cada piso, valores útiles de considerar en el diseño de elementos secundarios. Nótese que se puede llegar a aceleraciones de 0,3g.

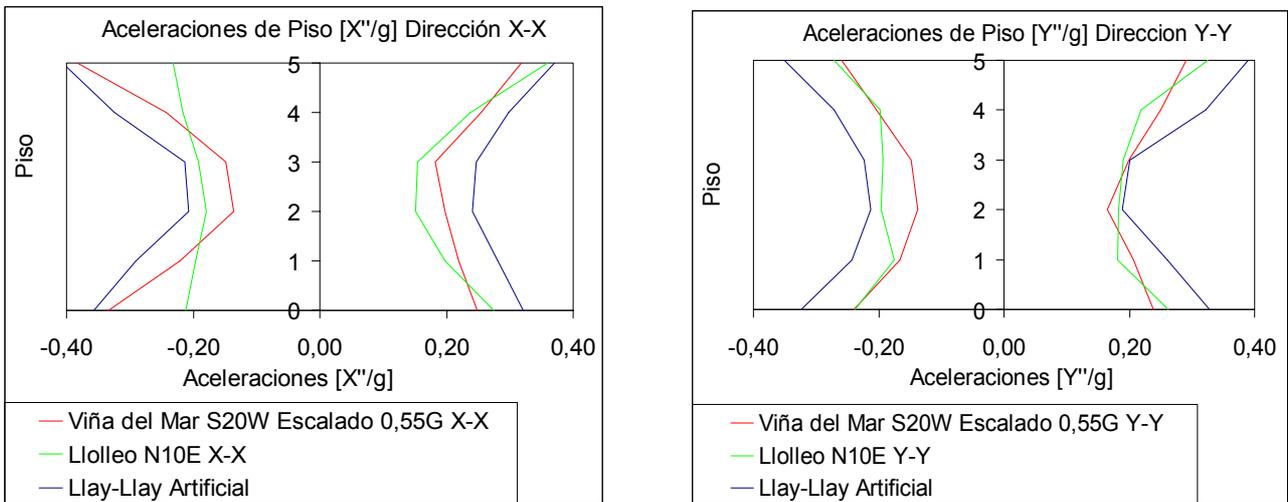


FIGURA 6.2 ACELERACIONES MÁXIMAS POR PISO EN LA ESTRUCTURA AISLADA

En la figura 6.3 se dibujaron los desplazamientos laterales relativos al suelo de fundación. Nótese que el modelo refleja bien la concentración de desplazamientos laterales en el aislado quedando efectivamente la estructura aislada. Se esperarían desplazamientos del orden de los treinta centímetros, valores que deben considerarse en el diseño del aislador y en el detallamiento de los ductos que ingresan al edificio.

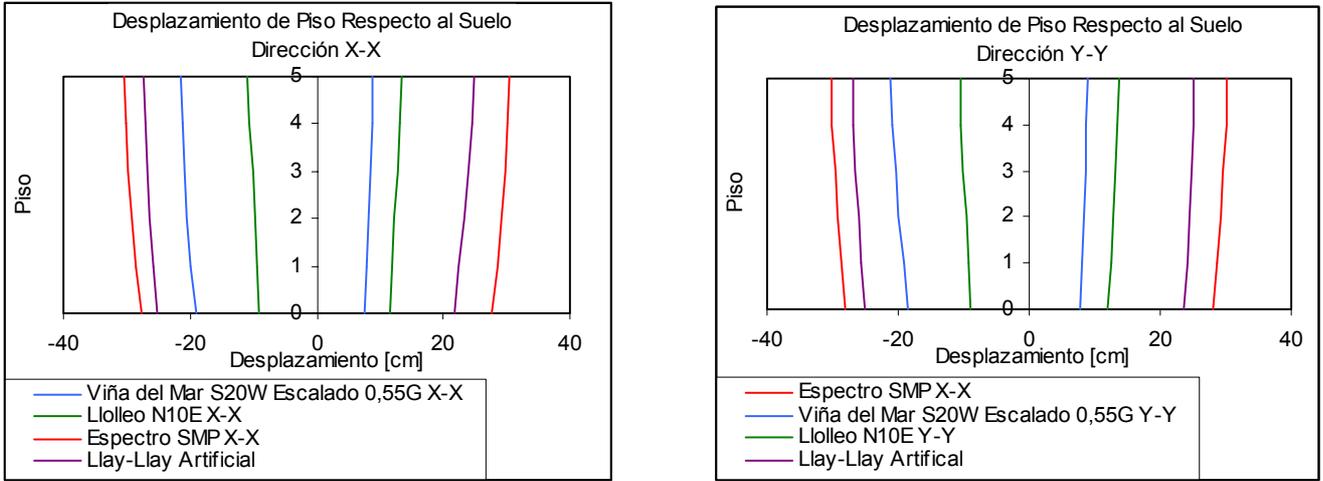


FIGURA 6.3. DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LA ESTRUCTURA AISLADA RESPECTO A LA FUNDACIÓN

En el diseño de los elementos no estructurales interesa conocer el desplazamiento relativo de entrepiso, que además es el desplazamiento relacionado con los esfuerzos internos en la estructura aislada. En la figura 6.4 se muestran los desplazamientos laterales relativos a la base del edificio, medidos justo sobre el aislador.

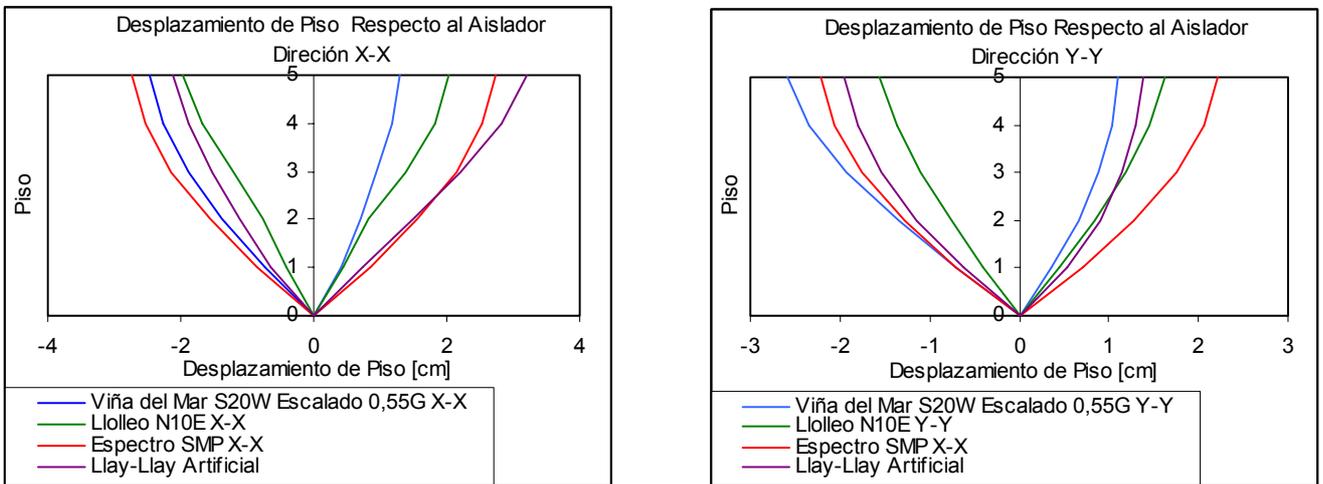


FIGURA 6.4. DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LA ESTRUCTURA AISLADA RESPECTO A LA BASE DE LA ESTRUCTURA SOBRE EL AISLADOR

En el caso de la estructura aislada es de interés conocer los esfuerzos que se generan. Los marcos actuales del edificio en estudio tienen una resistencia limitada al corte, mientras no se alcance, pueden responder prácticamente sin daños, pero si se llega a alcanzar las columnas podrían fallar frágilmente conduciendo a un colapso. Por esta razón es indispensable aumentar su resistencia al corte, encamisándolas por ejemplo,

además de disminuir las demandas de corte. Las bajas demandas de deformación del sistema aislado tienen la ventaja adicional de proteger el contenido y asegurar el funcionamiento del hospital inmediatamente después del sismo. En la figura 6.5 y 6.6 se dibujaron los máximos esfuerzos de corte que tendrían las columnas y la máxima demanda de resistencia a la flexión.

Se puede comprobar que en ningún caso se supera la resistencia al corte de las columnas en el análisis en la dirección Y-Y, pero sí en la dirección X-X en algunos de los registros considerados. Lo mismo en el caso de la flexión pero el alcanzar la resistencia a la flexión sólo implica que la columna fluye, no siendo motivo de preocupación porque la fluencia no está ligada a una falla dado que la columna debe tener capacidad de rotar.

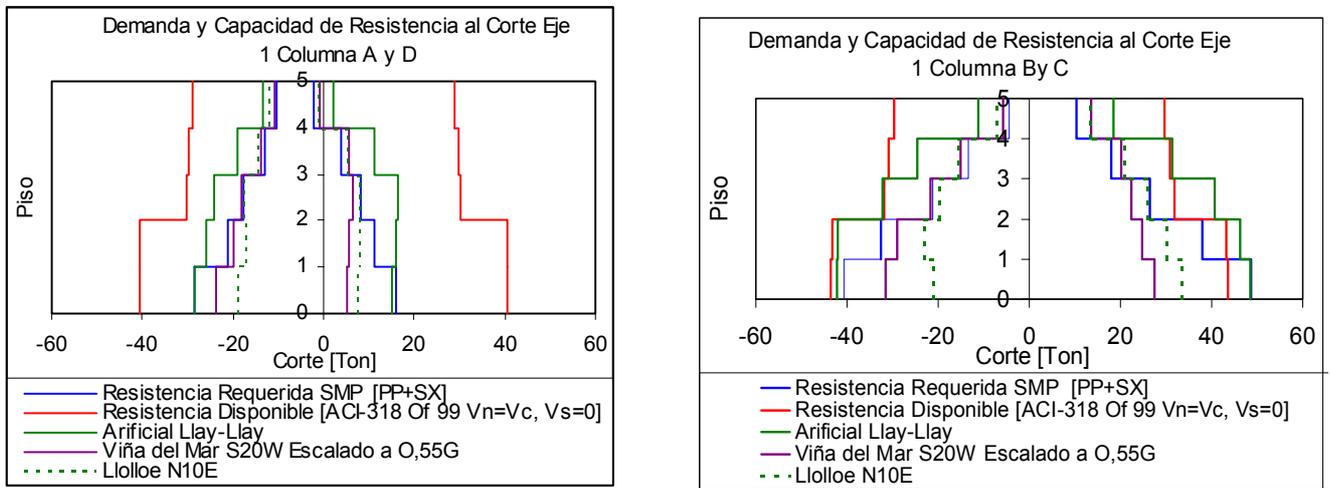


FIGURA 6.5. ESFUERZOS DE CORTE EN LA ESTRUCTURA AISLADA

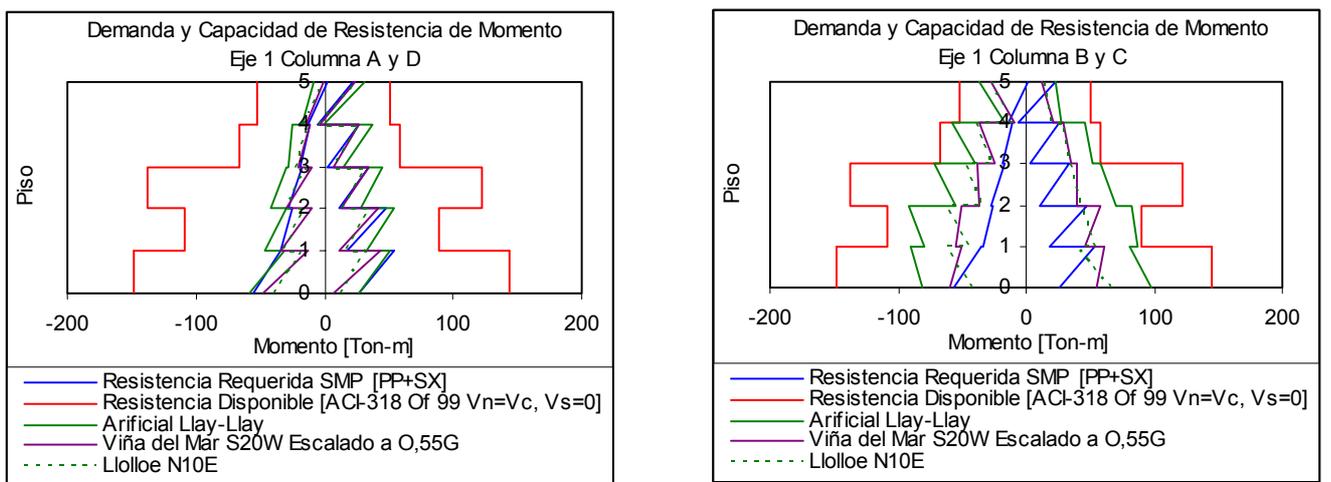
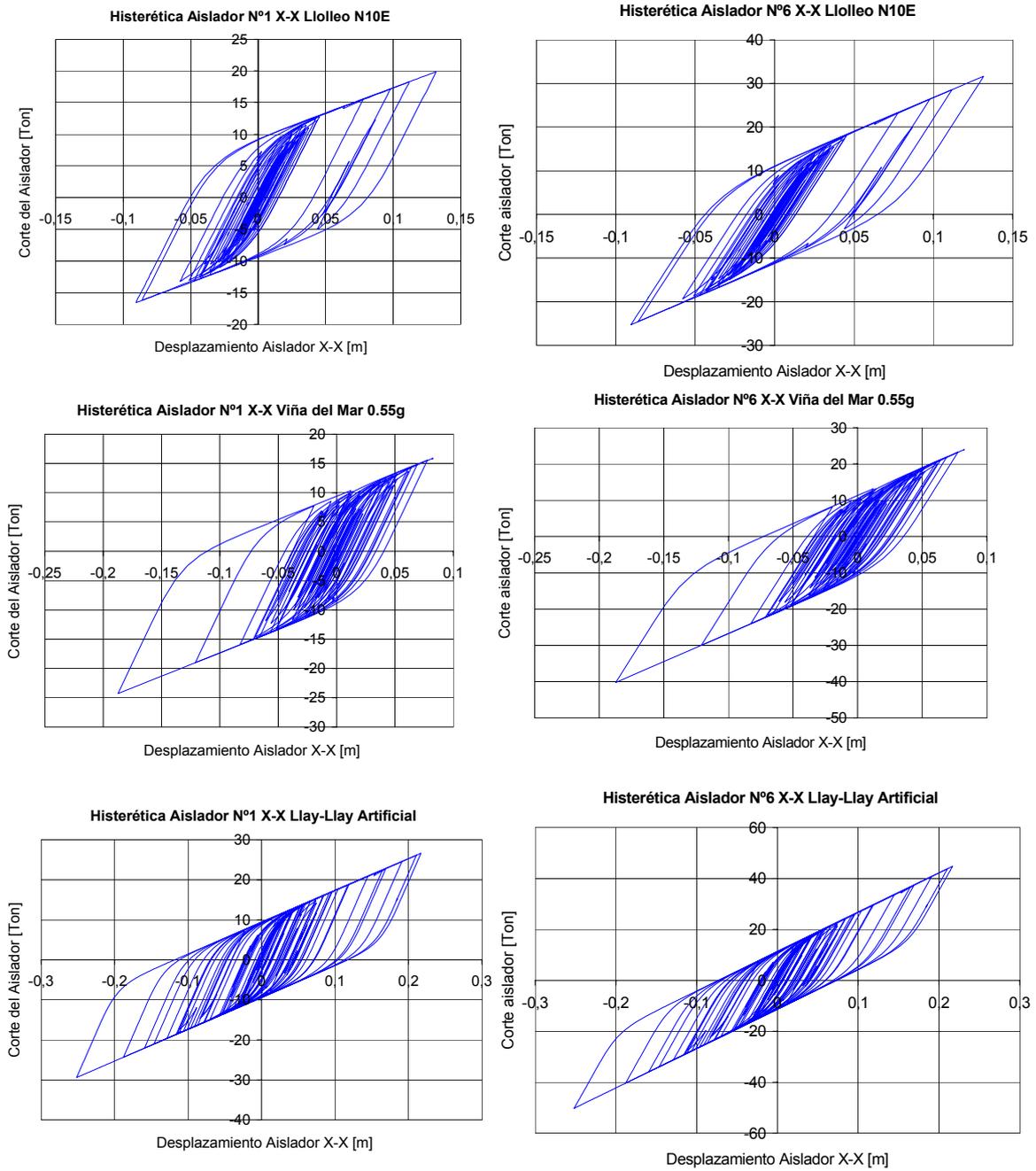


FIGURA 6.6. MOMENTOS DE FLEXIÓN EN LA ESTRUCTURA AISLADA

Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica
IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción - Chile



Aislador N°1: Aislador elastomérico con núcleo de plomo.

Aislador N°2: Aislador elastomérico.

FIGURA 6.7. CURVAS DE HISTÉRESIS CALCULADAS PARA LOS AISLADORES

7. CONCLUSIONES

El sistema de aislación propuesto permite efectivamente disminuir la demanda de deformación global sobre la estructura, concentrándola casi completamente en el aislador, disminuyendo las demandas internas en las columnas y las vigas del marco del Hospital, respecto a la situación actual.

Se escogió un periodo de aislación de $T=2.5$ seg. y un aislador con un amortiguamiento de un 15% respecto al amortiguamiento. Un aumento del periodo y del amortiguamiento en el aislador no disminuye significativamente la respuesta de la estructura, siendo necesario reforzar las columnas de los dos primeros pisos de todas maneras. Un aumento del amortiguamiento hace más significativa la participación de los modos superiores, sobrepasándose la resistencia de los elementos de los pisos superiores.

En los resultados del análisis no lineal con el registro artificial derivado a partir del registro de Llay-Llay, se observa la importancia de considerar la participación de los modos superiores. Ante este registro sería necesario reforzar todas las columnas centrales hasta el cuarto piso.

Un análisis espectral modal con la estructura aislada respondiendo linealmente, no detecta este tipo de demandas a nivel de elemento, siendo recomendable verificar la respuesta con un análisis dinámico no lineal.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María, en la memoria de título de don Fernando Elorza.

REFERENCIAS

Patricio Bonelli, Rubén Boroschek., *“Reinforced concrete structural walls as solution to retrofit a R/C frame”* *Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation*. Proceedings of an International Workshop. Bled, Slovenia. June 28-July 1, 2004. PEER Report 2004/05 Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, September 2004.