

INFORME QUE PRESENTA EL ING. JOSE GRASES A LA OFICINA  
 PANAMERICANA DE LA SALUD SOBRE LA VISITA A LA CIUDAD DE LOS  
 ANGELES (27 Sept - 4 Oct 1994)

SISTEMAS DE AISLAMIENTO SISMICO

CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	2
2.	SISTEMAS DE AISLAMIENTO PASIVOS .....	2
2.1.	Sistema de Aislamiento Tipo Péndulo de Fricción (SAPF) .....	7
2.1.1.	Apartamentos Hawley, San Francisco .....	8
2.1.2.	U.S. Court of Appeals, San Francisco .....	9
2.2.	Sistema de Aislamiento sobre Apoyos de Goma y Elevado Amortiguamiento .....	11
2.2.1.	USC Teaching Hospital, Los Angeles .....	11
2.2.2.	Sede del Cuartel de Bomberos de Los Angeles .....	13
3.	TECNOLOGIAS DE CONTROL ACTIVO .....	16
3.1.	Sistema de Contraventeo Activo .....	16
3.2.	Masas Amortiguadoras Activas .....	20
3.3.	Amortiguamiento de vibración por Impacto .....	20
4.-	CONCEPTOS BASICOS .....	20

## SISTEMAS DE AISLAMIENTO SISMICO

### 1.- INTRODUCCION

Los sistemas de aislamiento sísmico se han venido empleando con frecuencia creciente en los últimos años. Actualmente se tiene conocimiento sobre edificaciones, puentes y otras obras con algún tipo de aislamiento sísmico en: USA, Nueva Zelanda, Japón, Italia, Macedonia, México y otros países.

De una manera general, los sistemas que alteran la respuesta dinámica de una edificación se pueden agrupar en: sistemas pasivos y sistemas activos. Los primeros son sistemas de aislamiento elastomérico, disipadores de energía o de deslizamiento; a este grupo pertenecen la casi totalidad de construcciones protegidas, sean nuevas o intervenidas con tal fin. El segundo grupo, los sistemas de control activo, son de desarrollo más reciente.

En este Informe se describen aspectos relevantes de los sistemas de aislación sísmica y se describen experiencias recientes de edificaciones que han sobrevivido acciones sísmicas intensas sin daños, así como criterios de análisis y diseño aplicados a edificaciones existentes.

### 2.- SISTEMAS DE AISLAMIENTO PASIVOS

Están basados en el principio de desacoplar la edificación o estructura, de las vibraciones sísmicas intensas, suministrando: flexibilidad adicional y una mayor

capacidad de disipación de energía. Esto por medio de aisladores especialmente diseñados dispuestos entre la fundación y la superestructura. En la Figura 1 se describe lo anterior sobre una forma espectral típica.

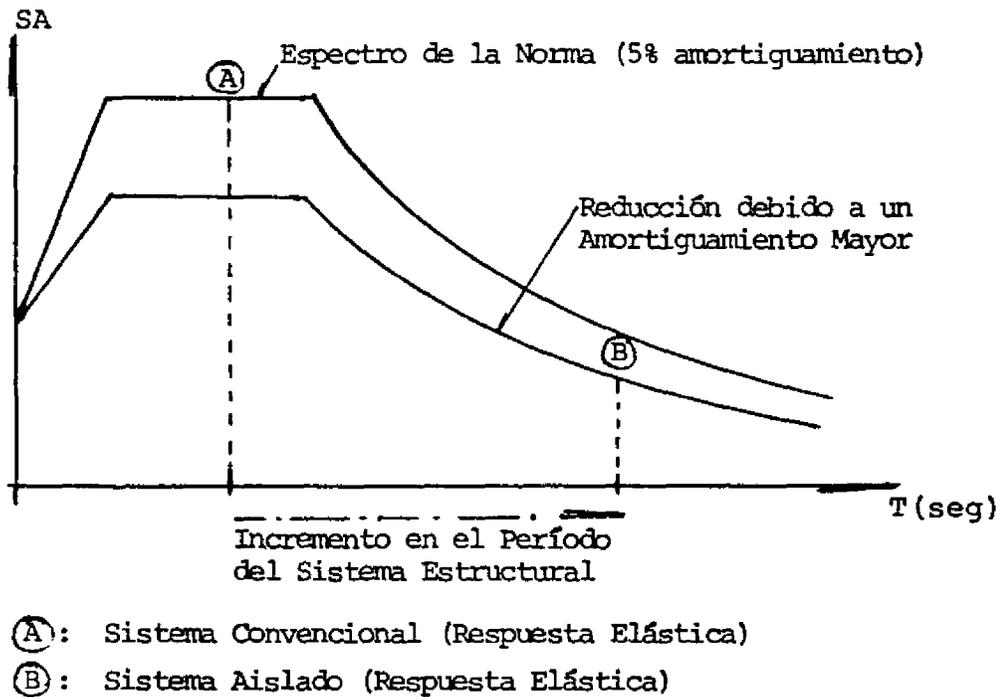


Figura 1 Forma Espectral Típica y Cambios Inducidos por el Sistema de Aislamiento

Con un aumento en el período fundamental del sistema estructura-aislador, se pueden reducir considerablemente las aceleraciones espectrales. Esto va apareado con incrementos en los desplazamientos laterales que pueden ser contrarrestados incrementando el amortiguamiento del sistema de aislamiento sísmico. En la Figura 2 se comparan las deformadas aproximadas del diseño convencional y el diseño con aislamiento sísmico.

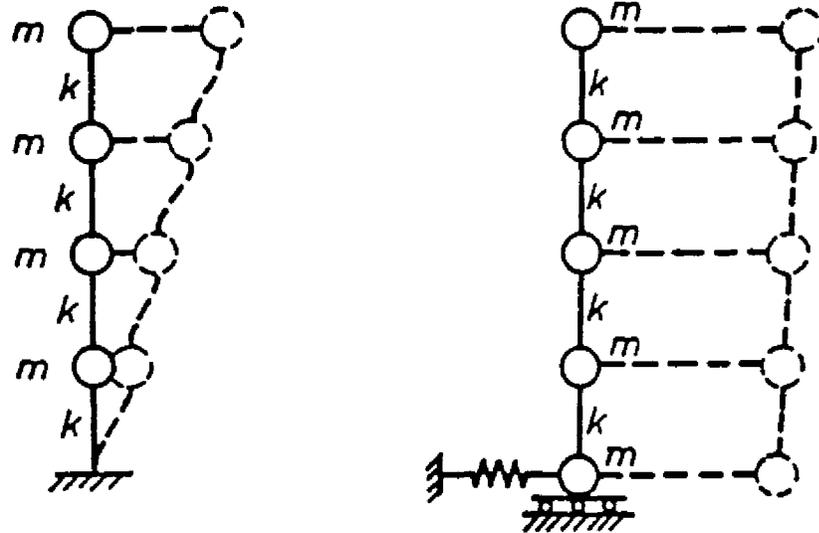
(a) **Diseño Convencional**(b) **Diseño con Aislamiento Sísmico**

Figura 2 Comparación entre las Deformadas de Diseño Convencional y con Aislamiento Sísmico

En la Tabla 1, se reproduce una lista de edificaciones ubicadas en los Estados Unidos de Norte América con aislamiento sísmico de tipo pasivo. En esa lista sólo se incluyen edificios construidos, o que se encontraban en fase de construcción, para 1992. Destacan en esa tabla los enumerados 4 y 5 pues sobrevivieron sin daños el sismo del 17 de Enero de 1994 ( $M = 6,6$ ) con epicentro a unos 35 km de distancia aproximadamente (véase la Sección 2.2).

En la Tabla 2 se listan obras en fase de proyecto, también en los Estados Unidos de Norte América, en las cuales los sistemas de aislación ya seleccionados son también

#	Structure	Isolation System	Construction Completed	Floors/Size (m <sup>2</sup> )	Structural System
1	Foothill Communities, Law and Justice Center, San Bernardino, CA	98 high-damping rubber bearings	1986	5/3280	Steel braced frame
2	Flight Simulator Manufacturing Facility, Salt Lake City, Utah	40 lead-rubber + 58 rubber bearings	1988	5/10780	Steel moment frame
3	Salt Lake City and County Building, Salt Lake City, Utah	208 lead-rubber + 239 rubber bearings	1989	5/15800	URM bearing wall/ steel braced frame for clock tower
4	USC Teaching Hospital, Los Angeles, CA	67 lead-rubber + 82 rubber bearings	1990	8/27800	Steel braced frame
5	Fire Command and Control Facility, Los Angeles, CA	32 high-damping rubber bearings	1990	2/3040	Steel braced frame
6	Two Townhouses, Los Angeles, CA	- Each - 17 spring units + 6 viscoelastomer units (seismic + vibration isolation)	1990	3/440 3/400	Steel braced frame
7	Hawley Apartments, San Francisco, CA	31 friction pendulum system (FPS) bearings	1990	4/1860	Wood bearing wall/steel moment frame at first floor
8	Rockwell Building 80, Seal Beach, CA	52 lead-rubber + 26 rubber bearings	1991	8/27900	R/C moment frame
9	MacKay School of Mines, Reno, Nevada	64 high-damping rubber bearings + 42 teflon sliders	Retrofit in progress (to be completed in 1992)	3/4650	URM bearing wall
10	US Court of Appeals, San Francisco, CA	256 friction pendulum system (FPS) bearings	Retrofit in progress (to be completed in 1994)	5/31500	Steel frame/URM in-fill/R/C shear walls
	R/C: Reinforced Concrete, URM: Unreinforced Masonry				

TABLA 1

LISTA DE EDIFICACIONES CON AISLAMIENTO SISMICO EN LOS ESTADOS  
UNIDOS DE NORTEAMERICA

#	Structure	Status	Original Structural System	New Structural System	Isolation System	Motivating Factors for Selecting Isolation	Owner
1	Salt Lake City and County Building, Salt Lake City, Utah	Completed 1989	1894 5-story URM bearing wall with 67 m clock tower	Steel braced frame for clock tower, floor strengthening	208 lead rubber + 239 rubber bearings	Historical building preservation	Salt Lake City Corporation
2	Rockwell Building 80, Seal Beach, CA	Completed 1991	1967 8-story R/C moment frame	R/C moment frame at perimeter and floor 1 to 6	52 lead rubber + 26 rubber bearings	Functionality	Rockwell International
3	Hawley Apartments, S. in Francisco, CA	Completed 1991	1920 4-story wood bearing wall	Steel moment frame at 1st floor	31 friction pendulum system bearings	Design economy	Private
4	MacKay School of Mines, Reno, Nevada	Completed 1992	1908 3-story URM bearing wall	Floor ties/wall anchors, new basement	64 high-damping rubber bearings + 42 teflon sliders	Historical building preservation	University of Nevada, Reno
5	U.S. Court of Appeals, San Francisco, CA	Retrofit in progress (to be completed 1994)	1905 4-story steel frame/URM in-fill with 1933 addition	R/C shear walls, limited floor strengthening	256 friction pendulum system bearings	Historical building preservation	General Services Administration
6	Long Beach VA Hospital, CA	Final design in progress	1967 12-story, R/C shear walls	Strengthening of basement columns	144 lead rubber bearings + 12 teflon sliders	Functionality	Veterans Administration
7	State of California Justice Building, San Francisco, CA	Conceptual design completed in 1992, awaits funding	1916 6-story steel frame/URM in-fill	R/C shear walls	170 high damping rubber bearings	Investment protection	State of California
8	50 UN Plaza Building, San Francisco, CA	Conceptual design completed in 1992, awaits funding	1936 6-story steel frame with R/C floors/brick in-fill	R/C shear walls	Isolation system to be selected in competitive bidding	Investment protection, functionality	General Services Administration
9	San Francisco Asian Art Museum, San Francisco, CA	Conceptual design completed, awaits funding	1916 3-story steel frame/URM in-fill	R/C shear walls	Not yet decided (approx 200 isolators)	Content protection	City of San Francisco
10	Oakland City Hall, Oakland, CA	Conceptual design completed, funding status unknown	1914 steel frame/URM in-fill with 99 m clock tower	R/C shear walls, steel braced frame for tower	Not yet decided (approx 100 isolators)	Design economy	Oakland City

TABLA 2

LISTA DE OBRAS EN FASE DE PROYECTO EN LOS CUALES SE EMPLEAN SISTEMAS DE AISLAMIENTO SISMICO

pasivos. Destacan allí los enumerados como 3 y 5; el primero ya culminado (Sección 2.1.1) y el segundo en fase de terminación (véase Sección 2.1.2).

## 2.1.- Sistema de Aislamiento Tipo Péndulo de Fricción (SAPF)

Una breve cronología sobre el desarrollo de este sistema es la siguiente:

1986: Ensayos de corte-compresión, en modelos de aisladores, escala 1:4, con período fundamental de un segundo.

1986: Ensayos en estructuras de acero de 2 niveles, escala 1:1, con períodos entre 0,3 y 3.0 seg; excentricidades torsionales de 45%.

1989: Ensayos en modelos (escala ?) para estudiar materiales con bajo coeficiente de fricción. Para velocidades de deslizamiento hasta de 50 cm/seg los coeficientes de fricción dinámica se mantuvieron por debajo de 0,05.

1989-1991: Ensayos en modelos 1:4 de estructuras de 6 y 7 niveles. Los modelos aislados alcanzaron aceleraciones entre 6 y 8 veces las correspondientes a modelos no aislados. Esbelteces de  $H/B = 2$ .

1990-1992: Ensayos con tableros de puentes y con columnas de apoyo flexibles.

1992: Ensayos de estructuras con elementos de mampostería no reforzada (¿portantes?) utilizando SAPF tamaño natural. Especial énfasis en evaluar los fenómenos torsionales.

1993: Ensayos compresión-corte de prototipos de aisladores con períodos fundamentales de 2,75 seg. Fuerzas de compresión variaron desde 44 kips a 1275 kips. La velocidad de desplazamiento se varió entre 3 mm/seg a 500 mm/seg.

#### 2.1.1.- Apartamentos Hawley, San Francisco (Caso # 3, Tabla 2)

Esta edificación está entre las primeras aisladas sísmicamente en el norte de California. El edificio original sufrió daños con el sismo de Loma Prieta en 1989, sufriendo un desplazamiento lateral de unos 70 cm a nivel de garage.

Se contruyó una nueva estructura metálica para soportar los tres niveles superiores de madera. La estructura metálica, culminada en 1991, se apoyó sobre los asiladores; no hay una estructura rígida inmediatamente sobre los aisladores.

Los análisis dinámicos muestran que para el sismo de diseño, la demanda de ductilidad en la parte superior de la edificación, se redujo de 38 a 1.

El costo de los aisladores representó un 10% del costo total de la reparación.

2.1.2.- U.S. Court of Appeals, San Francisco (Caso # 5, Tabla 2)

Este es un edificio-monumento, de 350.000 pies<sup>2</sup>, de 5 niveles (unos 25 metros de altura) con una estructura metálica que soporta muros hechos con bloques de granito y ladrillo, no reforzado, el cual sufrió algunos daños con el sismo de 1989. Será aislado con SAPF con lo cual los cortantes se reducen unas 4,5 veces; las derivas máximas se reducen 6,2 veces. Además, requiere disponer algunos muros de corte.

Los aisladores van bajo las columnas de acero existentes, las cuales quedarán embutidas en una camisa y pedestal de concreto, del cual arrancan vigas perimetrales de acero; este sirve de apoyo temporal para poder cortar las columnas.

El edificio original fue construido en 1905 con fundaciones directas; en 1935 fue ampliado y esa parte fue dispuesta sobre pilotes de 10 m de longitud. Su planta es de 95 m x 81 m y una altura de 25 m. Pesa 57.000 toneladas. Parte de su resistencia lateral es confiada a muros interiores que se dañaron con el sismo del año 89.

El sistema de aislamiento seleccionado fue el SAPF (Sistema de Aislamiento por Péndulo de Fricción) en base a la comparación de la Tabla 3. Se observa allí que a fin

de lograr reducciones en el corte basal es preciso incrementar considerablemente el volumen total y la altura de los sistemas elastoméricos. En contraste, el Sistema de Péndulo de Fricción resulta más eficiente pues no requiere aumentar la altura y sólo aumentos moderados del volumen.

TABLA 3

COMPARACION ENTRE LOS DESEMPEÑOS ESPERADOS DE DIFERENTES SISTEMAS CONSIDERADOS EN EL AISLAMIENTO DEL US COURT OF APPEALS

ISOLATION SYSTEM	ISOLATION SYSTEM PERFORMANCE	MAXIMUM STRUCTURE SHEAR/WEIGHT		
		0.125	0.142	0.158
Lead-rubber Bearing	Isolation Period	3.15 secs	2.75 secs	2.50 secs
	Isolation Displ.	356 mm	330 mm	305 mm
	Interstory Drift Ratio	0.0029	0.0035	0.0041
	Max. Floor Accel	0.36g	0.37g	0.41g
	Bearing Height	900 mm	672 mm	572 mm
	Bearing Volume	100.74 m <sup>3</sup>	68.32 m <sup>3</sup>	55.32 m <sup>3</sup>
Friction Pendulum Bearing	Isolation Period	2.75 secs	2.50 secs	2.30 secs
	Isolation Displ.	305 mm	254 mm	254 mm
	Interstory Drift Ratio	0.0031	0.0035	0.0037
	Max. Floor Accel	0.44g	0.43g	0.42g
	Bearing Height	229 mm	229 mm	229 mm
	Bearing Volume	25.60 m <sup>3</sup>	20.88 m <sup>3</sup>	20.88 m <sup>3</sup>
High Damping Bearing	Isolation Period	3.50 secs	3.25 secs	2.75 secs
	Isolation Displ.	508 mm	508 mm	508 mm
	Interstory Drift Ratio	0.0028	0.0028	0.0036
	Max. Floor Accel	0.26g	0.28g	0.33g
	Bearing Height	861 mm	759 mm	595 mm
	Bearing Volume	145.76 m <sup>3</sup>	135.44 m <sup>3</sup>	111.50 m <sup>3</sup>

## 2.2.- Sistemas de Aislamiento sobre Apoyos de Goma y Elevado Amortiguamiento

### 2.2.1.- USC Teaching Hospital, Los Angeles (Caso # 4, Tabla 1)

Los principales aspectos de esta edificación, su proyecto y análisis se señalan a continuación:

Ubicación: En suelo tipo roca en la Av. San Pablo, entre el centro de la ciudad de Los Angeles y el Parque Monterrey.

Descripción: Edificación de 8 niveles con un área total de 320.000 pies cuadrados, con planta fuertemente irregular (forma de S), construido entre 1989 y 1991.

Sistema Estructural: Estructura metálica con pórticos diagonalizados. Estos fueron inicialmente concebidos como excéntricos; al reducir la demanda de ductilidad a 1, se dispusieron concéntricos. La fundación es directa.

Sistema de Aislamiento: Combinación de aisladores de goma con núcleo de plomo y aisladores elastoméricos de elevado amortiguamiento.

Espectro de Diseño: Para el sistema aislado se adoptó el espectro de respuesta (ATC 3-06) reducido por ductilidad, con una aceleración máxima del terreno  $A_0 = 0,4g \times 1,2$ . De este modo se simula en forma adecuada la reducción esperada en la acción sísmica que se logra

con la disipación de energía.

Rigidez del sistema de Aislamiento: Se emplearon valores equivalentes obtenidos de los ensayos; o sea momentos de inercia y áreas del elemento cantilever equivalente de acuerdo a  $3EI/L$  y  $AE/L$ .

Irregularidad de la Planta: En el modelo aislado, los cortantes a nivel de diafragma en el "cuello" de la planta (forma de S) quedaron reducidos por 3; aún así, en esa zona se dispuso refuerzo perimetral adicional.

Criterios de Diseño: Los principales fueron:

- 1) La estructura debe permanecer elástica para los sismos de diseño.
- 2) Se considera desplazamiento de diseño 1,5 veces el máximo que resulta en el tope de los aisladores hecho un análisis inelástico en el tiempo. Este resultó igual a 10,25".
- 3) Los aisladores deben estar en capacidad de soportar sus cargas a desplazamientos 1,25 los de diseño.
- 4) El sistema estructural debe poseer un tope o restricción de modo que el desplazamiento de los aisladores no exceda el desplazamiento de diseño.

Análisis: Se llevaron a cabo análisis dinámicos tridimensionales (ETABS) con modelo de base empotrada y con los elementos aisladores simulados como elementos de rigidez reducida. El cortante en la superestructura

aislada fue de 0,15 W.

El cambio de período fue de aproximadamente 1 segundo.

Se llevaron a cabo 60 análisis, resultado de las siguientes combinaciones:

1 Centro de Masa (sin excentricidad accidental), más  
4 Centros de Masas Desplazados a 4 posiciones  
distintas da 5 casos; multiplicado por 4 combinaciones y  
por 3 acelerogramas, da 60 corridas distintas.

Estos análisis inelásticas se ejecutaron con el programa ANSR (Berkeley, 1979).

Esta edificación fue sacudida por el sismo de foco superficial (a 19 km), del 17 de Enero de 1994 ( $M_s = 6.8$ ;  $M_w = 6,7$ ), cuyo epicentro se ubicó a unos 36 km de distancia. Los registros acelerográficos revelaron que el sistema de aislamiento, para ese mismo, fue eficiente (véase la Figura 3); no se contataron daños. En la Tabla 4 se retiene información relevante extraída de los registros acelerograficos de la Figura 3.

#### 2.2.2.- Sede del Cuartel de Bomberos de Los Angeles

En la Figura 4 se reproducen registros acelerográficos obtenidos durante el sismo del 17-01-1994 en la Sede del Cuartel de Bomberos de Los Angeles, edificación construida sobre 32 apoyos aisladores con nucleo metálico flexible (cadenas). En los registros se aprecia que el desplazamiento de la edificación en el sentido transversal fue perturbado por

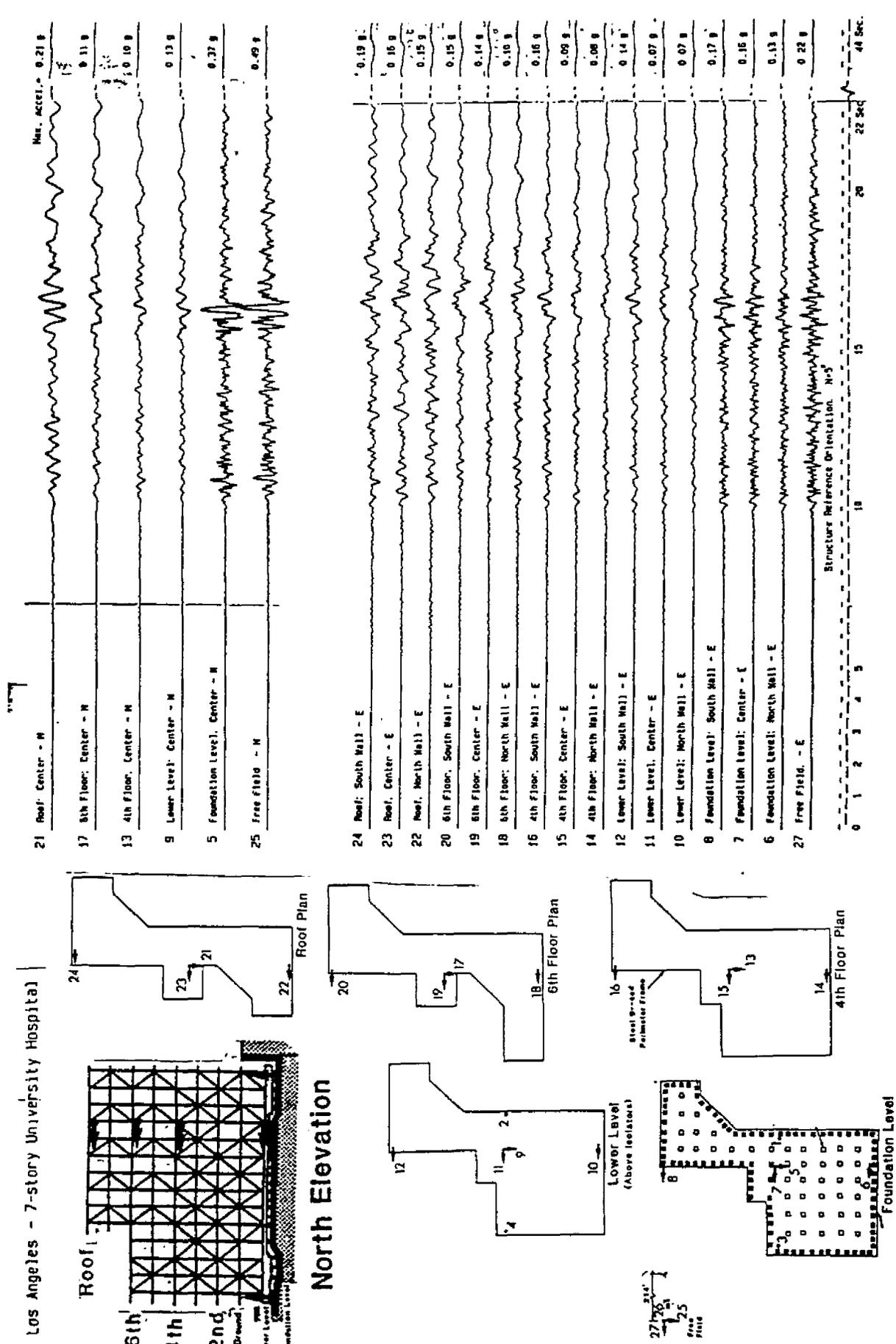
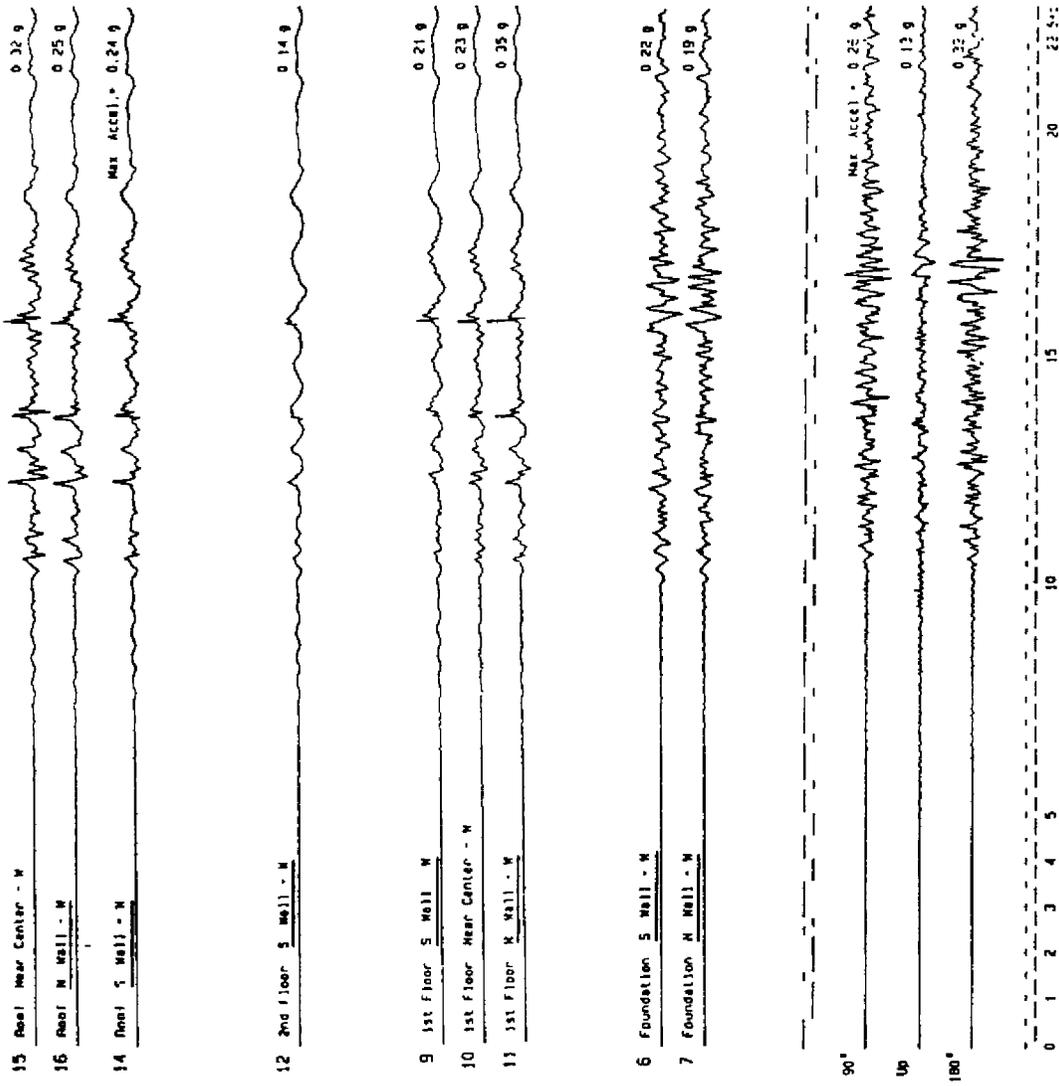
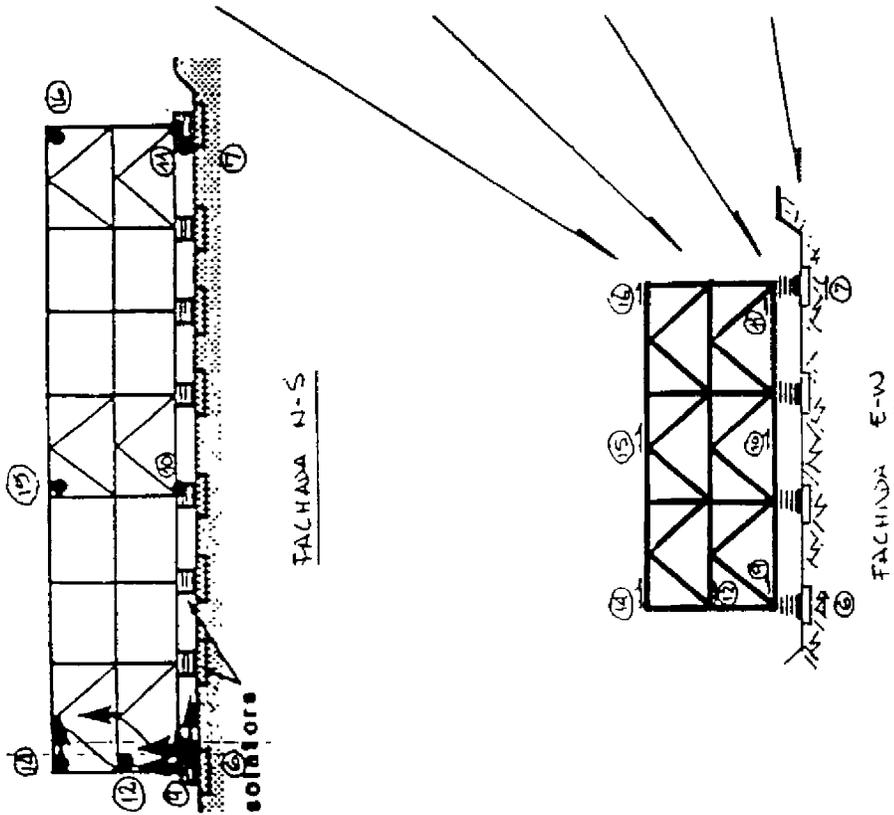


FIGURA 3 USC Teaching Hospital, Los Angeles



90°  
Up  
180°

CAMPO  
LABORE  
(30 m)

Los Angeles - 2-story Fire Command Control Bldg.  
(CSMIP Station No. 7419801)

FIGURA 4 Sede del Cuartel de Bomberos de Los Angeles

el impacto del pasillo de acceso a la edificación.

TABLA 4  
VALORES PICO DE LA ACELERACION REGISTRADA EN EL HOSPITAL  
USC DURANTE EL SISMO DEL 17-01-1994

LUGAR DEL REGISTRO	ACELERACION MAXIMA (g)		
	DIRECCION N	DIRECCION E	DIRECCION VERTICAL
Campo libre	0,49	0,22	0,12
Nivel de Fundación (centro)	0,37	0,16	0,07-0,09
Nivel sobre los aisladores (centro)	0,13	0,07	0,08-0,13
Nivel 4 (centro)	0,10	0,09	--
Nivel 6 (centro)	0,11	0,14	--
Nivel 8 (centro)	0,21	0,16	--

### 3.- TECNOLOGIAS DE CONTROL ACTIVO

A diferencia de los sistemas de control pasivo, las tecnologías de control activo son de origen más reciente y algunas de ellas sólo se encuentran en fase de concepción analítica con limitado respaldo experimental.

Las siguientes son algunas de las áreas en las cuales se han publicado resultados experimentales:

#### 3.1.- Sistemas de Contraventeo Activo (Active Bracing System, ABS)

El empleo de contraventeos y tendones es uno de los mecanismos más estudiados. La pretensión en los tendones o

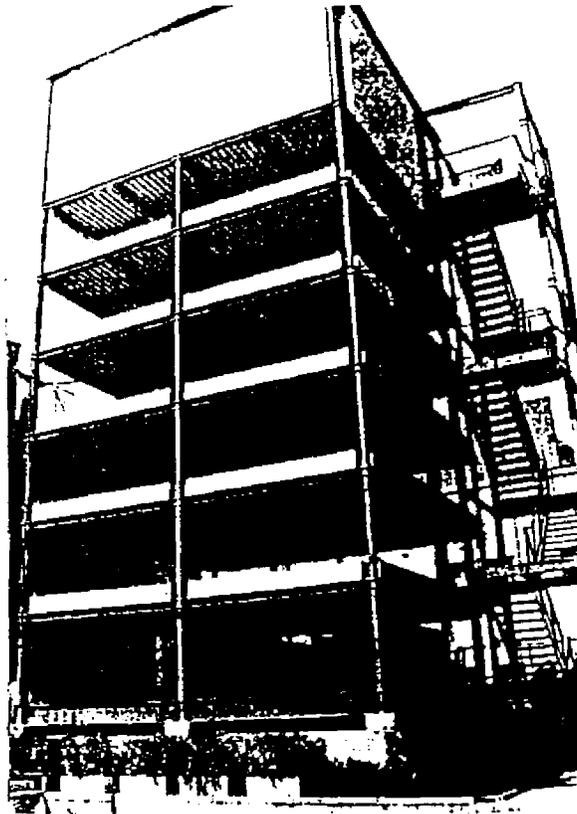
diagonales conectados a la estructura, es controlado por servomecanismos electrohidráulicos.

Uno de los pocos edificios intervenidos con el sistema de contraventeo activo (ABS) se encuentra en Tokyo y forma parte de un Proyecto conjunto USA-Japón (Figuras 5 y 6). Es una estructura metálica de seis pisos, aporticada (dos vanos en la dirección larga y uno en la dirección corta), columnas tubulares, vigas de alas anchas con losas de concreto. La estructura pesa 600 tons, es flexible y sus períodos son 1,1 seg (dirección corta) y 1,5 seg (dirección larga). Su amortiguamiento es bajo (0,5% a 1%).

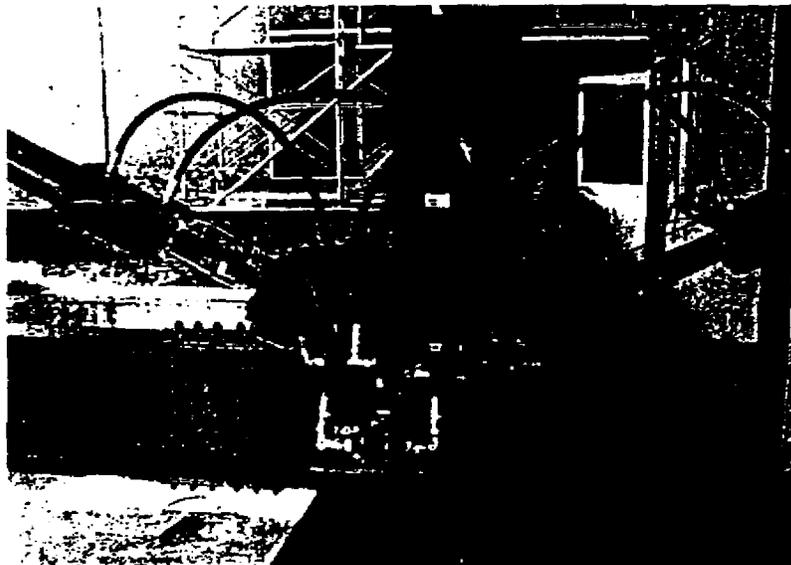
El sistema de control está constituido por diagonales tubulares, fijas a la primera planta del edificio, que llevan intercalados actuadores hidráulicos. Estos actuadores operan en función de señales provenientes de velocímetros dispuestos en el primero, tercero y sexto pisos. En función del valor y signo relativo de las velocidades medidas, se "activa", hasta la presión conveniente, el actuador que corresponda.

Los registros obtenidos hasta la fecha provienen de sismos reales y revelan que el sistema es capaz de reducir la respuesta en todos los modos.

Este sistema permite emplear los elementos ya existentes en estructuras de acero.

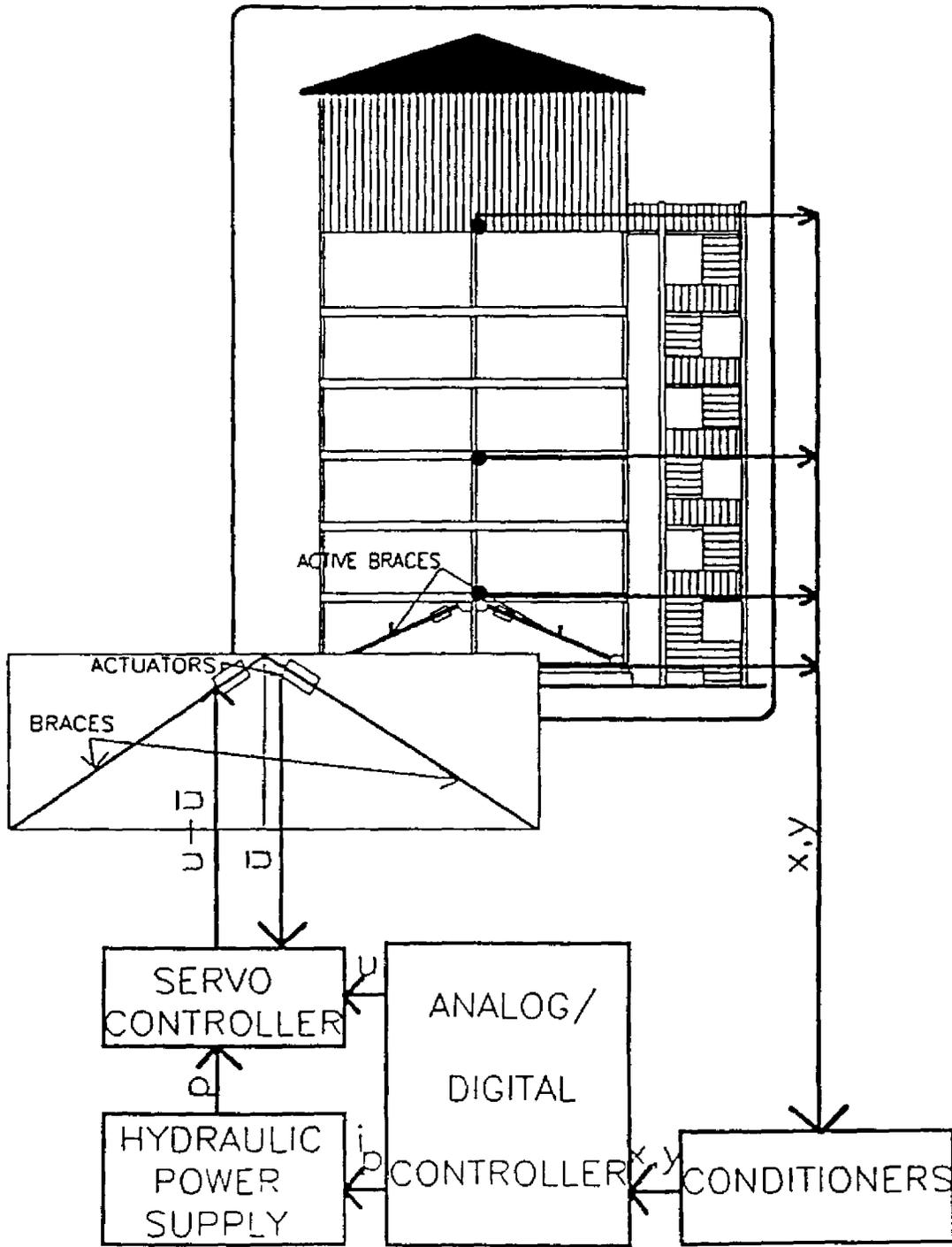


View of Dedicated Test Structure



Close-up View of Active Braces

FIGURA 5 Edificio Intervenido con el Sistema de Contra-  
venteo Activo (ABS), Tokyo, Japón.



Block Diagram of ABS

**FIGURA 6** Esquema Estructural del Edificio de la Figura 5;  
Diagrama de Bloques del Sistema de Control.

### 3.2.- Masas Amortiguadoras Activas

Este sistema ya ha sido utilizado en edificios altos, con el fin de controlar los desplazamientos del primer modo, lo cual si bien es efectivo contra la acción del viento, requiere modificaciones para hacerlo efectivo contra sismos.

### 3.3.- Amortiguamiento de Vibración por Impacto (Generadores de Pulsos)

Esta estrategia de control se ha utilizado con éxito a nivel experimental en modelos estructurales. Requiere la generación de pulsos controlados en áreas predeterminadas de la estructura.

## 4.- CONCEPTOS BASICOS

D : Desplazamiento de Diseño, el cual es medido en el centro de rigidez del sistema de aislación, en la dirección considerada.

$D_T$  : Desplazamiento Total de Diseño de un elemento del sistema de aislamiento; incluye el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez (D) y la componente del desplazamiento torsional en la dirección considerada, debido al sismo de diseño.

$D_{TM}$  : Desplazamiento Máximo Total, es similar a ( $D_T$ ) pero en su cálculo se consideran factores propios del máximo sismo capaz; es empleado para la verificación de la estabilidad del sistema de aislamiento, separación de edificaciones y ensayo a cargas

verticales de prototipos de unidades de aislación.

Unidad de Aislación: Es un elemento estructural de rigidez elevada, flexible en la dirección horizontal que permita desplazamientos laterales importantes bajo la acción de las cargas laterales de diseño.

- $K_{ef}$  : Rigidez Efectiva de una unidad de aislamiento; valor de la fuerza lateral dividido por el correspondiente desplazamiento lateral.
- Z : Factor de Zonificación de acuerdo a los valores usuales ( $Z = 1$ , zona 4;  $Z = 0,75$ , zona 3,....).
- N : Coefficiente de Campo Cercano: Coeficiente numérico relacionado a: (i) la proximidad de la edificación o estructura a una falla activa; y (ii) magnitud máxima capaz de la falla ( $M_{m\acute{a}x}$ ). En la Tabla 5 se dan los valores establecidos en UBC 1994.

TABLA 5  
VALORES DE N

df MENOR DISTANCIA A LA FALLA ACTIVA (km)	MAGNITUD MAXIMA CAPAZ ( $M_{m\acute{a}x}$ ) DE LA FALLA		
	$\geq 8,0$	7,0	$\leq 6,0$
df $\geq 15$	1,0	1,0	1,0
df = 10	1,2	1,0	1,0
df $\leq 5$	1,5	1,3	1,1

Mm : Coeficiente Relacionado al Máximo Sismo Capaz, es un valor que depende del máximo nivel de sacudimiento del terreno; de acuerdo al UBC 1994 tiene los valores indicados en la Tabla 6.

TABLA 6  
VALORES DE Mm

ZONA SISMICA	AREA DEL ESPECTRO	
	ACELERACION CONSTANTE	VELOCIDAD CONSTANTE
4 (Z = 1,0)	1,25	1,25
3 (Z = 0,75)	1,33	1,50

En zonas sísmicas diferentes de las zonas 3 y 4, el valor de Mm es igual a la relación de ordenadas espectrales entre las del máximo sismo capaz y las del sismo de diseño para el período efectivo TI de la estructura aislada.

TI: Período de la Estructura Sísmicamente Aislada, viene dado en segundos, en la dirección considerada.

SI : Coeficiente de Condición de Sitio toma en cuenta las condiciones del sitio para estructuras sísmicamente aisladas (véase Tabla 7).

TABLA 7  
VALORES DEL COEFICIENTE SI

PERFIL DEL SUELO	COEFICIENTE SI
S1	1,0
S2	1,4
S3	2,3
S4	2,7

Espectros de Sitio son espectros que toman en consideración la respuesta dinámica del subsuelo predominante en el sitio, la cercanía de fuentes sísmicas, el sismo básico de diseño y el sismo máximo capaz. El espectro del sismo básico de diseño no puede ser inferior al 80% del la norma, debidamente escalado por el producto  $(Z)(N)$ . El espectro del sismo máximo capaz no puede ser inferior al de la norma escalado por  $(M_m)(Z)(N)$ . Este es el espectro a usar para determinar  $D_{TM}$  las fuerzas de volcamiento para el diseño y ensayo del sistema de aisladores.

Sistema de Aislamiento es el conjunto de unidades de aislamiento, de elementos estructurales que transfieren fuerza entre los elementos del sistema de aislamiento, así como todas las conexiones a otros elementos estructurales. Este sistema debe incluir las restricciones para acciones de viento.

En el diagrama de restricción destacan los valores indicados en la Figura 7.

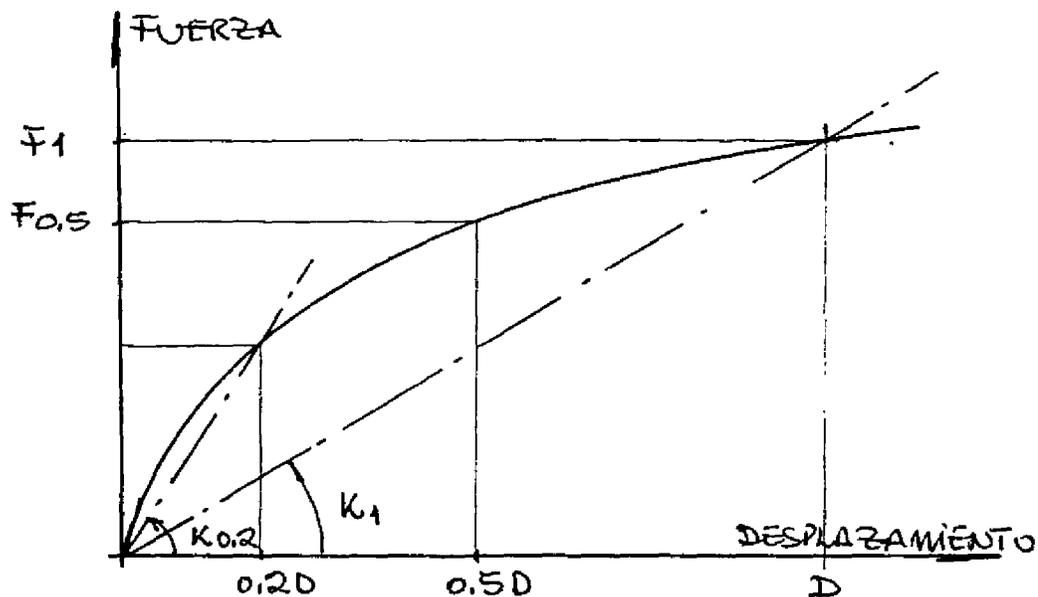


Figura 7 Diagrama Fuerza Desplazamiento

Para analizar la estructura aislada por procedimientos estáticos, se requiere que el sistema de aislamiento cumpla las siguientes condiciones:

- a)  $(K_1) > (k_{0,2})/(3)$
- b) El sistema de aislamiento debe estar en capacidad de que:

$$(F_1) \geq (F_{0,5}) + (0,025) (W)$$

Esta condición puede obviarse si el sistema es estable bajo la carga vertical total aceptando un desplazamiento máximo total ( $D_{TM}$ ) que cumpla una de las dos siguientes condiciones:

El amortiguamiento efectivo ( $\beta$ ) del sistema de aislamiento se calcula como:

$$(\beta) = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\text{Area Total}}{(k_{\max}) (D^2)} \right]$$

donde el Area Total es la suma de las áreas de los lazos histeréticos de todas las unidades de aislamiento; se toma como área del lazo histerético, la menor área de los tres ciclos de ensayo alternante con una amplitud de desplazamiento igual a D.

**Kmáx:** es la máxima rigidez efectiva del sistema de aislamiento para el desplazamiento D en la dirección considerada.