

8ª JORNADA
**COMISIÓN
PERMANENTE**

del Código Modelo Sísmico para
América Latina y El Caribe

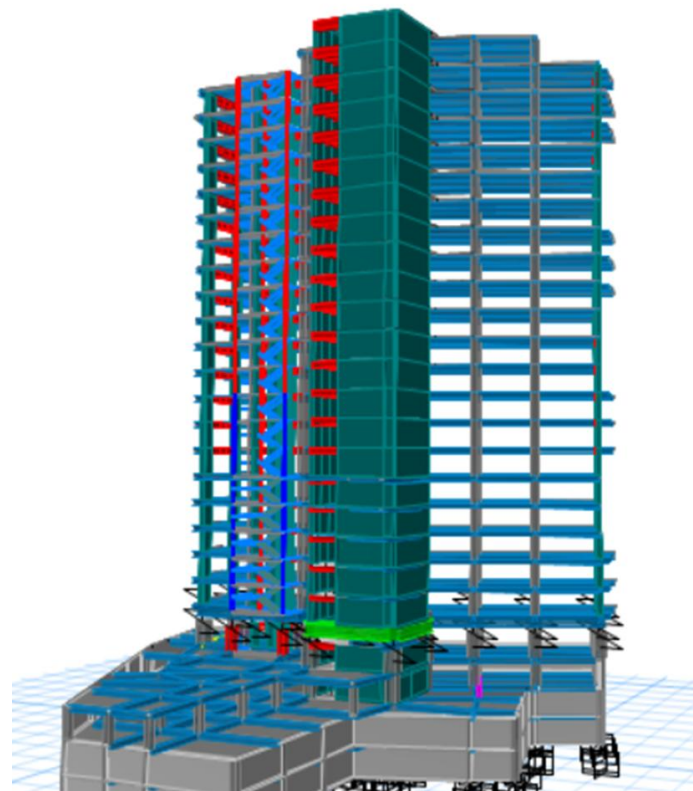
Protección Sísmica : Aislamiento Sísmico

Ing. Marija Trifunovic, M.Sc.
Earthquake Protection Systems

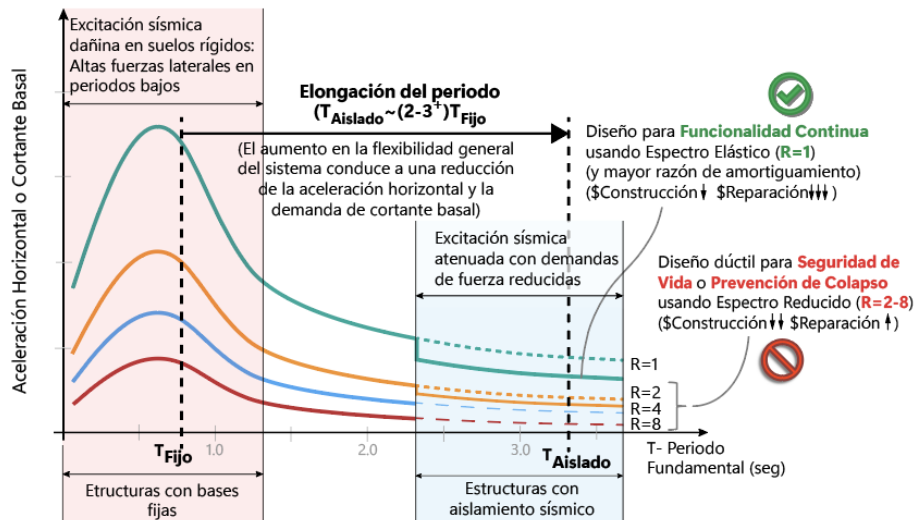
San Salvador, El Salvador
08 de octubre de 2025

www.codigomodelosismico.org

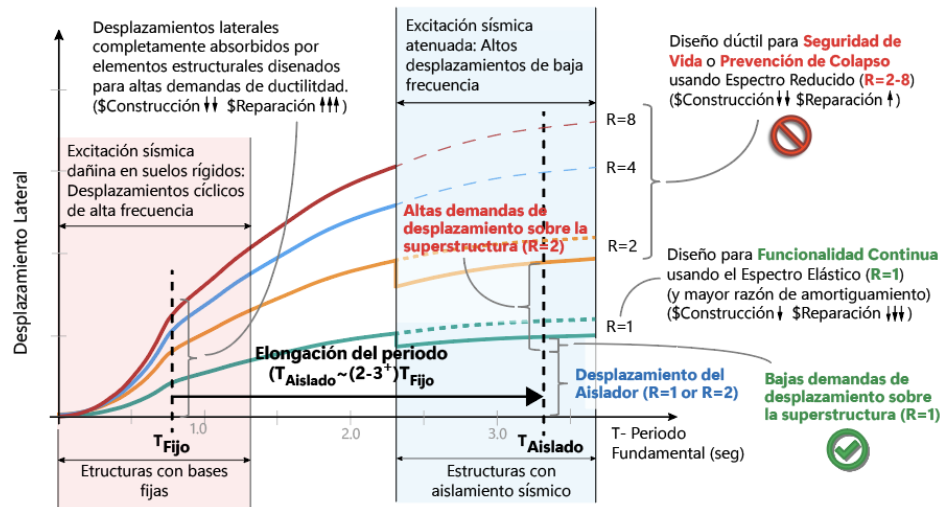
- Conceptos fundamentales de diseño
- Tipos de aisladores sísmicos
- Factores de modificación de propiedades
- Recentrado del aislador
- Ensayos de sistemas de aislamiento sísmico
- Desempeño de la estructura



Conceptos fundamentales de Aislamiento Sísmico

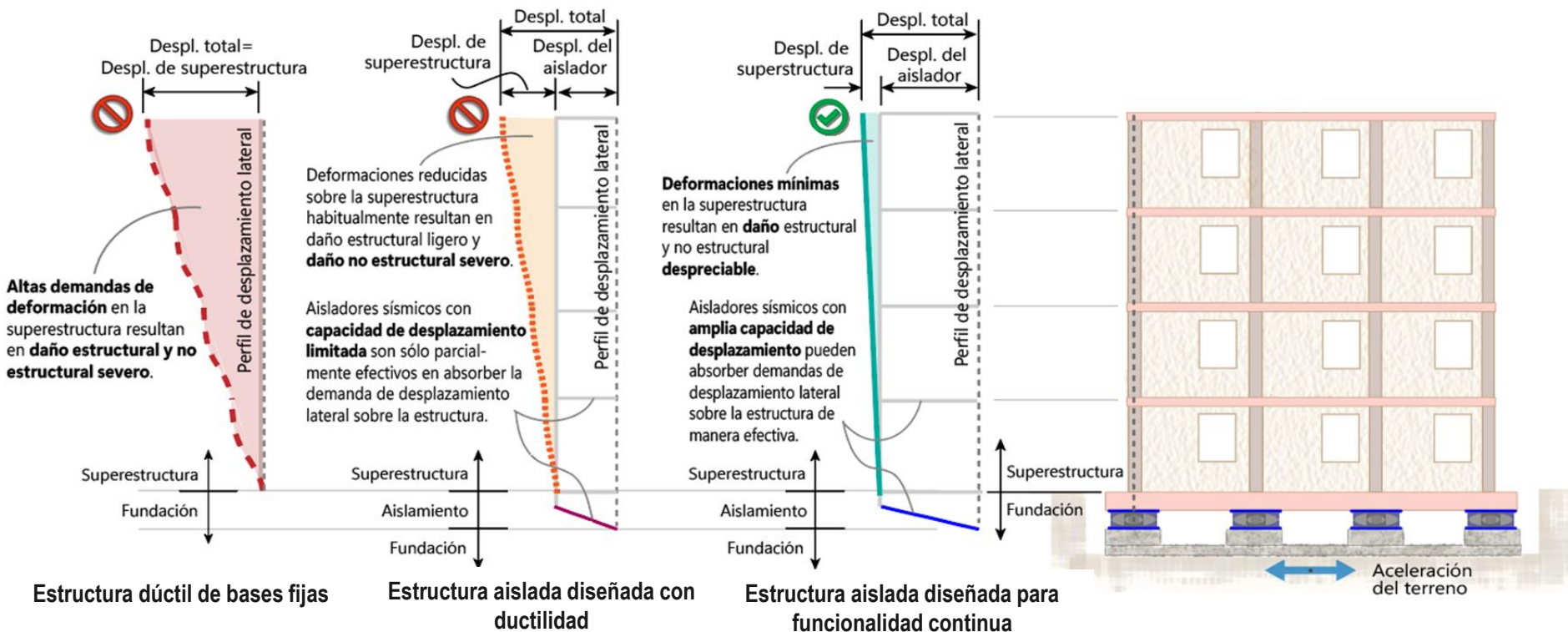


Efecto de la Elongación del Periodo de Vibración a través del Aislamiento Sísmico sobre la Aceleración Horizontal y Cortante Basal usados para el Diseño de la Estructura



Efecto de la Elongación del Periodo de Vibración a través del Aislamiento Sísmico sobre la Demanda de Desplazamiento sobre la Estructura

Conceptos fundamentales de Aislamiento Sísmico



Proceso de diseño:

- Diseño preliminar del aislador
 - Cargas axiales sobre los aisladores
 - Demanda sísmica: sismo de diseño y sismo máximo considerado
 - Curva desplazamiento-carga lateral del dispositivo de aislamiento
 - Factores de modificación de propiedades de limite inferior y de limite superior (factores $\lambda_{\min}$ y $\lambda_{\max}$)
 - Verificar la capacidad de recentrado
- Revision de los parámetros de desempeño
 - Revisión de las derivas laterales de la estructura aislada
 - Revisión de las aceleraciones espectrales de entrepisos
- Diseño de los elementos estructurales
 - Distribución de la fuerza lateral
 - Diseño de los elementos estructurales
 - Detallado de la interfaz de aislamiento

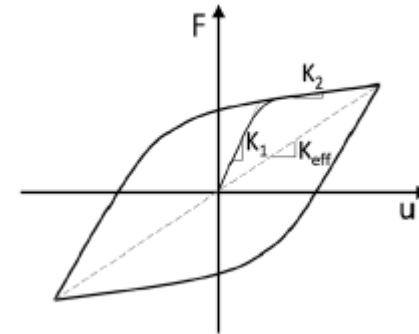
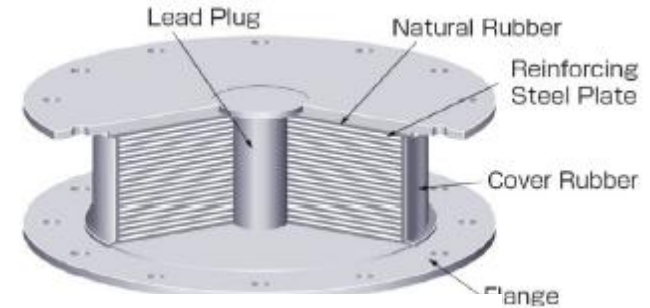
Interfaz de
aislamiento



Tipos de aisladores sísmicos

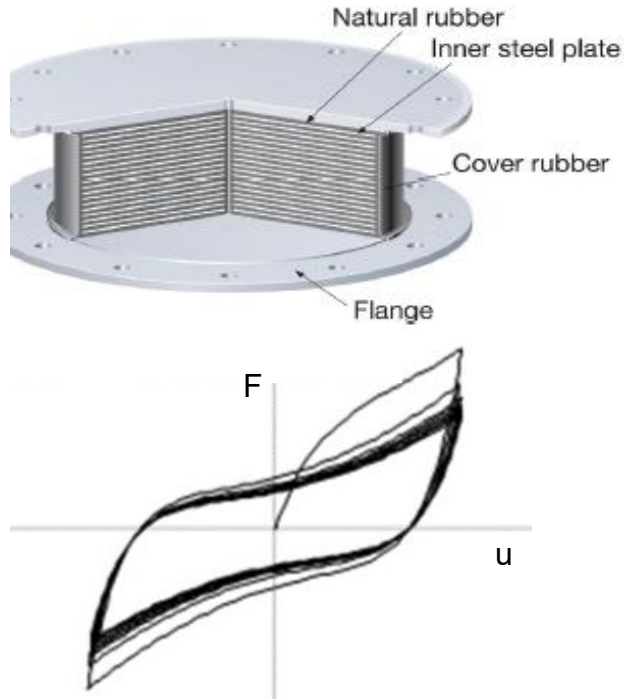
Sistemas de aislamiento sísmico	
Apoyos elastoméricos	Apoyos deslizantes
Aisladores de caucho con alto amortiguamiento (HDRB)	Deslizadores planos
Aisladores de caucho natural (NRB)	Péndulos de fricción simples
Aisladores de caucho natural con núcleo de plomo (LRB)	Péndulos de fricción doble
Aisladores de caucho de baja rigidez (LMRB)	Péndulos de fricción triple (FPT)

Nota: apoyos de rodamiento no son permitidos por los códigos por falta de recentrado

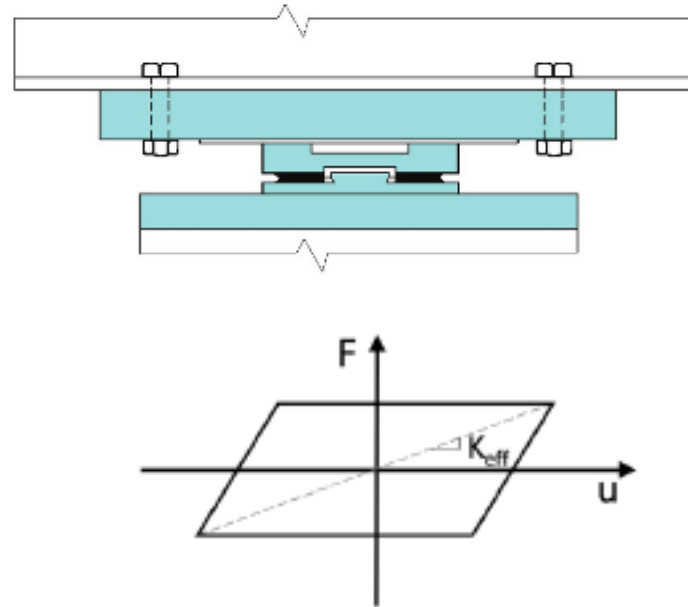


Aisladores de caucho natural con núcleo de plomo (LRB)

Tipos de aisladores sísmicos



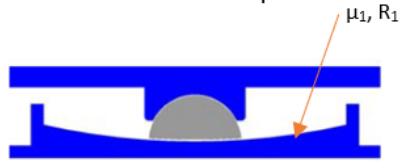
Aisladores de caucho con alto amortiguamiento (HDRB)



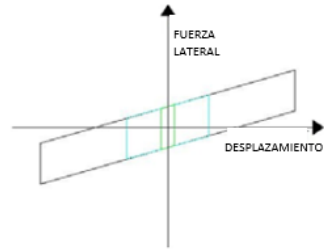
Deslizadores planos

Tipos de aisladores sísmicos

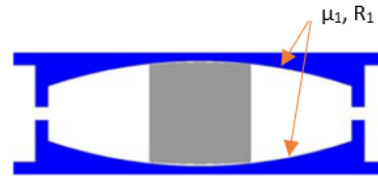
Péndulo de Fricción Simple:



Péndulo de Fricción
Simple de una Cóncava



Ciclo Fuerza Lateral-Desplazamiento

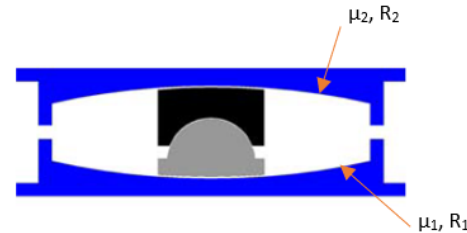


Péndulo de Fricción
Simple de dos Cóncavas

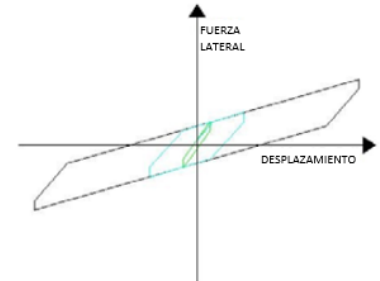
Parámetros de diseño:

- 1 coeficiente de fricción: μ_1
- 1 Radio de curvatura: R_1

Péndulo de Fricción Doble:



Péndulo de Fricción Doble



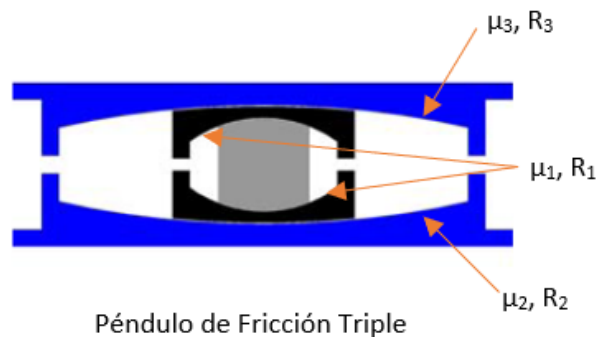
Ciclo Fuerza Lateral-Desplazamiento

Parámetros de diseño:

- 2 coeficientes de fricción: μ_1 y μ_2
- 2 Radios de curvatura: R_1 y R_2

Tipos de aisladores sísmicos

Péndulo de Fricción Triple:

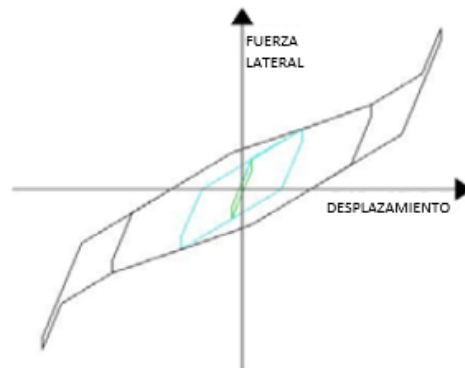


Péndulo de Fricción Triple

Parámetros de diseño:

3 coeficientes de fricción: μ_1, μ_2 y μ_3

3 Radios de curvatura: R_1, R_2 y R_3



Ciclo Fuerza Lateral-Desplazamiento



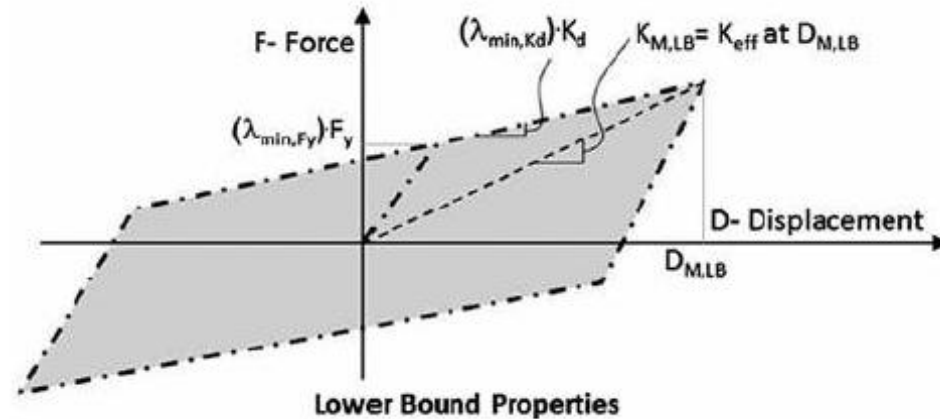
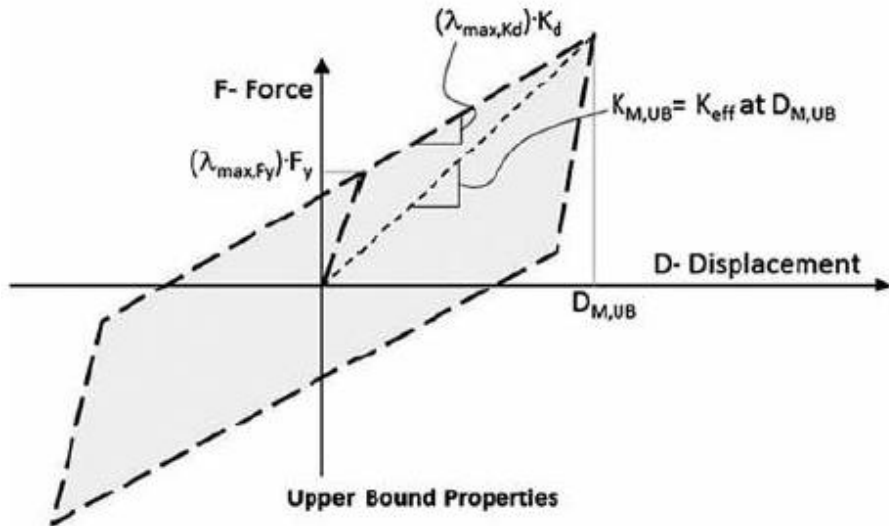
**Mechanical Behavior of Multi-Spherical
Sliding Bearings**

by
Daniel M. Fenz and Michael C. Constantinou

8ª Jornada de la Comisión Permanente del Código Modelo Sismico para América Latina y El Caribe

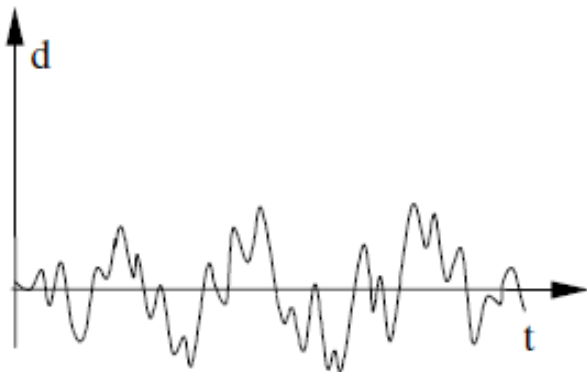
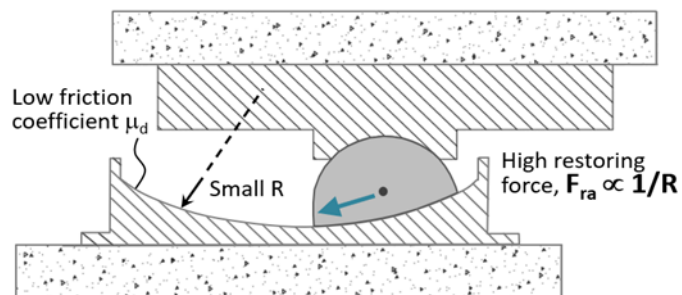
Regime	Illustration
At Rest	
Phase I	
Phase II	
Phase III	
Phase IV	
Phase V	

Variabilidad en propiedades de los aisladores:

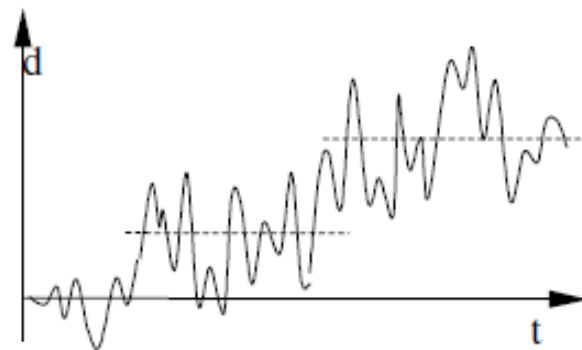
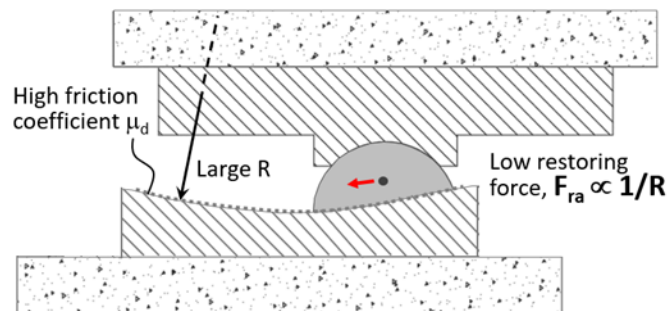


- Propiedades del sistema de aislamiento
 - Propiedades nominales
 - Factores de modificación de propiedades:
 - $\lambda_{\max}$: limite superior
 - $\lambda_{\min}$: limite inferior
 - A base de datos experimentales o ecuaciones definidas en el ASCE 7-22, sec. 17.2.8.4
- Para Funcionalidad Continua únicamente a base de datos experimentales:
 - $\lambda_{(ae,\max)}$: factor de modificación de propiedades del dispositivo de aislamiento sísmico por efectos de envejecimiento se modifica en función de ensayos a largo plazo
 - 3.0, cuando $\lambda_{(ae,aged)}$ se determina después de 1 año de instalado
 - 1.5, cuando $\lambda_{(ae,aged)}$ se determina después de 10 años de instalado
 - 1.1, cuando $\lambda_{(ae,aged)}$ se determina después de 20 años de instalado
 - 1.0, cuando $\lambda_{(ae,aged)}$ se determina después de 30 años de instalado

Adecuada capacidad de recentrado

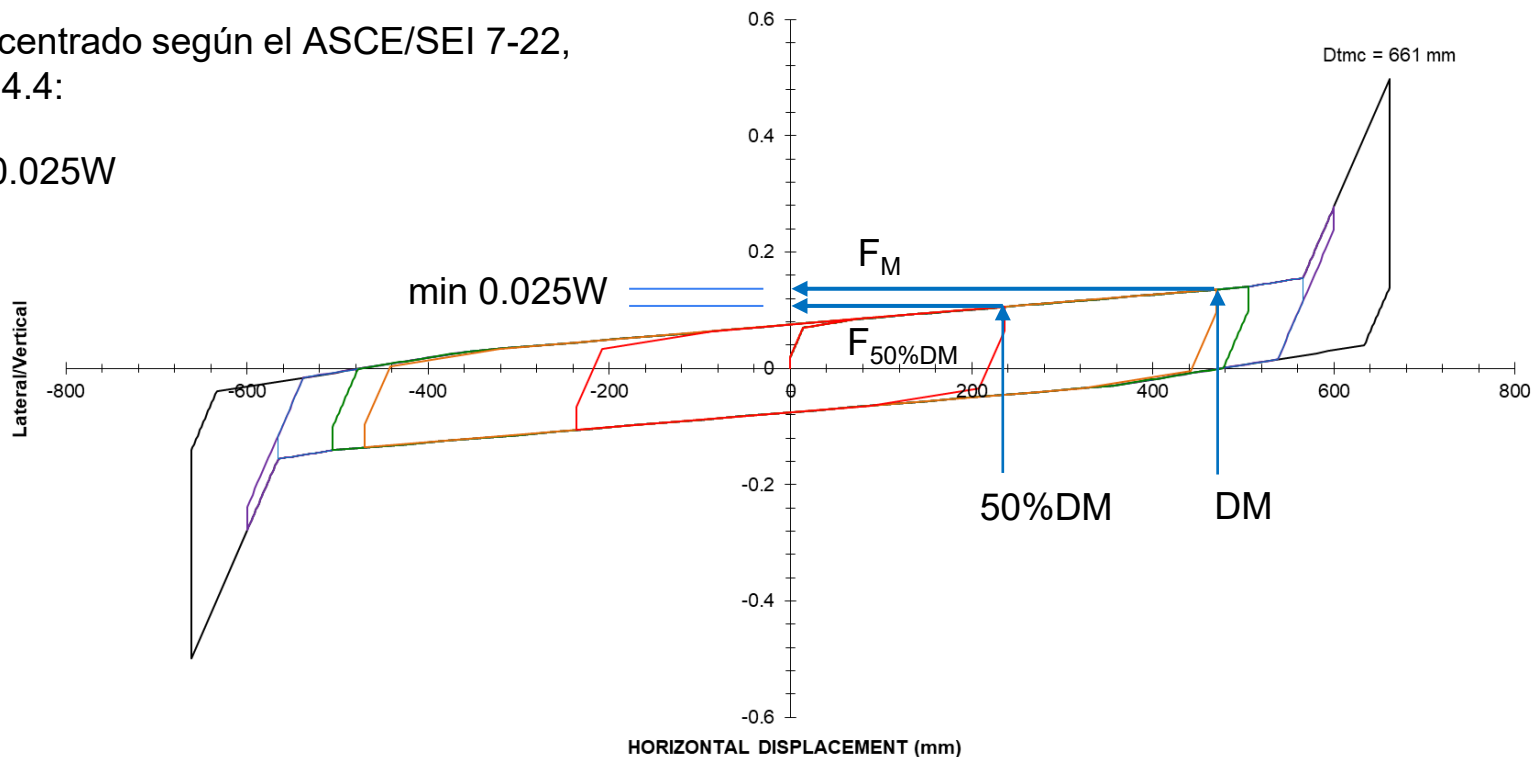


Pobre capacidad de recentrado

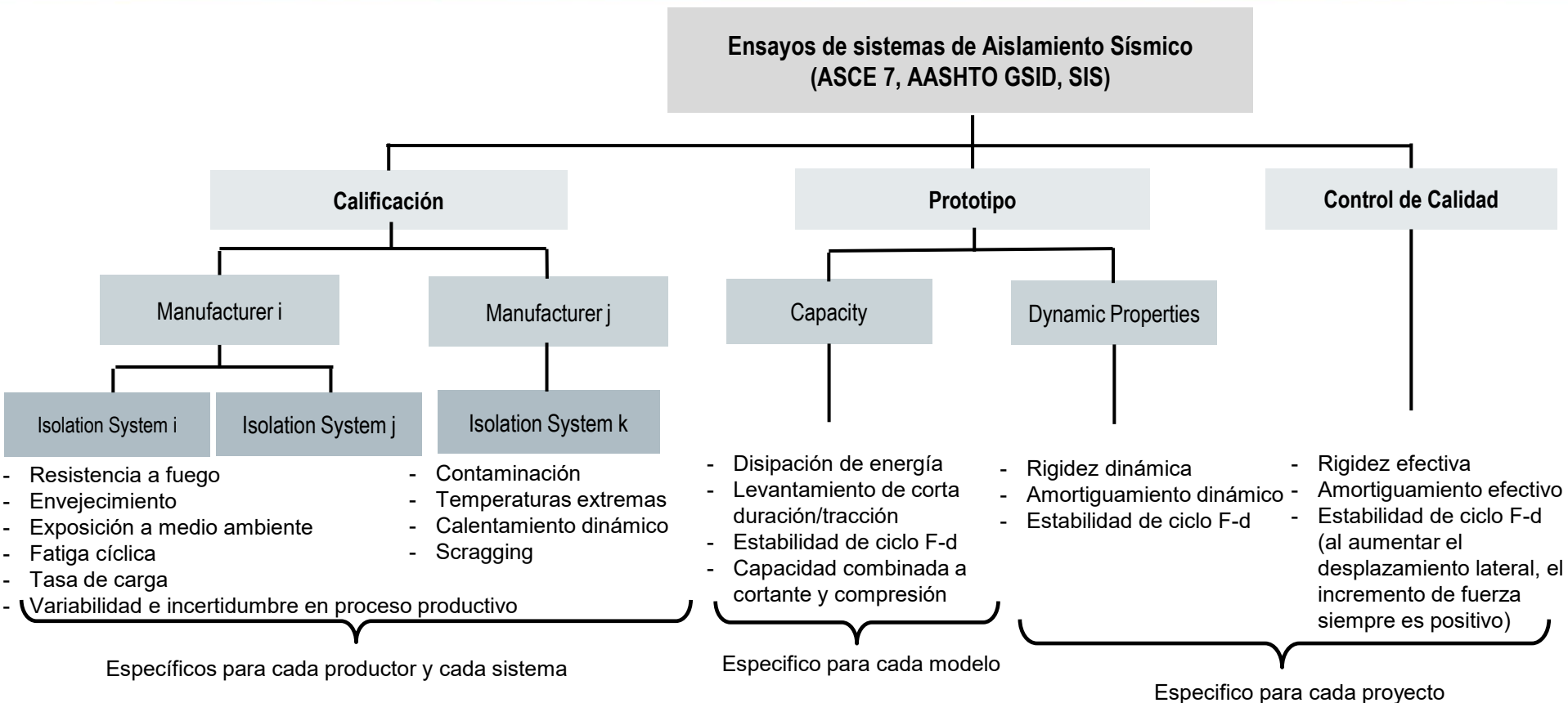


Criterio de recentrado según el ASCE/SEI 7-22,
sección 17.2.4.4:

$$F_M - F_{50\%DM} > 0.025W$$



Ensayos de sistemas de aislamiento sísmico

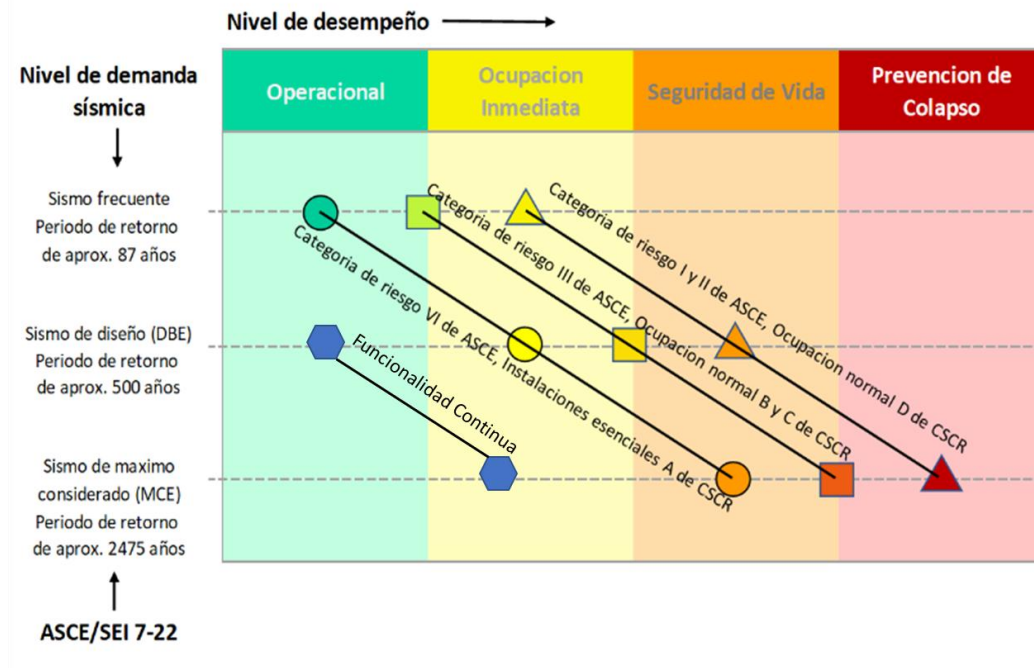


Desempeño de la estructura

Table C17.2-1. Performance Expected for Minor, Moderate, and Major Earthquakes.

Performance Measure	Earthquake Ground Motion Level*		
	Minor	Moderate	Major
Life safety: Loss of life or serious injury is not expected	F, I	F, I	F, I
Structural damage: Significant structural damage is not expected	F, I	F, I	I
Nonstructural damage: Significant nonstructural or content damage is not expected	F, I	I	I

*F indicates fixed-base; I indicates isolated.

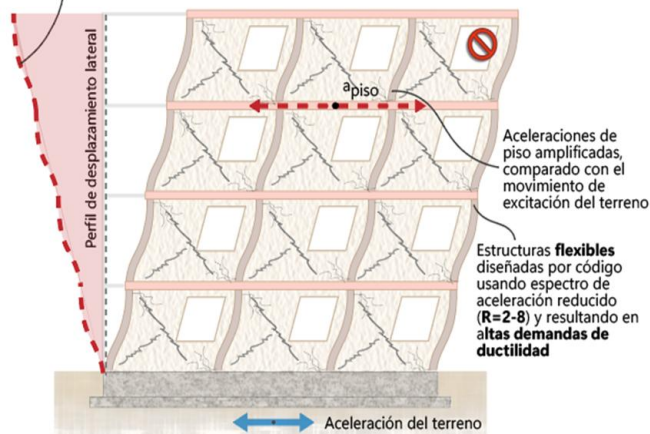


Fuente: ASCE 7-22

Desempeño de la estructura

Altas demandas de desplazamiento lateral absorbidas a través de **altas deformaciones internas en la estructura**

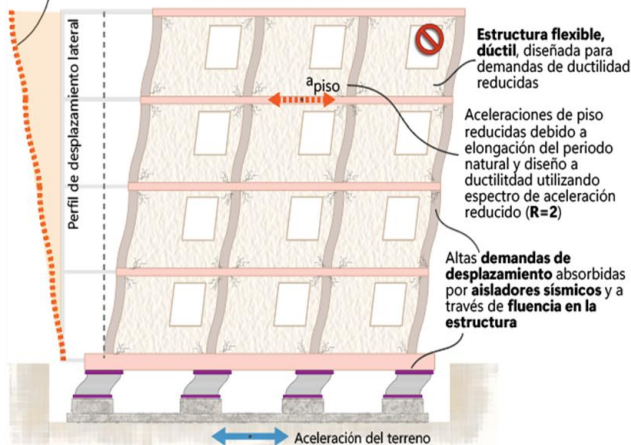
Daño a estructura, componentes no estructurales e instalaciones electromecánicas



Estructura dúctil de bases fijas

Deformaciones internas considerables en la estructura

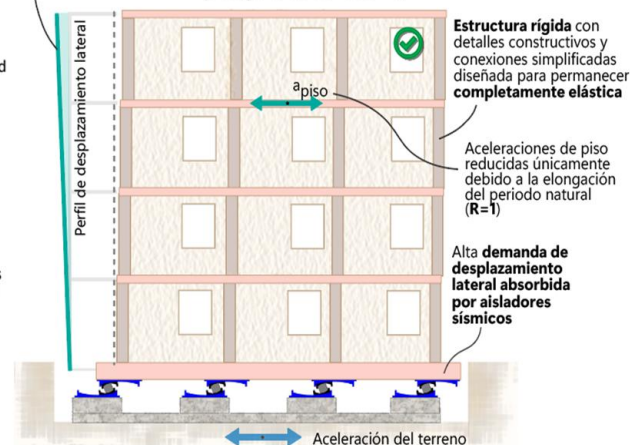
Estructura **protegida del colapso, daño severo** a componentes no estructurales e instalaciones electromecánicas



Estructura aislada diseñada con ductilidad

Deformaciones internas despreciables en la estructura

Estructura y componentes no estructurales **protegidos del daño sísmico**



Estructura aislada diseñada para funcionalidad continua

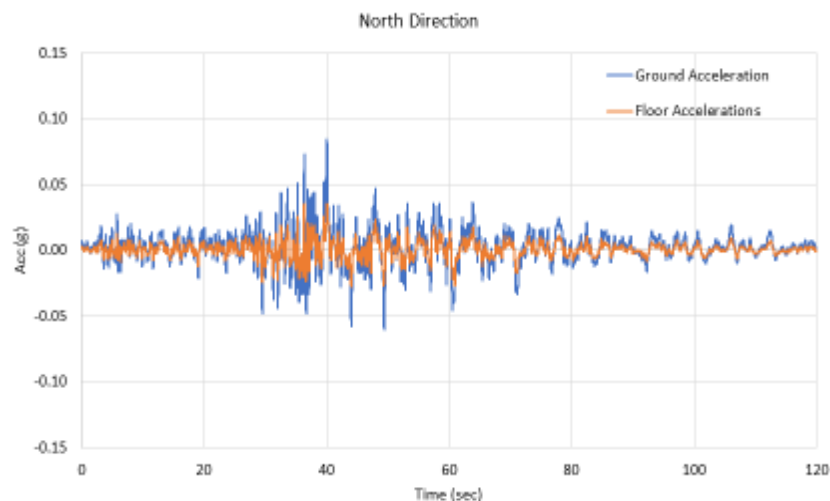
Criterio Principal	Descripción	Protección Sísmica
$a_{\text{piso}} \leq 0.3g$	La media de aceleraciones espectrales de piso de la superestructura se limita a 0.3g	Contenido de la edificación.
$\Delta \leq 0.3\%$	Las derivas laterales entre pisos adyacentes de la superestructura se limitan al 0.3%	Componentes arquitectónicos e instalaciones electromecánicas.
$R=1$	La superestructura se diseña usando los espectros elásticos no reducidos ($R=1$) para el Sismo de Diseño	Daño estructural

Hospital de ciudad de Adana, Adana, Turquía

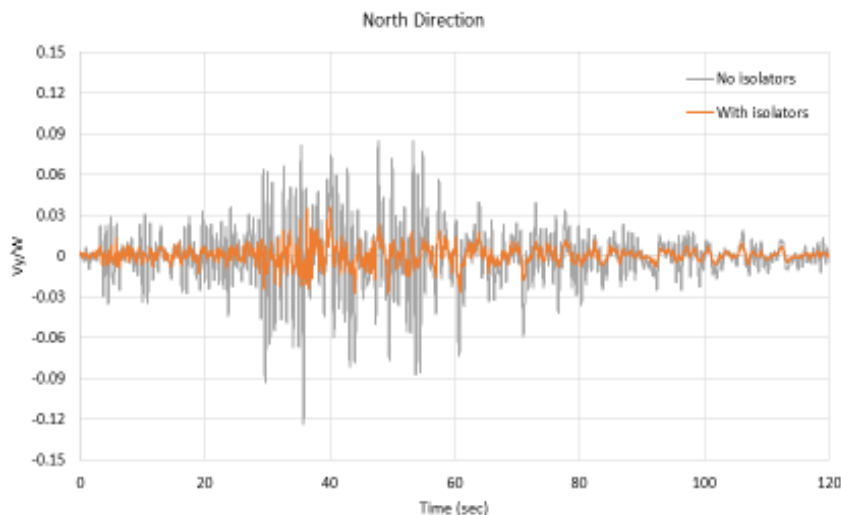


Hospital de ciudad de Adana, Adana, Turquía

El único hospital aislado sísmicamente e instrumentado en la zona afectada por los sismos del Febrero del 2023



Comparison of Ground Accelerations to Accelerations Above FPT Isolators (T3 IZO) - Adana Hospital During Mw 7.8 Turkey Earthquake.



Comparison of Base Shear with and without isolators – Adana Hospital During Mw 7.8 Turkey Earthquake.

Gracias por su atención



América Latina y El Caribe

www.codigomodelosismico.org

Método Lineal Estático

La rigidez efectiva, K_M :

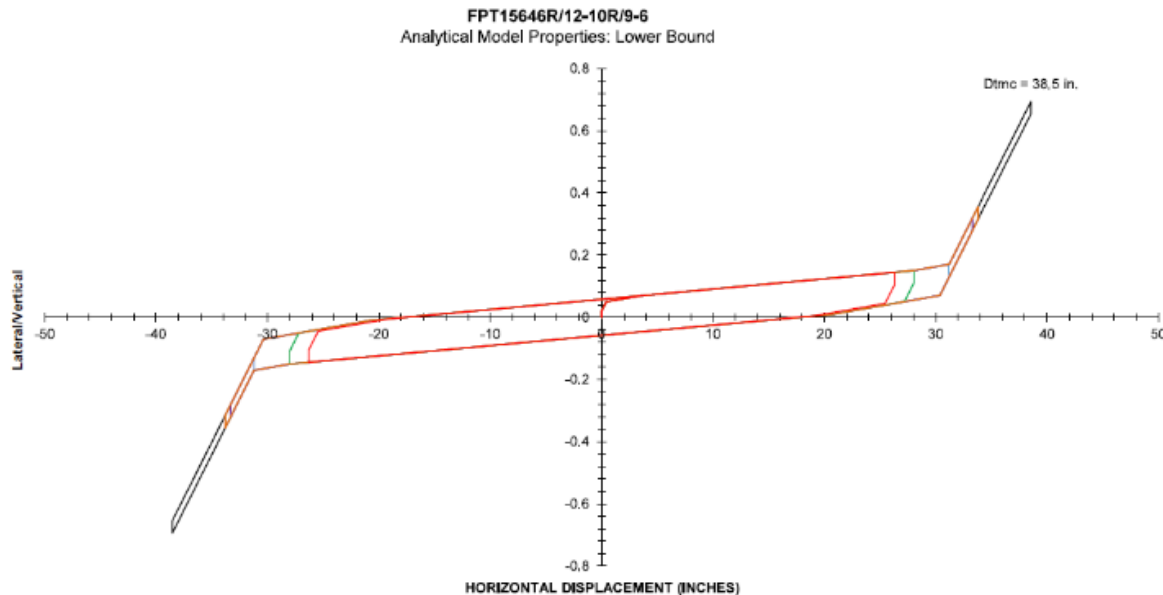
$$K_M = \frac{\sum |F_M^+| + \sum |F_M^-|}{2D_M}$$

(ASCE 7-22, 17.2-3)

El amortiguamiento efectivo, ξ_M

$$\xi_M = \frac{\sum E_M}{2\pi K_M D_M^2}$$

(ASCE 7-22, 17.2-4)



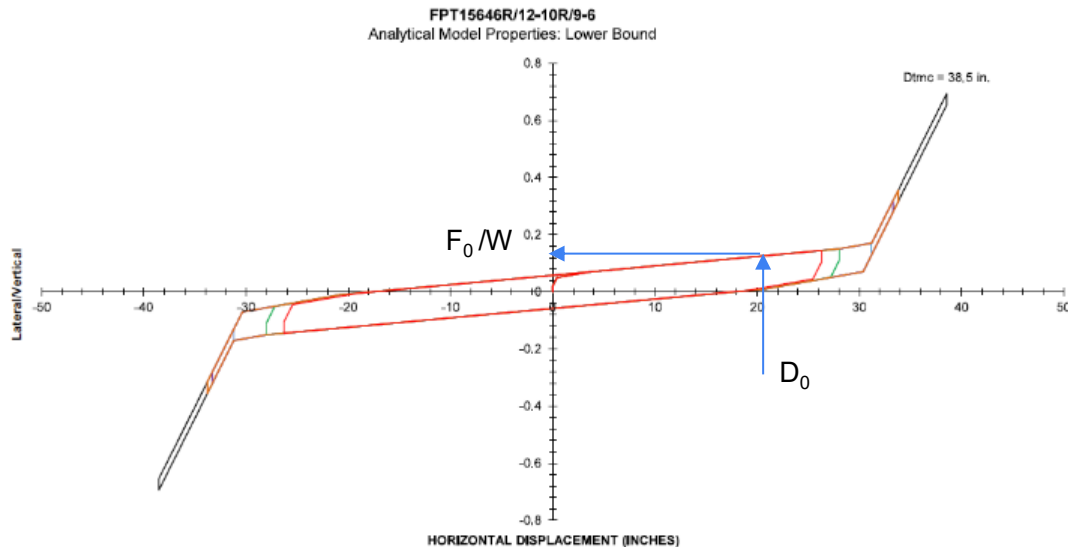
- Paso 1: Escoger un desplazamiento D_0
- Paso 2: Determinar la fuerza lateral F_0 correspondiente al D_0
- Paso 3: Calcular K_0

$$K_0 = \frac{F_0}{D_0} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.2-3})$$

- Paso 4: Calcular el T_0

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_0 g}}$$

(ASCE 7-22, 17.5-2)



- Paso 5: Calcular ξ_0

$$\xi_0 = \frac{\sum E_o}{2\pi K_o D_o^2} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.2-4})$$

- Paso 6: Determinar el coeficiente de amortiguamiento B_o de la Tabla 17.5-1 del ASCE 7-22

<i>(Coeficiente de Amortiguamiento)^{a,b} B_M</i>	
Amortiguamiento efectivo (porcentaje del crítico) β_M	Factor B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

- Paso 7: Recalcular el desplazamiento D'_0

$$D'_0 = \frac{gS_{a1}T_0}{4\pi^2 B_0} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-1})$$

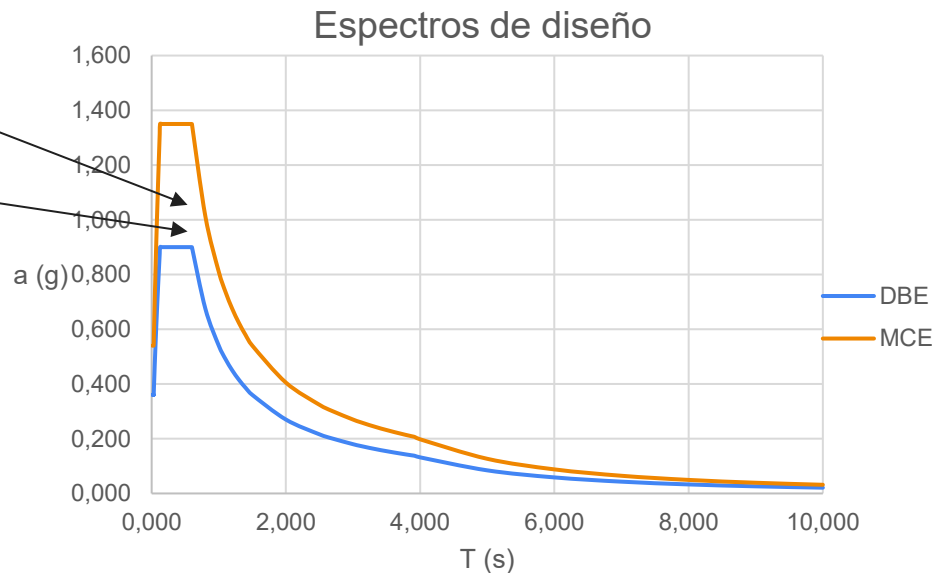
$$D'_0 = \frac{gS_{a0}T_0^2}{4\pi^2 B_0}$$

- Paso 8:

$$D'_0 \approx D_0 ?$$

NO → Paso 1

SI → Diseño de la estructura



- Desplazamiento máximo total

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1.15 D_M \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-3})$$

- Para Funcionalidad Continua adicionalmente

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1.2 \sim 1.5 D_M$$

- Estructura debajo del nivel de aislamiento

$$V_b = K_M * D_M \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-5})$$

- Estructura encima del nivel de aislamiento

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.5 \xi_M)} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-7})$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-6})$$

 $R_I=1$ para Funcionalidad Continua, para los demás casos es <2

- Limites para V_s en el ASCE 7-22, 17.5.4.3

- Distribución de la fuerza lateral

$$F_1 = \frac{(V_b - V_{st})}{R_I}$$

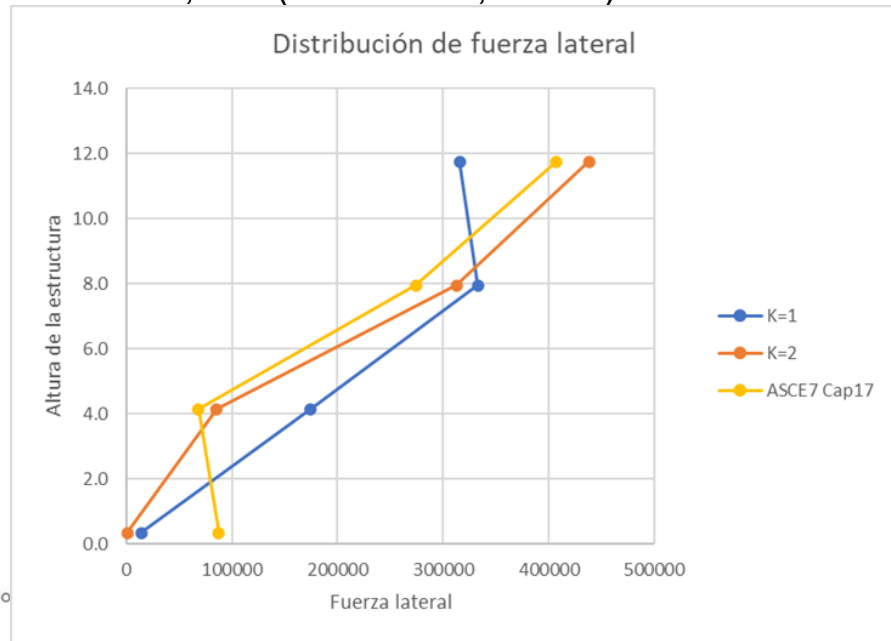
Fuerza sísmica lateral inducida al nivel de aislamiento (ASCE 7-22, 17.5-8)

$$F_x = C_{vx} V_s$$

Fuerza sísmica lateral inducida al nivel x, $x > 1$ (ASCE 7-22, 17.5-9)

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n w_i h_i^k} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-10})$$

$$k = 0.14 \beta_M T_{fb} \quad (\text{ASCE 7-22, 17.5-11})$$



Diseño preliminar del aislador

Excepción:

Fuerza sísmica lateral F_x

Basándose en un modelo simplificado

línea con masas

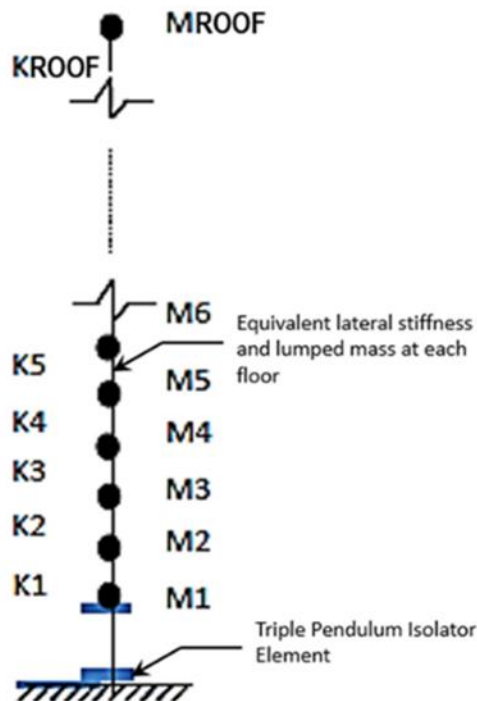
concentradas en los entrepisos

y una representación

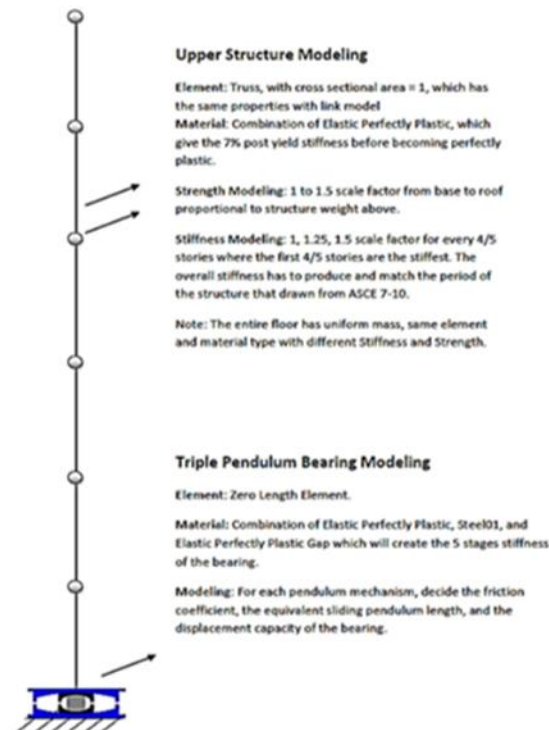
concentrada del sistema de

aislamiento sísmico

Análisis dinámico no lineal de respuesta en el tiempo escalado a V_b/R_l al nivel de la base.



(a) SAP2000



(b) OpenSees

Gracias por su atención



América Latina y El Caribe

www.codigomodelosismico.org