



DAMPO

**Taller: Introducción al uso de Sistemas de Protección
Sísmica en Guatemala**

**Diseño de estructuras equipadas con
aislamiento sísmico**

Valentín Jiménez Ramírez



DAMPO

Temario

- Conceptos fundamentales
- Principales tipos de aisladores sísmicos
- Métodos de análisis para estructuras con aislamiento sísmico
- Referencias y normas nacionales e internacionales para estructuras con aislamiento sísmico
- Normatividad mexicana aplicable a estructuras con aislamiento sísmico
- Ejemplo de diseño de una estructura aislada



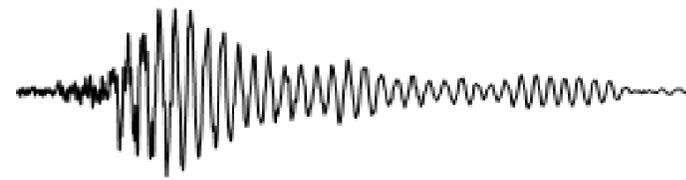
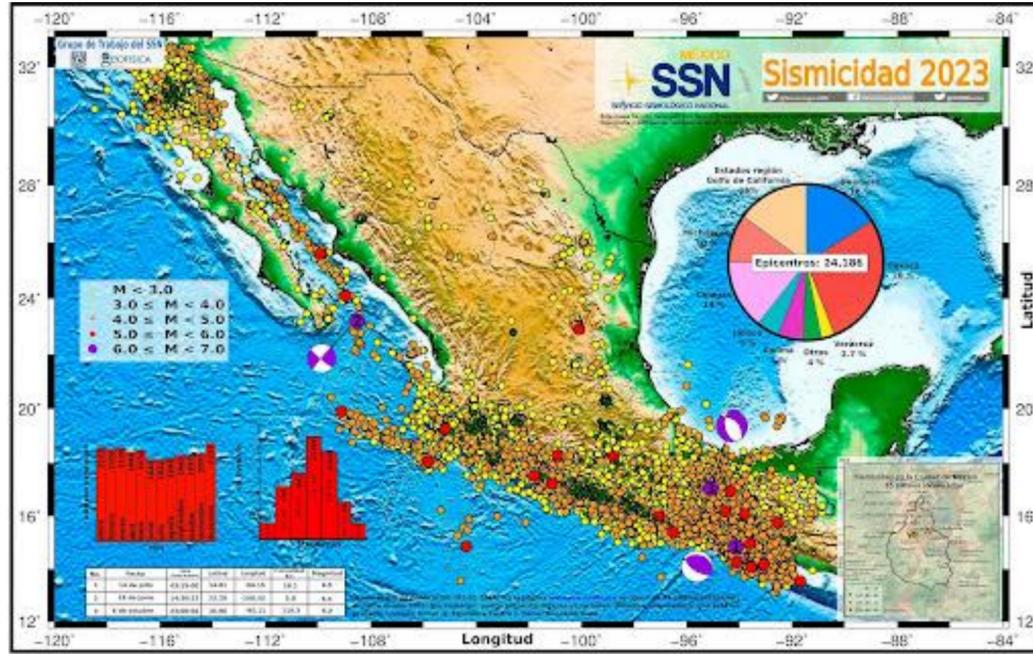
Conceptos fundamentales



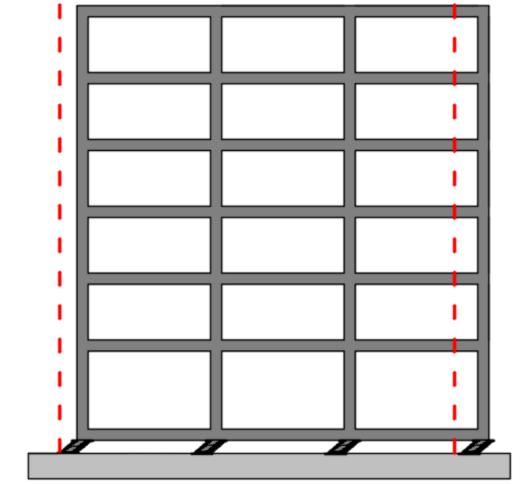
DAMPO



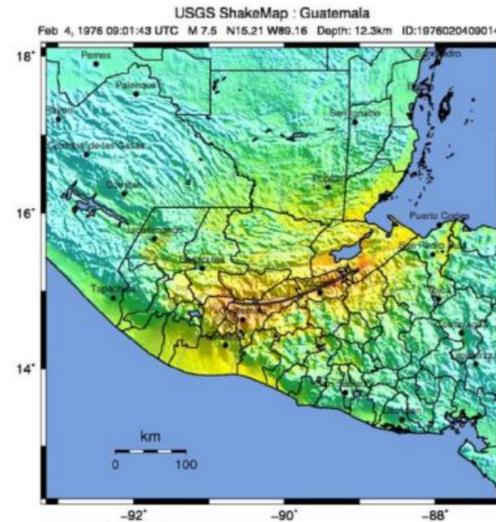
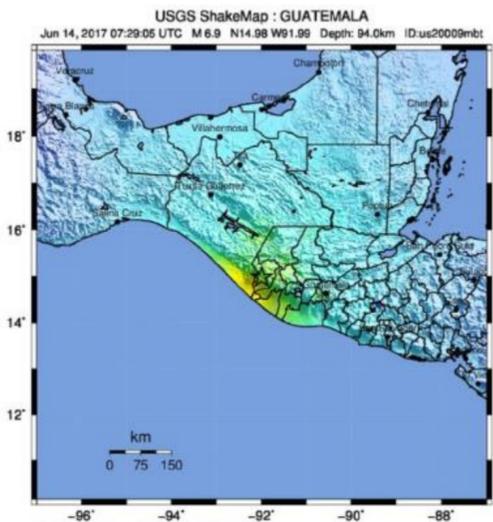
¿Qué es el sistema de aislamiento sísmico?



Sistemas de protección sísmica

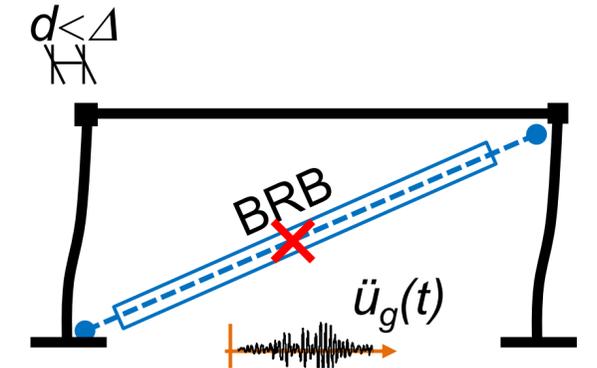


Aislamiento Sísmico



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC (mg)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>130
PEAK VEL (cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	8.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC (mg)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>130
PEAK VEL (cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	8.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

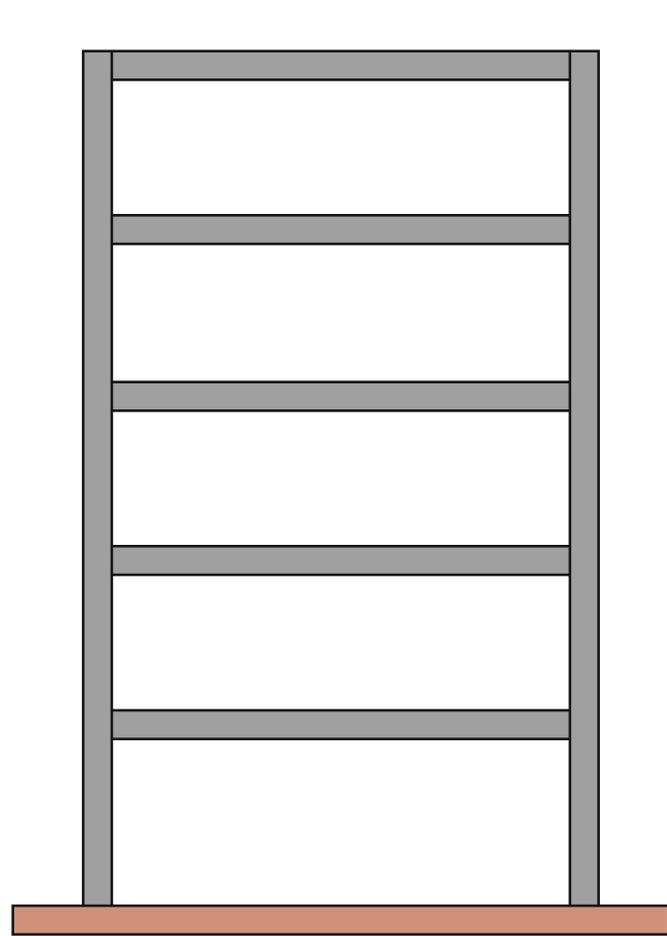


Disipadores de energía

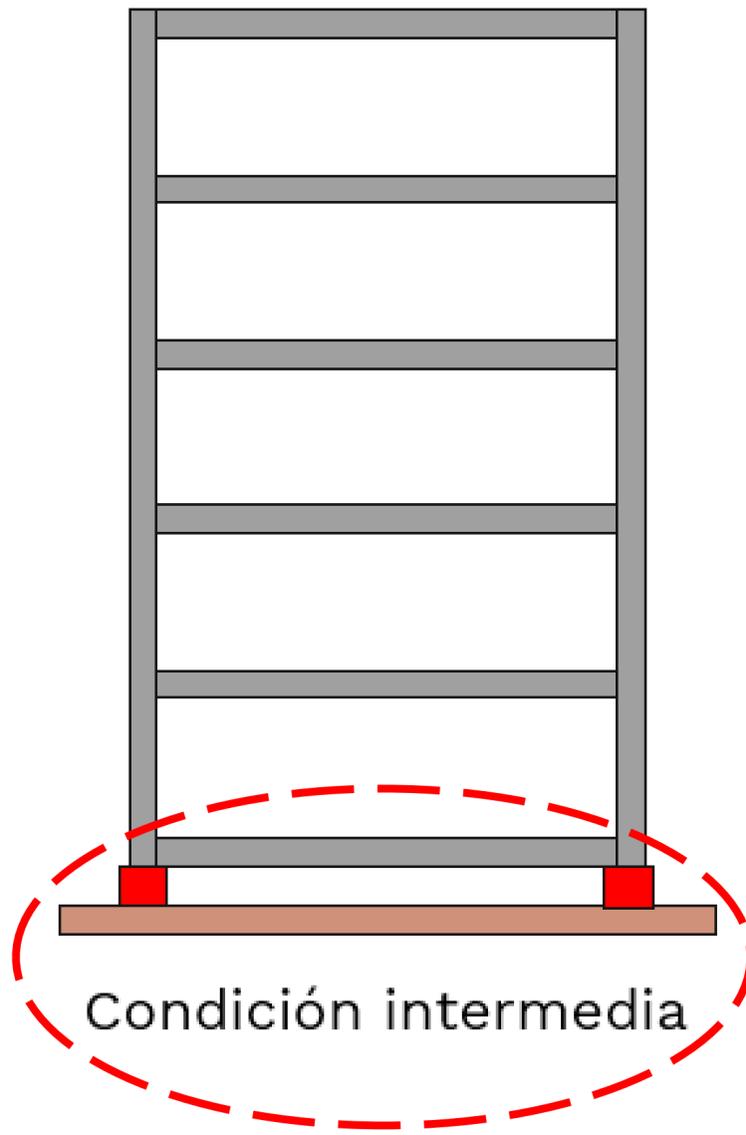
DAMPO



¿Qué es el sistema de aislamiento sísmico?



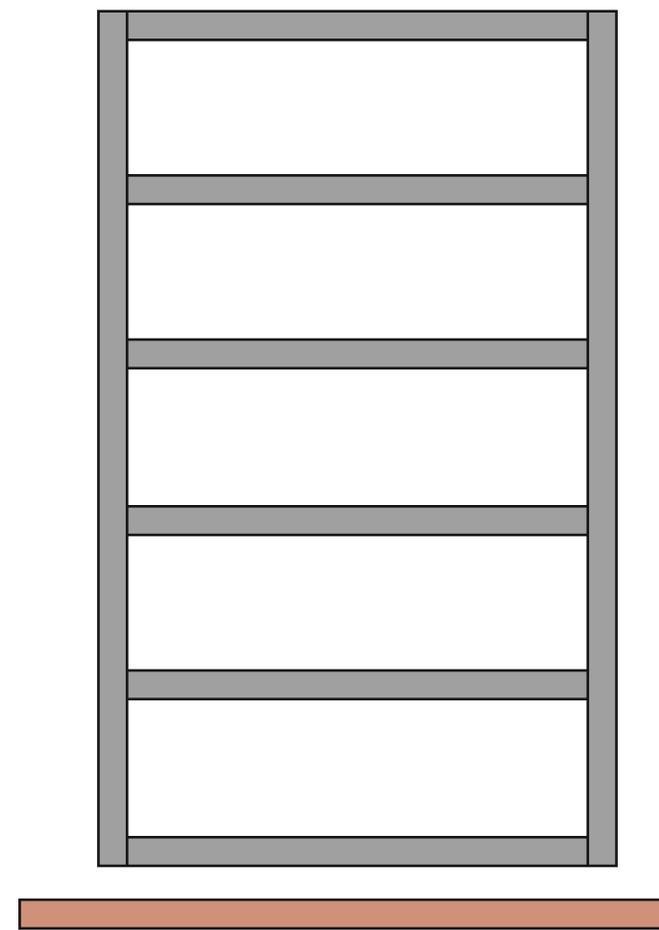
Base rígida



Condición intermedia



Aislamiento Sísmico



Condición ideal

DAMPO



¿Qué es el sistema de aislamiento sísmico?

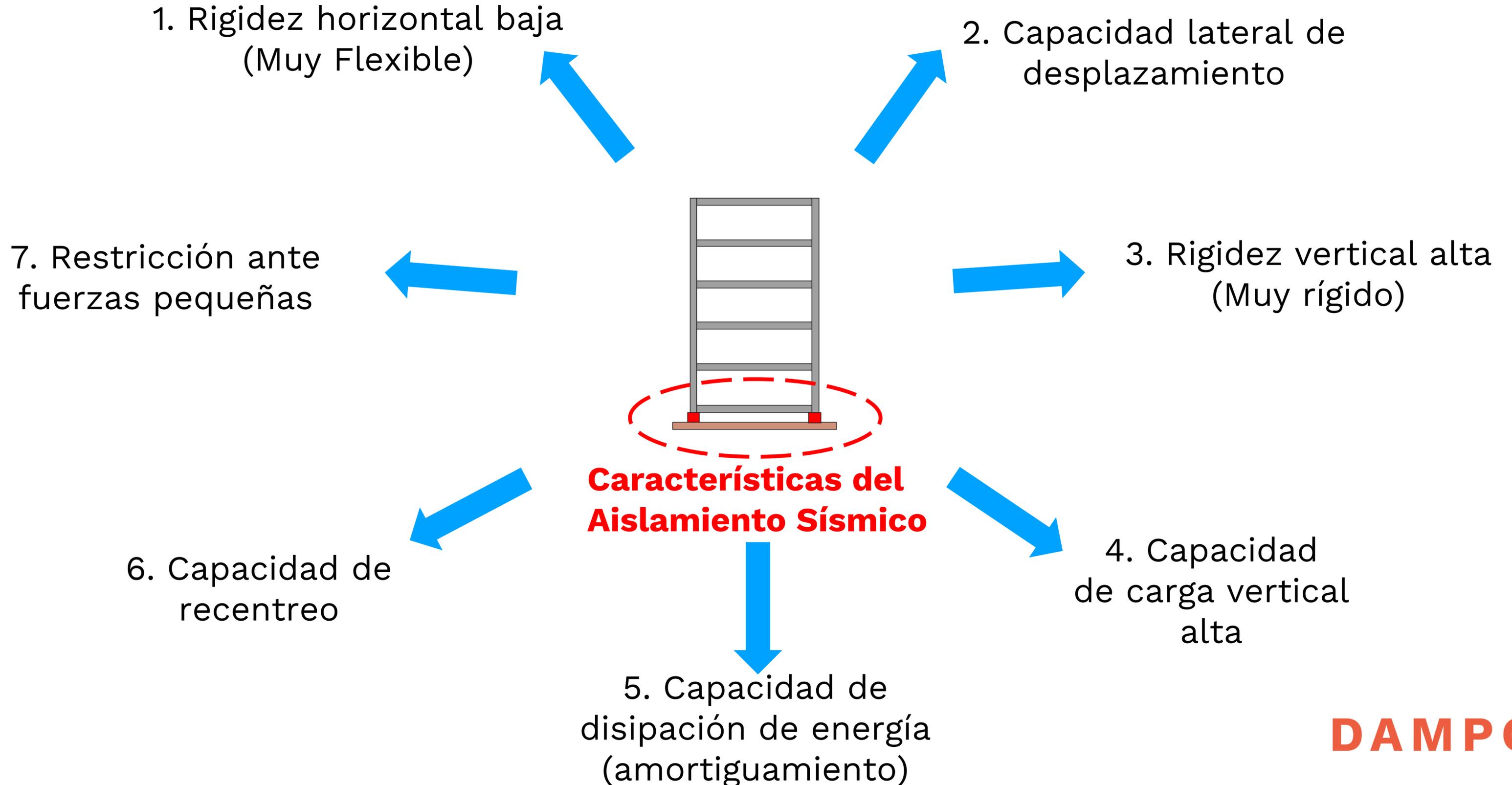


(Universidad de California, 2013)

DAMPO



¿Qué es el sistema de aislamiento sísmico?



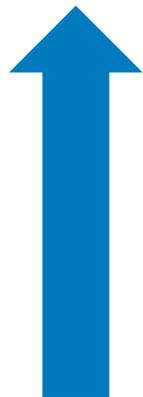


Ventajas de la implementación del aislamiento sísmico

(-)
Fuerzas de
diseño



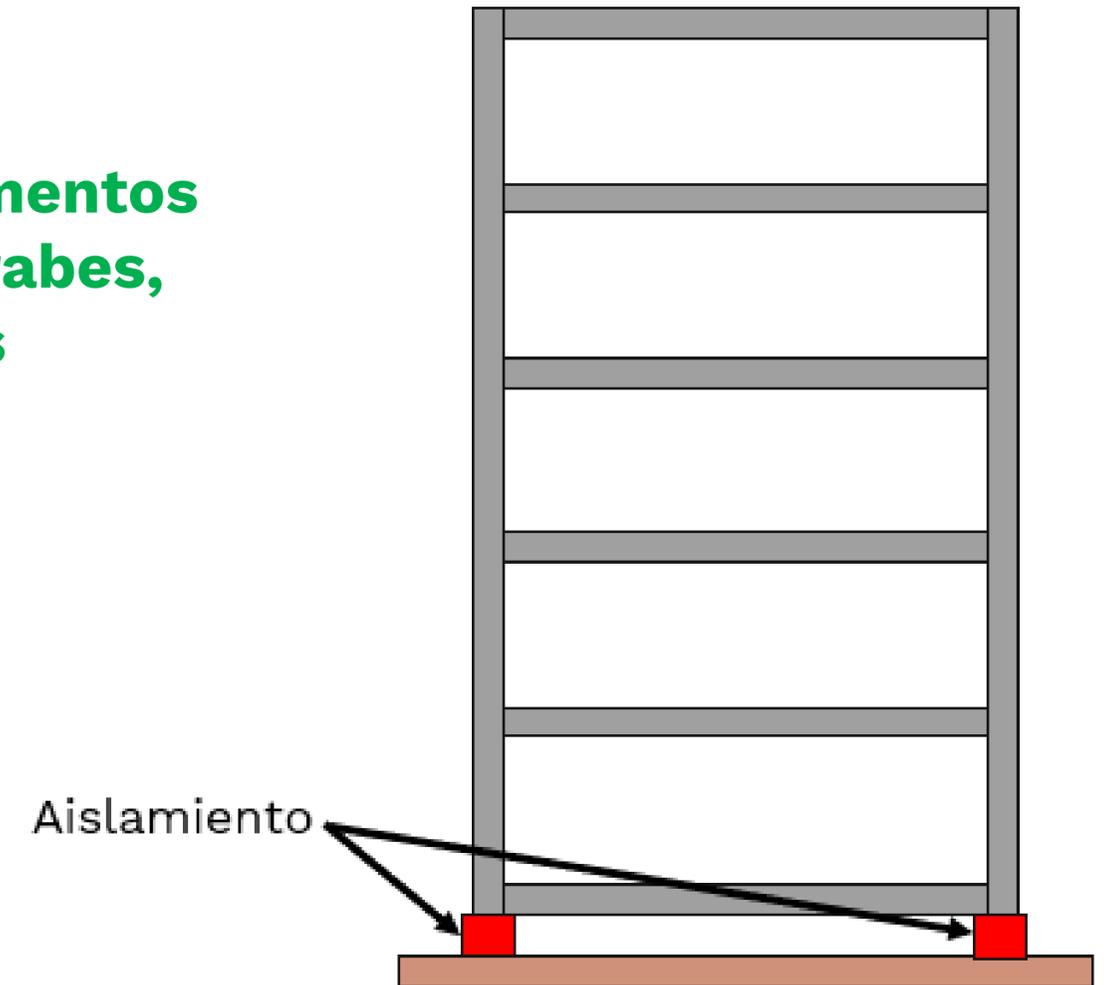
(+)
Desplazamiento
en el sistema
de aislamiento



(-)
Daños en
contenidos



(-)
Tamaño de elementos
principales (Trabes,
columnas)

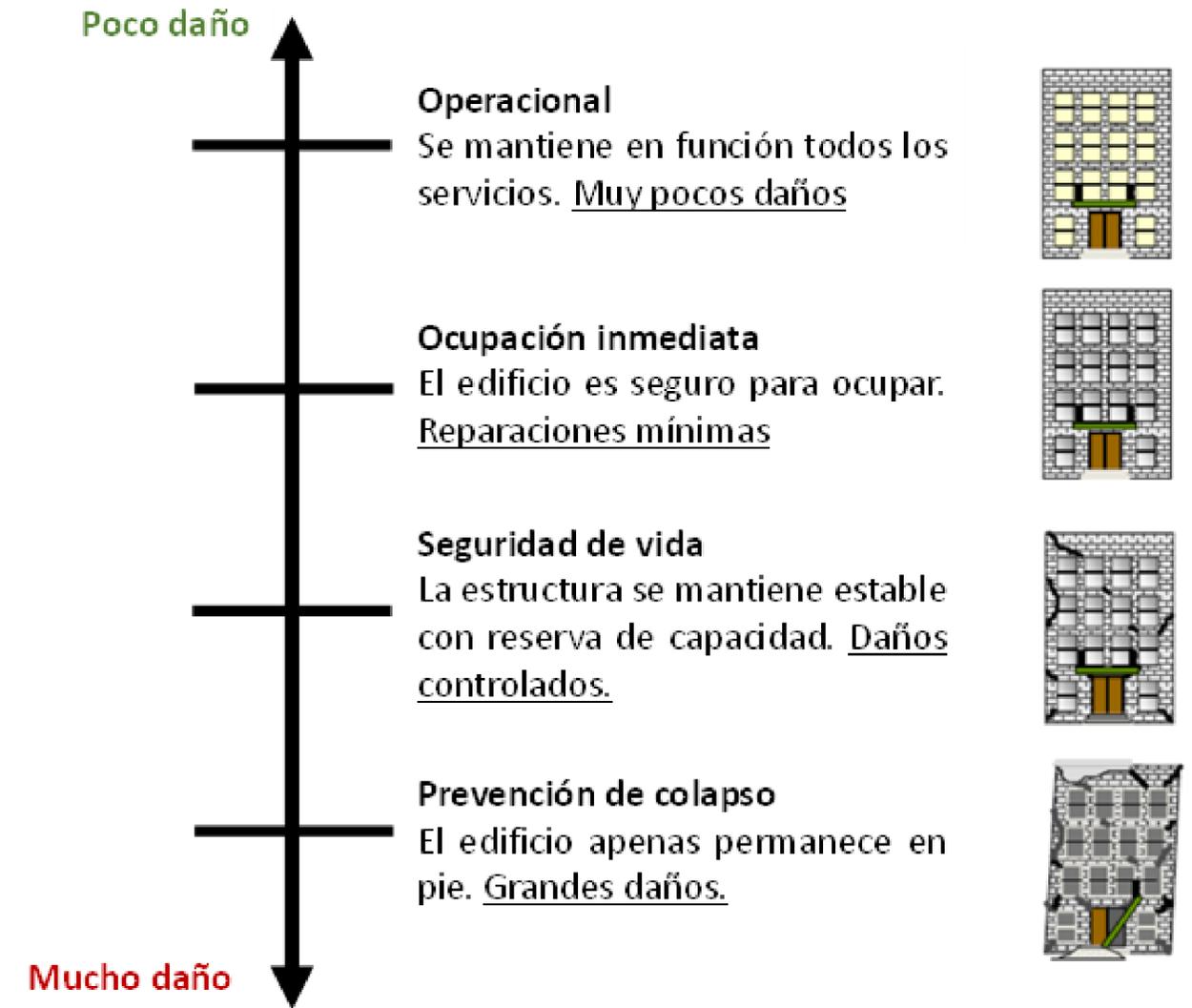
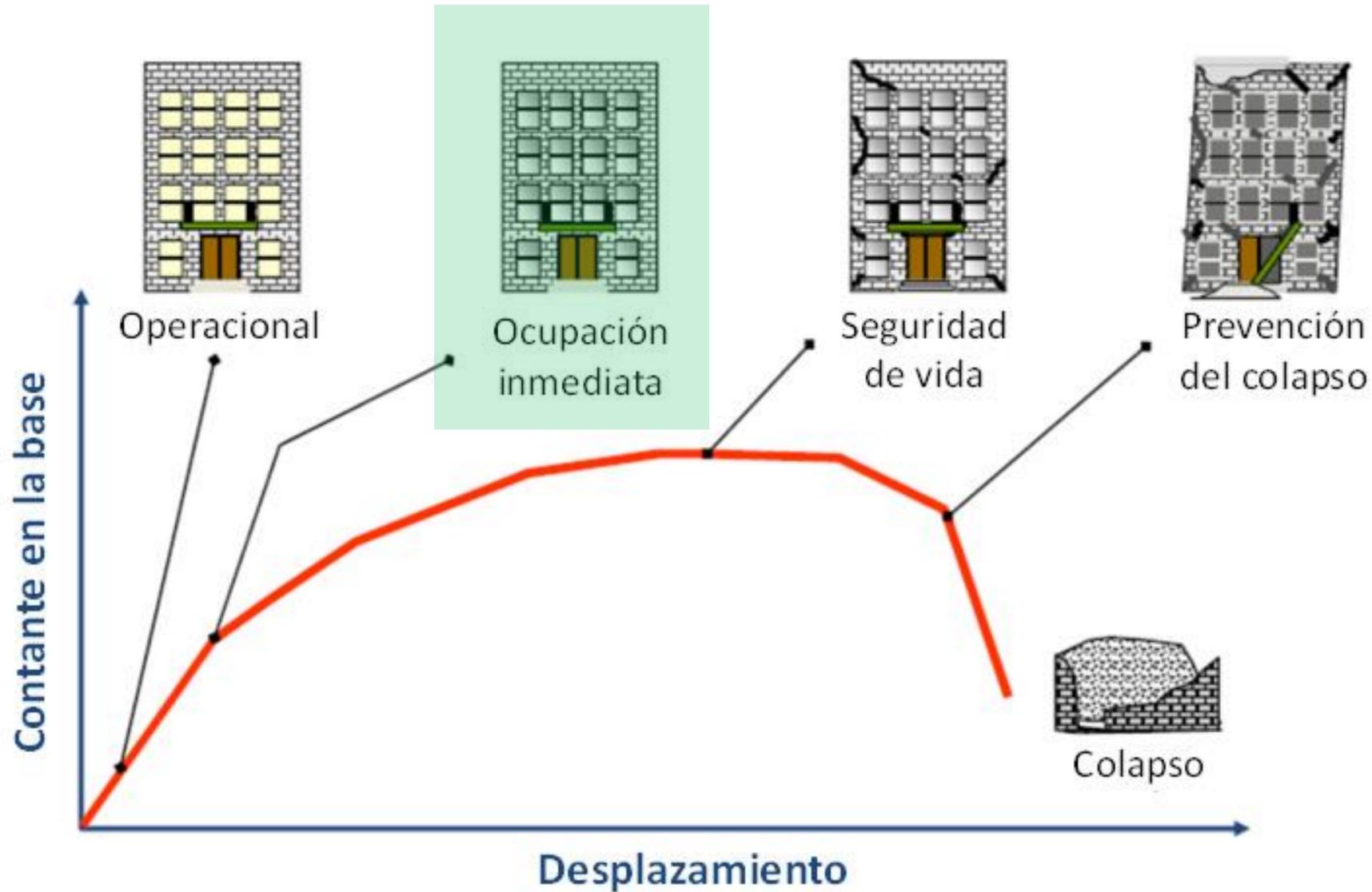


DAMPO



Ventajas de la implementación del aislamiento sísmico

Desempeño estructural





Ventajas de la implementación del aislamiento sísmico

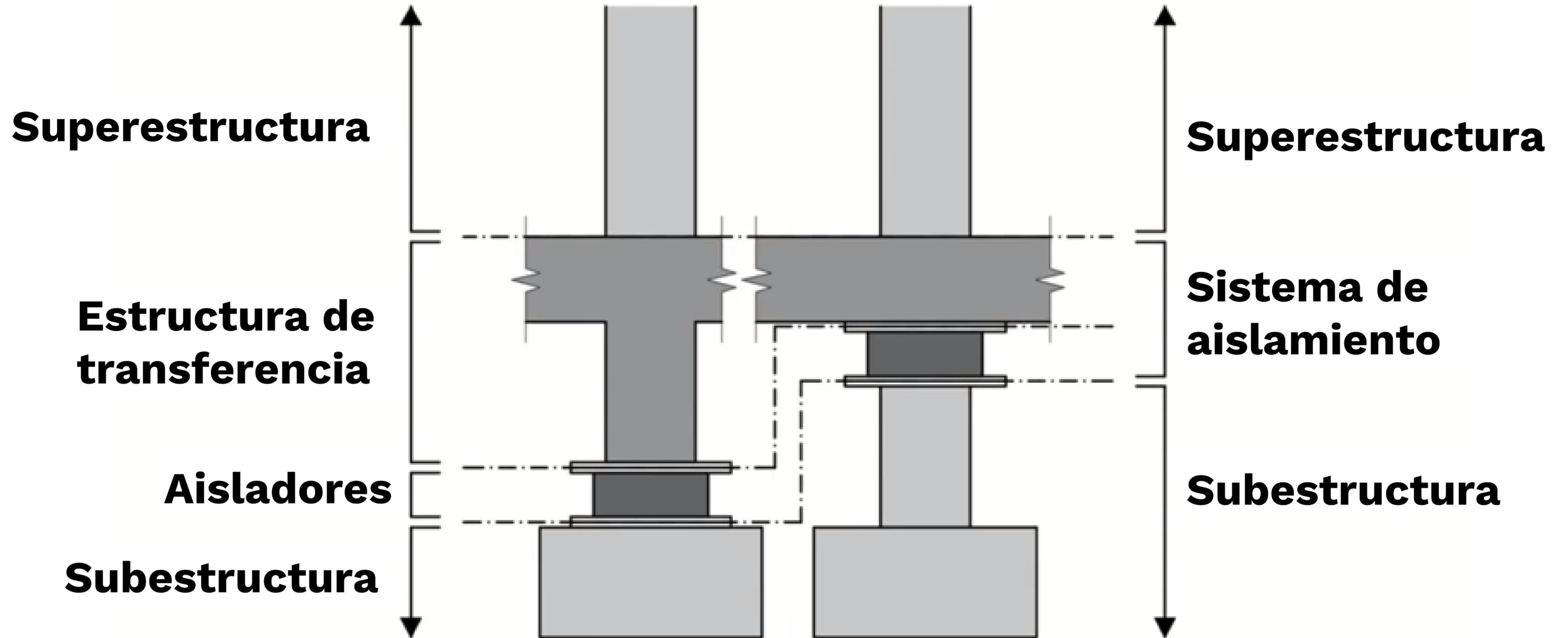


(Universidad de California, 2013)

DAMPO

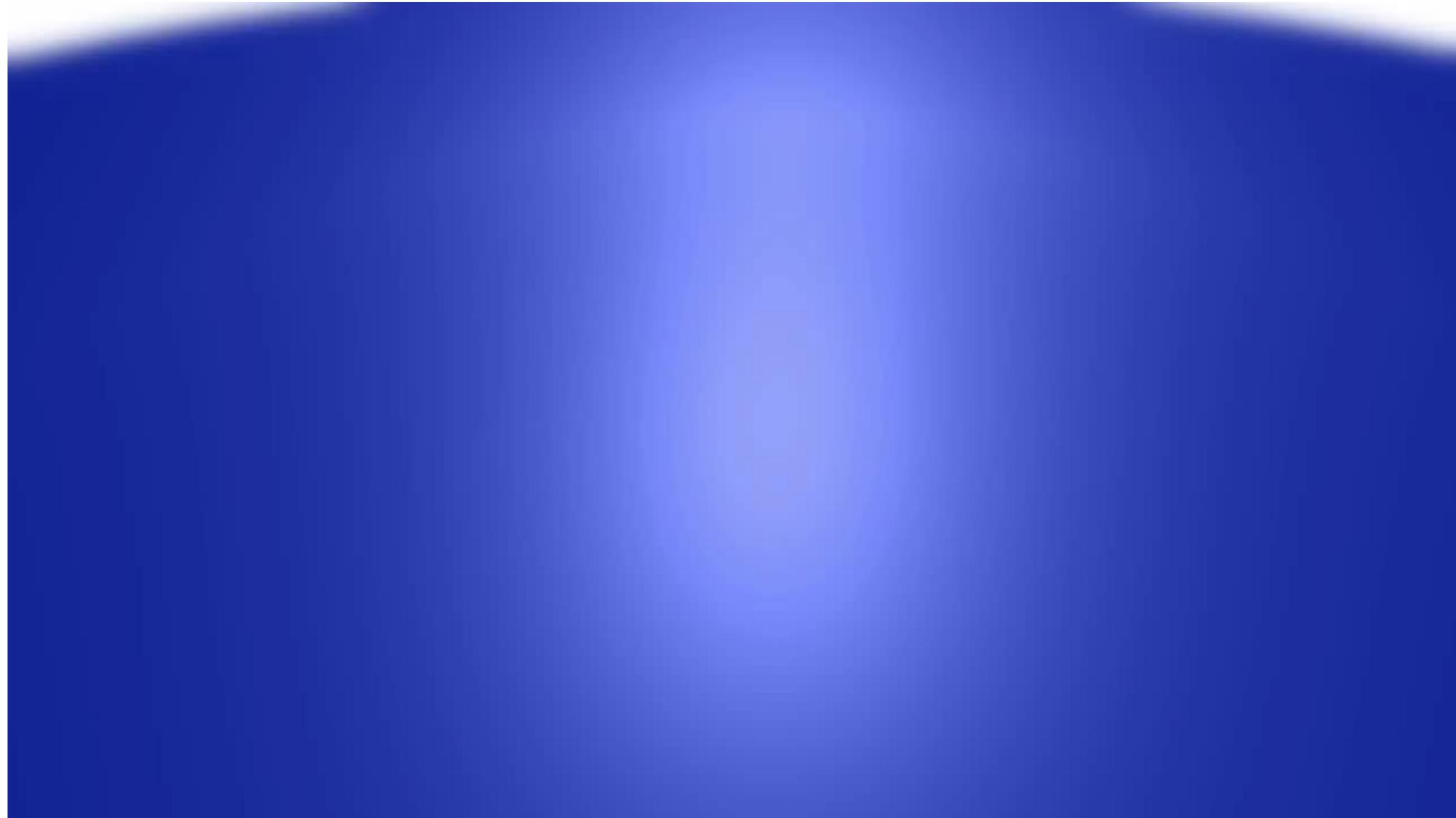


Elementos de una estructura aislada





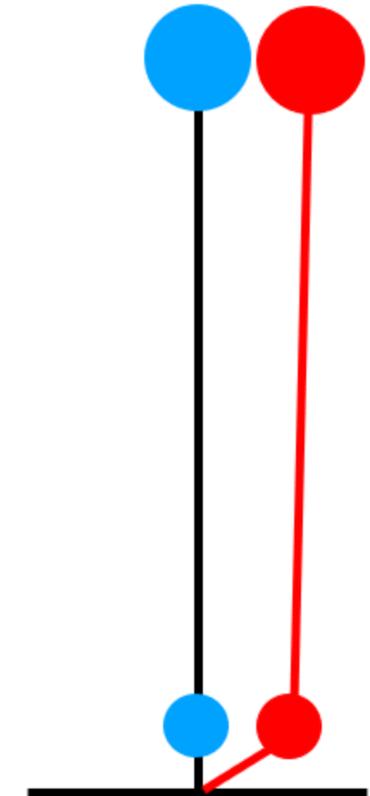
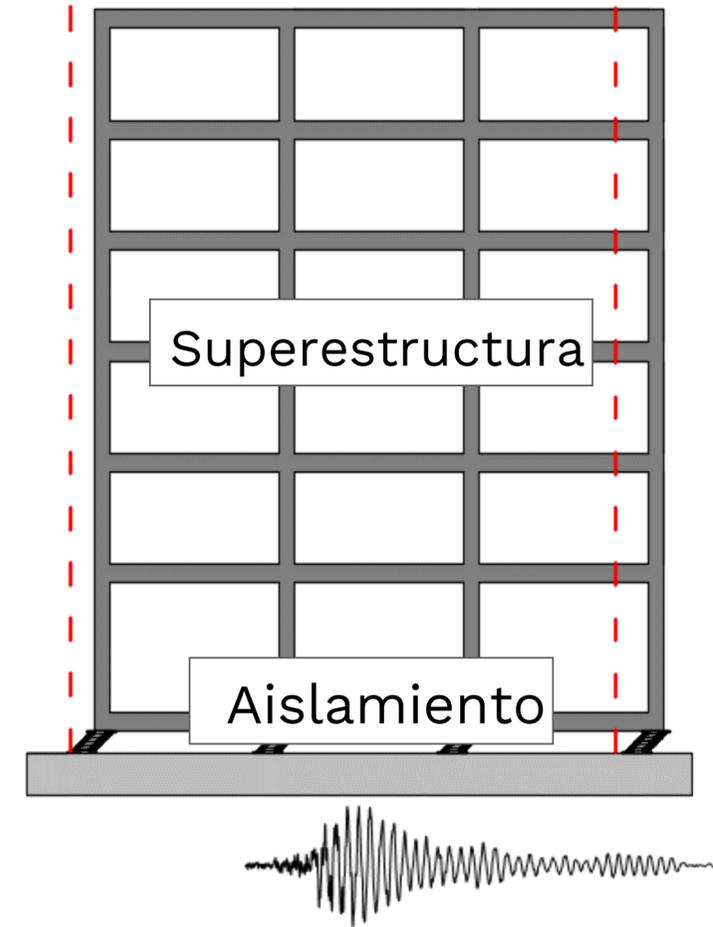
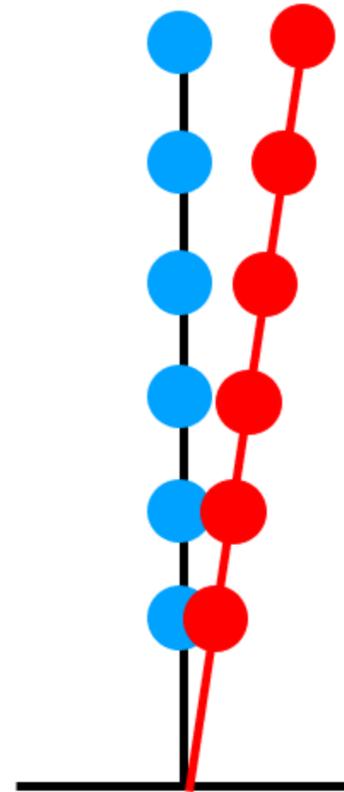
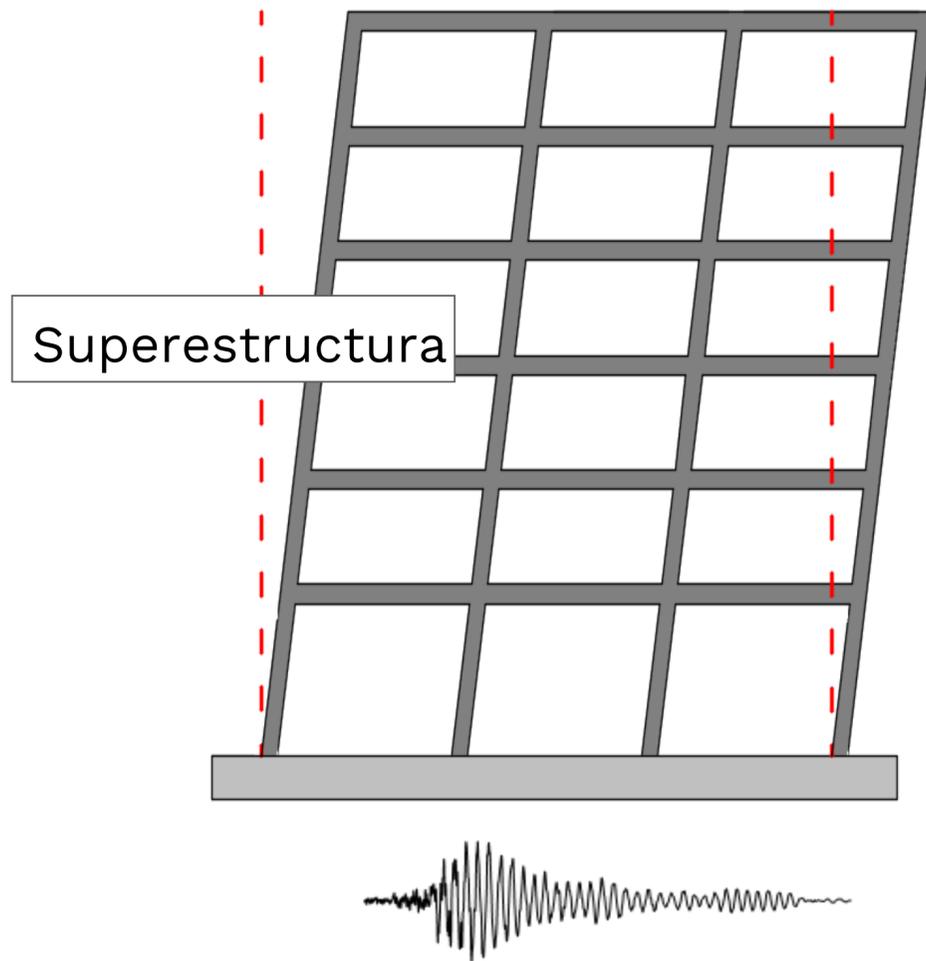
Elementos de una estructura aislada





Principios básicos del sistema de aislamiento

Cambio de rigidez y periodo



$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{W_{Total}}{g * K_e}}$$

$$T_{ais} = 2\pi \sqrt{\frac{W_{Total}}{g * K_{ais}}}$$

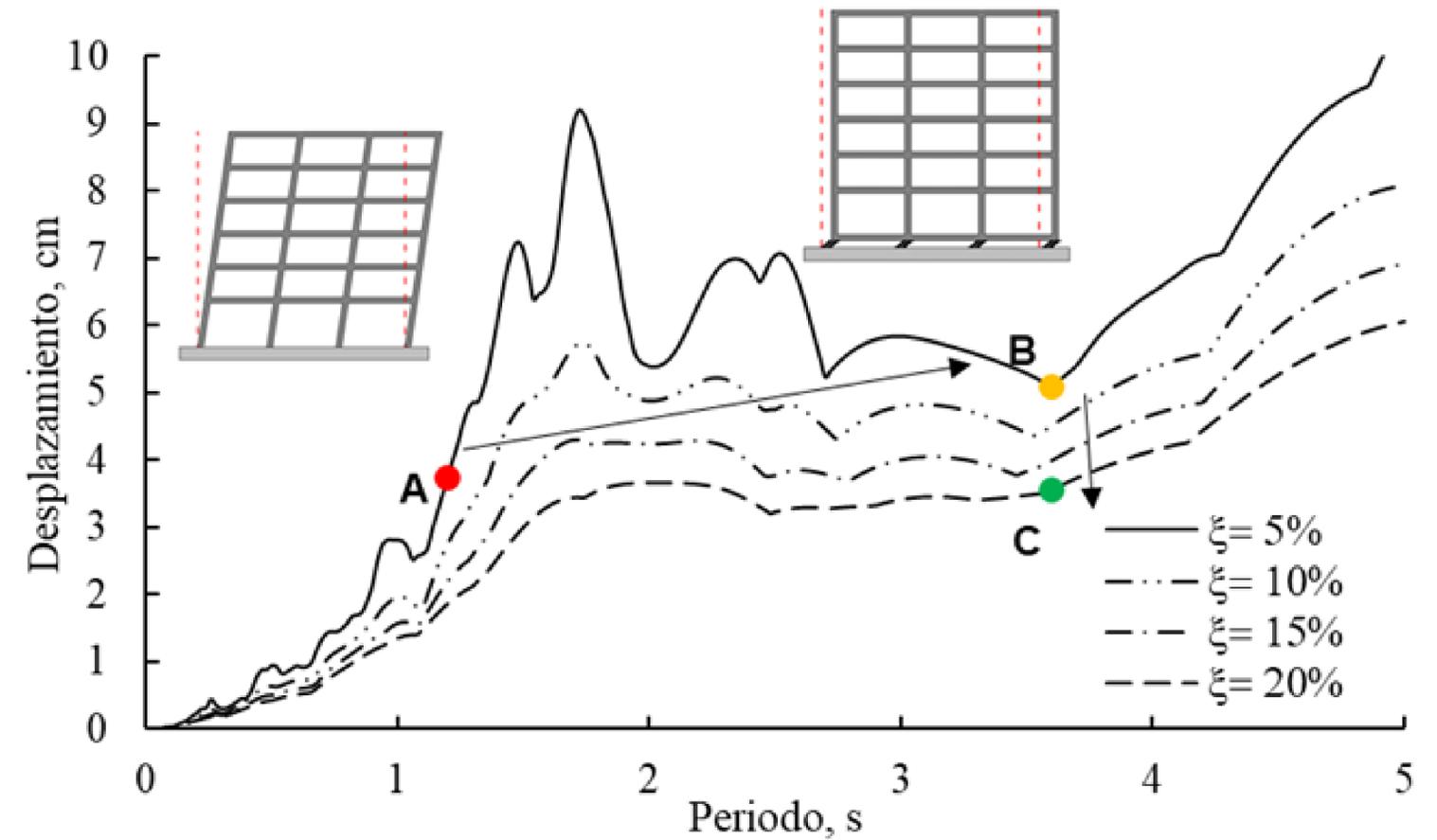
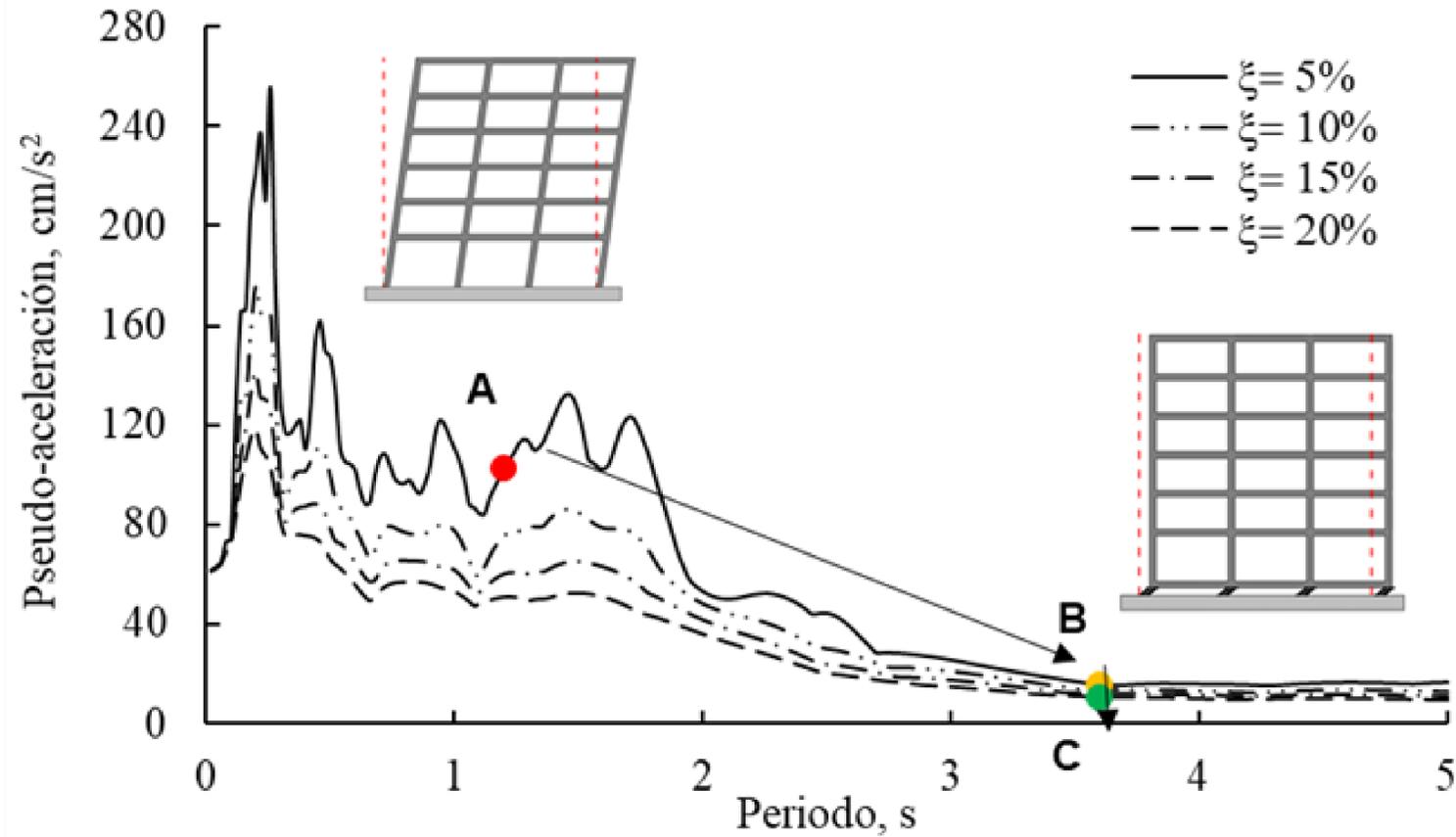
$$T_{ais} \approx 3 T_e$$

DAMPO



Principios básicos del sistema de aislamiento

Efecto del alargamiento del periodo e incremento de amortiguamiento

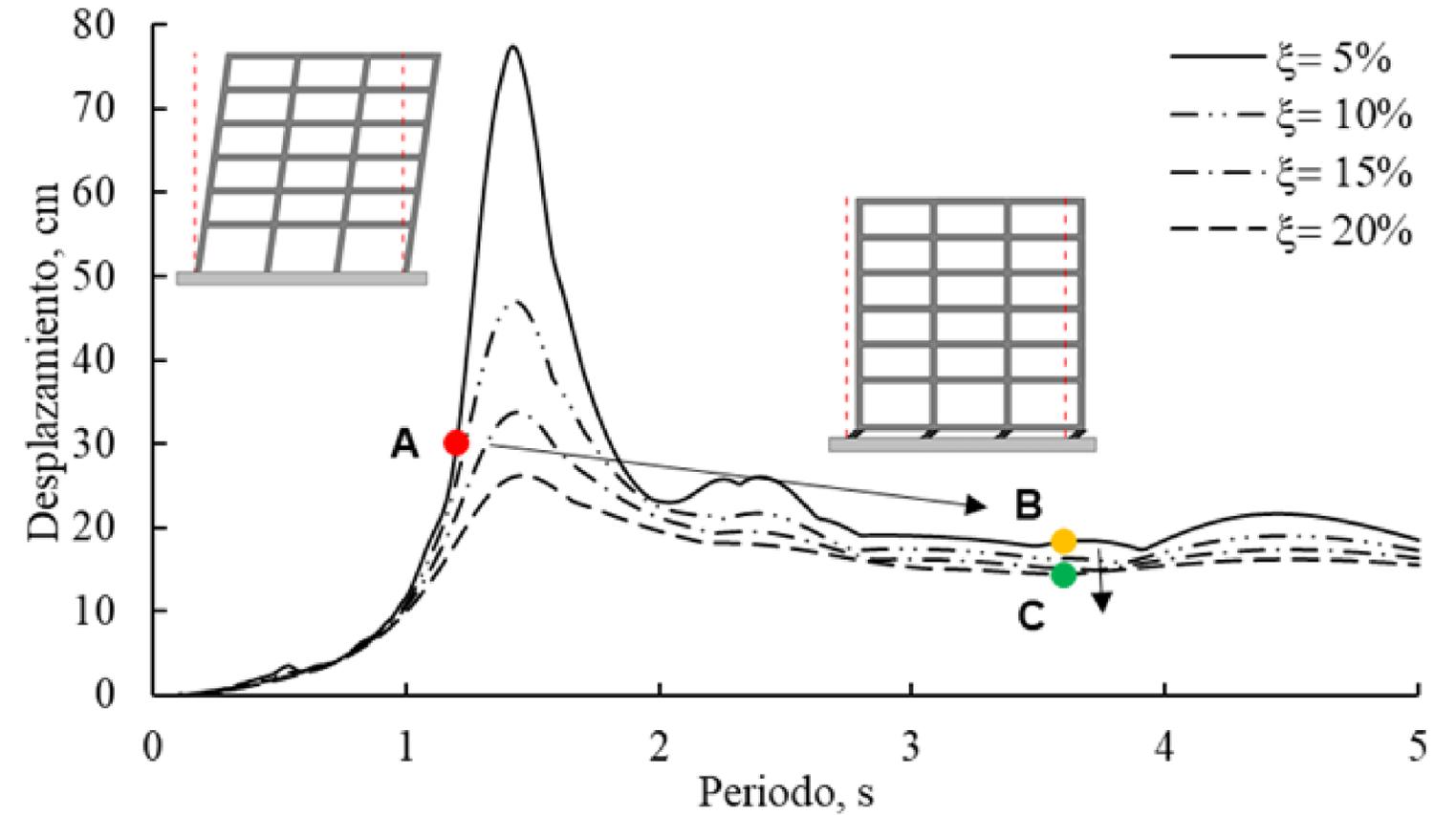
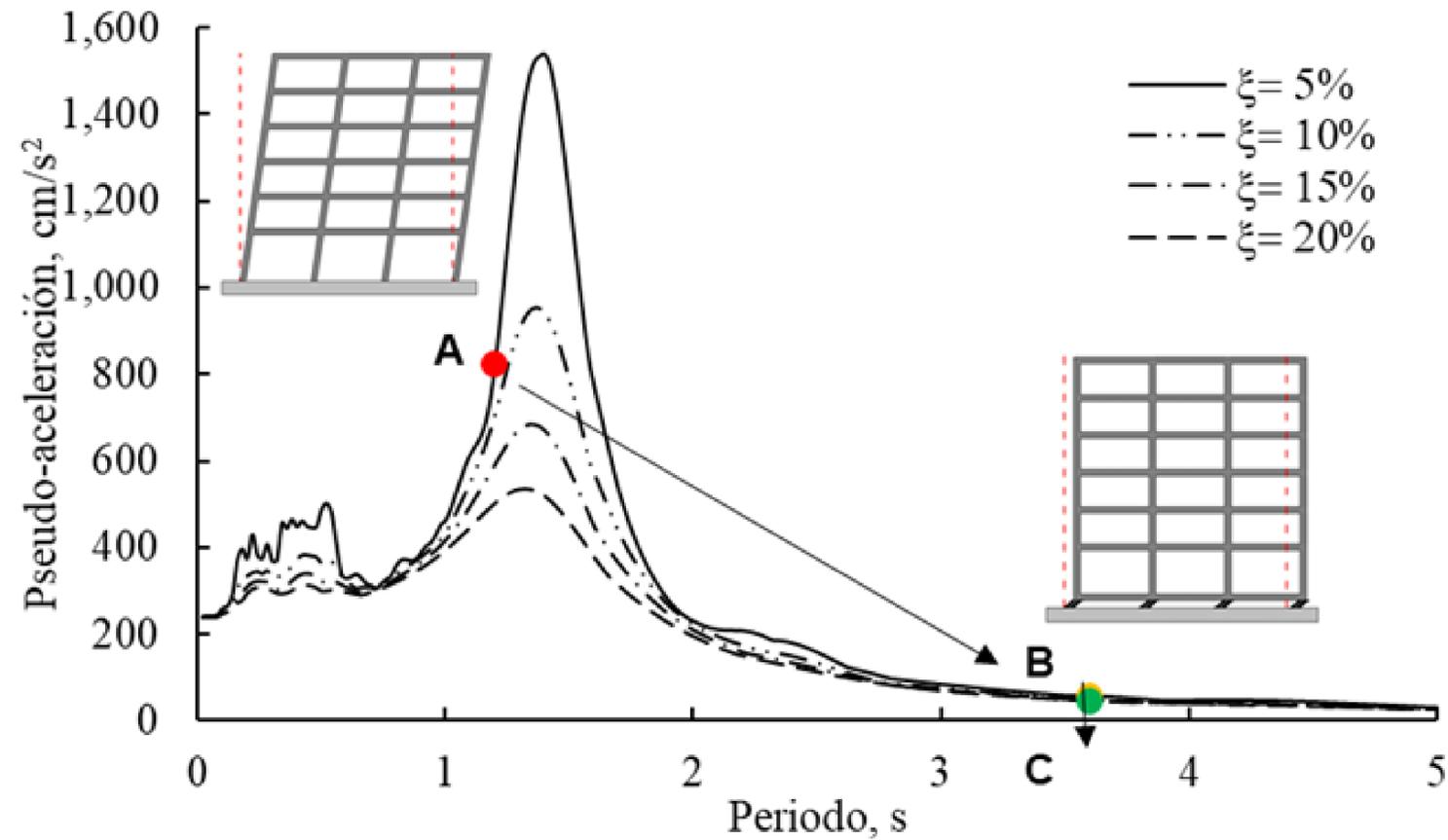


Suelo rígido



Principios básicos del sistema de aislamiento

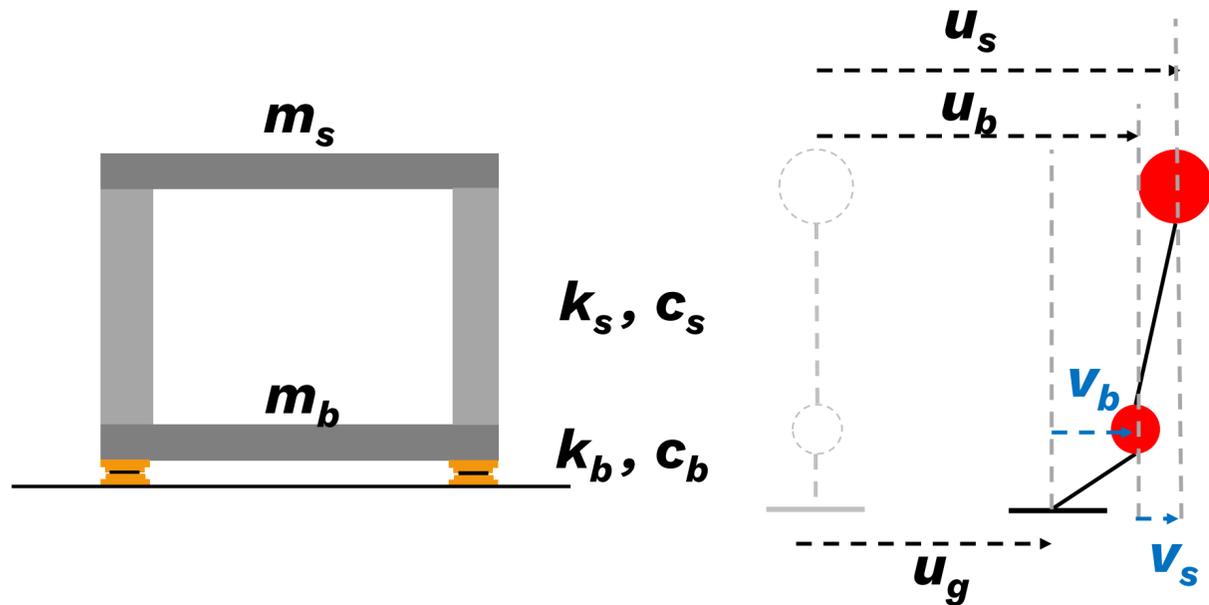
Efecto del alargamiento del periodo e incremento de amortiguamiento



Suelo Blando



Relación de periodos



Ecuación de movimiento para un sistema de 2 GDL

$$m = m_s + m_b$$

$$\begin{bmatrix} m & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = -[M]\{r\} \ddot{u}_g$$

Frecuencias

$$\omega_s = \sqrt{k_s/m_s}$$

$$\omega_b = \sqrt{k_b/m}$$

Amortiguamiento

$$\xi_s = \frac{c_s}{2m_s\omega_s}$$

$$\xi_b = \frac{c_s}{2m\omega_s}$$

Frecuencias de estructura aislada

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0$$

$$\begin{vmatrix} k_b - \omega^2 m & -\omega^2 m_s \\ -\omega^2 m_s & k_s - \omega^2 m_s \end{vmatrix} = 0$$

$$\gamma = \frac{m_s}{m}$$

$$\omega_1 = \omega_b \sqrt{1 - \gamma \varepsilon} \approx \omega_b$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_s}{\sqrt{1 - \gamma}} \sqrt{1 + \gamma \varepsilon} \approx \frac{\omega_s}{\sqrt{1 - \gamma}}$$

Contraste de rigideces

$$\varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s} \right)^2 \approx 0.01$$



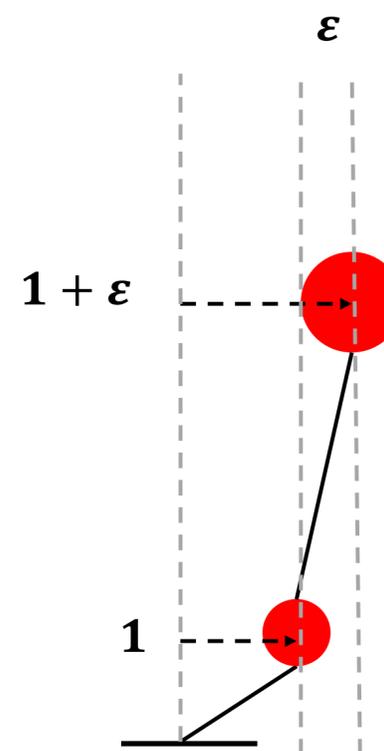
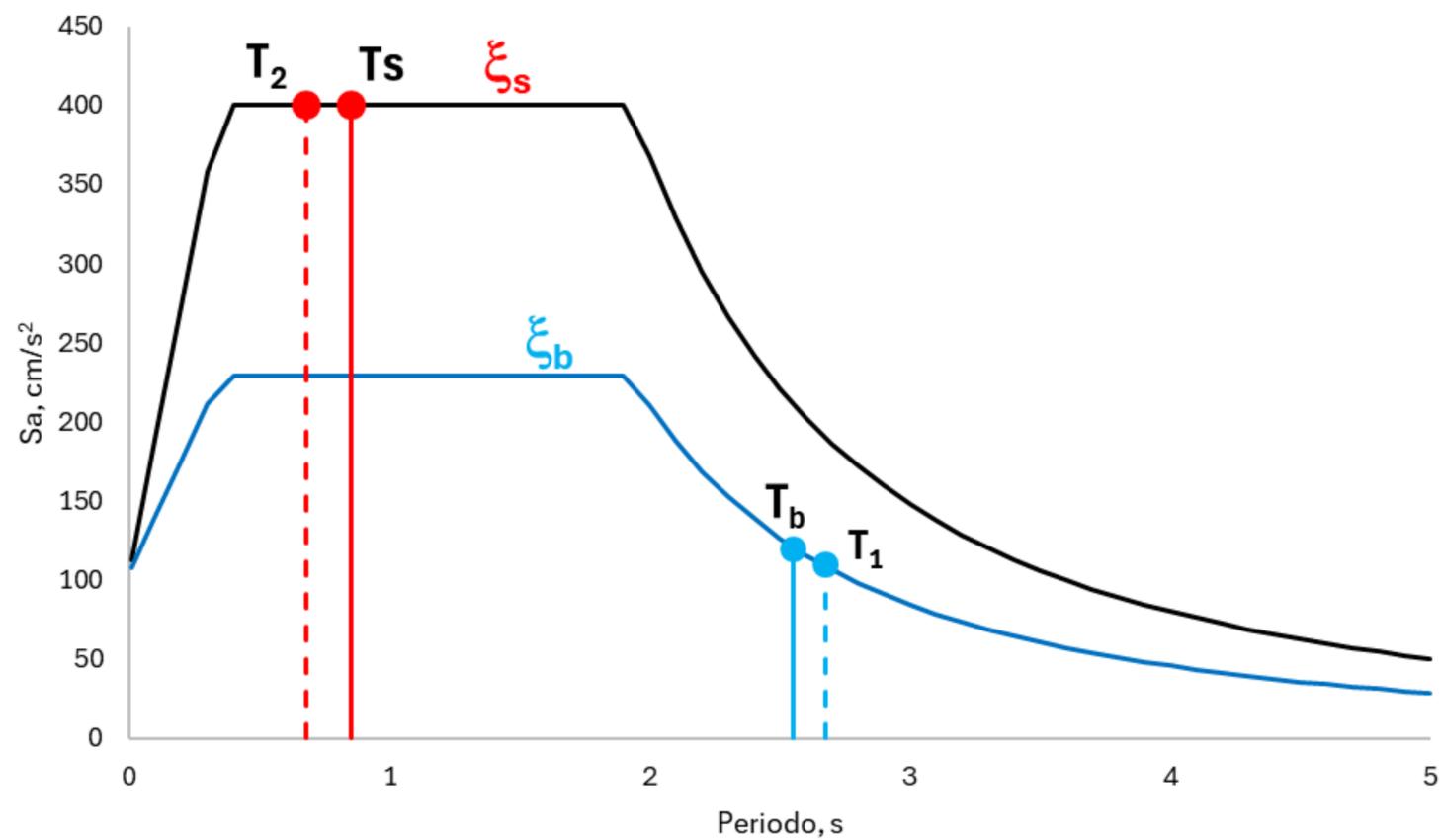
Relación de periodos

$$\omega_1 = \omega_b \sqrt{1 - \gamma \varepsilon}$$

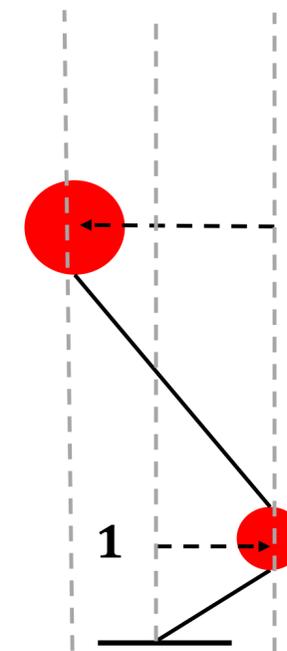
$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_s}{\sqrt{1 - \gamma}} \sqrt{1 + \gamma \varepsilon}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2}$$



1° Modo



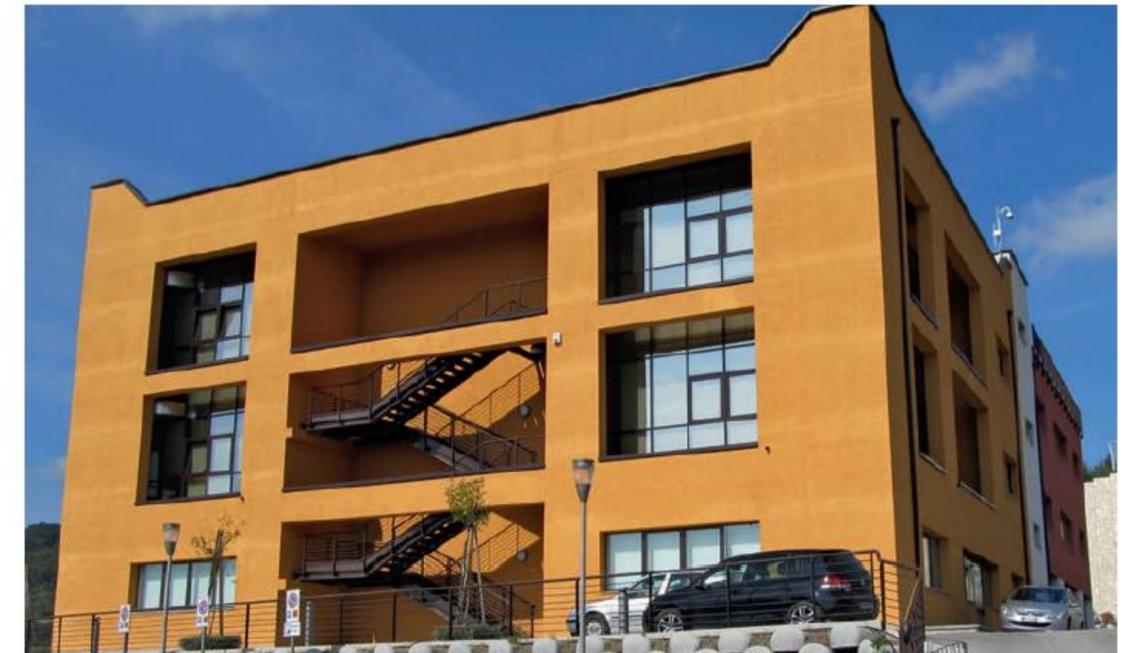
2° Modo

$$\frac{1 - (1 - \gamma)\varepsilon}{\gamma}$$



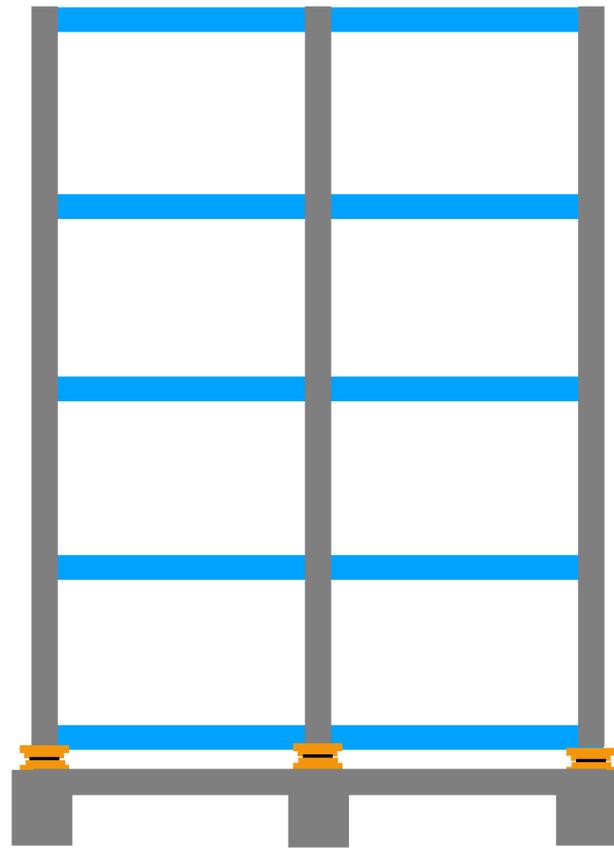
¿En qué estructuras aplicar el sistema de aislamiento sísmico?

- Edificios nuevos
- Edificios existentes
- Puentes
- Estructuras importantes o con contenidos valiosos
- Hospitales
- Escuelas
- Oficinas
- Museos

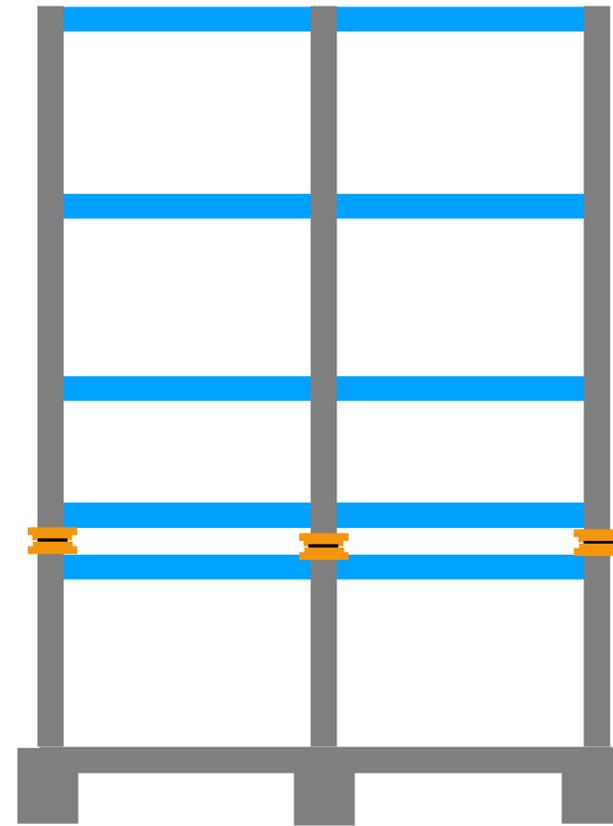




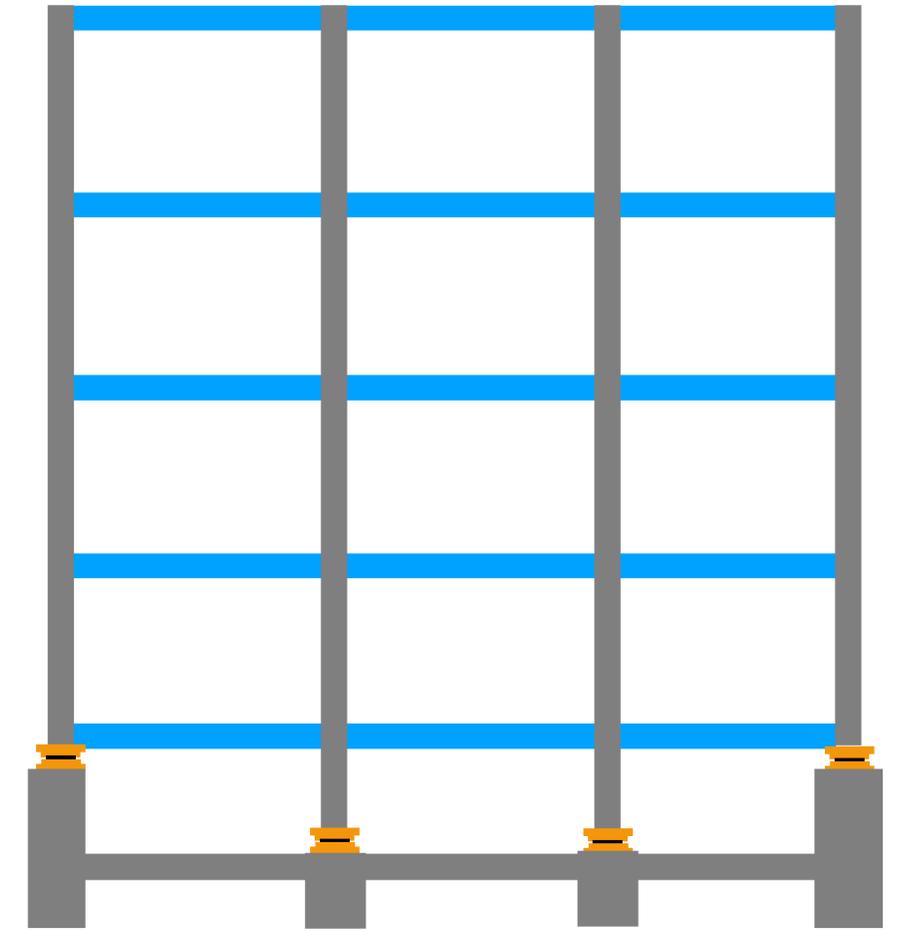
¿Dónde se pueden ubicar los aisladores sísmicos?



Aislamiento sísmico en la base



Aislamiento sísmico en pisos intermedios



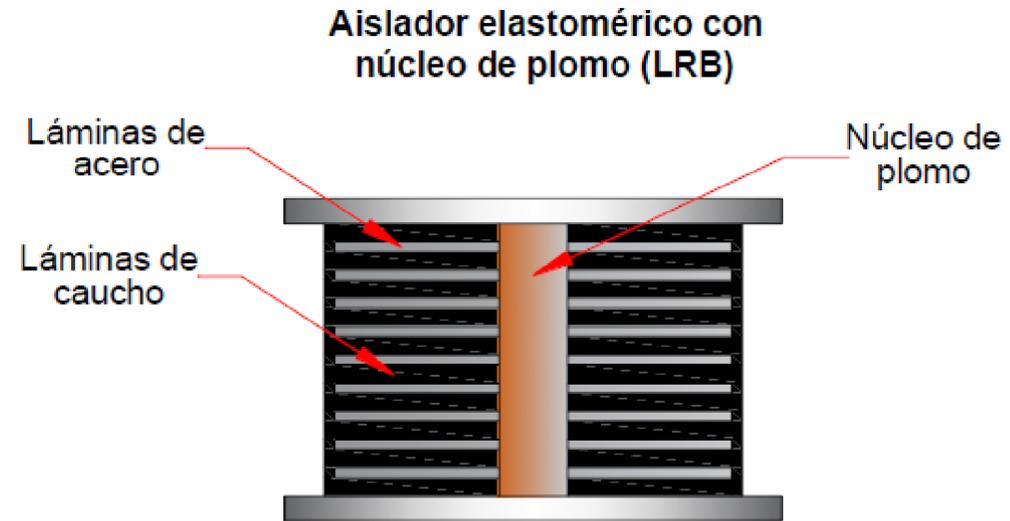
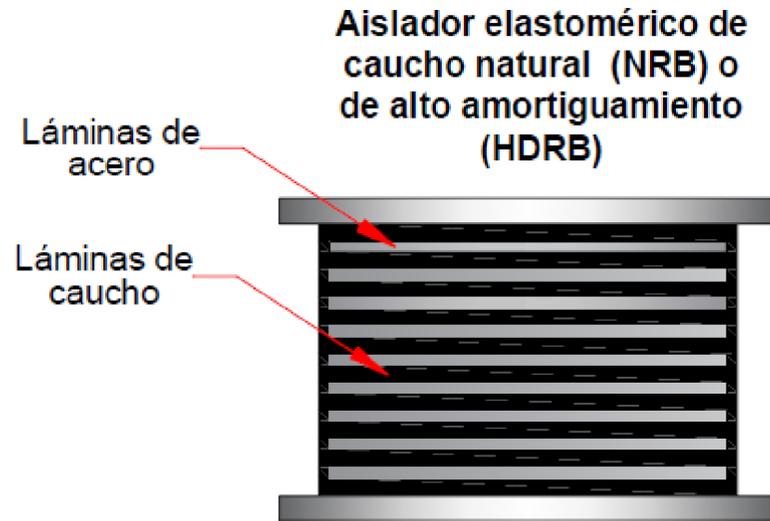
Aislamiento sísmico en diferentes niveles



Principales tipos de aisladores sísmicos

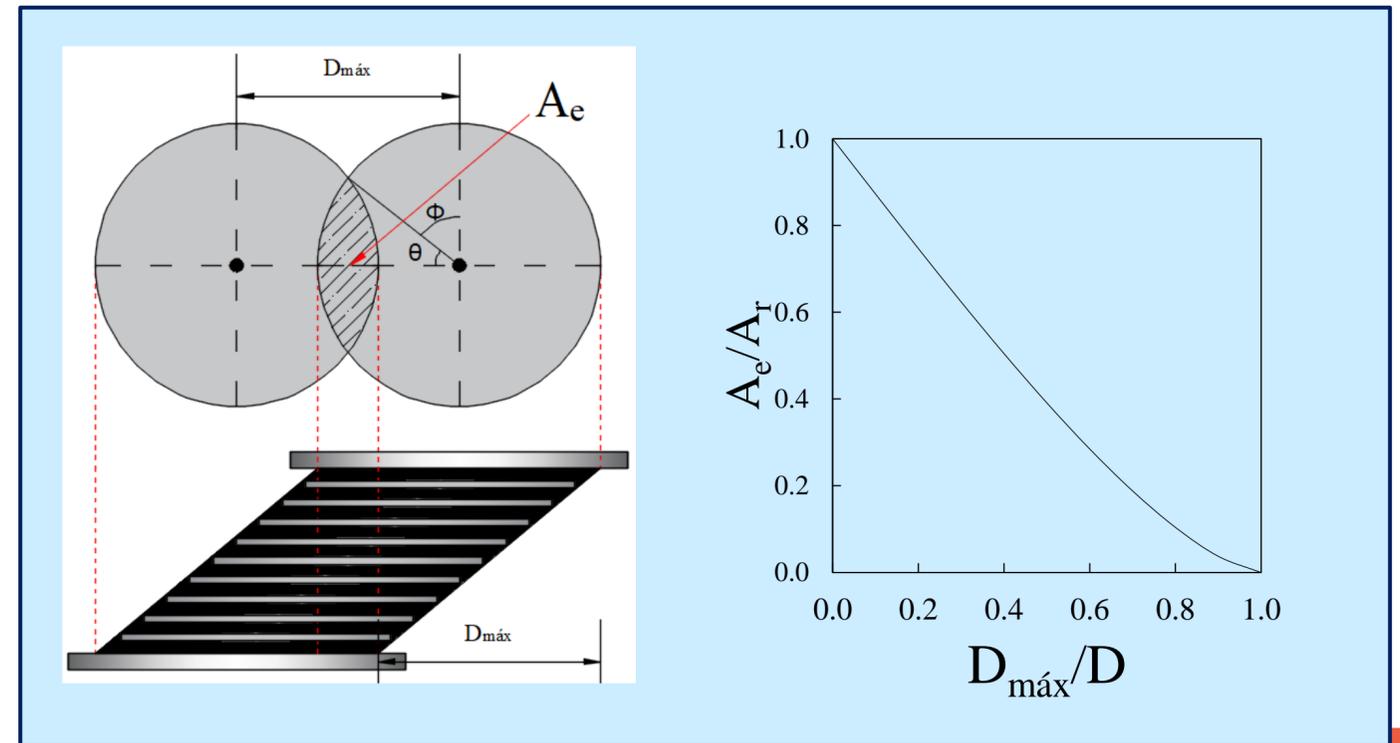


Aisladores elastoméricos



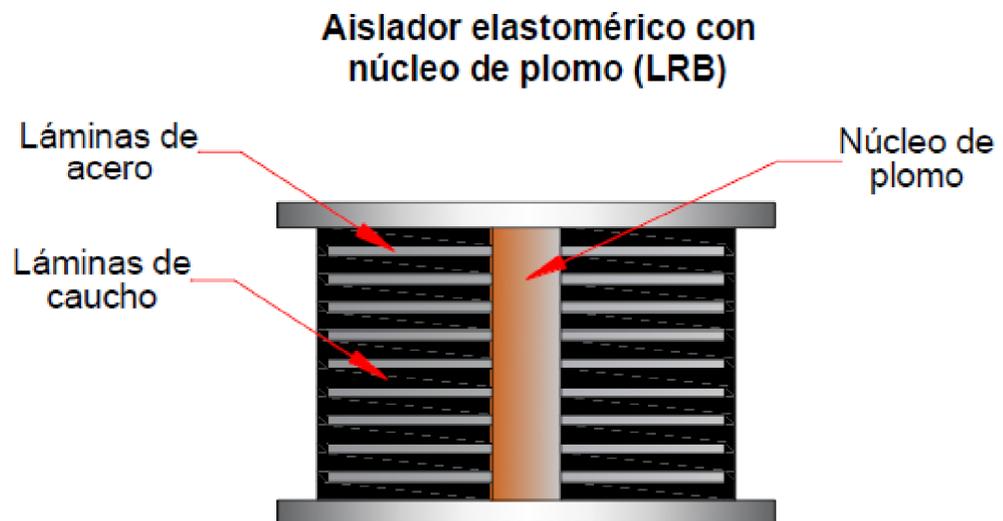
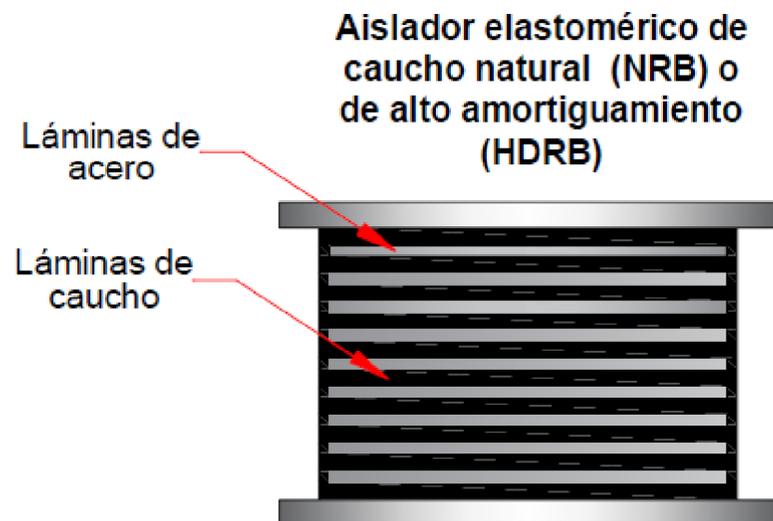
PROPIEDADES FÍSICAS

- Diámetro
- Altura total
- Espesor capas elastómero
- Diámetro plomo (LRB)
- Área total, A_r
- Área efectiva, A_e





Aisladores elastoméricos



PROPIEDADES MECÁNICAS

- Rigidez lateral
- Rigidez vertical
- Capacidad de carga máxima

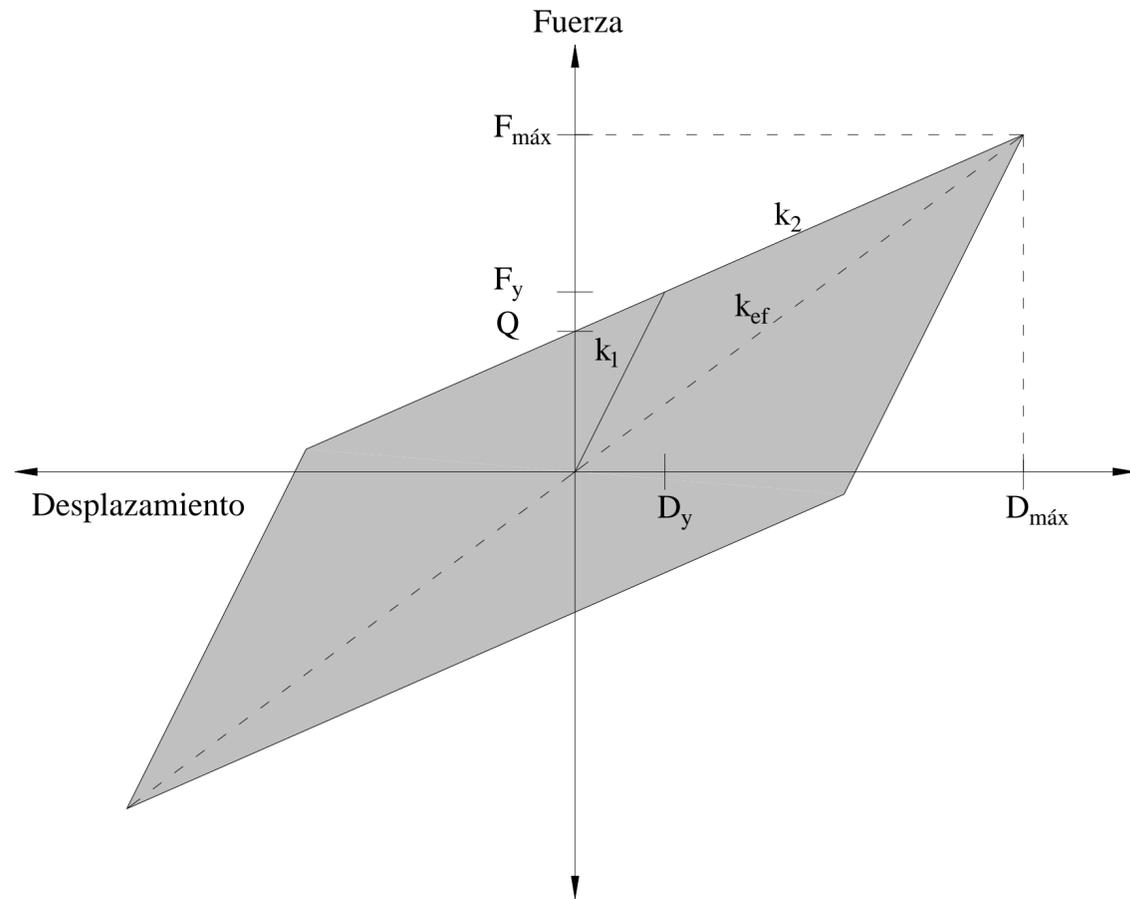
- Modelo lineal
- Modelo bilineal

$$k_v = \frac{6G_r S^2 A_r \kappa_r}{h_r (6G_r S^2 + \kappa_r)}$$

$$W_{m\acute{a}x} = A_e G_r S \gamma$$



Aisladores elastoméricos (LRB)



- Modelo bilineal

$$k_1 \approx \frac{1}{h_r} (G_p A_p + G_r A_r)$$
$$k_2 = \frac{G_r A_r}{h_r} = k_b$$
$$Q = A_p \tau_{py}$$
$$F_y = \tau_{py} A_p \left(1 + \frac{G_r A_r}{G_p A_p} \right)$$

- Modelo lineal

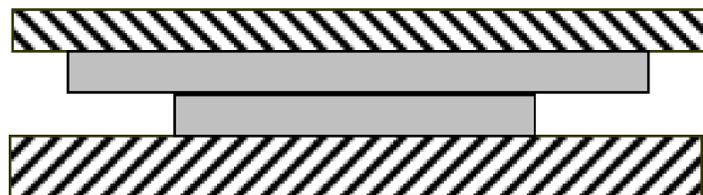
$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_{máx}}$$

$$T_{ef} = 2\pi \sqrt{\frac{W_{Total}}{g K_{ef}}}$$

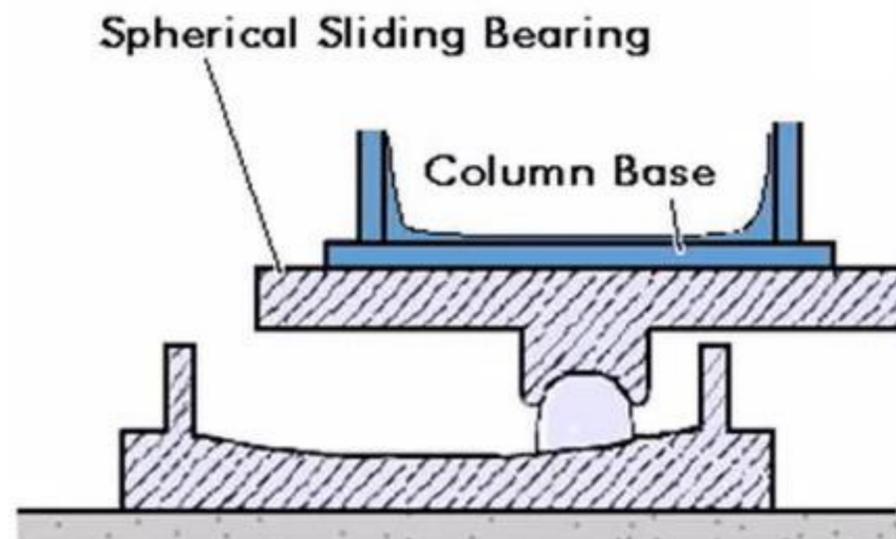
$$\xi_{ef} = \frac{4Q(D_{máx} - D_y)}{2\pi K_{ef} D_{máx}^2}$$



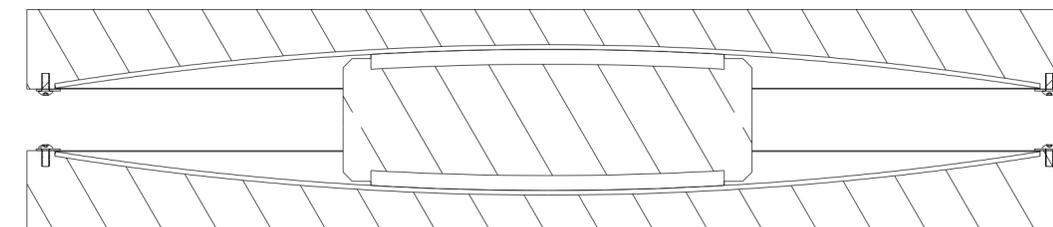
Aisladores friccionantes



Deslizadores planos



Curvatura simple



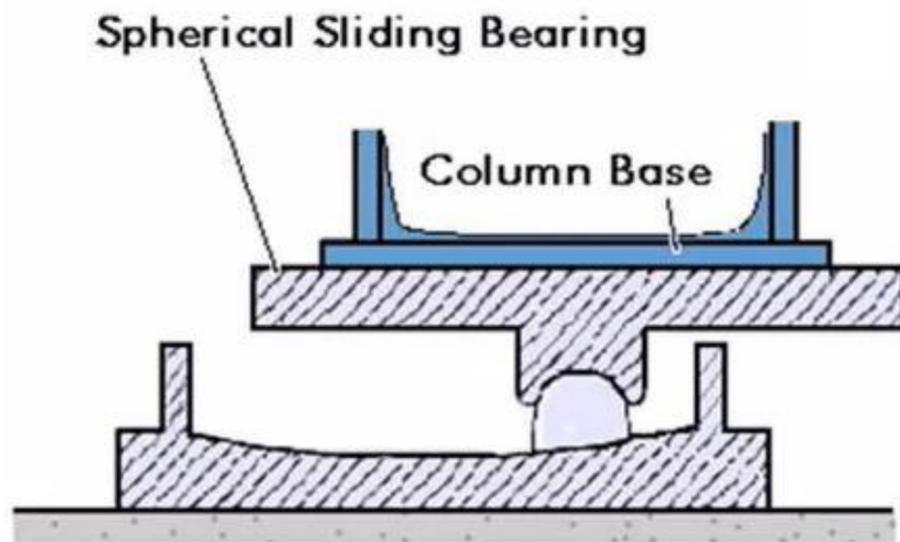
Curvatura doble

CARACTERÍSTICAS

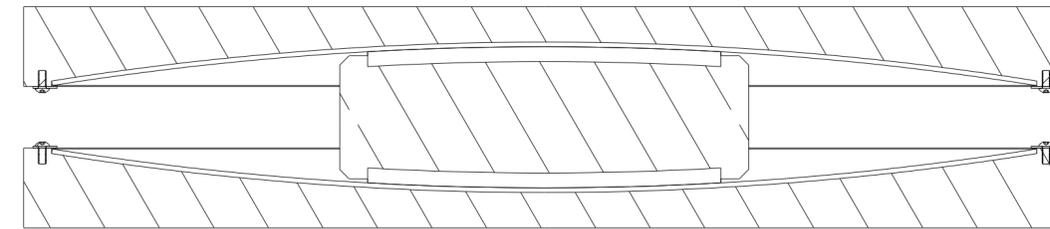
- Radio de curvatura efectivo, R_{ef}
- Coeficiente de fricción, μ
- Diámetro de oscilador
- Altura de oscilador
- Diámetro de plato



Aisladores friccionantes



Curvatura simple



Curvatura doble

PROPIEDADES FÍSICAS

• Rigidez lateral

• Rigidez vertical

• Capacidad de carga máxima

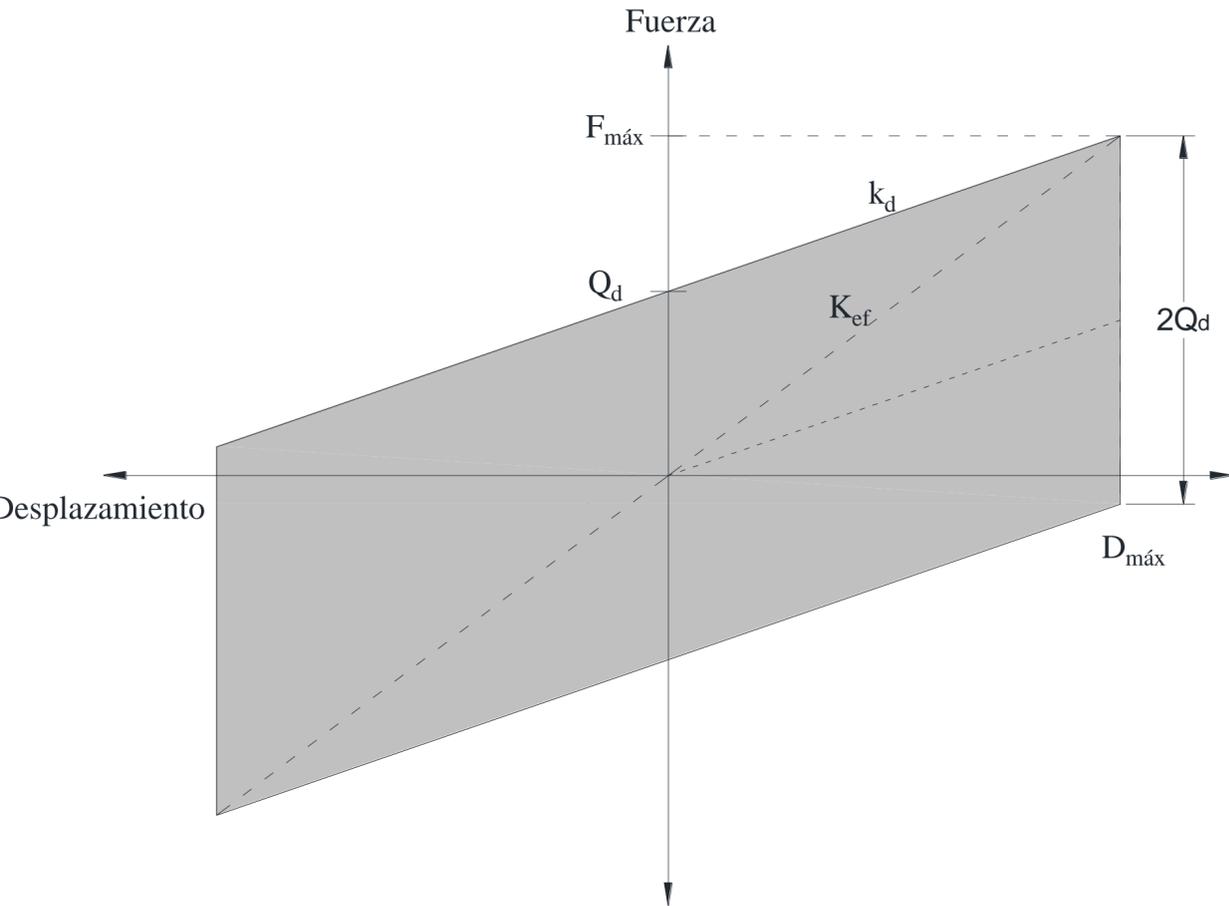
• Modelo lineal

• Modelo bilineal

$$K_v = EA/L$$



Aisladores friccionantes



- Modelo bilineal

$$K_d = N_{sd} / R_{ef}$$

$$Q_d = N_{sd} \mu$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_{ef}}{g}}$$

$$EDC = 4Q_d d_{máx}$$

$$F_{máx} = Q_d + K_d d_{máx}$$

- Modelo lineal

$$K_{ef} = K_d + \frac{N_{sd} \mu}{d_{máx}}$$

$$T_{ef} = 2\pi \sqrt{\frac{R_{ef}}{g} \frac{d_{máx}}{d_{máx} + \mu R_{ef}}}$$

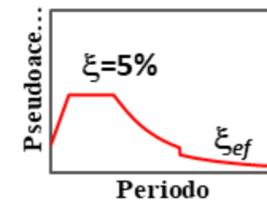
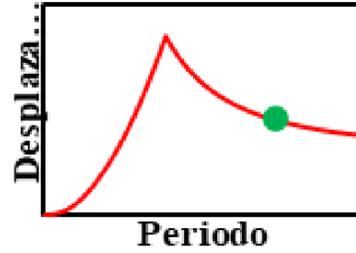
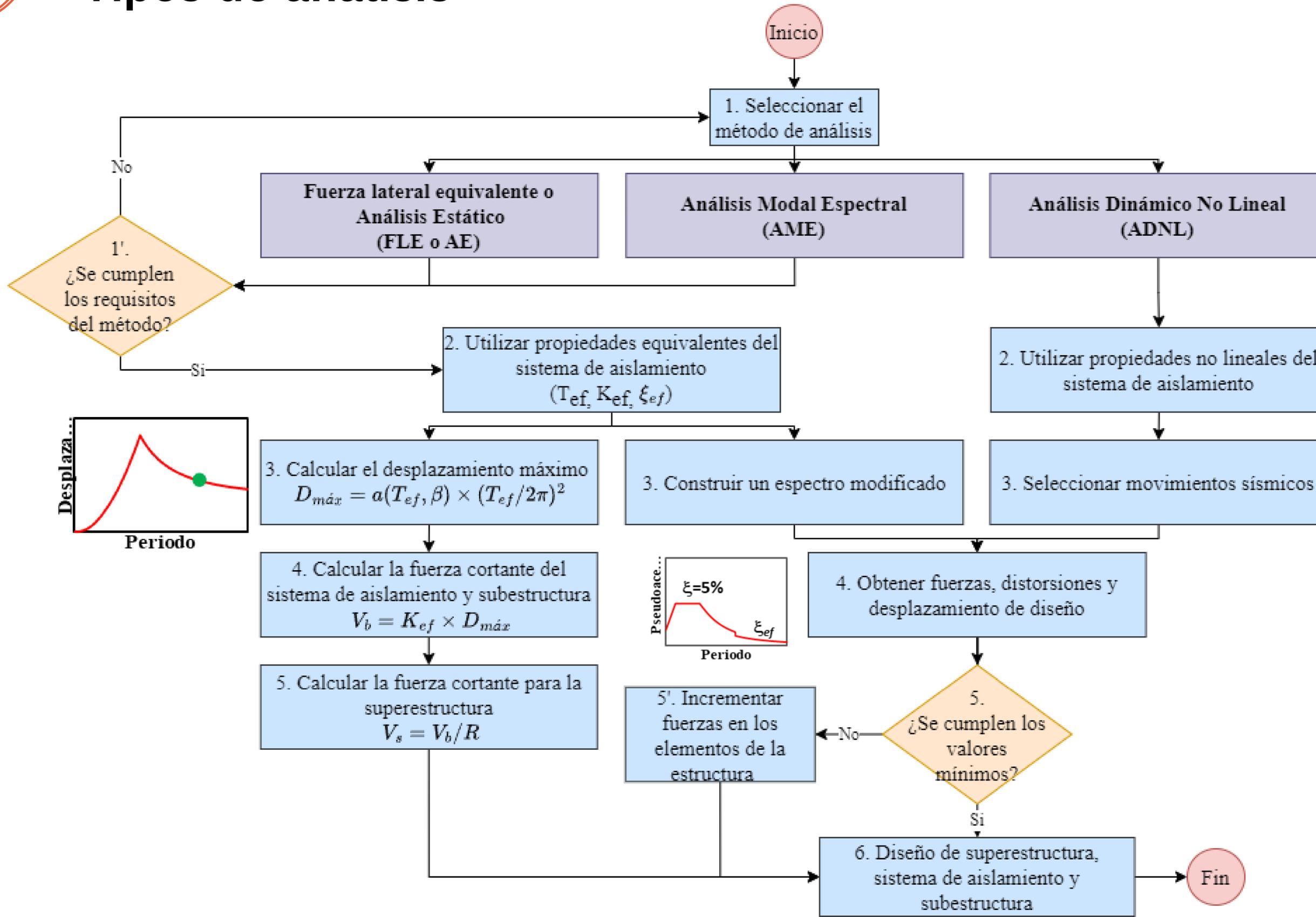
$$\xi_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu R_{ef}}{d_{máx} + \mu R_{ef}}$$



Tipos de análisis para estructuras con aislamiento sísmico



Tipos de análisis





Tipos de análisis

Requisitos Análisis Estático

- a) La superestructura tiene como máximo cuatro niveles o una altura de 13 m sobre el desplante.
- b) El período efectivo de la estructura aislada para el desplazamiento de diseño no excede 3 s.
- c) Aislamiento total de la superestructura.
- d) La estructura aislada se ubica en la Zona A.
- e) La estructura es regular.
- f) Se satisface la relación de periodos de vibración.

Requisitos Modal Espectral

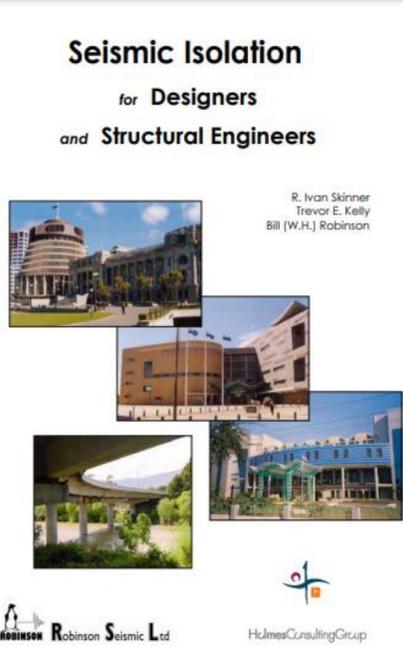
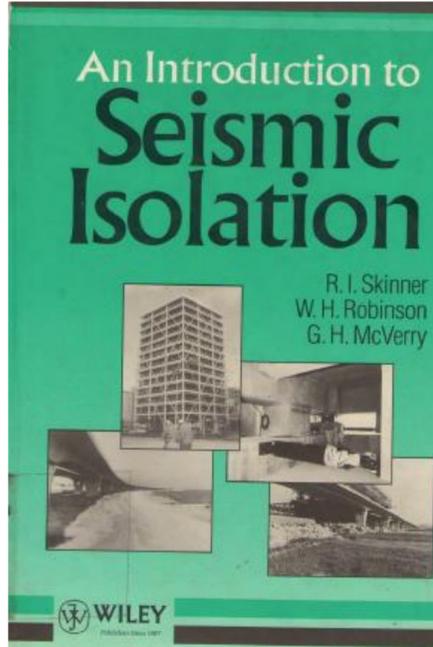
- c) Aislamiento total de la superestructura.
- d) La estructura aislada se ubica en la Zona A.
- e) La estructura es regular.
- f) Se satisface la relación de periodos de vibración.



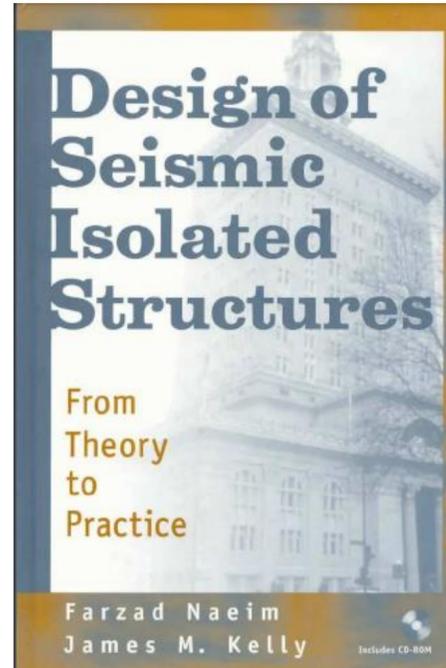
Referencias y normas de aislamiento



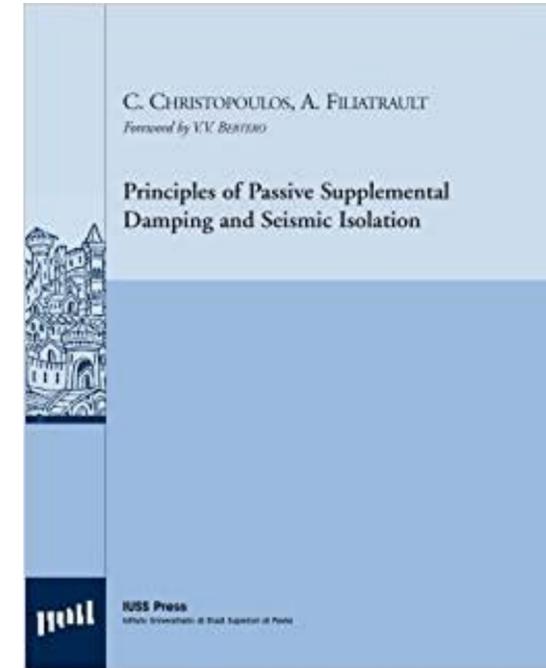
Literatura especializada



- Skinner et al. (1993 y 2011)



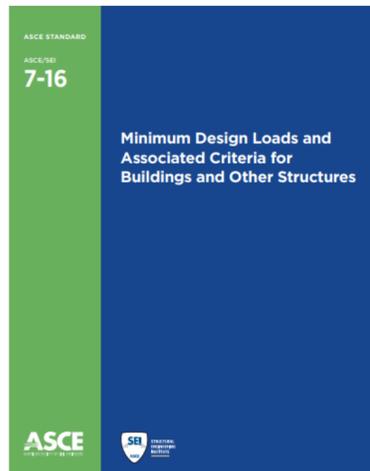
- Naeim y Kelly (1993)



- Christopoulos y Filiatraut (2006)

Códigos de aislamiento sísmico y disipadores de energía

- ASCE/SEI 7-22 (2022)



- FEMA 450 (2003)



2003 Edition

- E.031 (2019)
- NCh2745 (2013)

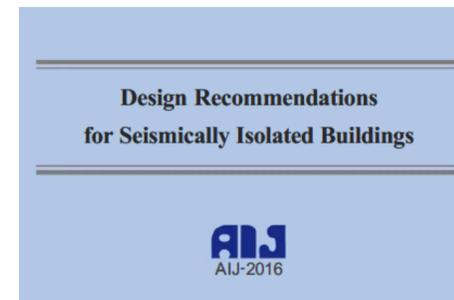


- EN 1998-1 (2005)
- EN 15129 (2009)
- EN 1337 (2005)



Anti-seismic devices

- AIJ (2016)



BRITISH STANDARD BS EN 1337-3:2005

Structural bearings — Part 3: Elastomeric bearings

- CFE (2015)
- CFE (2019)



- NTC-DS (2023)



CONSULTA PÚBLICA NTC - SISMO

SUBCOMITÉ REVISOR DE LA NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA DISEÑO POR SISMO

DAMPO



Normas Técnicas Complementarias de la CDMX 2023-Diseño por sismo

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA EL DISEÑO POR SISMO

1

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA EL DISEÑO POR SISMO

ÍNDICE

NOTACIÓN	4
TERMINOLOGÍA	9
ESTÁNDARES	15
1. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	17
1.1 Propósitos y alcances	17
1.2 Requisitos generales	21
1.3 Zonas	27
1.4 Clasificación de las estructuras	28
1.5 Acciones sísmicas de diseño	28
1.6 Reducción de las fuerzas sísmicas	28
1.7 Revisión de los desplazamientos laterales.....	28
1.8 Separación de edificios colindantes.....	30
13. SISTEMAS ESTRUCTURALES CON AISLAMIENTO SÍSMICO.....	135
13.1 General	135
13.2 Análisis	146
APÉNDICE C. PROPIEDADES Y CONTROL DE CALIDAD DE AISLADORES SÍSMICOS	191
C.1 Propósito y alcance	191
C.2 Notación y terminología	191
C.3 Tipos de aisladores	196
C.4 Diseño de los aisladores.....	197
C.5 Ensayos	197
C.6 Aisladores elastoméricos	199
C.7 Aisladores deslizantes tipo péndulo de fricción	219



Objetivos de desempeño

Tabla 1.1a Matriz de objetivos de diseño para estructuraciones convencionales ^[1]

Intensidad Sísmica de Diseño ^[2]	Periodo de Retorno ^[3]	Niveles de Desempeño			
		No Estructural Limitación de Daño ^[4]	Estructural		
			Ocupación Inmediata ^[6]	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Frecuente	Mayor o igual que 20 años	1) Grupo B. Revisión de distorsiones ^[5]	No se permite	No se permite	No se permite
Base de Diseño	Mayor o igual que 250 años		4) Grupo A. Revisión de distorsiones y diseño por resistencia, $Q = 1$ ^[7]	2) Grupo B. Revisión de distorsiones y diseño por resistencia, $Q > 1$ ^[8]	No se permite
Infrecuente	Mayor o igual que 475 años			5) Grupo A. Revisión de distorsiones y diseño por resistencia, $Q > 1$ ^[8]	3) Grupo B. Revisión optativa con evaluación basada en desempeño ^[9]

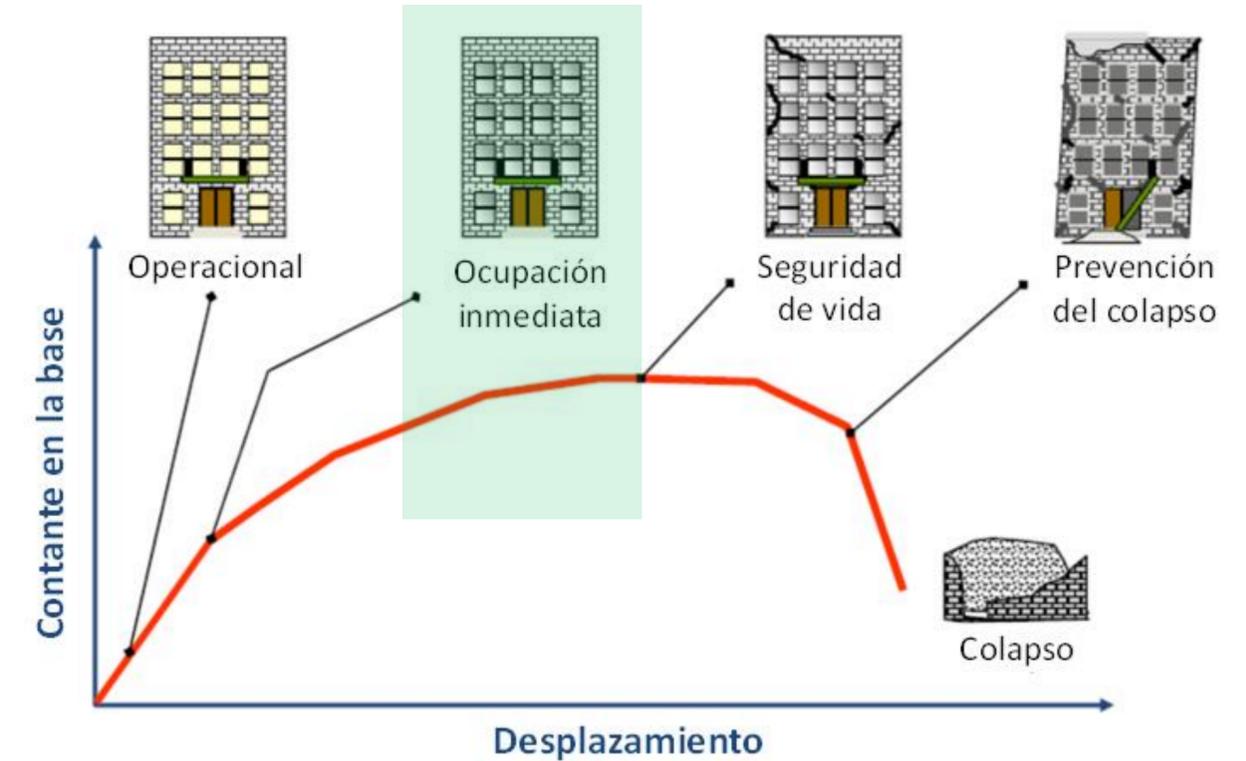


Tabla 13.1.1 Matriz de objetivos de diseño para estructuras con aislamiento sísmico

Intensidad Sísmica de Diseño ^[1]	Niveles de Desempeño ^[1]			
	No Estructural Limitación de Daño	Estructural		
		Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Frecuente				
Base de Diseño				
Infrecuente		7) Estructuras con aislamiento sísmico. Revisión de desplazamientos y distorsiones y diseño por resistencia ($Q = 1$)		

^[1] De acuerdo con lo indicado en 1.1 y la tabla 1.1a.



Peligro sísmico: Sismo de diseño (DBE) y Sismo infrecuente (MCE) SASID 2023

Factor de hiperestaticidad (k1):

Nivel de diseño sísmico:

Amortiguamiento: No Sí

¿La estructura es de mampostería? No Sí

¿Desea generar Acelerogramas Sintéticos? No Sí

Mapa de la Ciudad de México

* Si el mapa no se muestra, por favor presione [recargar](#)



Busqueda por dirección

* Propocione una dirección

Dirección prueba

Seleccione en el mapa

del punto, por favor escriba

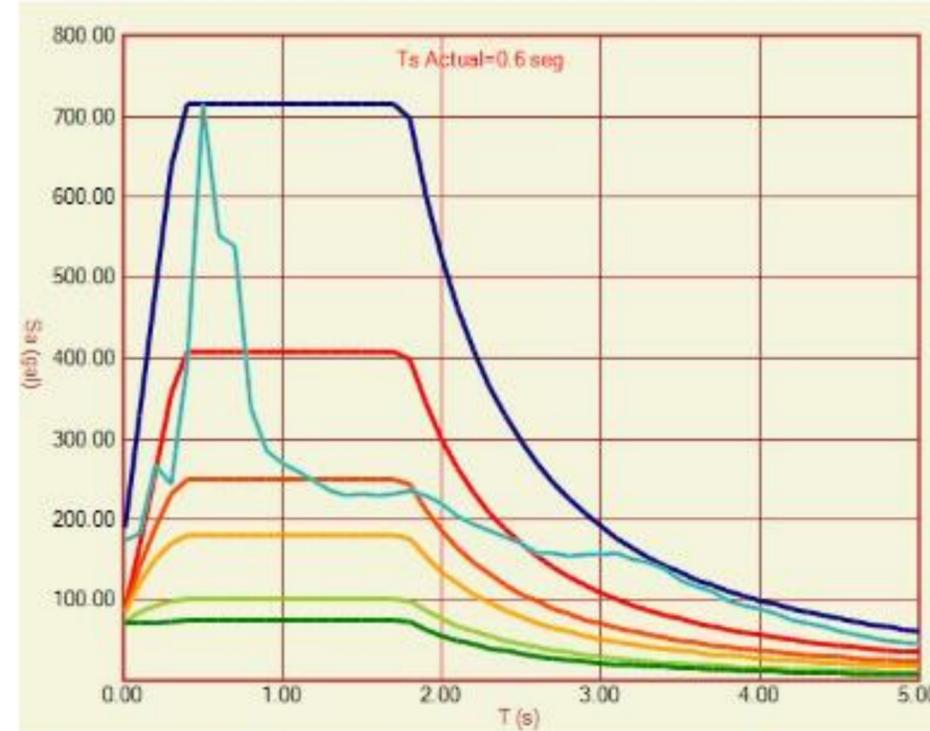
Latitud:

Longitud:

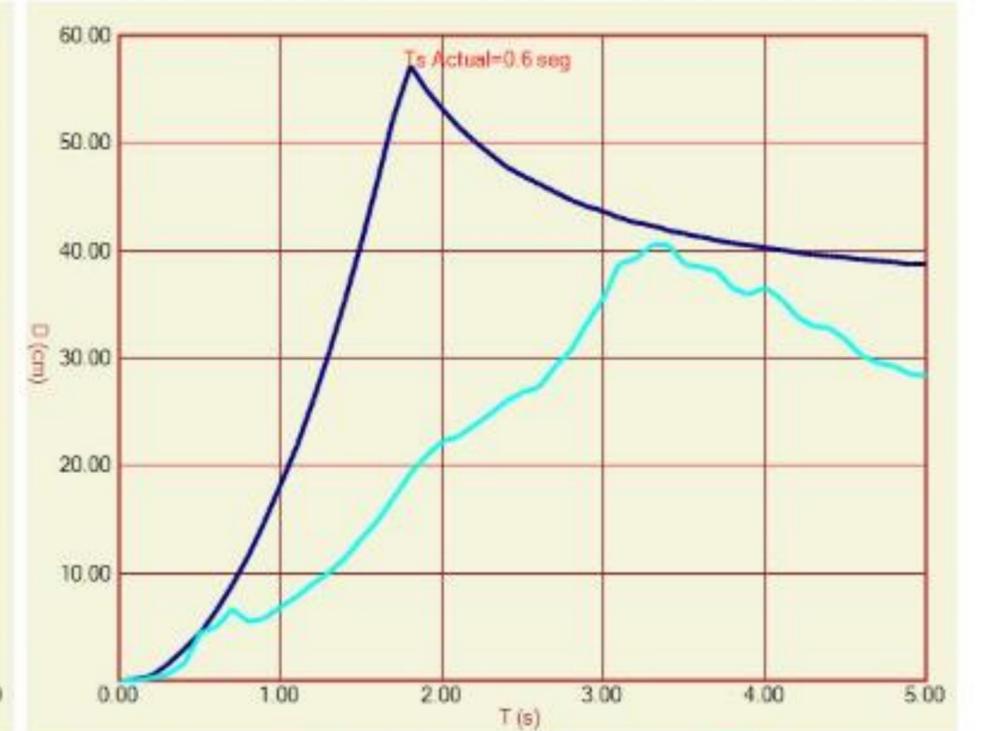
[Ir a las Coordenadas](#)

Coordenadas: (19.36069354; -99.1700888)

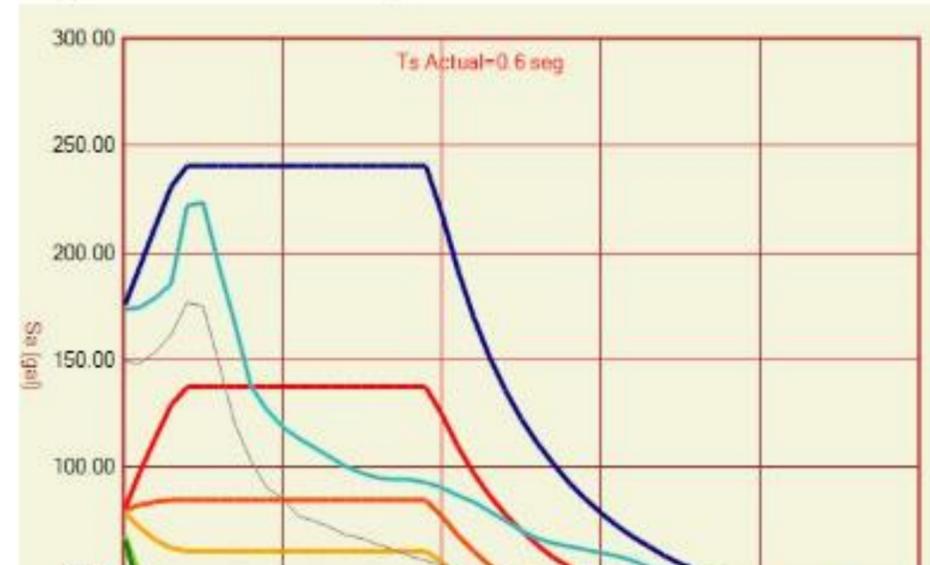
Espectros Amortiguamiento = 0.05



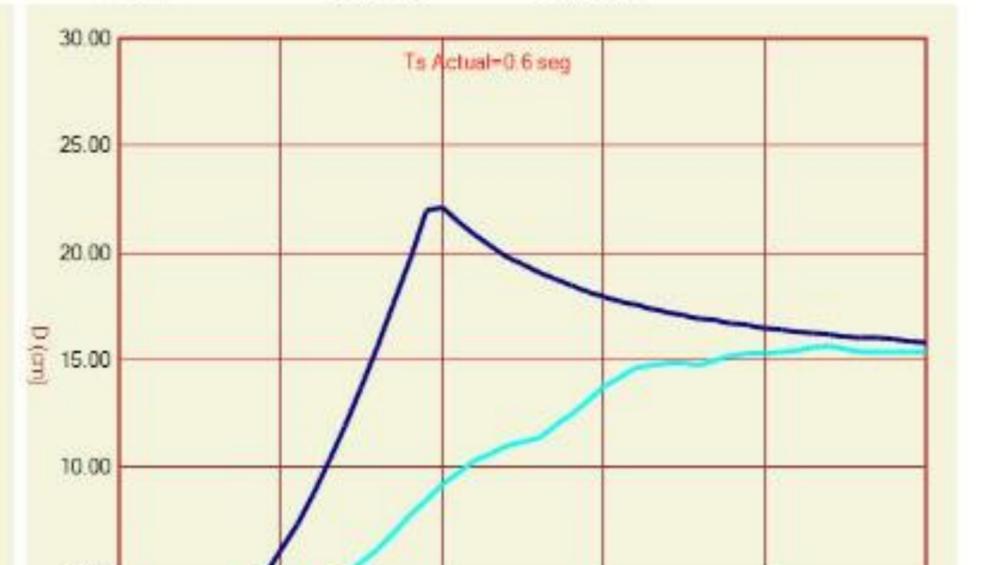
— Elástico sin reducir — Diseño, Q=1.5 — Diseño, Q=3 — Peligro uniforme
— Diseño, Q=1 — Diseño, Q=2 — Diseño, Q=4



Espectro Amortiguamiento = 0.3



— Elástico sin reducir — Diseño, Q=1.5 — Diseño, Q=3 — Peligro uniforme
— Diseño, Q=1 — Diseño, Q=2 — Diseño, Q=4





Acciones mínimas de diseño y distorsiones límite

Tabla 13.1.2 Acciones mínimas de diseño y distorsiones límite para sistemas aislados

Parámetro de Diseño	Análisis Estático	Análisis Modal Espectral		Análisis Dinámico Paso a Paso	
		Estructura Regular ^[1]	Estructura Irregular ^[1]	Estructura Regular ^[1]	Estructura Irregular ^[1]
Desplazamiento total máximo	D_{TM} ^[2]	$0.9 D_{TM}$	D_{TM}	$0.8 D_{TM}$	$0.9 D_{TM}$
Cortante basal	V_{bA} ^[3]	$0.9 V_{bA}$	V_{bA}	$0.8 V_{bA}$	$0.9 V_{bA}$
Cortante basal para diseño de la superestructura ^[4]	V_{sA} ^[5]	$0.8 V_{sA}$	V_{sA}	$0.6 V_{sA}$	$0.8 V_{sA}$
Distorsión límite	γ_{OI} ^[6]	$1.1 \gamma_{OI}$	γ_{OI}	$1.5 \gamma_{OI}$	$1.2 \gamma_{OI}$

^[1] Conforme a lo indicado en 13.1.3.3.1

^[2] Calculado con la ecuación 13.2.3 No debe ser menor que $1.1D_M$

^[3] Calculado con la ecuación 13.2.4

^[4] Calculado con la ecuación 13.2.5

^[5] El valor del cortante basal de diseño para la superestructura no debe ser menor que el cortante basal correspondiente a viento, ni que 1.5 el cortante basal correspondiente a la activación del sistema de aislamiento.

^[6] De acuerdo con las tablas 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3.



Acciones mínimas de diseño y distorsiones límite

Tabla 4.3.1 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de concreto ^[1]

Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	γ_{SV}	γ_{OI}
i) Marcos	Alta	---	4.0	0.030	0.0075
	Media	---	3.0	0.020	0.0075
	Baja	---	2.0	0.015	0.0075
ii) Marcos de elementos prefabricados ^[2]	Alto	Equivalentes a estructuras monolíticas o con conexiones fuertes	4.0	0.030	0.0075
	Media	Equivalentes a estructuras monolíticas o con conexiones fuertes	3.0	0.020	0.0075
	Baja	Equivalentes a estructuras monolíticas o con conexiones fuertes	2.0	0.015	0.0075
iii) Sistema dual ^{[a], [c]} formado por marcos y muros de concreto ^{[3], [4]}	Alta	Con muros de concreto de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Media	Con muros de concreto de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Con muros de concreto de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.010	0.0050
iv) Sistema formado por muros de concreto ^{[4], [5]}	Alta	Muros de concreto de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Media	Muros de concreto de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Muros de concreto de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.010	0.0050
v) Sistema formado por muros de concreto prefabricado ^{[4], [5], [6]}	Media	Muros de concreto de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Muros de concreto de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.010	0.0050
vi) Sistema dual ^{[a], [c]} formado por marcos y muros acoplados ^[b] de concreto ^{[3], [4]}	Alta	Con muros de concreto y trabes de acoplamiento de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
vii) Sistema dual ^{[a], [c]} formado por marcos de concreto y contraventeos metálicos ^{[3], [4], [7]}	Media	Contraventeos concéntricos de <i>ductilidad alta</i> ^[8]	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Contraventeos concéntricos de <i>ductilidad media</i> ^[8]	2.0	0.010	0.0050
viii) Sistema formado por marcos y muros diafragma no desligados ^[9]	Alta	Marcos de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Media	Marcos de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Marcos de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.010	0.0050
ix) Sistemas con base en columnas de concreto en voladizo	Baja	Con columnas de <i>ductilidad media</i> para zonas I y II	2.0	0.010	0.0050
		Con columnas de <i>ductilidad alta</i> para zona III			
x) Sistema suspendido soportado por un núcleo de concreto formado por muros o marcos	Media	Con marcos o muros de <i>ductilidad alta</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Con marcos o muros de <i>ductilidad media</i>	2.0	0.010	0.0050



Relación de periodos

13.1.3.3 Relación de periodos de vibración

De acuerdo con el grupo al que pertenezca el edificio según 1.4, el sistema aislado debe satisfacer las condiciones que se indican a continuación, en términos de la relación de periodos de vibración:

- 1) Estructuras que pertenezcan al Grupo A:

$$\frac{T_{bA}}{T_{sA}} \geq 4 \quad (13.1.1a)$$

donde T_{bA} es el periodo efectivo del sistema de aislamiento correspondiente a la intensidad sísmica infrecuente, y T_{sA} el periodo de la superestructura sobre base rígida.

- 2) Estructuras que pertenezcan al Grupo B:

$$\frac{T_{bA}}{T_{sA}} \geq 3 \quad (13.1.1b)$$

El uso de un sistema de aislamiento que no cumpla con la relación de periodos de vibración deberá contemplar una revisión detallada del diseño de acuerdo con lo indicado en 13.2.4.



Desplazamiento máximo

13.2.2.2 Desplazamientos y distorsiones

El periodo efectivo del sistema aislado para el desplazamiento máximo, T_M , se estima bajo la consideración de la rigidez secante que exhiben los aisladores para ese desplazamiento en la dirección de análisis:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W_s}{K_{Mmin}g}} \quad (13.2.1)$$

dónde W_s es el peso total de la superestructura, K_{Mmin} la rigidez secante mínima del sistema de aislamiento, determinada de acuerdo con lo indicado en el Apéndice C, para el desplazamiento máximo, y g la aceleración de la gravedad.

El sistema de aislamiento deberá diseñarse y construirse para acomodar de manera estable, bajo la consideración de la bidireccionalidad de la acción sísmica, el desplazamiento máximo D_M en cada una de las direcciones principales de análisis. El desplazamiento máximo se estima como:

$$D_M = \frac{T_M^2}{4\pi^2} S_{aM}(T_M, Q=1, \zeta = \zeta_e)g \quad (13.2.2)$$

donde $S_{aM}(T_M, Q=1, \zeta = \zeta_e)$ es la ordenada espectral elástica de pseudo-aceleración que se obtiene para la intensidad sísmica infrecuente y el amortiguamiento equivalente ζ_e de acuerdo con 3.1. El valor de ζ_e se establece, bajo la consideración de la contribución de todos los aisladores, por medio de ponderar el amortiguamiento determinado para cada aislador para los desplazamientos laterales de diseño, en función de la rigidez secante del aislador correspondiente a ese desplazamiento. En ningún caso se considerará un valor mayor que 0.30 para ζ_e .

El desplazamiento total máximo, D_{TM} , debe incluir el desplazamiento adicional debido a las torsiones natural y accidental del sistema de aislamiento, calculadas de acuerdo con las distribuciones en planta de rigidez lateral de dicho sistema y de masa de la superestructura.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b_A^2 + d_A^2} \right] \quad (13.2.3)$$

En caso de que se estime explícitamente la rigidez torsional en planta del sistema de aislamiento, y con base en ella su giro en planta, será posible considerar un valor de D_{TM} menor que el obtenido con la ecuación 13.2.3, pero no menor que $1.1 D_M$.



Fuerzas en la superestructura y sistema de aislamiento

13.2.2.3 Cortante basal y fuerzas laterales

El sistema de aislamiento y la subestructura deben diseñarse para resistir un cortante basal V_{bA} igual a:

$$V_{bA} = K_{Mmax} D_M \quad (13.2.4)$$

donde K_{Mmax} es la rigidez secante máxima del sistema de aislamiento para el desplazamiento máximo y la dirección de análisis, determinada de acuerdo con lo indicado en el Apéndice C, y D_M el desplazamiento máximo en el centro de rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada.

La superestructura debe diseñarse para resistir, bajo la consideración de los requisitos para una estructura con base rígida, un cortante basal V_{sA} igual a:

$$V_{sA} = \frac{K_{Mmax} D_M}{R'} \quad (13.2.5)$$

donde el factor de reducción por sobre-resistencia R' se establece conforme a 3.3.

El valor de V_{sA} no debe ser menor que el cortante basal correspondiente a las acciones de diseño por viento, ni que 1.5 veces el cortante basal correspondiente a la activación del sistema de aislamiento.

La fuerza lateral de diseño que actúa en el centro de masa del i -ésimo nivel de la superestructura, F_{Ai} , se determina como:

$$F_{Ai} = V_{sA} \frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i} \quad (13.2.6)$$

dónde w_i y h_i son el peso y la altura con respecto a la base de la superestructura.

3.3 Factor de sobre-resistencia

El factor de sobre-resistencia total, R , debe determinarse para la dirección de interés con la ecuación siguiente:

$$R = k_1 R_0 + k_2 \quad (3.3.1a)$$

Para el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata, R' debe determinarse como:

$$R' = 0.75R \quad (3.3.2b)$$



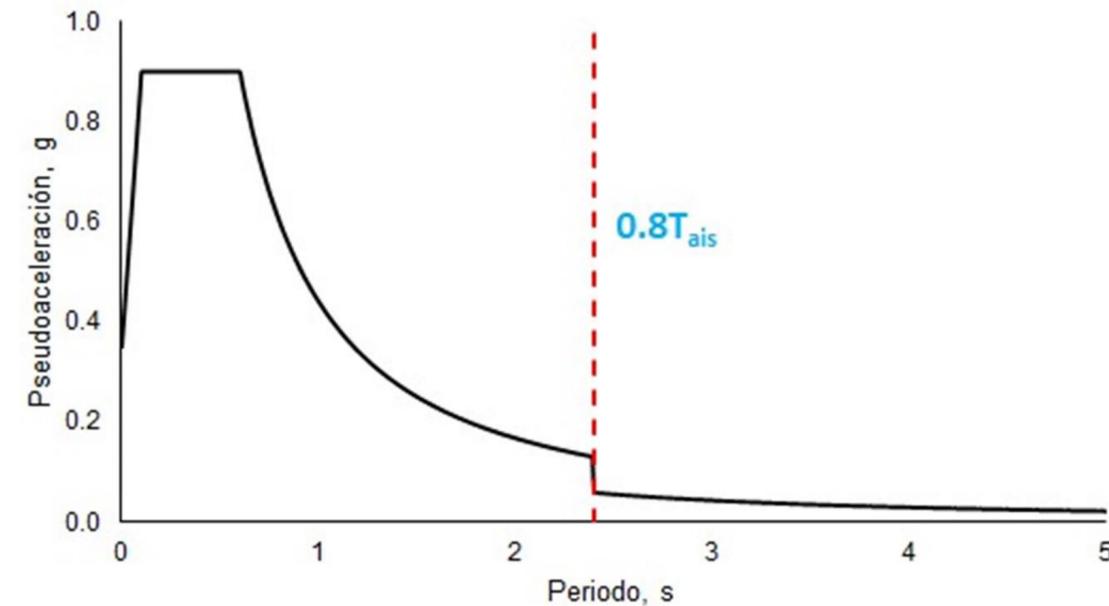
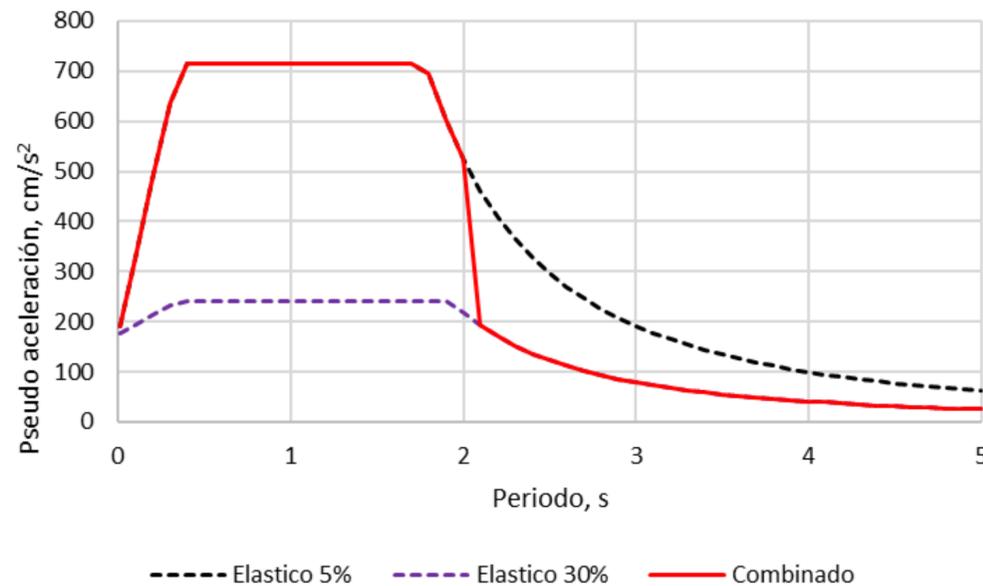
Espectro combinado para análisis modal espectral

13.2.3.2 Espectro de Diseño

Las ordenadas del espectro elástico de pseudo-aceleración utilizado para el análisis dinámico modal espectral del sistema aislado, $S_a^A(T)$, deben establecerse conforme a lo siguiente:

$$S_a^A(T) = \begin{cases} S_{aM}(T, Q=1, \zeta=0.05) & \text{Si } T < 0.8T_1 \\ S_{aM}(T, Q=1, \zeta=\zeta_e) & \text{Si } T \geq 0.8T_1 \end{cases} \quad (13.2.7)$$

donde $S_{aM}(T, Q=1, \zeta=\zeta_e)$ es la ordenada espectral elástica de pseudo-aceleración sin reducir que se obtiene para la intensidad sísmica infrecuente y el amortiguamiento equivalente ζ_e de acuerdo con 3.1, y $S_{aM}(T, Q=1, \zeta=0.05)$ es la ordenada espectral elástica de pseudo-aceleración sin reducir que se obtiene para la intensidad sísmica infrecuente y un amortiguamiento de 0.05 de acuerdo con la misma sección. El valor de ζ_e se establece, bajo la consideración de la contribución de todos los aisladores, por medio de ponderar el amortiguamiento determinado para cada aislador para los desplazamientos laterales de diseño, en función de la rigidez secante del aislador correspondiente a ese desplazamiento. En ningún caso se considerará un valor mayor que 0.30 para ζ_e .



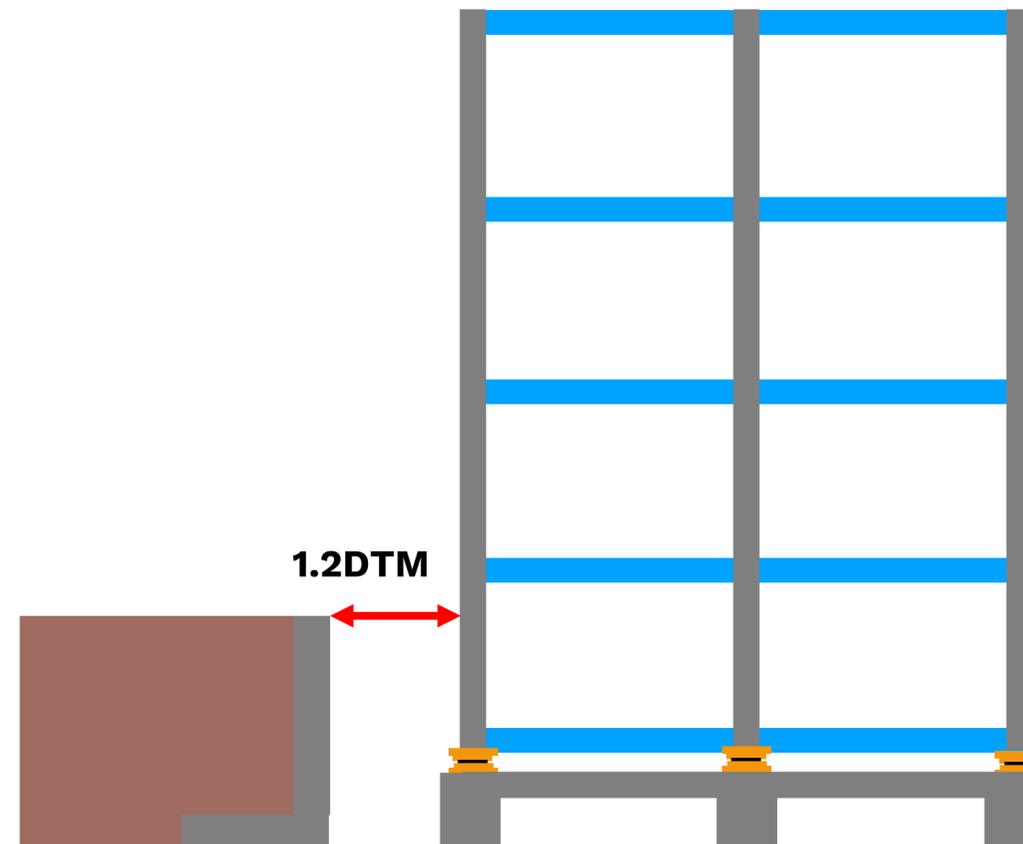


Separación entre estructura aislada y linderos

13.1.2.9 Separación de edificios colindantes y topes sísmicos

Además de cumplir con los requisitos de 1.8, la superestructura aislada debe tener una separación mínima con los linderos de predios vecinos igual a $1.2D_{TM}$.

Cuando así se considere relevante para el proyecto, será posible usar topes sísmicos para limitar el desplazamiento lateral que pueda desarrollar el sistema de aislamiento durante un sismo con mayor intensidad que la contemplada según esta Norma para la intensidad sísmica infrecuente, siempre y cuando se evalúen las consecuencias del impacto de la superestructura contra dichos topes. En ningún caso se permitirá el impacto de un aislador con un tope sísmico.

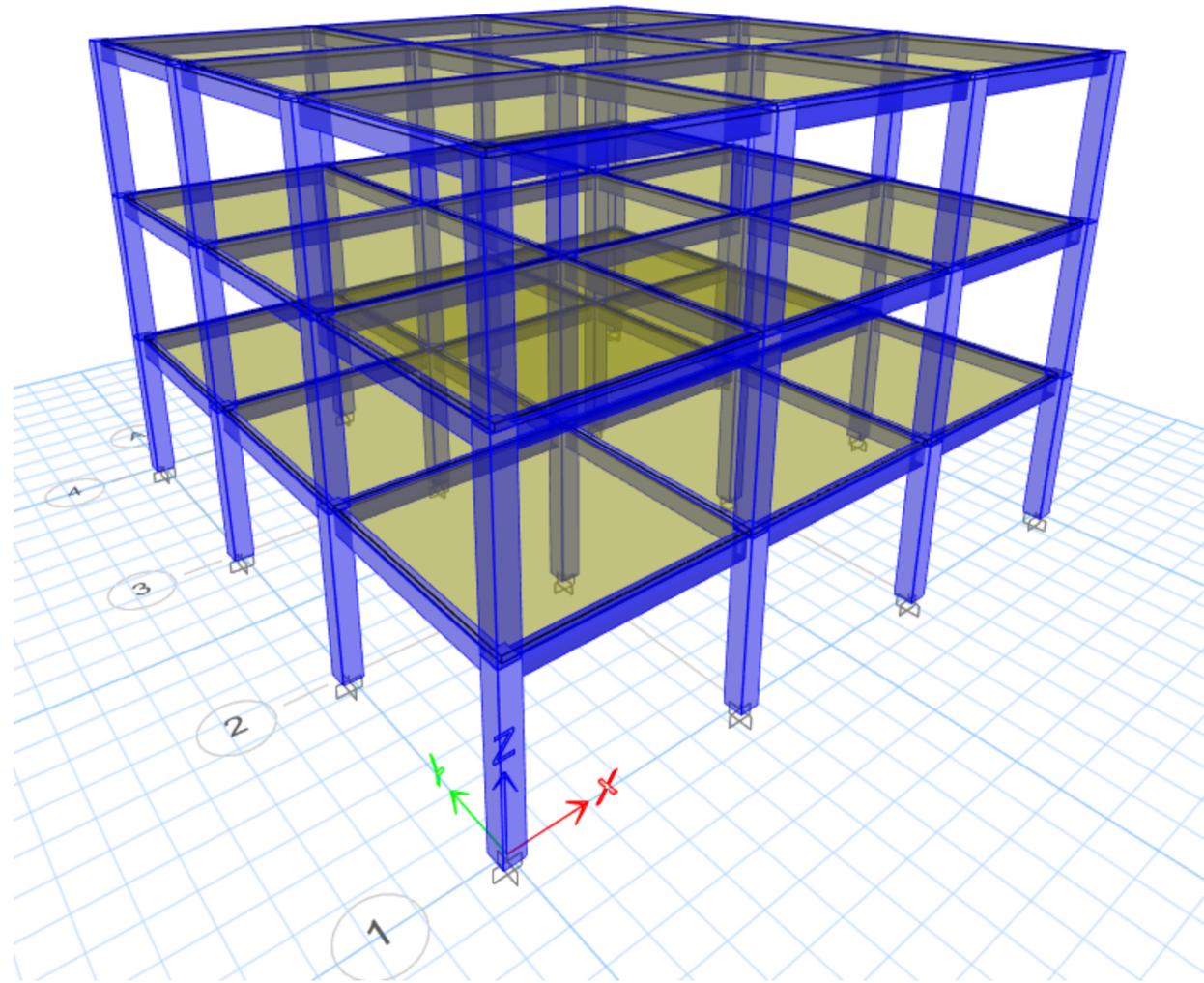




Ejemplo de una estructura aislada



Ejemplo de diseño de estructura con sistema de aislamiento



- Estructura a base de marcos de concreto reforzado con 3 crujiás en ambas direcciones de 5 m y 3 niveles con entrepiso de 3.5 m.
- Ubicado en zona de terreno firme.
- Uso de oficinas



Procedimiento

1. Prediseñar y obtener periodo de estructura de base

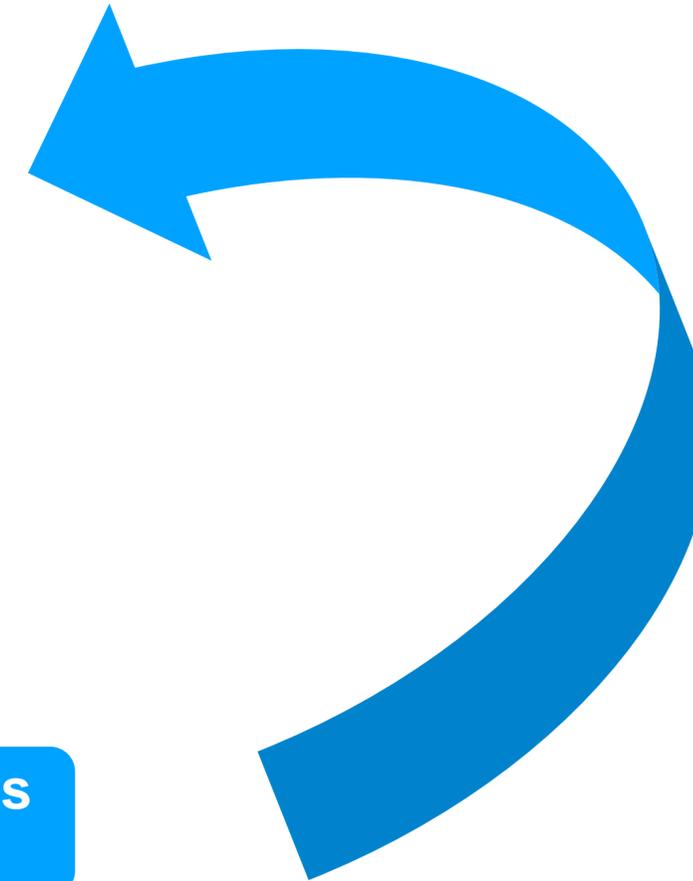
2. Obtener demanda sísmica (desplazamiento máximo)

3. Calcular propiedades de aisladores

4. Modelar sistema de aislamiento

5. Realizar el tipo de análisis seleccionado

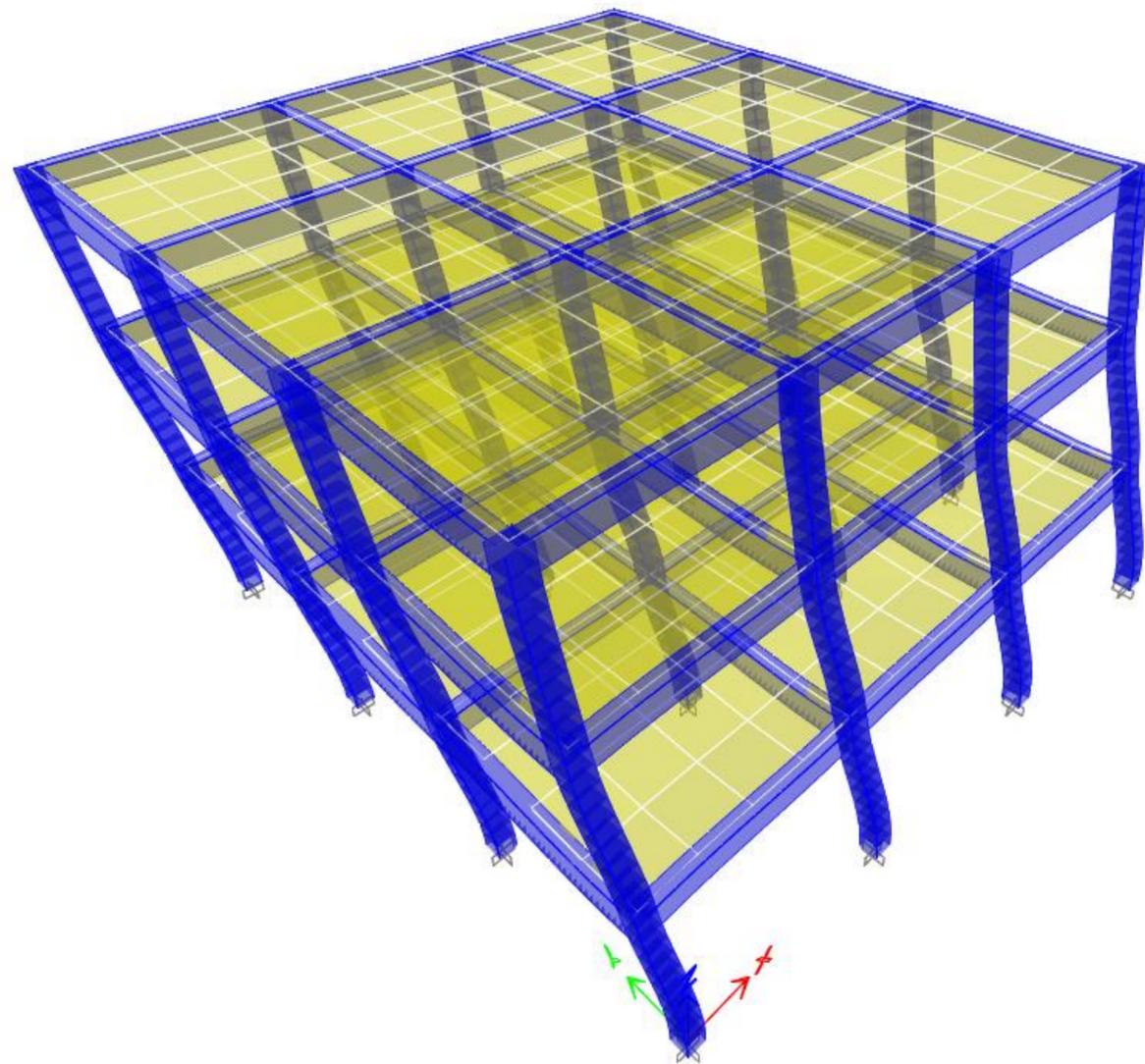
6. Revisión de resultados



Proceso iterativo



1. Prediseño de estructura con base rígida



Secciones:

Columnas 40 cm x 40 cm

Vigas 55 cm x 30 cm

Periodo estructural:

$T_e = 0.67$ s

Cargas en estructura:

Azotea

SCM = 250 kg/m²

$CV_{\text{máx}}$ = 100 kg/m²

CV_{inst} = 70 kg/m²

Entrepisos

SCM = 350 kg/m²

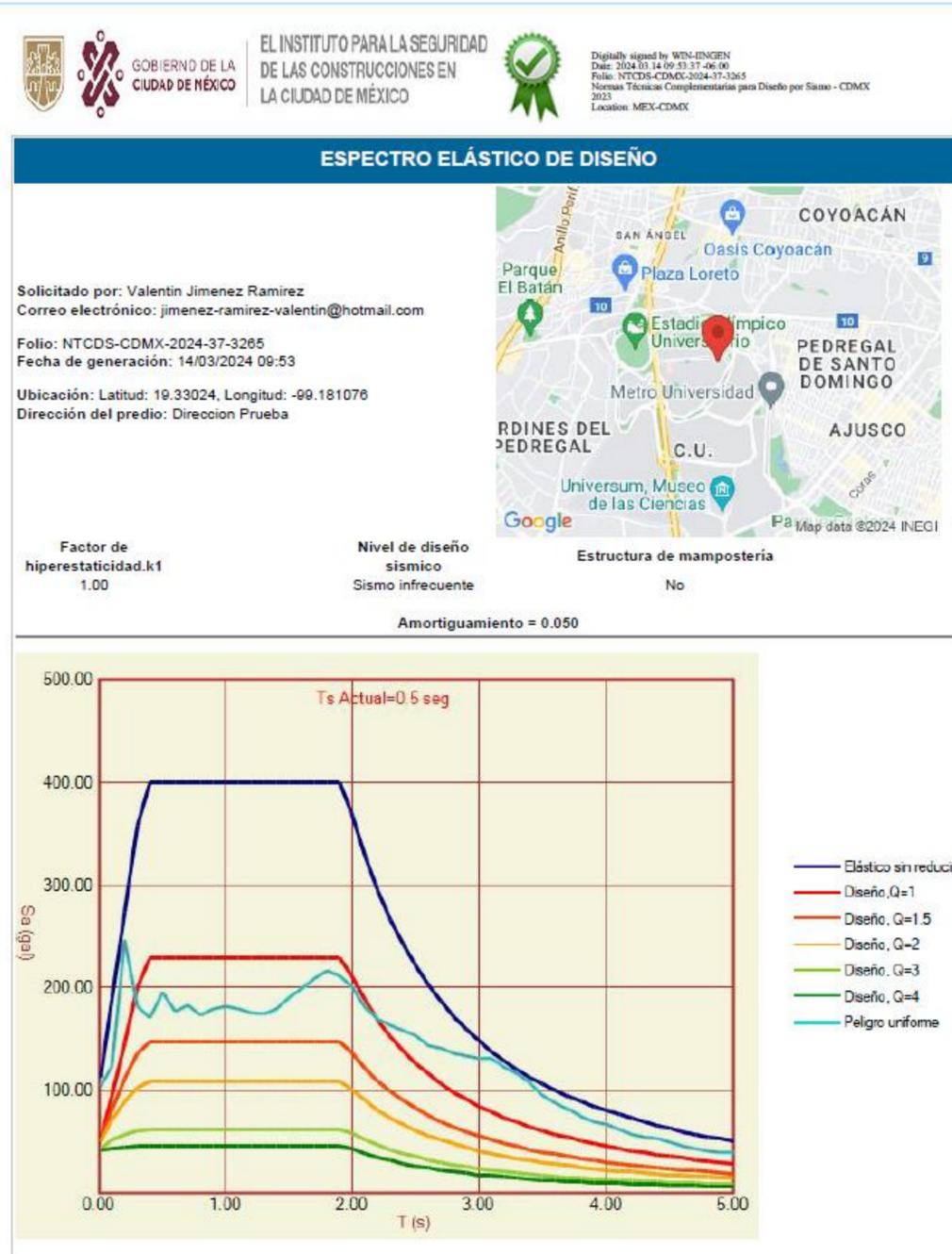
$CV_{\text{máx}}$ = 250 kg/m²

CV_{inst} = 180 kg/m²



2. Desplazamiento máximo según NTC-DS 2023

- 1. Obtener información sísmica



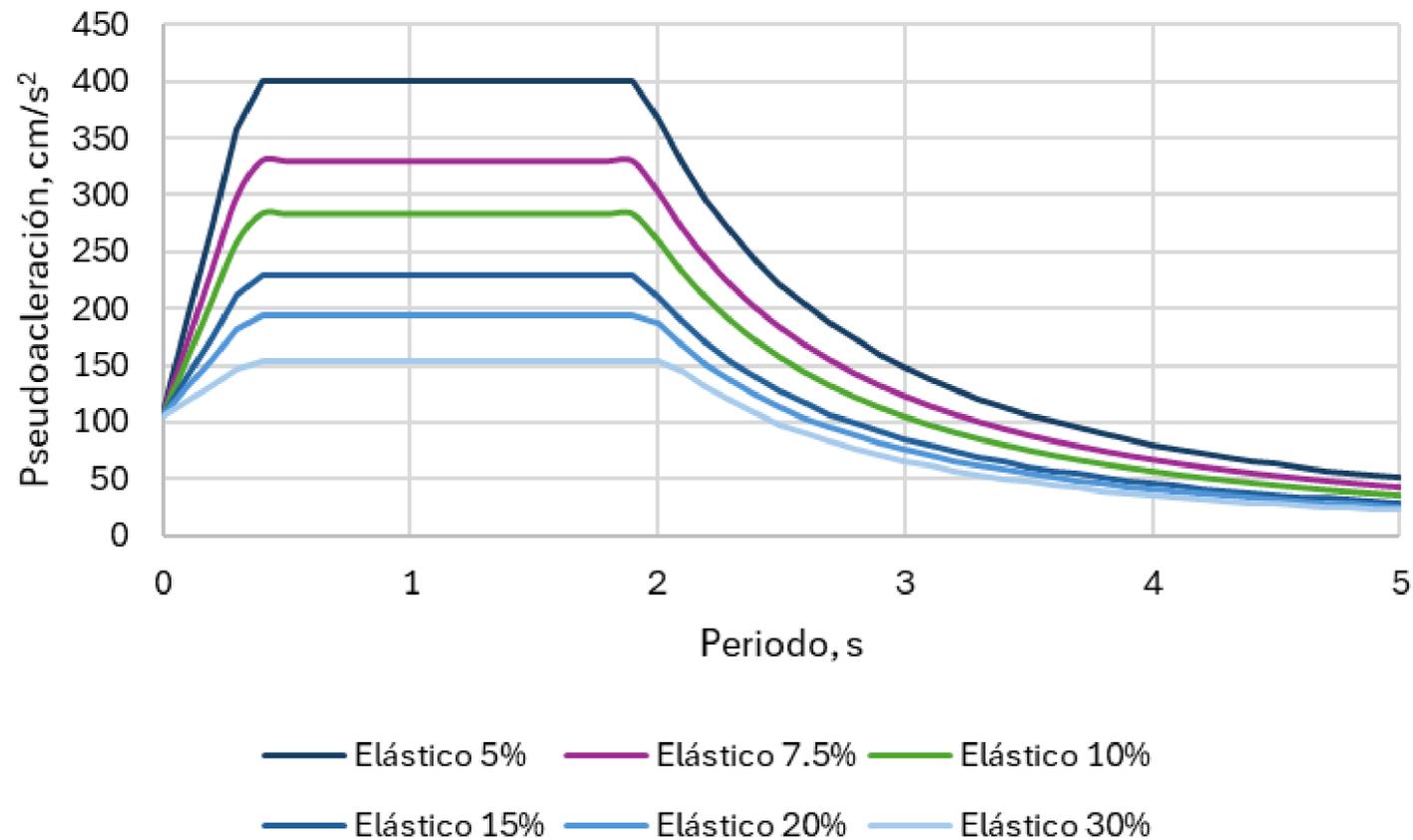
Solicitar espectros de diseño para sismo infrecuente y diferentes amortiguamientos

Latitud: 19.33024,
Longitud: -99.181076

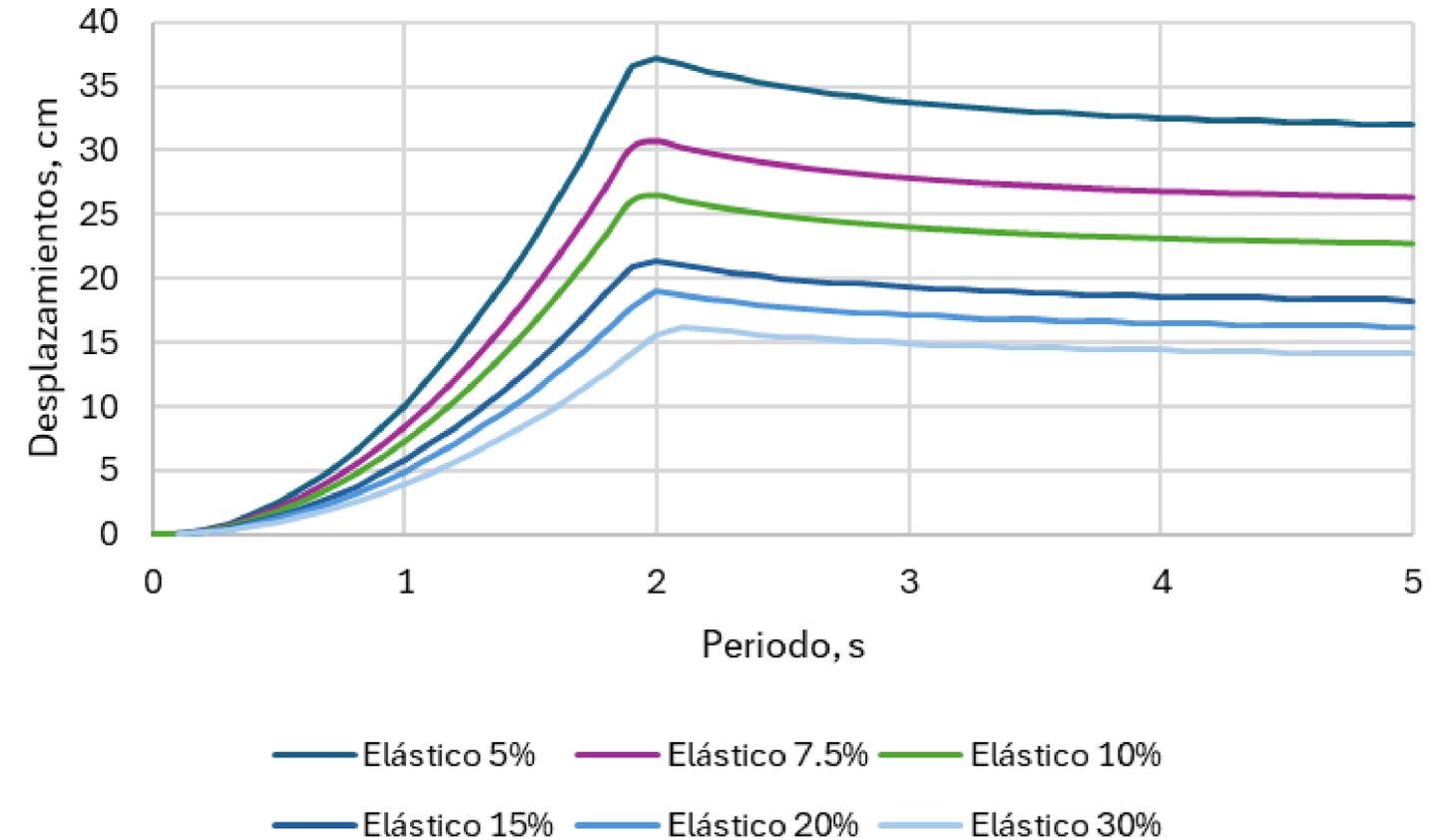


2. Desplazamiento máximo según NTC-DS 2023

- 1. Obtener información sísmica



Espectros de pseudoaceleración



Espectro de desplazamientos



2. Desplazamiento máximo según NTC-DS 2023

- 2. Realizar procedimiento iterativo

Cálculo del desplazamiento de diseño de aisladores									
Iteraciones			1	2	3	4	5	6	7
1	Desplazamiento máximo	D_M	10.00 cm	15.60 cm	15.40 cm	15.36 cm	15.35 cm	15.35 cm	15.34 cm
2	Radio efectivo de curvatura	R_{ef}	330 cm						
3	Aceleración de la gravedad	g	981 cm/s ²						
4	Periodo de oscilación	T	3.64 s						
5	Coefficiente de fricción mínimo	μ_{min}	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
6	Periodo del sistema de aislamiento	T_M	2.39 s	2.68 s	2.67 s				
7	Fracción de amortiguamiento al MCE	ξ_M	36.22 %	29.18 %	29.38 %	29.42 %	29.43 %	29.44 %	29.44 %
8	Desplazamiento Espectral		15.60 cm	15.40 cm	15.36 cm	15.35 cm	15.35 cm	15.34 cm	15.34 cm
9	Diferencia (%)		35.90%	-1.30%	-0.26%	-0.07%	-0.03%	-0.01%	0.00%
10	D_M		15.34 cm						
11	DTM=(1.1 D_M)		16.88 cm						
12	Capacidad de desplazamiento, 1.2DTM		20.25 cm						

Usar coeficiente de fricción mínima



2. Desplazamiento máximo según NTC-DS 2023

- 3. Obtener propiedades nominales para aislador

Iteraciones			
1	Desplazamiento máximo	D_M	25.00 cm
2	Radio efectivo de curvatura	R_{ef}	330 cm
3	Aceleración de la gravedad	g	981 cm/s ²
4	Periodo de oscilación	T	3.64 s
5	Coefficiente de fricción mínimo	$\mu_{nominal}$	0.08
6	Periodo del sistema de aislamiento	T_M	2.54 s
7	Fracción de amortiguamiento al MCE	ξ_M	32.70 %



3. Calcular propiedades de aisladores

Curvatura doble

Aisladores del tipo pendulo de fricción



Curvatura doble

+

Radio de curvatura

$$R_1 := 170 \text{ cm}$$

$$R_2 := R_1$$

Coefficiente de fricción:

$$\mu := 0.08$$

Altura de Oscilador

$$H := 10 \text{ cm}$$

Desplazamiento sismo infrecuente

$$d_{MCE} := 30 \text{ cm}$$

Radio efectivo:

$$R_{eff} := R_1 + R_2 - H = 3.3 \text{ m}$$

Carga sísmica estática

$$N_{sd} := 31.5 \text{ tonnef}$$

Aceleración gravedad

$$g := 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Periodo de oscilación:

$$T_D := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_{eff}}{g}} = 3.64 \text{ s}$$

Rigidez horizontal nominal para Nsd

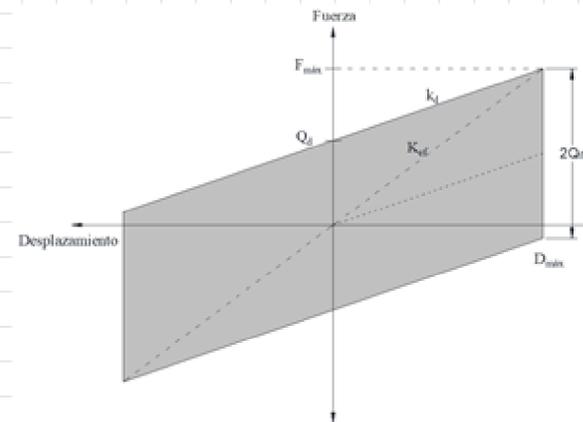
$$K_d := \frac{N_{sd}}{R_{eff}} = 9.55 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Fuerza característica nominal bajo carga axial N.sd

$$Q_d := N_{sd} \cdot \mu = 2.52 \text{ tonnef}$$

Rigidez efectiva nomina para el desplazamiento de diseño, $d_{dbd,MCE}$, bajo carga axial Nsd y fricción dinámica nominal μ

$$K_{eff} := K_d + \frac{N_{sd} \cdot \mu}{d_{MCE}} = 17.95 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$



Fuerza horizontal para el desplazamiento de diseño $d_{dbd,MCE}$ bajo carga axial N.sd

$$V_{Máx} := Q_d + K_d \cdot d_{MCE} = 5.38 \text{ tonnef}$$

$$V_{Máx} := K_{eff} \cdot d_{MCE} = 5.38 \text{ tonnef}$$

Periodo efectivo nomina para el desplazamiento de diseño, $d_{dbd,MCE}$, bajo carga axial Nsd y fricción dinámica nominal μ

$$T_{eff} := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_{eff}}{g} \cdot \frac{d_{MCE}}{d_{MCE} + \mu \cdot R_{eff}}} = 2.66 \text{ s}$$

Energía disipada por ciclo nomina para el desplazamiento de diseño $d_{dbd,MCE}$ bajo carga axial N.sd

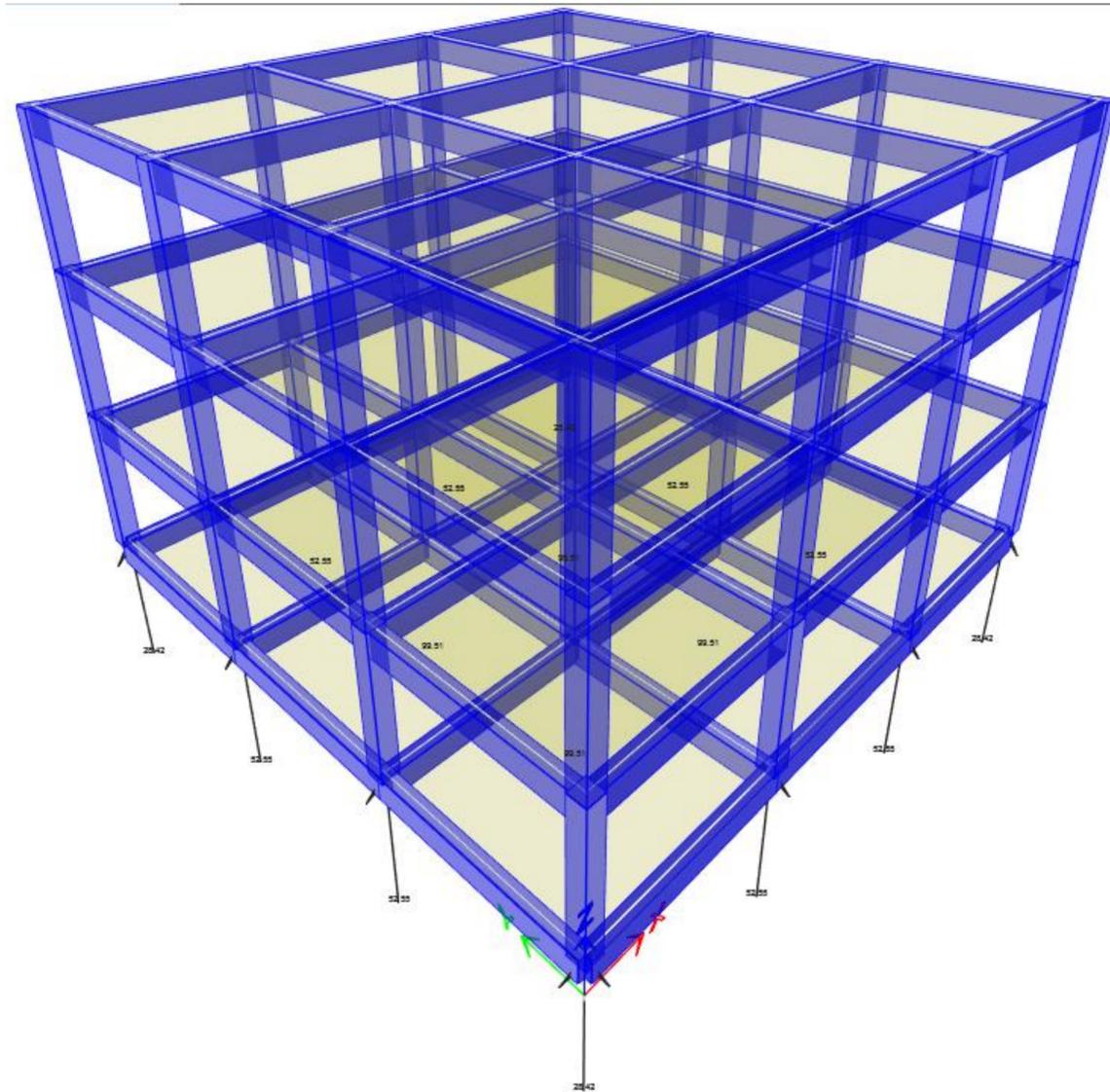
$$EDC_{MCE} := 4 \cdot Q_d \cdot d_{MCE} = 3.02 \text{ tonnef m}$$

Amortiguamiento viscoso equivalente para el desplazamiento de diseño $d_{dbd,MCE}$ bajo carga axial Nsd y fricción dinámica nominal μ

$$\xi_{MCE} := \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu \cdot R_{eff}}{d_{MCE} + \mu \cdot R_{eff}} = 0.3$$



3. Calcular propiedades de aisladores



Adicionar elementos de transferencia

Peso estructura:
 $W_t=932.14$ ton

Descarga promedio:
 $N_{sd}=58.26$ ton



3. Calcular propiedades de aisladores

Edificio	Tipo de aisladores												Rigidez del sistema de aislamiento, K_M (ton/m)	Peso de la estructura W (ton)	Periodo calculado del sistema de aislamiento T_M (s)	Periodo de estructura base rígida T_e (s)	$N=T_M/T_e$	Periodo aproximado calculado estructura aislada T_{ais} (s)	Periodo análisis T_{ais} (s)	Relación $T_{análisis}/T_{calculado}$
	1				2				3											
	CGrav Prom. (t)	K_{eff} (t/m)	Cant.	K_{total} (t/m)	CGrav Prom. (t)	K_{eff} (t/m)	Cant.	K_{total} (t/m)	CGrav Prom. (t)	K_{eff} (t/m)	Cant.	K_{total} (t/m)								
E1	28.4	17.71	4	70.8	52.6	32.74	8	261.9	99.5	62.00	4	248.0	581	932.1	2.54	0.68	3.77	2.63	2.61	0.99



4. Modelar sistema de aislamiento

Modelación
linea

Modelación
no lineal

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	AIS-T1
Direction	U2
Type	Friction Isolator
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	17.71 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m
Nonlinear Properties	
Stiffness	861.21 tonf/m
Friction Coefficient, Slow	0.08
Friction Coefficient, Fast	0.08
Rate Parameter	1 sec/m
Net Pendulum Radius	3.3 m

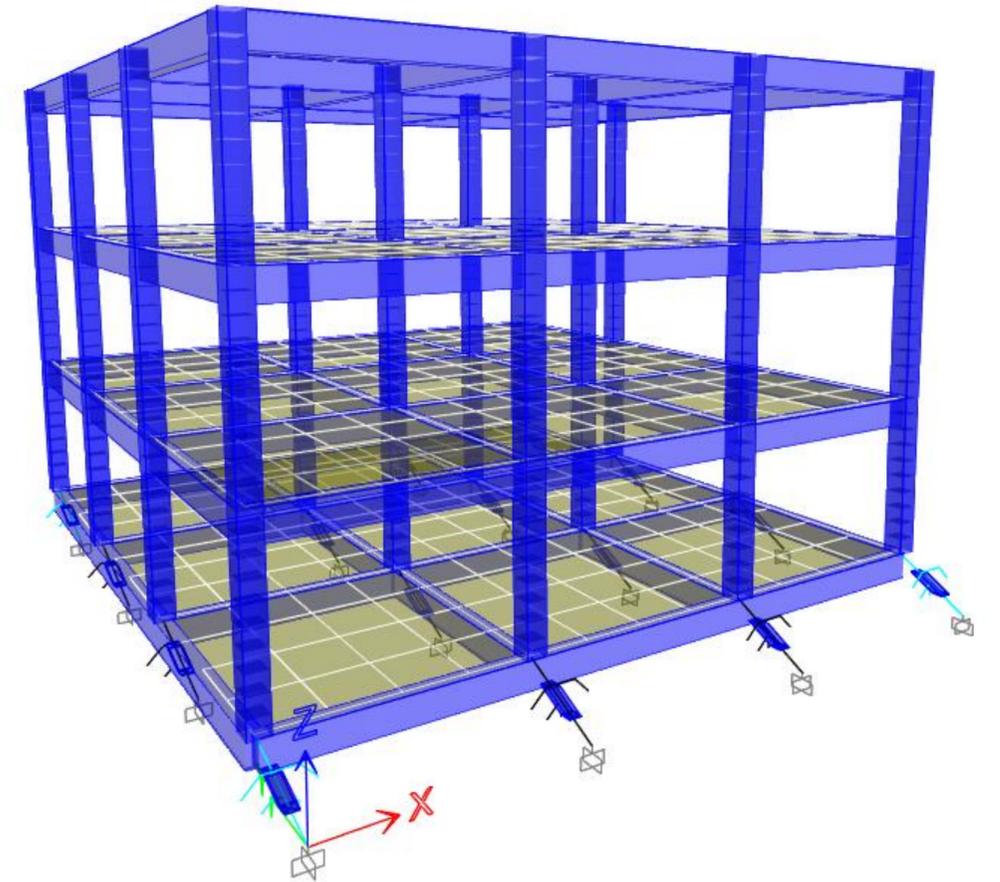
OK Cancel

Rigidez
Efectiva

Rigidez
Inicial

Coefficiente
de fricción

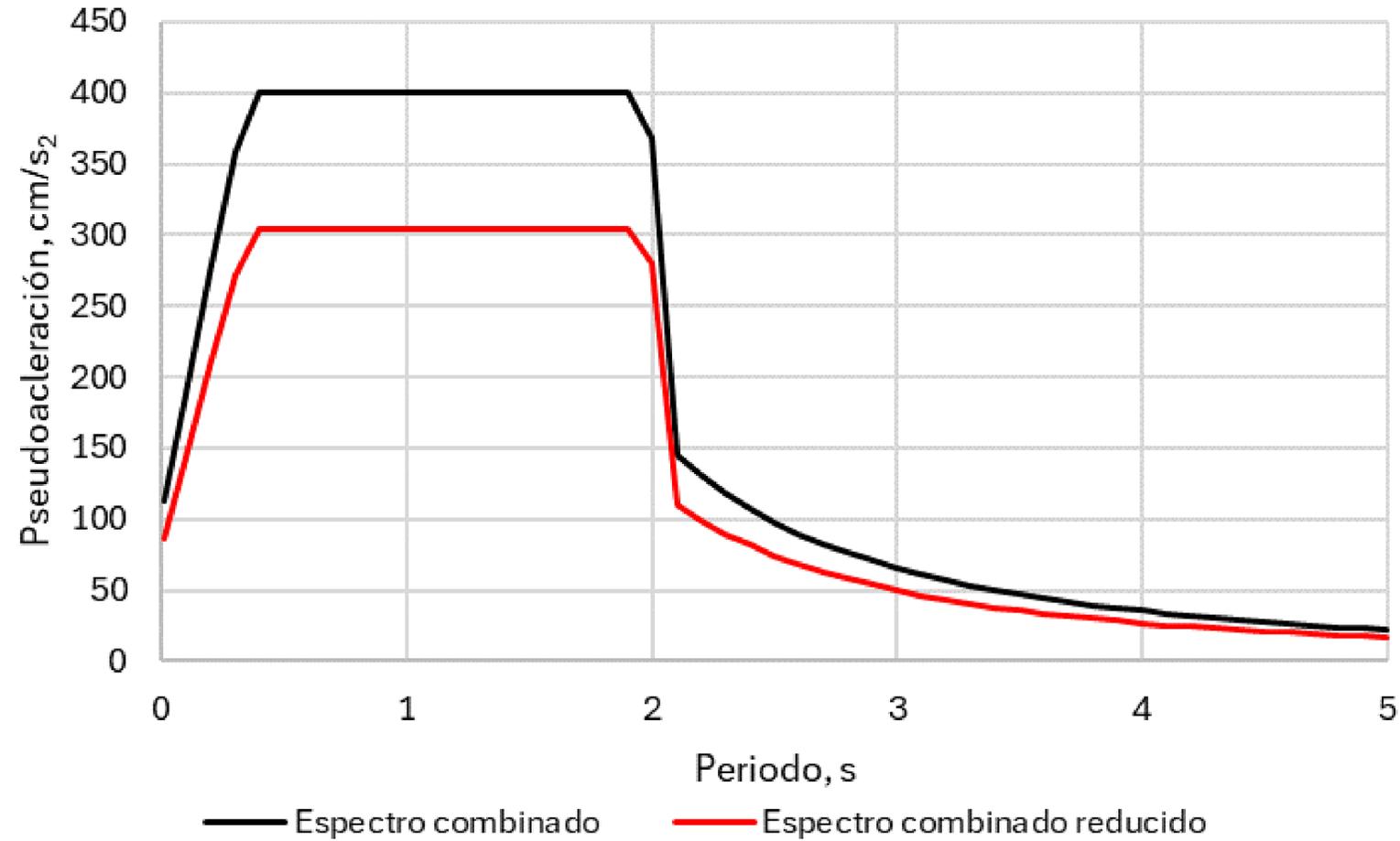
Radio de
curvatura
efectivo



$$T_{ais} = 2.61 \text{ s}$$



5. Análisis Modal Espectral



E Load Case Data

General

Load Case Name: Design...
Load Case Type: Response Spectrum Notes...
Mass Source: Previous (MsSrc1)
Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Espectro Combinado...	1

Advanced

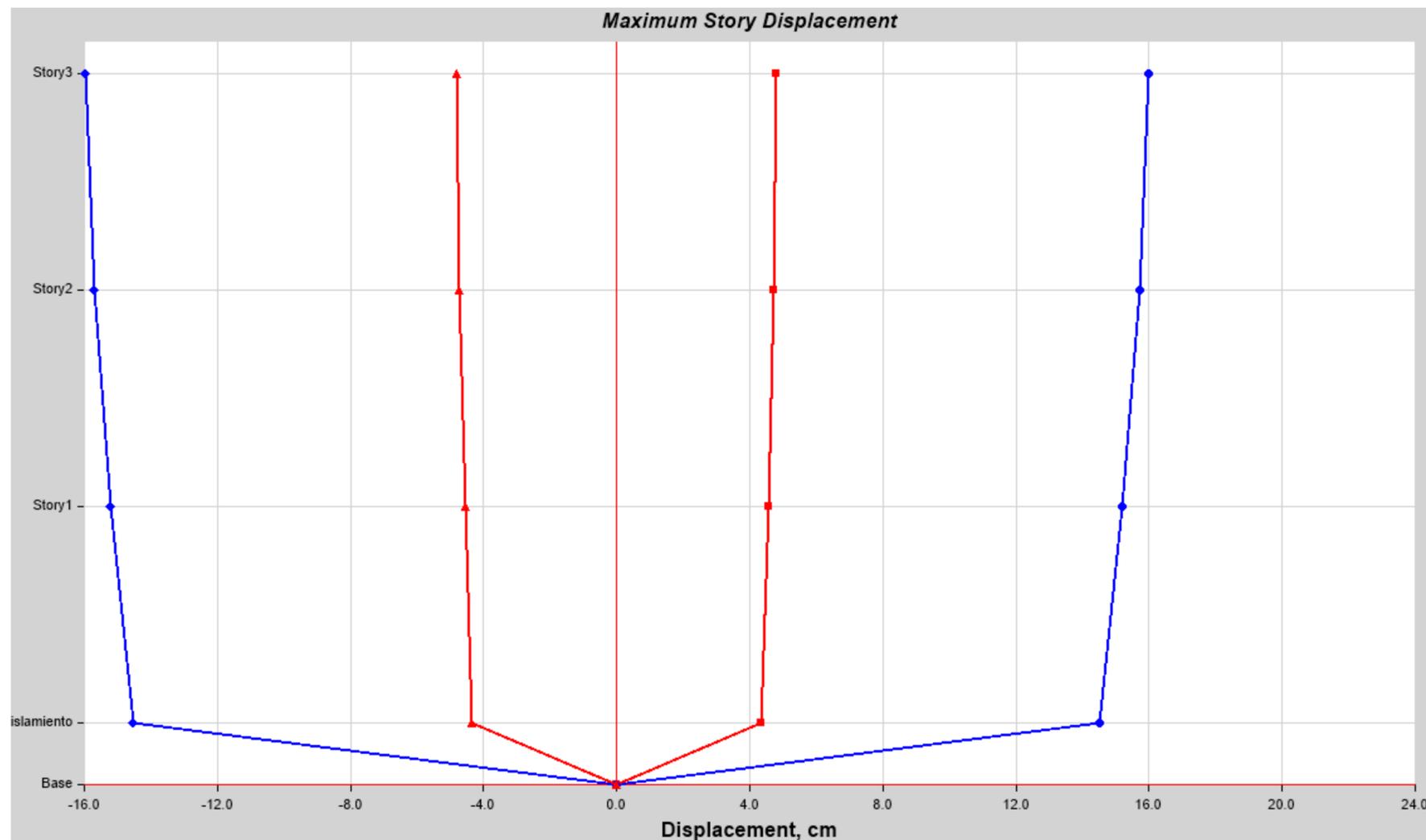
Other Parameters

Modal Load Case: Modal
Modal Combination Method: CQC
 Include Rigid Response
Rigid Frequency, f1:
Rigid Frequency, f2:
Periodic + Rigid Type:
Earthquake Duration, td:
Directional Combination Type: SRSS
Absolute Directional Combination Scale Factor:
Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...
Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms Modify/Show...

Calcular espectro combinado y generar casos de carga



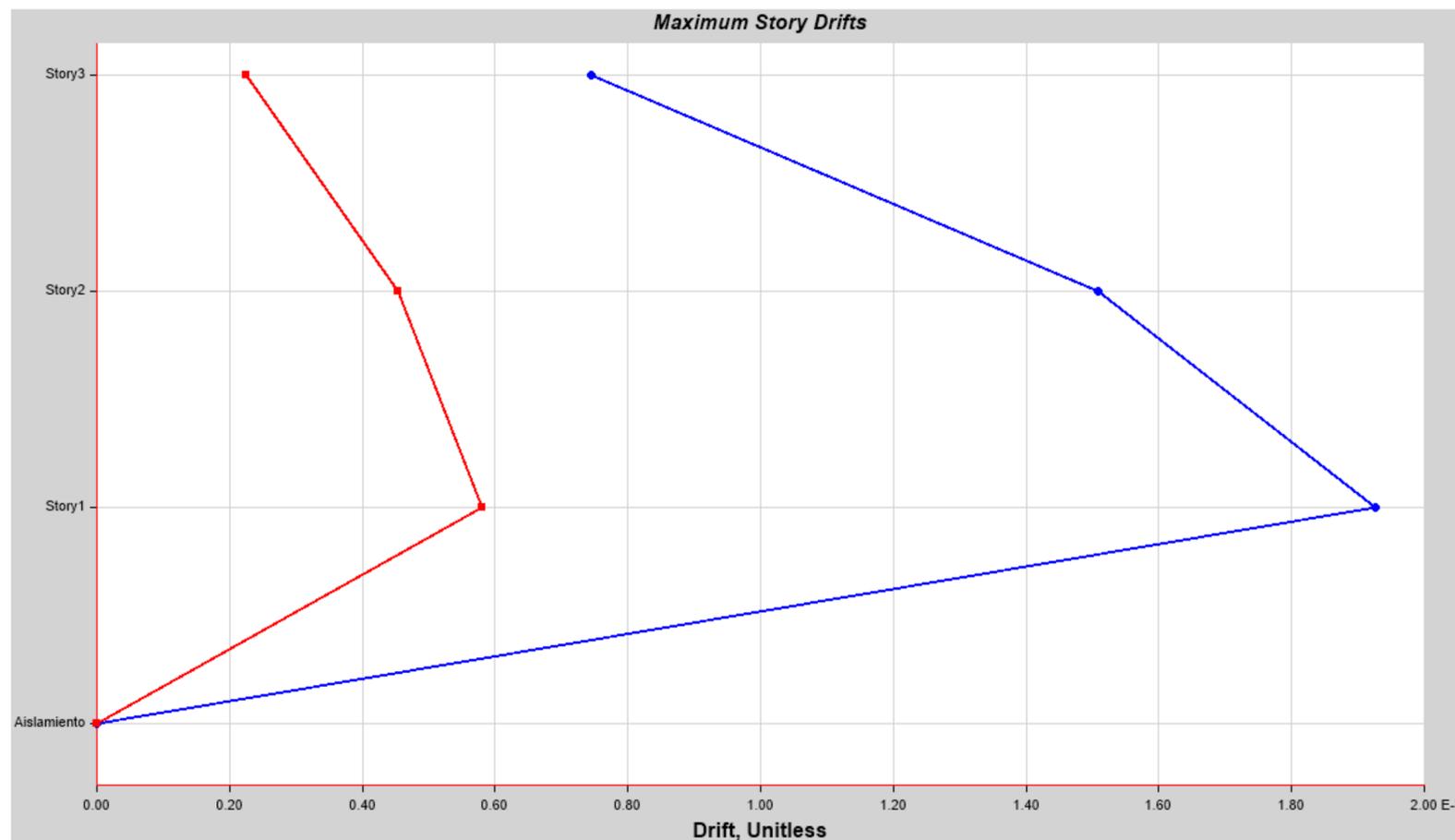
6. Resultados del Análisis Modal Espectral



Revisión desplazamientos y distorsiones con espectro combinado sin reducir



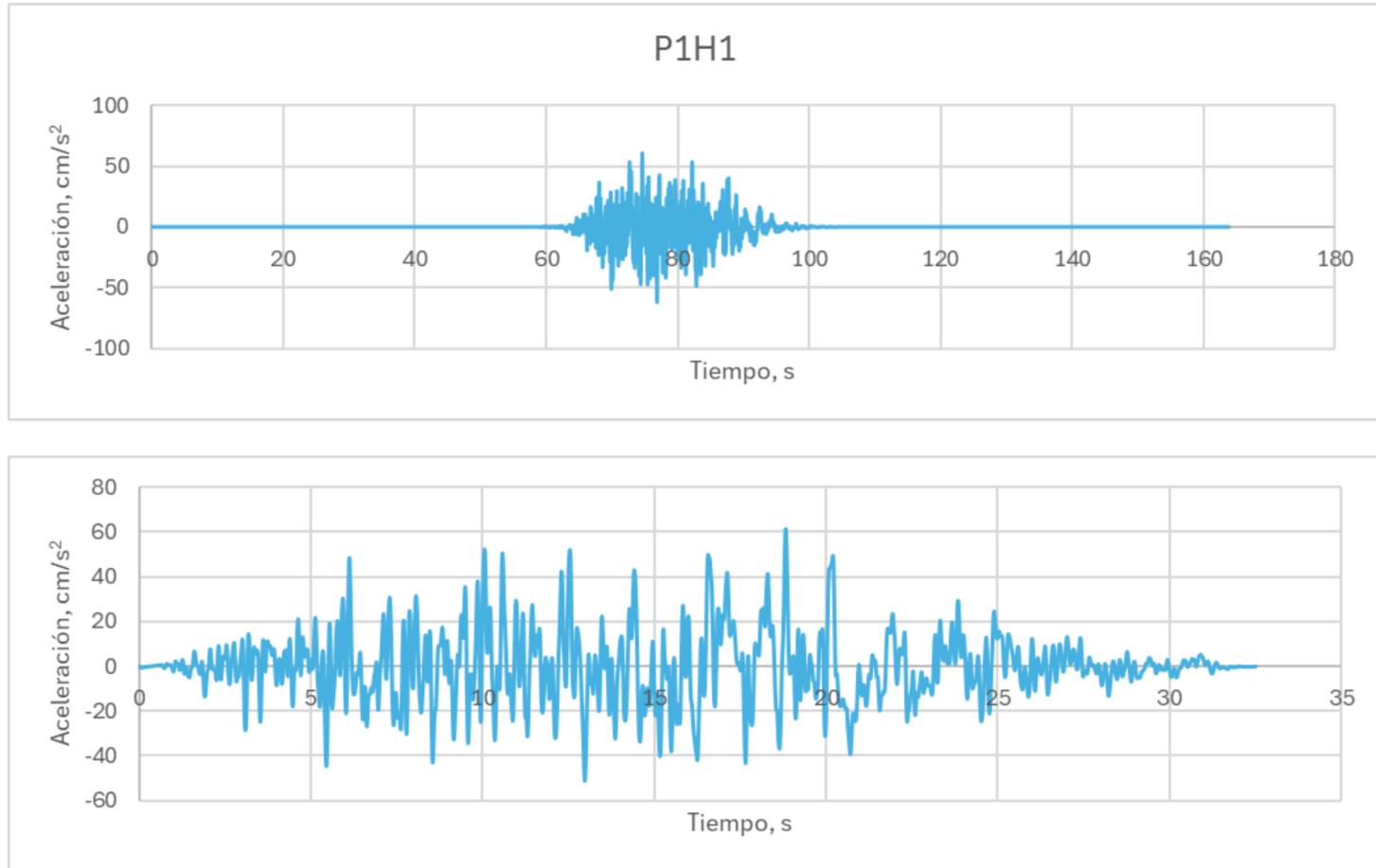
6. Resultados del Análisis Modal Espectral



Revisión desplazamientos y distorsiones con espectro combinado sin reducir



5. Análisis dinámico no lineal paso a paso



The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:** Load Case Name: SUB_1_NLTH; Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration; Mass Source: Previous; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:** Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included); Nonlinear Case: CGrav.
- Loads Applied:** A table with 4 columns: Load Type, Load Name, Function, and Scale Factor.

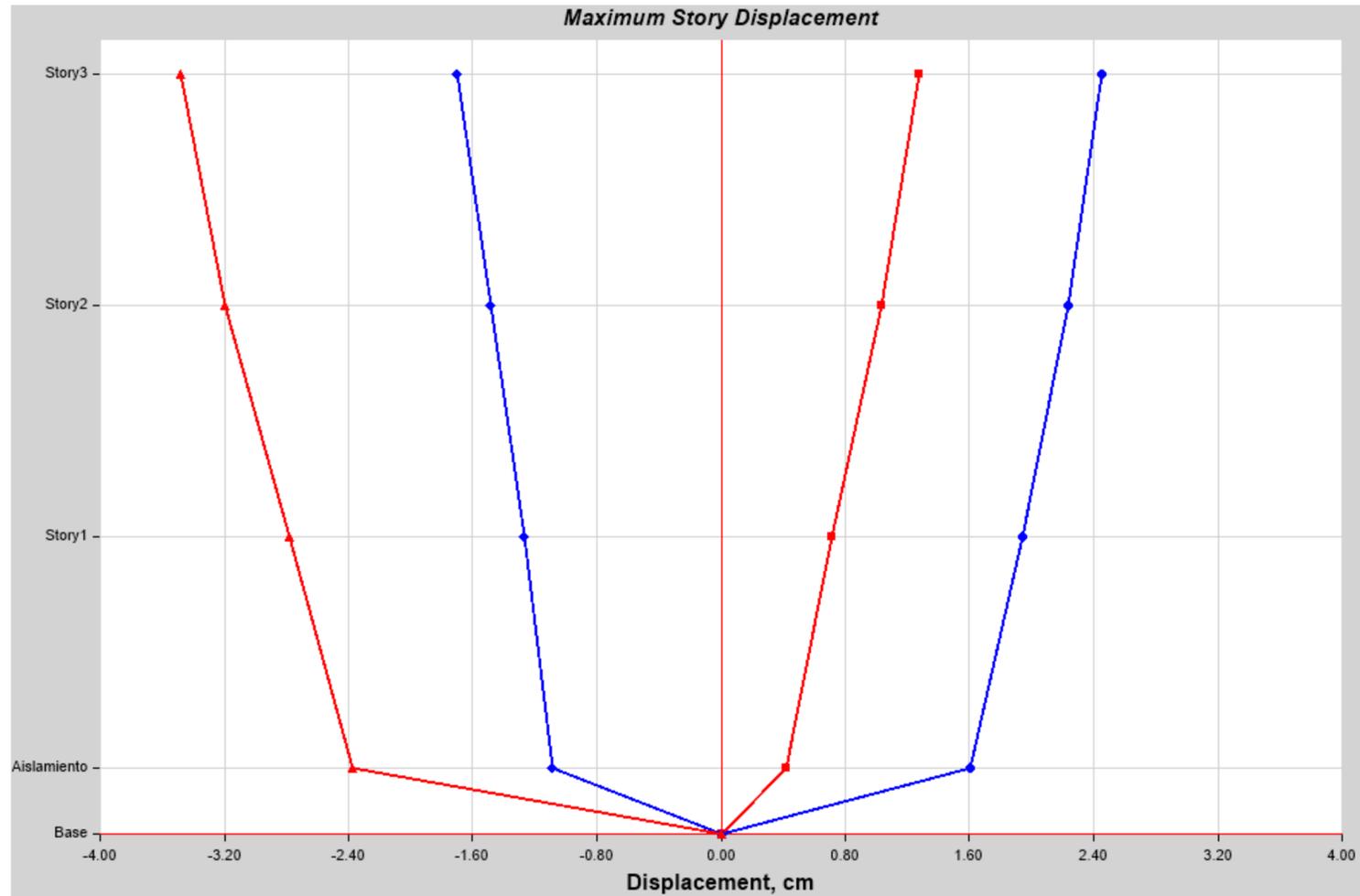
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SUB_1_X	0.0104
Acceleration	U2	SUB_1_Y	0.0104

Other Parameters: Geometric Nonlinearity Option: None; Number of Output Time Steps: 6048; Output Time Step Size: 0.02 sec; Damping: Mass: 0.1111; Stiff: 0.0018; Modal: No; Time Integration: Newmark; Nonlinear Parameters: Default - Iterative Only.

Obtener registros sísmicos, procesarlos y generar casos de carga



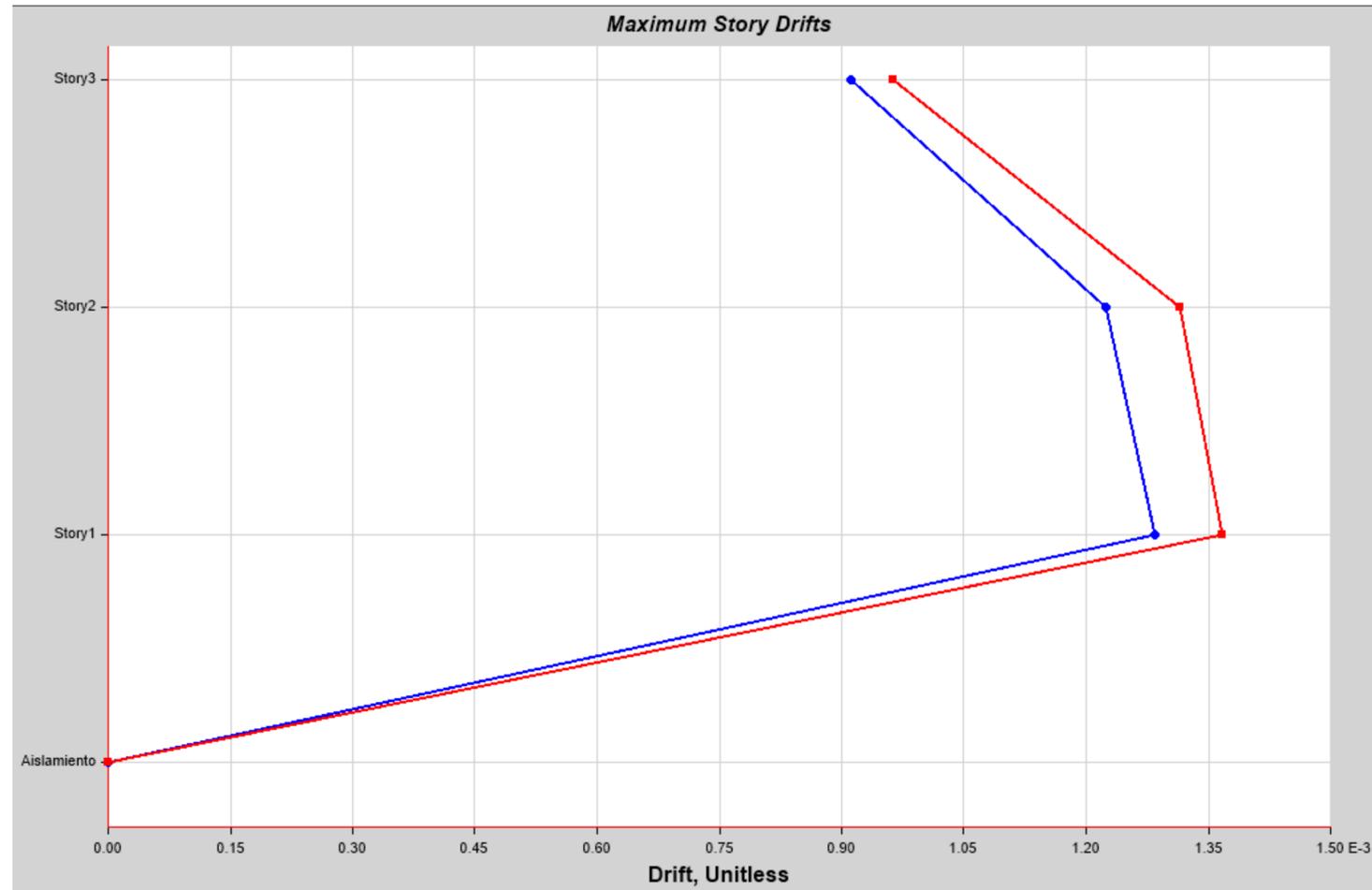
6. Resultados del Análisis dinámico no lineal paso a paso



Revisión de desplazamientos y distorsiones para cada caso NL



6. Resultados del Análisis dinámico no lineal paso a paso



Revisión de desplazamientos y distorsiones para cada caso NL



DAMPO



@Damposystems



www.dampo.com.mx

¡Gracias por su atención!

**Engineering,
technology
& infrastructure.**



Valentin.jimenez@dampo.com.mx