



DAMPO

**Introducción al uso de sistemas de protección
sísmica**

**Diseño de estructuras equipadas
con disipadores histeréticos**

MI. José Ernesto García Mora Pinto

DAMPO



DAMPO

Temario

Sesión 1: Sesión teórica

- Conceptos fundamentales
- Parámetros de diseño CRP
- Características de disipación
- Recomendaciones de configuración de CRP
- Normas Técnicas Complementarias CDMX Sismo 2023
- Metodología de prediseño



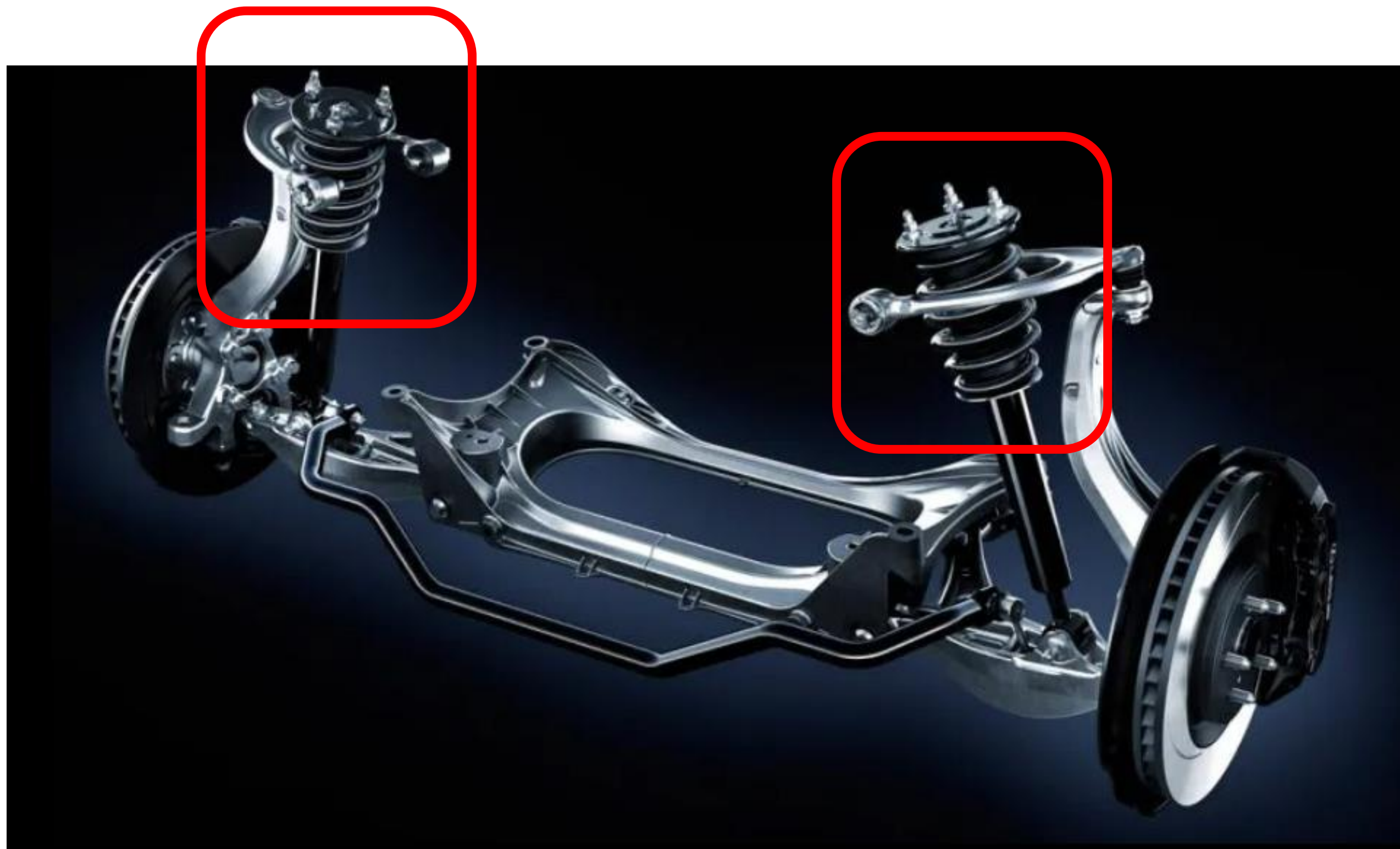
Conceptos fundamentales



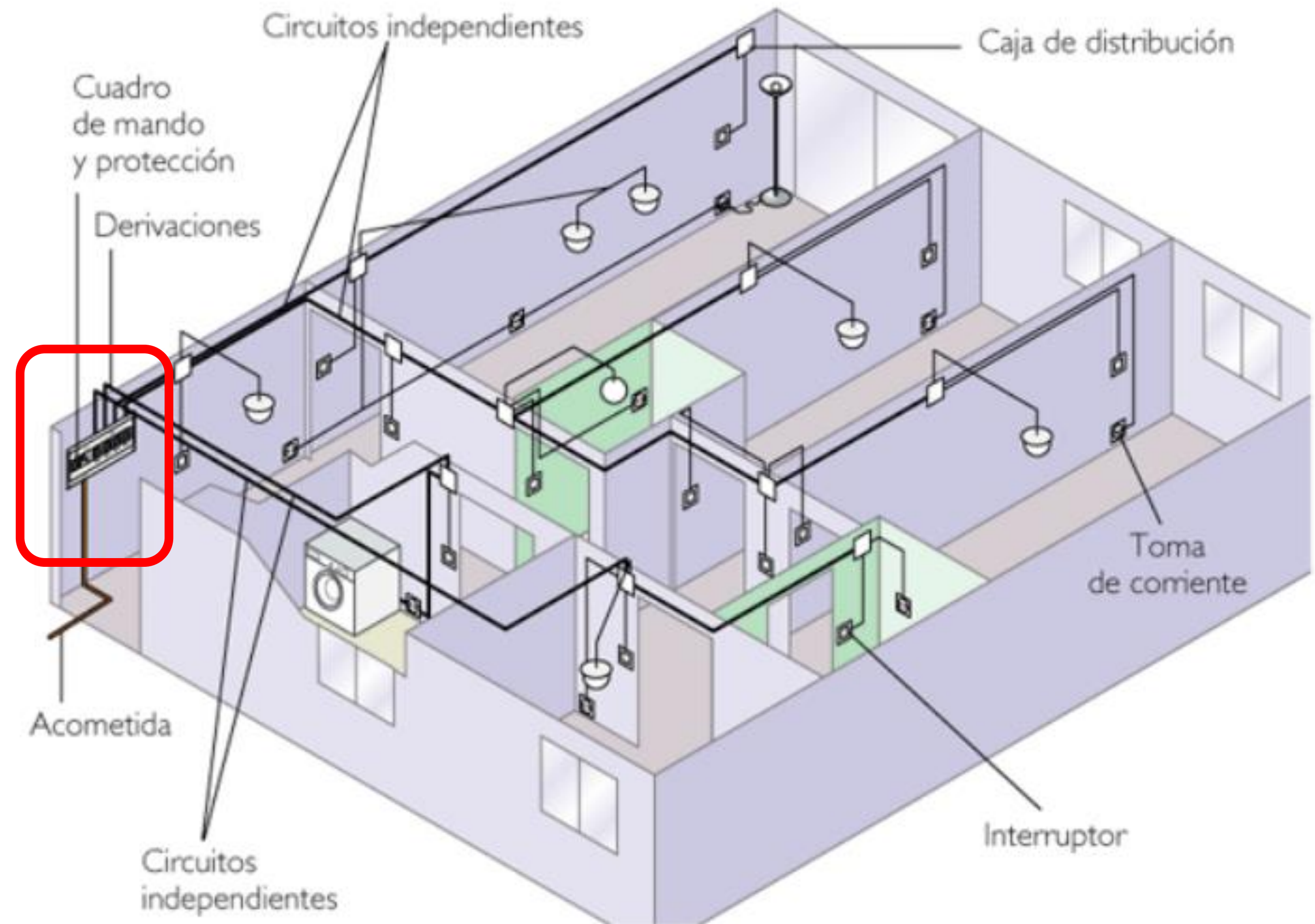
DAMPO



¿Qué es un disipador de energía?



Amortiguadores de carro



Instalación eléctrica



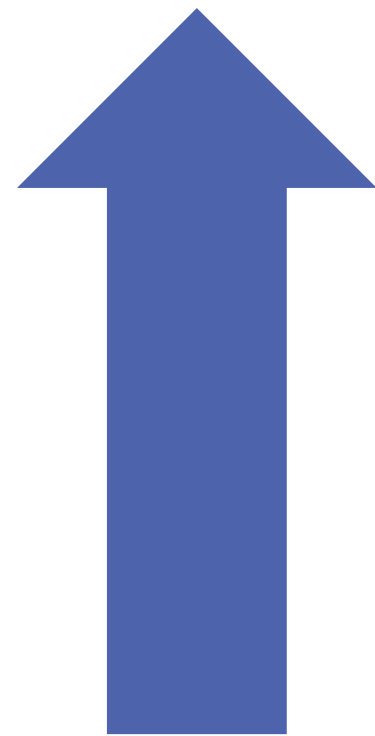
Objetivos de la instalación de disipadores

Reducción de **costos** totales en la estructura

Mejorar el **comportamiento** estructural

Análisis y diseño más detallado del proyecto para una mayor **certidumbre**

Mayor **seguridad** y **confort** para el usuario



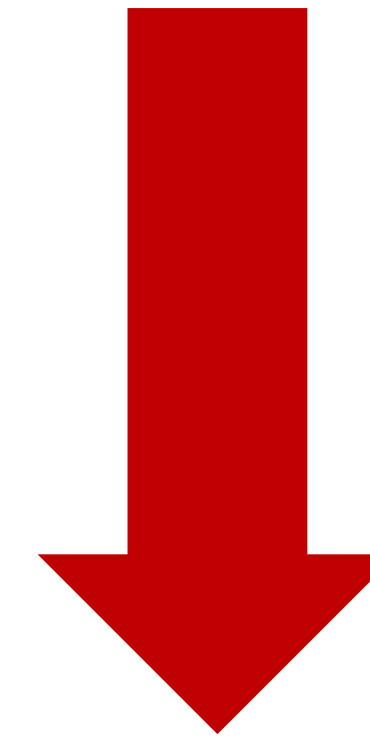
Comportamiento



Certidumbre



**Seguridad y
confort**



Costo total

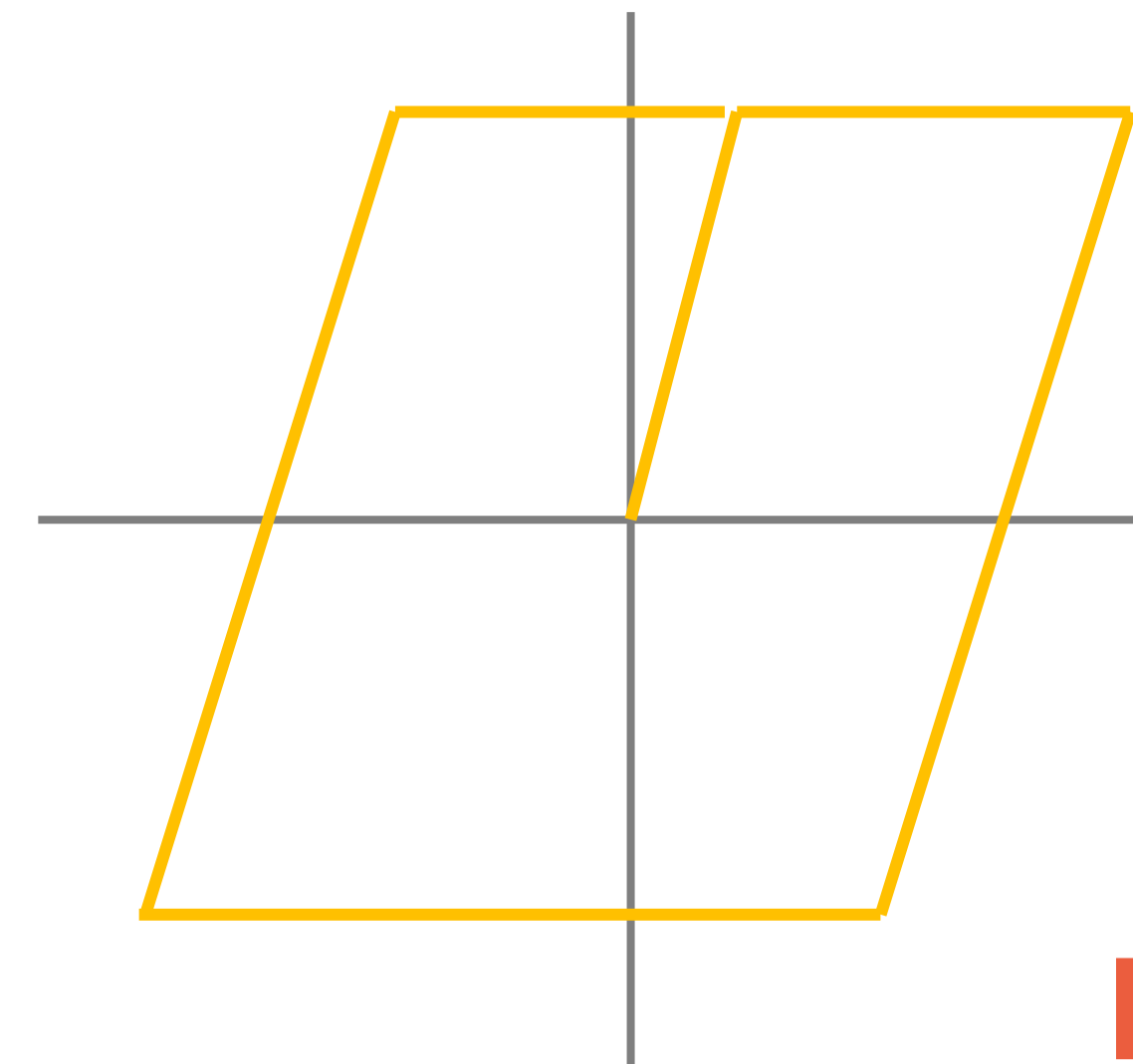
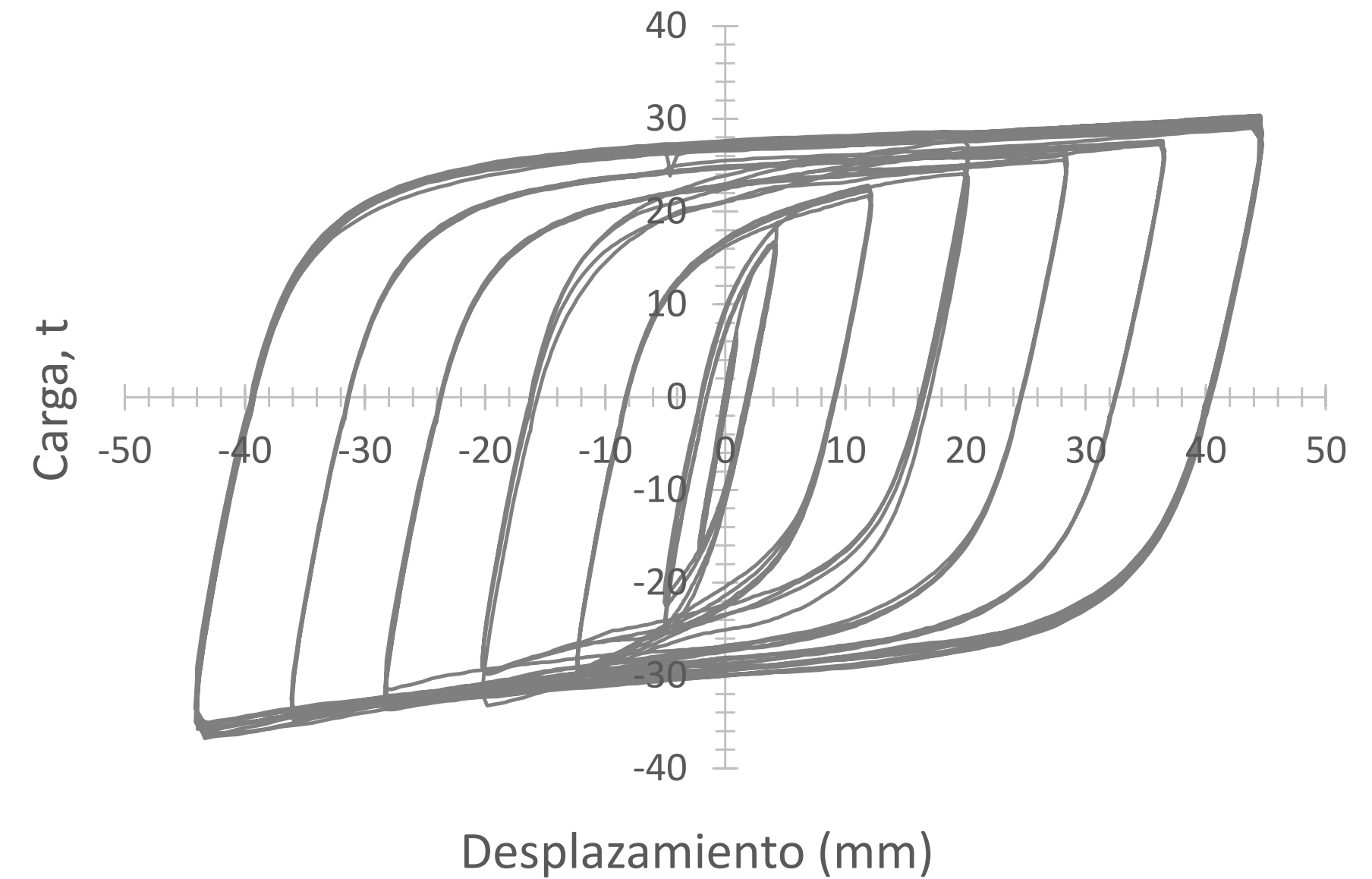


¿Qué es un disipador histerético?

Disipadores Activados por desplazamiento

Tipos principales:

- Disipadores Metálicos
Comportamiento histerético de los metales deformados plásticamente
- Disipadores de fricción
Fricción en la interface de dos cuerpos solidos

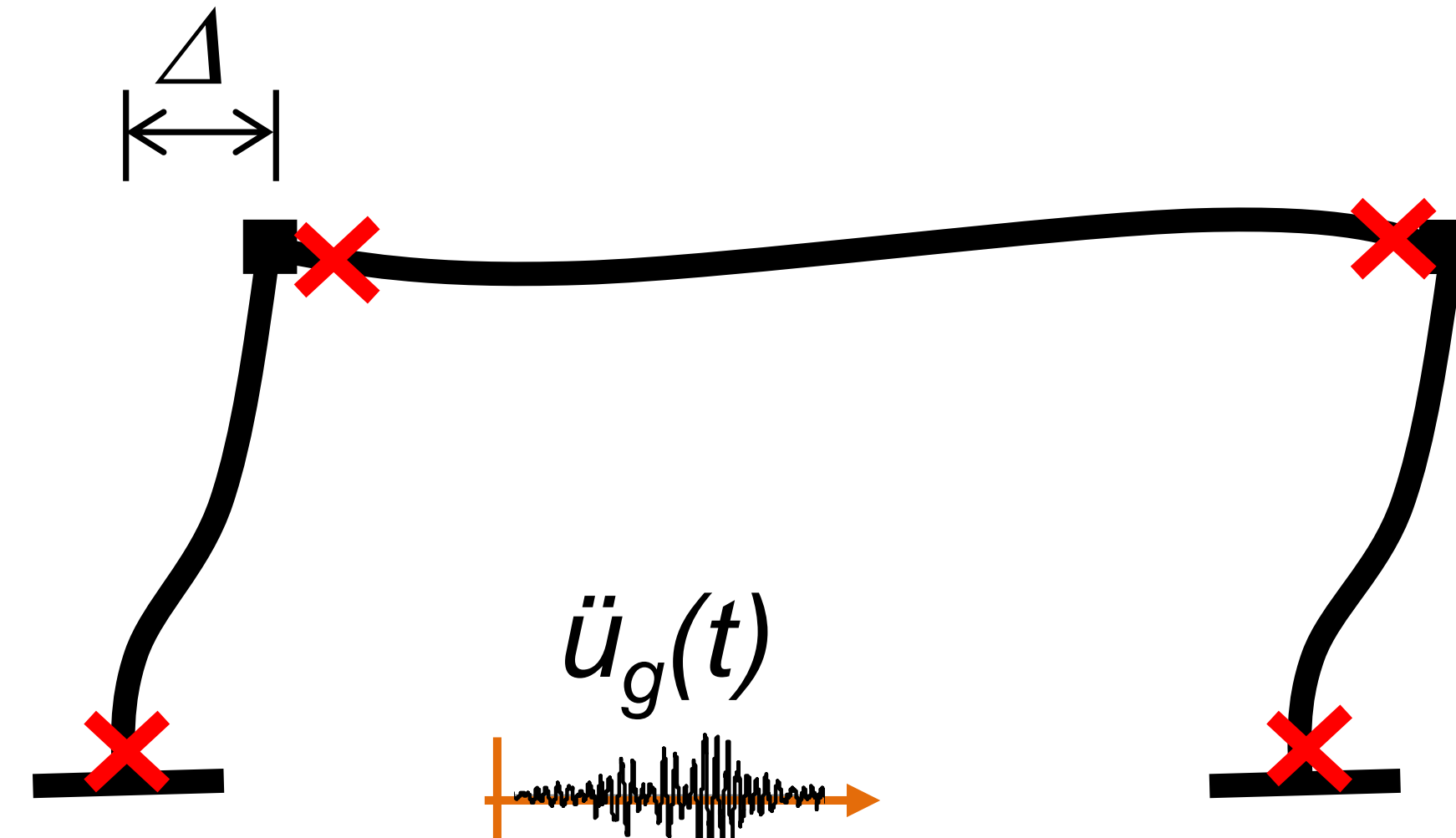


DAMPO

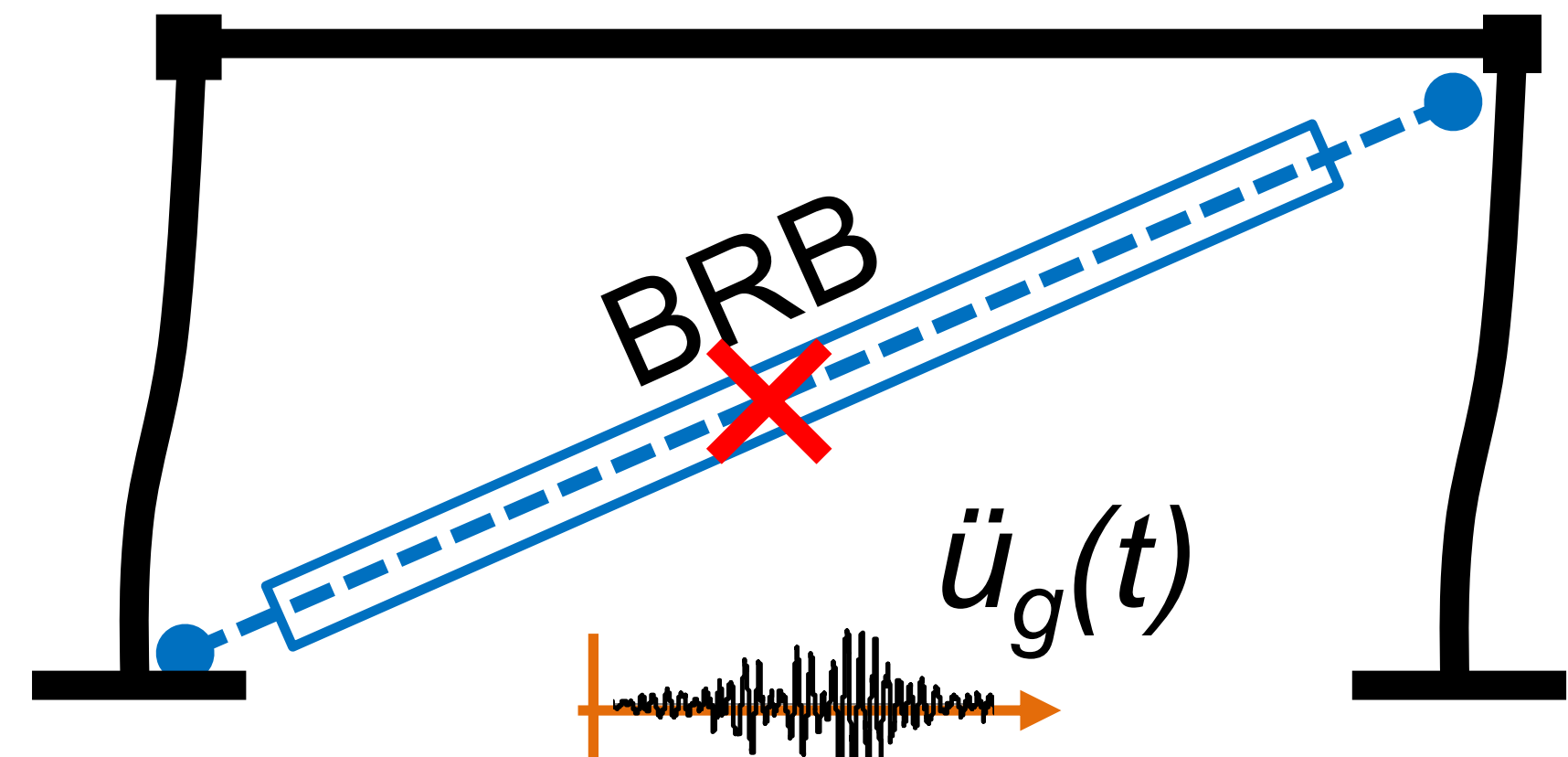


¿Qué es un Contraviento restringido a pandeo (CRP)?

- Contraviento/Contraventeo
- Dispositivo histerético
- Disipador de energía
- **Fusible estructural**



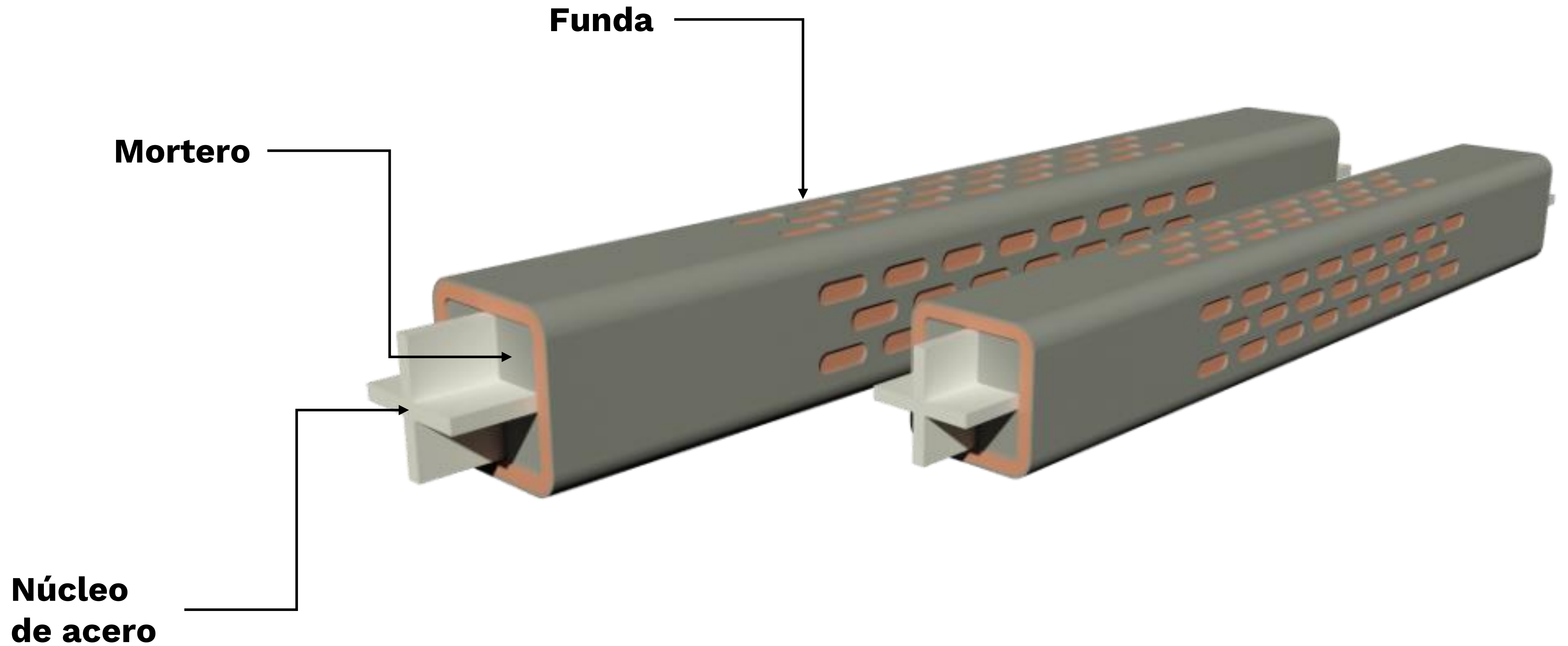
$$d < \Delta$$



DAMPO

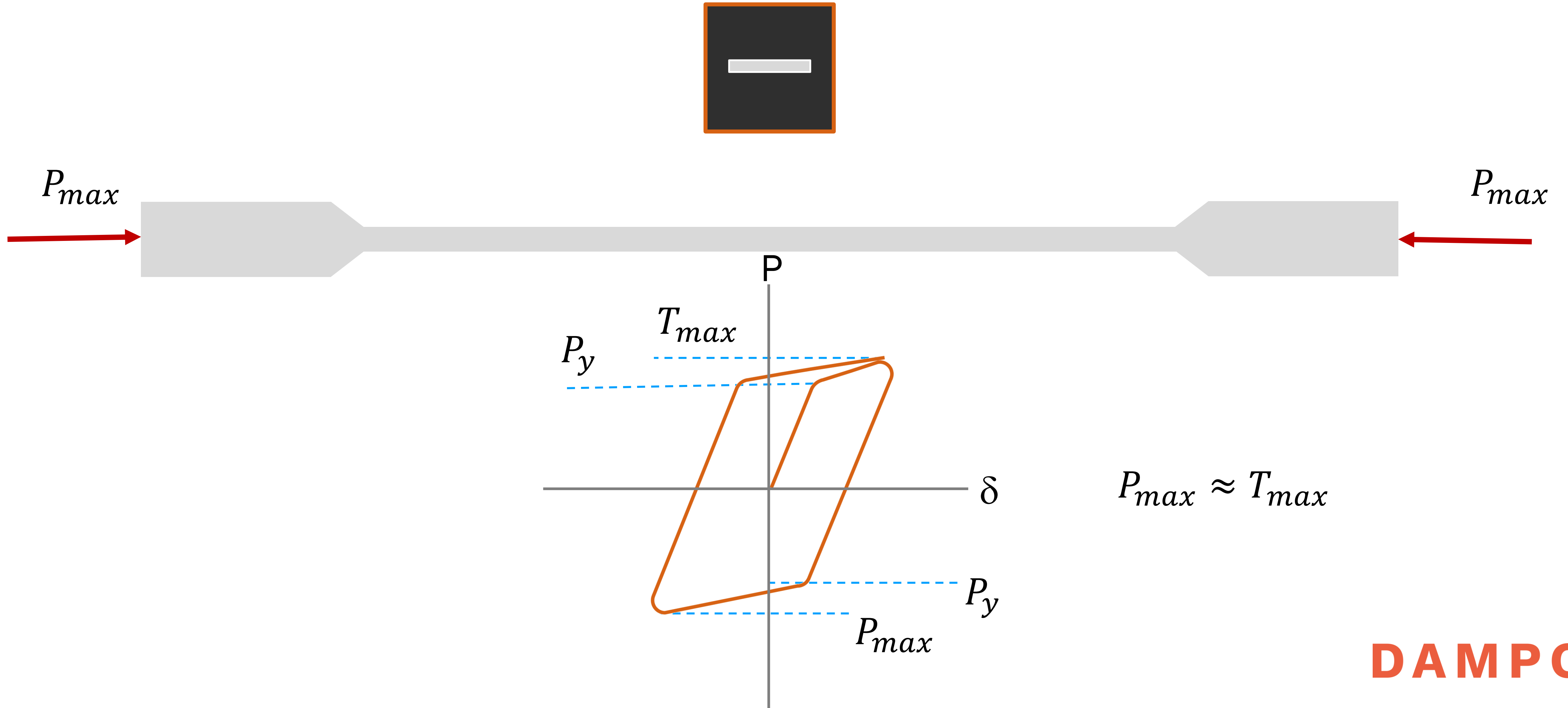


Disipador histerético tipo CRP



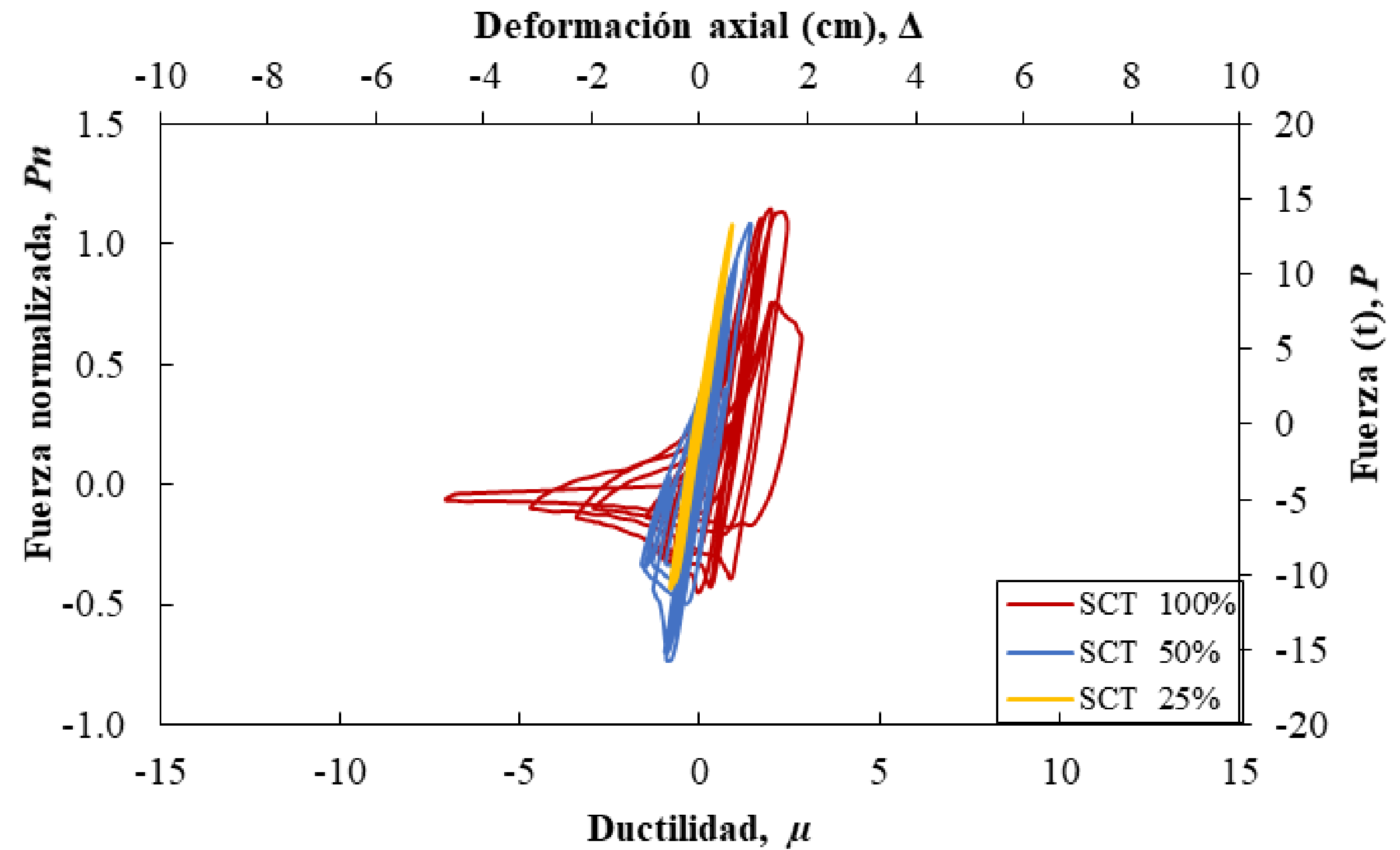
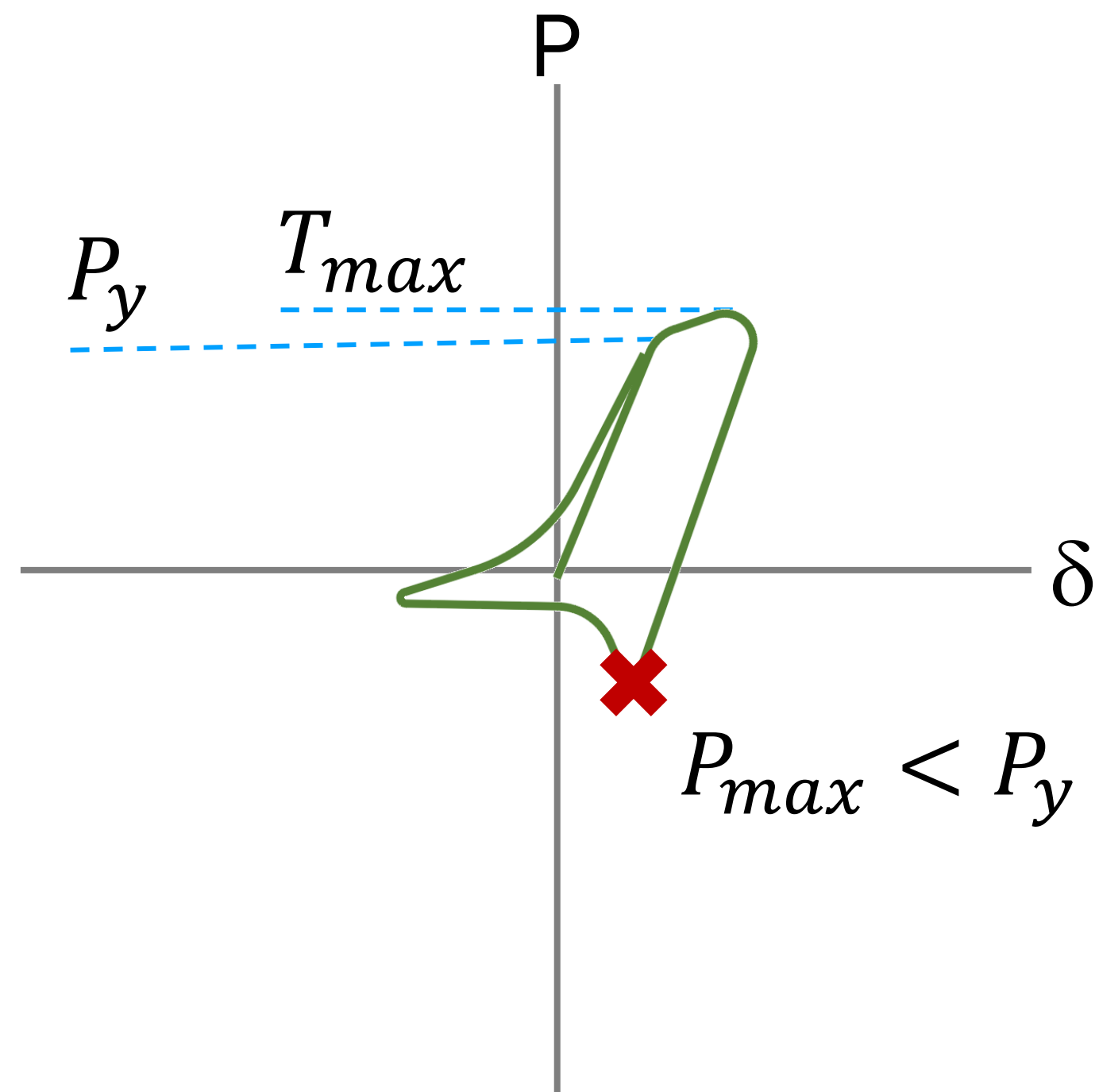
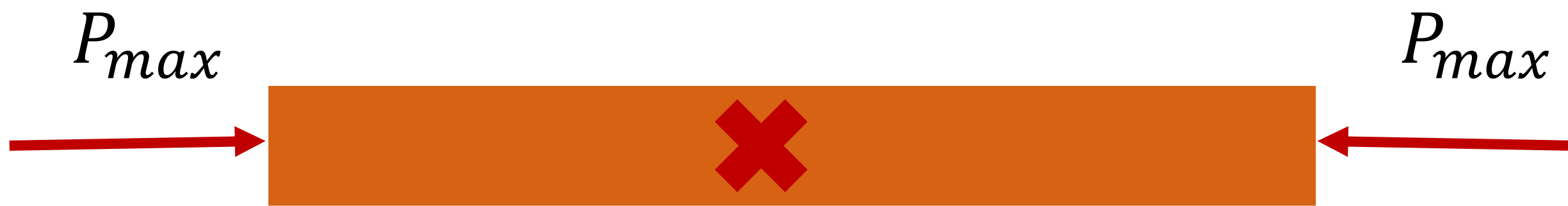


¿Cómo funciona?





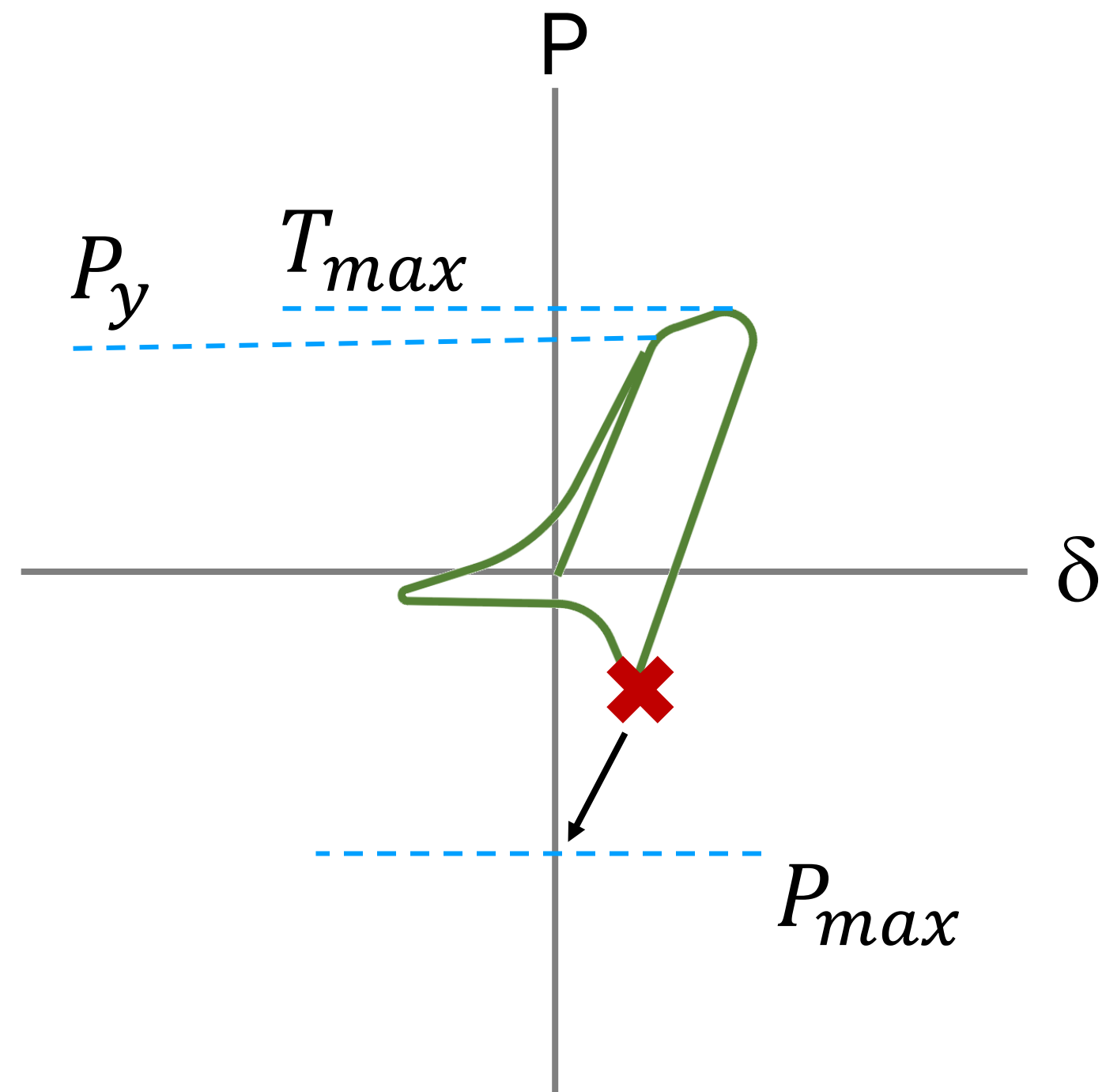
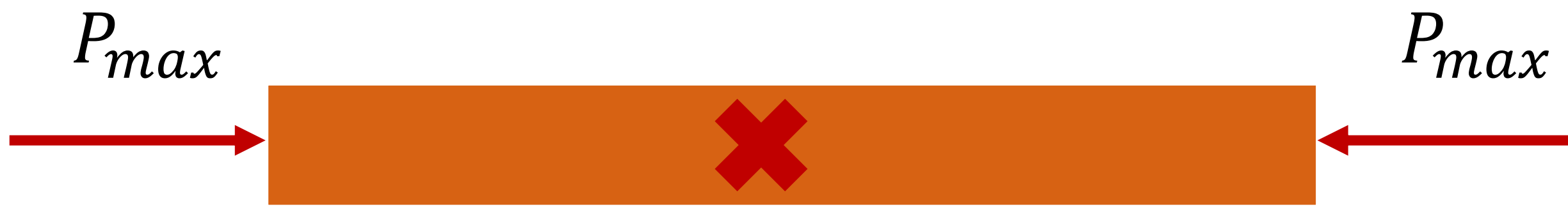
¿Por qué un BRB y no un CC?



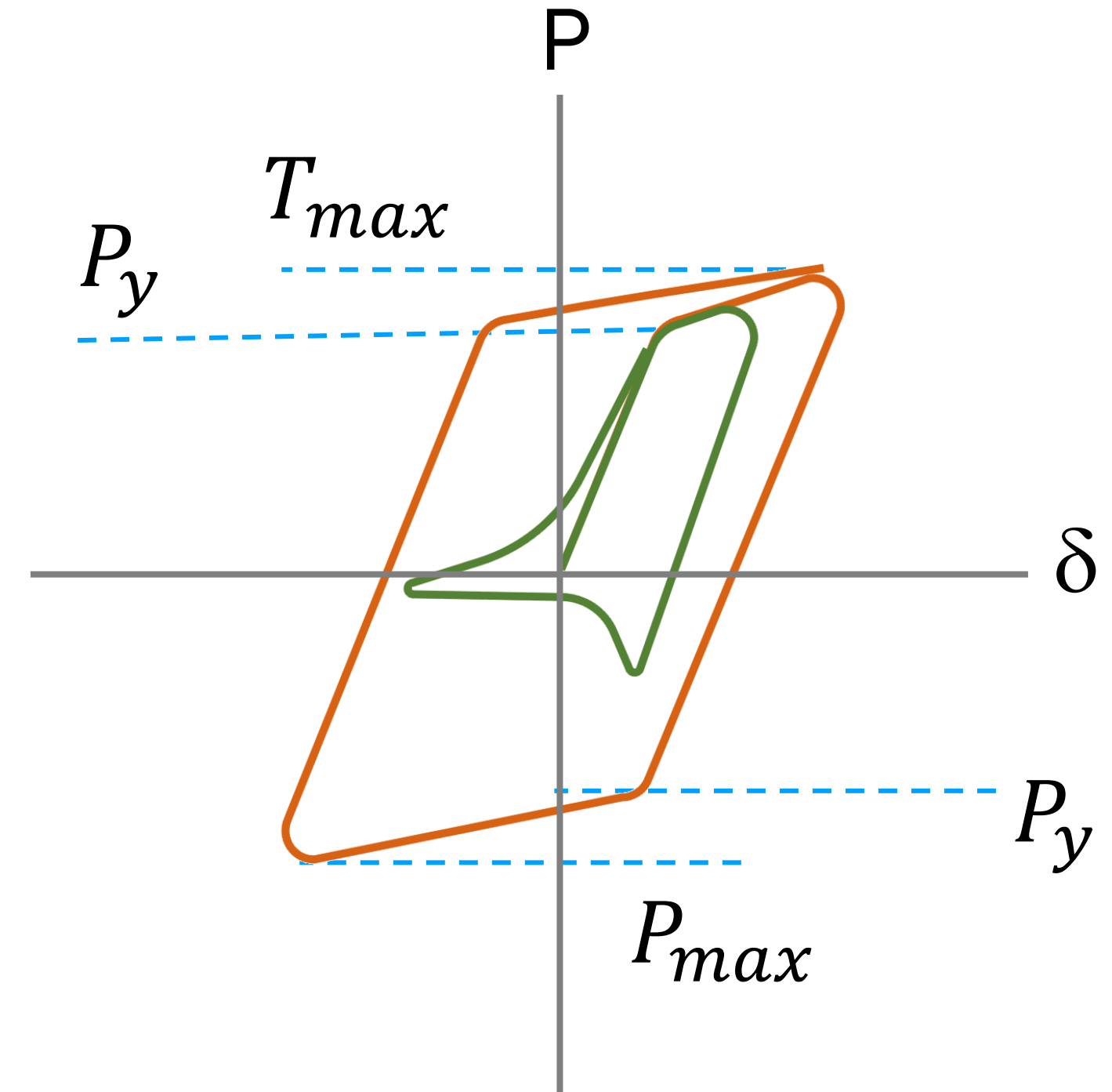
Guerrero, A. Terán, E Zamora, J.A. Escobar 2020



¿Por qué un BRB y no un CC?



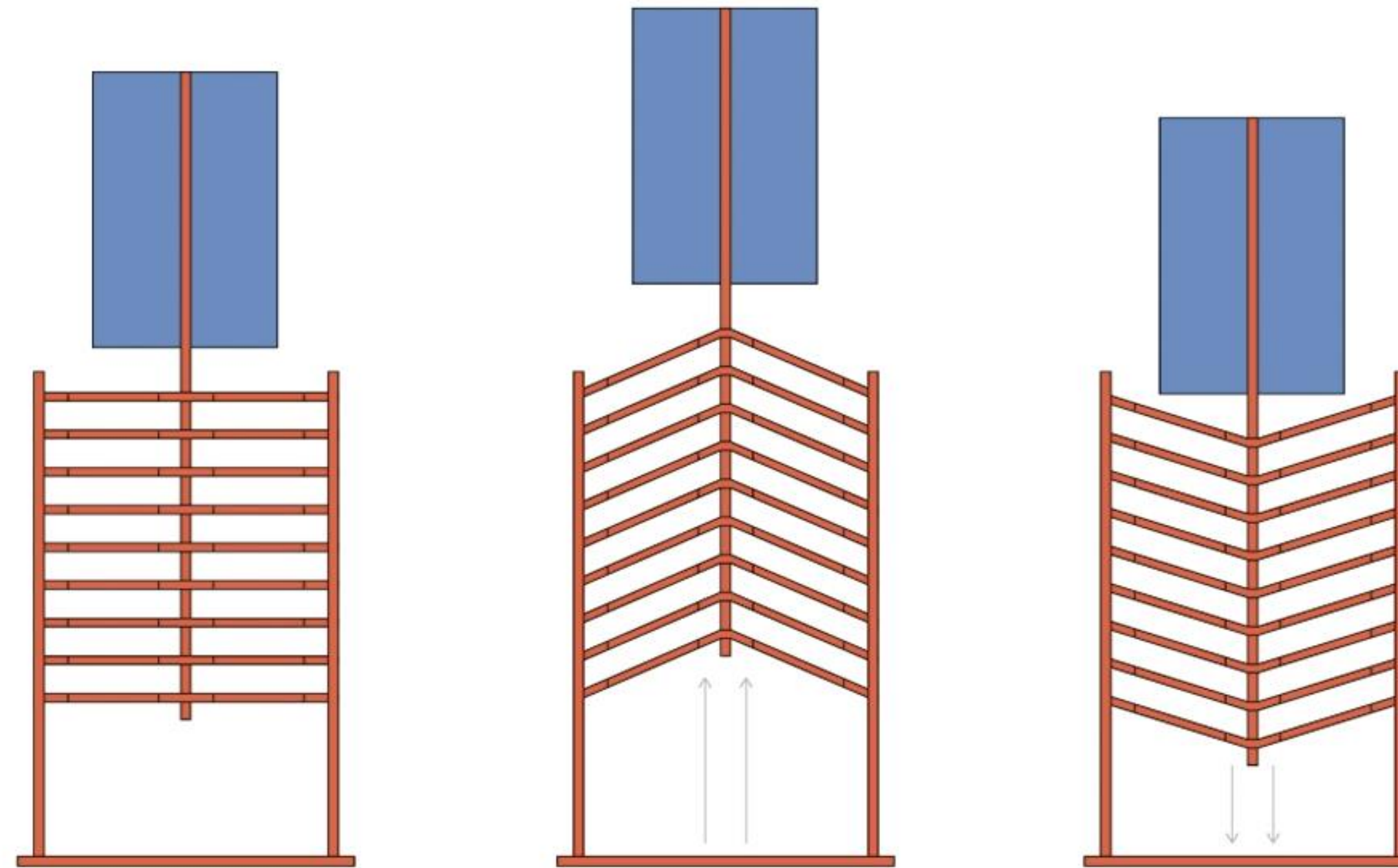
$$P_{max} \approx P_y$$



Comportamiento comparado



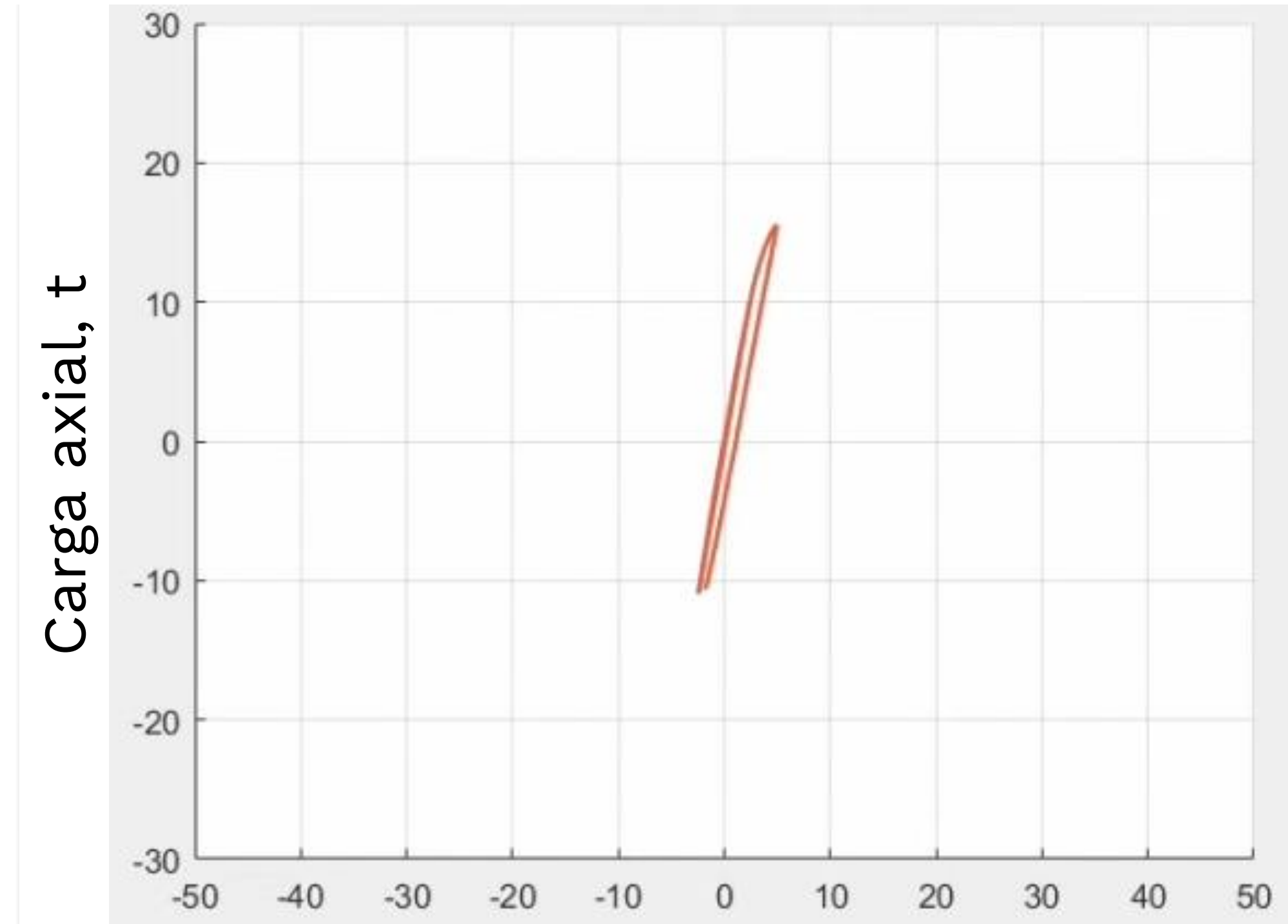
Disipador histerético tipo 1505



El disipador Dampo 1505 es un disipador tipo histerético ligero, conformado por un arreglo de placas que le permite acomodar desplazamientos muy grandes y de manera estable

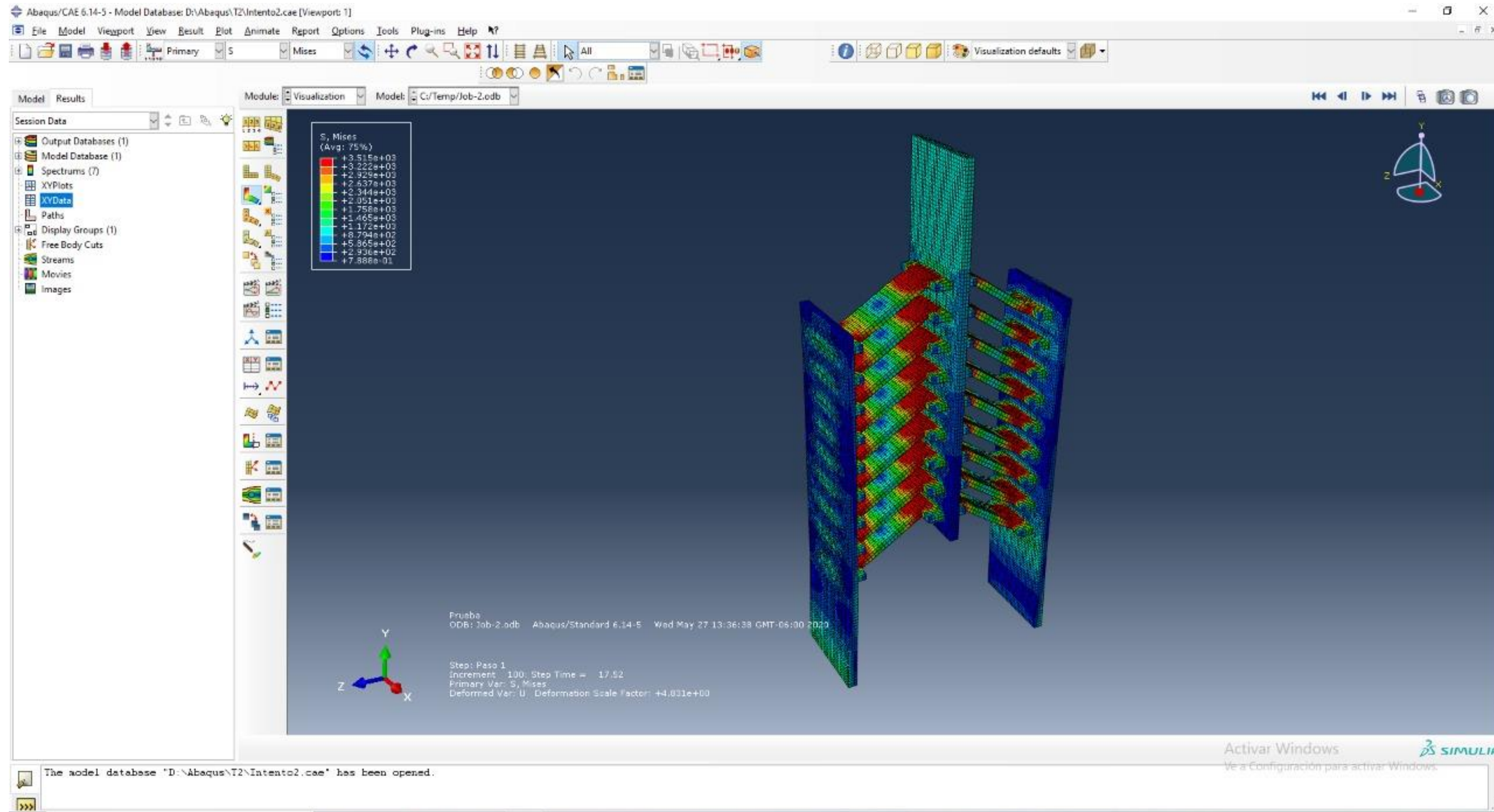


Pruebas experimentales en México, UNAM (2019)



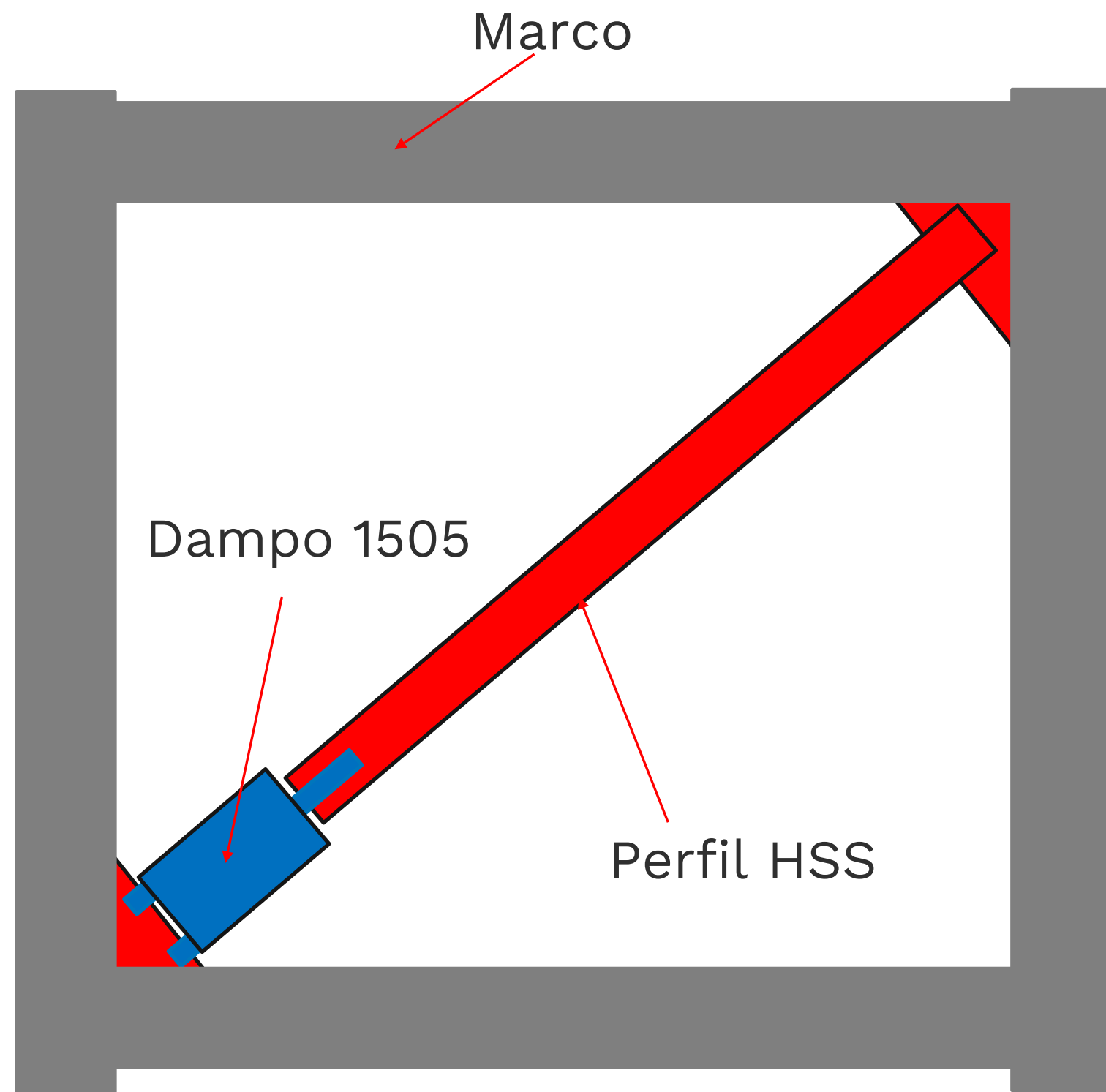
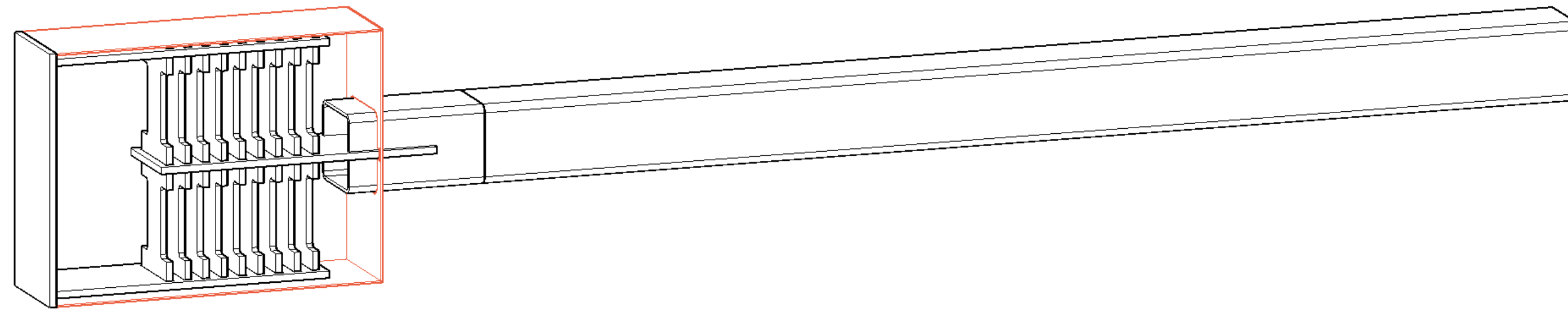


Validación adicional en modelos computacionales



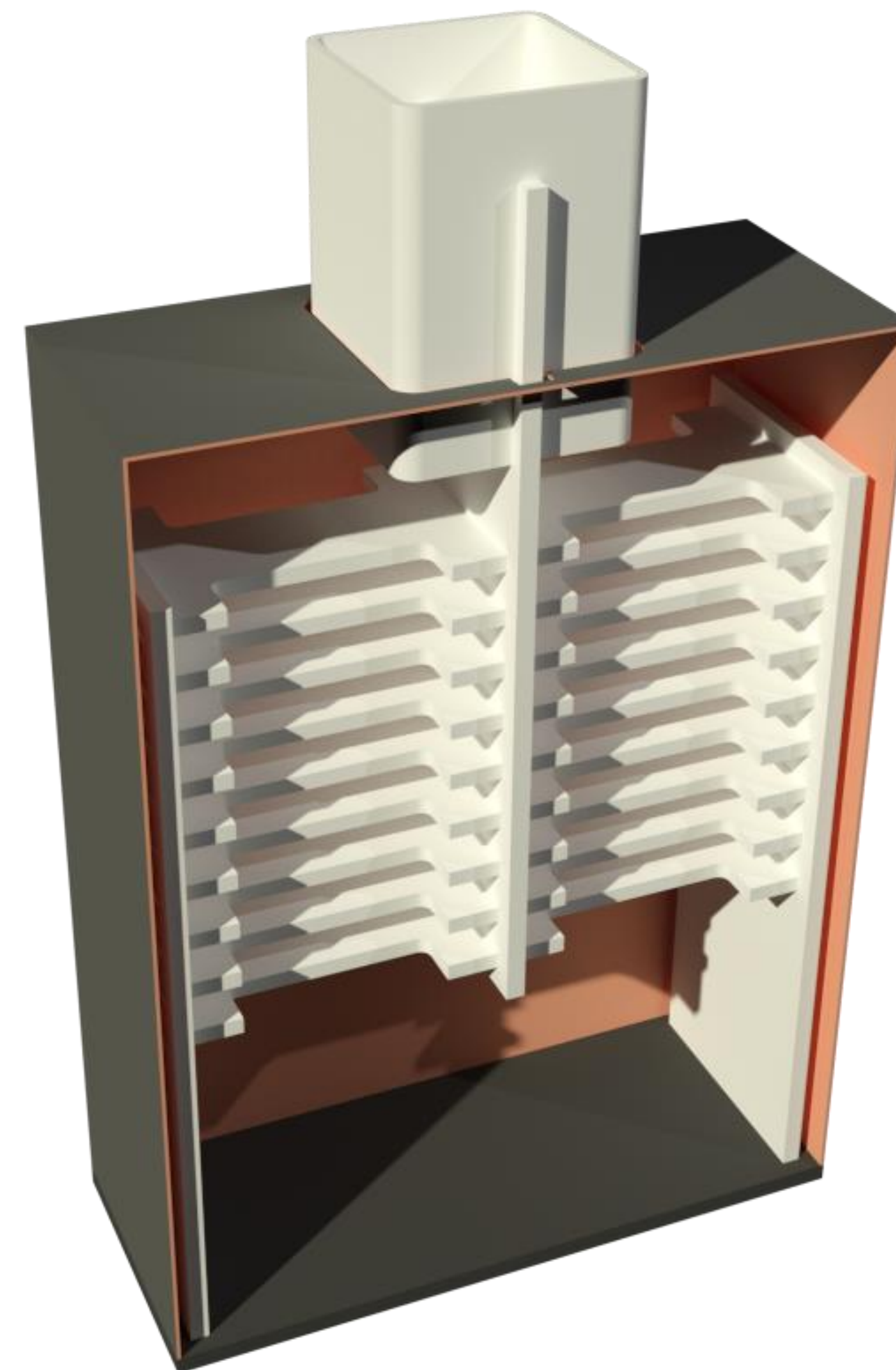


Colocación del disipador Dampo 1505





Colocación del disipador Dampo 1505



DAMPO



Parámetros de diseño de CRP



Parámetros de diseño

Fuerza de fluencia

$$P_y$$

Rigidez del disipador

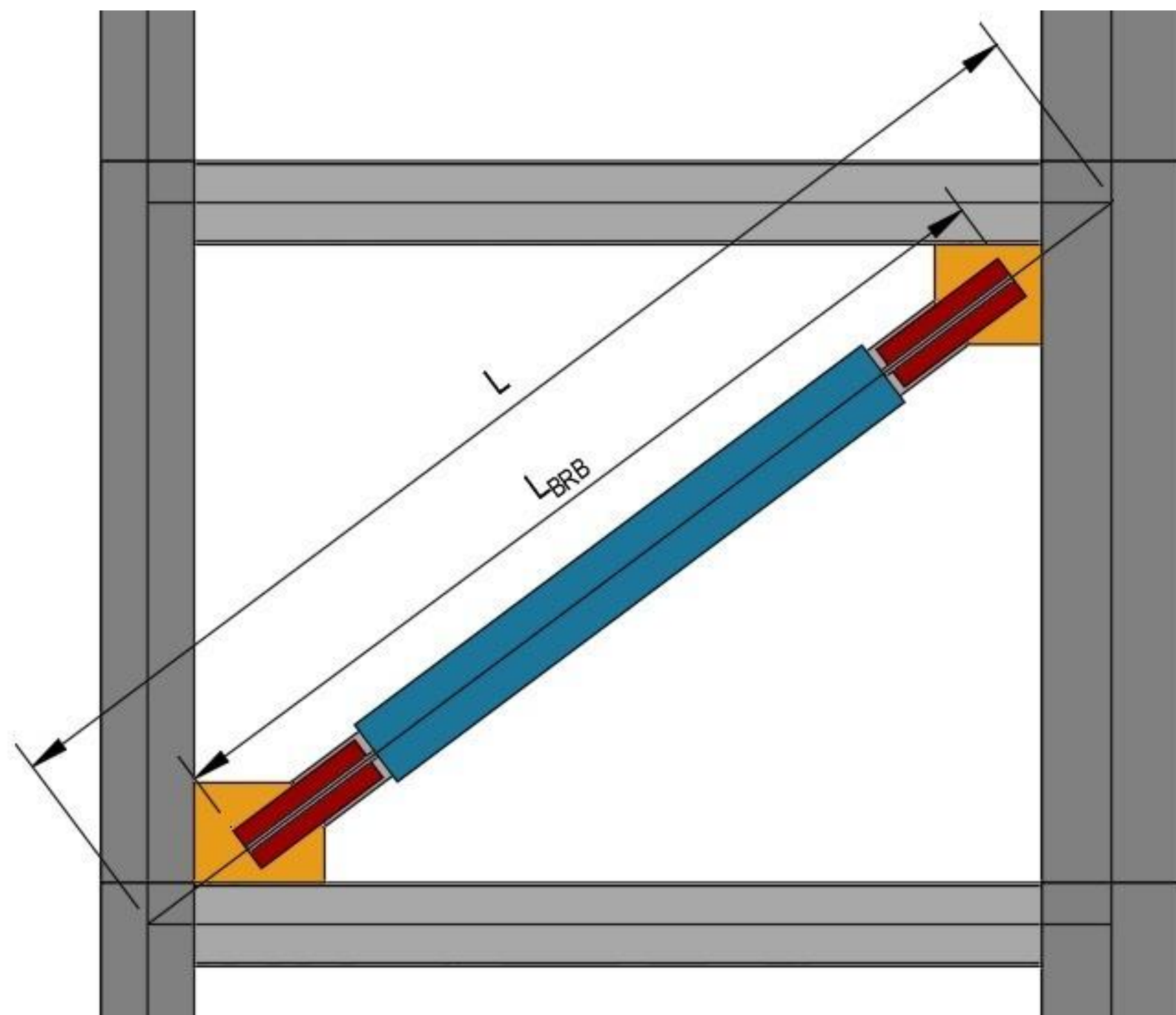
$$K_{BRB}$$

Esfuerzo de fluencia

$$f_{ye}$$

Longitud del disipador

$$L_{BRB}$$



Esfuerzo de fluencia esperado

$$f_{ye} = f_y * R_y$$

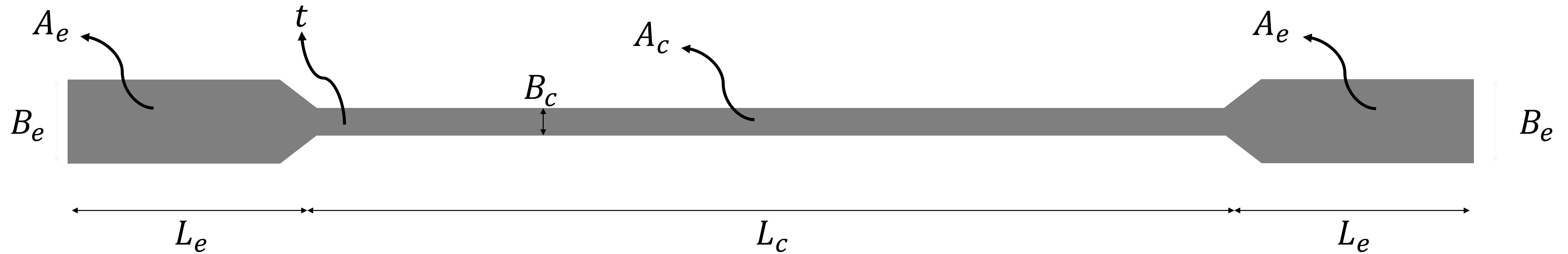
Cociente del esfuerzo de fluencia R_y

R_y -> Depende del tipo de acero utilizado y el elemento fabricado (placa, perfil, tubo, etc.)

Referencia de valores de R_y : NTC DCEA - 2020
Tabla 12.1.1



Geometría del BRB



Área del núcleo

$$A_c = \frac{P_y}{f_{ye}}$$

Espesor de la placa

t

Ancho del núcleo

$$B_c = \frac{A_c}{t}$$

Relación de anchos

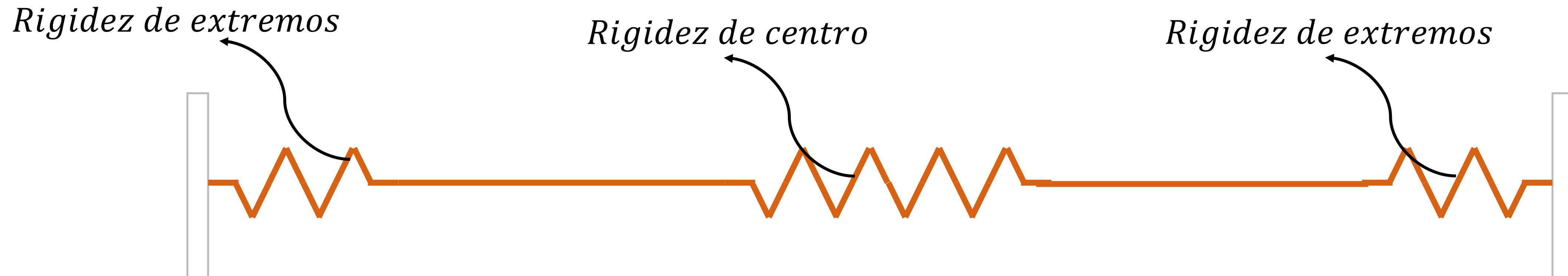
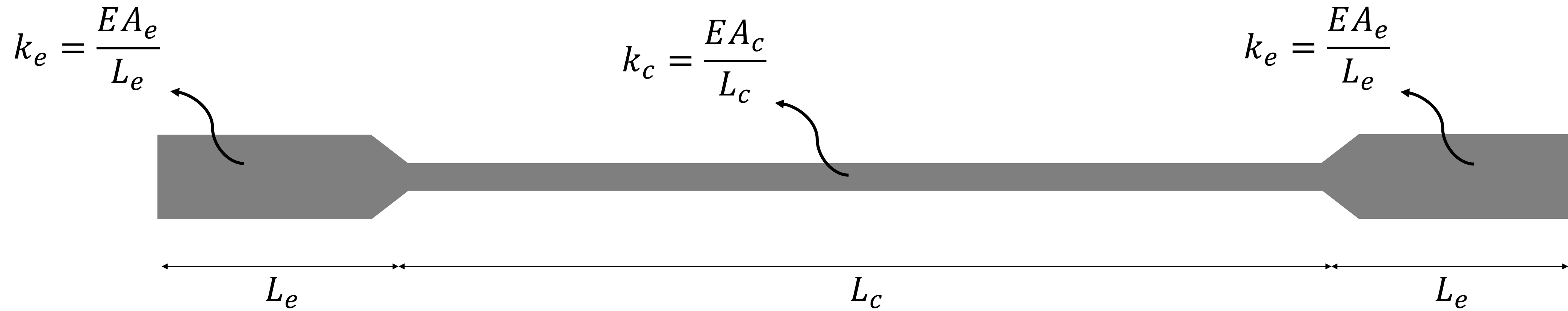
$$B_e > B_c$$

Relación de longitudes

$$L_c + 2 * L_e = L_{BRB}$$



Rigidez del BRB



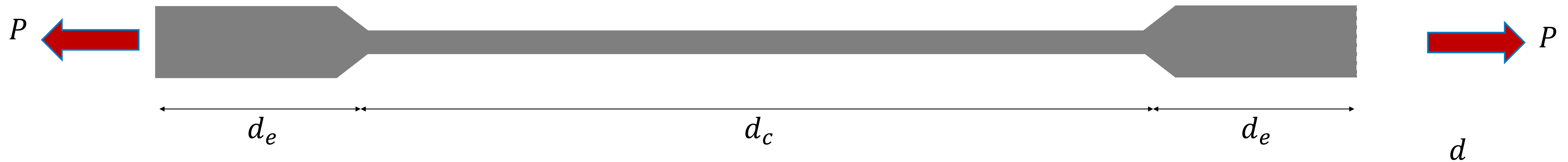
La rigidez de un BRB se puede obtener como si fuera un resorte en serie (rigidez de extremos y de zona central)



Rigidez del BRB

Relación fuerza-desplazamiento

$$P = k * d$$



Compatibilidad de deformaciones

$$d = d_e + d_c + d_e$$

$$\frac{P}{k_{BRB}} = \frac{P}{k_e} + \frac{P}{k_c} + \frac{P}{k_e}$$

$$\frac{1}{k_{BRB}} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_e}$$



Rigidez del BRB

$$k_{BRB} = \frac{1}{\frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_e}}$$



Se busca calcular la rigidez con un método más sencillo usando el factor fk

$$fk = \frac{k_{BRB}}{k'}$$

$$k_{BRB} = k' * fk$$

$$k' = \frac{EA_c}{L}$$

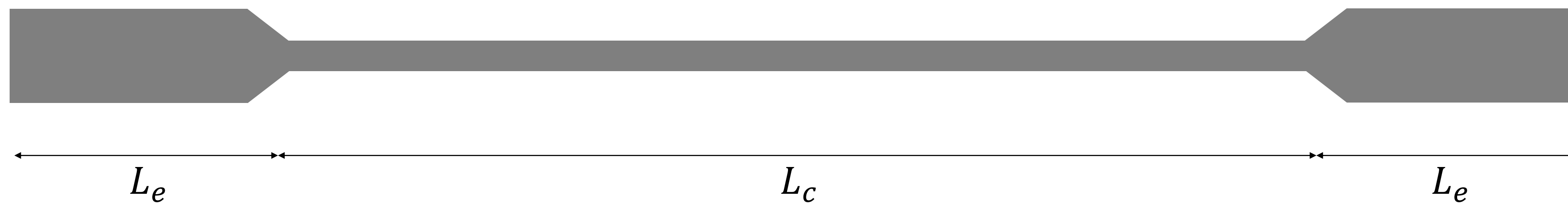
$$k_{BRB} = \frac{EA_c}{L} * fk$$

$$1.1 < fk < 1.5$$

$$fk = 1.3$$



Desplazamiento de fluencia y ductilidad

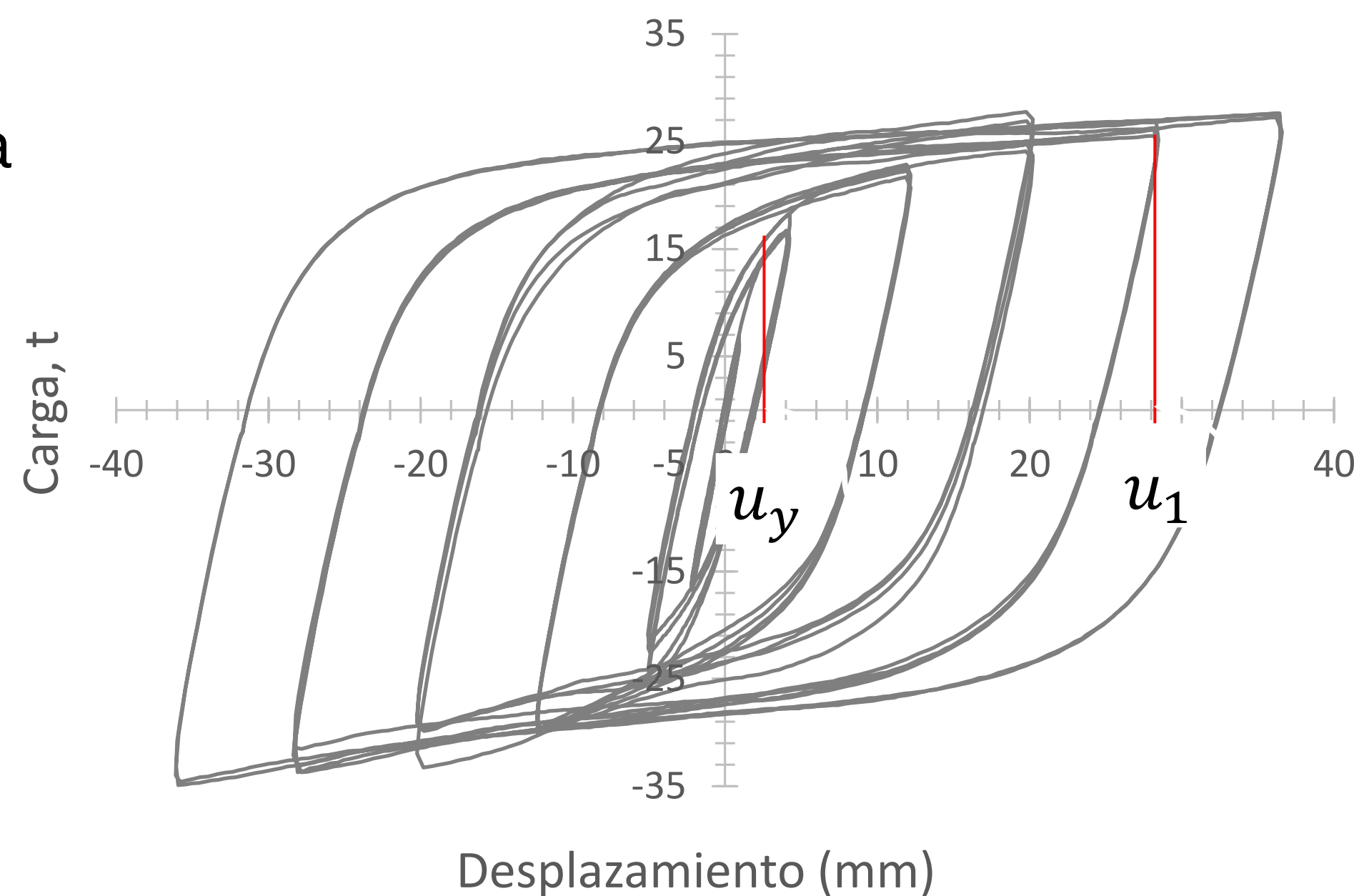


Desplazamiento de fluencia

$$u_y = \frac{P_y}{k_{BRB}}$$

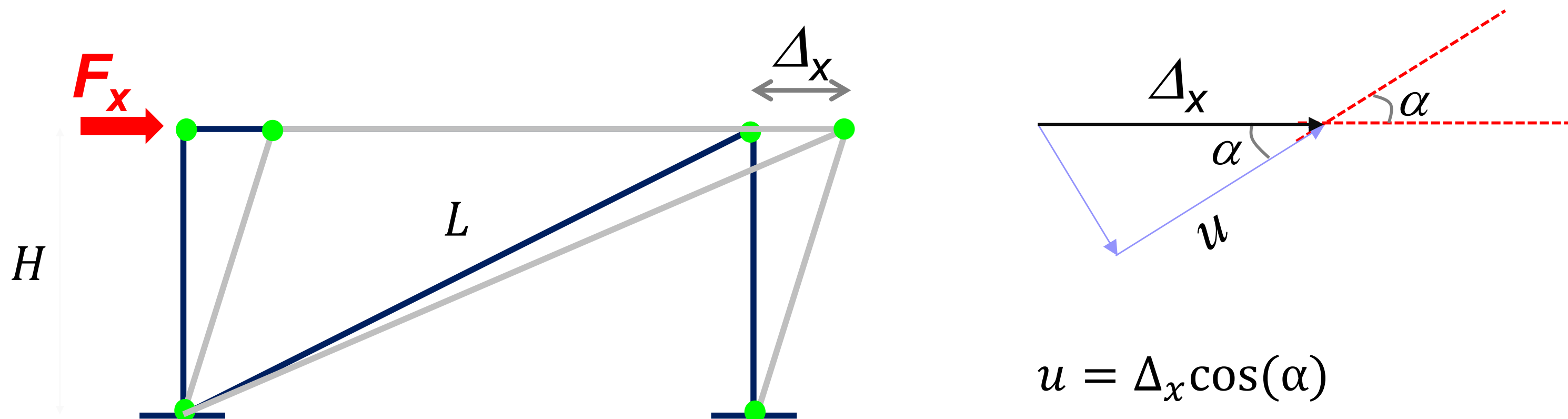
Ductilidad del BRB

$$\mu = \frac{u_1}{u_y}$$





Ductilidad esperada del BRB



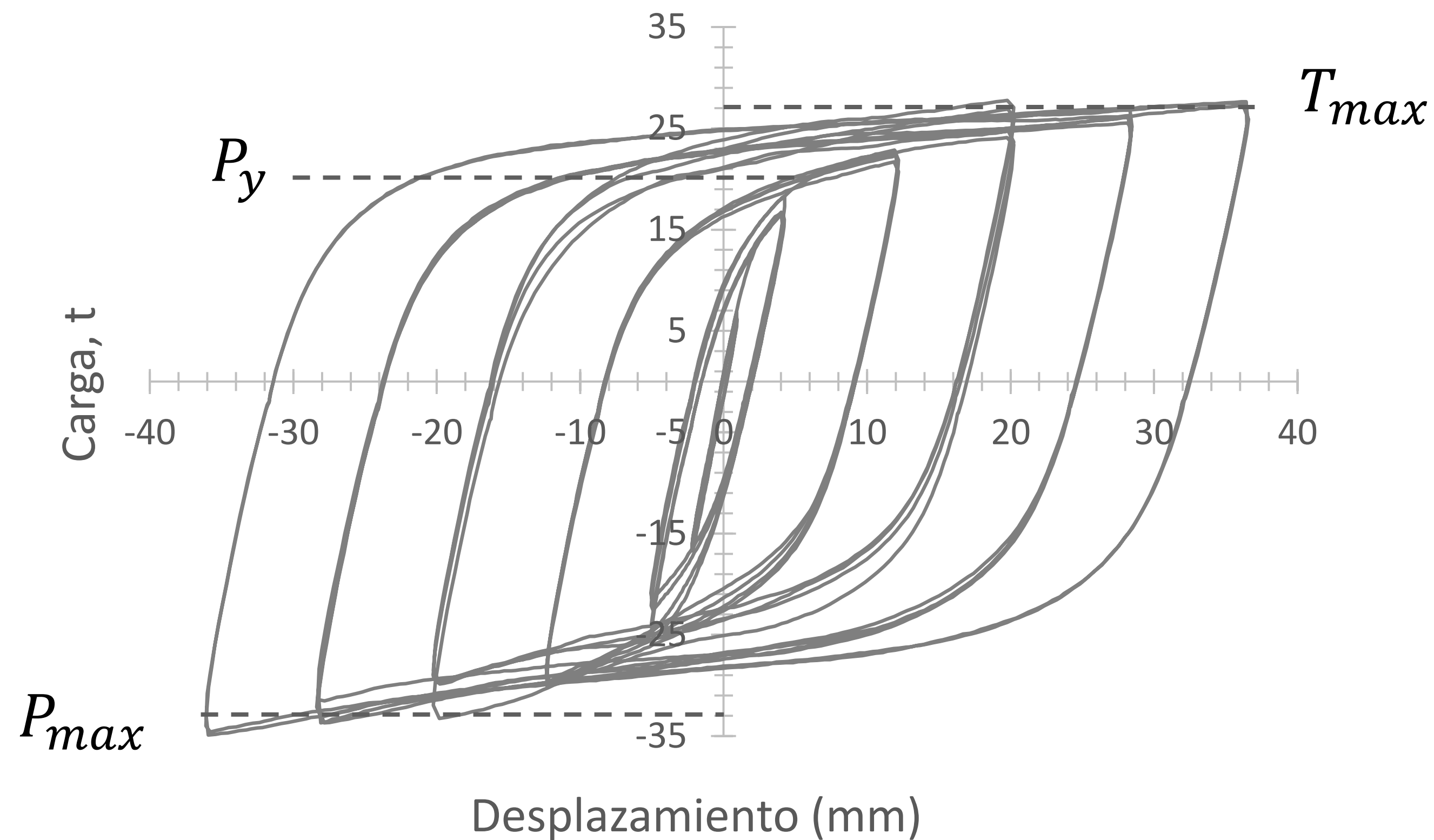
$$\mu = \frac{u}{u_y} \longrightarrow \mu = \frac{\Delta_x \cos(\alpha)}{\frac{P_y}{k_{BRB}}} \longrightarrow \mu = \frac{\Delta_x \cos(\alpha)}{\frac{EA_c}{L} * f_{ye}} \longrightarrow \mu = \frac{E * f_k * \Delta_x \cos(\alpha)}{f_{ye} * L_{BRB}}$$

γ = Distorsión de entrepiso

$$\Delta_x = \gamma * H \quad ; \quad L = \frac{H}{\text{seno}(\alpha)} \quad ; \quad L_{BRB} \approx 0.8 * \frac{H}{\text{seno}(\alpha)} \quad \mu = \frac{E * f_k * \gamma}{0.8 * f_{ye}} * \cos(\alpha) * \text{seno}(\alpha)$$



Fuerzas máximas en tensión y compresión



Sobrerresistencia:
Endurecimiento por deformación
Fricción con la funda
Efecto de Poisson

$$\omega = \frac{T_{max}}{P_y} > 1 \approx 1.3$$

$$\beta = \frac{P_{max}}{T_{max}} > 1 \approx 1.15$$

ω = Factor de ajuste a tensión

β = Factor de ajuste a compresión

P_y = Fuerza de fluencia

Fuerza última a tensión

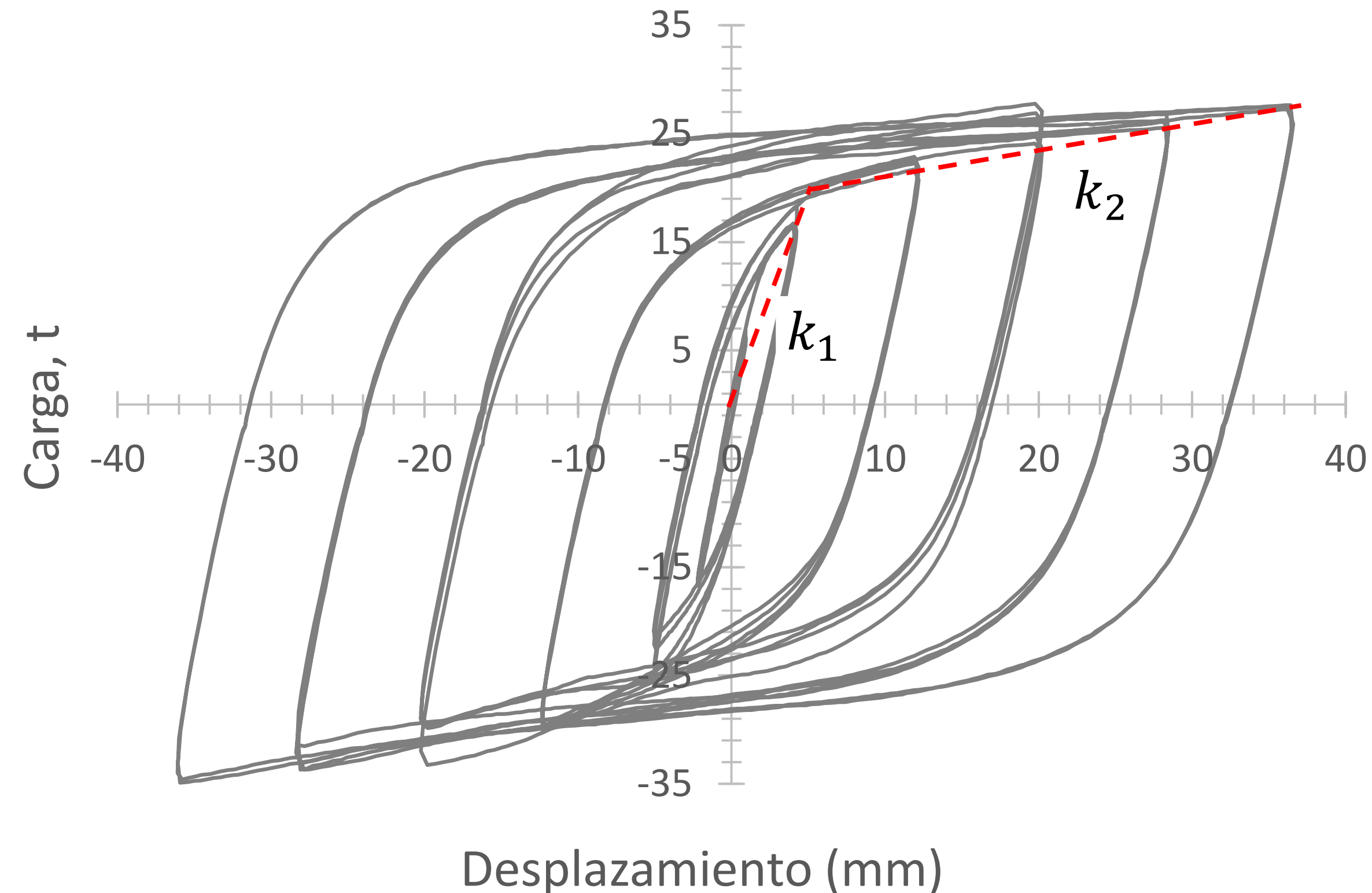
Fuerza última a compresión

$$T_{max} = \omega F_{ye} A_c$$

$$P_{max} = \omega \beta F_{ye} A_c$$



Propiedades de modelado



Para modelar numéricamente el comportamiento de los BRB, se utiliza el modelo de Bouc-Wen que utiliza los parámetros de P_y y K_{BRB}

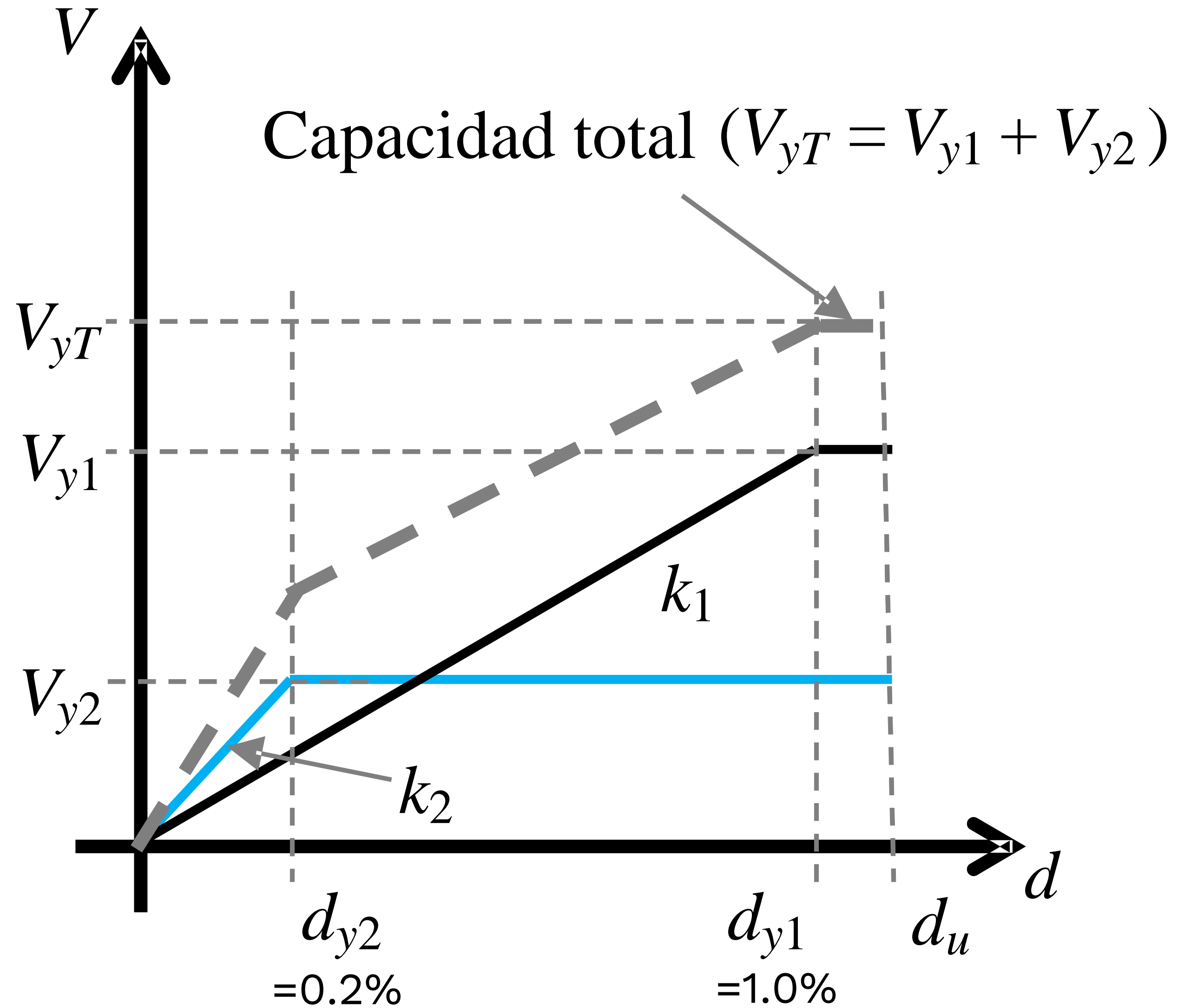
Adicionalmente se calcula un parámetro que relaciona la rigidez postfluencia con la rigidez elástica.

Para realizar el ajuste se simplifica el comportamiento a un modelo bilineal con el método del FEMA 356

$$r = \frac{k_2}{k_1}$$

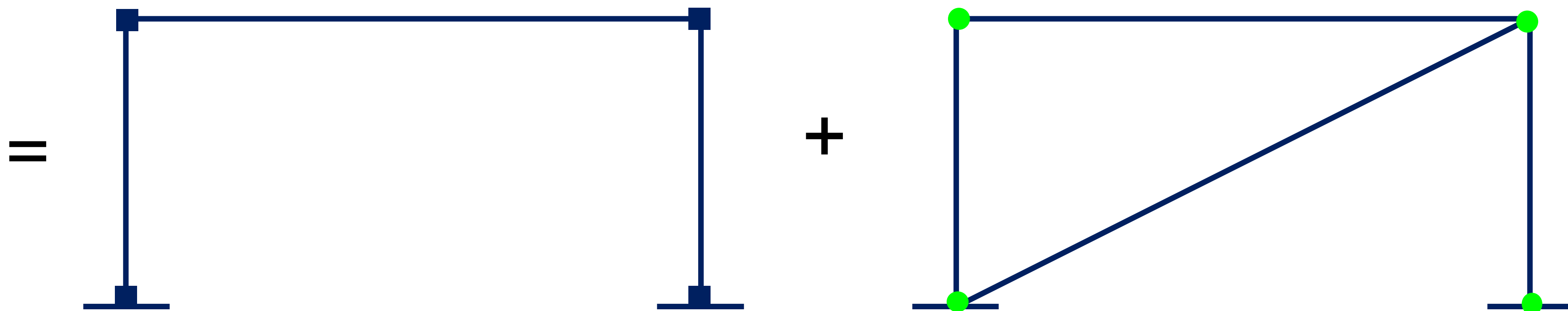
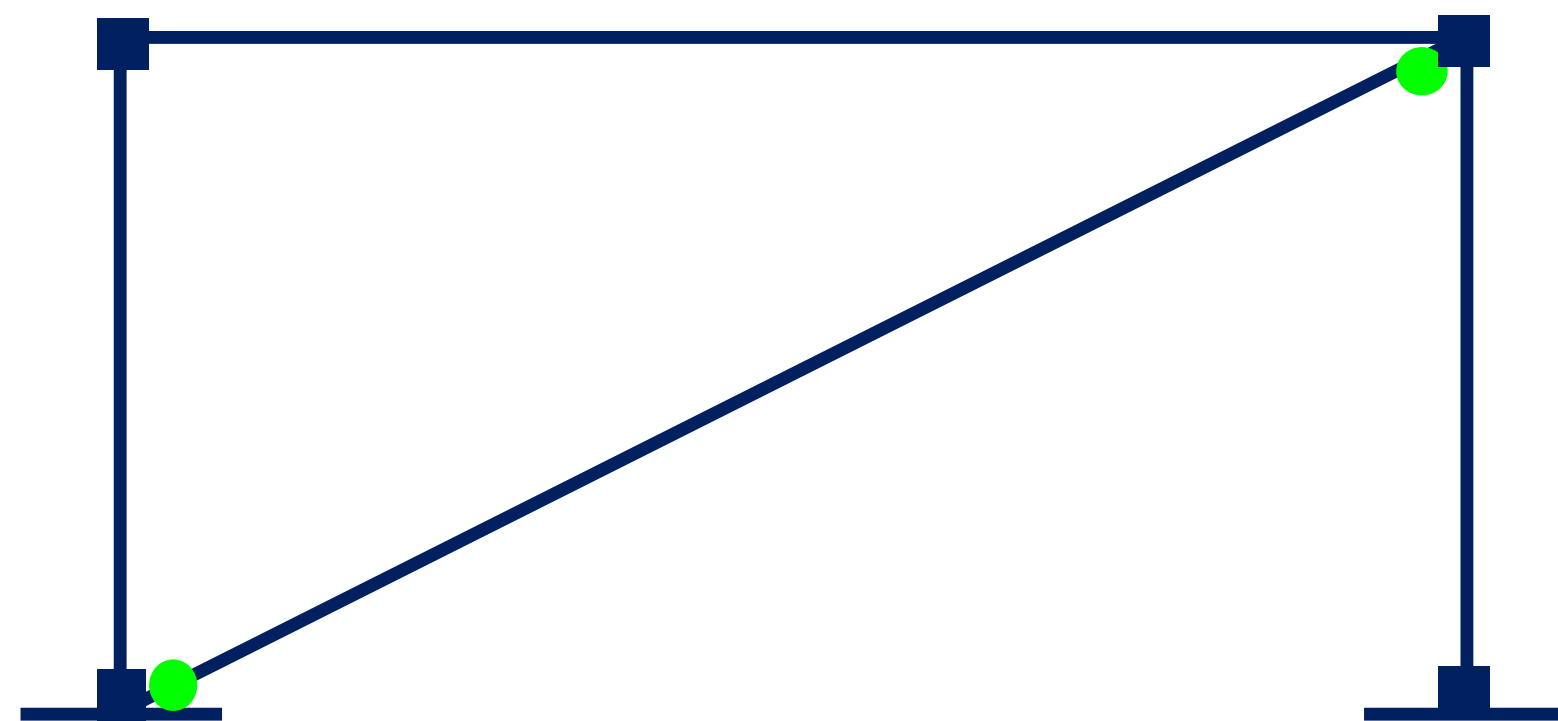


Comportamiento del sistema dual



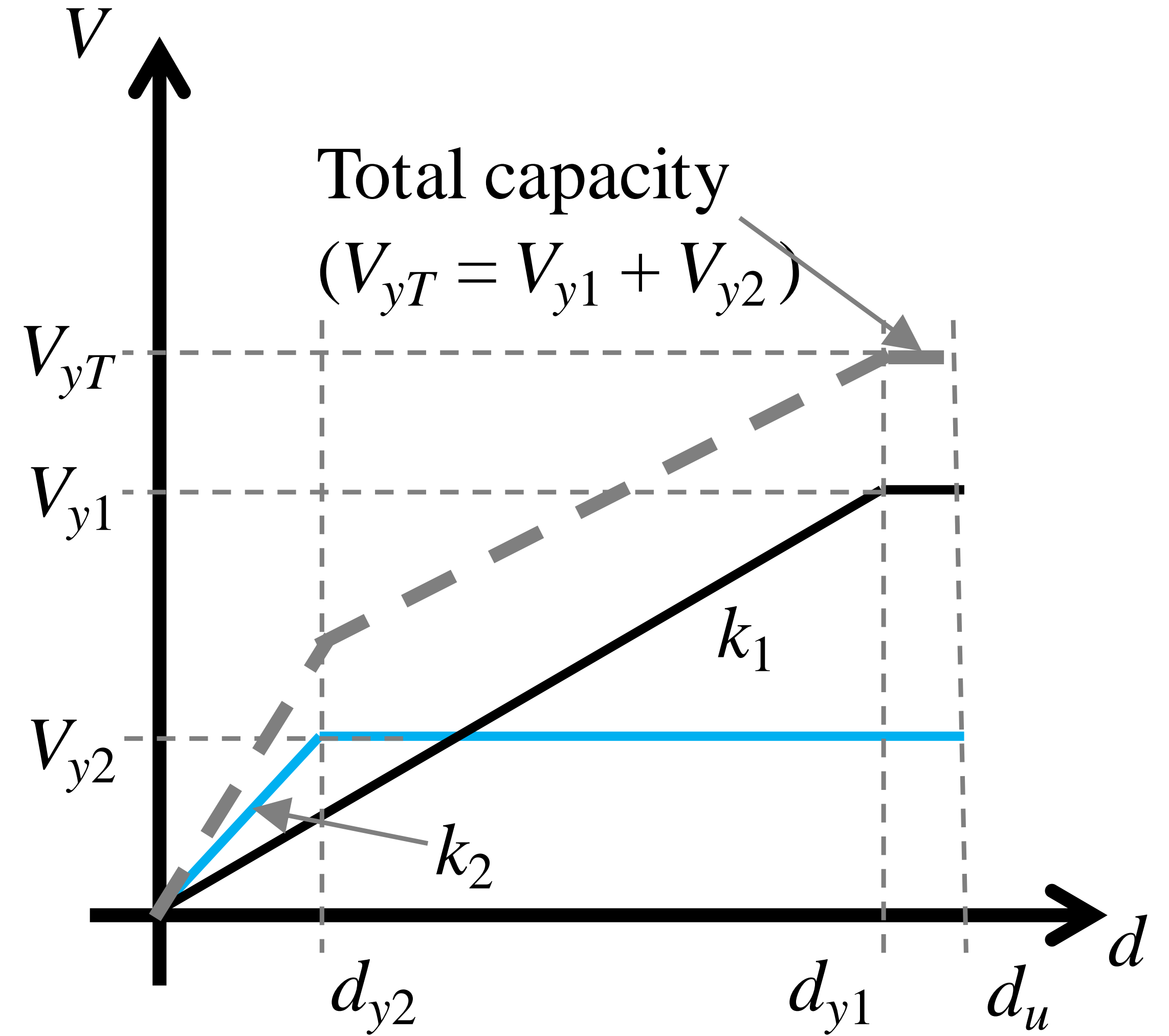
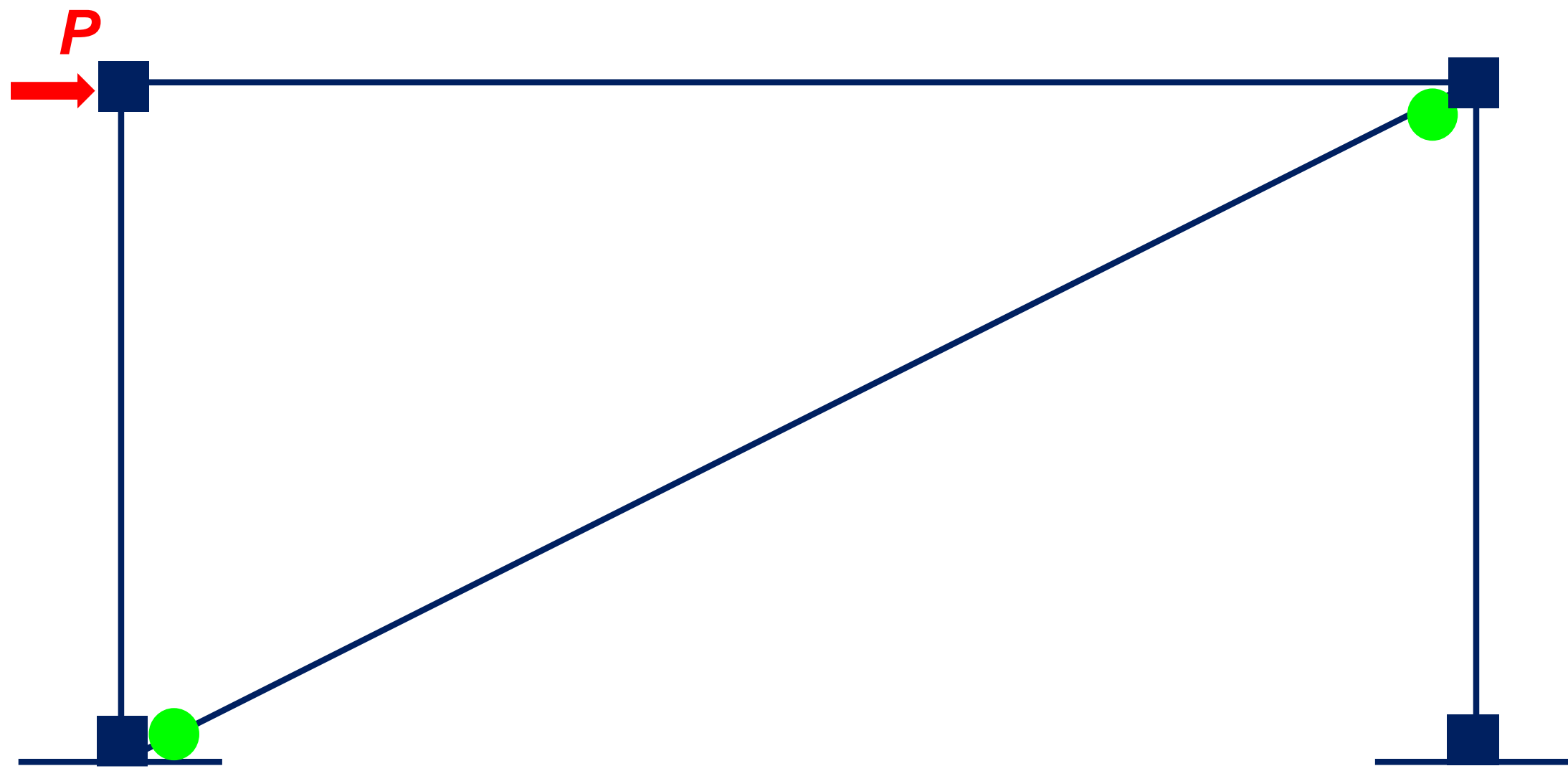


Comportamiento del sistema dual



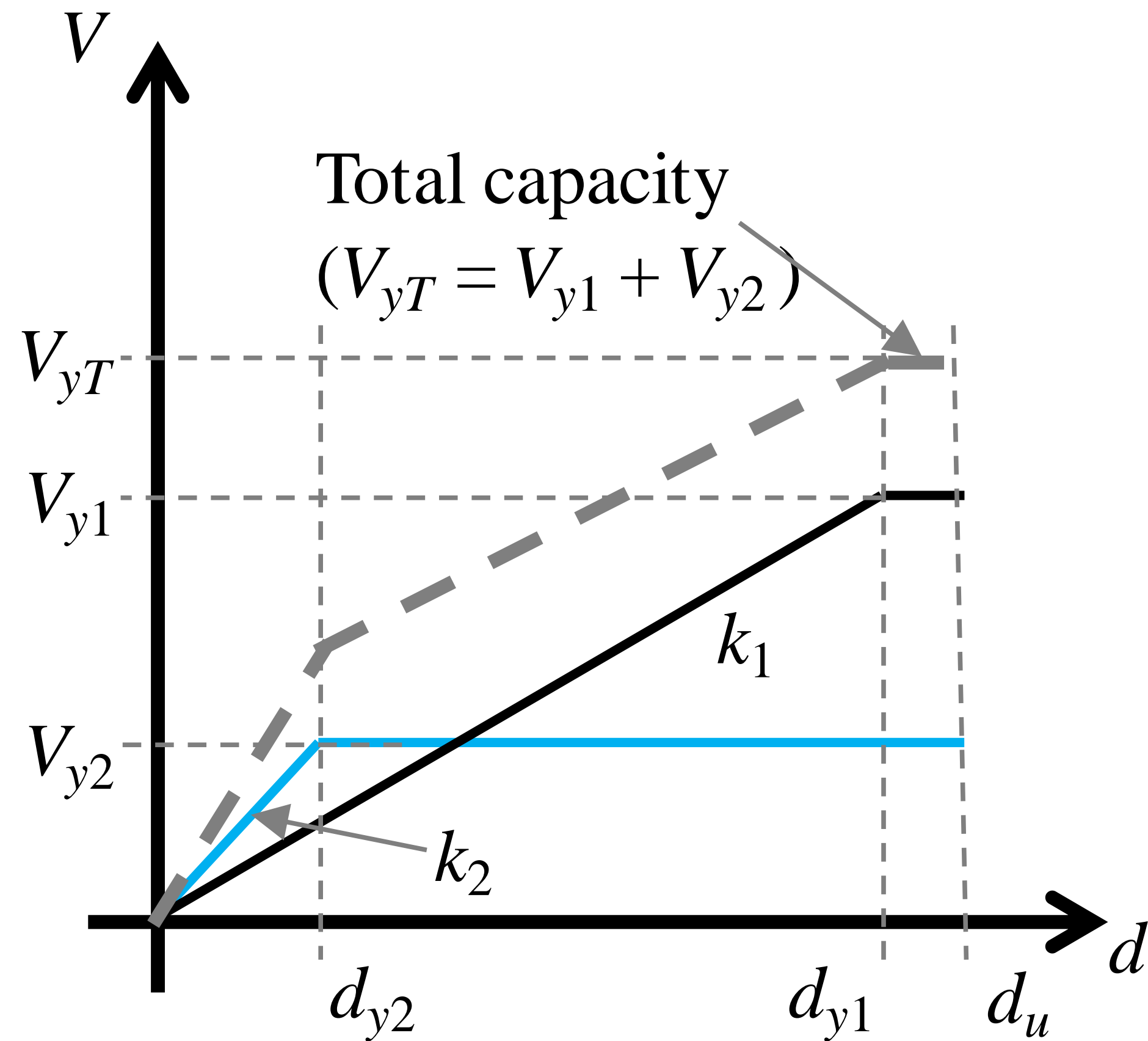


Comportamiento del sistema dual





Comportamiento del sistema dual



$$F_{total} = F_{marco} + F_{CRP}$$

$$K_{Ltotal} = K_{L_marco} + K_{L_CRP}$$

$$\omega_{total}^2 = \omega_{marco}^2 + \omega_{CRP}^2$$

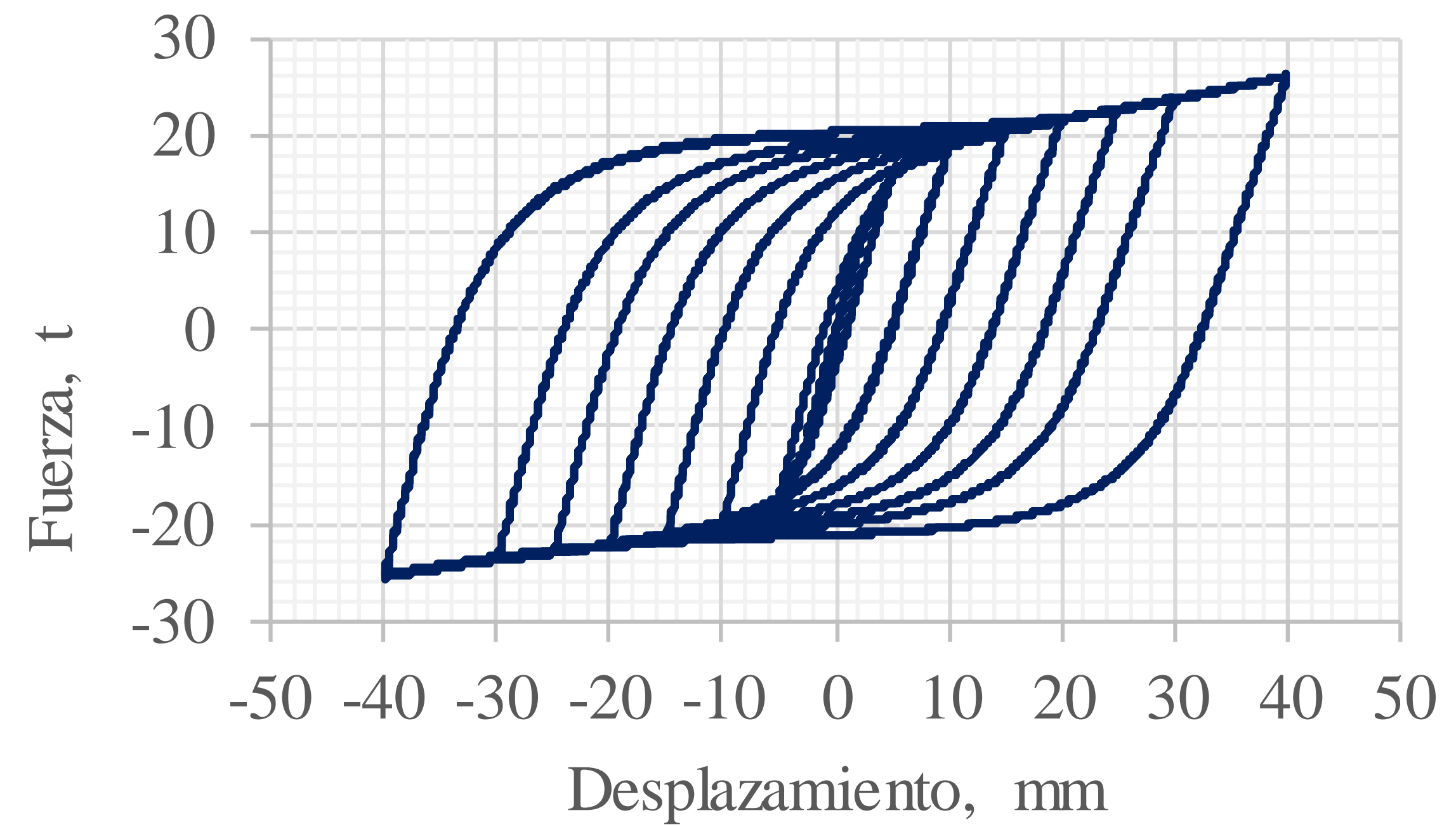
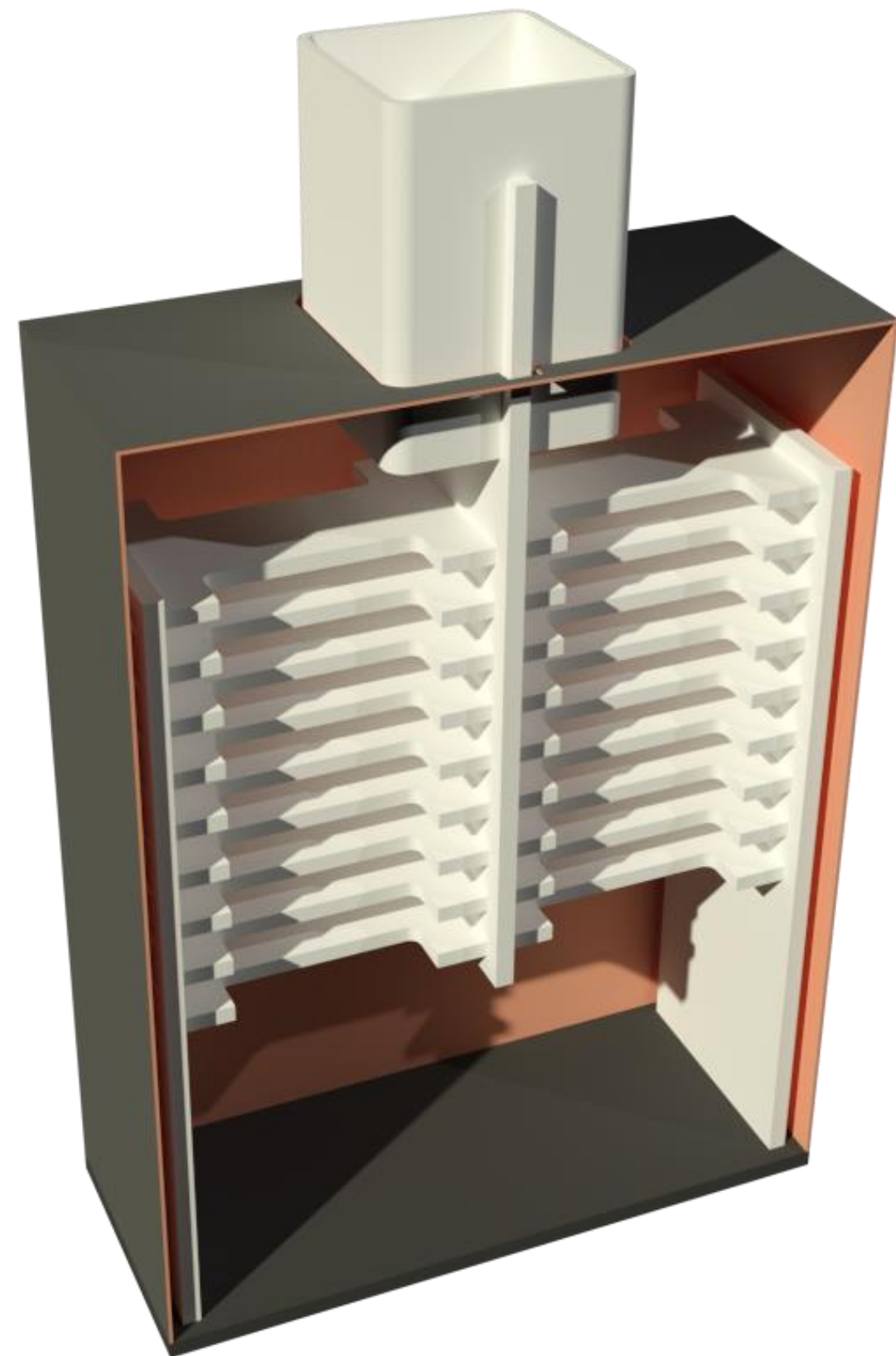
$$\frac{1}{T_{total}^2} = \frac{1}{T_{marco}^2} + \frac{1}{T_{CRP}^2}$$



Características de disipación

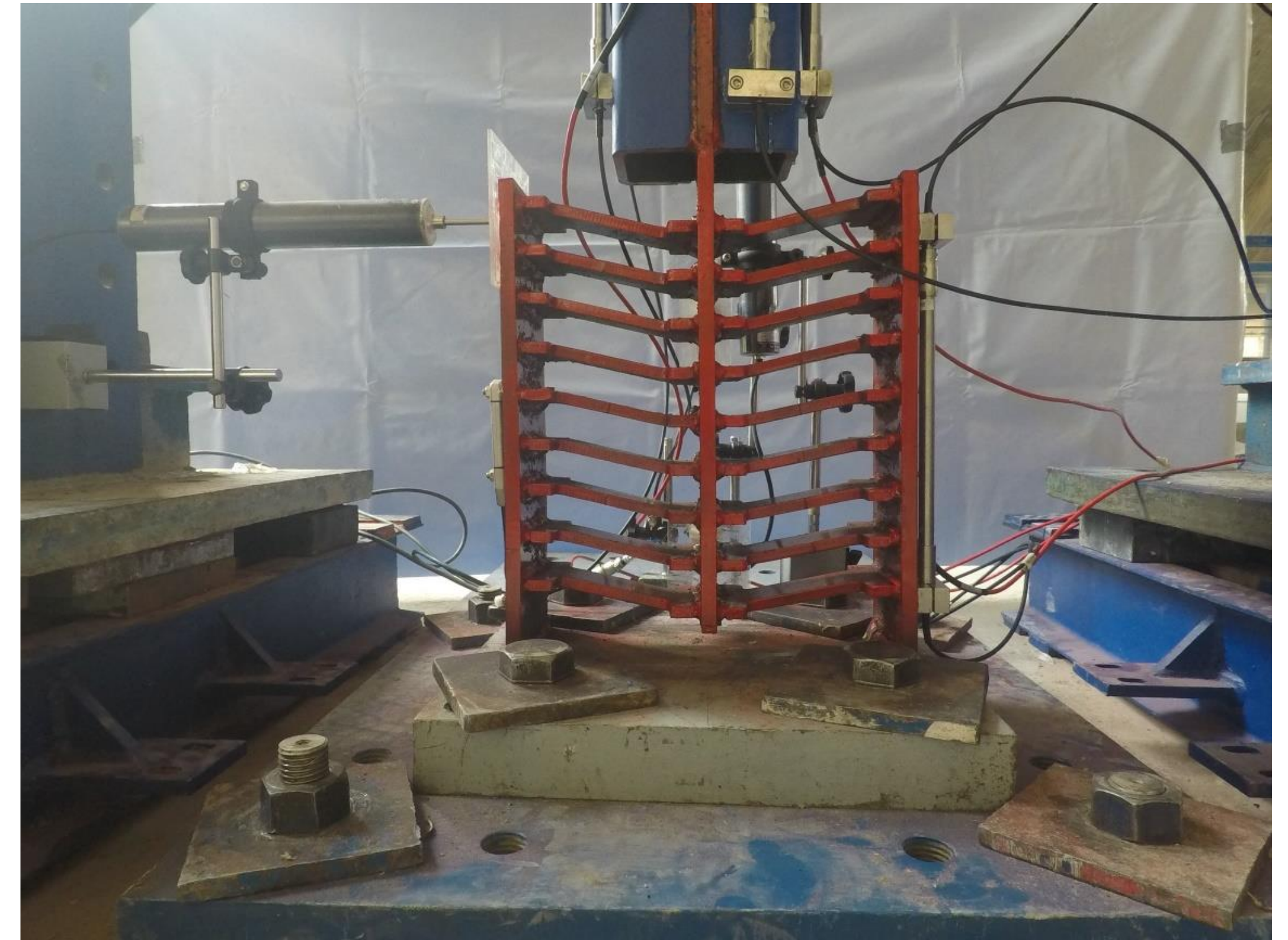
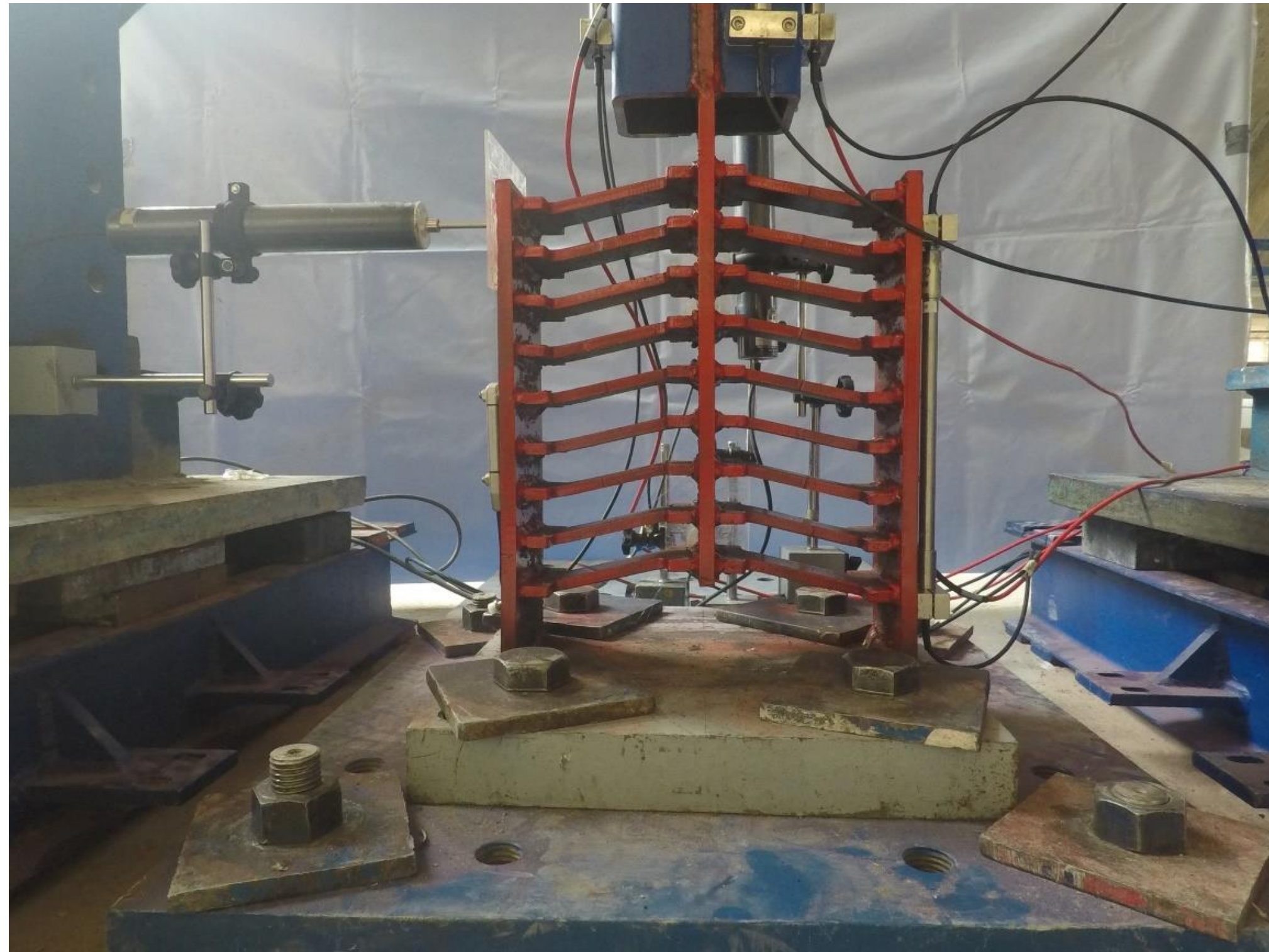


Pruebas de laboratorio



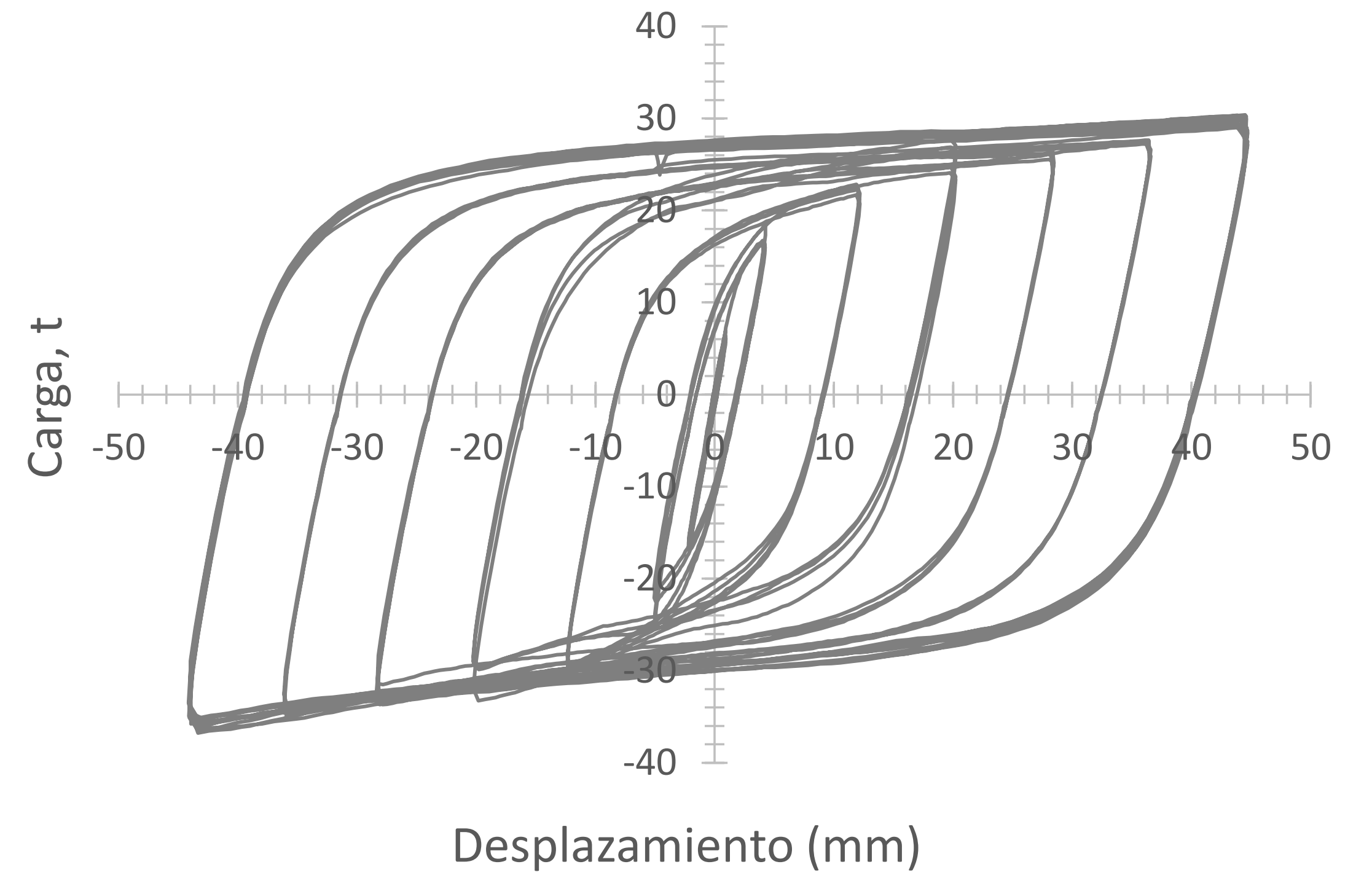
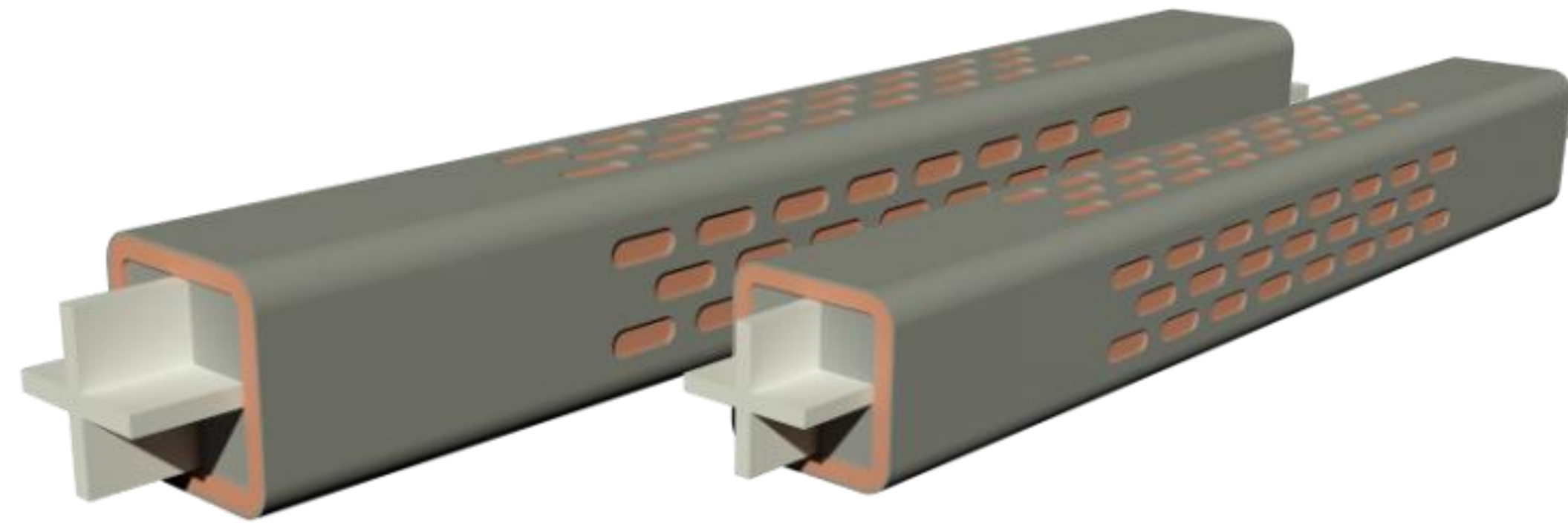


Pruebas de laboratorio





Pruebas de laboratorio



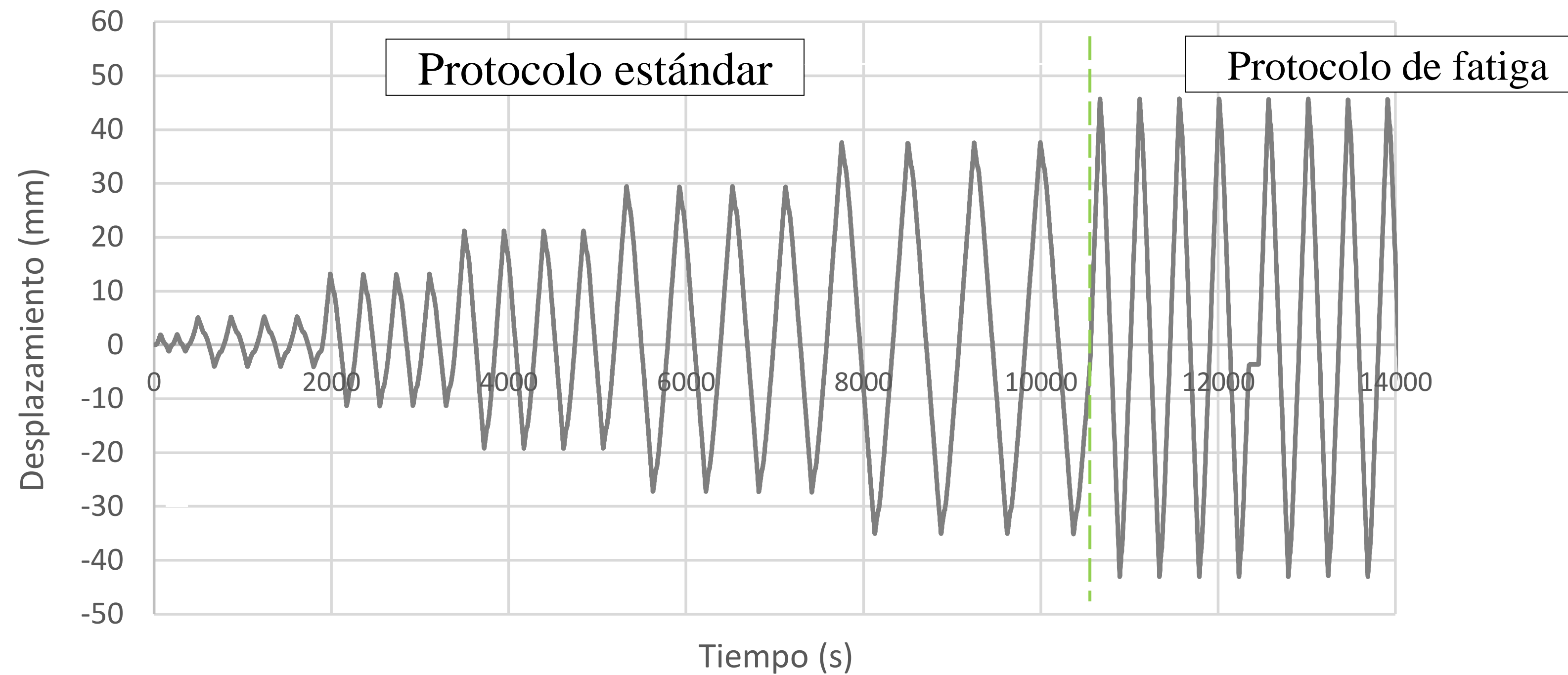


Pruebas de laboratorio





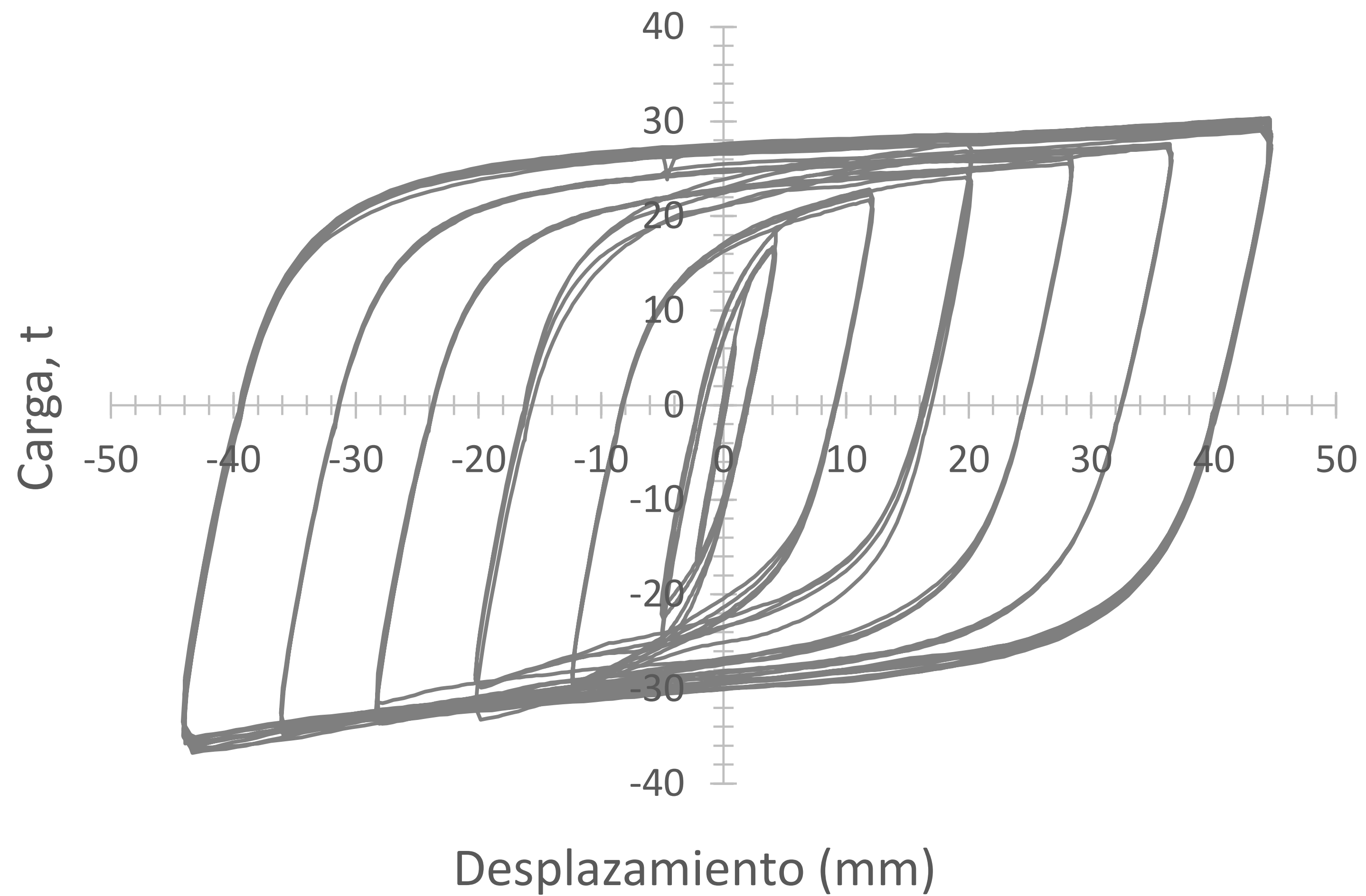
Protocolo de carga



- Protocolo de carga controlado por desplazamientos según lo recomienda el estándar ANSI/AISC 341-16

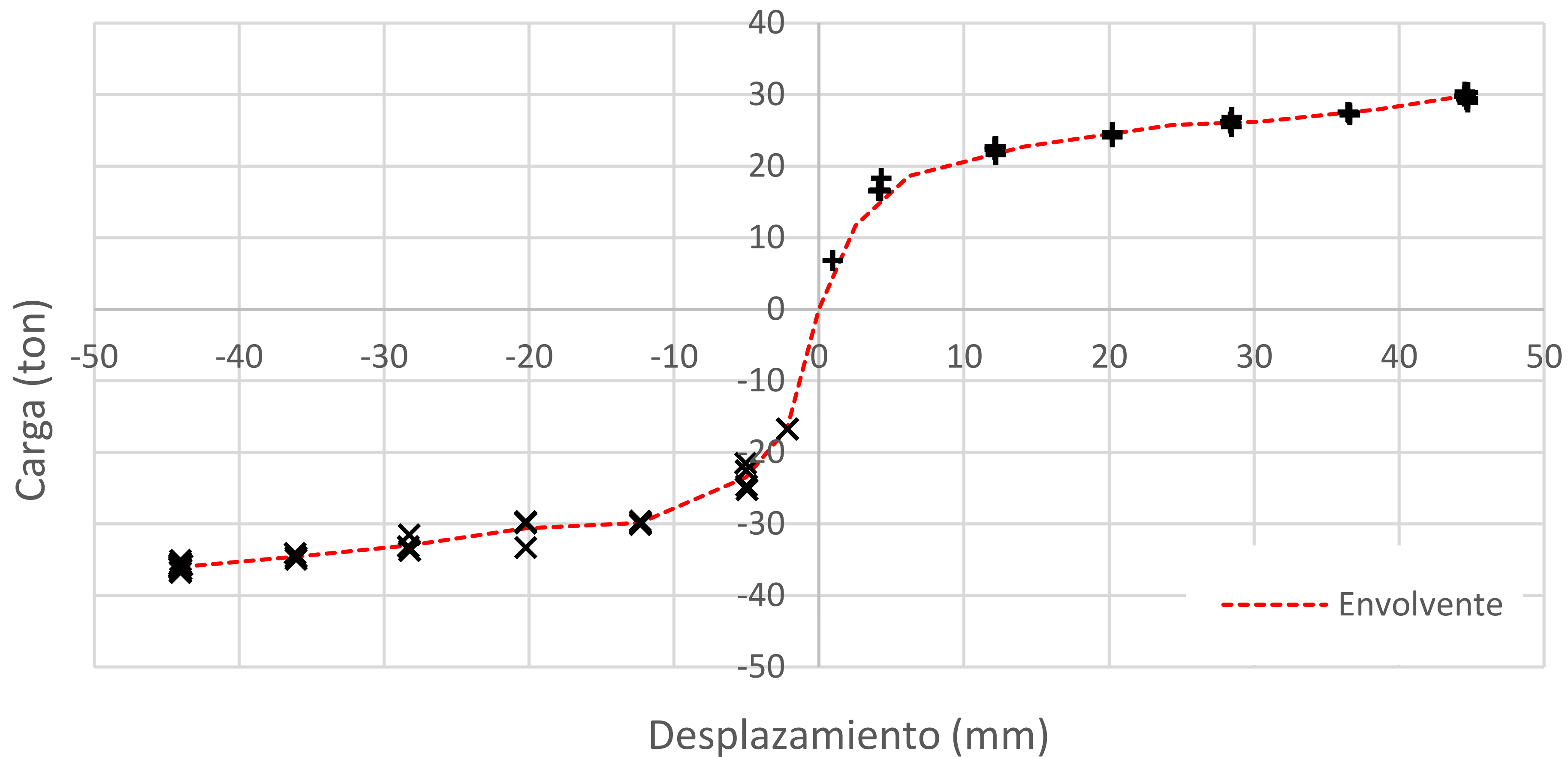


Ciclos de histeresis



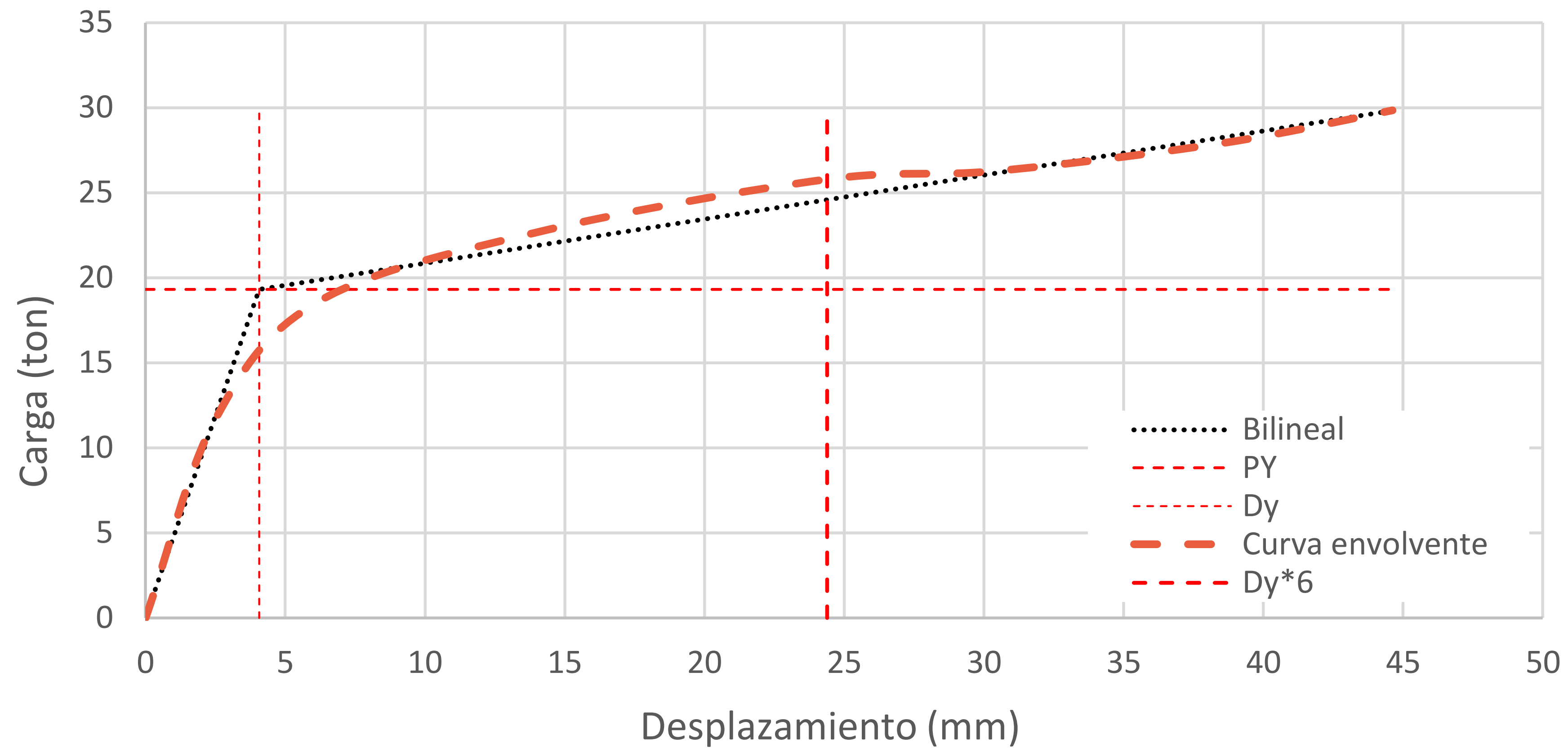


Envolvente de ciclos histeréticos



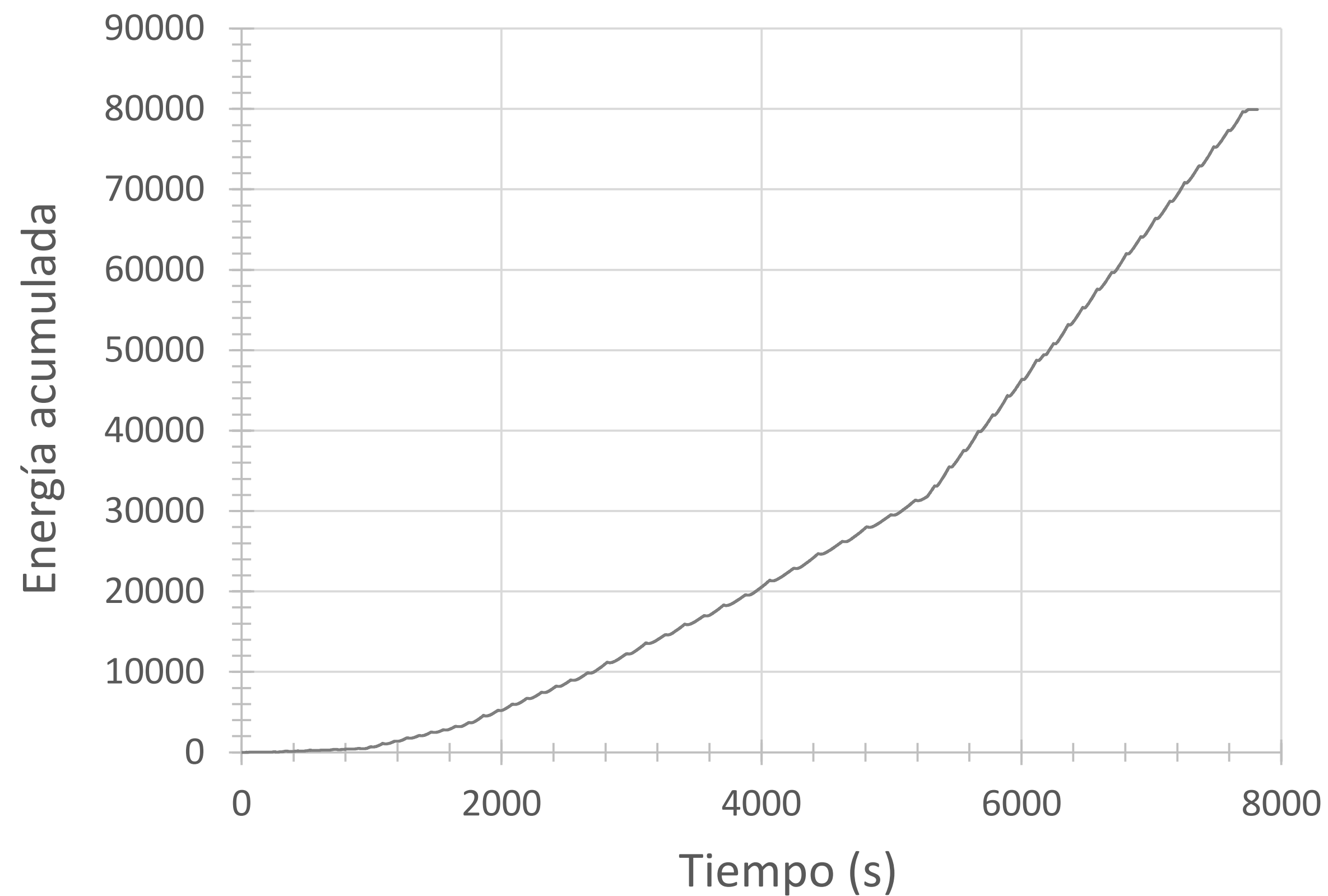
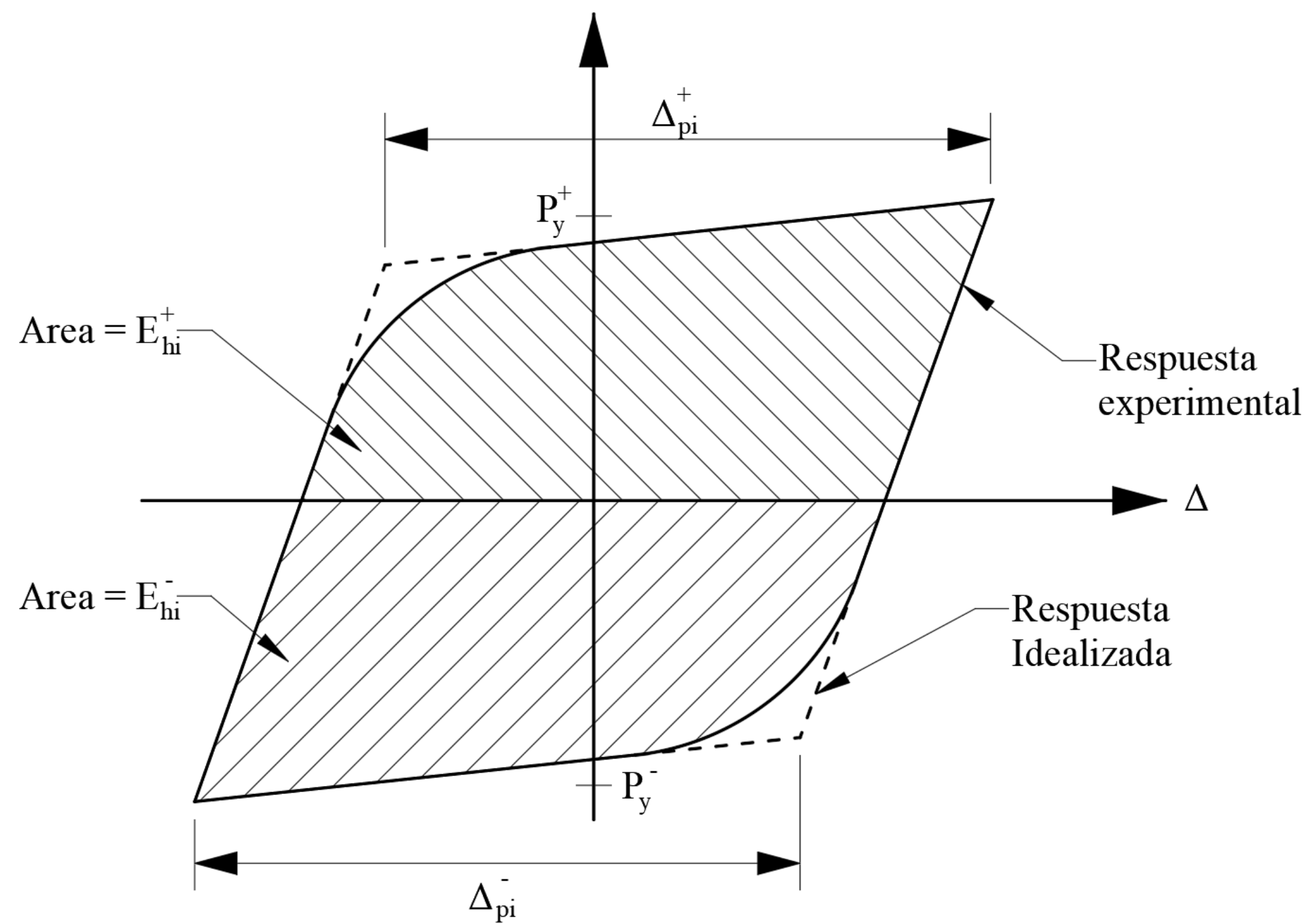


Parámetros de fluencia



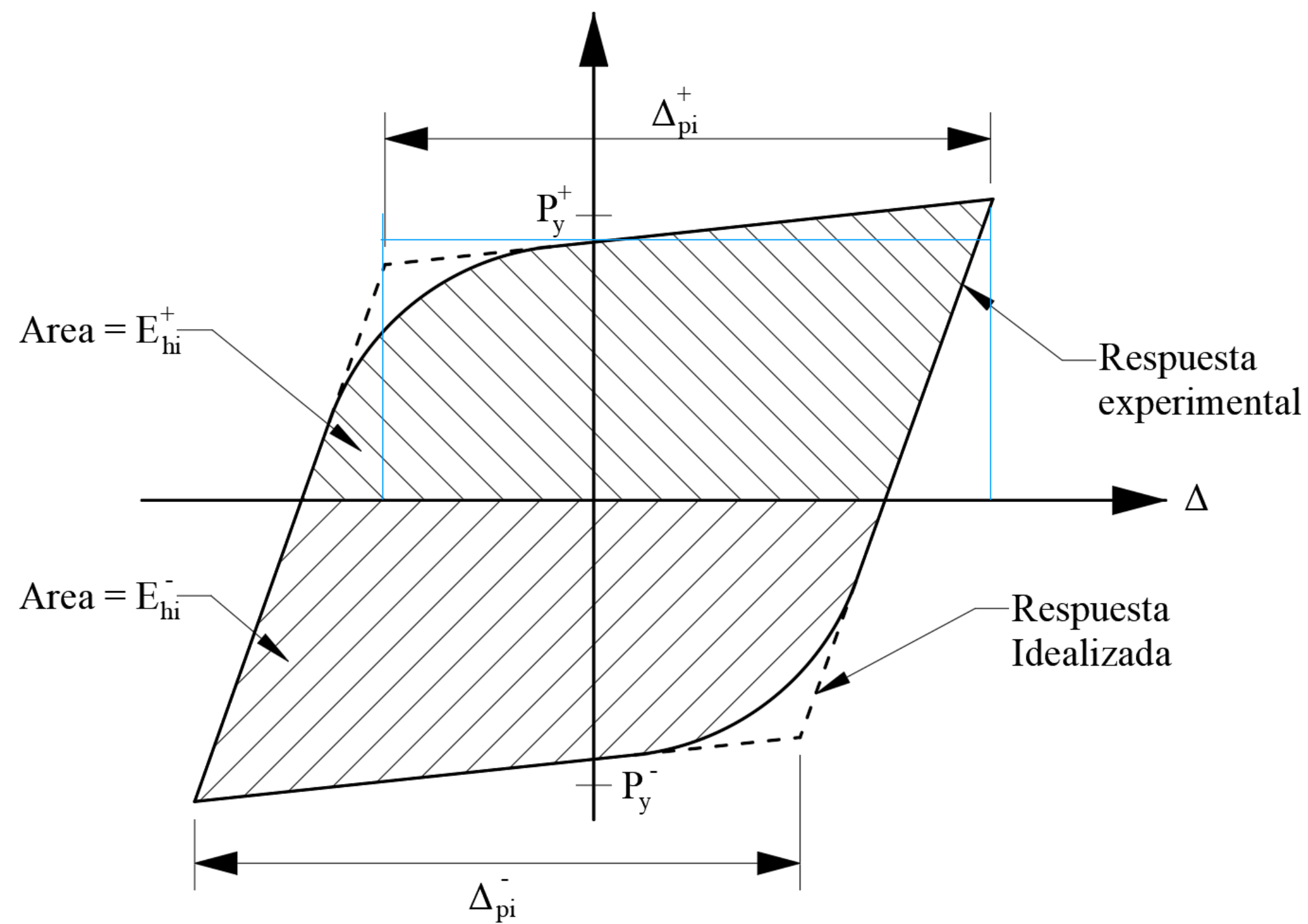


Energía Histerética

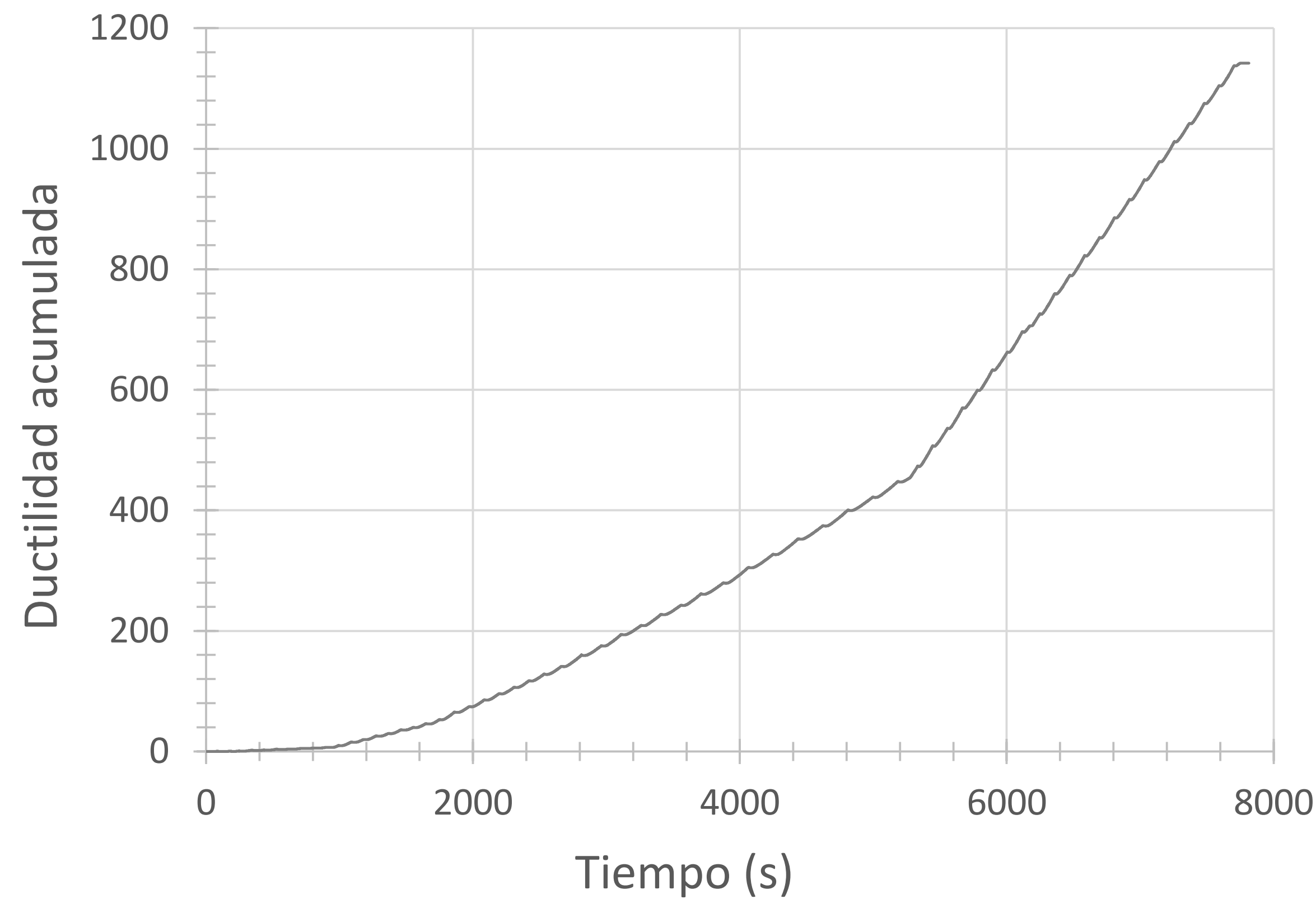




Ductilidad acumulada

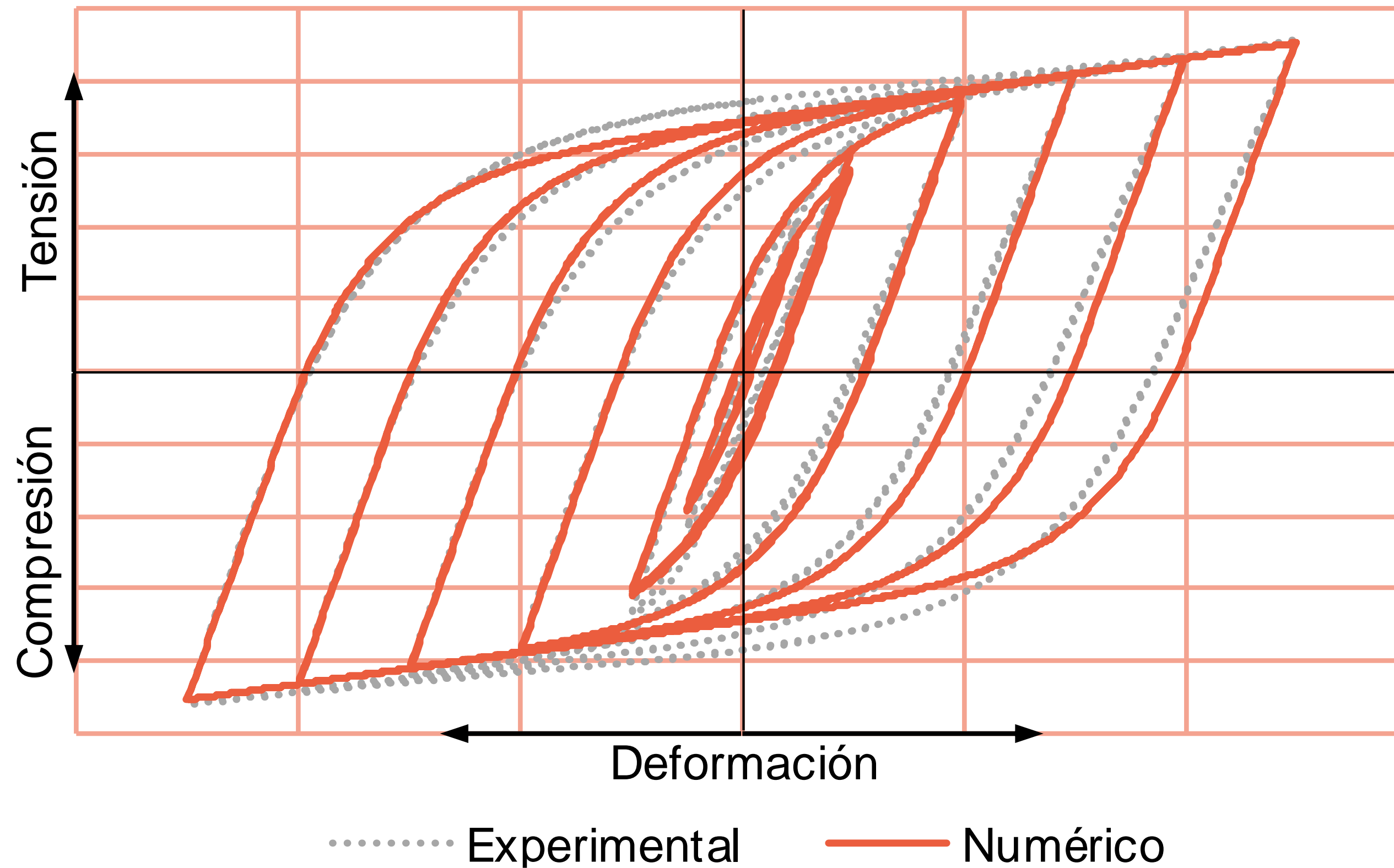


$$\mu_{acum} = \frac{E}{P_y u_y}$$





Calibración de modelos numéricos



Parámetros principales de calibración:

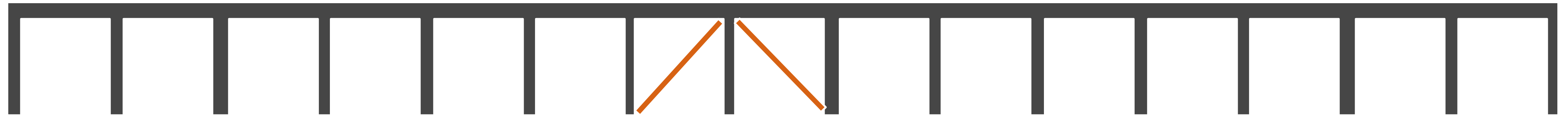
- Valores de fuerza para la historia de desplazamiento
- Energía acumulada



Recomendaciones de configuración de CRP



Limitaciones en la instalación



Geometrías alargadas con posibilidad de pocos marcos reforzados



Limitaciones en la instalación



Crujías con ángulos de inclinación muy altos



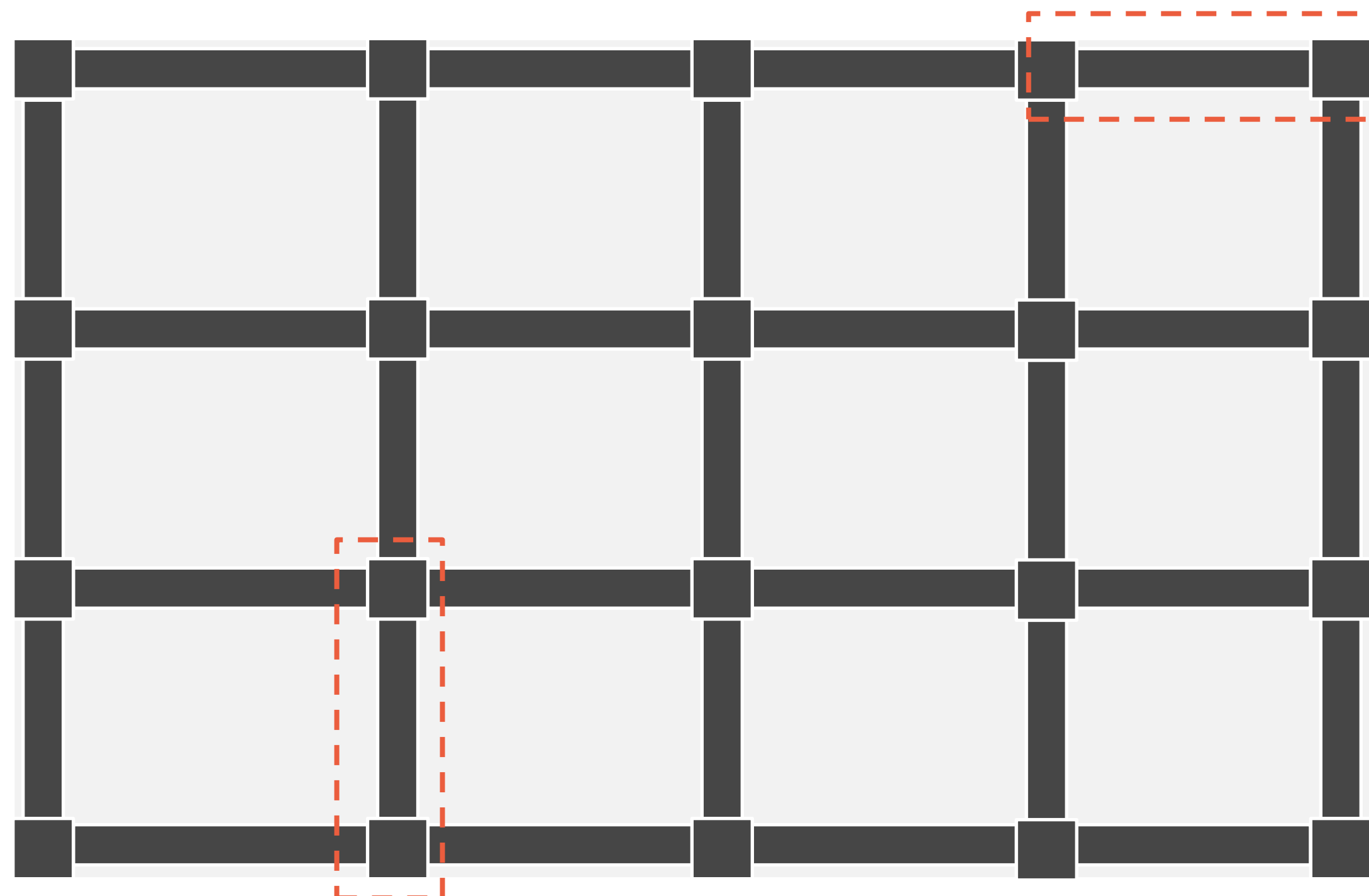
Limitaciones en la instalación



Crujías con columnas con baja resistencia con disipadores de alta capacidad
(La columna requerirá refuerzo)



Limitaciones en la instalación



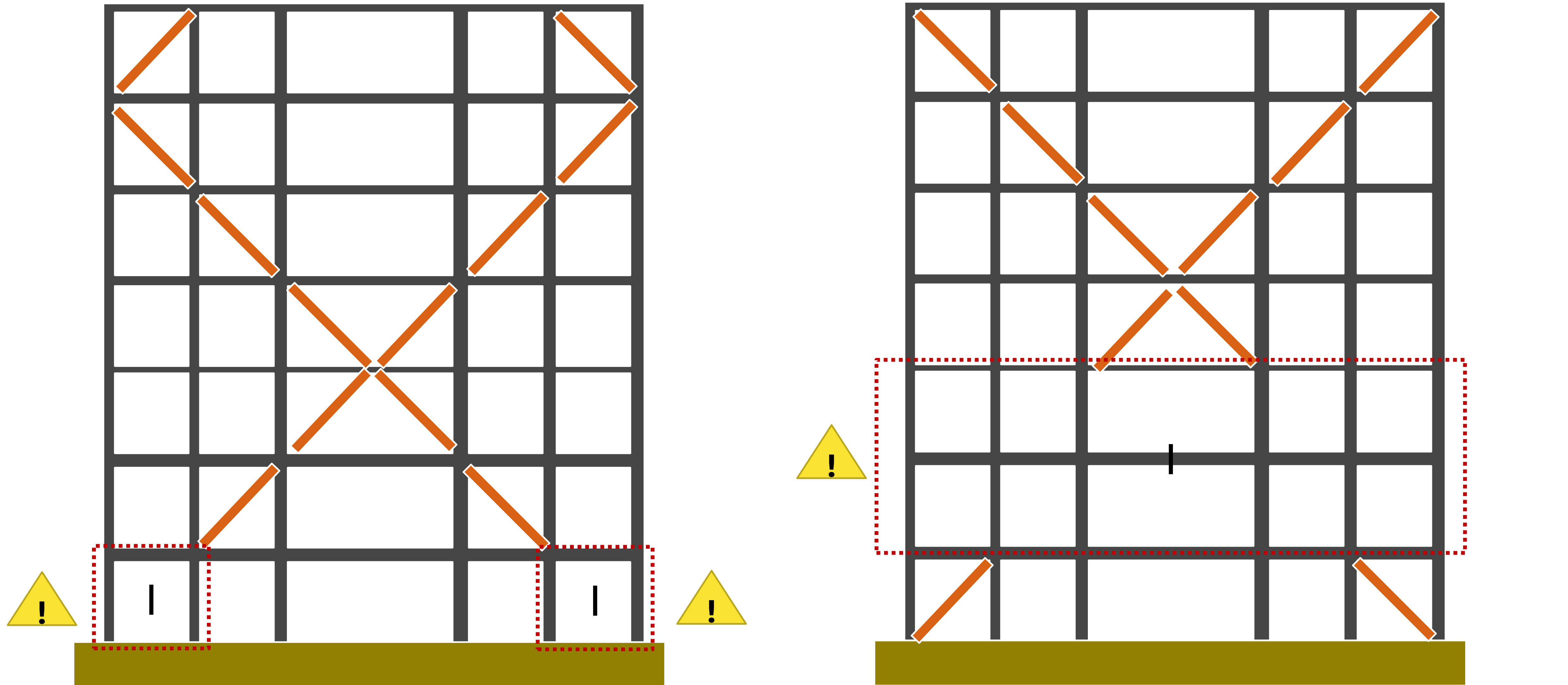
Asimetría en la distribución en planta



Propuesta de ubicación en planta de BRB



Limitaciones en la instalación

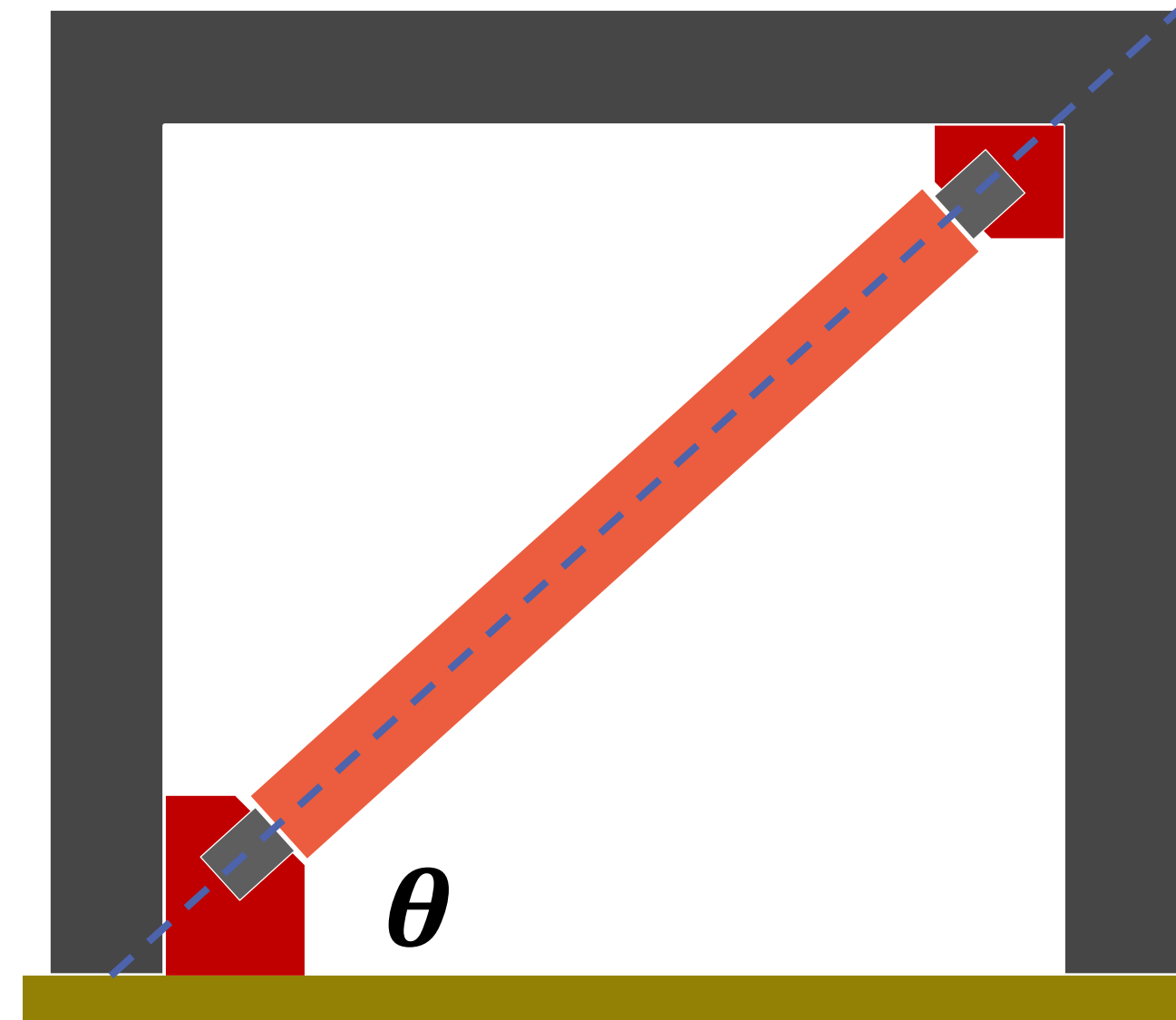


Pisos sin elementos de resistencia lateral (Piso débil)

DAMPO



Recomendaciones para la instalación



Entre **mayor** sea la inclinación de un BRB será **menos** efectivo

Debido a que su capacidad es casi simétrica, **no** es necesario que los BRB se coloquen alternadamente para que unos trabajen en tensión y otros en compresión.



Recomendaciones para la instalación

Se recomienda que los contraventeos formen un ángulo θ comprendido entre 30 y 60 grados respecto a la horizontal (figura 12.3.10)

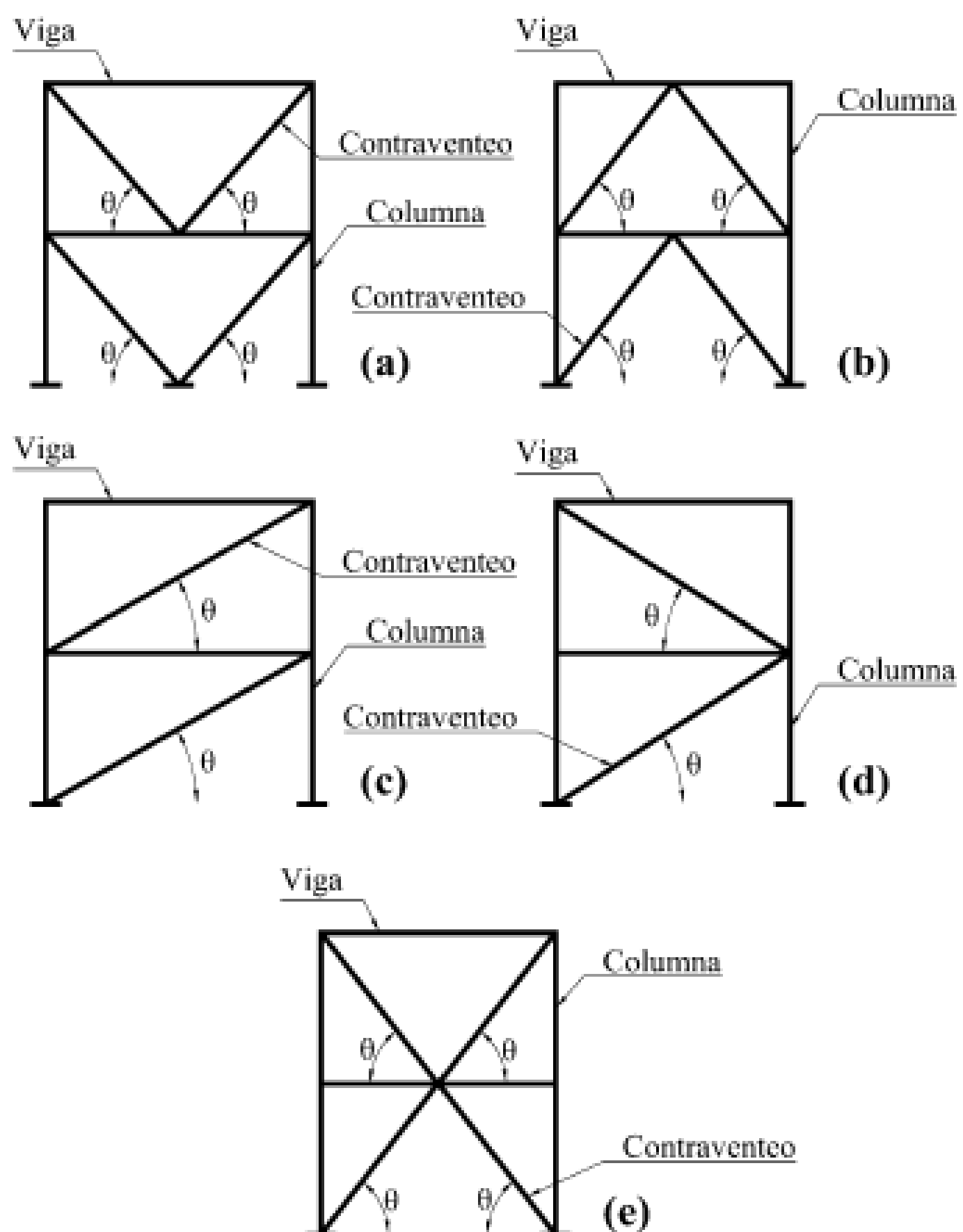
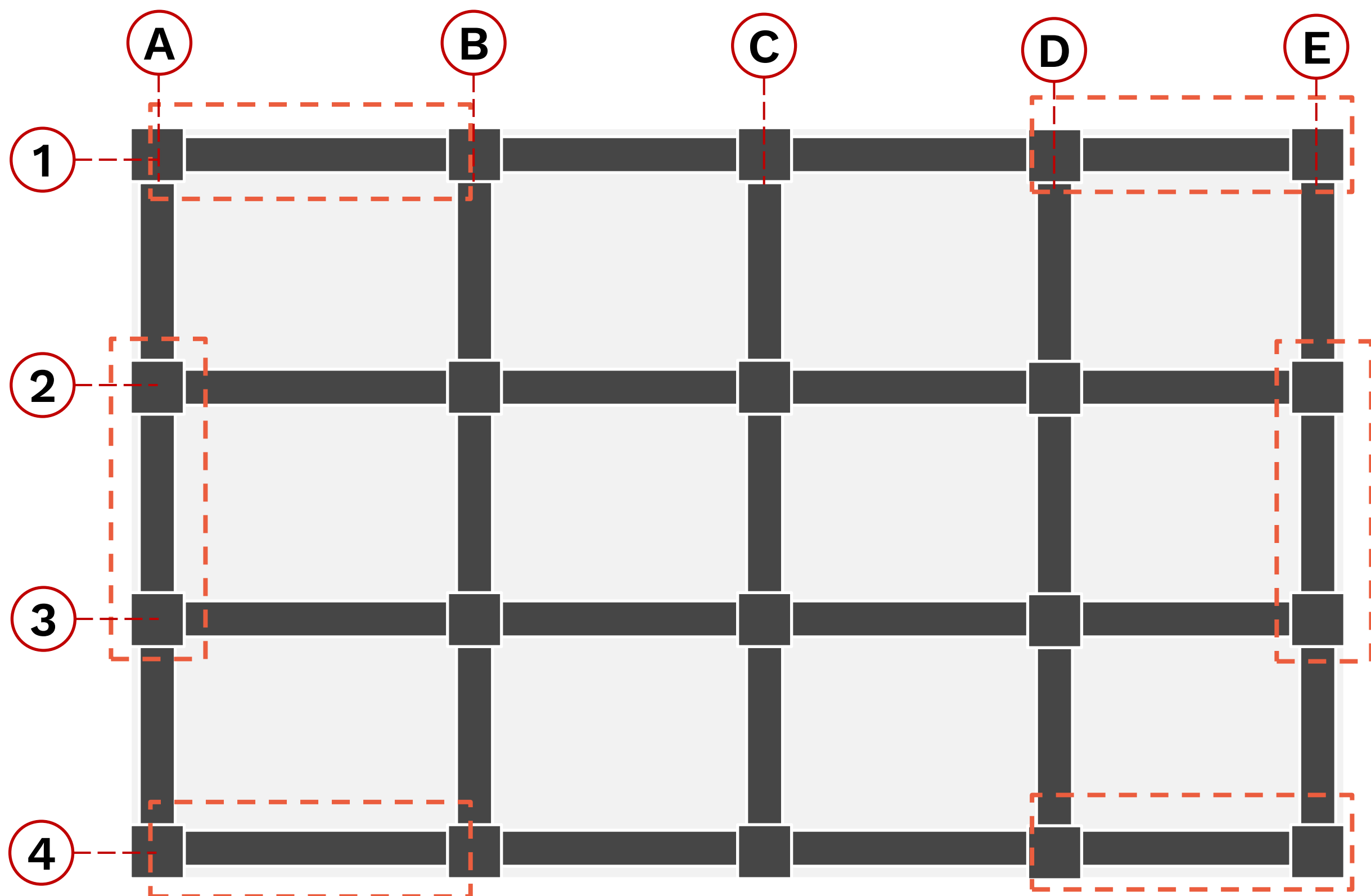


Figura 12.3.10 Configuraciones permitidas de contraventeos concéntricos restringidos contra el pandeo: a) en V; b) en V invertida; c) y d), en diagonal sencilla; e) en X en dos niveles

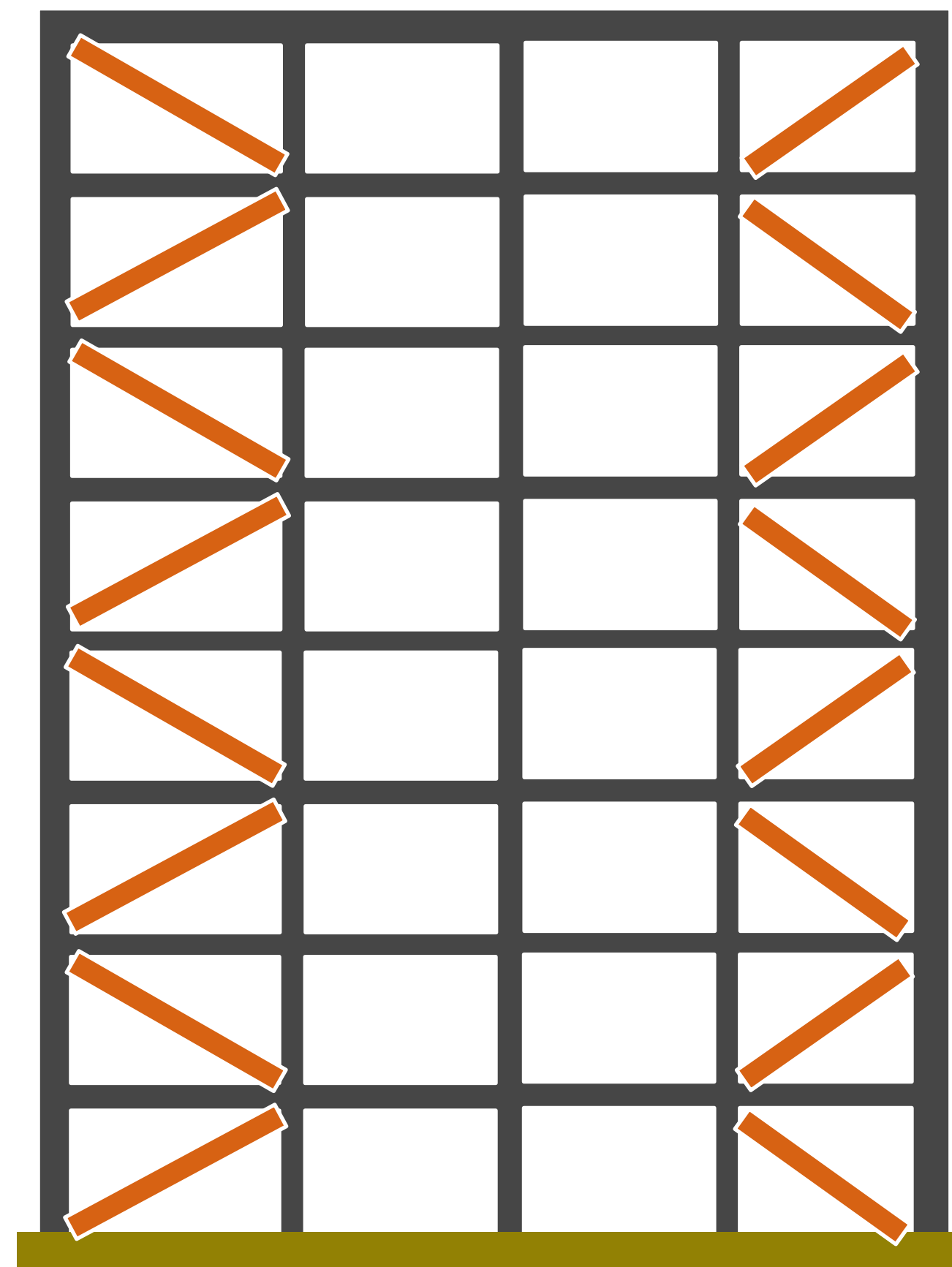
Figura 12.3.10 de las NTC – DCEA 2020



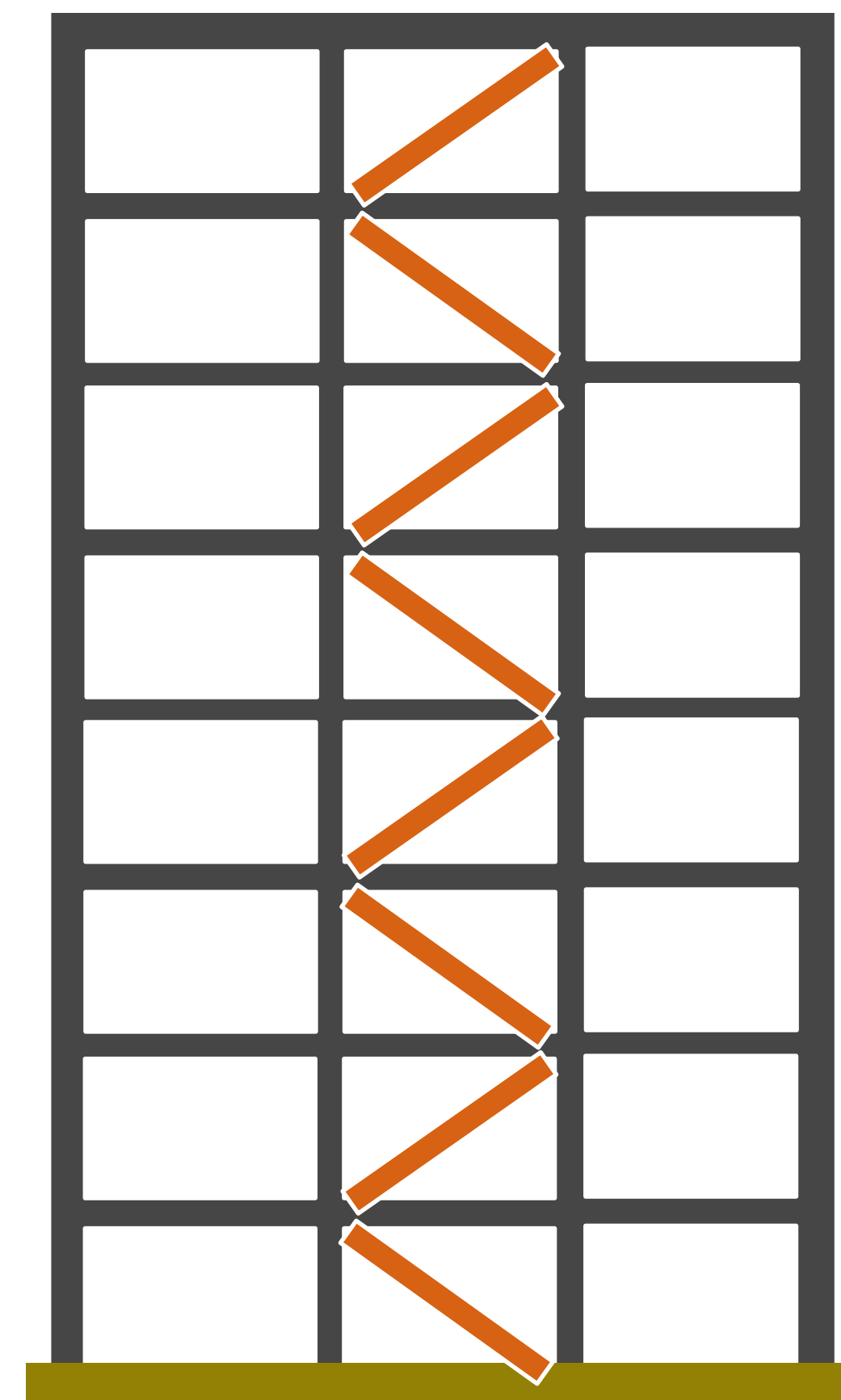
Recomendaciones para la instalación



Propuesta de ubicación en planta de BRB



Eje 4 y 1



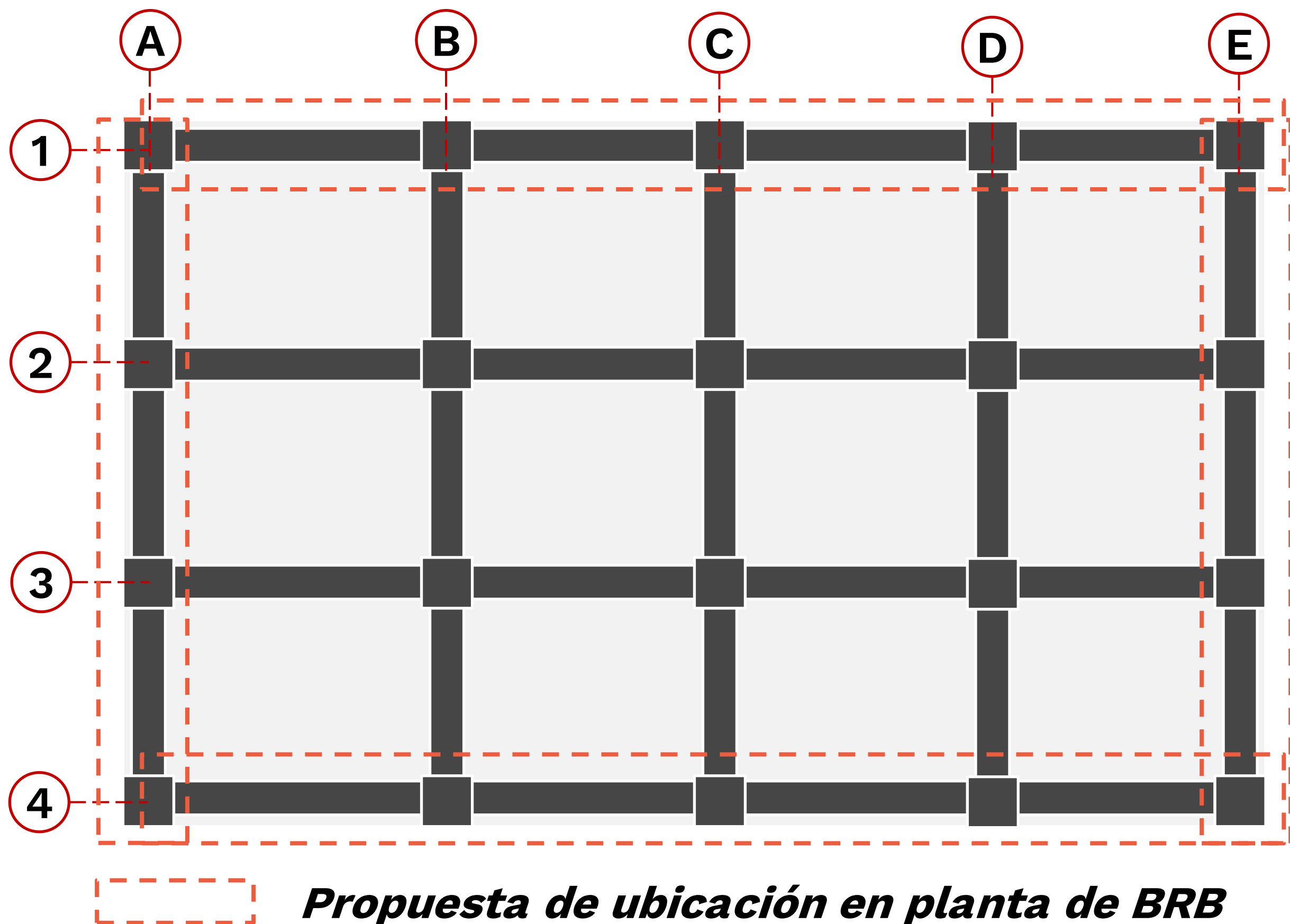
Eje A y E

Posible distribución de BRB

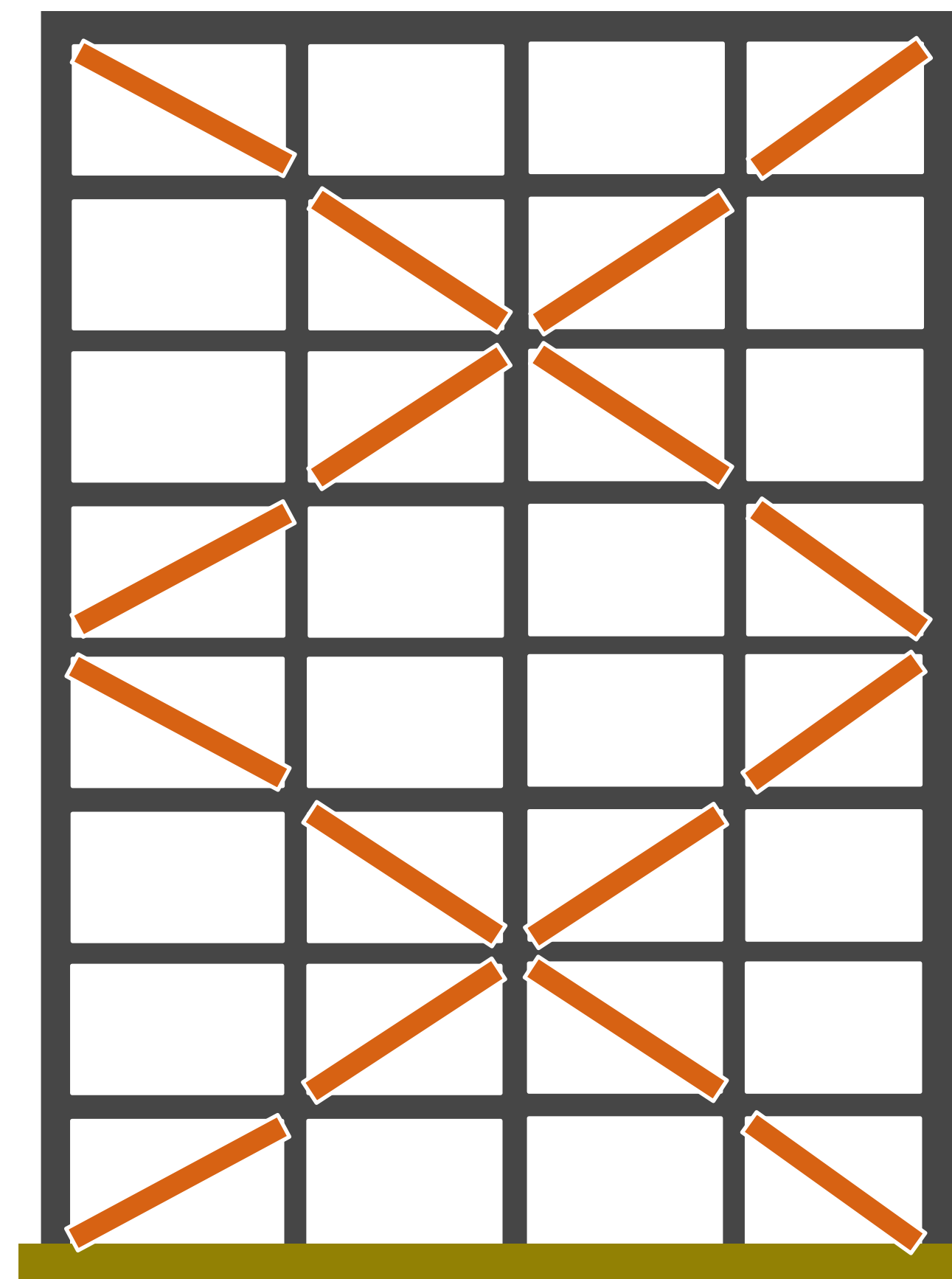
DAMPO



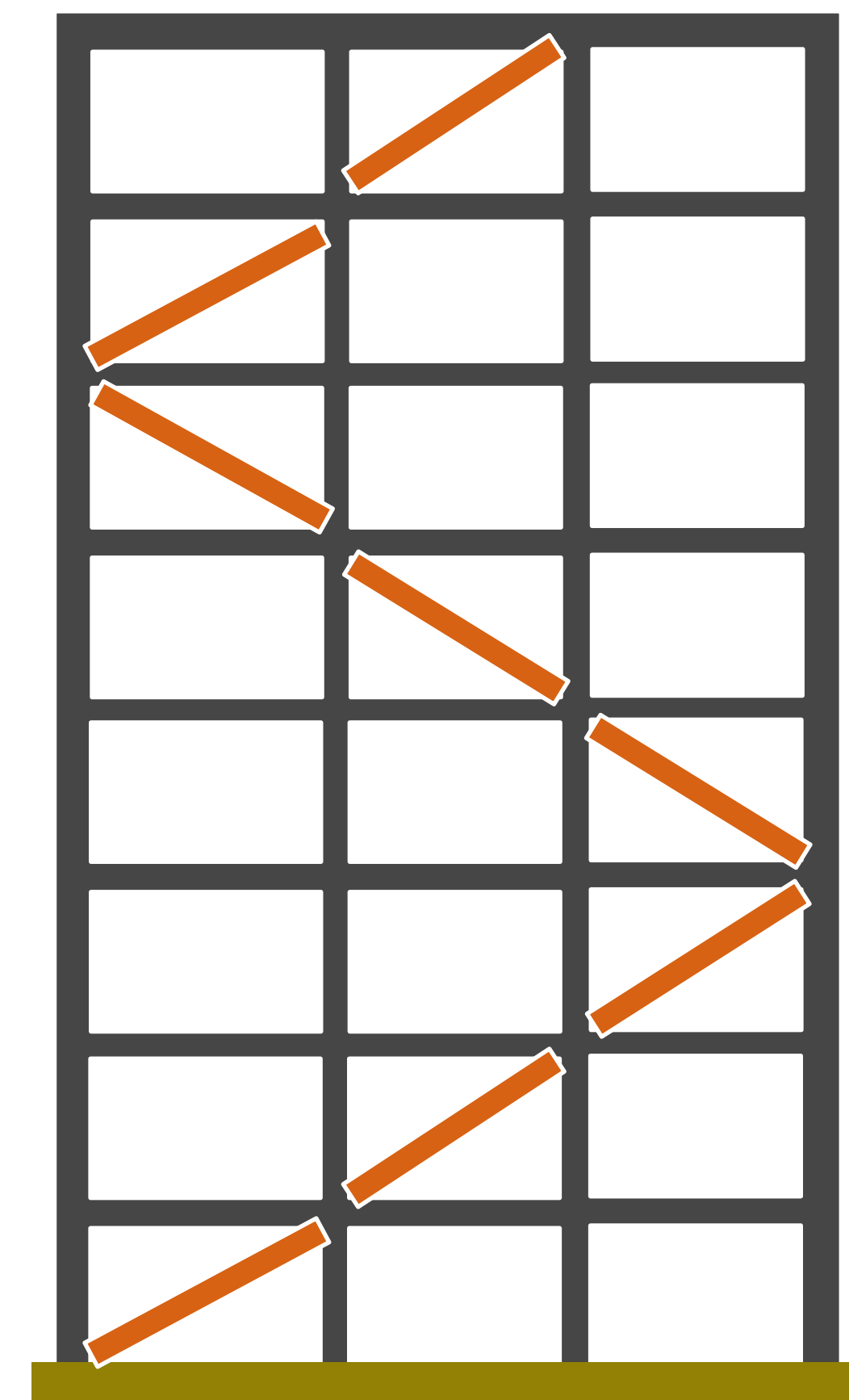
Recomendaciones para la instalación



Mejor distribución de descarga la cimentación



Eje 4 y 1



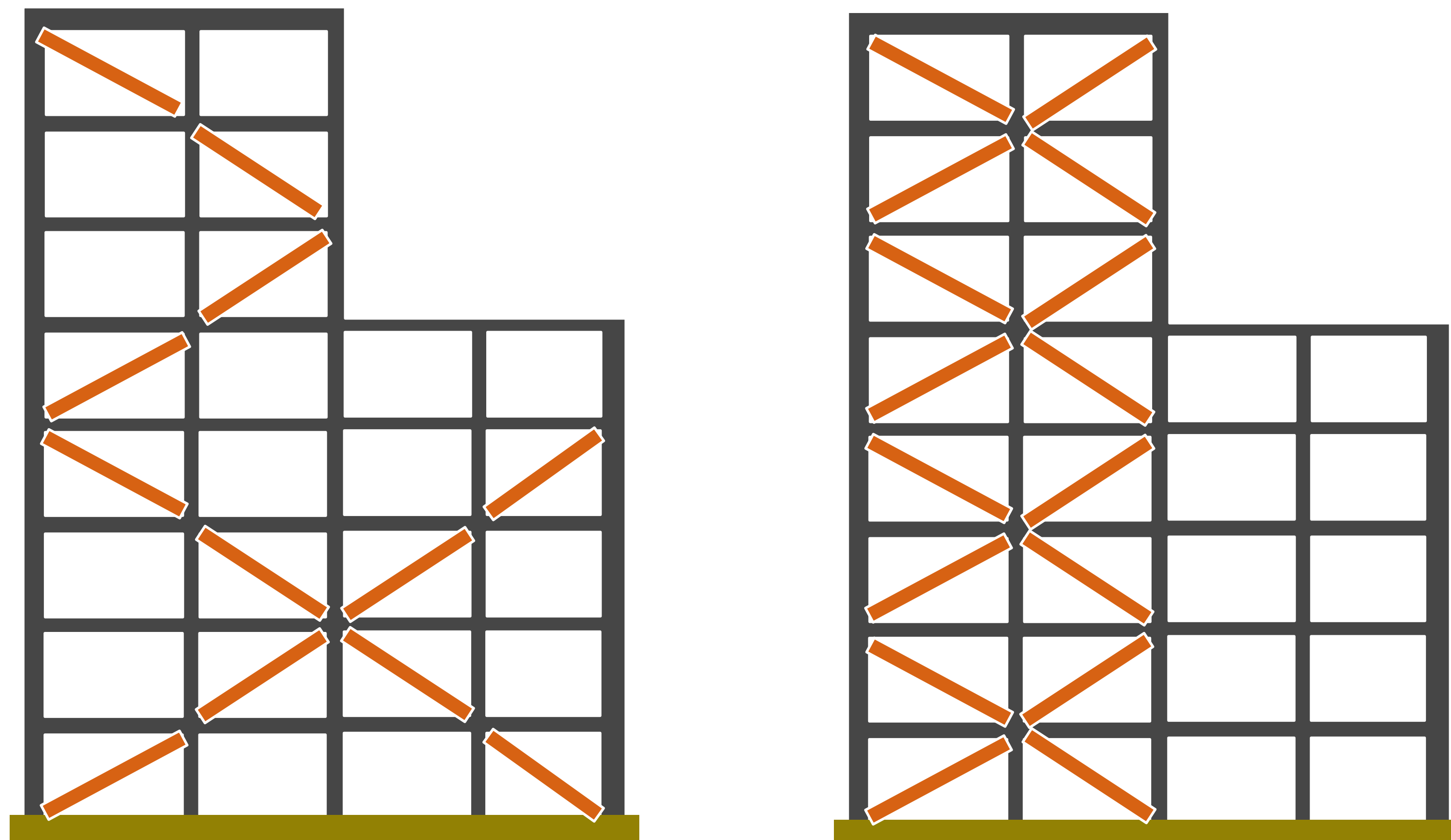
Eje A y E

Posible distribución de BRB

DAMPO



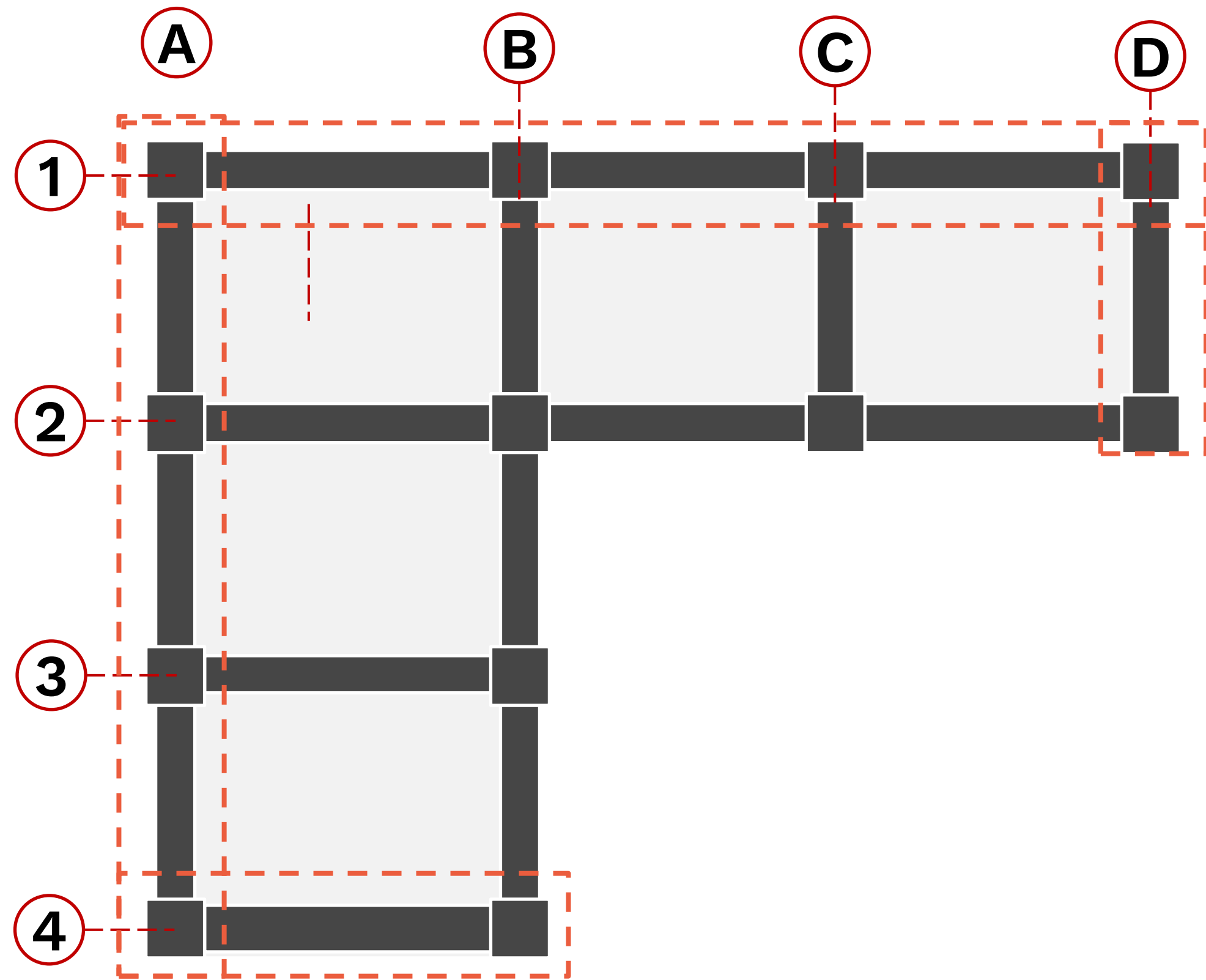
Recomendaciones para la instalación



Posible distribución de BRB



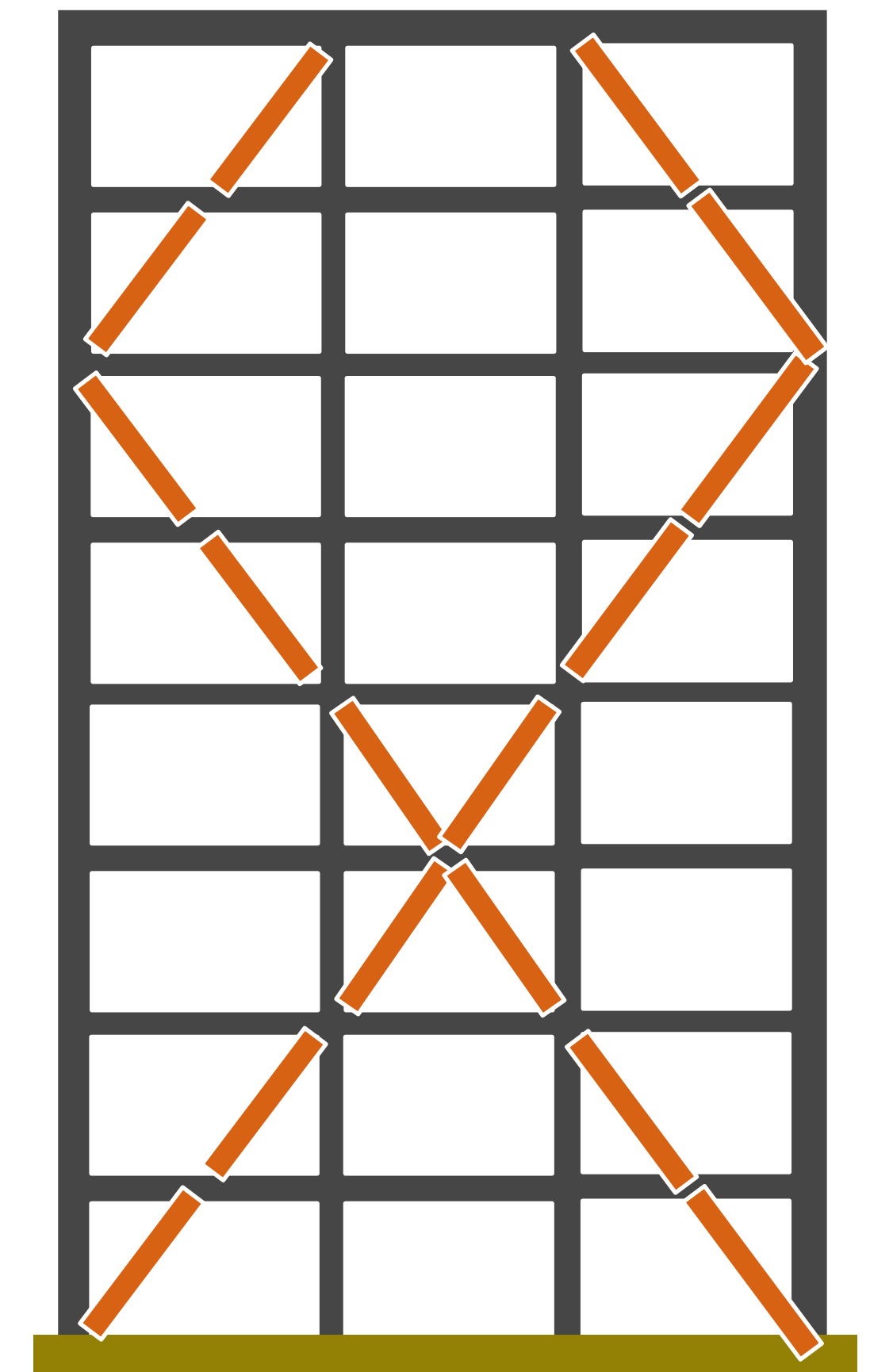
Recomendaciones para la instalación



Propuesta de ubicación en planta de BRB



D y 4



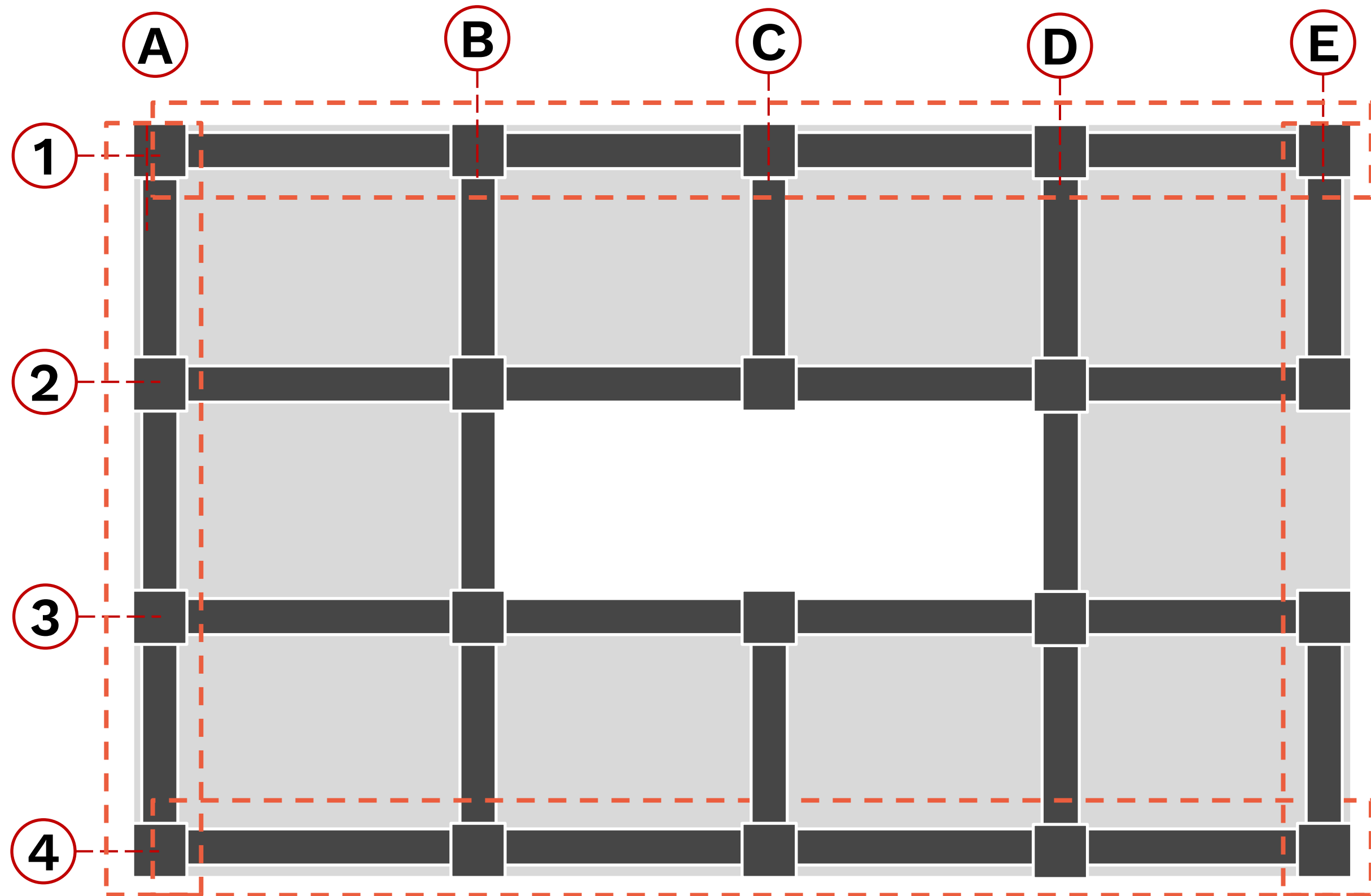
Eje A y E

Posible distribución de BRB

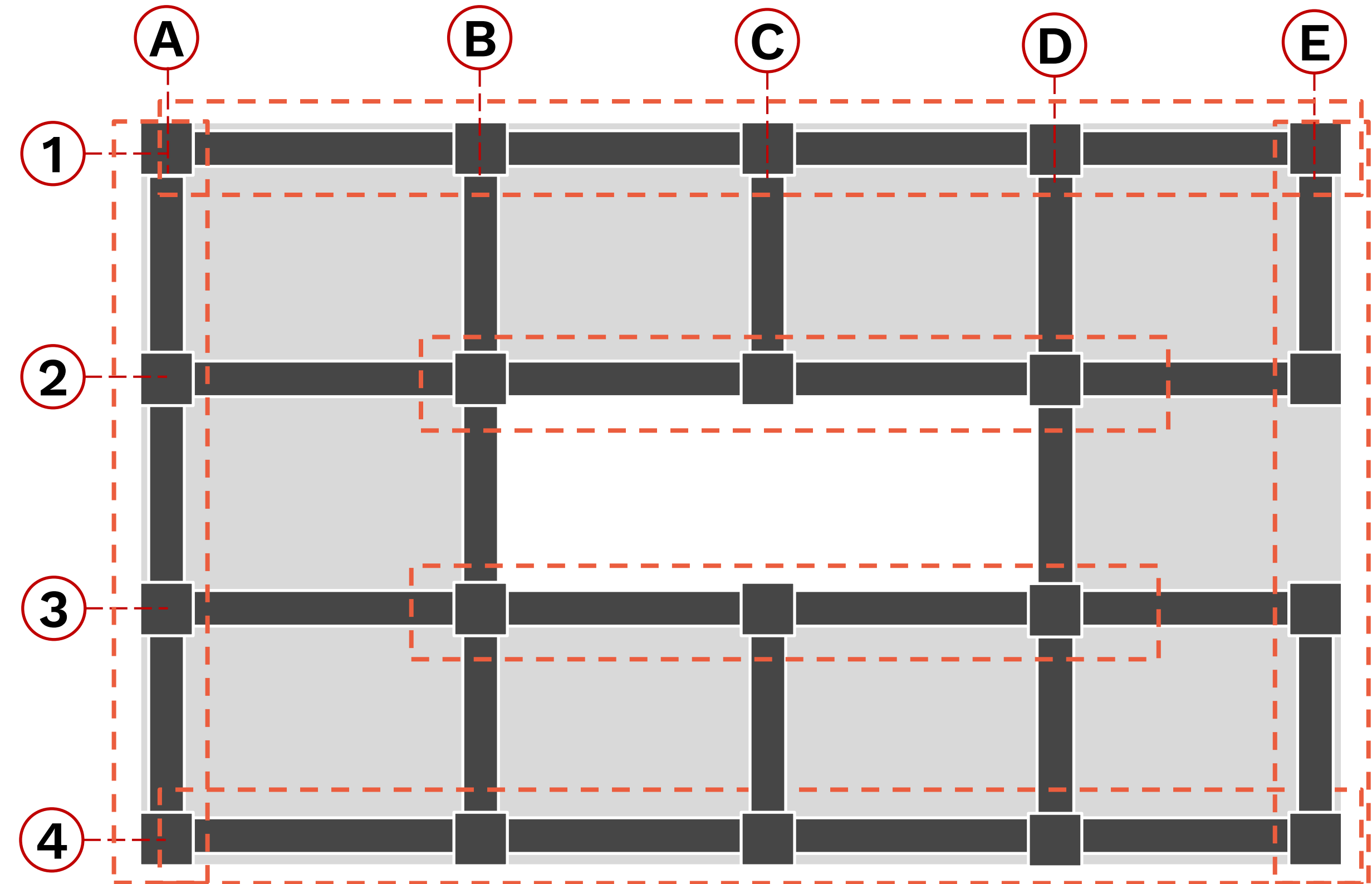
DAMPO



Recomendaciones para la instalación



*Propuesta de ubicación en planta de
BRB*

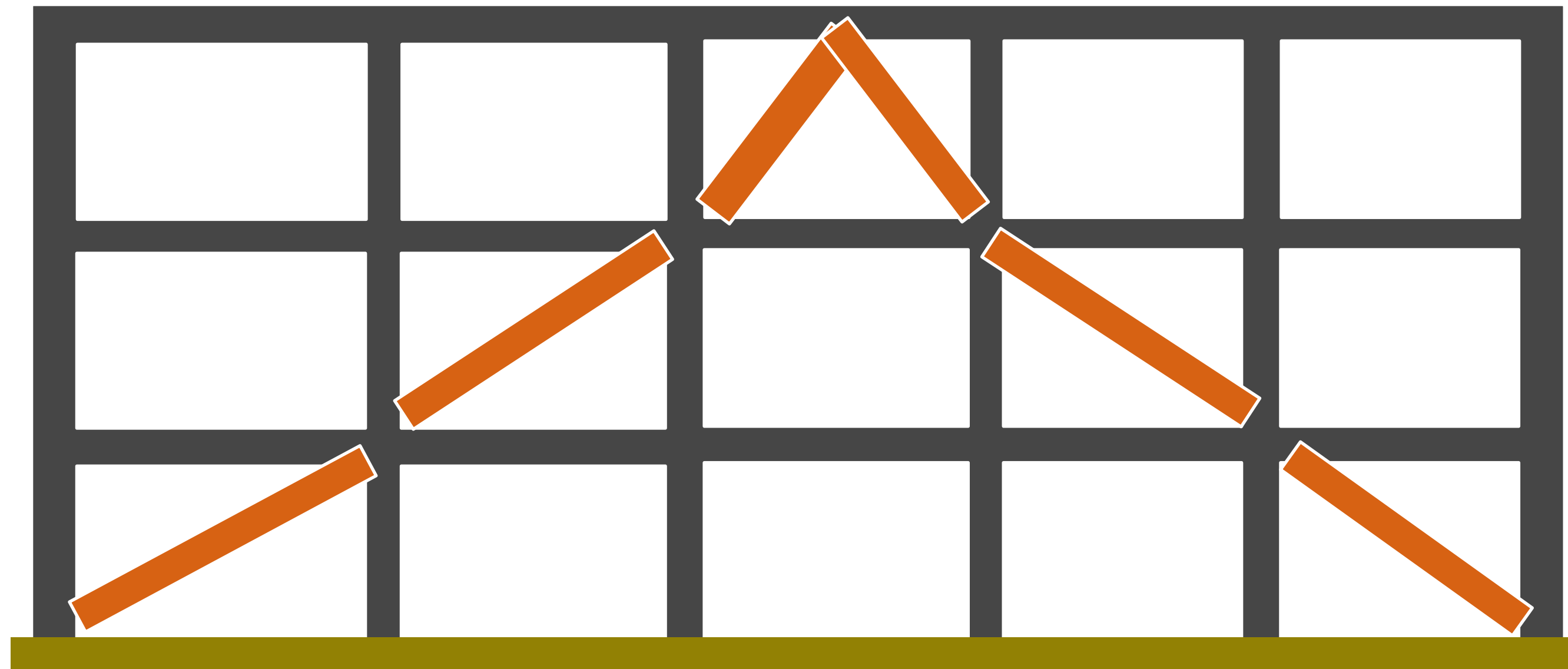
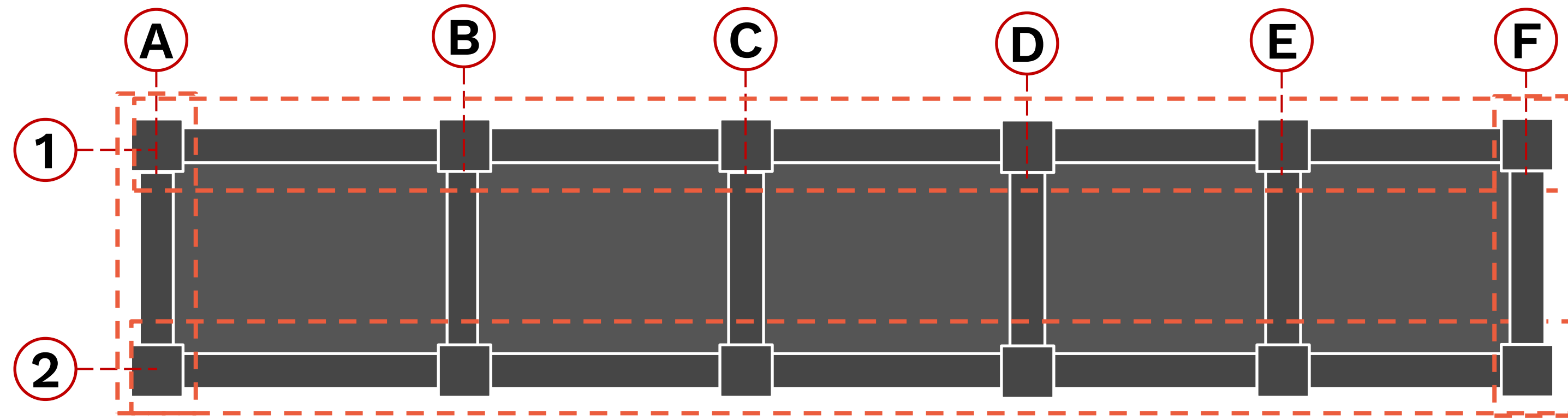


*Propuesta de ubicación en planta de
BRB*

Posible distribución de BRB



Recomendaciones para la instalación

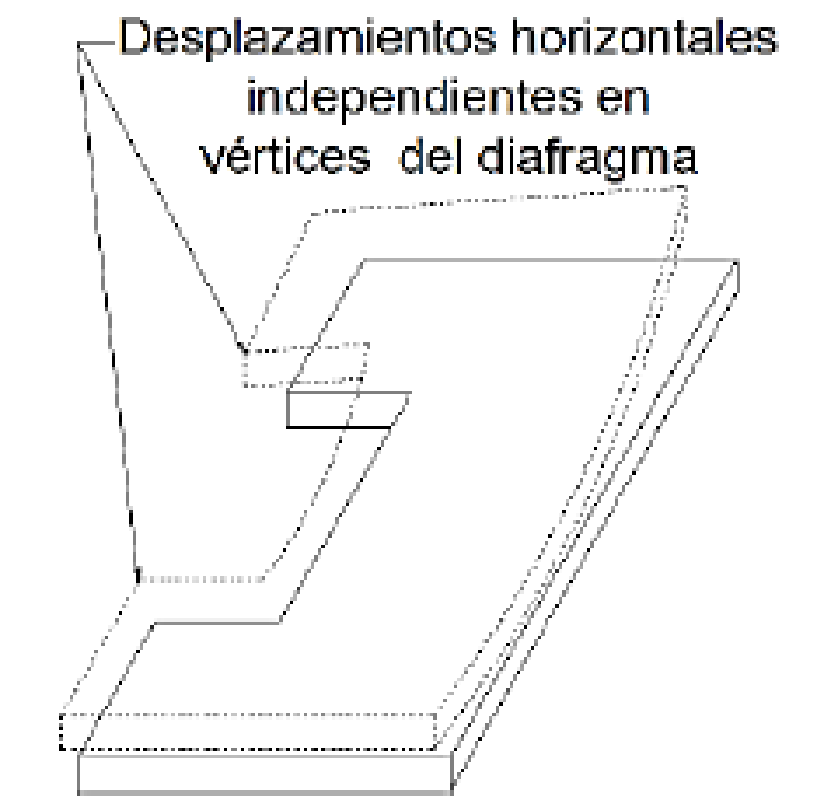
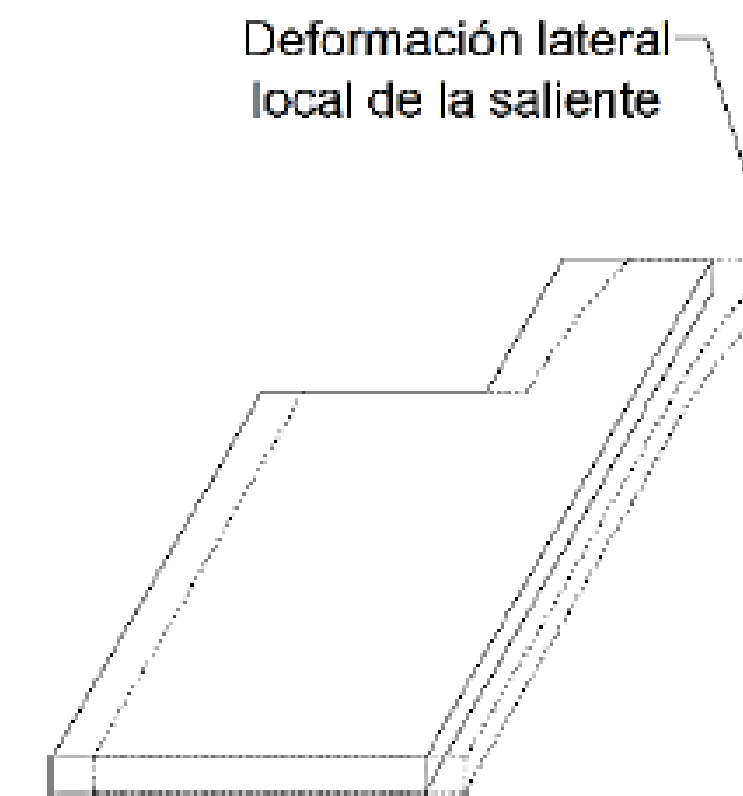
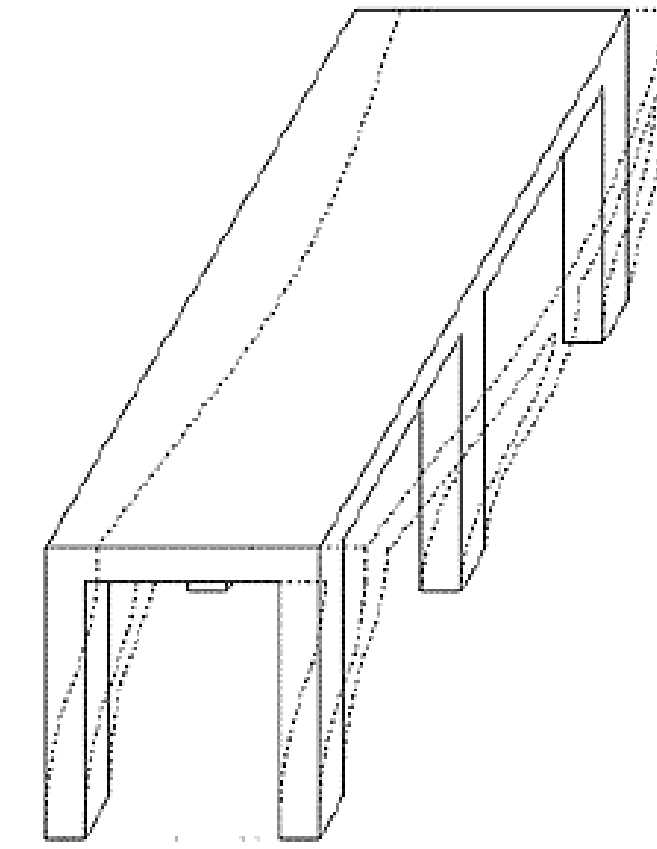
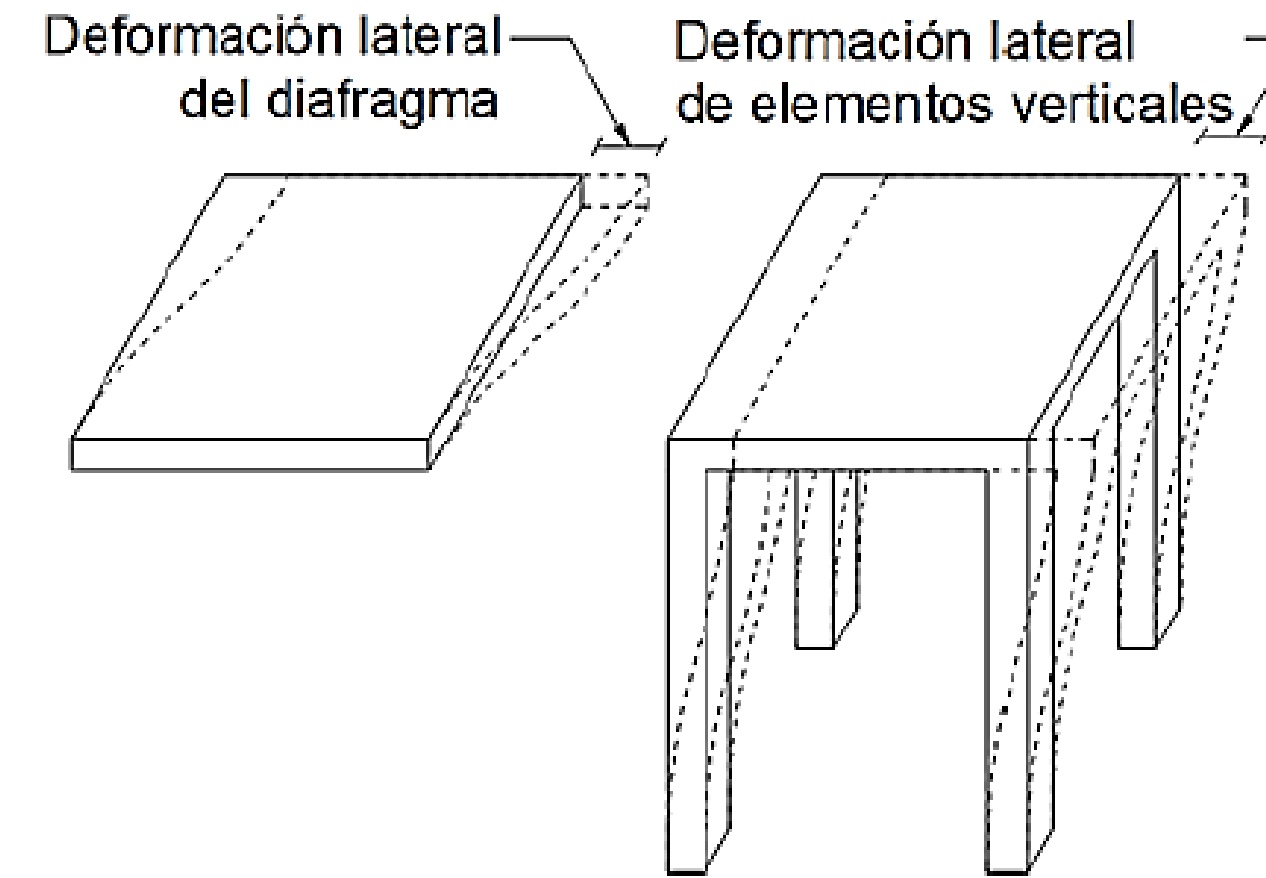


Posible distribución de BRB



Diafragmas rígidos

- Se debe verificar que los diafragmas de piso transmitan las fuerzas a los BRB.
- Cuidar la distribución de rigidez en planta para tener desplazamientos laterales constantes
- El diafragma de piso deberá **RESISTIR** las demandas sísmicas.





Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo para la Ciudad de México



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

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	Estructural		
		Limitación de Daño ^[4]	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 3.1.1 Determinación de espectros de diseño para los objetivos de diseño contemplados por esta Norma ^[1]

Intensidad Sísmica de Diseño ^[2]	Niveles de Desempeño			
	No Estructural	Estructural		
	Limitación de Daño	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Frecuente	1) Espectro elástico de S_a para intensidad sísmica base de diseño multiplicado por K_s ^[3]			
Base de Diseño		4 y 6) Espectro elástico de S_a para intensidad sísmica base de diseño dividido por $R' = 0.75R$ ($Q = 1$) ^[4]	2) Espectro elástico de S_a para intensidad sísmica base de diseño dividido por Q' ($Q > 1$) y $R' = R$ ^[5]	
Infrecuente		7) Espectro elástico de S_a para intensidad sísmica infrecuente ^[6]	5) Espectro elástico de S_a para intensidad sísmica infrecuente dividido por Q' ($Q > 1$) y $R' = R$ ^[5]	3) Evaluación basada en desempeño con acelerogramas ^[7]



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

Tabla 4.3.2 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de acero y compuestas ^[1] (continuación)

Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	γ_{sv}	γ_{oi}
vi) Sistema dual ^{[a], [b]} formado por marcos compuestos y muros ^{[2], [4]}	Alta	Muros de placa de acero rellena de concreto de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Alta	Muros compuestos de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Alta	Muros de placa de acero de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Alta	Muros de concreto reforzado de <i>ductilidad alta</i>	4.0	0.020	0.0050
	Media	Muros de concreto reforzado de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.015	0.0050
	Baja	Muros de concreto reforzado de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.010	0.0050
vii) Columnas de acero compactas en voladizo, sin o con relleno de concreto	Baja	Columnas de <i>ductilidad baja</i>	1.5	0.009	0.0075
viii) Sistema suspendido soportado por un núcleo de acero formado por muros o marcos	Media	Con marcos o muros de placa de acero de <i>ductilidad alta</i>	3.0	0.015	0.0050
ix) Marcos exteriores y columnas interiores interconectados por diafragmas horizontales rígidos ^[6]	Media	Marcos exteriores de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.020	0.0075
	Baja	Marcos exteriores de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.015	0.0075
x) Sistema <i>Diaerid</i>	----	----	1.0	----	γ_{oi}^{SP} ^[7]
xi) Sistema con disipadores de energía ^{[8], [9]}	----	----	1.0	----	γ_{oi}^{SP} ^[10]
xii) Sistema estructural con aislamiento sísmico	----	----	1.0	----	γ_{oi}^{SE} ^[11]

^[8] Los contraventeos restringidos contra el pandeo deben ser considerados como disipadores de energía, por lo que no podrán ser diseñados como contraventeos convencionales. Su análisis y diseño se debe llevar a cabo conforme a lo indicado en el Capítulo 12.

^[9] Para la evaluación y rehabilitación de estructuras de con contraventeos restringidos contra el pandeo se cumplirán los requisitos de la NTC-Evaluación y Rehabilitación.

^[10] En caso de sistemas que utilicen disipadores de energía, todo el sistema deberá diseñarse para satisfacer el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata. El valor γ_{oi}^{SP} corresponde al valor γ_{oi} del sistema primario indicado en la tabla 4.3.2 de conformidad con los criterios del Capítulo 12.



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

12. SISTEMAS ESTRUCTURALES CON DISIPADORES DE ENERGÍA

12.1 General

Este Capítulo debe aplicarse al diseño sísmico de edificios con disipadores de energía; se incluyen en esa acepción las naves industriales y las obras fabriles con estructuración similar a la de los edificios.

12.1.1 Propósito y alcance

De acuerdo con lo indicado en la tabla 12.1.1, los requisitos de esta Norma tienen como propósito obtener una estructura con disipadores de energía que exhiba un comportamiento adecuado tal que satisfaga el siguiente objetivo de diseño:

- a) Para la intensidad sísmica base de diseño, se limite la respuesta de los elementos estructurales del sistema primario de tal manera que satisfaga el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata. Los disipadores de energía deben diseñarse y fabricarse para permanecer con daño controlado de acuerdo con los criterios establecidos en el Apéndice B.

Además de cumplir con lo especificado en este Capítulo, el diseño de un sistema estructural con disipadores de energía debe contar con aprobación del Instituto, y debe cumplir con las disposiciones de la NTC-Revisión en lo referente a la revisión del proyecto estructural.

Tabla 12.1.1 Matriz de objetivos de diseño para estructuras con disipadores de energía

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		6) Estructuras con disipadores de energía. Revisión de distorsiones y diseño por resistencia ($Q = 1$)		
Infrecuente				

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



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

12.1.2.5 Acciones mínimas de diseño

Independientemente de si el edificio pueda analizarse, de acuerdo con 12.2.1, con el método estático, debe llevarse a cabo un análisis estático en conformidad con lo indicado en 12.2.1.1 para establecer las acciones mínimas de diseño que se indican en la tabla 12.1.2.

Tabla 12.1.2 Acciones mínimas de diseño y distorsiones límite para sistemas estructurales con disipadores de energía

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]
Cortante basal	$V_{bD}^{[2]}$	$0.8 V_{bD}$	V_{bD}	$0.6 V_{bD}$	$0.8 V_{bD}$
Distorsión límite	$\gamma_{OI}^{[3]}$	$1.1 \gamma_{OI}$	γ_{OI}	$1.5 \gamma_{OI}$	$1.2 \gamma_{OI}$

^[1] Conforme a lo indicado en 12.1.3.3.1

12.1.3.3.1 Acciones de diseño

La estimación de las acciones de diseño sobre el sistema estructural con disipadores debe considerar la regularidad estructural. El sistema estructural se clasifica como regular o irregular de acuerdo con 2.2. Con fines de diseño de una estructura con disipadores de energía, un sistema estructural fuertemente irregular se considera como irregular.

Los elementos estructurales que componen un sistema estructural con disipadores de energía deberán diseñarse para las acciones de diseño obtenidas con el método de análisis estructural que aplique según 12.2.1, bajo la consideración de las acciones mínimas de diseño indicadas en la tabla 12.1.2 y las combinaciones de carga indicadas en 12.1.2.4.

Nota: Se considera como irregular las estructuras irregulares y muy Irregulares.
La distorsión límite se toma de las Tablas 4.3.1 y 4.3.2



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

12.2.2.2 Desplazamientos y distorsiones

Para la revisión del nivel de desempeño de Ocupación Inmediata, se revisará de acuerdo con lo indicado 12.1.3.3.3 las distorsiones obtenidas con las fuerzas laterales calculadas conforme a 12.2.2.3.

12.2.2.3 Cortante basal y fuerzas laterales

El sistema estructural debe diseñarse para resistir un cortante basal V_{bd} igual a:

$$V_{bd} = \frac{S_a(T, Q = 1, \zeta = \zeta_e)}{R'} W_0 \geq k_d \frac{S_a(T, Q = 1, \zeta = 0.05)}{R'} W_0 \quad (12.2.1)$$

donde $S_a(T, Q = 1, \zeta = \zeta_e)$ es la ordenada espectral elástica de pseudo-aceleración que se obtiene para el amortiguamiento equivalente ζ_e de acuerdo con 3.1, $S_a(T, Q = 1, \zeta = 0.05)$ es la ordenada espectral elástica de pseudo-aceleración que se obtiene para un amortiguamiento de 0.05 de acuerdo con la misma sección, k_d es igual a 0.5 para el caso de disipadores con comportamiento lineal, e igual a 0.3 para el caso de disipadores con comportamiento no lineal, R' el factor de reducción por sobre-resistencia que se obtiene de acuerdo con 3.3, y W_0 es el peso total del edificio al nivel del desplante. El valor de ζ_e se establece, bajo la consideración de la contribución de todos los disipadores de energía, por medio de ponderar el amortiguamiento determinado para cada disipador para los desplazamientos laterales de diseño, en función de la rigidez secante del disipador correspondiente a ese desplazamiento. En caso de disipadores que no exhiban rigidez, la ponderación se hace en función de la fuerza máxima que desarrollan.

ζ_e Fracción equivalente de amortiguamiento que exhibe un disipador de energía para un desplazamiento lateral de interés. Se calcula como:

$$\zeta_e = \frac{2H}{\pi K_e (d^+ - d^-)^2}$$

donde d es el desplazamiento que desarrolla el disipador; d^+ y d^- son, respectivamente, los valores máximo y mínimo del desplazamiento en el ciclo de carga; K_e es la rigidez efectiva del disipador; y H es la energía disipada en el ciclo histerético delimitado por los desplazamientos d^+ y d^- .



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

12.2.1 Selección del procedimiento

12.2.1.1 Requisitos para análisis estático

Se podrá usar un análisis estático con fines de diseño cuando se cumpla con lo siguiente:

- a) La superestructura cumple con los requisitos de altura de 6.2
- b) La respuesta del sistema estructural total está dominada por su modo fundamental de vibrar
- c) El amortiguamiento equivalente del modo fundamental de vibrar en la dirección de interés no es mayor que 0.30
- d) La estructura es regular según lo indicado en 12.1.3.3.1.

Comentario:

Aunque el método estático no sea aplicable en todos los casos para establecer las acciones de diseño del sistema estructural con disipadores de energía, debe llevarse a cabo ya que, con base en él se establecen, de acuerdo con lo indicado en la tabla 12.1.2, valores mínimos para las acciones de diseño.

12.2.1.2 Requisitos para análisis modal espectral

Se podrá analizar la estructura equipada con disipadores, con fines de establecer las acciones de diseño, con el análisis dinámico modal espectral de 7.2 cuando se cumpla con los requisitos c) y d) indicados en 12.2.1.1.

12.2.1.3 Requisitos para análisis dinámico paso a paso

Se podrá analizar cualquier sistema estructural con disipadores de energía con fines de diseño con los métodos de análisis dinámico paso a paso de 7.3 y 7.4. Independientemente del método usado con fines de diseño, se deberá revisar el sistema estructural con una evaluación basada en desempeño de acuerdo con el Capítulo 14.

12.2.4 Análisis dinámico paso a paso

Independientemente del tipo de análisis que se utilice durante la etapa de diseño, siempre deben llevarse a cabo **análisis dinámicos paso a paso de acuerdo con lo indicado en 7.3 y 7.4, para verificar el sistema** estructural con disipadores de energía **de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 14.** La evaluación basada en desempeño deberá hacerse para la intensidad sísmica base de diseño.



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

12.1.3.2.1 Propiedades Mecánicas

Los disipadores de energía deben cumplir los requisitos especificados en este Capítulo, y fabricarse de acuerdo con lo indicado en el Apéndice B. Las propiedades mecánicas usadas para modelar los disipadores de energía con fines de análisis deben verificarse con pruebas experimentales de acuerdo con lo indicado en dicho Apéndice.

Conforme a lo indicado en el Apéndice B, se requiere que la capacidad última de deformación de los disipadores de energía sea mayor en 20 por ciento que la requerida por los análisis, y que estos sean capaces de resistir las fuerzas internas que desarrollen para esa condición combinadas con aquellas que resulten de acciones diferentes al sismo que puedan afectar el comportamiento del dispositivo.

Para la revisión de la capacidad resistente de disipadores dependientes del desplazamiento y del sistema primario, deberán considerarse la mayor y menor fuerza sísmica de las que resulten de las siguientes tres condiciones:

- a) Las fuerzas internas máxima y mínima en los disipadores estimadas con los análisis para la intensidad sísmica base de diseño
- b) La fuerza que desarrolla el disipador, estimada con una envolvente de comportamiento establecida de acuerdo con sus propiedades estructurales esperadas, para una deformación que sea mayor en 20 por ciento que la requerida por los análisis
- c) La fuerza que desarrolla el disipador, estimada con una envolvente de comportamiento establecida de acuerdo con sus propiedades estructurales esperadas, para la deformación requerida por los análisis incrementada en 20 por ciento.



Normas técnicas complementarias 2023 (Sismo)

APÉNDICE B. PROPIEDADES Y CONTROL DE CALIDAD DE DISIPADORES DE ENERGÍA

B.1 Propósito y alcance

Este Apéndice plantea requerimientos para asegurar el buen comportamiento en campo y un adecuado control de calidad durante la fabricación de los disipadores de energía. Se incluyen reglas generales de diseño, así como características requeridas de los materiales con que se fabrican, y requisitos funcionales y procedimientos de ensayo. Se definen objetivos de desempeño y procedimientos para su verificación.

El/la Proyectista debe indicar en las Especificaciones de Diseño la información técnica relevante en cuanto a las propiedades estructurales requeridas para los disipadores de energía y los materiales con que se fabrican, los ensayos requeridos y las excepciones o complementos que deban considerarse en relación con lo indicado en este Apéndice, el programa de inspección y mantenimiento de los dispositivos, y los intervalos de temperaturas de servicio y de diseño.

En el caso de disipadores de energía no cubiertos por este Apéndice, se deben establecer a satisfacción del Instituto requerimientos de ensayo y fabricación de manera clara y completa en las Especificaciones de Diseño. Asimismo, será posible usar para los tipos de disipadores de energía cubiertos por este Apéndice requerimientos de ensayo y fabricación diferentes a los aquí especificados, siempre y cuando queden establecidos de manera clara y completa, a satisfacción del Instituto, en las Especificaciones de Diseño.



Metodología de prediseño



DAMPO



Metodología de prediseño

Preliminary Design of Low-Rise Buildings Stiffened with Buckling-Restrained Braces by a Displacement-Based Approach

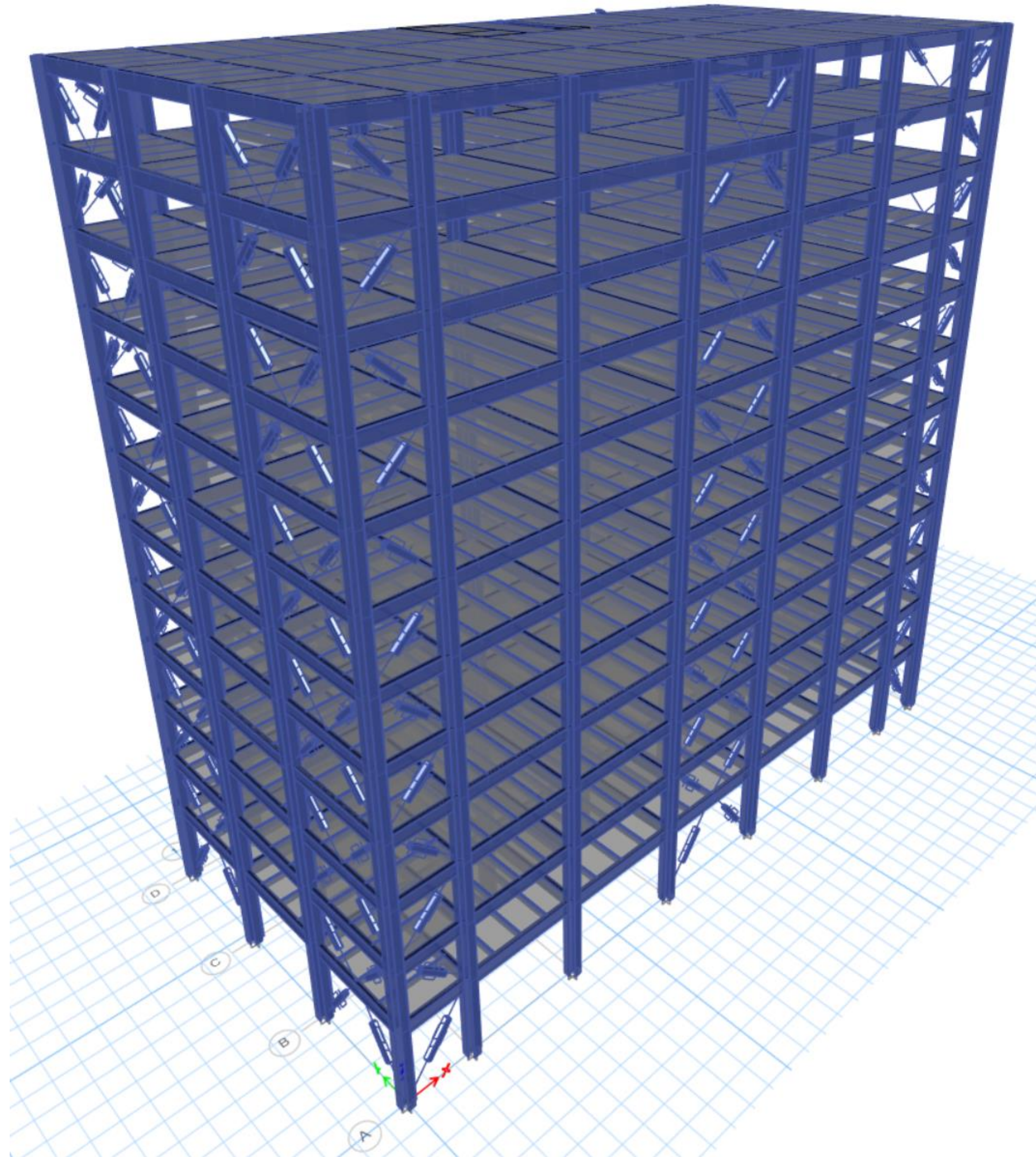
Amador Teran-Gilmore^{a)} and Neftali Virto-Cambray^{b)}

A displacement-based methodology for the preliminary design of a system of buckling-restrained braces is introduced. The methodology applies to the case of low-rise buildings, whose dynamic response is not significantly influenced by global flexural behavior or higher modes. The methodology is applied to the preliminary design of a five-story building located in the Lake Zone of Mexico City. From the evaluation of the global mechanical characteristics of the building and of its seismic performance when subjected to ground motions generated in that zone, it is concluded that the proposed methodology yields an adequate level of seismic design.

[DOI: 10.1193/1.3054638]



Ejemplo de prediseño



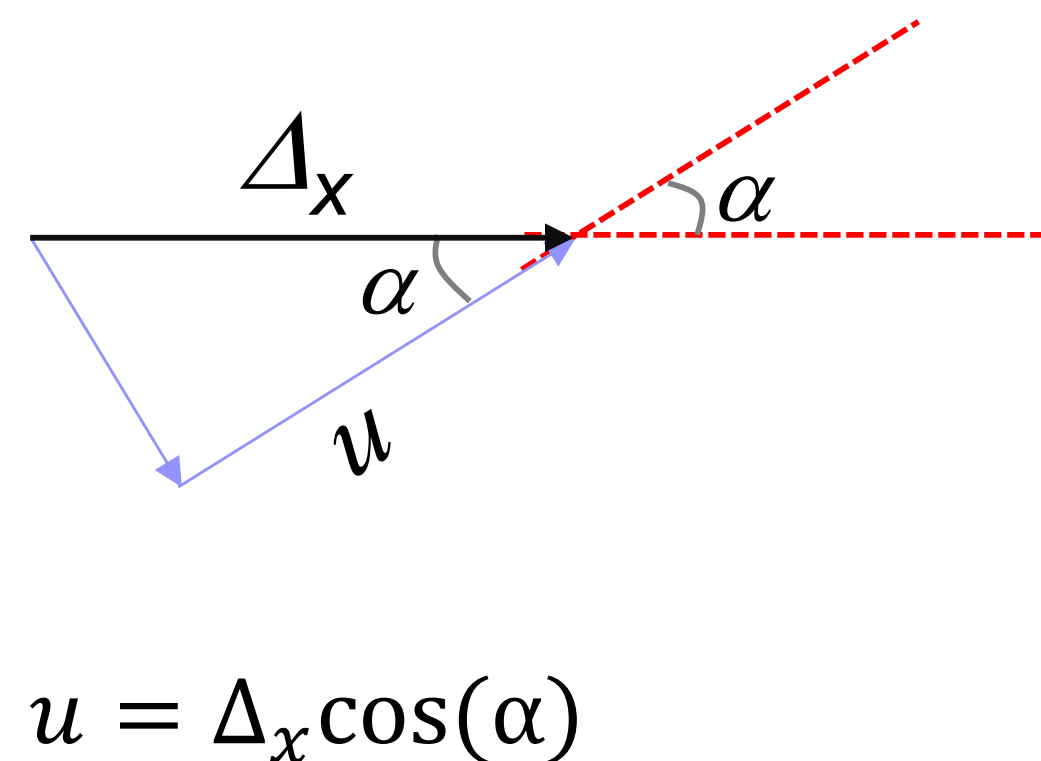
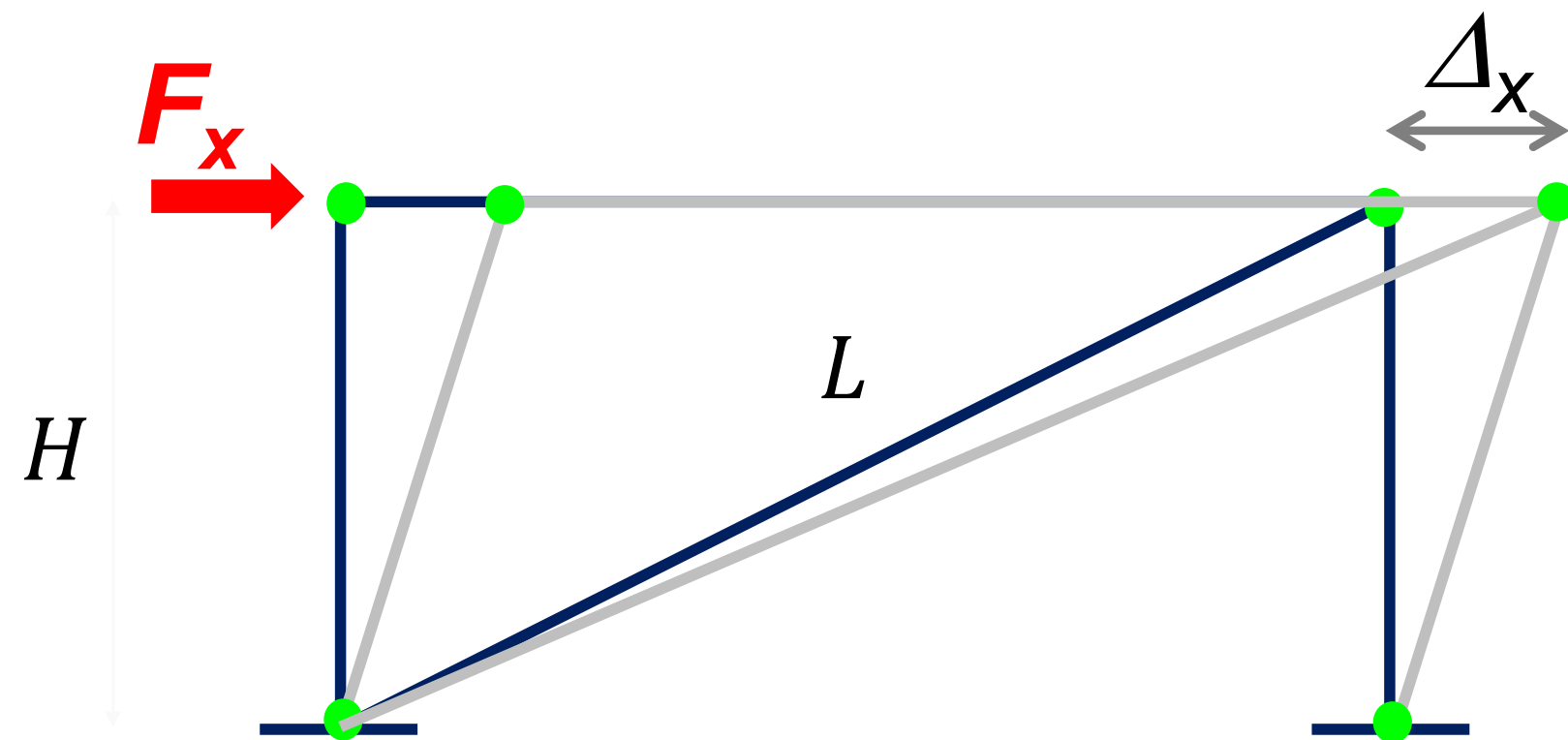
Datos iniciales del edificio							
Datos del edificio							
Número de pisos		Altura del edificio		Regularidad del edificio		Altura de entrepiso	
Np =	12	H =	39.7 m	Rg =	Regular	H =	3.20

Geometría de la crujía tipo		
Entrepiso (H)	3.20	m
Ancho (B)	3.25	m
Longitud (L)	4.6	m
L del BRB (L_{BRB}):	3.6	m
Angulo de inclinación (α):	0.78	rad

← $L_{BRB} \approx 0.8 * \frac{H}{\text{seno}(\alpha)}$



Ductilidad esperada del BRB



$$\mu = \frac{u}{u_y} \longrightarrow \mu = \frac{\Delta_x \cos(\alpha)}{\frac{P_y}{k_{BRB}}} \longrightarrow \mu = \frac{\Delta_x \cos(\alpha)}{\frac{A_c * f_{ye}}{\frac{EA_c}{L} * fk}} \longrightarrow \mu = \frac{E * fk * \Delta_x \cos(\alpha)}{f_{ye} * L_{BRB}}$$

γ = Distorsión de entrepiso

$$\Delta_x = \gamma * H \quad ; \quad L = \frac{H}{\text{seno}(\alpha)} \quad ; \quad L_{BRB} \approx 0.8 * \frac{H}{\text{seno}(\alpha)} \quad \mu = \frac{E * fk * \gamma}{0.8 * f_{ye}} * \cos(\alpha) * \text{seno}(\alpha)$$

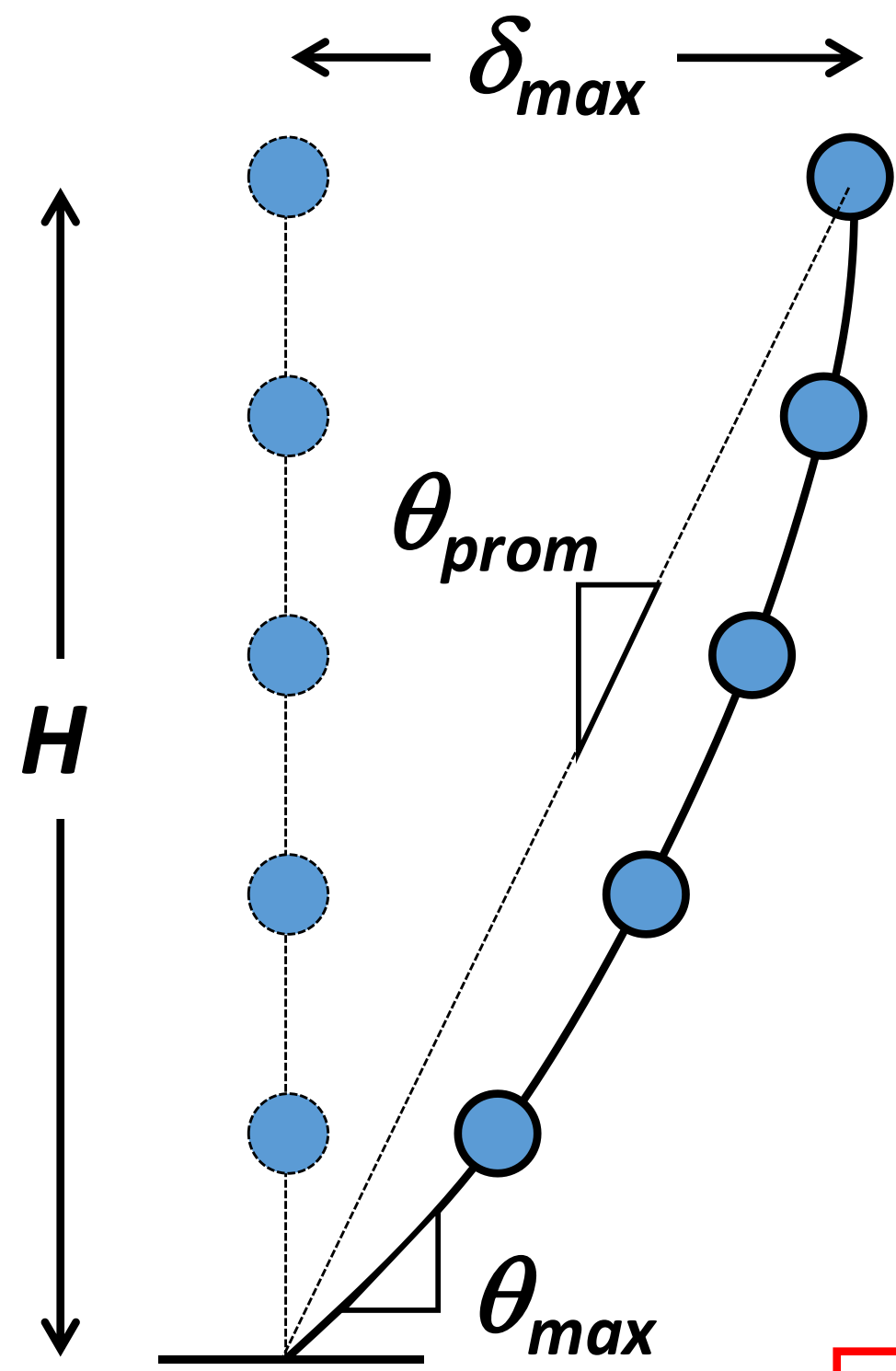
$fk = 1.44 \quad \mu = 5.92$



Según el número de pisos y regularidad en altura del sistema estructural, se asigna un valor de ductilidad global a la edificación:

$$\mu_{max} = \frac{\mu_{BRB}}{\text{factor Ductilidad}}$$

Número de pisos	<i>Factor Ductilidad</i>	
	$\mu_{BRB} = 2$	$\mu_{BRB} = 6$
5	1.0	1.1
10	1.0	1.1
20	1.1	1.2
30	1.2	1.3
40+	1.3	1.4



Sismo de Diseño

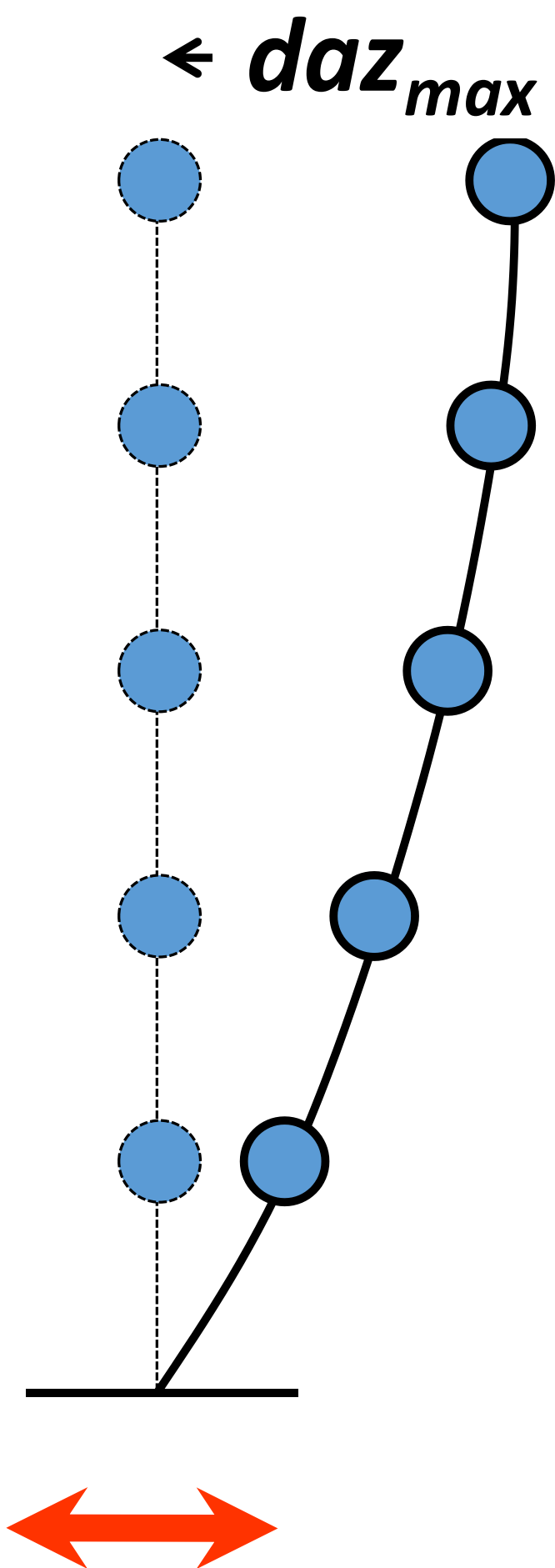
$$\frac{\delta_{max}}{H} = \theta_{prom} = \frac{\theta_{max}}{factorDistorsion}$$

DAMPO

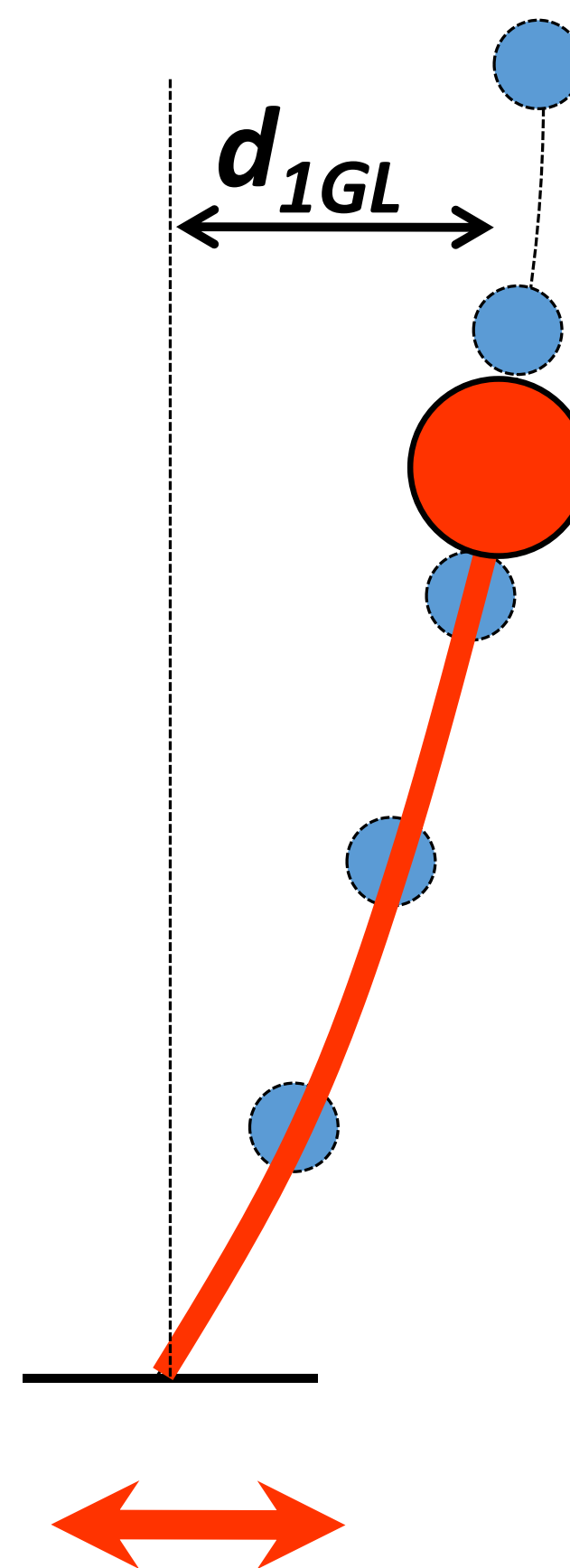


La distorsión de entrepiso sirve para establecer el umbral de desplazamiento de azotea. Considere que el área del núcleo de las diagonales sigue la distribución en altura de cortantes de entrepiso:

Área de diagonales <i>sigue</i> distribución de cortantes de entrepiso			Área de diagonales <i>no sigue</i> distribución de cortantes de entrepiso		
μ	<i>factorDistorsion</i>		μ	<i>factorDistorsion</i>	
	Regular	Irregular		Regular	Irregular
1	1.2	1.5	1	1.2	1.5
2+	1.2	1.5	2+	1.5	2.0



Sismo de Diseño



Sismo de Diseño

$$\text{factorMDOF} = \frac{daz_{max}}{d_{1GL}}$$

DAMPO



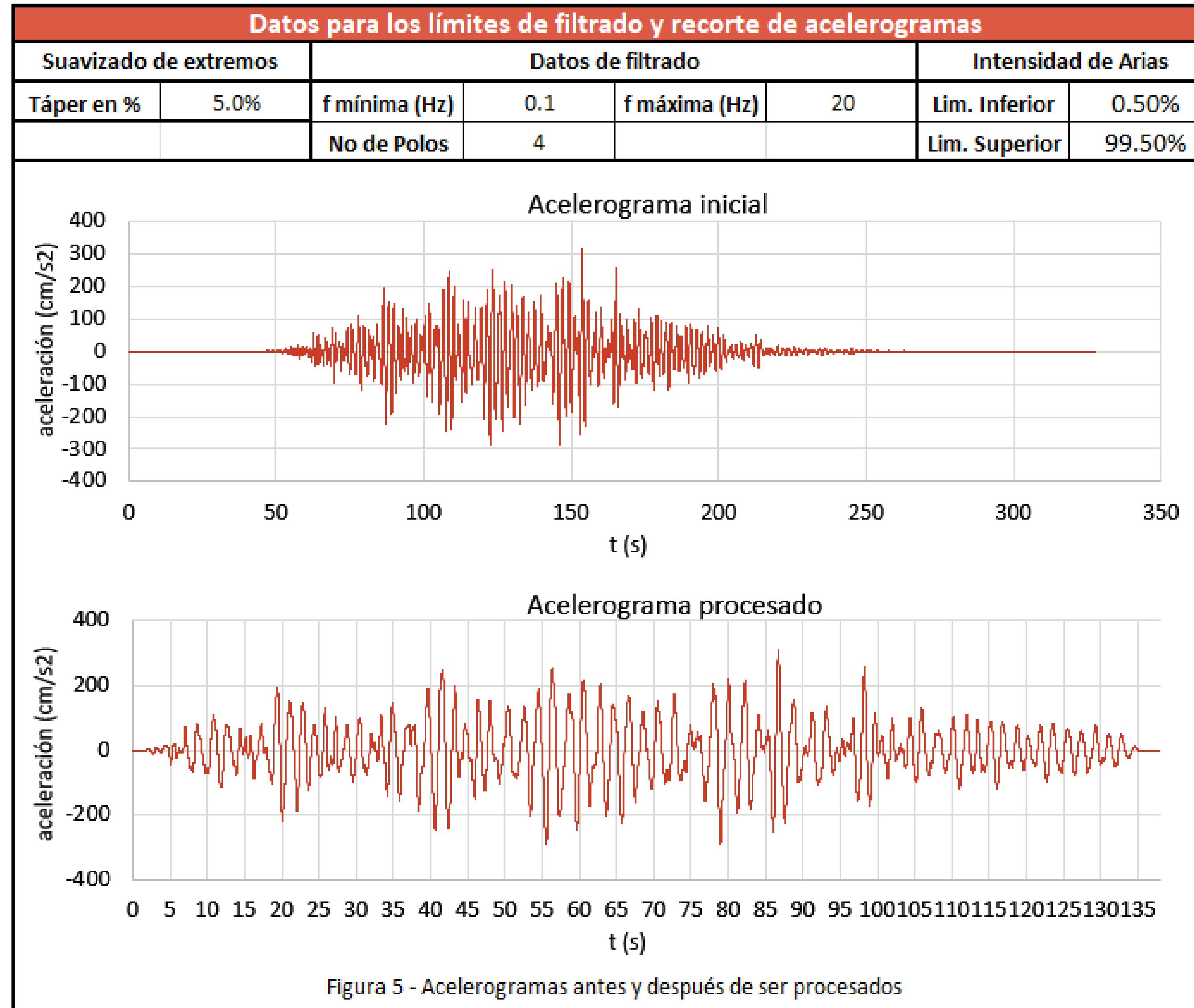
Es necesario corregir el desplazamiento de azotea (sistema de varios grados de libertad) antes de entrar al espectro de desplazamientos (sistemas de un grado de libertad):

Número de pisos	<i>factorMDOF</i>	
	$\mu = 1$	$\mu = 2+$
1	1.0	1.0
2	1.2	1.1
3	1.3	1.2
5+	1.4	1.2

$$d_{1GL} = 27.6 \text{ cm}$$

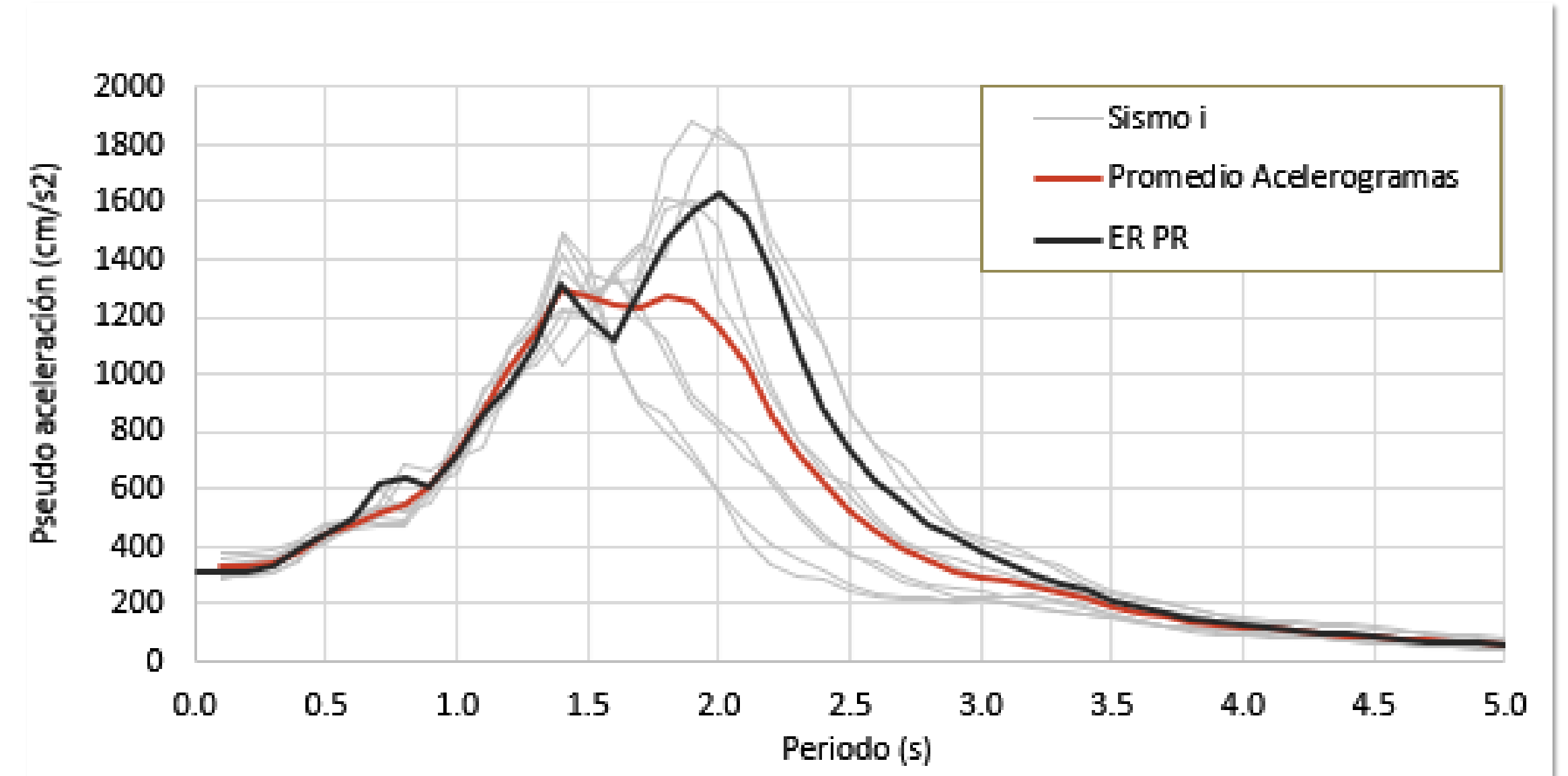
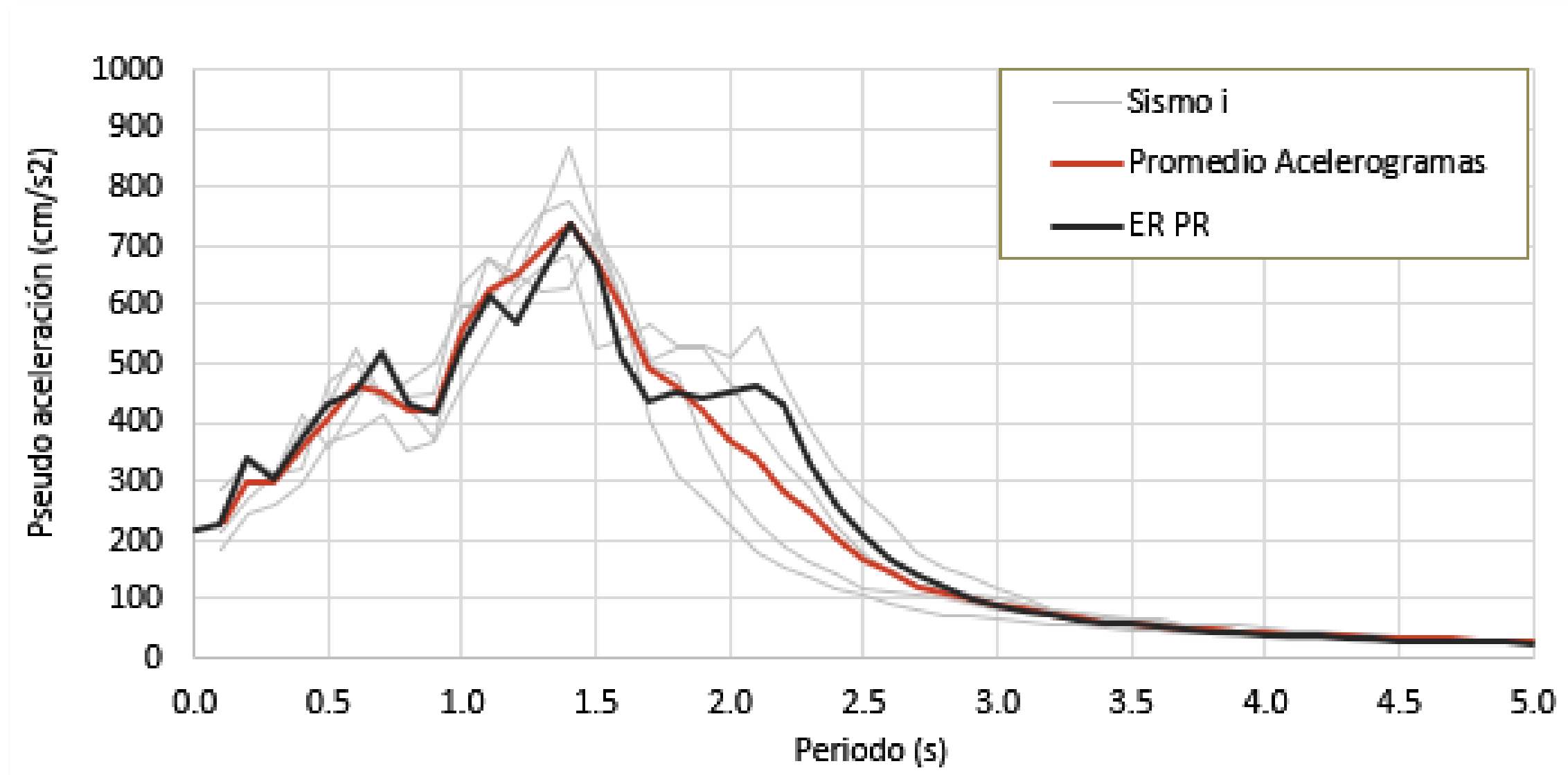


Procesado de acelerogramas



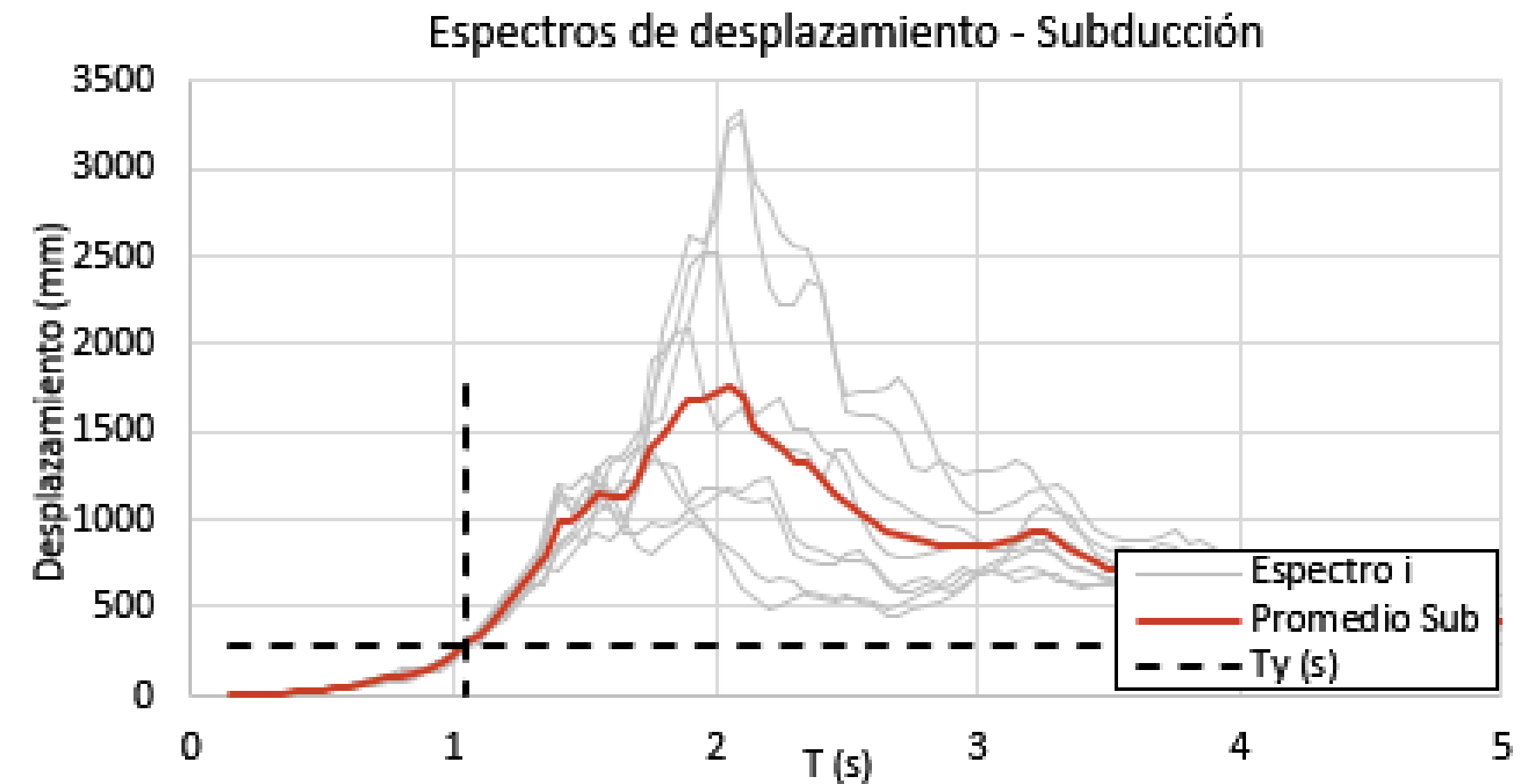
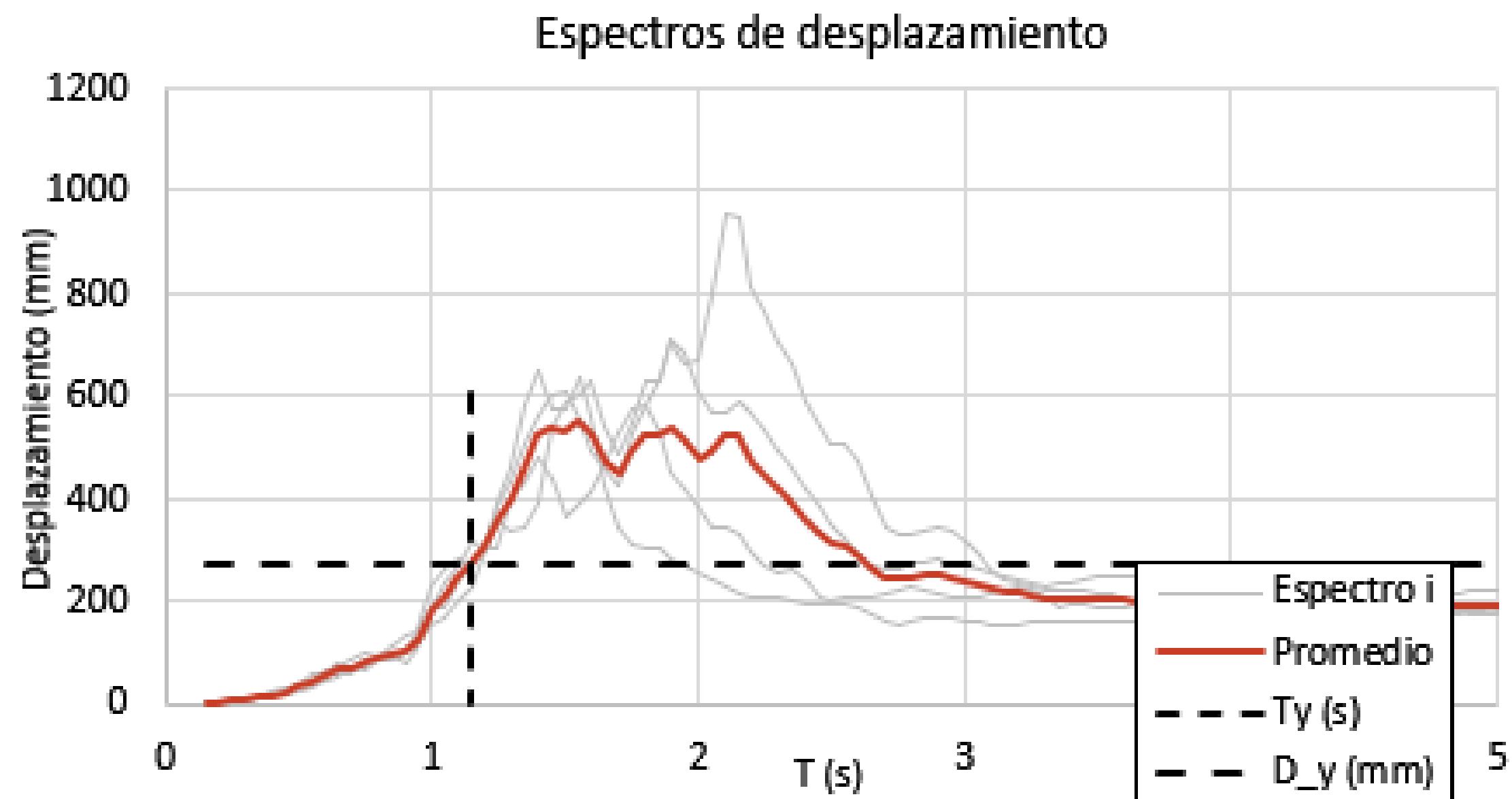


Escalado de acelerogramas



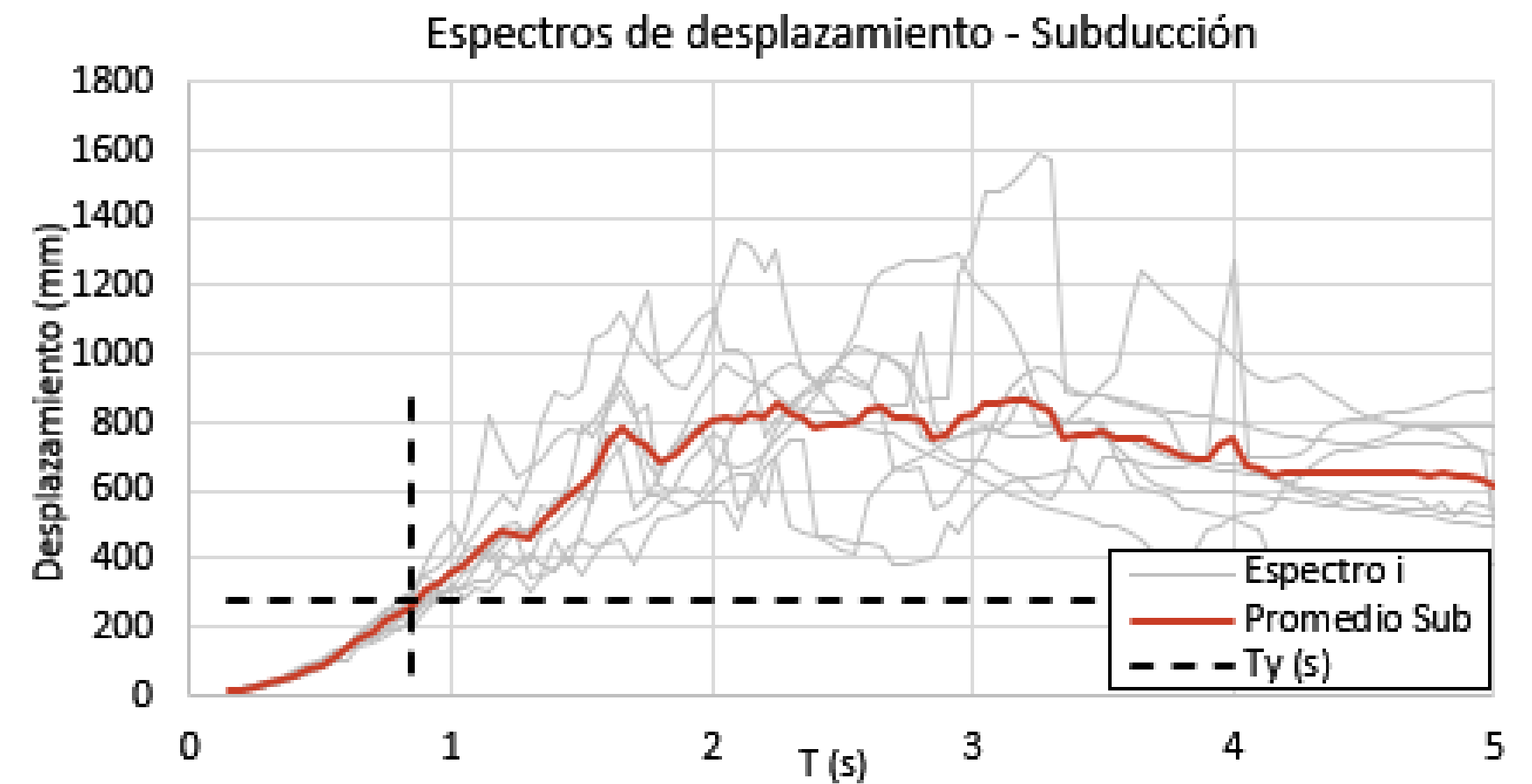
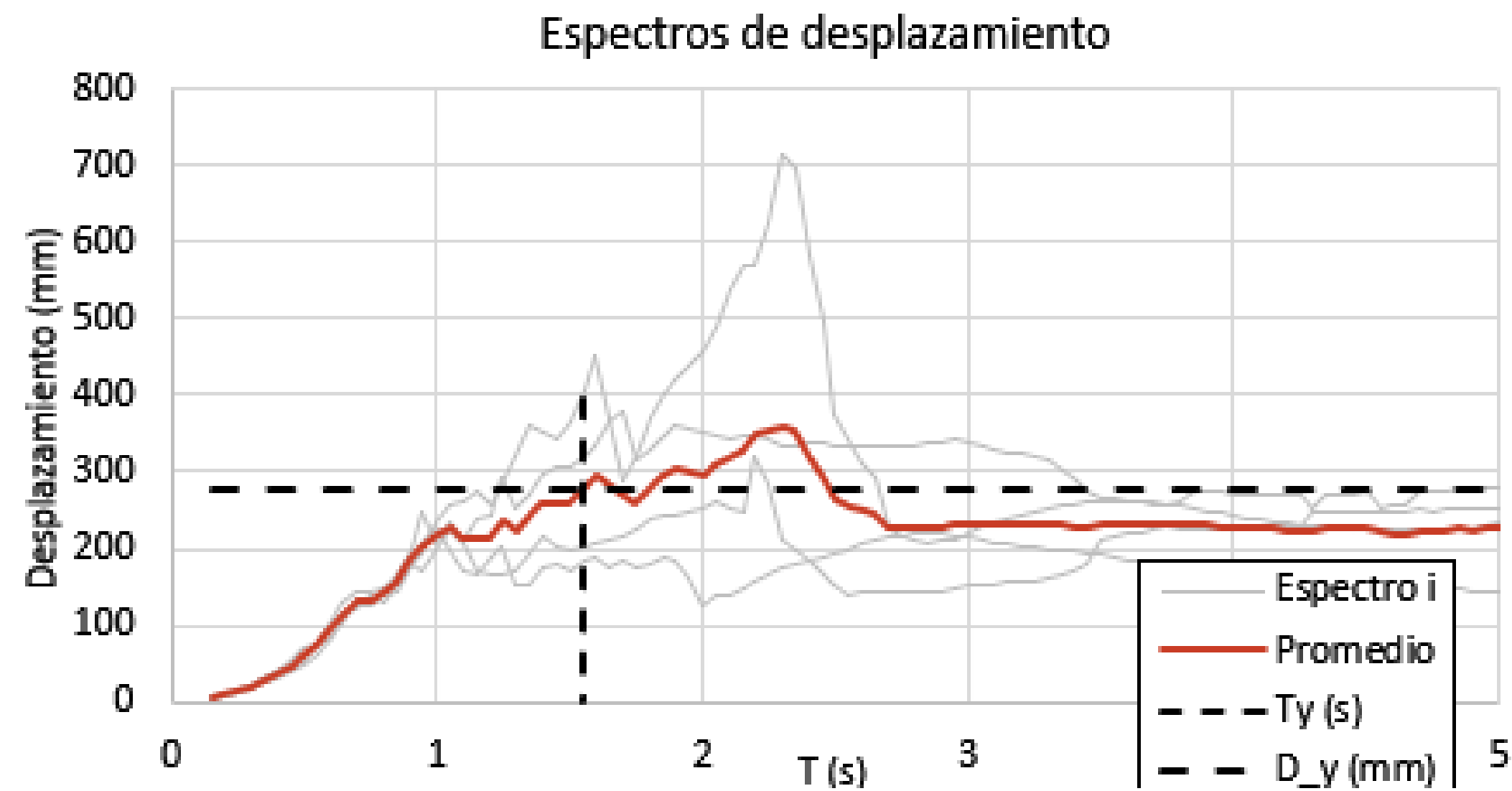


Espectros de respuesta elástica



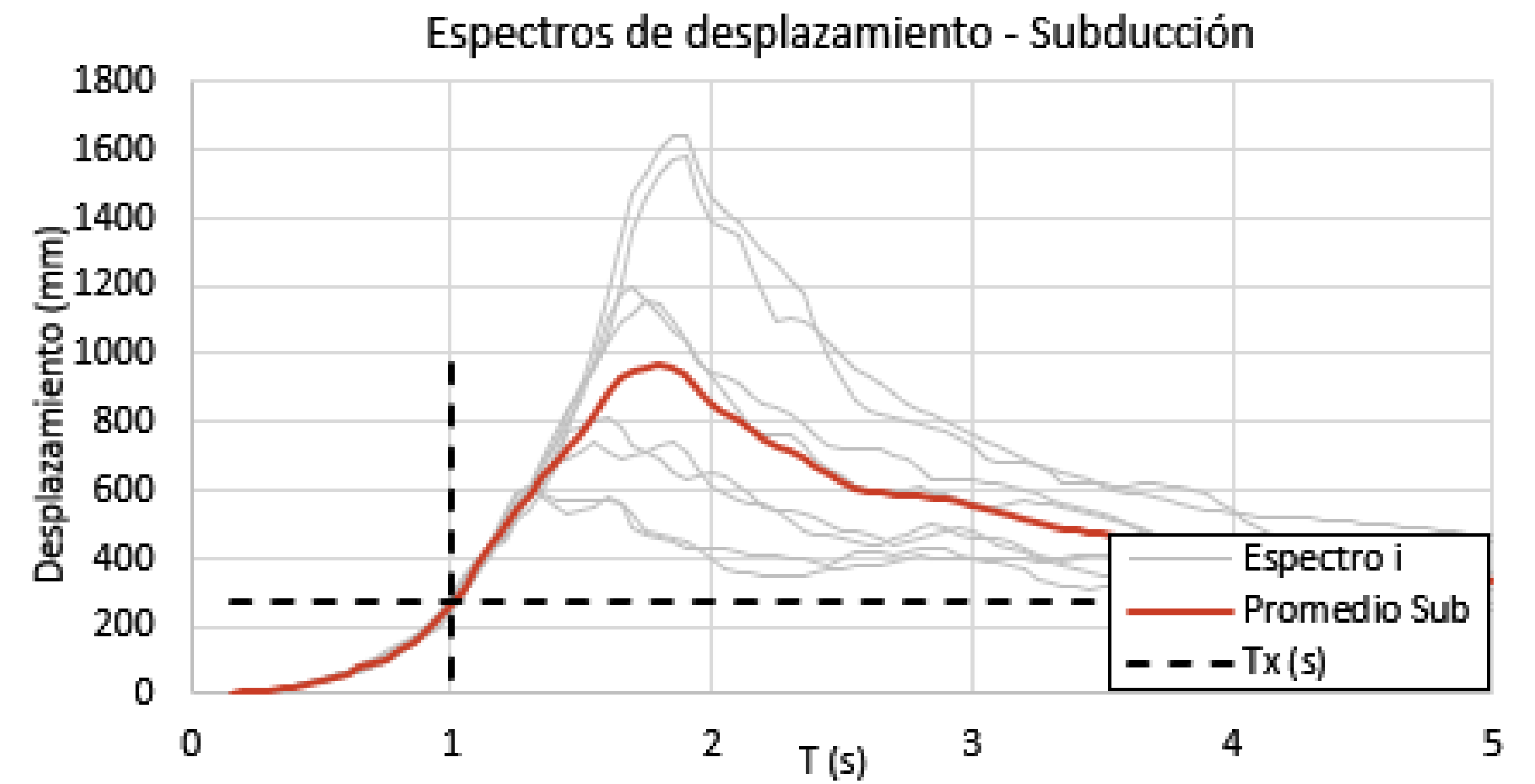
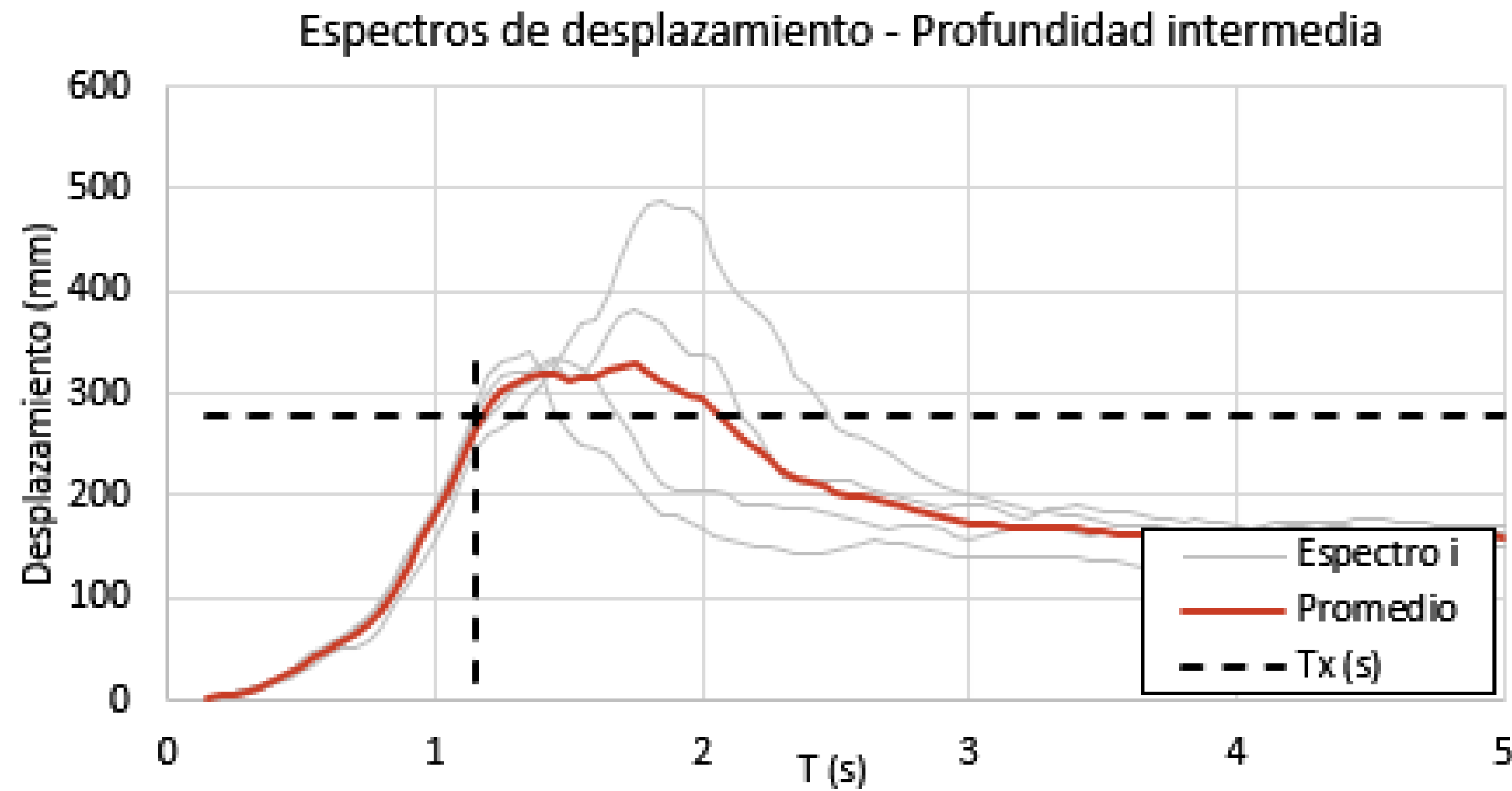


Espectros de respuesta a ductilidad constante





Espectros de respuesta a ductilidad constante con rigidez post-fluencia





Modelado de BRB

General

Link Property Name: P-Delta Parameters:

Link Type: Acceptance Criteria:

Link Property Notes: None specified

Total Mass and Weight

Mass: kg Rotational Inertia 1: tonf-m-s²

Weight: tonf Rotational Inertia 2: tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor:

E Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name:

Direction:

Type:

NonLinear:

Linear Properties

Effective Stiffness: tonf/mm

Effective Damping: tonf-s/mm

Nonlinear Properties

Stiffness: tonf/mm

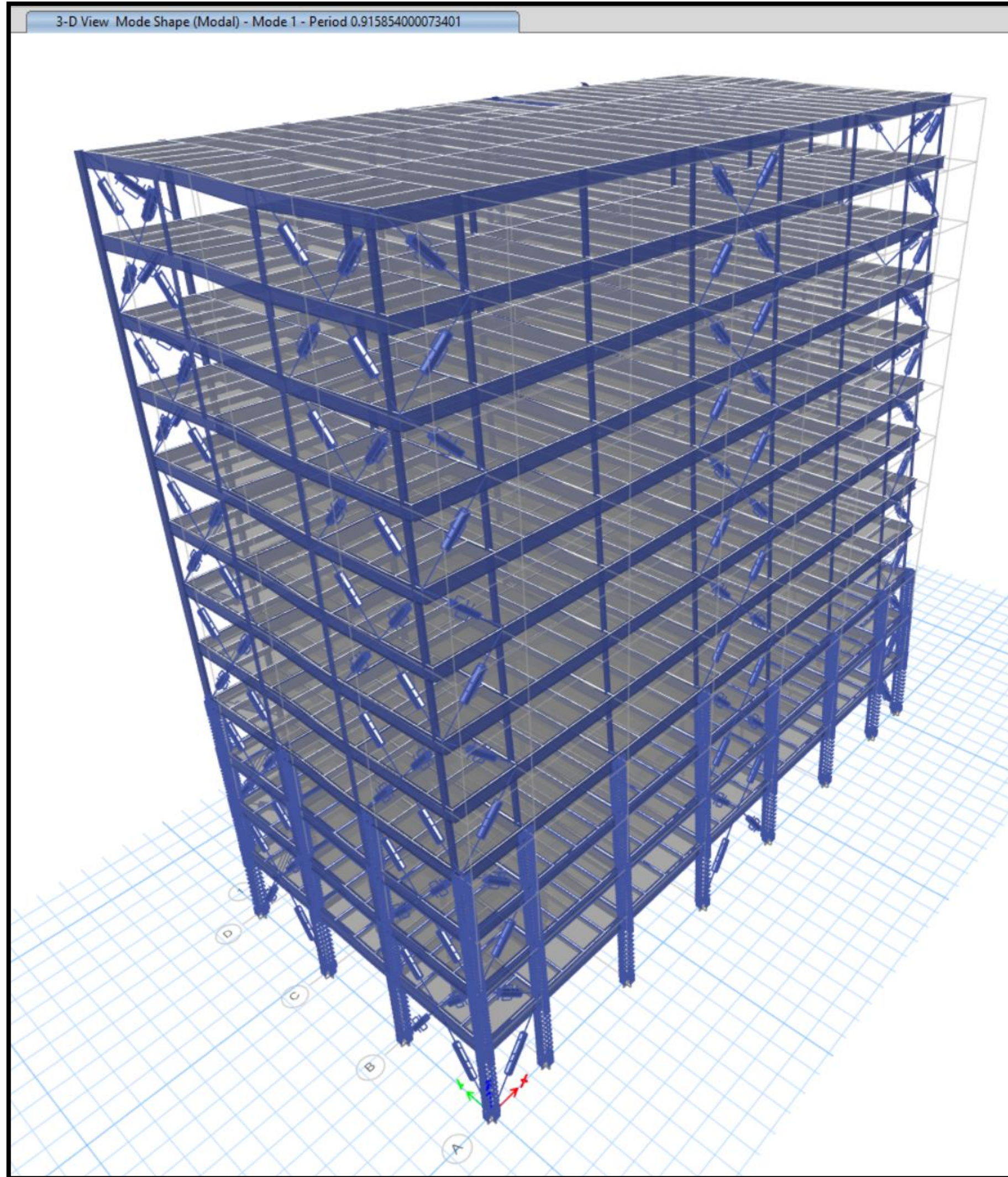
Yield Strength: tonf

Post Yield Stiffness Ratio:

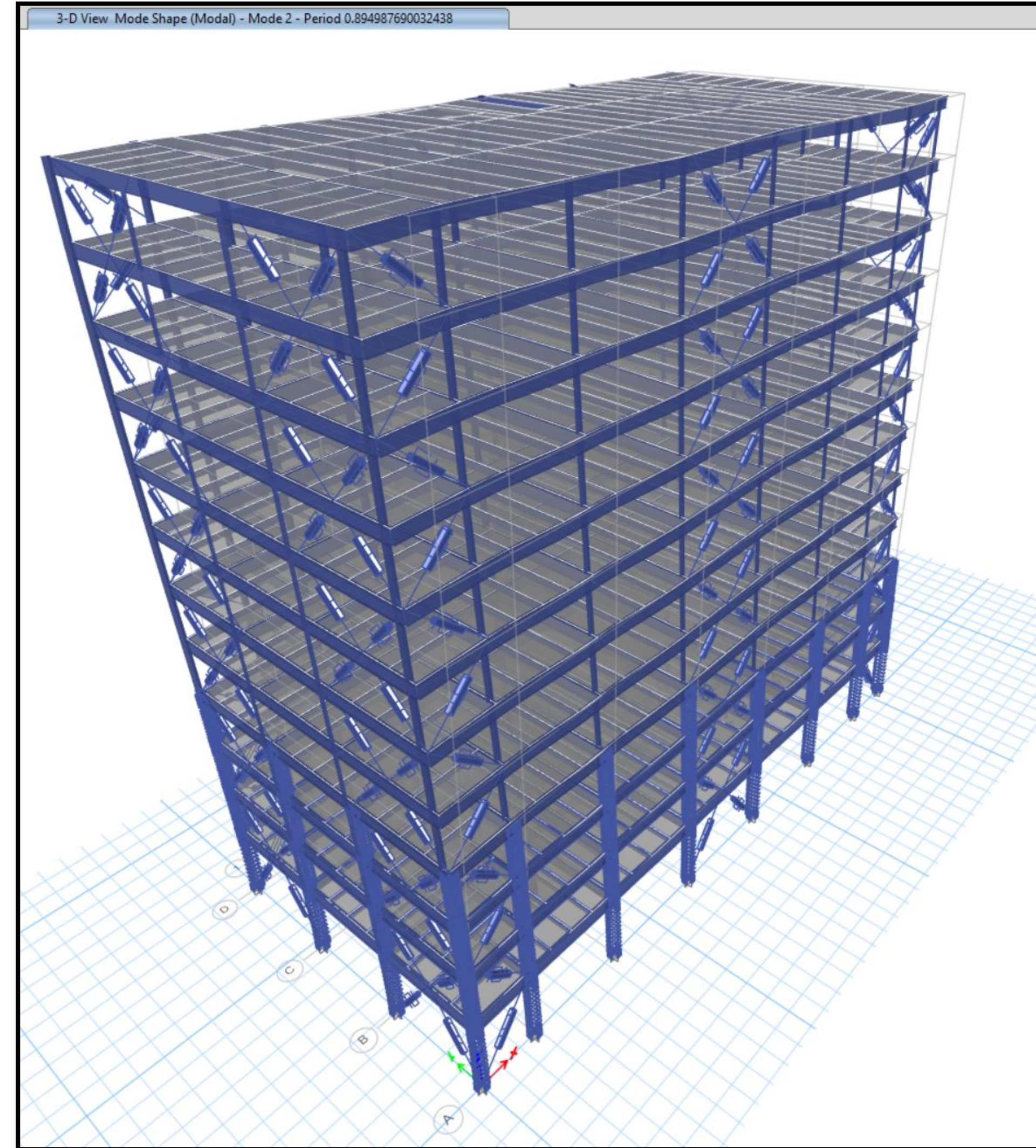
Yielding Exponent:



Modelo numérico



$$T_1 = 0.92 \text{ s}$$



$$T_2 = 0.89 \text{ s}$$



DAMPO



@Damposystems



www.dampo.com.mx

¡Gracias!

**Engineering,
technology
& infrastructure.**



ernesto.garcia@dampo.com.mx



55-29-55-57-59