



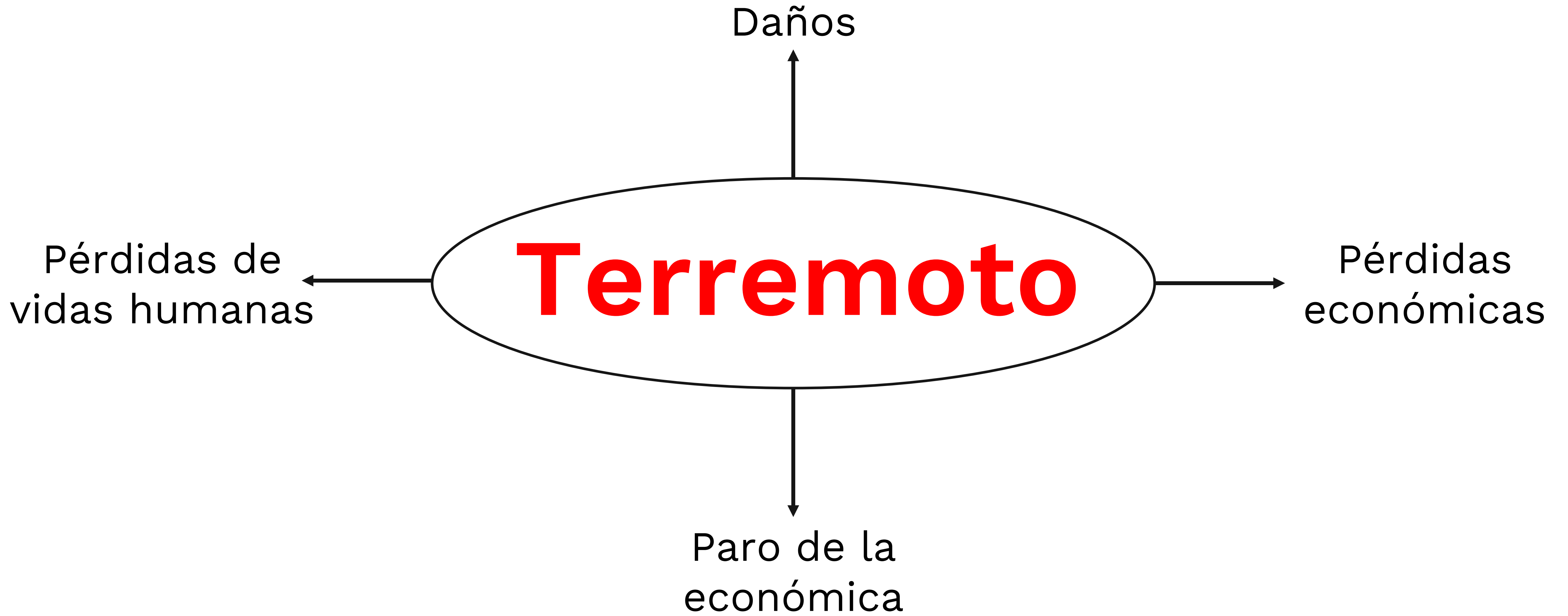
De la resiliencia sísmica a la viabilidad económica

Fernando Cueto Jiménez

2017-09-19 13:19:24

escaleras







¿Hemos avanzado en seguridad estructural?

1957



1985



2017



Archivo de la nación, 1957



¿Hemos avanzado en seguridad estructural?

1957



1985



2017



Forbes, 1985



¿Hemos avanzado en seguridad estructural?

1957



1985



2017



60 años de diferencia



Hipertextual, 2017

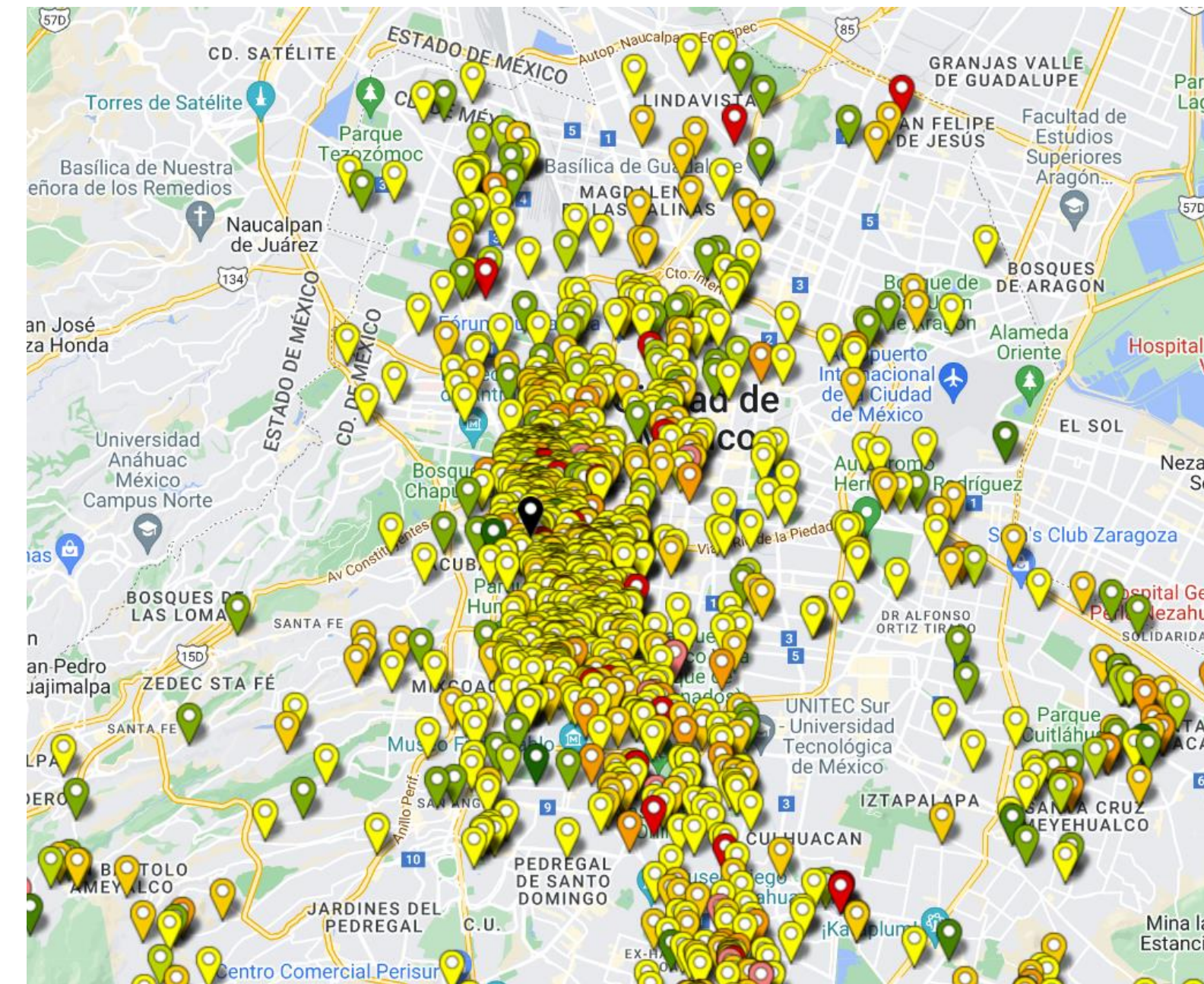
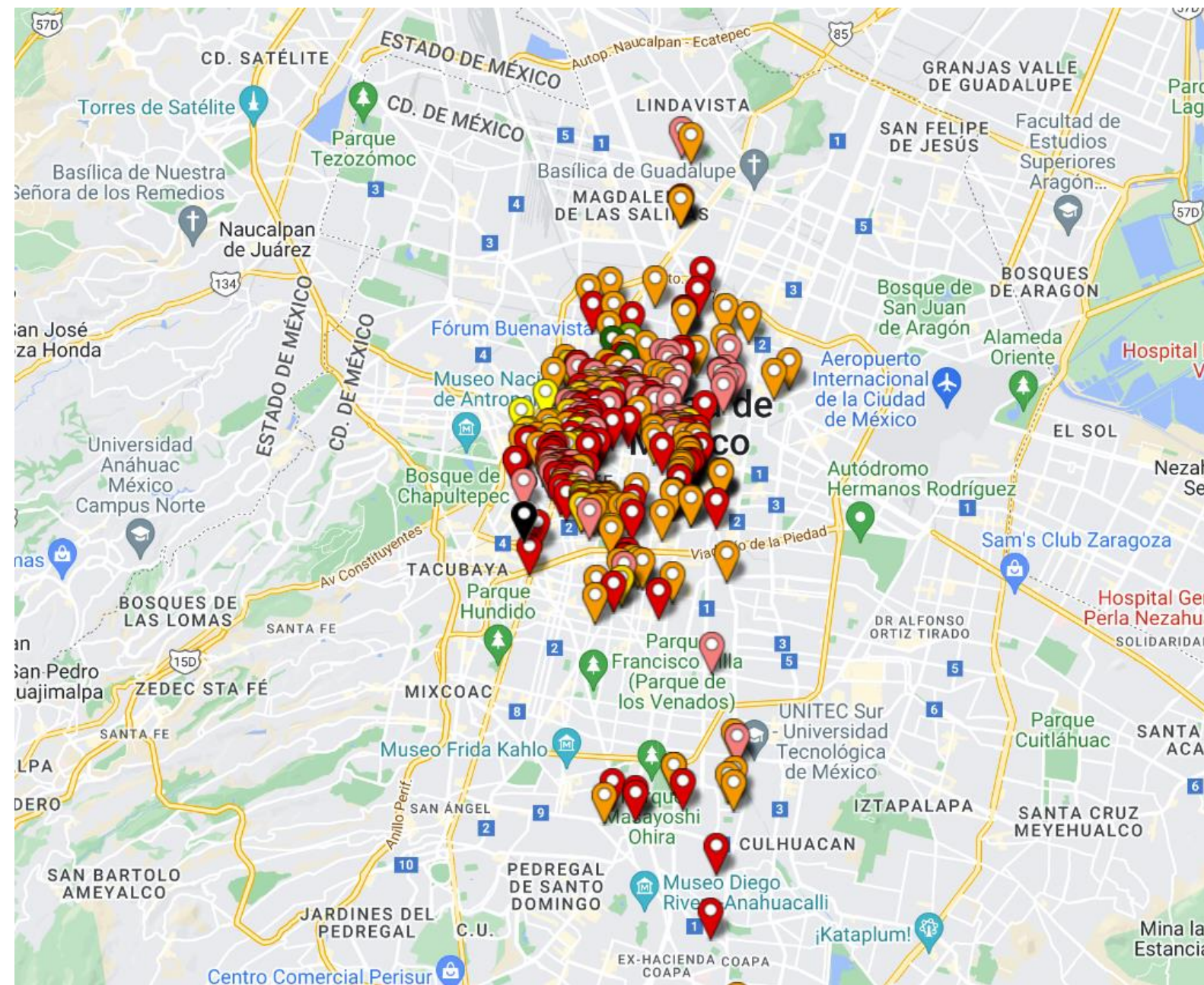
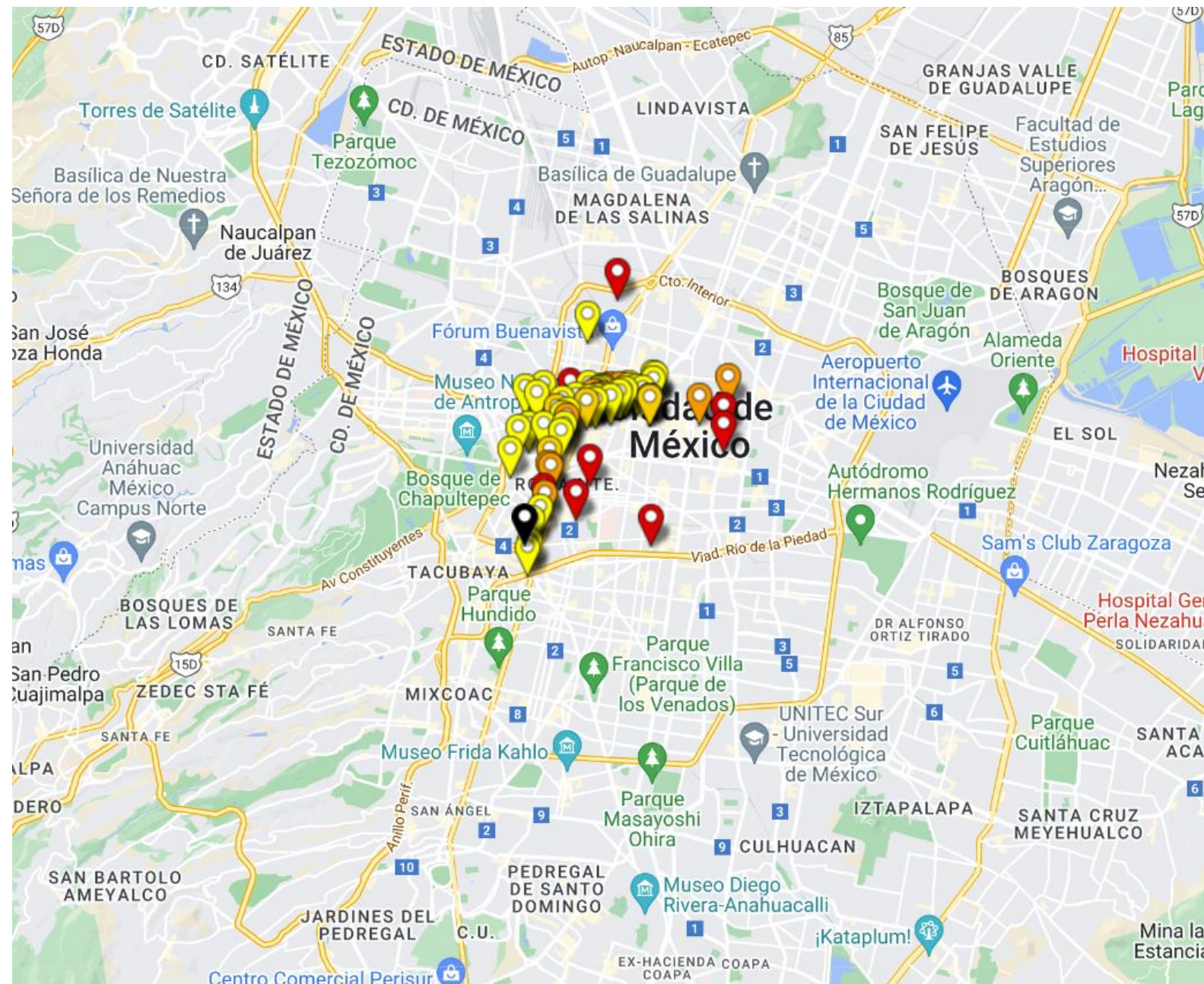


Daños en edificios por sismos (ERN, 2022)

1957

1985

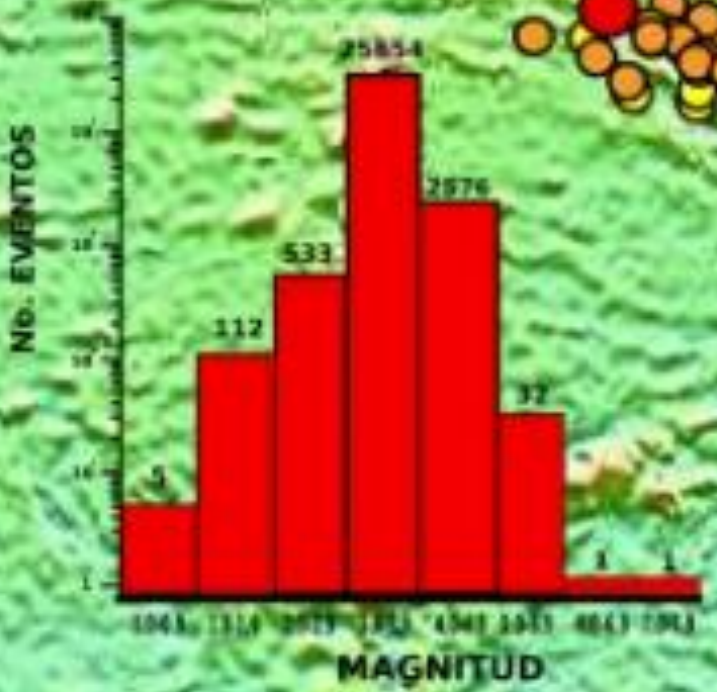
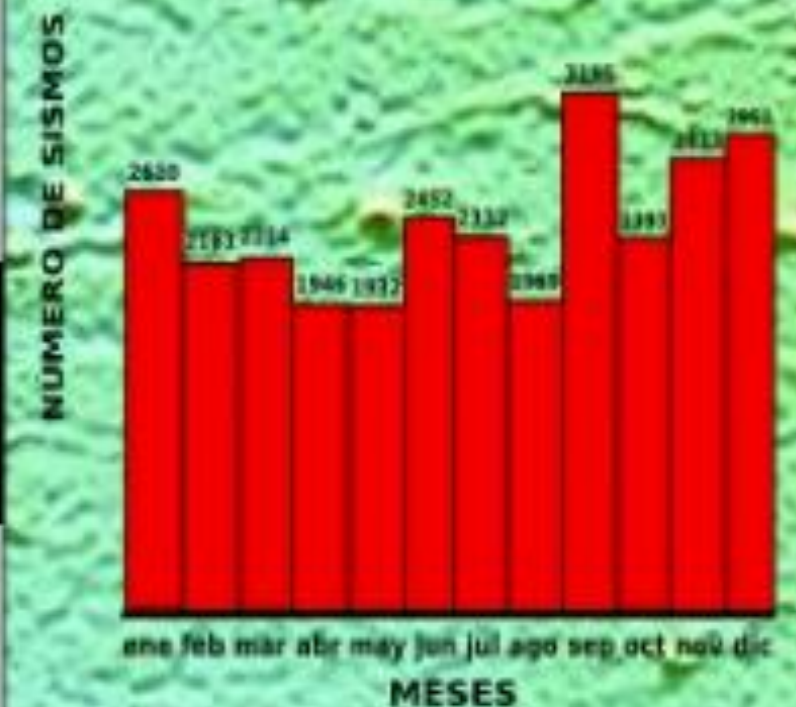
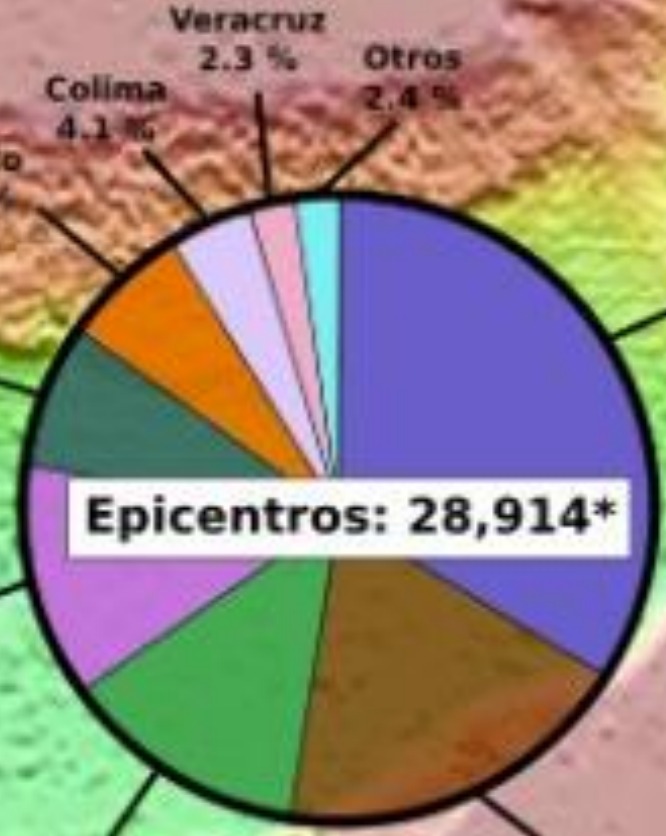
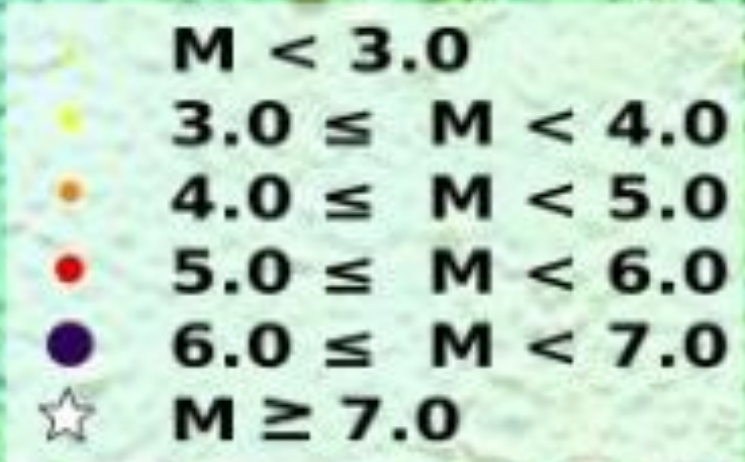
2017



Daño en Estructuras

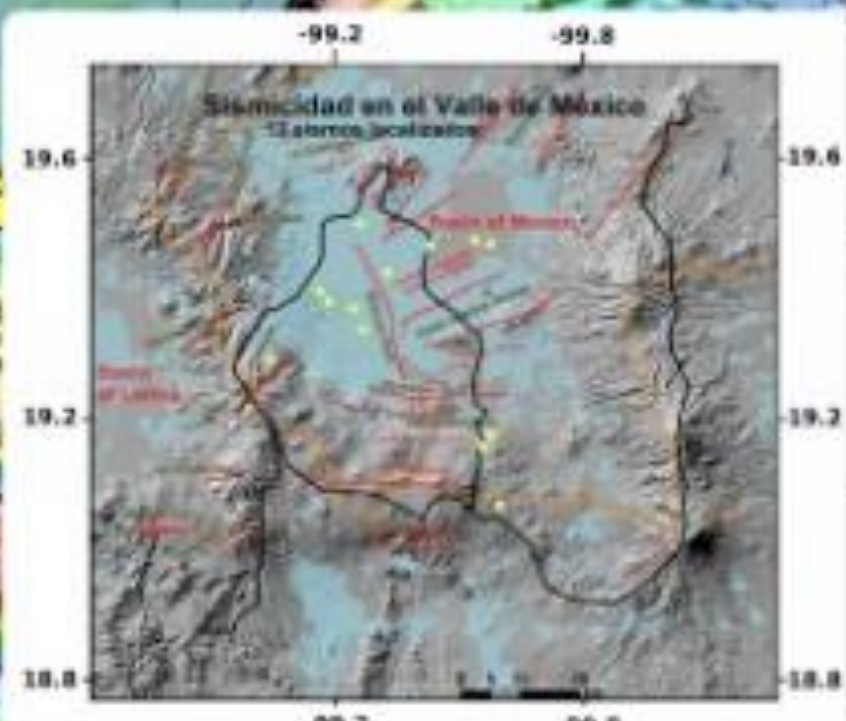
- Adobe
- Barda
- Estructuras antiguas
- Estructuras débiles y sin ingeniería
- Grietas en acabados y elementos no estructurales
- Grietas pequeñas en muros, trabes o columnas
- Grietas grandes en muros, trabes o columnas
- Colapso de pisos superiores
- Colapso de planta baja o de toda la estructura

Este mapa ha sido generado con Generic Mapping Tools (Wessel & Smith, 1991).
Topografía y batimetría: Sandwell & Smith (1997).

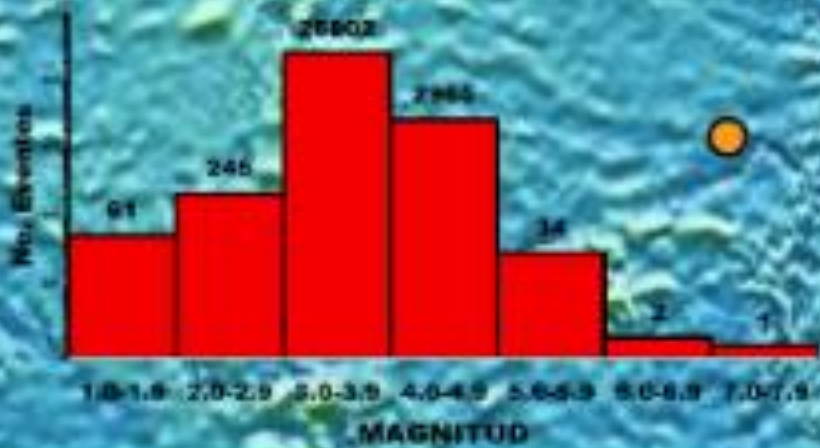
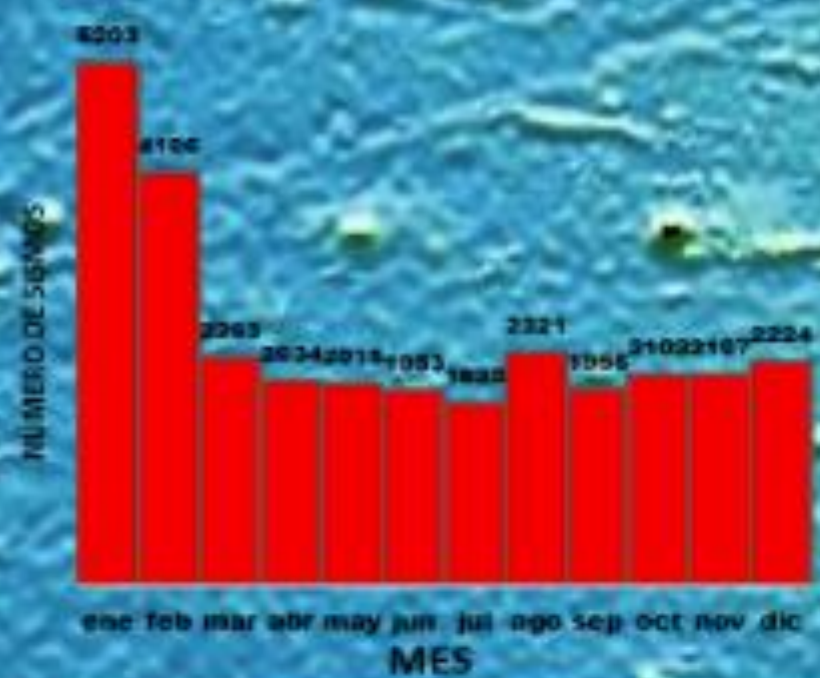
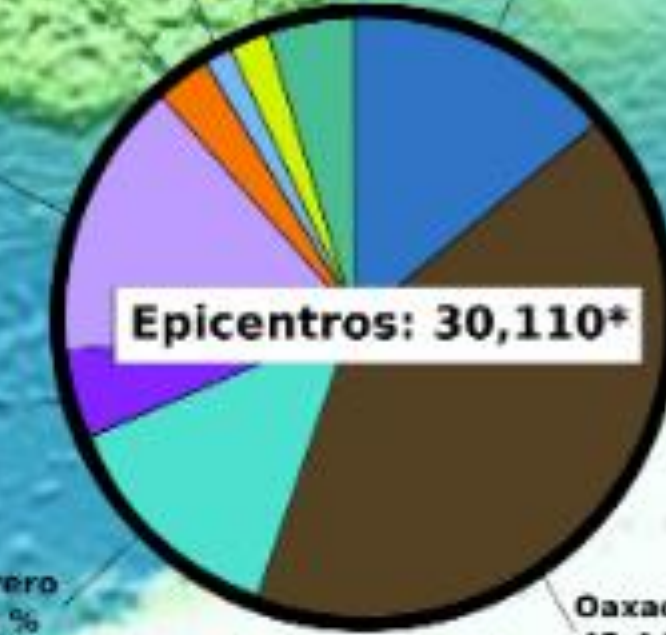
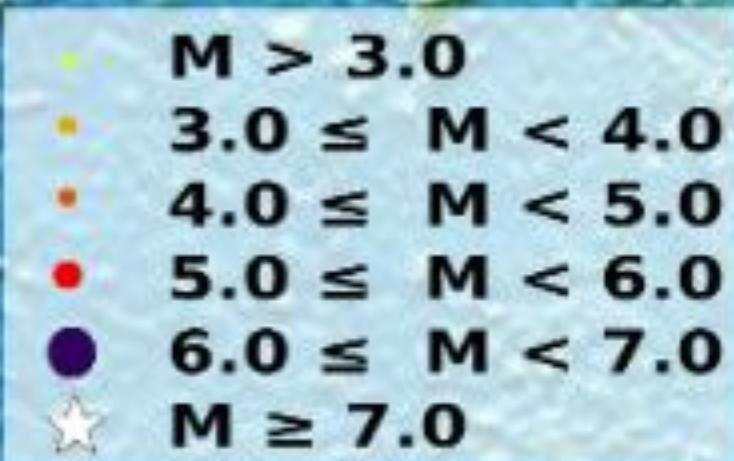
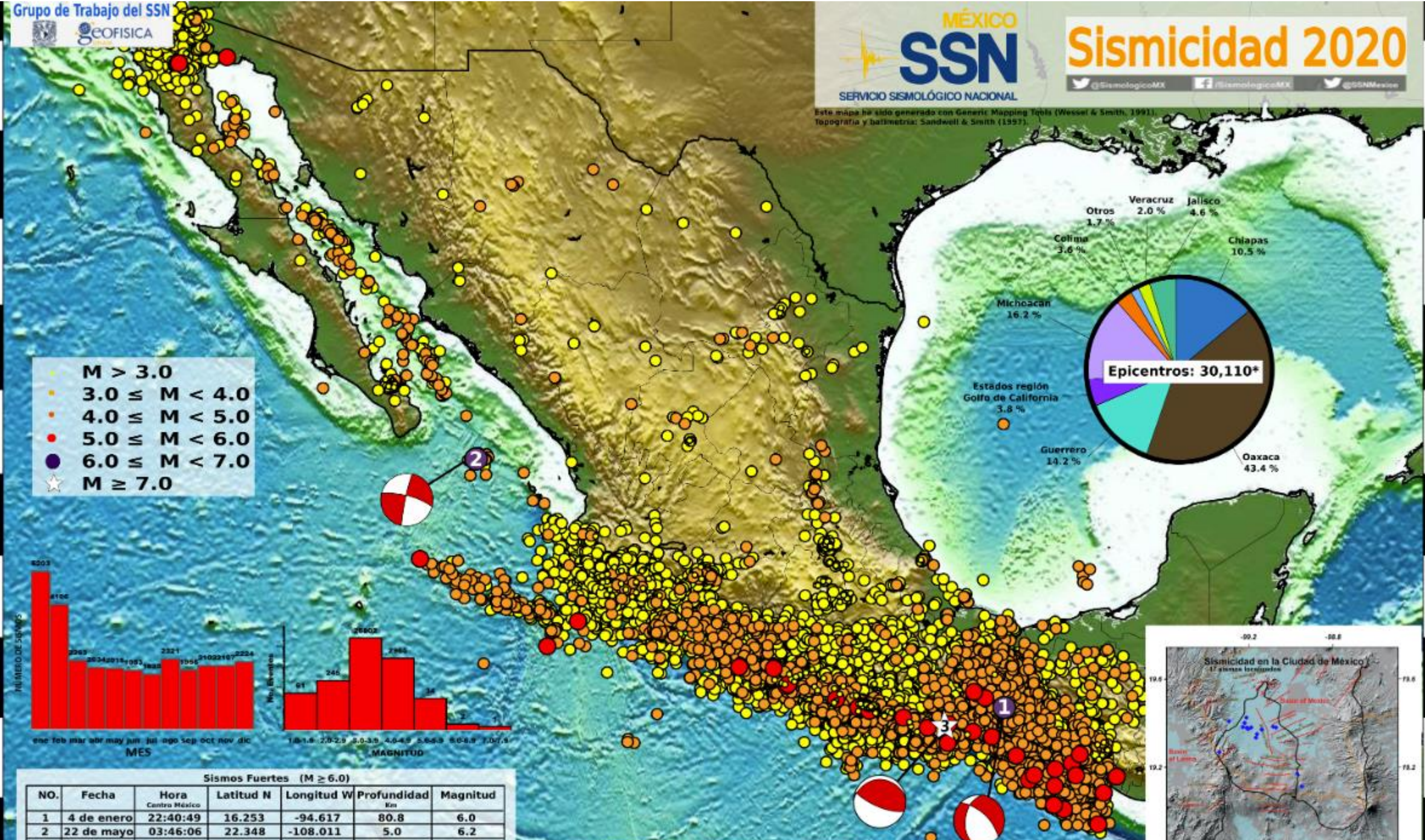


No.	Fecha	Hora (Centro de México)	Latitud N	Longitud W	Profundidad (km)	Magnitud
1	7 de septiembre	20:47:46	16.755	-99.953	15	7.1
2	22 de diciembre	17:22:57	18.710	-107.160	10	6.0

*Hasta el día de publicación (06-01-2022) en la página www.ssn.unam.mx se reportan 28,914 localizaciones durante el año 2021. Sin embargo, puede presentar ligeras variaciones debido a una revisión que está en progreso. Compilo Víctor H. Espindola Castro y Daniel González Avila.

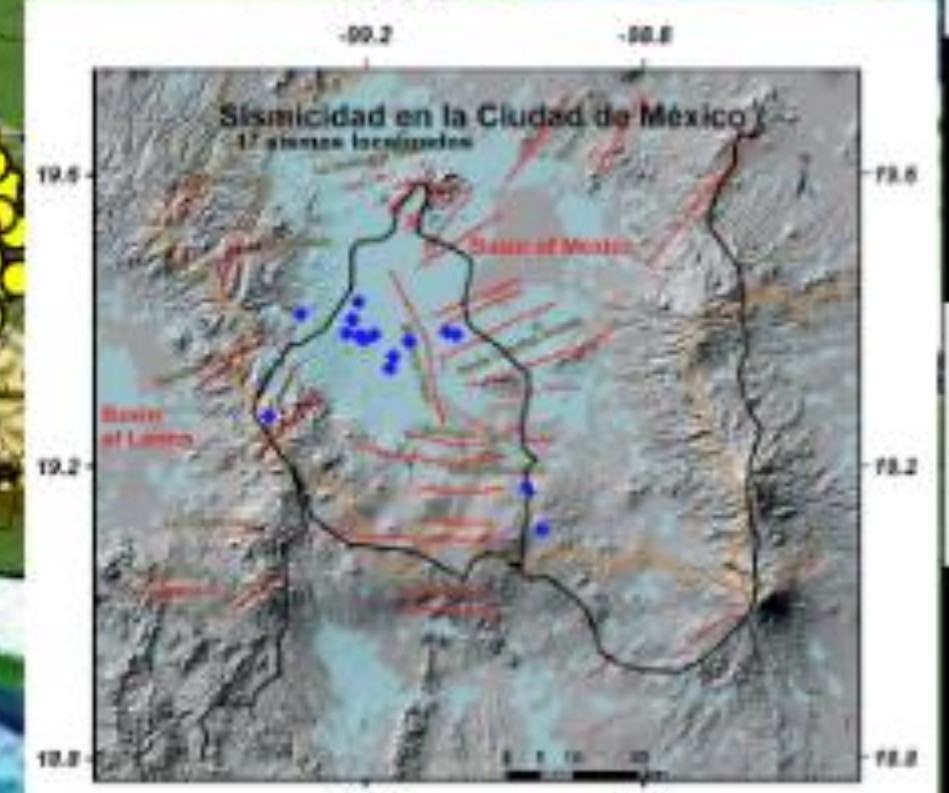


Este mapa ha sido generado con Generic Mapping Tools (Wessel & Smith, 1991).
Topografía y batimetría: Sandwell & Smith (1997).



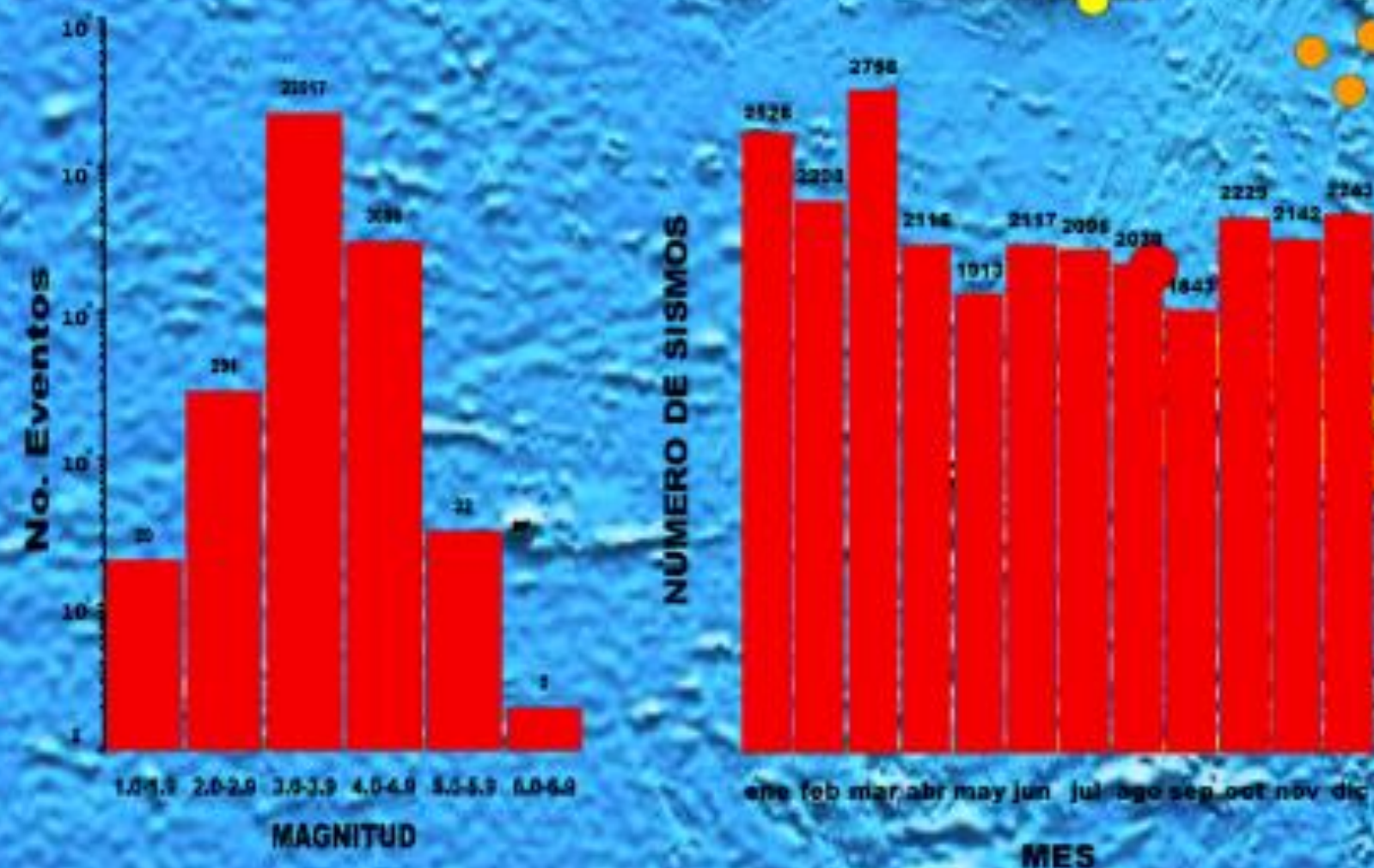
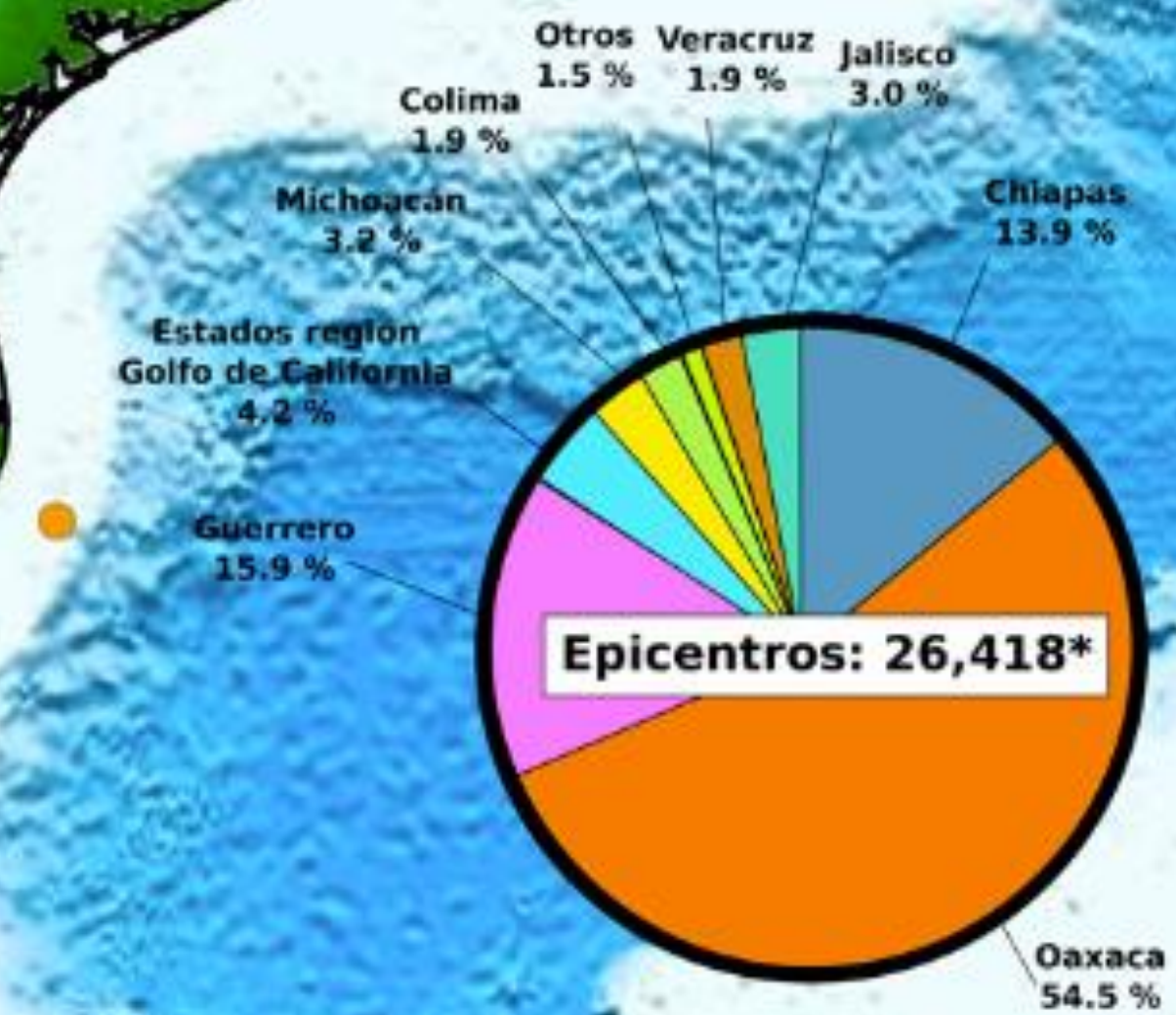
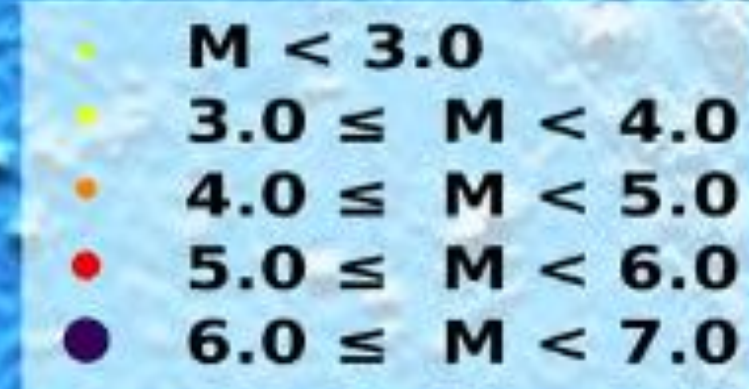
Sismos Fuertes ($M \geq 6.0$)

NO.	Fecha	Hora Centro México	Latitud N	Longitud W	Profundidad Km	Magnitud
1	4 de enero	22:40:49	16.253	-94.617	80.8	6.0
2	22 de mayo	03:46:06	22.348	-108.011	5.0	6.2
3	23 de junio	10:29:03	15.803	-96.134	22.8	7.4



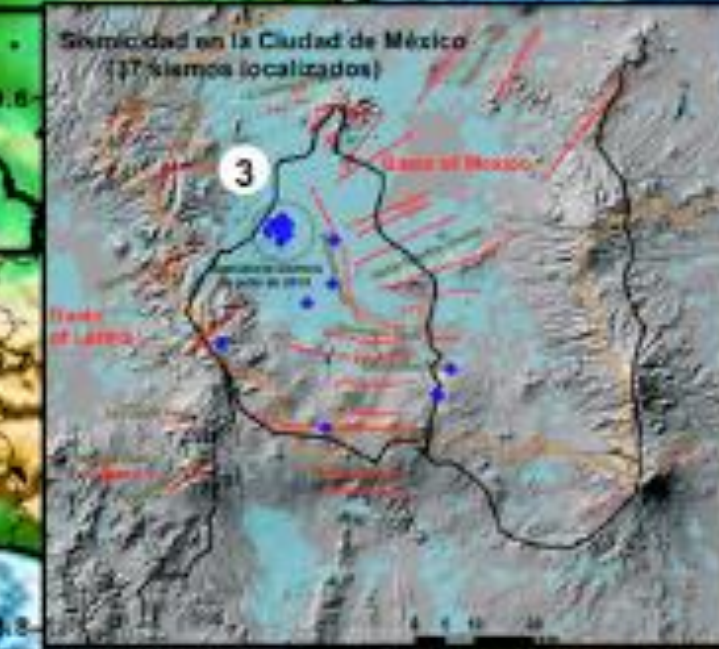
* En la página www.ssn.unam.mx se reportaron 30,110 localizaciones durante 2020. Los datos aquí reportados corresponden a una revisión posterior por parte del grupo de análisis.

Este mapa ha sido generado con Generic Mapping Tools (Wessel & Smith, 1991).
Topografía y batimetría: Sandwell & Smith (1997).



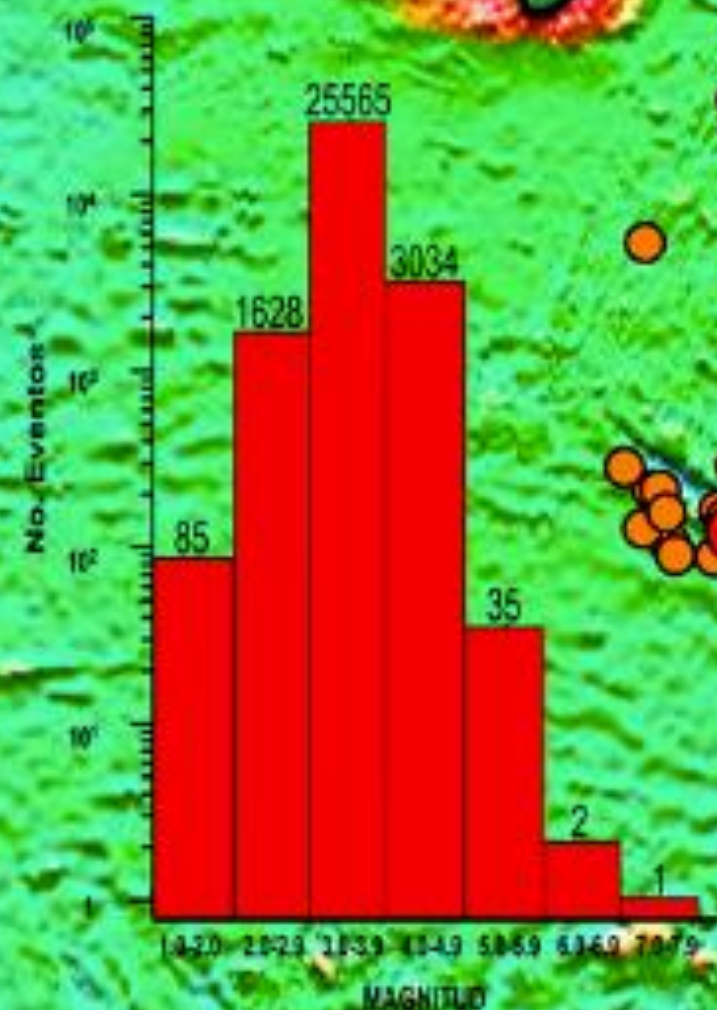
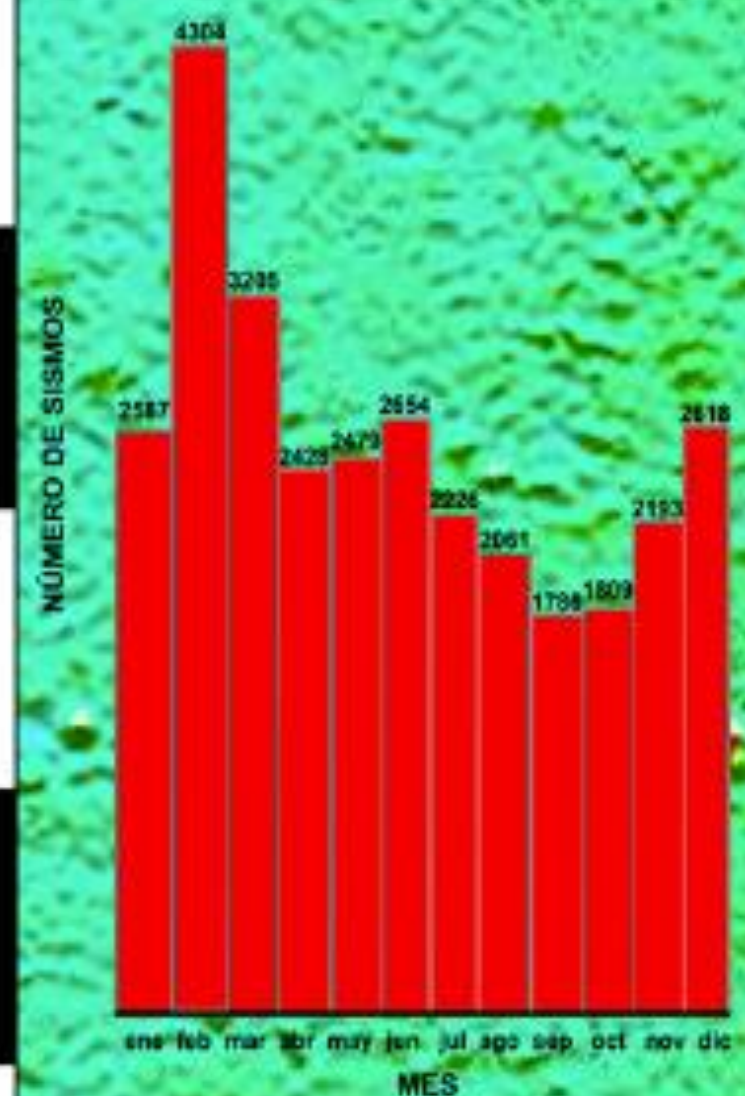
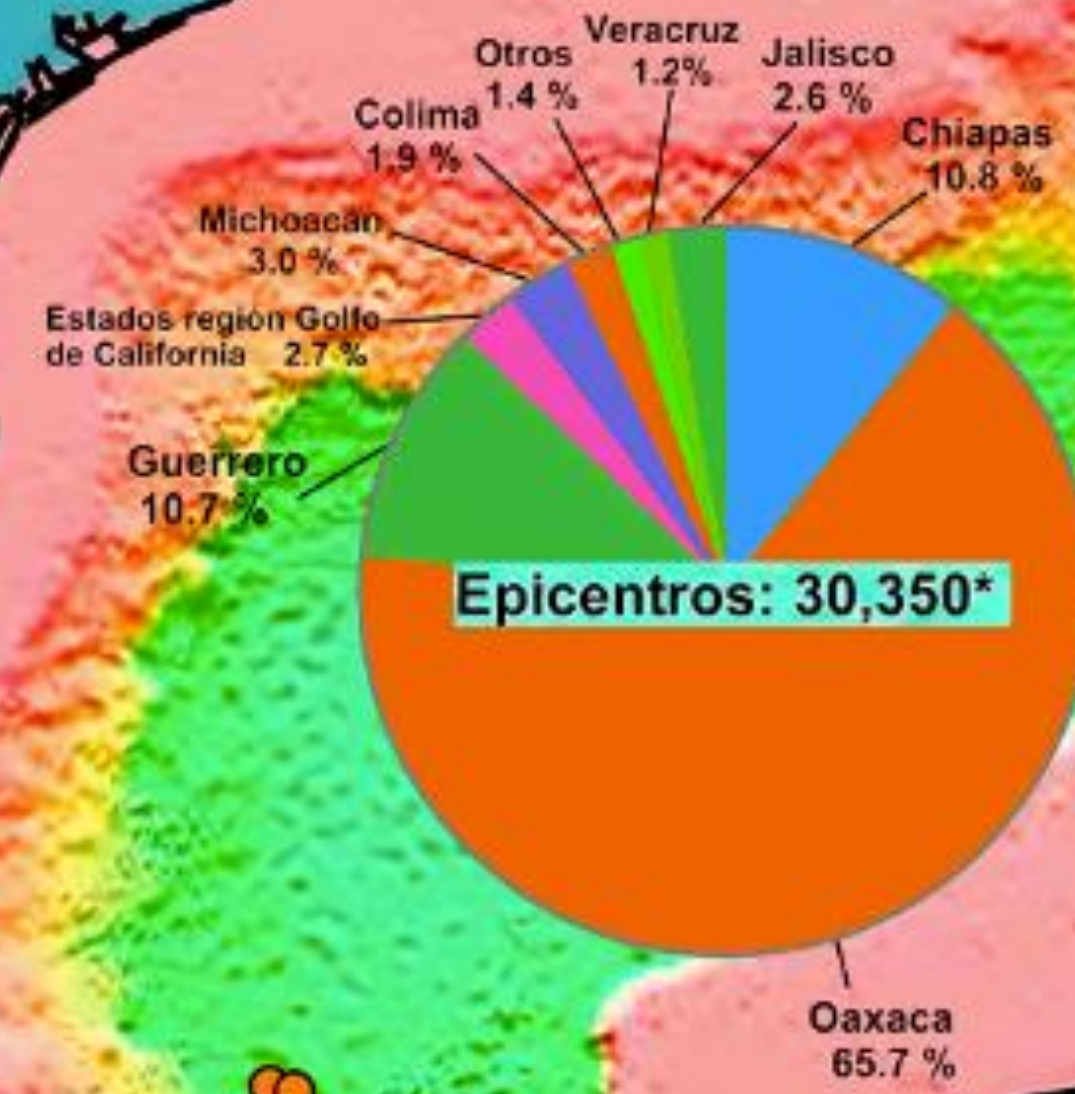
SISMICIDAD NOTABLE

	Fecha	Hora (Centro de México)	Lon. W	Lat. N	Prof.	Mag.
1	01 feb	10:14:12	92.481	14.582	76.2	6.5
2	19 nov	22:27:06	93.350	13.760	9.0	6.4
3	Secuencia sísmica en el mes de julio al NW de la Ciudad de México					



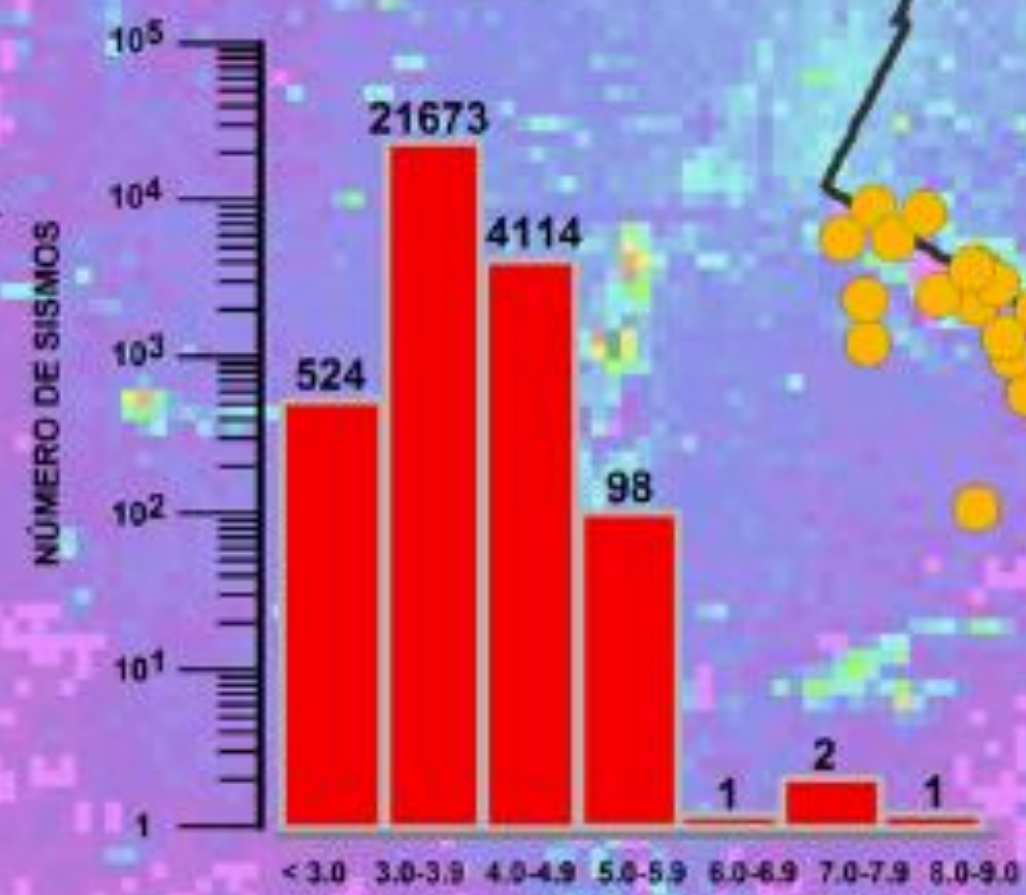
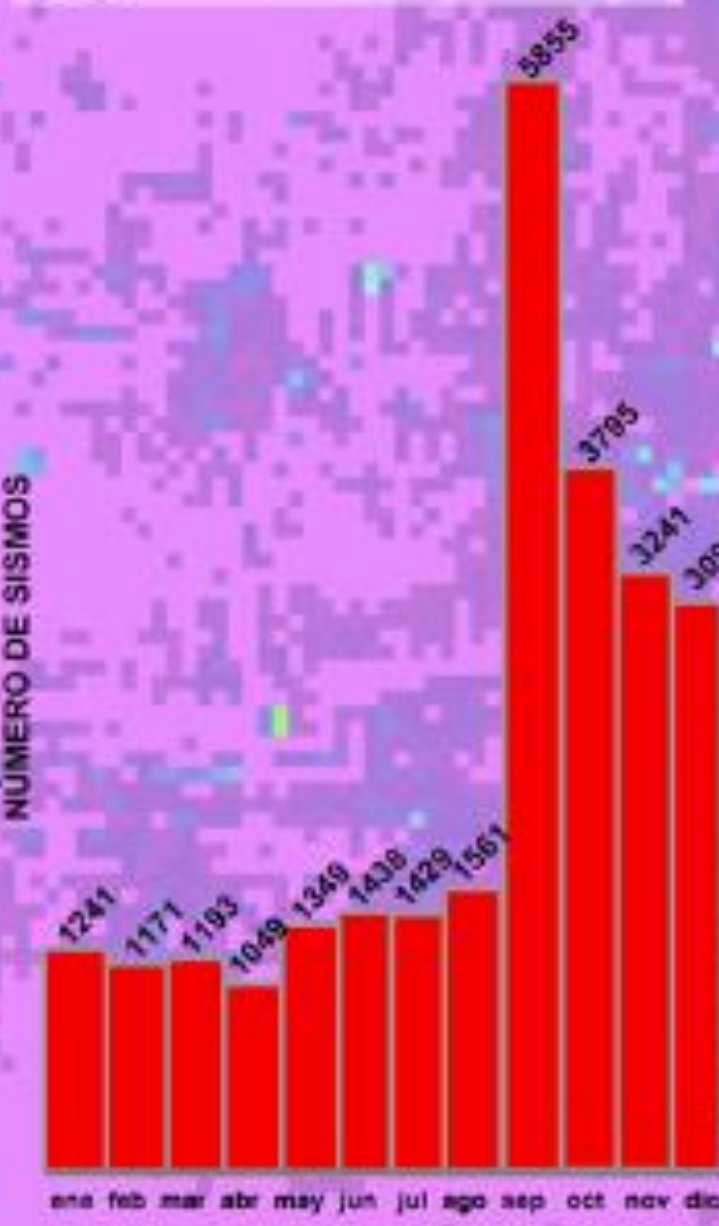
* En la página www.ssn.unam.mx se reportaron 26,418 localizaciones durante 2019. Los datos aquí reportados corresponden a una revisión posterior por parte del grupo de análisis.

Este mapa ha sido generado con Generic Mapping Tools (Wessel & Smith, 1991).
Topografía y batimetría: Sandwell & Smith (1997).

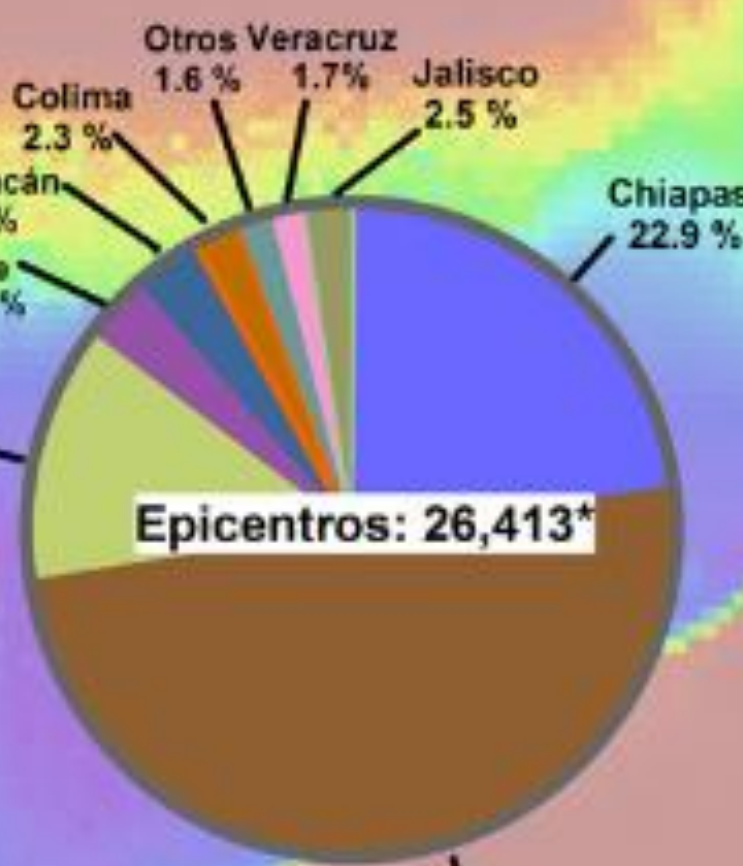


#	Fecha	Hora <small>[Centro de México]</small>	Lat N	Long W	Pf <small>[km]</small>	Mag
1	19-01	10:17:45	26.667	111.079	16.1	6.3
2	16-02	17:39:39	16.218	98.013	16.0	7.2
3	19-02	00:56:58	16.247	97.775	10.2	6.0

* En la página www.ssn.unam.mx se reportaron 30,196 localizaciones durante 2018. Los datos aquí reportados corresponden a una revisión posterior por parte del grupo de análisis.



No.	FECHA	Ho. (CM)	LATITUD N	LONGITUD W	PROF.	MAG
1	14 jun	02:29:05	14.728	92.317	107	7.0
2	07 sep	23:49:17	14.761	94.103	46	8.2
3	19 sep	13:14:41	18.335	98.676	39	7.1
4	23 sep	07:53:04	16.496	95.146	11	6.1



*En la página www.ssn.unam.mx.mx se reportaron 26123 localizaciones preliminares durante 2017. Como consecuencia de revisión por parte de los analistas, se reportan aquí 26413 sismos. ETOPO1: doi:10.7289/V5C8276M



¿Seguirá temblando? (SSN, 2022)

Año	Total	Magnitud			
		0-5.9	6-6.9	7-7.9	8-8.9
2017	26,564	26,560	2	1	1
2018	30,407	30,404	2	1	0
2019	26,442	26,440	2	0	0
2020	30,130	30,127	2	1	0
2021	29,030	29,028	1	1	0
2022	29,548	29,542	5	1	0
Promedio	28,687	28,684	2.3	0.8	0.2

$$\frac{28,687}{(365 \text{ días})(24 \text{ horas})} = 3.27 \text{ cada hora}$$





¿Tenemos avances en los procesos constructivos?



Construcción de Edificio La Nacional (Manuel Ortiz, 1932)

Edificio la Nacional (Fundación Ramos, 1997)



¿Tenemos avances en los procesos constructivos?



Plaza Miyatana (Legorreta, 2017)



Plaza Miyatana (Legorreta, 2019)



¿Tenemos avances en los procesos constructivos?

- Materiales cada vez más caracterizados
- Sistemas estructurales cada vez más estudiados
- Mayor control de calidad en materiales
- Mejor supervisión de obra
- Mejores análisis estructurales



¿Y las demás profesiones?



Intervención quirúrgica 1930 (Esmanteria, 2022)



Intervención quirúrgica 2022 (Teknon, 2022)



¿Y las demás profesiones?



Fábrica de carros en 1960 (Car factory, 2015)



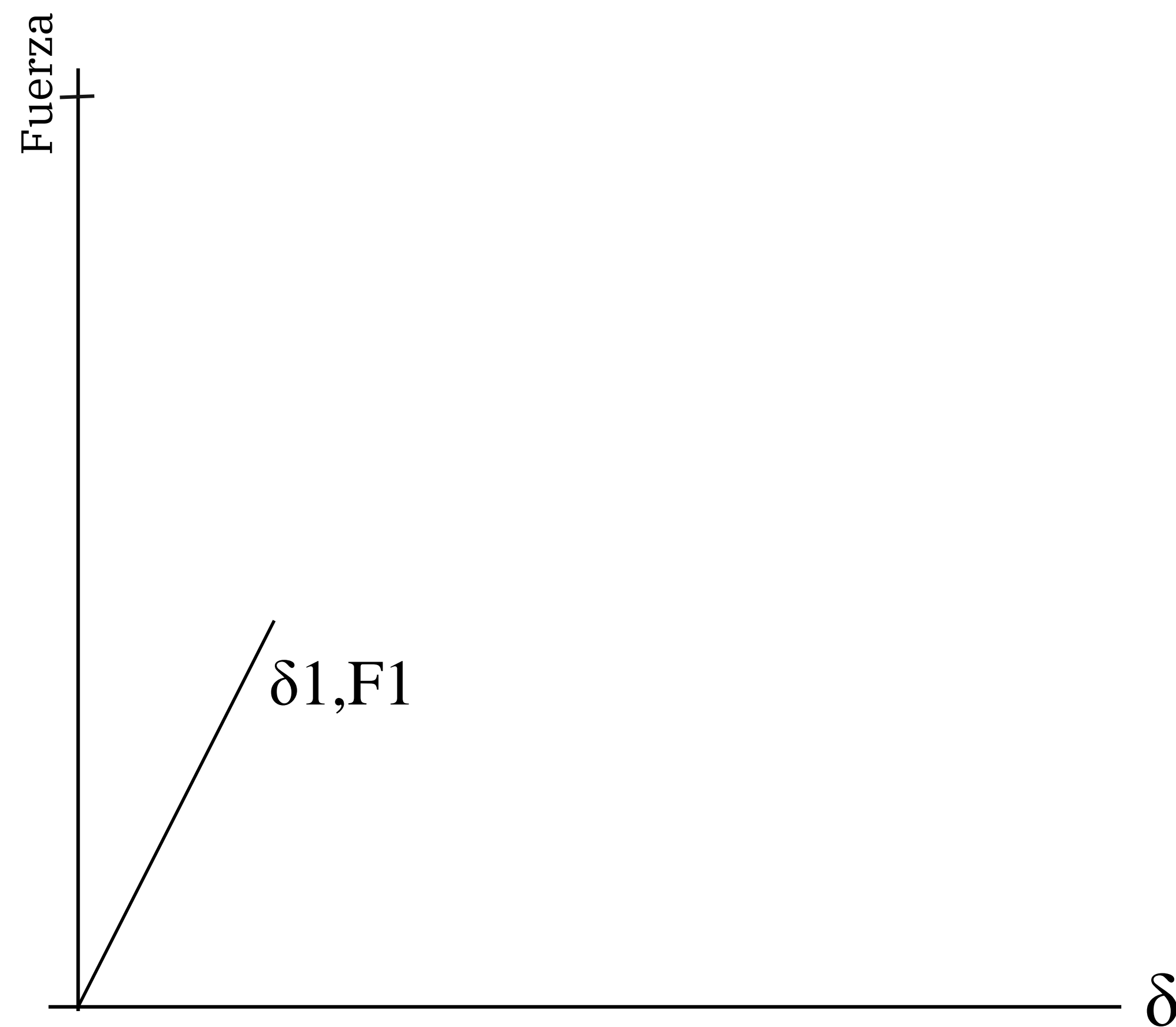
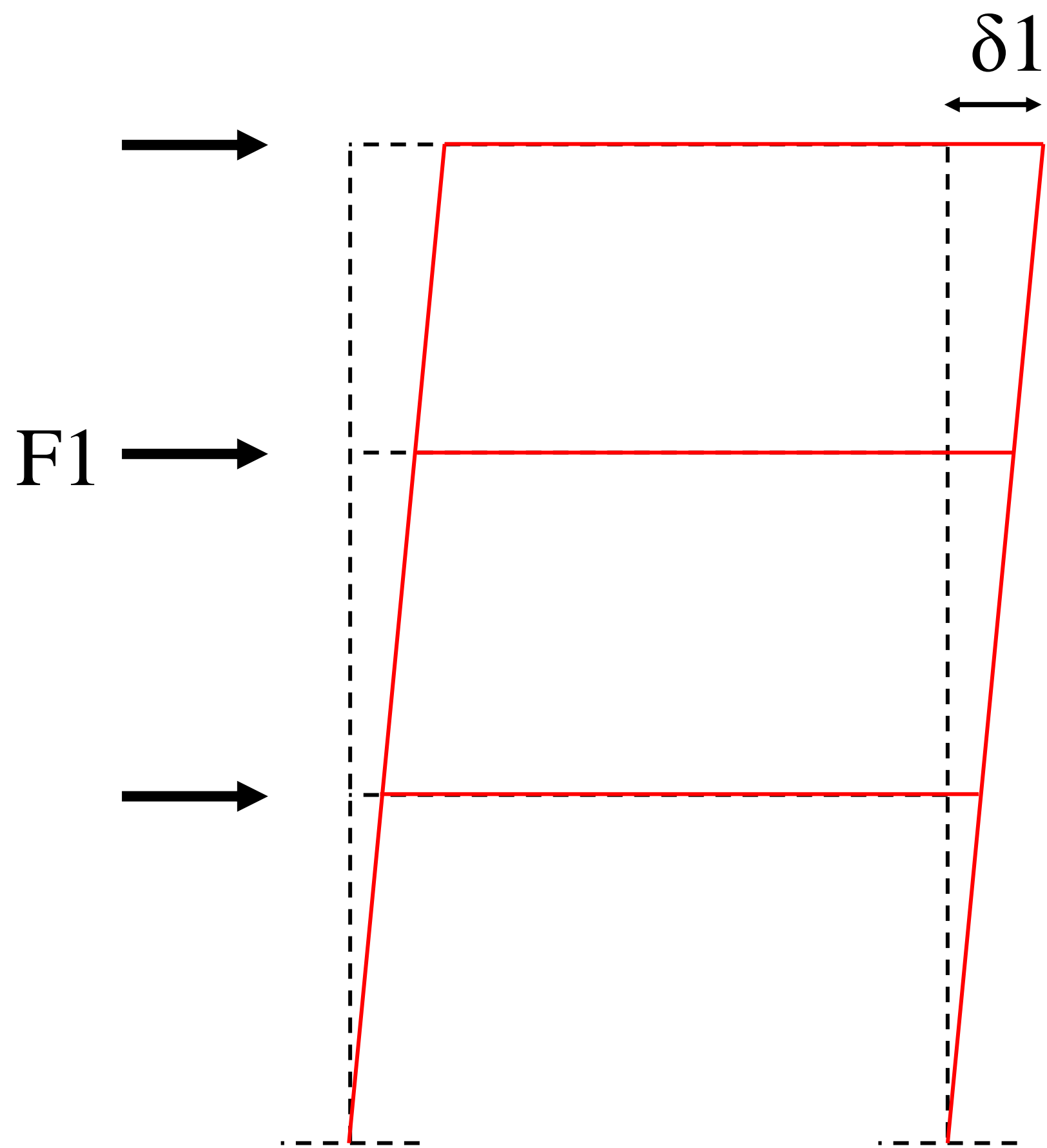
Fábrica de carros en 2022 (INA, 2022)



¿Y nuestro sector?

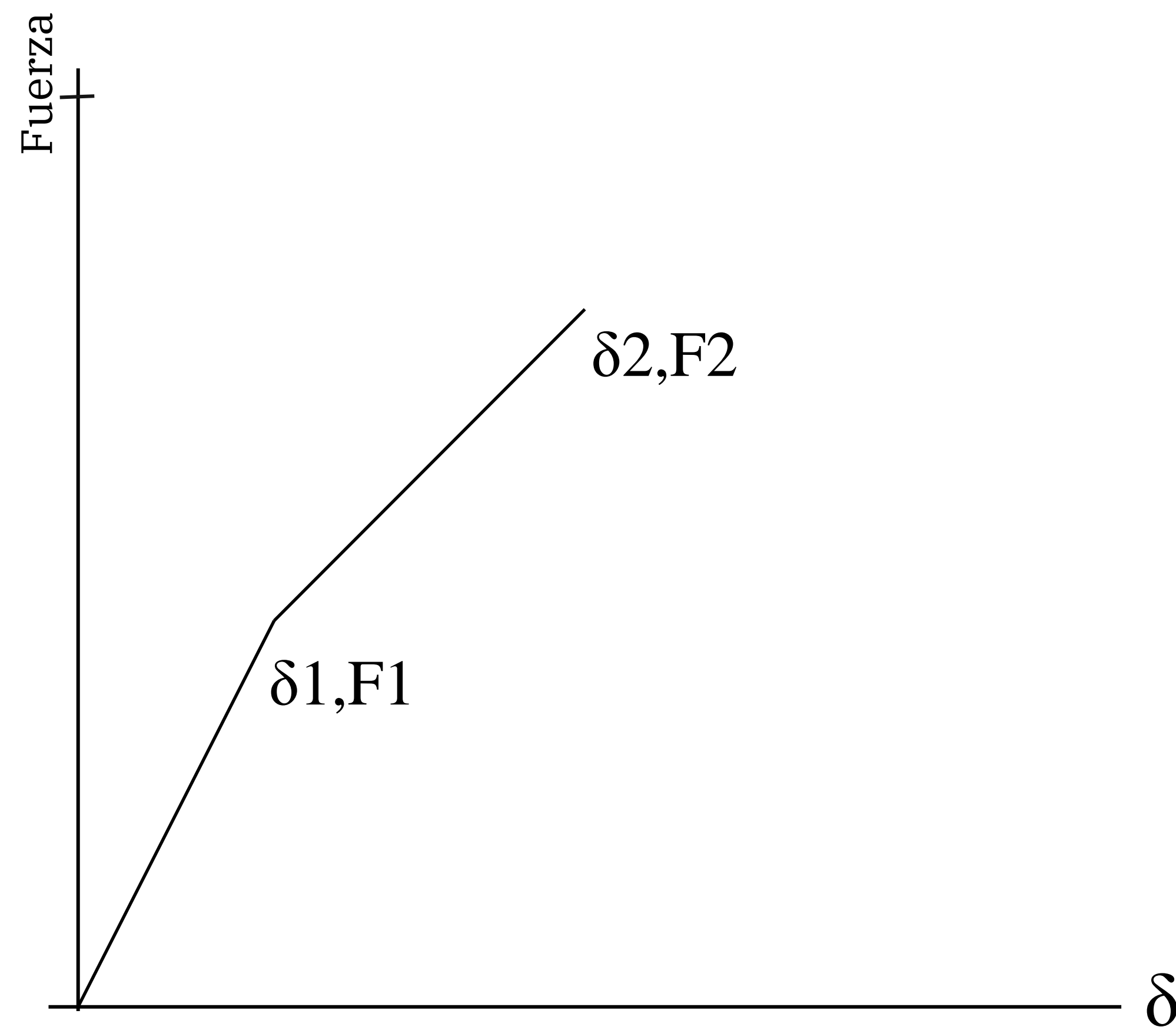
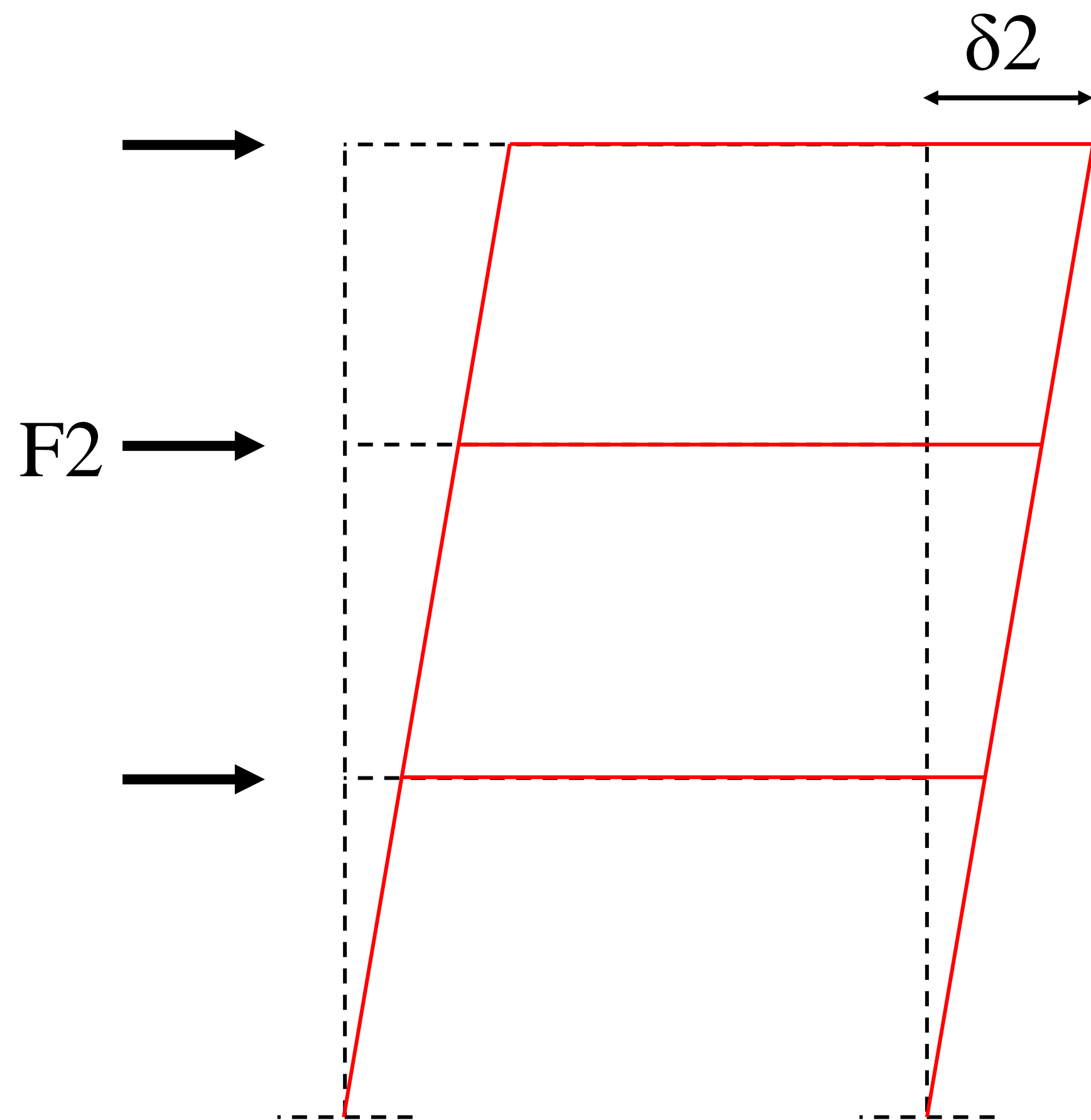


Curva de capacidad



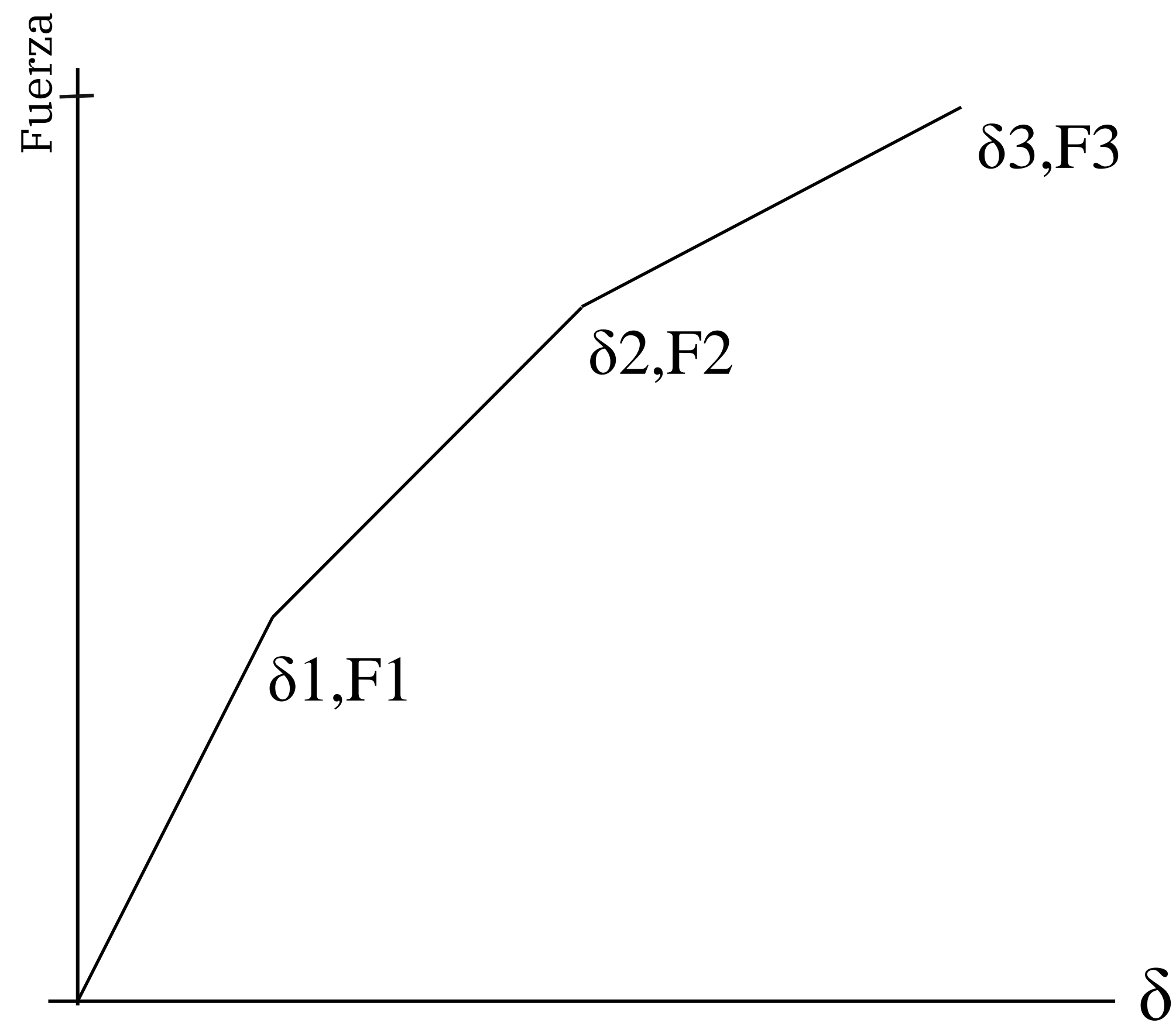
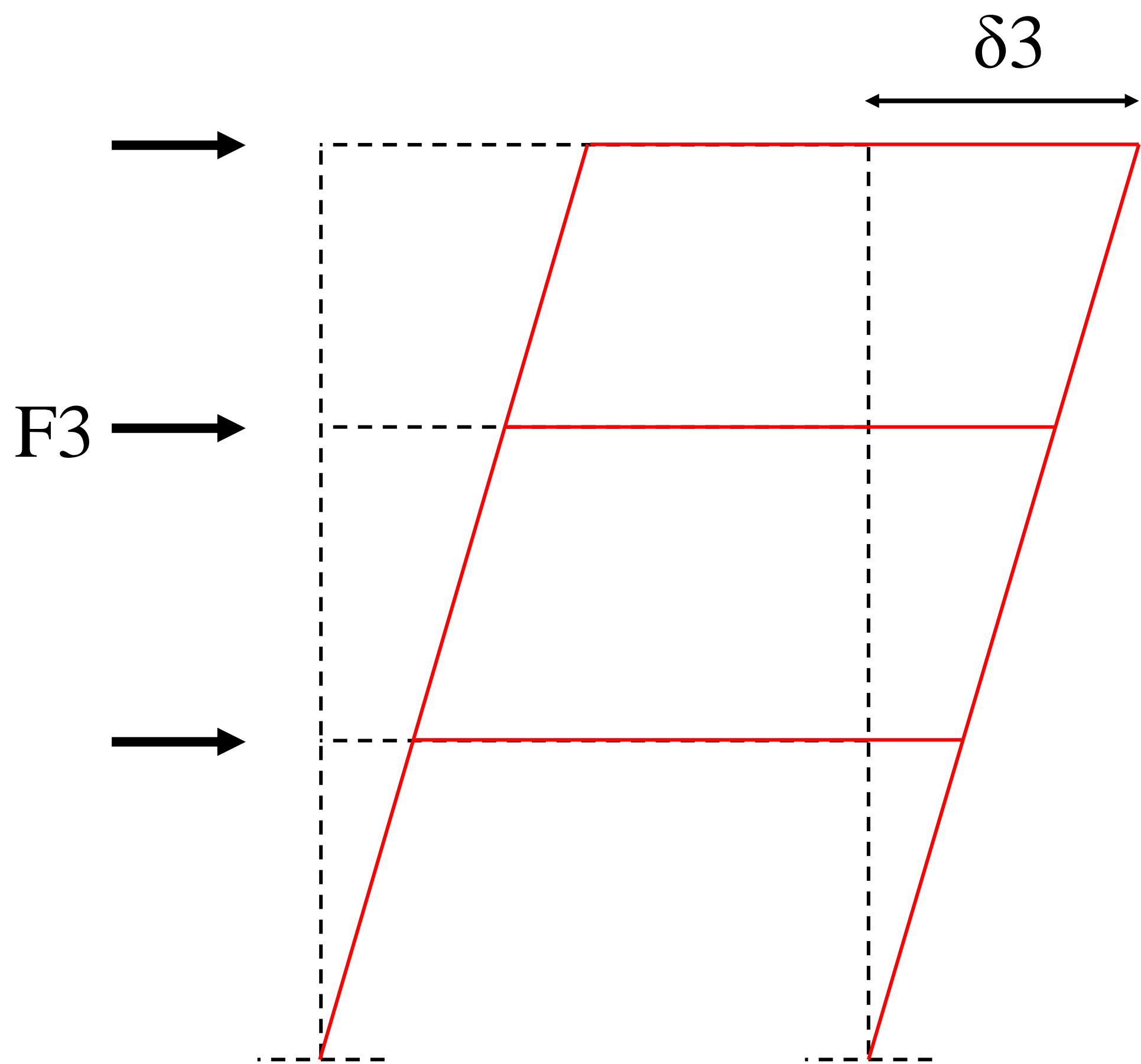


Curva de capacidad



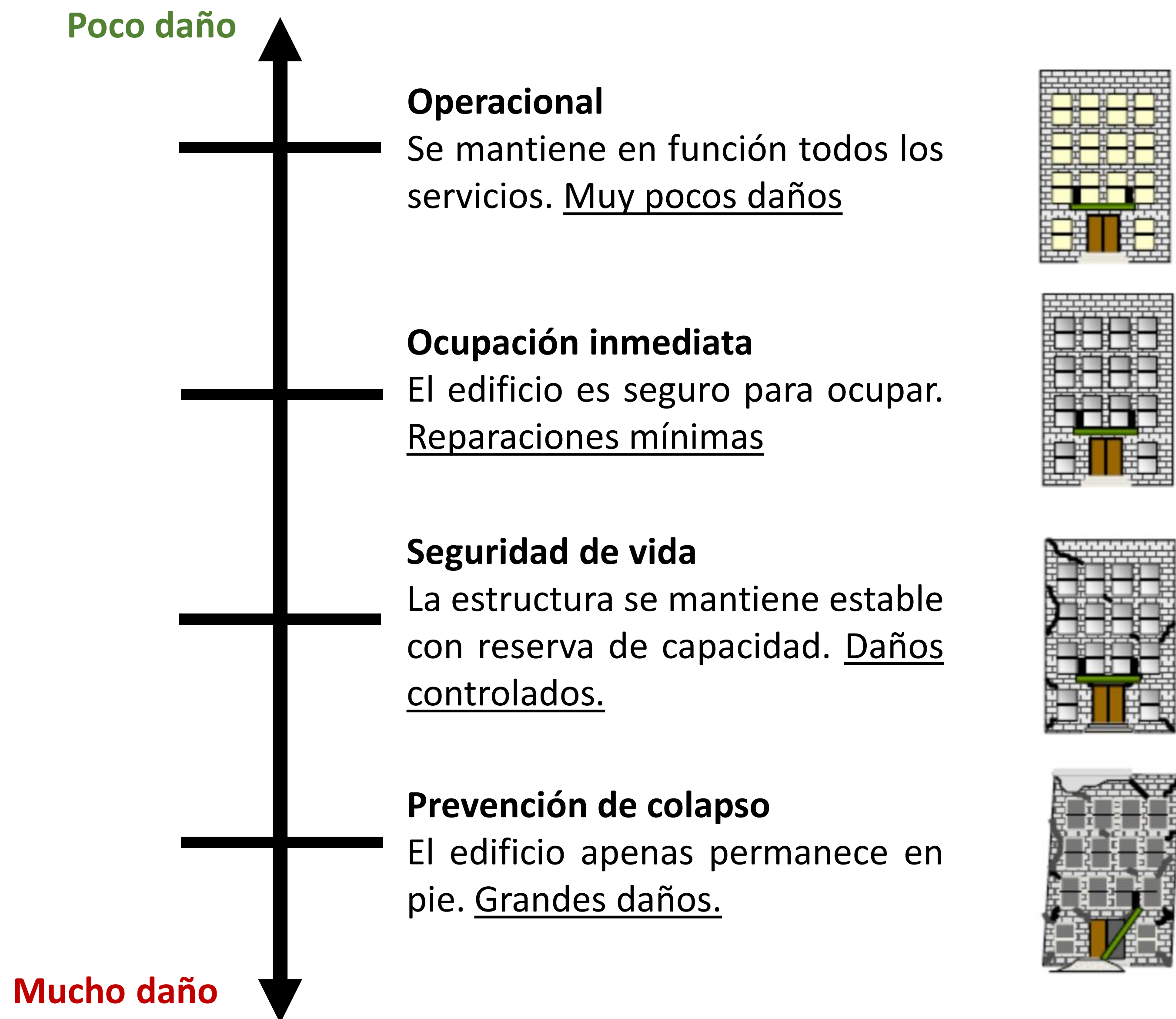


Curva de capacidad



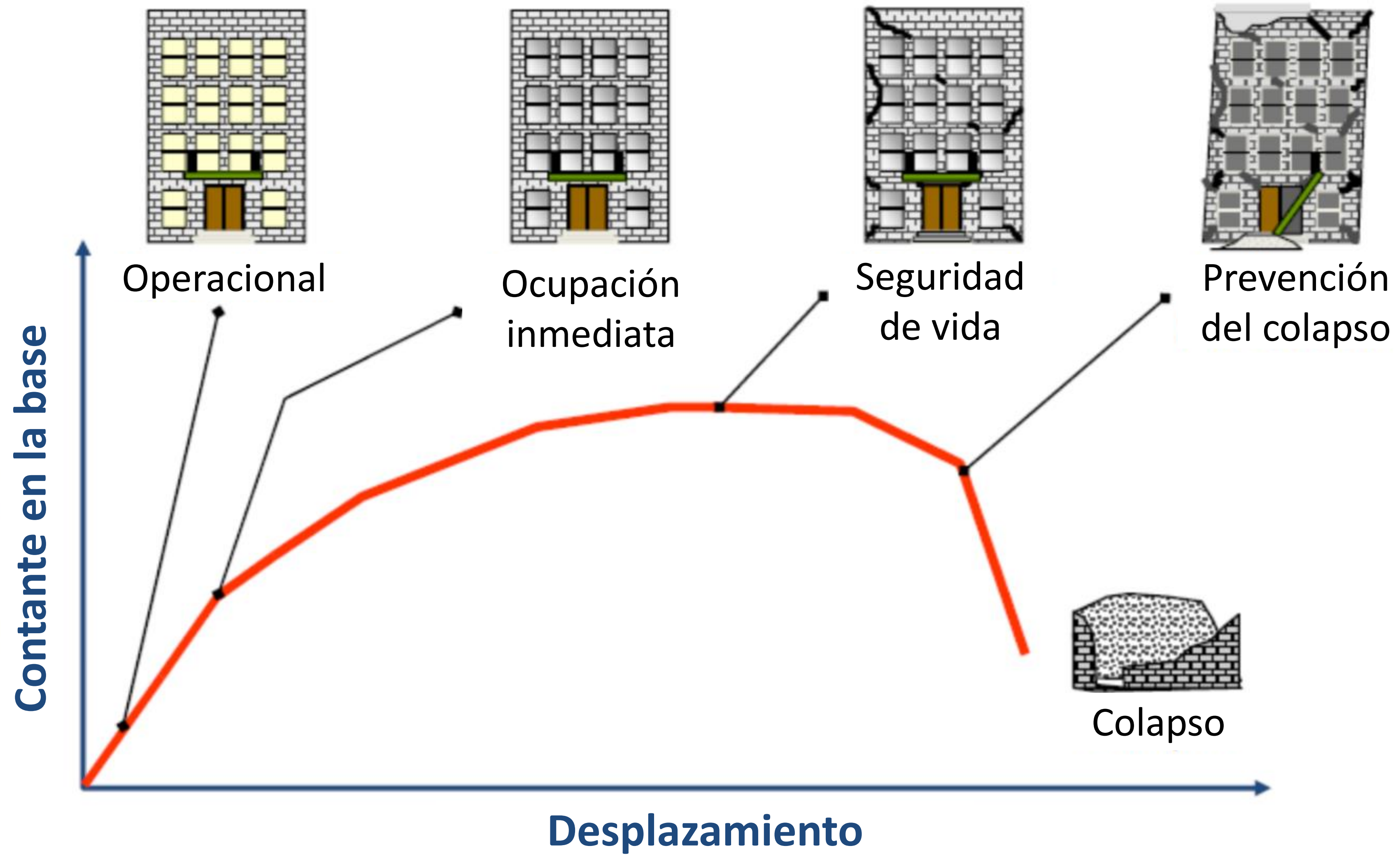


Desempeño estructural



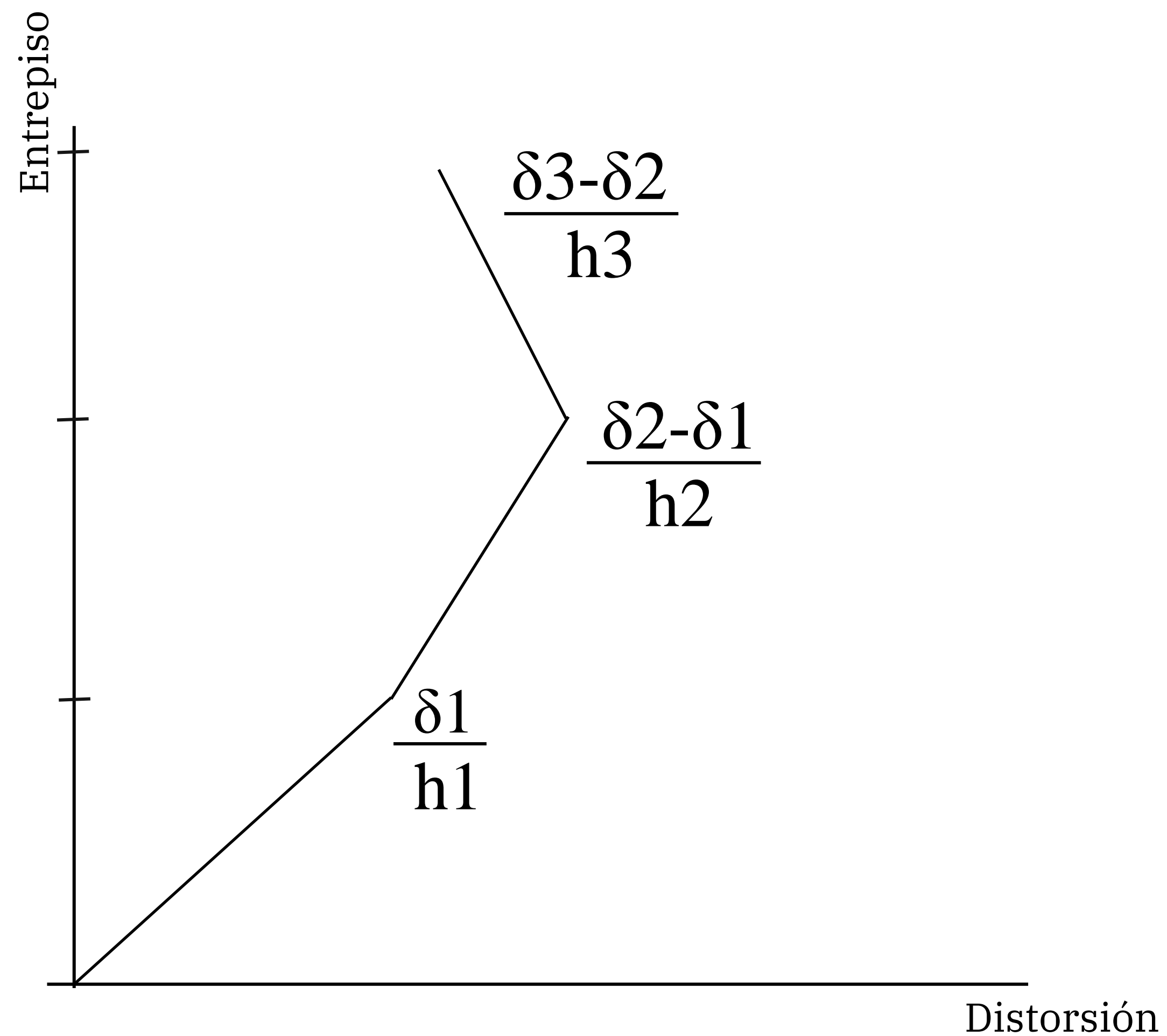
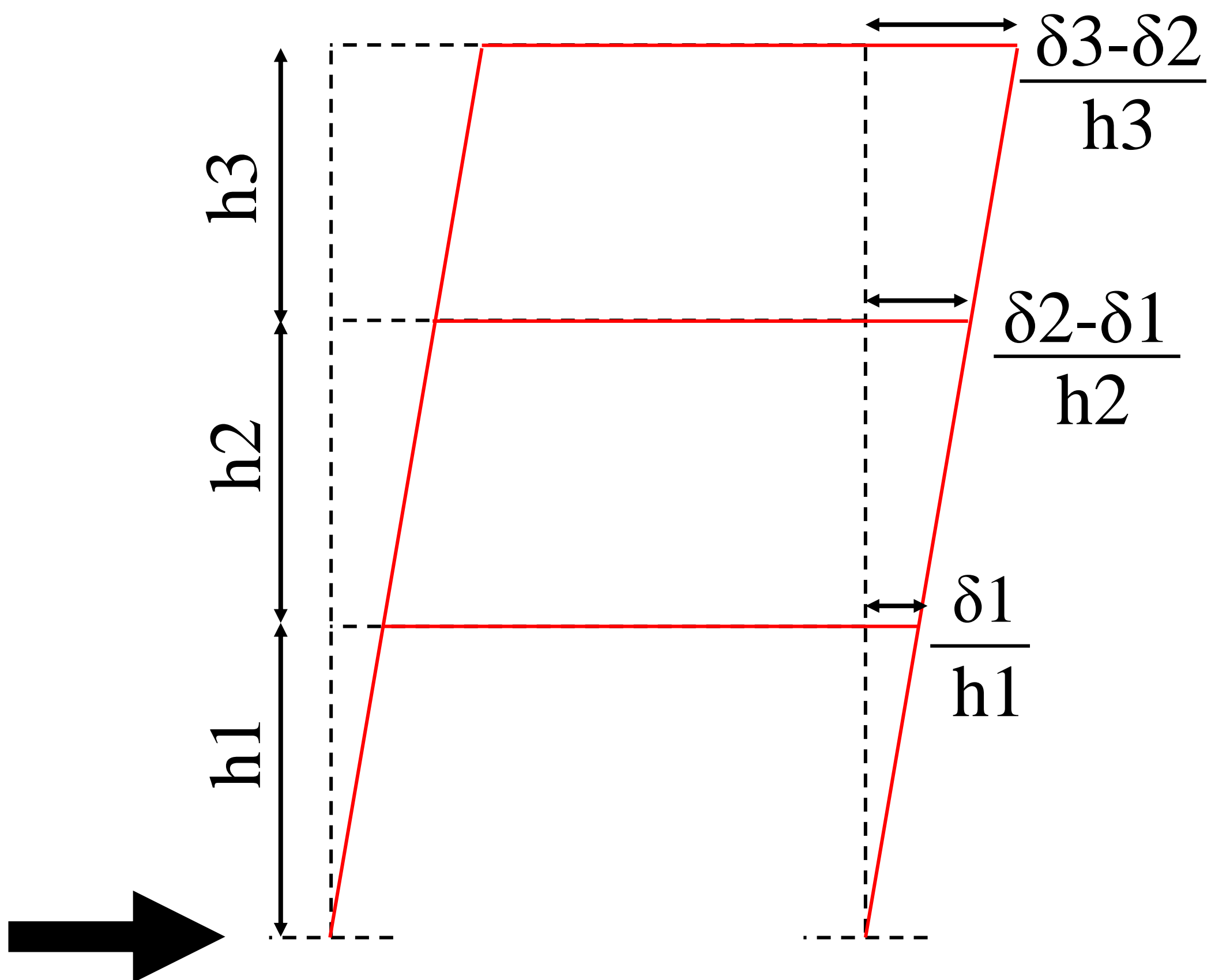


Desempeño estructural





Distorsiones de entrepiso





Pruebas experimentales



Joint Research Centre

European **L**aboratory for **S**tructural **A**ssessment

SERIES/DUAREM Final Cyclic Test

ec.europa.eu/jrc

© European Commission 2014



Pruebas experimentales



$$200 \text{ mm} / 9000 \text{ mm} = 2.22\%$$

Tabla 4.2.2 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de acero y compuestas ⁽¹⁾

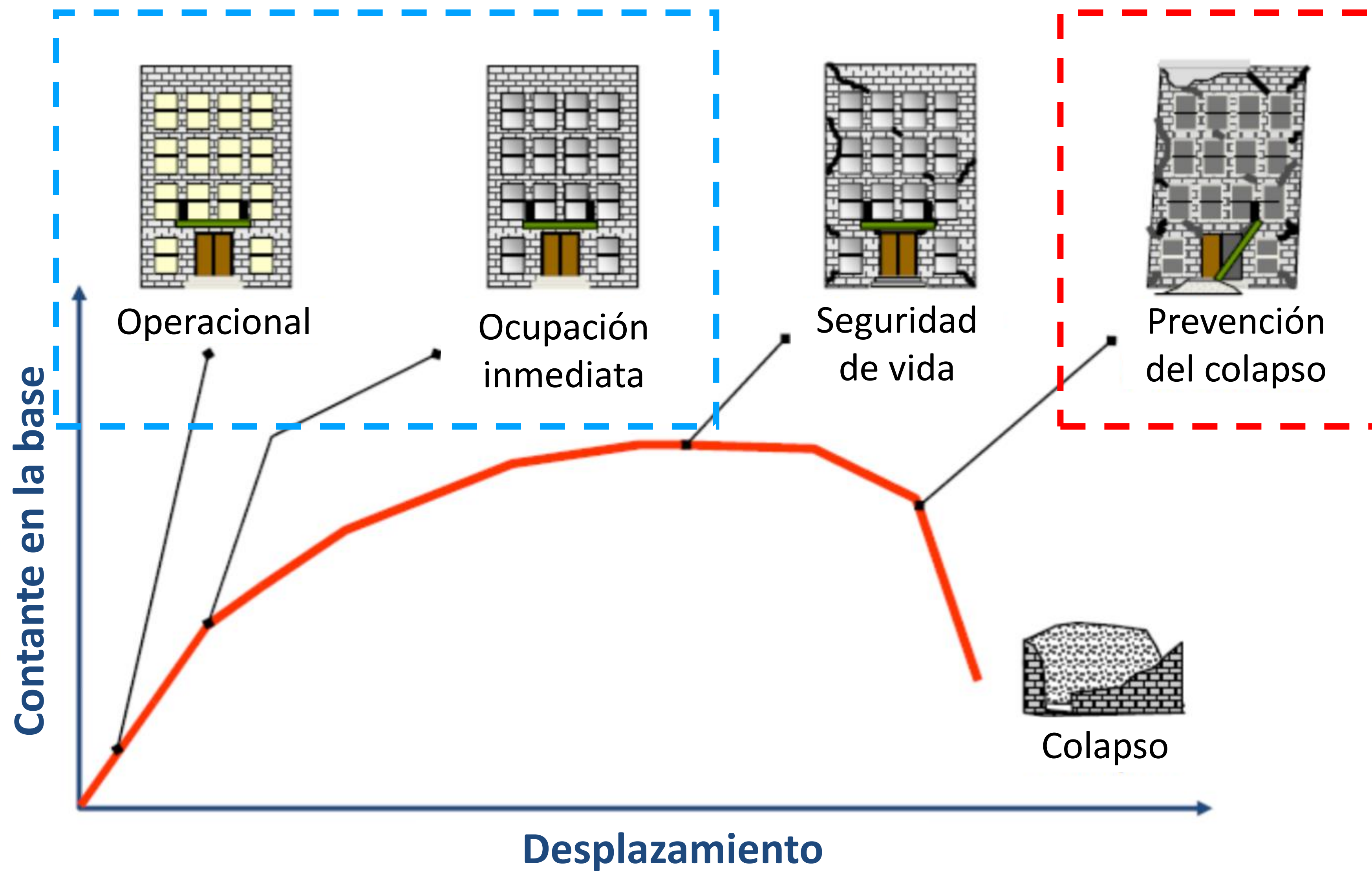
Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	γ_{max}
Marcos	Alta	-----	4.0	0.030
	Media	-----	3.0	0.020
	Baja	-----	2.0	0.015
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad alta	3.0	0.020
	Baja	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad baja	2.0	0.015
	Baja	Conexiones semirrígidas	2.0	0.015
Sistema dual ^(a) formado por marcos de acero y contravientos de acero ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Alta	Contravientos excéntricos	4.0	0.020
	Alta	Contravientos restringidos al pandeo	4.0	0.020
	Media	Contravientos concéntricos de ductilidad alta	3.0	0.015
	Baja	Contravientos concéntricos de ductilidad baja	2.0	0.010
	Baja	Contravientos concéntricos que trabajan solo en tensión	1.5	0.005
Sistema dual ^(a) formado por marcos de acero y muros ⁽²⁾⁽⁴⁾	Alta	Muros de ductilidad alta de placa de acero	4.0	0.020
	Alta	Muros de ductilidad alta de concreto	4.0	0.020
	Media	Muros de ductilidad media de placa de acero	3.0	0.015
	Baja	Muros de ductilidad baja de concreto	2.0	0.010
	Alta	-----	4.0	0.030



¿Se puede hacer resiliente una estructura?

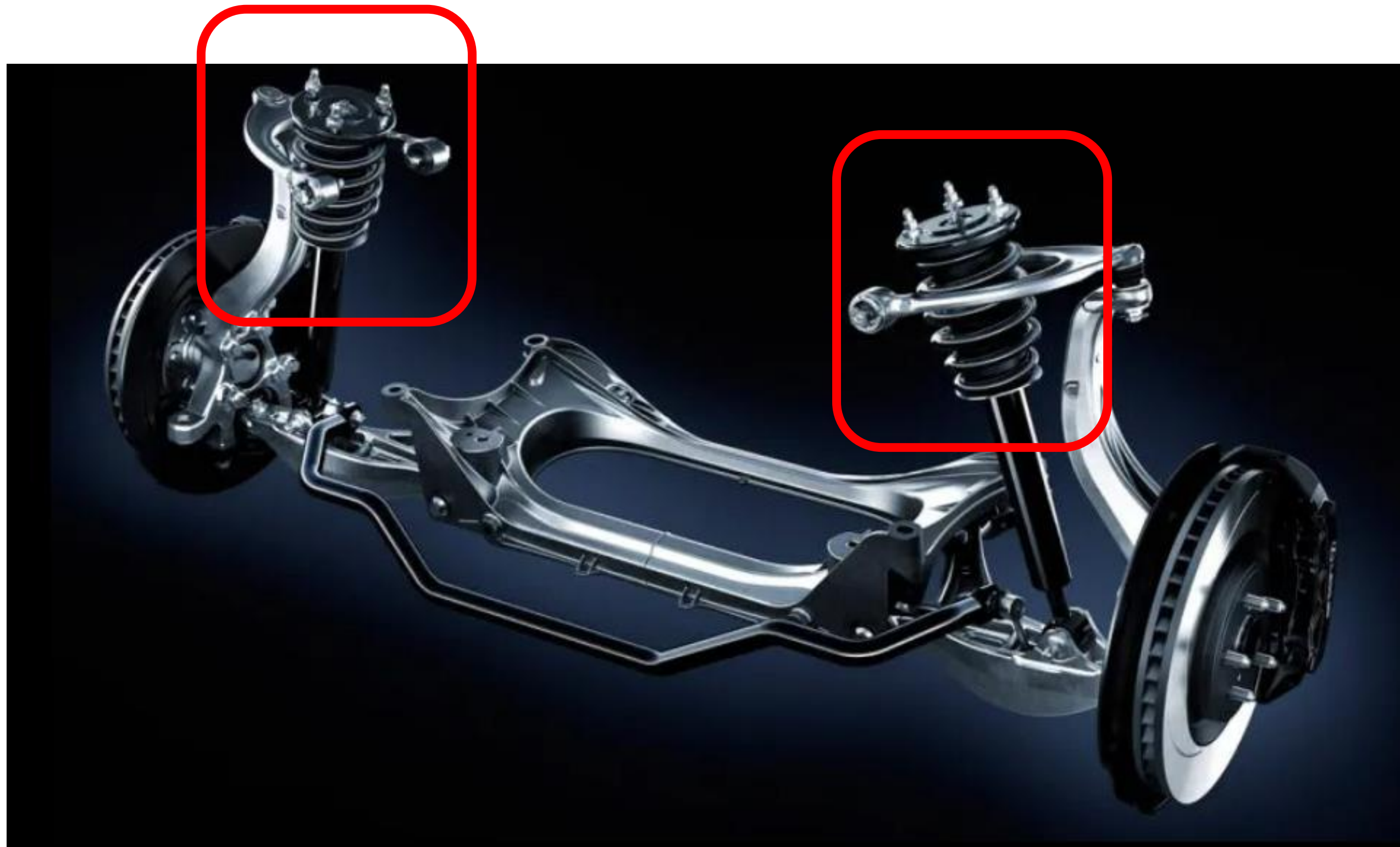


Desempeño estructural

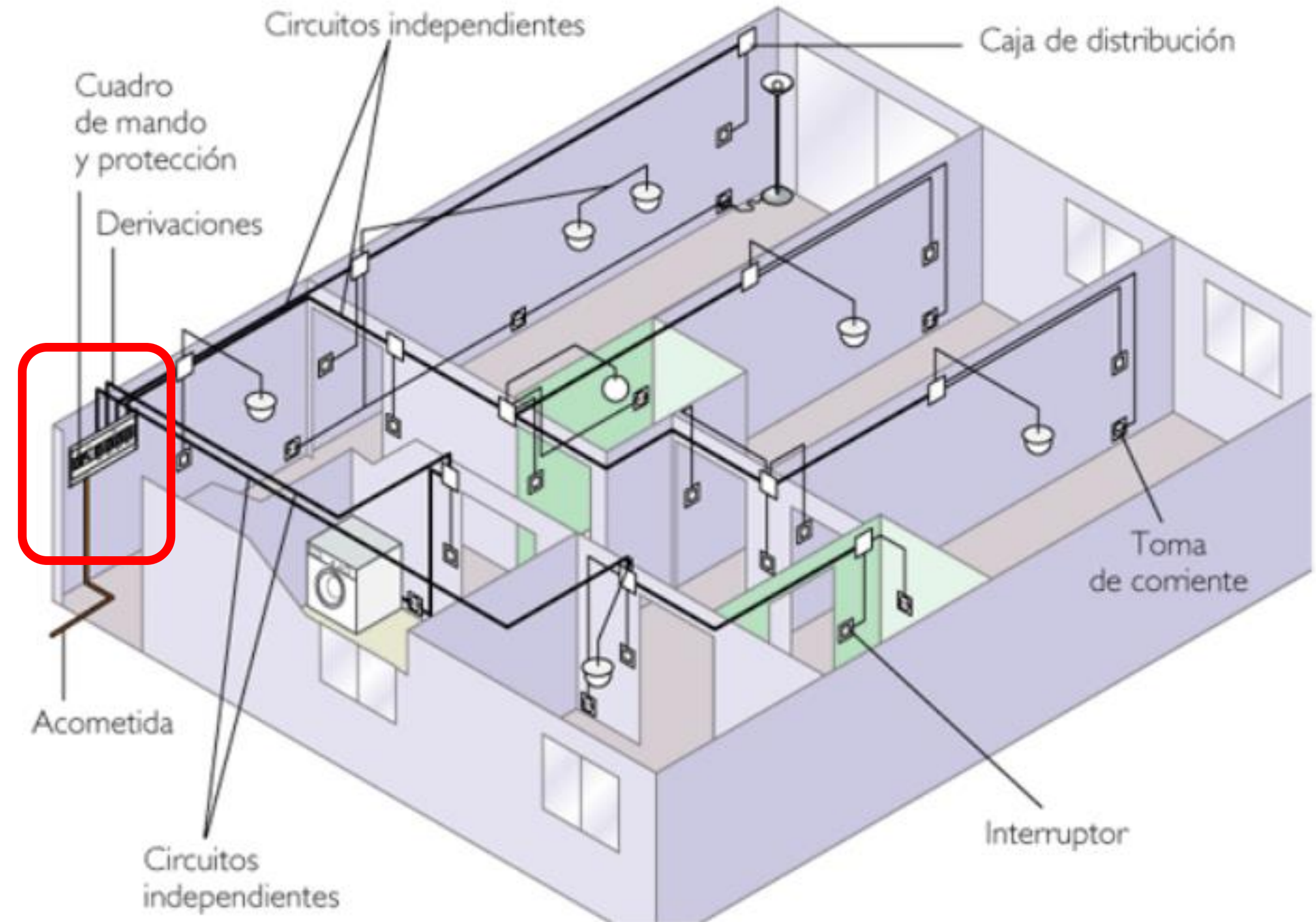




¿Qué es un disipador de energía?



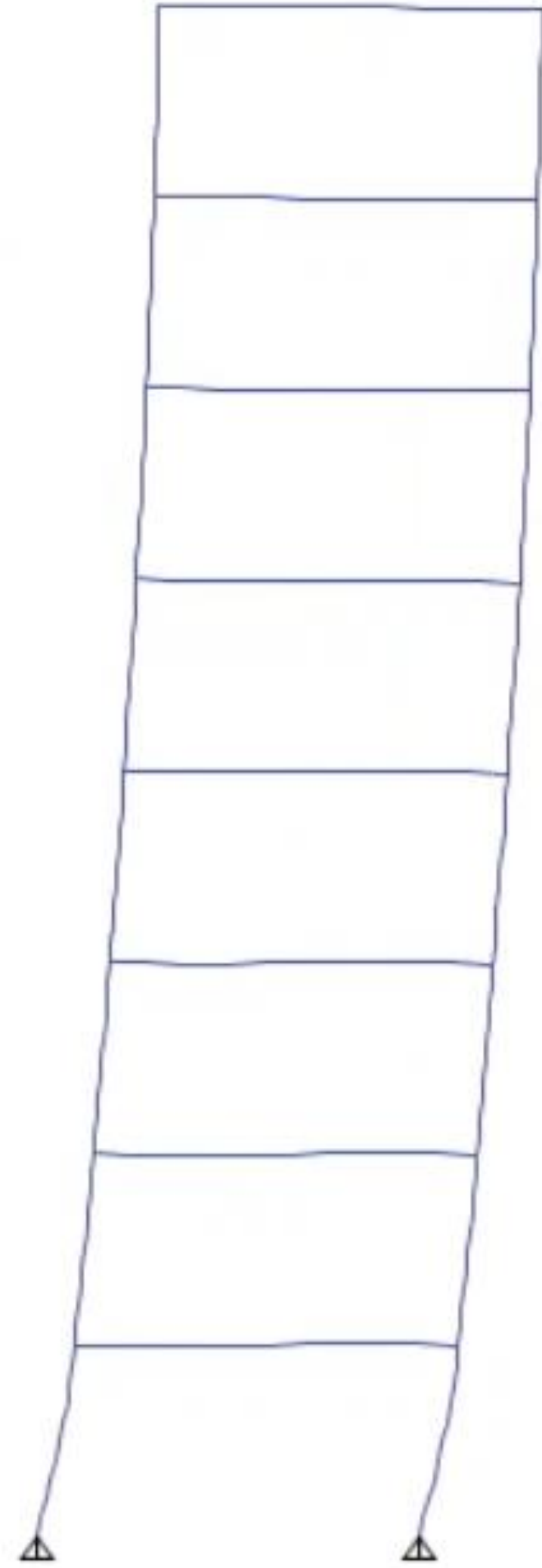
Amortiguadores de carro



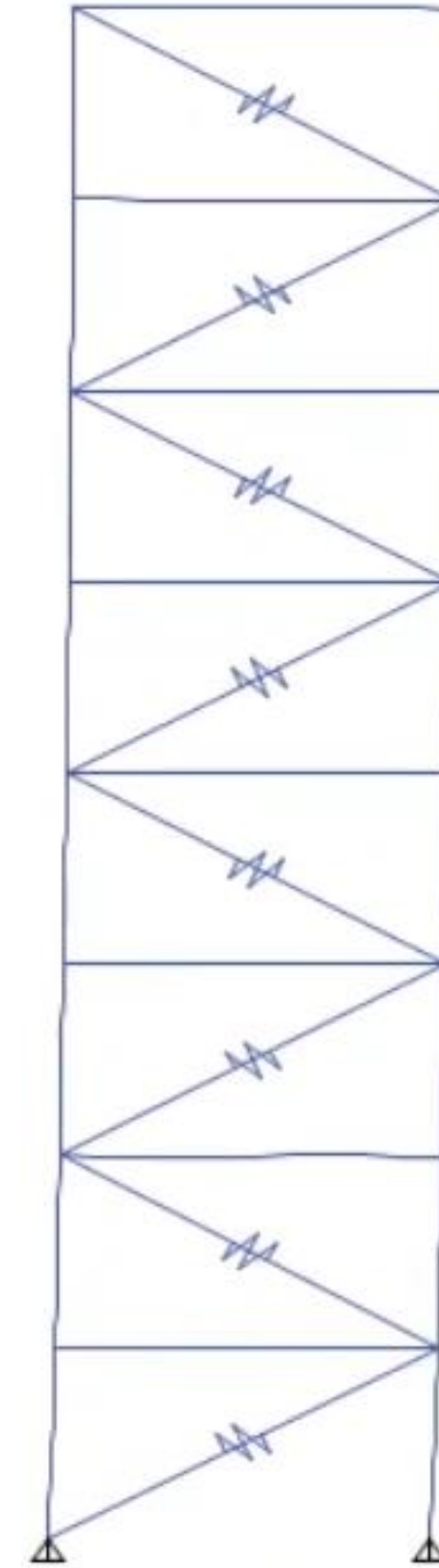
Instalación eléctrica



¿Qué es un disipador?



Sin disipadores



Con disipadores



¿Qué ventajas tenemos de usar SPS?

Reducción de **costos** totales en la estructura

Mejora el **comportamiento** estructural

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

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



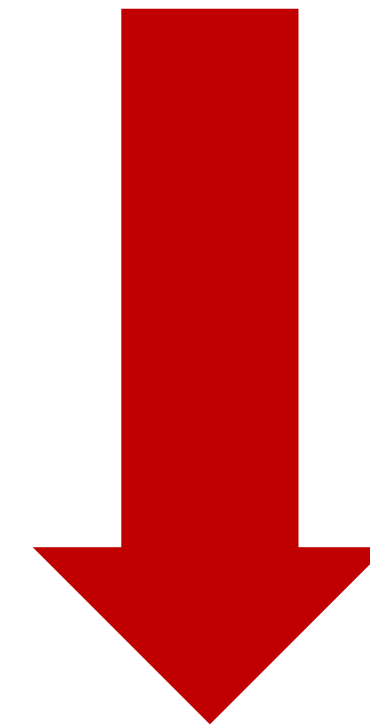
Comportamiento



Certidumbre



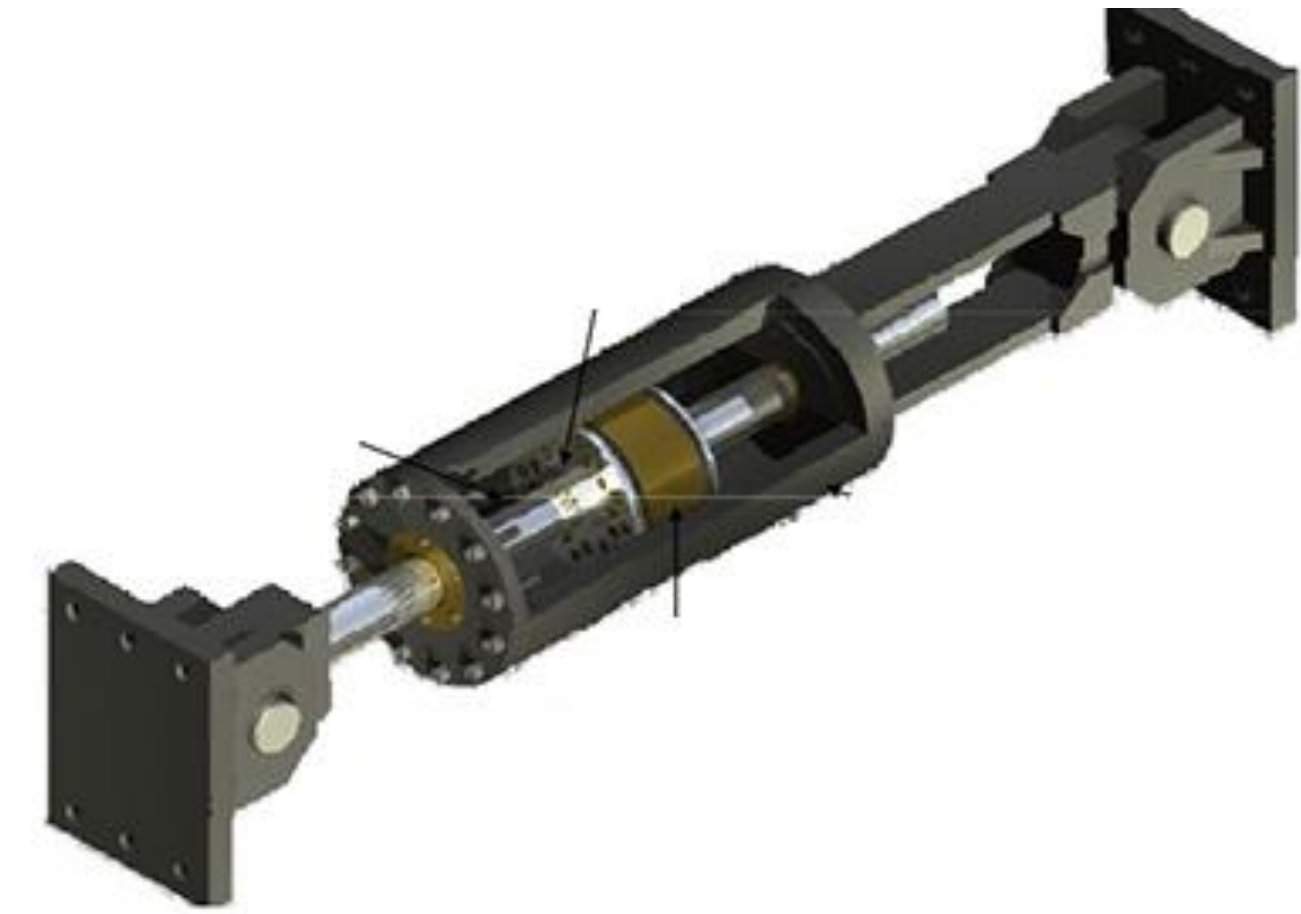
**Seguridad y
confort**



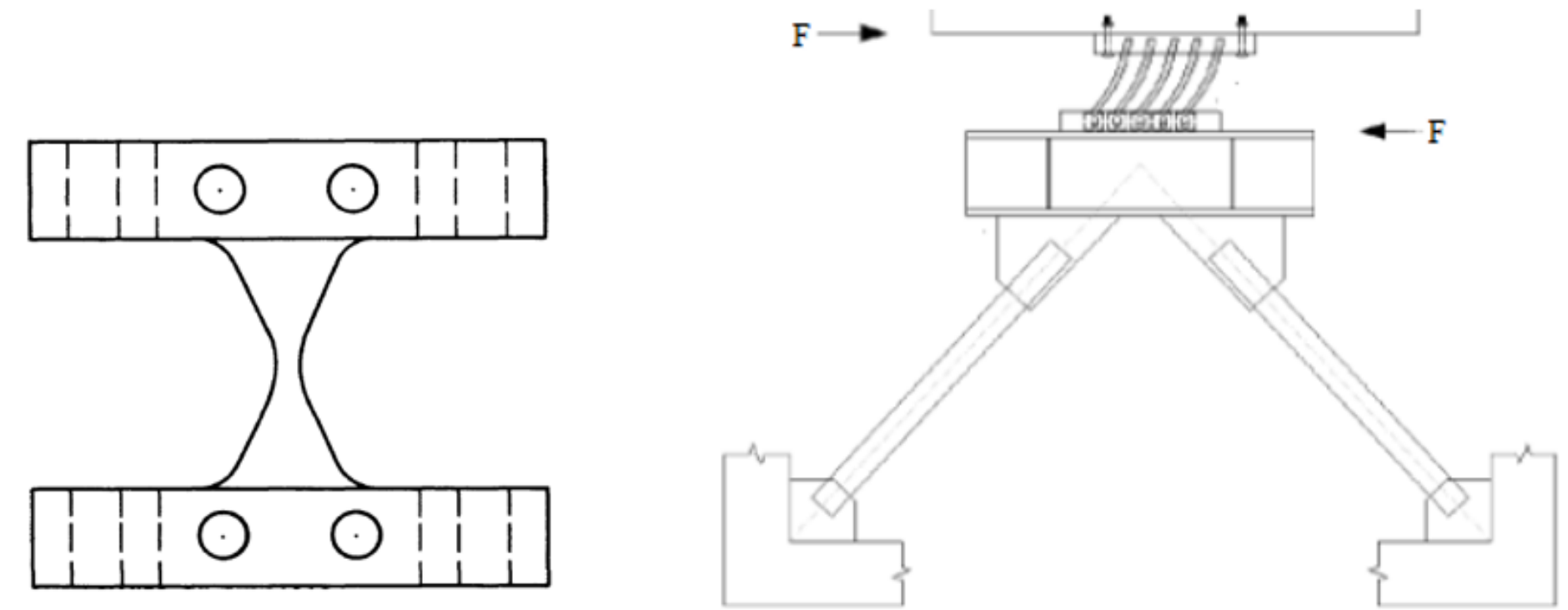
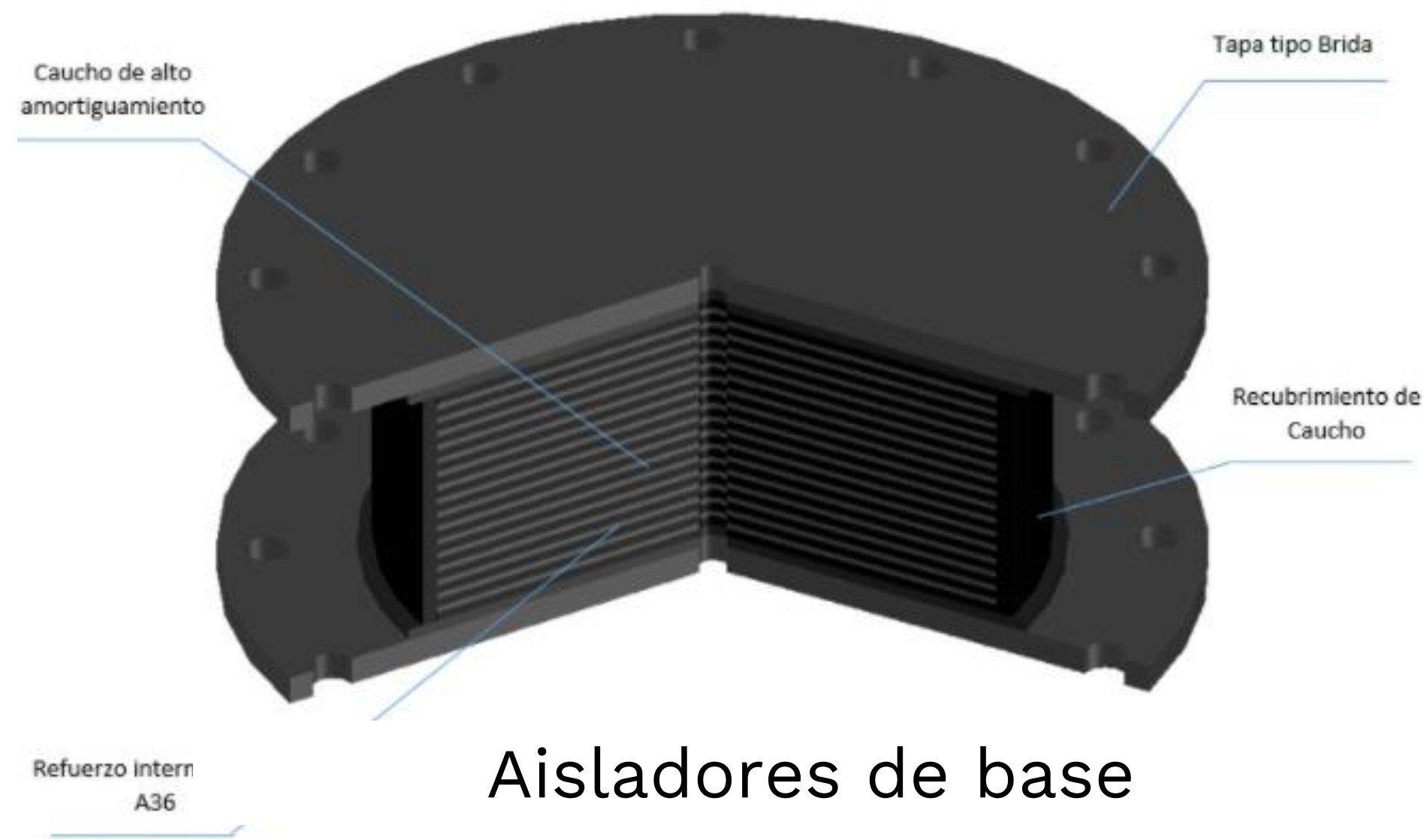
Costo total



BRB



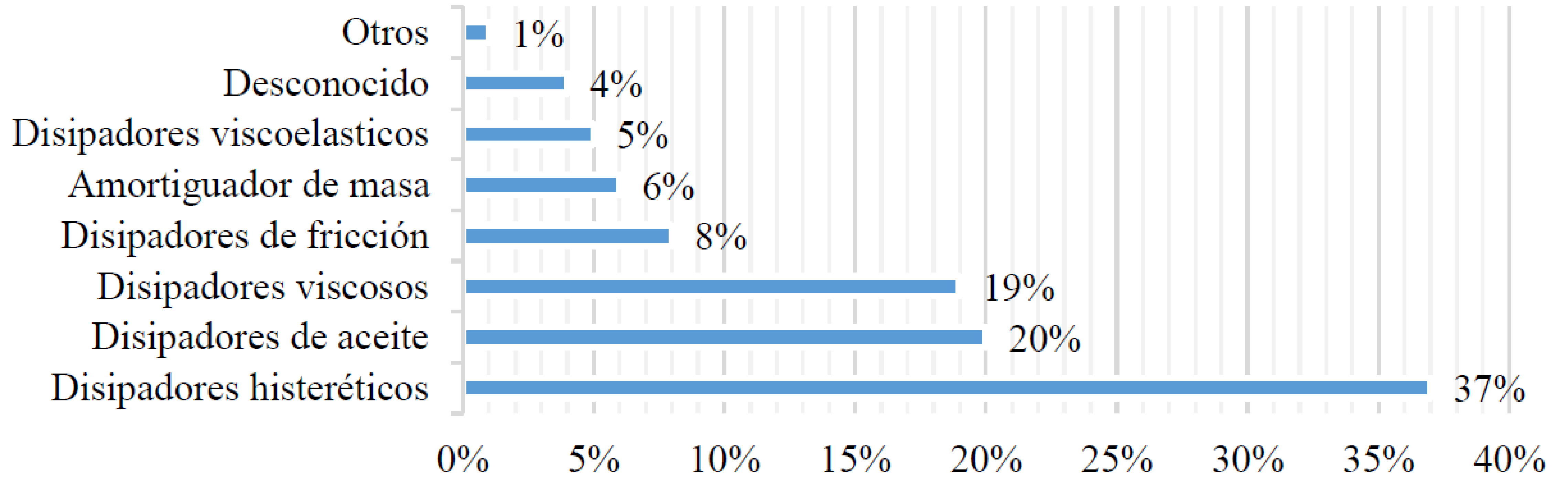
Disipadores viscosos



ADAS y TADAS



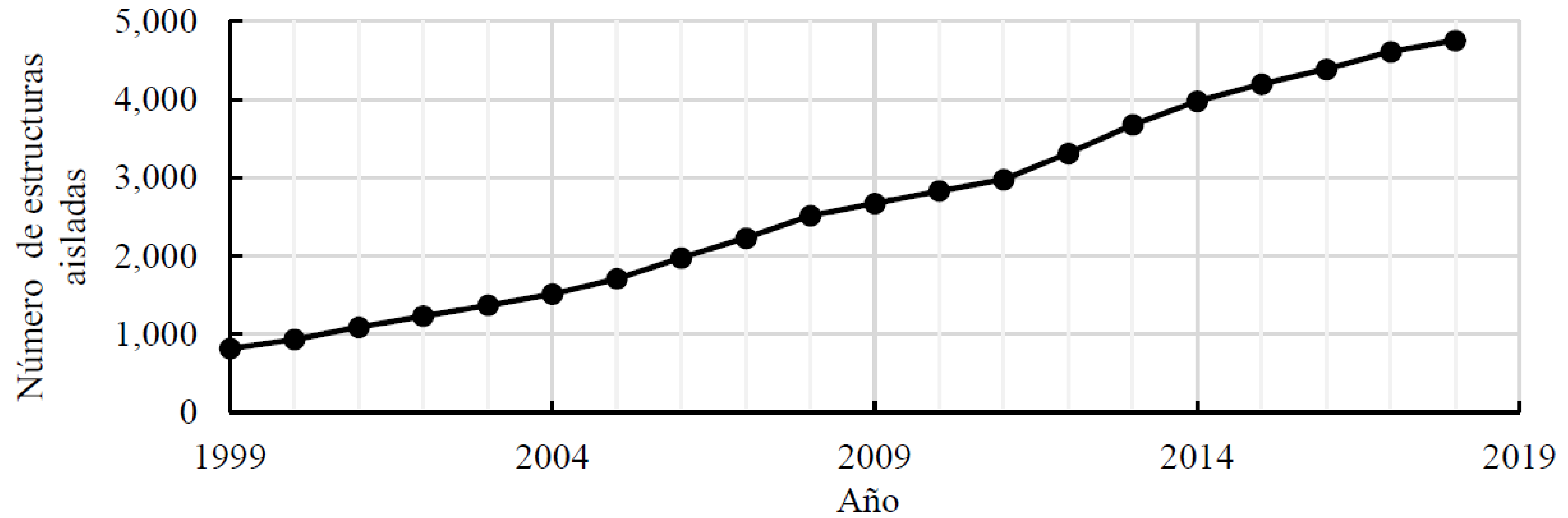
¿Y otros países?



Estructuras con dispositivos de disipación de energía (adaptada de JSSI, 2020)



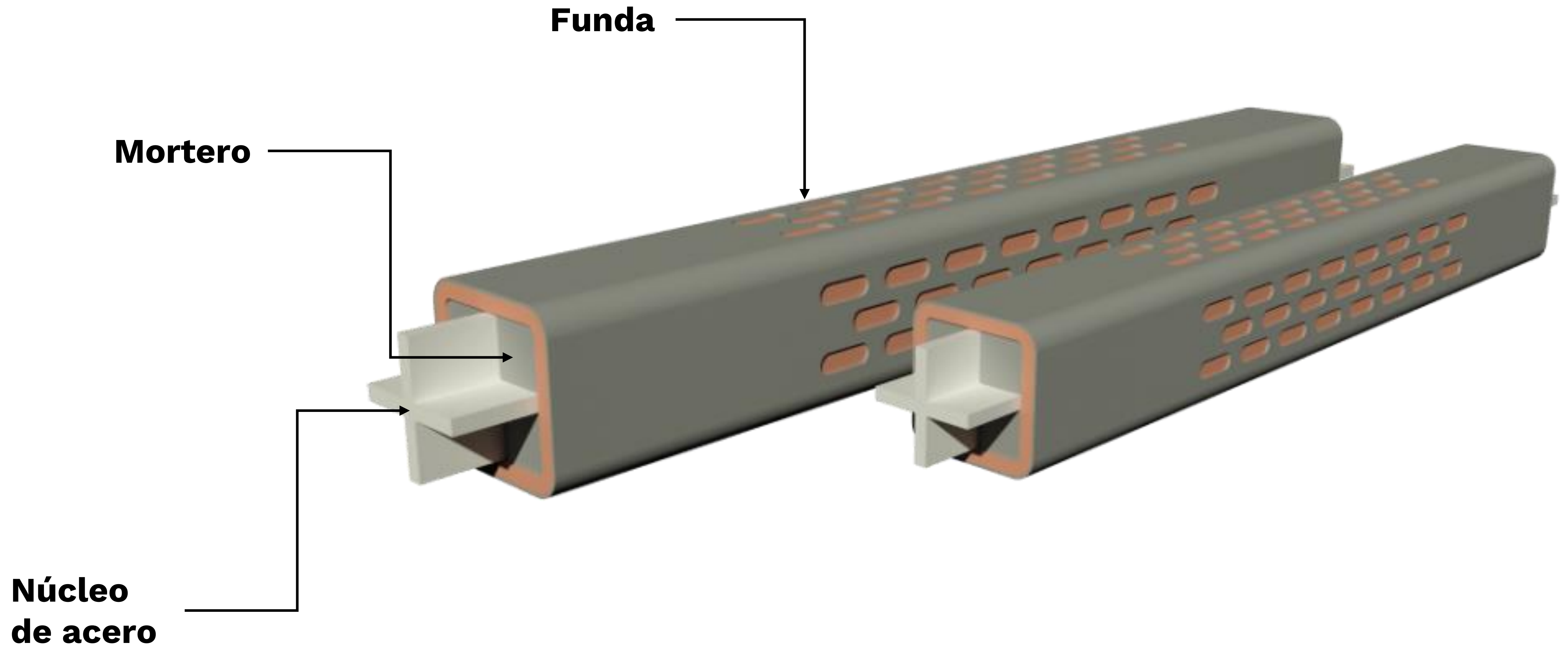
¿Y otros países?



Edificios aislados en Japón (adaptada de JSSI, 2020)

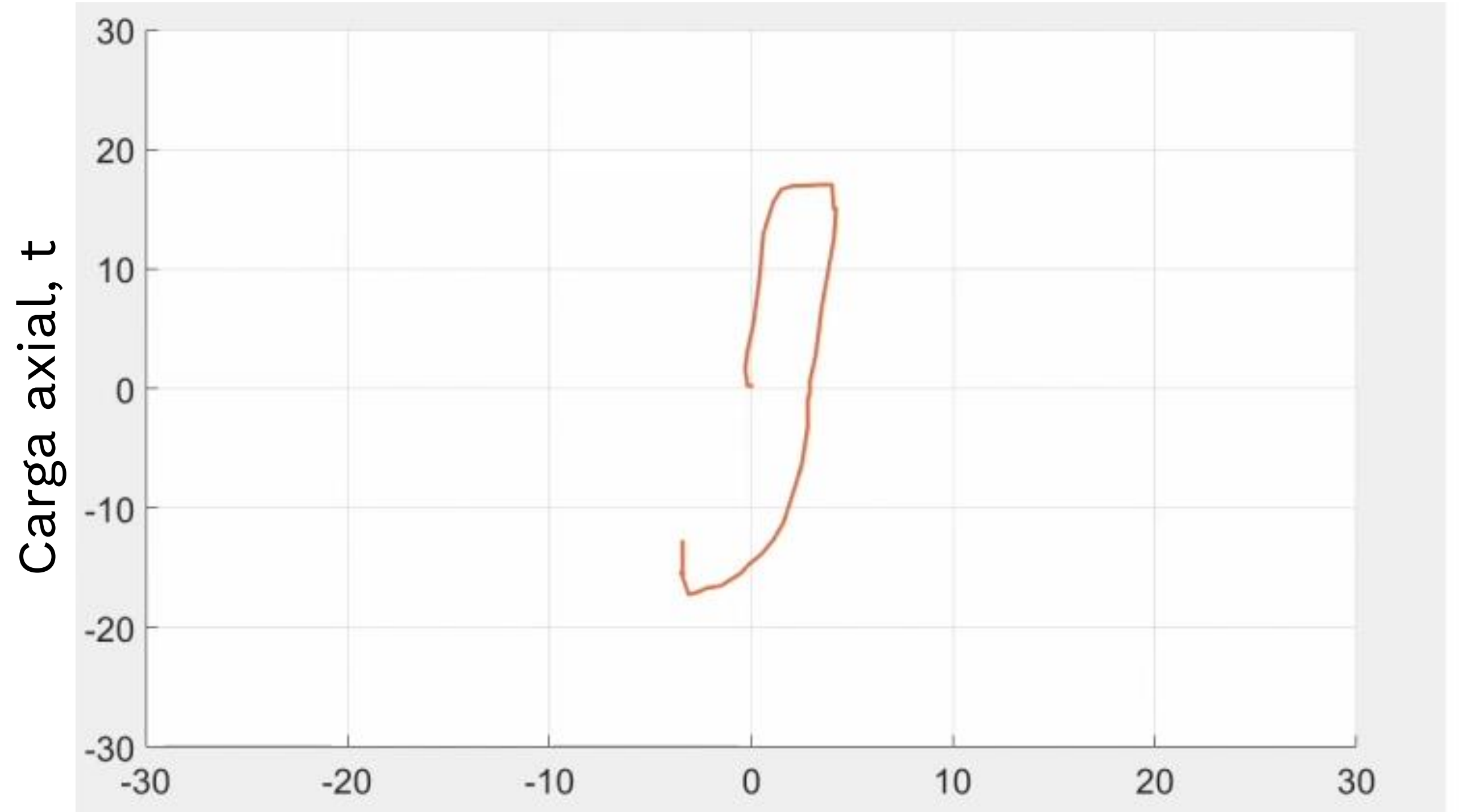


Disipador tipo BRB





Pruebas experimentales en México, UNAM (2018)

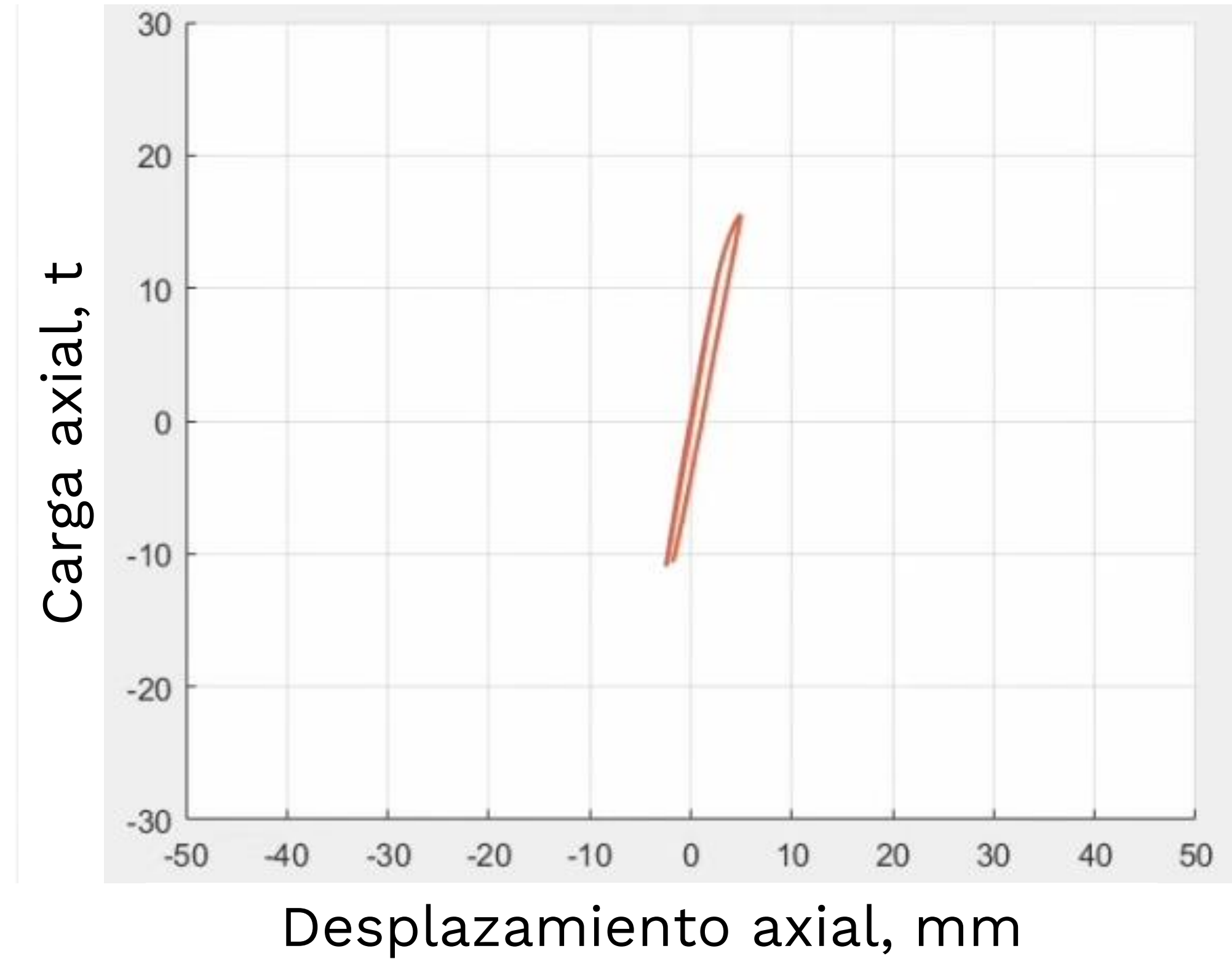


Desplazamiento axial, mm



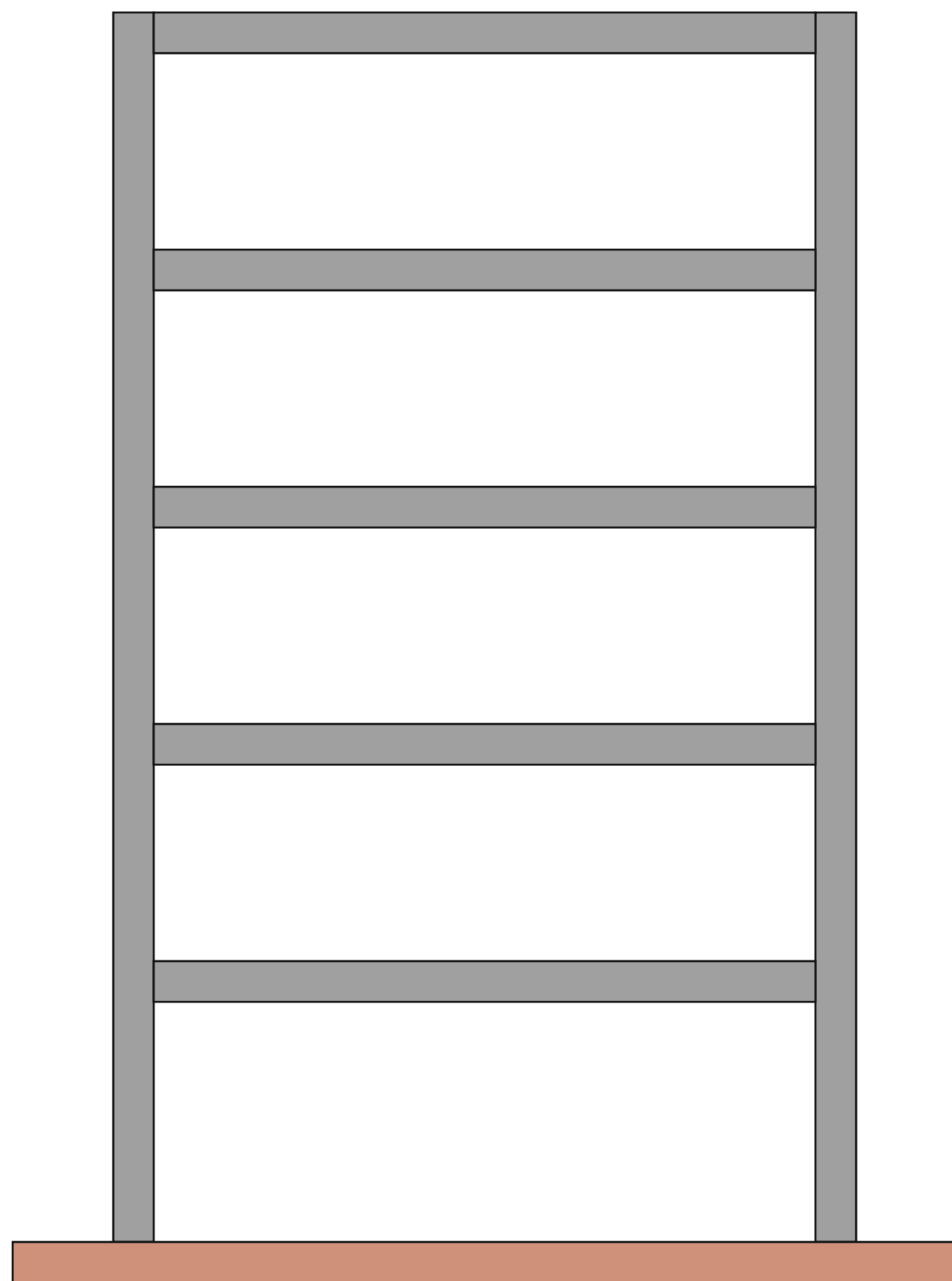


Pruebas experimentales en México, UNAM (2019)

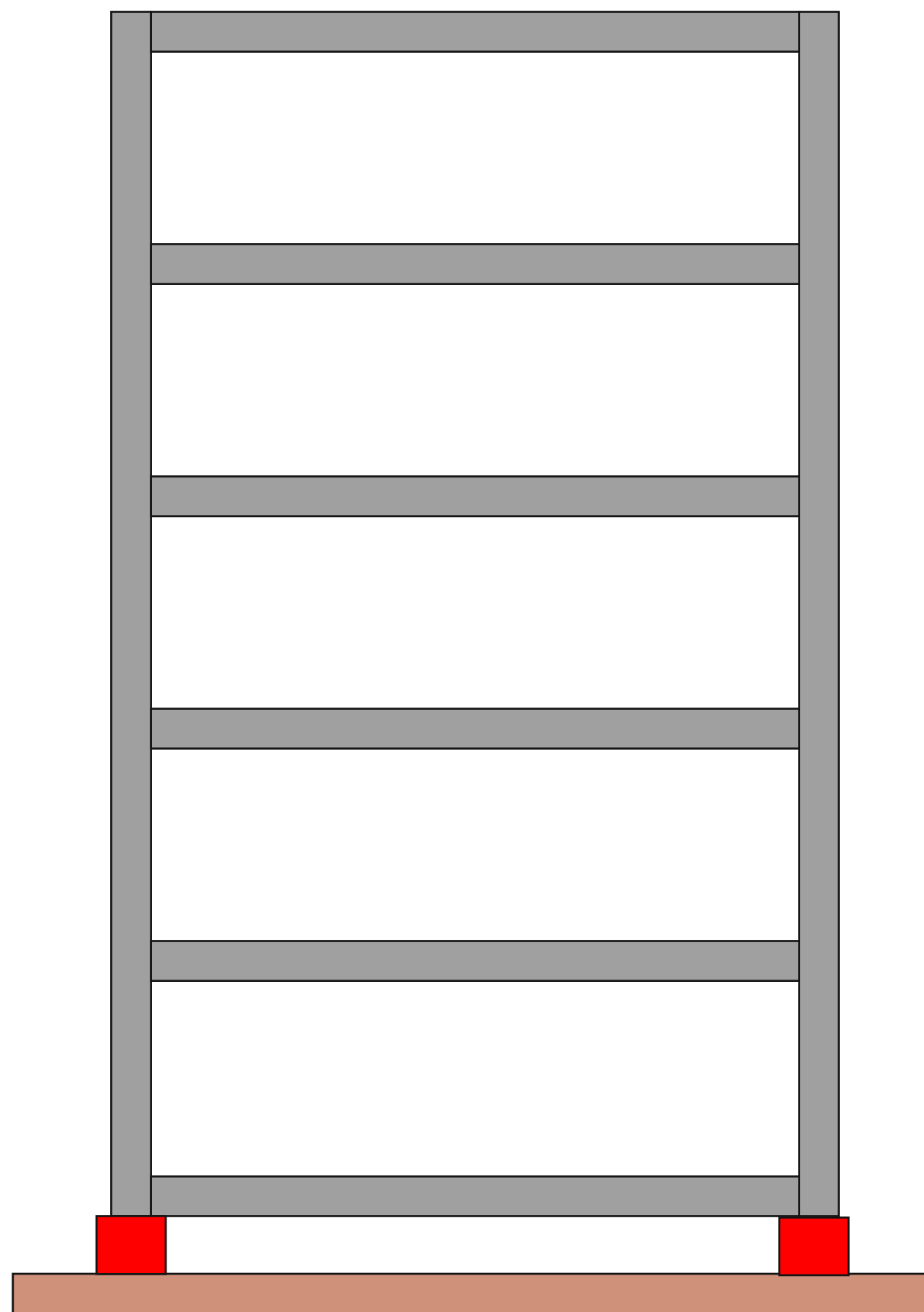




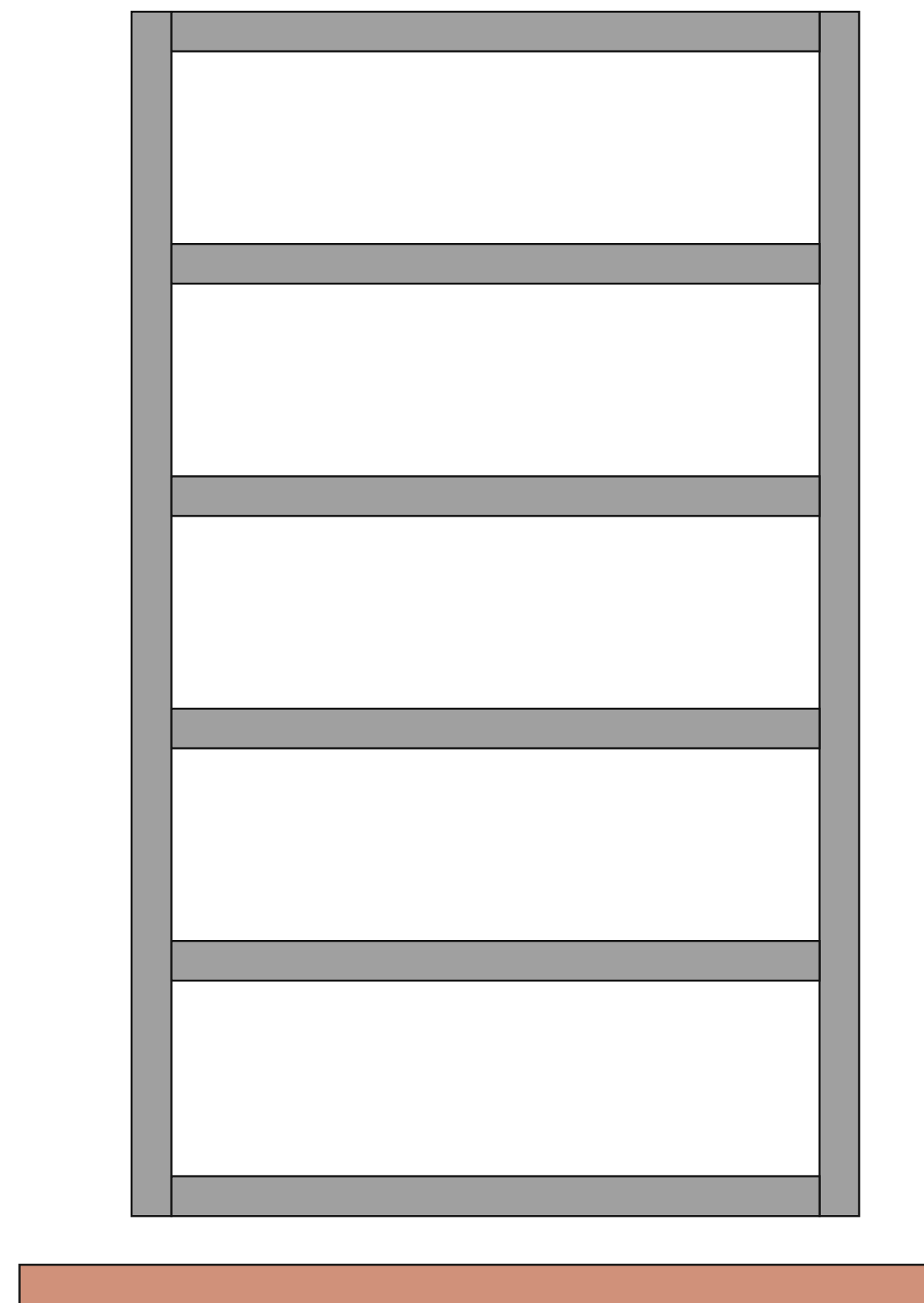
Aislamiento de base



Base rígida



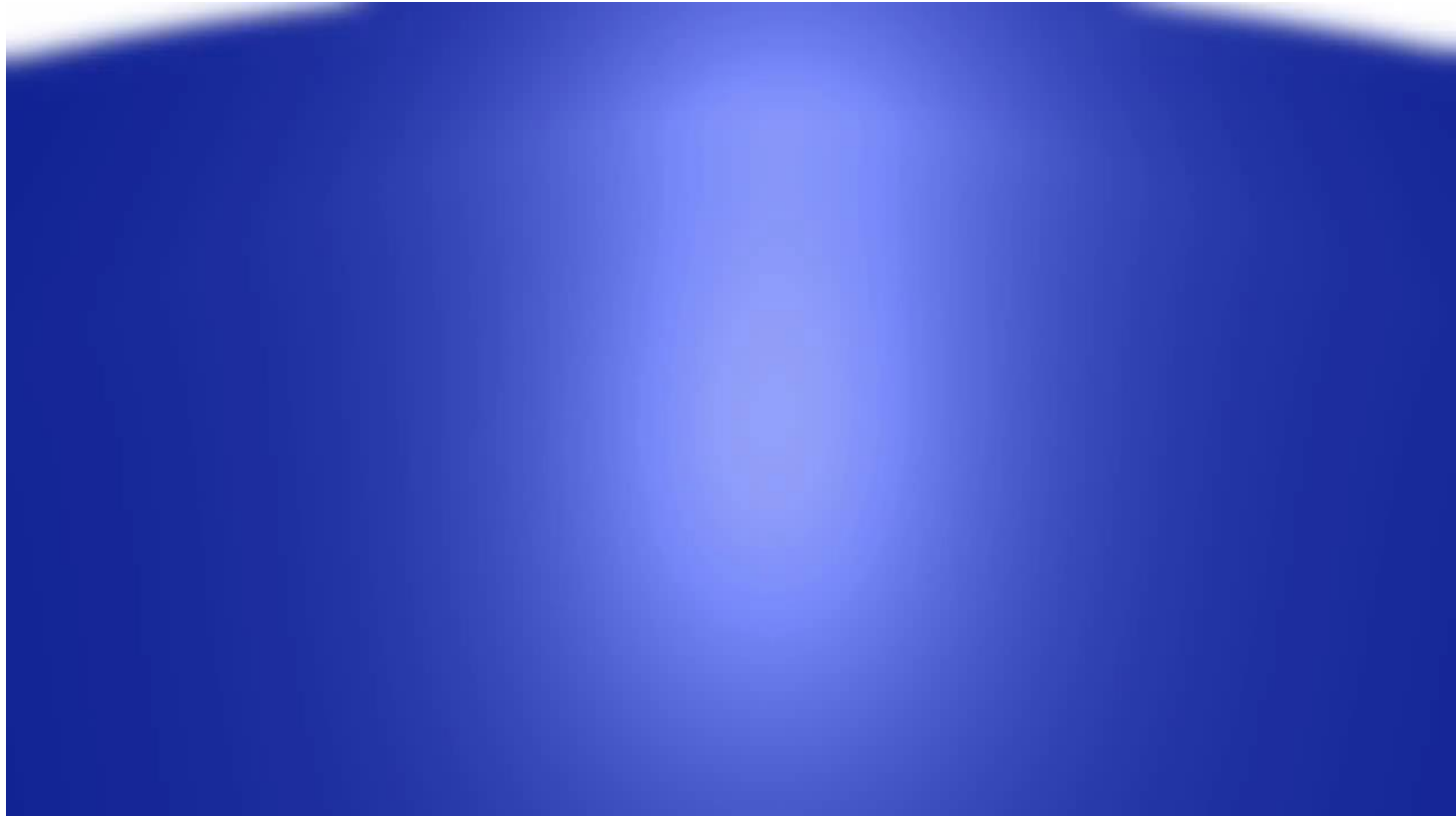
Condición intermedia
(Aislamiento de base)



Condición ideal



Aislamiento de base



(Sirve ingeniería, 2023)



Hospital sin aislamiento



(Universidad de California, 2013)



Comparación de comportamiento



(Universidad de California, 2013)



Rehabilitación estructural





Rehabilitación estructural



City Hall, San Francisco



Disipadores viscosos



(CDV Ingeniería, 2024)



Instalación



(Taylor, 2010)



Ejemplos de aplicación





Barreras de los sistemas de protección

- Económicas
- Técnicas
- Ejecución de obra
- Mantenimiento

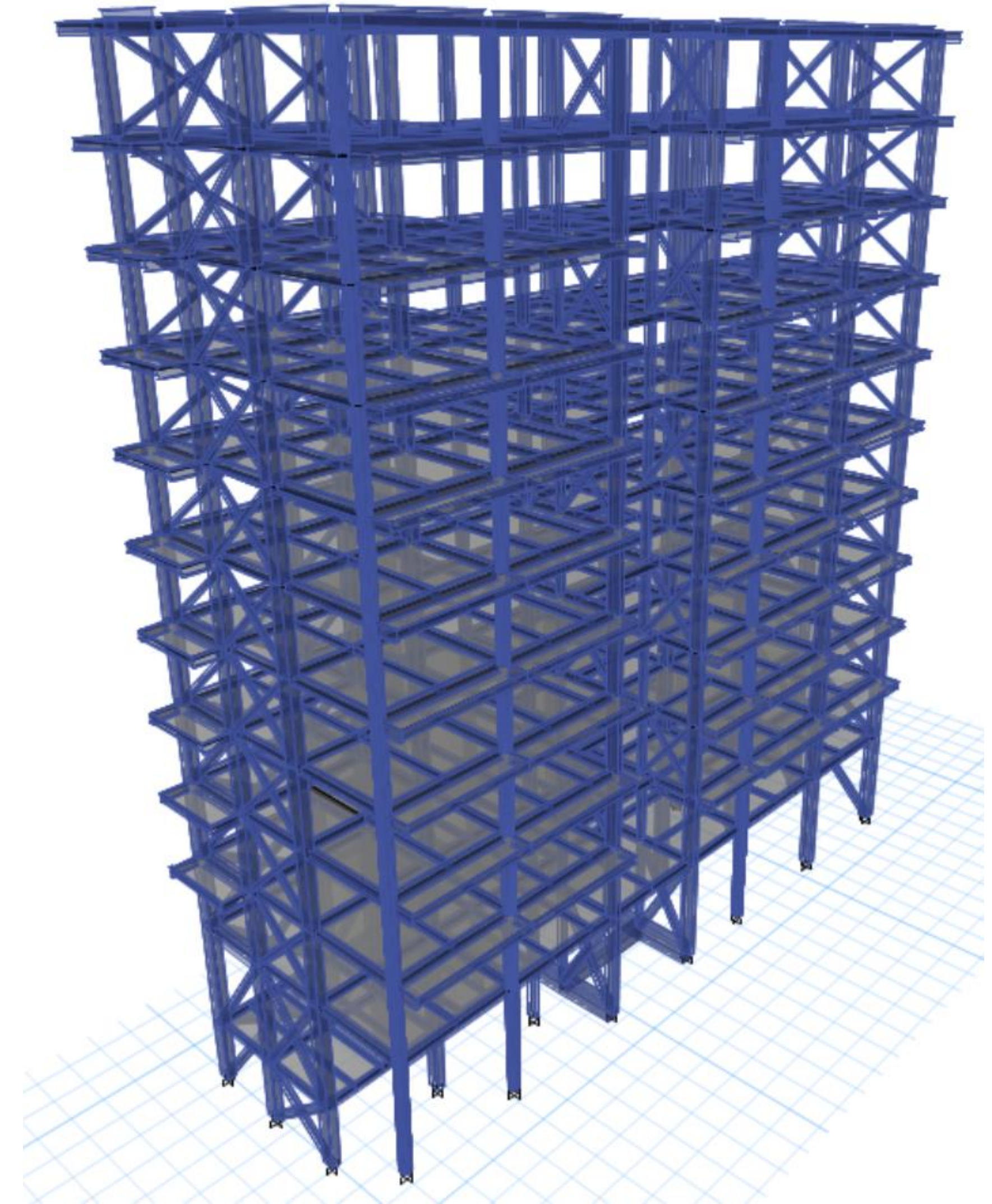
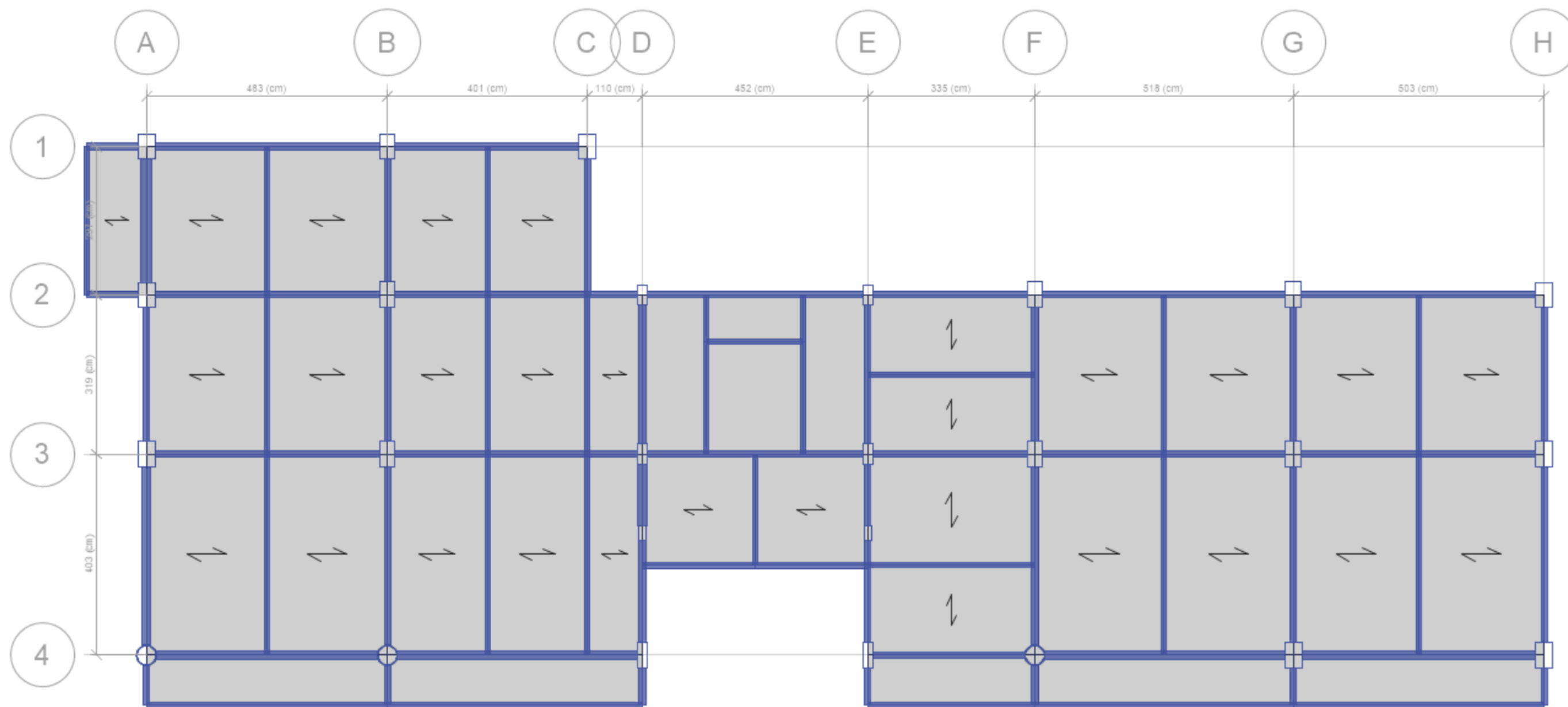


Si se puede hacer resiliente una estructura, ¿se puede hacer viable económicamente?



Edificio en CDMX

- Torre de departamentos de 2,761 m²
- Ubicada en la Ciudad de México, Benito Juárez
- Estructuración con sistema de marcos de acero de baja ductilidad y contravientos concéntricos convencionales de baja ductilidad

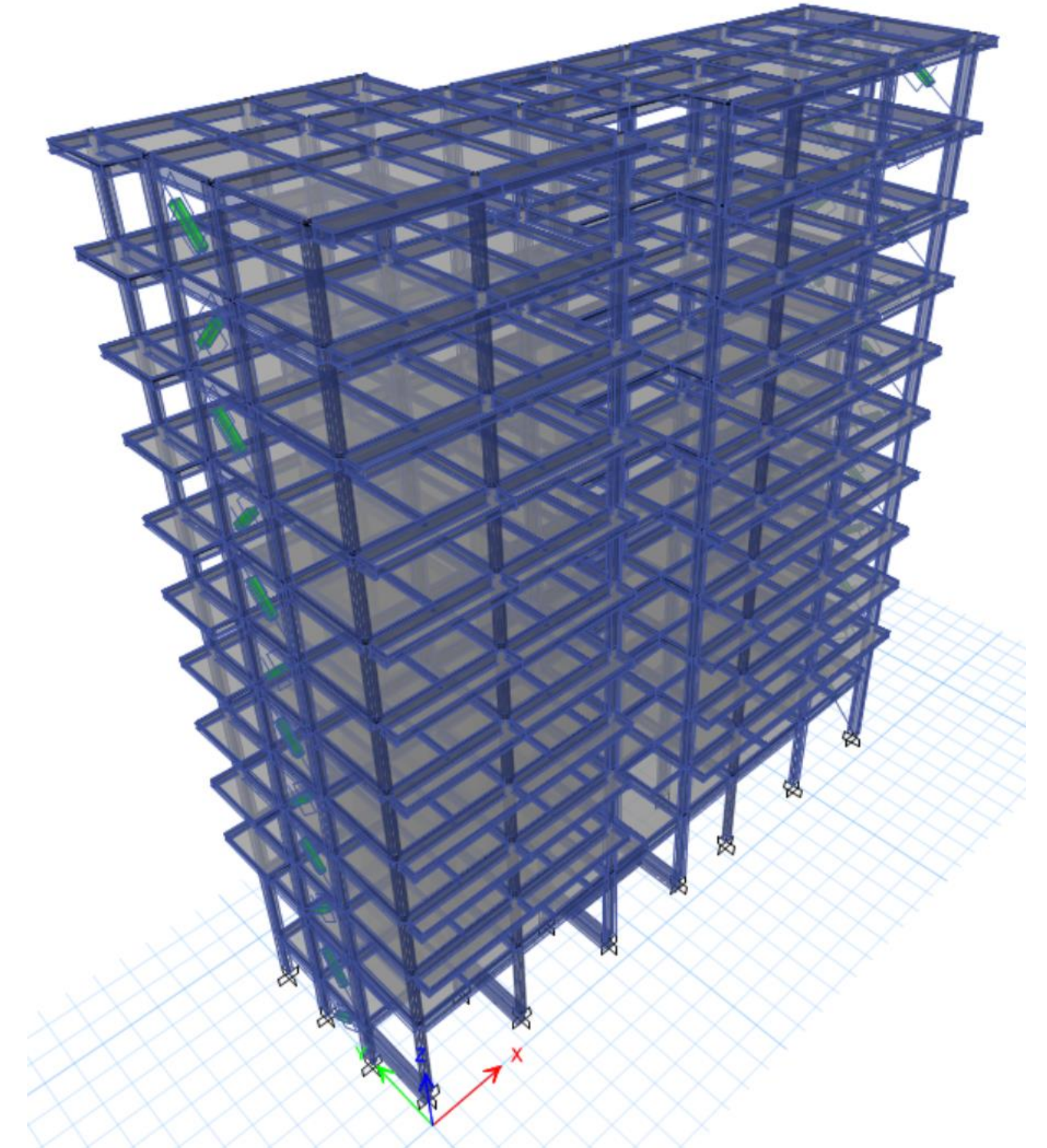




Cuantificación

Comparación económica		
Elemento	Con contravientos (nueva propuesta)	Con disipadores de energía
Columna de acero	\$ 11,622,000.00	\$ 9,535,500.00
Trabe de acero	\$ 11,186,500.00	\$ 10,049,000.00
Contravientos convencionales	\$ 1,930,500.00	-
Disipadores de energía	-	\$ 2,900,000.00
Instalación de disipadores	-	\$ 390,000.00
Costo total	\$ 24,739,000.00	\$ 22,924,500.00
Densidad de acero	137.8 kg/m²	109.1 kg/m²

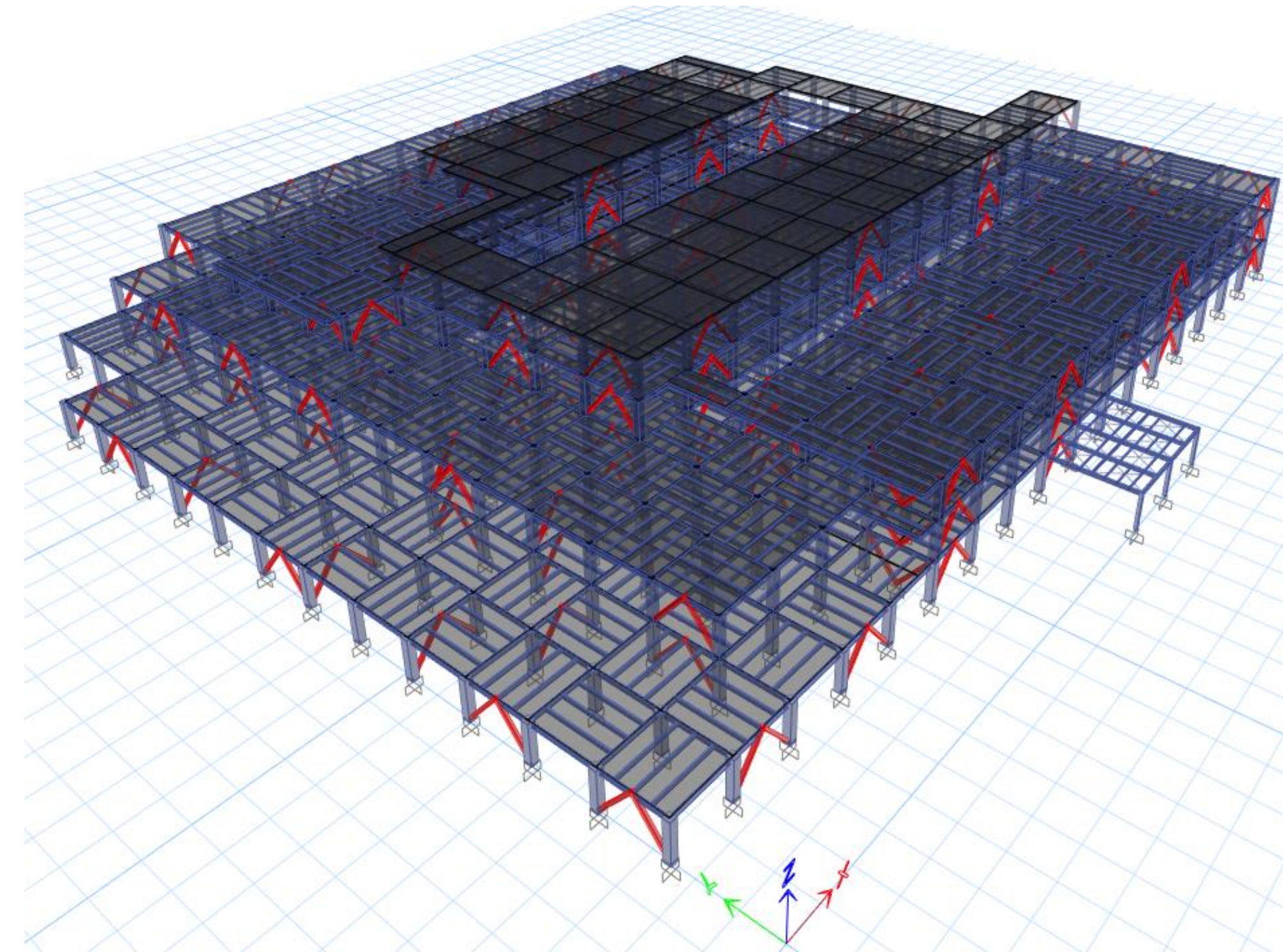
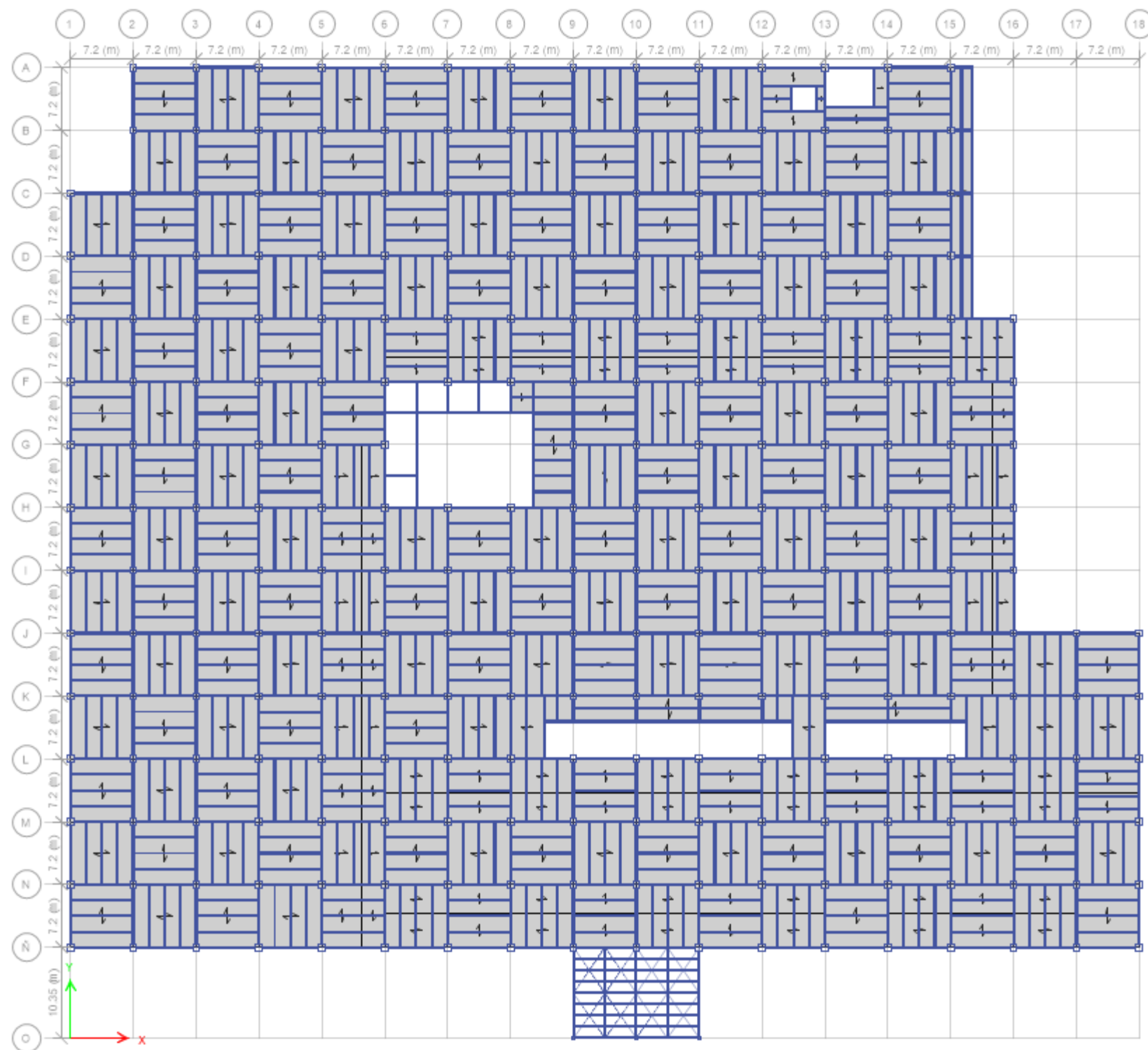
Densidad del acero bajó un 21%





Hospitales

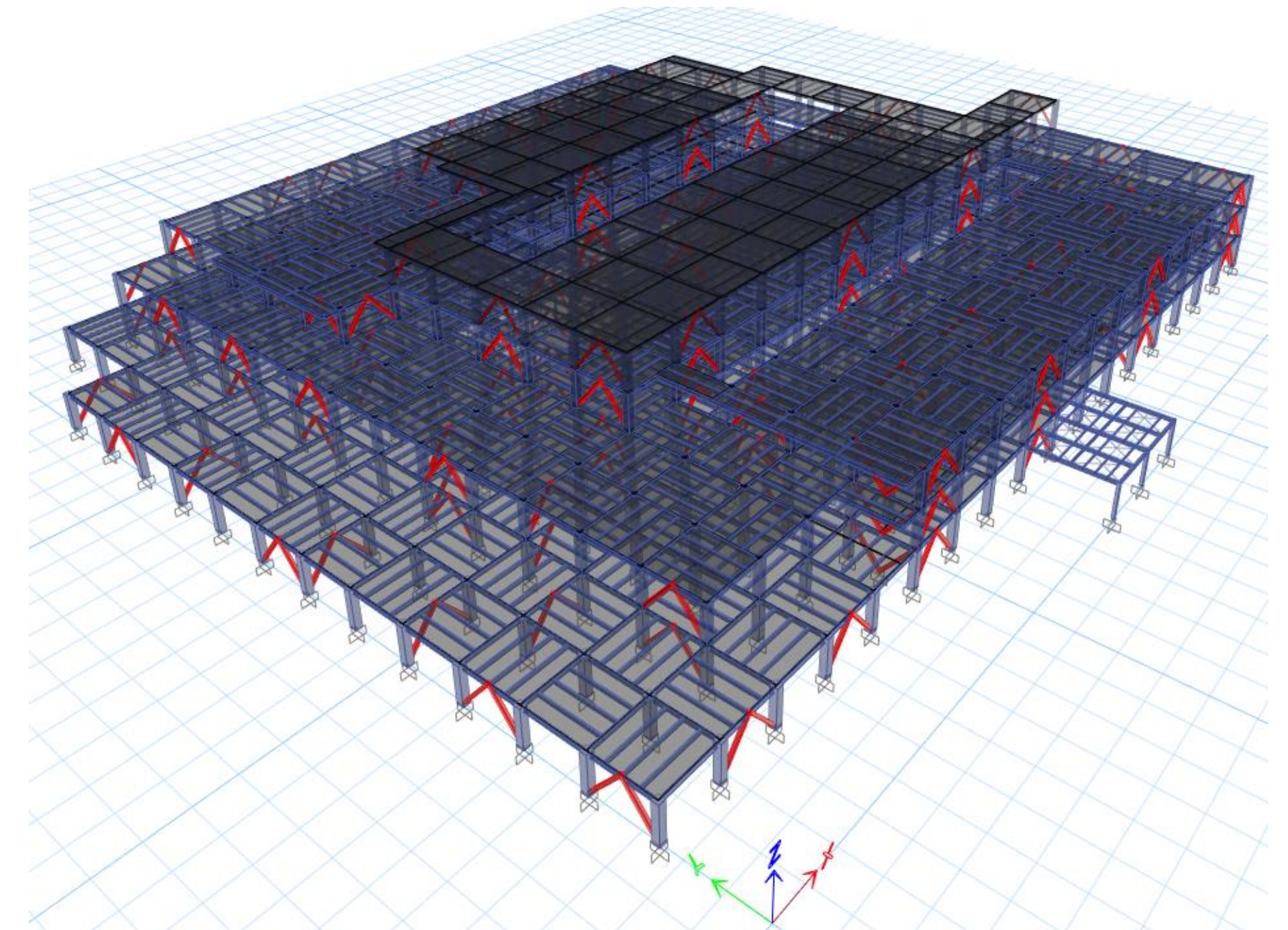
- Edificio hospitalario de 29,871 m²
- Ubicada en Tuxtla Gutierrez, Chiapas
- Estructuración con sistema de marcos de acero de baja ductilidad y contravientos concéntricos convencionales de baja ductilidad





Cuantificación

Comparación económica		
Elemento	Propuesta original	Con contravientos (nueva propuesta)
Columna de acero	\$ 123,987,500.00*	\$ 67,463,500.00*
Trabe de acero	\$ 82,813,900.00*	\$ 79,766,505.00*
Contravientos convencionales	\$ 27,527,500.00*	-
Disipadores de energía	-	\$ 49,500,000.00*
Instalación de disipadores	-	\$ 9,800,000.00**
Costo total	\$ 234,328,900.00**	\$ 206,530,005.00***
Costo por metro cuadrado	\$ 7,844.7	\$ 6,914.0
Densidad de acero	120.6 kg/m²	75.8 kg/m²

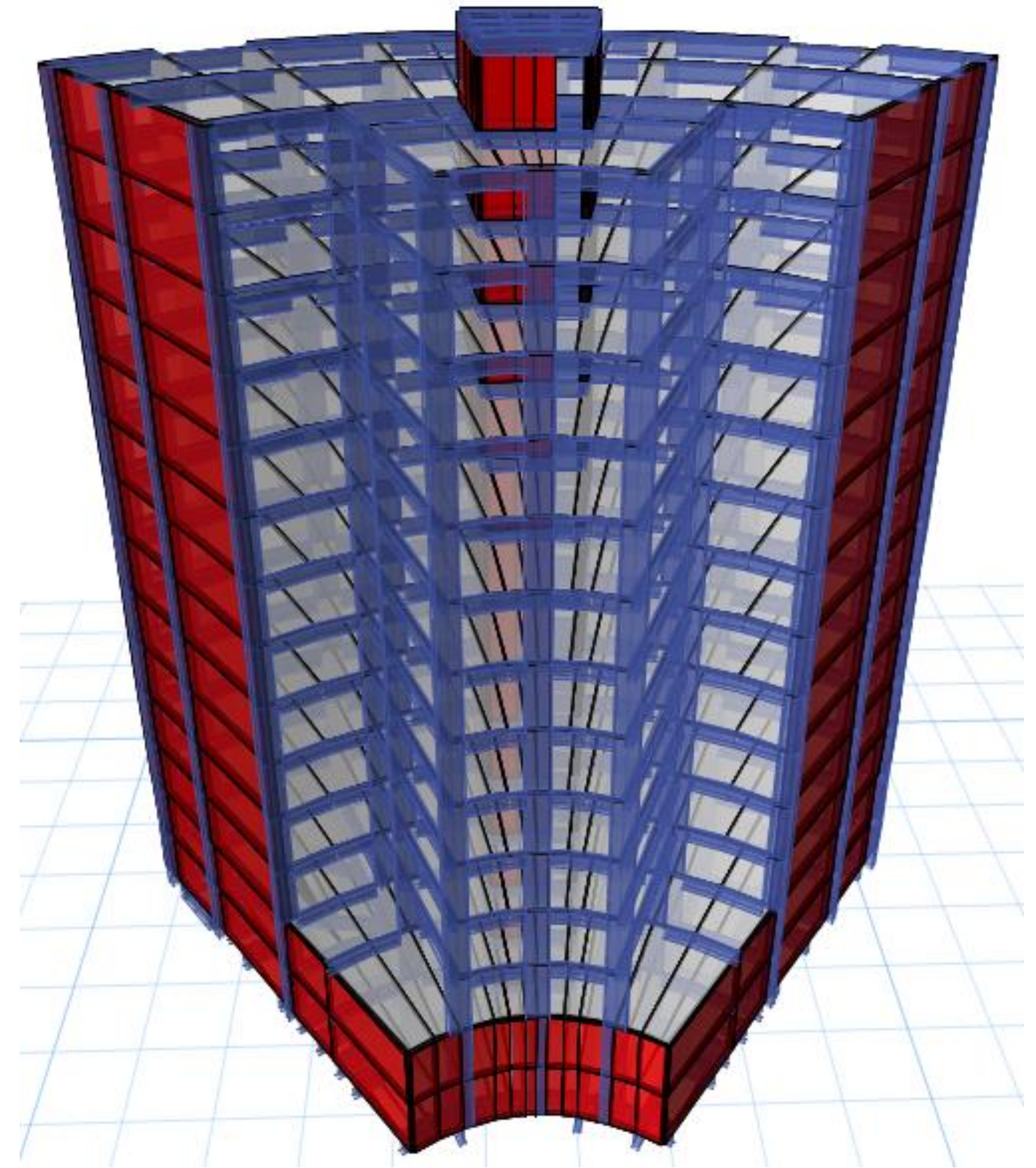


Densidad del acero bajó un 37%



Edificio en CDMX en concreto

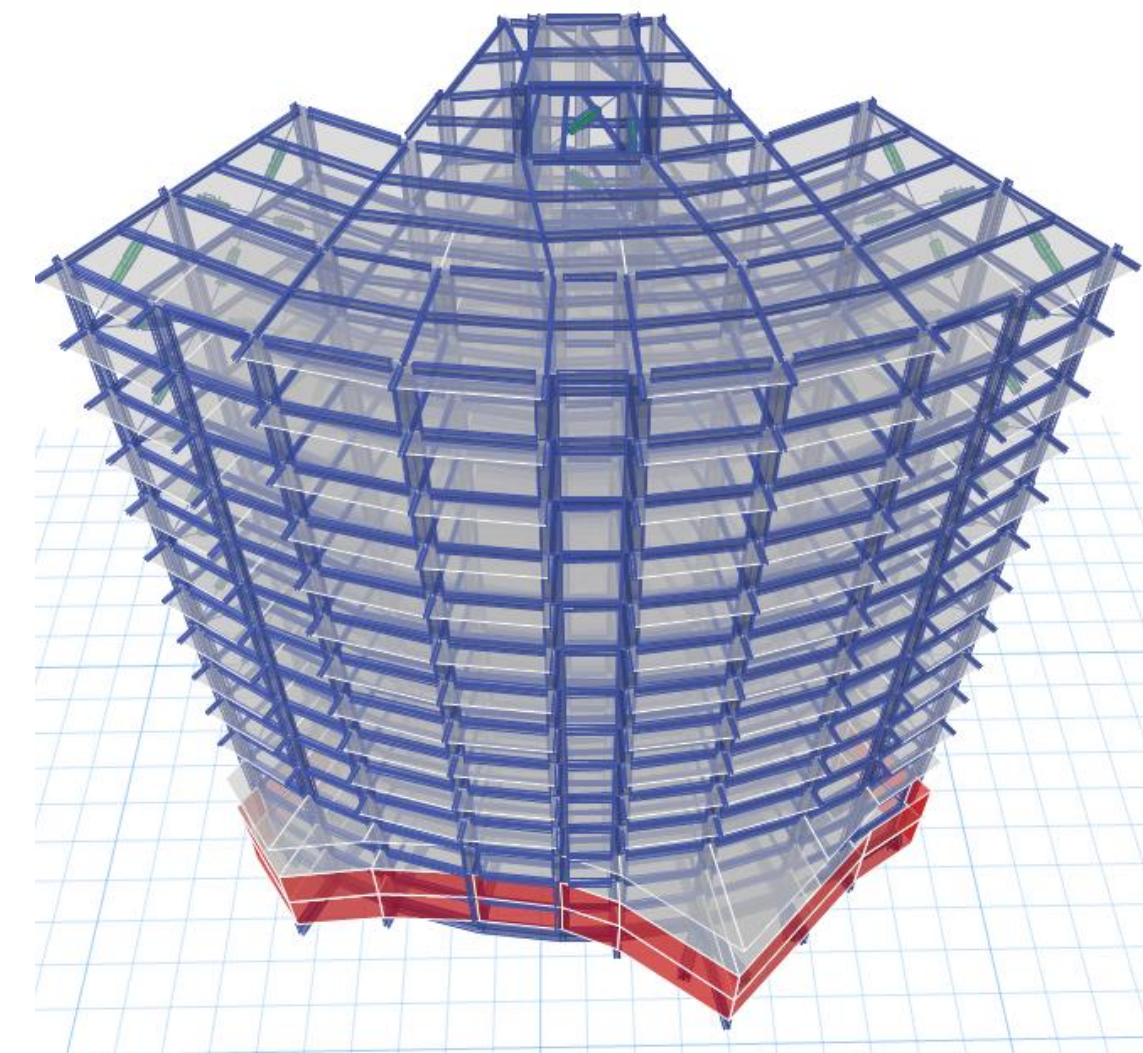
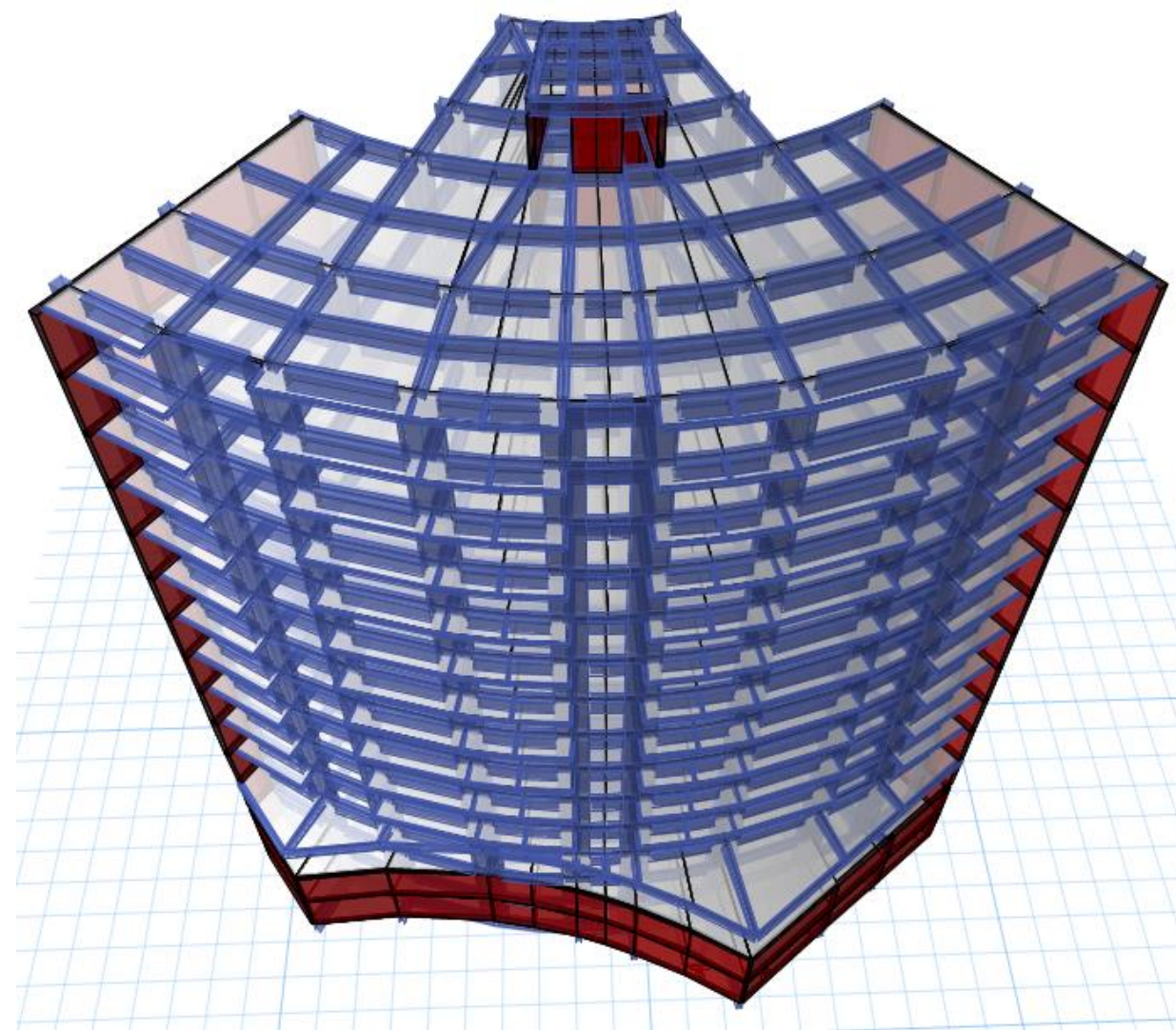
- Torre de departamentos
- Ubicada en la Ciudad de México
- Estructuración con sistema de marcos de concreto con muros de concreto





Comparación final

Propuesta	Acero empleado, ton	Concreto empleado, m ³	Costo por m ² (7,830 m ²)	Ahorro real, %
Estructura de concreto	-	3,760.6 m ³	\$4,802.8*	0.0%
Estructura de acero con disipadores	426.5 ton	1,334.4 m ³	\$4,667.7*	2.8%

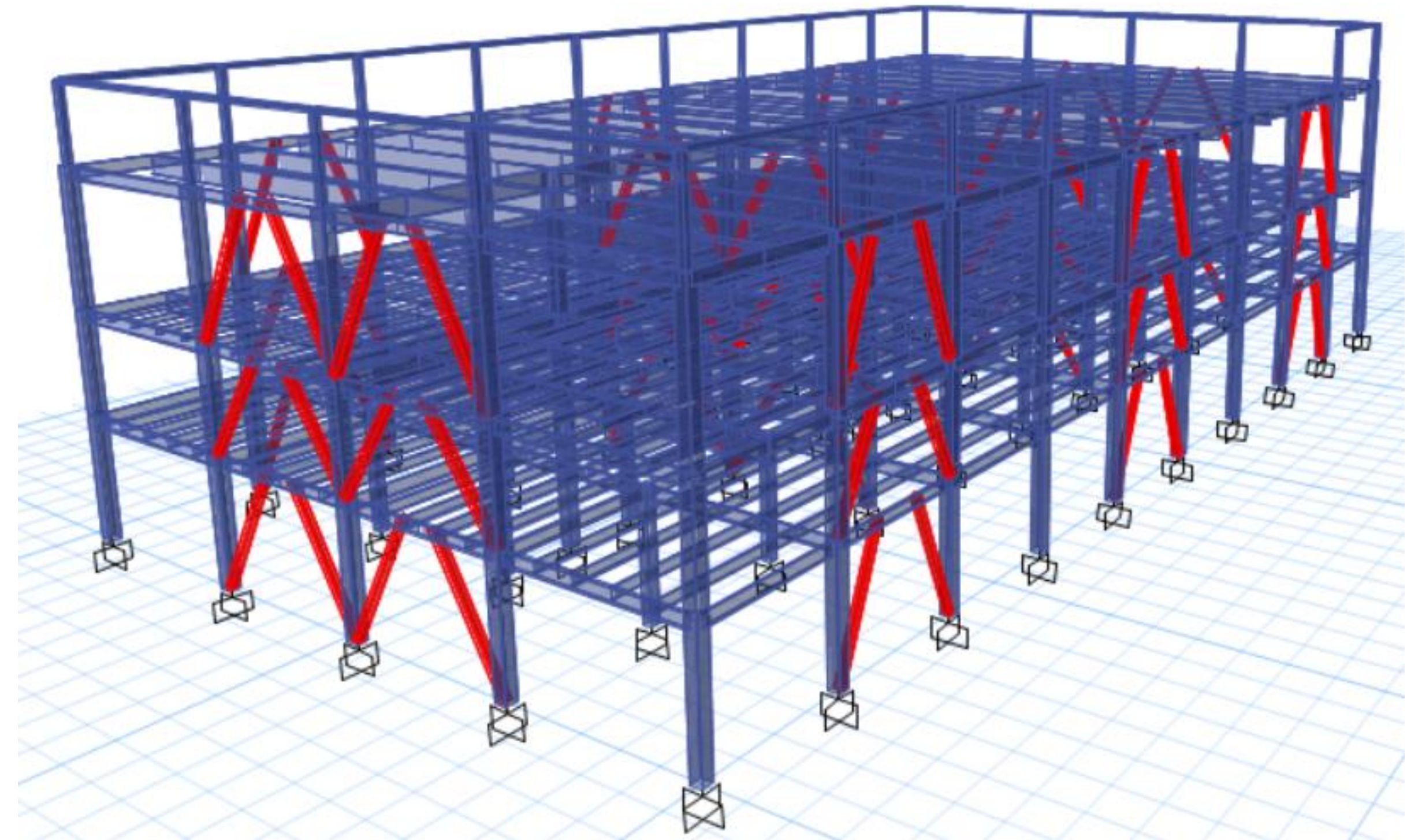


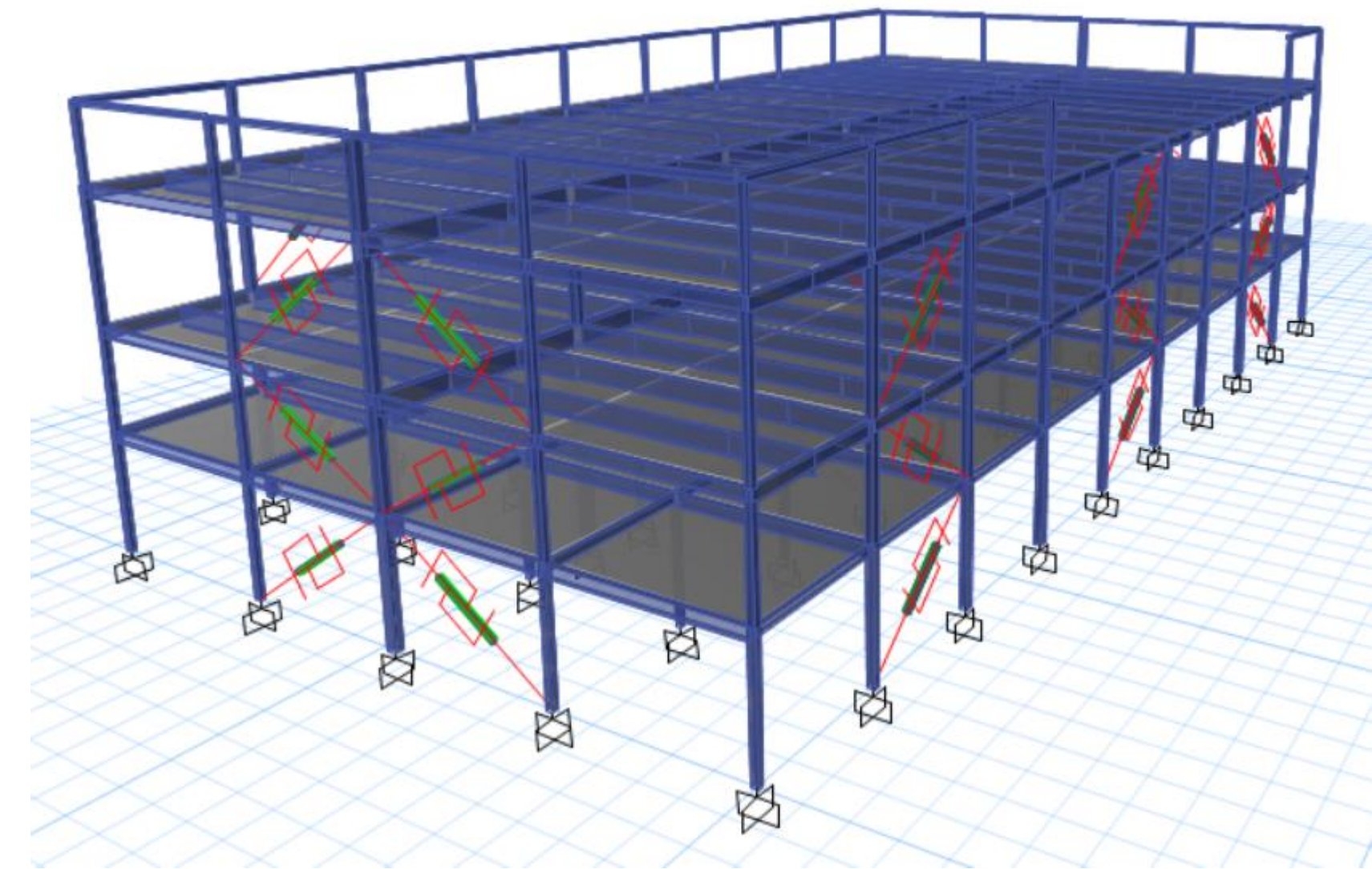
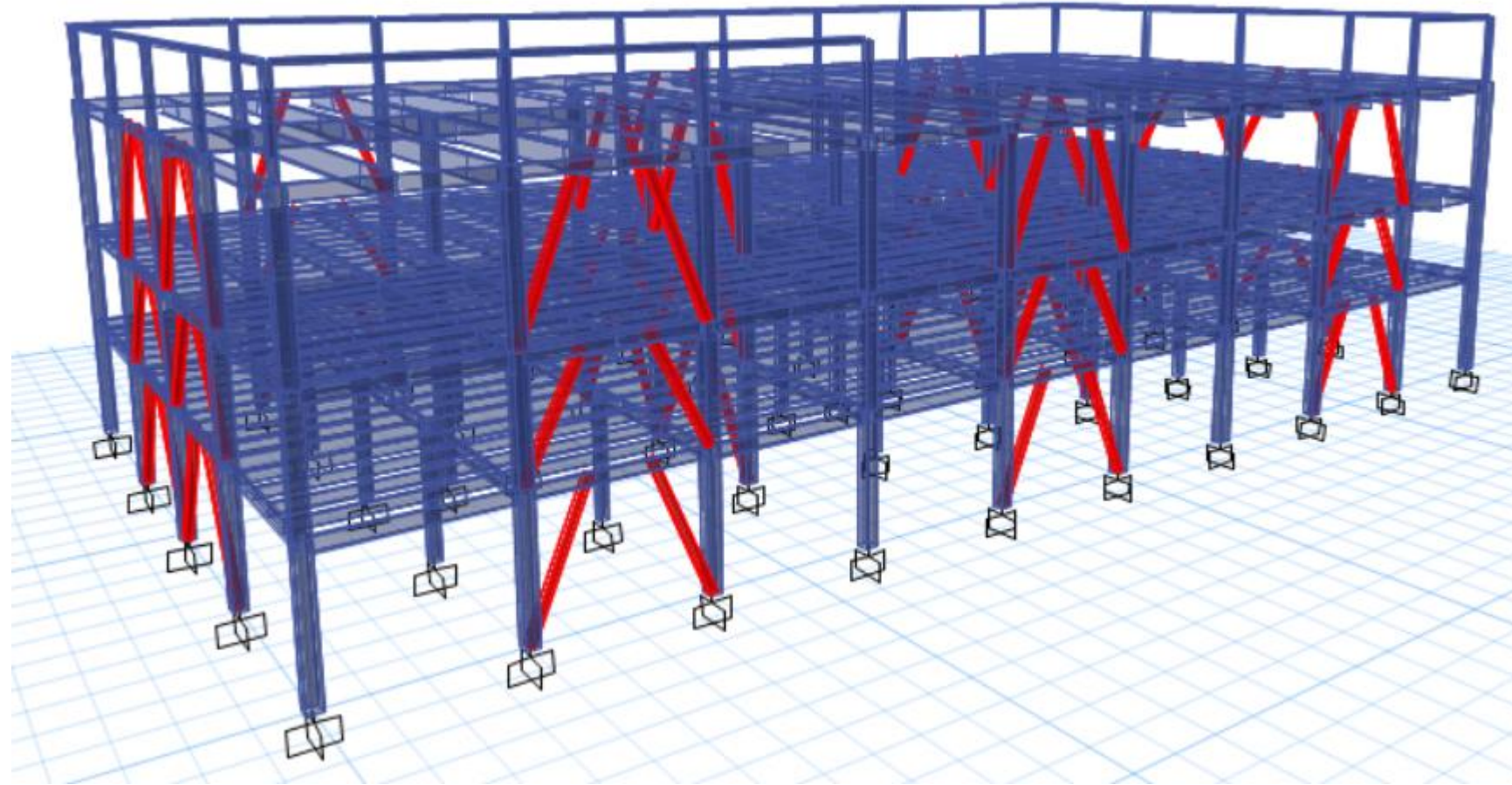
*Se consideró a \$10,000.00 m³ de concreto terminado y a \$40,000.00 ton de acero instalado



Data center en Querétaro

- Estructura de acero
- Ubicada en Querétaro
- Estructuración con sistema de marcos de acero con contraventeos excéntricos





Propuesta original

Elemento	Tipo	Cantidad
Columna	Varias	681.2 ton de acero
Trabe	Varias	1,069.3 ton de acero
Contraventeos convencionales	Varios	220.3 ton de acero
TOTAL DE ACERO*		1,970.8 ton de acero
COSTO POR M2** (14,286.5 m²)		\$6,207.6
Densidad de acero		137.9

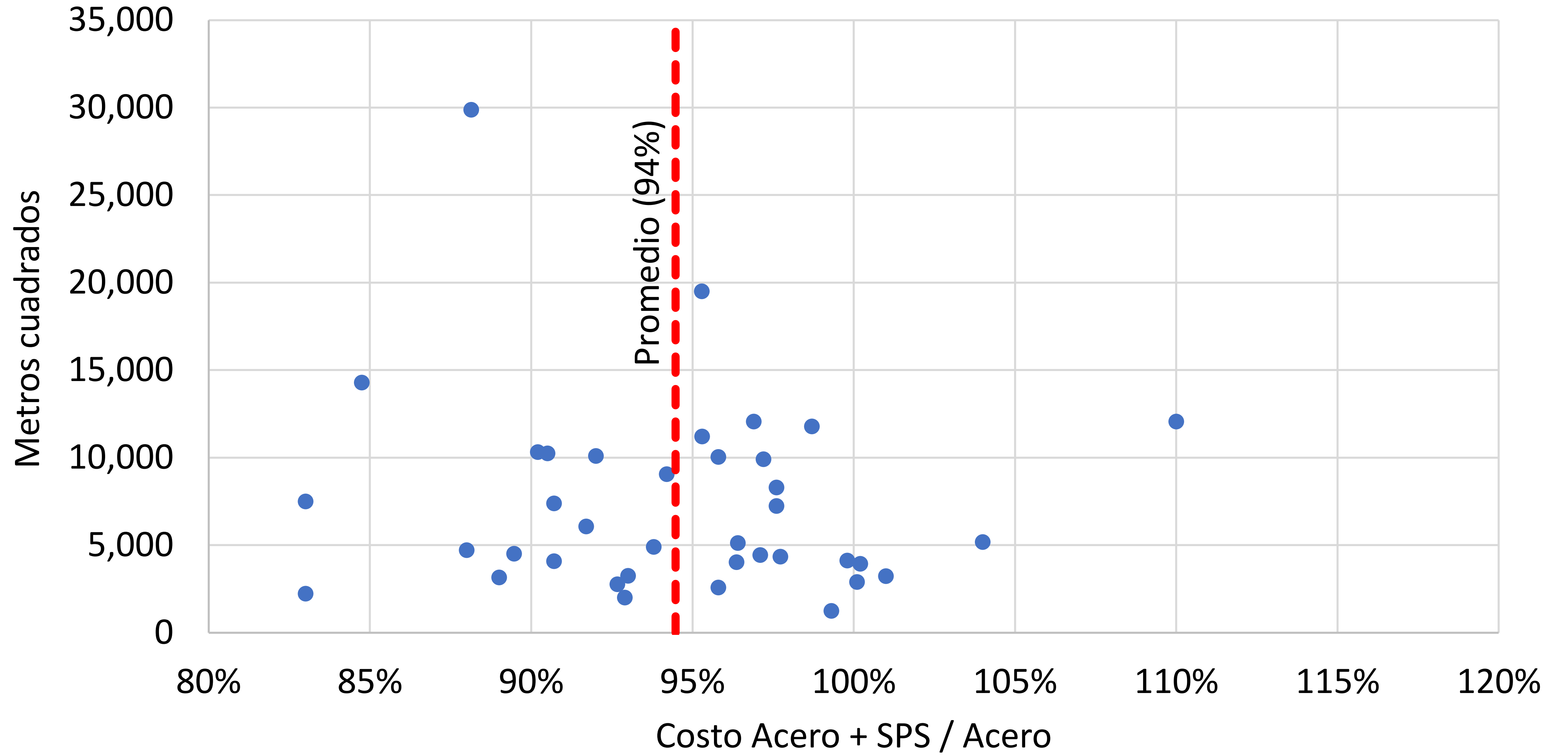
Propuesta Innovadora

Elemento	Tipo	Cantidad
Columna	Varias	377.35 ton de acero
Trabe	Varias	1,065 ton de acero
Disipadores	Varios	42 pza
TOTAL DE ACERO*		1,442.3 ton de acero
COSTO TOTAL POR M2** (14,286.5 m²)		\$5,260.5
Densidad de acero		100.93

Densidad del acero bajó un 26%

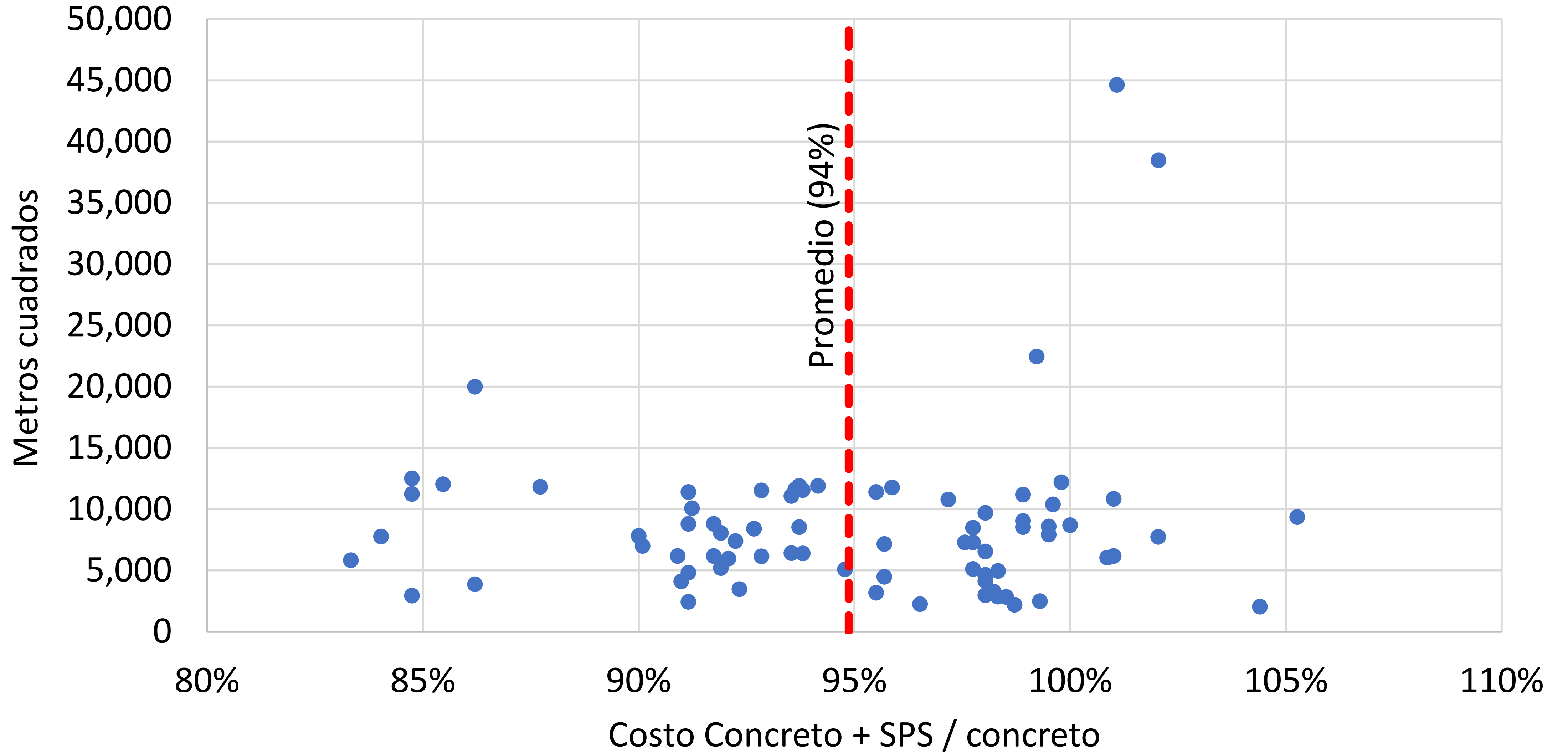


Estructuras de acero + SPS vs acero



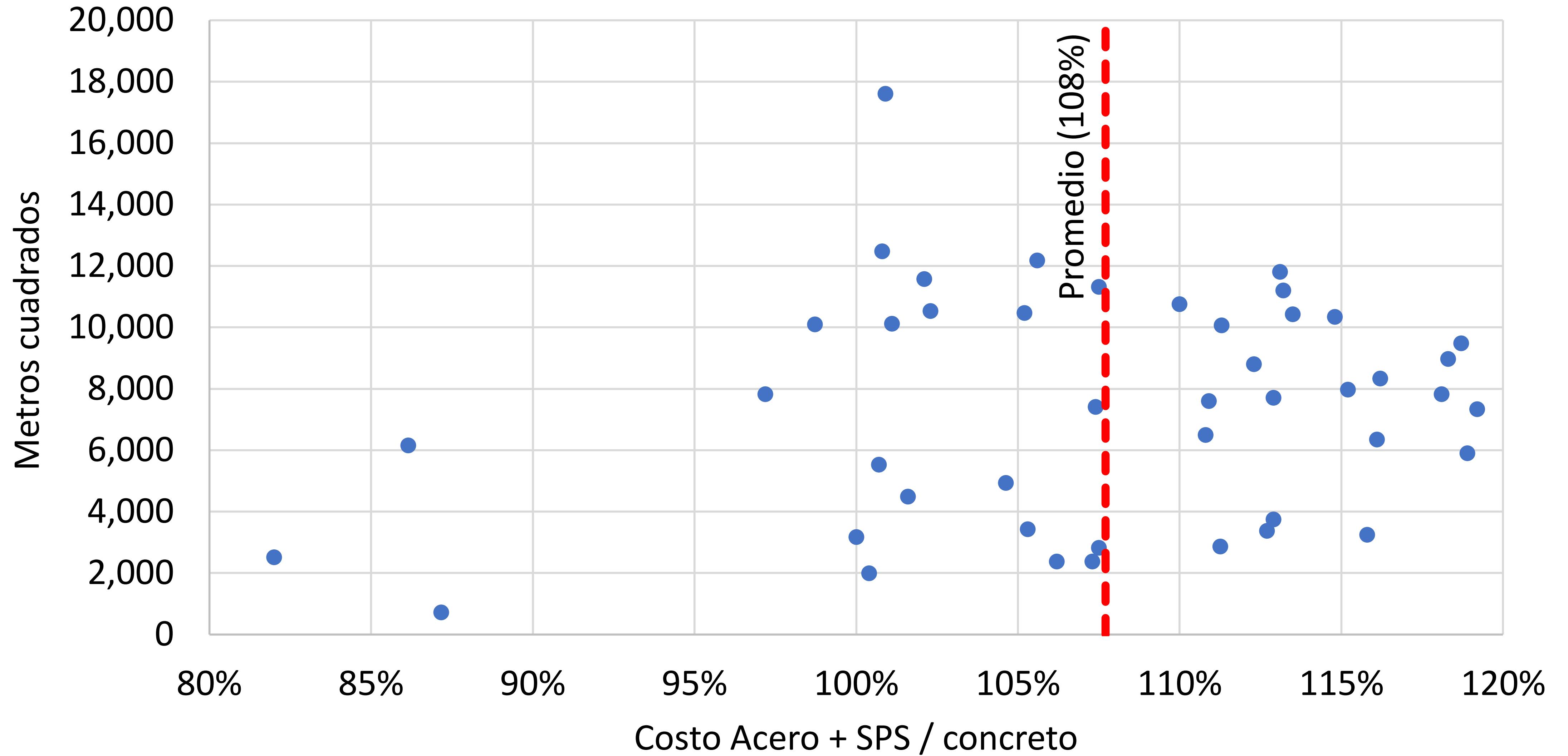


Estructuras de concreto + SPS vs concreto



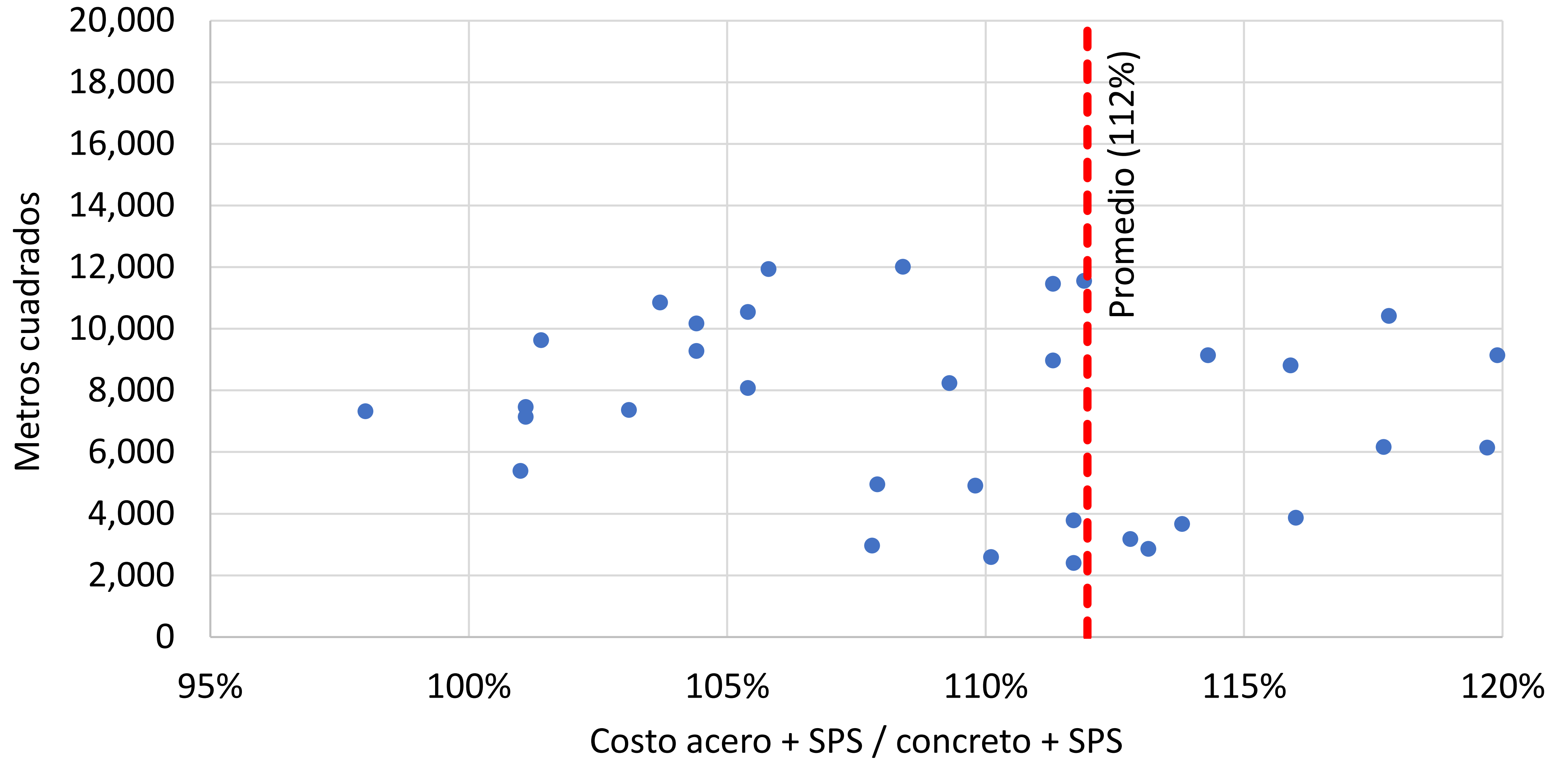


Estructuras de acero + SPS vs concreto



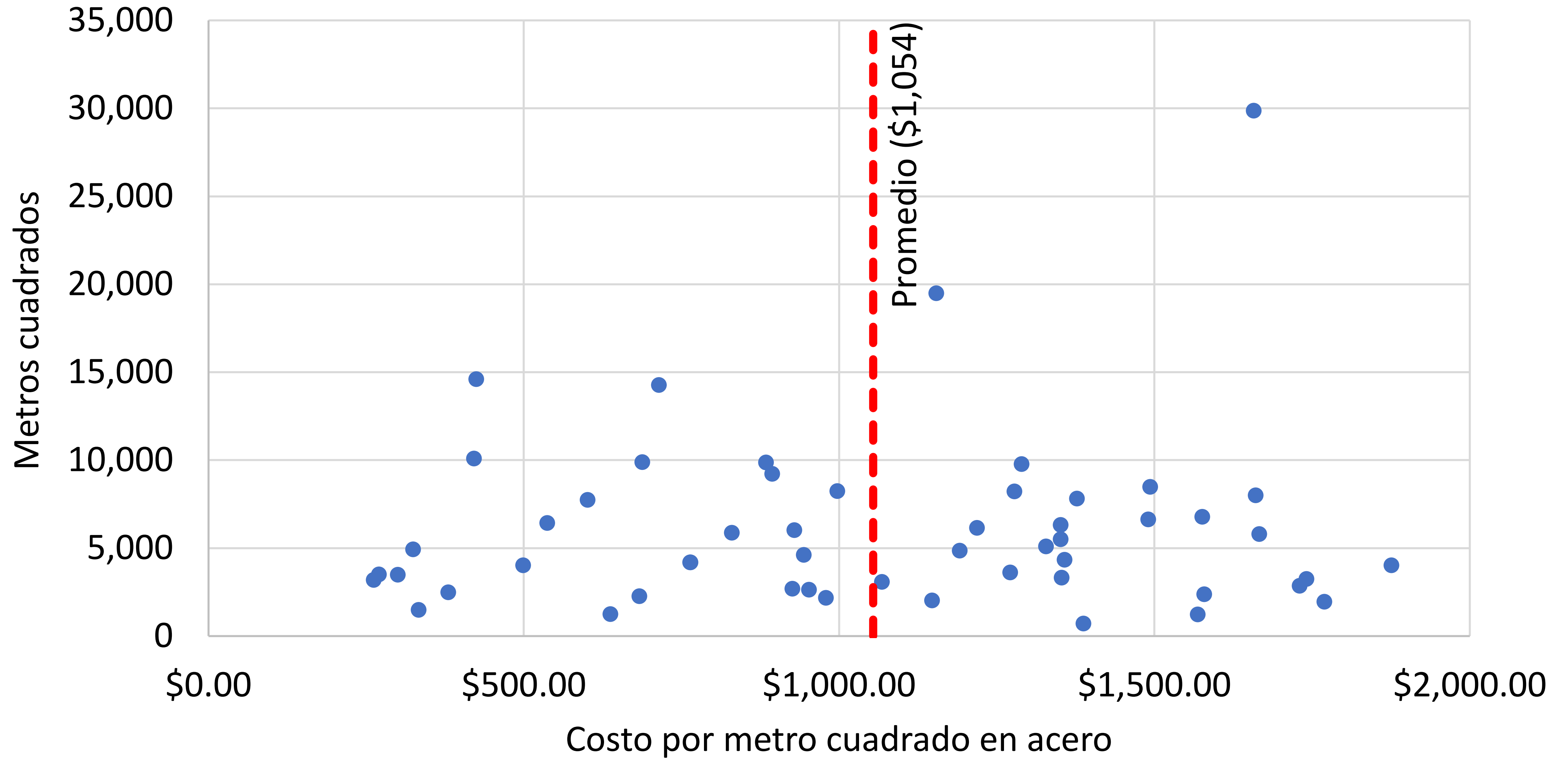


Estructuras de acero + SPS vs concreto + SPS



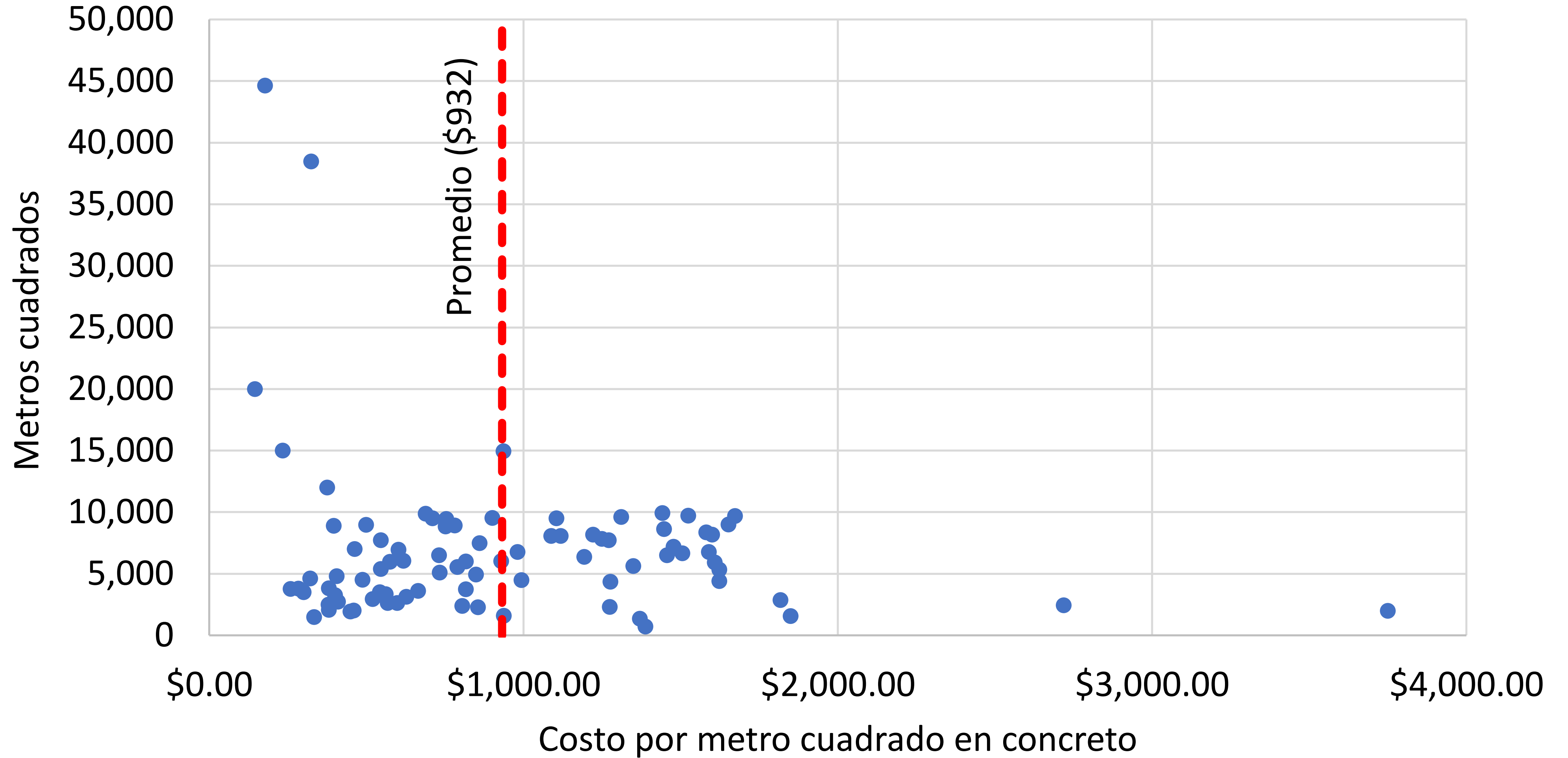


Costo por metro cuadrado de SPS en estructuras de acero





Costo por metro cuadrado de SPS en estructuras de concreto





Tendencia en la normatividad

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO POR SISMO

DEFINICIONES4

NOTACIÓN9

Tabla 4.3.2 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de acero y compuestas ⁽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
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de <i>ductilidad media</i>	3.0	0.020	0.0075
	Media	Marcos con conexiones con patín y alma soldada	3.0	0.020	0.0075
	Baja	Vigas de alma abierta (armaduras) de <i>ductilidad baja</i>	2.0	0.015	0.0075
	Baja	Conexiones semirrígidas	2.0	0.015	0.0075
	ii) Sistema dual ^{(a)(b)} formado por marcos de acero y contraventeos de acero ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Alta	Contraventeos excéntricos	4.0	0.020
Alta		Contraventeos restringidos al pandeo	4.0	0.020	0.0075
Media		Contraventeos concéntricos de <i>ductilidad alta</i> ⁽⁶⁾	3.0	0.015	0.0050
Baja		Contraventeos concéntricos de <i>ductilidad media</i> ⁽⁷⁾	2.0	0.010	0.0050
Baja		Contraventeos concéntricos que trabajan solo en tensión	1.0	0.005	0.0030

6. ANÁLISIS ESTÁTICO62

6.1 Alcances62

6.2 Requisitos de aplicación62

6.3 Determinación de las fuerzas laterales de diseño63

6.4 Reducción de las fuerzas laterales en función del período fundamental63

6.5 Análisis estático no lineal64



Tendencia en la normatividad

5.5 Correcciones para estructuras fuertemente irregulares por torsión

5.5.1 Cuando una estructura sea clasificada como fuertemente irregular por torsión en conformidad con 5.1.2, las distorsiones límite γ_{max} indicadas en 4.3 se reducirán un 40 por ciento.

5.5.2 Si una estructura, además de ser clasificada como fuertemente irregular por torsión de acuerdo con 5.1.2, fuera clasificada como irregular por una o más de las irregularidades mencionadas en 5.3, las distorsiones límite γ_{max} indicadas en 4.3 se reducirán un 50 por ciento.

5.5.3 Adicionalmente a las reducciones de las distorsiones límite γ_{max} indicadas en los dos párrafos anteriores, si en cualquiera de las plantas de la estructura existe un punto que bajo las acciones de diseño presente un desplazamiento lateral que excede en más de 40 por ciento el desplazamiento lateral promedio de los extremos de la planta en la dirección de análisis, se deberá de llevar a cabo una revisión de la estructura usando un análisis no lineal paso a paso independientemente de la altura de la estructura para verificar que no se exceden las distorsiones límite γ_{max} indicadas en 4.3 reducidas en un 50 por ciento.

5.6 Correcciones para estructuras fuertemente irregulares en elevación..... Error! Bookmark not defined.
5.7 Corrección por concentración de sismo-resistencia..... Error! Bookmark not defined.

6. ANÁLISIS ESTÁTICO62
6.1 Alcances.....62
6.2 Requisitos de aplicación62
6.3 Determinación de las fuerzas laterales de diseño.....63
6.4 Reducción de las fuerzas laterales en función del período fundamental63
6.5 Análisis estático no lineal64



Conclusiones

- Buscar la resiliencia sísmica y viabilidad económica
- Alternativas para estructuras resilientes
- Normatividad cada vez más estricta



@Damposystems



www.dampo.com.mx

¡Gracias!



fernando.cueto@dampo.com.mx