

VIERNES DEL ACERO

28 DE ENERO
10:00 - 12:00 pm

Eficiencia estructural de edificios de acero

PONENTE

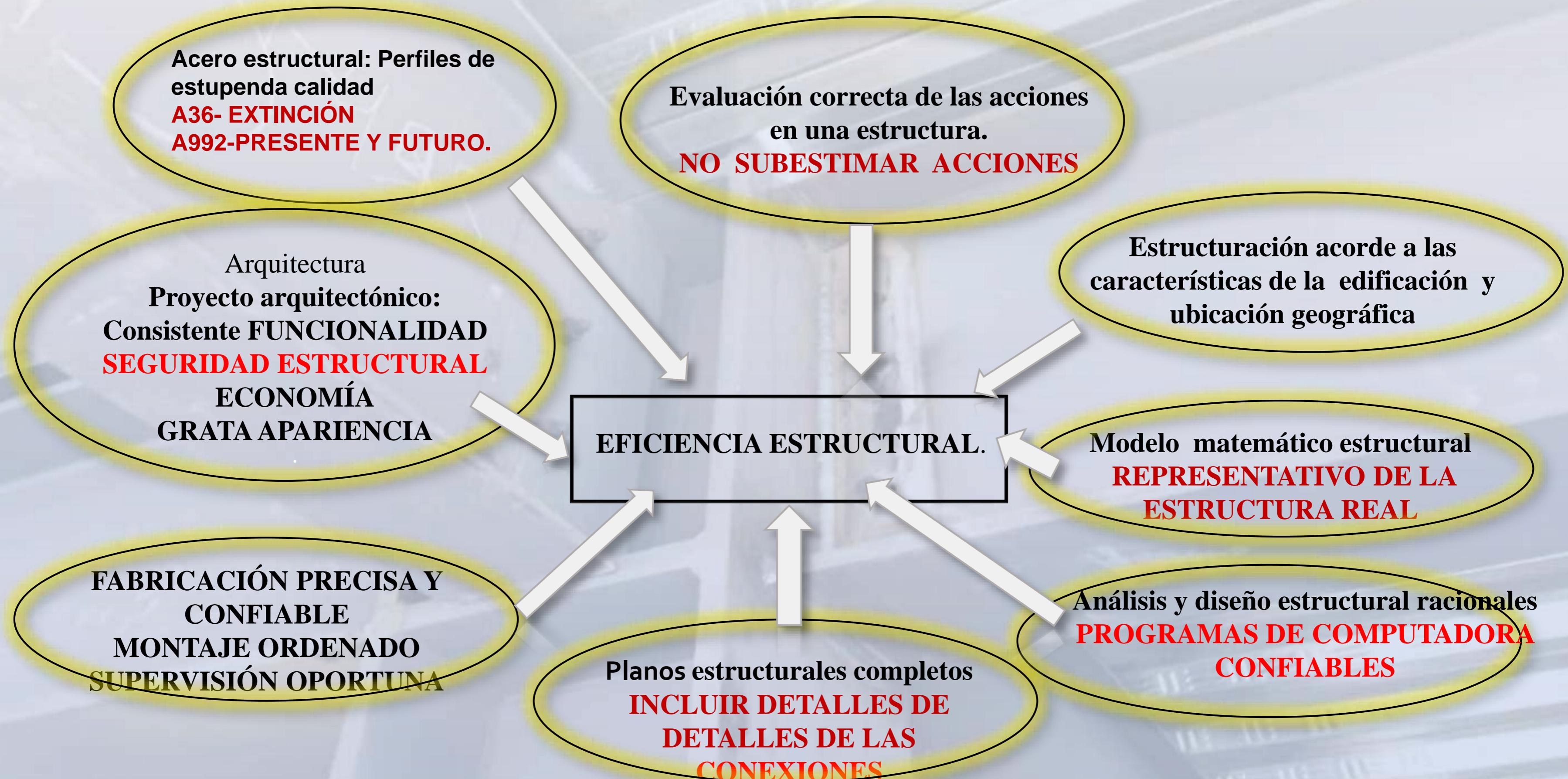
M.I. Héctor Soto Rodríguez

OBJETIVO

Presentar una serie de recomendaciones y reglas prácticas para obtener diseños estructurales racionales que cumplan al mismo tiempo con las premisas de seguridad estructural y economía en edificios de acero, haciendo énfasis en condiciones sísmicas inherentes.

PÚBLICO

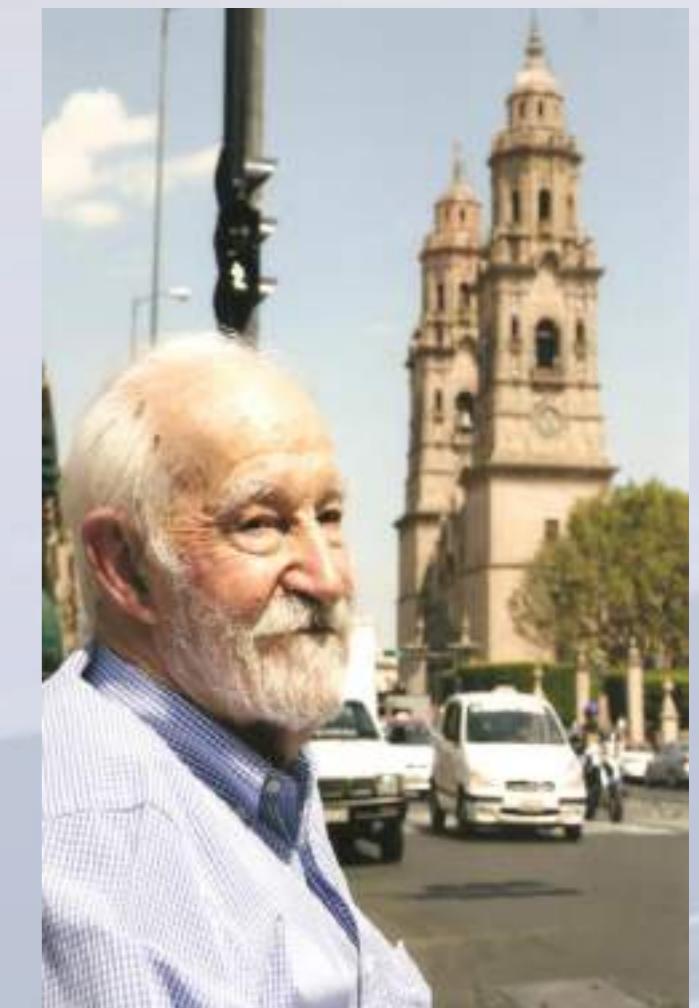
Estudiantes y profesores de licenciatura y de maestría en ingeniería civil, ingenieros estructuristas, arquitectos, fabricantes y supervisores de estructuras metálicas.



REFLEXIÓN 1

La construcción en acero tiene un futuro prometedor, y puede contribuir significativamente a la tan añorada, pero nunca alcanzada independencia tecnológica. Las estructuras que construyamos en el futuro habrán de ser más económicas y, al mismo tiempo, más seguras que las actuales; para ello es preciso optimizar todas las etapas del proceso de diseño y construcción.

Los ingenieros estructurales han de preocuparse mucho más que hasta ahora por escoger la solución más adecuada para cada caso, mientras que los métodos de enseñanza deben modificarse para capacitar a las nuevas generaciones.

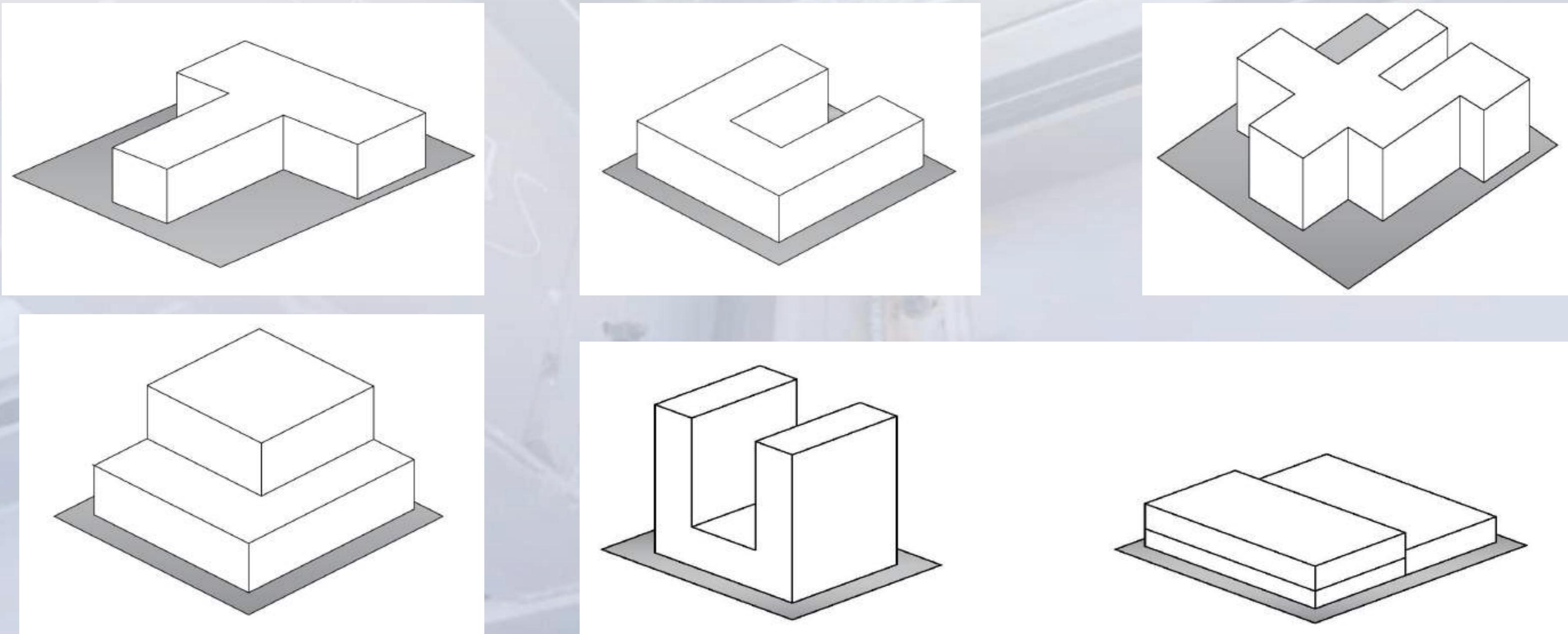


Oscar de Buen López de Heredia

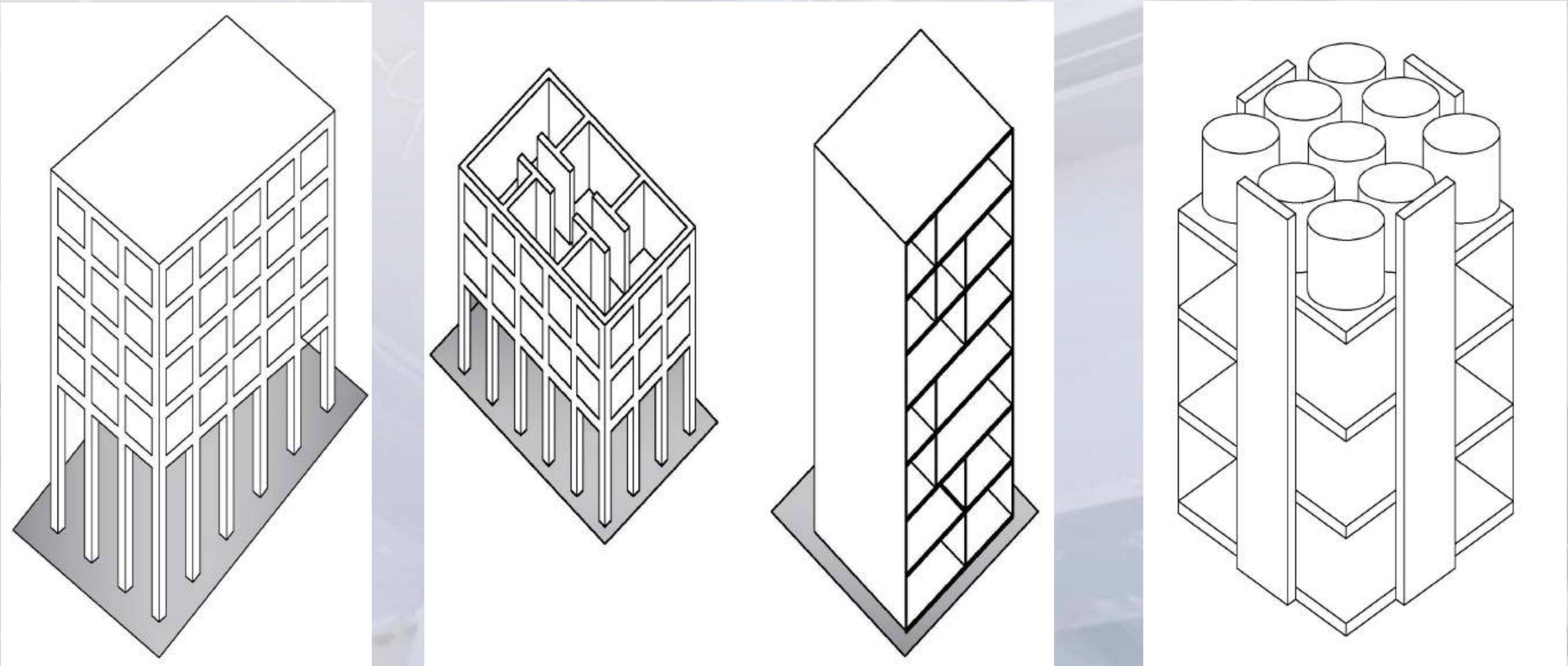
ARQUITECTURA



El acero estructural es el material ideal en la Arquitectura Contemporánea: Es la estructura que da soporte a los volúmenes proyectados por el arquitecto y al mismo tiempo aporta grata apariencia.



Desde siempre los sismos intensos han ocasionado daños estructurales severos en edificaciones que tienen configuraciones arquitectónicas irregulares y que son vulnerables a los efectos de torsion. El estructurista experto ha propuesto para mejorar el comportamiento sísmico juntas constructivas para que los cuerpos trabajen de manera independiente.



Los edificios urbanos con plantas débiles son muy comunes en la CDMX y a la fecha este problema no se ha atendido correctamente. Han tenido un comportamiento insatisfactorio debido a su desempeño dinámico frágil.

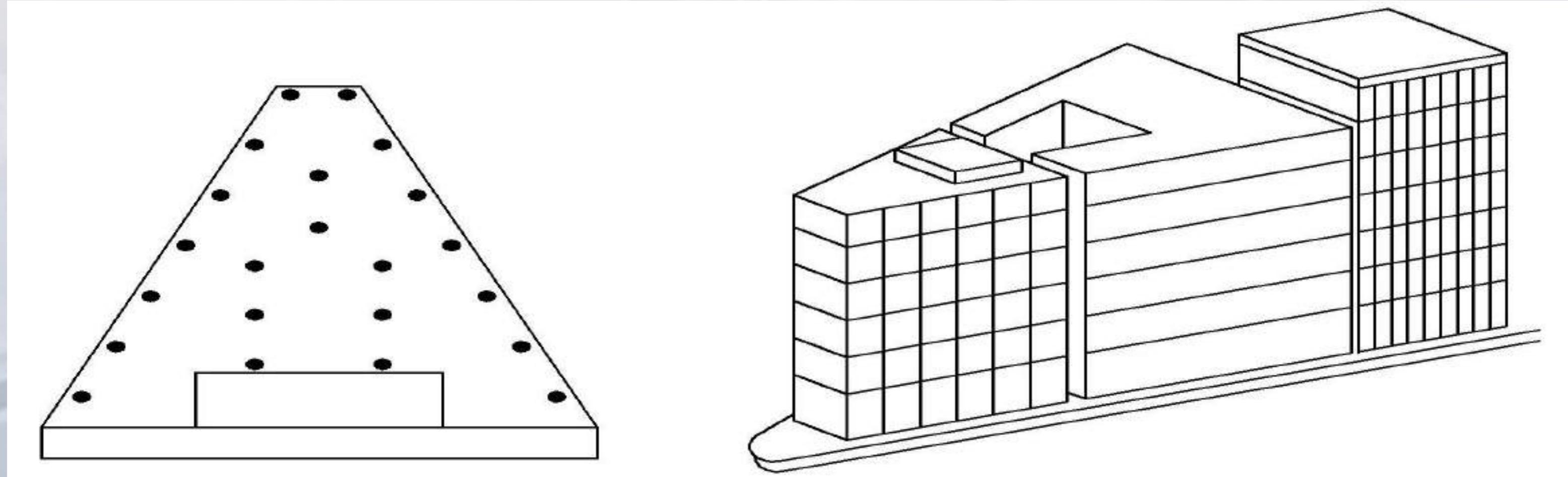


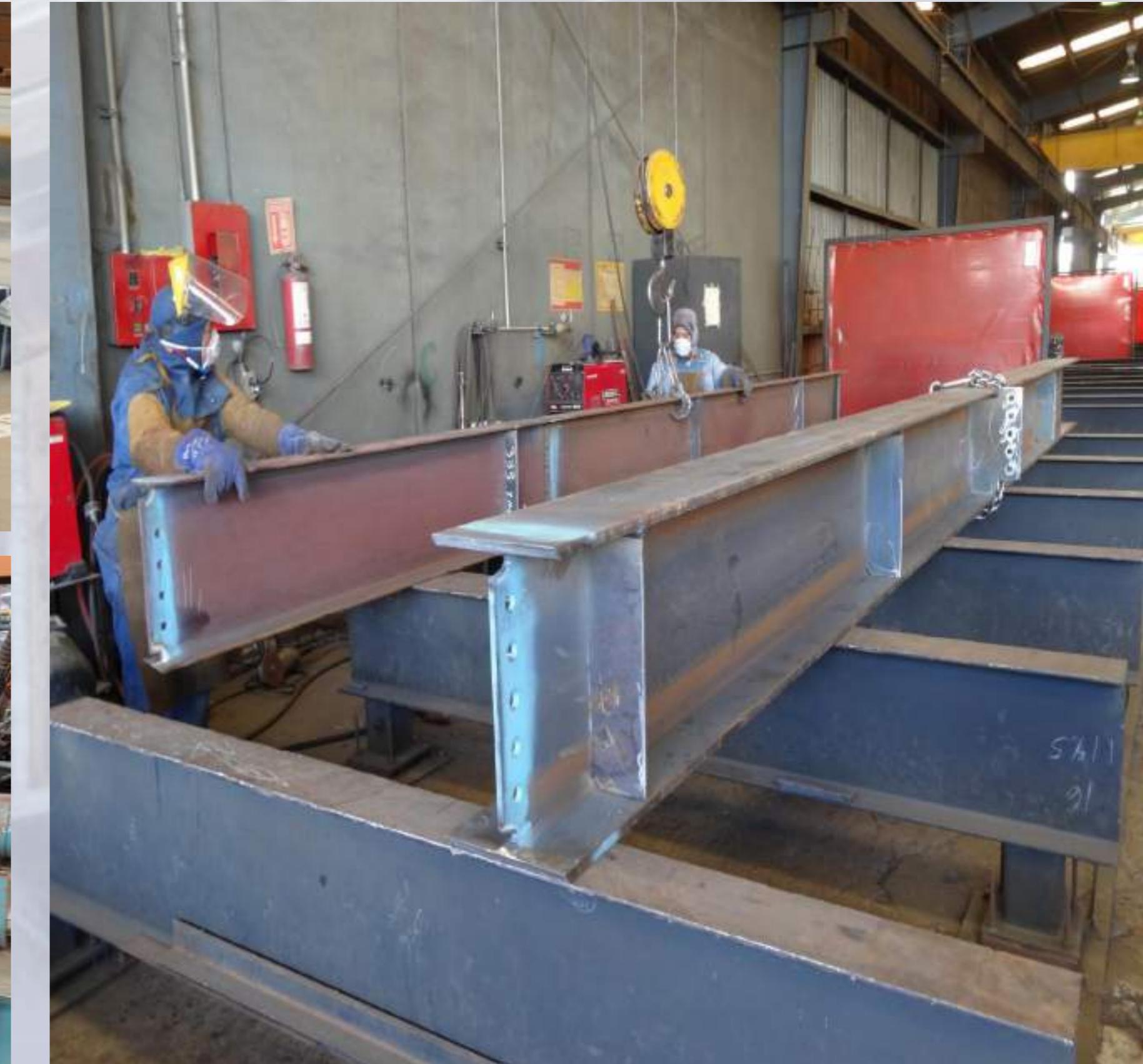
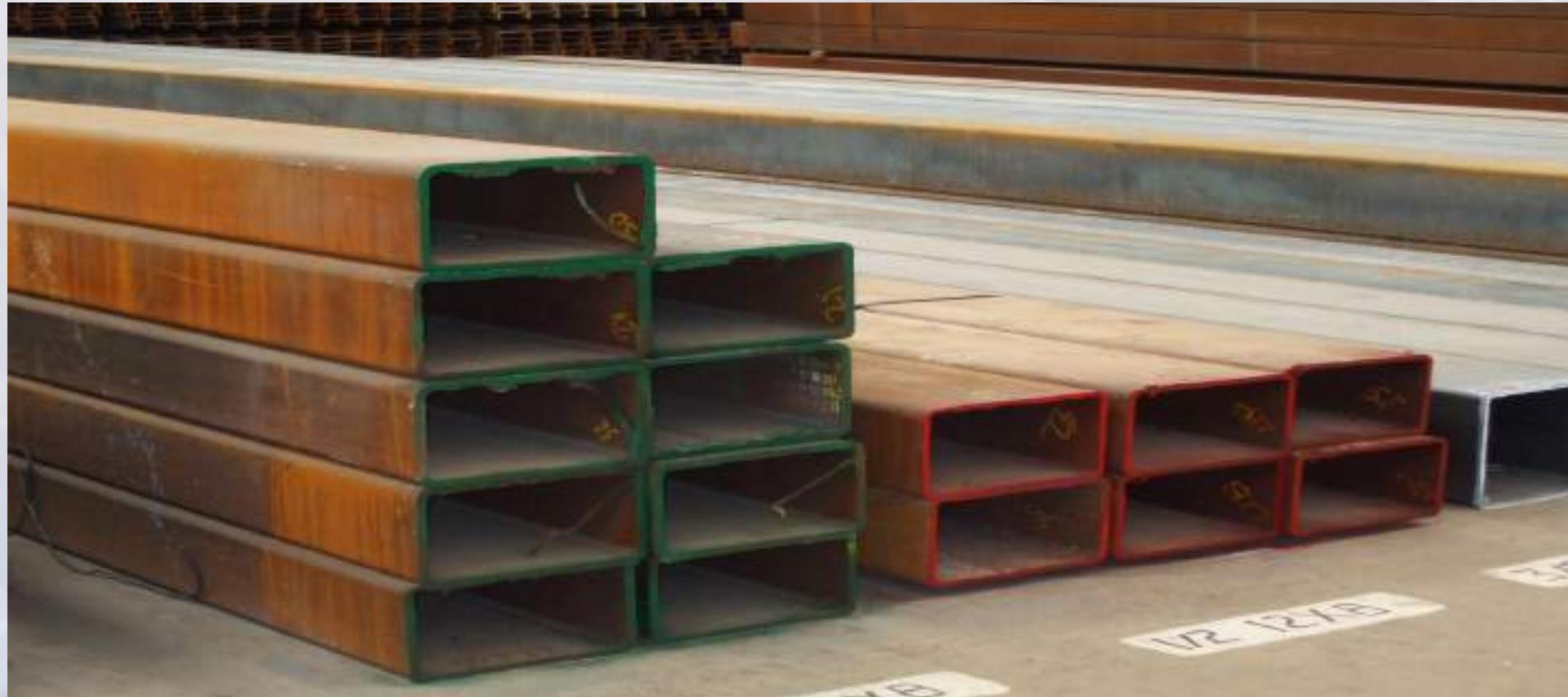
TABLA 1. PROBLEMAS DERIVADOS DE LA IRREGULARIDAD DE EDIFICIOS DE ACERO

Tipo de estructura	Diseño Estructural	Comportamiento sísmico	Costo
Regular	Sencillo	Predecible	Razonable
Irregular	difícil	Incierto	Alto
Fuertemente Irregular	Muy difícil	Complejo	Muy Elevado

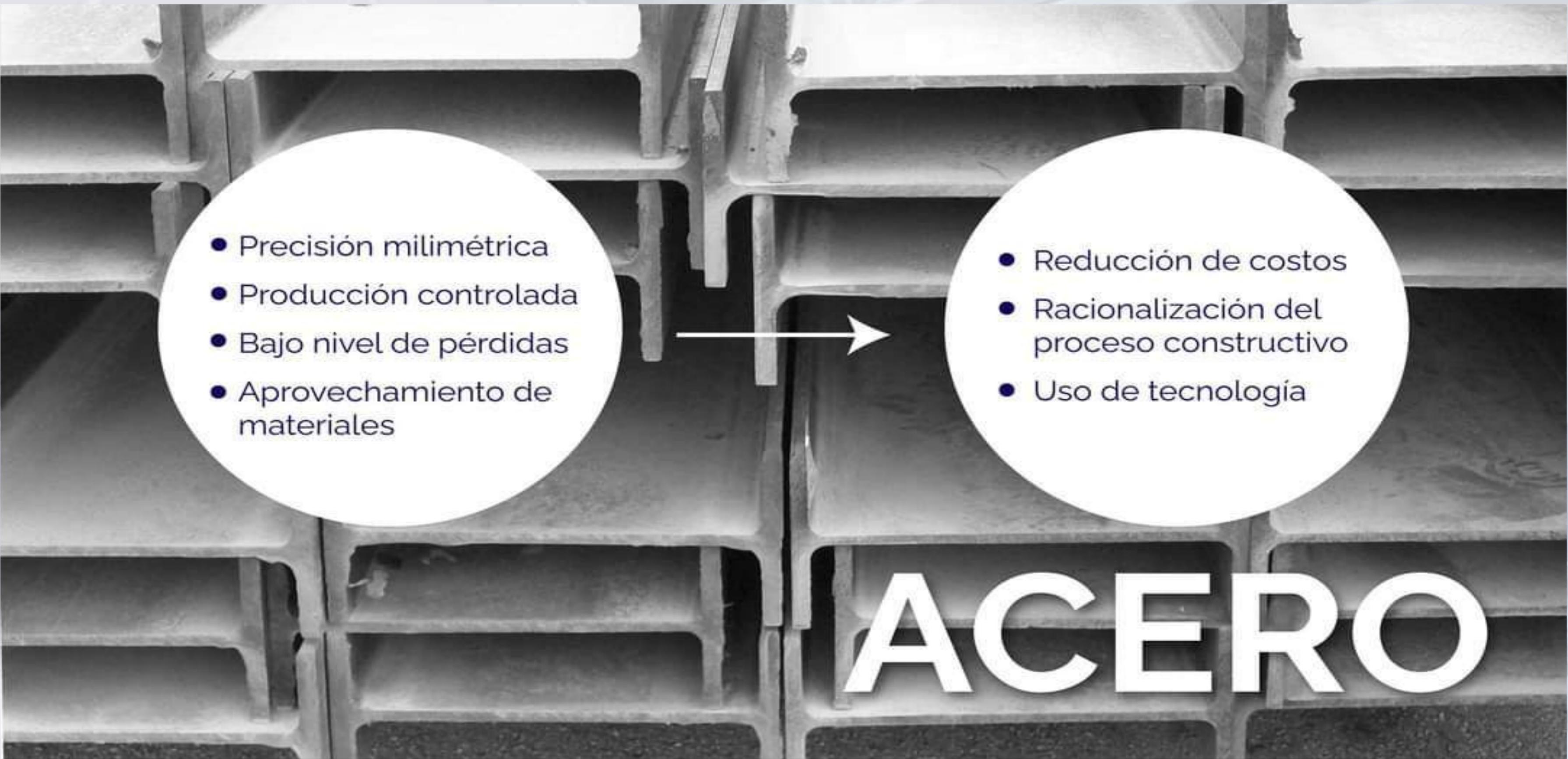


Hoy en día, en México se cuenta con aceros estructurales de estupenda calidad: perfiles laminados en caliente , en frío para numerosas aplicaciones estructurales.

ACERO ESTRUCTURAL

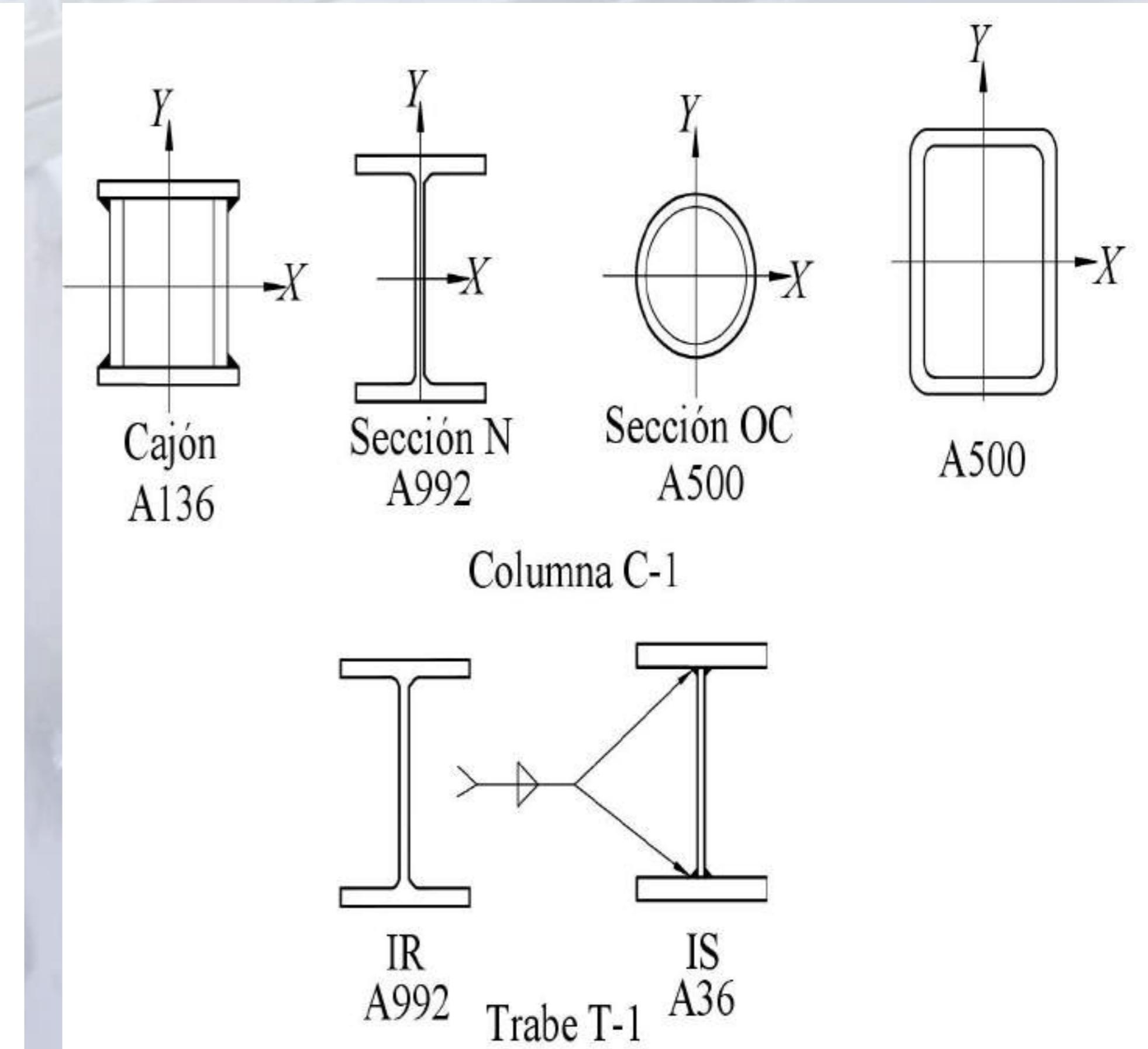
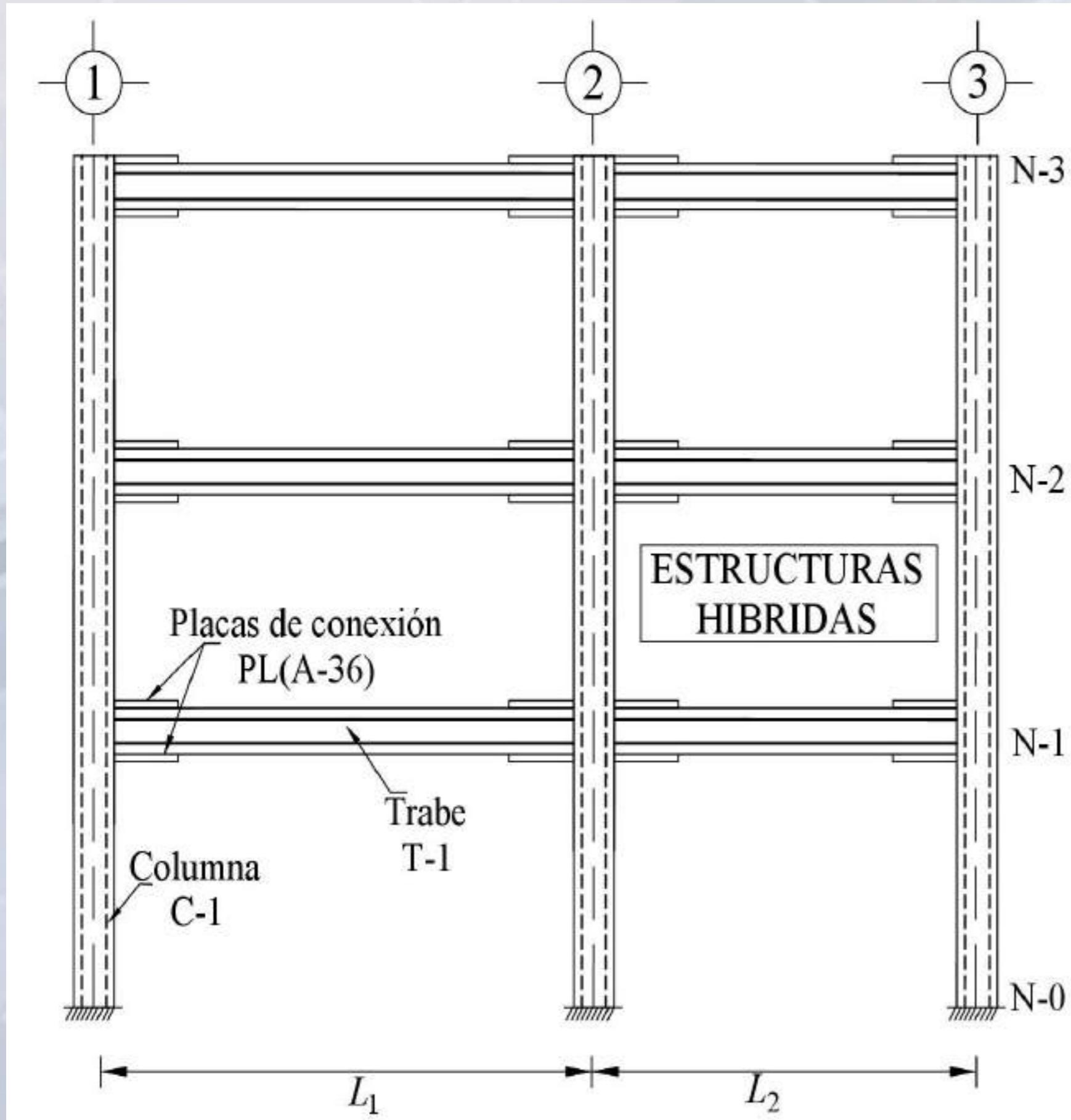


El ingeniero estructural conoce las aplicaciones más convenientes de los perfiles estructurales laminados y soldados de acuerdo con el modo de trabajo de los diversos miembros constitutivos de una estructura.

- 
- Precisión milimétrica
 - Producción controlada
 - Bajo nivel de pérdidas
 - Aprovechamiento de materiales

- Reducción de costos
- Racionalización del proceso constructivo
- Uso de tecnología

Ventajas competitivas del acero en la fabricación de estructuras conforme el IMCA.



REFLEXIÓN 2

“ Muchos ingenieros de la práctica profesional han creído erroneamente por años que la naturaleza dúctil del acero se traslada inherentemente al comportamiento dúctil de las estructuras ...”

“ Una aproximación en el diseño dúctil de las estructuras es necesario porque sólo la calidad dúctil del acero no es suficiente ...”

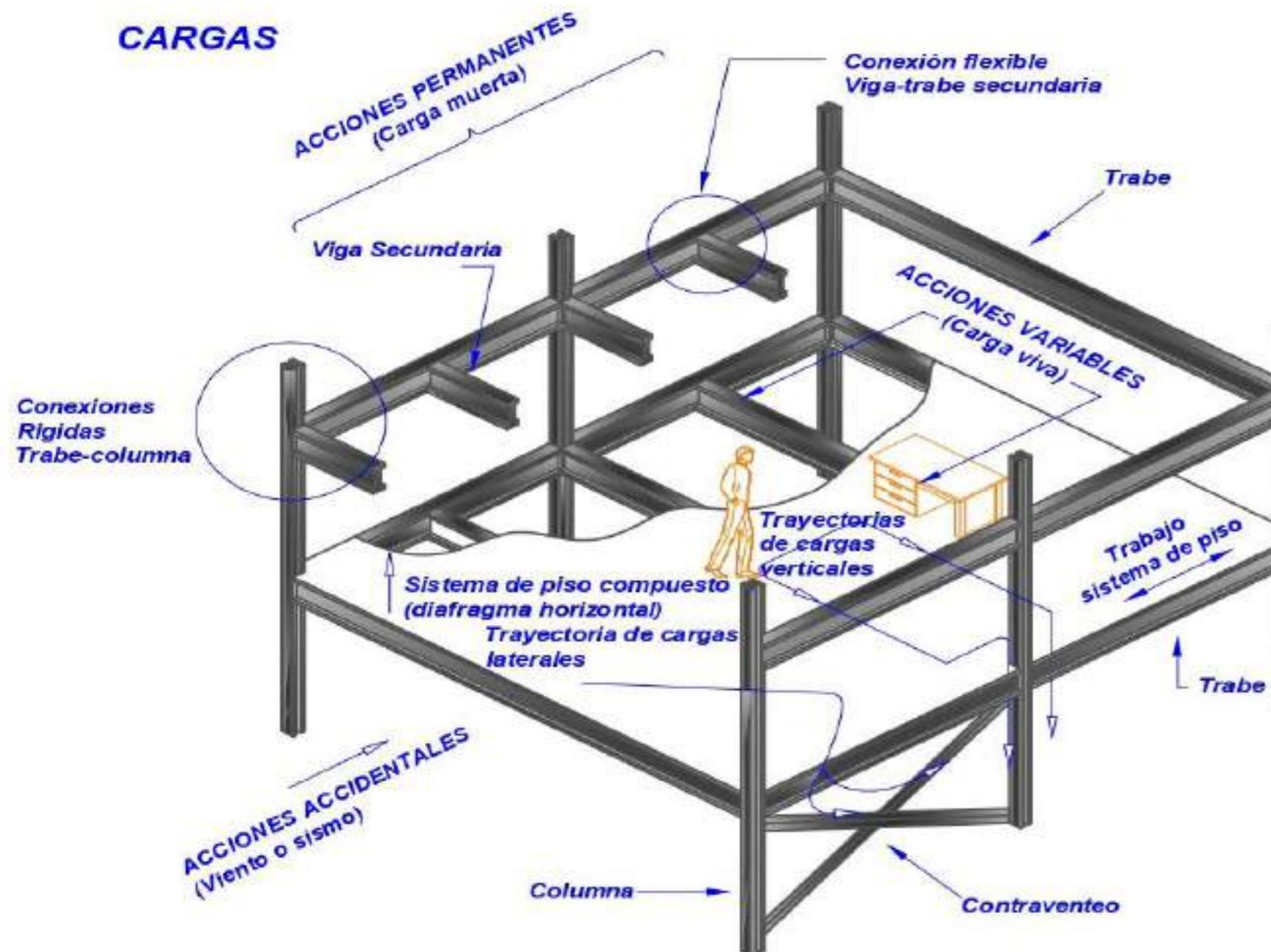
“ Reconocer y evitar situaciones que conduzcan a fallas frágiles y adoptar estrategias de diseño que permitan confiables mecanismos de disipación de energía en ciclos histeréticos ...”

“ Este tipo de pensamiento es relativamente nuevo dentro de la Ingeniería Estructural ...”

Michel Bruneau



EVALUACIÓN ACCIONES



Cargas vivas unitarias, kN/m² (kg/m²)

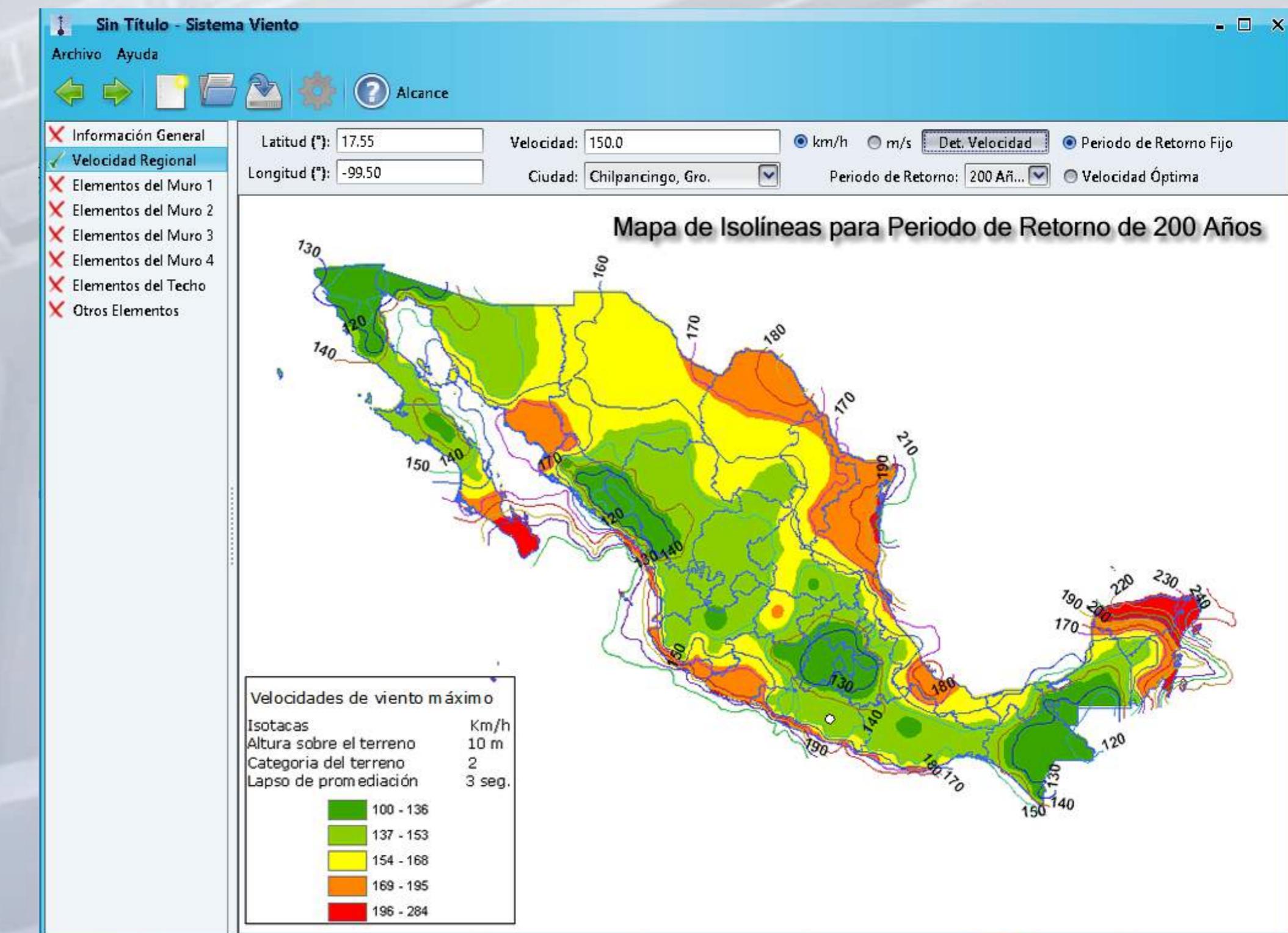
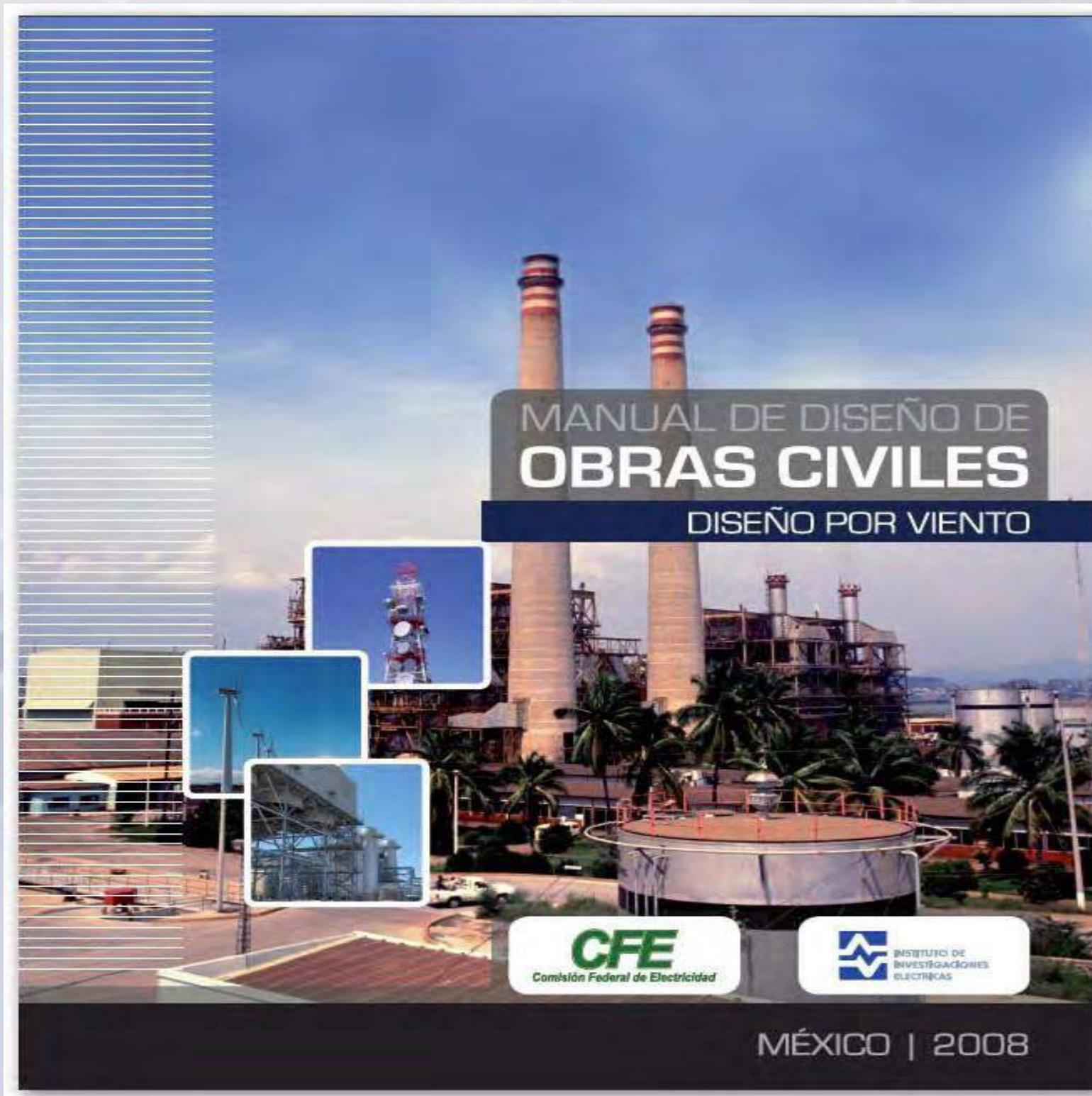
Destino de piso o cubierta	W	W _a	W _m	Observaciones
Habitación (casa—habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	0,7 (70)	0,9 (90)	1,7 (170)	1
Oficinas, despachos y laboratorios	1,0 (100)	1,8 (180)	2,5 (250)	2
Aulas	1,0 (100)	1,8 (180)	2,5 (250)	
Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	0,4 (40)	1,5 (150)	3,5 (350)	3 y 4
Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	0,4 (40)	3,5 (350)	4,5 (450)	5
Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas de juego y similares)	0,4 (40)	2,5 (250)	3,5 (350)	5
Comercios, fábricas y bodegas	0,8W _m	0,9W _m	W _m	6
Azoteas con pendiente no mayor de 5 %	0,15 (15)	0,7 (70)	1,0 (100)	4 y 7
Azoteas con pendiente mayor de 5 %; otras cubiertas, cualquier pendiente.	0,05 (5)	0,2 (20)	0,4 (40)	4, 7, 8 y 9
Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	0,15 (15)	0,7 (70)	3,0 (300)	
Garajes y estacionamientos (exclusivamente para automóviles)	0,4 (40)	1,0 (100)	2,5 (250)	10

Se determinan con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, última edición o con el MOC-SISMO-2015 y MOC-VIENTO-2018.

La carga muerta la puede controlar el proyecto estructural seleccionando materiales ligeros prefabricados compatibles con la estructura de acero.

La carga viva de azotea se puede reducir dotando una pendiente natural a la estructura mayor del 5%.

Las acciones accidentales requieren conocimientos profundos de la Ingeniería Sísmica y eólica para evaluarlas.



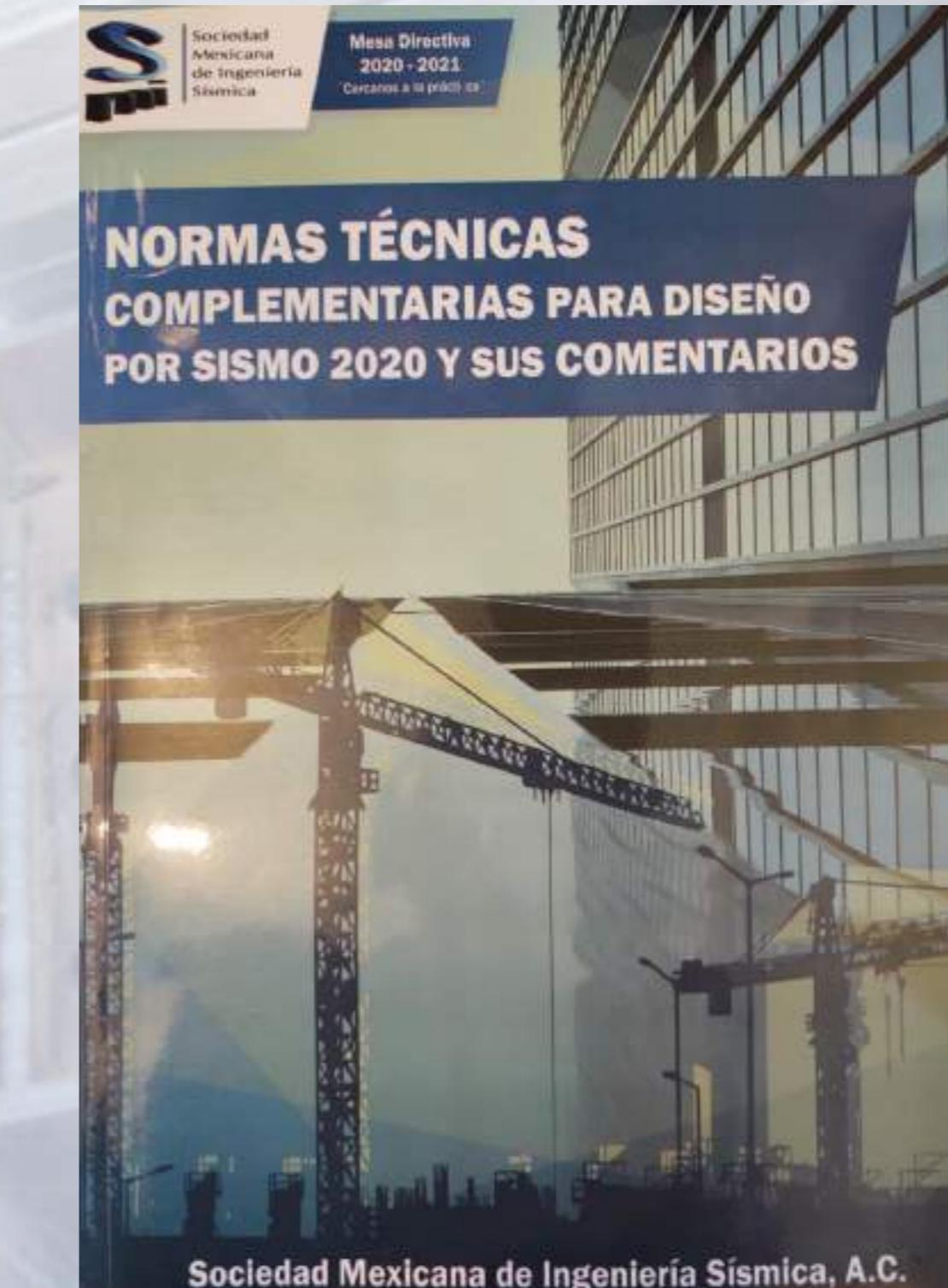
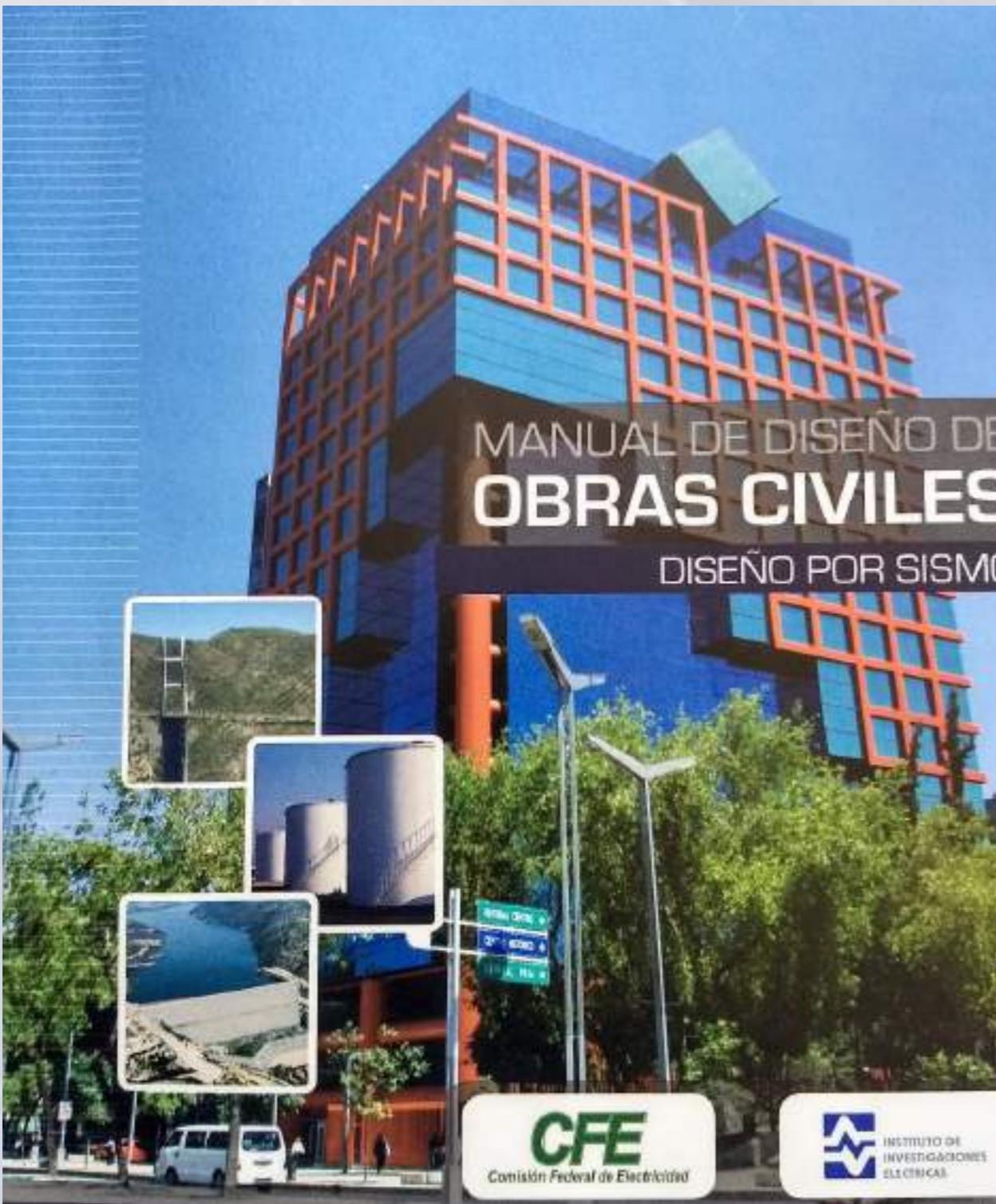
Los efectos del viento se representan en el diseño de la mayoría de las estructuras por medio de presiones y fuerzas aplicadas en forma estática y dinámica.

DAÑOS POR VIENTO



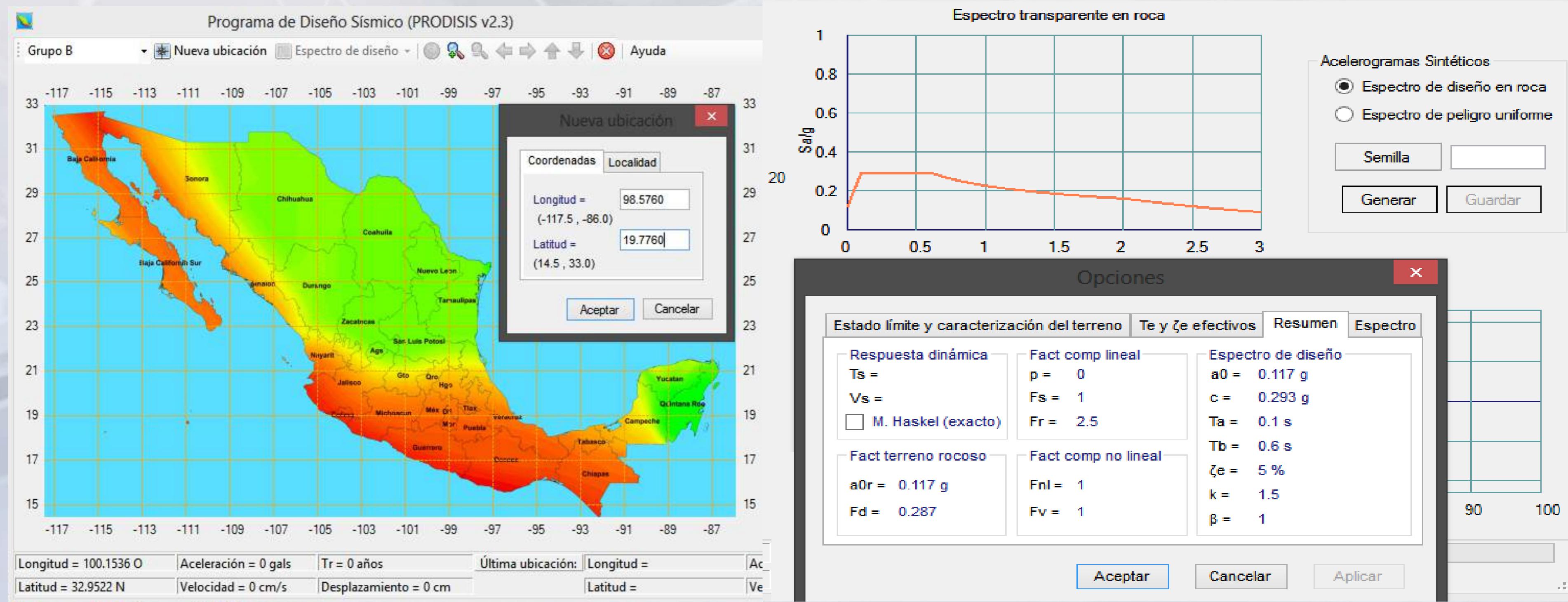
Toda vez que en México se cuenta con normas y manuales actualizados para el diseño por viento, los efectos de este fenómeno son severos, debido a la incendia de ciclones con velocidades extraordinarias. (Cambio climático?)

DISEÑO POR SISMO



Con la actualización del Manual de diseño por sismo 2015 (MDOC-CFE 2015) del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) y las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo 2020 y sus comentarios, se cuenta en México con las disposiciones técnicas que establecen los requisitos mínimos para el diseño de edificios ante demandas sísmicas.

DISEÑO POR SISMO



Las edificaciones deben contar con niveles de seguridad sísmica mínimos aceptables. Es responsabilidad del proyecto estructural la interpretación correcta y aplicación de estas disposiciones de diseño por sismo.

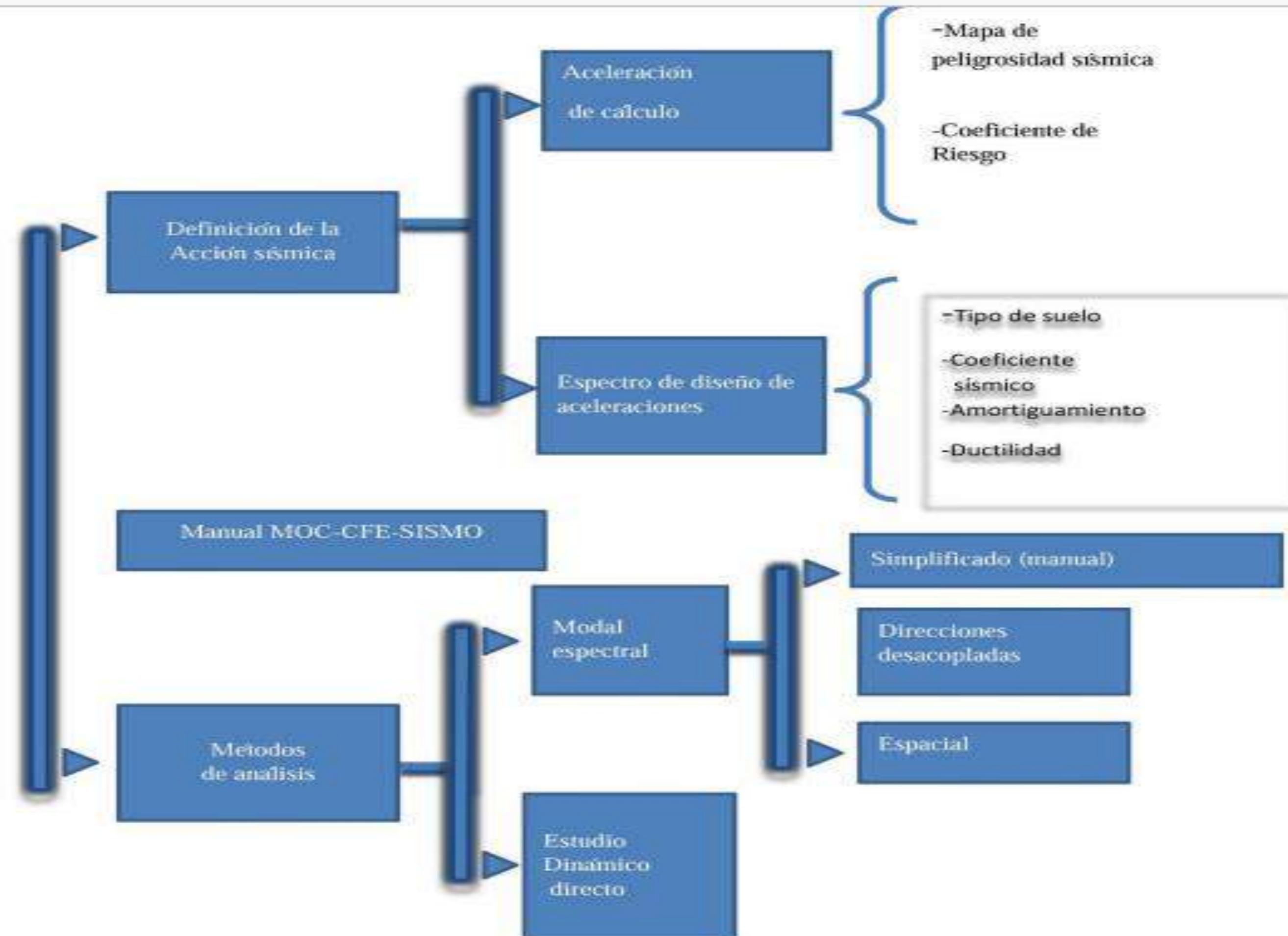


Figura 19. Métodos de análisis sísmico de edificios

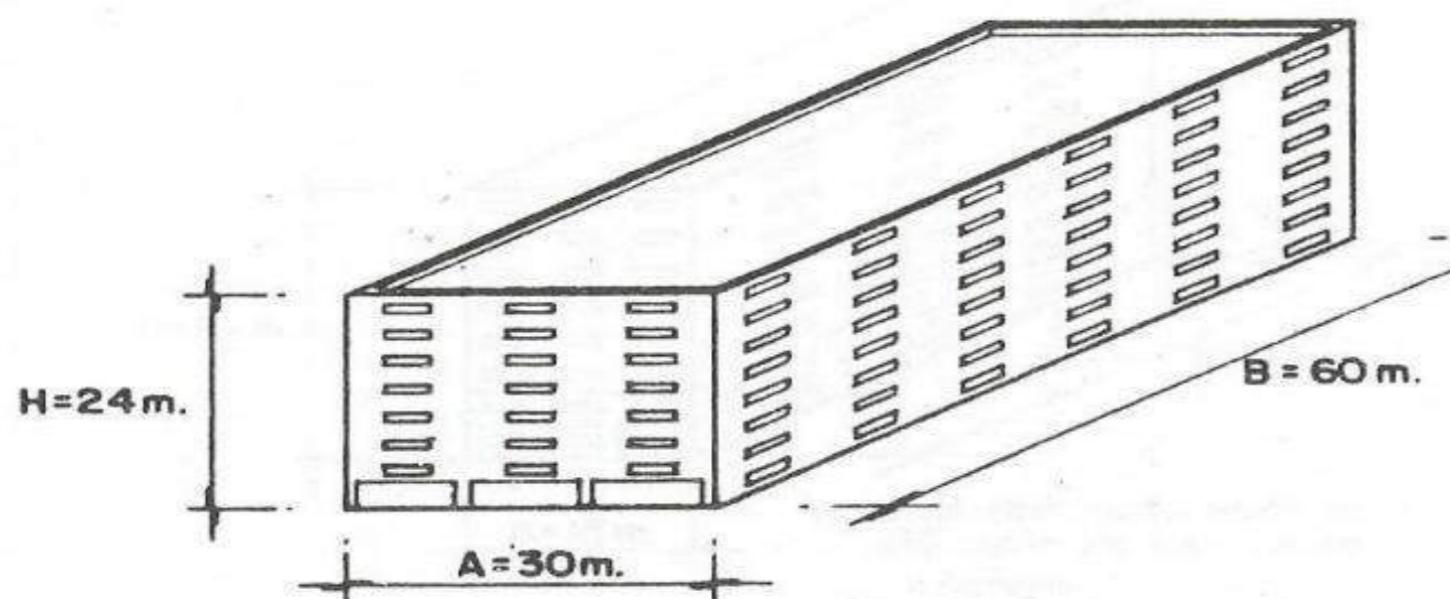
ESTRUCTURACIÓN CLASIFICACIÓN CONSTRUCCIONES

EJEMPLO: 2.1.1-2

— Datos :

Sea una edificación con las siguientes características:

- Uso o destino : oficinas
- Altura del edificio : $H = 24 \text{ m.}$ (Número de niveles 8).
- Área total a construir : $Ac = 14,400 \text{ m}^2$
- Localización : Isabel La Católica esq. con Izazaga, Centro Histórico del Distrito Federal



— Procedimiento :

1a. Etapa

Uso: edificio de oficinas

2a. Etapa

- No contará con salas de reunión para alojar más de 200 personas
- No contará con áreas destinadas a escuelas
- No almacenará equipos costosos
- No almacenará sustancias tóxicas

3a. Etapa

$H = 24 \text{ m.} > 15 \text{ m.}$
 $Ac = 14,400 \text{ m}^2 > 3000 \text{ m}^2$

— Conclusiones :

La construcción pertenece al subgrupo B1

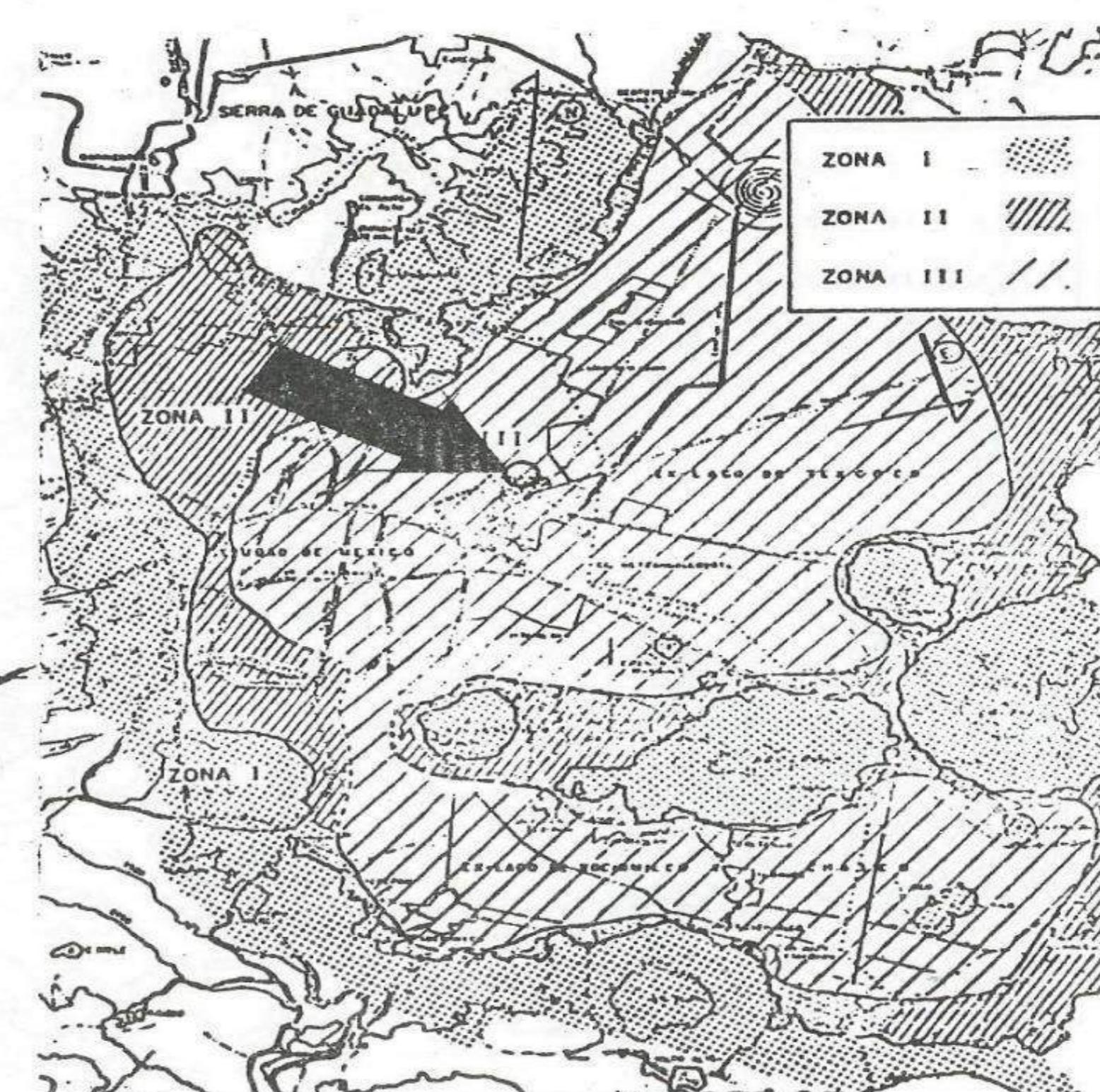
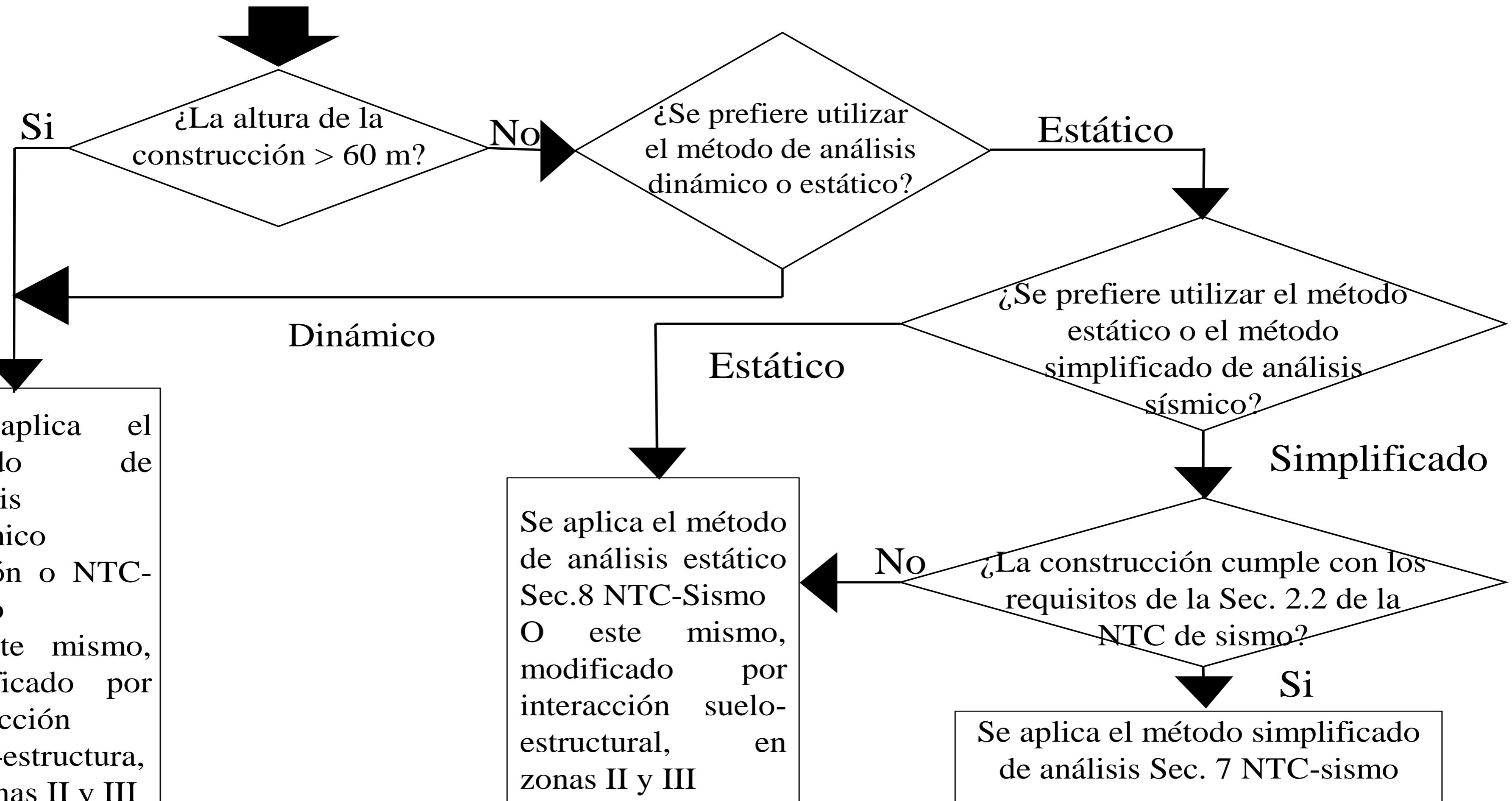


Fig. 1. Zonificación Sismática de la Ciudad de México.

LOCALIZACION DEL INMUEBLE



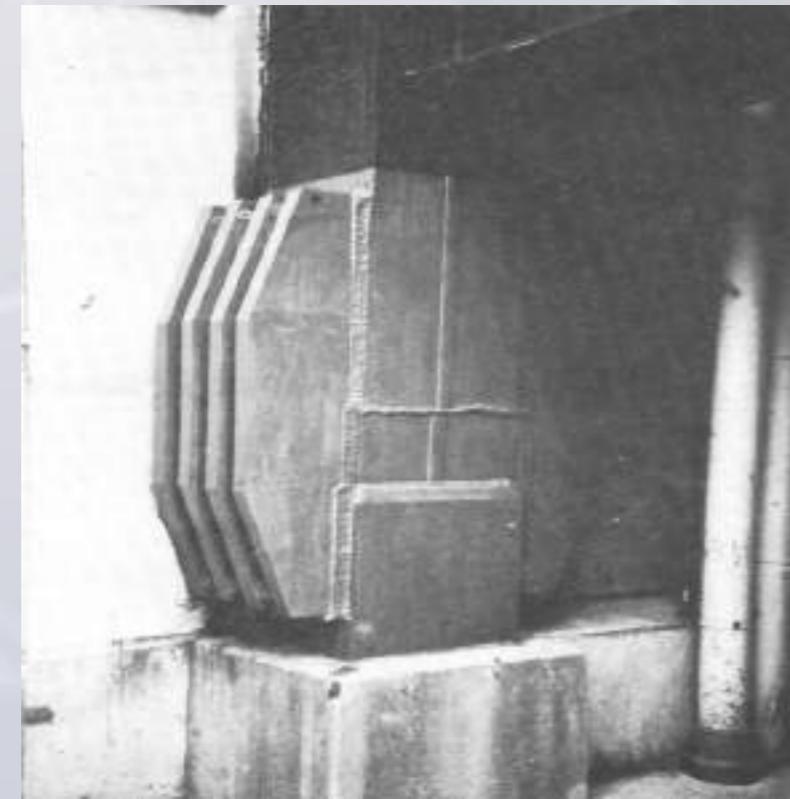
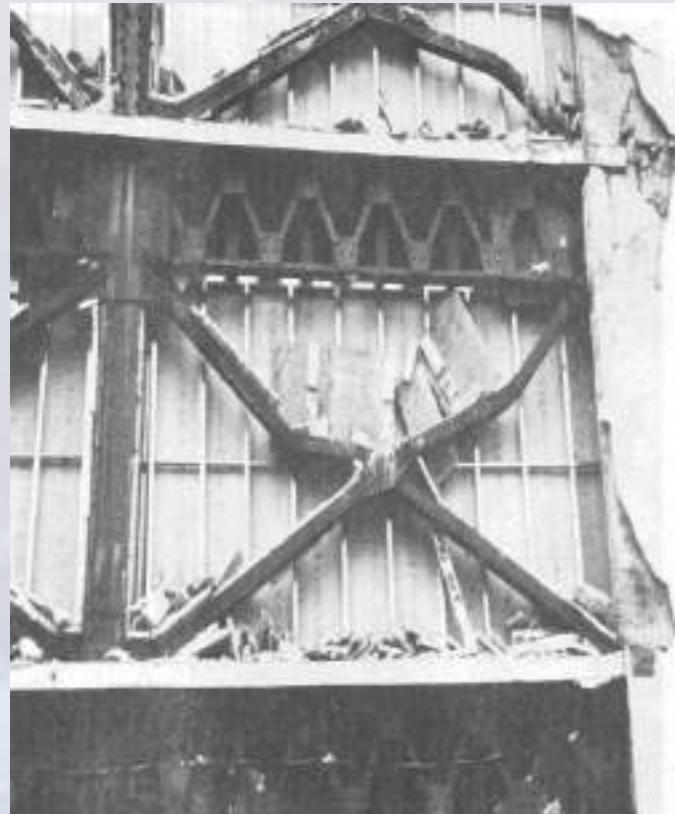
CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- 1. Propiedades dinámicas de las estructuras**
- 2. Parámetros dinámicos con los que se caracteriza un estrato equivalente del suelo**
- 3. Diferencia entre un espectro de respuesta, un espectro de diseño elástico y un espectro de diseño modificado**
- 4. Procedimiento para obtener el espectro elástico con el MDOC-2015**
- 5. Que proporciona la sobre-resistencia en una estructura**
- 6. Que toma en cuenta el factor de comportamiento sísmico?**
- 7. Que factores modifican el espectro elástico?**

PROBLEMAS FRECUENTES DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

Problema	Causa	Solución
Pandeo Local	Esbeltz de las secciones transversales de los miembros estructurales, principalmente HSS o de secciones fabricadas con tres y cuatro placas soldadas (vigas IS y trabes o columnas en cajón)	Controlar las relaciones ancho/grueso a valores admisibles
Pandeo general de miembros estructurales	Relación de esbeltez mayores que los indicados en normas	Colocar soportes intermedios adecuados
Pandeo global	Inestabilidad bajo la acción combinada de cargas verticales y horizontales efectos de segundo orden	Sistema estructural adecuado principalmente en edificios altos
Pandeo lateral por flexotorsión en trabes	Falta de soporte laterales intermedios	Dotar soporte lateral adecuado por medio de elementos transversales (vigas secundarias o diafragmas) UTILIZAR PLACAS, CARTABONES, DIAFRAGMAS Y CONTRAVENTEOS
Falla fragil	Elección de aceros con alto contenido de carbono Cargas que producen efecto fatiga Detallado incorrecto de las conexiones mano de obra pobre.	Elegir aceros con soldabilidad adecuada Diseñar adecuadamente contra acciones dinámicas Mejorar detallado de las conexiones trabe-columna.
Vibraciones en sistemas de piso compuestos acero-concreto	Masa, frecuencia y rigidez escasas	Modificar las propiedades dinámicas indicadas para atenuar las vibraciones a límites tolerables
Distorsiones, deflexiones verticales y desplazamientos laterales	Falta de rigidez de un miembro estructural o de la estructura completa	Dotar rigidez suficiente

FALLAS FRÁGILES



Si bien la falla frágil no ha ocurrido en gran escala en edificios de acero, deben tomarse precauciones para evitarla:

Elección de aceros con características de soldabilidad: ASTM A992

Evitar discontinuidades y concentraciones de esfuerzos con un detallado correcto

Evitar estructuras que estén sujetas a temperaturas bajas

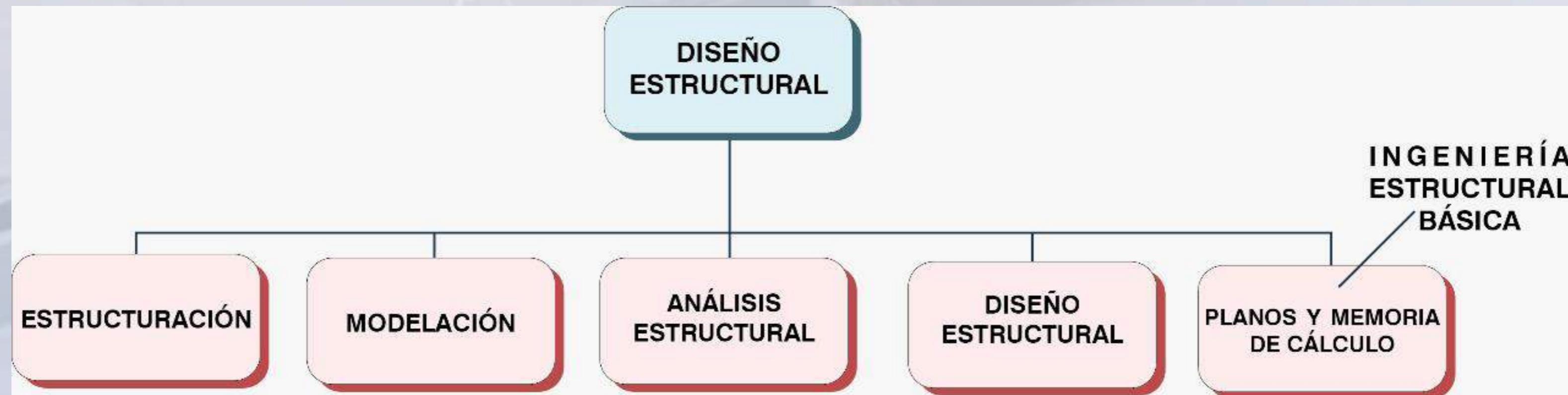
Diseñar correctamente por fatiga.

COLAPSOS CATASTRÓFICOS



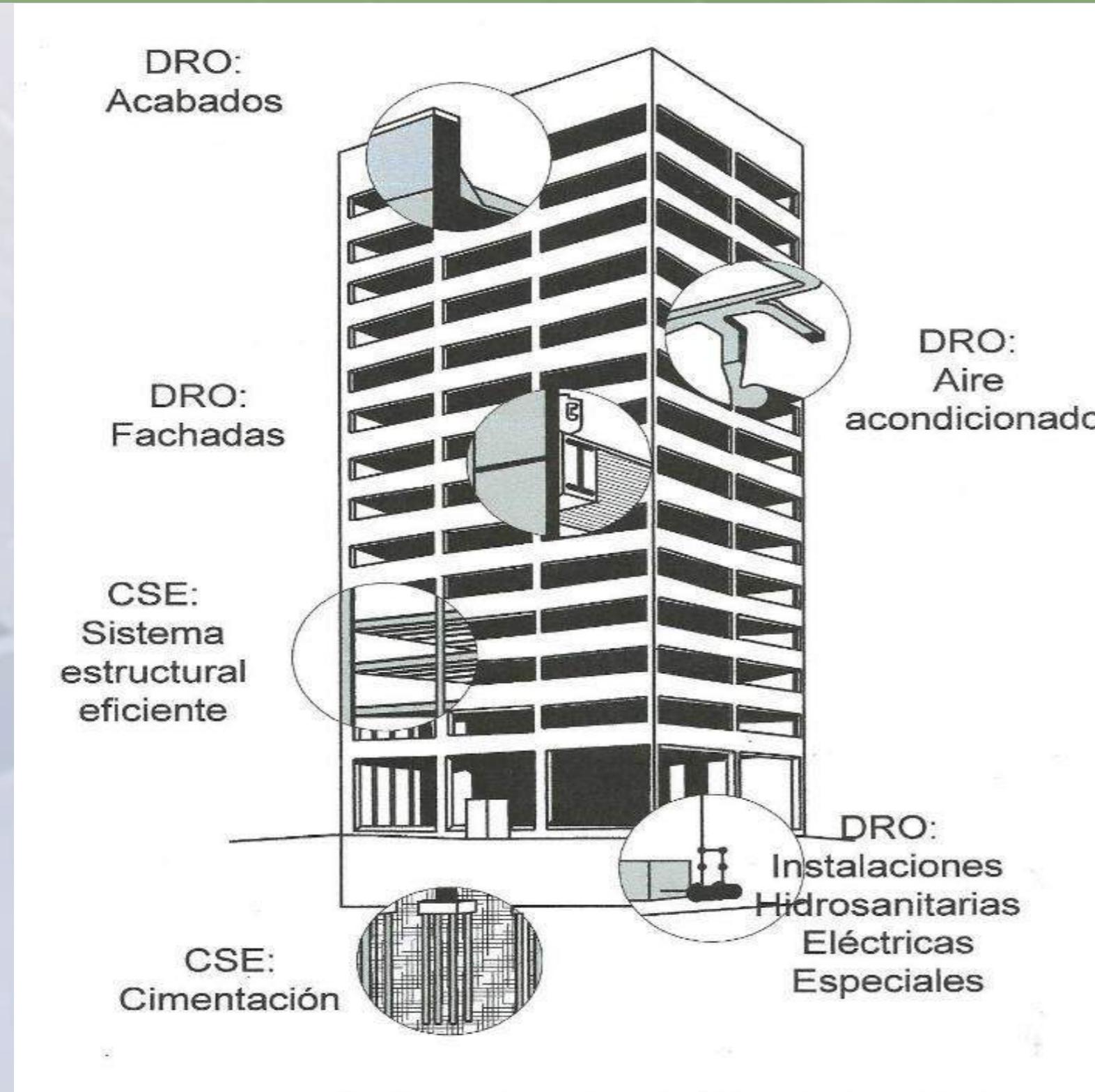
Que está ocurriendo?

DISEÑO ESTRUCTURAL



En el diseño estructural se obtiene la seguridad razonable tomando las medidas necesarias para que no se alcance ningún estado límite de falla y de servicio.

Límites de utilidad estructural



Título III De los Directores Responsables de Obra (DRO) y Corresponsables (C), RCDF-2004.
Artículo 39, Obligaciones del Corresponsable en Seguridad Estructural (CSE). El proyecto debe cumplir con las características generales para garantizar la seguridad estructural ,Título Sexto de la Seguridad Estructural de las construcciones, RCDF-2004.

“La estructuración es la etapa más importante en el proceso de diseño estructural de un edificio que conlleva a su buen comportamiento sísmico asociado a una economía razonable”

Héctor Soto Rodríguez



“Le tengo más fe a una estructura bien concebida aunque esté mal diseñada, que a una mal concebida aunque esté bien calculada”

Dr. Vitelmo Victorio Bertero
Profesor Emérito Universidad Berkeley, Cal.

Dr. Honoris Causa UNAM

ESTRUCTURACIÓN

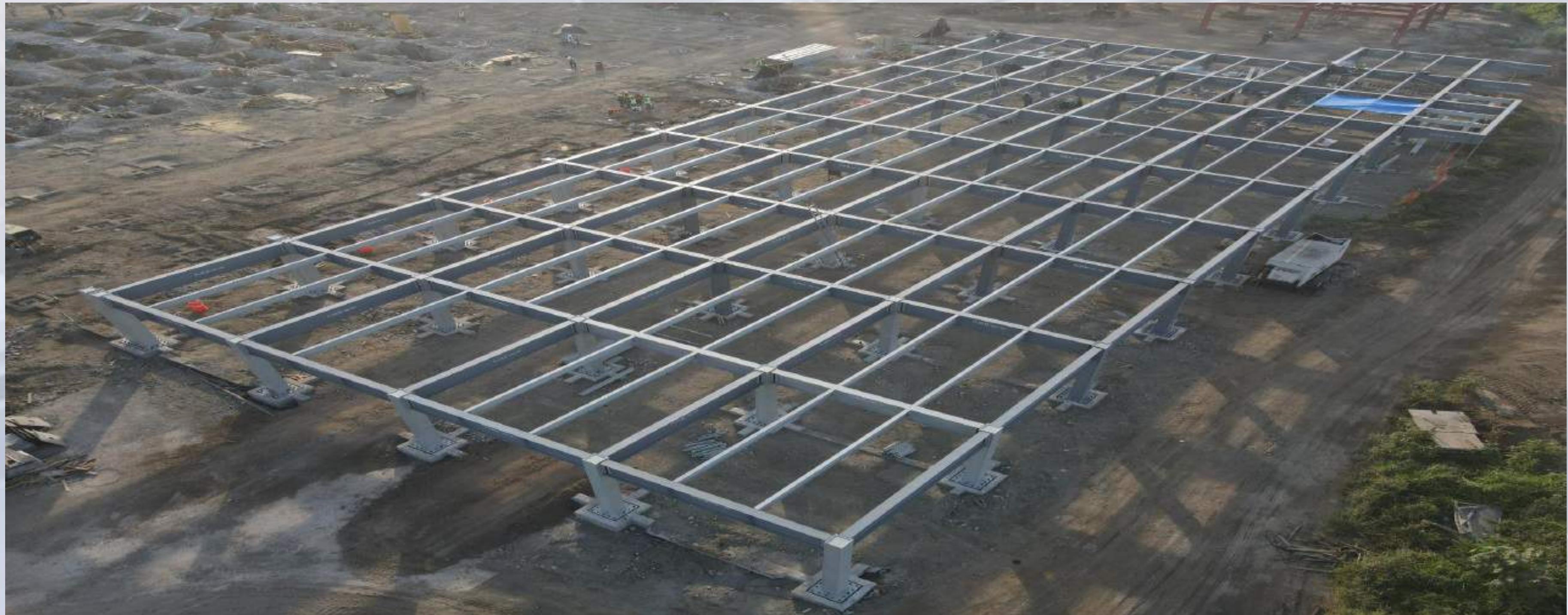
El diseñador aplica sus criterios y experiencia profesional para proponer a partir del proyecto arquitectónico, la geometría general de la estructura en planta y elevación y el sistema estructural más conveniente de acuerdo con el uso, ubicación, altura, claros del edificio.

Se establecen los materiales a emplear en la estructura (perfiles laminados de acero, tornillos, soldadura, láminas y paneles para sistemas de piso y cubierta, etc., con base en normas internacionales (ASTM-NMX-AWS, etc.)

Se proponen los perfiles tentativos para cada uno de los miembros estructurales; se conceptualizan las diversas conexiones entre miembros estructurales, se definen los elementos estructurales y no estructurales y sus uniones con la estructura.

Se evalúan correctamente las acciones que van a afectar a la estructura

Se modela y analiza la estructura



Ejemplo de estructuración sencilla, eficiente y razonablemente económica:

Tableros rectangulares modulado: columnas en cajón, trabes y vigas secundarias a base de perfiles IR, vigas secundarias orientadas en el sentido largo de los tableros.

Hospital Naval Manzanillo

Cortesía: Ing. Ernesto Guzmán Vega, Manufacturas metálicas Ajax.

“EL QUE MODULA, DIOS LE AYUDA”

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

Uso o destino. Definición del grupo al que pertenece el edificio

Ubicación (Zona asísmica o sísmica)

Forma y altura. Claros y alturas de entrepiso

2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EFECTUAR EL ANÁLISIS SÍSMICO

3. CLASIFICACIÓN DEL SUBSUELO EN QUE SE UBICARÁ EL EDIFICIO

Definición, clasificación y evaluación de las acciones que obran en la estructura del edificio

Cargas permanentes o muertas

Cargas vivas (acciones variables)

Cargas sísmicas (Acciones accidentales)

Combinaciones de cargas de diseño

Carga muertas, vivas y sismo en X más 30 % Sismo en Y

Cargas muertas, vivas y sismo en Y más 30 % Sismo en X

4. DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

Perfiles laminados preferentemente de acero ASTM A992 o A572 Grado 50

5. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Columnas

Trabes o armaduras

Vigas secundarias

Diagonales de contravento (concéntricos, excéntricos, megacontraventos, cinturones, etc)

Muros de rigidez de concreto reforzado, paneles prefabricados para muros divisorios

RECOMENDACIONES ESTRUCTURACIÓN

Contraventeos. Secciones estructurales huecas, de sección cuadrada y de acero ASTM A500 (NMB-X-199)

Sistema estructural. Se propone de acuerdo con la ubicación (zona sísmica o sísmica), altura uso del edificio y claros a salvar.

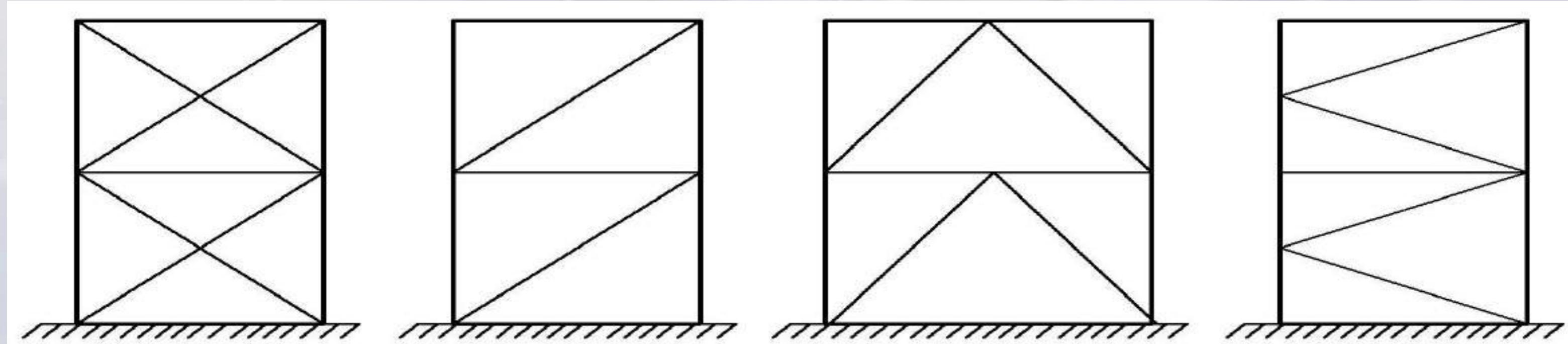
Conexiones:

Soldadas. De taller para evitar soldaduras de campo

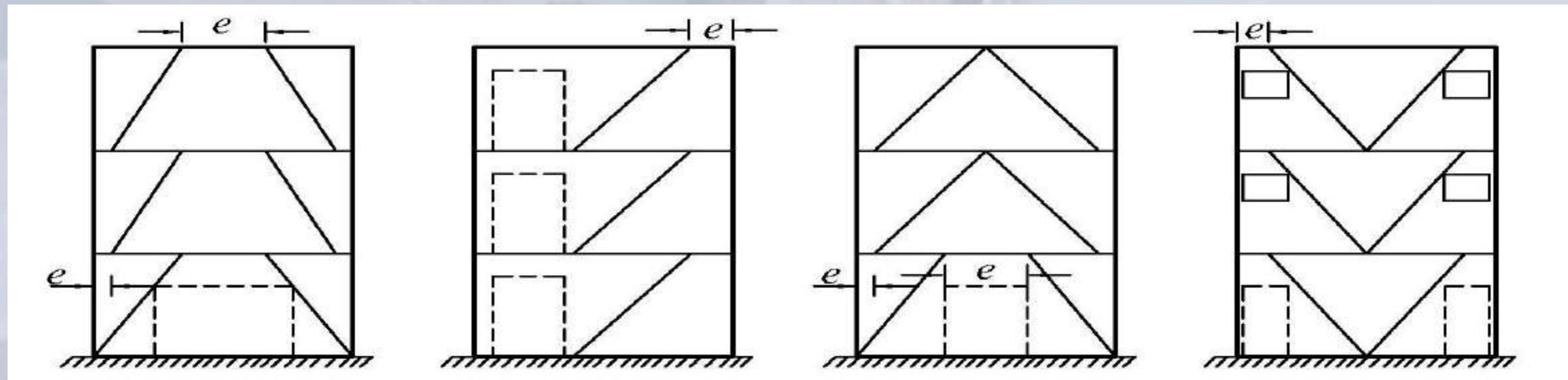
Atornilladas. De campo preferentemente.

Materiales complementarios

Muros divisorios y cubiertas ligeras a base de paneles aislantes.



Contraventos Concéntricos



Contraventos Excéntricos

Columnas: Perfiles laminados H (IR) de 356 mm (14 in) de peralte y de acero A992. Evitar la sección en cajón, fabricada con cuatro placas soldadas.

Trabes o vigas: Perfiles laminados IR de 406 (16 in), 457 mm (18 in), 533 mm (21 in) y 610 mm (24 in) de peralte de acero A992

Vigas secundarias: Perfiles laminados IR de los mismos peraltes y tipo de acero que las trabes, con separaciones entre éstas de 2.30 a 2.80 m.

Diafragmas. Sistemas de piso compuestos acero-concreto de calibre y espesor de losa de concreto de acuerdo con las cargas.

Elección del tipo de cimentación conveniente

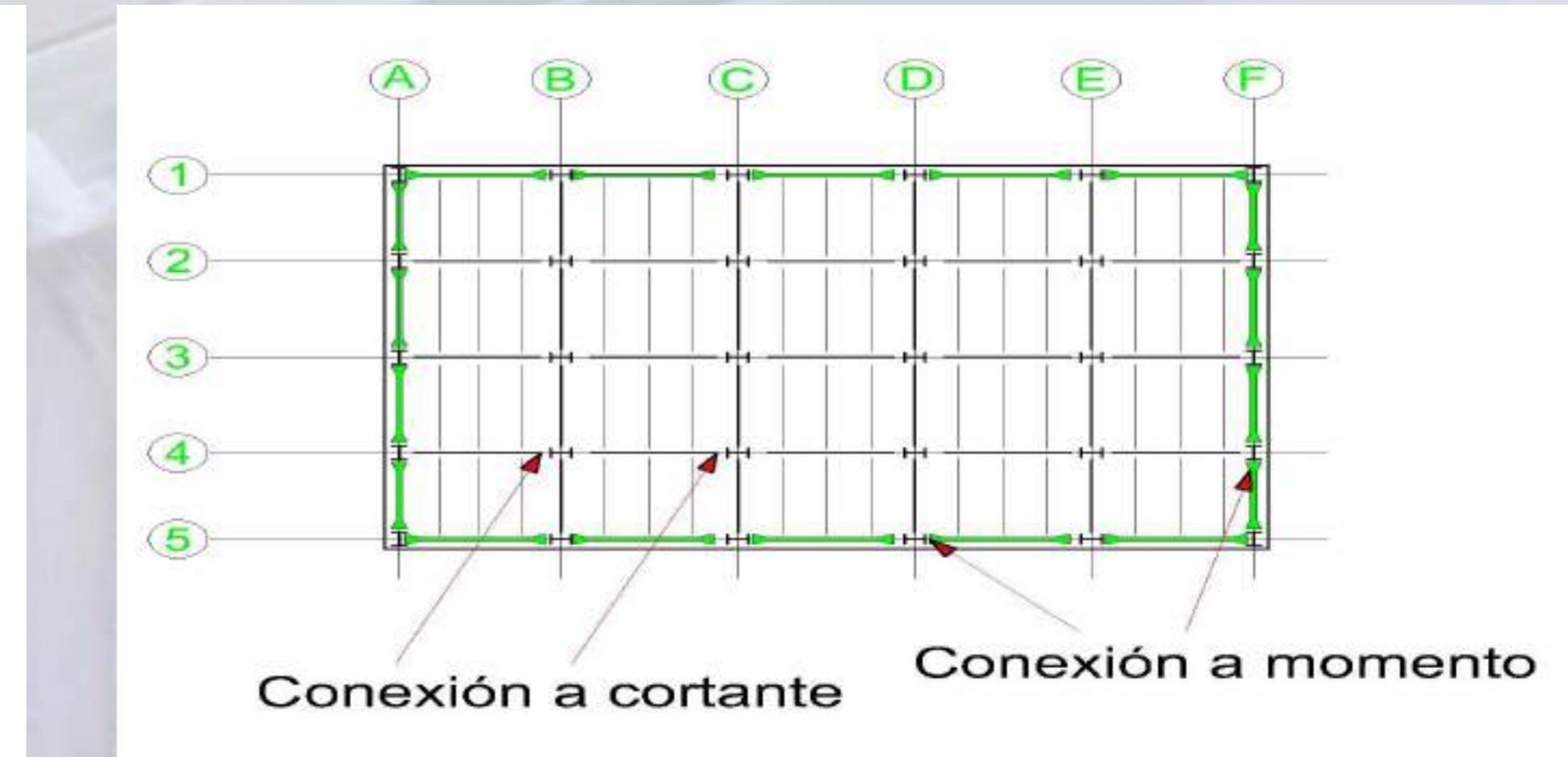
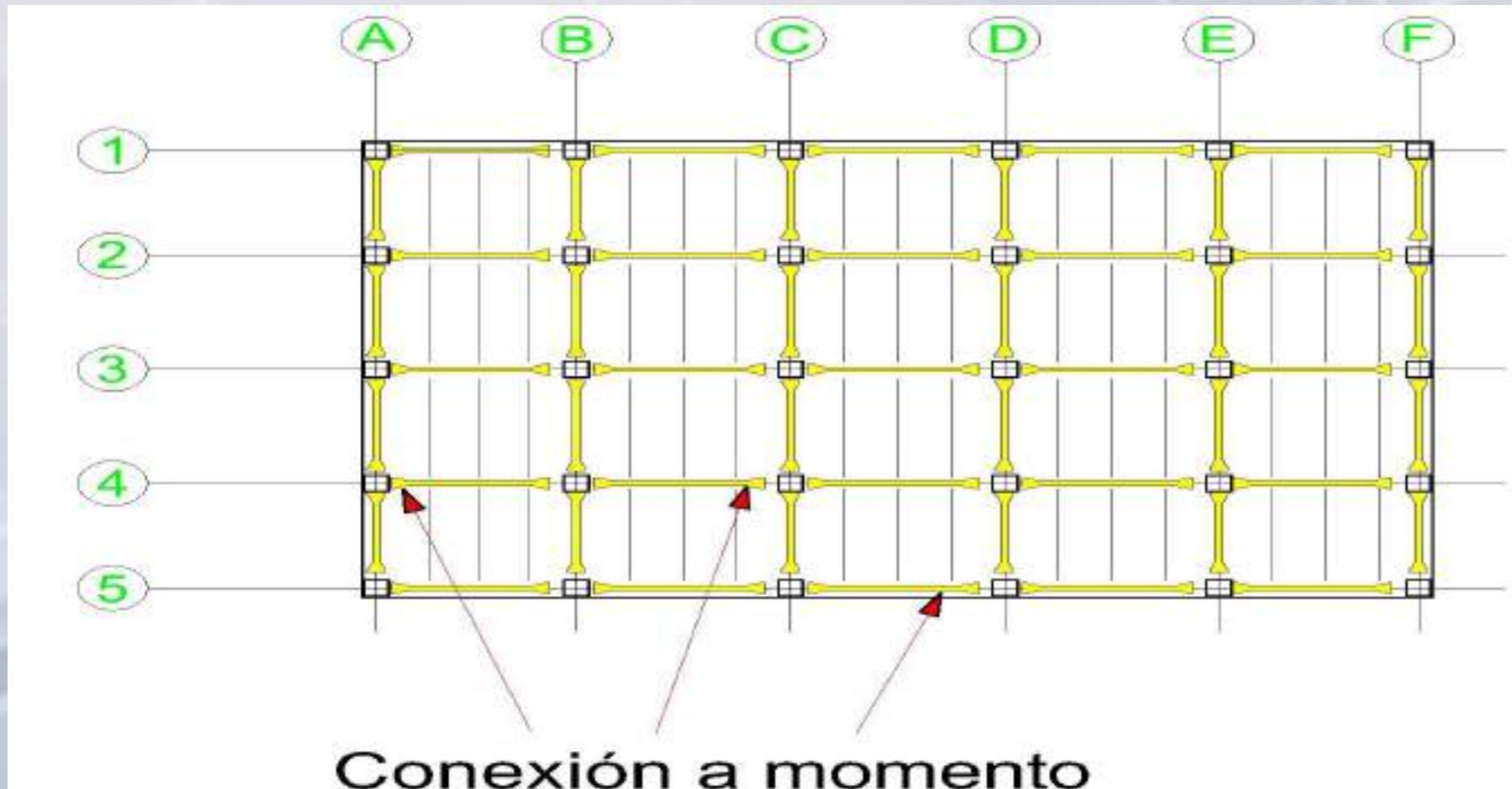
CRITERIO GENERAL PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE CIMENTACIÓN

TIPO DE CIMENTACIÓN		PROFUNDAS		SOMERAS				
ESTRUCTURA	MAGNITUD DE LA CARGA	TIPO DE CIMENTACIÓN						
		PEQUEÑA	MEDIA	GRANDE	PILOTES	PILAS	CAJONES	LOSAS
RESISTENCIA	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA			
COMPRESIBILIDAD	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA			
SUELO								



Porcentaje de terreno por cimentar	Tipo de cimentación
0-25	Zapatas aisladas
26-50	Zapatas corridas en un sentido
51-75	Zapatas corridas en dos direcciones
76-100	Losa de cimentación
	Losa de cimentación con pilotes o pilas

REDUNDANCIA

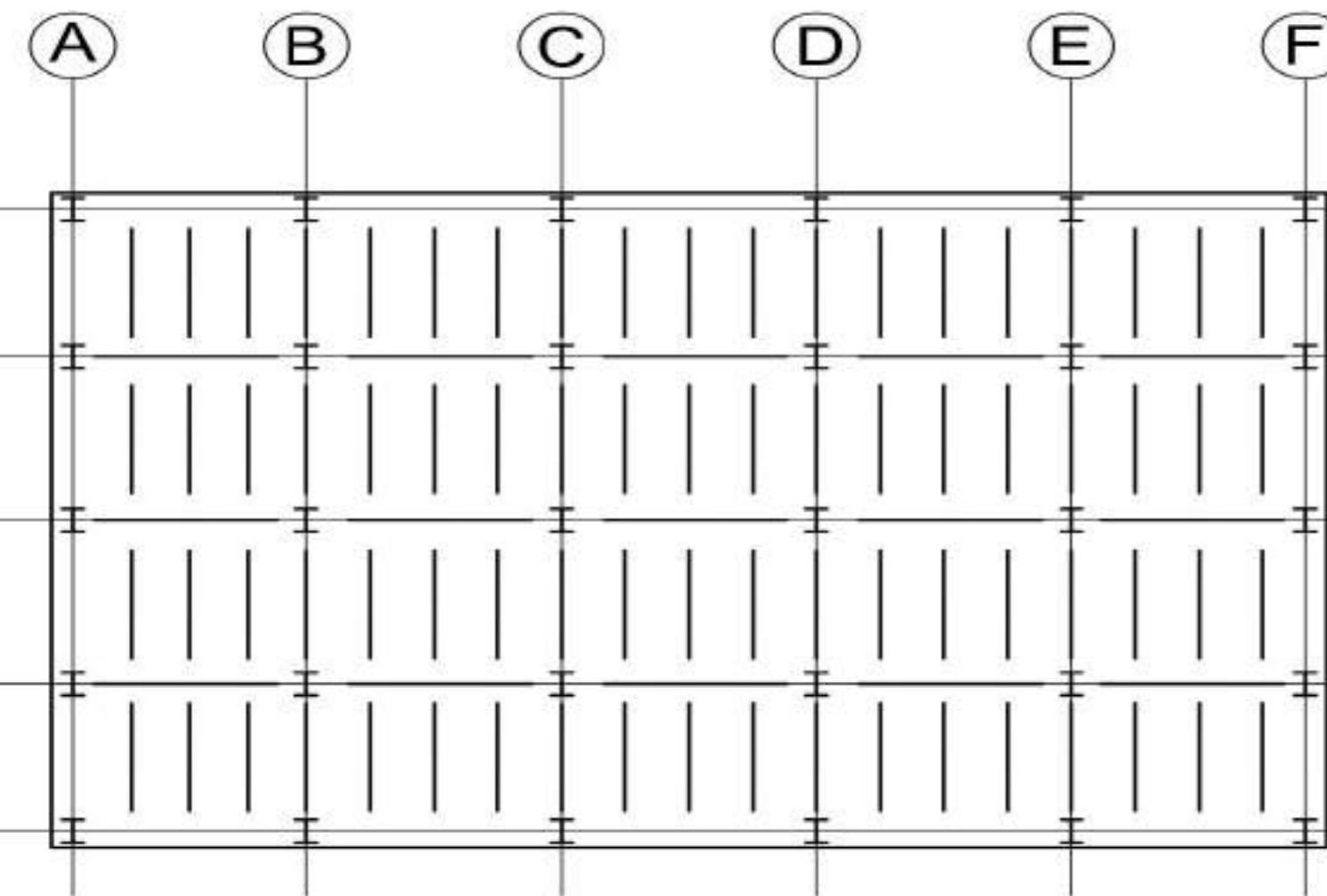


En México y Japón se prefieren sistemas estructurales con redundancia elevada, mientras que en Estados Unidos son muy comunes los sistemas de baja redundancia.

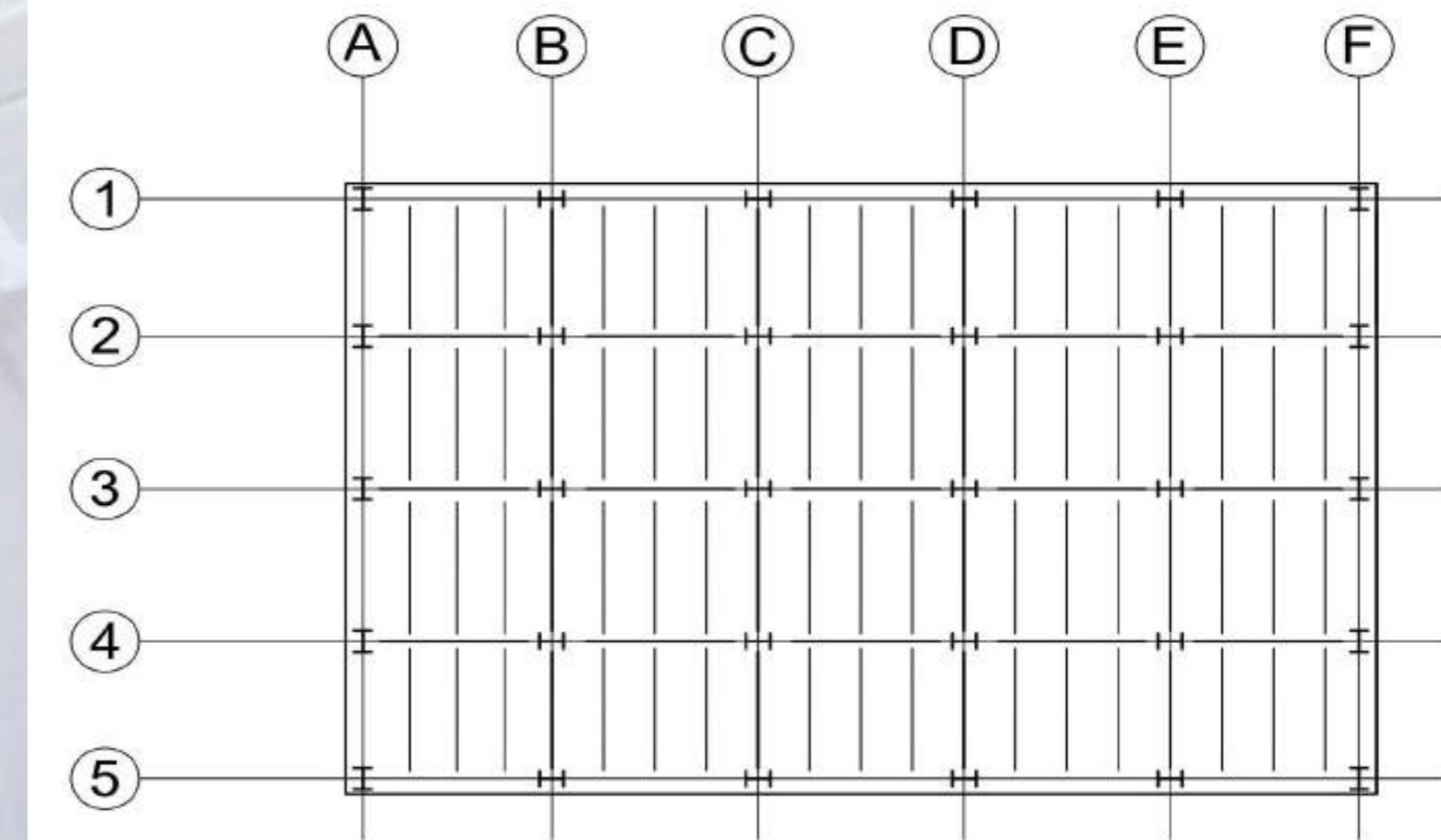
Resultados:

Alta redundancia= Mayor hiperestaticidad y líneas de defensa bajo demandas sísmicas. Estructuras más caras (Marcos rígidos ortogonales)

Baja redundancia= Menor hiperestaticidad y líneas de defensa. Estructuras más económicas (marcos rígidos exclusivamente en las fachadas del edificio y estructura interior sujeta a carga vertical exclusivamente)



Estructura Anisótropa



Estructura Isótropa

ESTRUCTURA ANISÓTROPA: Columnas orientadas en el mismo sentido. El Sistema structural requiere contraventeo vertical en la dirección longitudinal del edificio

ESTRUCTURA ISÓTROPA: Columnas orientadas en ambas direcciones para mejorar la rigidez del sistema structural.

El proyectista structural debe evaluar cuidadosamente los diferentes sistemas estructurales.

NIVEL DE DIFICULTAD



BAJA

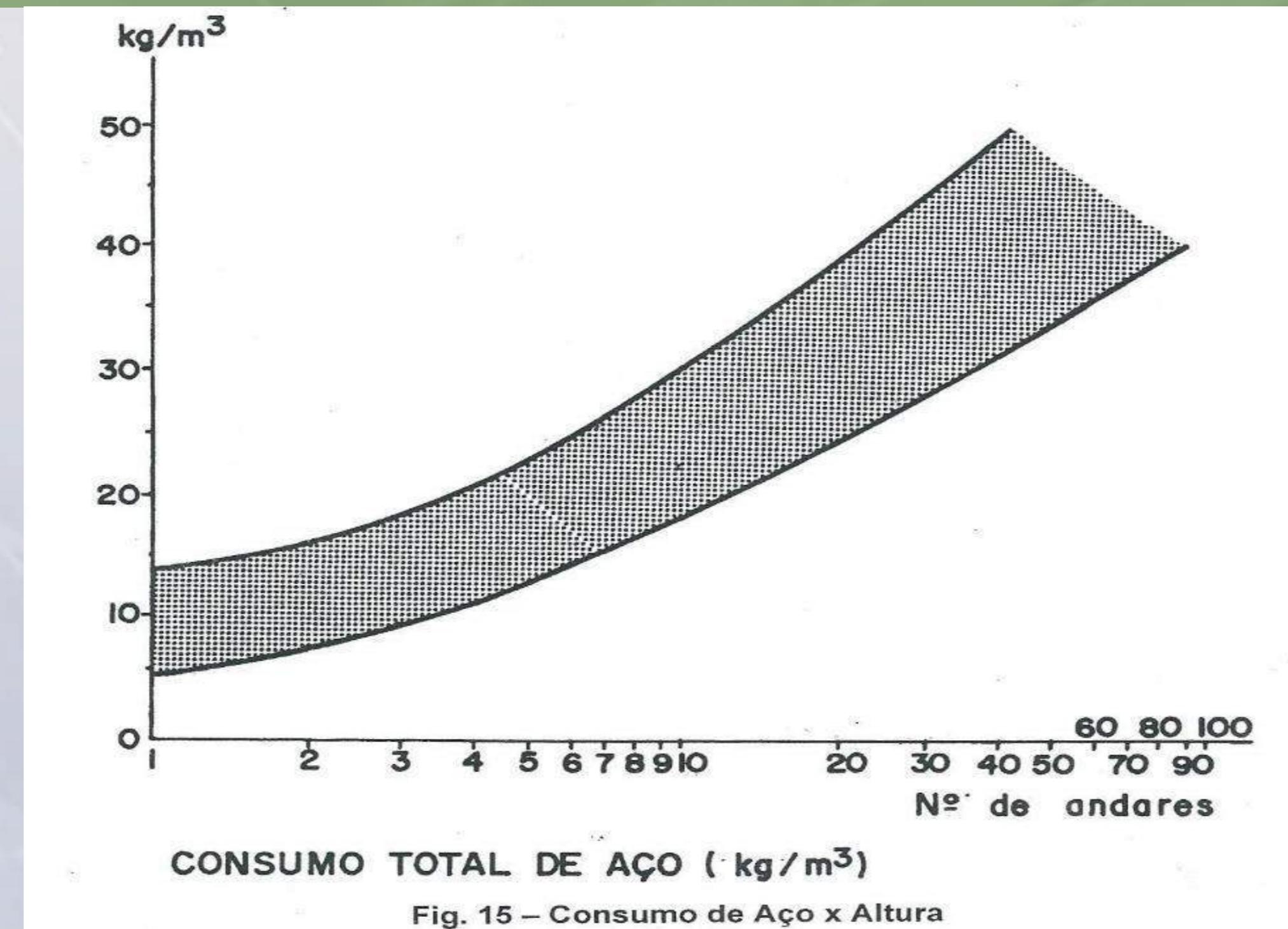


MODERADA



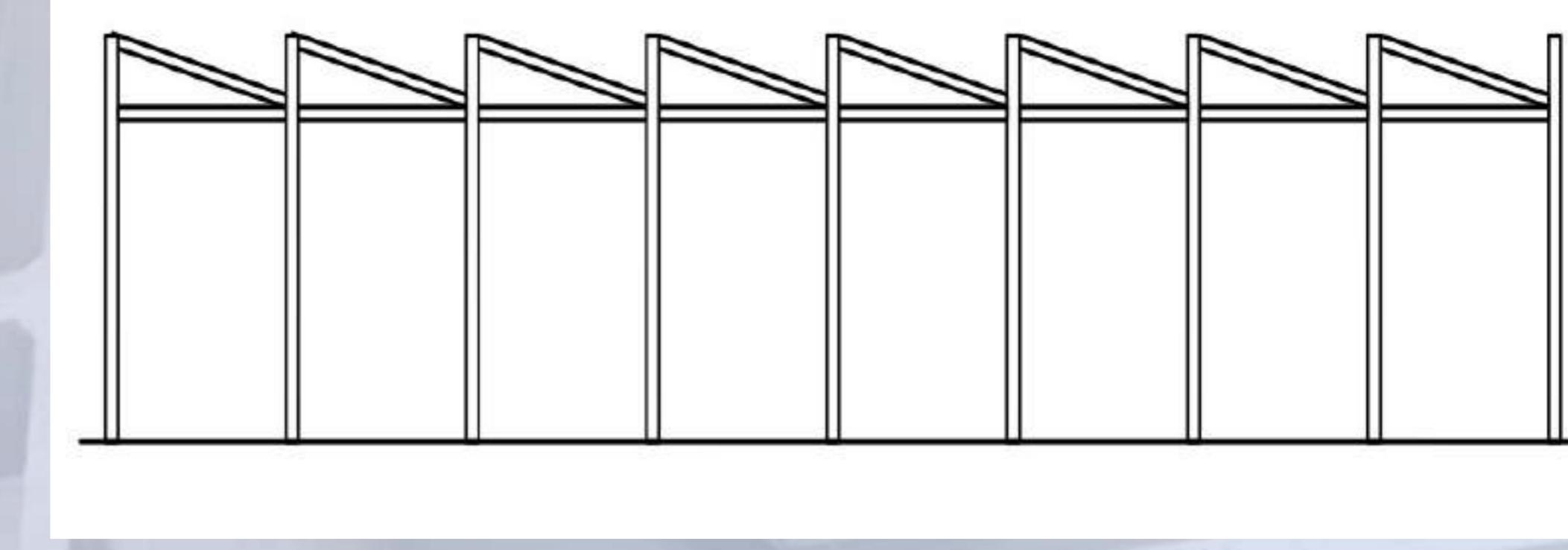
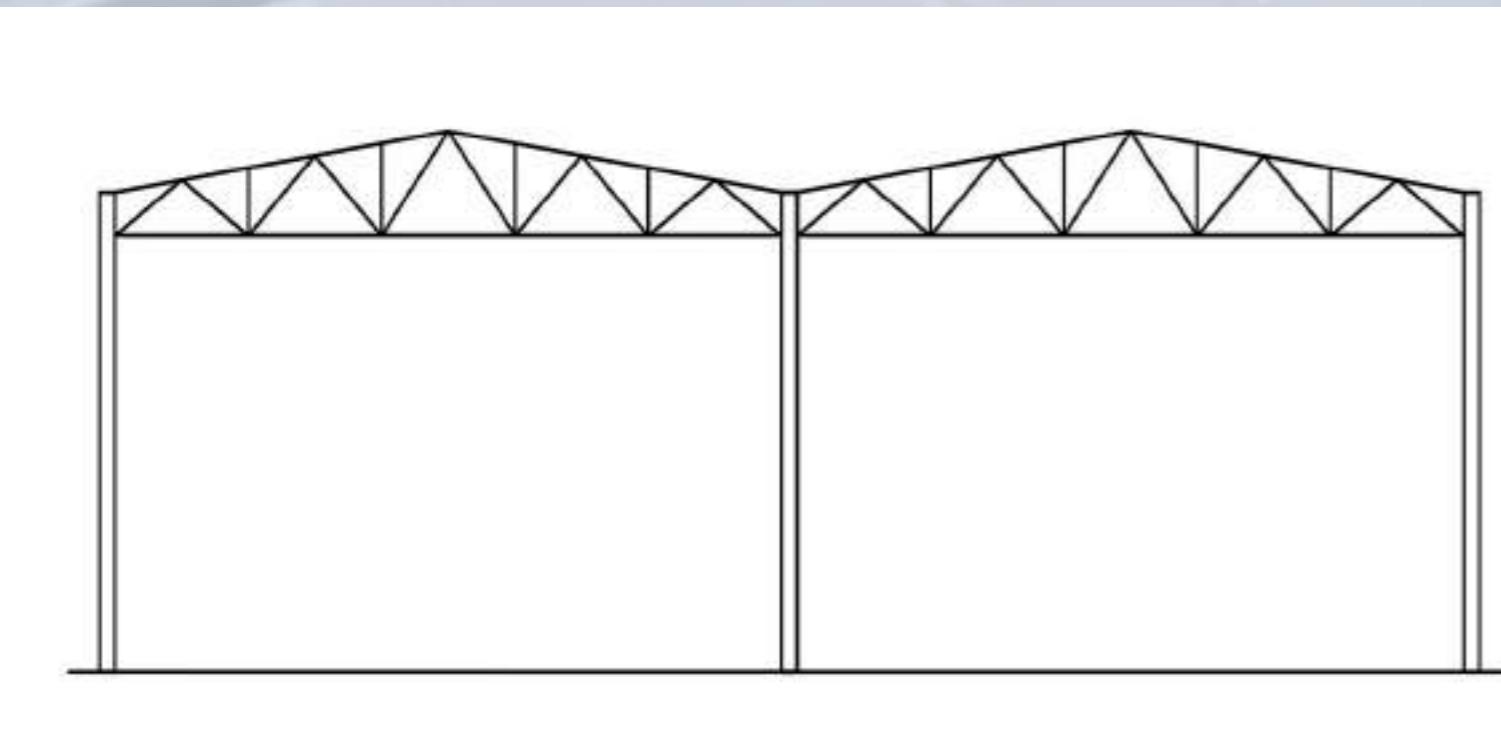
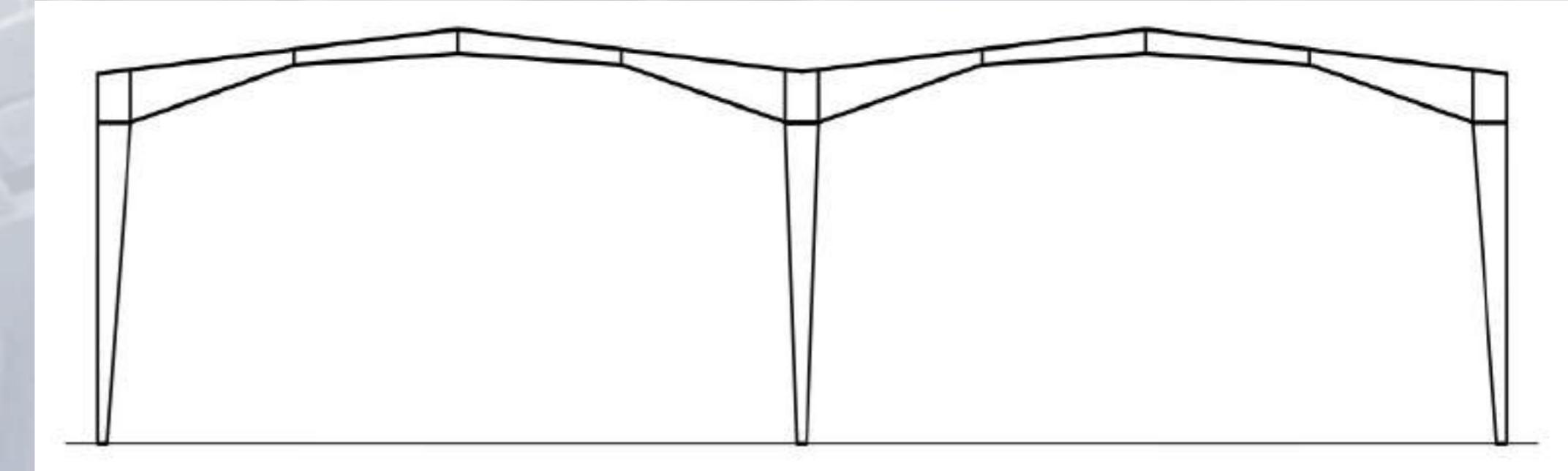
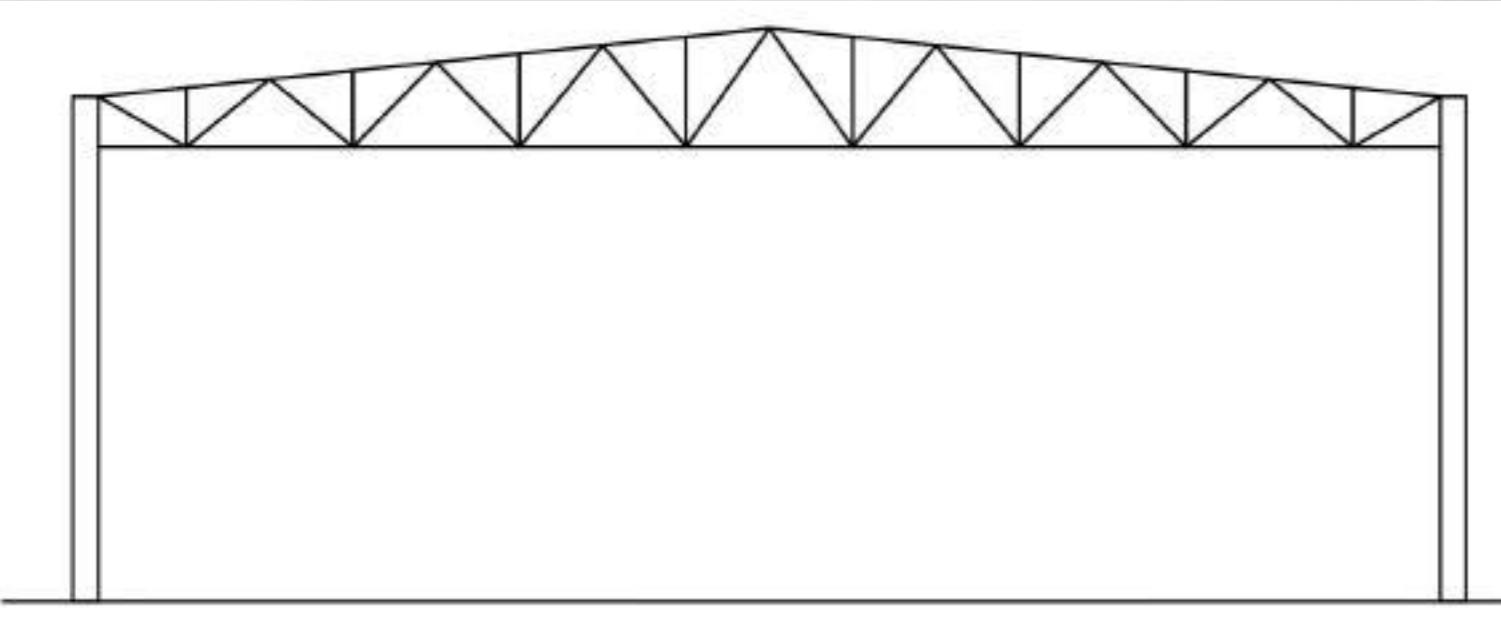
ALTA



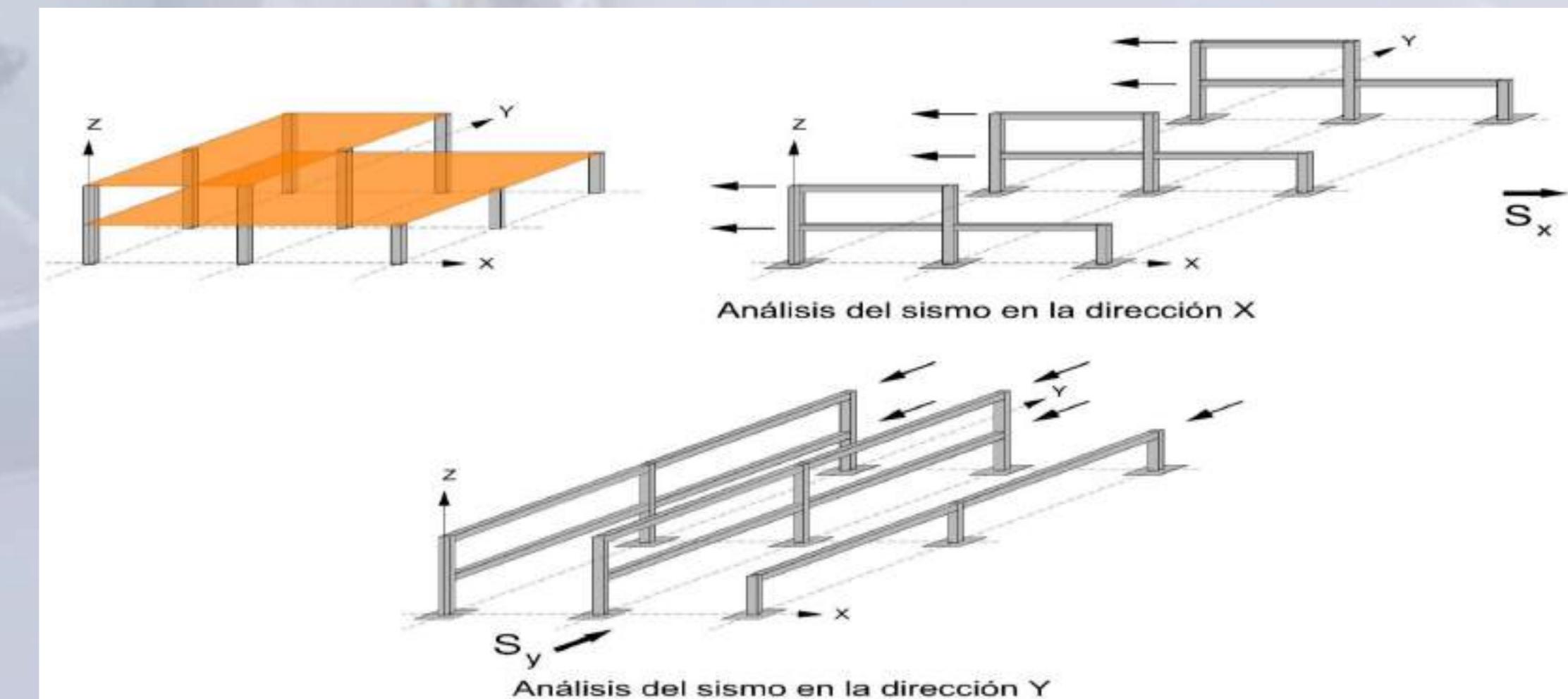
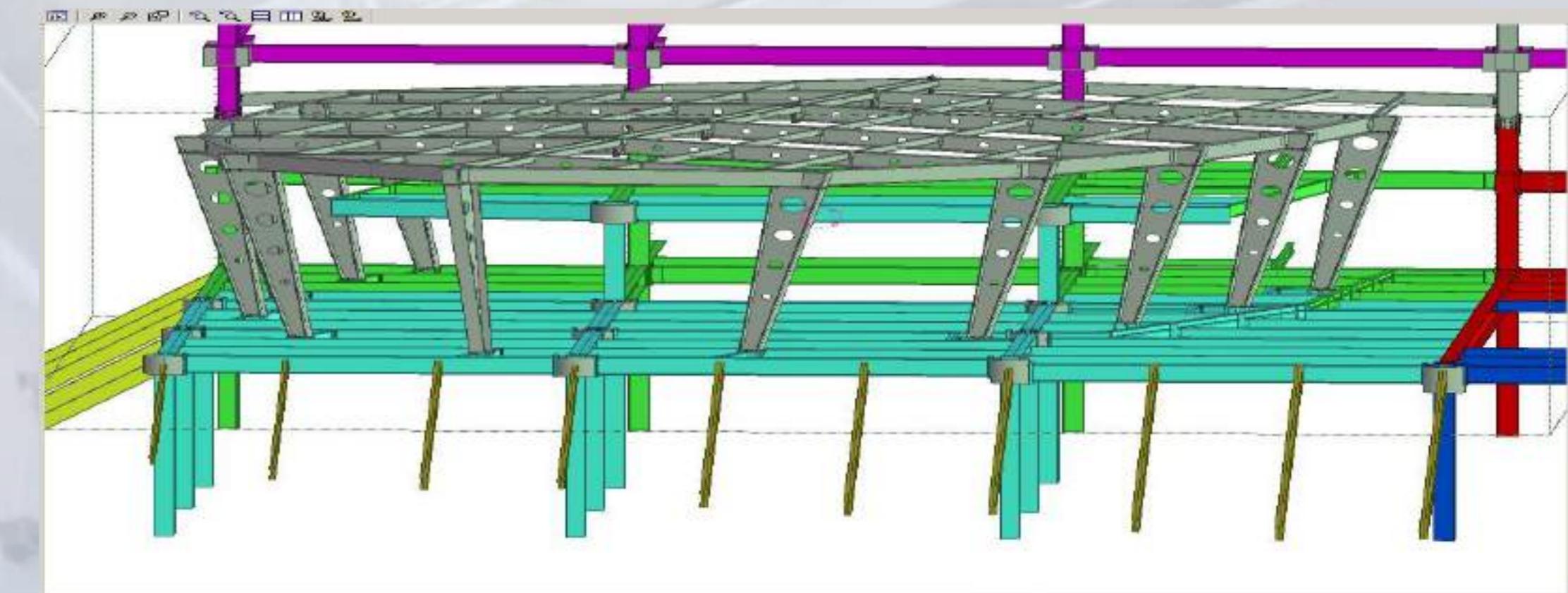


El consumo de acero y consecuentemente la economía de la estructura depende de varios factores: Tipo de edificio, ubicación, uso, número de pisos, claros entre columnas en ambos sentidos, cargas en la estructura, ductilidad asignada a la estructura (sistema estructural), tipos de perfiles y grado de acero, sistemas de piso o de cubierta, tipos de conexiones (atornilladas o soldadas), etc.

NAVES INDUSTRIALES



**El diseño estructural de naves industriales sin grúas es relativamente sencillo.
Su diseño queda regido normalmente por cargas accidentales de viento.**



Elaboración del modelo matemático tridimensional de la estructura del edificio.

Geometría de la estructura con ejes, claros, alturas y niveles

Sistemas de coordenadas: Global y local

Cargas: uniformes, concentradas o variables

Combinaciones de cargas: verticales o gravitacionales y verticales más accidentales, incluyendo fuerzas laterales ficticias (FLF)

Masas

Rigideces

Propiedades geométricas de las secciones estructurales utilizadas en columnas, tráves, vigas secundarias, diagonales de contravento, armaduras, etc.

Tipos de elementos: Barra (frame), placa (Shell), sólido (solid), nudos (joint)

Propuesta de sistemas de piso rígidos y resistentes en su plano (diafragmas)

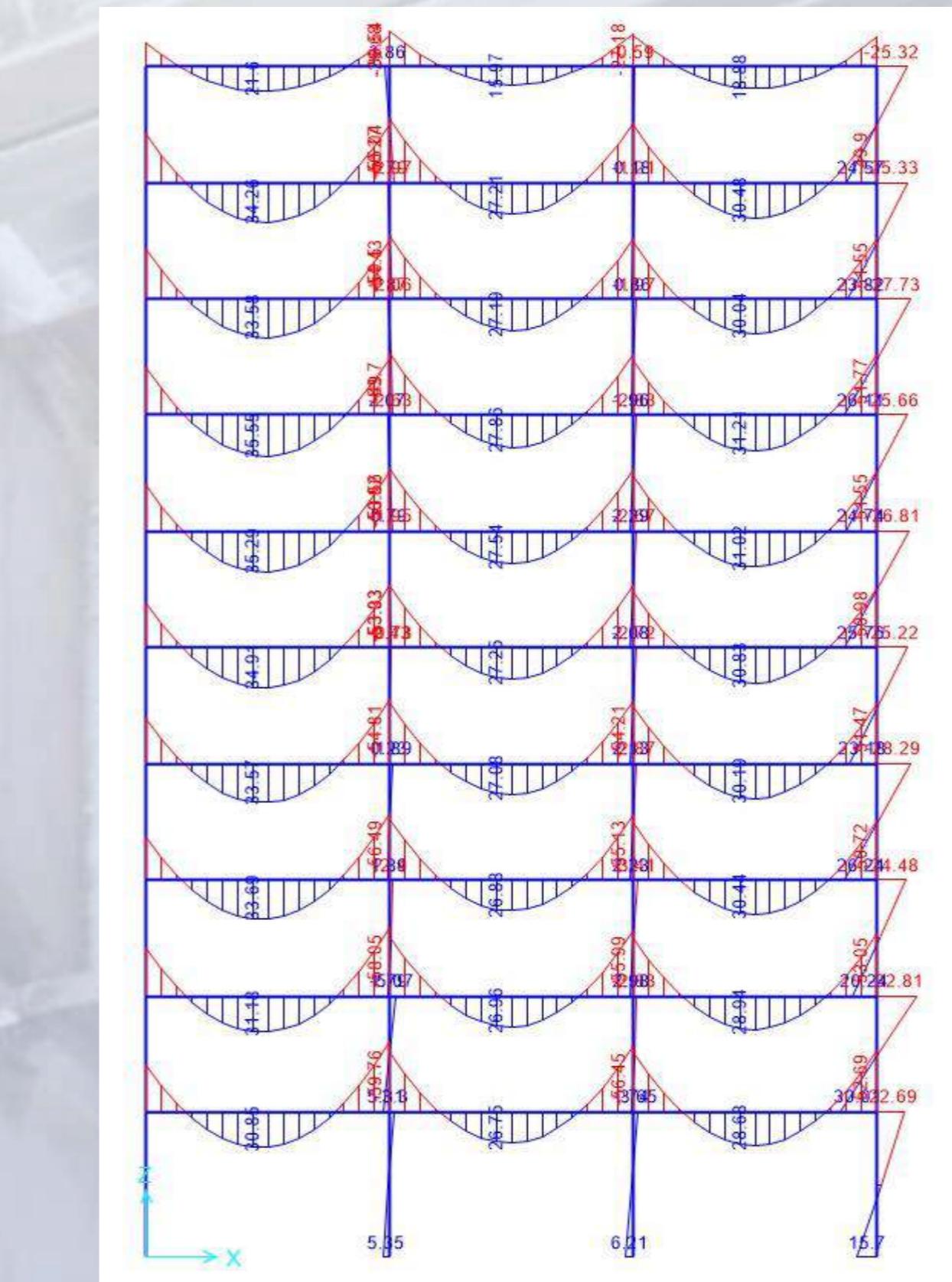
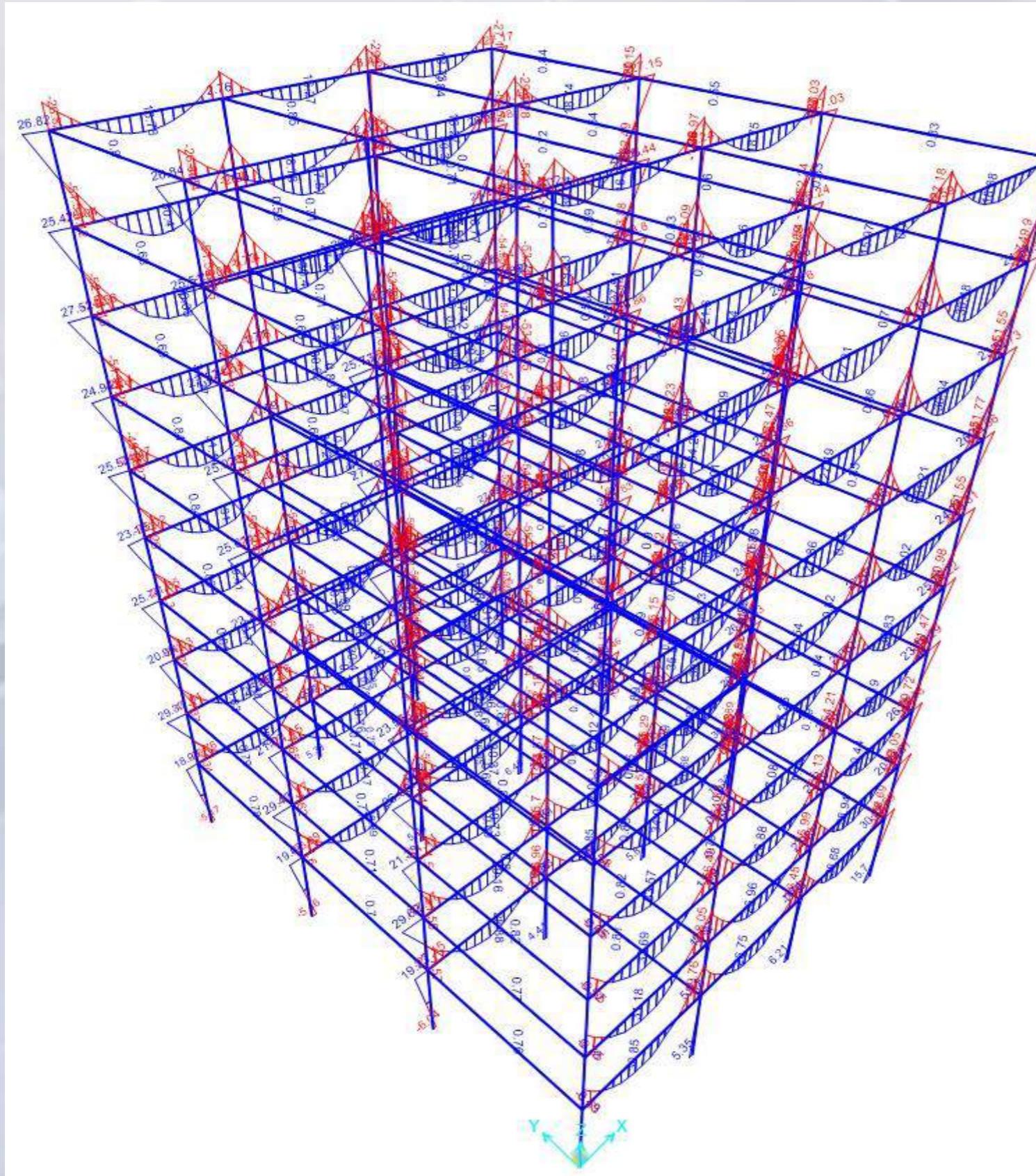
Ubicación de soportes laterales en trabes

Diseño compuesto de vigas secundarias de sistemas de piso

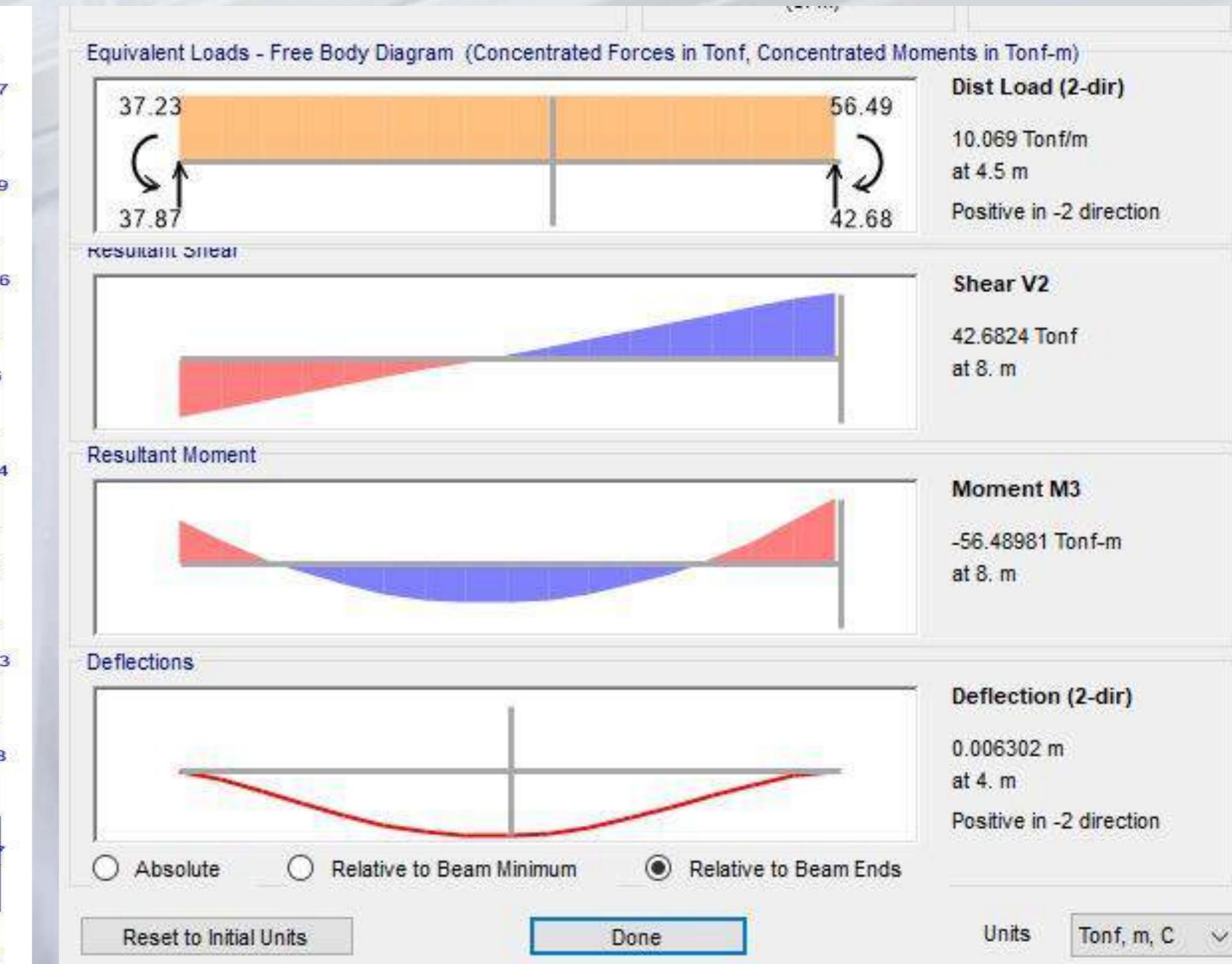
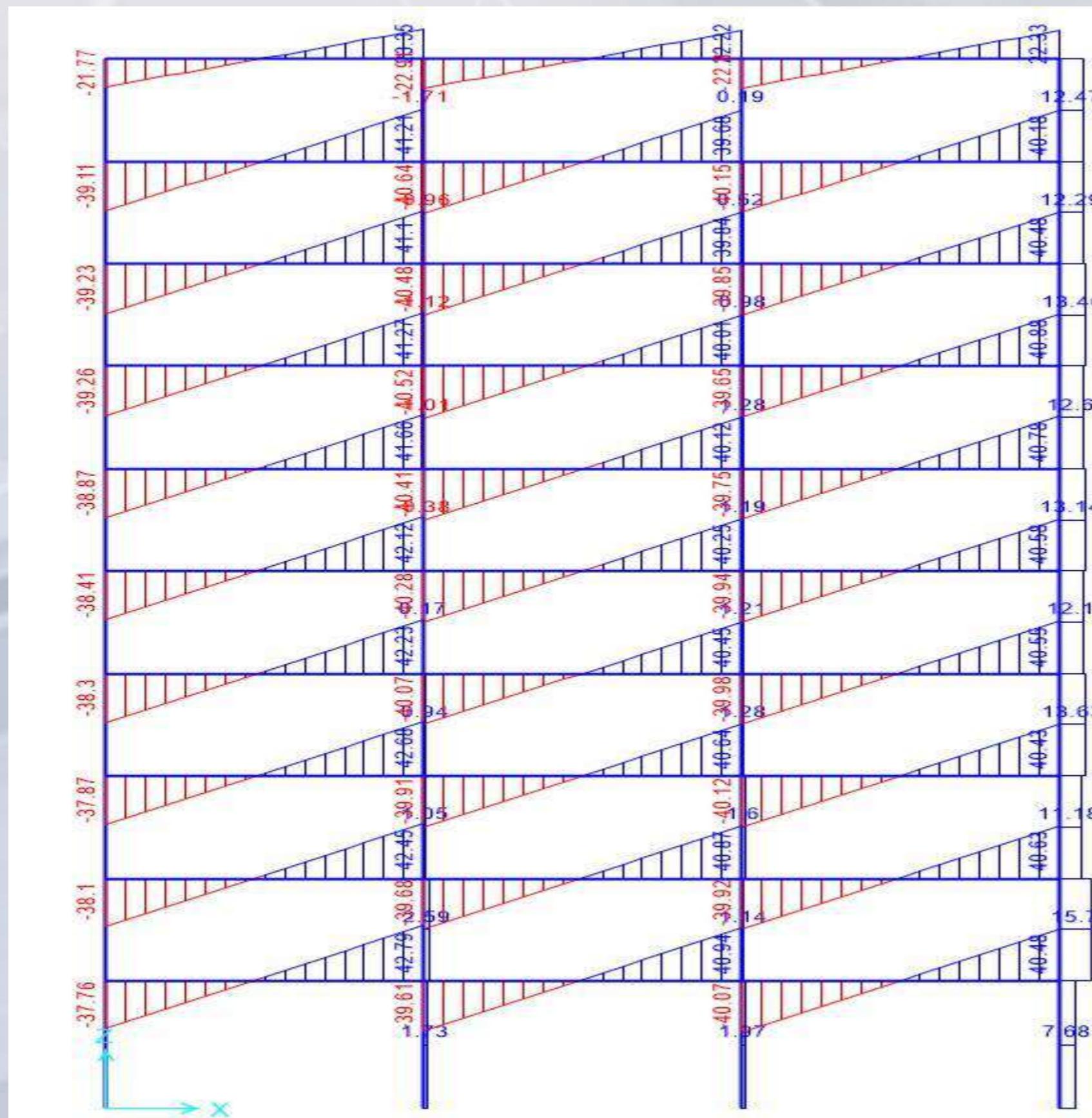
Diseño compuesto de columnas (si se eligió un sistema estructural de este tipo)

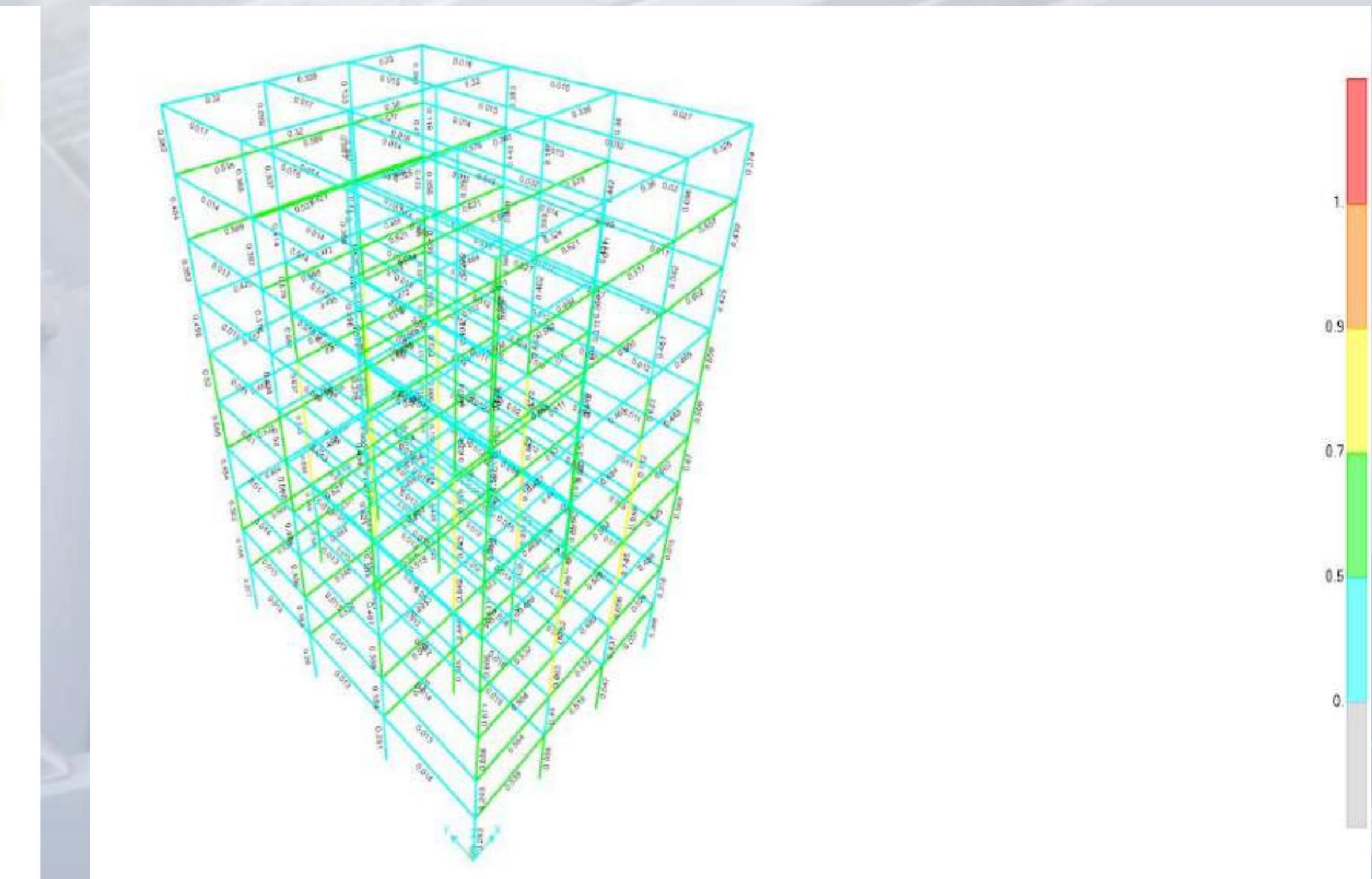
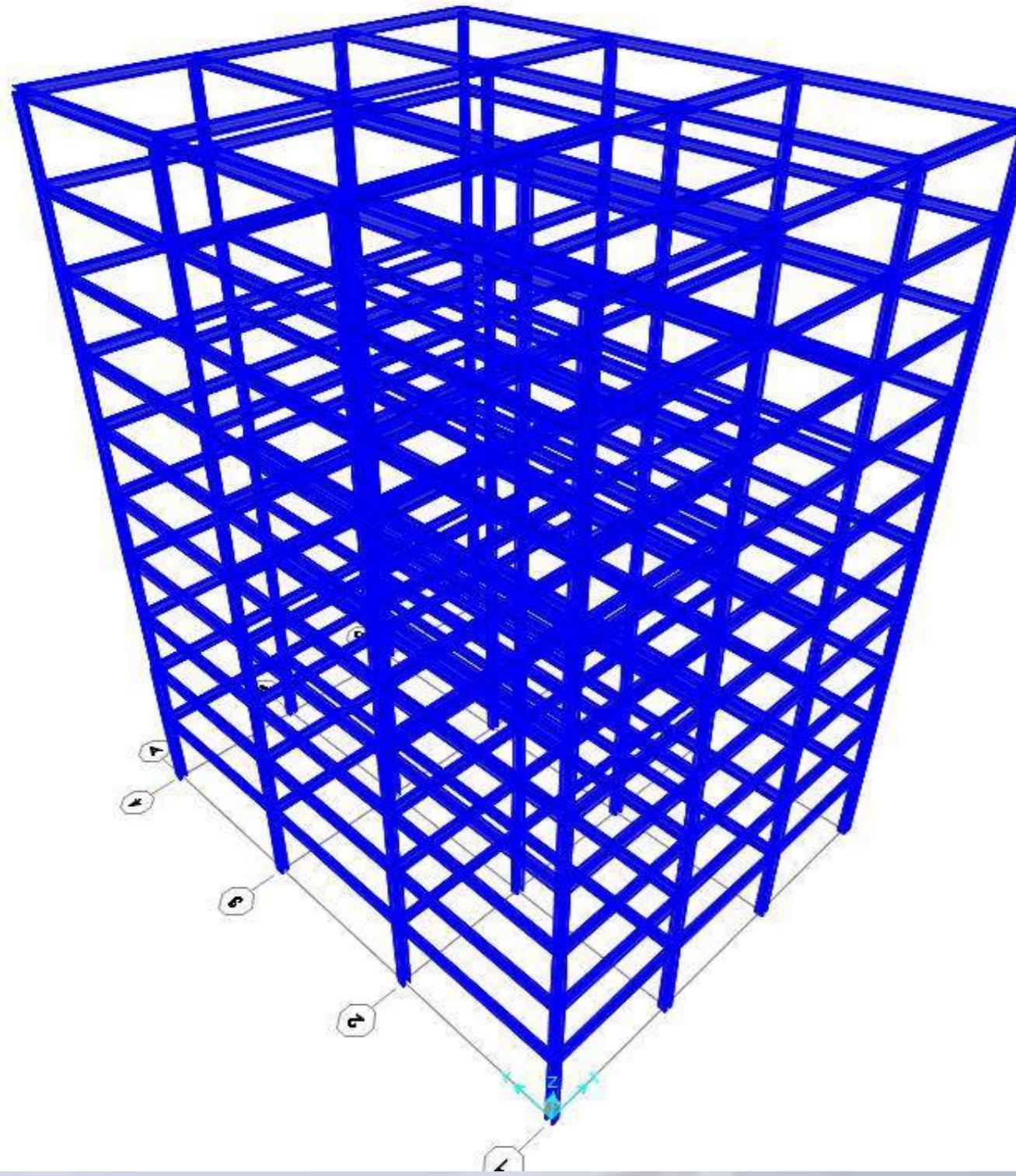
Asignación de apoyos en las columnas (articulados, fijos o empotrados, libres, etc.) y de vigas secundarias (miembros estructurales libremente apoyados).

Interacción suelo-estructura



**Etapa en la que se determinan las acciones internas en los diversos miembros estructurales
Se utilizan programas de computadora reconocidos por la Ingeniería Estructural mexicana.**





Etapa que permite proponer un sistema estructural conveniente acorde con las características generales del proyecto arquitectónico para que el edificio tenga un grado razonable de seguridad contra el colapso, se comporte satisfactoriamente en condiciones de servicio durante su vida útil y mantenga su costo dentro de límites aceptables.

S Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

Frame ID	232	Analysis Section	W14X120
Design Code	AISC 360-16	Design Section	W14X120

COMBO STATION /----MOMENT INTERACTION CHECK----//MAJ-SHR---MIN-SHR-/

ID	LOC	RATIO	= AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
1.1(CM+CV)	0.	0.612(C)	= 0.586 + 0.017 + 0.009	0.01	0.
1.1(CM+CV)	2.	0.588(C)	= 0.585 + 0.002 + 0.	0.01	0.
1.1(CM+CV)	4.	0.615(C)	= 0.585 + 0.022 + 0.009	0.01	0.
1.1(CM+CV)	0.	0.702(C)	= 0.586 + 0.108 + 0.009	0.06	0.
1.1(CM+CV)	2.	0.591(C)	= 0.585 + 0.006 + 0.	0.06	0.
1.1(CM+CV)	4.	0.712(C)	= 0.584 + 0.119 + 0.009	0.06	0.
0.9(CM+CV)	0.	0.503(C)	= 0.48 + 0.017 + 0.007	0.01	0.

Modify/Show Overwrites Display Details for Selected Item Display Complete Details

Strength Deflection

Stylesheet: Default Table Format File

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: $0.712 = 0.584 + 0.119 + 0.009$
 $= (Pr/Pc) + (8/9)(Mr33/Mc33) + (8/9)(Mr22/Mc22)$

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	7.819	9.152	24.083	232.	Compact
/Web	19.356	90.553	137.274		Compact
Minor/Flange	7.819	9.152	24.083	232.	Compact
/Web	19.356	90.553	137.274	232.	Compact
Axial/Flange	7.819		13.487		Compact
/Web	19.356		35.884		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.239
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.206
LTB	Lltb 1.	Kltb 1.	Cb 2.253			
Axial	Pu Force -370.02	phi*Pnc Capacity 633.13	phi*Pnt Capacity 720.532			
	Mu Moment -14.74	phi*Mn Capacity 109.913	phi*Mn No LTB 109.913	phi*Mn Cb=1 109.913		
	Minor Moment 0.527	52.883				

SHEAR CHECK

Vu	phi*Vn	Stress	Status
Force 7.013	Capacity 116.414	Ratio 0.06	Check OK
Minor Shear 0.262	338.458	0.001	OK

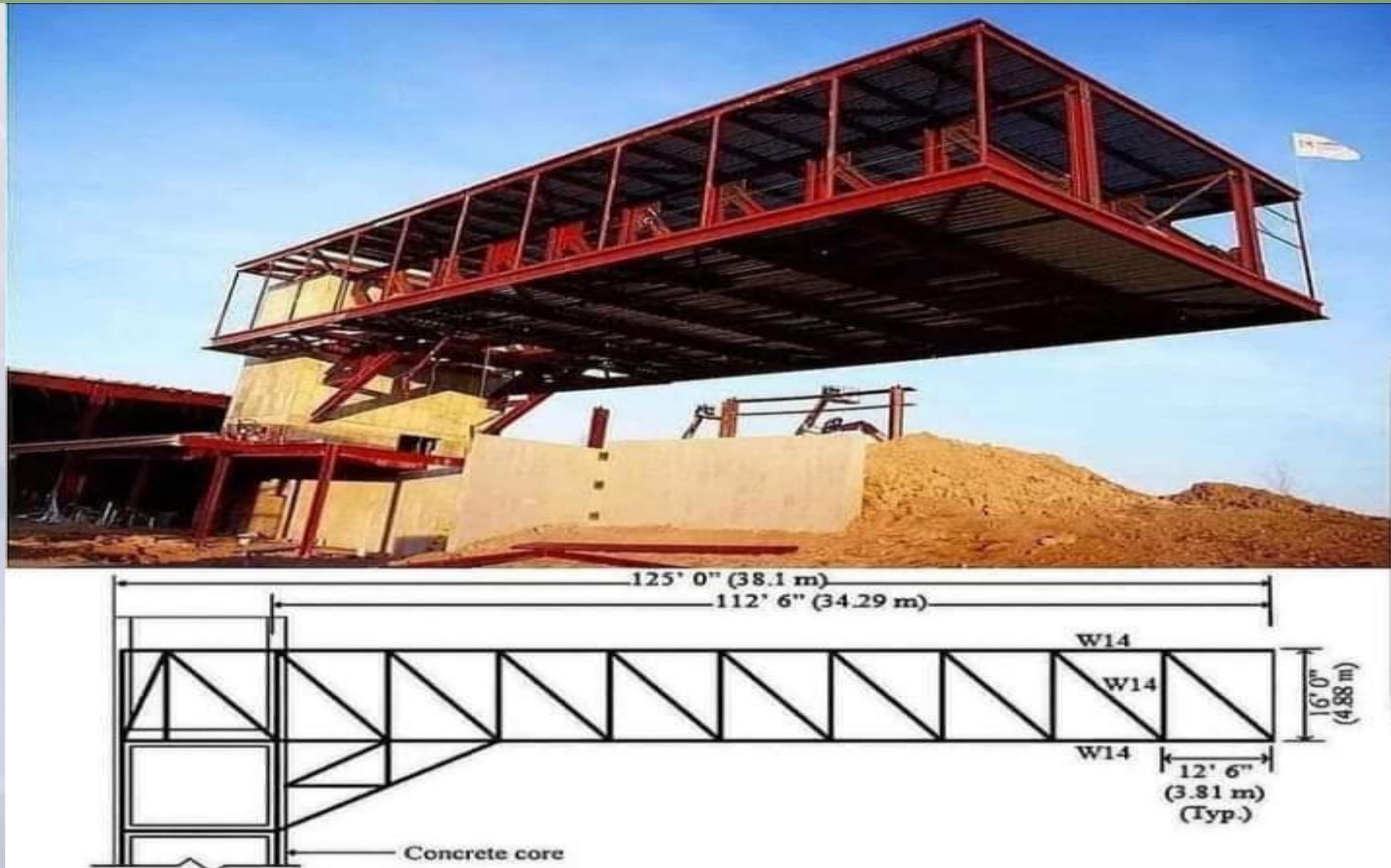
CONTINUITY PLATE, DOUBLER PLATE AND BEAM/COLUMN RATIOS

Cont Pl	Dbl Pl	BC Ratio	BC Ratio
Area	Thick	Major	Minor
Joint Design	0.002	0.013	N/C

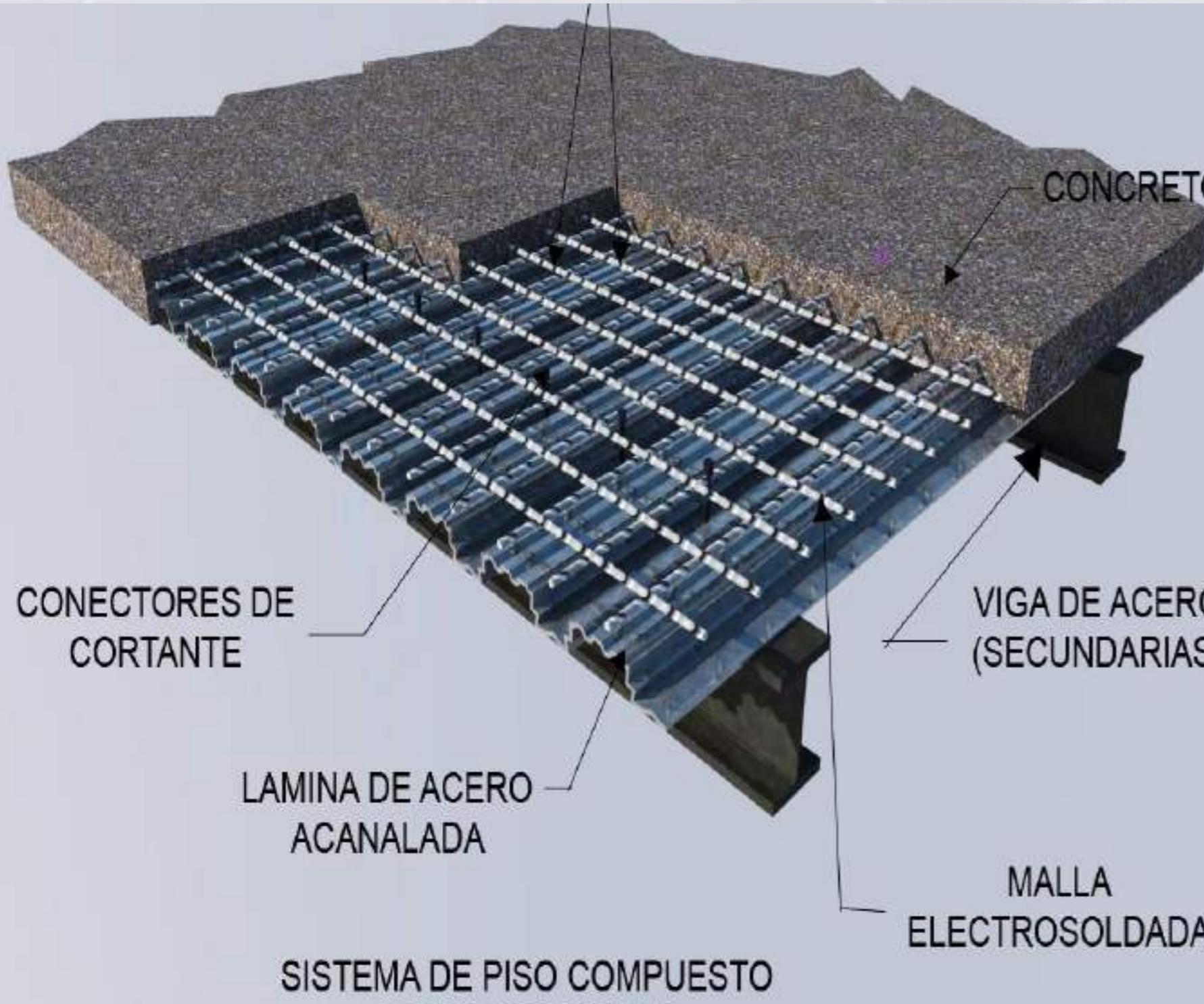
Independientemente del programa de computadora que se utilice en el diseño de la estructura, la elaboración del modelo matemático tridimensional debe ser muy cuidadosa. Los programas pueden ser **HERRAMIENTAS PELIGROSAS** si no se usan correctamente, con responsabilidad y conocimiento.



Peralte de vigas en volado= $L/(6 \text{ a } 8)$



Peralte de mega-armaduras en volado = $L/(6 \text{ a } 8) = 34.29/7 = 4.90 \text{ m}$



Peralte de vigas secundarias = $L/24$
Miembros isostáticos o libremente apoyados ??



Peralte de tráves o vigas principales (miembros estásicamente indeterminados o hiperestáticos) = $L/20$



$$A = 3.2Px10^{-3} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Donde:

$$P = WAt$$

W = carga vertical total (cargas muertas y vivas)

A_t = área tributaria de la columna central, m^2

Ejemplo:

$$W = 900 \text{ kg/m}^2$$

$$A_t = 69.75 \text{ m}^2$$

$$P = 3.2 \times 900 \times 69.75 \times 10^{-3} = 201.0 \text{ cm}^2$$

$$A = 8.0Px10^{-3} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Donde:

$$P = WAt$$

W = carga vertical total (cargas muertas y vivas)

A_t = área tributaria de la columna de esquina, m^2

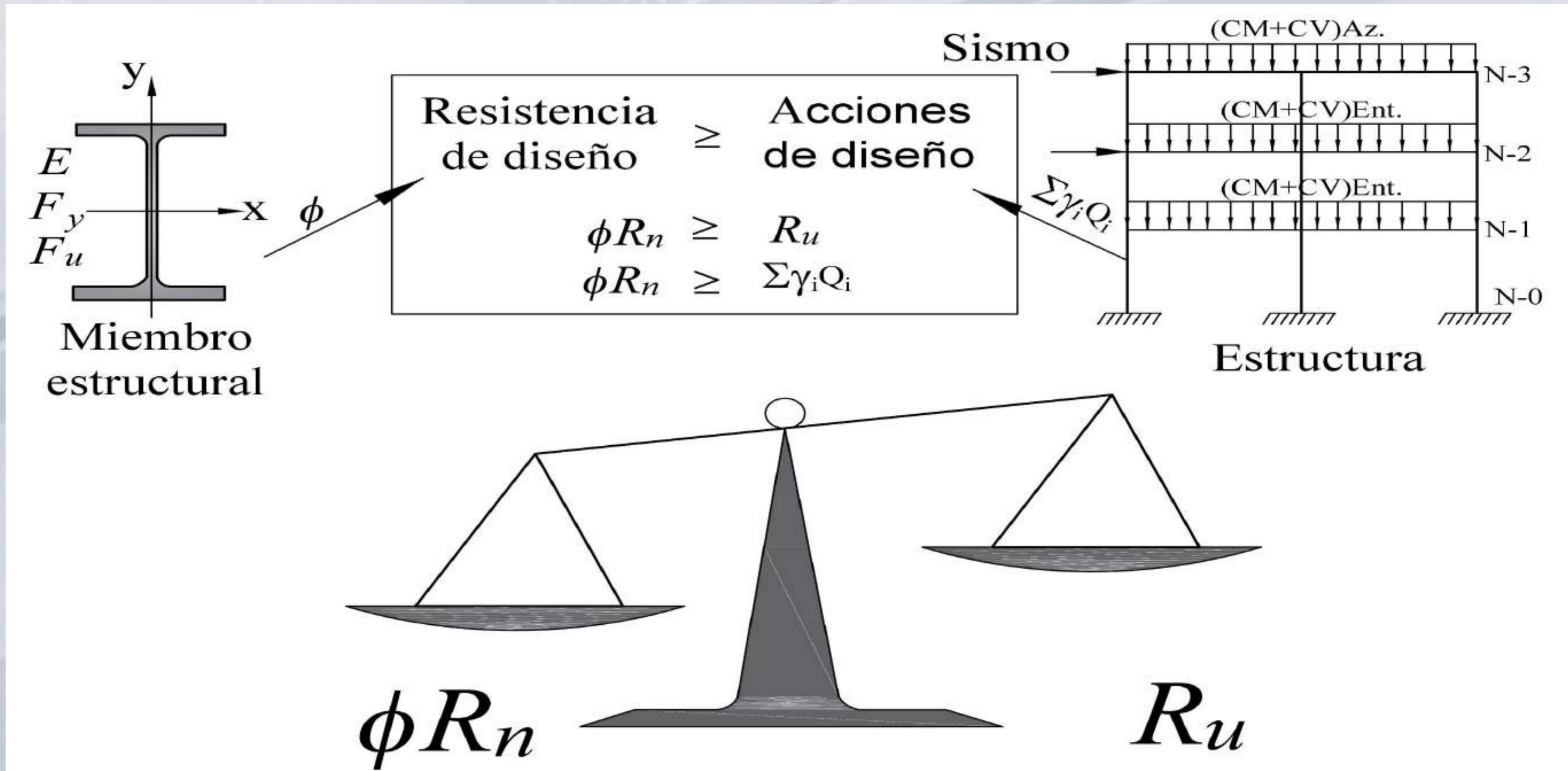
Ejemplo:

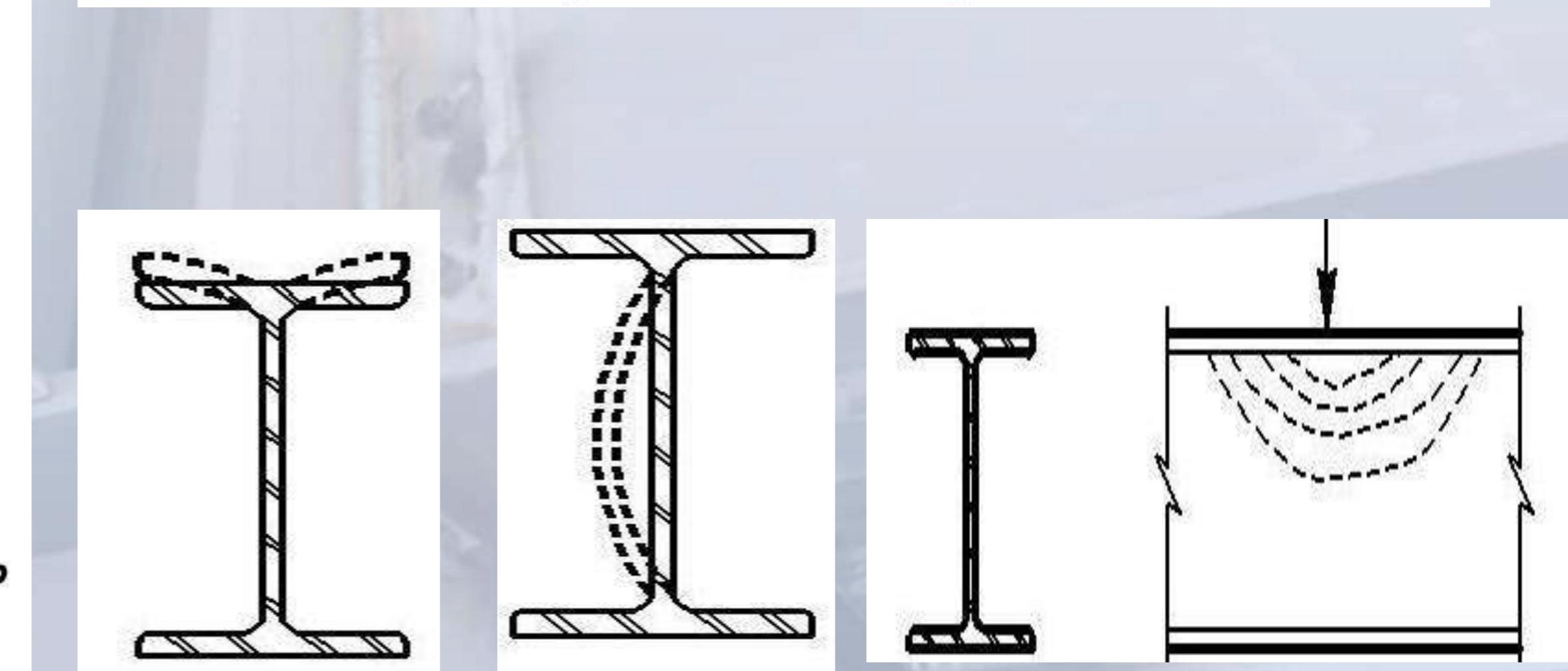
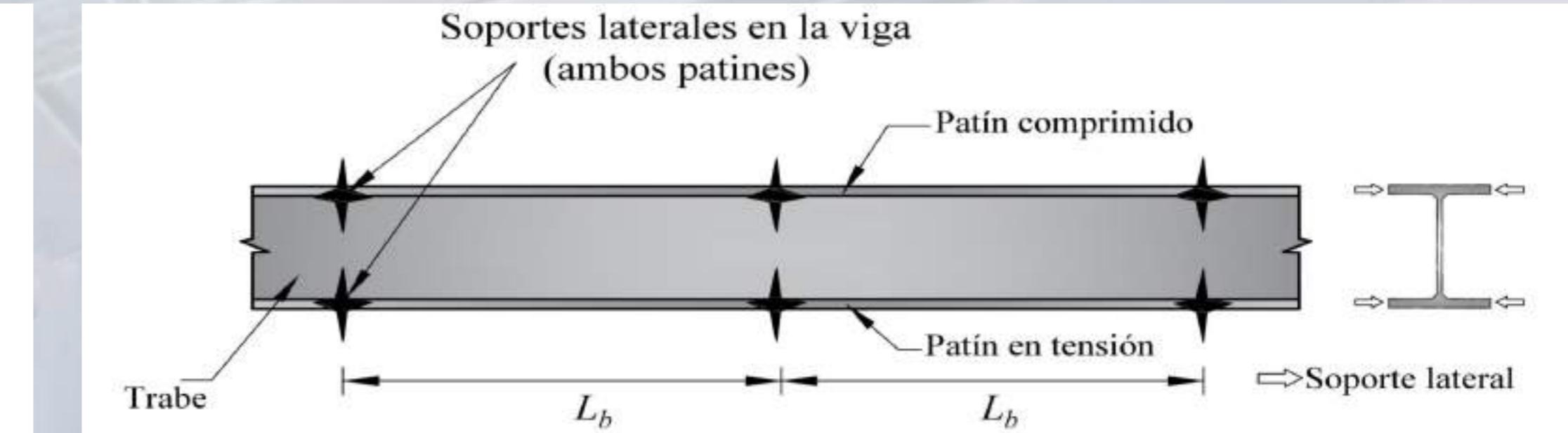
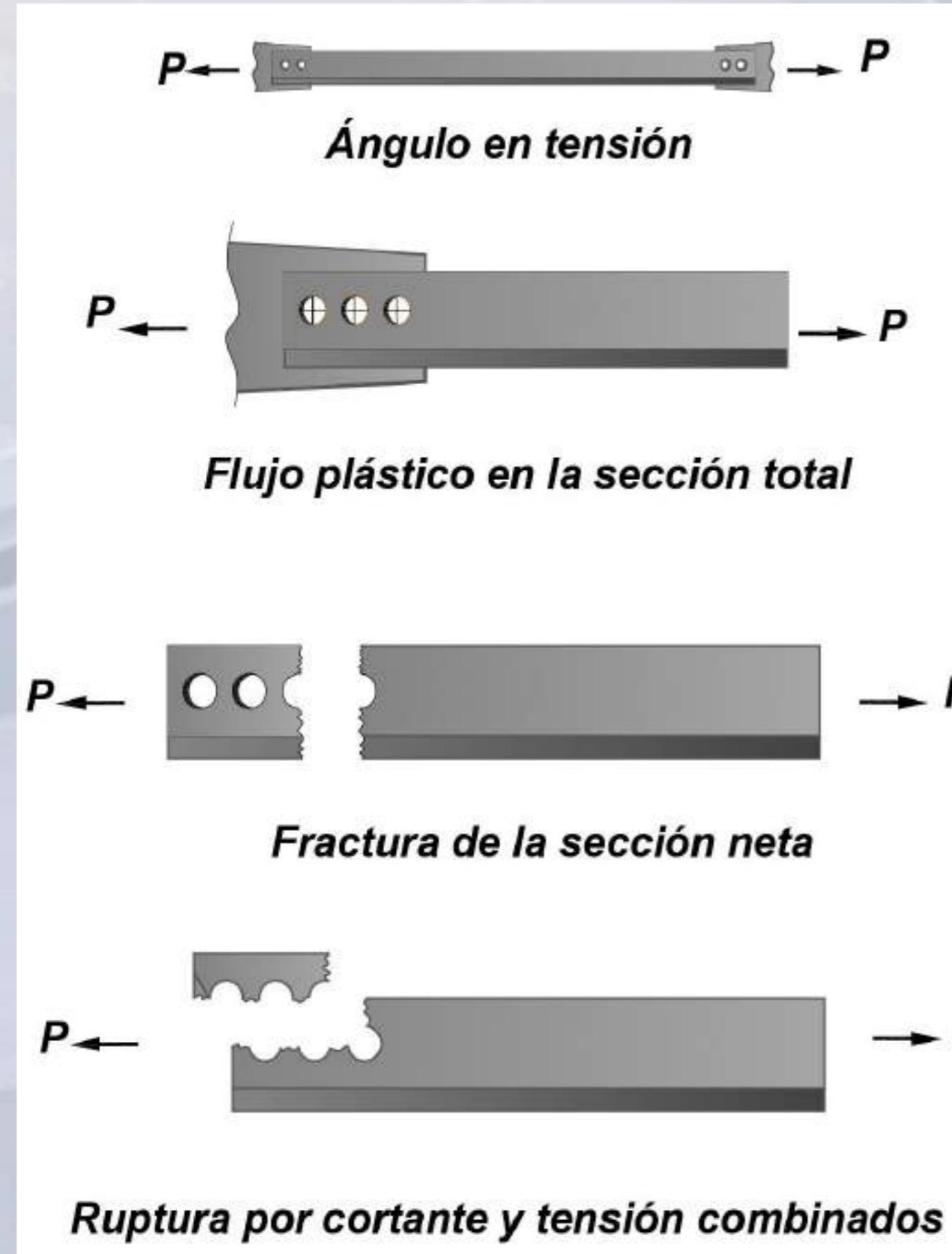
$$W = 900 \text{ kg/m}^2$$

$$A_t = 16.9 \text{ m}^2$$

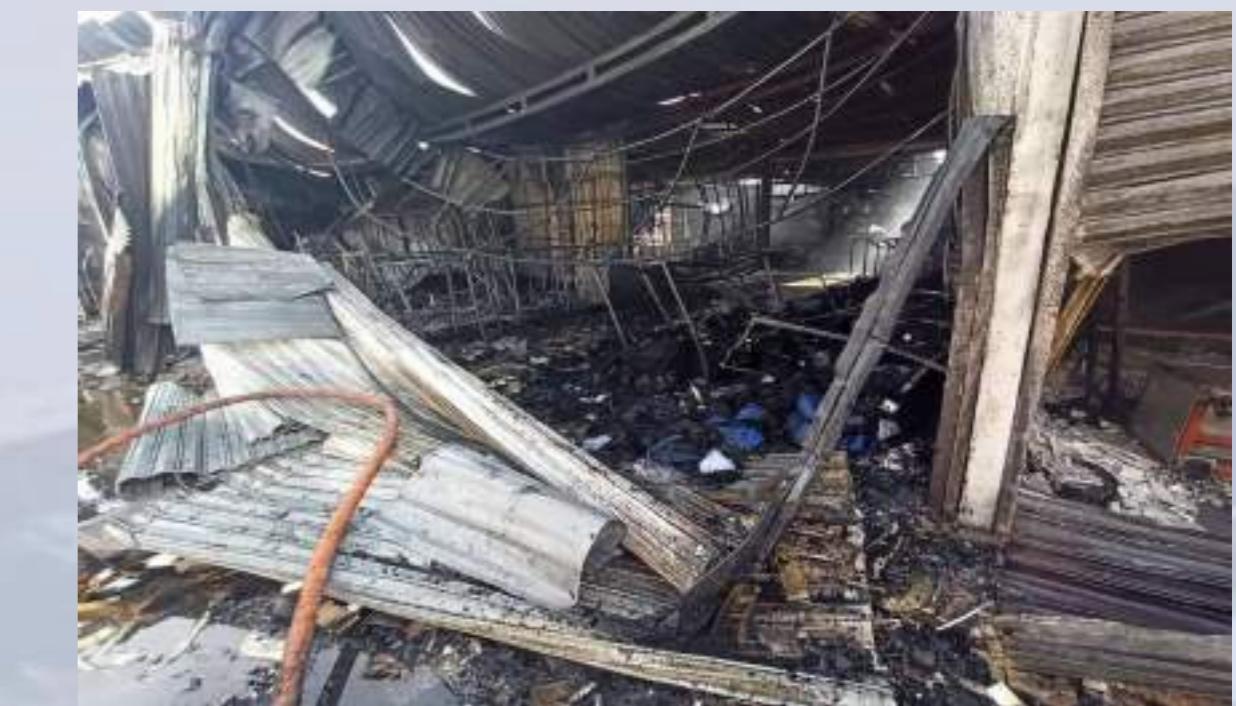
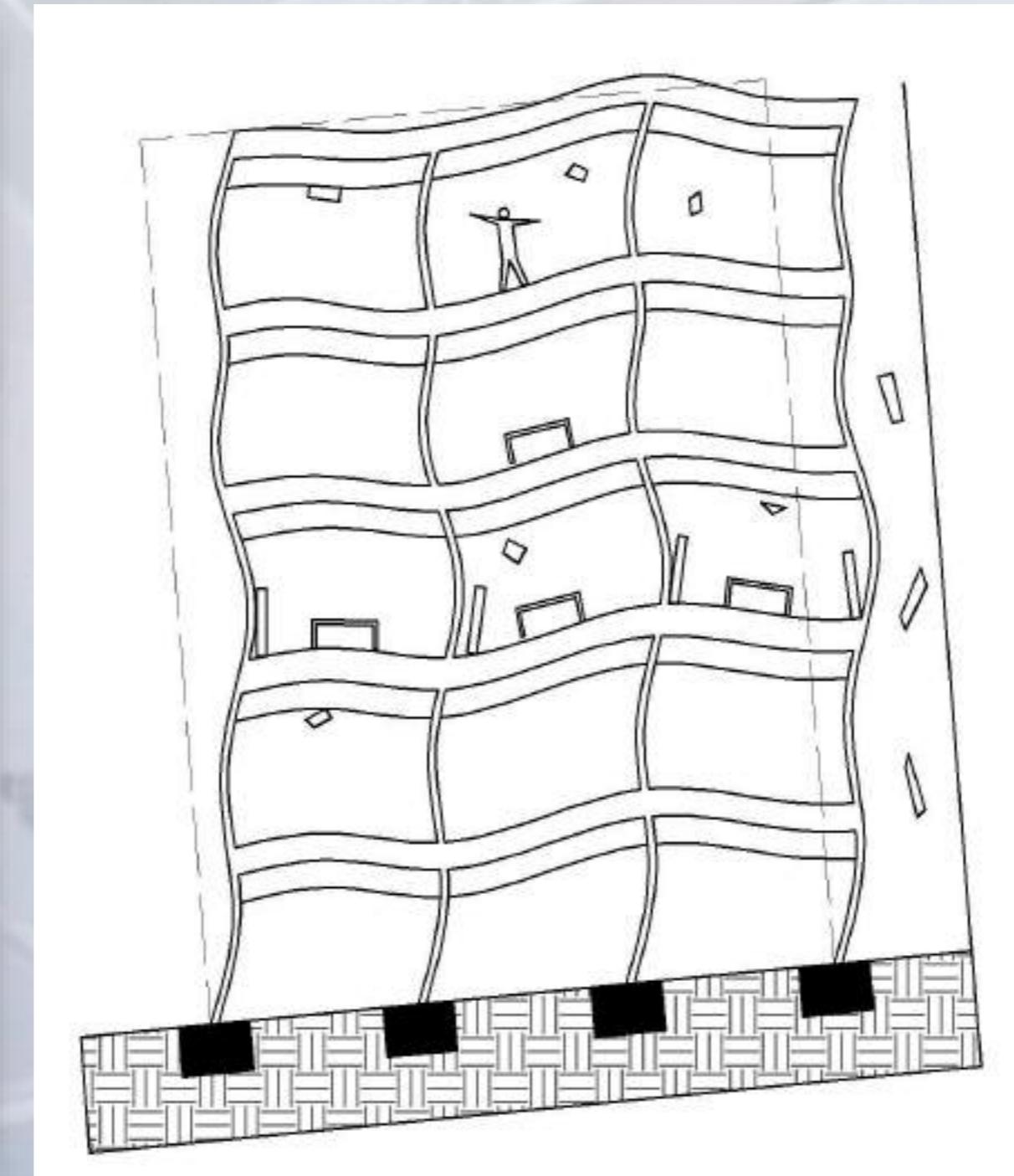
$$P = 8.0 \times 900 \times 16.9 \times 10^{-3} = 121.70 \text{ cm}^2$$

Columnas de edificios de acero de baja altura sujetas exclusivamente a compresión axial





ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO



En las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, última edición se establecen algunos valores generales para los estados límite de servicio. Los límites se refieren a las deflexiones de vigas, vibraciones de sistemas de piso o techo y a los desplazamientos laterales de los edificios y distorsiones de entrepiso.

La corrosión y el fuego también se consideran también estados límite de servicio.

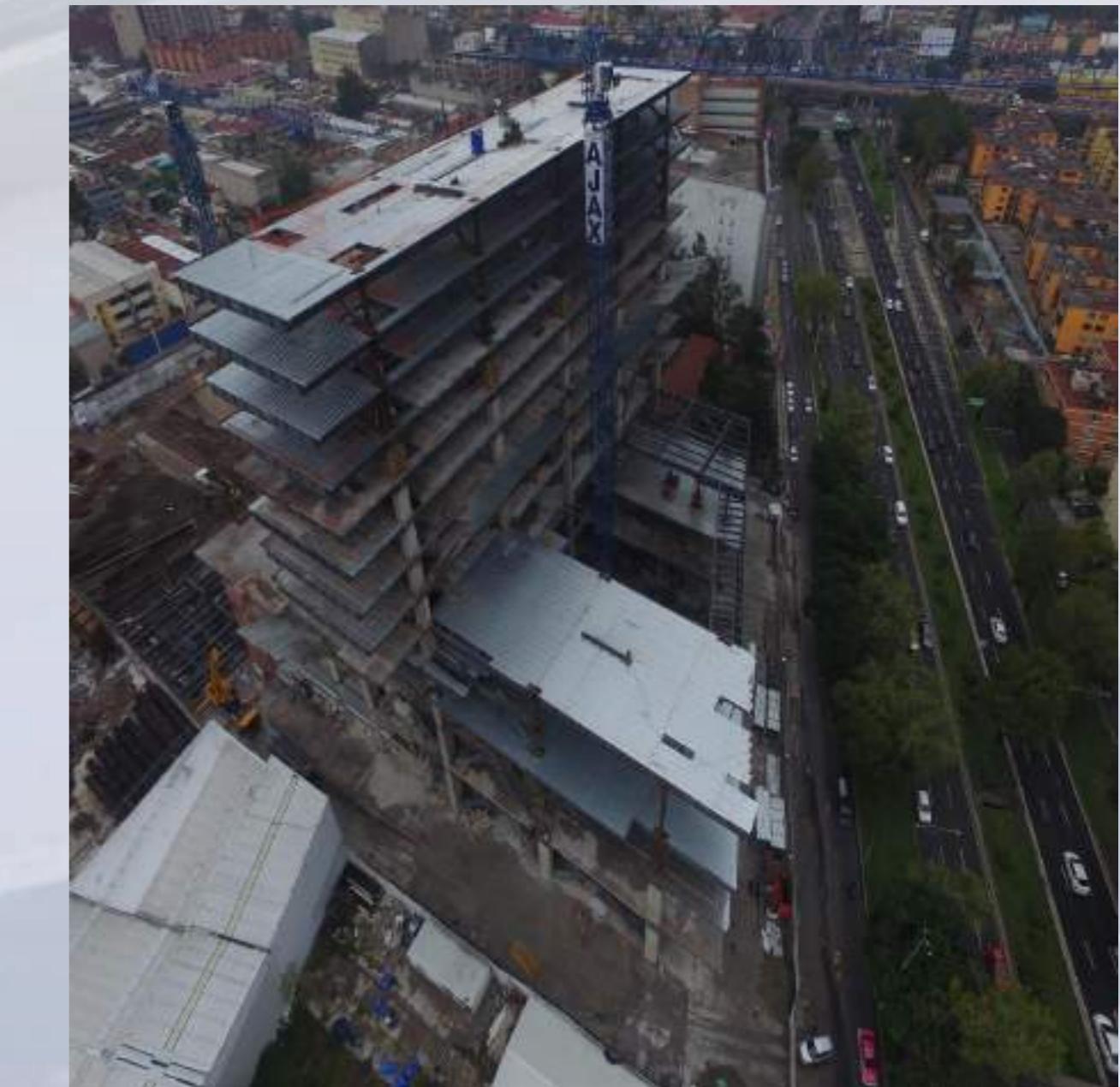
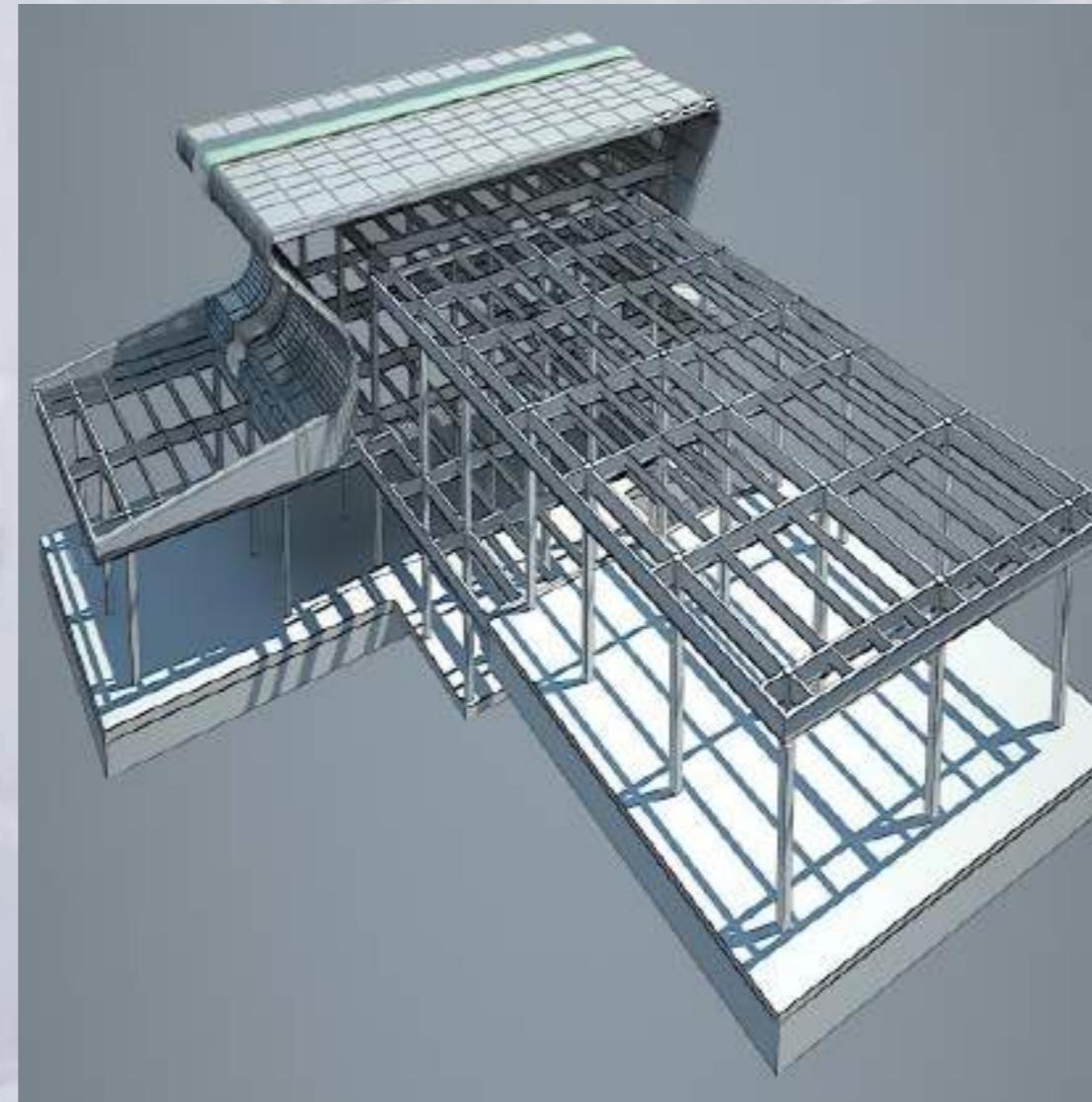
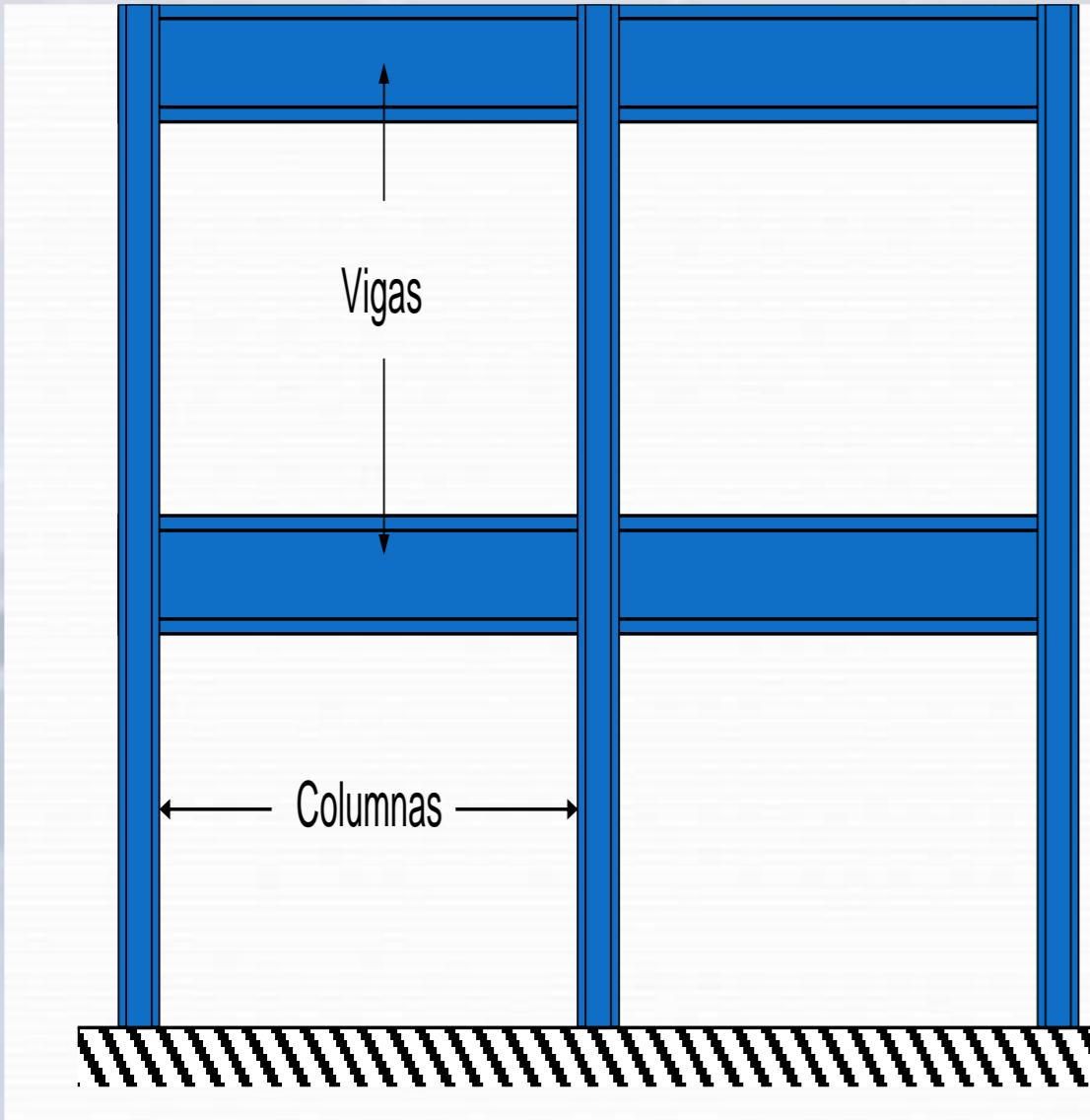
SISTEMAS ESTRUCTURALES

El ingeniero estructurista debe ser capaz de concebir los sistemas estructurales adecuados en cada caso y de convertirlos junto con los elementos no estructurales con los que interactúan en modelos matemáticos que puedan ser analizados y que representen la construcción real con precisión suficiente.

Si se elige una configuración estructural desventajosa, puede ser imposible lograr un edificio sano, aunque el diseño estructural sea correcto.

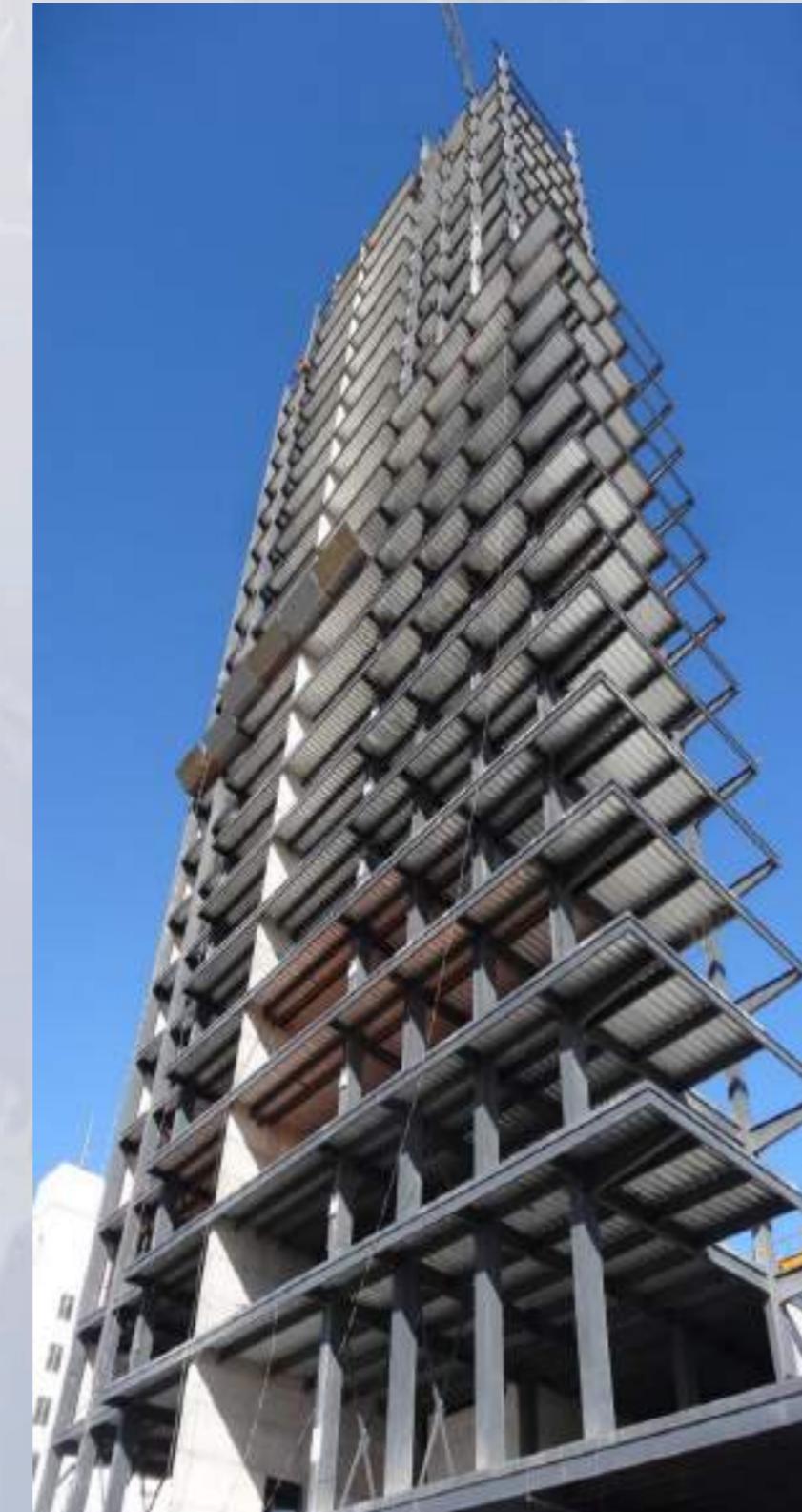
Los errores en la concepción general de la estructura que debe soportar las acciones verticales y accidentales (sismo) son causa frecuente de daños estructurales severos

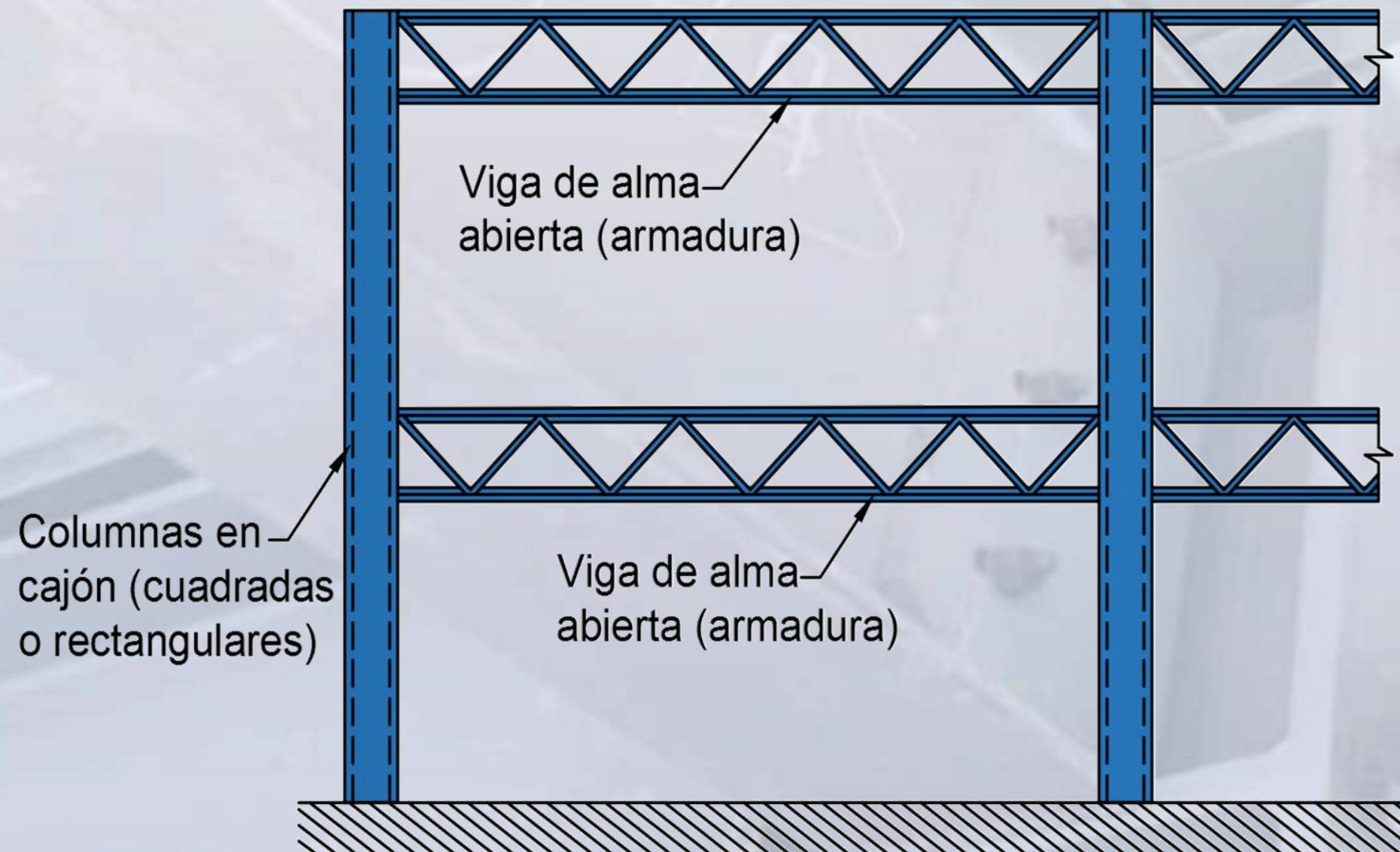
MARCOS RÍGIDOS



Estructura de rigidez lateral limitada; convenientes para edificios de baja altura y grandes claros. En edificios de mediana altura los desplazamientos laterales ocasionados por sismo son importantes y pueden dañar a los edificios adyacentes por golpeteo, choque o colisión.

SISTEMAS ESTRUCTURALES





Los edificios estructurados a base de marcos rígidos con columnas de sección en cajón, cuadradas o rectangulares, y vigas de alma abierta (armaduras) se usan en México desde la década de los 60 s.



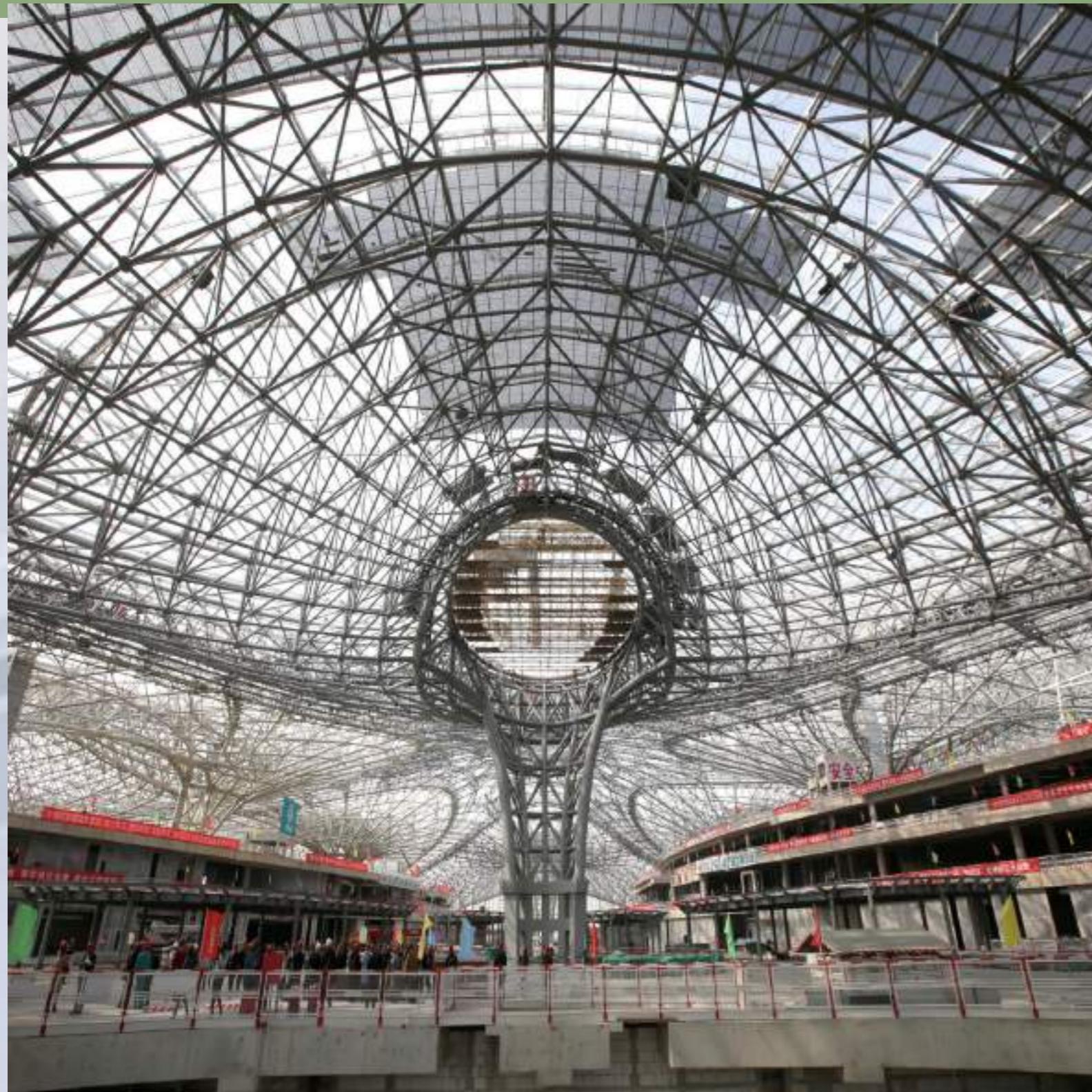
SISTEMAS ESTRUCTURALES





MEGACOLUMNAS ARMADAS= FONILES O “EMBUDOS”

Columnas armadas, constituidas por perfiles tubulares circulares que soportan cubiertas de grandes claros en aeropuertos o terminales aéreas.

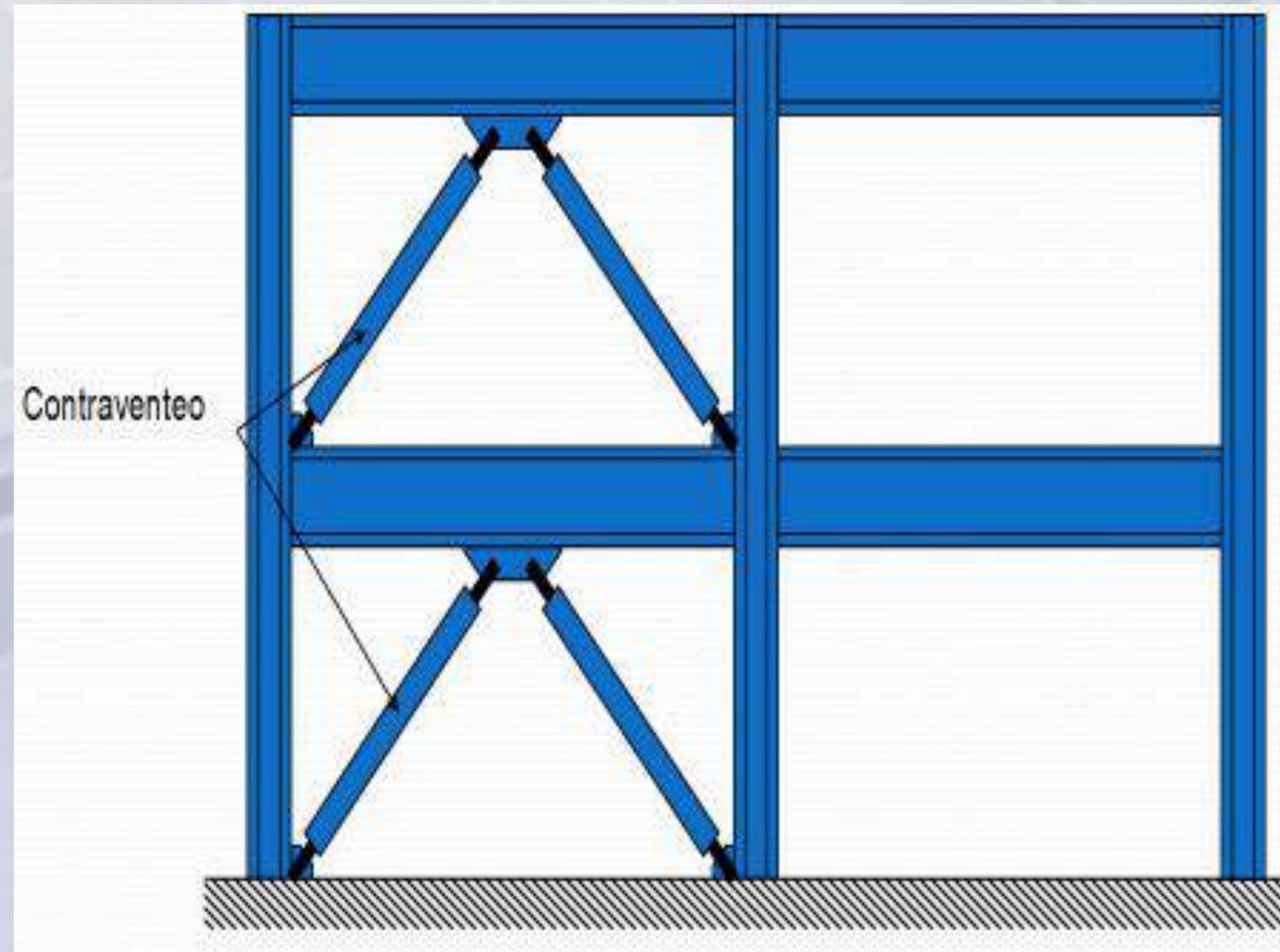


Aeropuerto Beijing 2019. el más grande del mundo

Proyecto: Despacho de Zaha Hadid

Estructura: Columnas fonoiles y cubiertas tridimensionales

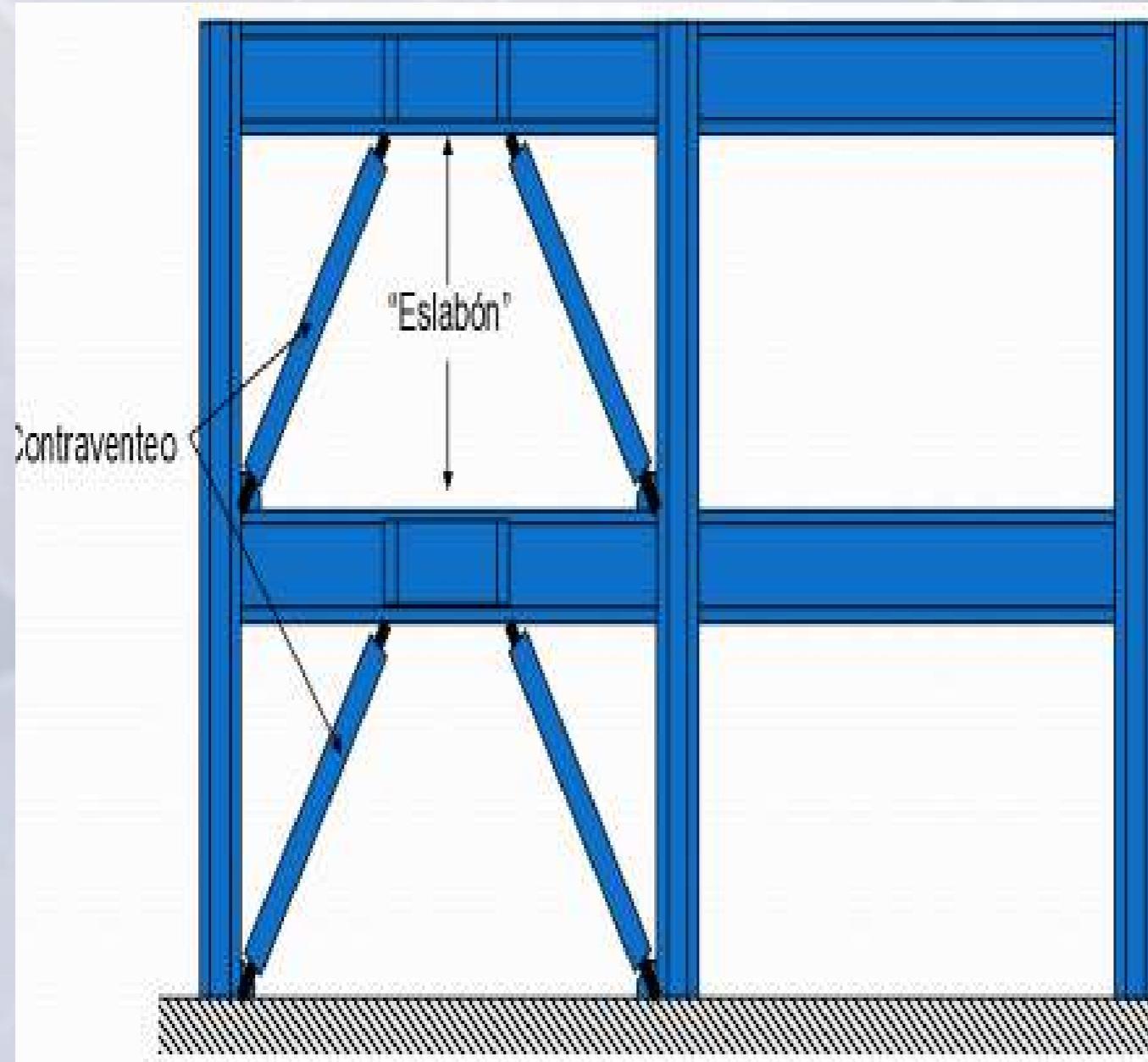
MARCOS CON CONTRAVENTOS CONCÉNTRICOS



MARCOS CON CONTRAVENTO CONCÉNTRICOS

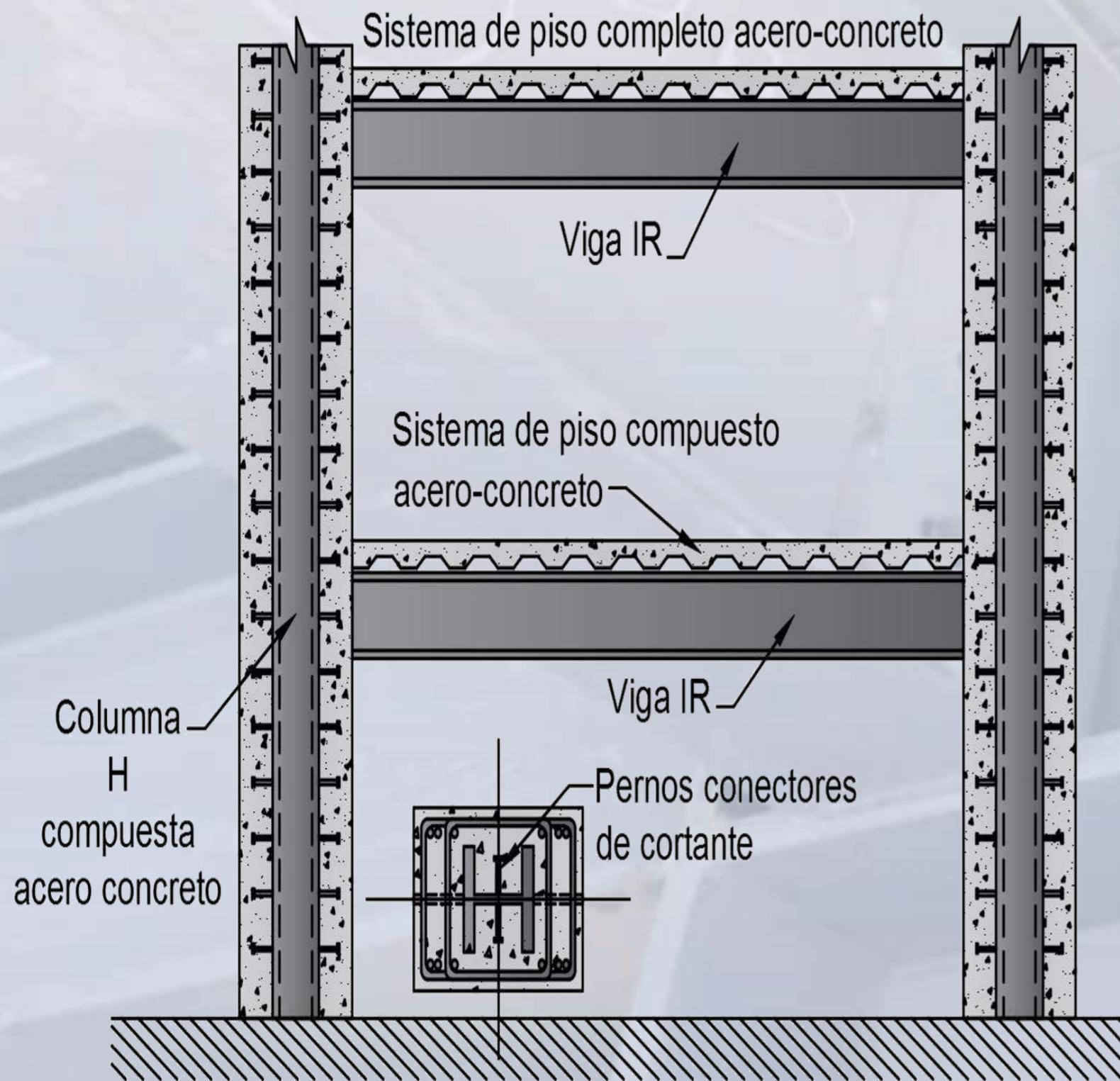
Tienen mayor rigidez lateral que los marcos rígidos simples, pero su capacidad de absorción de energía es baja por las limitadas incursiones inelásticas de los contraventos.

MARCOS CON CONTRAVENTOS EXCÉNTRICOS

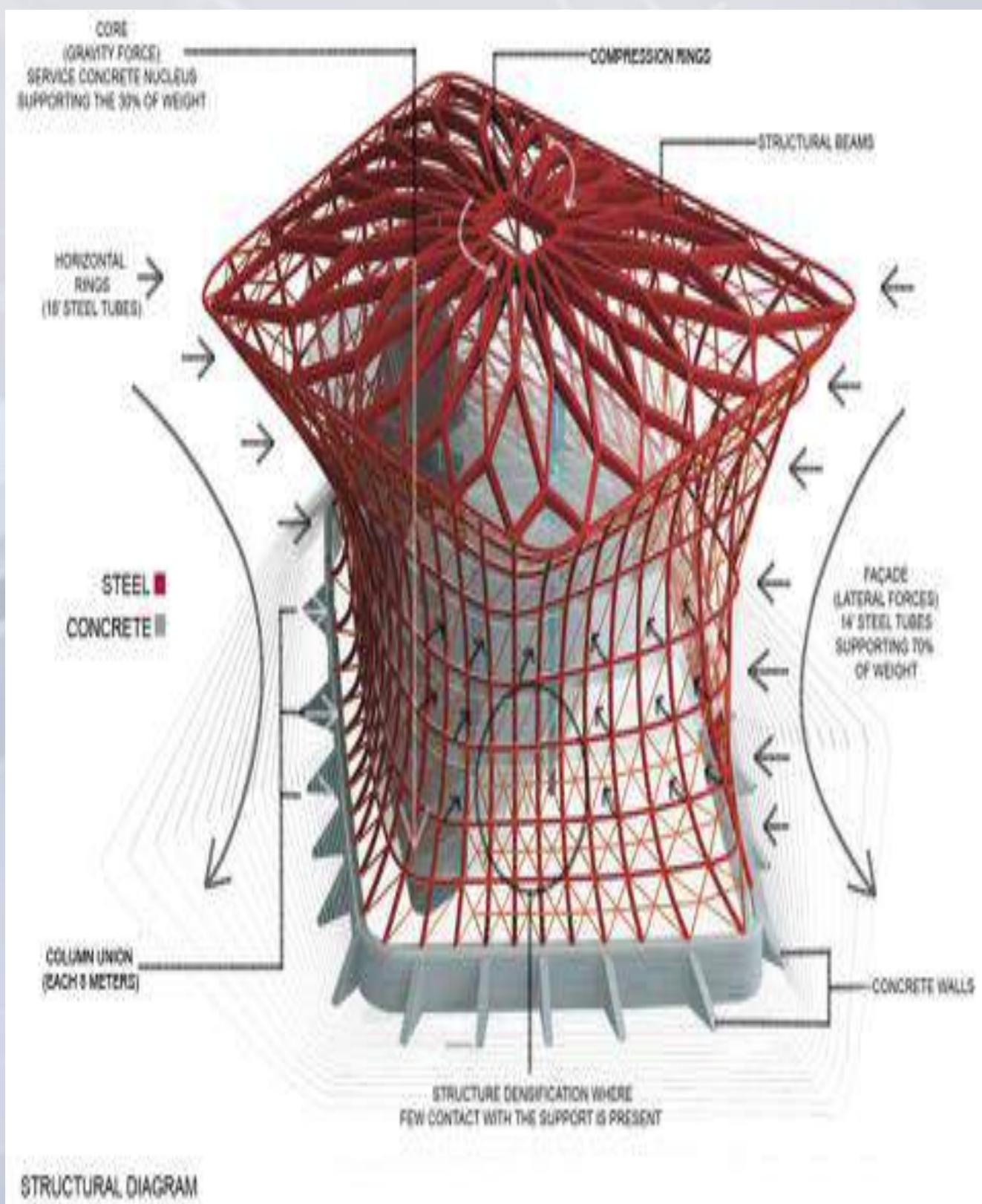


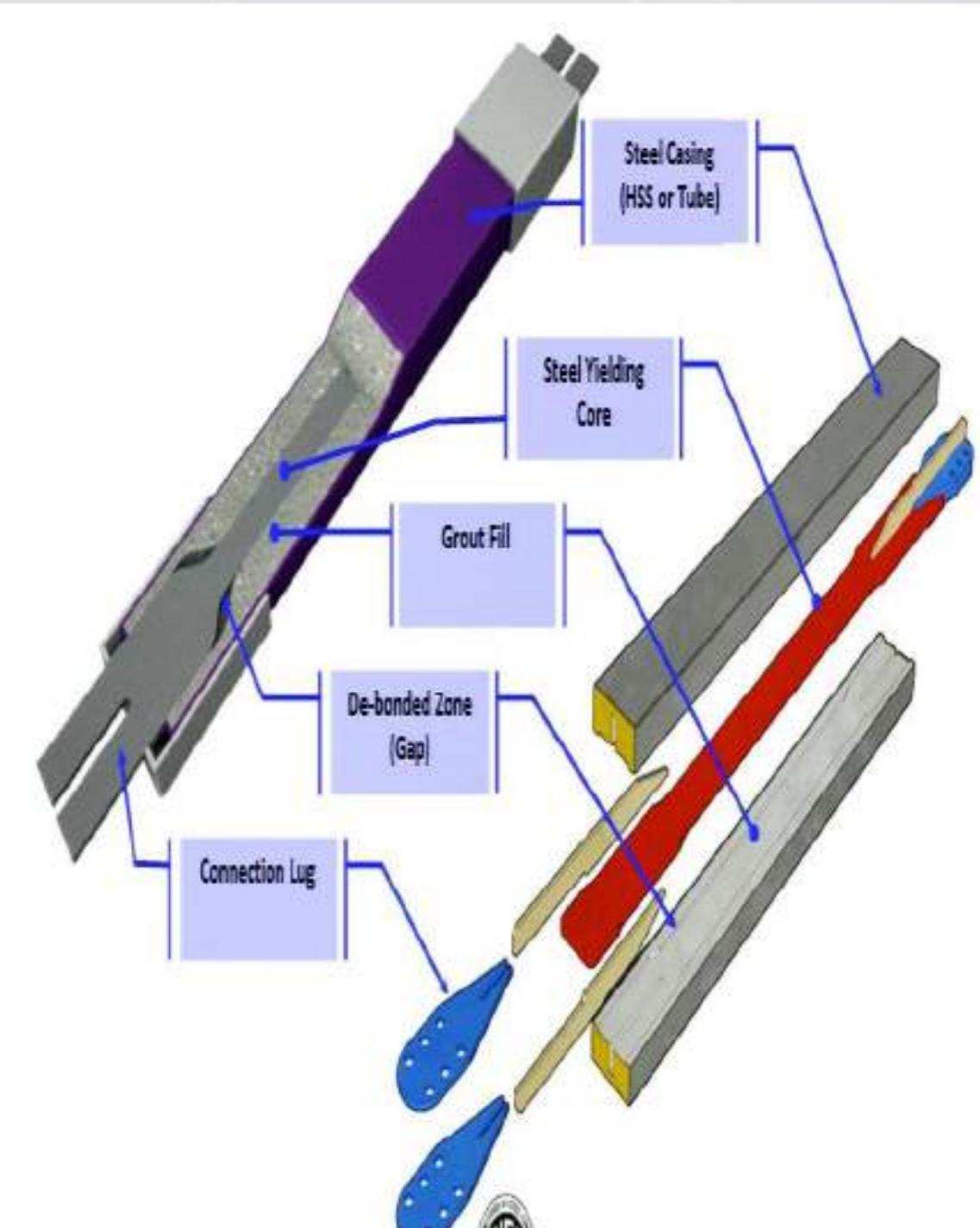
Se innovaron en Japón en la década de los 70s y el Dr. Egor Popov los aplicó en California en 1980. Tienen una alta rigidez elástica y una excelente ductilidad para resistir los grandes desplazamientos laterales de los entrepisos inducidos por los sismos. Disipan la energía que transmite un sismo a través de fluencia controlada en cortante o en flexión en el eslabón

ESTRUCTURAS COMPUESTAS

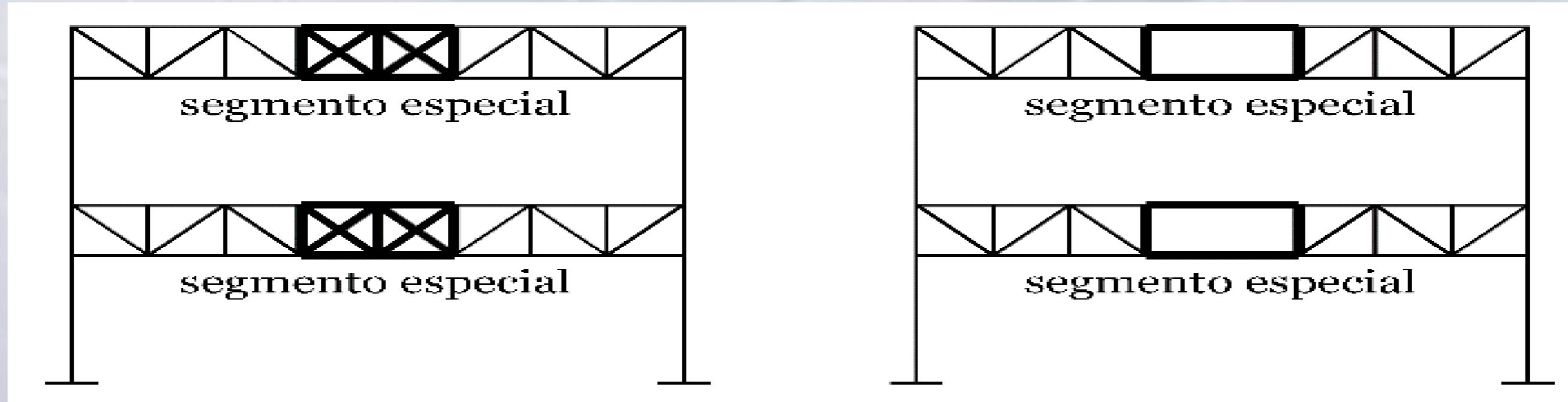


TEJIDOS O REDES

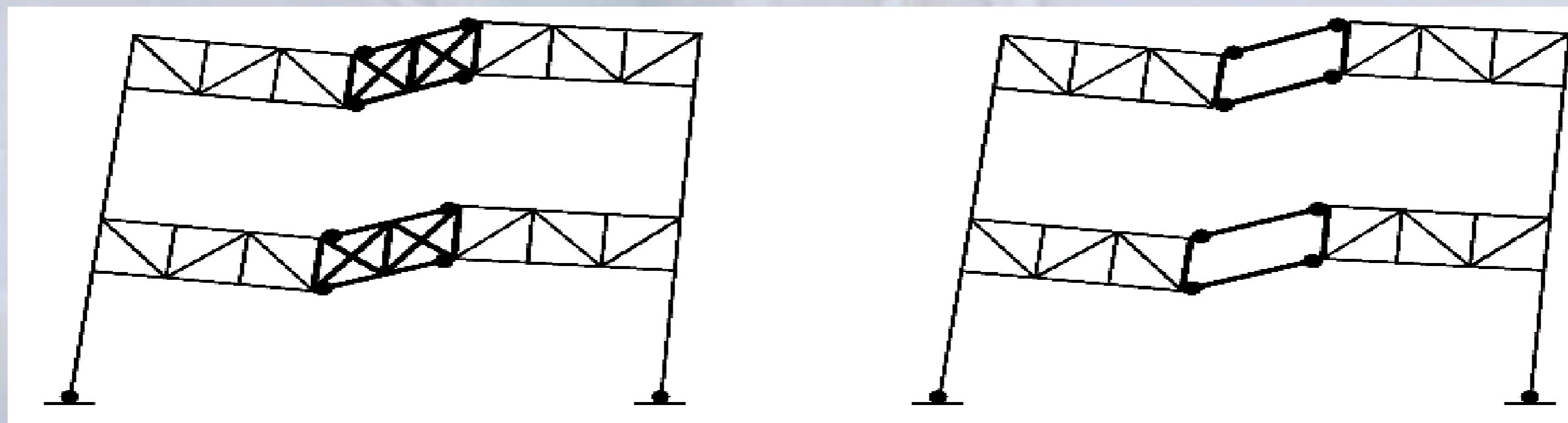




Los contraventos concéntricos restringidos contra pandeo (CRP) están constituidos por un núcleo de acero confinado por una camisa de acero rellena de concreto o mortero de alta contracción controlada, que impide el pandeo del núcleo. Los CRP fluyen indistintamente en tensión o compresión con una elevada capacidad de dissipación de energía por histeresis del material.



Marcos con armaduras especiales



Segmentos especiales con diagonales en X y tableros tipo Vierendeel

CONEXIONES TRABE COLUMNA

Partes medulares extremadamente importantes de una estructura de acero.

En una conexión, sea soldada o atornillada, el diseñador debe analizar cuidadosamente las piezas que se va a unir: forma, tamaño, cargas y características de los sujetadores (soldadura o tornillos de alta resistencia ASTM A325 o A490)



- ¿Cuáles miembros estructurales se van a conectar y como se efectuará su unión?
- ¿Qué tipo de conexión es la más factible, eficiente y económica? ¿Soldada, atornillada o una combinación de éstas?
- ¿Cómo se propone una conexión eficiente, segura, fácil de fabricar y montar y que al mismo tiempo resulte económica?

CONEXIÓN	FUNCIÓN
Trabe-columna Precalificada	Formar marcos rígidos ortogonales que constituyen la estructura dúctil del edificio
Viga secundaria a trabe	Crear los sistemas de piso compuestos acero concreto para proporcionar espacios horizontales en un edificio
Empalme de viga o columna	Formar un elemento de mayor dimensión. Puede ser atornillado o soldado
Diagonal de contraventeo	Dotar resistencia y rigidez lateral a la estructura para restringir los desplazamientos laterales inducidos por sismo
Placa base de columnas	Transmitir las cargas gravitacionales y accidentales a una cimentación adecuada de concreto reforzado
Los contraventos pueden ser ligeros o pesados de acuerdo con la magnitud de las acciones que transmiten	

REQUISITOS GENERALES



Sencillas

Seguras

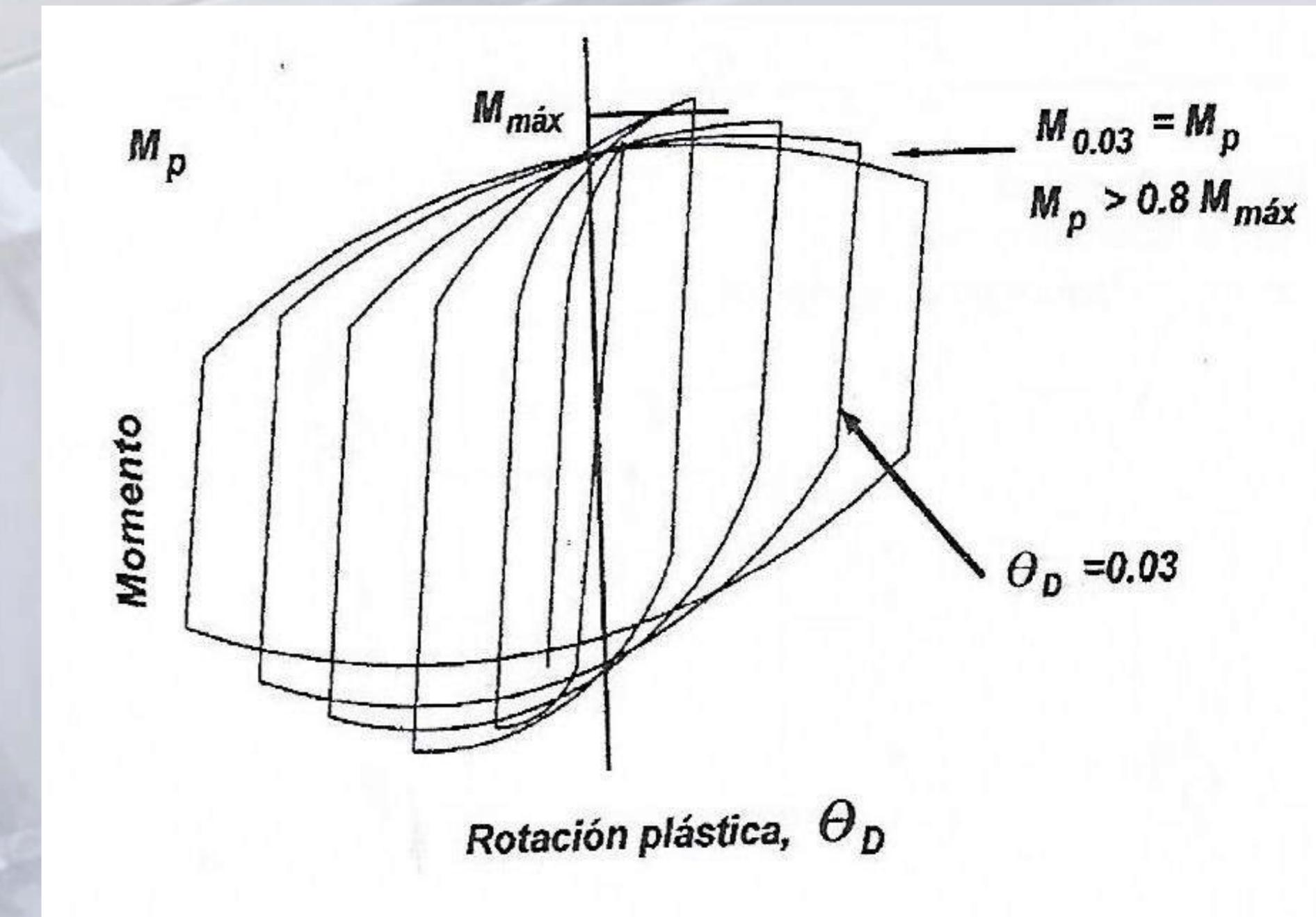
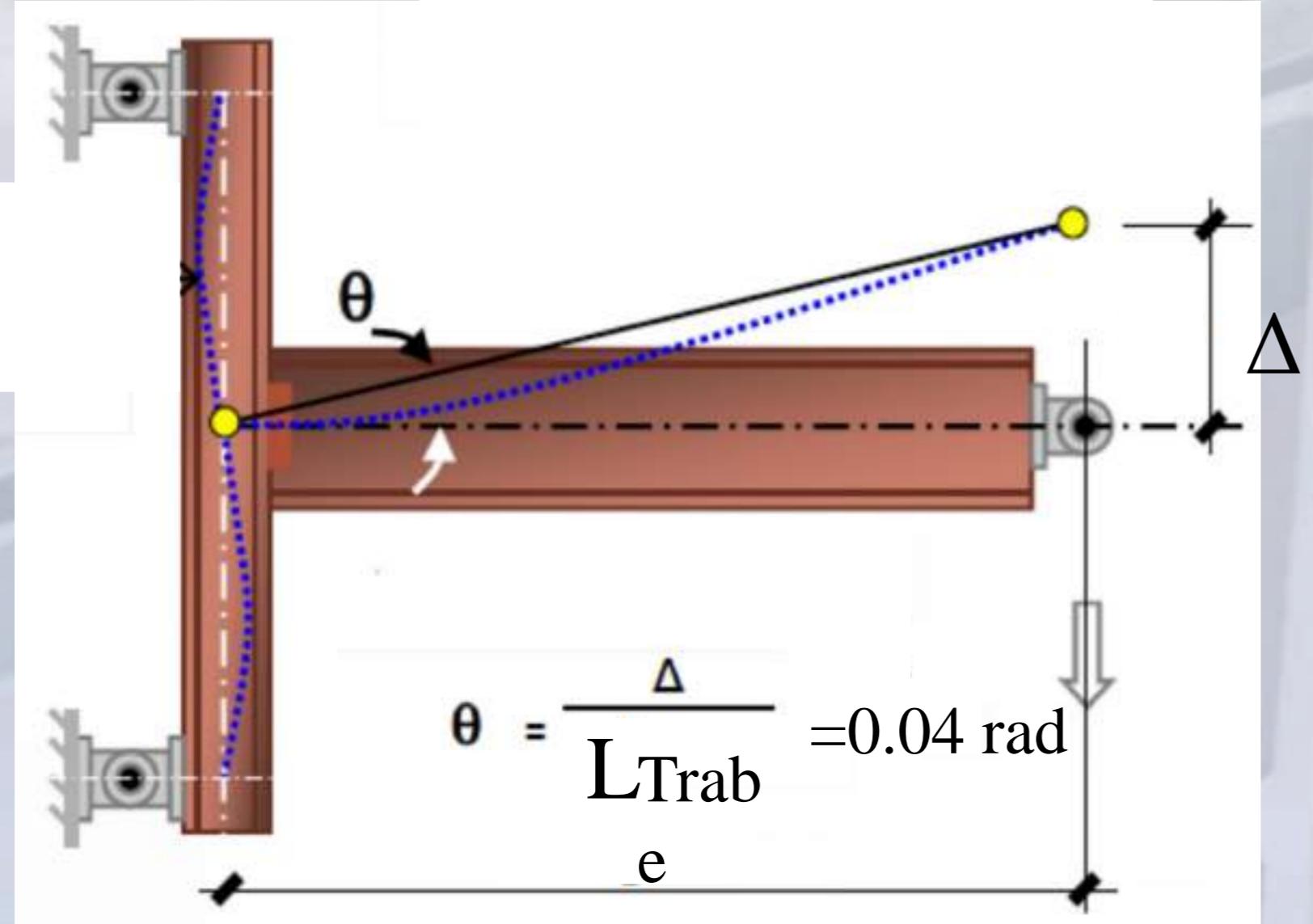
Eficientes

Económicas

Constructibilidad

Precisión geométrica

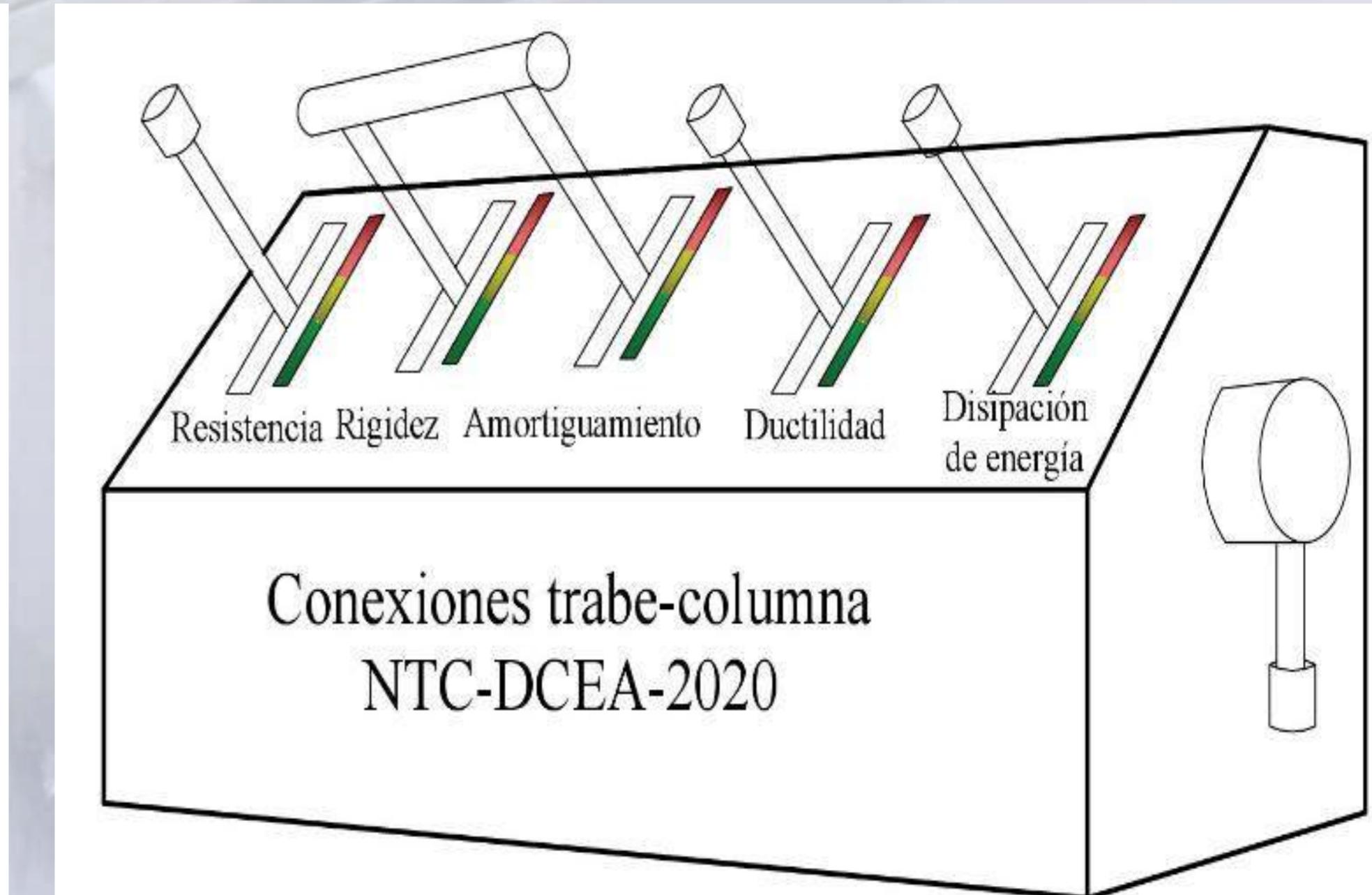
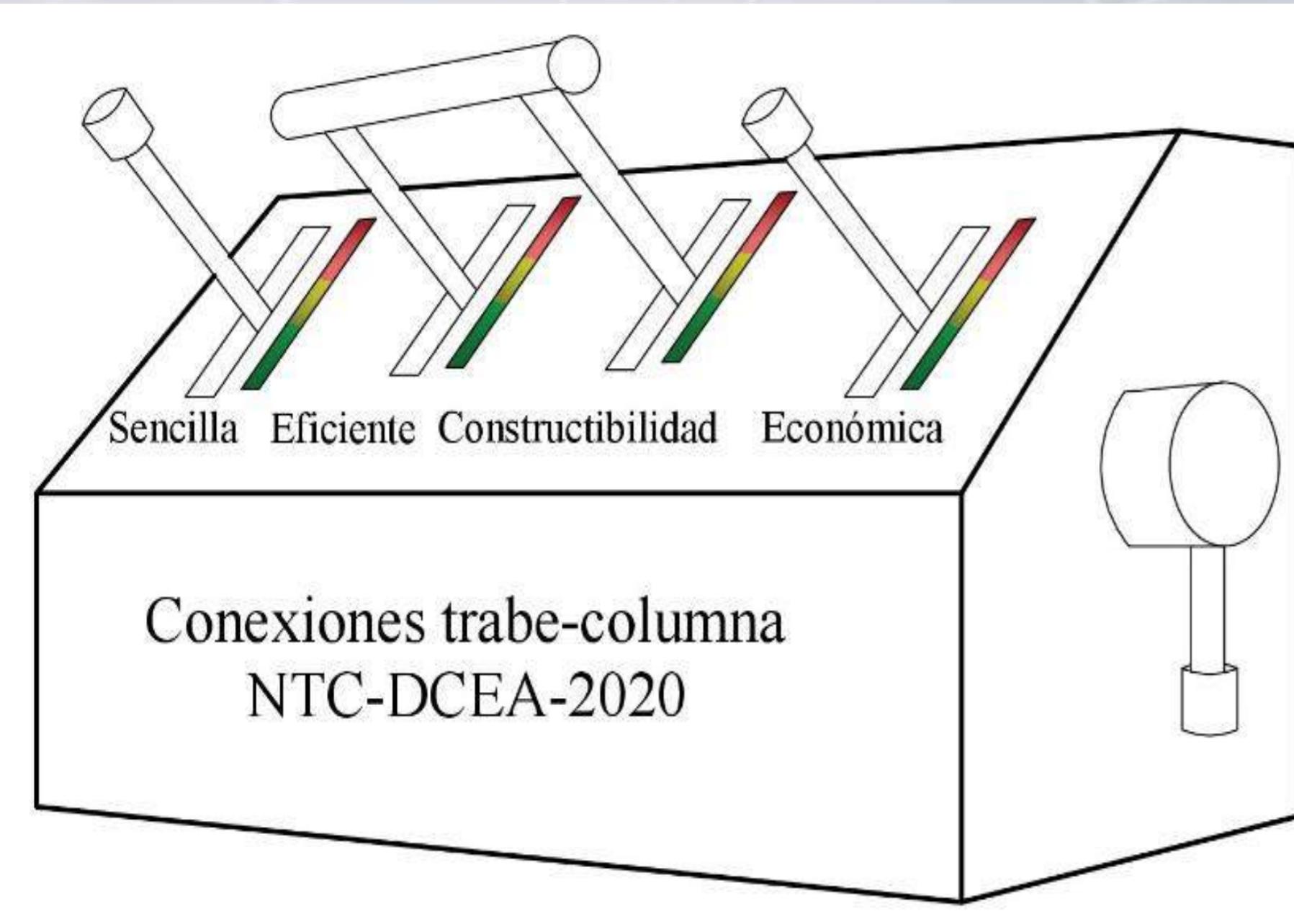
REQUISITOS SÍSMICOS



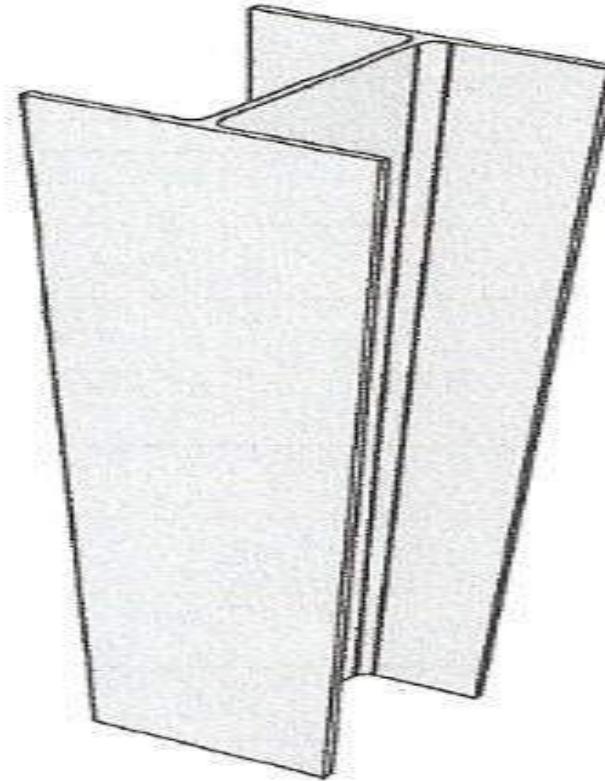
L_{Trabe}

La conexión trabe columna debe admitir una distorsión de entrepiso igual a 0.04 radianes. La resistencia en flexión de la conexión, determinada en la cara de la columna, debe ser igual o mayor que el 80 por ciento del momento plástico de la trabe conectada, cuando la distorsión del entrepiso es de 0.04 radianes

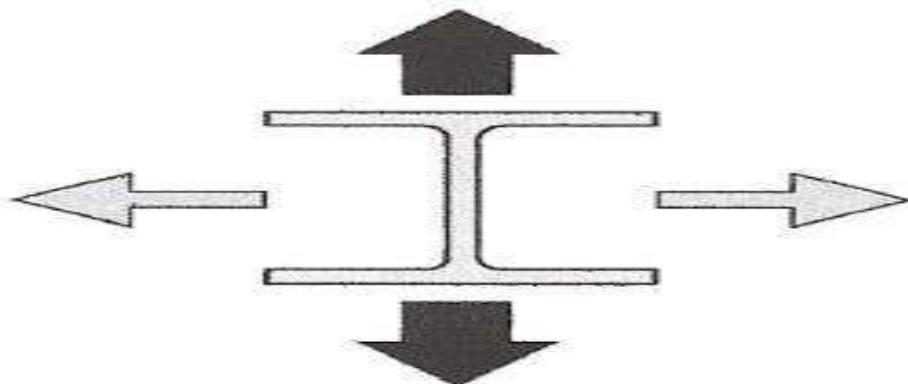
REQUISITOS GENERALES



COLUMNAS

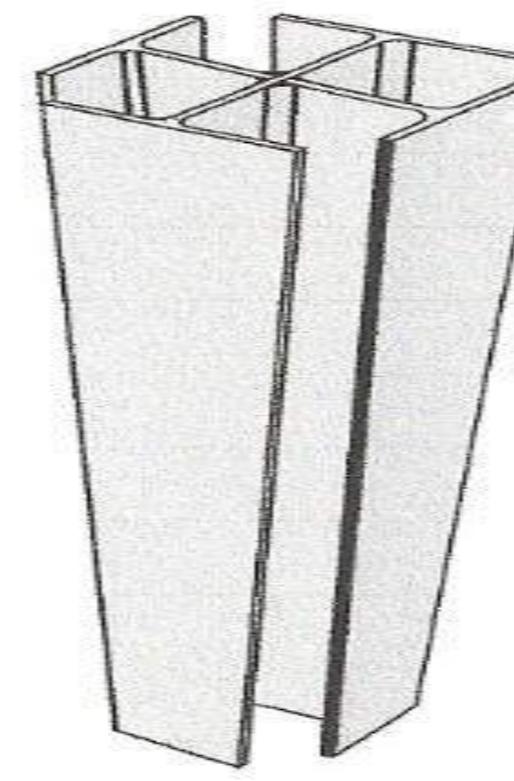


Sección totalmente abierta
Accesibilidad

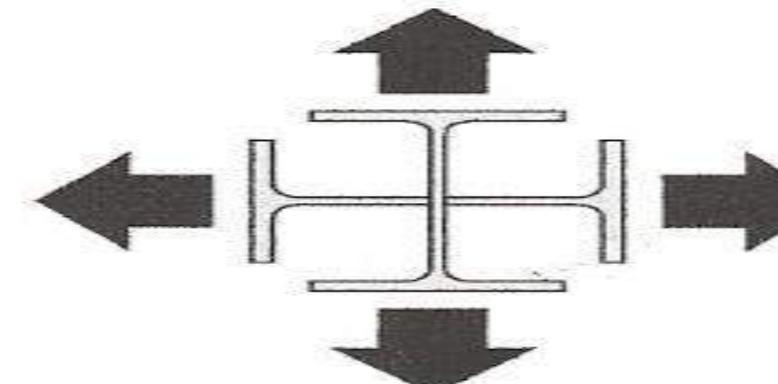


El perfil tiene un eje de menor resistencia

Sección H

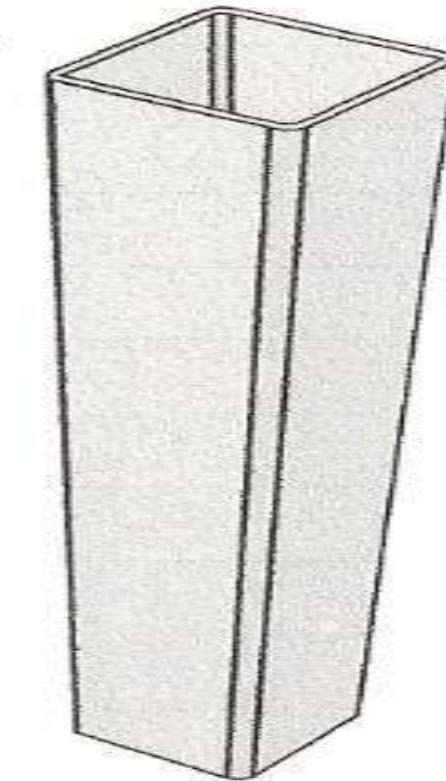


Sección semiabierto
Accesibilidad

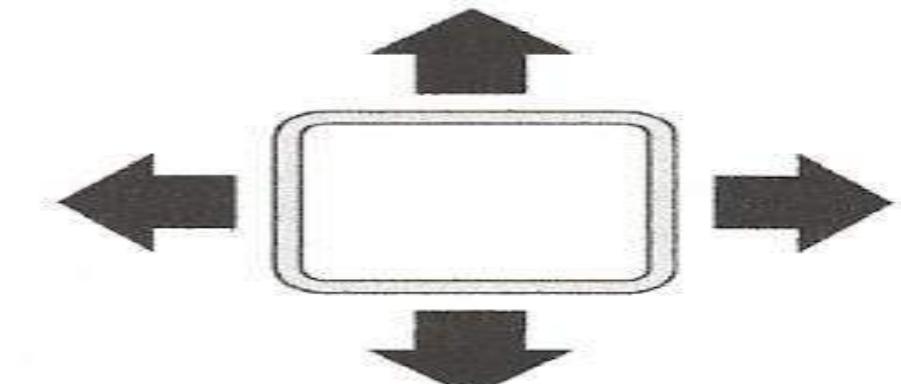


Resistencia similar en los dos ejes principales

Sección uniforme IC

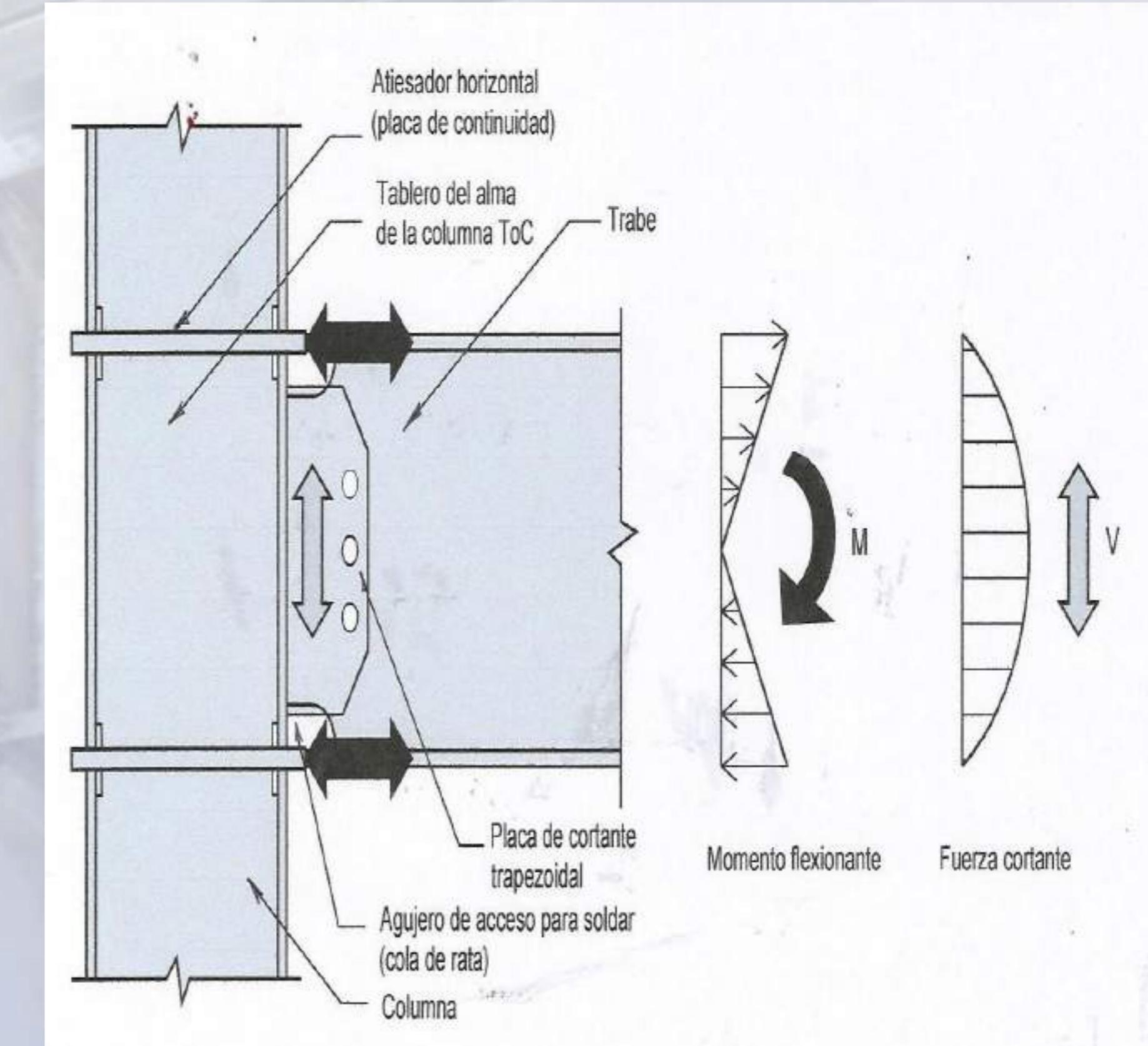
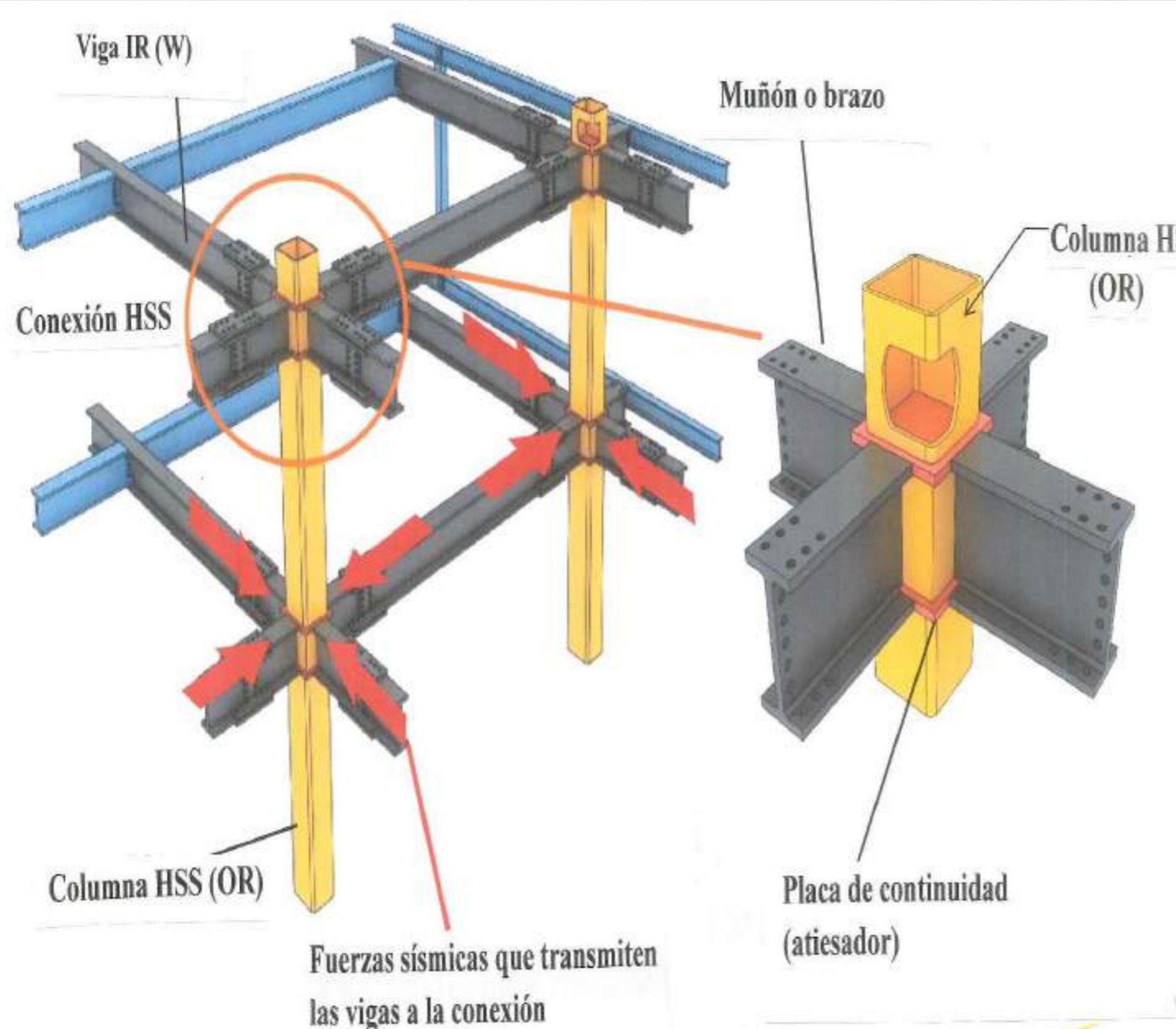


Sección totalmente cerrada
Inaccesible



Misma resistencia en los dos ejes

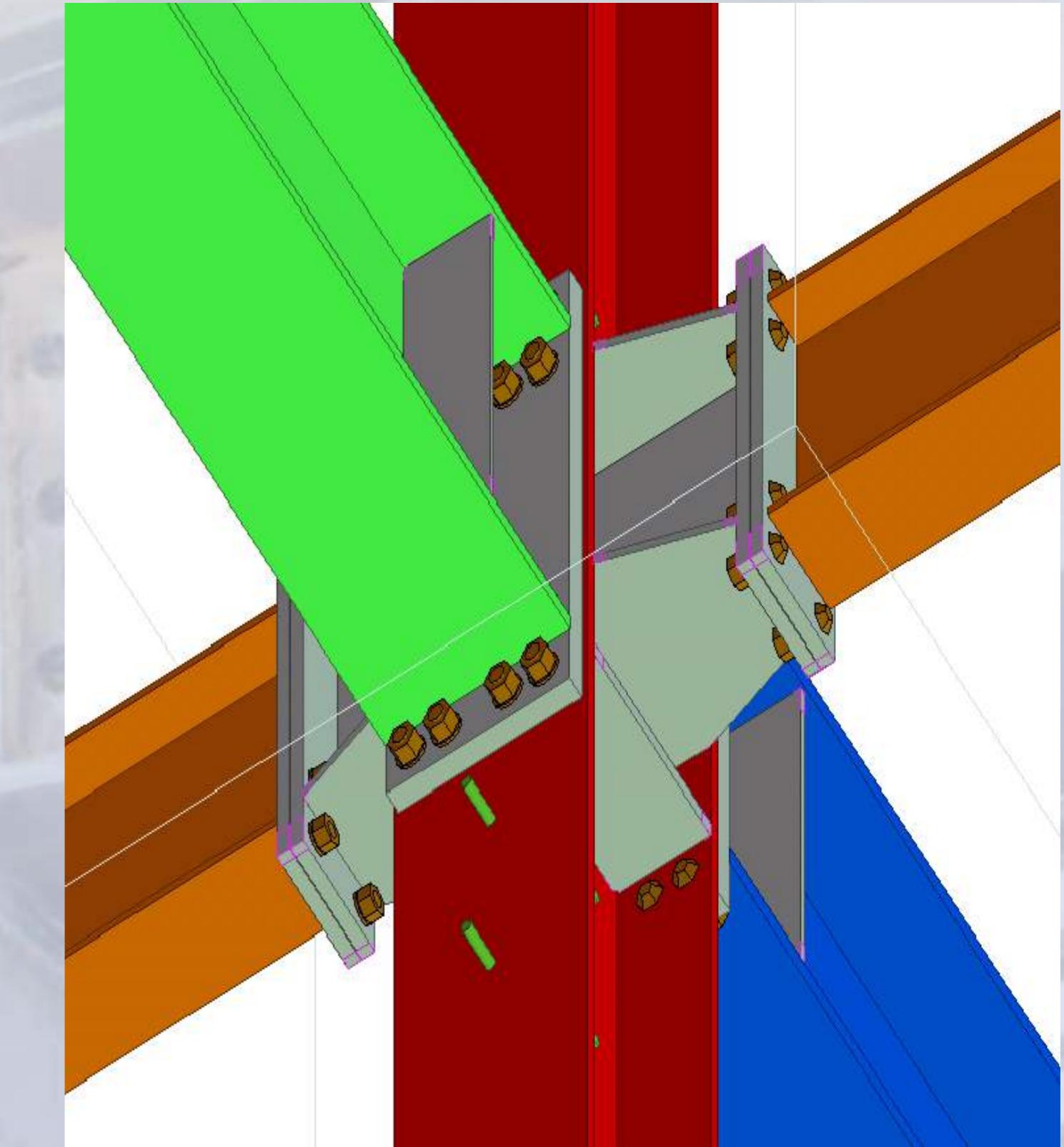
Sección en cajón o laminada HSS u OR

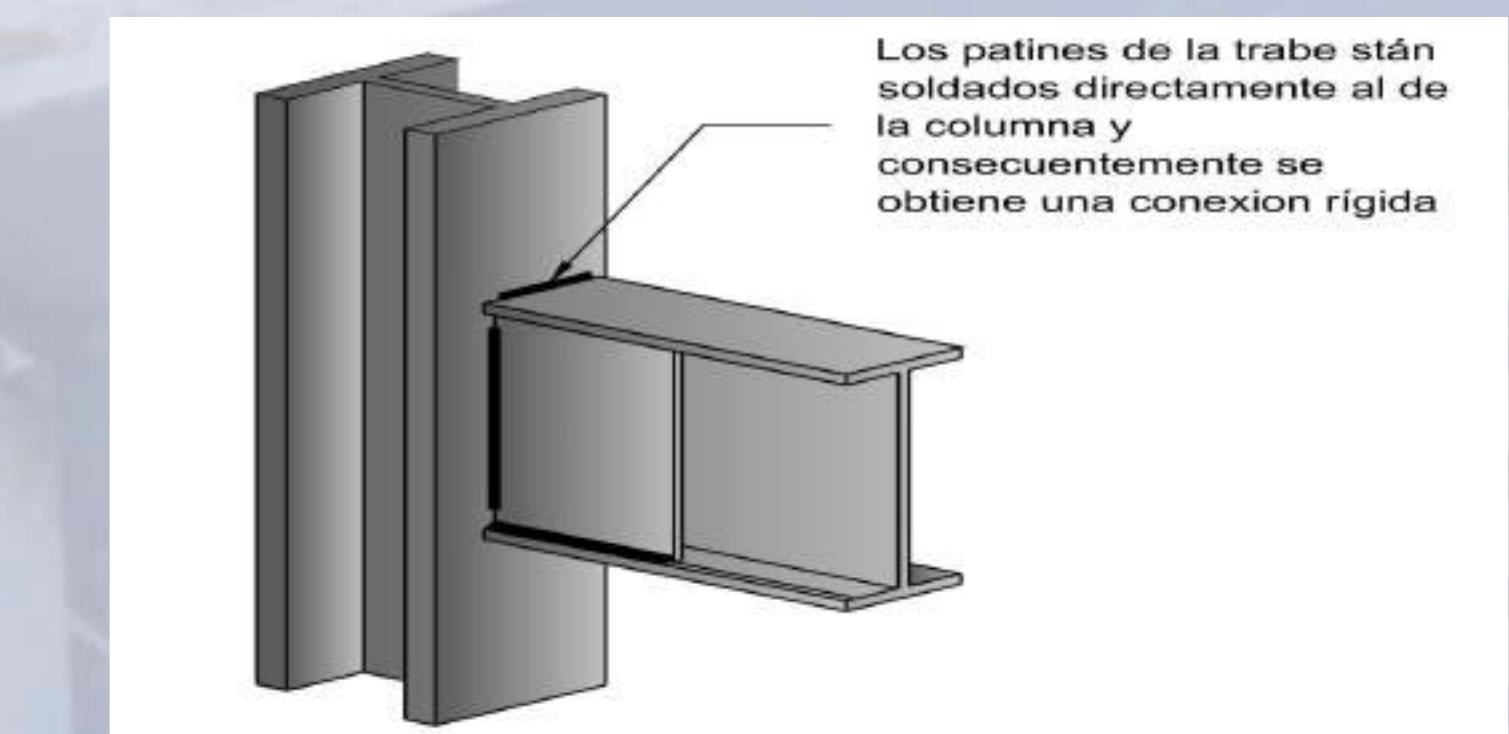
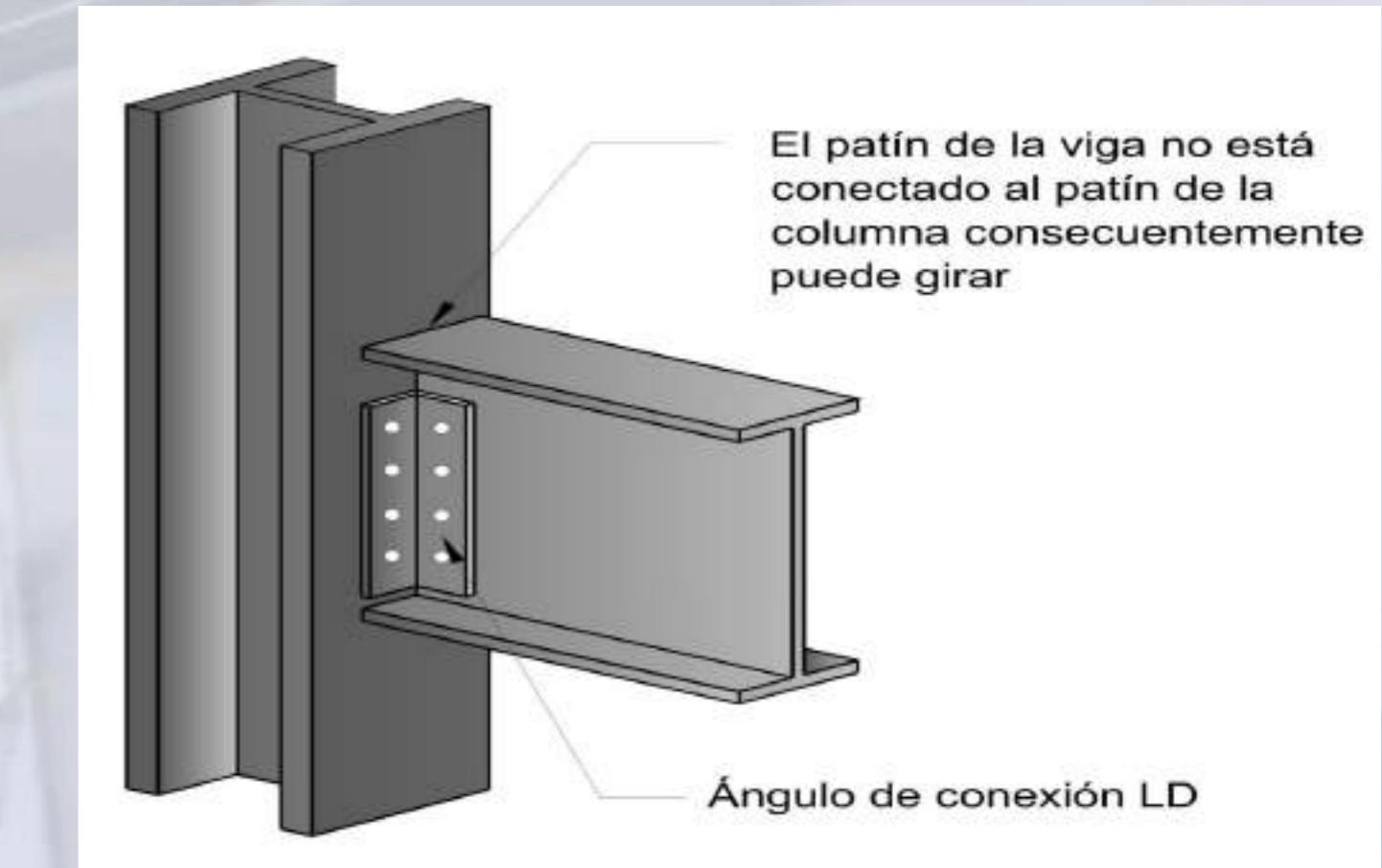




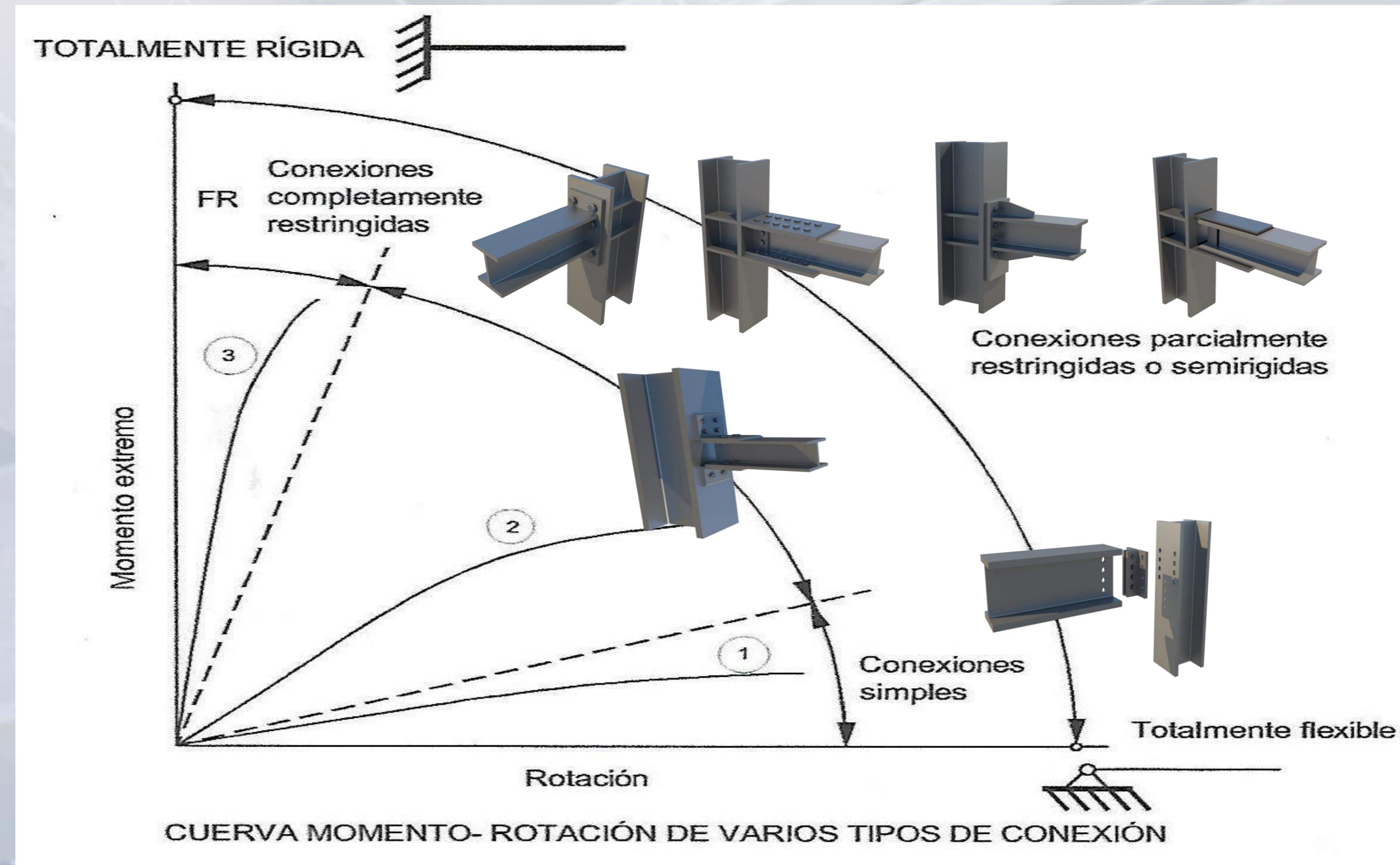
Deben conceptualizarse, modelarse, analizarse, diseñarse, fabricarse y construirse con precauciones especiales, especialmente si la estructura se ubica en zonas de alta sismicidad.



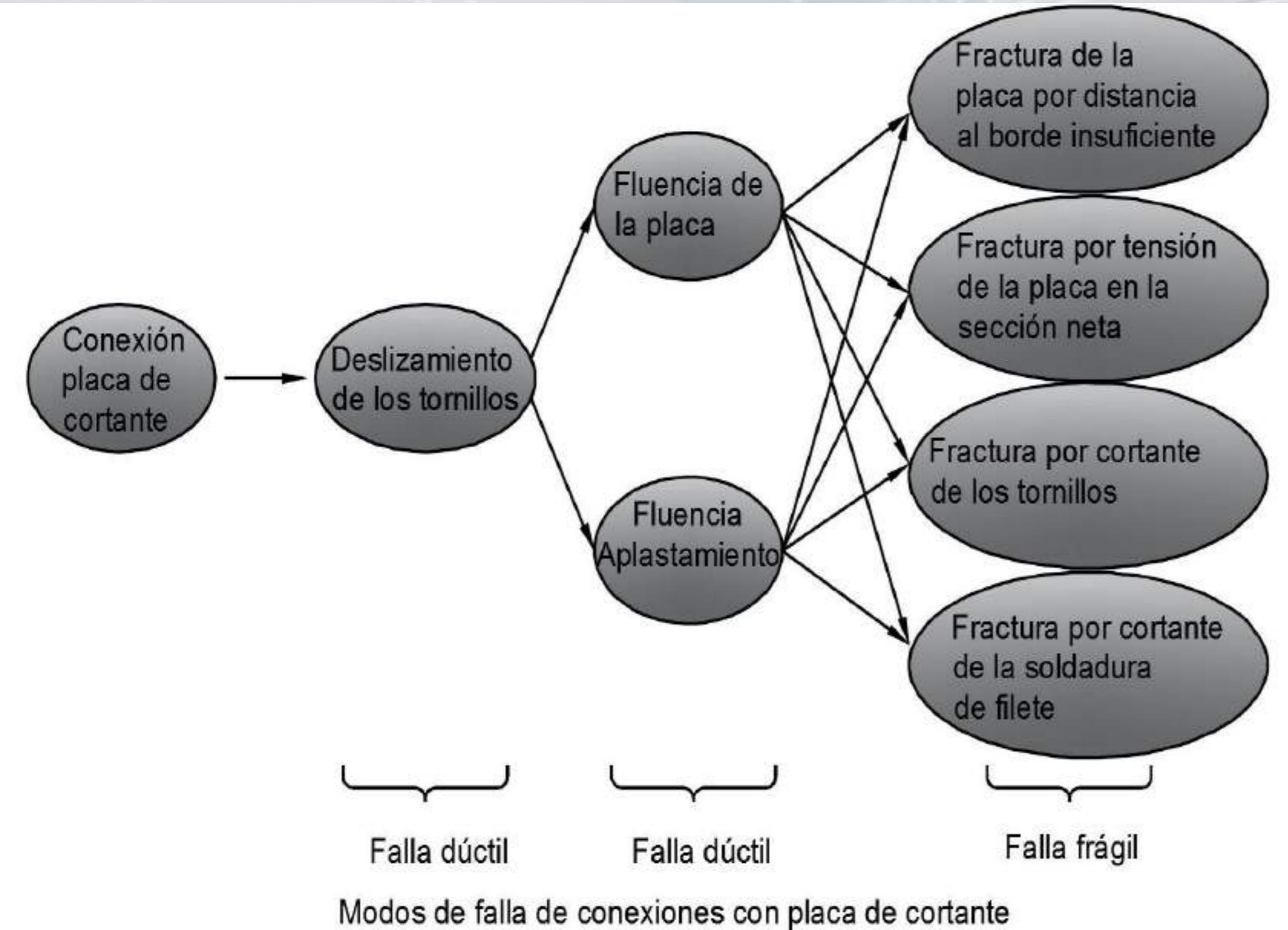




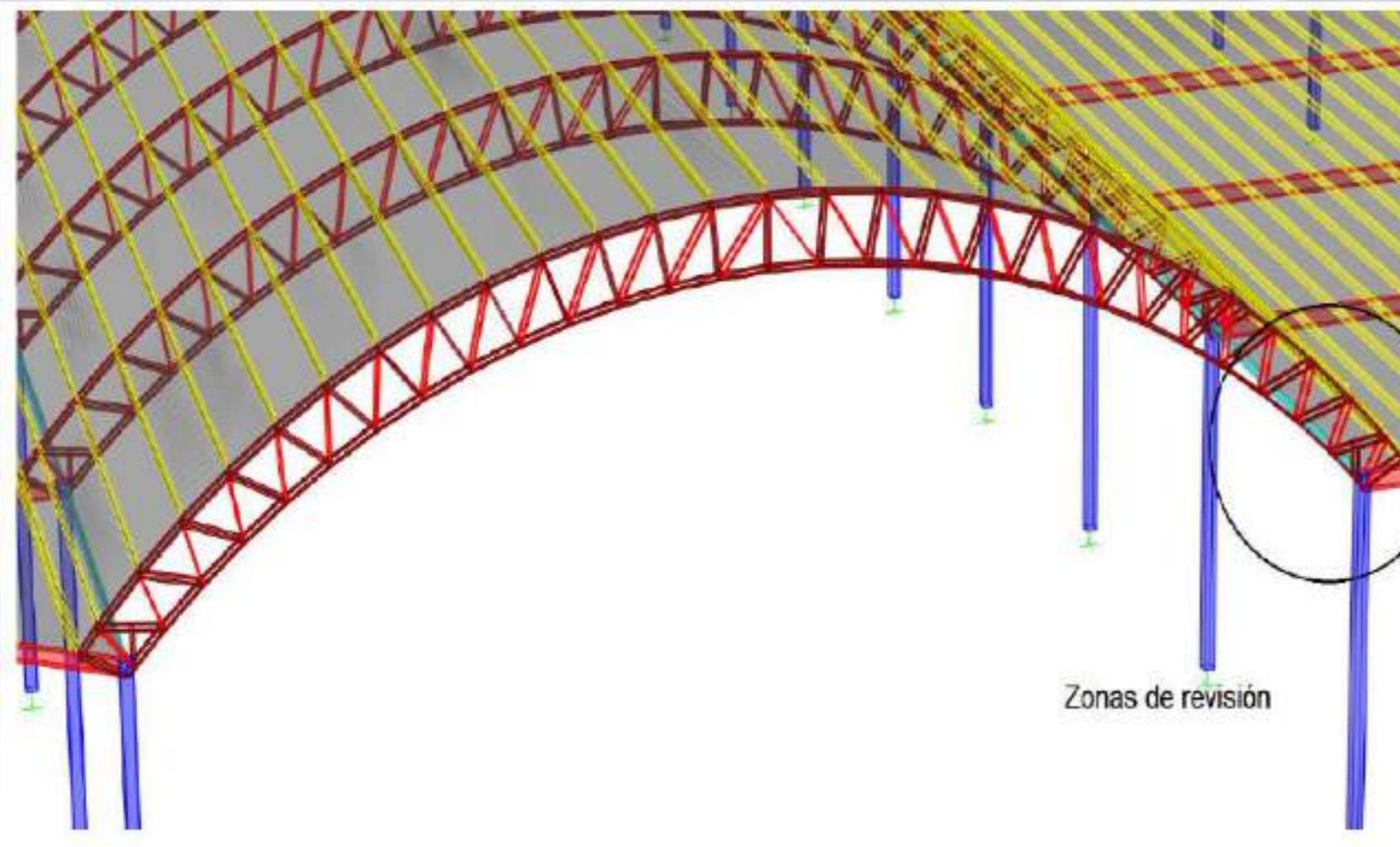
CONEXIONES-TRABE COLUMNA



CONEXIONES TRABE-COLUMNA ESTADOS LIMITE FALLA

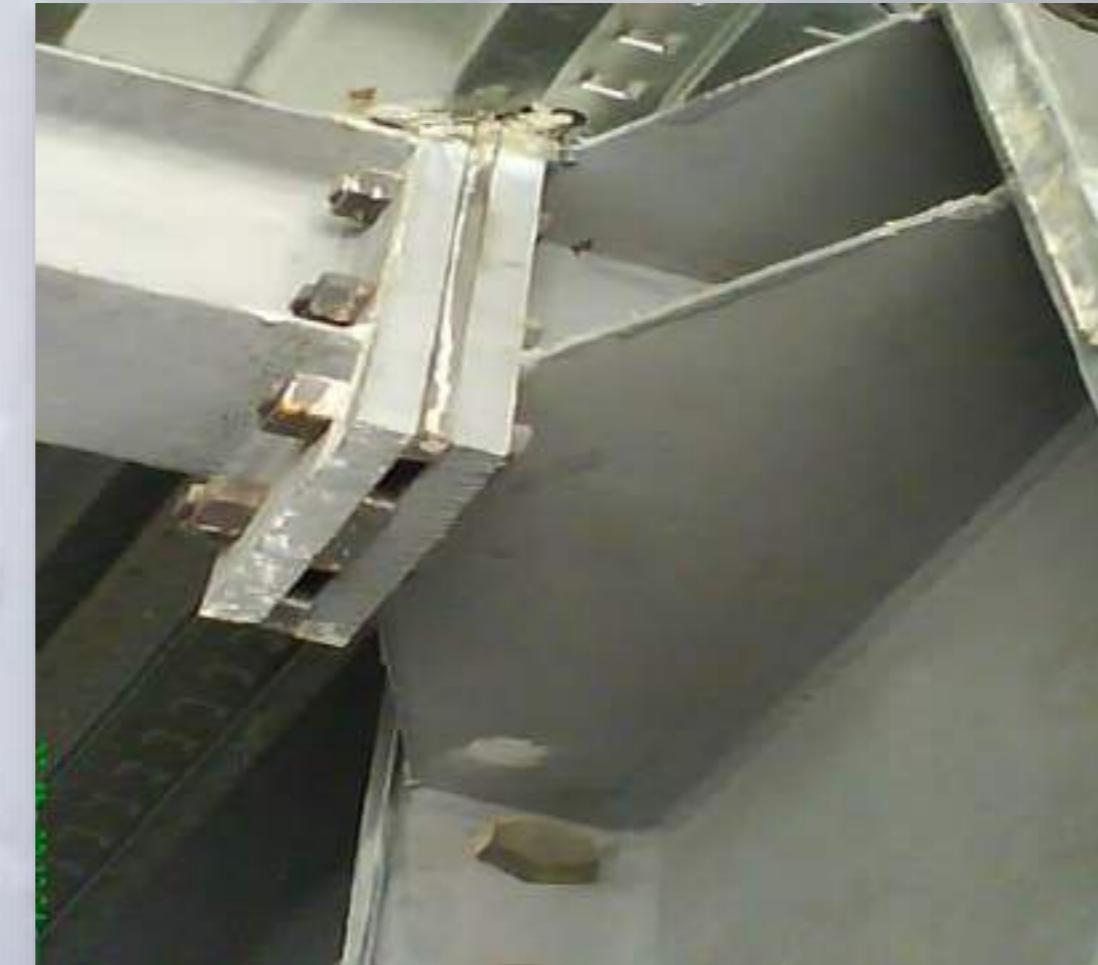


CONEXIONES DEFICIENTES





CONEXIONES DEFICIENTES



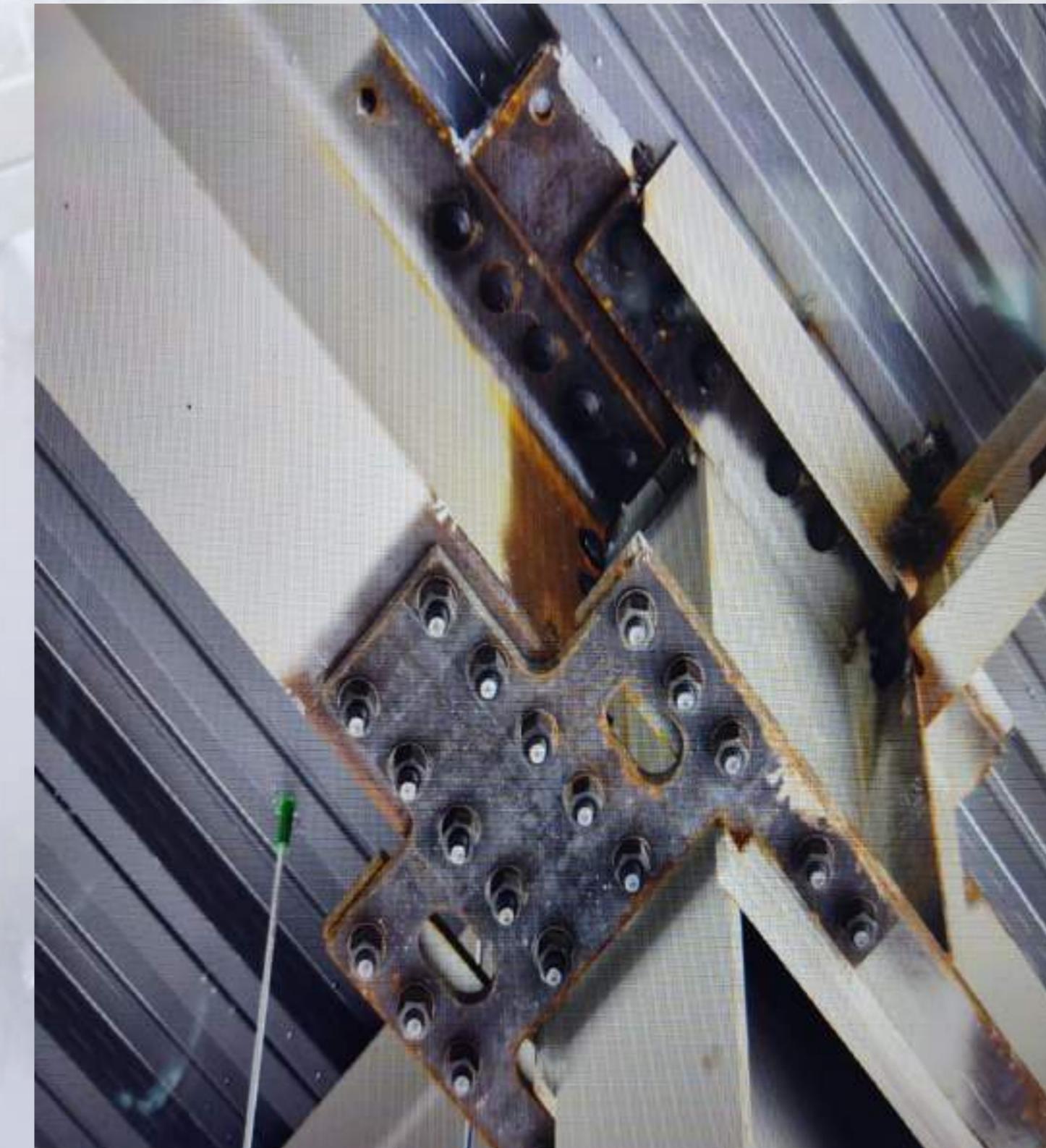
Como se sabe, las conexiones de acero estructural en un edificio de acero dependen de numerosos factores:

1. Tipo de edificio (urbano o industrial)
2. Ubicación (Zona sísmica, de moderada o baja sismicidad)
3. Condiciones del sitio y facilidades
4. Magnitud de las solicitudes (momentos flexionantes, fuerzas cortantes, torsión, etc.)
5. Disponibilidad comercial, tipos, tamaños y forma de los perfiles que se van a unir (secciones abiertas, semi-abiertas o cerradas) y secciones laminadas o hechas con placas soldadas

CONEXIONES



6. Tipo de conexión propuesta (atornillada o soldada): precalificada o No precalificada
7. Clasificación de las conexiones: simples o flexibles (a cortante), a momento (rígidas) o semi-rígidas
8. Criterios y experiencia profesional del ingeniero
9. Infraestructura del taller de fabricación de estructuras metálicas (equipo y calidad de la mano de obra disponible)
10. Constructibilidad (las conexiones deben ser eficientes, seguras, factibles, sencillas, precisas en geometría y razonablemente económicas)
11. Tiempo de ejecución de la obra (conexiones atornilladas versus soldadas)



Considerando que el comportamiento dúctil de un marco rígido de acero asociado a la formación de articulaciones plásticas y la absorción inelástica de energía puede presentarse principalmente en las vigas, ello da lugar a un comportamiento histerético estable de las conexiones trabe-columna.



La fabricación debe llevarse a cabo en talleres de estructuras metálicas, especializados. Debe ser de alta calidad: automatizada, precisa para evitar errores inherentes de la mano de obra humana.



La supervisión de una estructura de acero debe ser oportuna, estricta y permanente en taller y en campo, desde la recepción de la materia prima hasta la entrega de la obra.

El supervisor debe conocer todas las técnicas aplicables a la inspección de soldadura, tanto pruebas no destructivas como destructivas y el manejo de todos los equipos que se utilizan para la realización de éstas: Líquidos penetrantes, Partículas magnéticas, Radiografías, ultrasonido, pruebas de torque, ensayo de tensión, ensayo de doblez, ensayo de impacto, prueba de dureza, etc.

AGRADECIMIENTOS

A los directivos de GERDAU CORSA . DESARROLLO DE MERCADO Y ASISTENCIA

Ing. Carlos Moss Vélez Gerente de Desarrollo de Mercado y Asistencia Técnica

Ing. Rigoberto Torres Villeda

Ing. Alejandra Hernández Hernández

Arq. Alexis Nando

Montserrat Flores Medina

Becaria

Al Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil (CRDIC)

Arq. María Elena Maldonado Porras

L.C.C Héctor Daniel Soto Maldonado

M.I.Q. Gerardo Rafael Soto Maldonado

Evelyn Reyes Chávez

Mayte Calderón Corona

Ana Yuri Vega de la Cruz

Luis Fernando González Moreno

Estrella Torres García

Diana Torres Ornelas

Patricia Peña Vázquez

Irving Neria Ortega

Gerente General

Asesor Externo en Innovación tecnológica

Asesor Externo en Sistemas computacionales





Programa de cursos 2022

Modalidad virtual

BOOTCAMP DE CONSTRUCCIÓN

M.I. Ninas Casa Guzik
Arq. Angélica Peña/Arq. Luis Medina
L.C.C Daniel Soto
Arq. Gabriela Alejandra Sandoval

Sábado 19 de Febrero

ANÁLISIS ESTRUCTURAL ORIENTADO A LA PRÁCTICA PROFESIONAL

**M. en I. Fernando Monroy
Miranda**

21 al 25 de febrero

Curso especial EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR SISMO

**M. en I. Jesús Iglesias Jiménez
Ing. Raúl Granados Granados**

21 al 25 de marzo

DISEÑO SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS

Dr. Ulises Mena Hernández

Abril

SUPERVISIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURA

**Ing. Norberto Madrigal
Velázquez**

14, 21 y 28 de mayo y 4 de junio

DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Dr. Edgar Tapia Hernández

9, 16, 23 y 30 de julio

DISEÑO DE EDIFICIOS CON ELEMENTOS EN SECCIÓN COMPUESA

Dr. Carlos H. Huerta Carpizo

6, 13, 20 y 27 de agosto

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Por confirmar

3, 10, 17 y 24 de septiembre

DISEÑO DE NAVES INDUSTRIALES

**Dr. Alberto López López
Ing. Raúl Granados Granados
Ing. Fernando González Roser**

8, 15, 22 y 29 de octubre

ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS

**Dr. Edgar Tapia Hernández
Por confirmar**

5, 12, 19 y 26 de noviembre

**M.I. Alfredo Espinoza Mézquita
Dr. Isaac Bonola Alonso**

24 y 25 de noviembre y
1, 2, 8 y 9 de diciembre

DISEÑO DE CIMENTACIONES

