

Criterios de Estructuración de Edificios

Héctor Soto Rodríguez
Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil
Morelia, Mich. México
Febrero de 2006

Revisión, elaboración del guión y locución a cargo del Dpto. de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile con coordinación del Ing. Ricardo Herrera

1. Introducción
2. Sistemas estructurales
3. Criterios de estructuración
4. Condiciones de regularidad
5. Problemas de comportamiento
6. Estructuración de edificios

7. Diseño con perfiles de acero

8. Estructuración

1. Columnas

2. Vigas o trabes

3. Vigas Secundarias

4. Sistemas de piso

5. Conexiones

6. Detalles estructurales típicos

Establecer recomendaciones generales para lograr una estructuración eficiente en edificios de acero, especialmente en zonas de alto riesgo sísmico.

1. Introducción

Etapa inicial del diseño estructural, mediante la cual se definen, con base en el proyecto arquitectónico, las dimensiones generales de una estructura, tanto en planta como en elevación (claros, alturas de entrepiso, etc.), y los tipos de perfiles utilizados en trabes y columnas para formar la estructura básica de la construcción

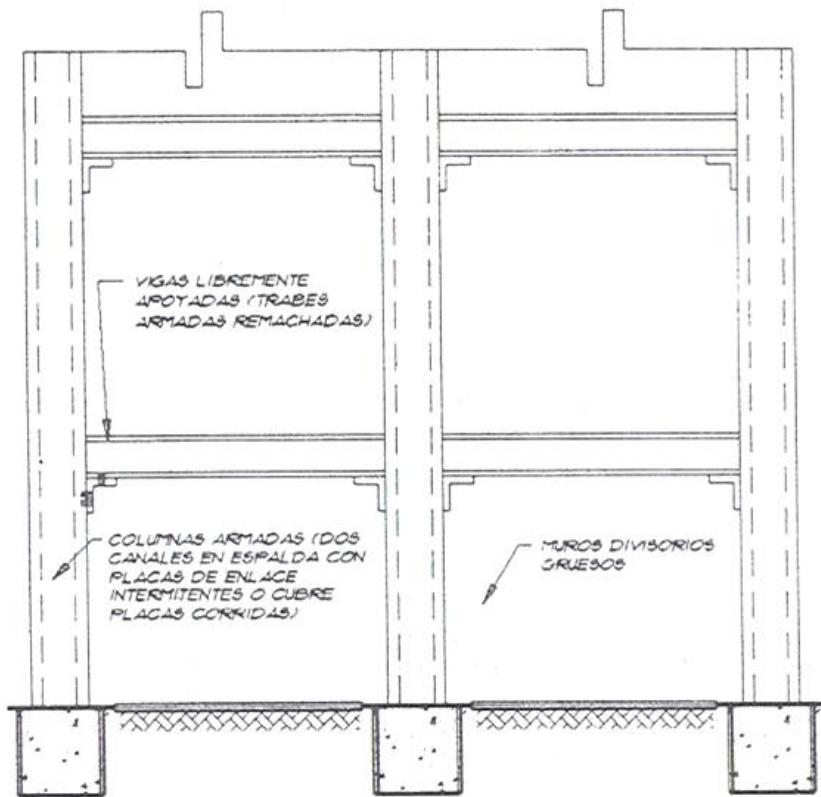
1. Introducción

Una edificación debe cumplir exigencias de:

1. ESTABILIDAD
2. RESISTENCIA
3. RIGIDEZ
4. FUNCIONALIDAD
5. ECONOMÍA
6. CONSTRUCTABILIDAD
7. FORMA
8. SIMBOLO
9. MEDIO SOCIAL-ORGANIZATIVO

2. Sistemas estructurales

- Marcos rígidos
- Marcos con contraventeos concéntricos
- Marcos con contraventeos excéntricos
- Marcos rígidos con muros de cortante, o
- Combinación de los sistemas anteriores



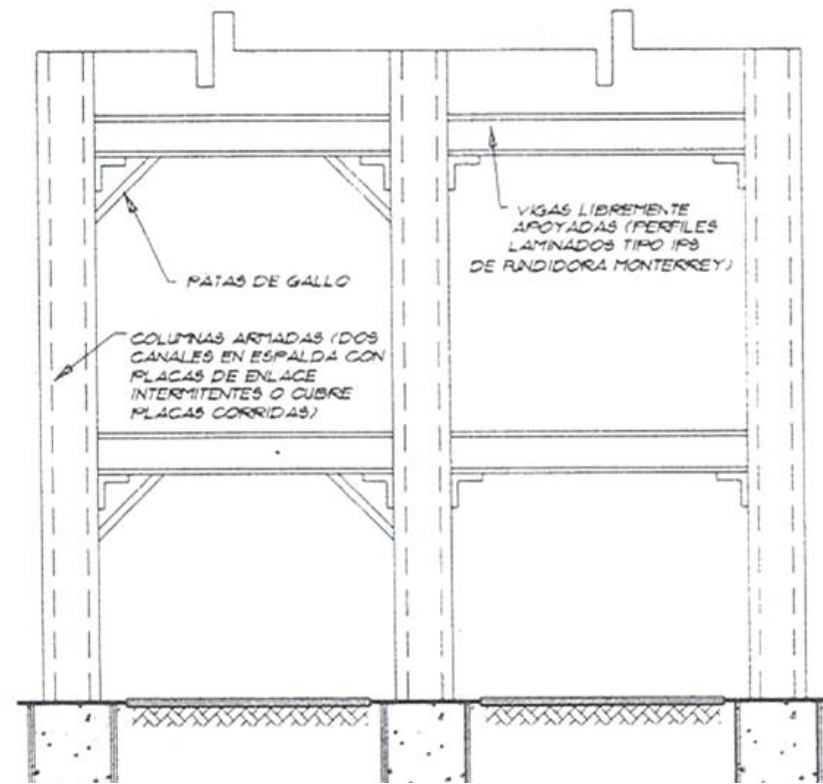
A-1

Construcción Remachada

Estructuración simple

(Finales del siglo XIX y principios del XX)

Acero básico ASTM A7



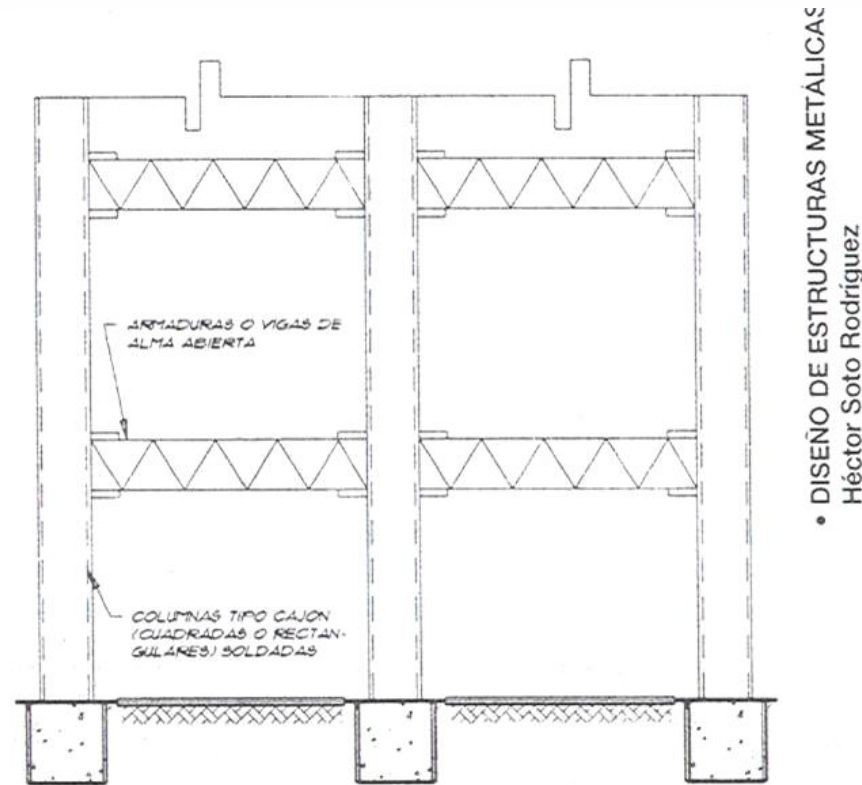
A-2

Construcción Remachada

Estructuración simple o patas de gallo

(edificio típico de la década de los cuarenta)

Acero básico ASTM A7

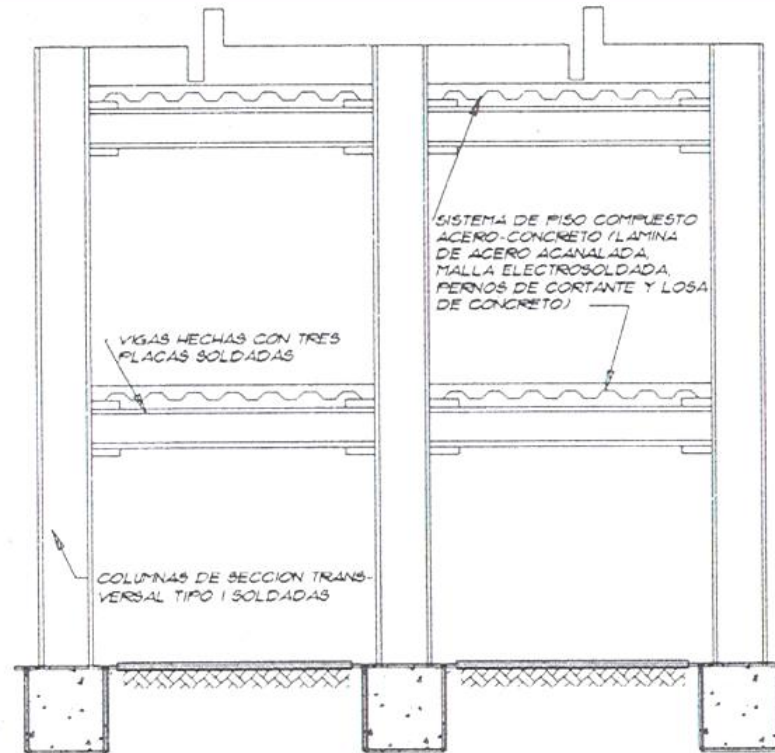


A- 3

Construcción Soldada

Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones
(edificio típico de mediados de la década de los cincuenta hasta fines de los sesenta)

Acero básico ASTM A36



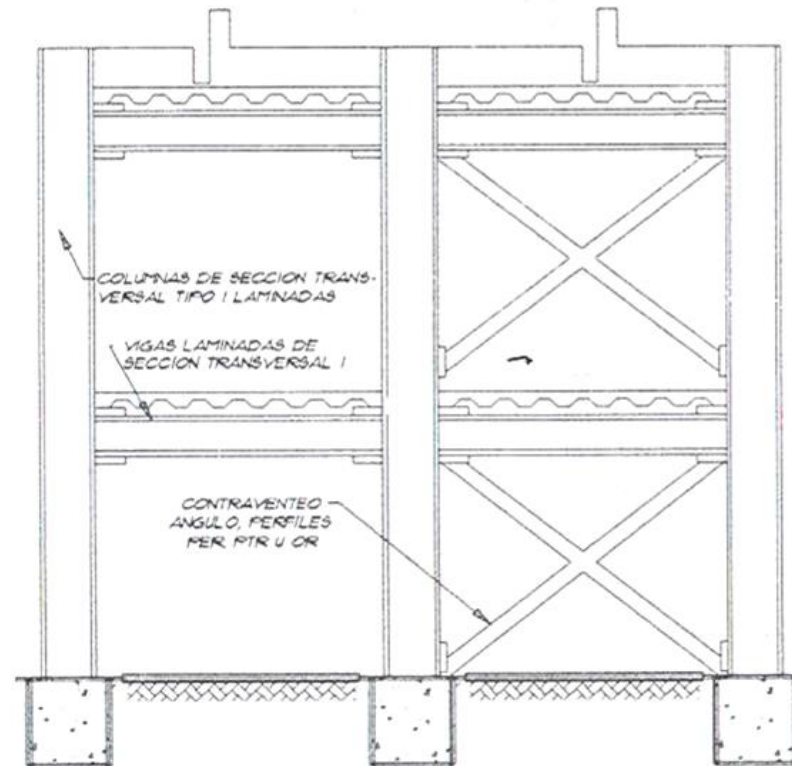
A- 4

Construcción Soldada

Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones

(edificio típico de principios de la década de los ochenta hasta principios de los noventa)

Acero básico ASTM A36



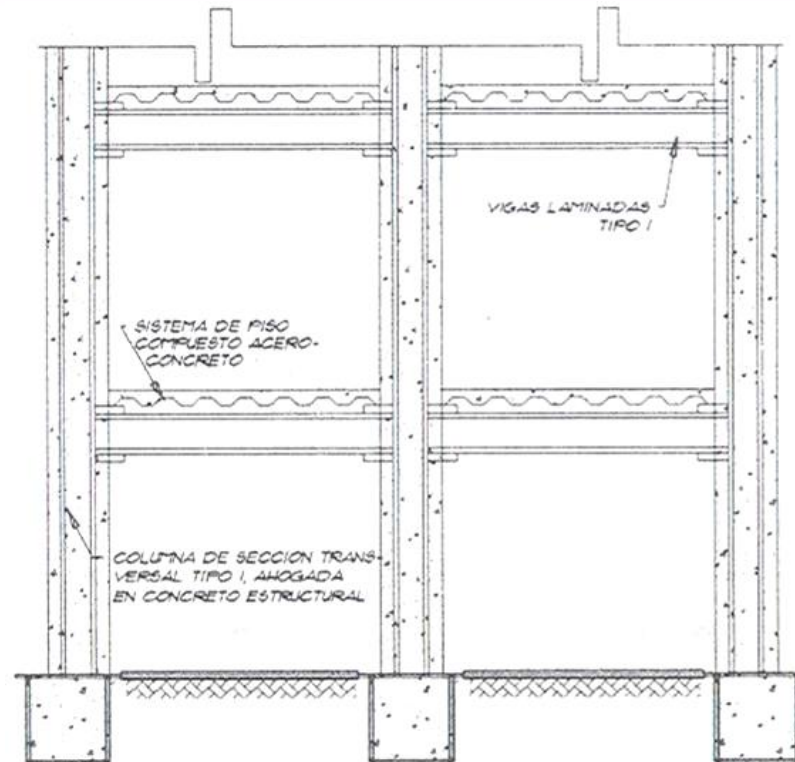
A- 5

Construcción Soldada o Atornillada

Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones

(edificio típico de la época actual con o sin diagonales de contraventeo concéntricos)

Acero básico ASTM A36



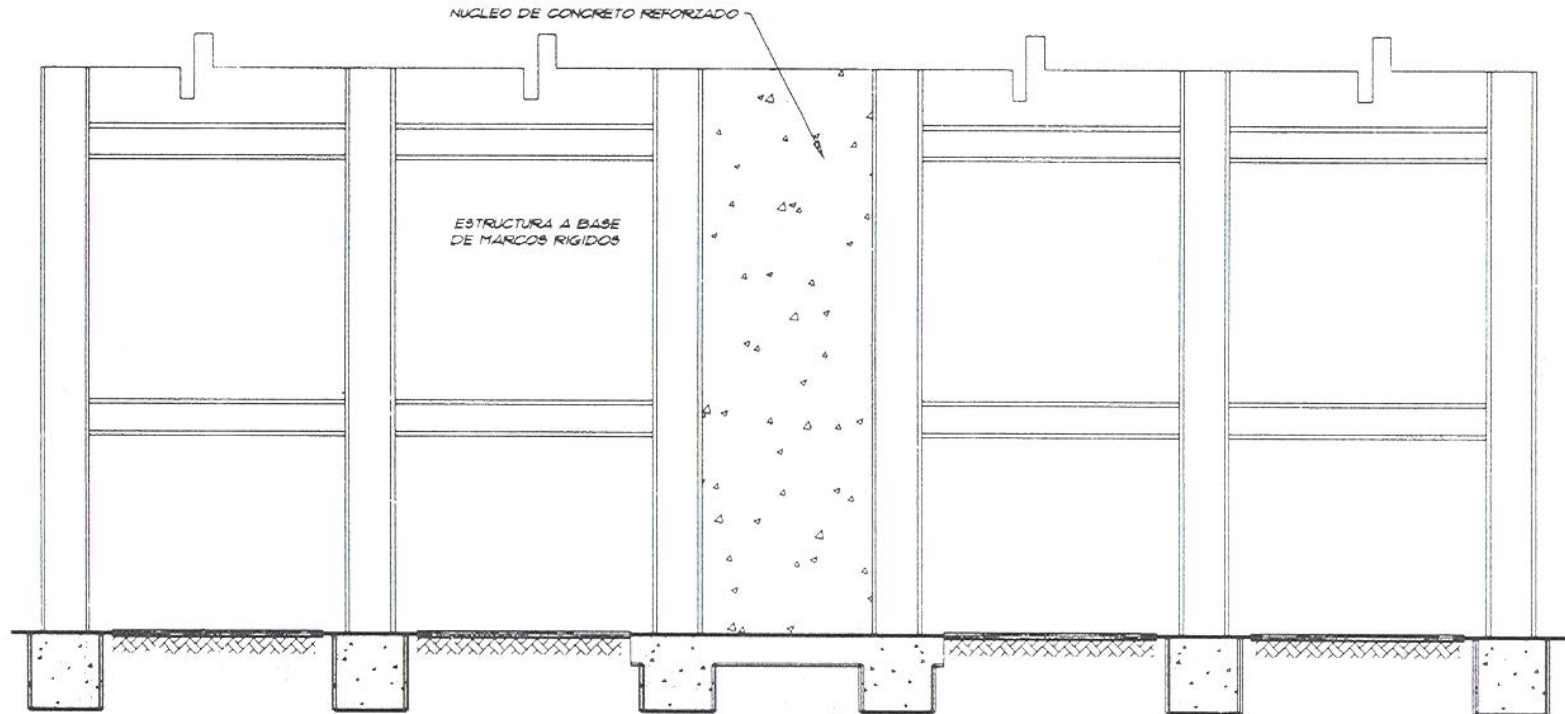
A- 6

Construcción Compuesta

Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones

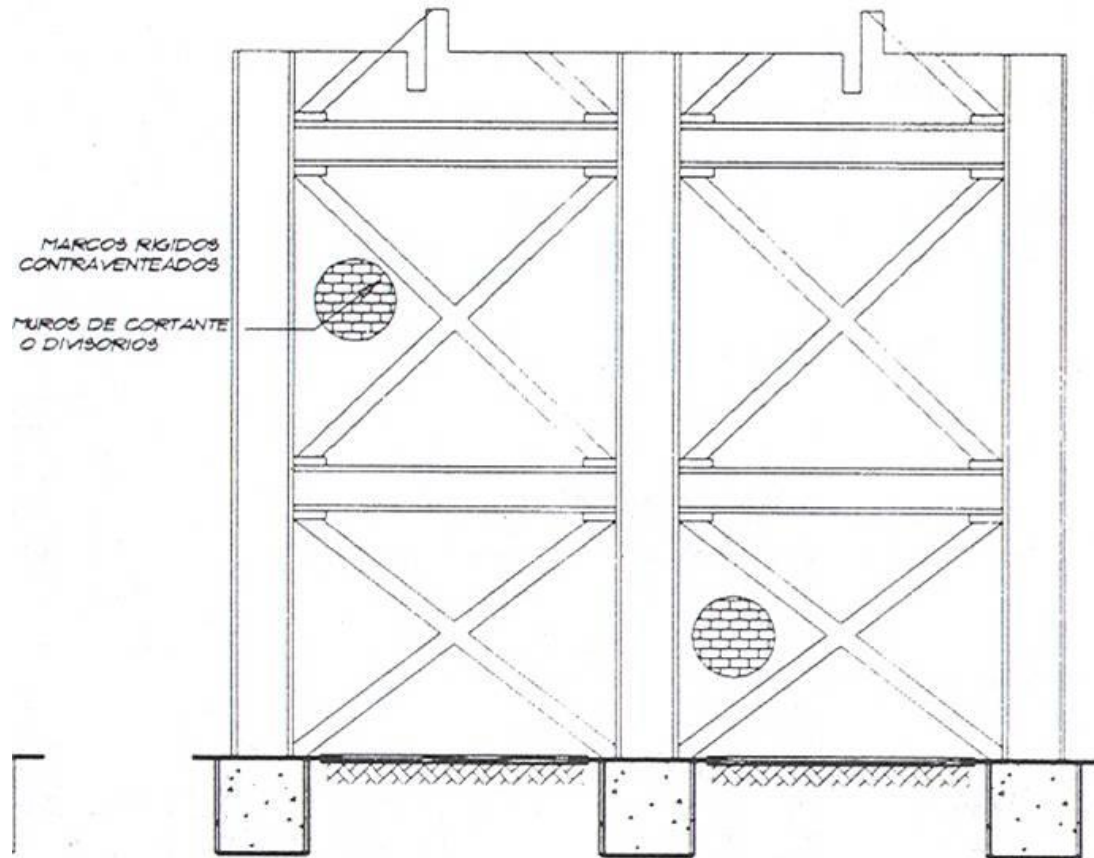
(edificio típico de principios de la época reciente)

Acero básico ASTM A36 y acero de alta resistencia



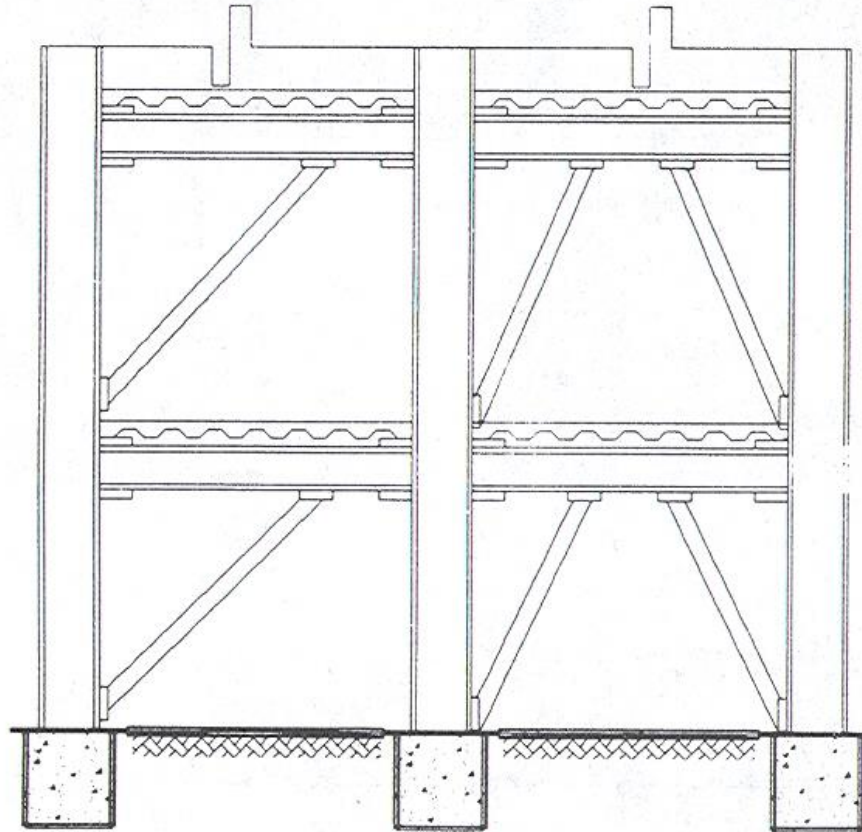
A-7

Combinación de Sistemas Estructurales



A-8

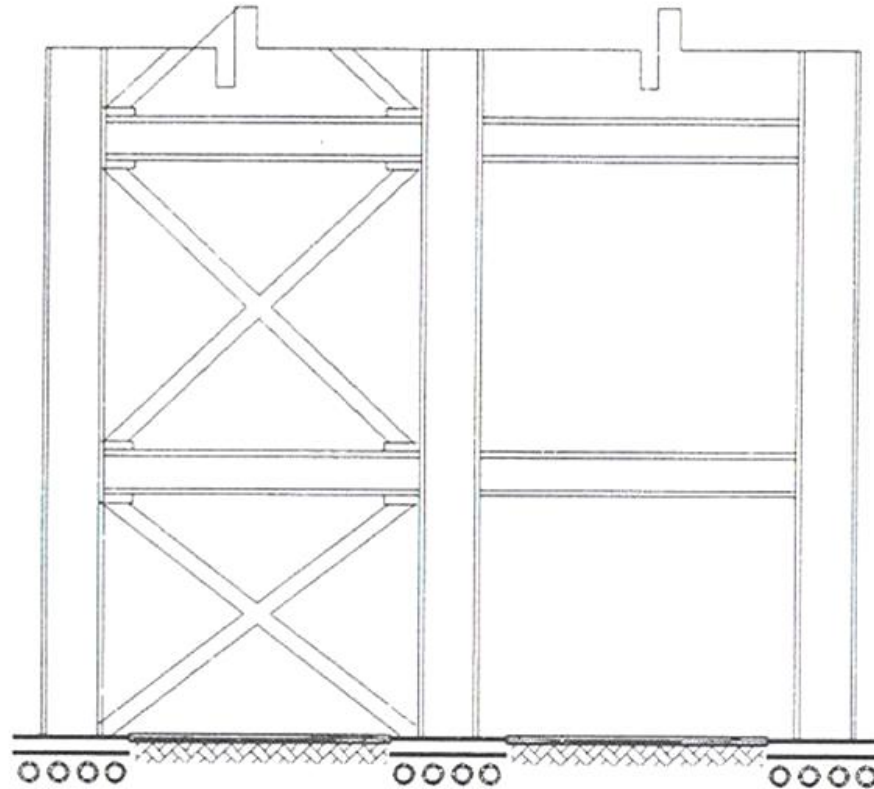
Combinación de Sistemas Estructurales



A- 9

Construcción Hacia el 2000

**Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones, contraventeos excéntricos
Acero básico ASTM A36 y acero de alta resistencia**



A- 10

Construcción Después del 2000

Estructura a base de marcos rígidos en dos direcciones, con aisladores de base o disipadores de energía y aceros de alta resistencia.

SELECCIÓN DEL MATERIAL DE ACUERDO CON LA ALTURA DE UNA EDIFICACIÓN

BAJA	MEDIA	ALTA
Acero y mampostería	Concreto reforzado	Acero
Concreto reforzado	Acero	Concreto de alta resistencia
Concreto presforzado	Concreto prefabricado	Estructura mixta de acero y concreto
Concreto prefabricado	Concreto presforzado	Concreto postensado
	Mampostería	

NOTAS:

Altura baja: entre 1 y 5 niveles

Altura media: entre 5 y 20 niveles

Edificio alto: más de 20 niveles

- Estructura debe ser económica, confiable y responder a las condiciones que sirvieron de base para su análisis y diseño.
- Sistema estructural elegido debe ser congruente con el tipo de suelo y zona sísmica.

- La estructura debe ser capaz de adaptarse a cambios arquitectónicos o funcionales, los que son inevitables durante el desarrollo del proyecto.



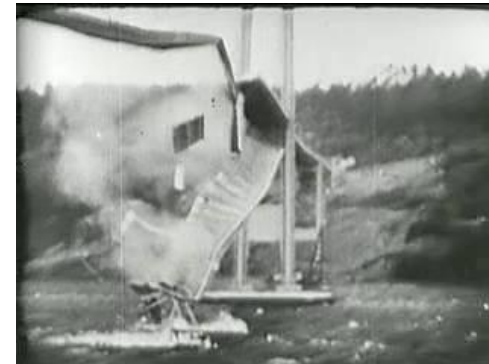
- Precauciones especiales:
 - estructuras ubicadas en zonas de alta sismicidad
 - suelos de baja capacidad de carga
 - zonas de vientos fuertes (costas)
 - zonas propensas a la corrosión
 - sitios donde se tengan incertidumbres con relación a las acciones.

- Tomar en cuenta consideraciones de resistencia y de deformación.

- Millennium Bridge, Londres



- Tacoma Narrows Bridge, Tacoma



- Las condiciones de regularidad son requisitos geométricos y estructurales que deben cumplir las edificaciones, independientemente del material con que estén construidas.

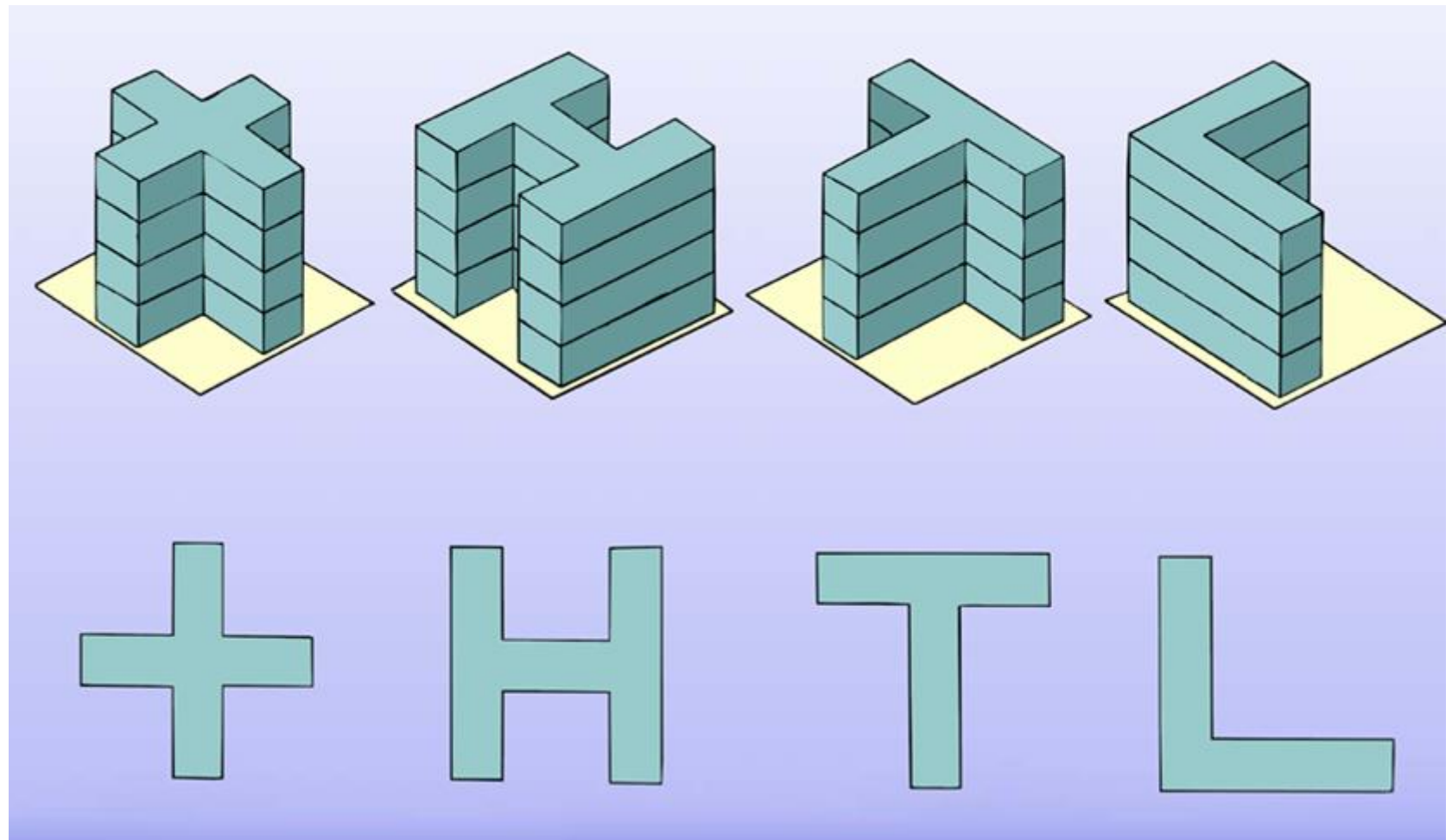
- Daños se concentran en estructuras irregulares, esbeltas y con cambios bruscos en rigidez y/o resistencia.

- Es deseable que la estructura cumpla los requisitos de regularidad estipulados en las normas antisísmicas
- Planta y elevaciones regulares. Evitar:
 - Pisos débiles
 - Cambios bruscos de rigidez
 - Cambios bruscos de simetría en elementos rígidos tanto en planta y elevación
 - Grandes entrantes y salientes

Causas de problemas de comportamiento:

- Configuración en planta
- Asimetría en planta
- Configuración en altura
- Discontinuidad de elementos verticales
- Concentraciones de masa en pisos
- Interacción entre elementos estructurales y no estructurales
- Inadecuada distancia entre edificaciones adyacentes

5. Problemas de comportamiento CONFIGURACION EN PLANTA

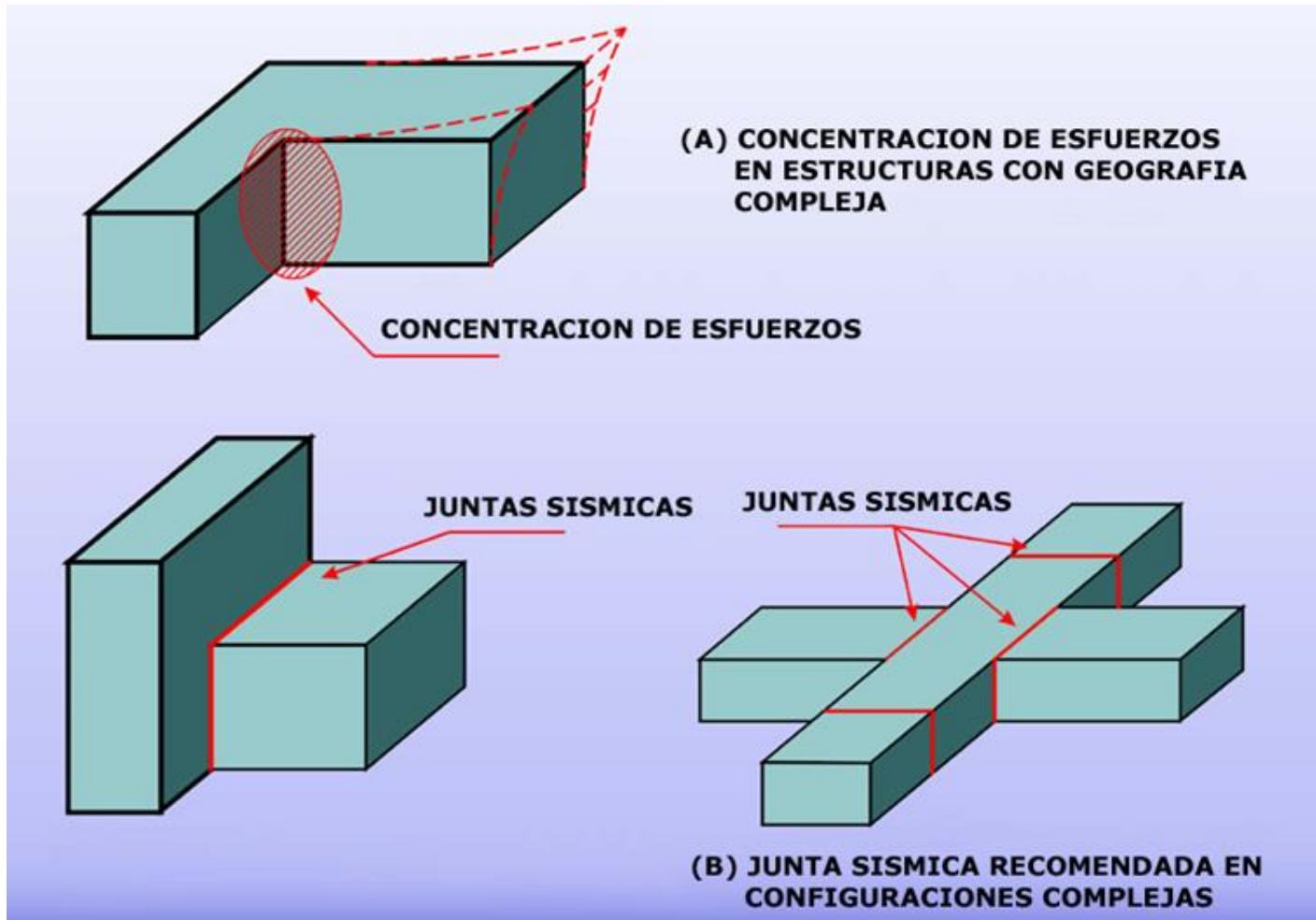


Irregularidad en planta

5. Problemas de comportamiento CONFIGURACION EN PLANTA



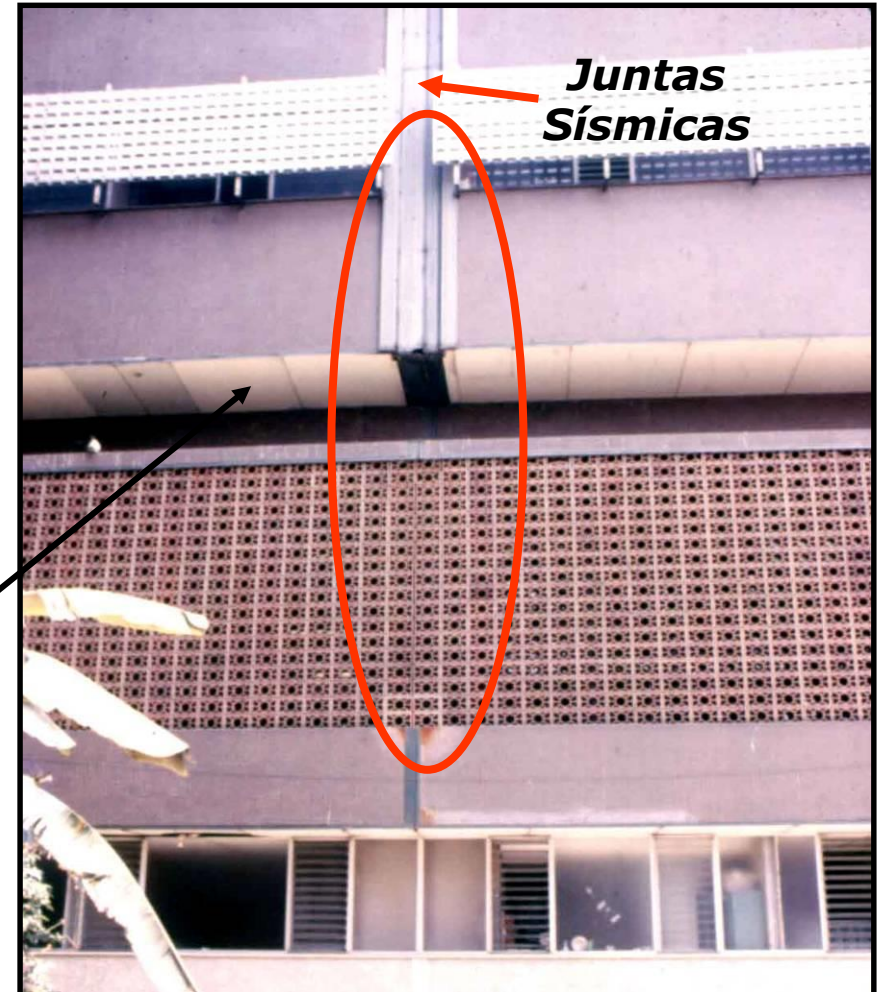
Planta irregular

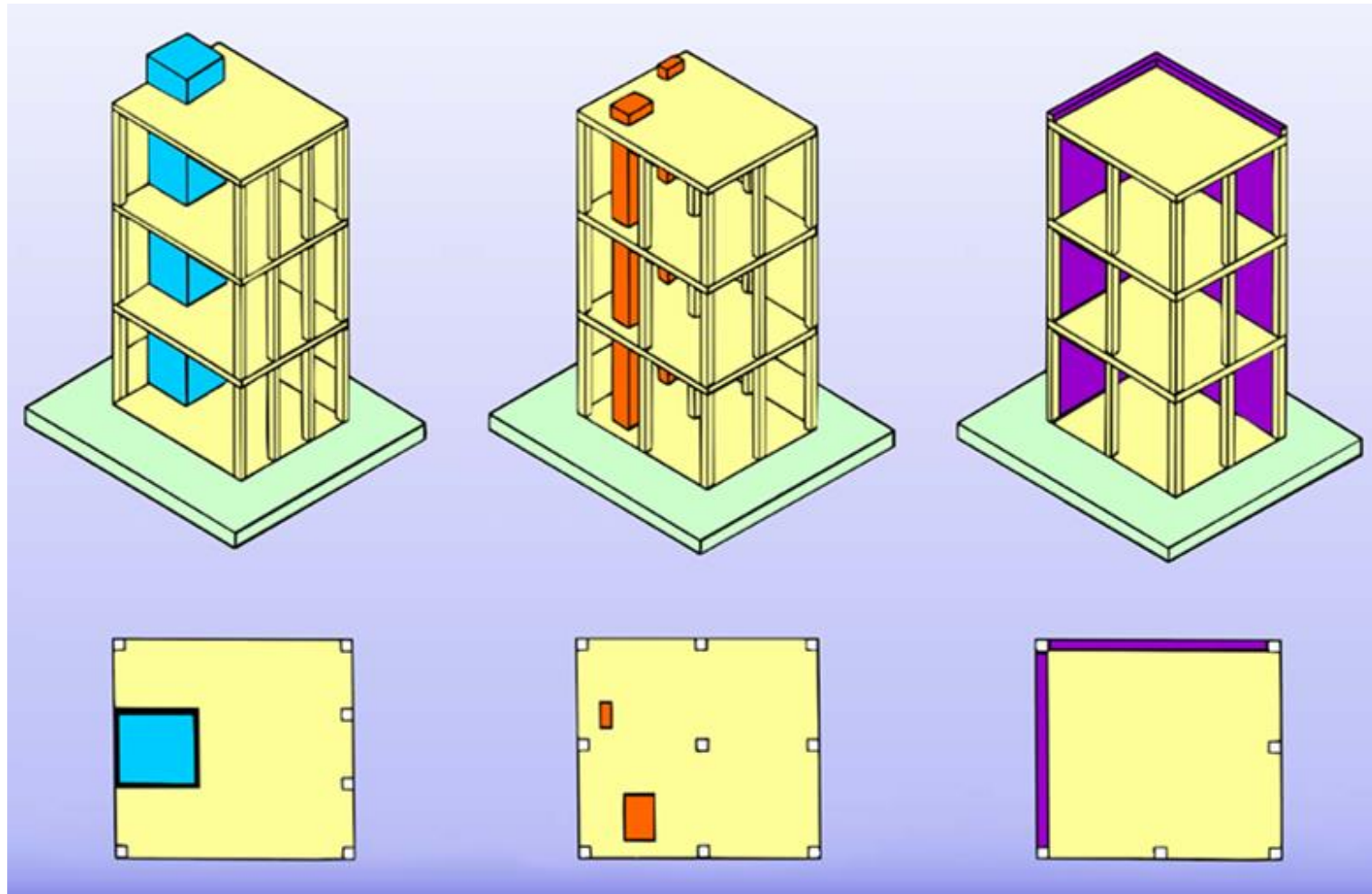


Uso de juntas sísmicas para diseños estructurales con configuración de planta compleja

- El uso adecuado de juntas de dilatación sísmica, permite concebir edificaciones con configuraciones en planta complejas.

Los elementos arquitectónicos deben respetar las juntas sísmicas





**Asimetría, debido
a disposición de elementos resistentes**

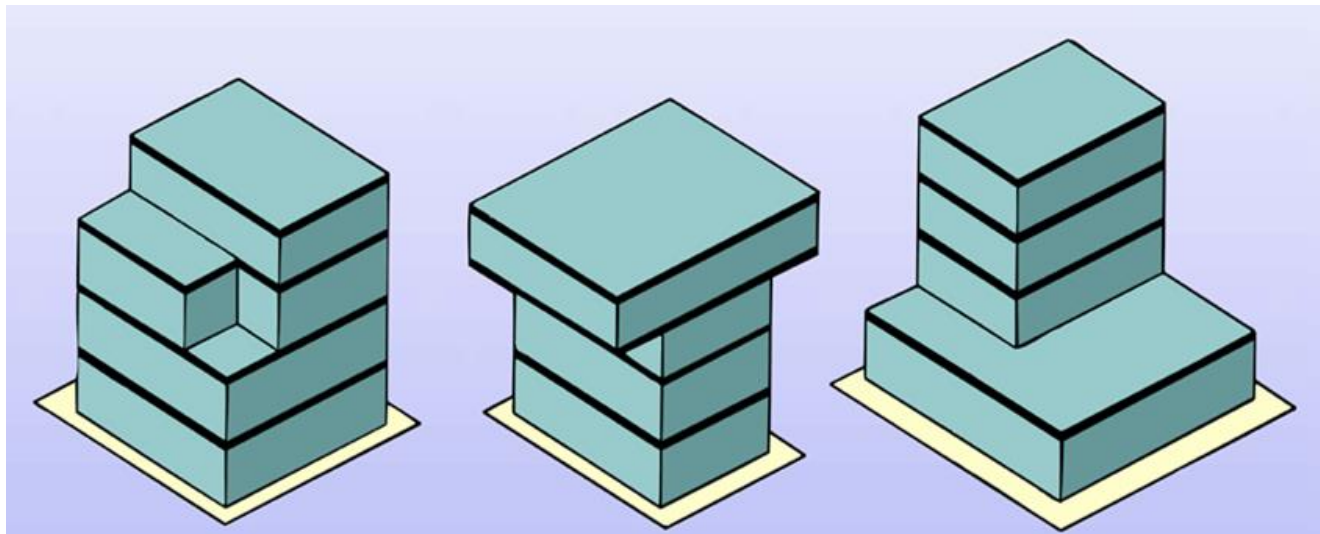
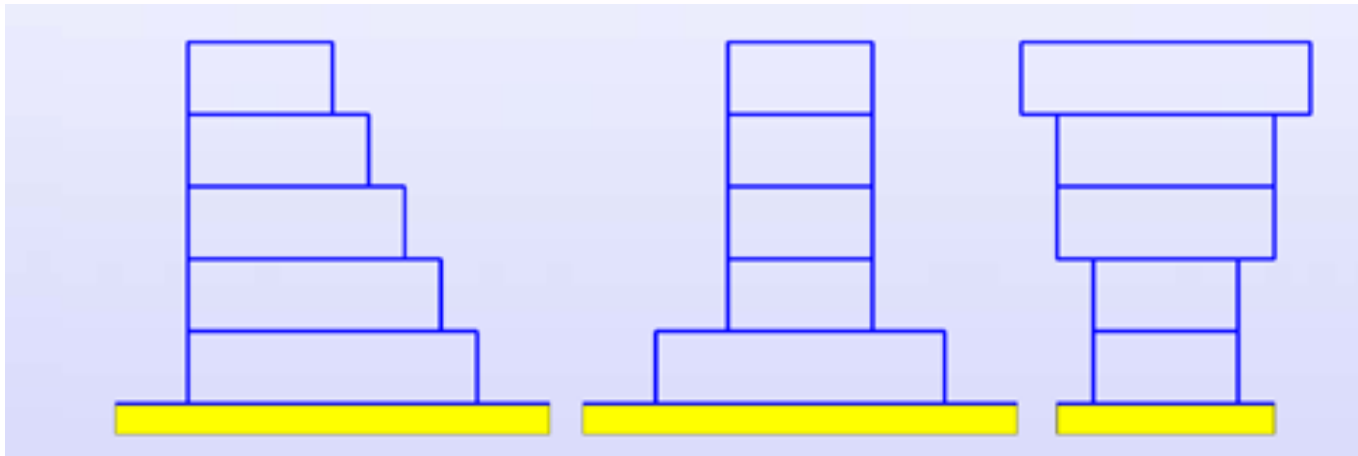
5. Problemas de comportamiento

EFECTO DE EXCENTRICIDAD



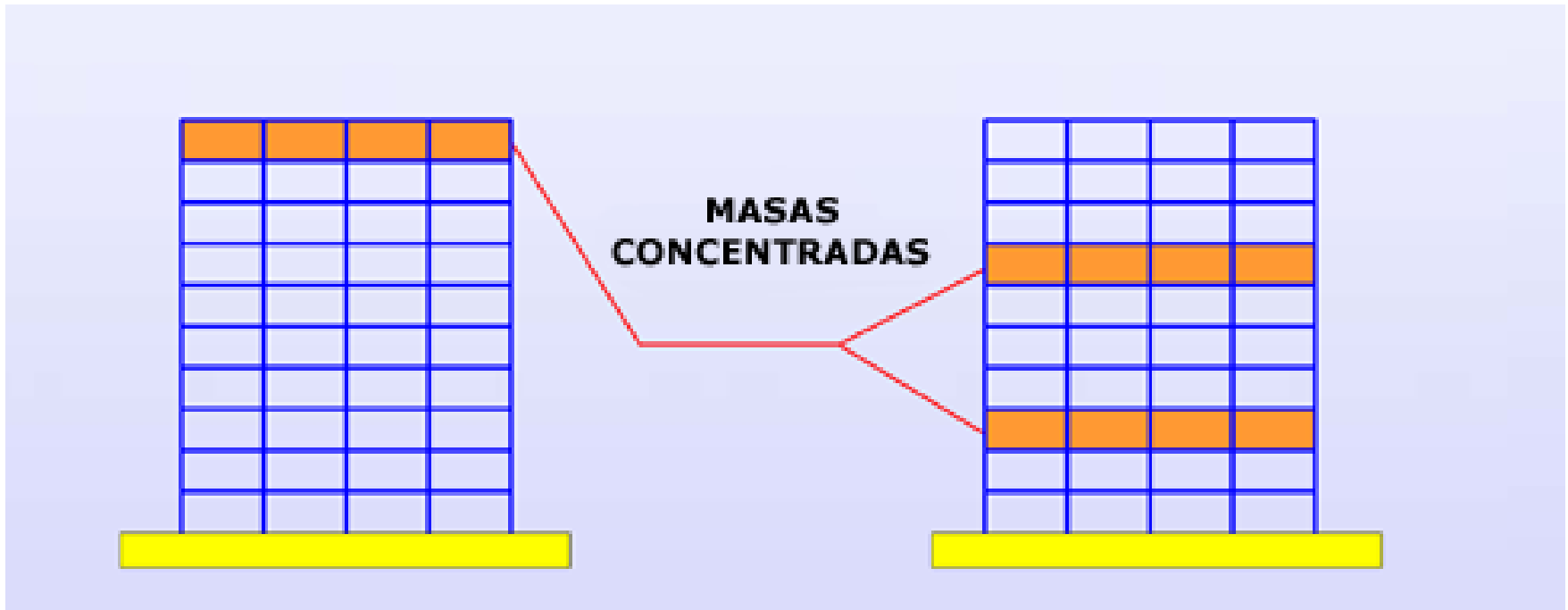
Cuando existe excentricidad, los daños se presentan en los elementos de los extremos

5. Problemas de comportamiento IRREGULARIDAD EN ELEVACION



**Irregularidad en altura:
Cambio abrupto en la geometría**

5. Problemas de comportamiento ^{CONCENTRACION} DE MASAS

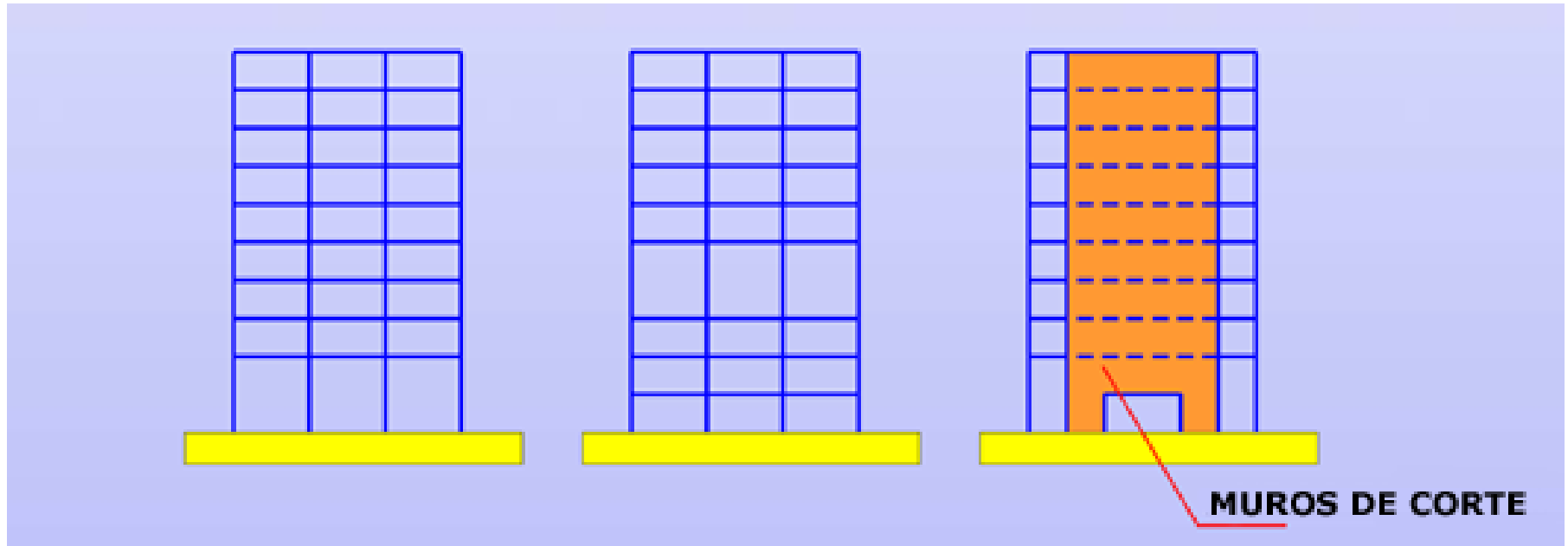


**Irregularidad en altura:
Cambio abrupto en la masa.**

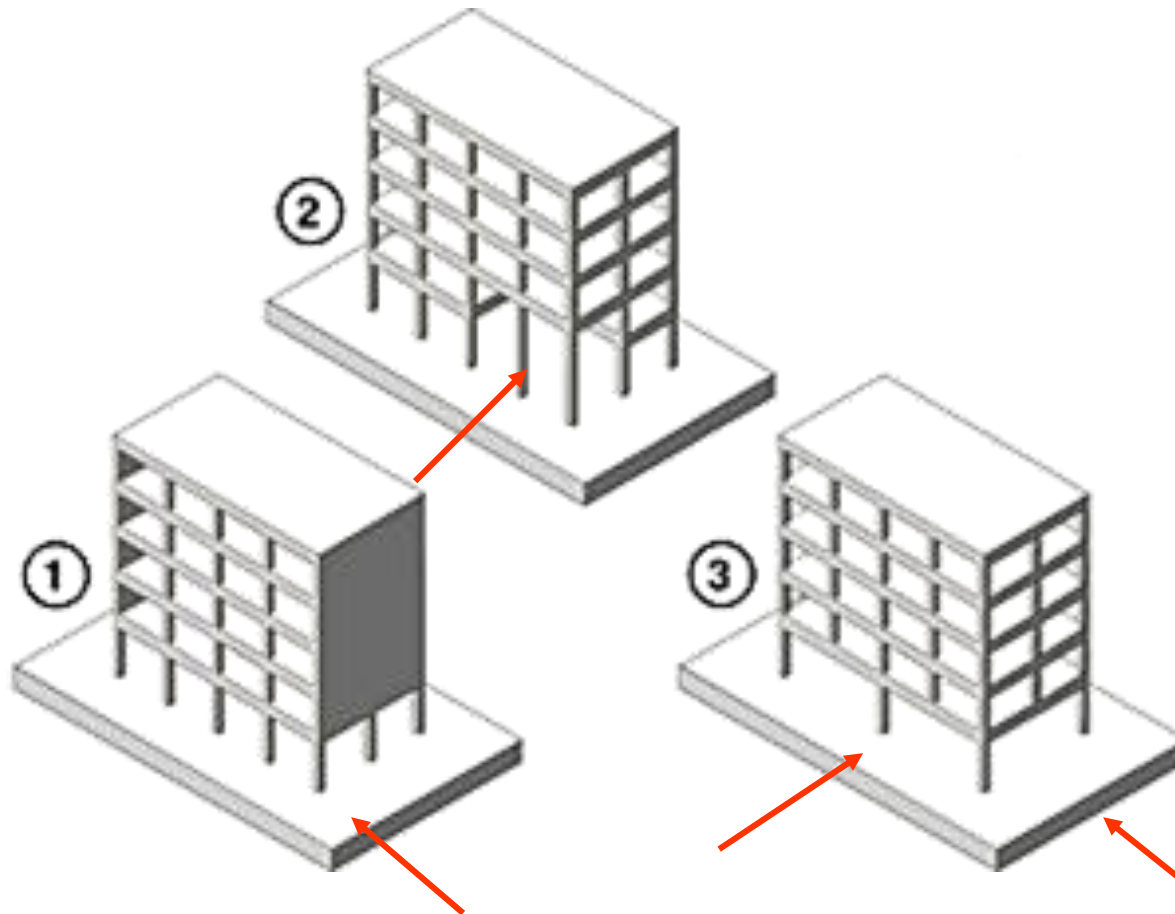
5. Problemas de comportamiento ^{CONCENTRACION} DE MASAS



Concentraciones de masa en altura aumentan la vulnerabilidad de las estructuras frente a sismos



**Irregularidad en altura:
Cambio abrupto en la rigidez.**



Discontinuidad en elementos y flujo de fuerzas



Antes

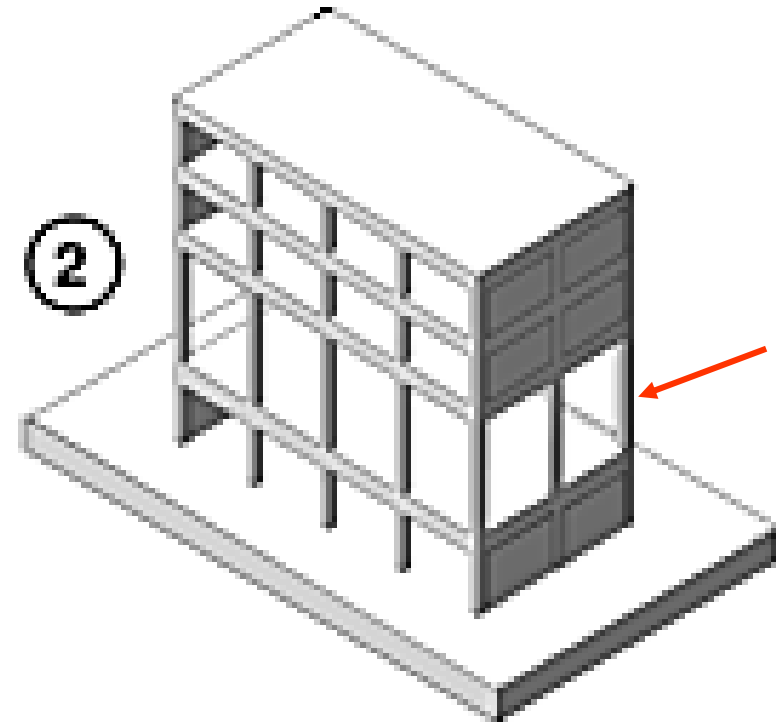
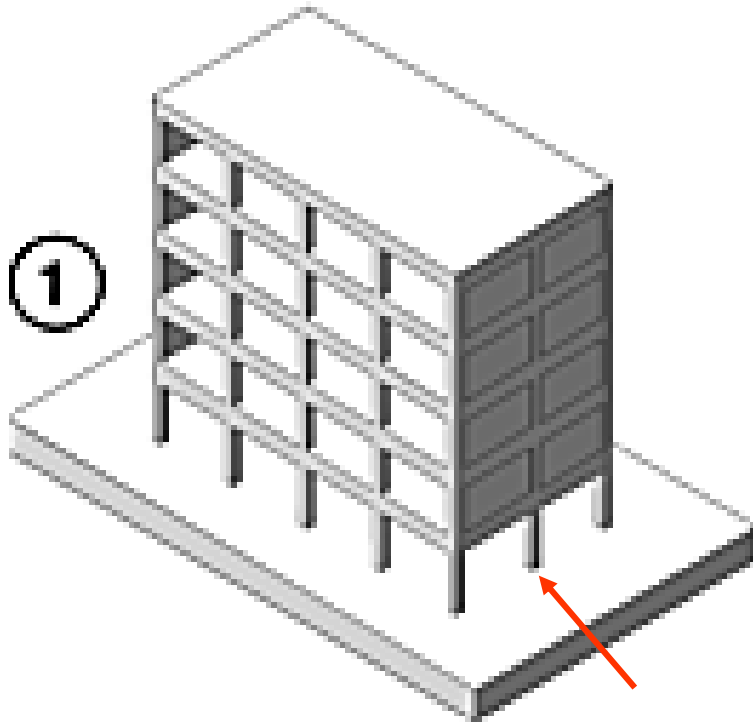


Después

La discontinuidad de elementos verticales aumenta la vulnerabilidad de las estructuras frente a sismos

5. Problemas de comportamiento

PISOS
DEBILES



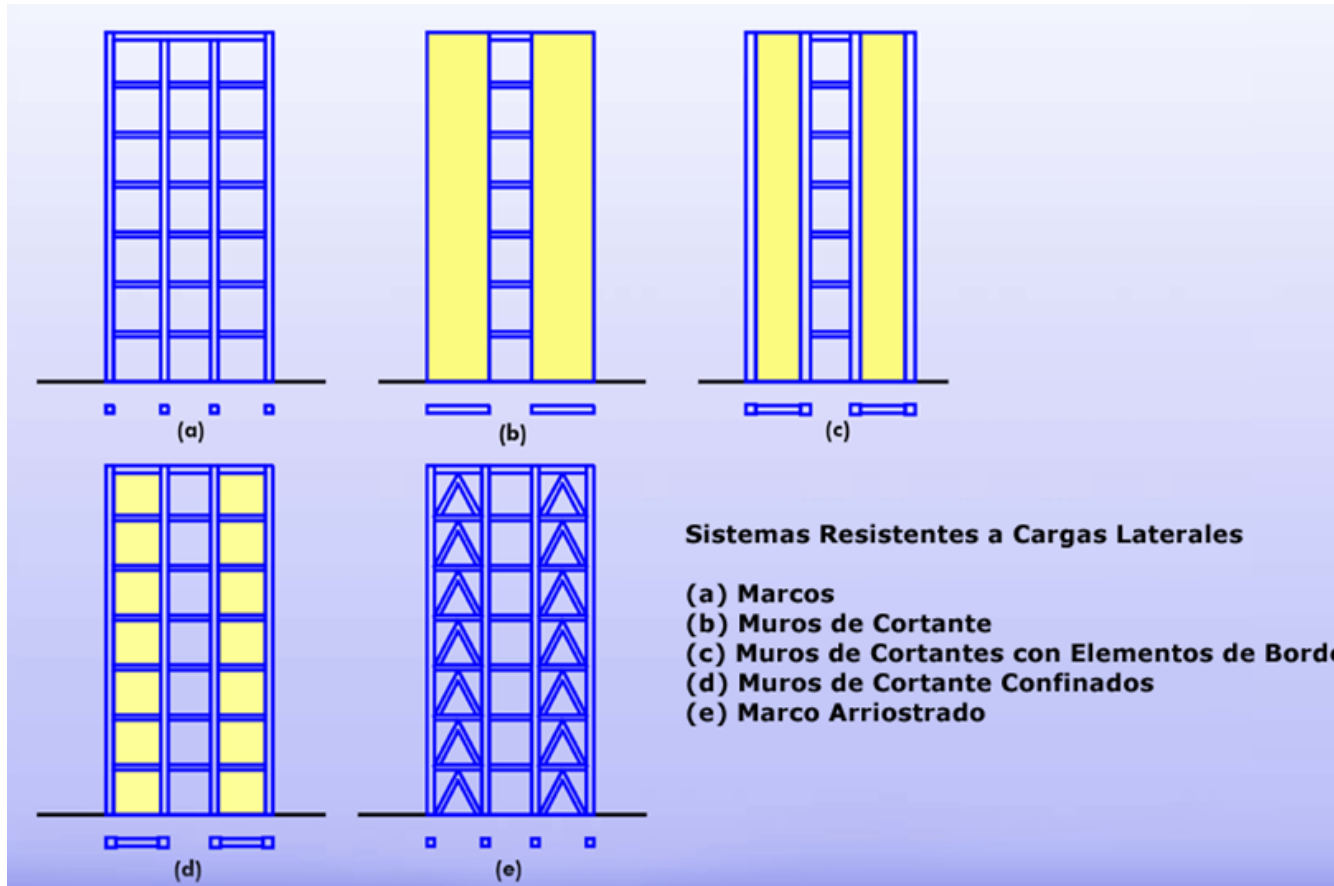
Piso débil

5. Problemas de comportamiento

PISOS
DEBILES



**Piso débil producto de la discontinuidad
de muros en el primer piso**



Proyectar, siempre que sea posible, estructuras continuas en altura en dos direcciones ortogonales para otorgar continuidad y redundancia a la estructura.



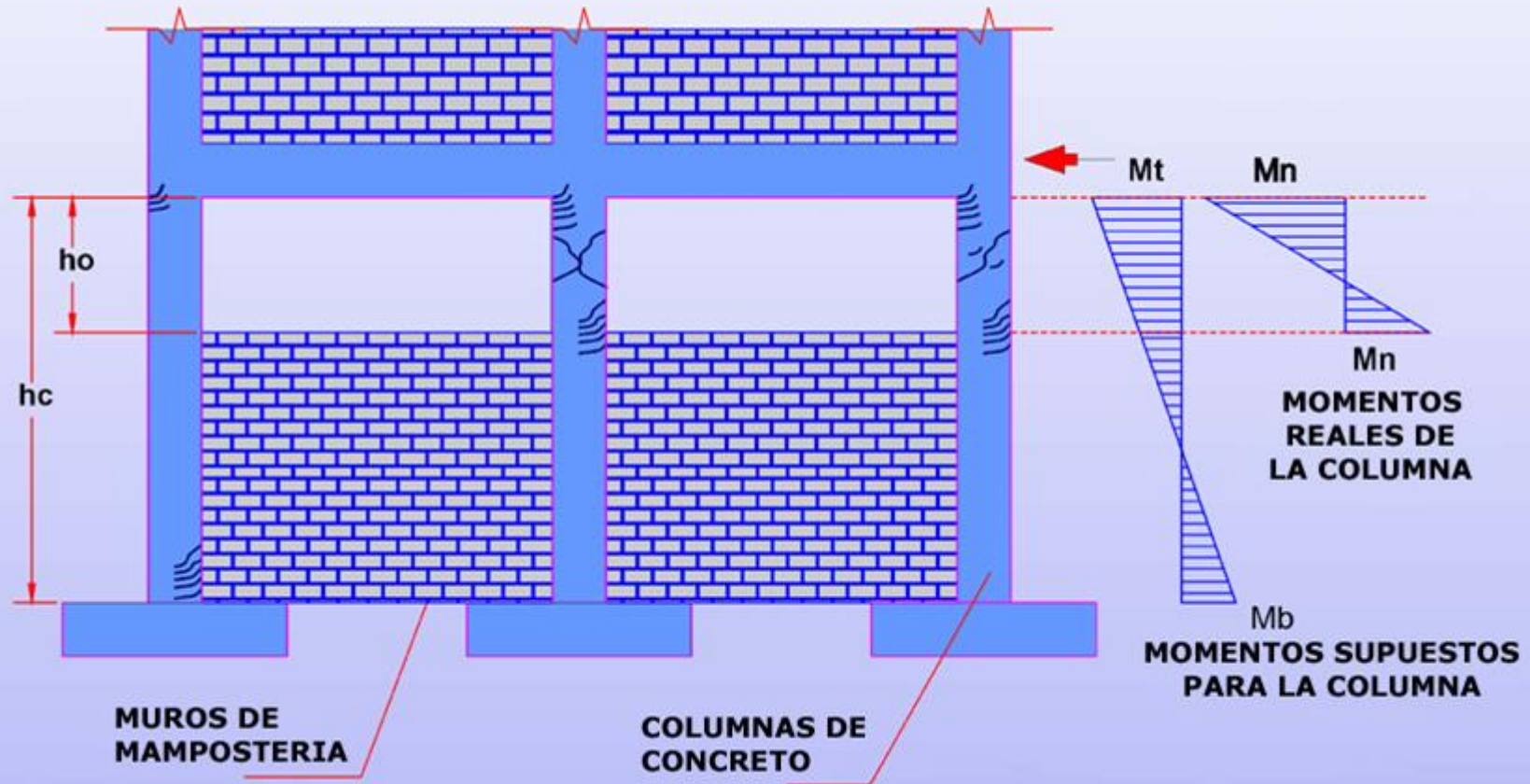
**La interacción entre elementos estructurales y no estructurales,
puede causar daños de consideración**



Daños producidos por la interacción de elementos estructurales y no estructurales

5. Problemas de comportamiento

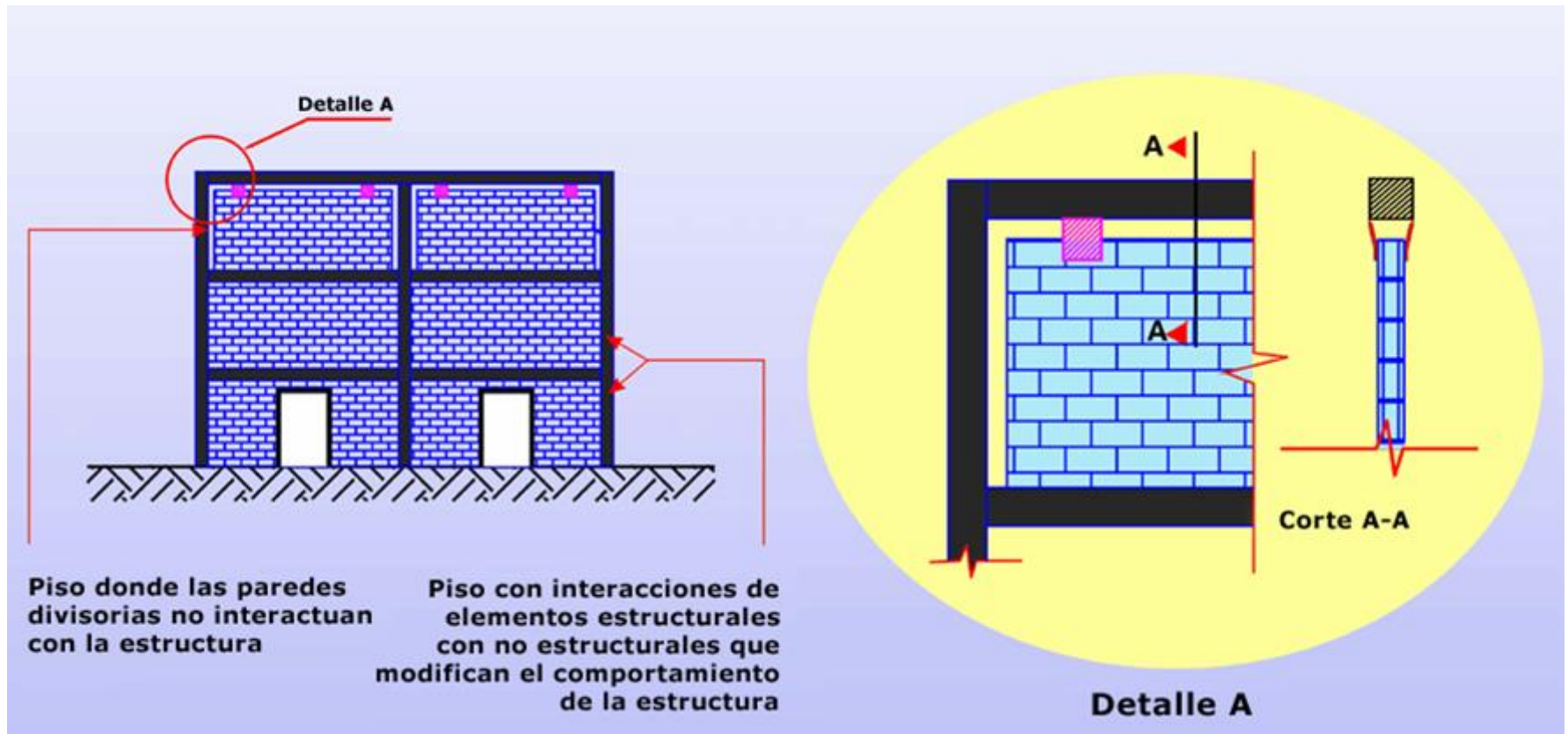
INTERACCION



Interacción de muros de albañilería con marco de concreto generando fallas por columnas corta

- Las columnas cortas pueden y deben ser evitadas.

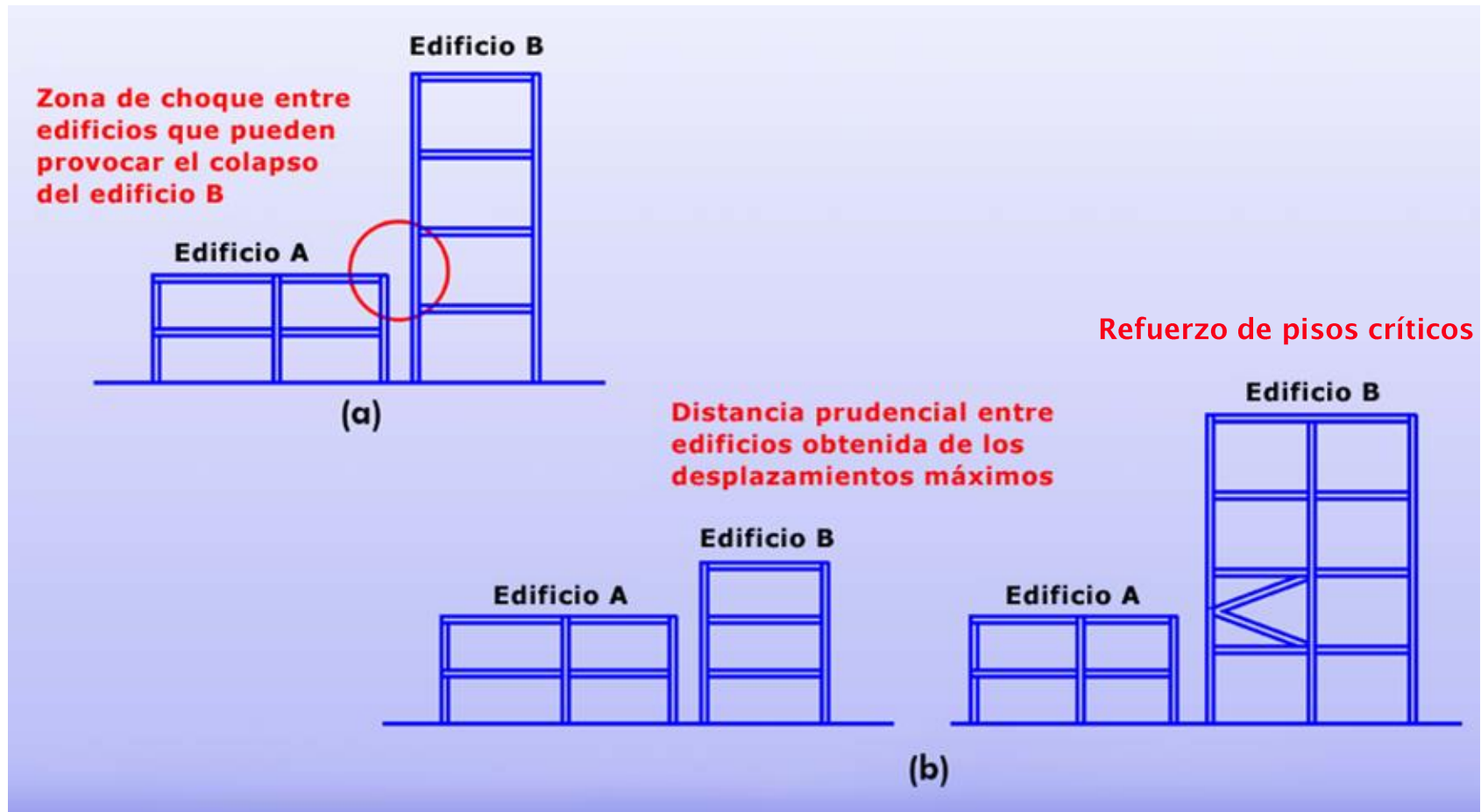




**Interacción entre elementos
estructurales y no estructurales**



**El choque entre edificios vecinos
compromete su estabilidad**



Zona de choque entre edificios y formas de prevenirlo

- Una adecuada separación entre edificios, evita el choque y el colapso.



- Poco peso.
- Sencillez, simetría y regularidad en planta.
- Plantas poco alargadas.
- Uniformidad en la distribución de resistencia, rigidez y ductilidad en elevación.
- Hiperestaticidad y líneas escalonadas de defensa estructural.

- Formación de articulaciones plásticas en miembros horizontales antes que en los verticales para sismos excepcionales.
- Propiedades dinámicas de la estructura adecuadas al terreno.

1. Acceso a una gran variedad de perfiles laminados o soldados en el medio
2. Alta capacidad de material para soportar cargas
3. Ductilidad intrínseca del acero
4. Rapidez constructiva

5. Grandes espacios libres entre columnas
6. Estructuras más ligeras comparadas con las estructuras de concreto.
7. Facilidad en la remodelación o ampliación

1. Utilizar distancia entre elementos verticales estándar de acuerdo a la práctica del país.
2. Aprovechar los espacios arquitectónicos para los sistemas resistentes a fuerzas laterales
 - Muros resistentes a los esfuerzos cortantes.
 - Elementos en X ó Λ .
 - Pórticos rígidos que ofrecen espacios abiertos.
3. Evitar el uso de secciones que no son de fabricación común.

4. Diseñar los elementos horizontales para acción compuesta haciendo uso del concreto para soportar las cargas sobrepuestas.
5. Repetir, repetir, repetir haciendo uso de elementos idénticos

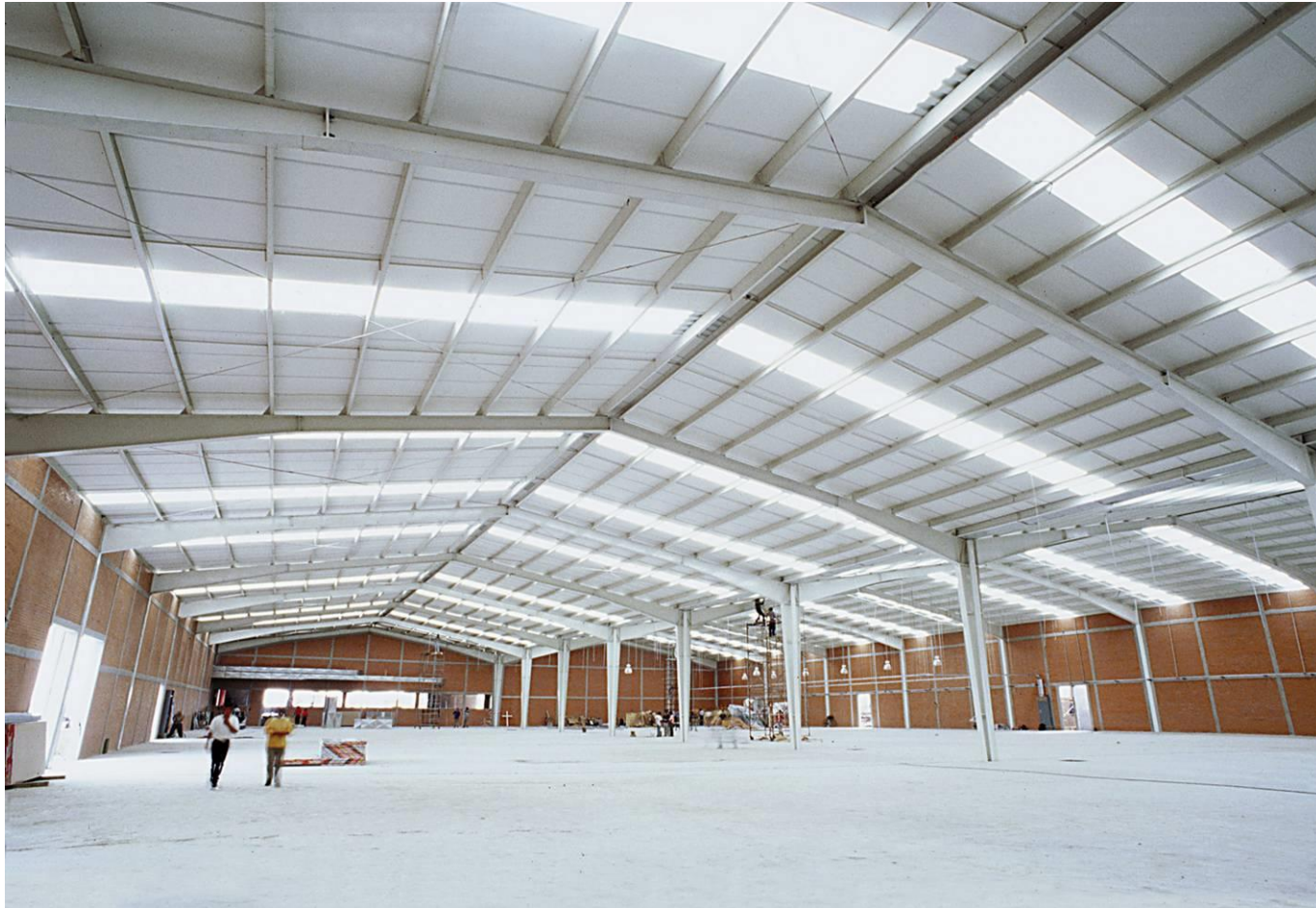
Beneficios

- Reduce el costo de fabricación
- Reduce el número de errores inherentes por mano de obra

6. Disminuir la complejidad del control de construcción:
 - Reducir la soldadura en obra
 - Aumentar el uso de conexiones atornilladas.
 - No hay necesidad de andamios ni cimbras

- Lograr un nivel de seguridad adecuado contra fallas estructurales causadas por sismos fuertes y
- Lograr un comportamiento estructural aceptable en condiciones normales de operación durante su vida útil.

- Evitar pérdidas de vidas humanas y lesiones a seres humanos durante la ocurrencia de un sismo fuerte.
 - Impedir, durante un sismo fuerte, daños severos en la estructura y en los elementos no estructurales (muros divisorios, pretilas, escaleras, plafones, etc.)
 - Lograr que después de un sismo fuerte, sigan funcionando las edificaciones estratégicas (hospitales, estaciones de bomberos, refugios, albergues, oficinas de gobierno, etc.) para atender el evento.

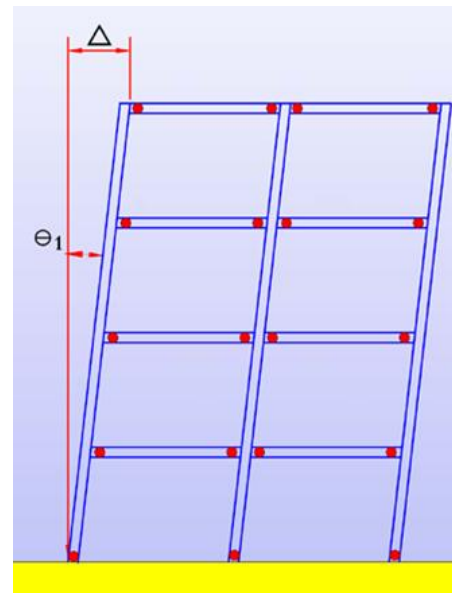


La estructura de acero suele ser competitiva cuando se usa para salvar grandes claros.

- Usar perfiles laminados tipo W o perfiles soldados preferentemente robustos (similar altura y ancho de ala, espesores de alma y ala comparables).
- Para elementos principalmente en compresión, evaluar uso de secciones compuestas.

- Usar perfiles laminados tipo W o perfiles soldados, con mayor área en las alas.
- Evitar siempre que sea posible empalmes entre vigas principales.
- Usar el mismo tipo de acero que en las columnas.
- Revisar deflexiones y vibraciones.

- Proporcionar menor resistencia que la columna a la que se une (columna fuerte-viga débil).



**Mecanismo con daño en vigas
(recomendado)**



Colocar atiesadores cerca de las uniones o en puntos de aplicación de cargas concentradas



Cortesía: VAMISA

Colocar atiesadores en ambos lados del alma de la viga



Cortesía: VAMISA

- Usar perfiles laminados tipo W o perfiles soldados, secciones armadas en canal, vigas armadas a base de ángulos de lados iguales.
- Utilizar diseño compuesto. El patín superior siempre está sometido a compresión.
- Revisar deflexiones y vibraciones.
- Cuidar los empalmes entre vigas.

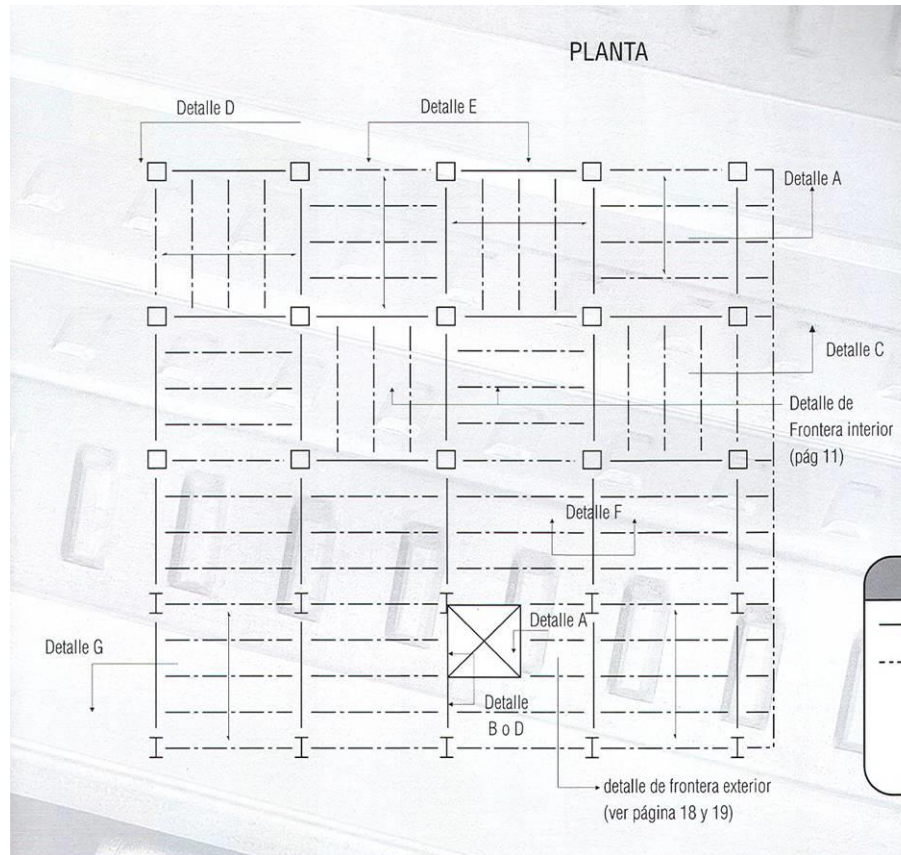


Vigas de alma perforada (prefabricadas comercialmente).

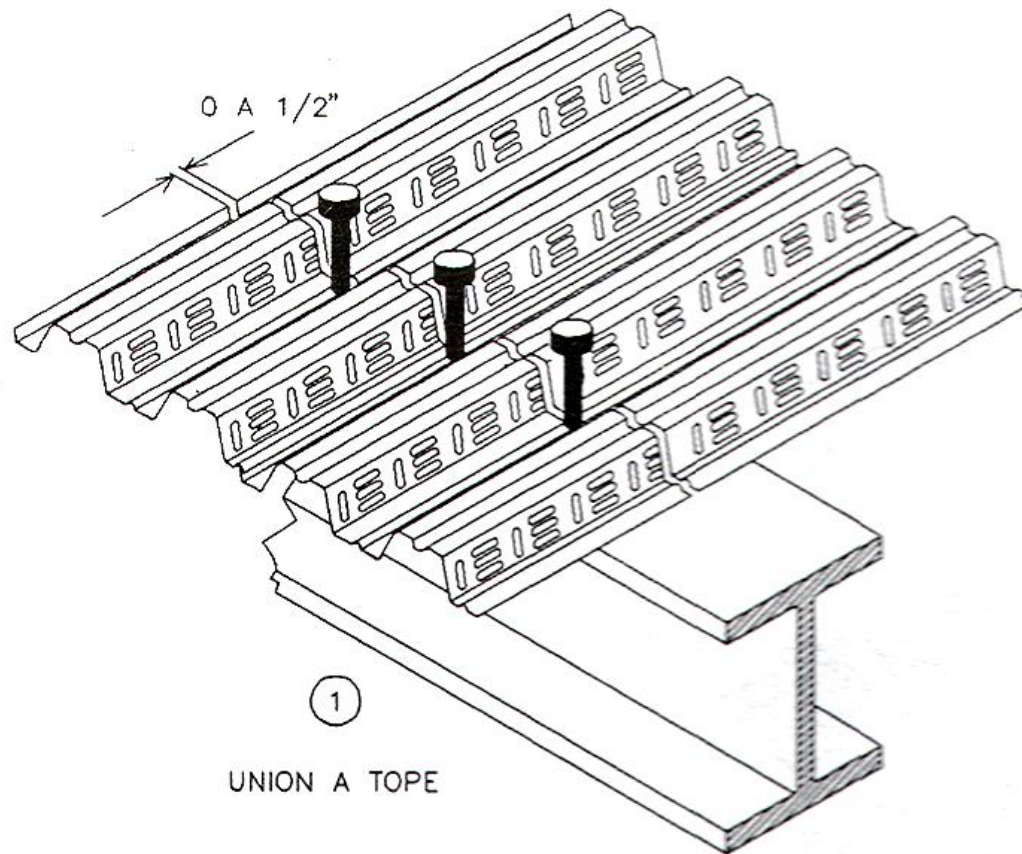


Cortesía: VAMISA

Vigas de alma abierta tipo joist (armaduras prefabricadas)



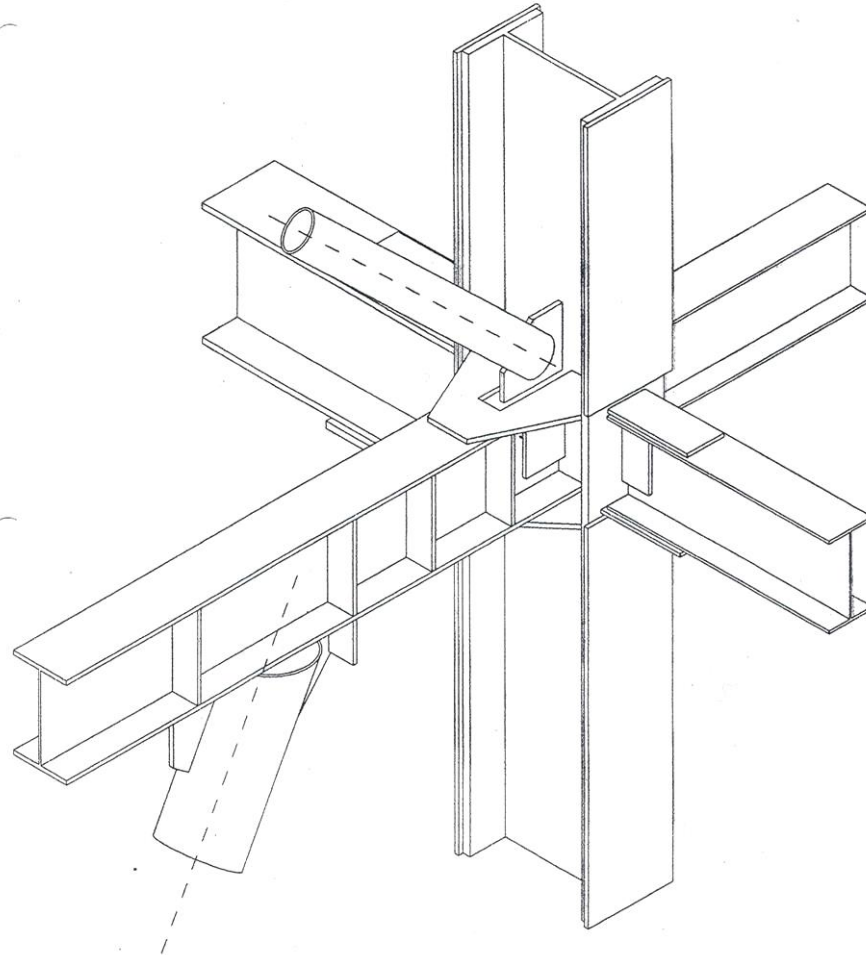
**Repetir piezas idénticas para
facilitar la fabricación**



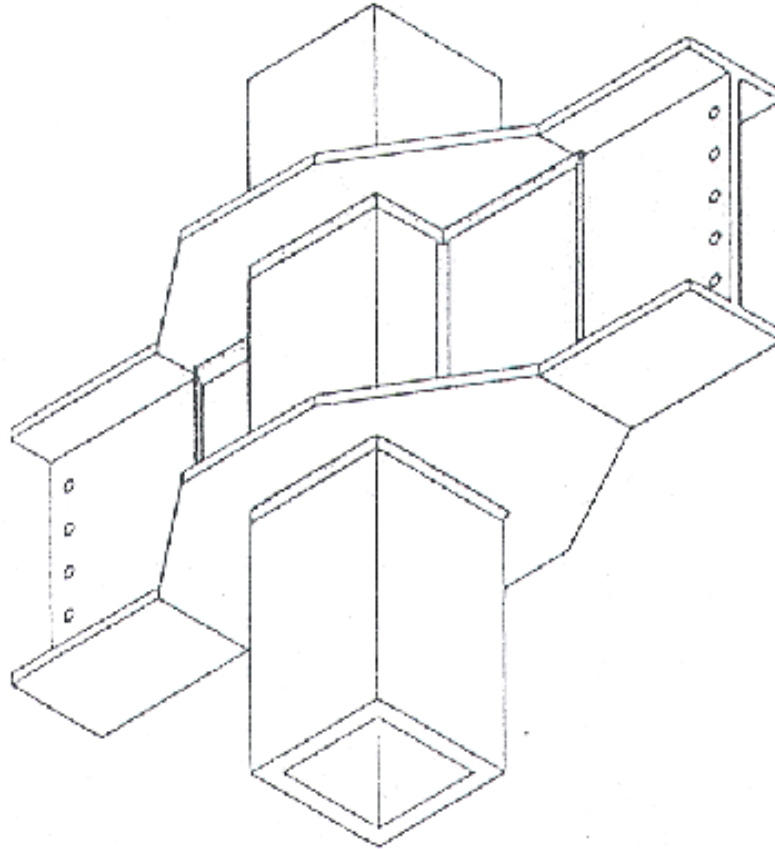
Sistema de piso compuesto a base de vigas en flexión

- Uno de los aspectos más importantes en el diseño de un edificio de acero es el criterio adoptado en la solución de las uniones entre los diversos miembros estructurales.
- Tipos:
 - Simple
 - Rígida
 - Semi-rígida

- **EVITAR LA FALLA DE LA CONEXION.**
- Diseñar considerando modos de falla y eligiendo cual será el modo de falla dominante.
- Usar detalles de conexión sencillos.
- Evitar soldadura en obra.

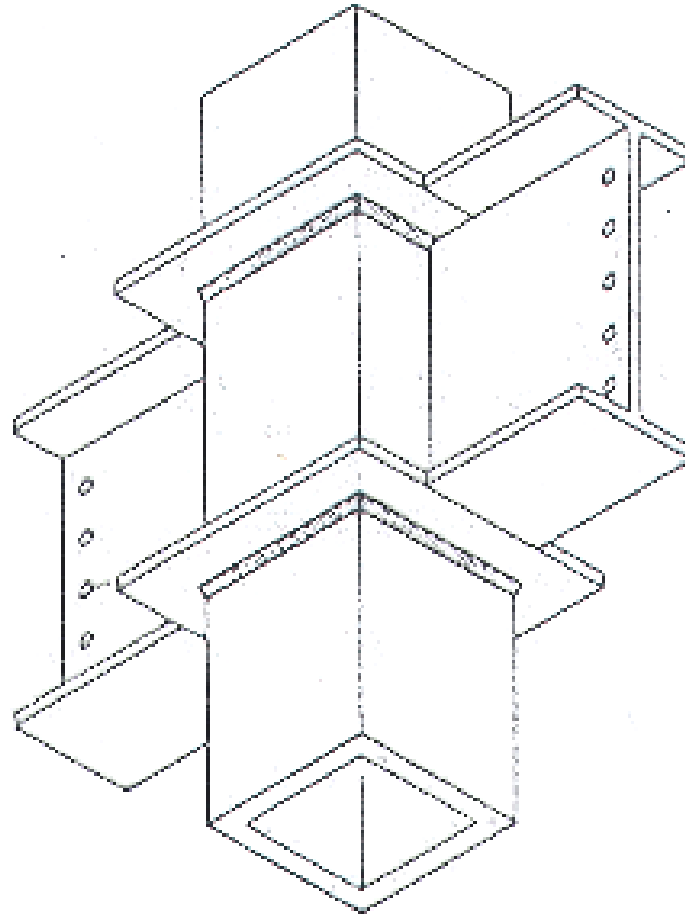


Conexiones típicas a columna W



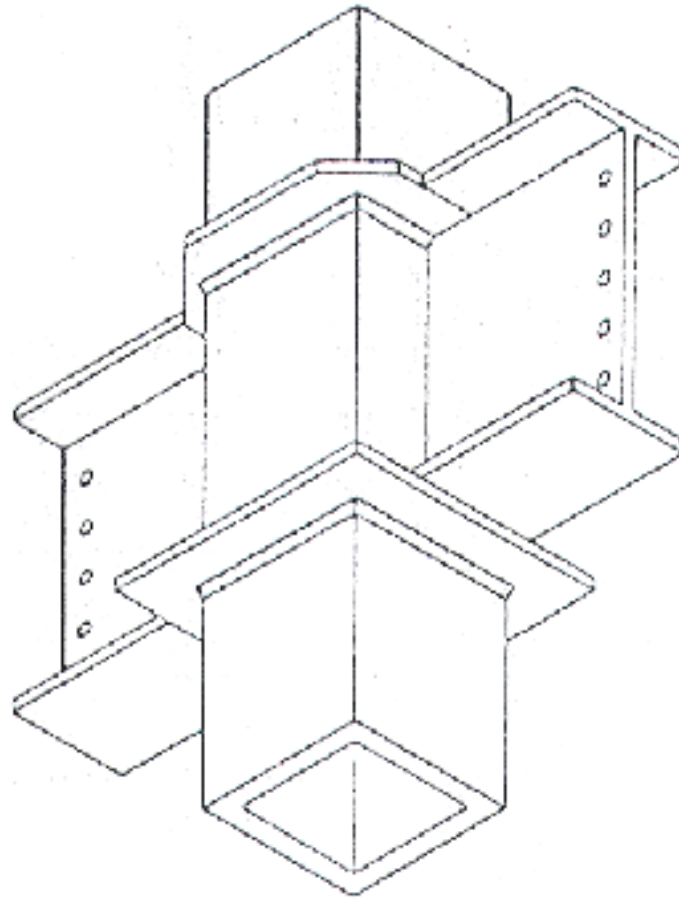
Conexiones continuas viga-columna

Atiesadores externos al tubo



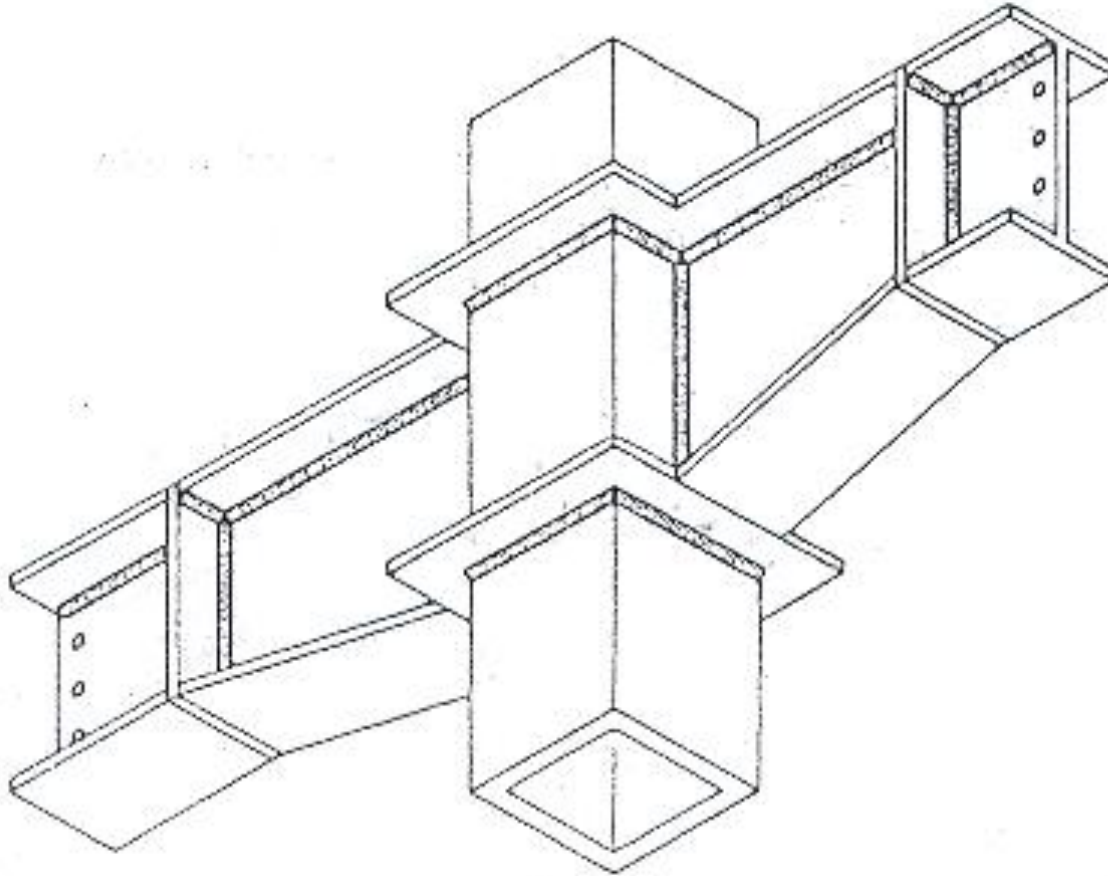
Conexiones continuas viga-columna

Atiesadores continuos



Conexiones continuas viga-columna

Atiesadores continuos

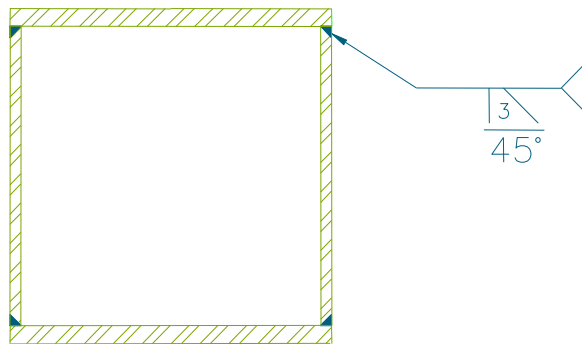


Conexiones continuas viga-columna

Atiesadores continuos, muñón acartelado

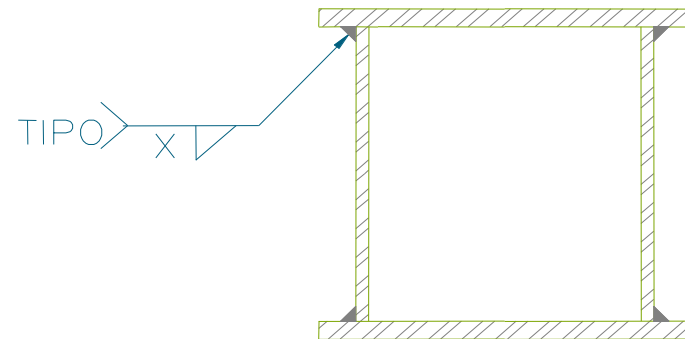
- Especificar soldaduras de filete en lugar de penetración completa cuando sea posible.

Sección de cuatro placas con soldadura de penetración.

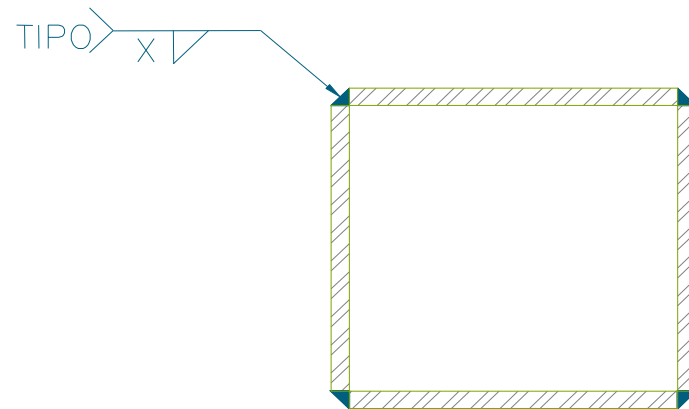


Evitar

Sección de cuatro placas con soldadura de filete.

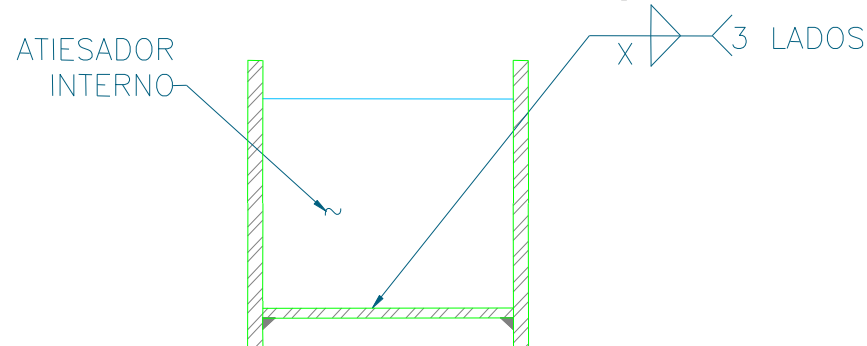


Alternativa 1

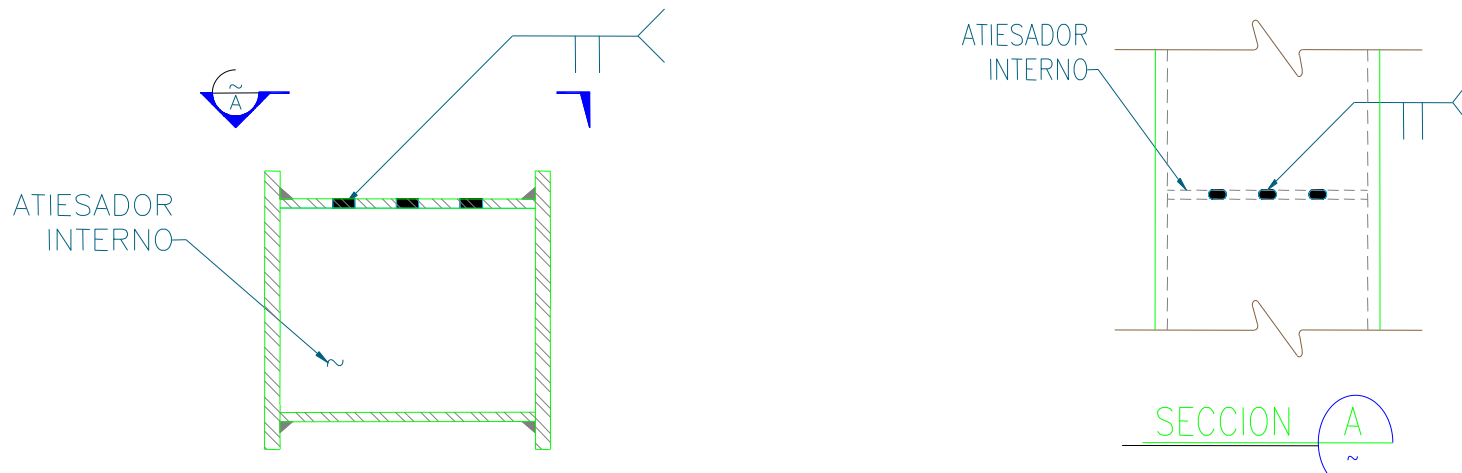


Alternativa 2

Forma eficiente de soldar el atiesador interior en sección de cuatro placas.



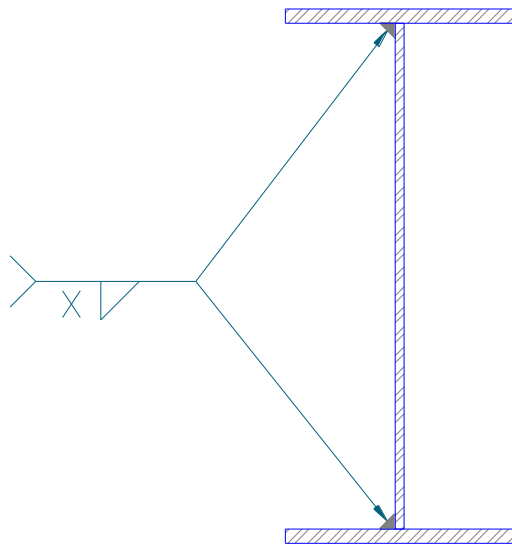
Paso 1: soldar con filete en las primeras tres caras



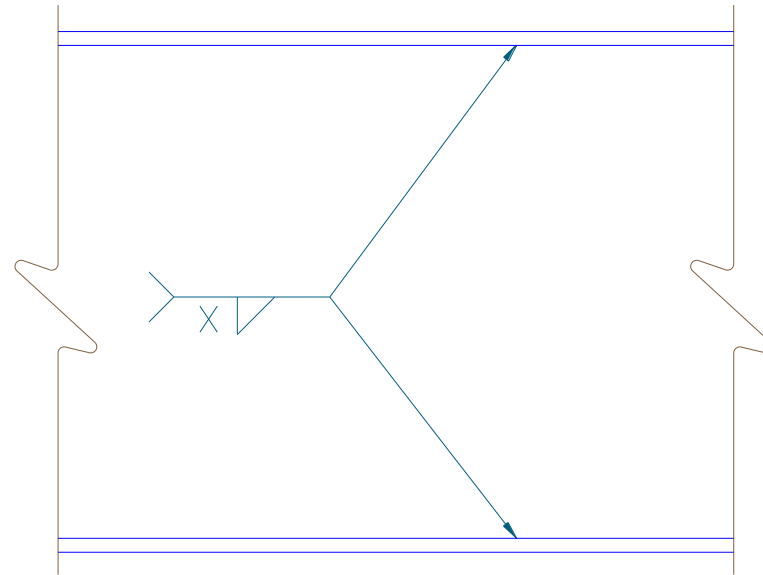
Paso 2: soldar la cuarta cara con soldadura de tapón o de ranura

- Indicar soldaduras de filete que pueden realizarse en una sola pasada con máquinas de soldadura automática cuando sea posible.
- No indicar más soldadura que la realmente necesaria. Así se evita sobrecalentamiento y deformación de perfiles.

Sección constante de tres placas de alma delgada



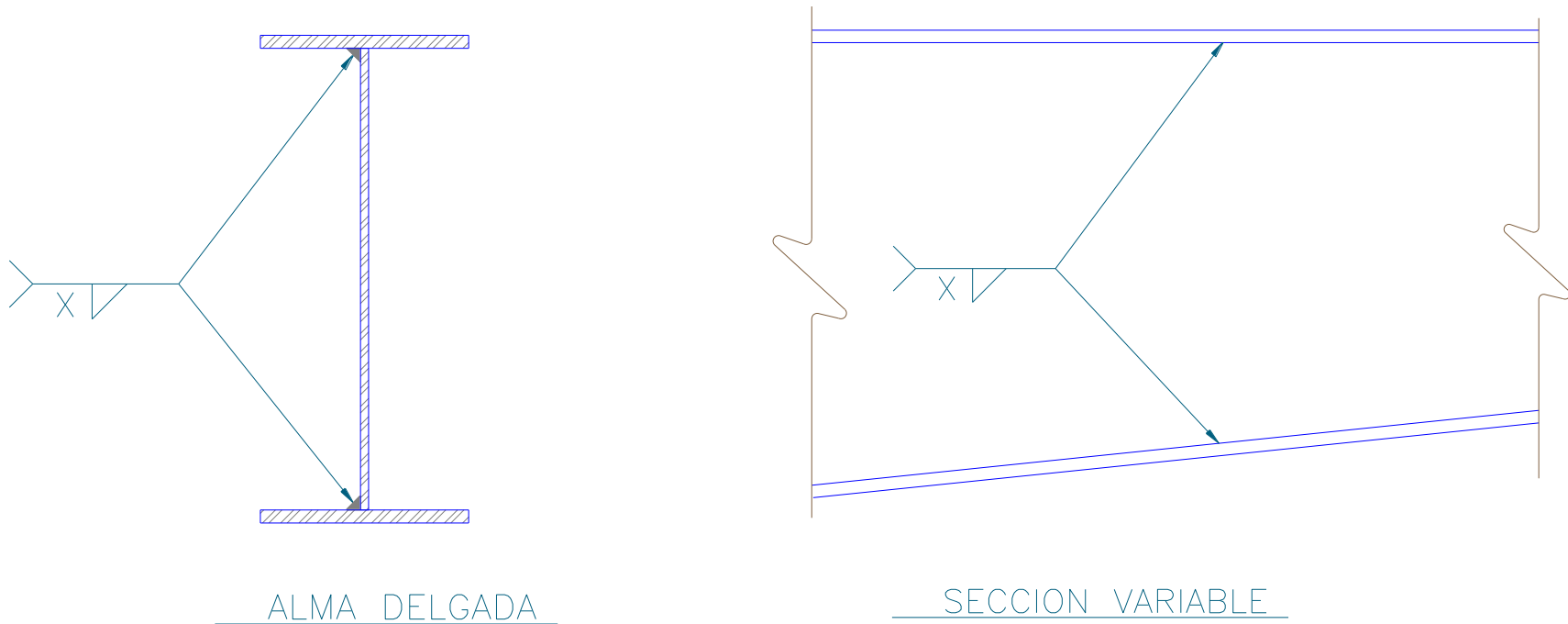
ALMA DELGADA



SECCION CONSTANTE

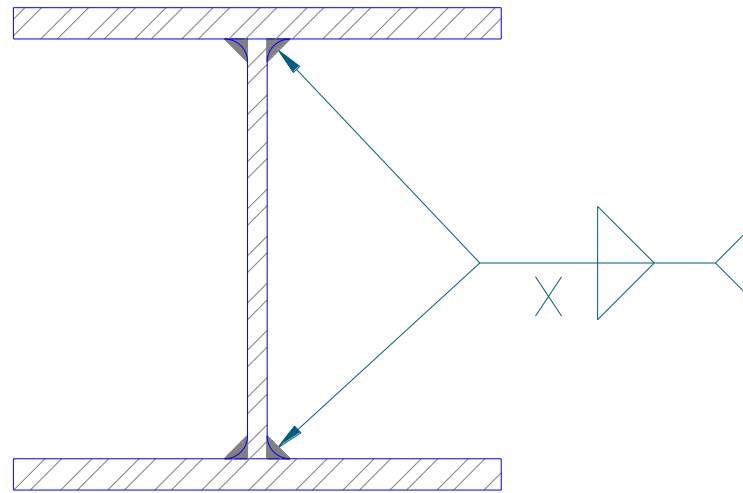
Soldadura de filete por un solo lado

Sección variable de tres placas de alma delgada



Soldadura de filete por un solo lado

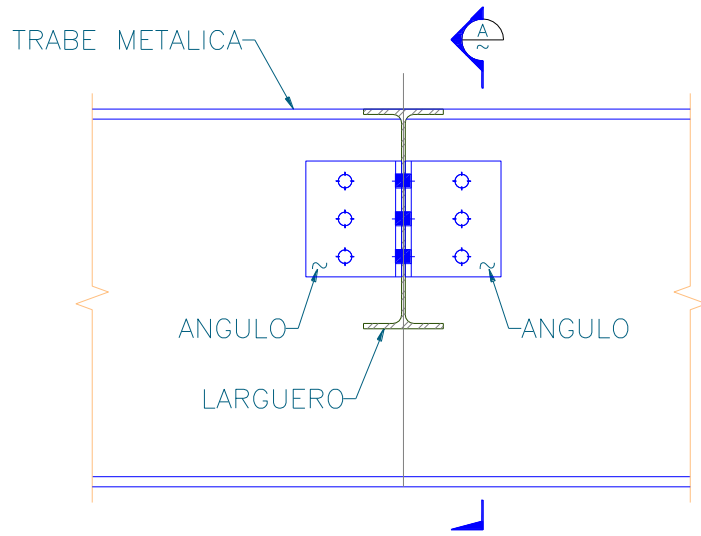
Sección de tres placas de alma gruesa



ALMA GRUESA

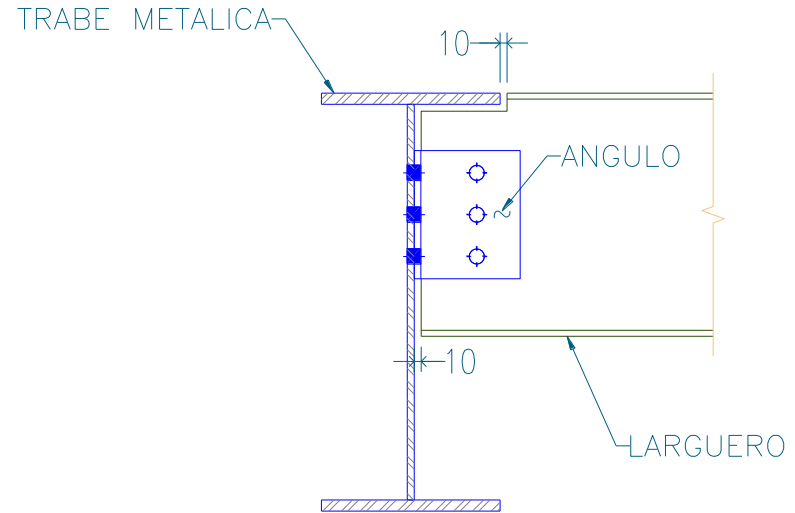
Soldadura de filete por los dos lados

- Seleccionar apropiadamente la orientación de las vigas secundarias (paralelas al lado largo)
- Mantener la relación entre lado corto a y lado largo b , tal que $1.25 < b/a < 1.50$.
- Utilizar conexiones atornilladas para la unión de vigas secundarias a la viga principal.



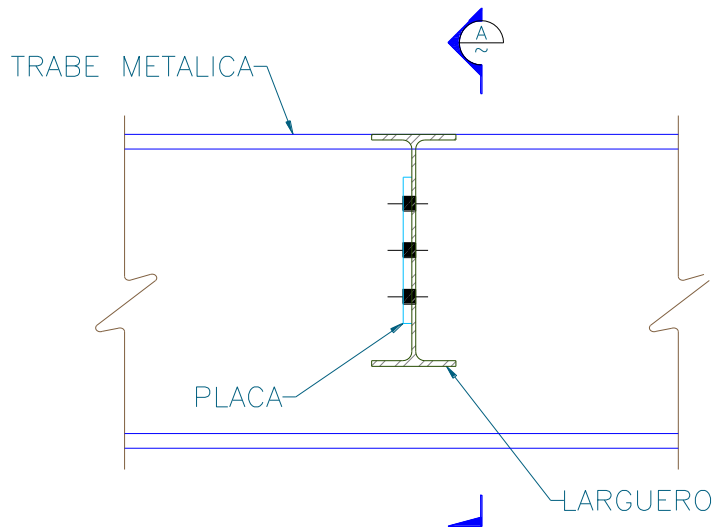
1.- CONEXION CORTANTE

A) DOBLE ANGULO



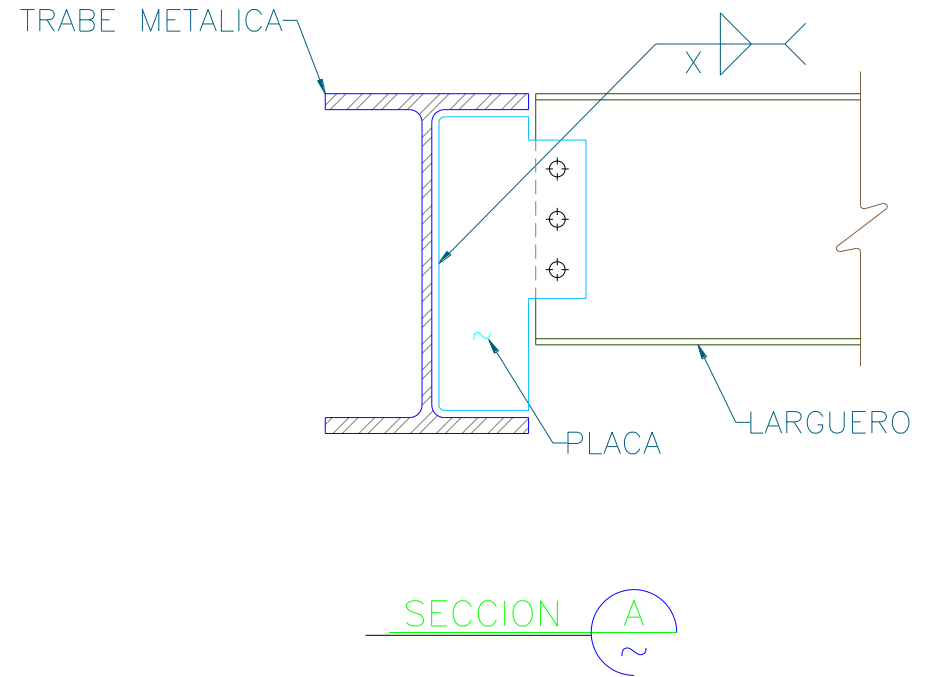
SECCION A

Alternativa 1: tornillos a doble cortante

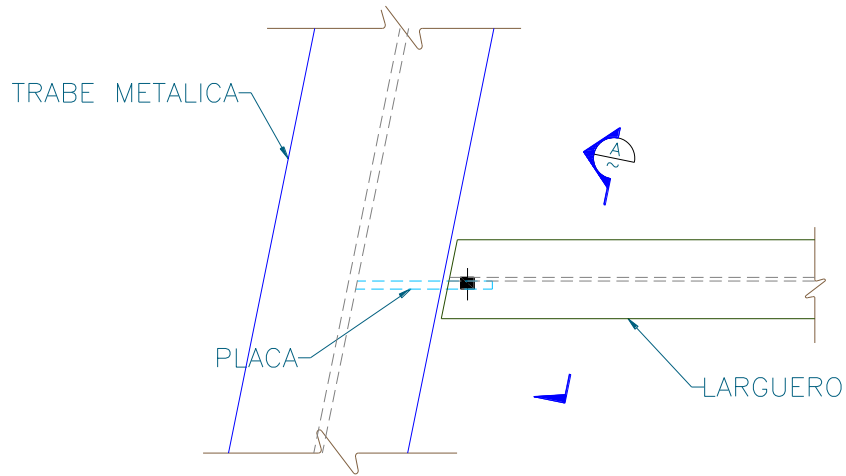


1.- CONEXION CORTANTE

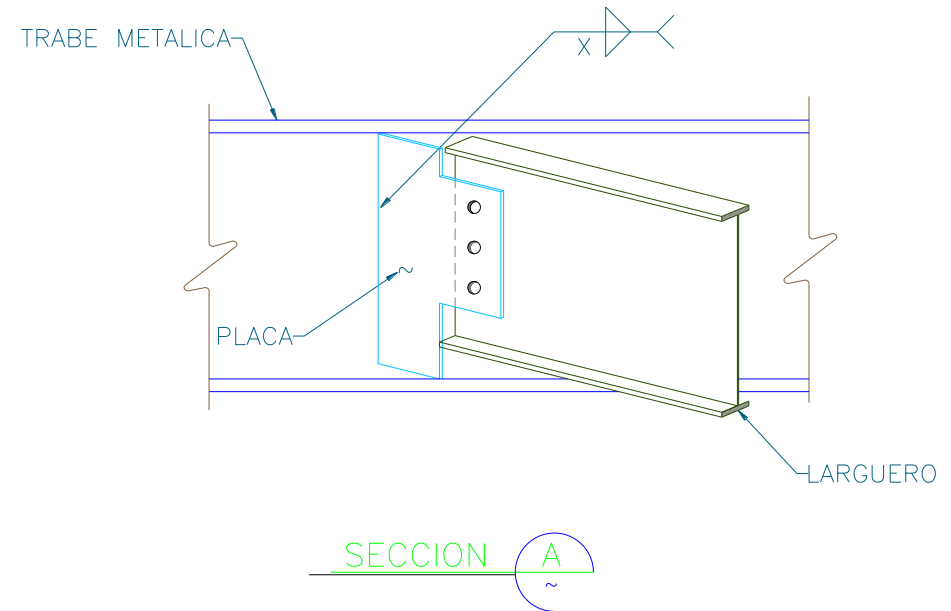
B) PALETA DE CORTANTE



Alternativa 2: tornillos a cortante simple

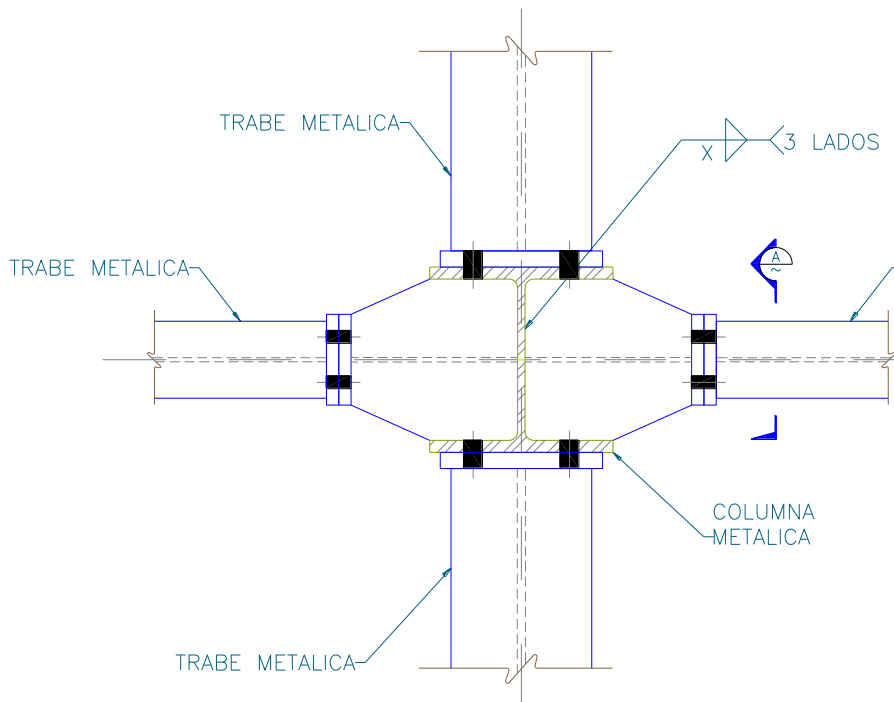


1.- CONEXION CORTANTE



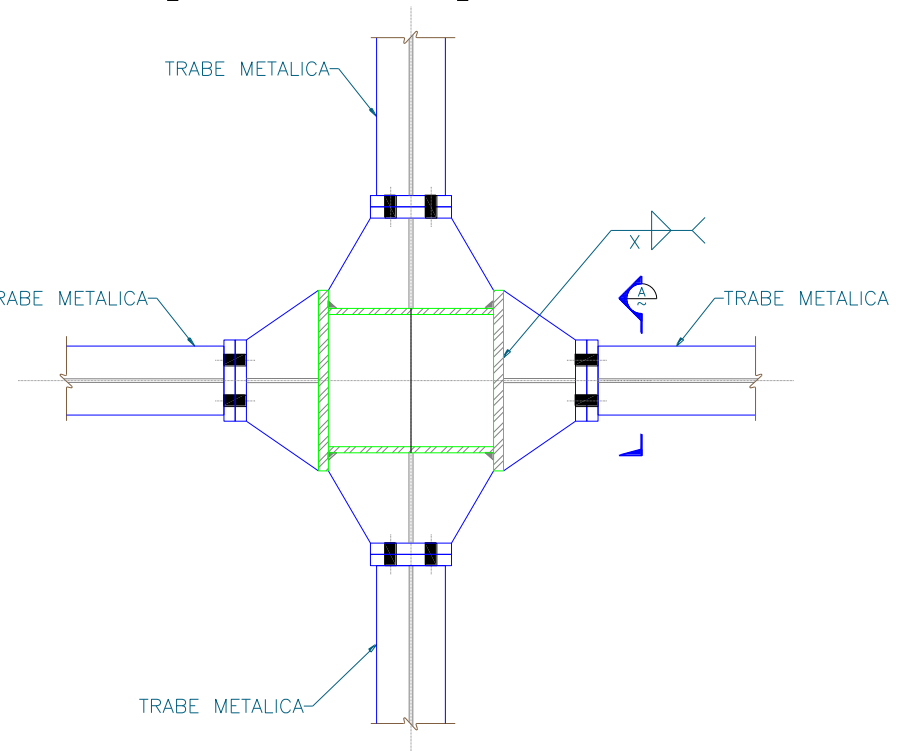
Conexión sesgada a cortante

Conexión a momento tipo end-plate



2.- CONEXION A MOMENTO

A) TIPO END-PLATE CON COLUMNA IR

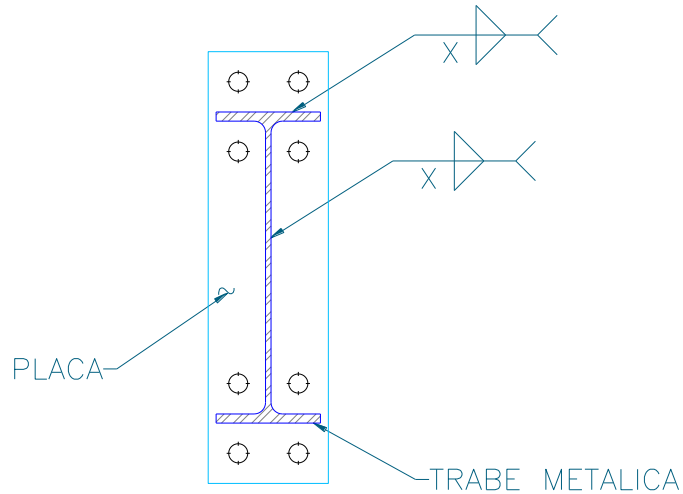


2.- CONEXION A MOMENTO

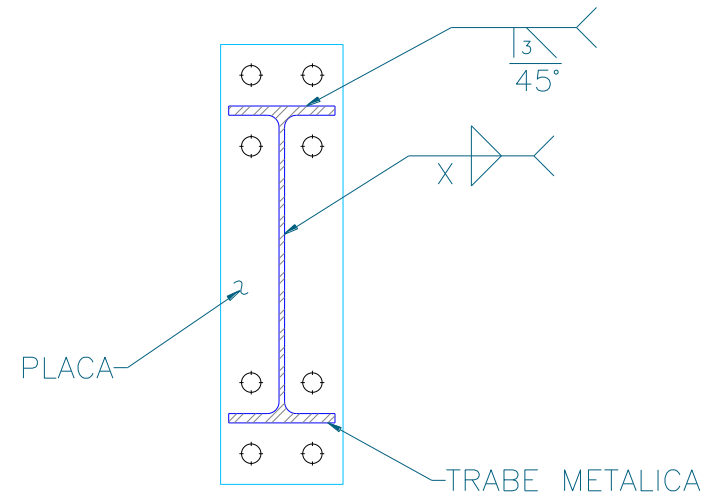
A) TIPO END-PLATE CON COLUMNA EN CAJON

Placas de muñón soldadas a columna con soldadura de filete

Unión de patines del perfil al end-plate



SECCION A
PERFIL CHICO



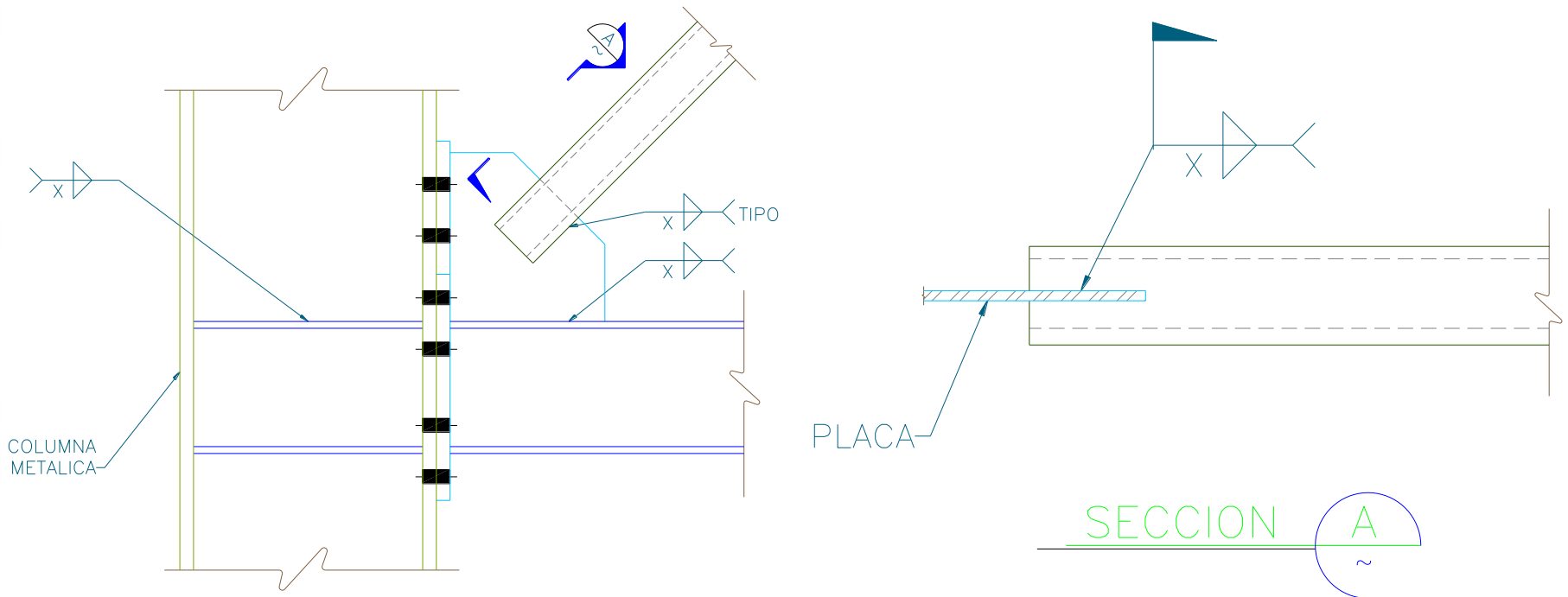
SECCION A
PERFIL GRANDE

Con soldadura de filete para patines de poco espesor

Con soldadura de penetración para patines de gran espesor

- Buscar el menor número de empalmes de columnas posible.
- Considerar la posibilidad de utilizar una sección más rígida para evitar la colocación de atiesadores
- Especificar refuerzo en almas de vigas en zona de huecos para instalaciones sólo donde realmente se requiera.
- Tratar de utilizar perfiles HSS para contraventeo de marcos.

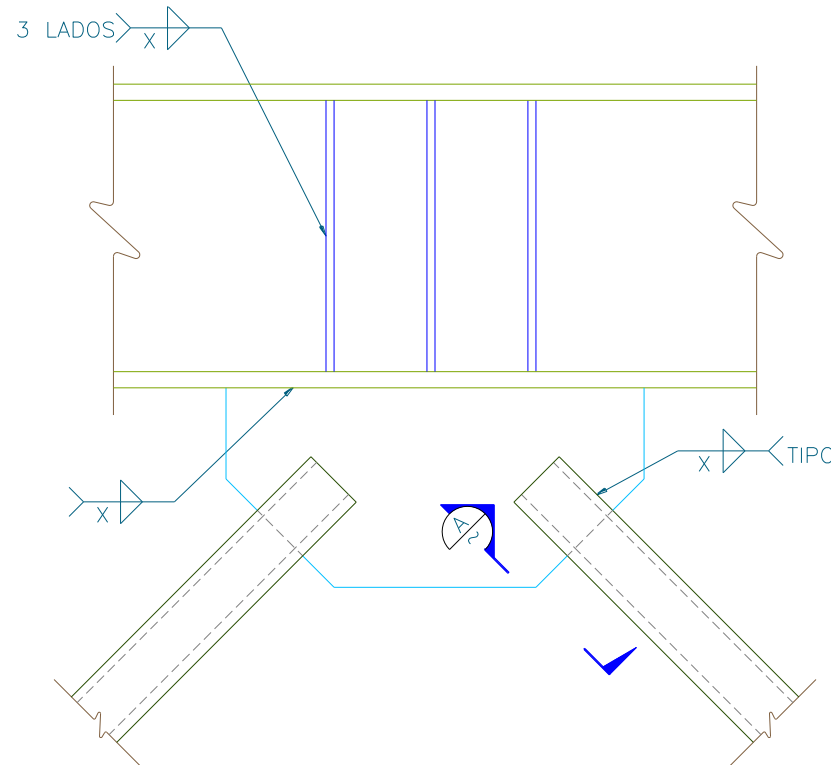
Detalle de conexión de contraventeo con perfil HSS



Conexión con placa (tipo peine)

Conexión en zona de nudo viga-columna

Detalle de conexión de contraventeo con perfil HSS



Conexión con trabe al centro del claro