

Diseño sismorresistente de edificios con aisladores elastoméricos

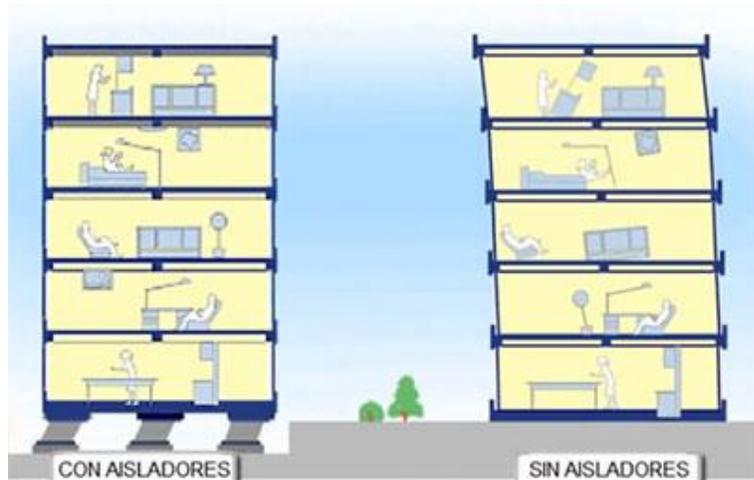
Mario Lafontaine
Rene Lagos Engineers

Cochabamba, Bolivia
17 de julio de 2024

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA
COCHABAMBA

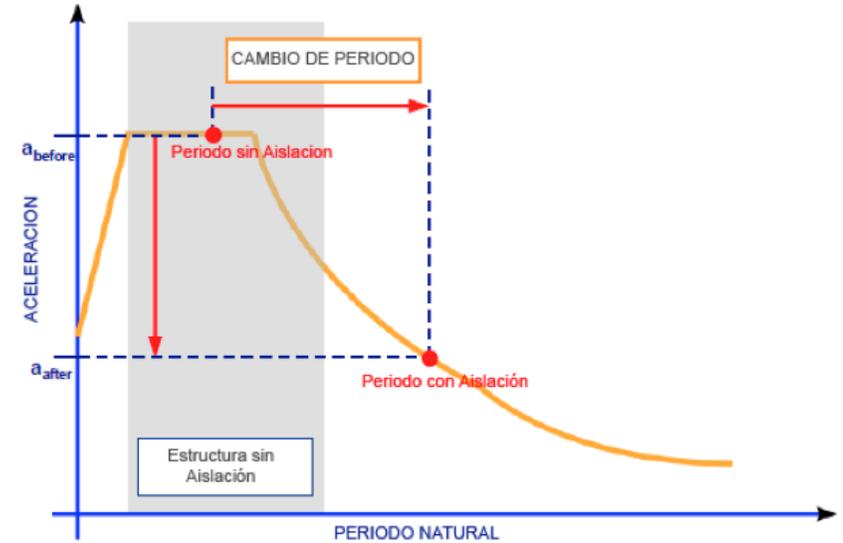
Qué es la aislación sísmica

- Dispositivos para “aislar” estructura del suelo
- Deformación lateral se concentra en unos dispositivos especiales llamados aisladores
- Estructura “tiende” a deformarse rígidamente



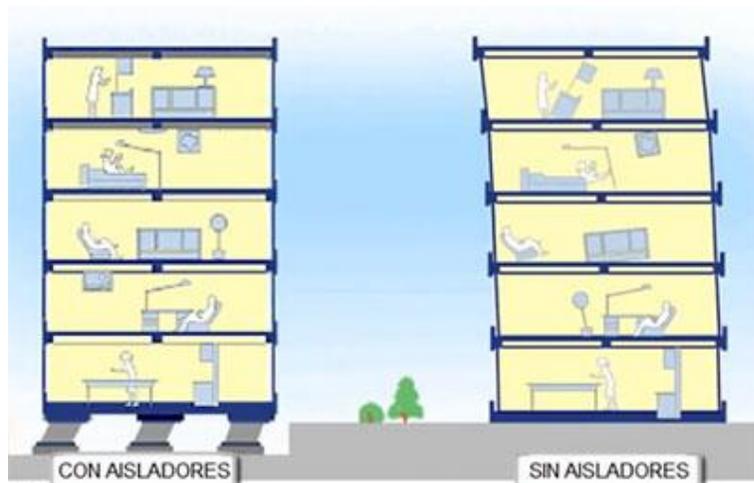
Qué es la aislación sísmica

- Aumenta período del sistema
- Menores aceleraciones



Qué es la aislación sísmica

- Aumenta período del sistema
- Mayores deformaciones
→ Se concentran en interfaz de aislación

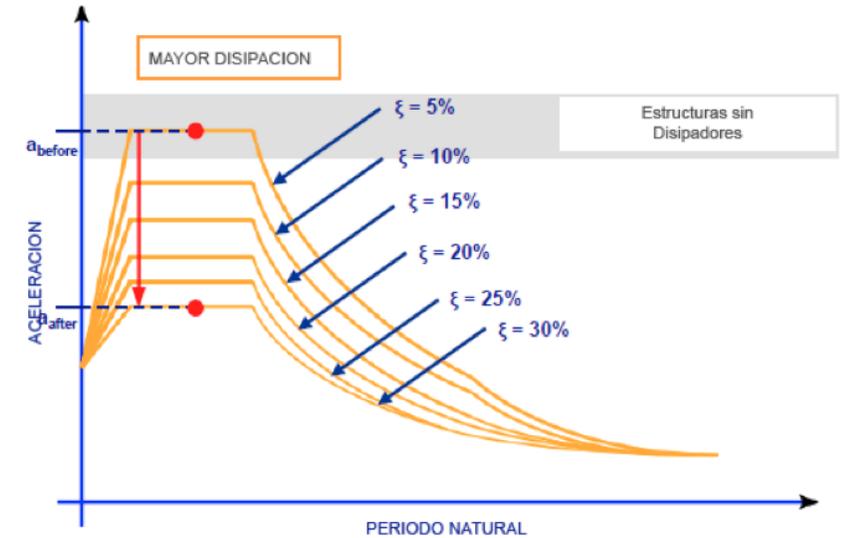


Qué es la aislación sísmica

- En ocasiones se incorporan dispositivos para disipar energía

Núcleo de plomo
Aditivos en goma
Fricción
Otros

- Aumenta amortiguamiento del sistema
- Menores aceleraciones
- Menores deformaciones



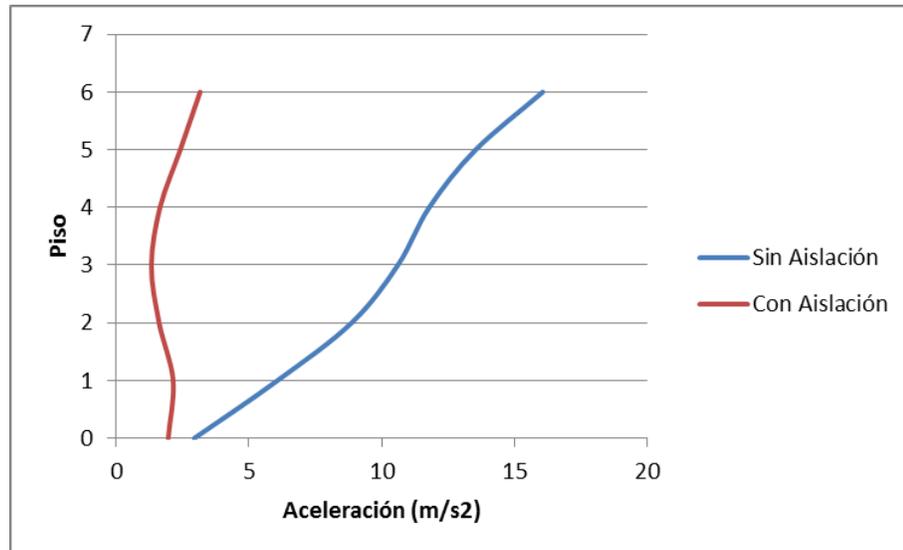
Qué es la aislación sísmica

Resultado?



Qué es la aislación sísmica

Menores aceleraciones → Menor daño en contenido
→ Menor percepción del sismo

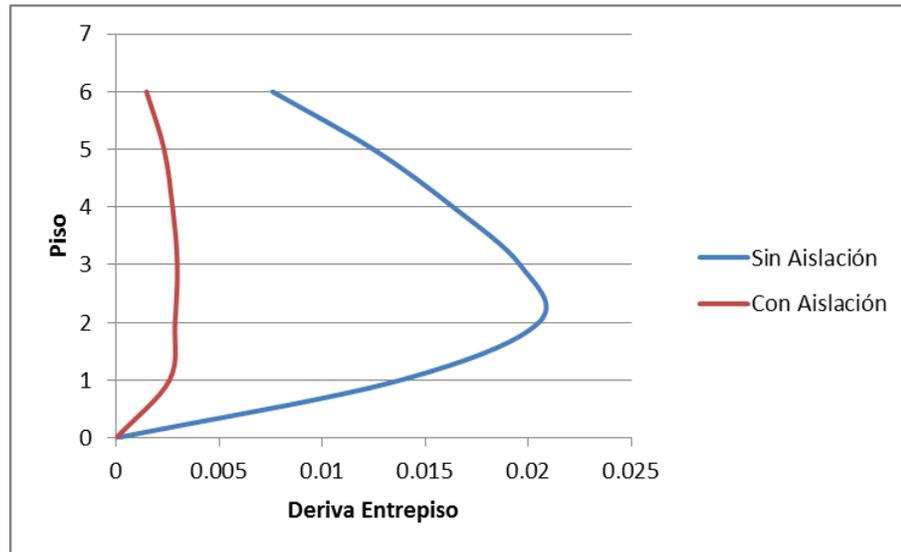


Qué es la aislación sísmica

Menores deformaciones en estructura (deriva de entrepiso y total)

→ Menor daño en elementos no estructurales (tabiques)

→ Menor daño estructural



Qué es la aislación sísmica



Experimento UC San Diego

Tipos de Aisladores

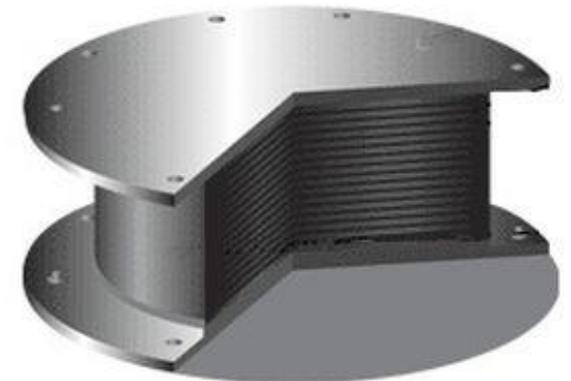
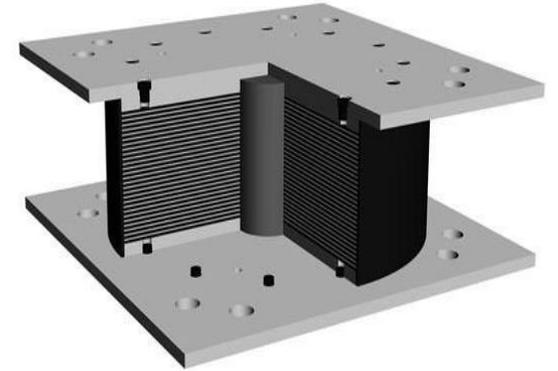
Básicamente dos tipos

- Elastoméricos
- Friccionales

Elastoméricos

- Aislador goma natural (RB)
- Aislador goma natural + núcleo de plomo (LRB)
- Aislador goma alto amortiguamiento (HDRB)

- Placas de acero intercaladas con placas de goma
 - Baja rigidez lateral
 - Alta rigidez axial



Elastoméricos

Goma Natural (RB)

Ventajas:

- Fáciles de modelar, prácticamente lineal
- Pueden ser muy flexibles
- Se activan para terremotos menos intensos

Desventajas:

- Bajo amortiguamiento → Deformación en aisladores puede ser considerable
- Sensibles al fuego



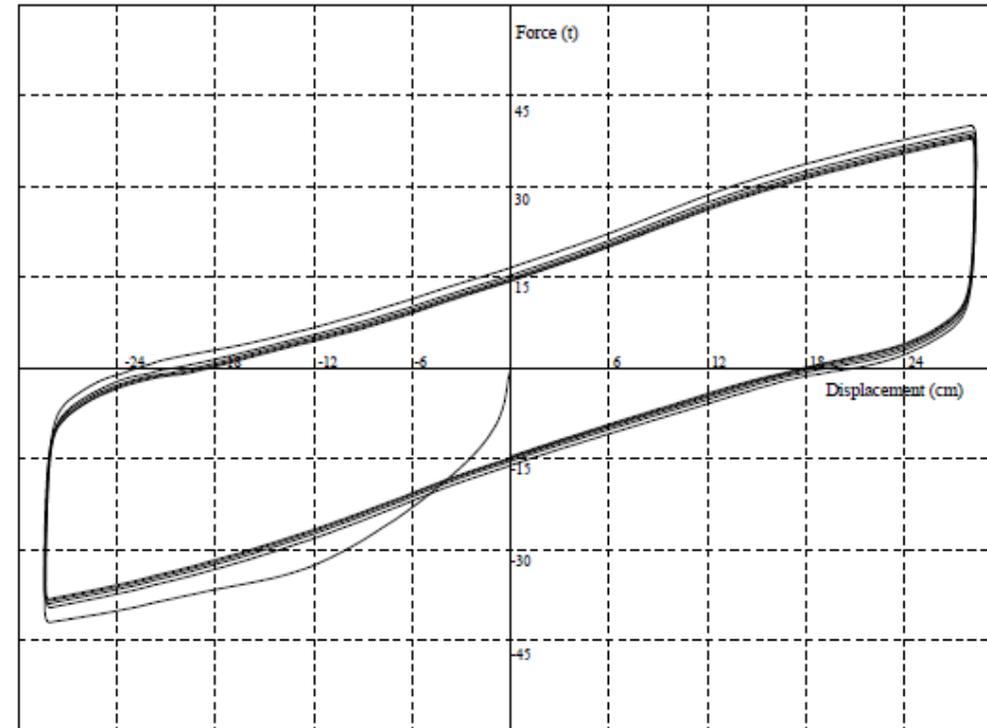
Goma Natural con núcleo de plomo (LRB)

Ventajas:

- Fáciles de modelar
- Alto amortiguamiento (hasta 30% aprox.)
→ Baja deformación de aisladores

Desventajas:

- Adición del plomo aumenta rigidez efectiva
- Podrían no activarse para terremotos menos intensos
- Período depende de la masa → Podría ser difícil alcanzar grandes períodos para estructuras livianas
- Sensibles al fuego



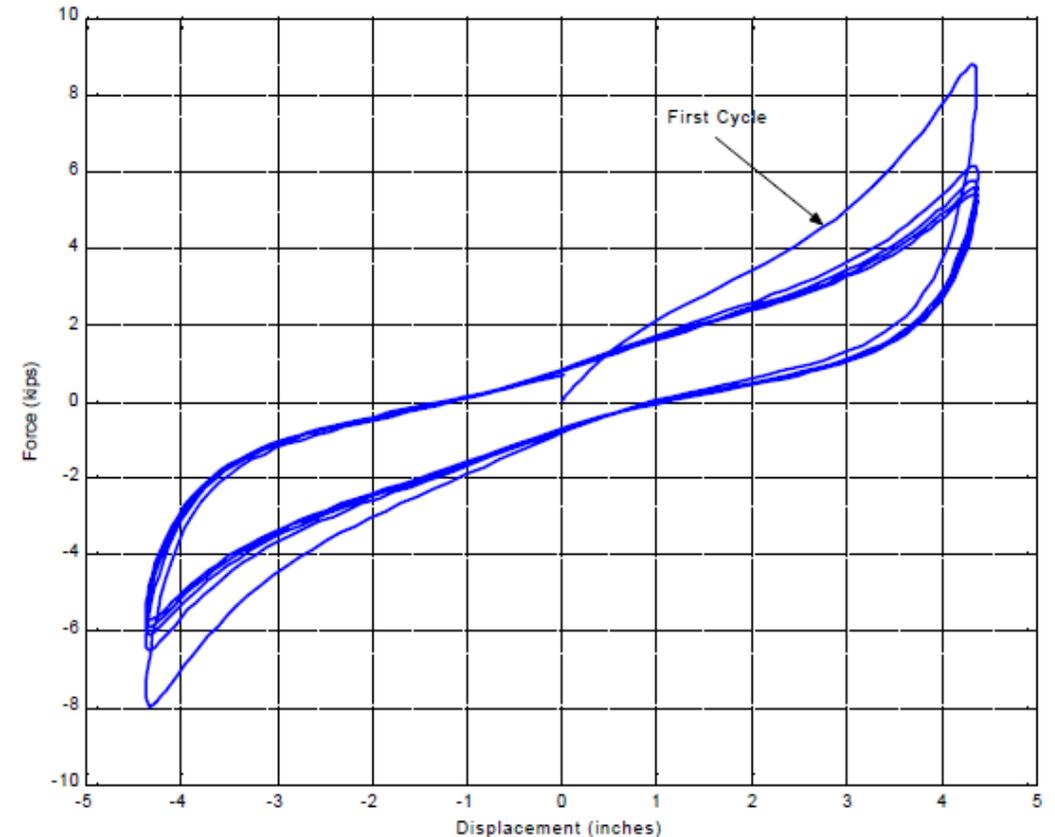
Goma Alto Amortiguamiento (HDRB)

Ventajas:

- Amortiguamiento moderado (hasta 12% aprox)

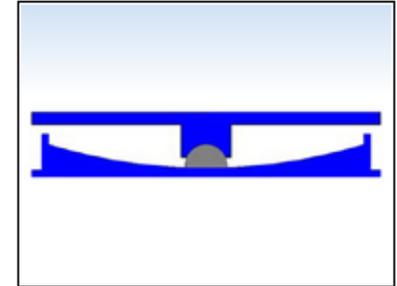
Desventajas:

- Período depende de la masa → Podría ser difícil alcanzar grandes períodos
- Altamente no lineal (mayor imprecisión en modelado)
- Scragging es más pronunciado
- Sensibles al fuego



Friccionales

- Péndulos Friccionales
- Deslizadores Friccionales
- Deslizamiento relativo entre dos materiales
 - Acero
 - PTFE



Imágenes EPS

Friccionales

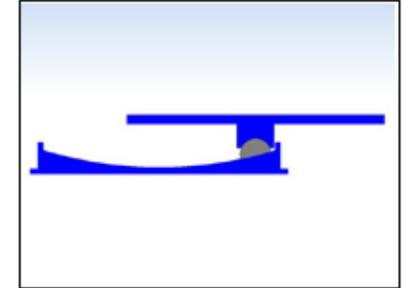
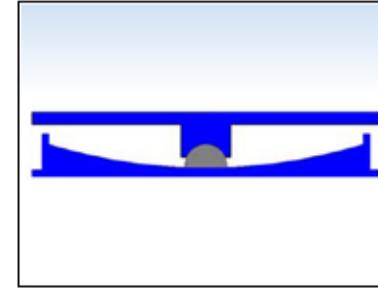
Péndulos Friccionales Simples

Ventajas:

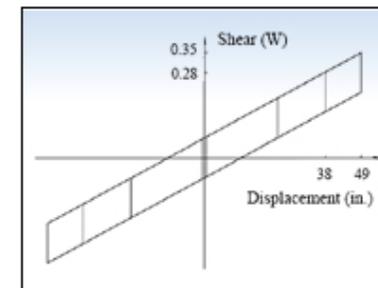
- Amortiguamiento debido a fricción
- Rebalancea Torsión en planta
- Período no depende de masa → útil para estructuras livianas
- Aumento de carga axial tiene menor impacto en tamaño del dispositivo

Desventajas:

- Fricción es un fenómeno físico más complejo
- Dependencia de carga axial y velocidad
- Levantamiento



Imágenes EPS



Friccionales

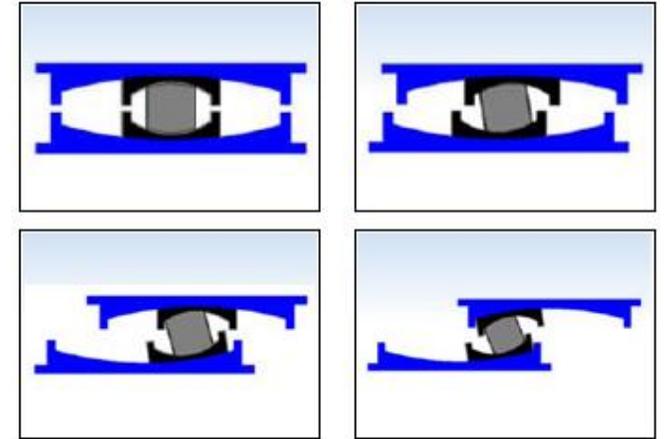
Péndulos Friccionales Triples

Ventajas:

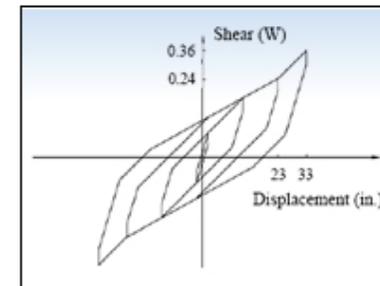
- Amortiguamiento debido a fricción
- Rebalancea Torsión en planta
- Período no depende de masa → útil para estructuras livianas
- Gran capacidad de deformación
- Aumento de carga axial tiene menor impacto en tamaño del dispositivo

Desventajas:

- Fricción es un fenómeno físico más complejo
- Dependencia de carga axial y velocidad
- Levantamiento
- Impacto con anillo
- Un solo proveedor (patentado)



Imágenes EPS



Deslizadores Friccionales

Ventajas:

- No aportan rigidez

Desventajas:

- Fricción es un fenómeno físico más complejo
- Dependencia de carga axial y velocidad
- No tiene restitución → Se debe combinar con otro sistema
- Levantamiento



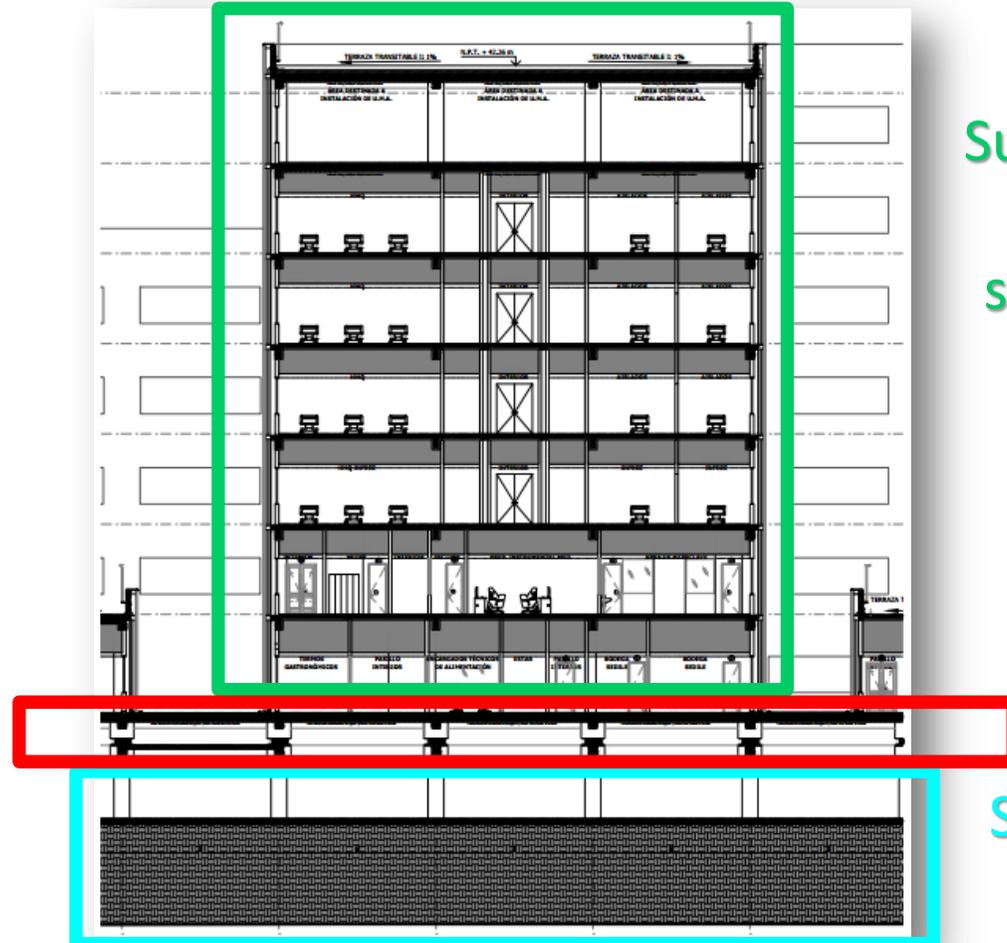
Imágenes FIP



Estructuración

- Superestructura: Todo lo que está sobre los aisladores
- Subestructura: Todo lo que está bajo los aisladores

Interfaz de
aislación



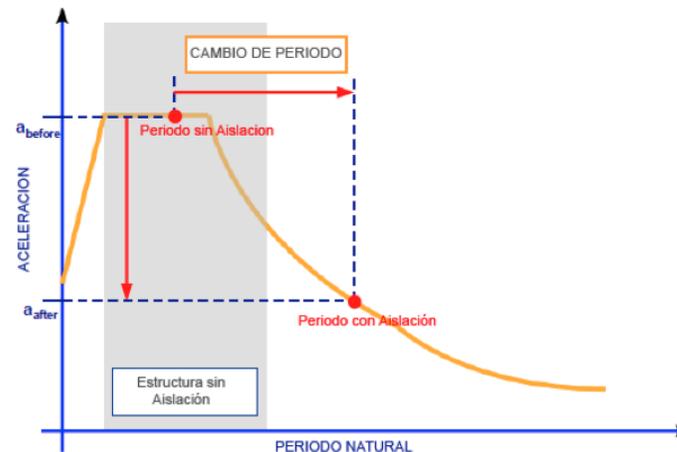
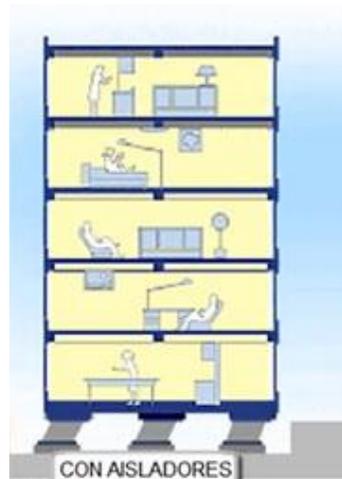
Superestructura
(protegida
sísmicamente)

Subestructura

Estructuración

Qué se necesita?

- Desacoplar la superestructura de la interfaz de aislación
 - Aisladores deben ser mucho más flexibles lateralmente que la superestructura
 - $T_{\text{AISLADO}} = 2.5 \text{ a } 3.0 T_{\text{BASE FIJA}}$



Estructuración

Qué se necesita?

- Desacoplar la superestructura de la interfaz de aislación

→ $T_{AISLADO} = 2.5 \text{ a } 3.0 T_{BASE FIJA}$

→ $T_{AIS} \approx 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{AIS}}}$ (Caso superestructura muy rígida)

→ Hay que lograr K_{AIS} bajo (sistema aislación flexible)

→ Hay que lograr $T_{BASE FIJA}$ bajo (superestructura rígida)

Qué se necesita?

- K_{AIS} bajo
 - Bajo cada elemento vertical debe ir un aislador
 - Mientras menos aisladores tenga, más fácil será llegar a K_{AIS} bajo
 - Optimizar n° columnas o elementos verticales
 - Alternativa es usar deslizadores bajo columnas con menor carga

Estructuración

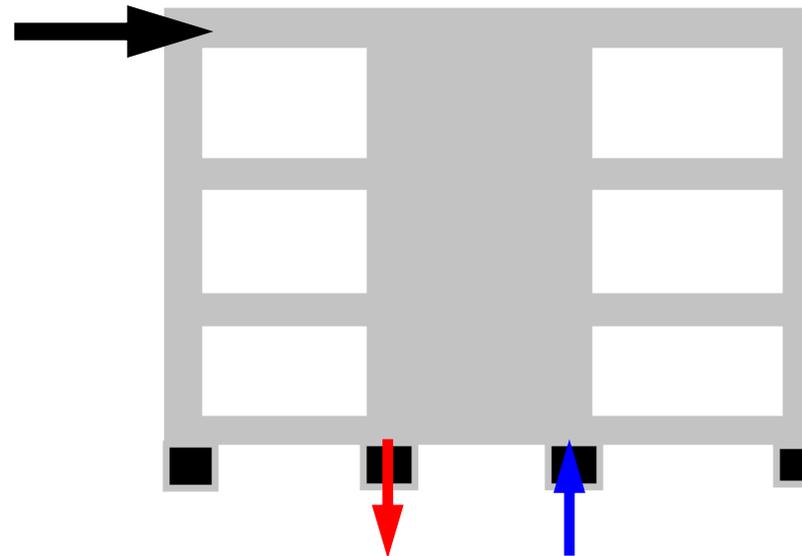
Qué se necesita?

- $T_{BASE FIJA}$ Bajo
 - Superestructura lo más rígida posible
 - Muros?
 - Arriostrar?

Estructuración

Qué se necesita?

- Evitar tracciones o compresiones excesivas en aisladores
→ Ojo con sistemas resistentes que resistan el momento volcante con un brazo de palanca pequeño



Estructuración

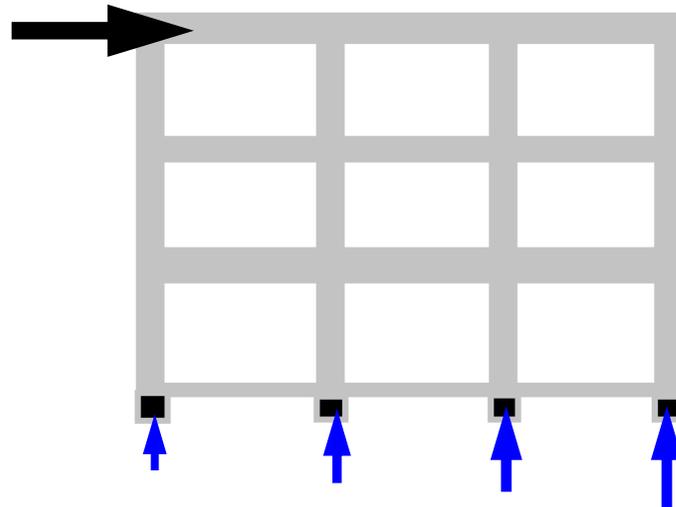
Qué se necesita?

- $T_{BASE FIJA}$ Bajo
 - Superestructura lo más rígida posible
 - Marcos?

Estructuración

Qué se necesita?

- Evitar tracciones o compresiones excesivas en aisladores
 - Marcos usan toda la planta para resistir el volcante
 - Son más flexibles → Puede ser necesario rigidizarla para lograr $T_{BASE FIJA}$ bajo
 - En caso de estructuras muy altas puede ser infactible



Estructuración

Qué se necesita?

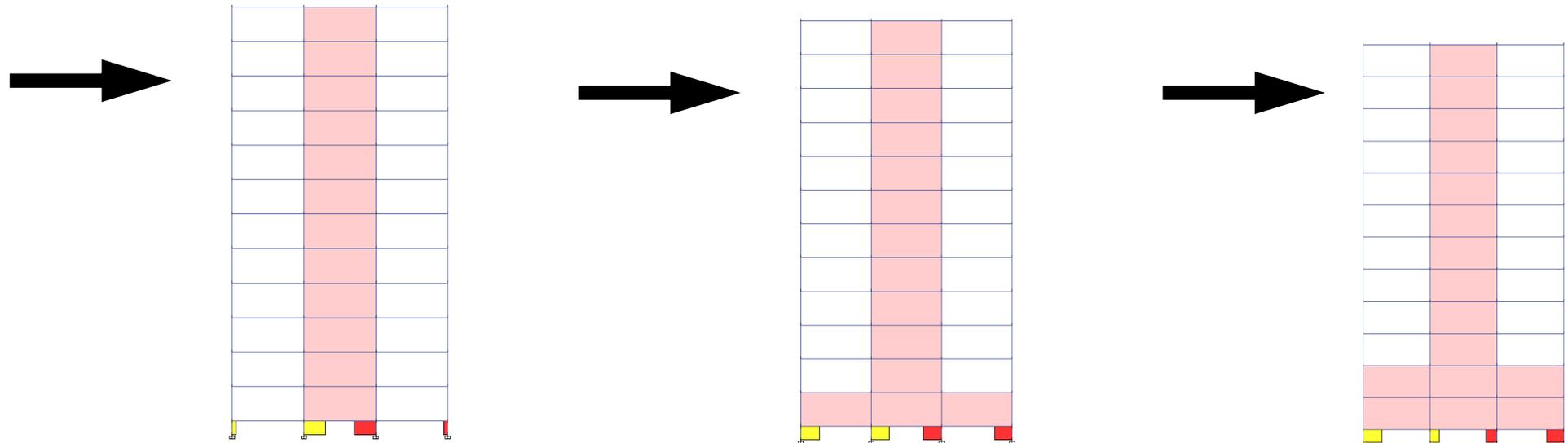
- $T_{BASE FIJA}$ **Bajo**
 - Superestructura lo más rígida posible
 - Limitar altura?

Estructuración

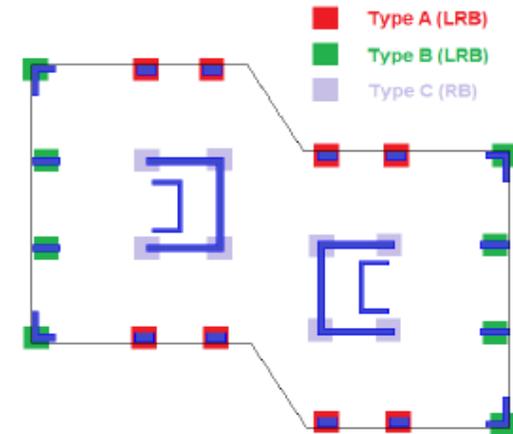
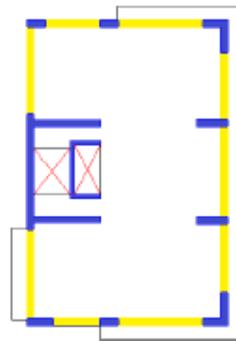
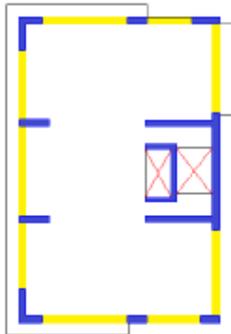
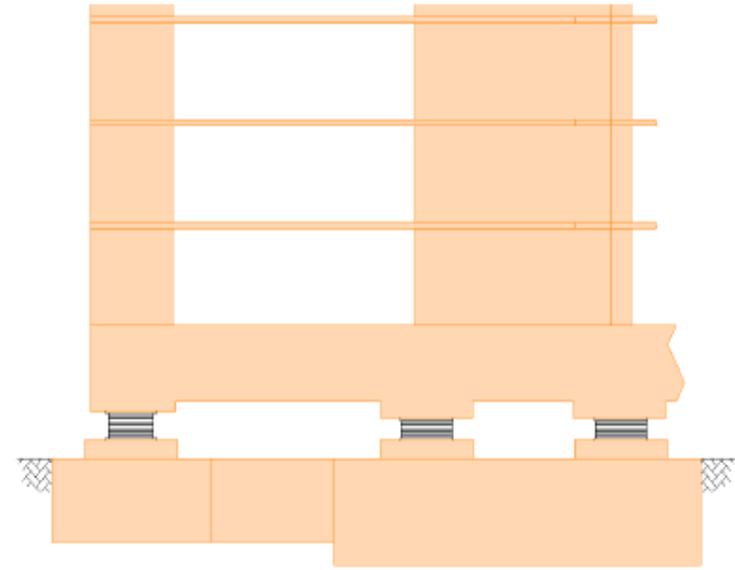
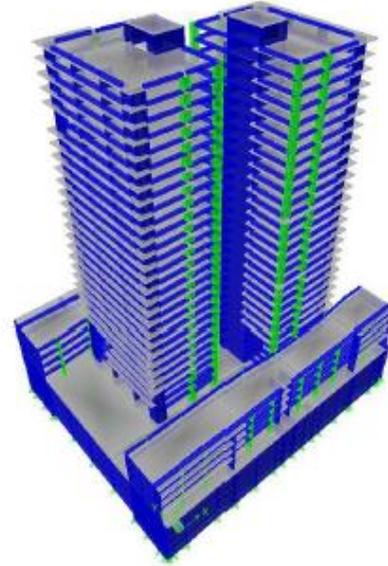
Qué se necesita?

- En edificios más altos lograr un $T_{BASE FIJA}$ bajo puede ser difícil sin muros

→ Acoplar muros con columnas externas



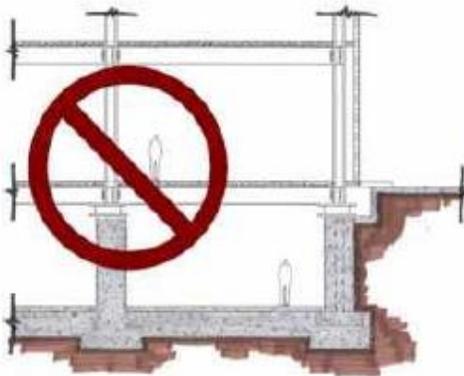
Estructuración



Estructuración

Qué se necesita?

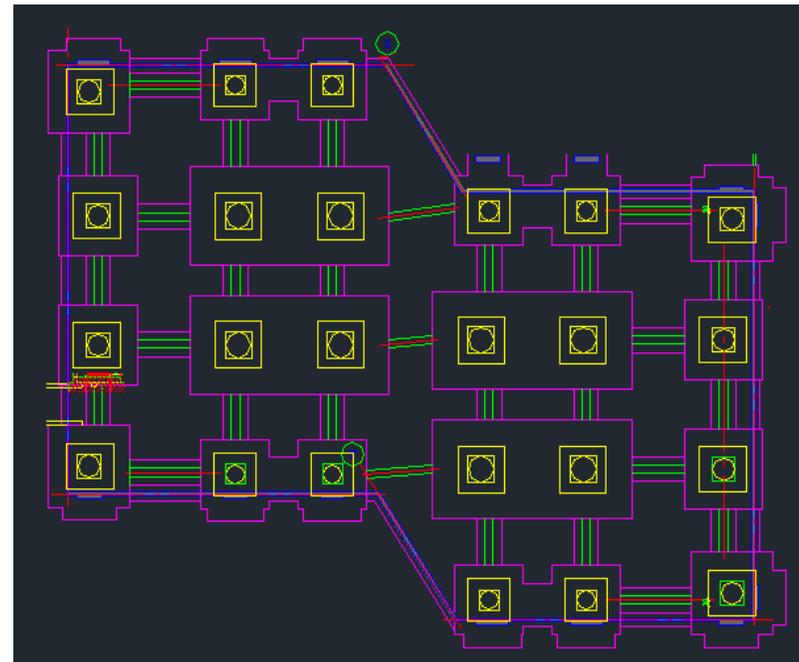
- Aisladores deben quedar empotrados en sus extremos
→ Se debe colocar un doble emparrillado de vigas sobre y bajo el aislador



Losa va en viga superior
Viga inferior es una columna acostada
→ Ojo con diseño (Flexión biaxial)

Qué se necesita?

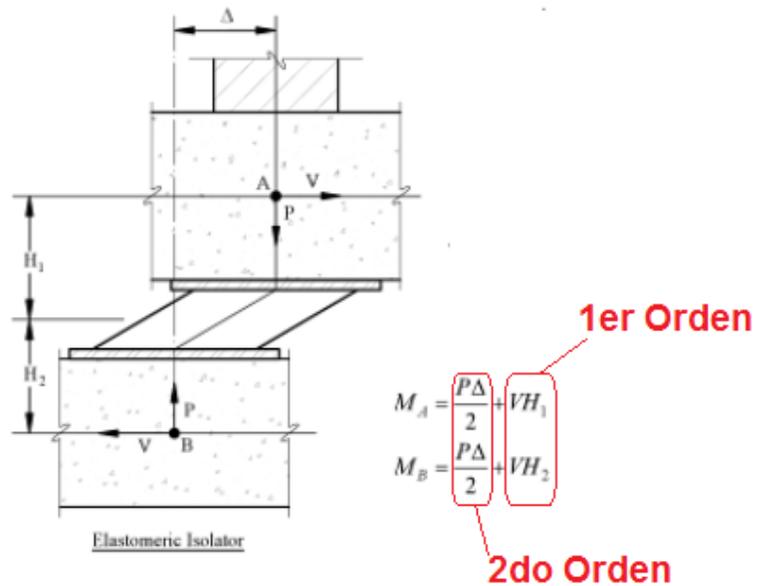
- Aisladores deben quedar empotrados en sus extremos
→ Evaluar viga de fundación en aisladores sobre zapatas



Estructuración

Qué se necesita?

- Se debe resistir momento P- Δ



Estructuración

Qué se necesita?

- Se debe resistir momento P- Δ

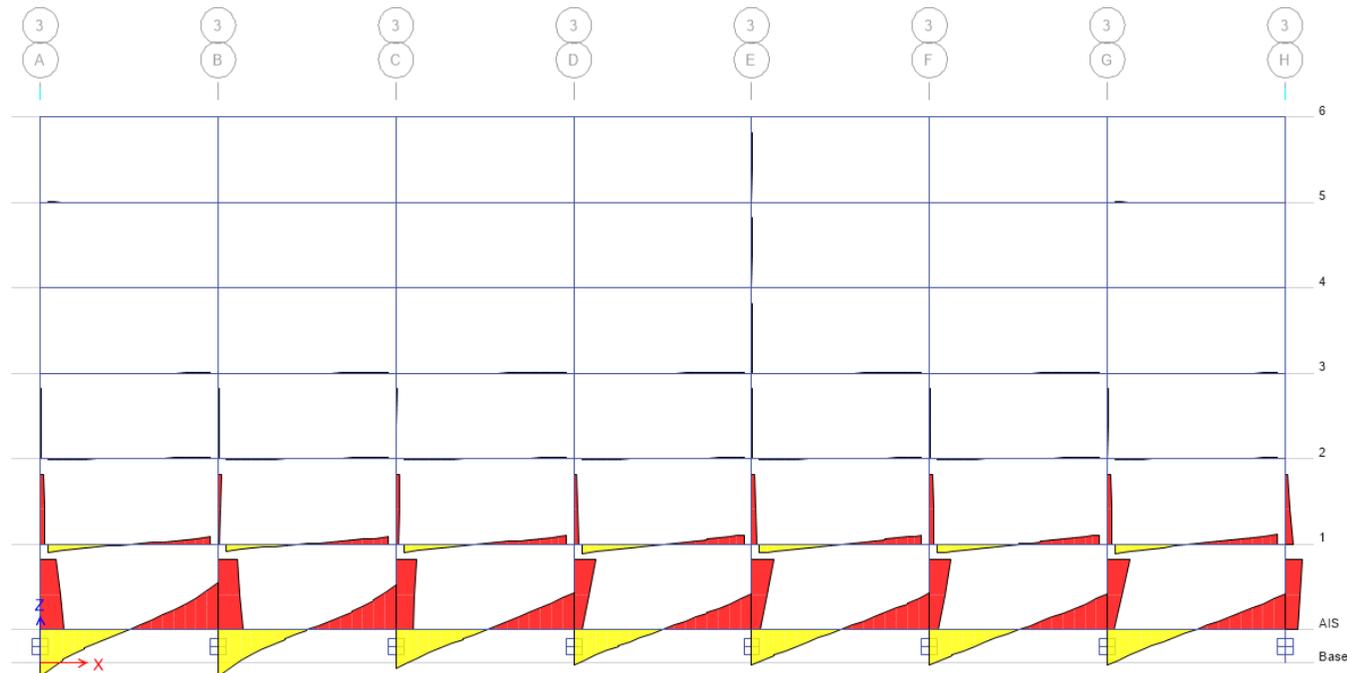


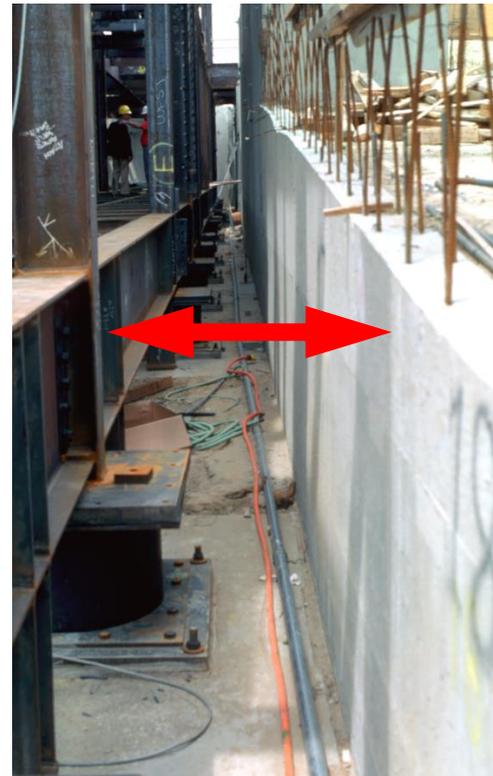
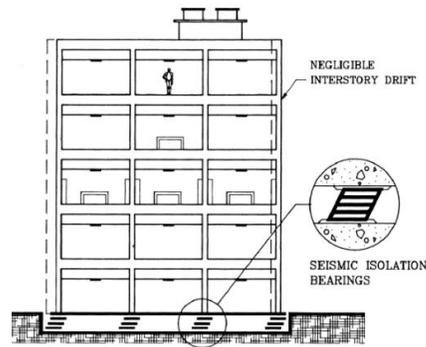
Diagrama de Momento por P- Δ

Efecto se concentra en primeros pisos, tanto en columnas como vigas

Estructuración

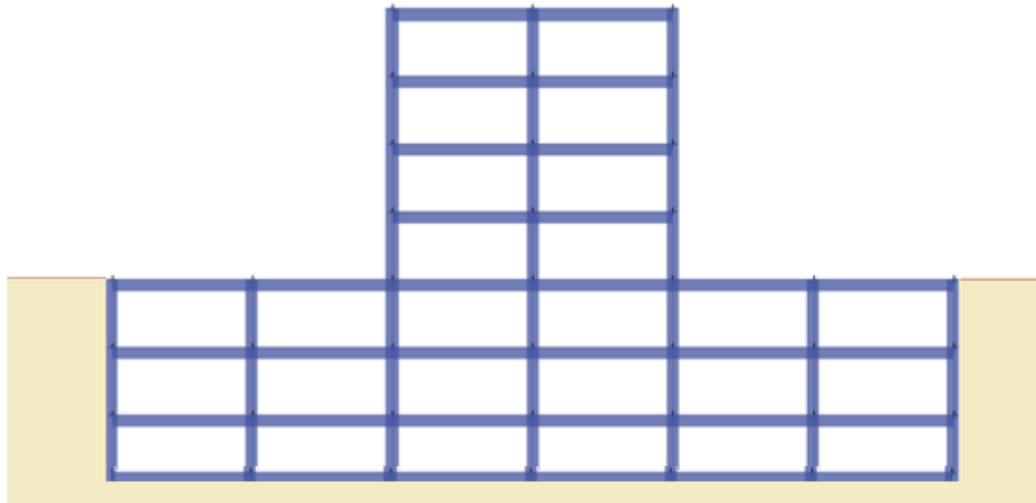
Qué se necesita?

- Se debe dejar holgura para que superestructura pueda moverse libremente (Gap)



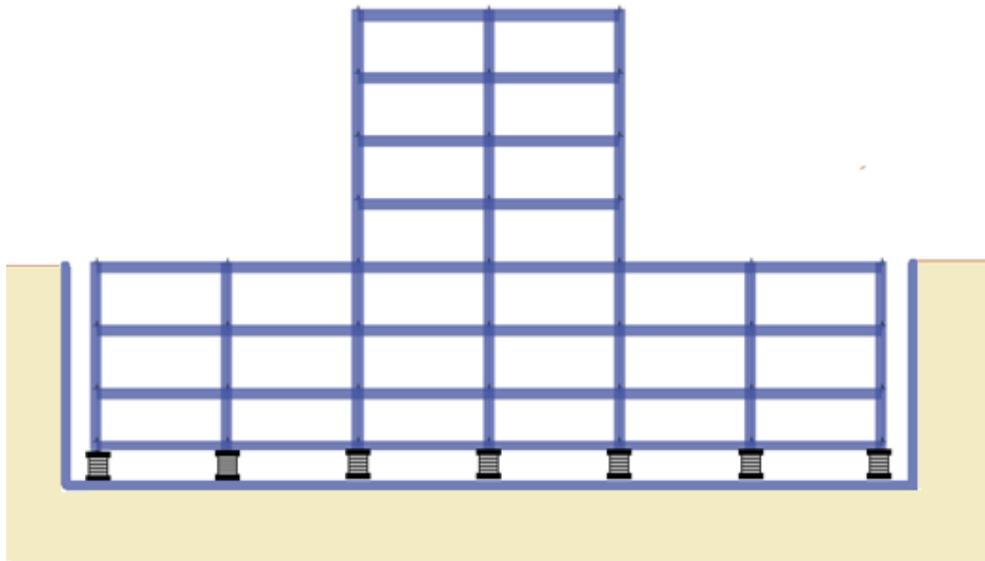
Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



Toda la estructura queda protegida (necesario?)

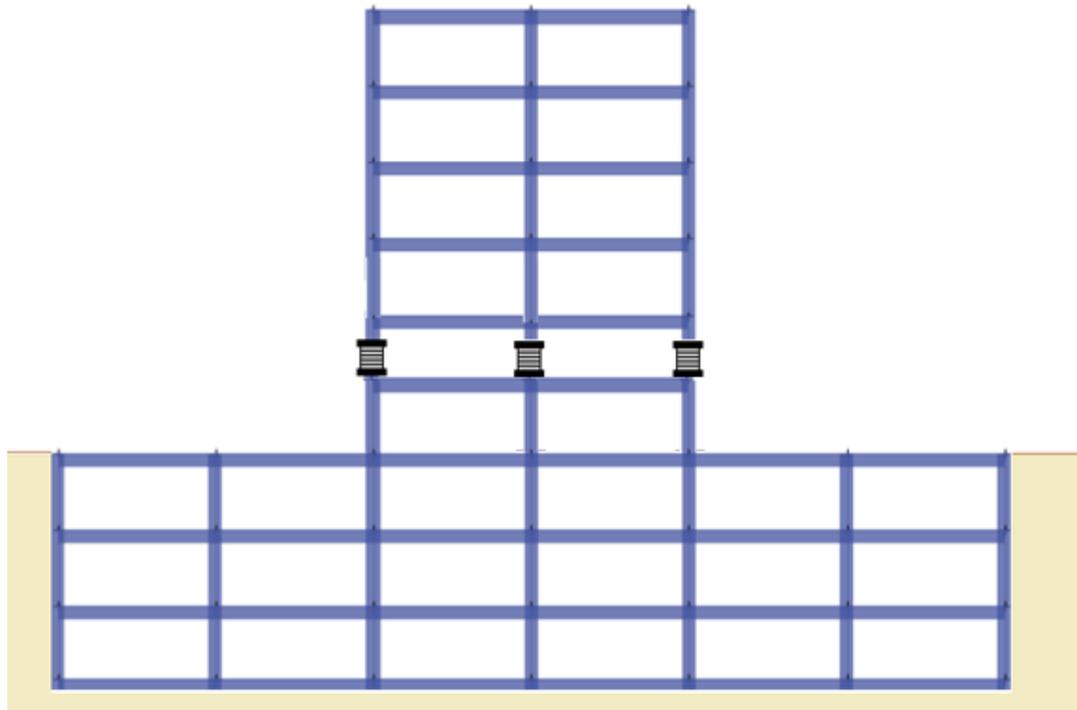
Gran cantidad de aisladores (caro)

Contención de tierra es cara

Radier ahora es losa

Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias

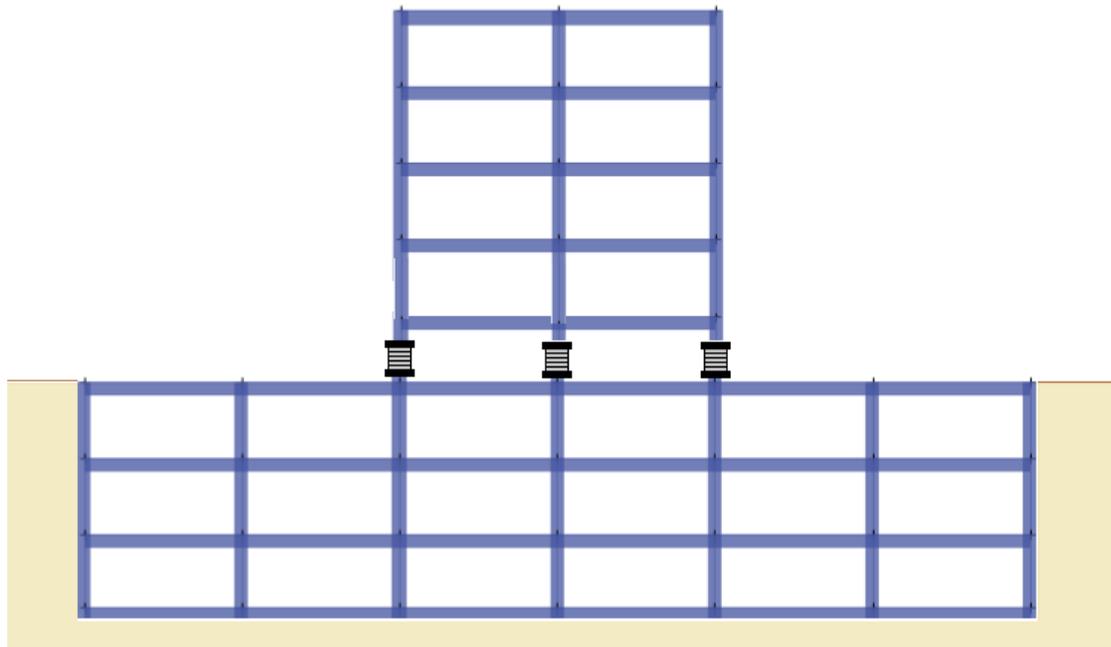


Subestructura es cara (se diseña con $R < 1.5$)

No hay problema con contención de suelos

Interfaz de aislamiento no debe cruzar ascensores

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



Subestructura es cara (se diseña con $R < 1.5$)

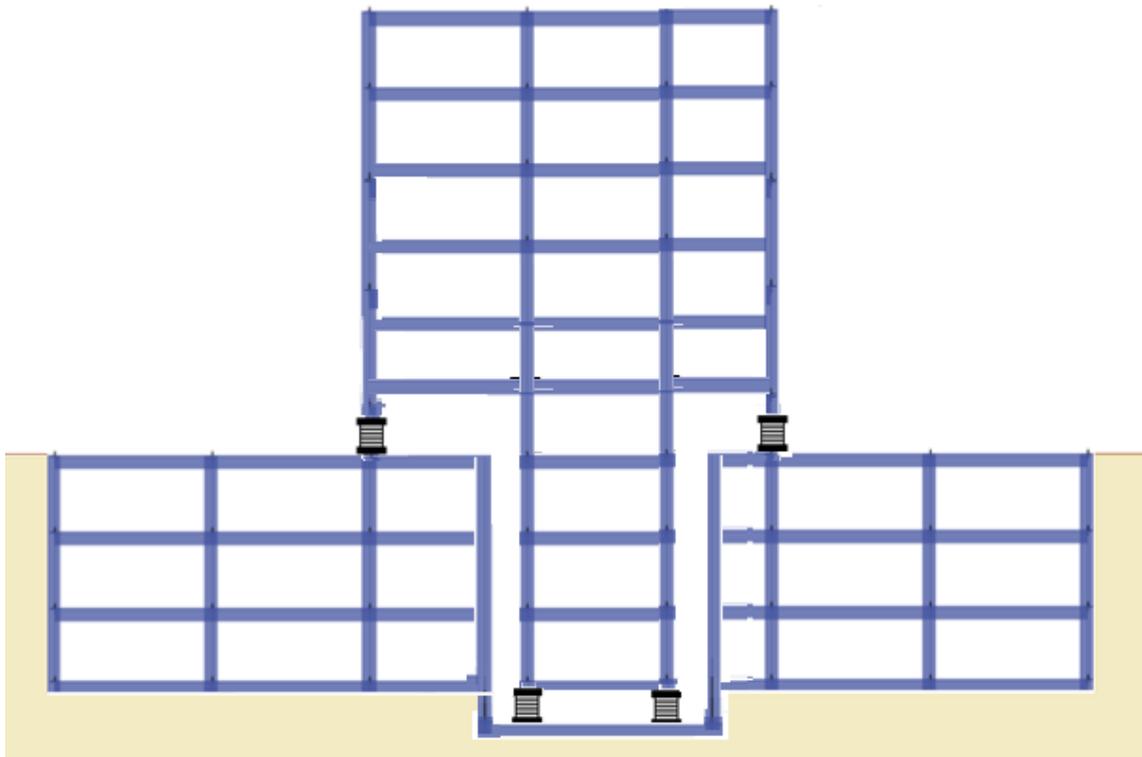
Suelo mitiga inercia de subestructura (está enterrado)

No hay problema con contención de suelos

Interfaz de aislamiento no debe cruzar ascensores

Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias

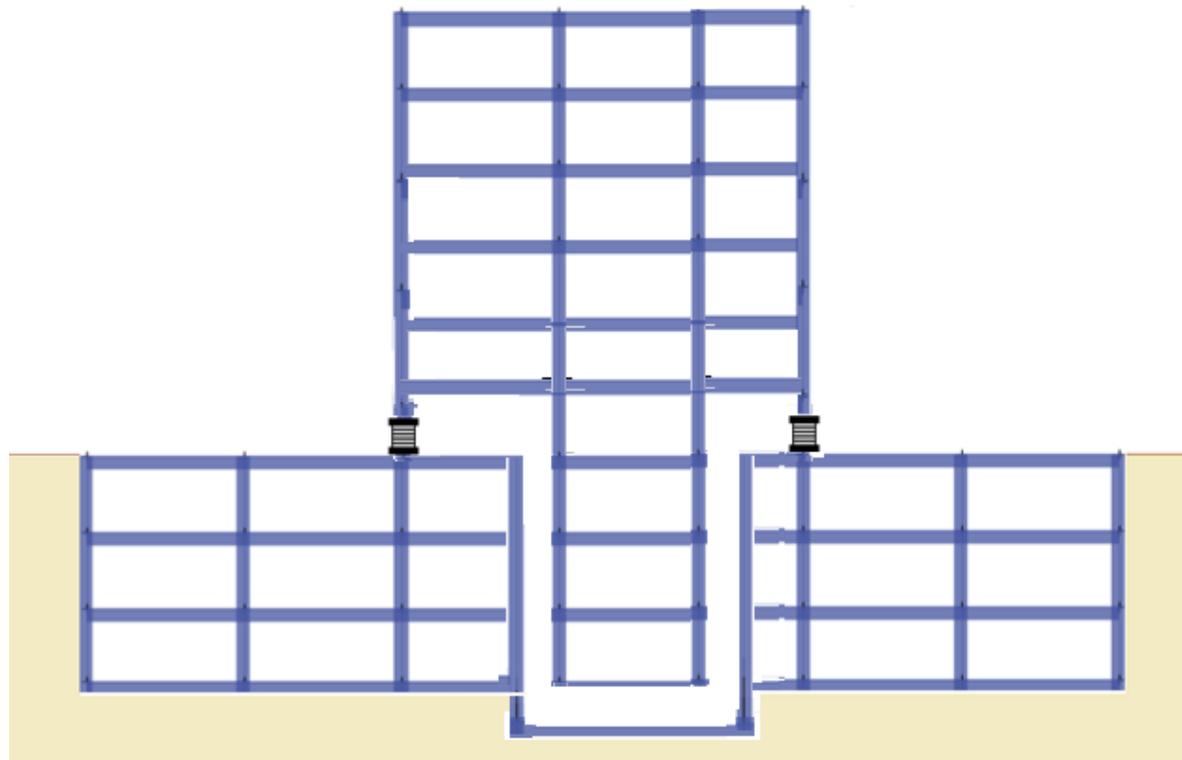


Para ascensores hay dos alternativas:

- 1) Apoyar caja de ascensores en aisladores (interfaz en pisos distintos)
→ Gap interno

Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias

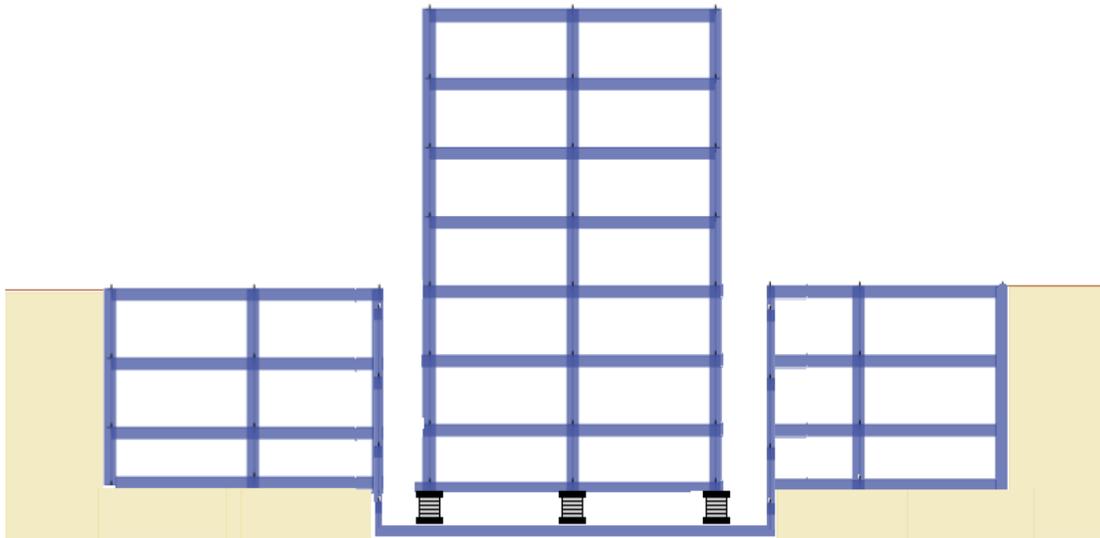


Para ascensores hay dos alternativas:

- 2) Colgar caja de ascensores de superestructura
→ Gap interno

Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



No hay problema con subestructura

No hay problema con contención de suelos

No hay problema con ascensores

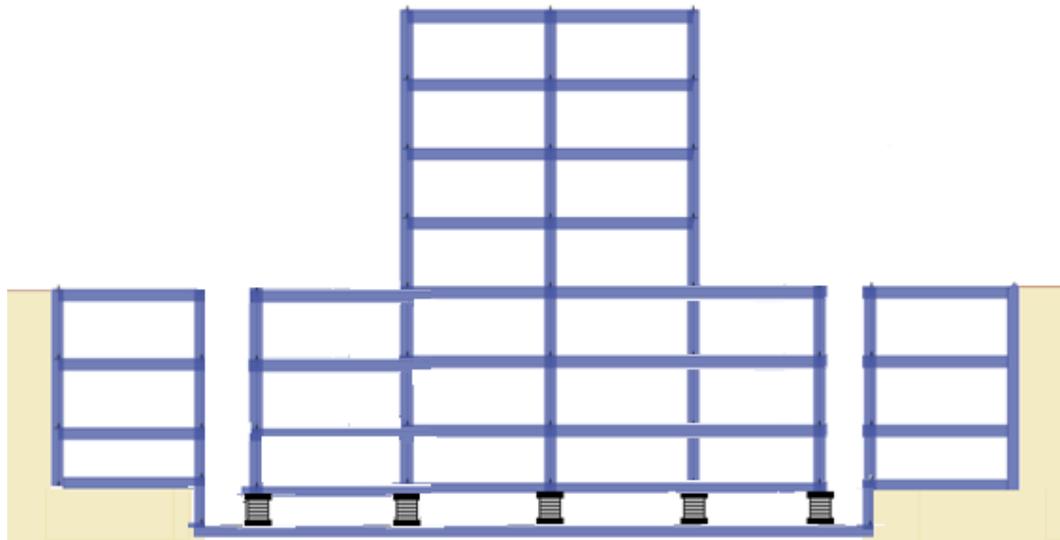
Doble Columna en torno a junta

Estructura más esbelta, puede generar tracciones en aisladores

Más estructura protegida (es necesario?)

Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



No hay problema con subestructura

No hay problema con contención de suelos

No hay problema con ascensores

Doble Columna en torno a junta

Estructura menos esbelta, ayuda a evitar tracciones

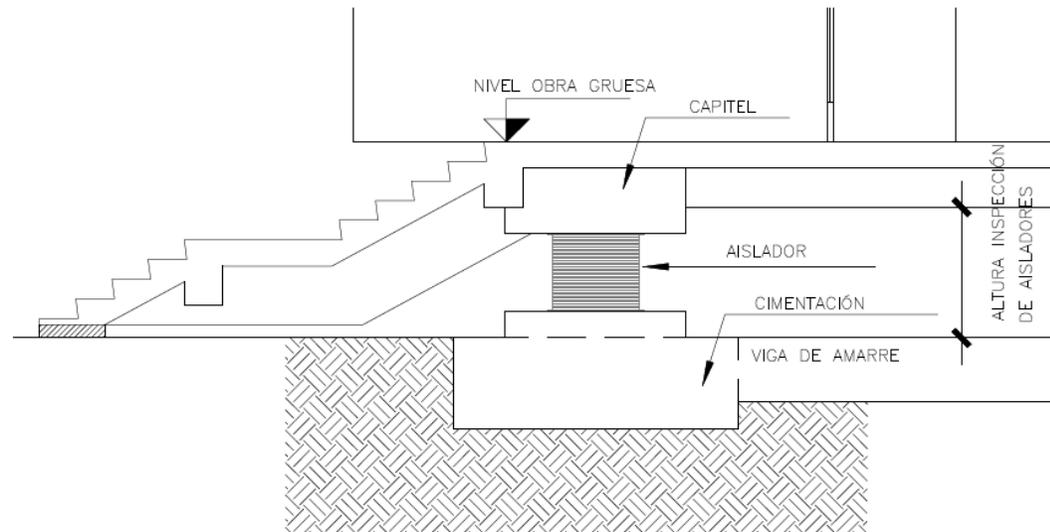
Más aisladores (más caro)

Más estructura protegida (es necesario?)

Impactos en Arquitectura

La aislación contiene un “paquete” que consiste en 2 vigas (uno sobre y otra bajo el aislador) de altura 50-70cms aprox, más aislador (35-50 cms de alto), más capiteles (altura variable)

→ El paquete mide entre 1.5 a 2.5 m → Casi un piso extra



AISLACIÓN SOBRE NIVEL DE TERRENO

Impactos en Otras Especialidades

- Todas las instalaciones que crucen la interfaz de aislamiento deben tener juntas flexibles



Impactos en Otras Especialidades

- Todas las instalaciones que crucen la interfaz de aislamiento deben tener juntas flexibles



Imagen: CDV

Costos aproximados

- Encarece:

- Losa o sistema de viga adicional

- Aisladores

- Conexiones flexibles

- Altura pérdida (o excavación adicional)

- Refuerzo por P- Δ

- Estructura de Pórticos (eventualmente)



- Economiza:

- Menor corte de diseño (eventualmente)

- Reparaciones y/o interrupción operación post sismo

Costos aproximados

- El costo directo de la estructura aislada es mayor
Aprox. 20-40 USD/m²
- Cuesta convencer a cliente de que estructura con menor demanda sísmica es más cara
Normas juegan rol, exigen más a estructuras aisladas
- Normas sísmicas deben tener un rol que promueva el uso de aislamiento y no al revés
 - Detallamiento sísmico
 - Diseño EnE
 - Menor incertidumbre



www.codigomodelosismico.org

Gracias por su atención