

# Diseño sismorresistente de edificios con aisladores elastoméricos

**Mario Lafontaine**  
Rene Lagos Engineers

Cochabamba, Bolivia  
17 de julio de 2024

UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
BOLIVIANA  
COCHABAMBA

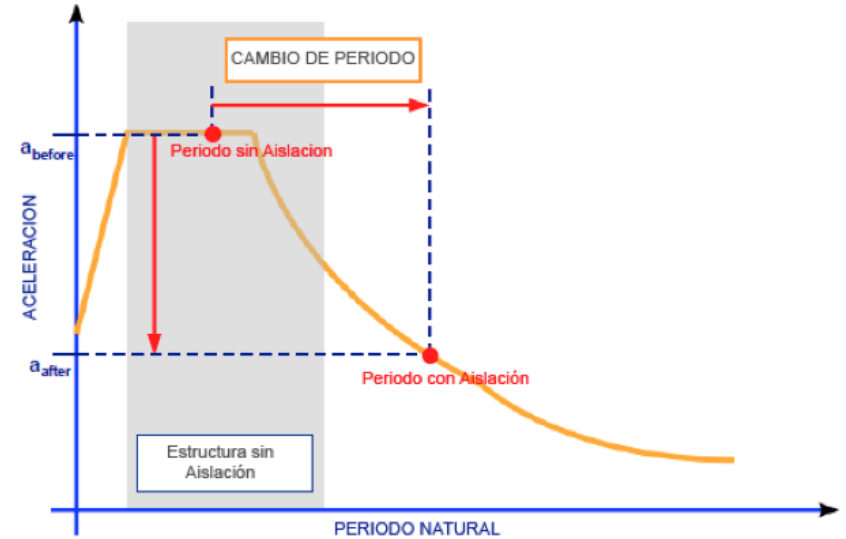
# Qué es la aislación sísmica

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



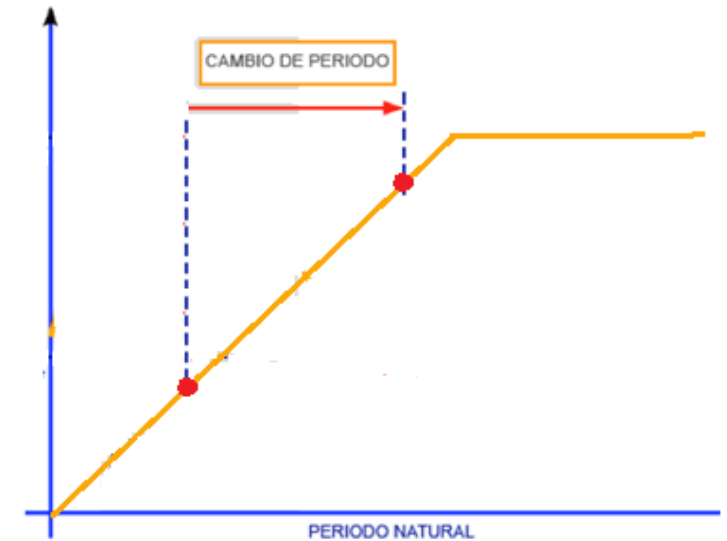
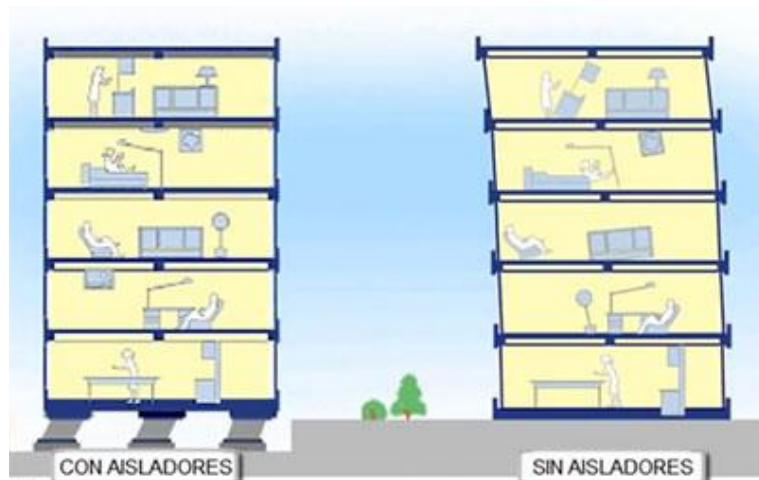
# Qué es la aislación sísmica

- Aumenta período del sistema
- Menores aceleraciones



# Qué es la aislación sísmica

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

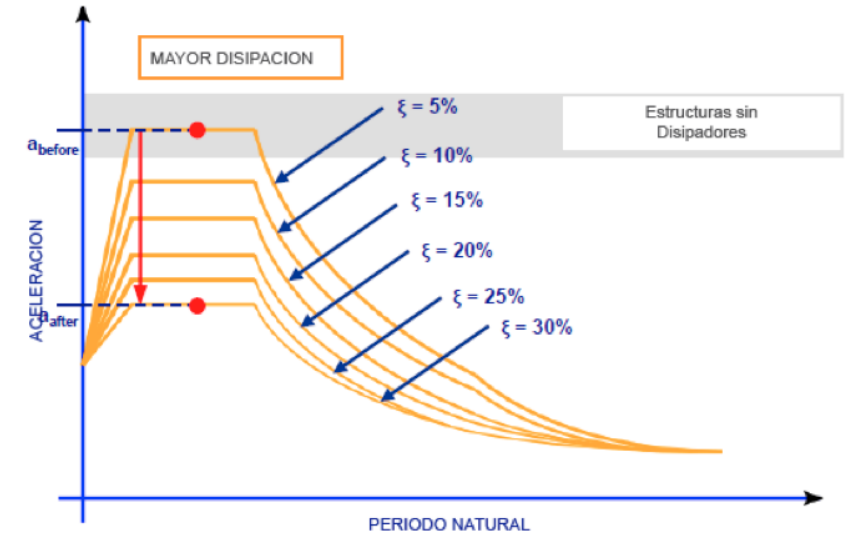


# Qué es la aislación sísmica

- En ocasiones se incorporan dispositivos para disipar energía

Núcleo de plomo  
Aditivos en goma  
Fricción  
Otros

- Aumenta amortiguamiento del sistema
- Menores aceleraciones
- Menores deformaciones



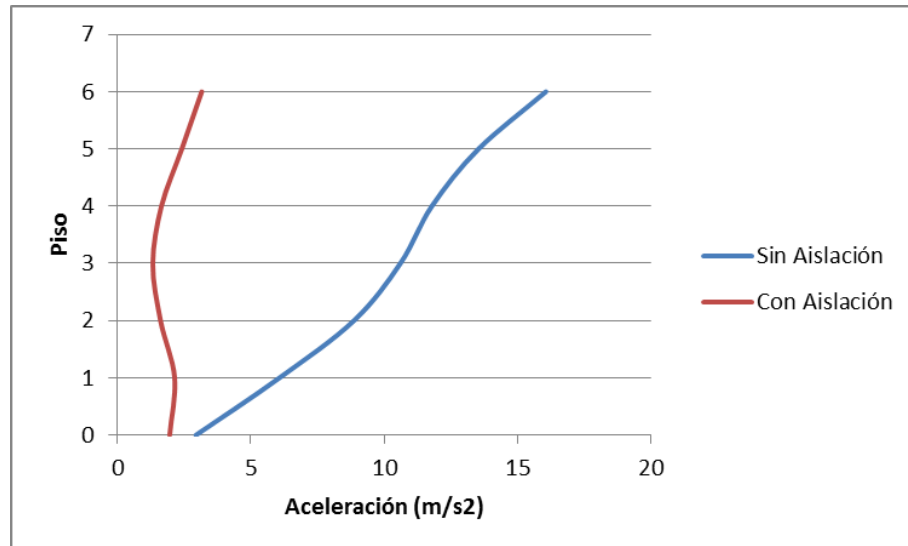
# Qué es la aislación sísmica

Resultado?



# Qué es la aislación sísmica

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

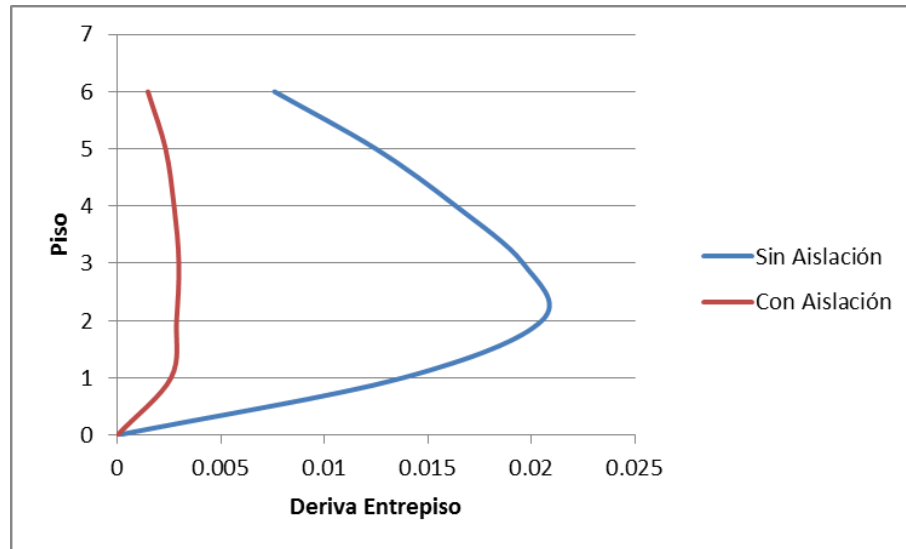


# Qué es la aislación sísmica

Menores deformaciones en estructura (deriva de entrepiso y total)

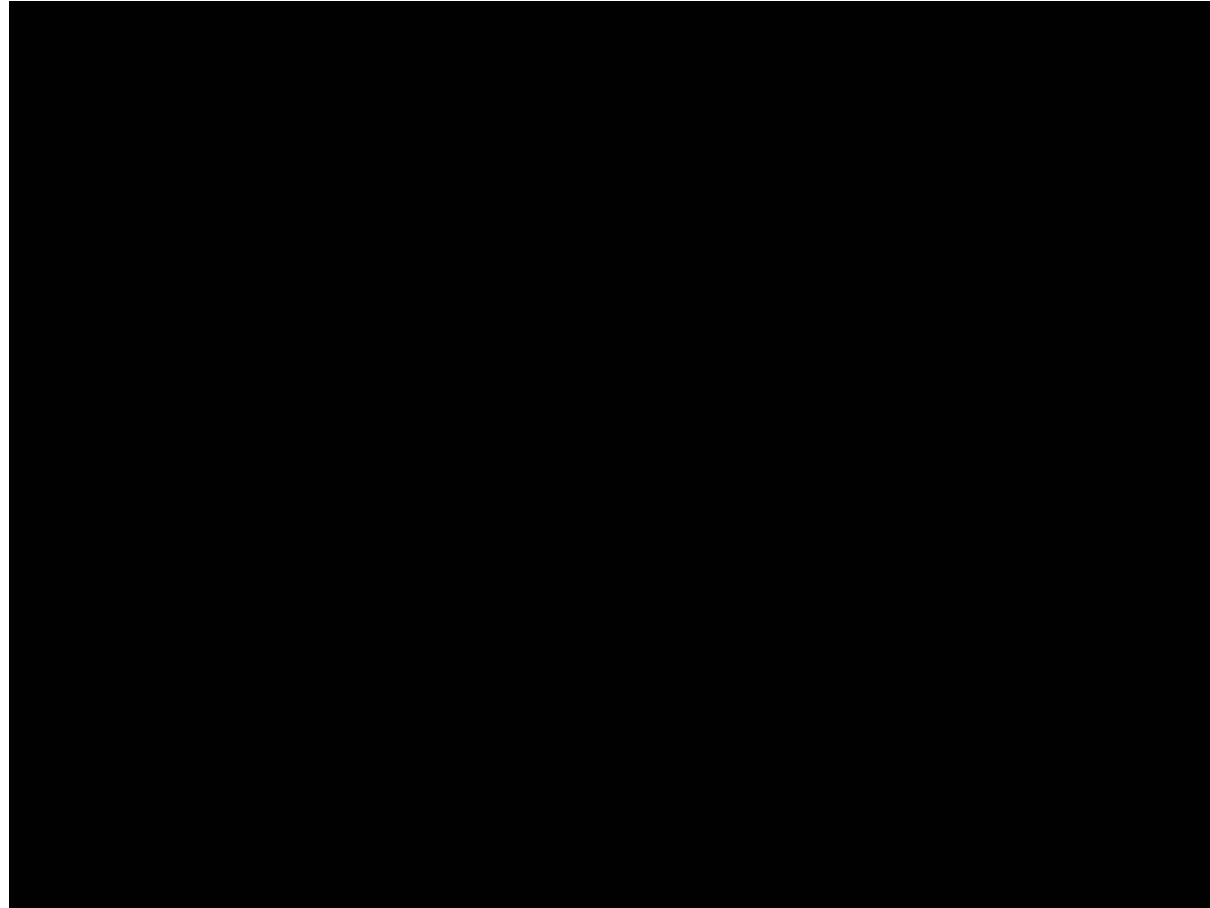
→ Menor daño en elementos no estructurales (tabiques)

→ Menor daño estructural





# Qué es la aislación sísmica



Experimento UC San Diego

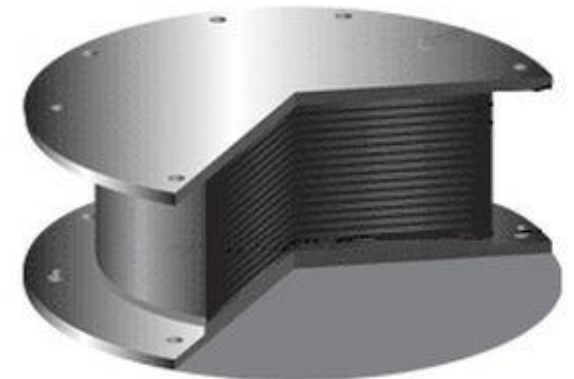
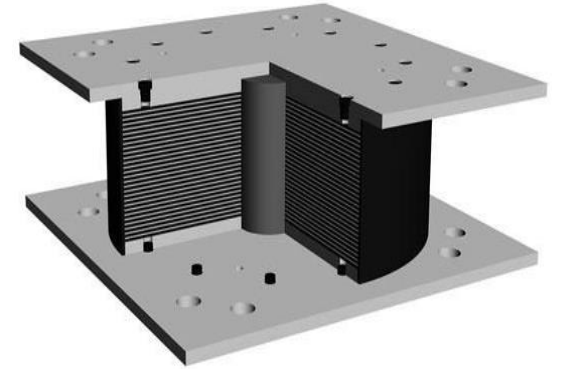
# Tipos de Aisladores

## 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

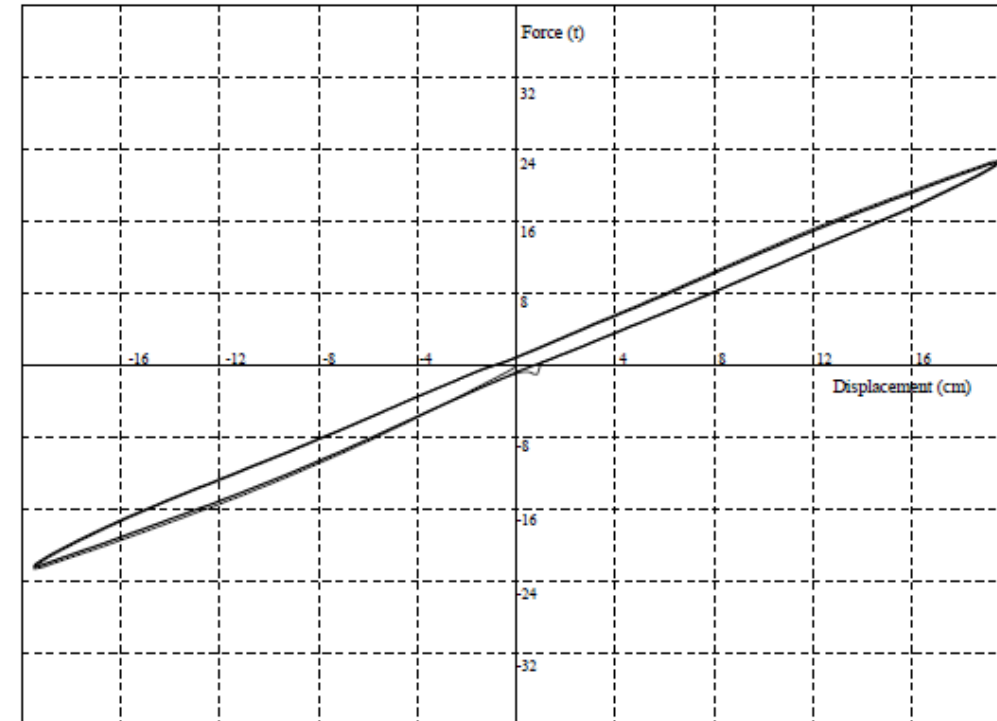
## Goma Natural (RB)

### 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



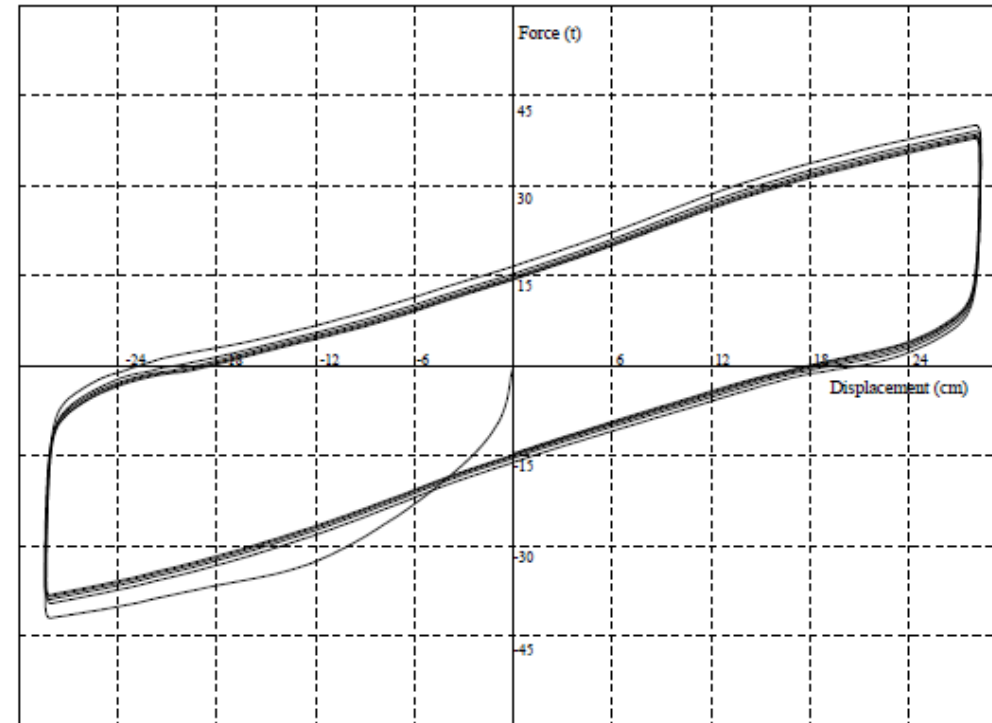
## Goma Natural con núcleo de plomo (LRB)

### 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



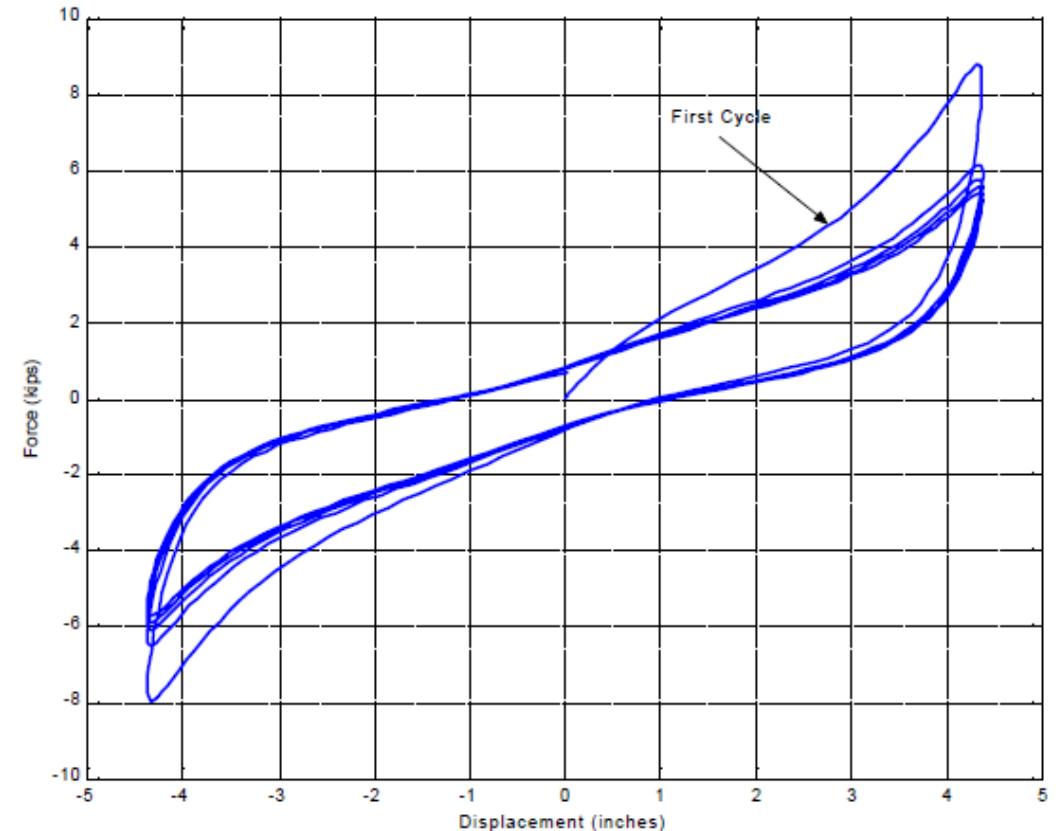
## Goma Alto Amortiguamiento (HDRB)

### Ventajas:

- Amortiguamiento moderado (hasta 12% aprox)

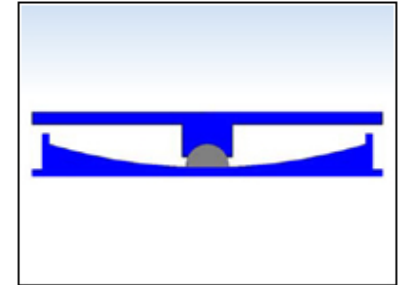
### Desventajas:

- 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

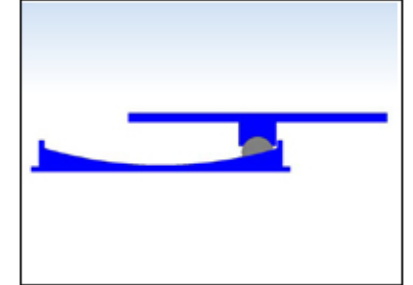
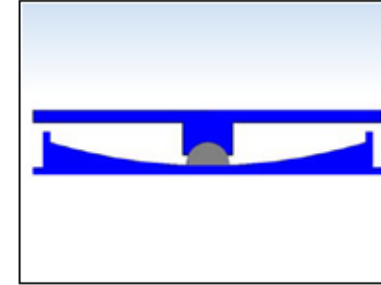
## Péndulos Friccionales Simples

### Ventajas:

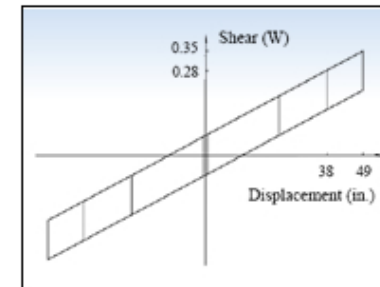
- Amortiguamiento debido a fricción
- Rebalancea Torsión en planta
- Período no depende de masa → útil para estructuras livianas
- Aumento de carga axial tiene menor impacto en tamaño del dispositivo

### Desventajas:

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



Imágenes EPS





# Friccionales

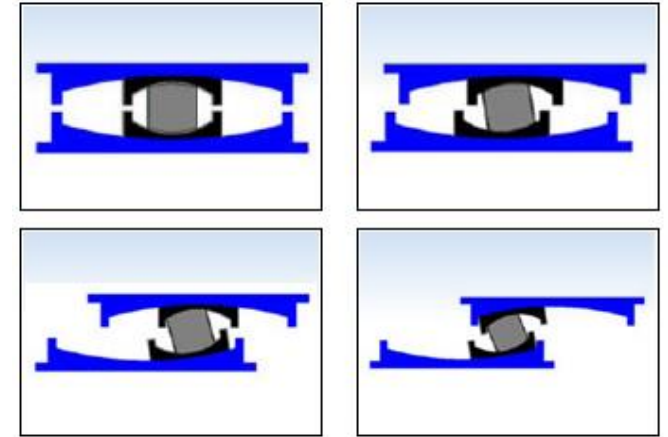
## Péndulos Friccionales Triples

### Ventajas:

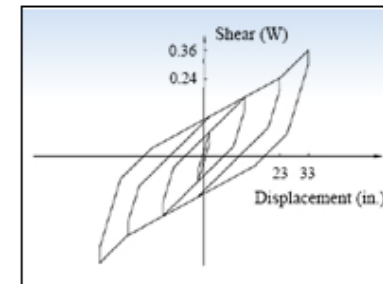
- Amortiguamiento debido a fricción
- Rebalancea Torsión en planta
- Período no depende de masa → útil para estructuras livianas
- Gran capacidad de deformación
- Aumento de carga axial tiene menor impacto en tamaño del dispositivo

### 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:

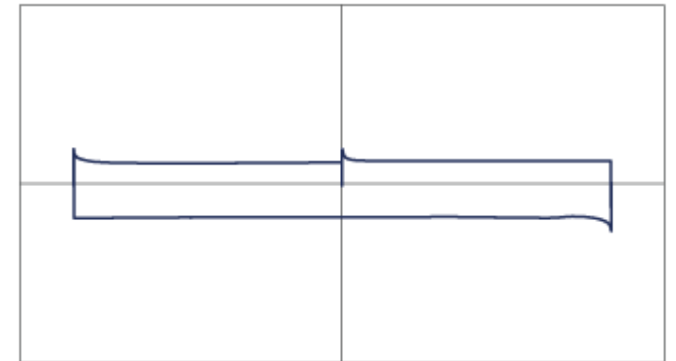
- No aportan rigidez

### Desventajas:

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



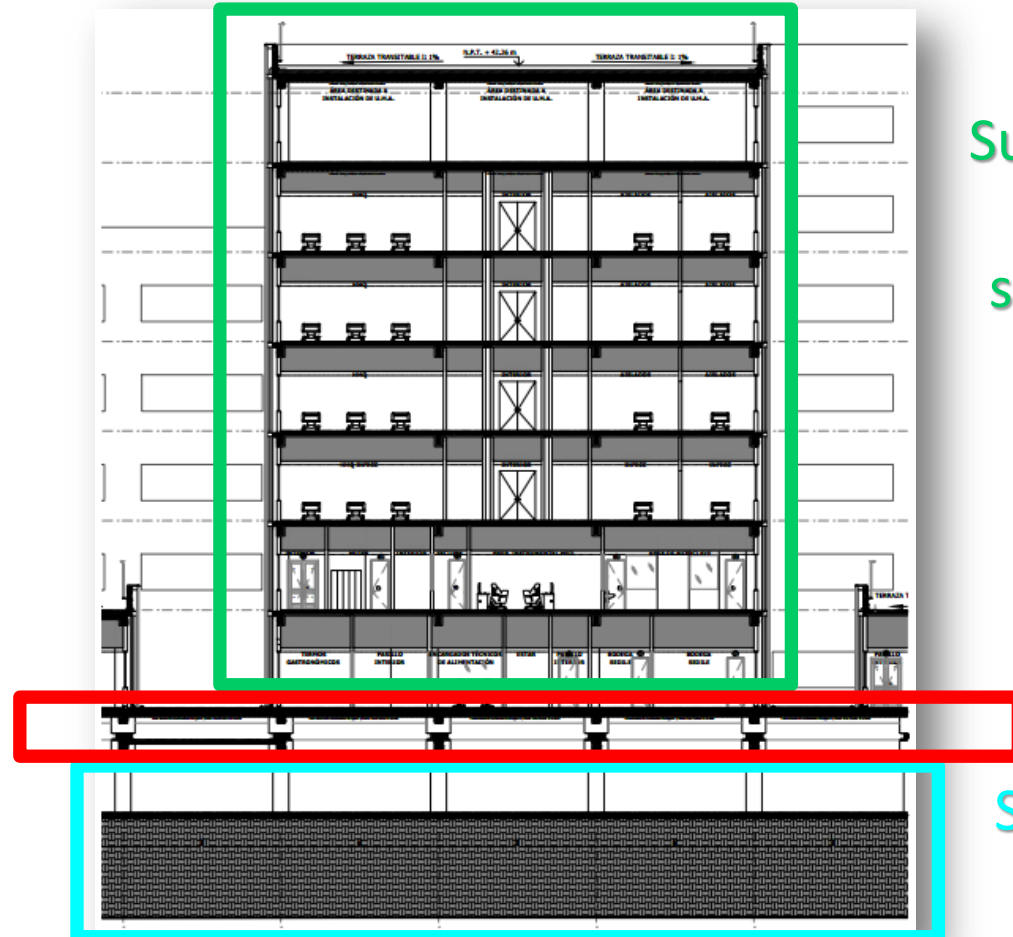
Imágenes FIP



# Estructuración

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

Interfaz de  
aislación

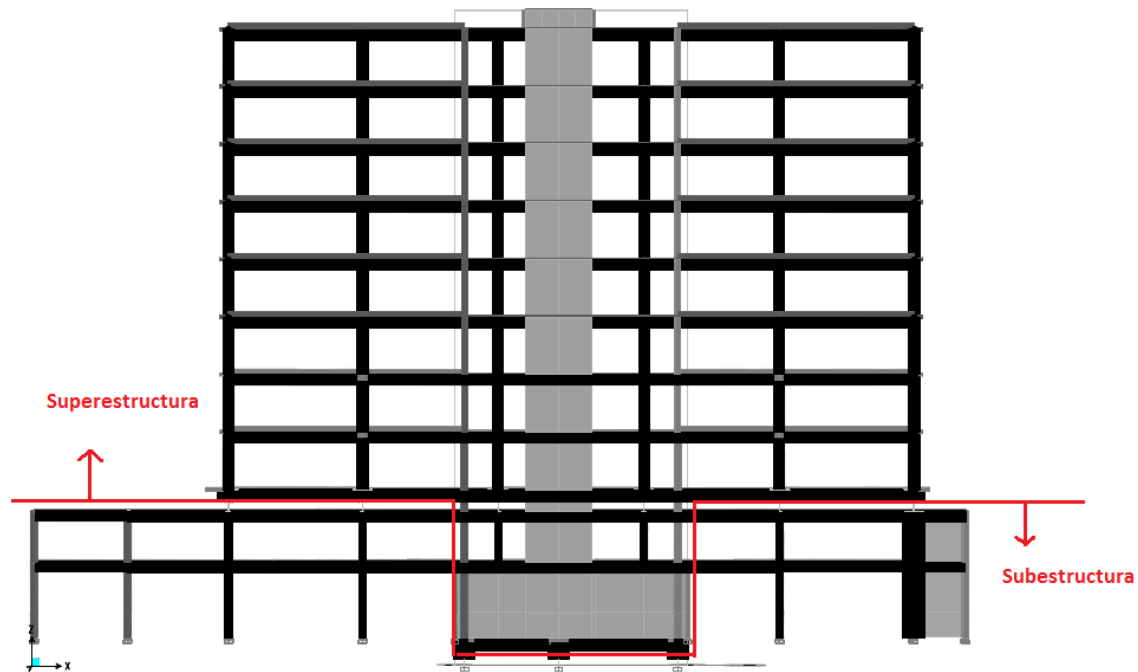


Superestructura  
(protegida  
sísmicamente)

Subestructura

# Estructuración

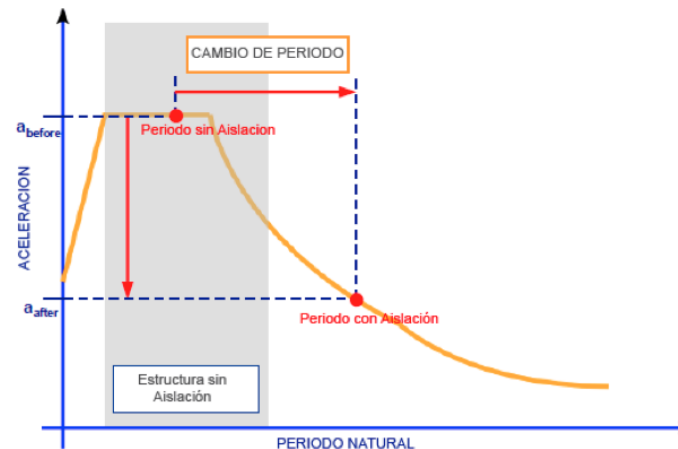
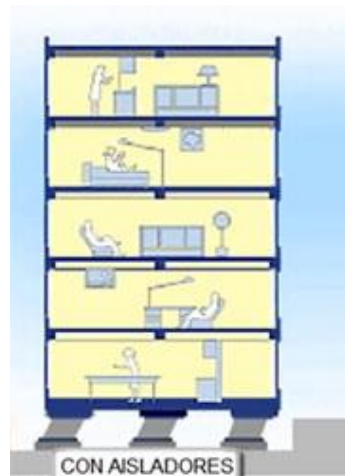
- Interfaz de aislamiento no necesariamente en un solo nivel (circulaciones verticales)



# 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?

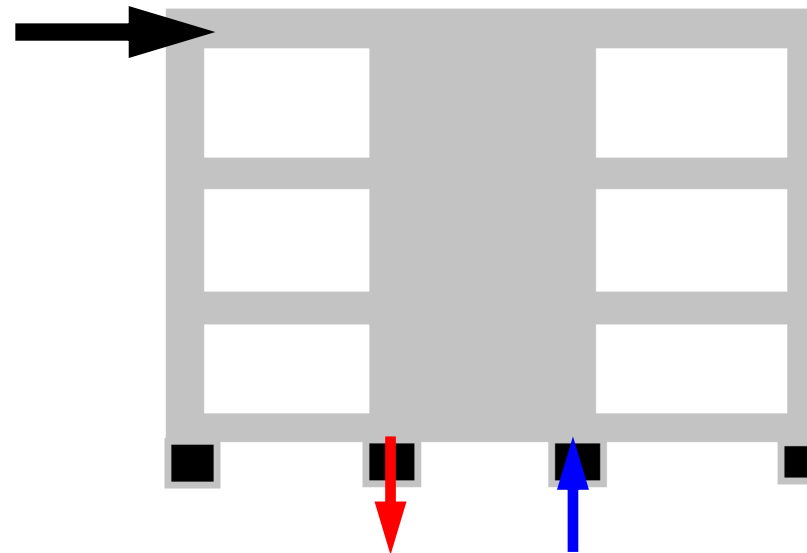
- $T_{BASE FIJA}$  Bajo
  - Superestructura lo más rígida posible
    - Muros?
    - Arriostrar?



# 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

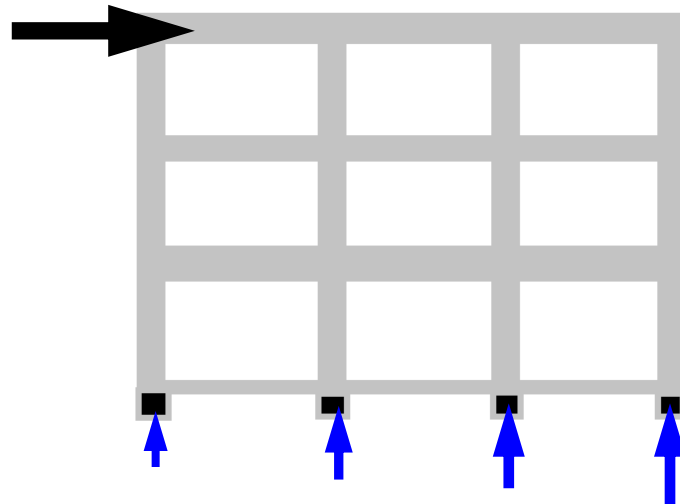
Qué se necesita?

- $T_{BASE FIJA}$  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

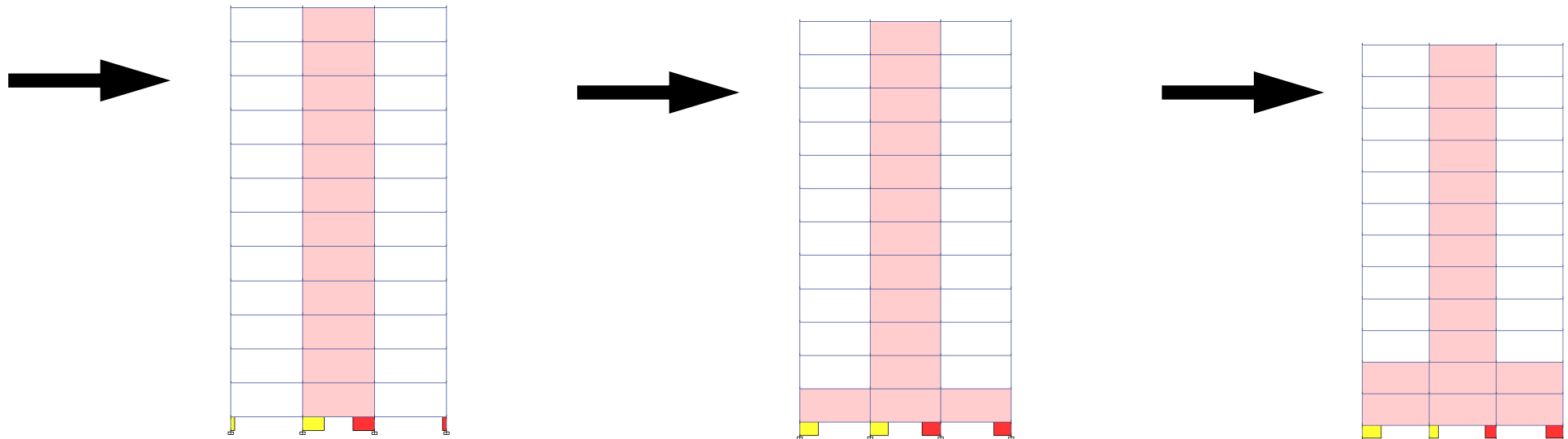
Qué se necesita?

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

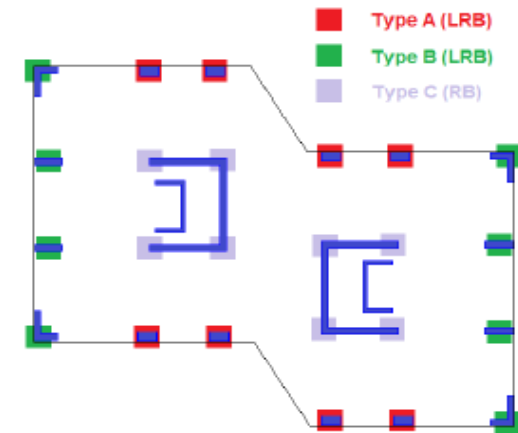
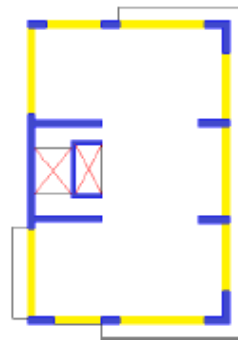
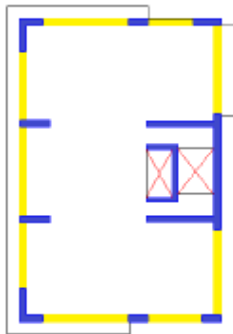
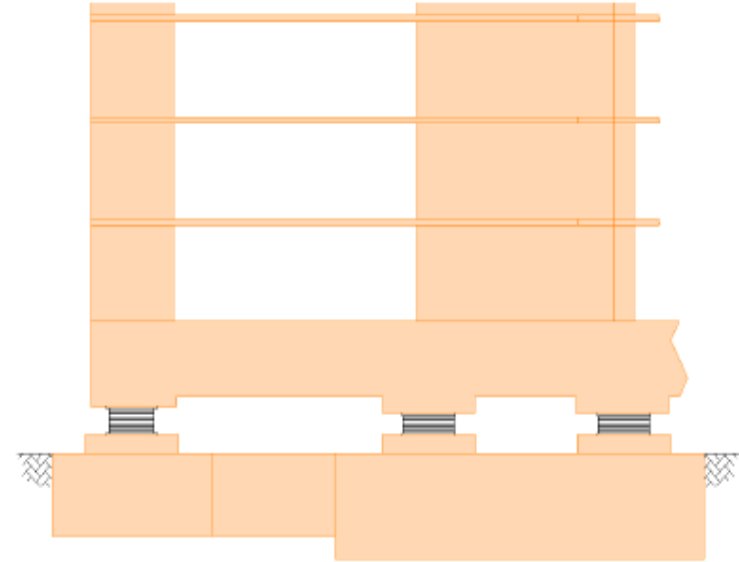
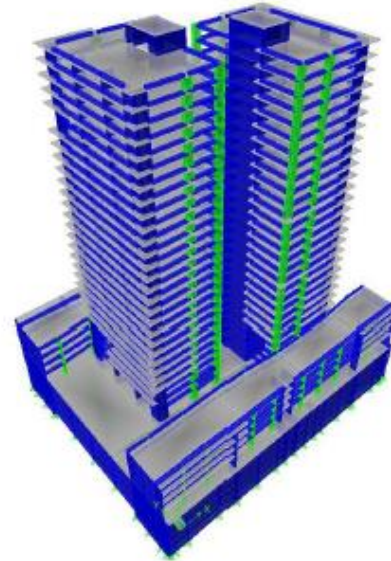
# Estructuración

Qué se necesita?

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



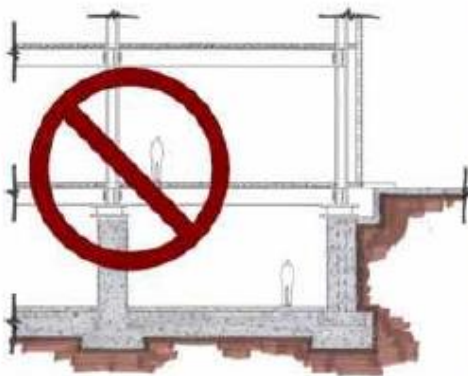
# Estructuración



# Estructuración

Qué se necesita?

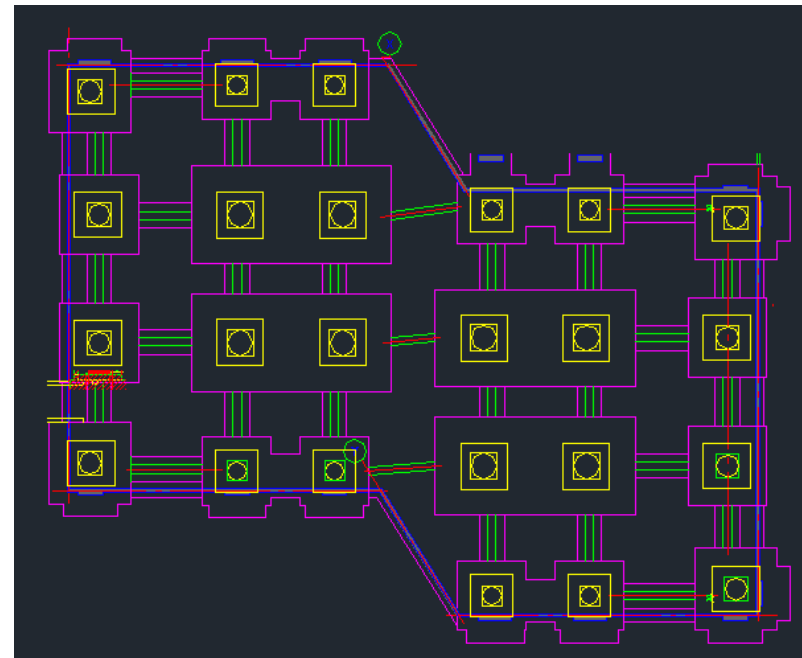
- Aisladores deben quedar empotrados en sus extremos  
→ Se debe colocar un doble emparrillado de vigas sobre y bajo el aislador



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

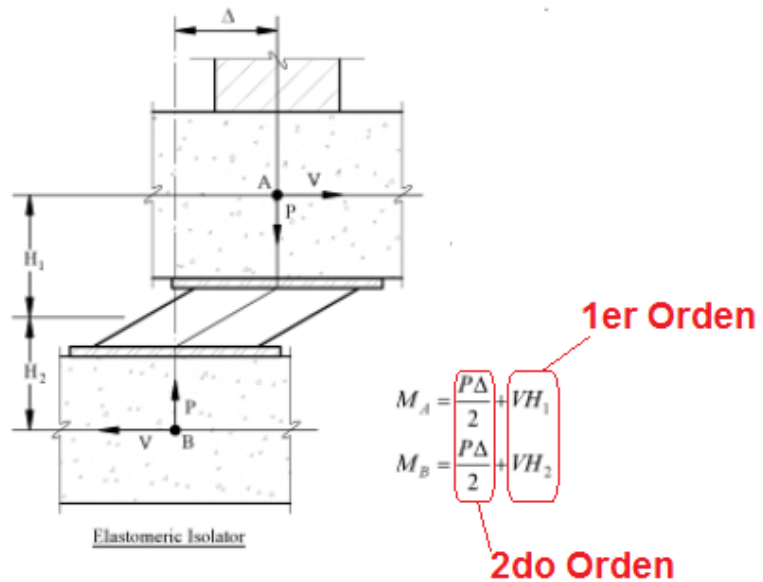




# Estructuración

Qué se necesita?

- Se debe resistir momento P- $\Delta$



# Estructuración

Qué se necesita?

- Se debe resistir momento P- $\Delta$

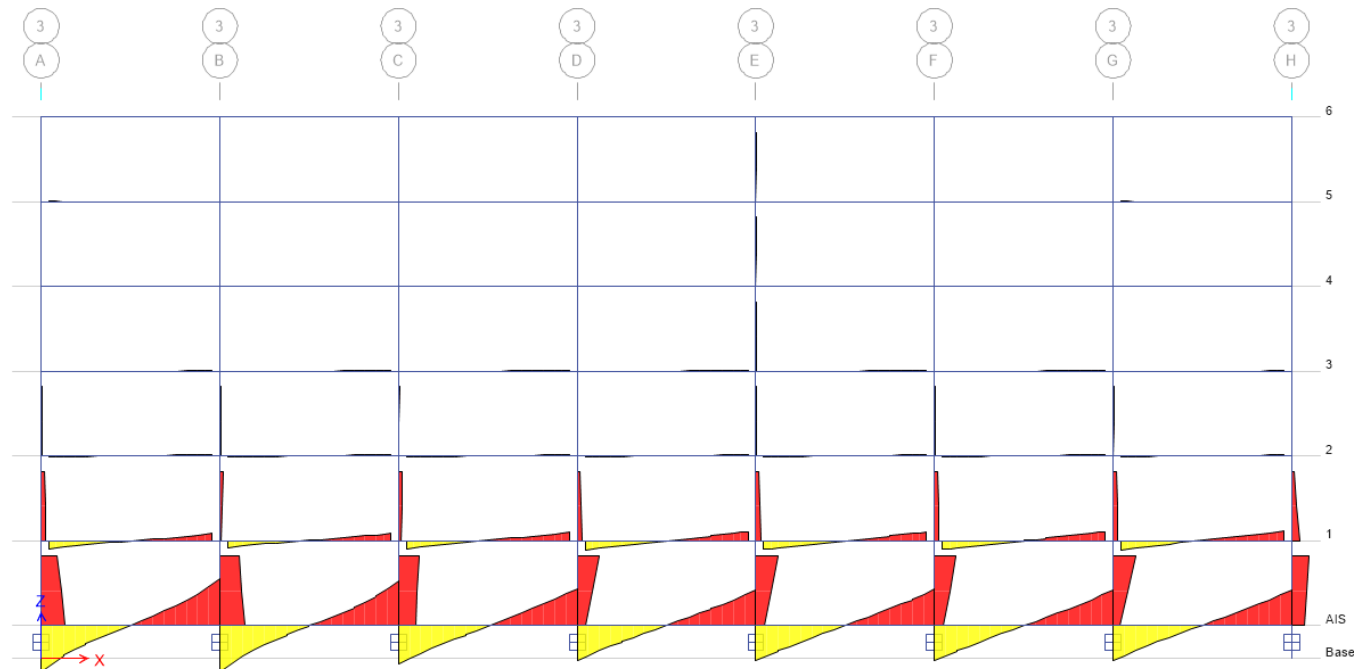


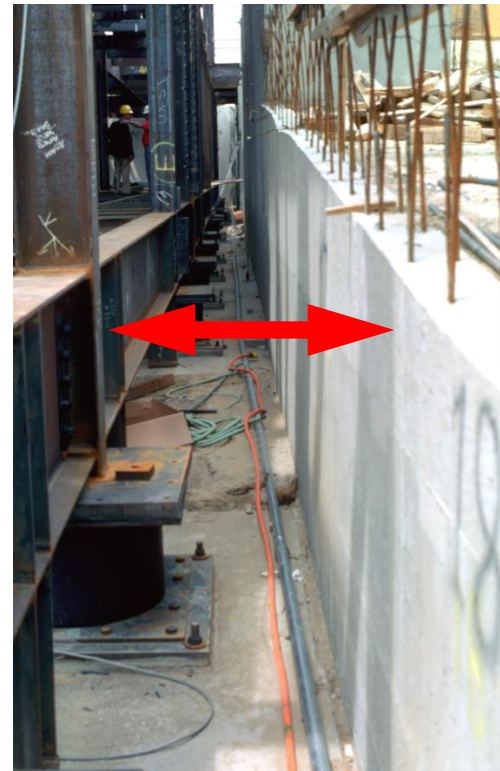
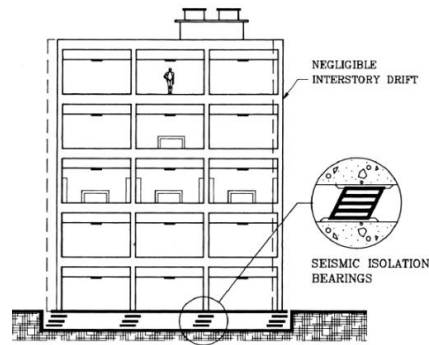
Diagrama de Momento por P- $\Delta$

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

# Estructuración

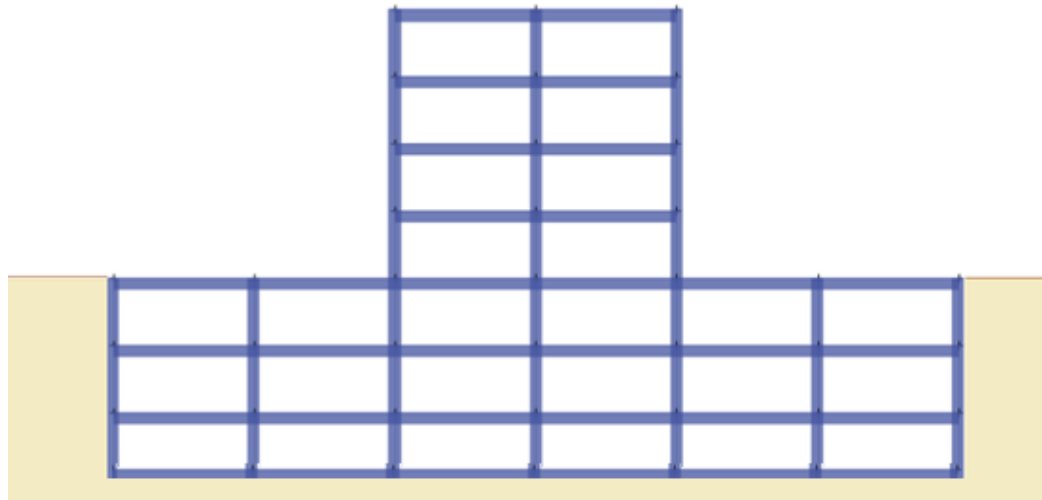
Qué se necesita?

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



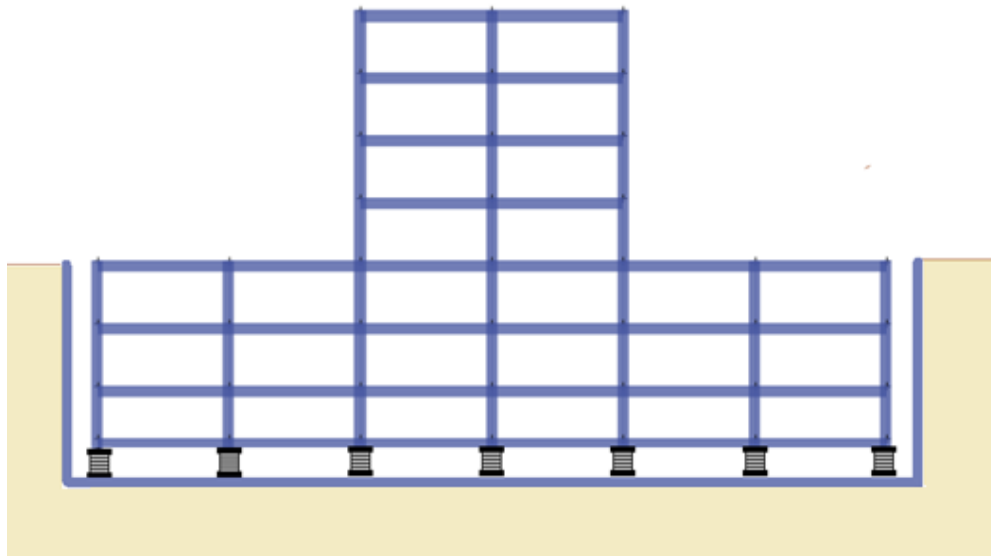
# Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



# Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



Toda la estructura queda protegida (necesario?)

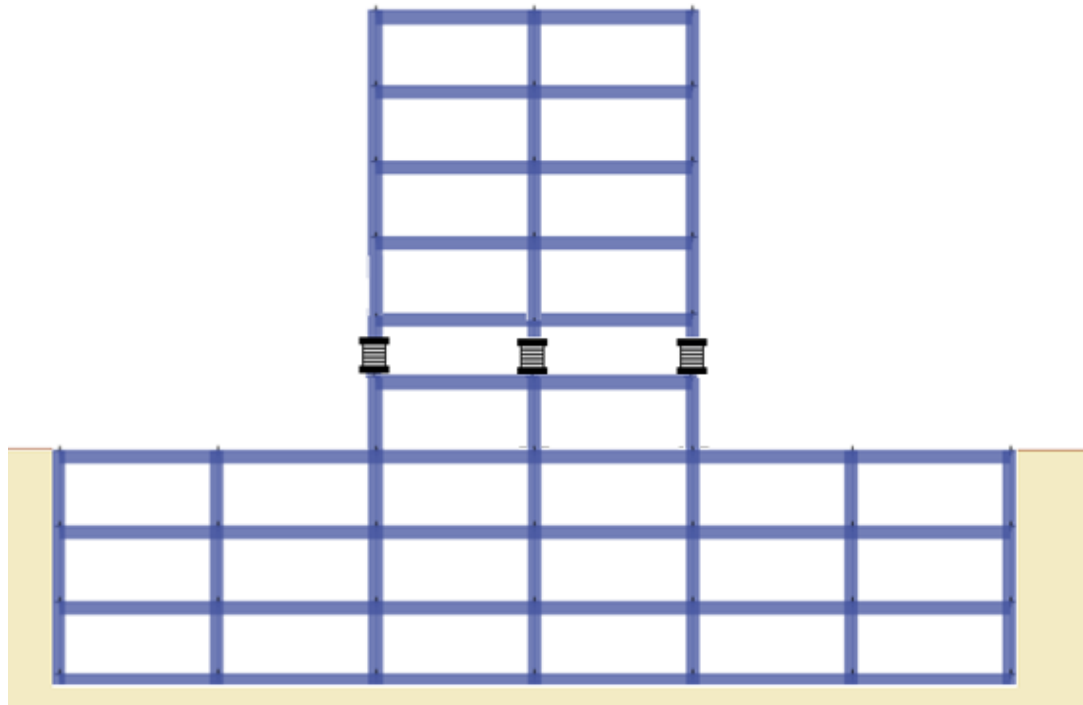
Gran cantidad de aisladores (caro)

Contención de tierra es cara

Radier ahora es losa

# Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias

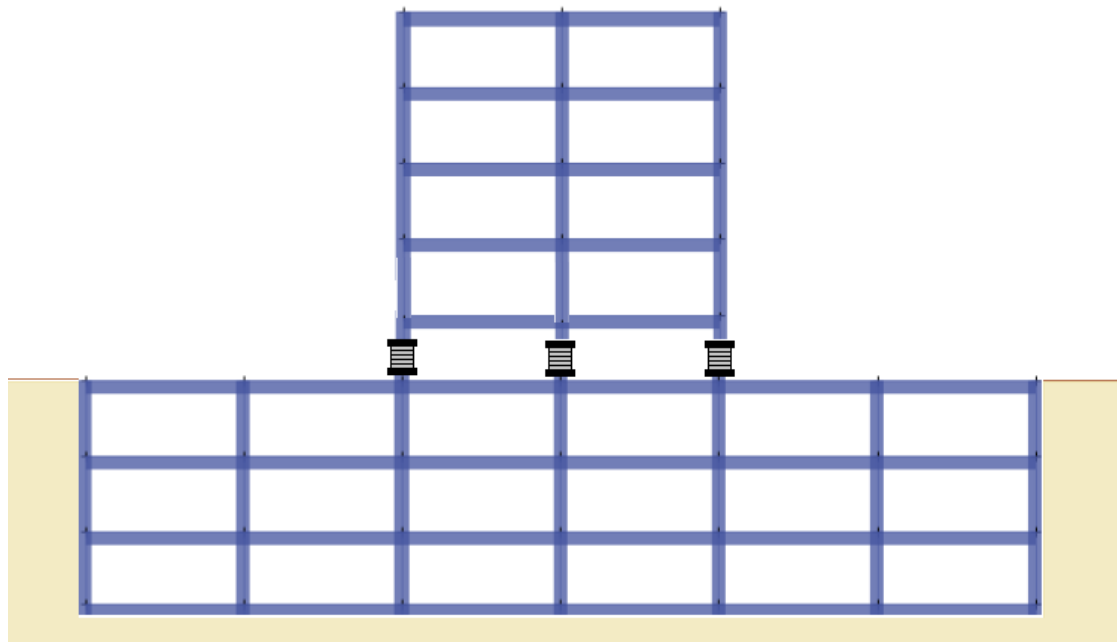


Subestructura es cara (se diseña con  $R < 1.5$ )

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  $R < 1.5$ )

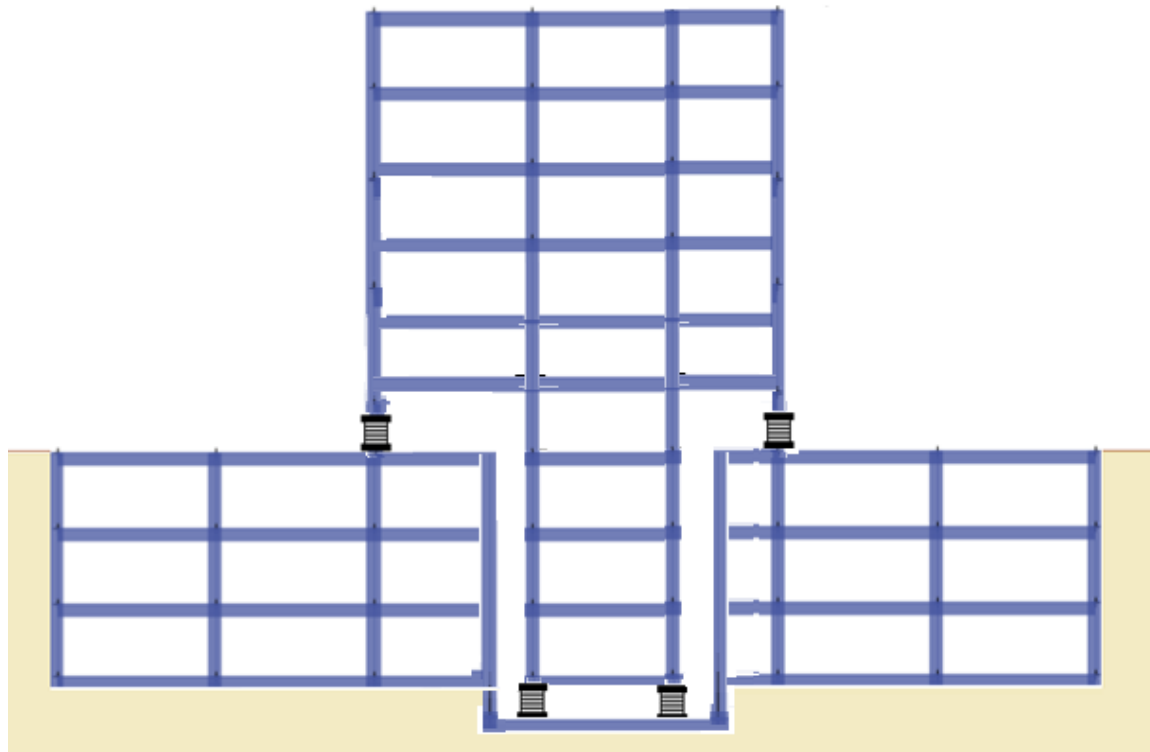
Suelo mitiga inercia de subestructura (está enterrado)

No hay problema con contención de suelos

Interfaz de aislamiento no debe cruzar ascensores

# Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias



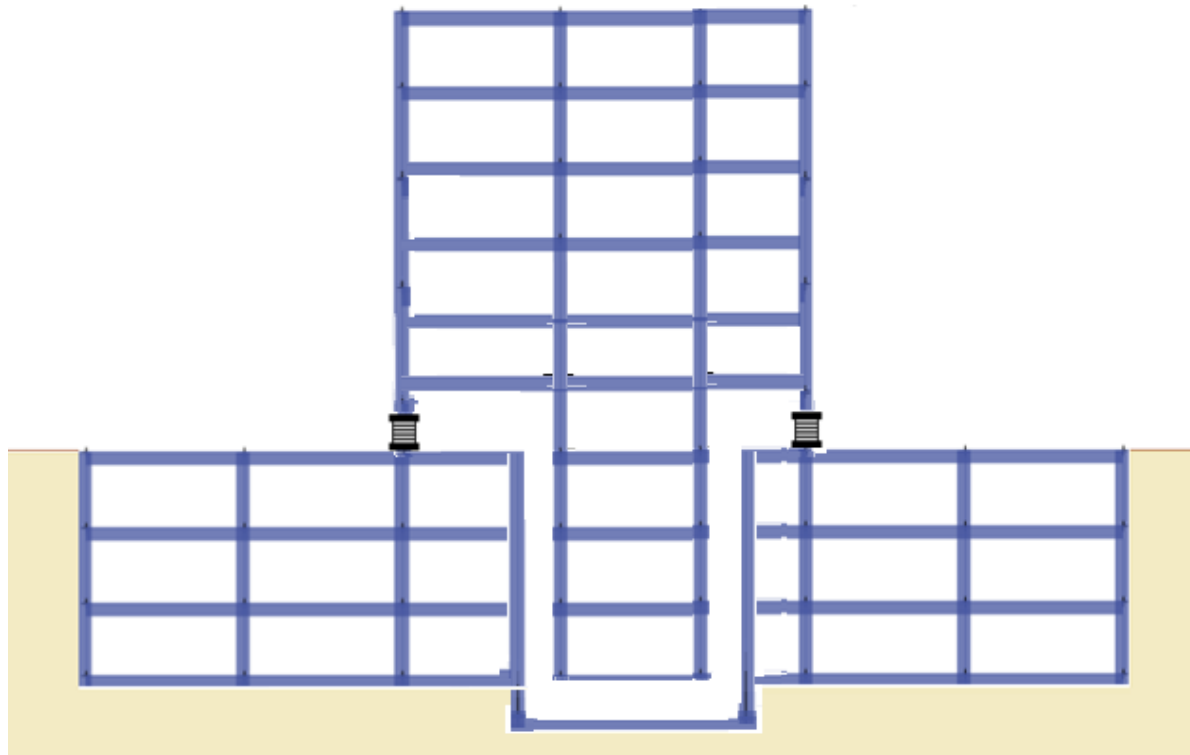
Para ascensores hay dos alternativas:

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



# Estructuración

Ubicación de interfaz de aislamiento tiene muchas implicancias

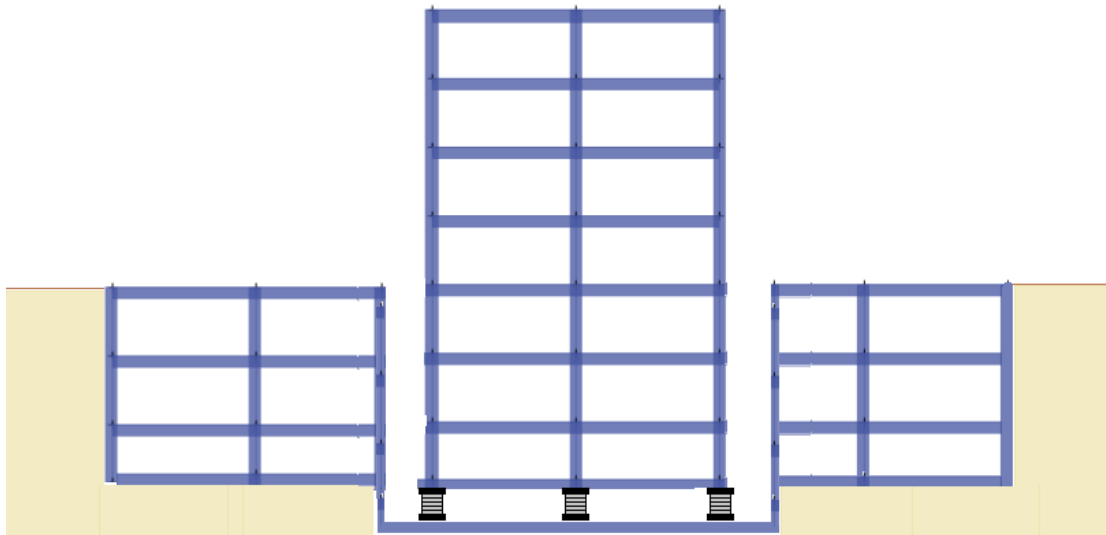


Para ascensores hay dos alternativas:

- 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

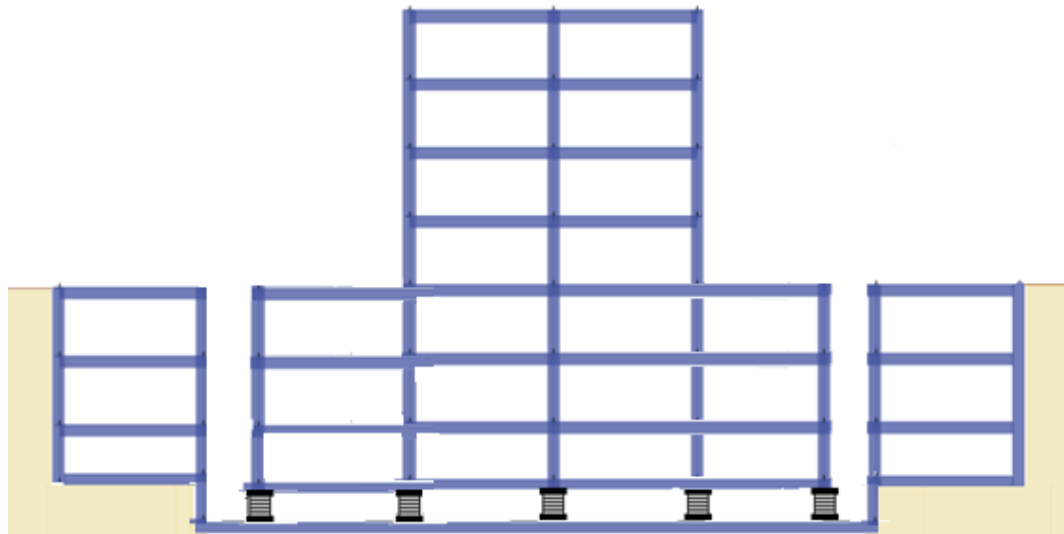
Doble Columna en torno a junta

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

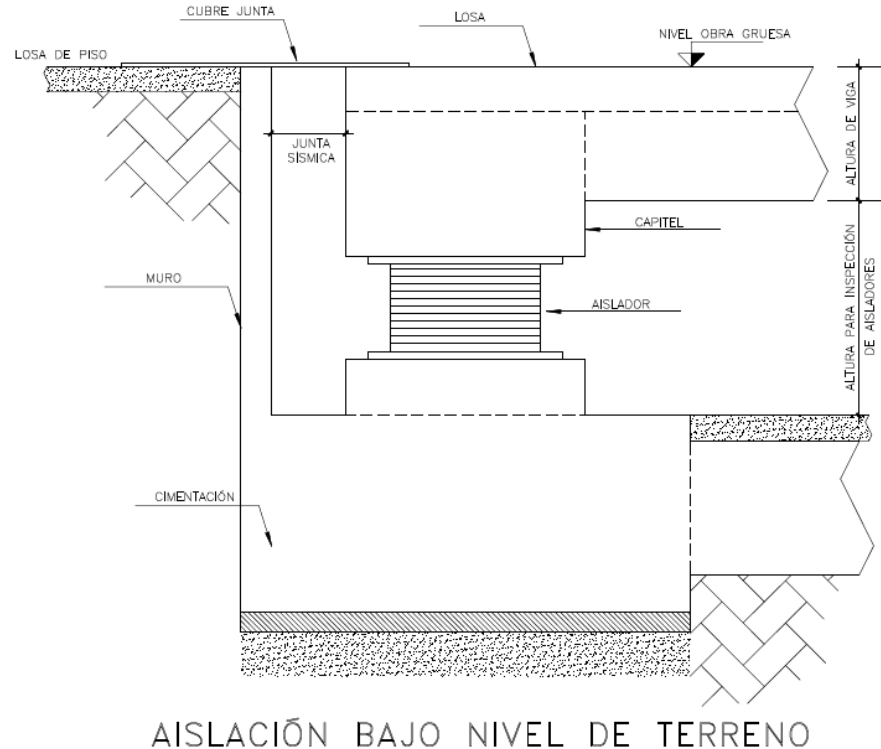
Estructura menos esbelta, ayuda a evitar tracciones

Más aisladores (más caro)

Más estructura protegida (es necesario?)

# Impactos en Arquitectura

## Aisladores deben ser inspeccionables

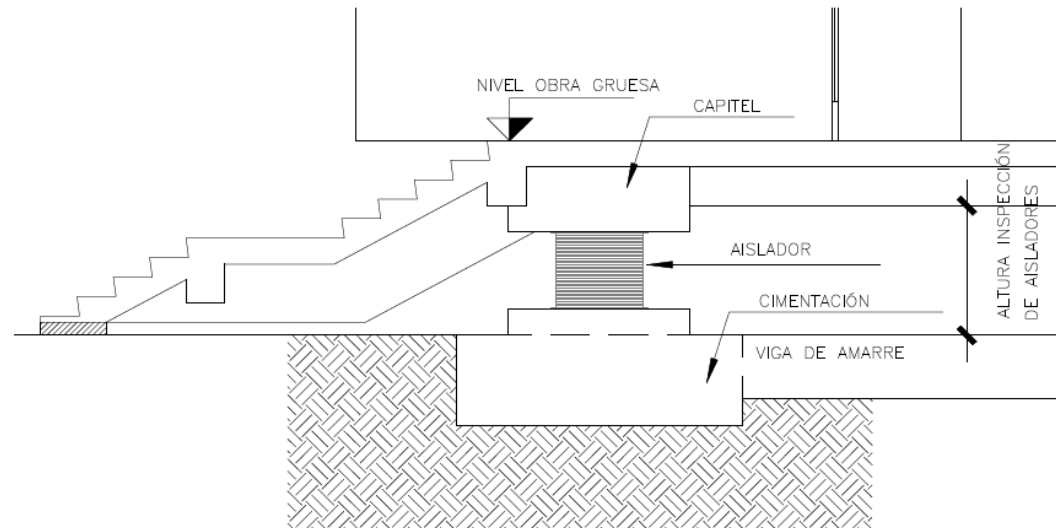


Si aislación está en la base y ésta está enterrada, se debe generar escotilla para poder bajar a inspeccionar aisladores tras un terremoto

# 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

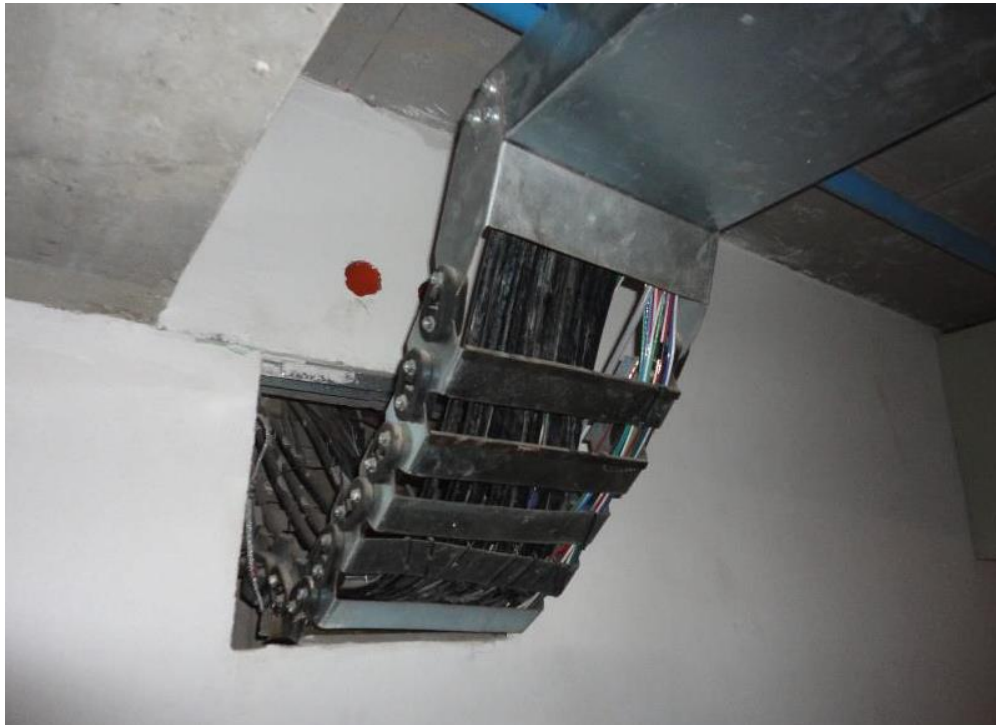


Imagen: CDV

# Costos aproximados

- Encarece:

- Losa o sistema de viga adicional

- Aisladores

- Conexiones flexibles

- Altura pérdida (o excavación adicional)

- Refuerzo por P- $\Delta$

- 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/m<sup>2</sup>
- 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](http://www.codigomodelosismico.org)

Gracias por su atención