




RUBÉN BOROSCHEK  
& ASOCIADOS

## **Diseño Sísmico de Componentes y Sistemas No Estructurales: Elementos Arquitectónicos, Sistemas Eléctricos y Mecánicos**


**Rodrigo Retamales Saavedra, PhD**  
Ingeniero Civil Universidad de Chile

Fono: 562 22321913 – email: [contacto@rba-global.com](mailto:contacto@rba-global.com)



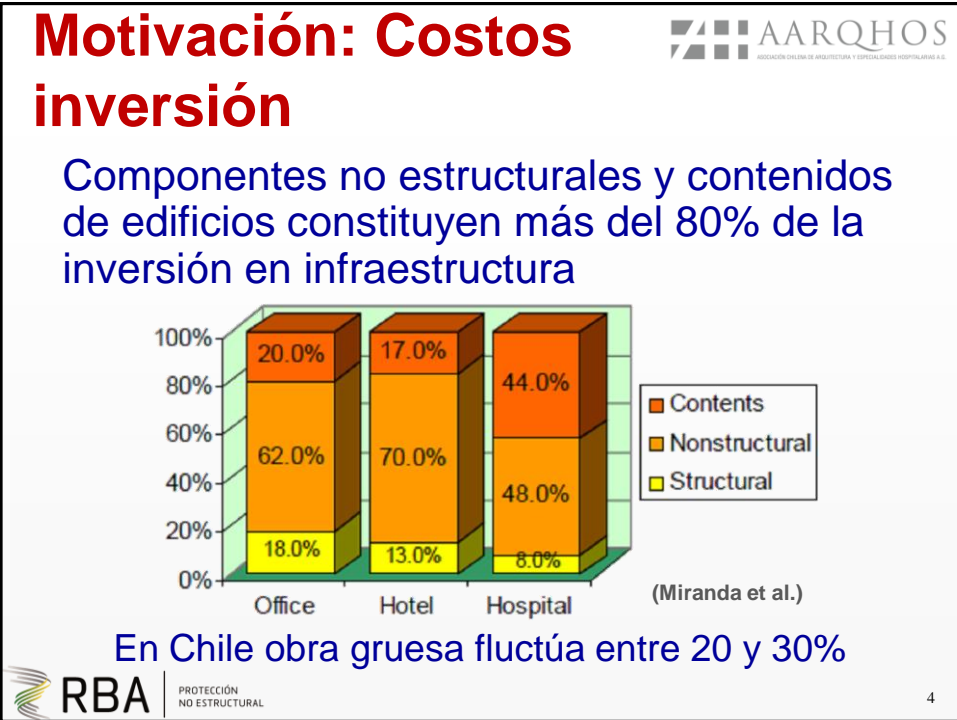
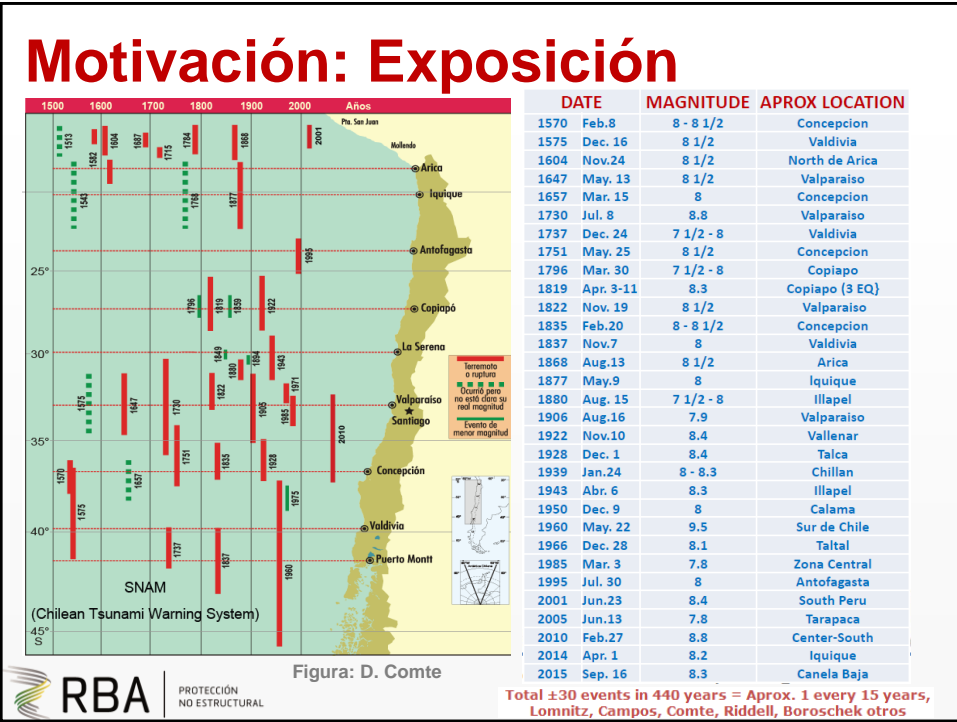
## **Contenidos**

- Motivación
- Requisitos normativos
- Ejemplos de detallamiento
- Investigación reciente



PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL

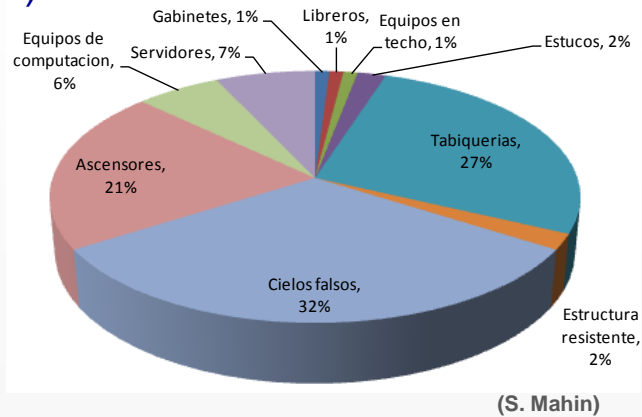
2



## Motivación: Pérdidas



Contribución del daño No Estructural a las pérdidas económicas (Sismo de diseño, EEUU):



PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL

5

## ¿Porque proteger sísmicamente?



Video cortesía A. Filiatrault



PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL

6

## Daño Estructural

- In general, good performance
- Total stock of buildings +3 levels: 9,974
- ~5 buildings collapsed (0.05% stock)
- ~35 building for demolition (0.35% stock)



## Lecciones aprendidas... Respecto al diseño estructural

- En términos generales, el desempeño sísmico de los sistemas estructurales fue satisfactorio
- Esto es consecuencia de la aplicación de un código que limita deformaciones de entrepiso a 0.002 veces la altura de piso
- Sin embargo, el daño estructural, aunque mínimo, no es aceptado por inversionistas ni propietarios
- Daños No Estructurales son típicamente confundidos con daños estructurales

## **Daños observados en componentes no estructurales**



Fuente: E. Miranda

9

## **Daños observados en componentes no estructurales**



10

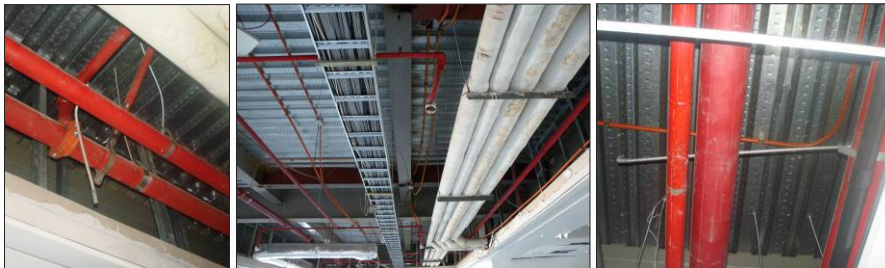
## Daños Redes Incendio



En general, no se observa cumplimiento de disposiciones de protección sísmica como las indicadas en NFPA-13 o SMACNA

11

## Daños Redes Incendio



Colgador pandeado

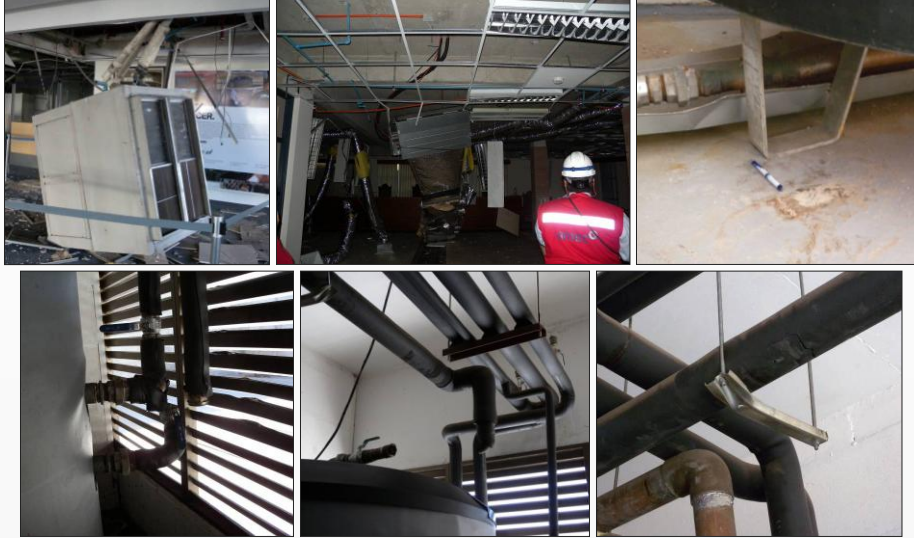
Interacción rociador/cielo falso



En general, no se observa cumplimiento de disposiciones de protección sísmica como las indicadas en NFPA-13 o SMACNA

12

# Daños Equipo Eléctrico y Mecánico



En general, no se observan anclajes adecuados.  
En muchos casos, los anclajes no existen

13

# Daños Equipo Eléctrico y Mecánico



14

# Daños Equipo Eléctrico y Mecánico



PROTECCIÓN NO ESTRUCTURAL

15

# Daños Mobiliario

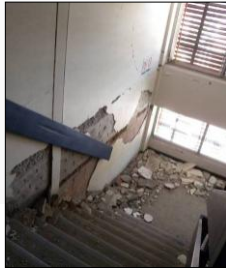


PROTECCIÓN NO ESTRUCTURAL

16



## Daños ventanas, antetechos y vías de evacuación



17

## ¿Las causas?



- Deficiente (o inexistente) diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales
- En muchos casos no se observan anclajes
- Proyectos especialidades no son sujetos a revisión sísmica
- Daños por interacción entre componentes
- Existencia en el mercado de componentes y sistemas no estructurales que no son adecuados para uso en zonas de alta sismicidad
- Deficiente inspección durante la instalación

18

## Buenas Experiencias: Muros cortina



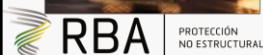
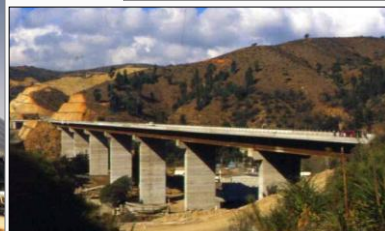
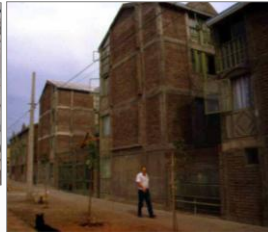
- No se reportaron daños en muros cortina
- Uno de los pocos NCS's con diseño sísmico
- Típicamente ensayados a deformaciones del 1.5%



## Buenas Experiencias: Estructuras con Protección Sísmica



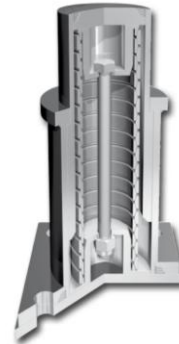
- No se reportaron daños en estructuras con sistemas de protección sísmica



## Buenas Experiencias: 550 kV Transformers

AARQHOS  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A. C.

RINGFEDER



21

## Solución: Norma NCh3357

AARQHOS  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A. C.

- Criterios mínimos de diseño sísmico para componentes y sistemas que se encuentran fijos de manera permanente
- Norma orientada a lograr componentes cuyo desempeño sísmico sea compatible con el de la estructura donde se encuentran contenidos
- Requisitos generales y específicos para sistemas arquitectónicos y equipos eléctricos y mecánicos

22

## Requisitos generales de diseño

- El cumplimiento de los requisitos de NCh3357 se puede demostrar de dos maneras:
  - Diseño específico para el proyecto: la documentación debe ser preparada por cada especialidad
  - Entrega de certificación: documentación que demuestre que el componente o equipo se encuentra calificado para un nivel de demanda sísmica igual o superior a la establecida en la norma
  - En ambos casos, verificaciones mediante:
    - Análisis desarrollado por un profesional competente
    - Ensayos efectuados por un laboratorio reconocido
    - Experiencia (IEEE 344)

23

## Calificación mediante ensayo

AARQHOS  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A.



RBA

PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL

24

## Daño consecuencial



- Se debe considerar la interrelación funcional y física entre componentes, de modo que la falla de un componente, sea éste esencial o no, no cause la falla de otro componente considerado como esencial
- Lo anterior requiere de un chequeo cruzado entre especialidades, coordinado o desarrollado por el coordinador de proyecto

## Documentación



- Preparada por cada especialidad y entregada al coordinador de proyecto para revisión y aprobación de un revisor inscrito en el registro de revisores de proyectos de cálculo estructural
- Información quedará disponible para las autoridades, propietarios, contratistas, inspectores de obra, etc.
- La documentación debe incluir, al menos:
  - Planos
  - Memorias de Cálculo
  - Certificaciones de Calificación Sísmica
  - Plan de aseguramiento de calidad (Checklists construcción)

## Fuerza sísmica de diseño



- La fuerza sísmica horizontal  $F_p$  se determina como:

$$\frac{0,3 \alpha_A A I_p W_p}{g} < F_p = \frac{0,4 a_p \alpha_A A W_p}{g \left( \frac{R_p}{I_p} \right)} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right) < \frac{1,6 \alpha_A A I_p W_p}{g}$$

donde:

- $F_p$  = fuerza sísmica de diseño del componente no estructural
- $\alpha_A A$  = parámetro del espectro de pseudo-aceleración de diseño
- $a_p$  = factor de amplificación dinámica, el cual varía entre 1.0 y 2.5. Para cielos falsos  $a_p=1.0$
- $I_p$  = factor de importancia del componente, el cual varía entre 1.0 y 1.5
- $W_p$  = peso del componente, en condiciones de operación
- $R_p$  = factor de modificación de respuesta, el cual varía entre 1 y 8. Para cielos falsos  $R_p=1.5$
- $z$  = altura del punto de fijación del componente en la estructura con respecto a la base.
- $h$  = altura promedio del nivel de techo de la estructura con respecto a la base
- $g$  = aceleración de la gravedad, en  $\text{cm/s}^2$

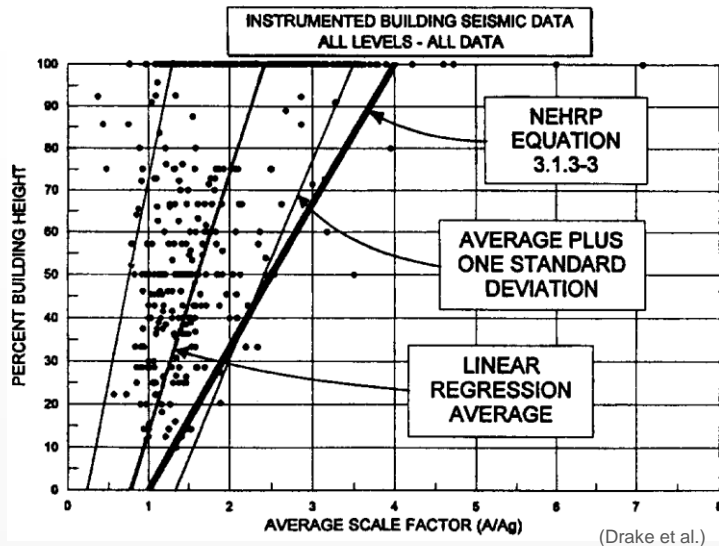
- La fuerza sísmica vertical  $F_{pv}$  se determina como:

$$F_{pv} = \pm 0.24 \alpha_A A W_p / g$$

Multiplicado por un factor de amplificación dinámica igual a 2.5



27



28

## Fuerza sísmica de diseño



- Alternativamente, la fuerza sísmica horizontal  $F_p$  se puede determinar como:

$$F_p = \frac{a_p a_{me} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} A_x \quad \text{donde: } A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}}\right)^2 \leq 3,0$$

$$\text{o bien: } F_p = \frac{a_p a_{th} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)}$$

En ambos casos, el límite inferior para  $F_p$  mostrado en la diapositiva anterior debe ser aplicado

donde:

- $a_{me}$  = aceleración en el nivel de fijación del componente (en unidades de  $g$ ), obtenida mediante análisis modal espectral considerando que el valor del factor de reducción ( $R^*$  en NCh433.Of96.Mod2009 y  $R_f$  en NCh2745.Of2003) es igual a la unidad
- $A_x$  = factor de amplificación torsional
- $\delta_{max}$  = máximo desplazamiento sísmico lateral en el nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral
- $\delta_{avg}$  = valor promedio de los desplazamientos sísmicos laterales en los puntos extremos del nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral
- $a_{th}$  = aceleración en el nivel de fijación del componente (en unidades de  $g$ ), obtenida mediante análisis tiempo historia lineal

29

## Deformaciones de diseño



- Los desplazamientos sísmicos relativos  $D_{pl}$  se deben determinar como:

$$D_{pl} = D_p I$$

donde:

- $I$  = coeficiente de importancia que depende de la Categoría del edificio, Tabla 6.1 de la norma NCh433.Of96.Mod2009

$$D_p = \delta_{xA} - \delta_{yA} \leq 0.0085 (h_x - h_y)$$

← Componente fijo a una sola estructura

$$D_p = |\delta_{xA}| + |\delta_{yB}| \leq 0.0085 (h_x + h_y)$$

← Componente fijo a dos estructuras o diferentes cuerpos de una estructura

$\delta_{xA}$  = desplazamiento elástico horizontal de la estructura A en el nivel x

$\delta_{yA}$  = desplazamiento elástico horizontal de la estructura A en el nivel y

$\delta_{yB}$  = desplazamiento elástico horizontal de la estructura B en el nivel y

$h_x$  = altura del nivel x al cual está unido el punto de conexión superior

$h_y$  = altura del nivel y al cual está unido el punto de conexión inferior

El factor 0.0085 se obtiene de multiplicar la deformación máxima permitida por NCh433.Of96.Mod2009 por  $R^* K_d/3$ , asumiendo  $R^* \approx 6-8$  y  $K_d \approx 1-1.35$

30

## Anclajes y fijaciones



- Los elementos de un sistema no estructural deben estar positivamente conectados
- Debe generarse una línea de transferencia de cargas con suficiente rigidez y resistencia entre el componente y la estructura de soporte
- Elementos estructurales deben ser diseñados para resistir fuerzas transmitidas por componentes no estructurales
- Los anclajes post-instalados deben estar precalificados para uso en zona sísmica



RBA | PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL

31

## Requisitos específicos



### (Ejemplos)

- Cielos falsos deben ser detallados e instalados según ASTM 635 y ASTM 580
- Piping debe ser diseñado y detallado en conformidad con ASME B31
- Sistemas de protección contra incendio deben ser diseñados y detallados en conformidad con NFPA 13
- Sistemas de transporte vertical deben ser diseñados y detallados según NCh3362
- Se permite el uso de otros códigos en la medida que las deformaciones y fuerzas de diseño superen las demandas de NCh3357

32



# Ejemplos de Soluciones de Protección no Estructural...

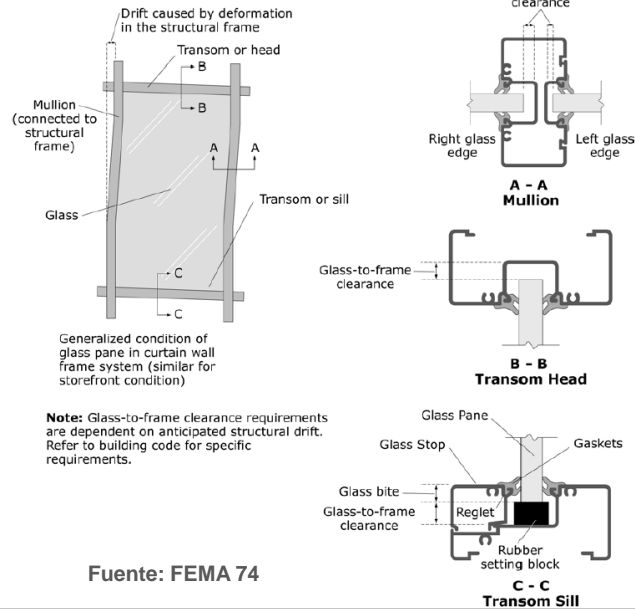


# SPONSE

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE SEISMIC PERFORMANCE OF NON-STRUCTURAL ELEMENTS

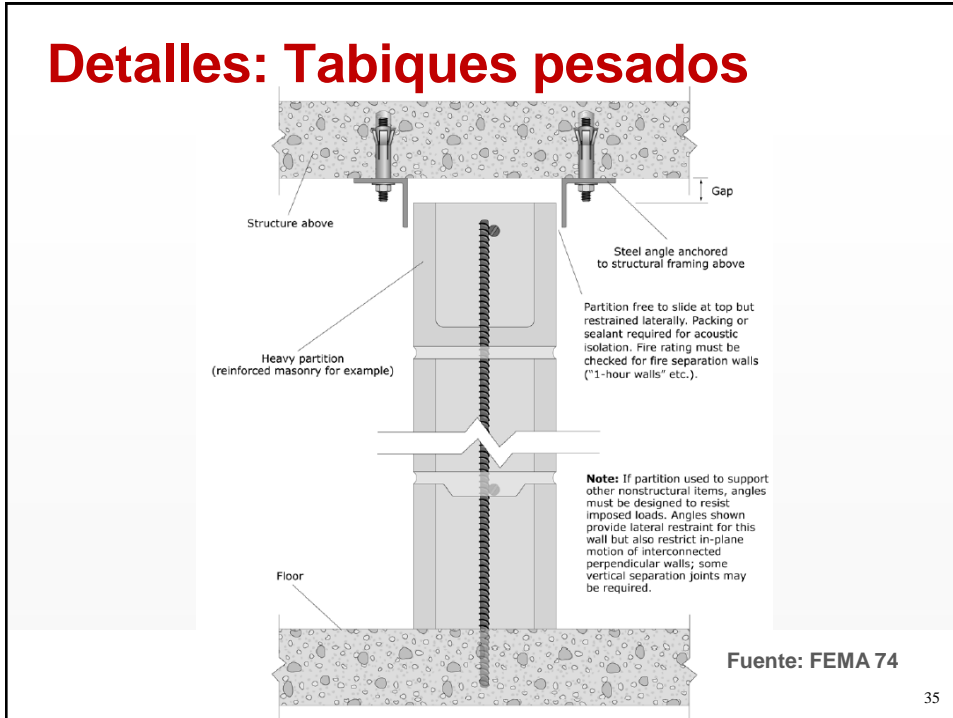
www.sponse.eu

## Detalles: Elementos vidriados



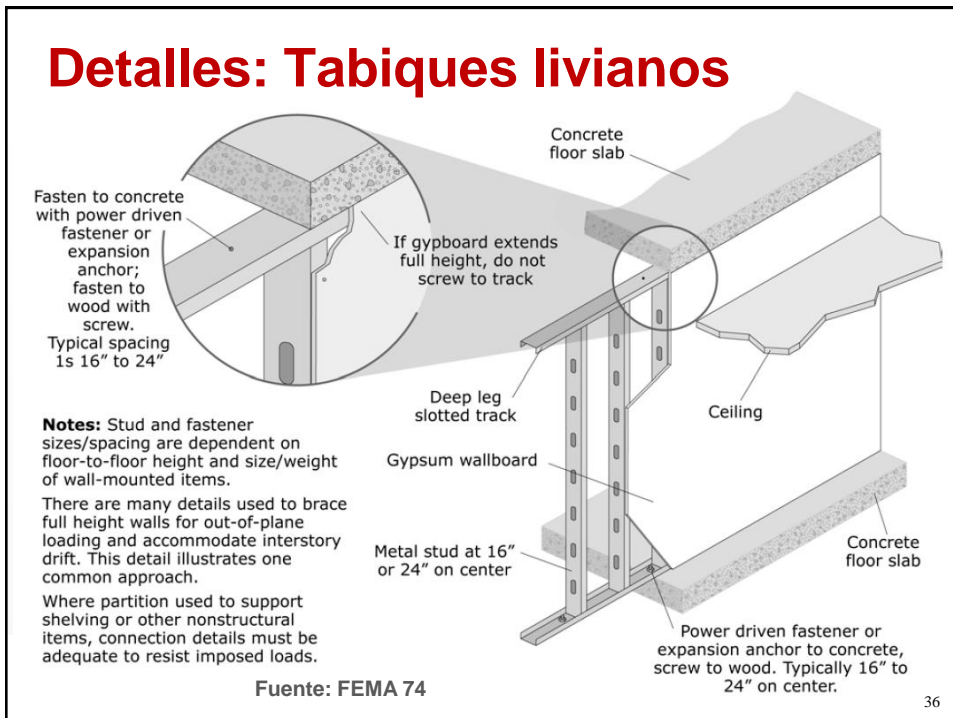
Fuente: FEMA 74

## Detalles: Tabiques pesados



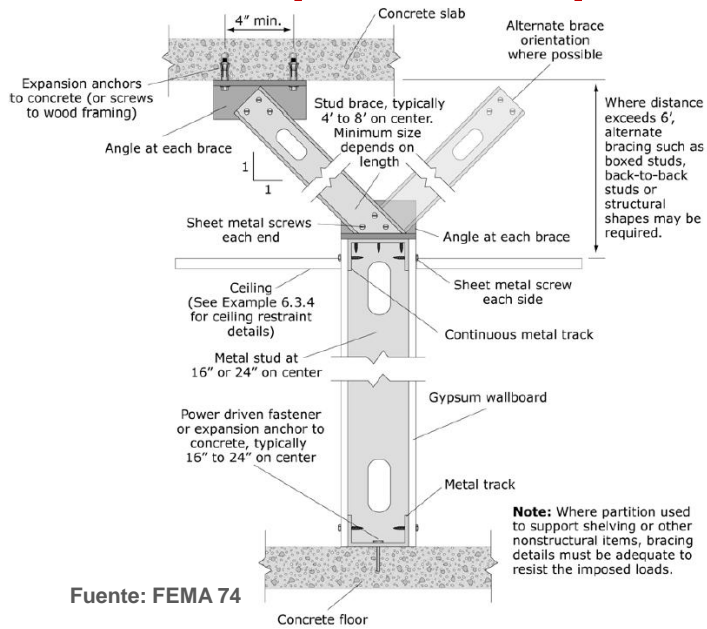
35

## Detalles: Tabiques livianos



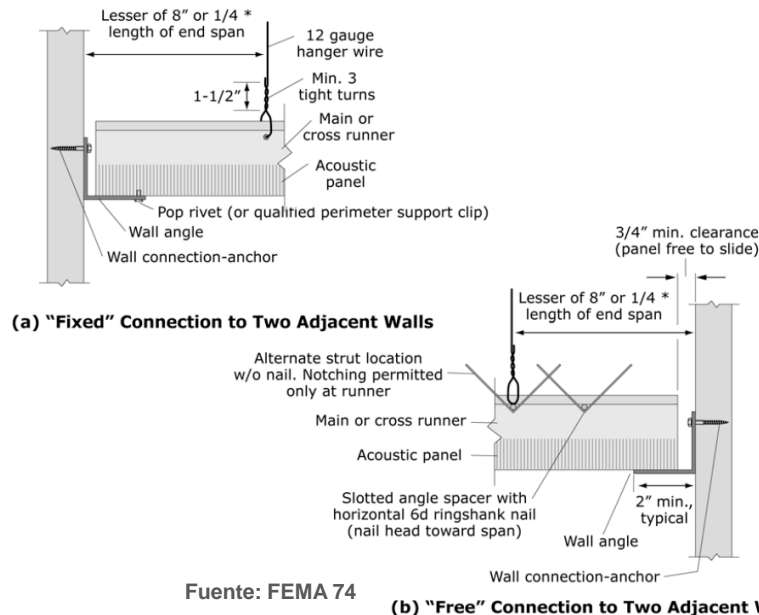
36

## Detalles: Tabiques altura parcial



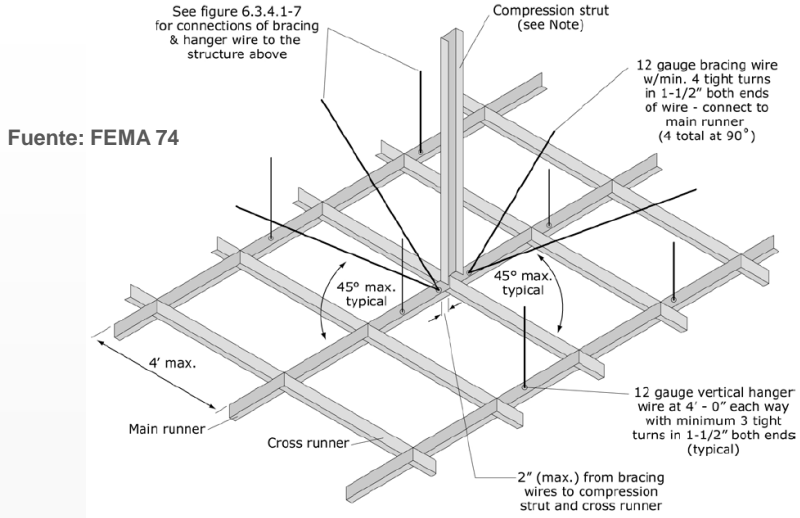
37

## Detalles: Cielos falsos



38

## Detalles: Cielos falsos

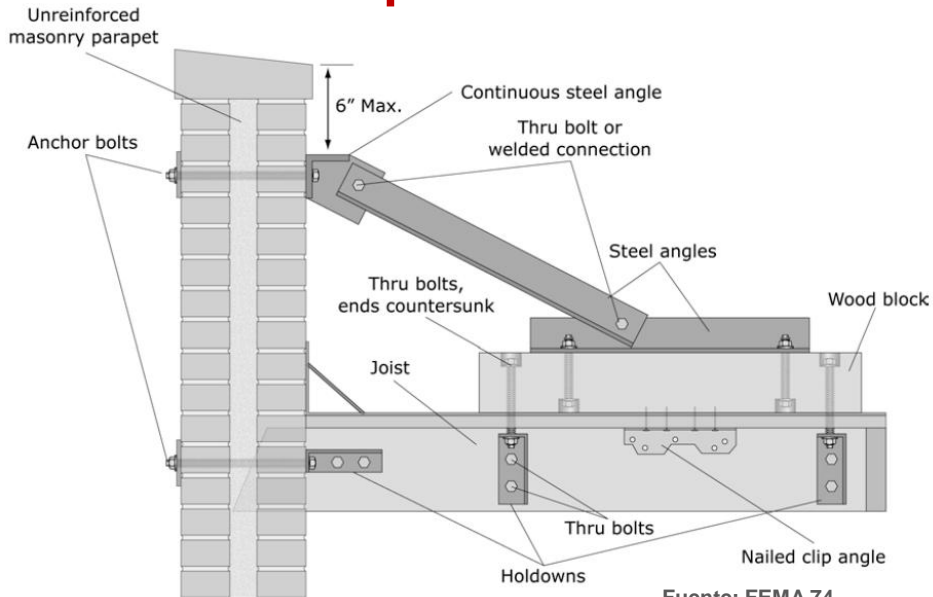


Fuente: FEMA 74

**Note:** Compression strut shall not replace hanger wire. Compression strut consists of a steel section attached to main runner with 2 - #12 sheet metal screws and to structure with 2 - #12 screws to wood or 1/4" min. expansion anchor to structure. Size of strut is dependent on distance between ceiling and structure ( $L/r \leq 200$ ). A 1" diameter conduit can be used for up to 6', a 1-5/8" X 1-1/4" metal stud can be used for up to 10'

39

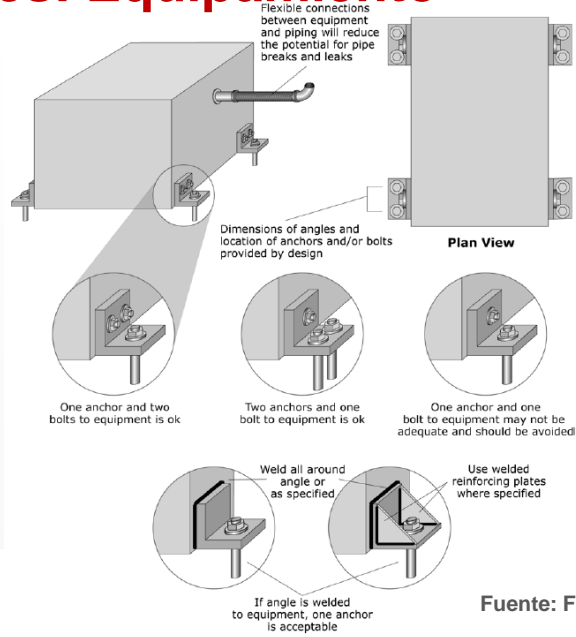
## Detalles: Parapetos



Fuente: FEMA 74

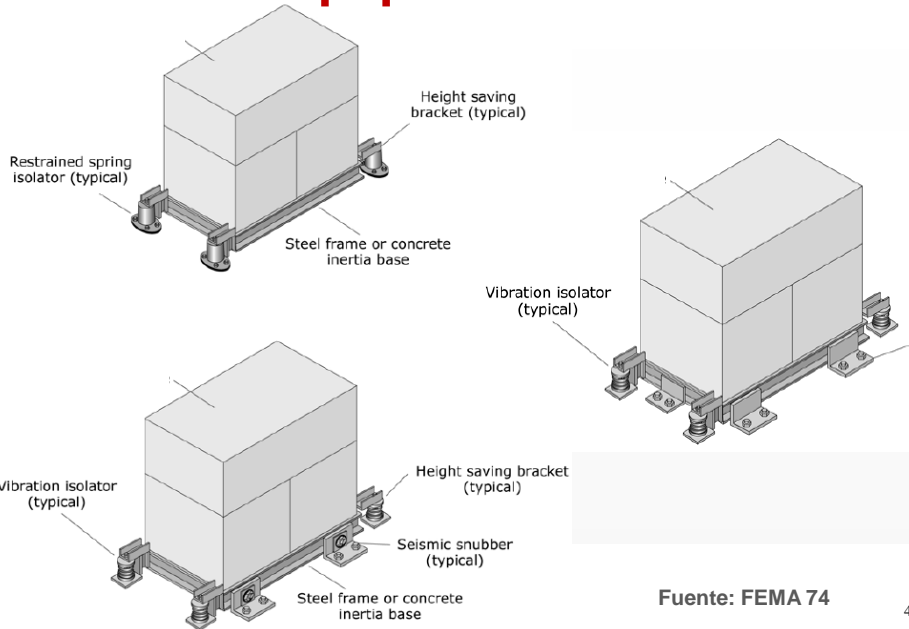
40

# Detalles: Equipamiento



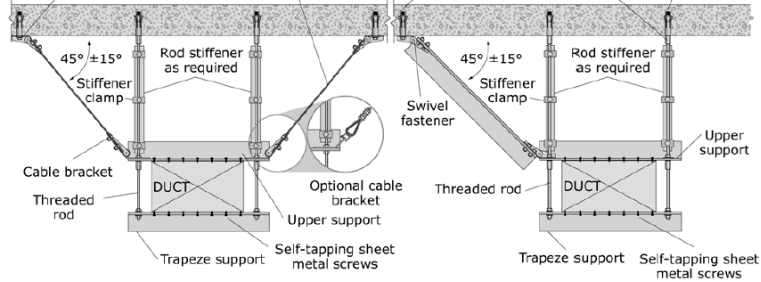
Fuente: FEMA 74

# Detalles: Equipo aislado



Fuente: FEMA 74

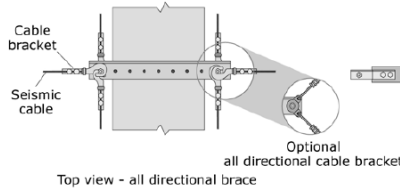
# Detalles: Ductos HVAC



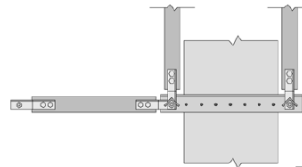
Shown in transverse direction for clarity. Additional cables are required for longitudinal support as shown in top view below.

Front View

Front View



Top view - all directional brace



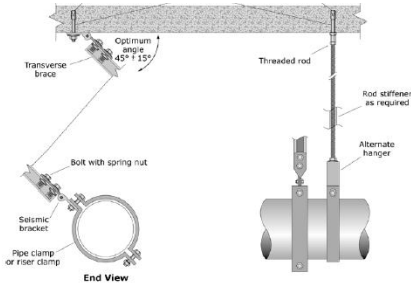
Top view - all directional brace

Fuente: FEMA 74

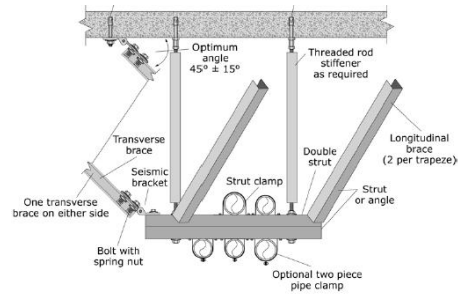
Cable Duct Bracing

Rigid Duct Bracing

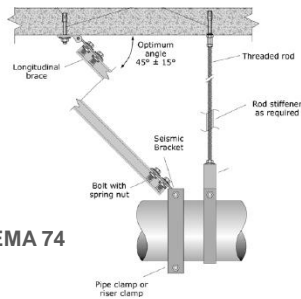
# Detalles: Tuberías



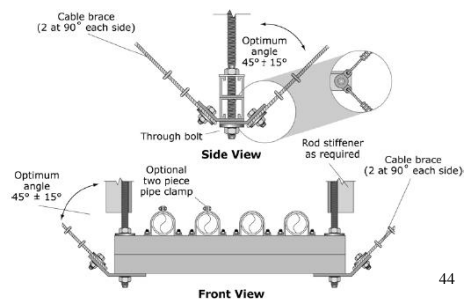
End View



Rigid bracing - Trapeze supported piping (ER).




Fuente: FEMA 74

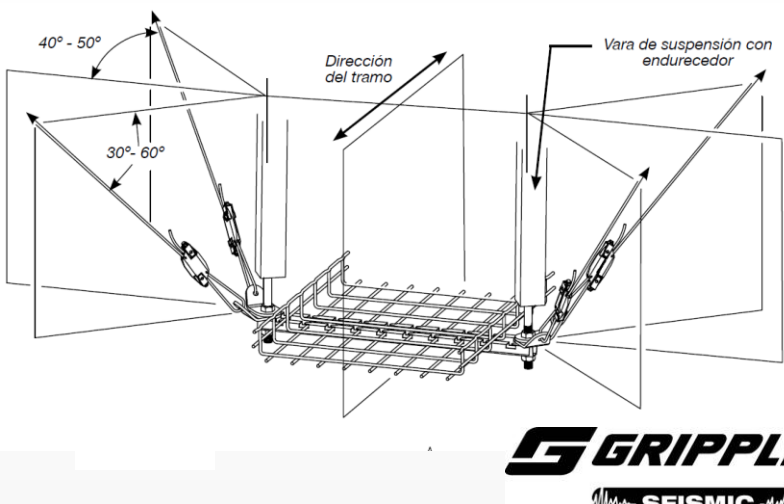



Front View


## Arriostres Estandarizados



AARQHOS  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A. S.C.



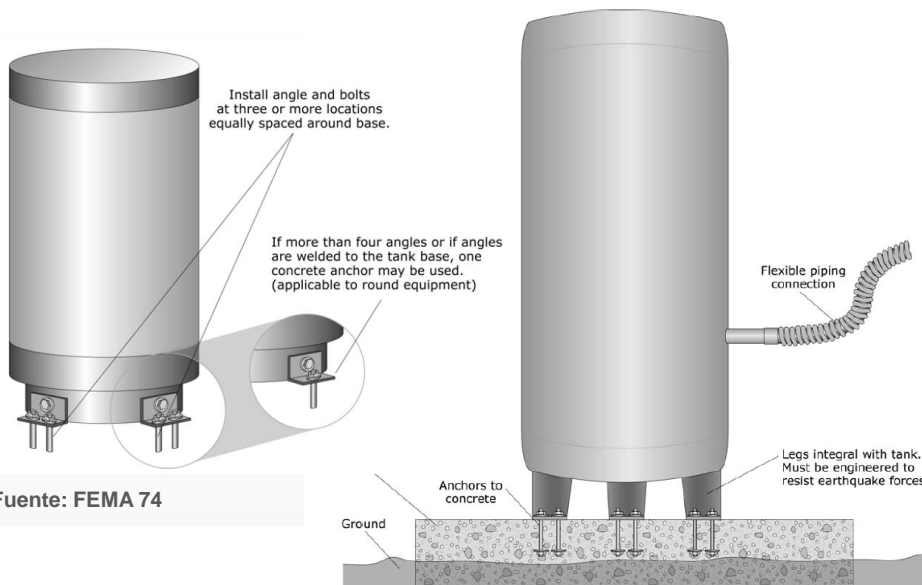




**RBA** | PROTECCIÓN NO ESTRUCTURAL

45

## Detalles: Estanques verticales



Install angle and bolts at three or more locations equally spaced around base.

If more than four angles or if angles are welded to the tank base, one concrete anchor may be used. (applicable to round equipment)

Flexible piping connection

Anchors to concrete

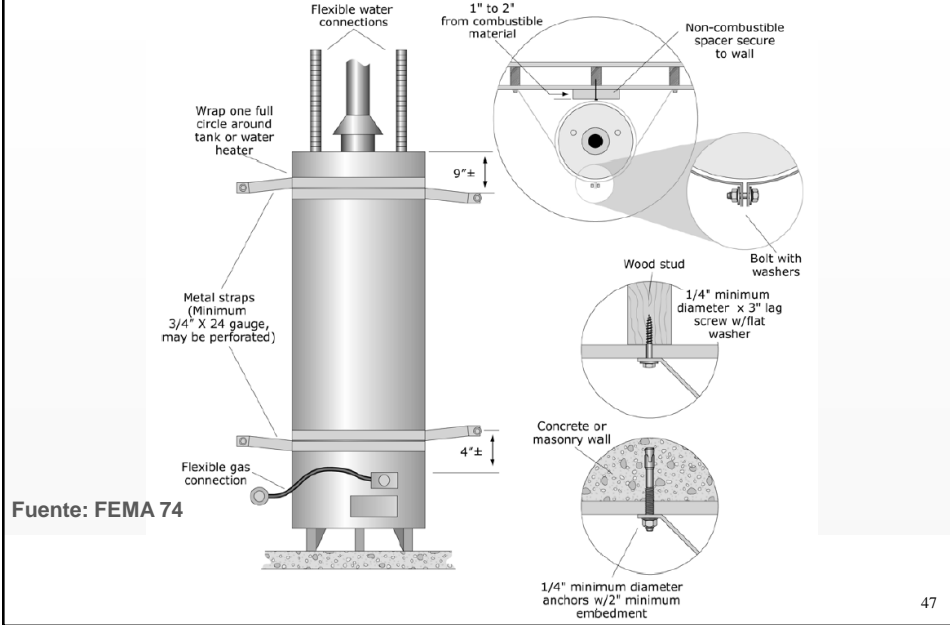
Legs integral with tank. Must be engineered to resist earthquake forces.

Ground

Fuente: FEMA 74

46

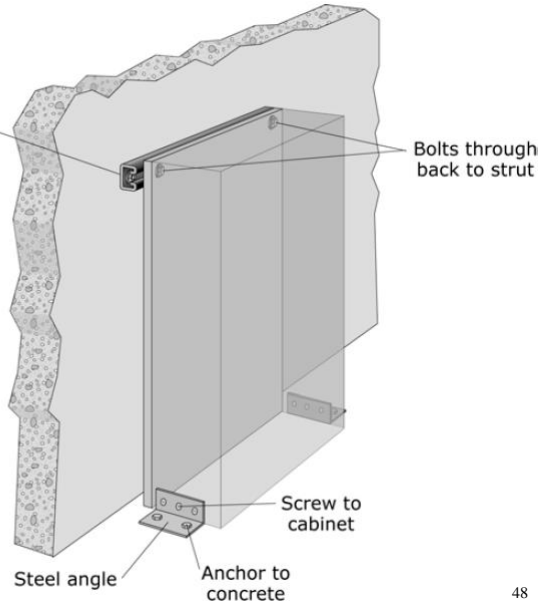
## Detalles: Estanques verticales



47

## Detalles: Gabinetes esbeltos

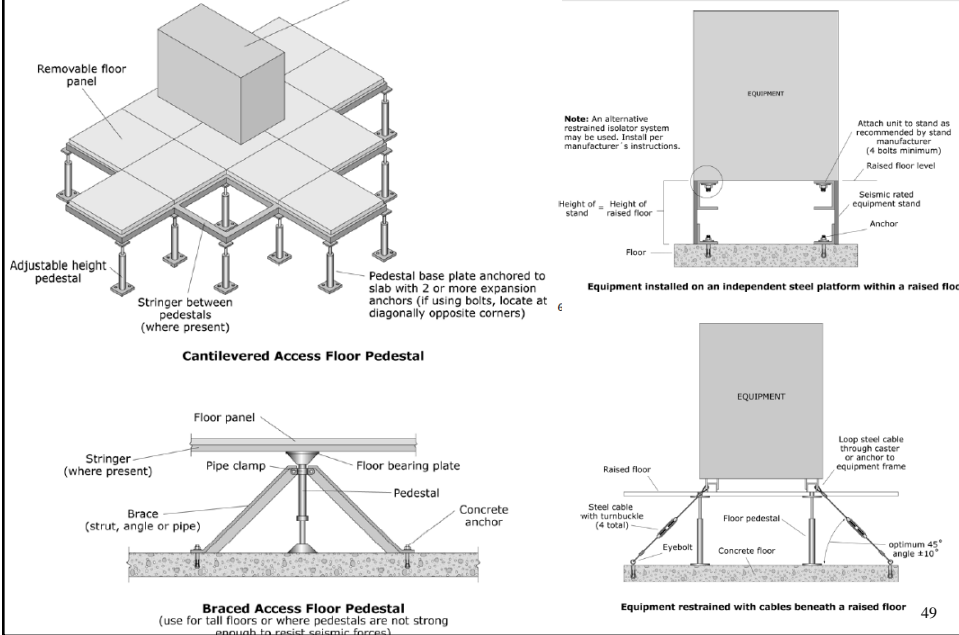
Strut against wall. Anchor to concrete or masonry with expansion anchors; anchor to studs with screws or toggle bolts. Verify that wall is capable of resisting loads imposed by all anchored equipment.



48



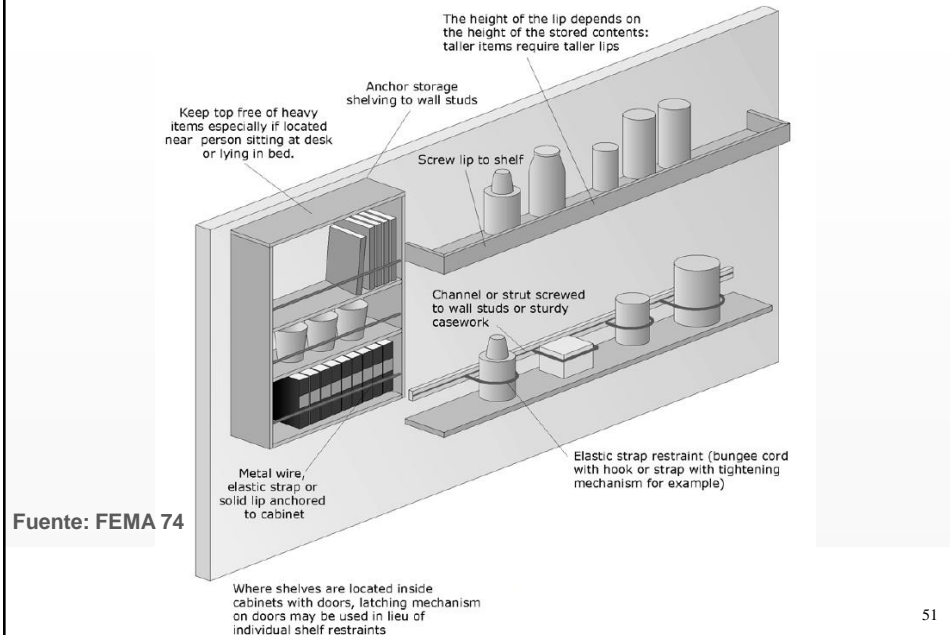
# Detalles: Pisos falsos



# Detalles: Mobiliario



## Detalles: Mobiliario



## Tecnologías de protección...

# Tecnologías de protección

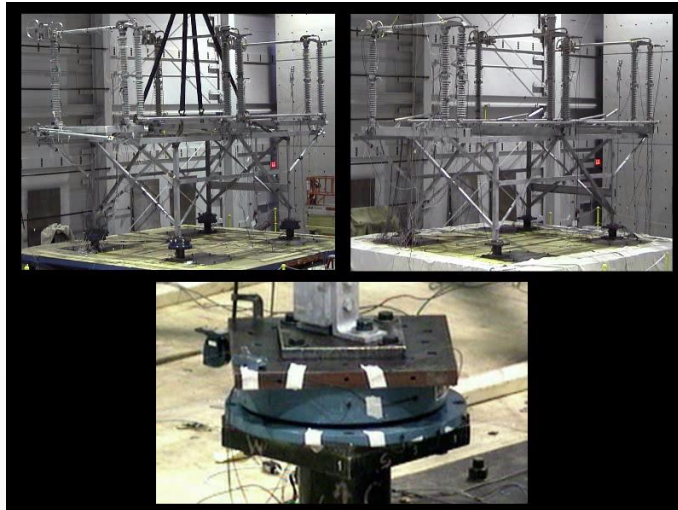


PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL



53

# Tecnologías de protección

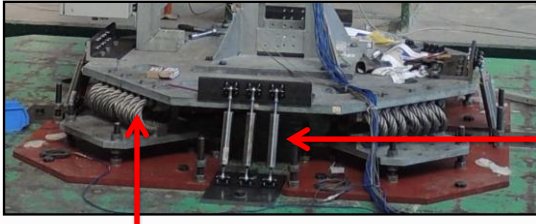


PROTECCIÓN  
NO ESTRUCTURAL



54

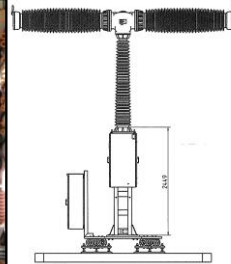
# Tecnologías de protección



**Disipadores de energía:**  
 Limitan el movimiento  
 Alcanzan amortiguamiento del 25%  
 Disipadores lineales

**Wire Rope:**  
 Soporta carga estática  
 Determina respuesta en frecuencia  
 Minimiza rigidez  
 Separa el equipo del suelo

## 550KV Circuit Breaker Seismic Isolation System



# Tecnologías de protección



# Tecnologías de protección



**AARQHOS**  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A. S.C.

**RBA** | PROTECCIÓN NO ESTRUCTURAL

57

## Conclusiones

- Componentes no estructurales no han presentado el mismo desempeño que las estructuras
- La norma NCh3357 está vigente
- Se apunta al uso de componentes calificados sísmicamente mediante análisis, ensayo o experiencia
- La norma busca armonizar las respuestas estructurales y no estructurales de las edificaciones

**AARQHOS**  
ASOCIACIÓN CHILENA DE ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES HOSPITALARIAS S.A. S.C.

**RBA** | PROTECCIÓN NO ESTRUCTURAL

58

## Conclusiones



- Los procedimientos presentados en la normativa apuntan a la estandarización de soluciones de protección sísmica de componentes y sistemas no estructurales
- Se requiere la revisión de los proyectos de especialidades
- Lo anterior se está combinando con la aplicación de sistemas de protección sísmica tales como disipadores de energía y aislación sísmica



## Consultas?

Fono: 562 22321913 – email: [contacto@rba-global.com](mailto:contacto@rba-global.com)