

# Tipos y niveles de daño generados por sismo en edificación

---

M.I. Juan José Gómez García  
Subdirección de Riesgos Estructurales



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES



**2023**  
AÑO DE  
*Francisco*  
**VILLA**

EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

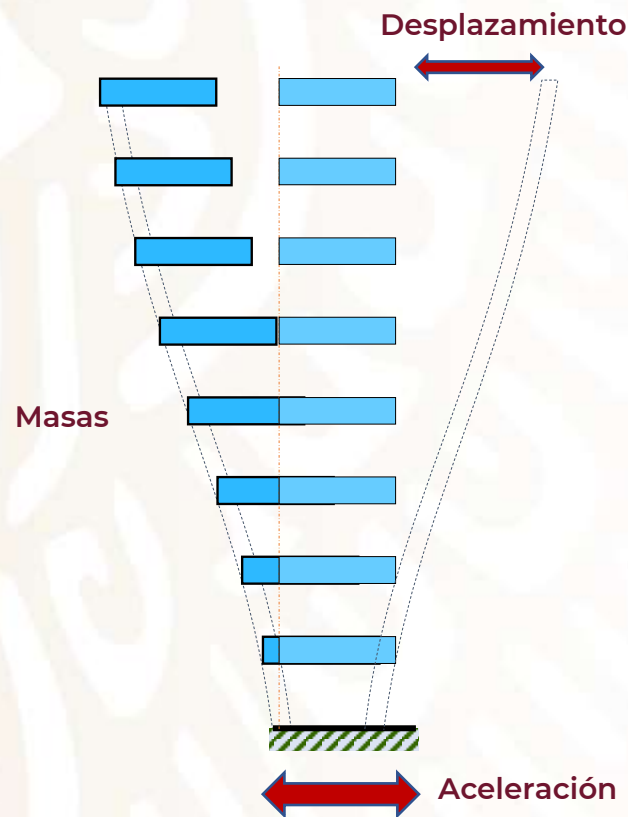
## Tipos de daño en elementos y sistemas estructurales

# Daños estructurales

- Tipos de daños estructurales
- Evaluación del impacto de elementos dañados en el comportamiento de la edificación

# Daño en las estructuras

El comportamiento de las estructuras depende de varios factores entre los que están: aceleraciones máximas del terreno, periodo dominante del movimiento del suelo y del periodo de vibrar del edificio.



$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$

$$\text{Energía} = \text{Fuerza} \times \text{desplazamiento}$$

El sismo es energía, y la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma

¿A dónde se va la energía de un sismo cuando impacta a una estructura?

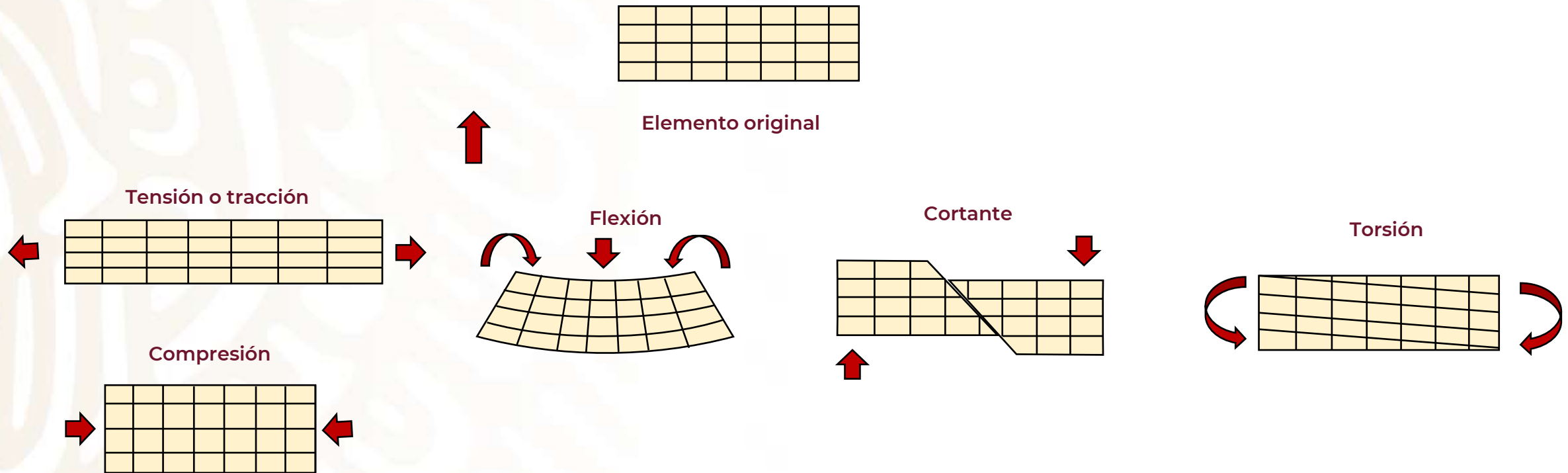
Movimiento  
(energía cinética)

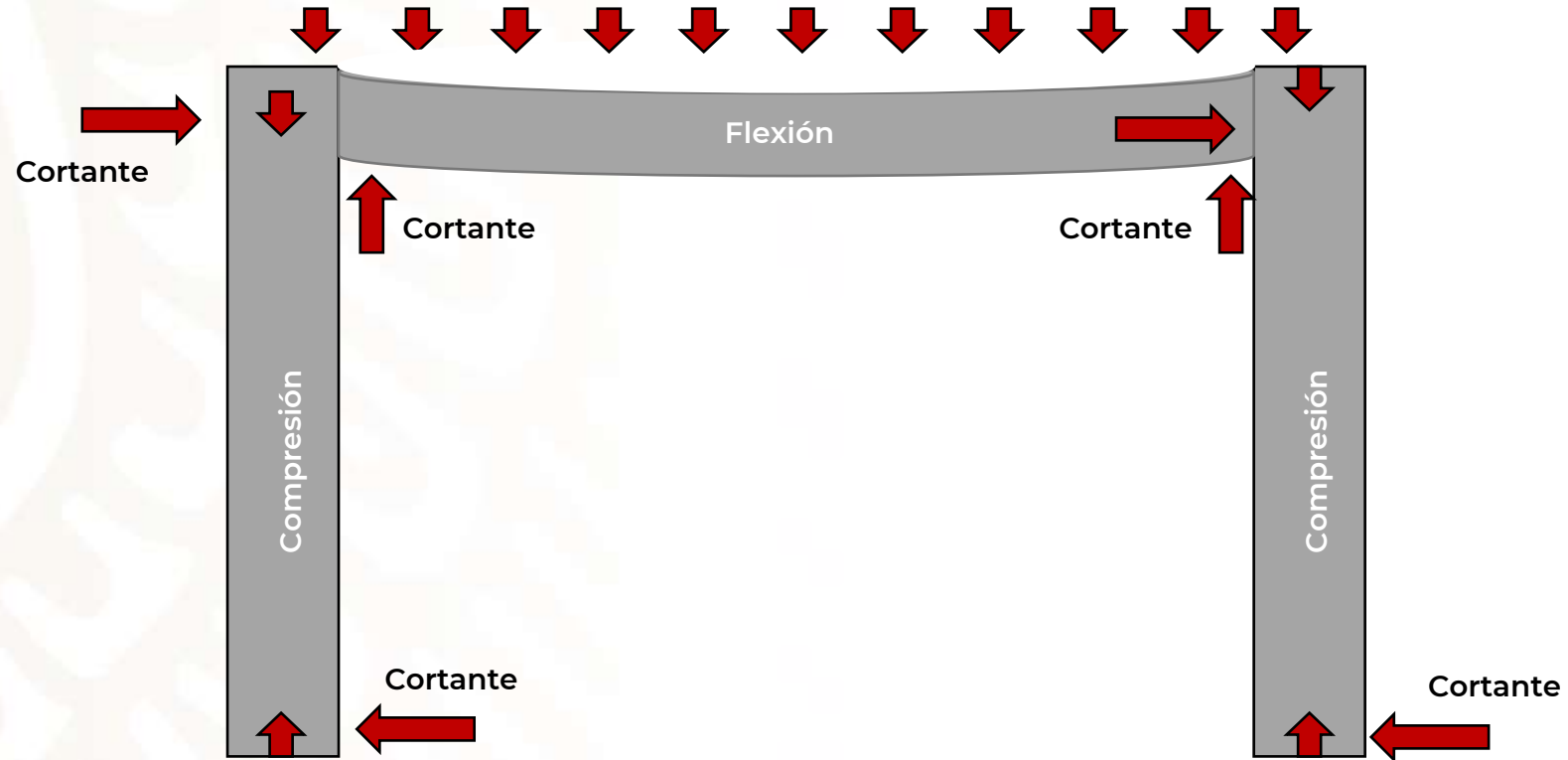
Interacción entre los  
elementos, por  
ejemplo fricción  
(energía de  
amortiguamiento)

Elasticidad de los  
materiales  
(Energía potencial)

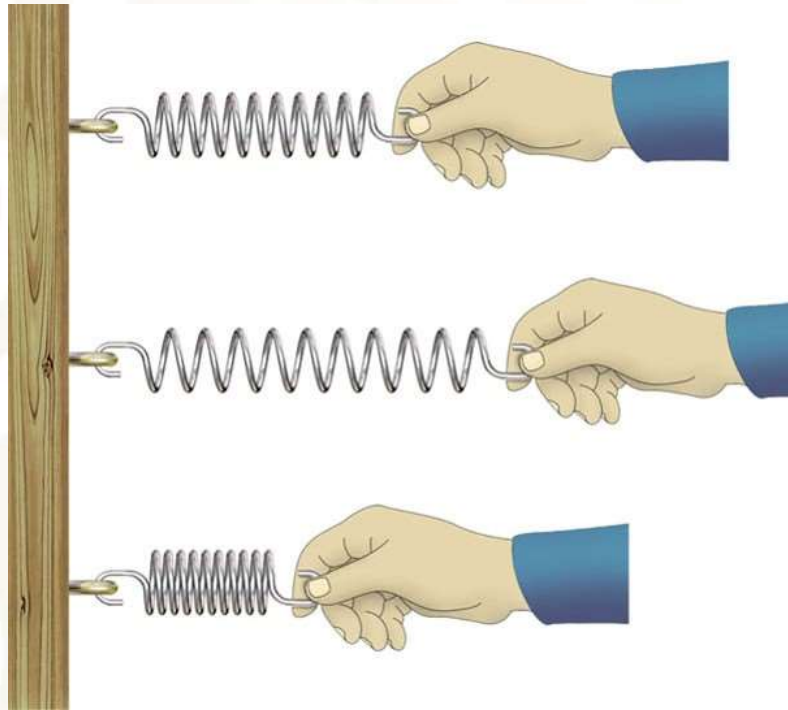
Daño

# Elementos mecánicos en materiales

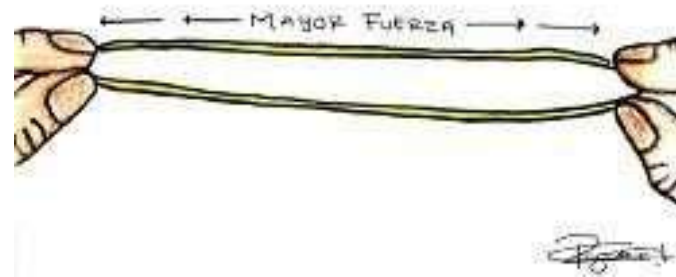
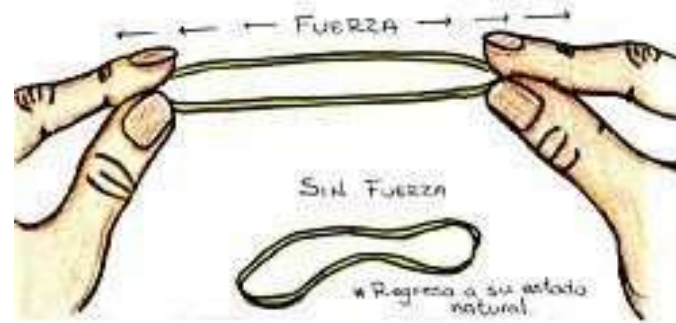




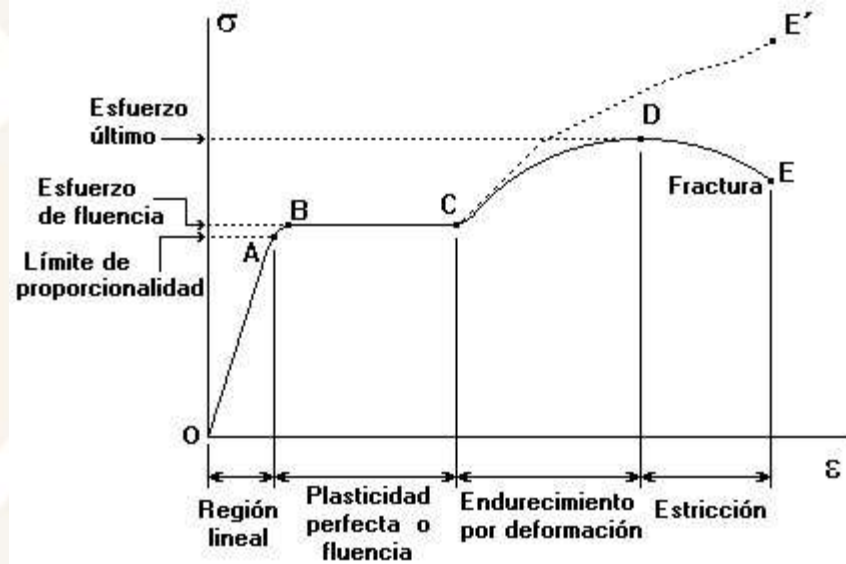




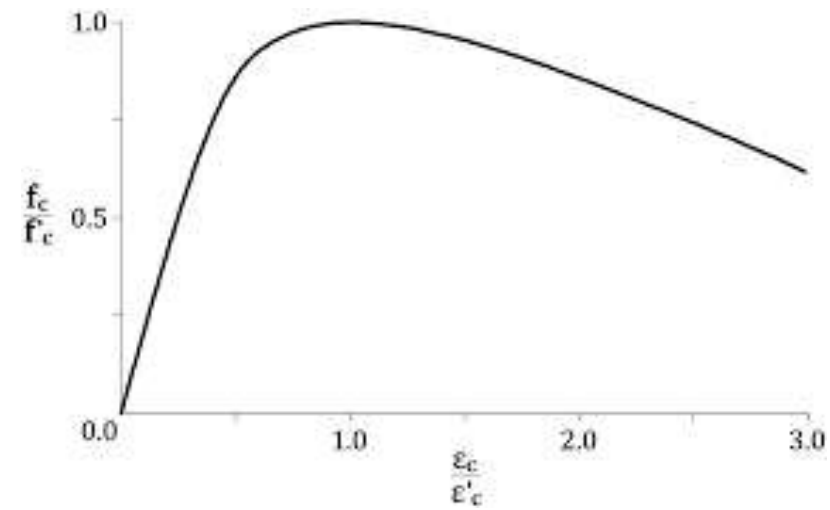
## ELASTICIDAD



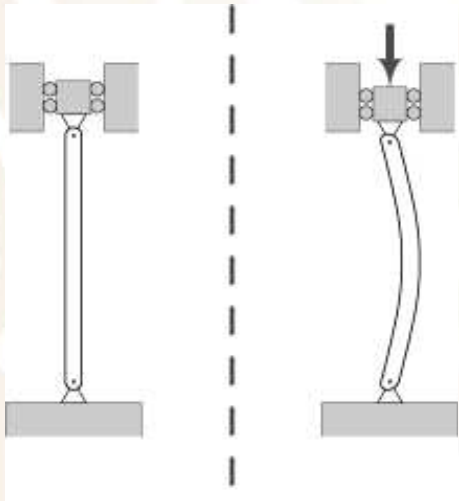
Curva esfuerzo deformación típica de acero



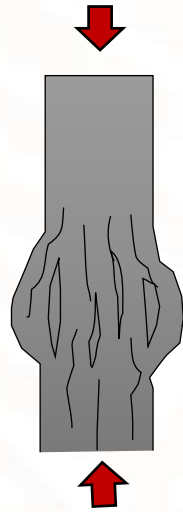
Curva esfuerzo deformación típica de concreto



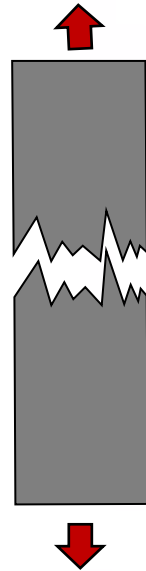




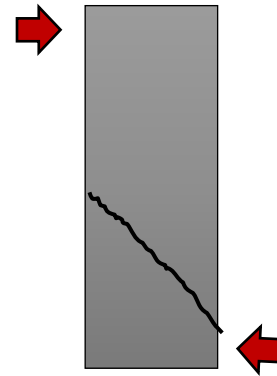
**Pandeo por  
compresión.  
Genera  
inestabilidad**



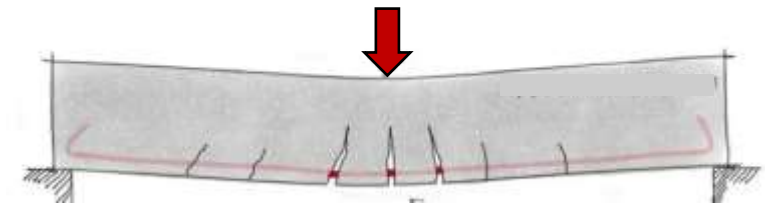
**Falla por  
compresión**



**Falla por  
tensión. Puede  
ser dúctil o  
frágil**

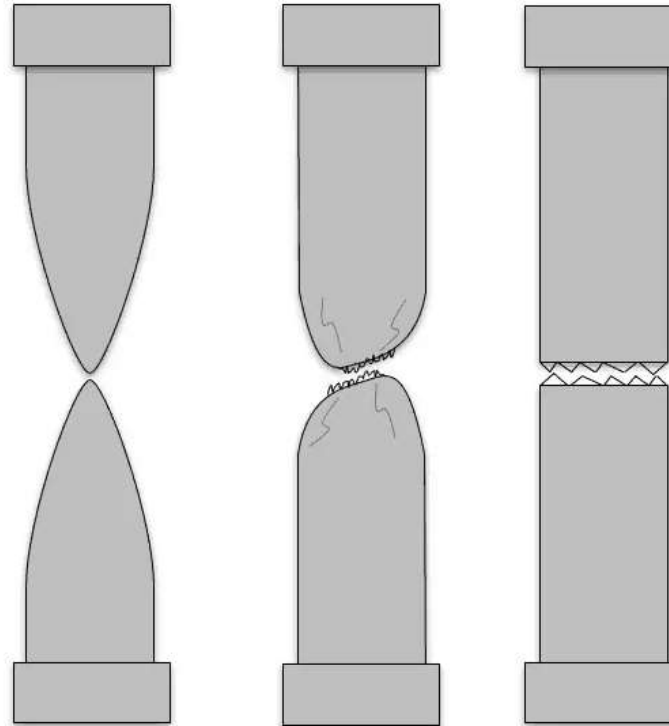


**Falla por  
cortante.  
Siempre es frágil**



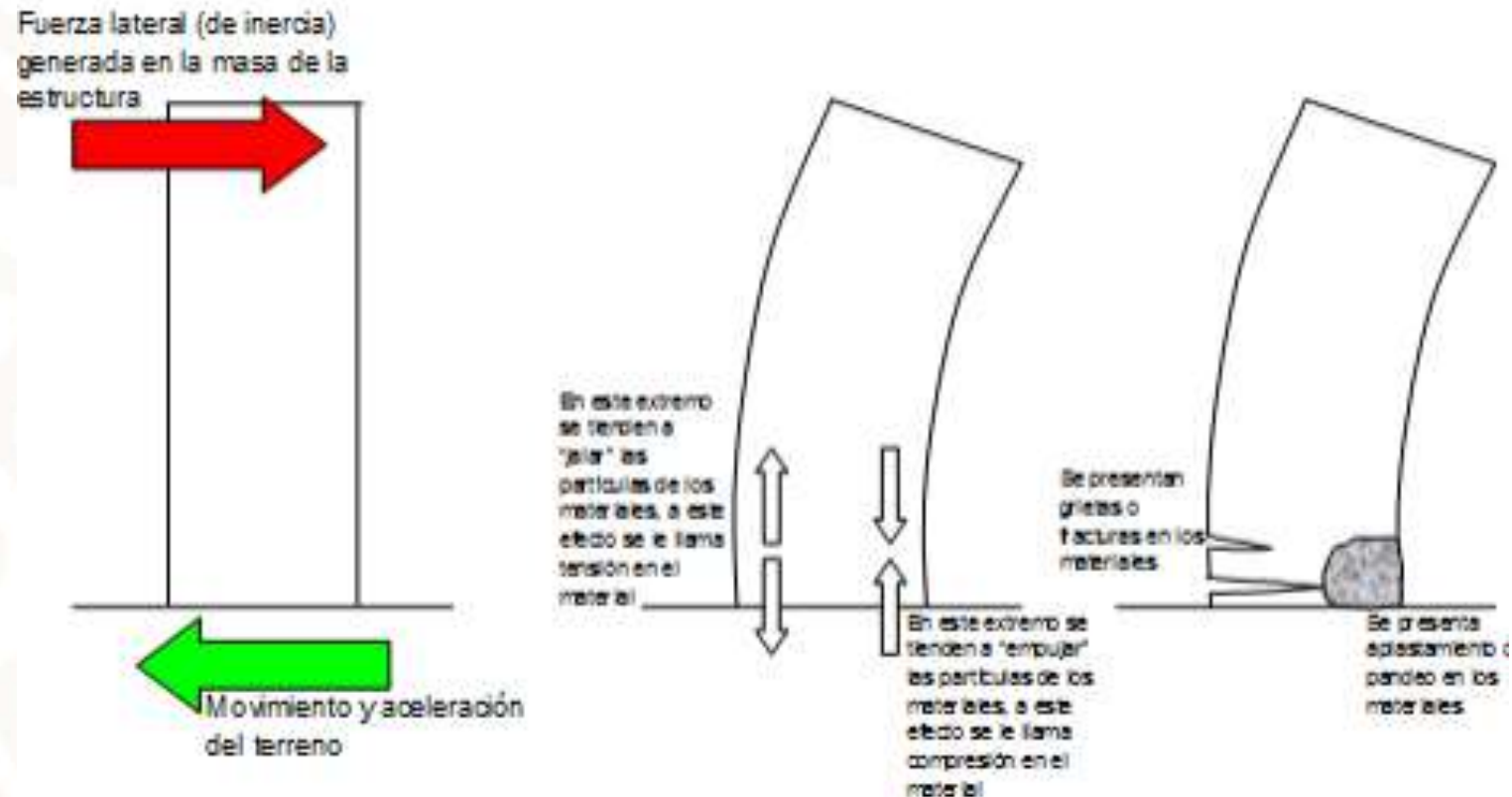
**Falla por flexión.  
Puede ser dúctil  
o frágil**

# ¿Qué es dúctil o frágil?



# Comportamiento de flexión

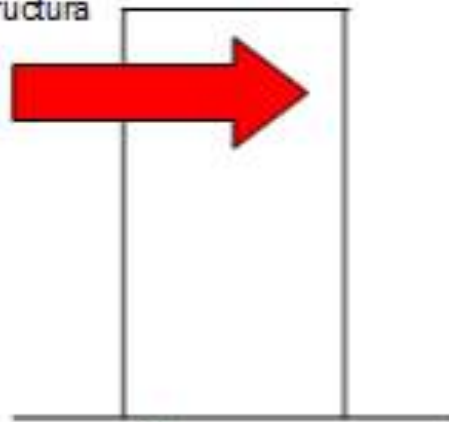
En el comportamiento de flexión los efectos de compresión y tensión en los materiales se presentan paralelamente dentro del elemento.



# Comportamiento de cortante

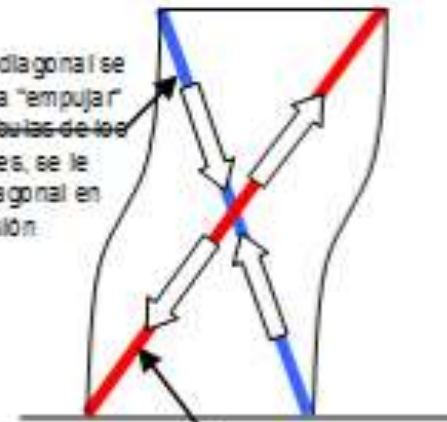
En el comportamiento de cortante los efectos de compresión y tensión en los materiales se presentan casi perpendicularmente uno del otro dentro del elemento.

Fuerza lateral (de inercia)  
generada en la masa de la  
estructura



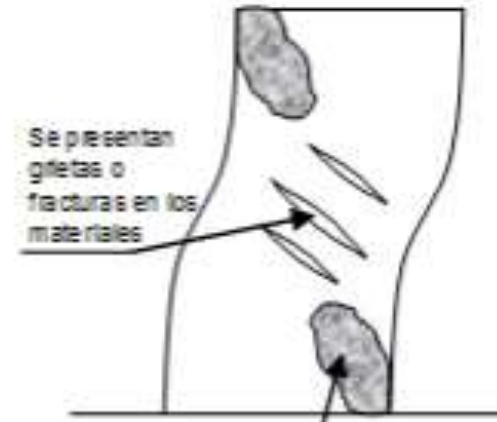
Movimiento y aceleración  
del terreno

En esta diagonal se  
tienden a "empujar"  
las partículas de los  
materiales, se le  
llama diagonal en  
compresión



En esta diagonal se  
tienden a "jalar"  
las partículas de los  
materiales, se le  
llama diagonal en  
tensión

Se presentan  
grietas o  
fracturas en los  
materiales

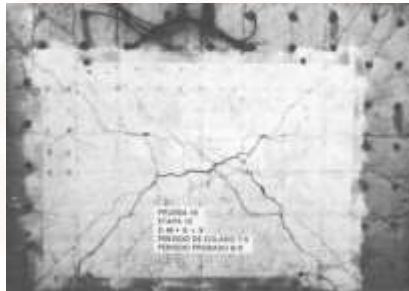


Se presenta  
aplastamiento o  
pandeo en los  
materiales



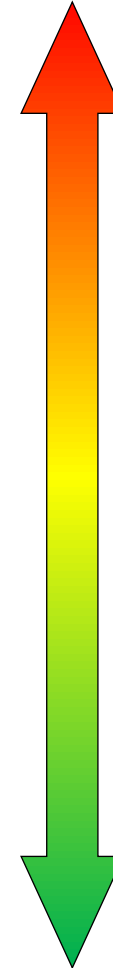


# Importancia del elemento estructural



Consecuencias de falla

Mayores



Menores

Columnas

Muros estructurales

Trabes

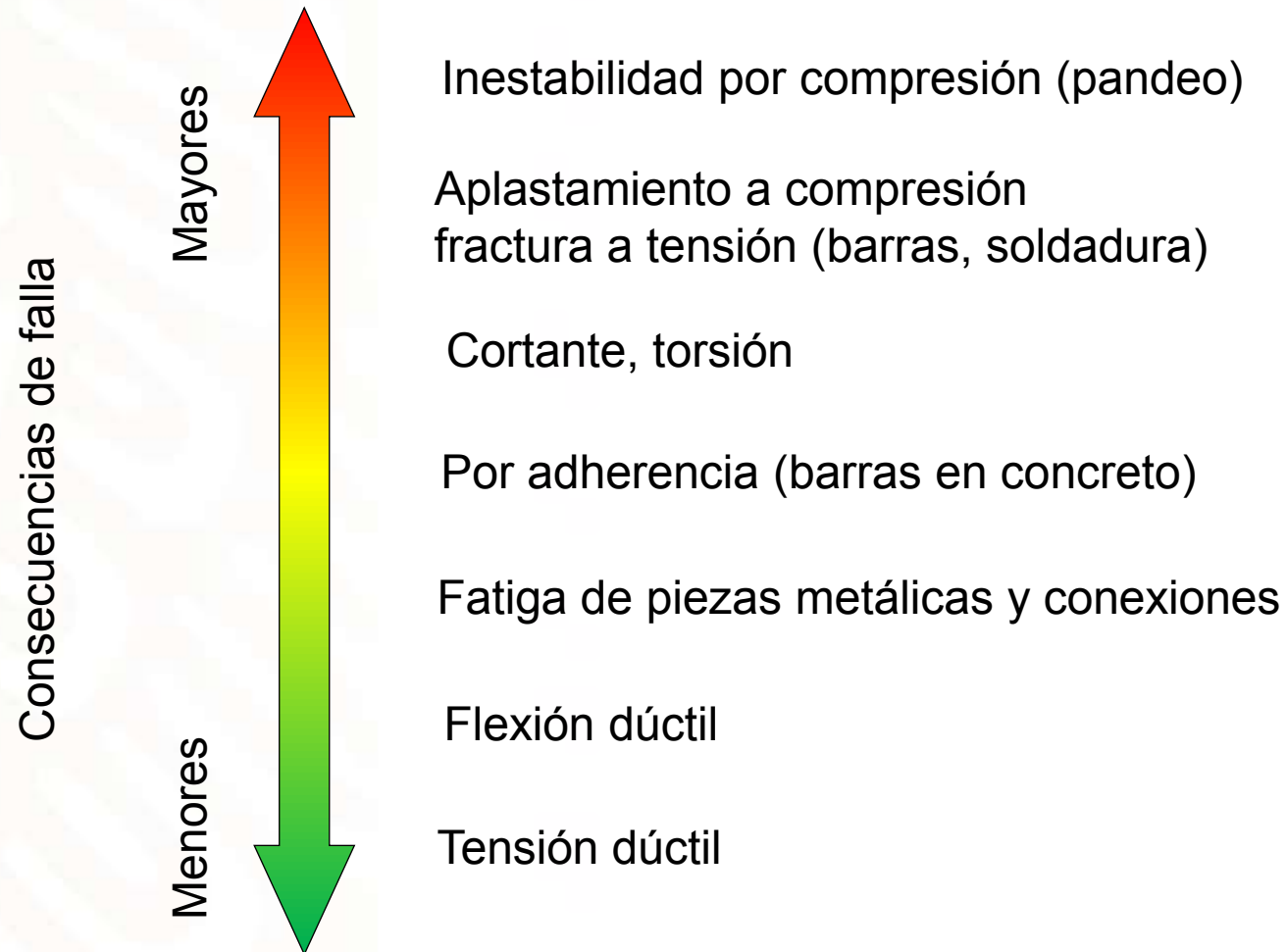
Losas y rampas

Techumbres ligeras

Muros divisorios

Instalaciones

# Consecuencia de la falla





# Daños en elementos de acero

Deformación de placa base y agrietamiento en soldadura



# Falla en la placa base por desgarramiento

Desgarre de la placa base, causas posibles:

- Corrosión
- Espesor (t) insuficiente de placa



# Falla por tensión en las anclas de la placa base

Posibles causas:

- Diámetro insuficiente de los tornillos.
- Gran deterioro del diámetro de los tornillos por corrosión.





# Falla de soldadura en conexiones



*Imagen: Ismael Vázquez, SMIS, 2009*

# Falla de conexión atornillada

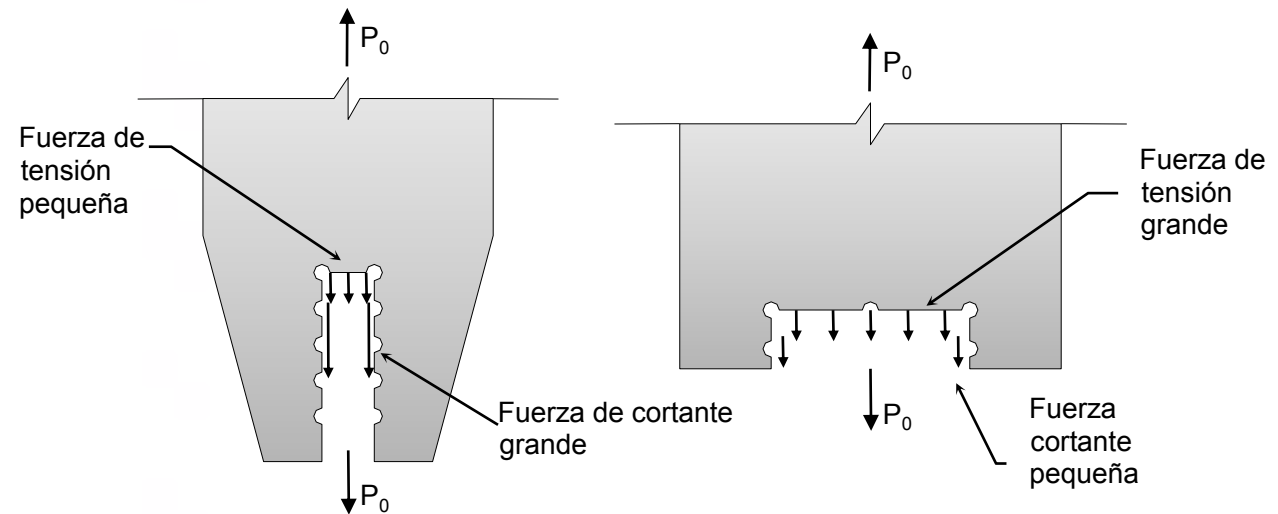
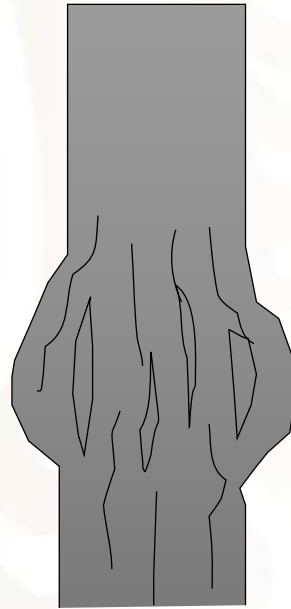
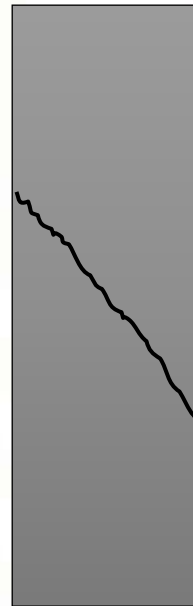


Imagen: Ismael Vázquez, SMIS, 2009

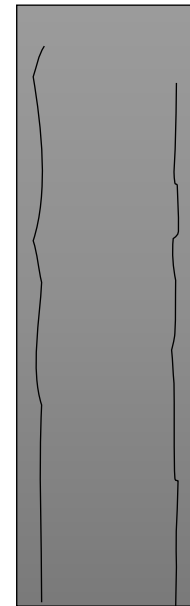
# Tipo de falla en columnas de concreto



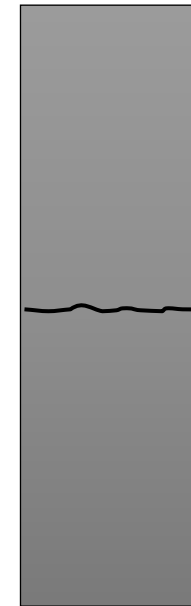
Por  
compresión



Cortante



Adherencia



Flexión

Agrietamientos:

Forma, distribución  
Cantidad  
Ancho de grieta



# Fallas en columnas



Por flexión



Por cortante

# Falla de columna por compresión y por flexocompresión



*Sismo de Turquía, 1999*



# Aplastamiento de columna por compresión



# Falla tipo en columna



*Sismo de Turquía, 1999*





# Falla de conexiones viga-columna



# Ensayes experimentales en columnas





# Modo de falla por cortante, con pandeo de barras y fractura de estribos



# Falla por compresión, con pandeo de barras y fractura de estribos



*Ensayo CENAPRED*



# Falla por flexión; formación de articulación plástica en la base



# Pérdida del recubrimiento



# Falla por flexión en columnas





# Mecanismo de colapso por articulación de columnas de la planta baja



# Falla por flexión en columnas





# Falla por compresión en columnas



# Daños en muros de concreto



# Falla final por deslizamiento en la base



# Falla por tensión diagonal debida a fuerza cortante sísmica





# Aplastamiento, pandeo y fractura de barras en muro de concreto



# Daños en columnas cortas



# Falla por flexión en columna corta



# Falla de columna corta



# Falla de columna corta



**Manzanillo, Col., Sismo de Tecomán, 2003**



# Daños en trabes

# Articulación plástica por flexión y cortante en trabe

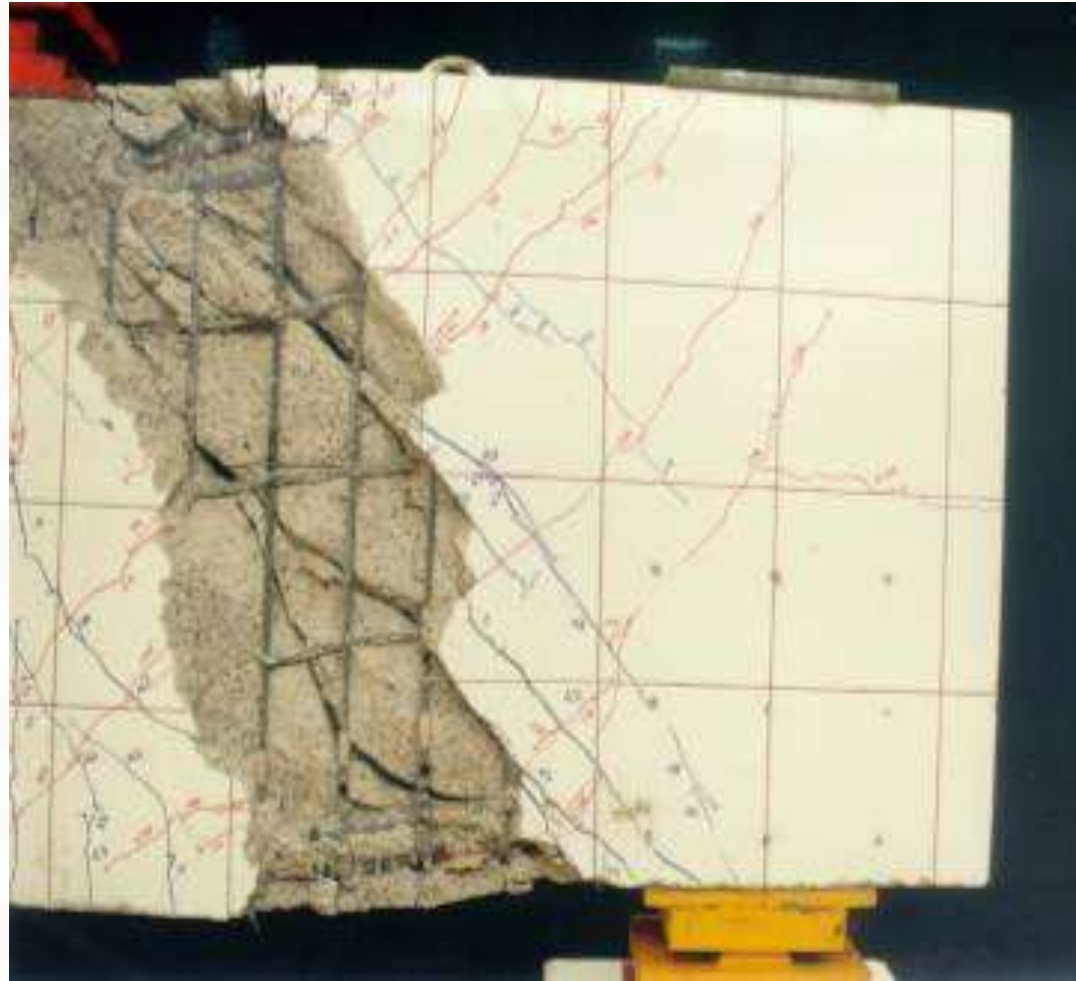


# Mecanismo de articulación plástica en trabe (por flexión)





# Falla por cortante en viga peraltada



# Daños por problemas de detallado

# Acero de refuerzo liso y con falla frágil



Sismo de Turquía, 1999



# Daños por mala estructuración y mal detallado



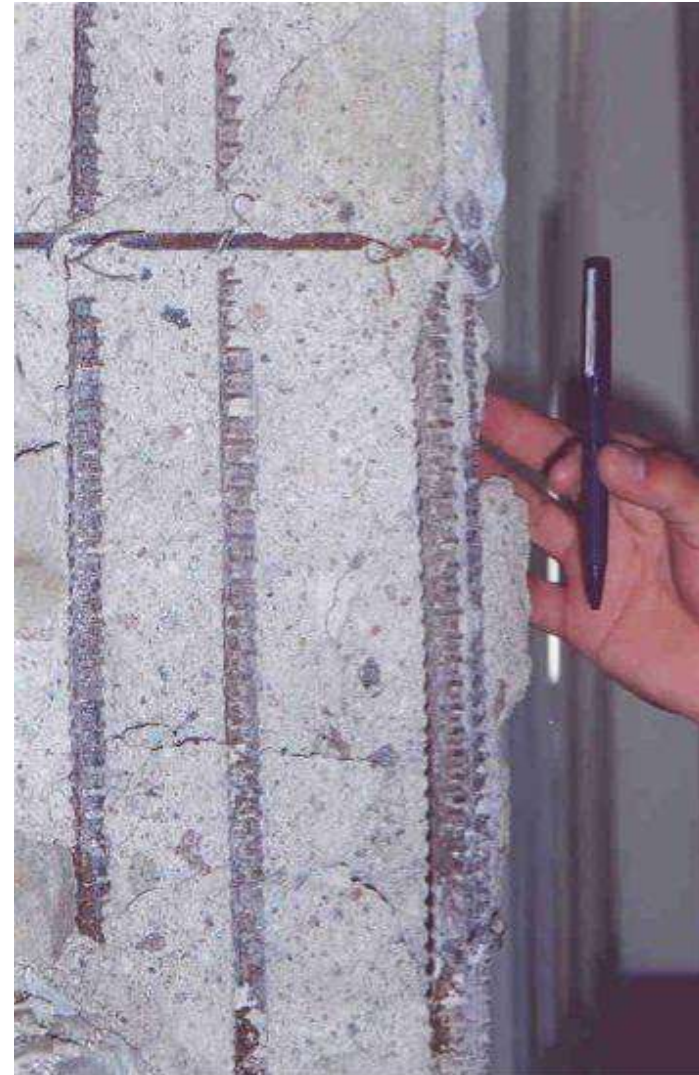
*Sismo de Turquía, 1999*



# Problemas de mal detallado



# Separación incorrecta del refuerzo transversal





# Aplastamiento de concreto, pandeo de barras y falta de estribos



# Falta de estribos, acero liso, corrosión

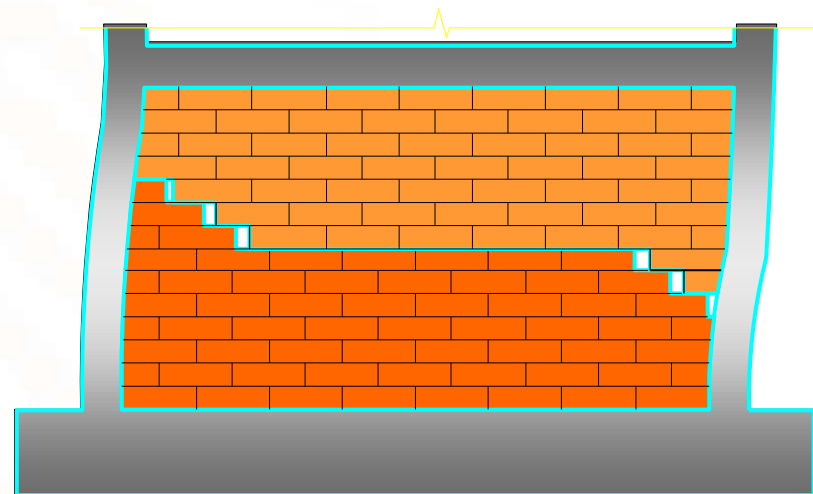
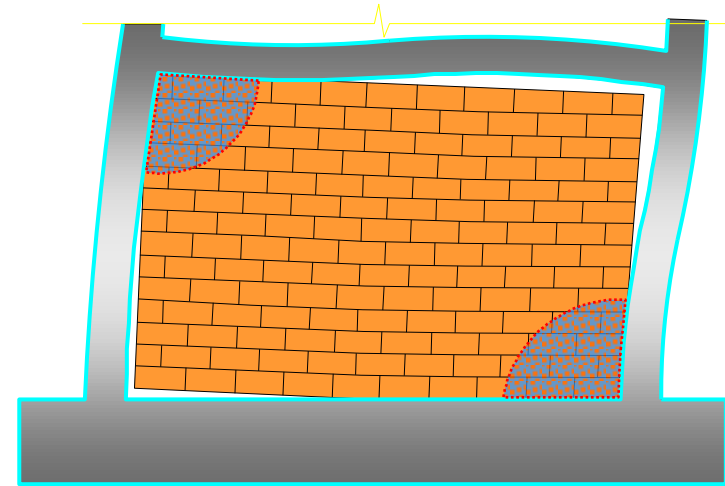
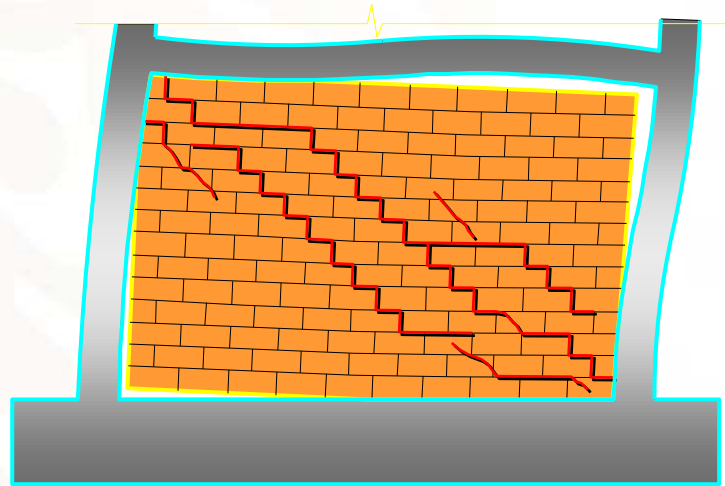


Sismo de Tecomán, 2003

# Daño en muros de mampostería



# Muros diafragma (modos de falla)



(Crisafuli, 1997)

# Daño en muros de mampostería



# Daño en mampostería sin refuerzo alrededor de aberturas



*Sismo de Tecomán, Villa de Álvarez Col, 2003*



# Daño por cortante en muros de mampostería sin confinamiento



*Sismo de Tecomán, Colima, 2003*

# Daño en edificio de vivienda





# Daño por asentamientos diferenciales

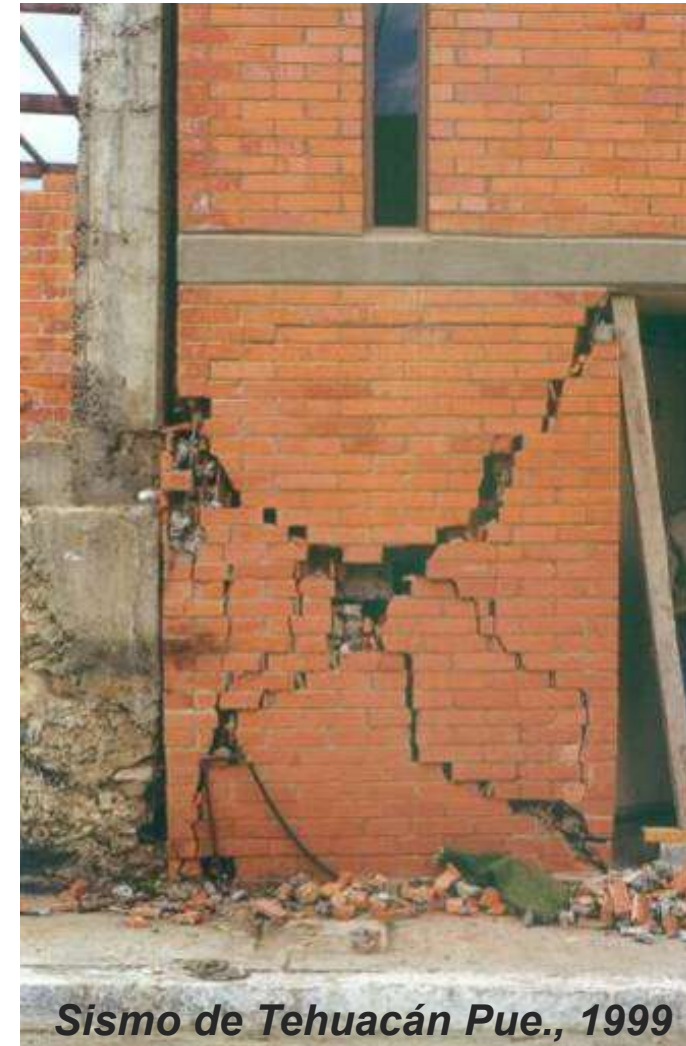




# Daño por cortante en muros de mampostería hueca mal reforzados



# Daño por cortante en muros de mampostería hueca mal reforzados



*Sismo de Tehuacán Pue., 1999*



# Daño por sismo en muros de mampostería simple (sin refuerzo)



*Sismo de Bam, Irán, 2003*



# Colapsos

# Colapso total de hospital



*Sismo del DF, 1985*

# Colapso total de edificio



*Sismo del DF, 1985*



# Concentración de masas en pisos superiores



*Sismo del DF, 1985*



# Colapso por planta baja flexible



*Sismo Turquía, 1999*

# Colapso por planta baja flexible



*Sismo de Turquía, 1999*





# Colapso tipo por planta baja flexible



*Sismo de Turquía, 1999*

# Colapso por planta baja débil



*Sismo Tehuacán Puebla, 1999*

# Daños en elementos no estructurales y en contenidos



# Rupura de vidrios en escuela, Jalisco

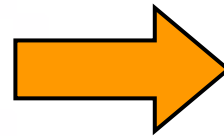


*Sismo de Tecomán, Colima, 2003*

# Grietas en interfaz entre marcos y muros



# Grieta en el recubrimiento





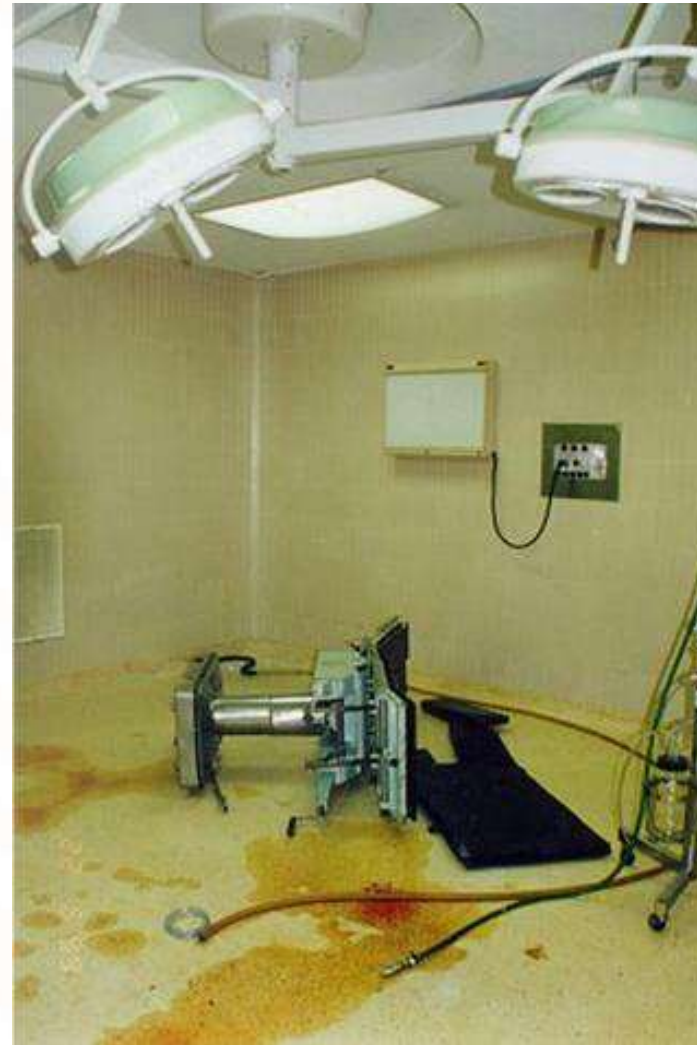
# Caída de recubrimientos de muros



# Volteo de anaqueles y libreros



# Volteo de mobiliario y equipo





# Colapso en plafones



# Fallas de cimentación

# Falla de cimentación con asentamiento del edificio





# Emersión de edificio



# Daño por asentamiento debido al fenómeno de subsidencia



# Daño por asentamiento del edificio vecino





# Falla de cimentación



# Asentamiento por licuación de arenas





# Volteo de edificios por licuación de arenas





# Volteo por falla de cimentación



*Sismo Turquía, 19*

# Volteo por falla de cimentación



*Sismo Turquía, 1999*



# Deterioro de materiales



# Corrosión de acero y deterioro de materiales



# Corrosión de acero en viga



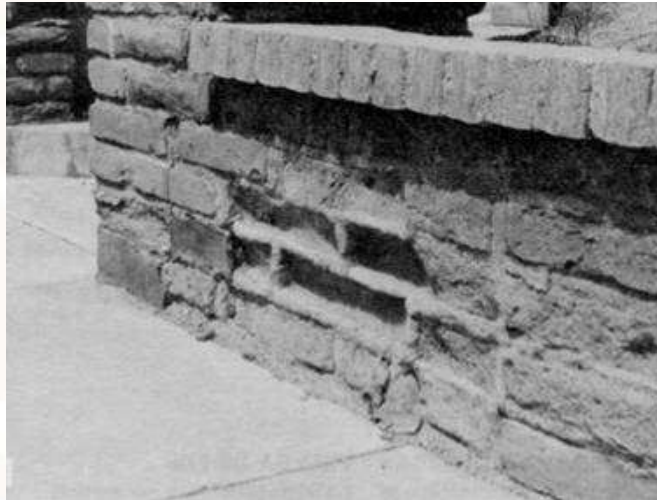


# Corrosión de acero en losas





# Degradación del material



# Mala calidad de los materiales de construcción



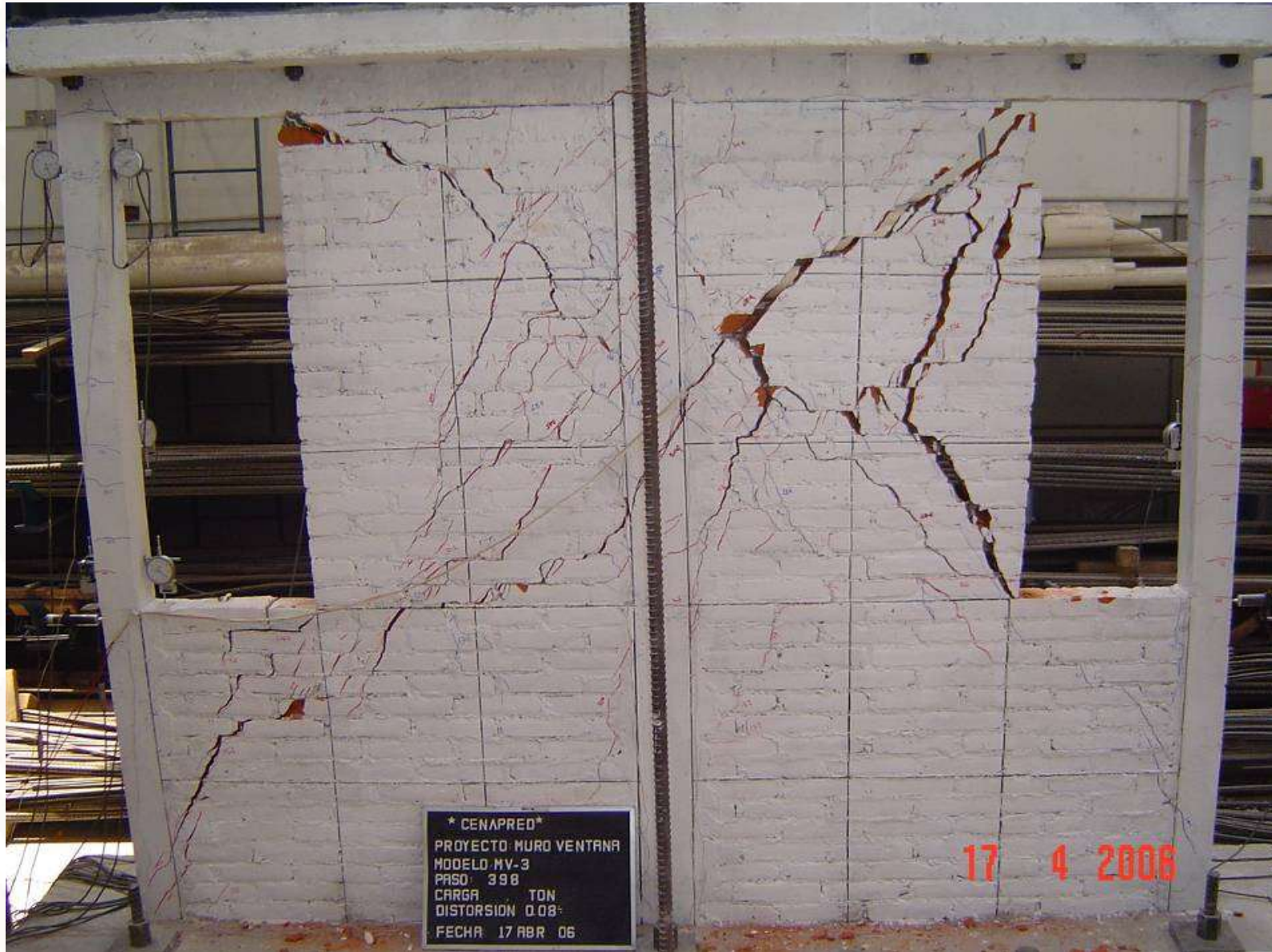
# Relación entre niveles de daño y la capacidad de carga vertical y lateral de las edificaciones







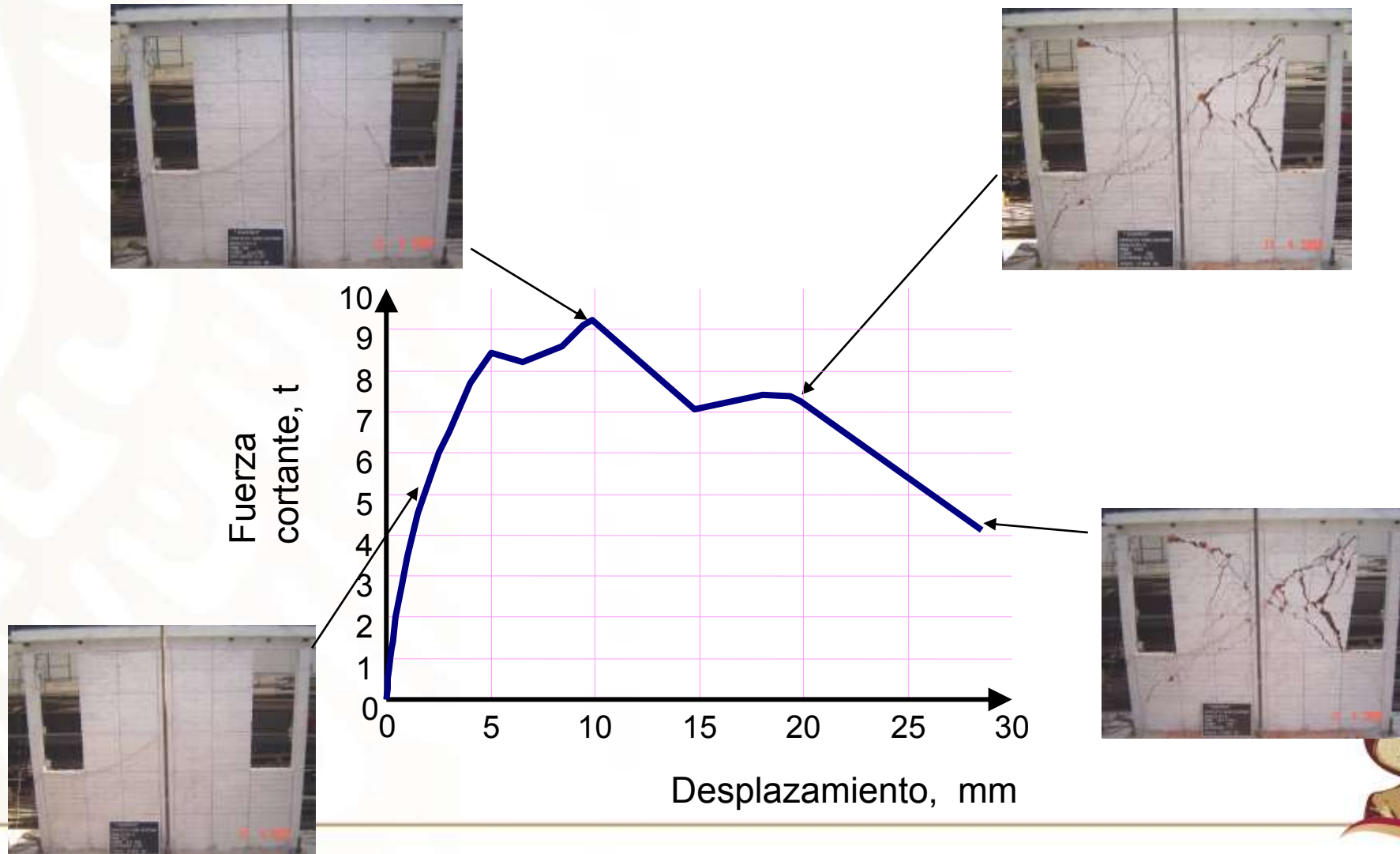








# Correlación daño – capacidad remanente



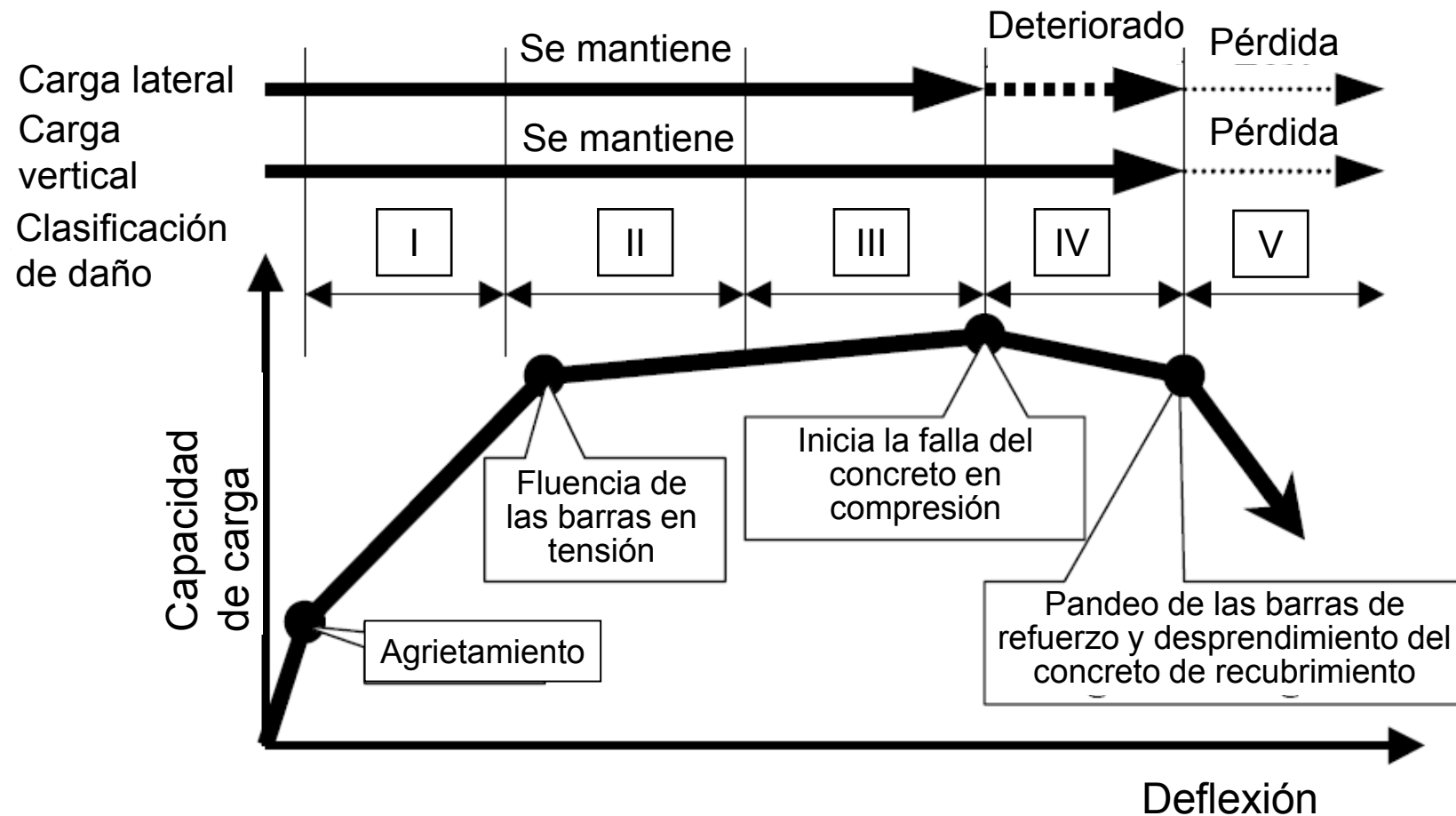
# Conceptos básicos para determinar niveles daño

1. Procedimiento para definir el nivel de daño basado en la capacidad sísmica residual
2. Estudiar su validación a través de su calibración con daños observados en sismos recientes y trabajo experimental
3. Estudiar su validación con sistemas de un grado de libertad y análisis inelásticos



# Elemento de comportamiento dúctil

Procedimiento para definir el nivel de daño basado en la capacidad sísmica residual



(a) Elemento de comportamiento dúctil

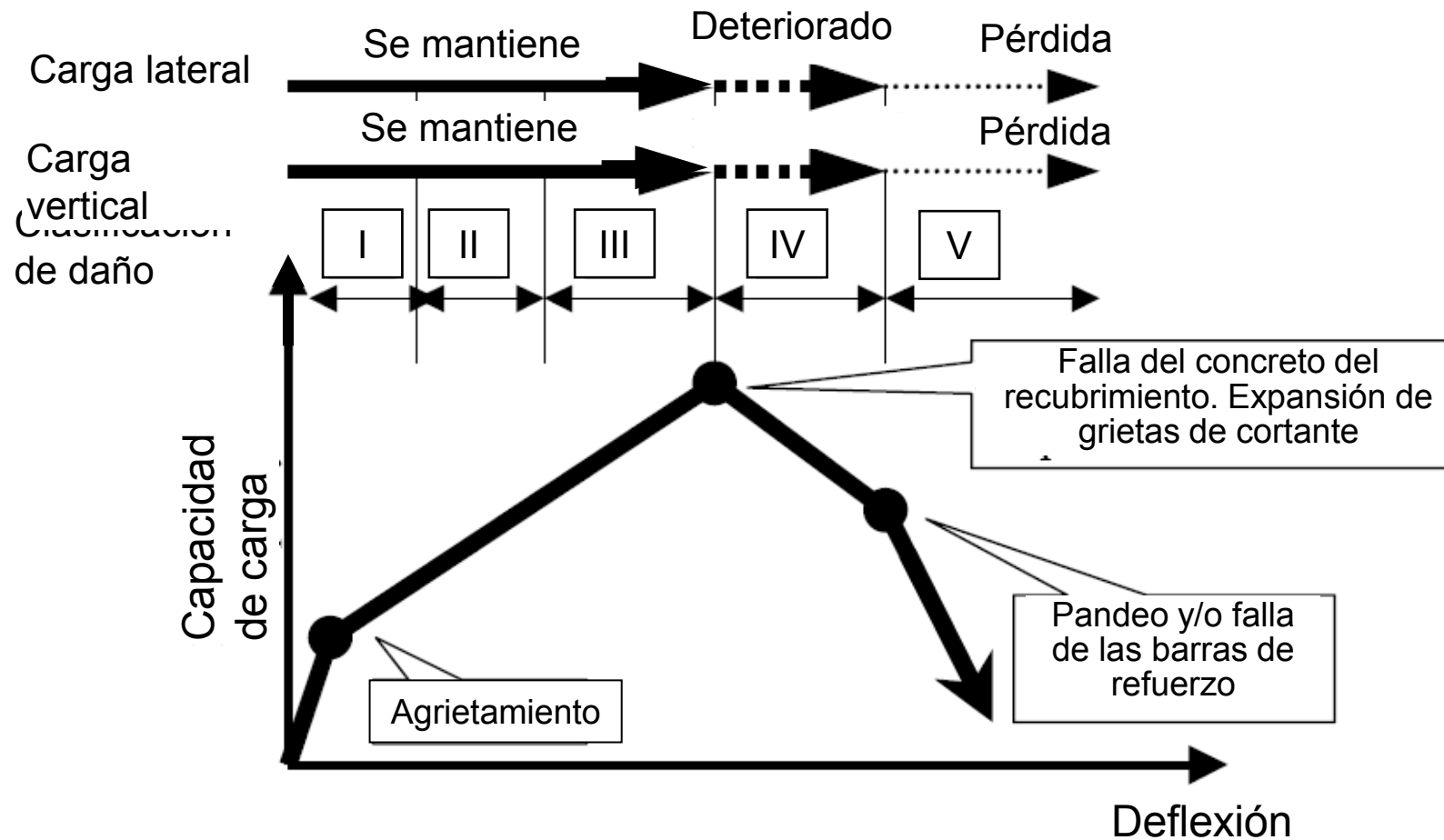
# Clasificación de daño

## a) Elementos de comportamiento dúctil (agrietamiento de flexión)

Clasificación del daño	Daño observable en elementos estructurales
I	Algunos agrietamiento se observan. Ancho de grieta menor de 0.5 mm.
II	Se observan grietas con ancho entre 0.5 y 1.0 mm.
III	Se observa agrietamiento severo con anchos de 1.0 a 5.0 mm. Se observa algún desprendimiento del concreto.
IV	Se observa mucho agrietamiento severo. El ancho de grieta es mayor de 5 mm. Las barras de refuerzo se encuentran expuestas producto del desprendimiento del concreto de recubrimiento.
V	Pandeo del refuerzo, aplastamiento del concreto y deformación vertical en columnas y/o muros estructurales. Exposición del acero de refuerzo por demanda de flexión y fractura de algunas de las barras.

# Elementos de comportamiento frágil

Procedimiento para definir el nivel de daño basado en la capacidad sísmica residual



(b) Elemento de comportamiento frágil

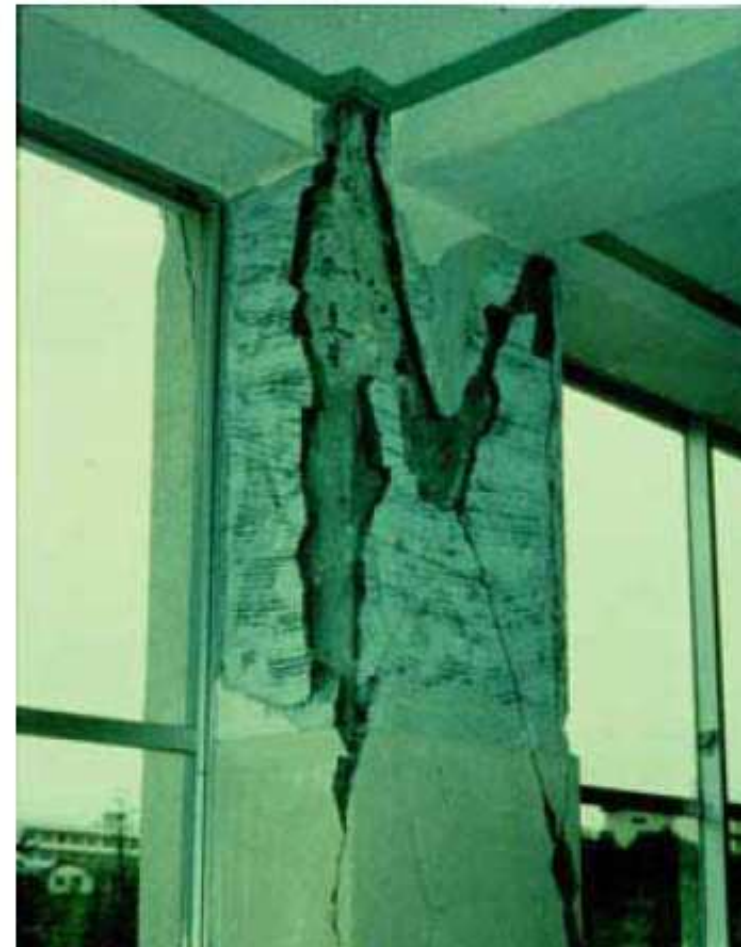


# Clasificación de daño

## b) Elementos de comportamiento frágil (agrietamiento diagonal)

Clasificación del daño	Daño observable en elementos estructurales
I	Algunos agrietamiento se observan. Ancho de grieta menor de 0.2 mm.
II	Se observan grietas con ancho entre 0.2 y 1.0 mm.
III	Se observa agrietamiento severo con anchos de 1.0 a 2.0 mm. Se observa algún desprendimiento del concreto.
IV	Se observa mucho agrietamiento severo. El ancho de grieta es mayor de 2 mm. Las barras de refuerzo se encuentran expuestas producto del desprendimiento del concreto de recubrimiento.
V	Pandeo del refuerzo, aplastamiento del concreto y deformación vertical en columnas y/o muros estructurales. Exposición del acero de refuerzo por demanda de flexión y fractura de algunas de las barras.

# Clasificación de daño para elementos de concreto reforzado Nivel III



Se observa agrietamiento severo con anchos de 1.0 a 2.0 mm. Se observa algún desprendimiento del concreto y leve exposición de barras

# Clasificación de daño para elementos de concreto reforzado Nivel IV



Se observan mucho agrietamiento severo. El ancho de grieta es mayor de 2.0 mm. Las barras de refuerzo se encuentran expuestas producto del desprendimiento del concreto de recubrimiento



# Clasificación de daño para elementos de concreto reforzado Nivel V



Pandeo del refuerzo, aplastamiento del concreto y deformación vertical en columnas y/o muros estructurales. Exposición del acero de refuerzo por demanda de flexión y/o fractura de algunas de las barras



***Gracias por su atención***

***Subdirección de Riesgos Estructurales***

Juan José Gómez García

[jgomez@cenapred.unam.mx](mailto:jgomez@cenapred.unam.mx)



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA