

# “Evaluación de hospitales”

**Efectos de los fenómenos sobre las estructuras,  
Daño en elementos estructurales y no estructurales**

---

M.I. Joel Aragón Cárdenas

25 DE JUNIO DE 2021



GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

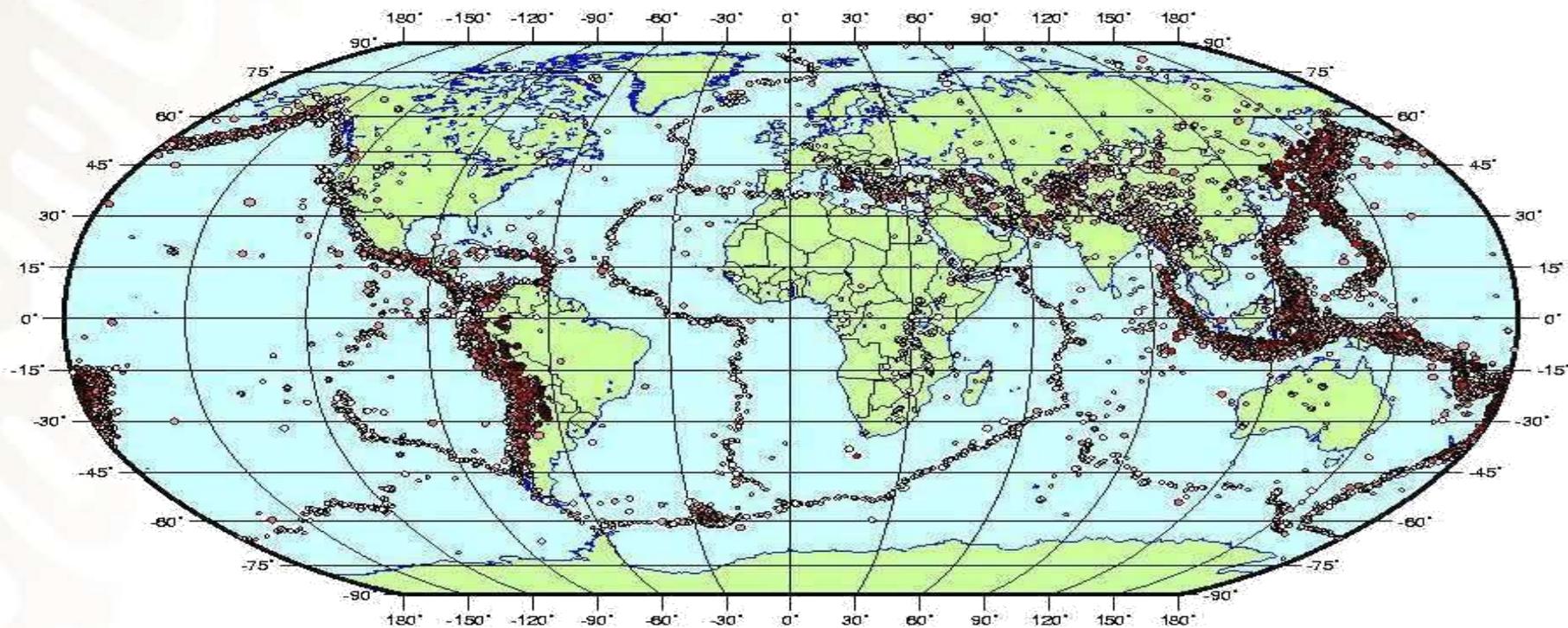


CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

# Actividad sísmica mundial



British Geological Survey



# Impacto de desastres naturales en hospitales (1981 - 1996)

Según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), entre 1981 y 1996

- 93 hospitales y 538 unidades de salud han sido dañados a consecuencia de desastres naturales.
- Las pérdidas han ascendido a US\$3.120 millones.

Lo anterior podría compararse a una situación extrema en la que 20 países de esta región hubiesen sufrido (cada uno) la demolición de seis hospitales de primer nivel y de 25 unidades de salud.



# Los hospitales son especialmente vulnerables frente a desastres naturales

- La tasa de ocupación es constante –24 horas diarias, durante todo el año. Un hospital es casi imposible de evacuar en caso de una emergencia.
- La supervivencia de algunos pacientes depende del correcto funcionamiento de equipos y de la continuidad de los servicios básicos.
- En emergencias y desastres, las instalaciones médicas son esenciales y deben seguir funcionando con posterioridad a un desastre.
- Dependen altamente de servicios públicos (agua, electricidad, comunicaciones, etc.), los cuales generalmente se ven interrumpidos a causa de los desastres



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## **Colapso Hospital Juárez, se perdieron 536 camas y la vida de 561 personas, durante el terremoto de México de 1985**





GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

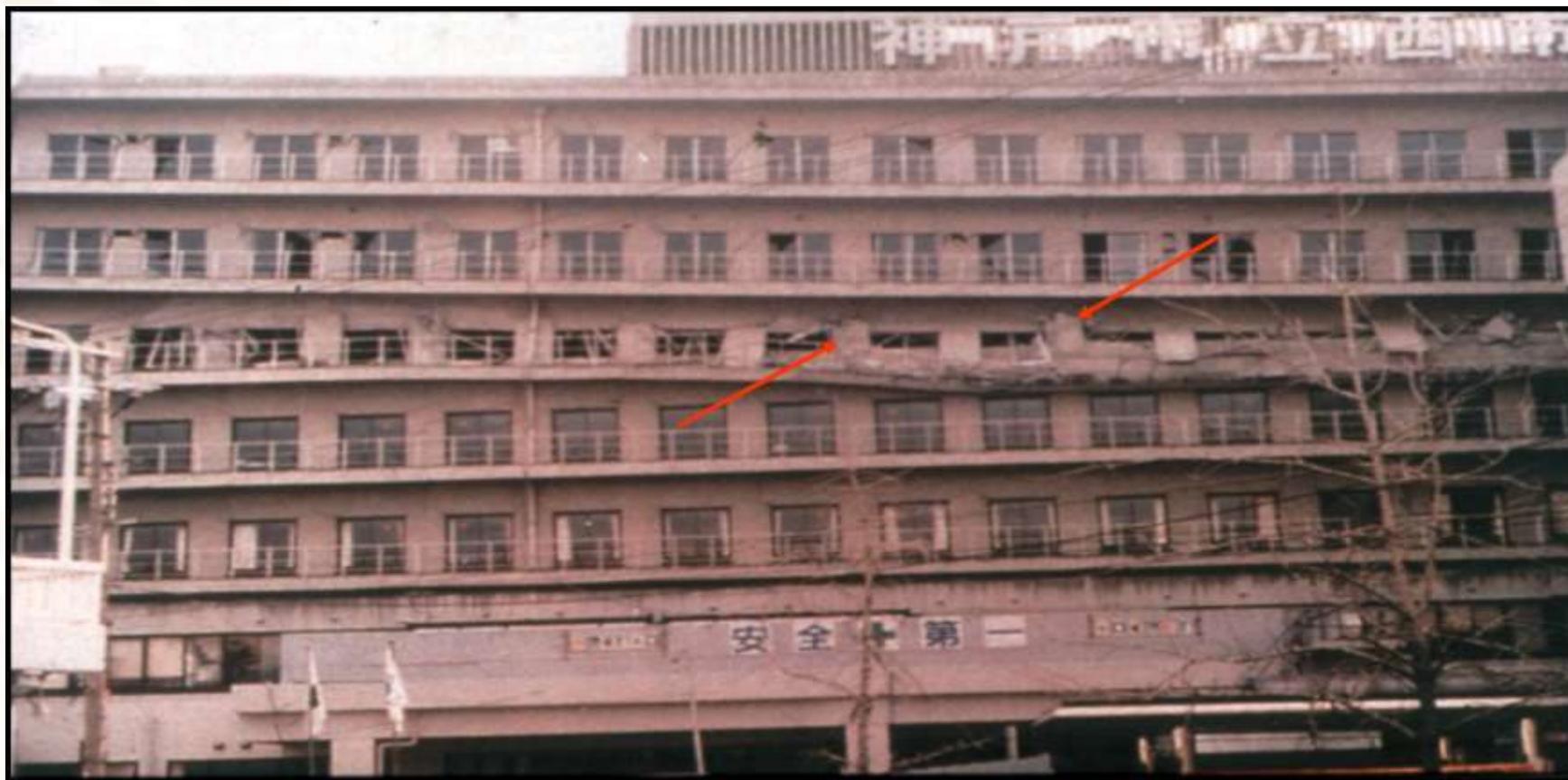


CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## Colapso parcial de un hospital durante el terremoto de Kobe – Japón en 1995





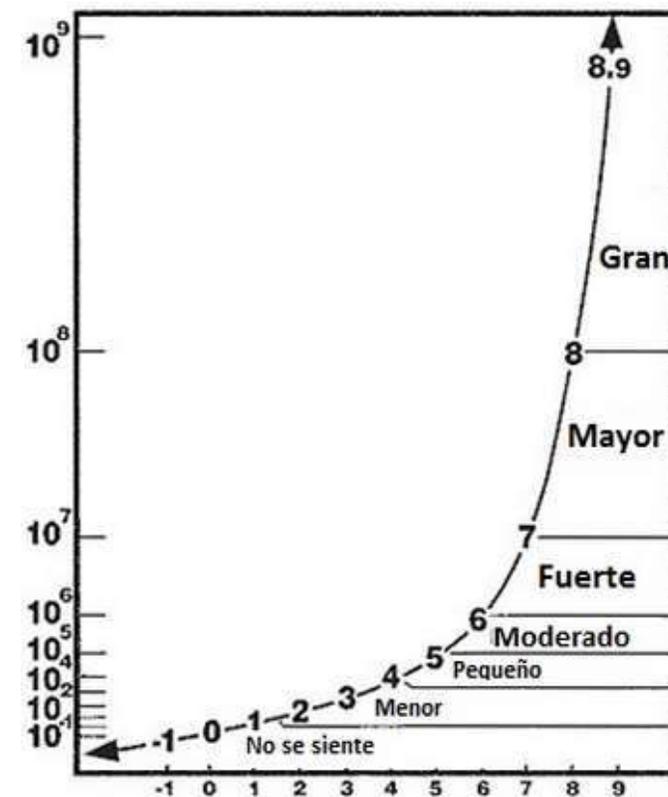
# Métodos para medición de sismos

## Escala de Magnitud

La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada.

Un sismo de magnitud 8 equivale:

- 32 sismos magnitud 7
- 1000 sismos magnitud 6
- 32,000 sismos magnitud 5
- 1,000,000 sismos magnitud 4





# Métodos para medición de sismos

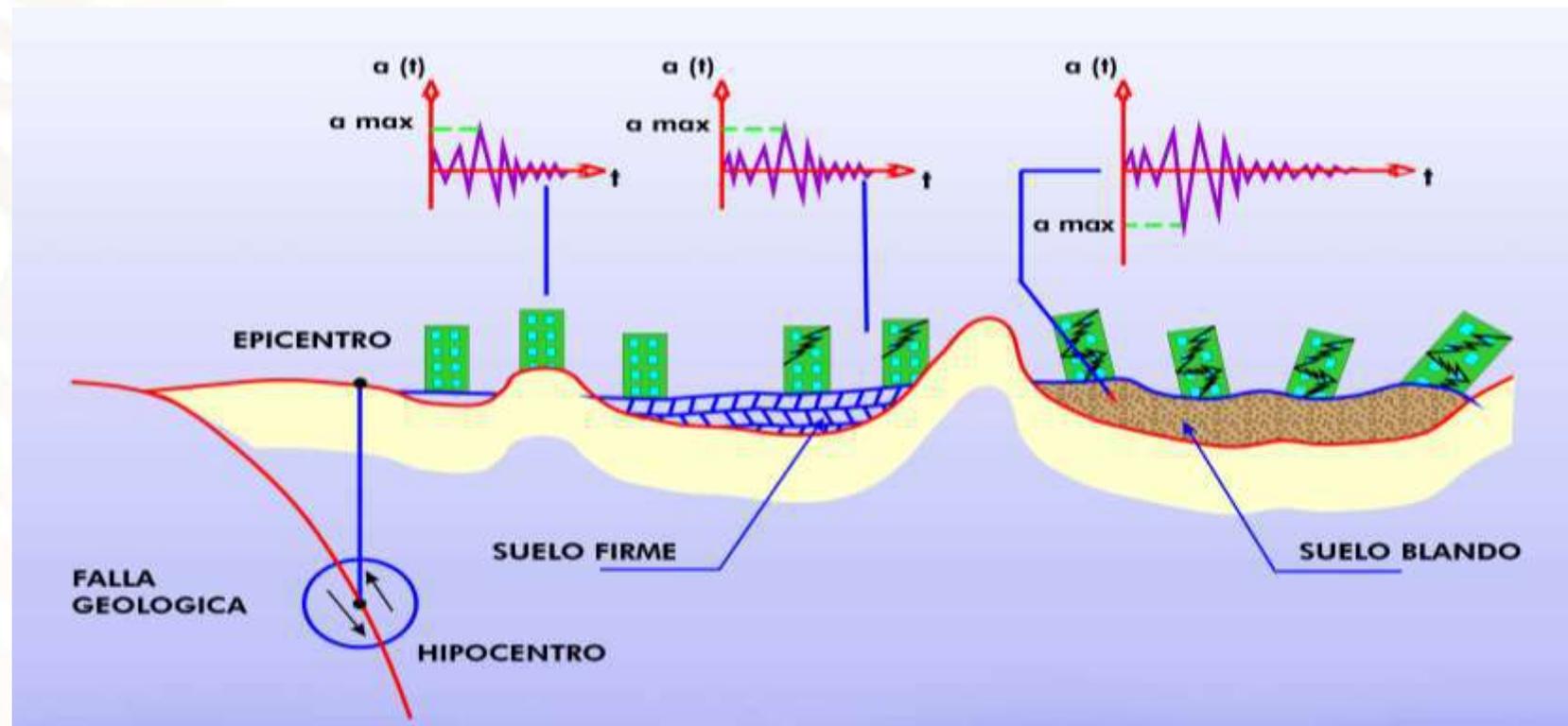
## Escala Mercalli Modificada

La intensidad del movimiento sísmico se estima con base en los daños en las obras realizadas por el hombre y su reacción al movimiento del terreno. Es una escala cualitativa

- I Sólo por instrumentos
- II Sentido por personas en reposo en pisos superiores
- III Lámparas oscilan
- IV Ventanas y puertas crujen
- V Sentido en la calle, objetos inestables desplazados, puertas se abren y cierran
- VI Sentido por todos, vidrios se quiebran, objetos caen de estantes y libreros, daño ligero en adobe
- VII Dificultad para estar de pie, sentido en vehículos andando, daño severo en adobe, daño ligero en mampostería pobre
- VIII Difícil conducir vehículos, daño severo en mampostería pobre, daño ligero en mampostería buena pero sin diseño, grietas en taludes inclinados
- IX Pánico general, adobe destruido, daño severo a mampostería buena pero sin diseño, daño severo a edificios con marcos
- X Mampostería destruida, edificios dañados o destruidos, puentes destruidos, daño en presas, rieles deformados
- XI Daño general en construcciones, rieles muy deformados, ruptura de tuberías enterradas
- XII Destrucción total, masas de roca desplazadas, objetos lanzados

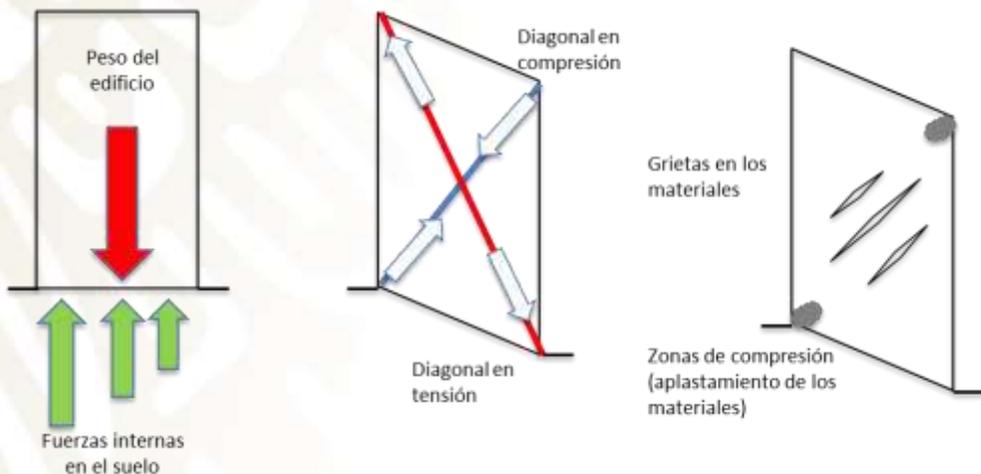
## Efectos de sitio

La forma, amplitud y duración del movimiento sísmico se ve afectado, entre otras cosas, por su magnitud, distancia hipocentral y características del suelo



# Asentamiento diferenciales

En el comportamiento debido al hundimientos diferenciales del suelo tiene efectos de compresión y tensión en los elementos estructurales de los edificios, se presentan casi perpendicularmente uno del otro dentro del elemento. El mecanismo es similar al que ocasiona una fuerza sísmica, sin embargo en este caso el mecanismo es vertical.





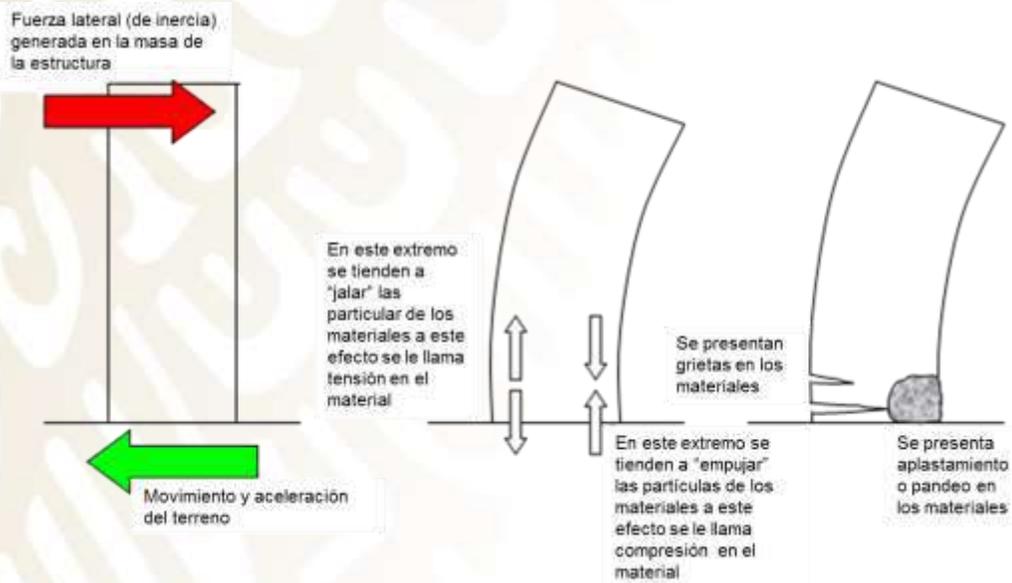
# Licuefacción del suelo

La licuefacción del suelo puede llegar a comprometer la estabilidad de una estructura.

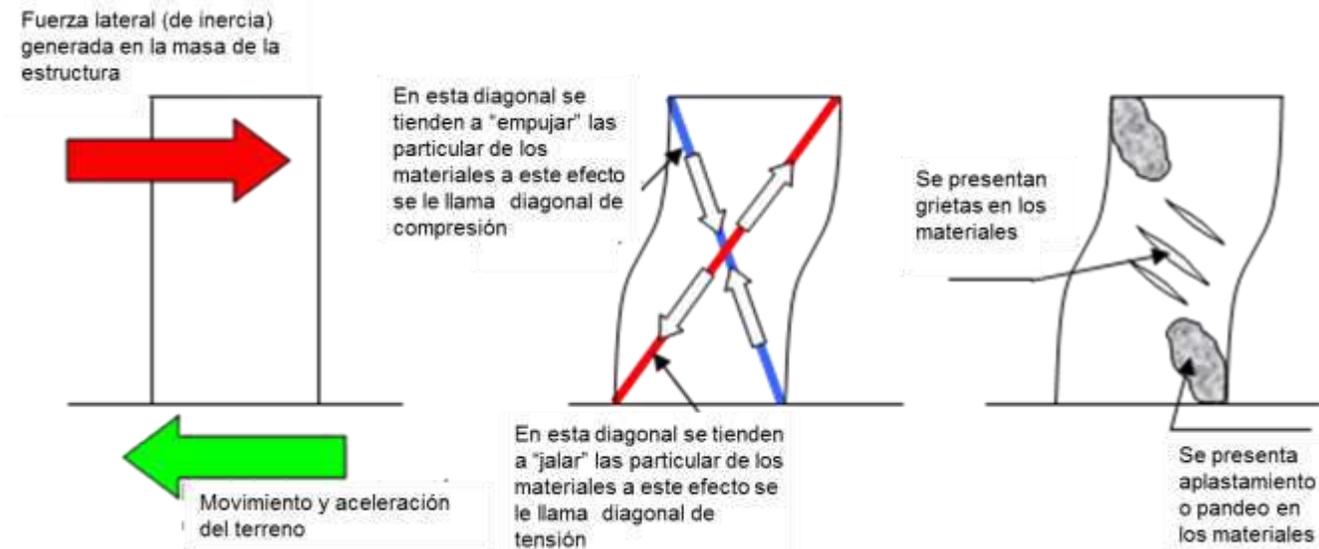


# Comportamiento de los elementos estructurales

Fuerzas internas debidas flexión



Fuerzas internas debidas a fuerzas laterales (cortante)





GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## Daños en elementos estructurales

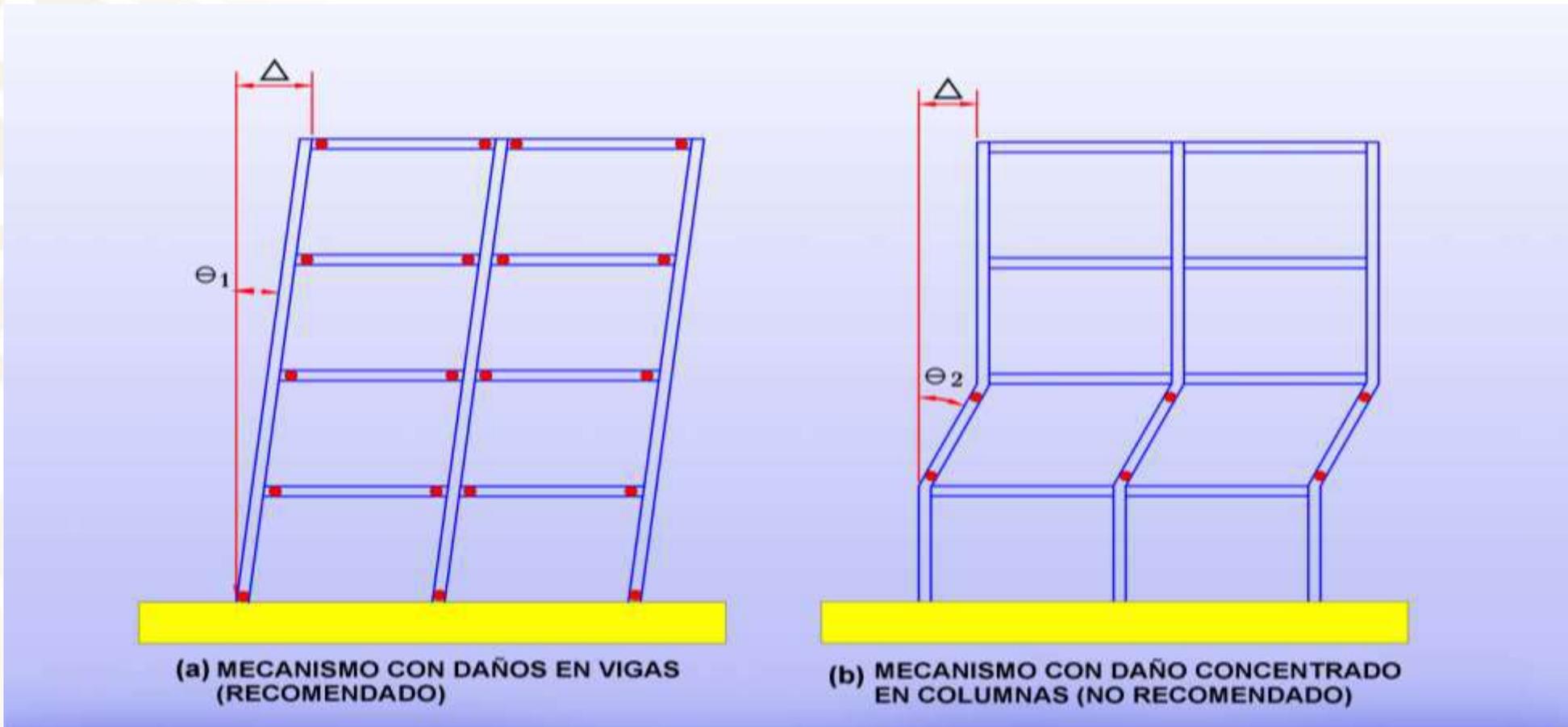


Daños producidos por carga axial en columna.



Daños producidos por esfuerzo cortante en columnas del primer piso

# Mecanismos de daño en estructuras

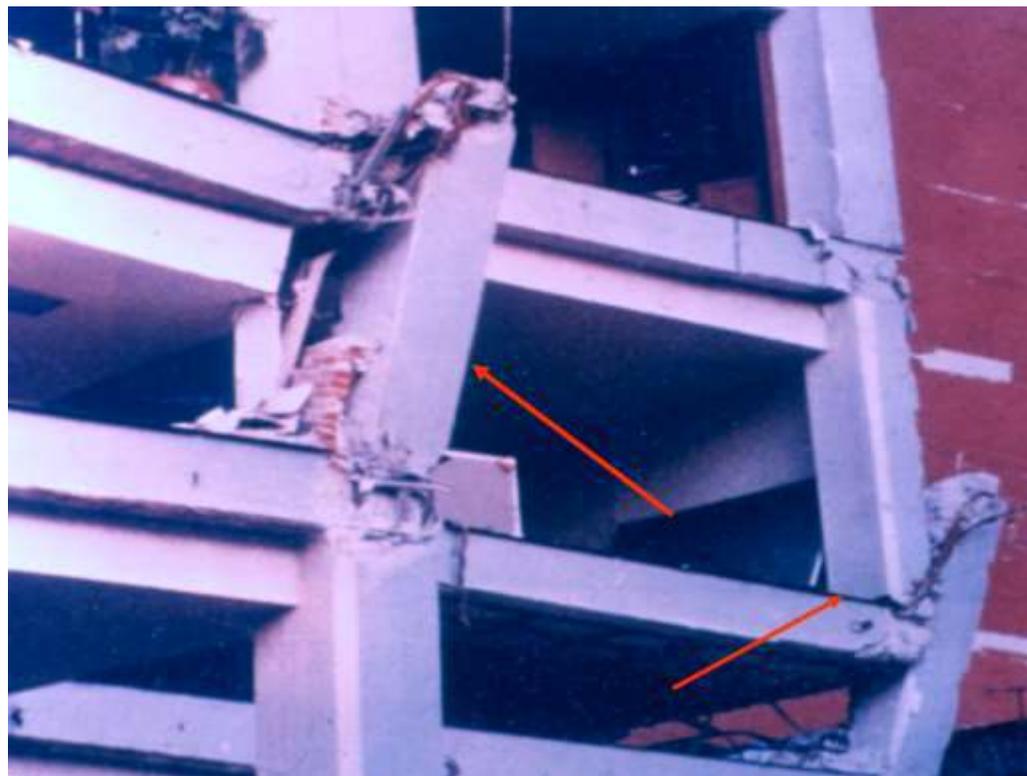




# Mecanismos de daño en estructuras



Mecanismo de falla recomendado: daño en vigas y no en columnas.



El daño en nudos o columnas puede provocar la falla parcial o total de la estructura



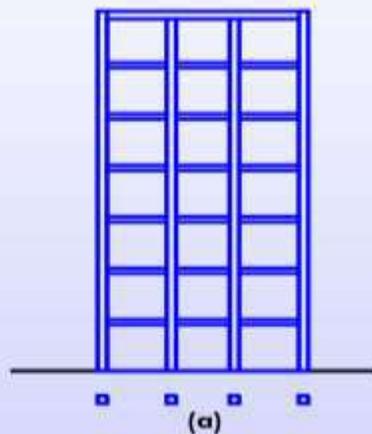
# Filosofía para el diseño sísmico de hospitales

La estructura deberá ser proyectada, diseñada y construida de manera que:

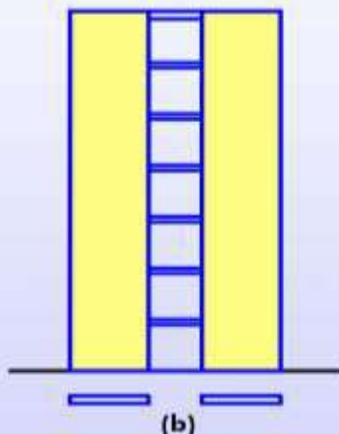
- Resista sin daño alguno, sismos de intensidad moderada.
- Resista con daños no estructurales menores y fácilmente reparables, sismos de mediana intensidad.
- Resista con daño estructural reparable y que se garantice el servicio ininterrumpido del edificio durante sismos excepcionalmente severos.



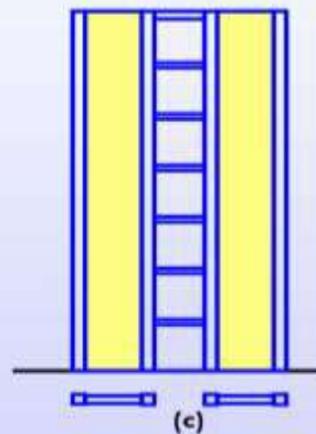
# Diferentes sistemas estructurales



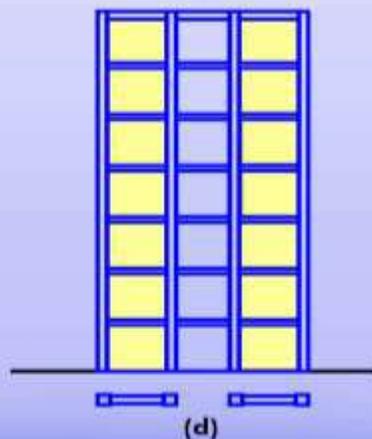
(a)



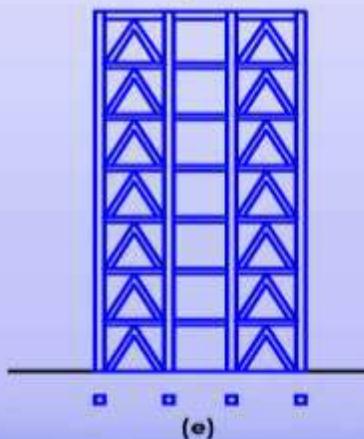
(b)



(c)



(d)



(e)

## Sistemas Resistentes a Cargas Laterales

- (a) Marcos
- (b) Muros de Cortante
- (c) Muros de Cortantes con Elementos de Borde
- (d) Muros de Cortante Confinados
- (e) Marco Arriostrado



# Aspectos de diseño que pueden causar problemas de comportamiento

- Configuración en planta
- Excentricidad
- Configuración en altura
- Discontinuidad de elementos verticales
- Concentraciones de masa en pisos



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL

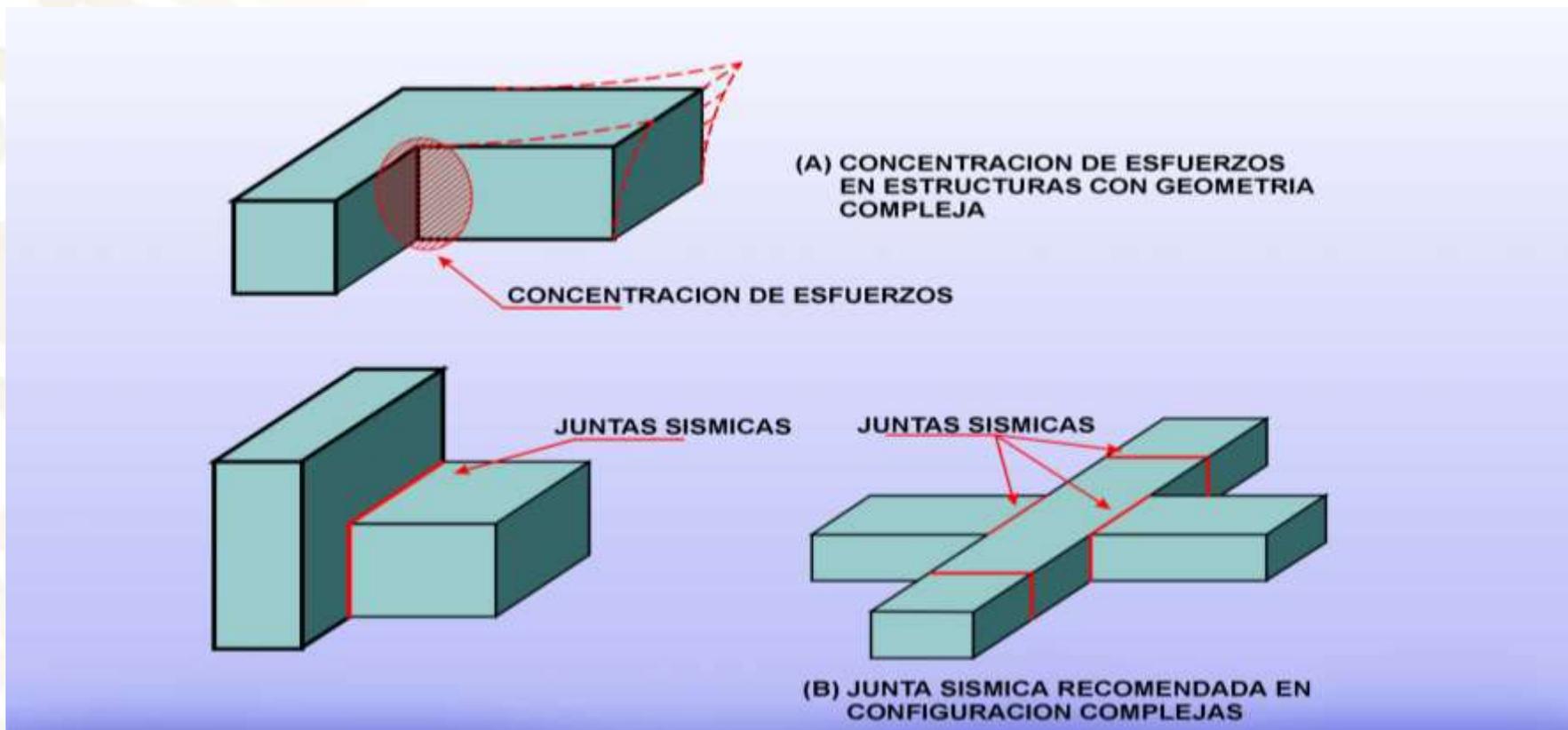


**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

# Planta irregular



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

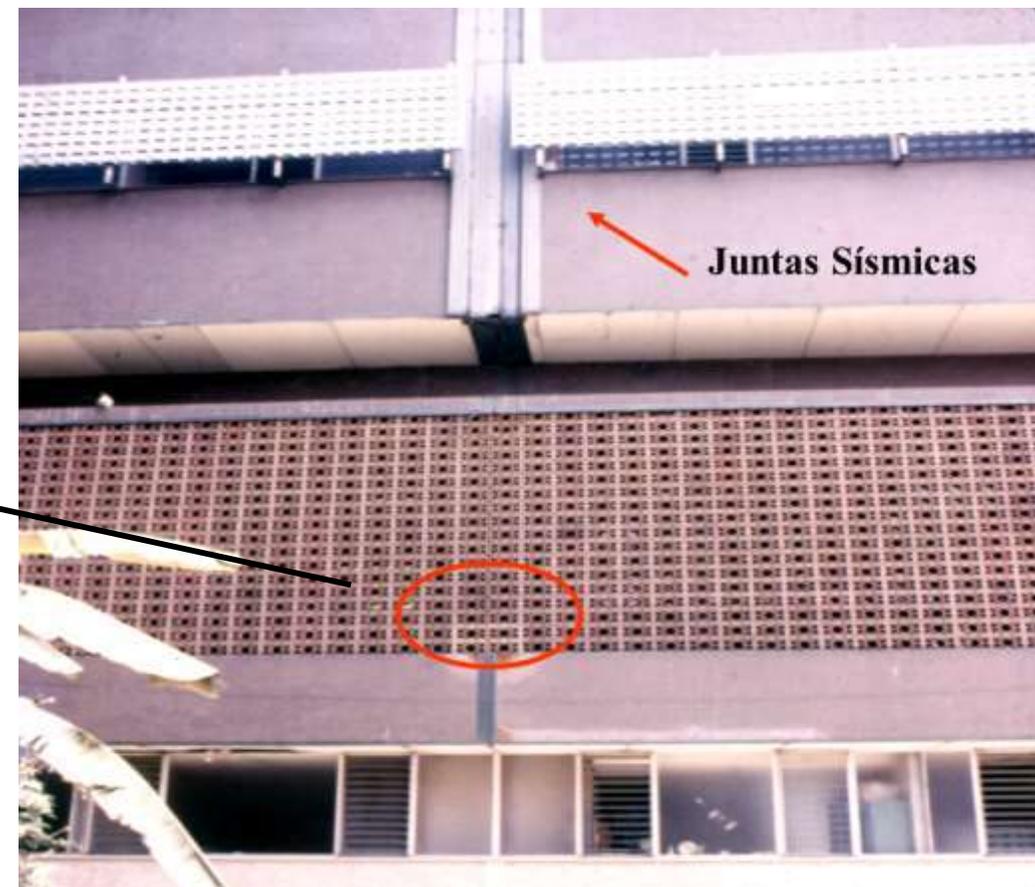




## Uso de juntas sísmicas para diseños estructurales con configuración de planta compleja

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

Los elementos arquitectónicos deben respetar las juntas sísmicas





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

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





GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

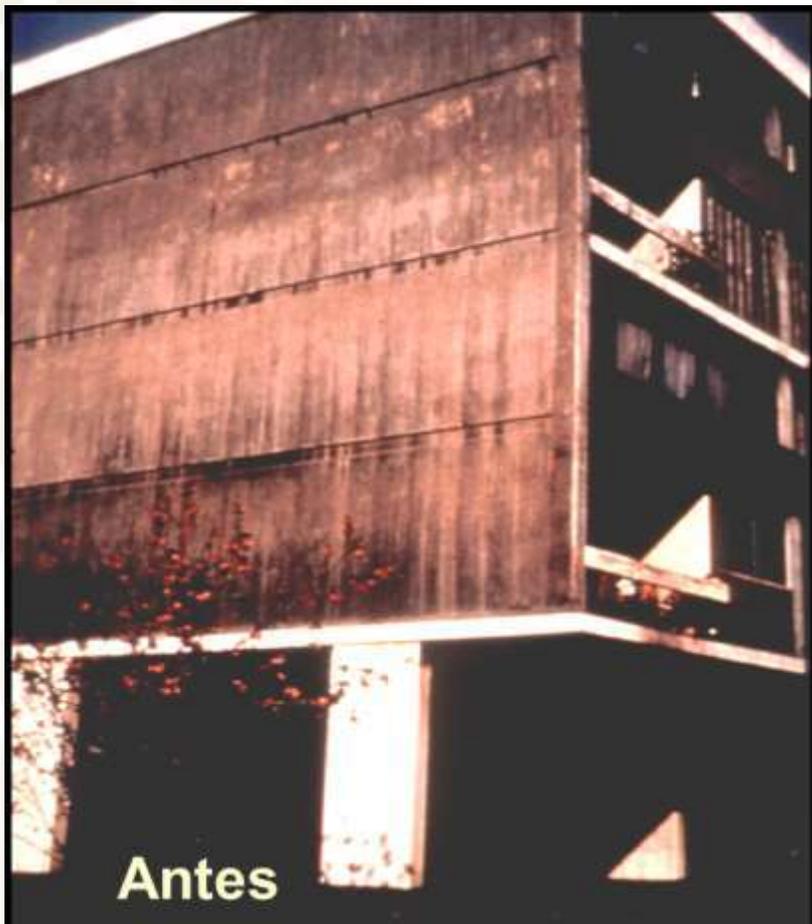


CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

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





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## **Piso suave producto de la discontinuidad de muros en el primer piso**





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

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





## Aspectos físicos que causan problemas de comportamiento

- Cambio abrupto en la rigidez o en la masa entre pisos
- Piso suave
- Interacción de elementos no estructurales con la estructura principal
- Columna corta
- Impacto entre edificios adyacentes



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





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL

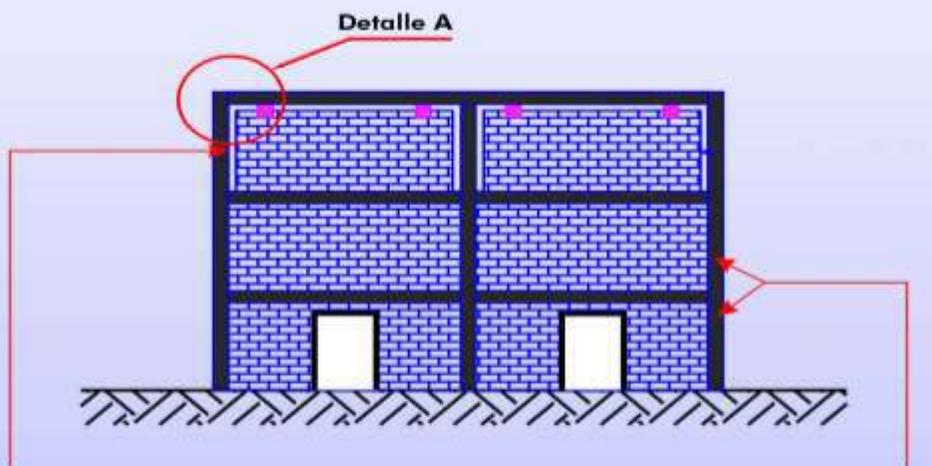


**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## **Daños producidos por la interacción de elementos estructurales y no estructurales**

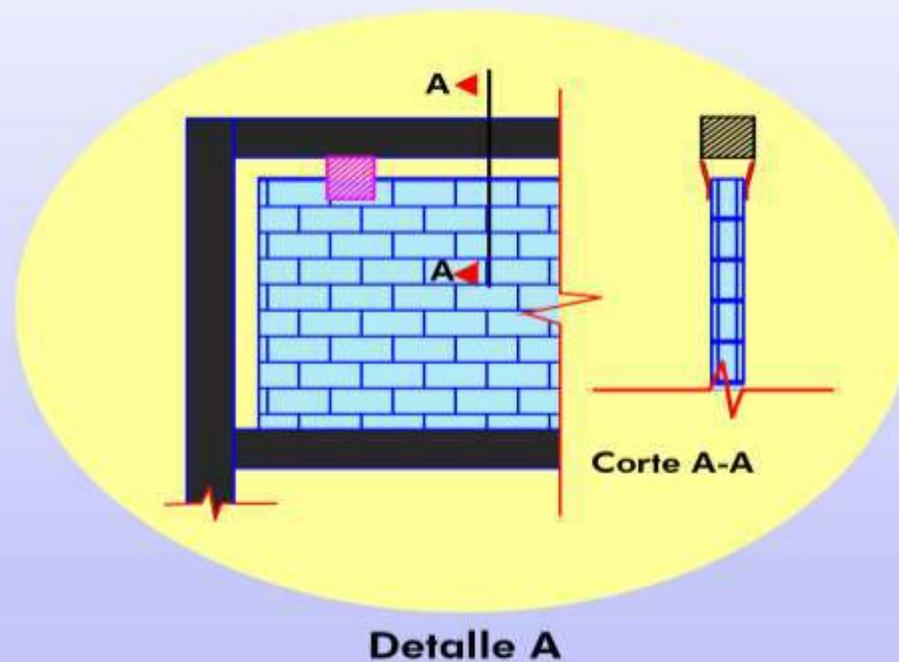


# Interacción entre elementos estructurales y no-estructurales

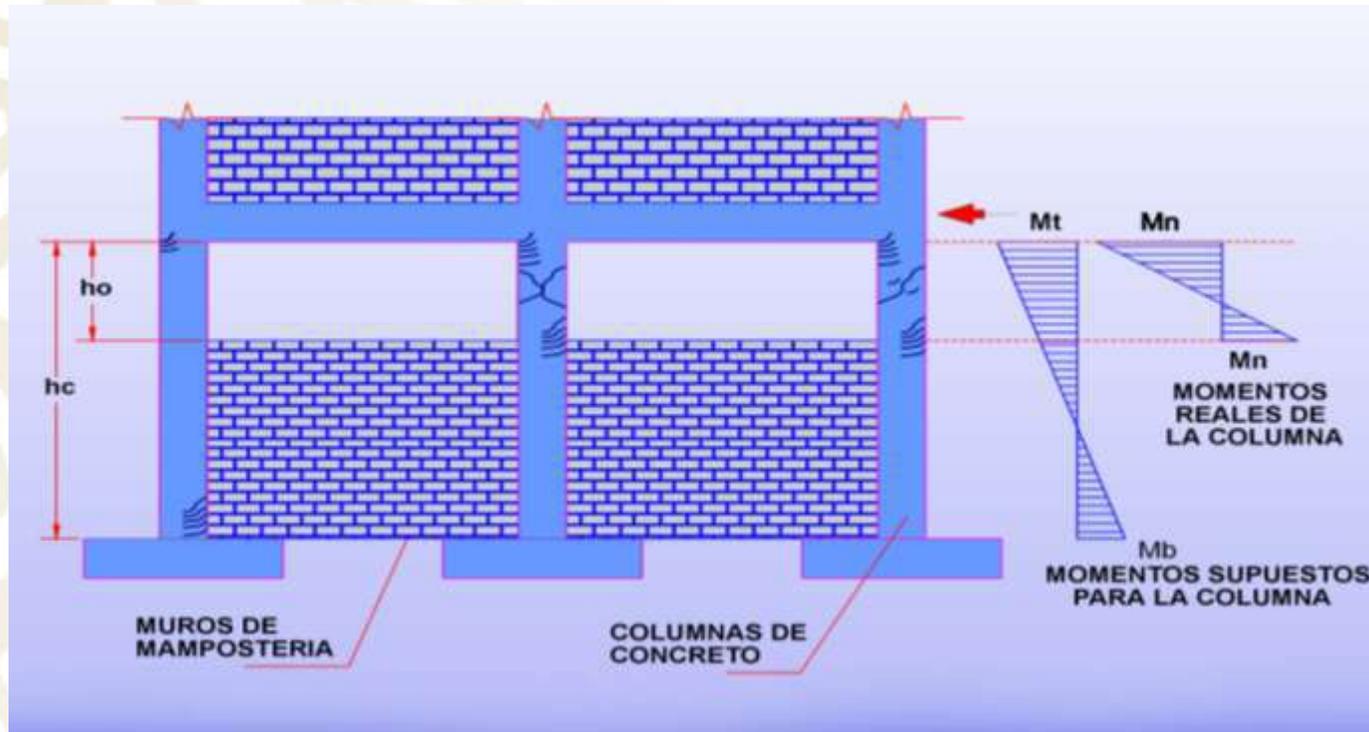


Piso donde las paredes divisorias no interactúan con la estructura

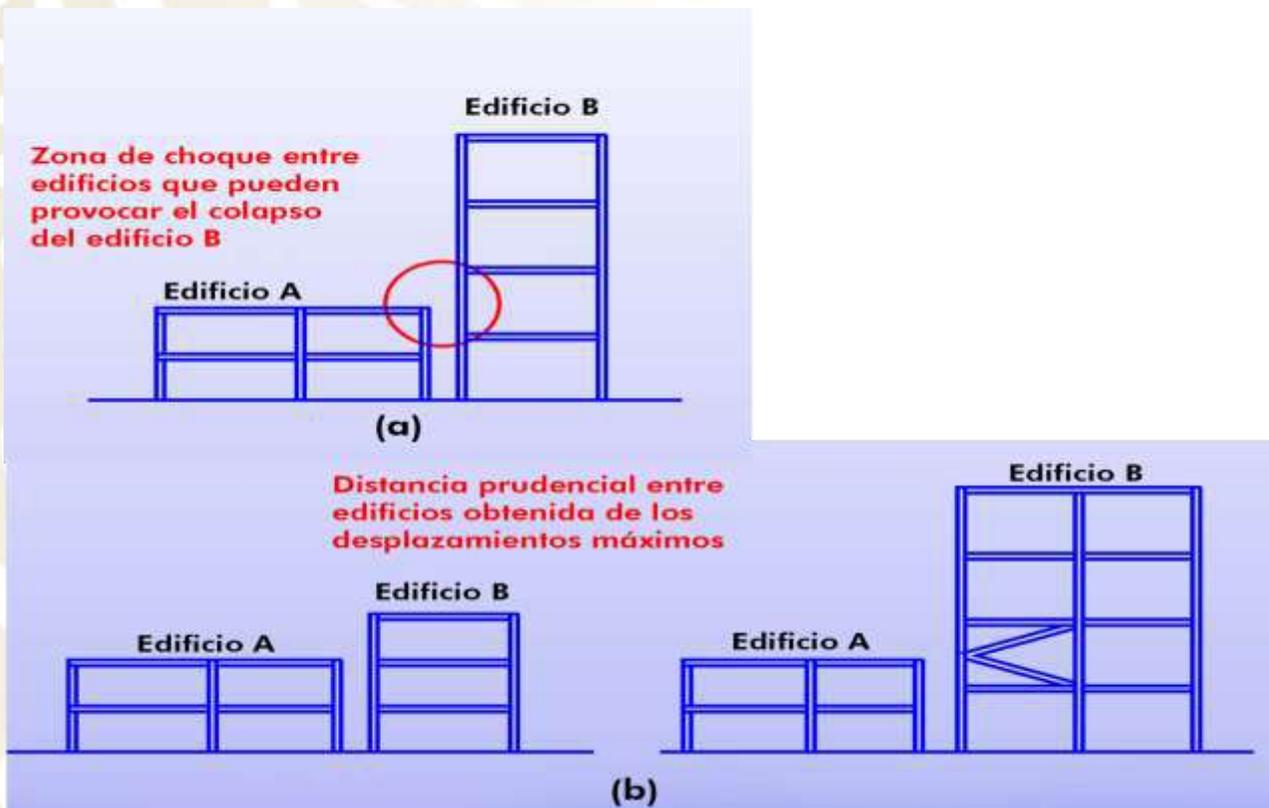
Piso con interacciones de elementos estructurales con no estructurales que modifica el comportamiento de la estructura



# Interacción de muros de mampostería con marco de concreto generando fallas por columnas corta



# Zona de choque entre edificios y formas de prevenirlo o enfrentarlo





## Objetivo del análisis de vulnerabilidad

### Objetivo:

Evaluar la susceptibilidad de la estructura de sufrir daños debido a un sismo y caracterizar los posibles daños

### Metodologías disponibles

- Métodos cualitativos
- Métodos cuantitativos



# Análisis de vulnerabilidad

## Métodos cualitativos

Evalúan de forma rápida y sencilla las condiciones de seguridad estructural de la obra. La estructura se califica, entre otras características, según:

- La edad de la edificación
- El estado de conservación
- La característica de los materiales
- El número de pisos
- La configuración geométrica arquitectónica
- Estimación de la resistencia al cortante

## Métodos cuantitativos

Se busca determinar los niveles de resistencia, flexibilidad y ductilidad propios de la estructura por medio de un análisis similar al diseño de edificios nuevos, incorporando entre otras variables a los componentes no estructurales.



## Reforzamiento estructural

El objetivo es asegurar que el establecimiento de salud pueda seguir funcionando con posterioridad a un sismo, mediante el refuerzo de los elementos existentes o incorporando elementos estructurales adicionales para mejorar los niveles de resistencia, flexibilidad y ductilidad.

El tipo de reforzamiento, de preferencia no debería interferir con el funcionamiento del hospital durante y posterior a su construcción.

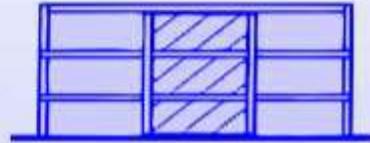


# Posibles soluciones de reforzamiento estructural

## Soluciones de reforzamiento

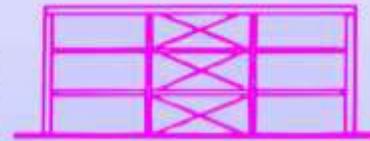
## Beneficios

Muros incorporados



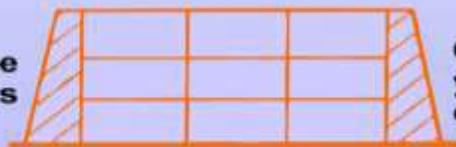
Aumento de resistencia y reducción de la deriva

Adición de diagonales o arriostramientos



Aumento de resistencia y reducción de la deriva

Adición de contrafuertes

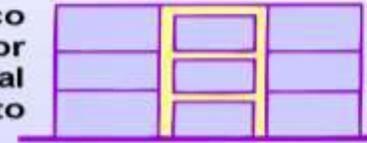


Confinamiento y reducción de la deriva

## Soluciones de reforzamiento

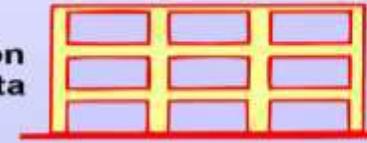
## Beneficios

Adición de pórtico interno o exterior resistente al momento



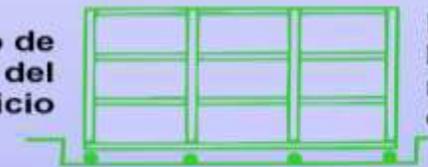
Confinamiento y reducción de la deriva

Rehabilitación completa



Alta capacidad sismorresistente y control de daño convencional

Aislamiento de la base del edificio



Protección de la edificación mediante el control del daño



GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## Posibles soluciones de reforzamiento estructural

Inclusión de muros  
(interiores o exteriores)



Elementos en contrafuerte, utilizados  
en el Hospital de Cardiología (IMSS)0





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL

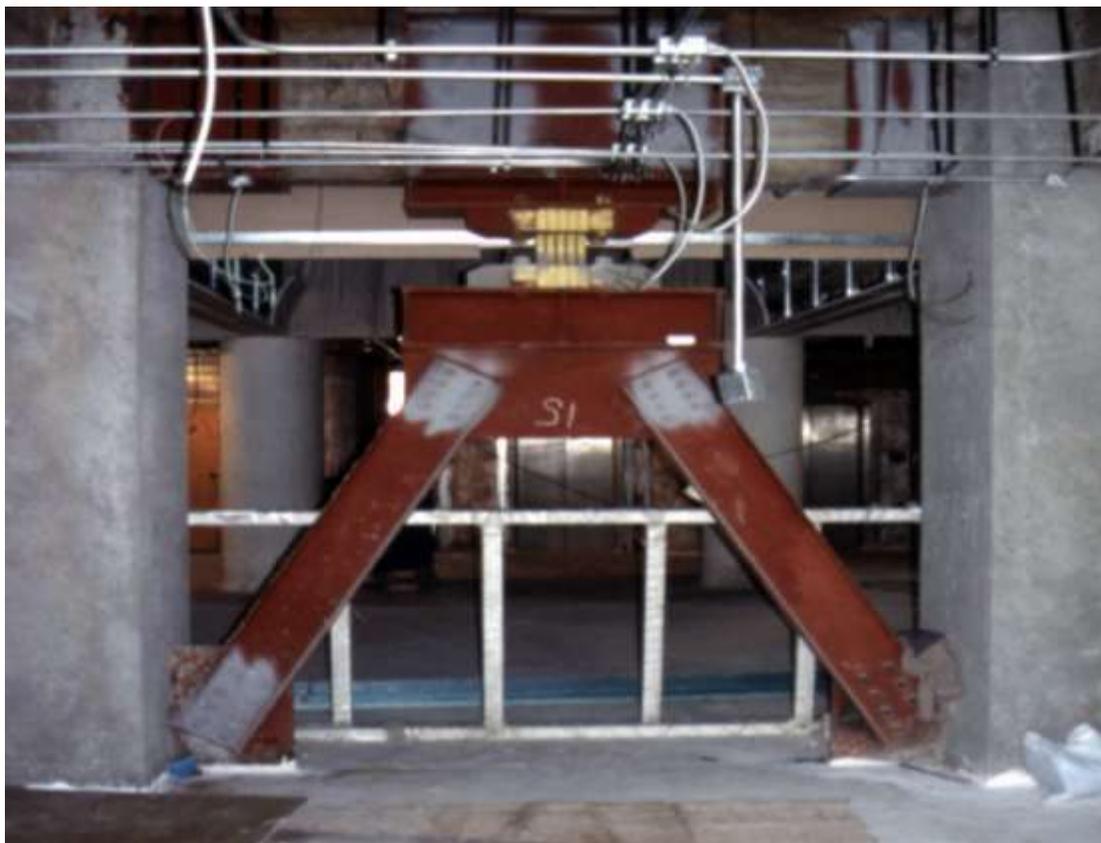


**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## Posibles soluciones de reforzamiento estructural

Disipadores de energía, utilizados en las oficinas centrales del IMSS



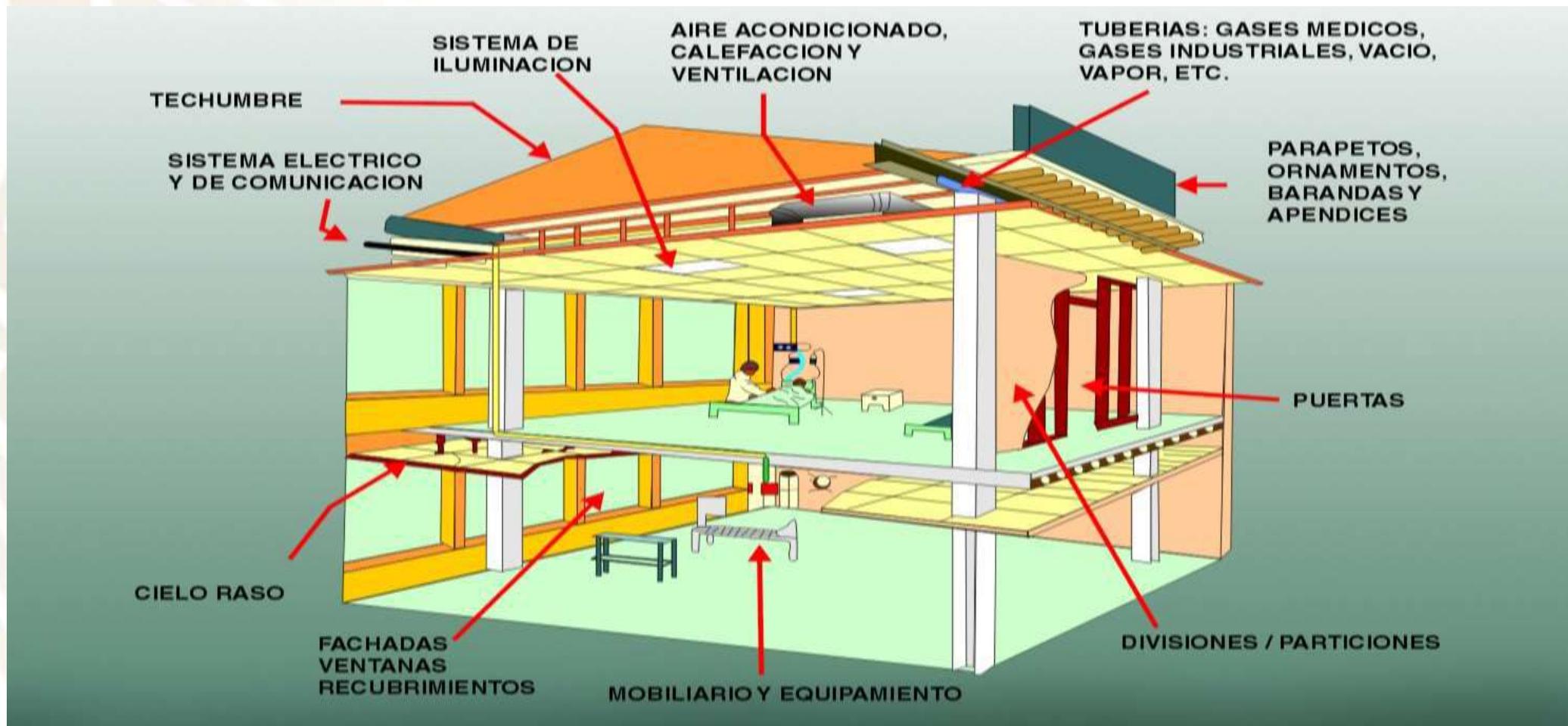


# Impacto de sismos en instalaciones de salud, elementos no estructurales e instalaciones





## Elementos no estructurales





## Elementos no estructurales a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad

### Arquitectónicos

- Divisiones interiores
- Fachadas
- Cielos rasos
- Techos o cubiertas
- Parapetos
- Chimeneas
- Recubrimientos
- Vidrios y ventanas
- Apéndices (letreros, antenas, etc.)
- Ornamentos
- Marquesinas
- Sistema de Iluminación
- Barandas
- Puertas y rutas de salida
- Condición junta de dilatación

### Equipamiento

- Equipo médico
- Equipo de laboratorio
- Equipo industrial
- Equipo oficina
- Mobiliario
- Contenido

### Instalaciones básicas

- Gases médicos
- Gases industriales
- Vacío
- Vapor
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Ventilación
- Electricidad básica
- Electricidad
- Emergencia
- Comunicaciones
- Agua potable
- Agua industrial
- Alcantarillado
- Red de incendio
- Circulación (elevadores, escaleras)



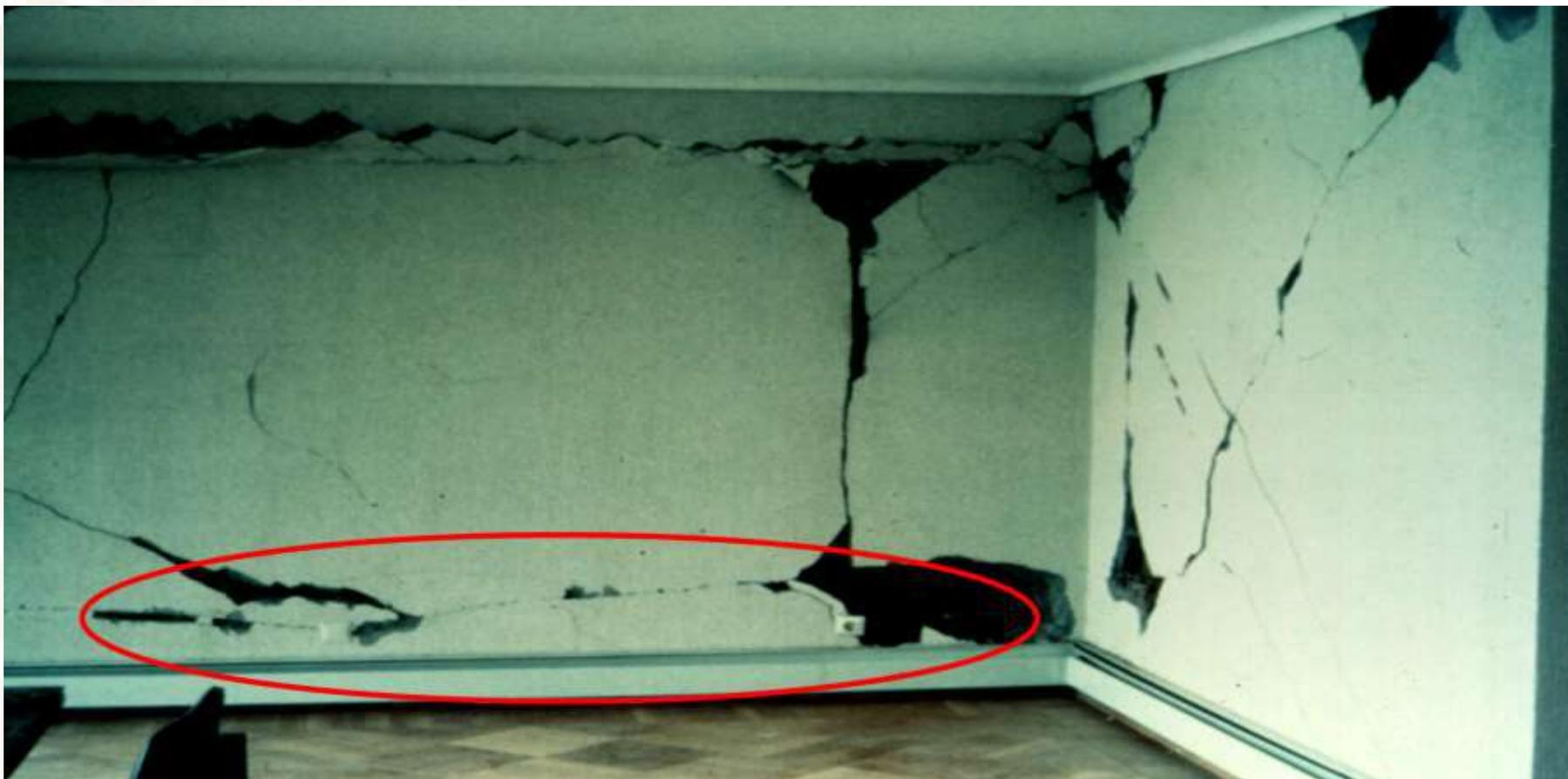
## Métodos de evaluación

- Experiencia previa
- Análisis – Simulación matemática
- Pruebas de laboratorio
- Criterio de grupos de expertos



## Daños en elementos no estructurales

Daños en elementos divisorios pueden averiar las instalaciones básicas que las atraviesan, tales como gases, agua, electricidad, etc.





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

SEGURIDAD  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

 **CNPC**  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL

 **CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## **Daños en elementos no estructurales**

La caída de componentes arquitectónicos de fachada, puede provocar daños de elementos o personas ubicados en la periferia del hospital





## Daños en elementos no estructurales

La caída de cerramientos exteriores pueden obstaculizar la circulación de personas y vehículos en casos de emergencia

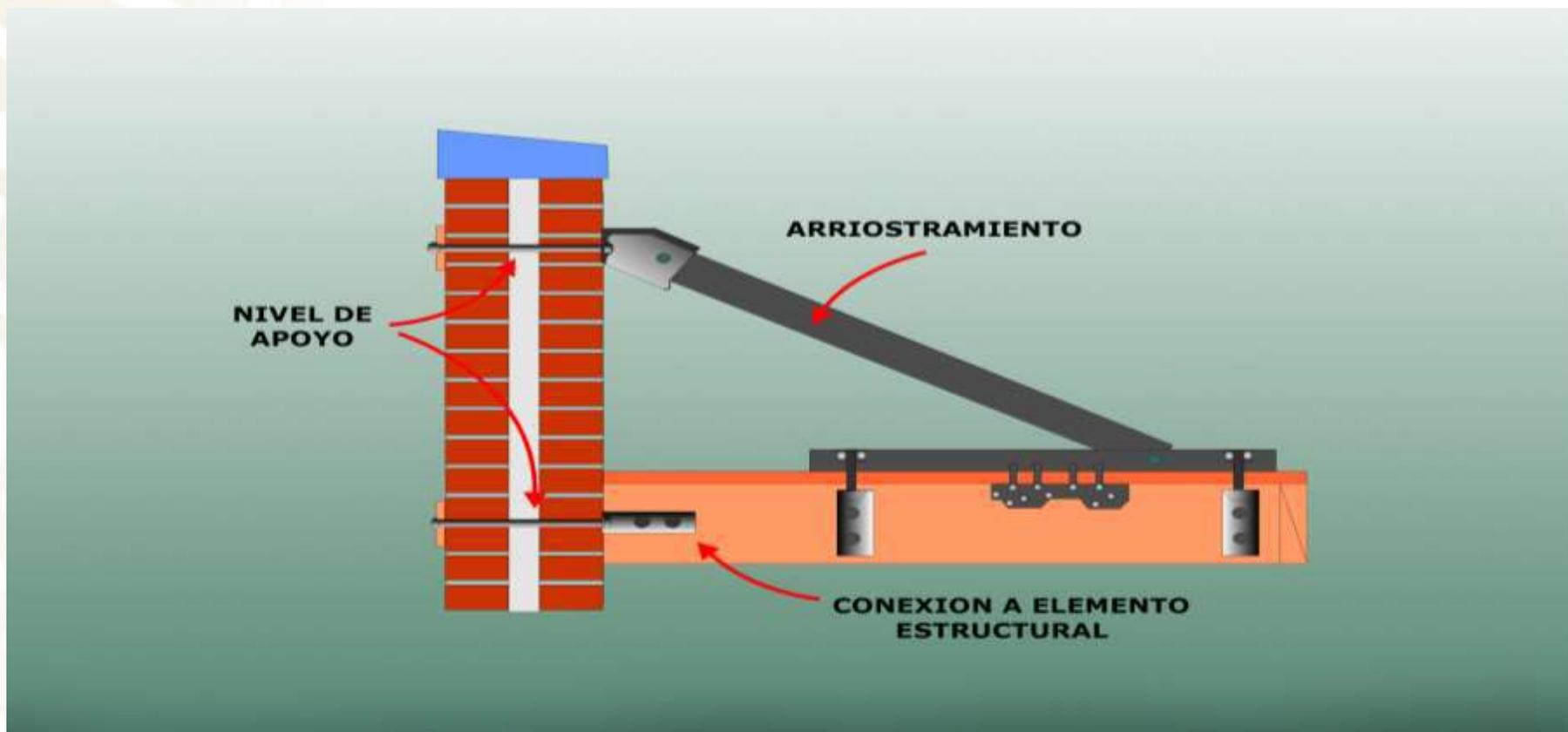


El uso de materiales inapropiados o su incorrecta disposición pueden aumentar los daños en caso de sismos.



## Recomendación de anclaje en elementos no estructurales

Apoyo de parapetos, letreros, antetechos, ornamentos





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

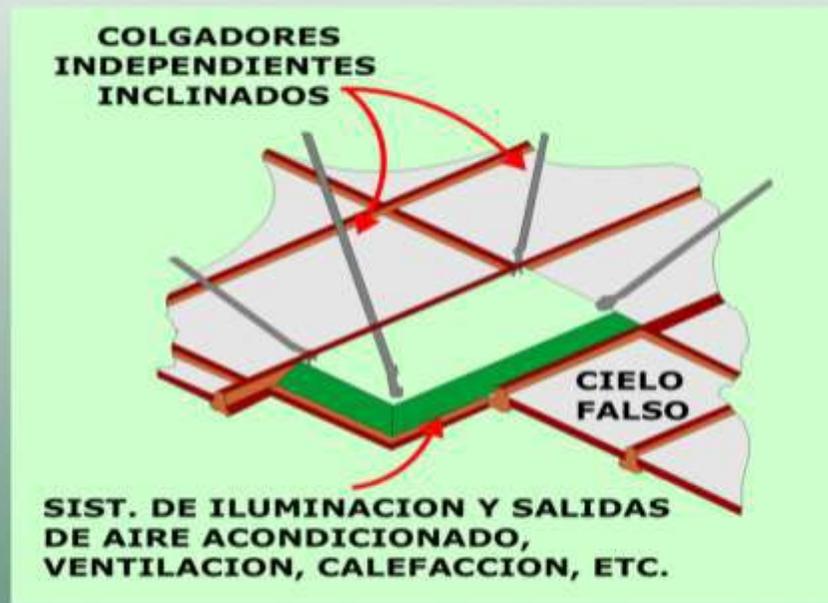
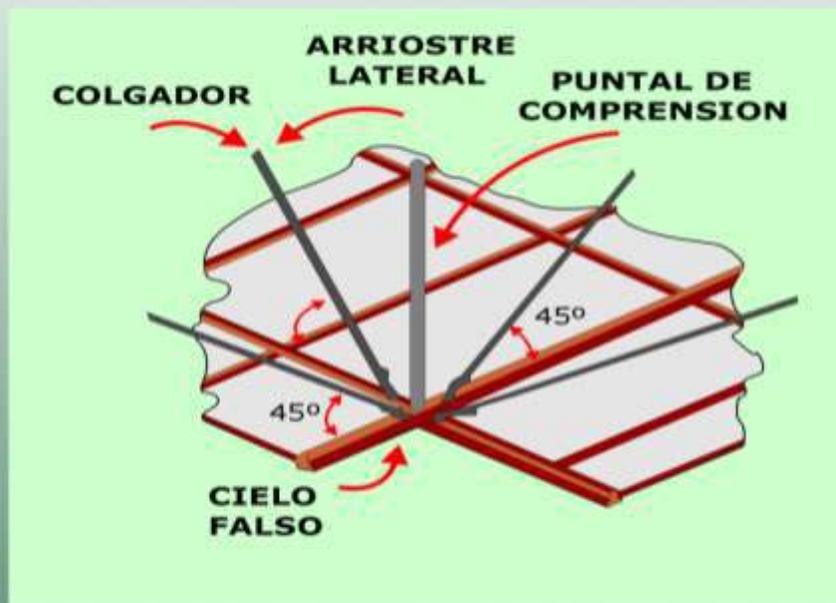
## **Daños en elementos no estructurales**

Los cielos rasos han resultado ser particularmente vulnerables en caso de sismos.



## Recomendación de anclaje en elementos no estructurales

Disposición de apoyos de cielo falso, luminarias y salidas de aire acondicionado, ventilación y calefacción

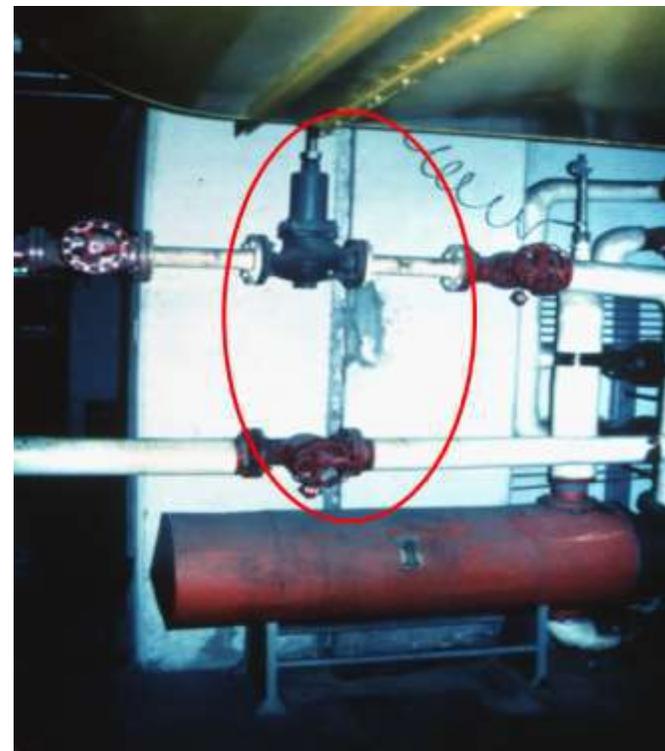




## Recomendaciones para disposición de elementos no estructurales



Elementos susceptibles a volcarse en caso de sismo, deben ser debidamente dispuestos



Los servicios básicos pueden verse interrumpidos, debido a fallas asociadas al cruce inapropiado por juntas sísmicas



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

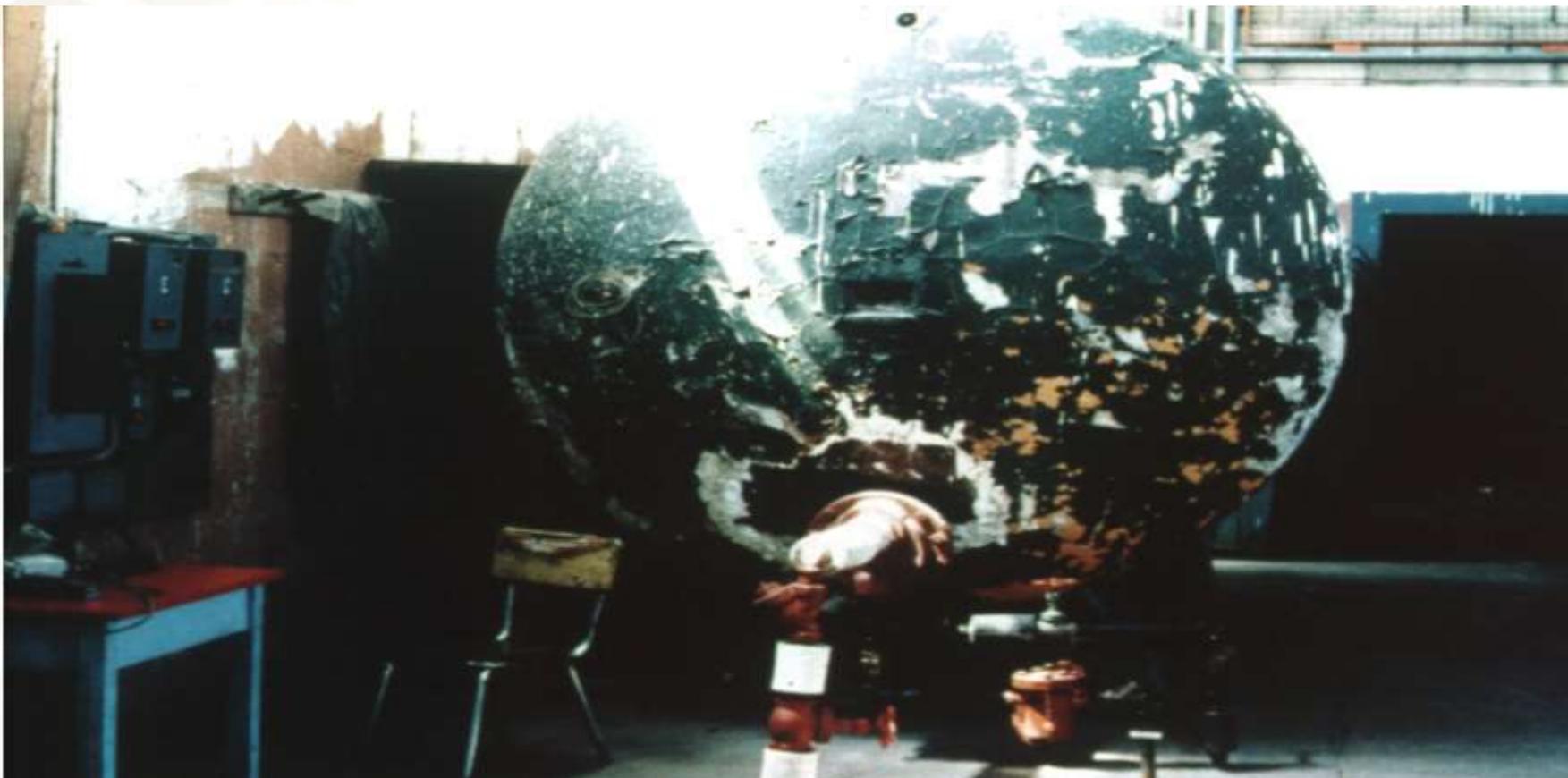
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

La falta de un mantenimiento preventivo aumenta la vulnerabilidad de componentes no estructurales





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

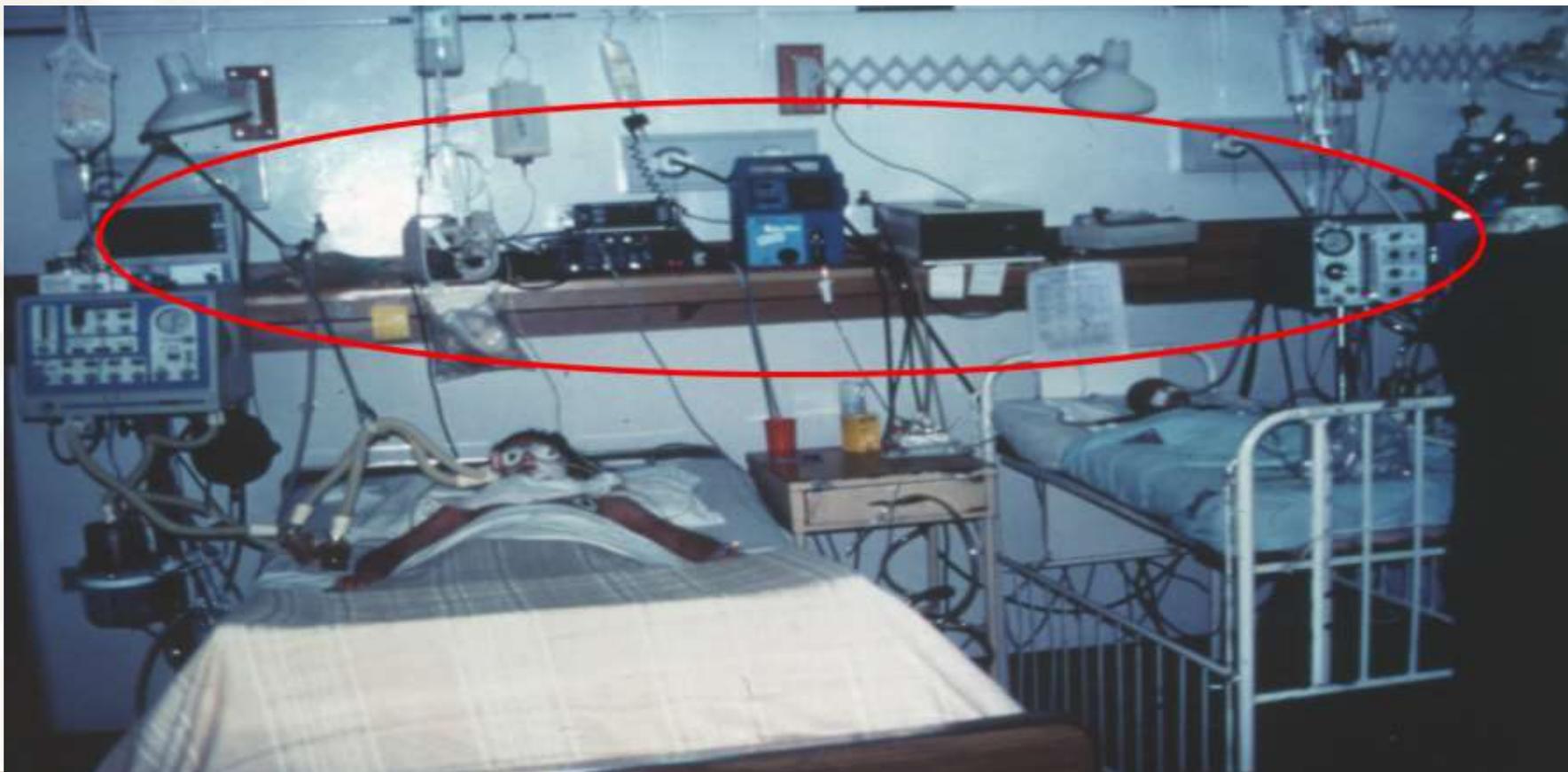
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

Los equipos esenciales deben ser correctamente dispuestos y anclados para asegurar su continuo funcionamiento





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

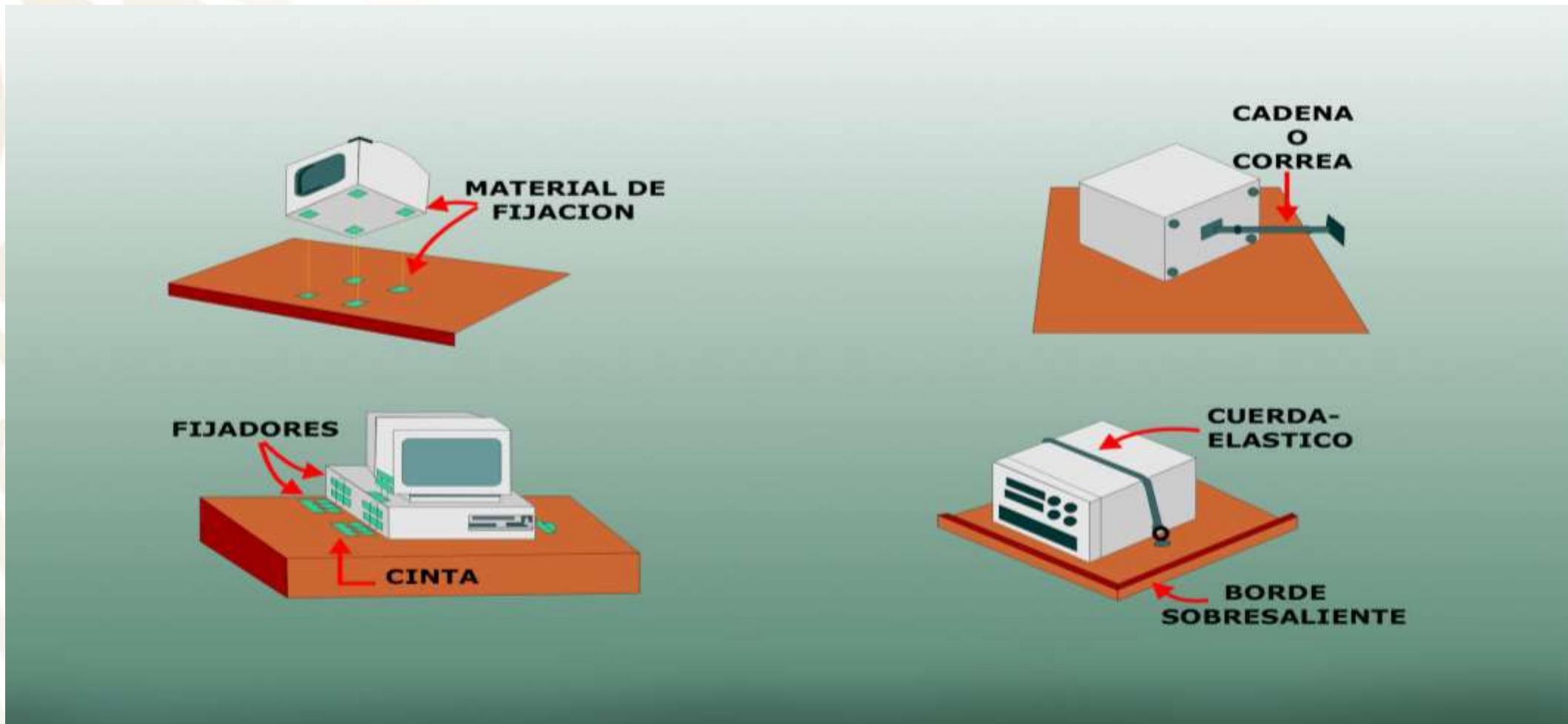
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

La vida de algunos pacientes depende del correcto y continuo funcionamiento de equipos e instalaciones básicas con posterioridad a un sismo

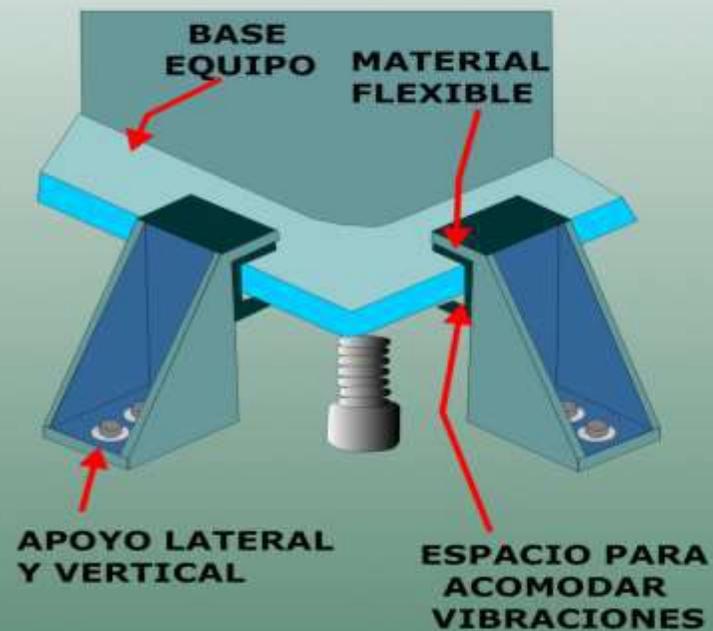
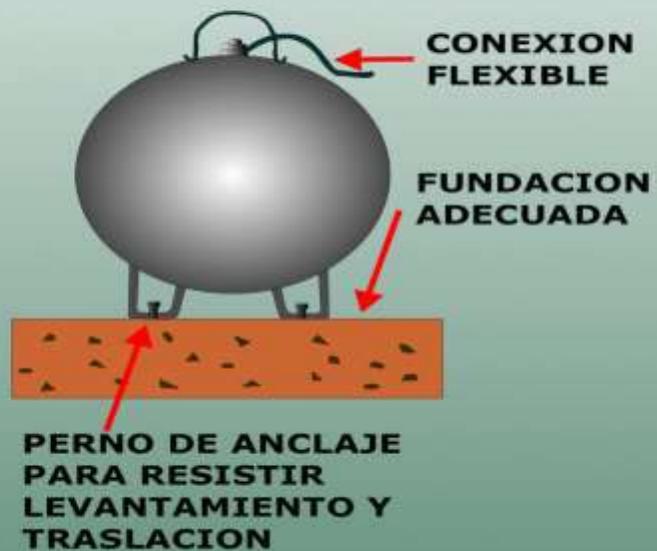




## Apoyos y conexiones de equipo menor

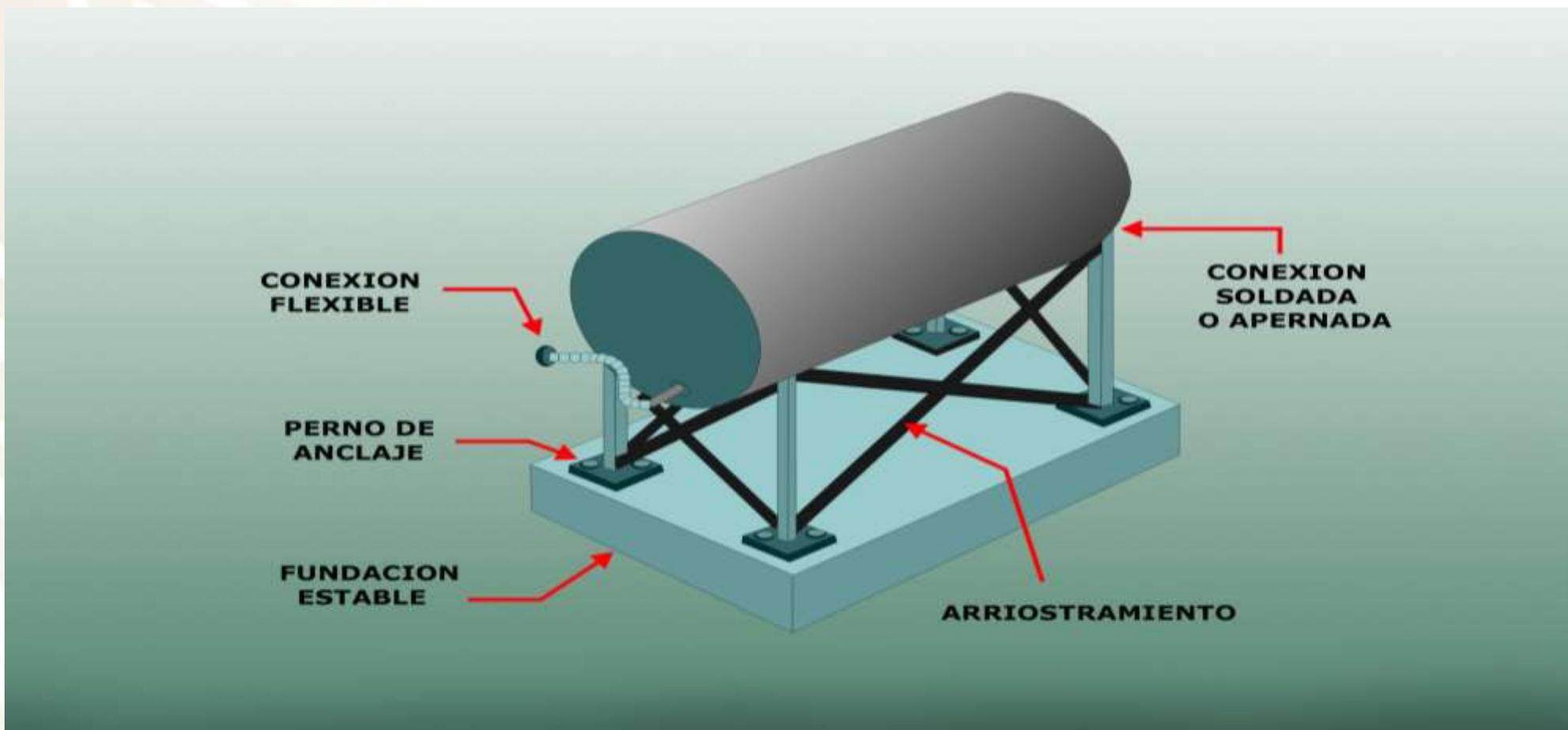


## Apoyos y conexiones de equipo mayor





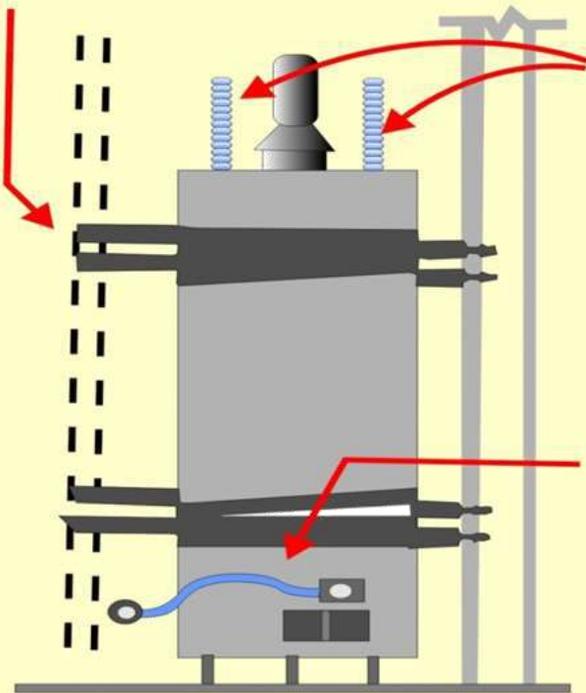
## Apoyos y conexiones de equipo mayor



# Apoyos de equipos esbeltos

## ELEVACION

ELEMENTO  
DE APOYO  
LATERAL

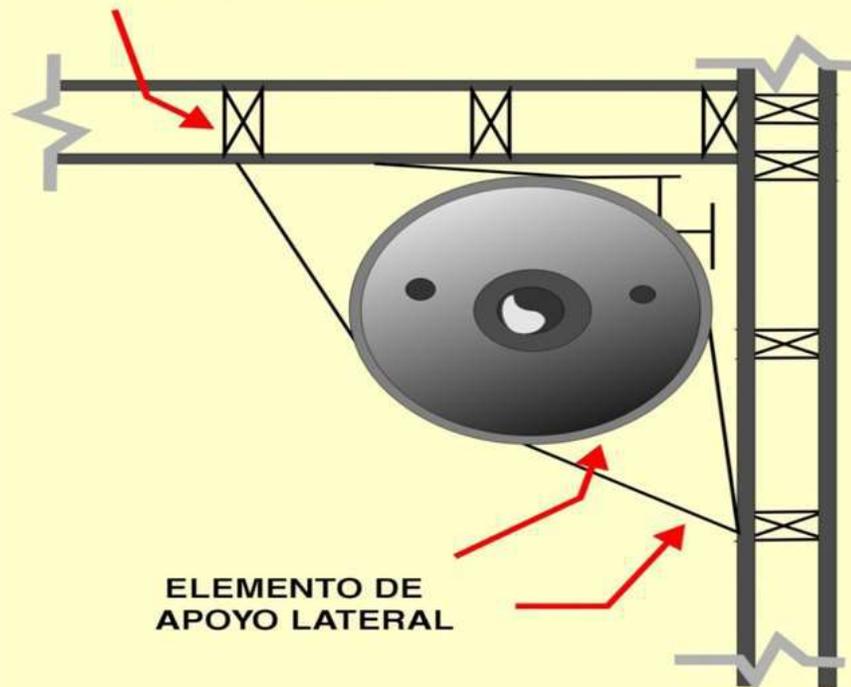


CONEXION  
FLEXIBLE

CONEXION  
FLEXIBLE

## PLANTA

ESTRUCTURA DE  
APOYO ADECUADA



ELEMENTO DE  
APOYO LATERAL



## Recomendaciones para disposición de equipo, instrumental e instalaciones

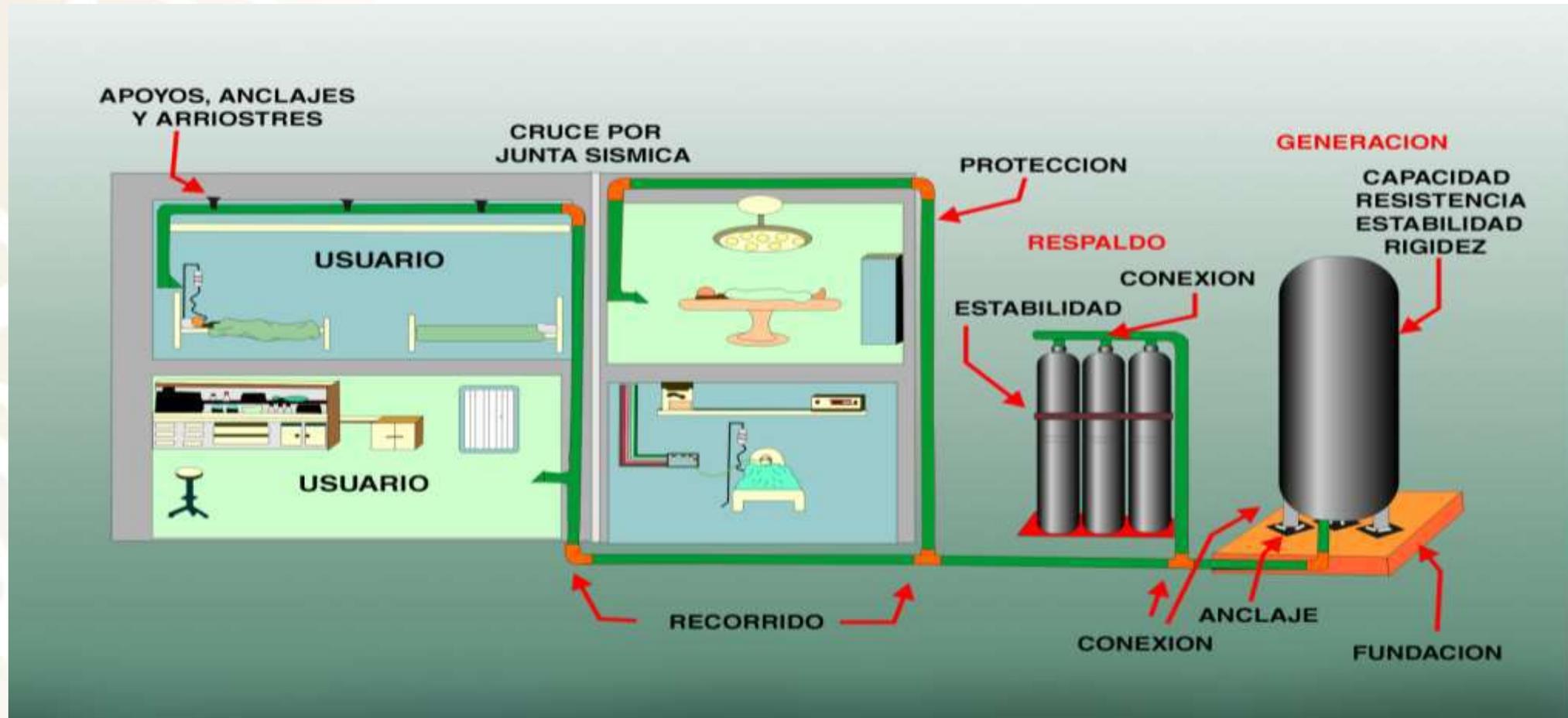
La pérdida de recipientes con suministros químicos o biológicos, a causa de sismos, pueden provocar incendios o contaminaciones



El uso de conexiones flexibles en zonas críticas, aseguran la continuidad del servicio



# Instalaciones básicas - evaluación integral





GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

Para evitar el daño en este tipo de elementos se debe prestar atención en los apoyos, arriostres y refuerzos.

La protección de las instalaciones básicas debe realizarse desde los puntos de almacenamiento/generación hasta su disposición final.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
GOBIERNO DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD PÚBLICA  
SEGURIDAD  
CNPCC  
COORDINACIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS  
CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

# Recomendaciones básicas para tuberías

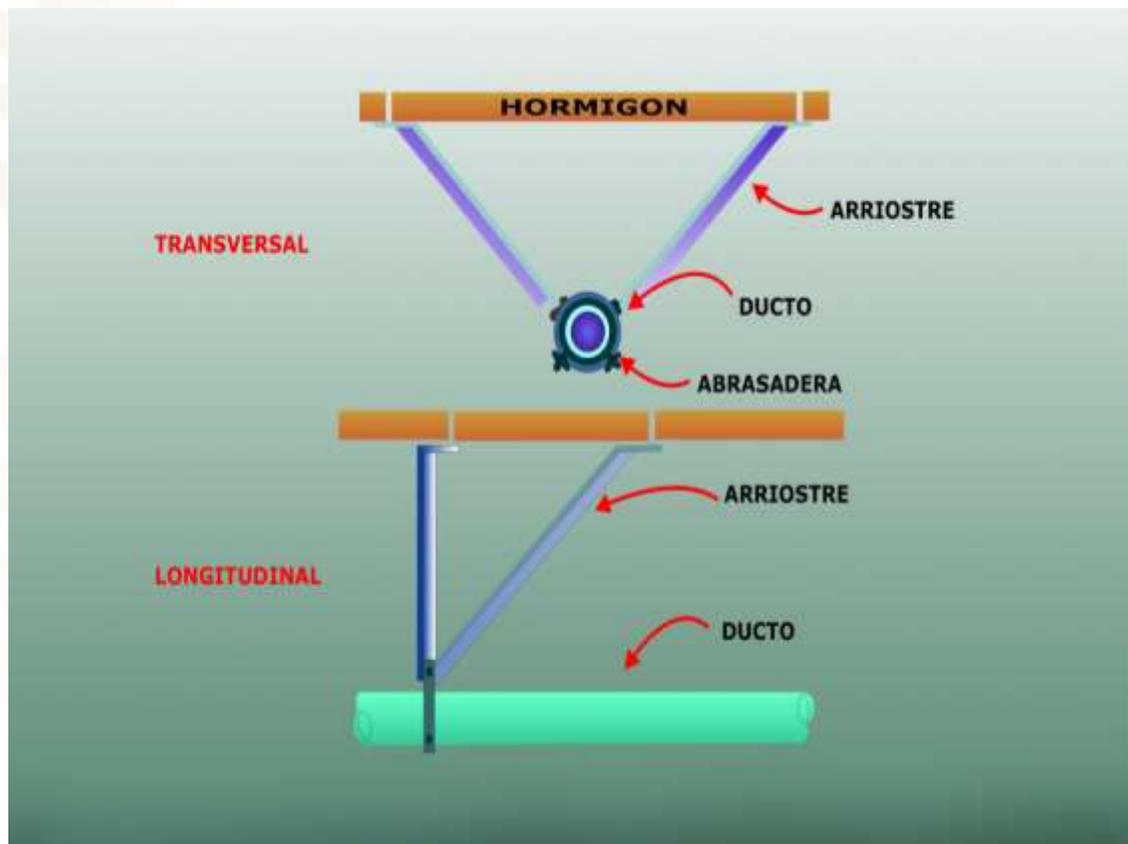
*El uso de juntas flexibles en zonas críticas, limita el daño y asegura continuidad en el suministro*



*Tubería dañada debido a la falta de conexión flexible.*



## Recomendaciones básicas para tuberías





## Conclusiones y recomendaciones

- Los problemas de comportamiento generalmente se deben al incumplimiento de la Normatividad
- Se deben conocer y cumplir las normas relacionadas con edificación e instalaciones de salud
- Se debe, de acuerdo a la norma, contar con el manual de operación y mantenimiento del inmueble. Si existe, se deberá cumplir; si no existe, se recomienda elaborarlo.
- Si la mayoría de los “desastres” se presentan asociados con incumplimiento de normas y reglamentación; la importancia de la protección civil se basa en el cumplimiento de los mismos.

¡GRACIAS!

M.I. Joel Aragón Cárdenas  
Subdirector de Vulnerabilidad Estructural

---

5511036000 ext. 72081  
[jaragonc@cenapred.unam.mx](mailto:jaragonc@cenapred.unam.mx)