

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS

M.I. José Antonio Díaz Pérez



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

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS

Sistemas estructurales en edificaciones



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

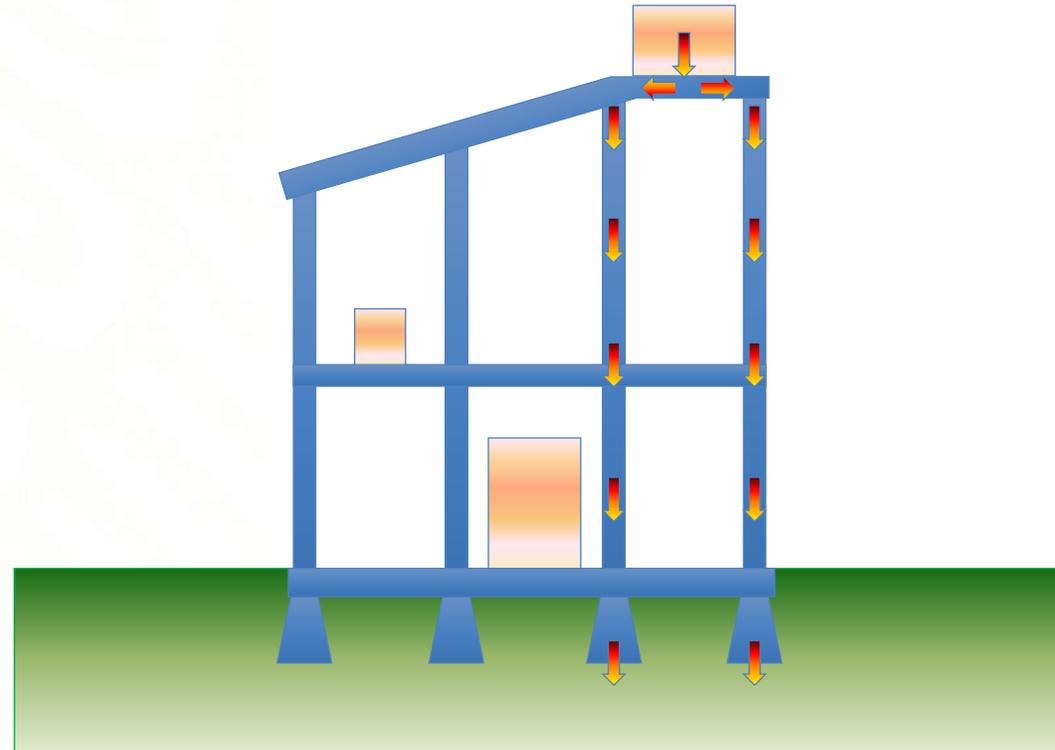


CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

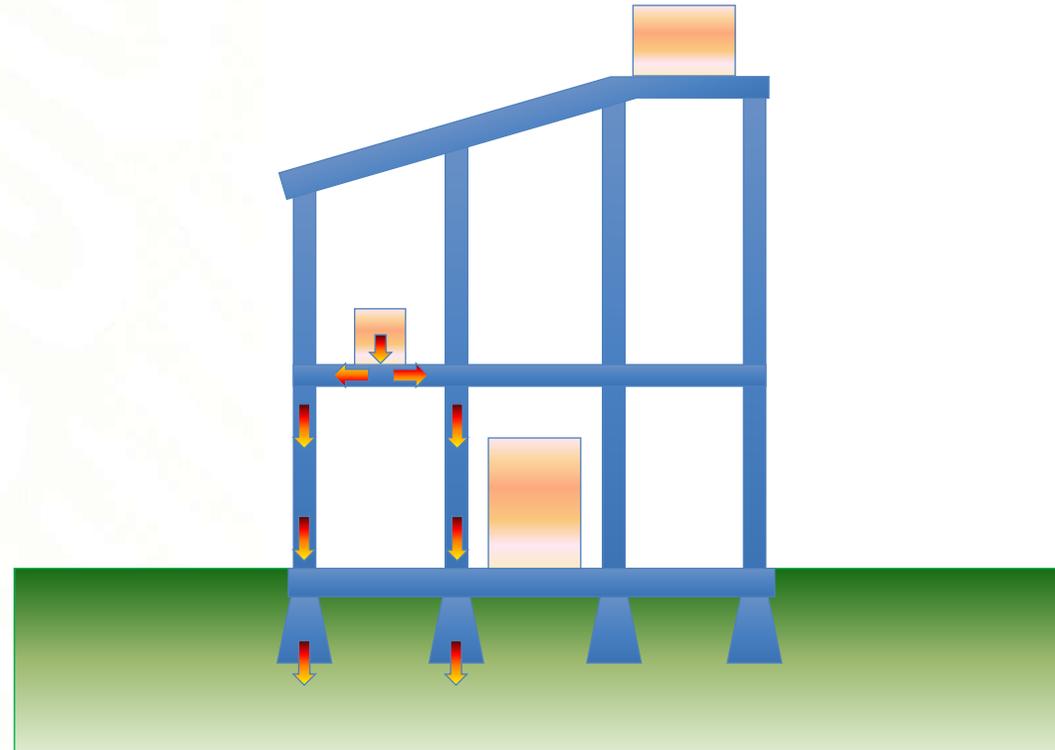


2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

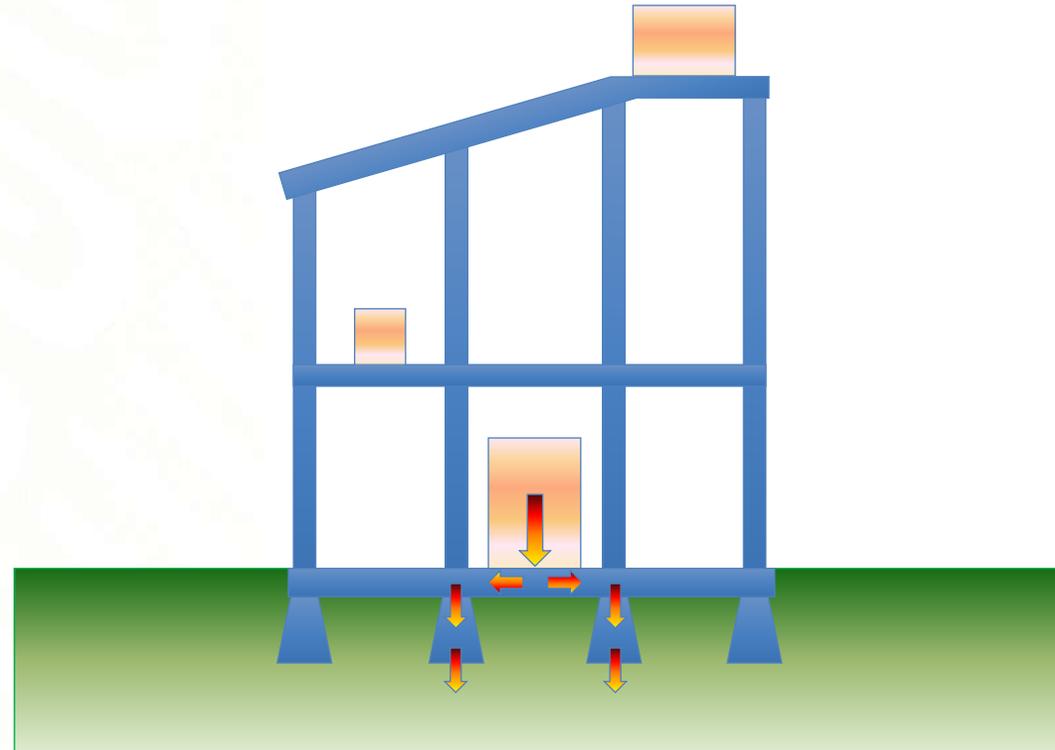
Conjunto de elementos estructurales (vigas, columnas, losas, armaduras, etc.) que transmiten la carga de un edificio a sus apoyos.



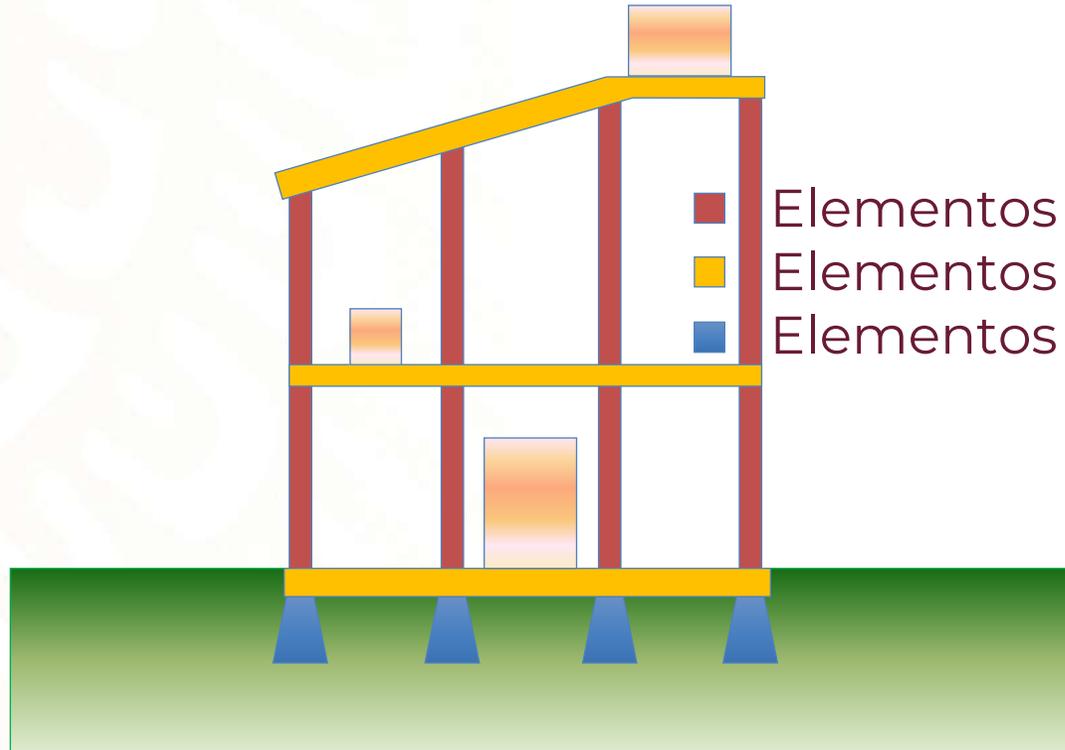
Conjunto de elementos estructurales (vigas, columnas, losas, armaduras, etc.) que transmiten la carga de un edificio a sus apoyos.



Conjunto de elementos estructurales (vigas, columnas, losas, armaduras, etc.) que transmiten la carga de un edificio a sus apoyos.

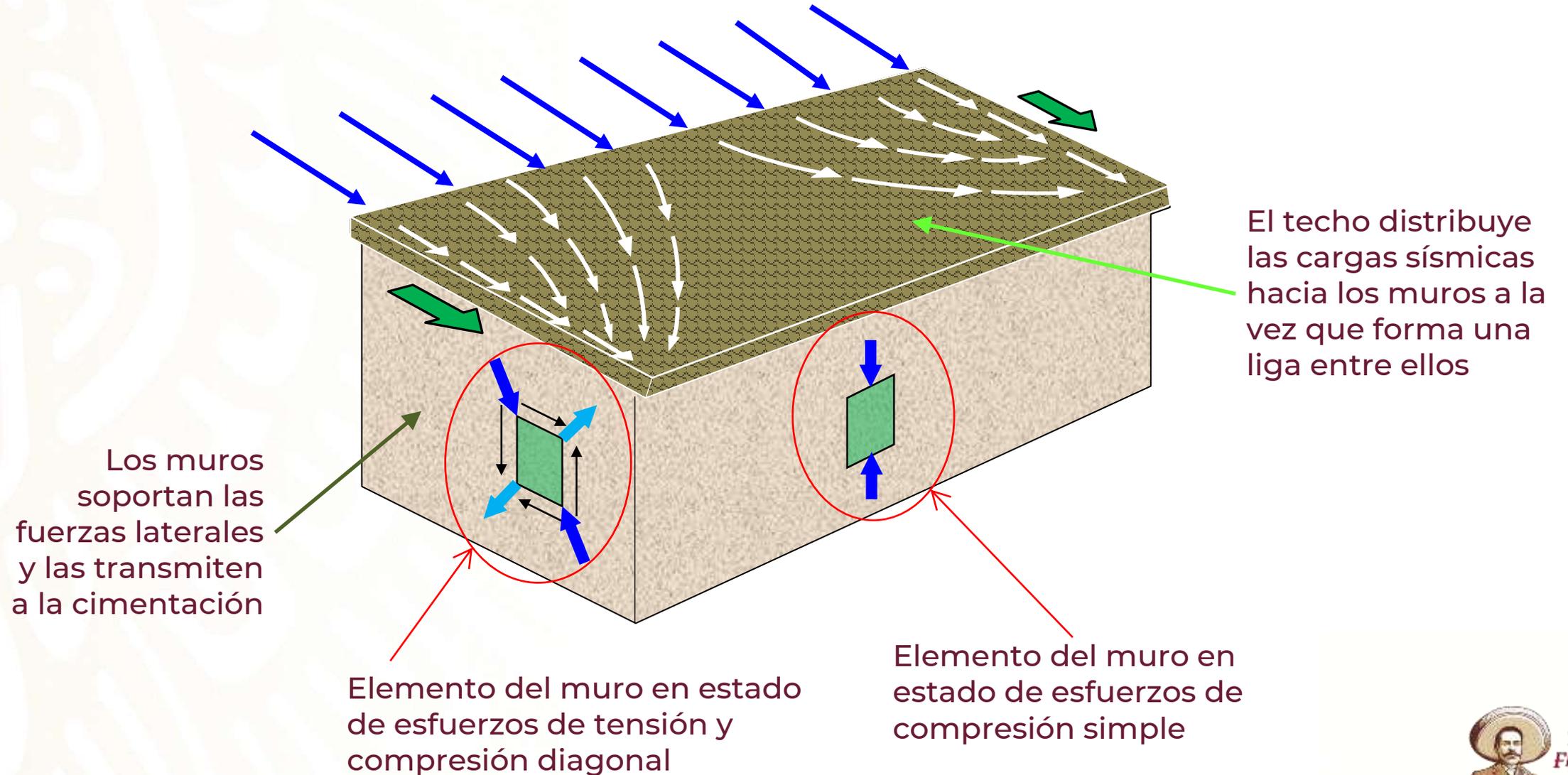


Pueden identificarse tres tipos de elementos estructurales:



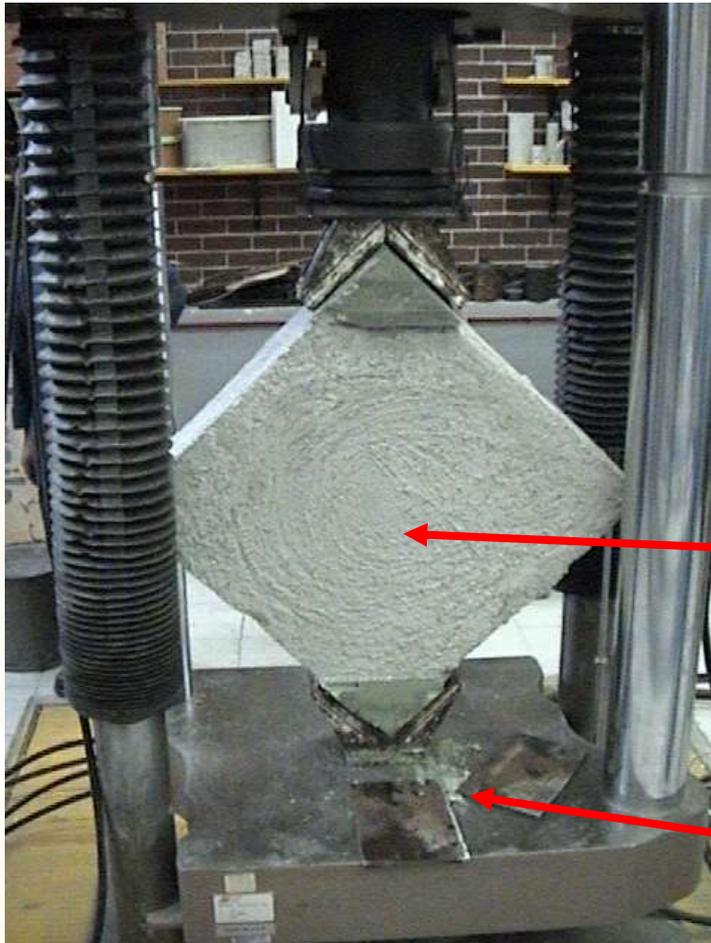
- Elementos verticales, o de soporte
- Elementos que forman el sistema de piso/techo
- Elementos de la cimentación

TRANSMISIÓN DE FUERZAS LATERALES

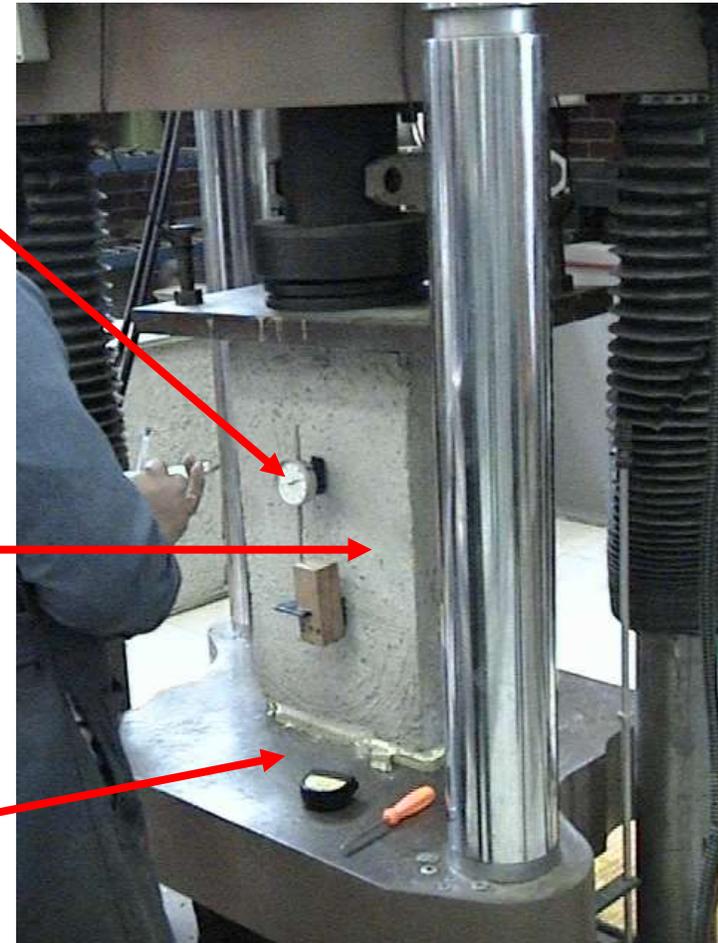


TRANSMISIÓN DE FUERZAS LATERALES

Prueba de
cortante



Prueba de
compresión



Instrumentación
de Modelos

Espécimen de
prueba

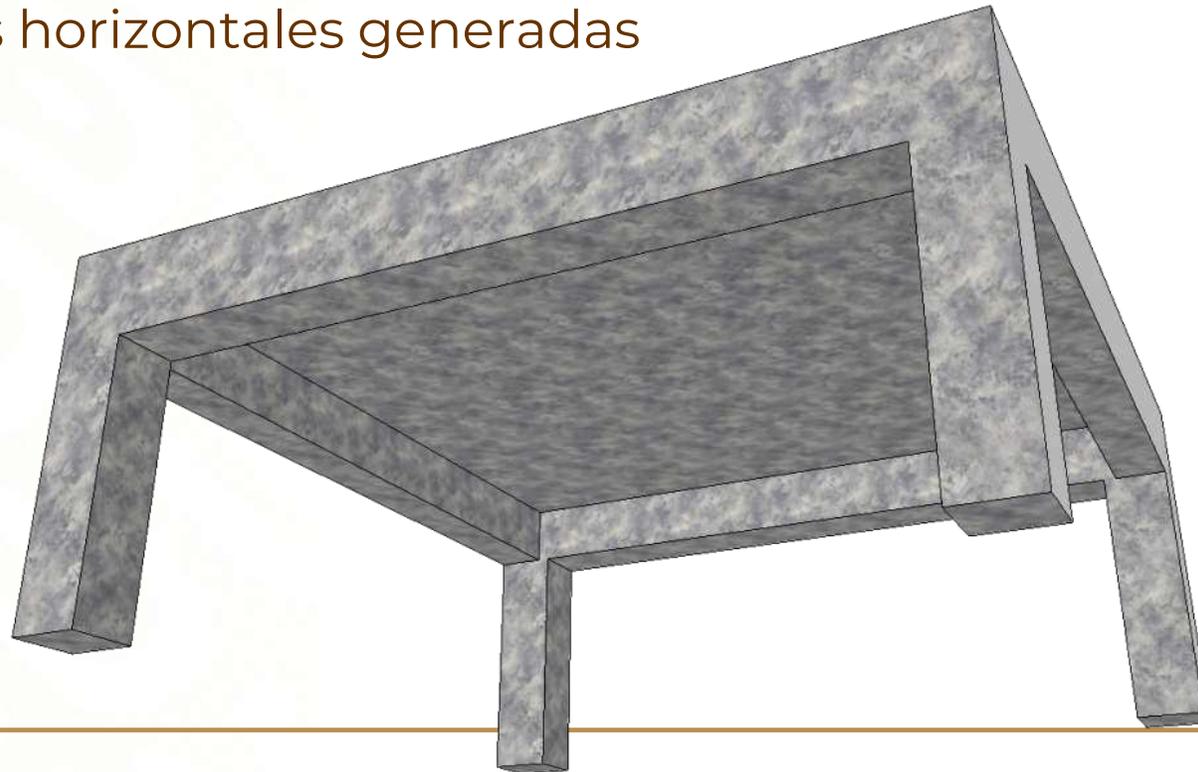
Máquina
universal



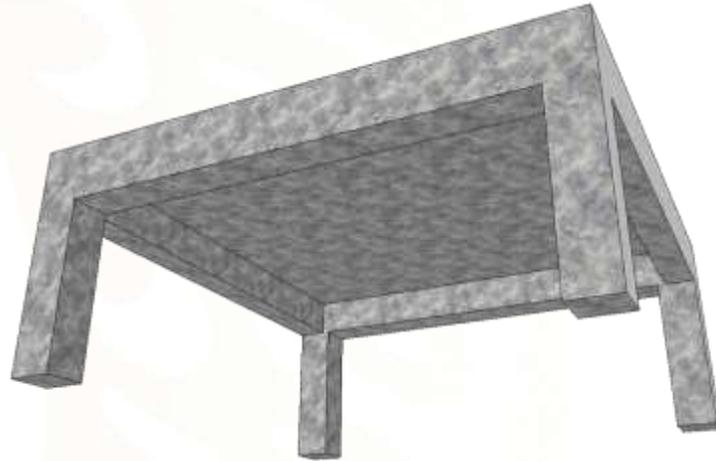
Sistema de piso/techo Genérico

Se refiere a la combinación de elementos estructurales horizontales, losas y vigas, que contribuyen a la transmisión de las cargas hacia los elementos verticales, muros y/o columnas.

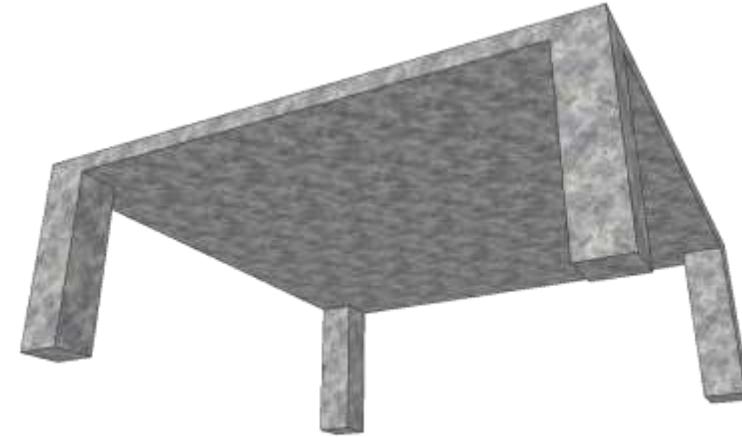
Además de soportar las cargas gravitacionales, de mobiliario y de los usuarios, su función es conectar los elementos estructurales verticales y distribuir entre ellos las fuerzas horizontales generadas por sismo.



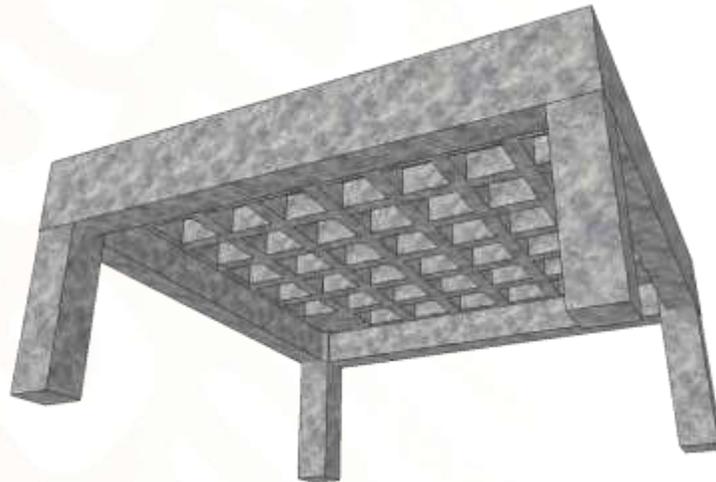
EJEMPLOS DE COMBINACIONES DE TIPO DE LOSA Y TIPO DE APOYO



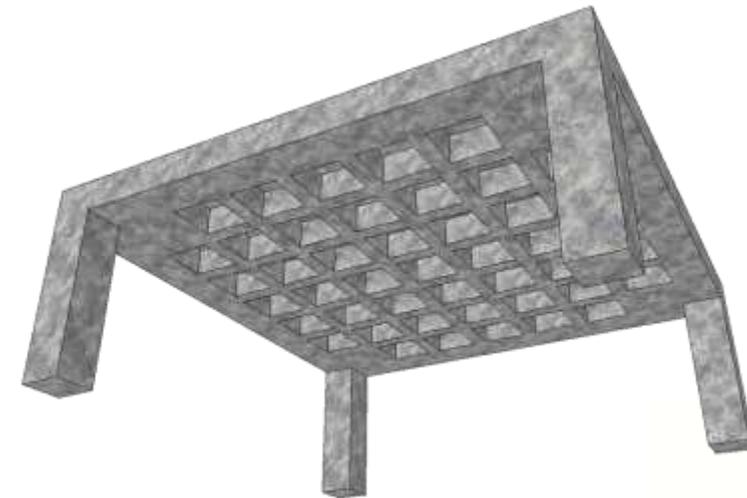
Maciza perimetralmente apoyada



Losa plana maciza



Reticular perimetralmente apoyada



Losa plana reticular

ÁBACO Y CAPITEL EN SISTEMA DE LOSA PLANA



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EJEMPLO DE SISTEMA DE PISO/TECHO: LOSA PLANA RETICULAR



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EJEMPLO DE SISTEMA DE PISO/TECHO: LOSA RETICULAR SOBRE TRABES DE ACERO ESTRUCTURAL



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



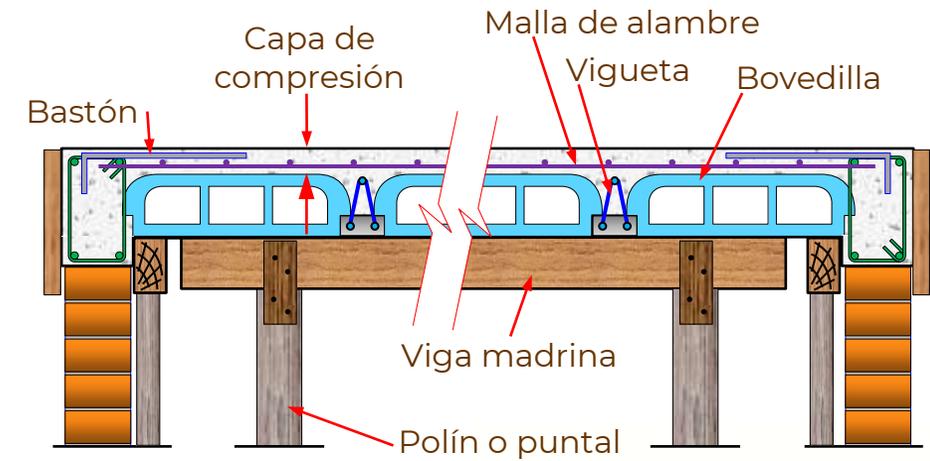
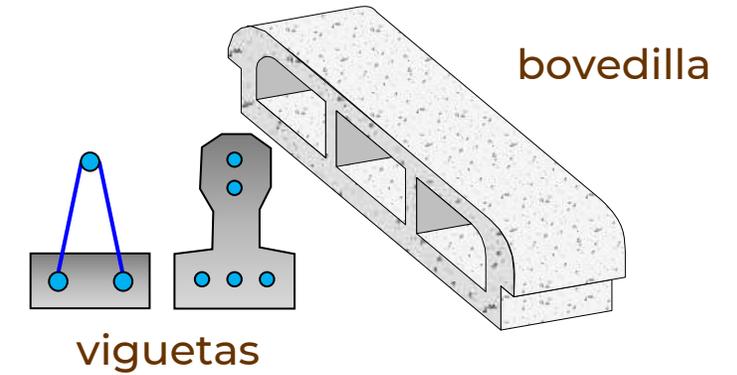
EJEMPLO DE SISTEMA DE PISO/TECHO: VIGUETA Y BOVEDILLA



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EJEMPLOS DE SISTEMAS DE TECHO FLEXIBLES

VIGAS DE MADERA Y TEJA



EJEMPLOS DE SISTEMAS DE TECHO FLEXIBLES



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES





Sistema de soporte (vertical)

SISTEMA DE SOPORTE (VERTICAL)



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Columnas, generalmente formando parte de marcos

SISTEMA DE SOPORTE (VERTICAL)



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Columnas, generalmente formando parte de marcos

SISTEMA DE SOPORTE (VERTICAL)



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Columnas, generalmente formando parte de marcos





Muros

Este tipo de sistemas se identifica porque una de las dimensiones del elemento es mucho mayor que las otras dos, también se pueden definir como paneles

SISTEMA DE SOPORTE (VERTICAL)



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Muros



SISTEMA DE SOPORTE (VERTICAL)



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Muros





Estructuras de mampostería

EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA CONFINADA



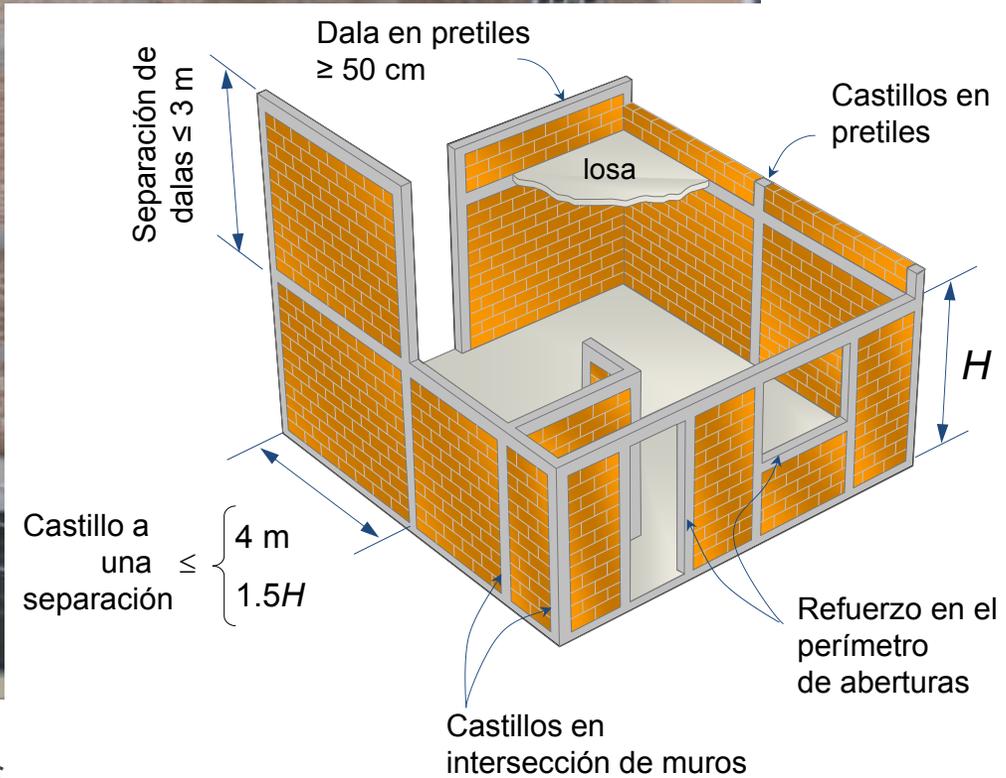
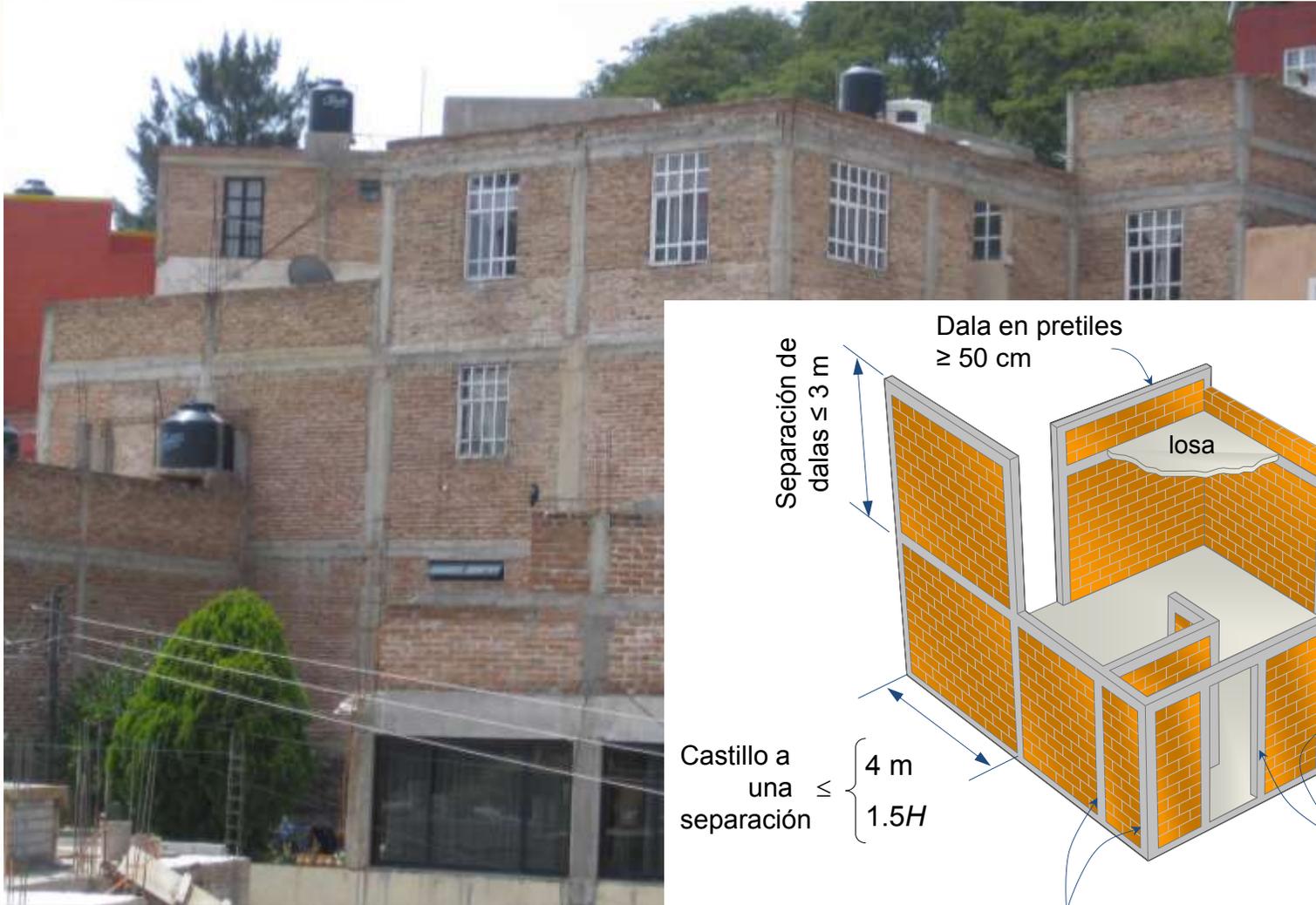
SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA MAL CONFINADA, SIN REFUERZO EN LOS HUECOS DE VENTANA



¿Porqué mal confinada, si hay castillos y dalas

EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA HUECA CON REFUERZO INTERIOR

Losas,
elementos
horizontales

Muros,
elementos
verticales



Estructura de muros:

- Algunas con castillos y dalas visibles
- Otras con castillos y dalas en el interior del muro (reforzado)

EDIFICIO DE MARCOS DE CONCRETO REFORZADO, CON MUROS DIAFRAGMA DE MAMPOSTERÍA



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES





Estructuras de acero

EDIFICIO DE MARCOS DE ACERO ESTRUCTURAL



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



DETALLE DE CONEXIÓN ATORNILLADA EN UNIÓN VIGA-COLUMNA DE EDIFICIO DE ACERO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



DETALLE DE CONEXIÓN SOLDADA EN UNIÓN VIGA-COLUMNA DE EDIFICIO DE ACERO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

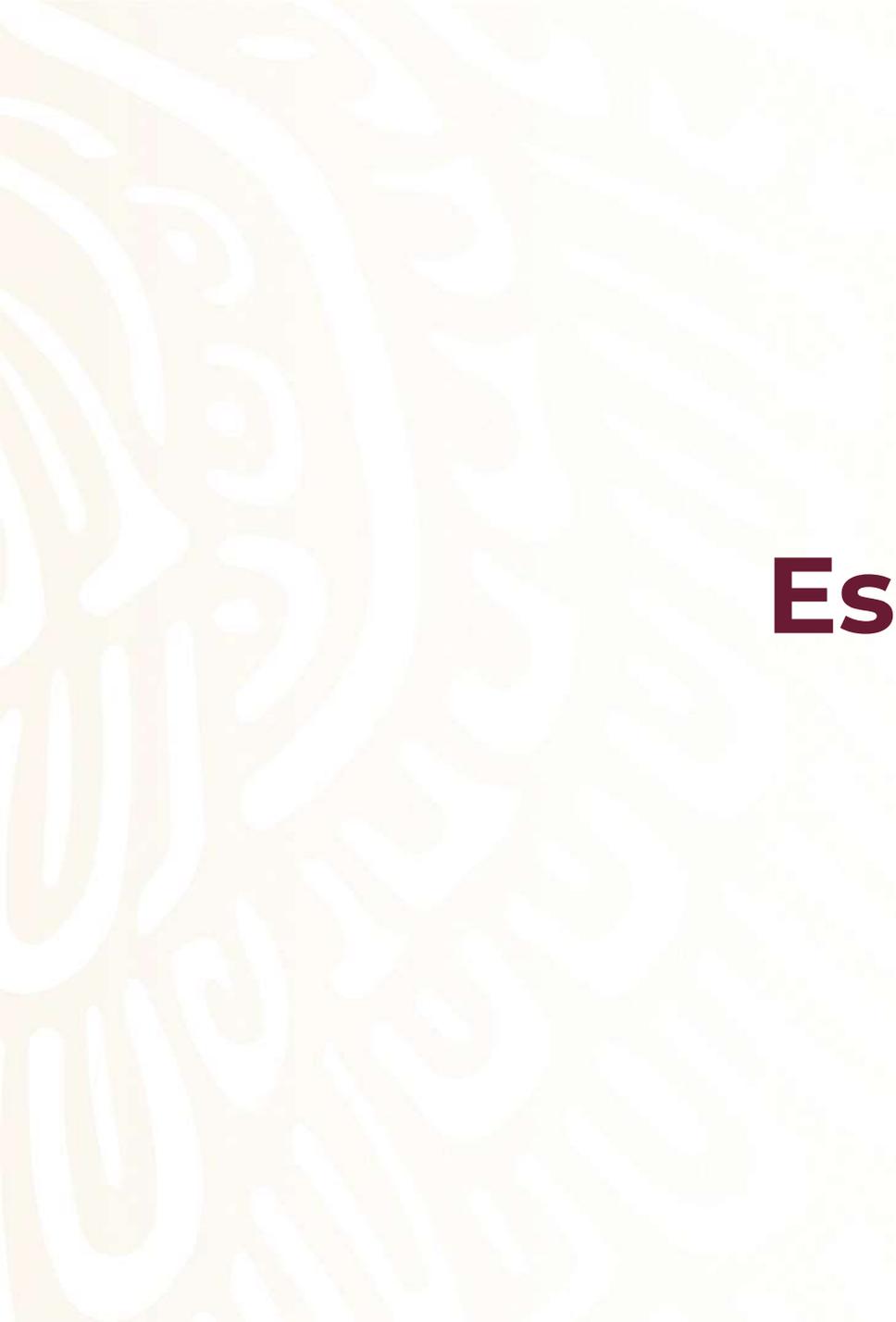


CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



La soldadura siempre deberá ser supervisada





Estructuras de Concreto

EDIFICIO DE MARCOS DE CONCRETO REFORZADO COLADO EN SITIO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Trabes,
elementos
horizontales



Columnas,
elementos
verticales

Estructura de marcos:

- Principalmente columnas y trabes
- Pueden ser de concreto reforzado, de acero, o una combinación de ambos

EDIFICIO DE MARCOS DE CONCRETO REFORZADO PREFABRICADO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Elementos ESTRUCTURALES adicionales, no necesariamente verticales, ni horizontales

- Generalmente diagonales
- En diferentes configuraciones
- Permiten aumentar la rigidez de un marco al restringir sus desplazamientos laterales
- En la mayoría de los casos están colocados dentro del espacio de un marco
- Pueden ser de acero o tensores formados por cables
- Generalmente empleados como procedimiento de refuerzo

EJEMPLOS DE CONTRAVIENTOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



- ✓ En X
- ✓ Con marco de acero
- ✓ Conexión en el plano
- ✓ Cubre un piso



EJEMPLOS DE DIAGONALES DE RIGIDIZACIÓN



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



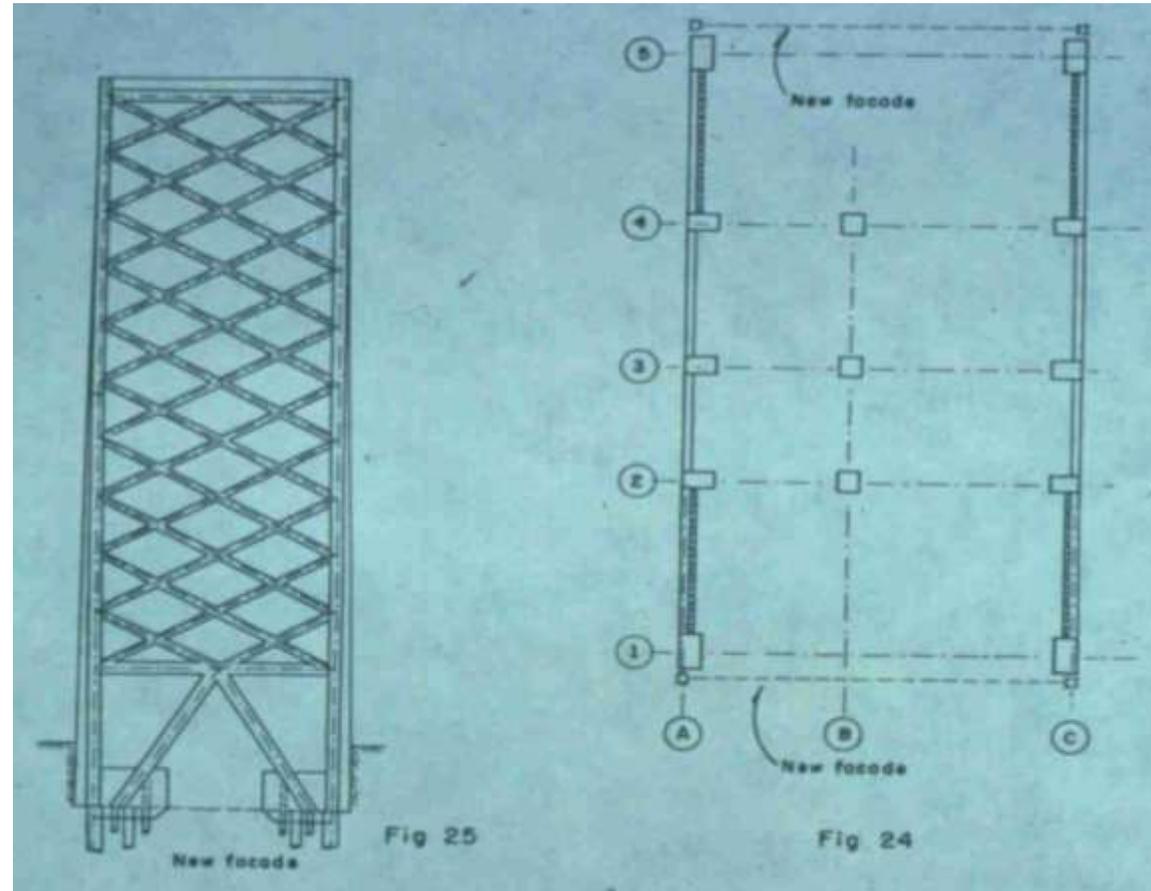
Preparación de los elementos de anclaje entre la estructura y los elementos metálicos del marco exterior



EJEMPLOS DE DIAGONALES DE RIGIDIZACIÓN



Vista final del edificio reforzado,
croquis del proyecto



EJEMPLOS DE CONTRAVIENTOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



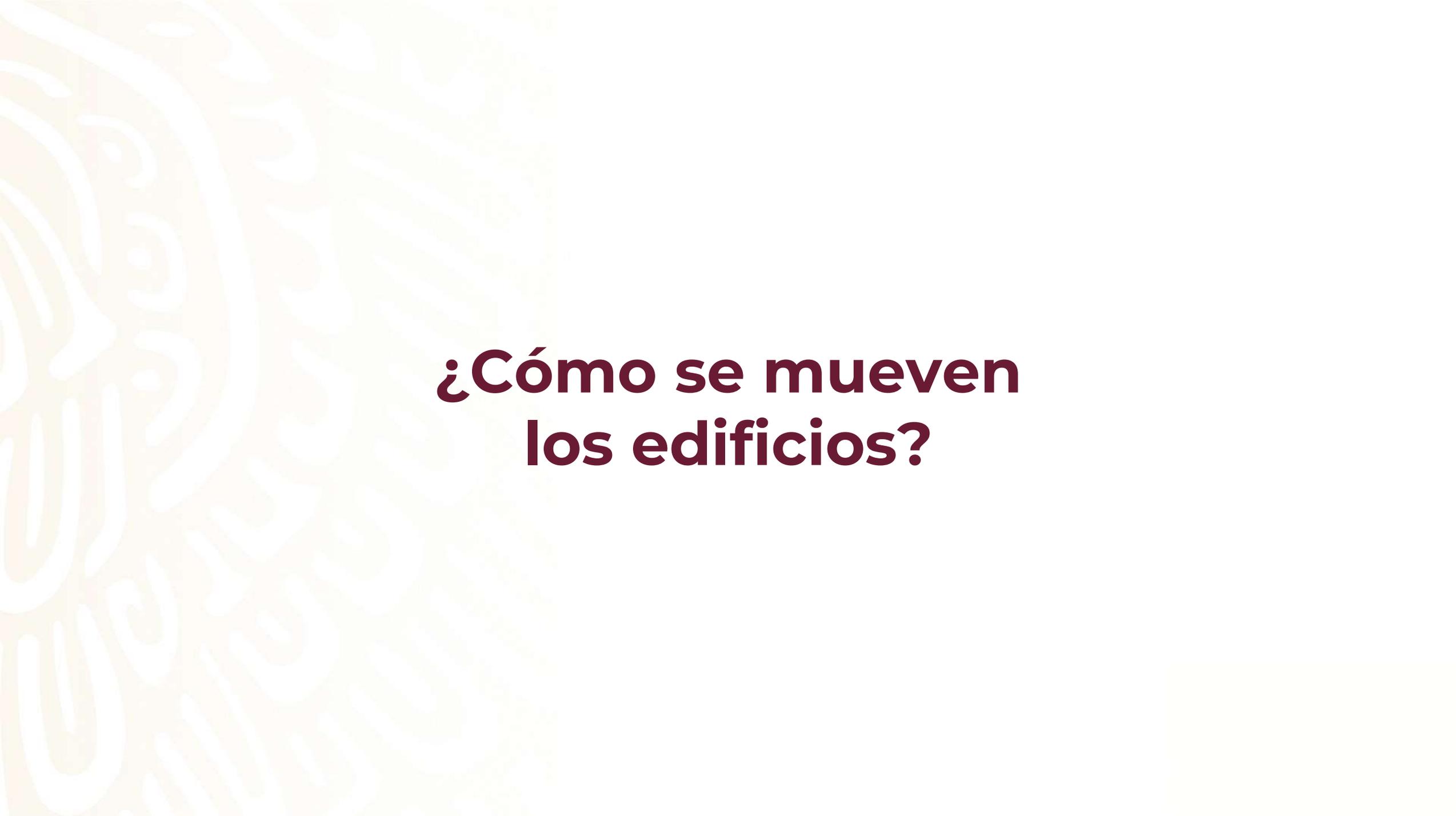
- ✓ En X
- ✓ Externo
- ✓ Conexión fuera del plano
- ✓ Cubre un piso

- ✓ En K
- ✓ En el plano del marco
- ✓ Cubre un piso



Es del tipo: Excéntrico

(se conectan a un tramo de viga con atiesadores para comportamiento plástico)



**¿Cómo se mueven
los edificios?**

EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS



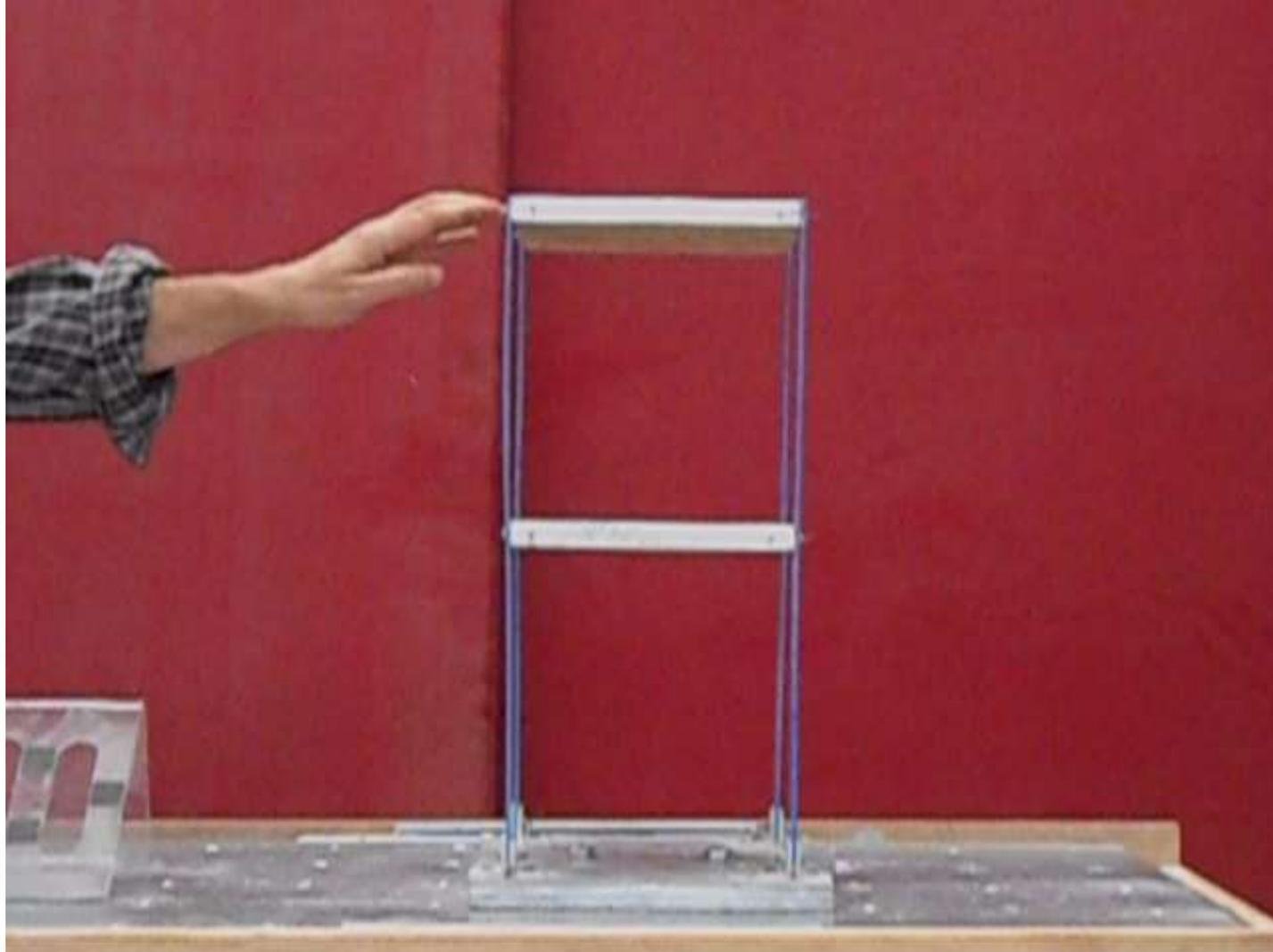
EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



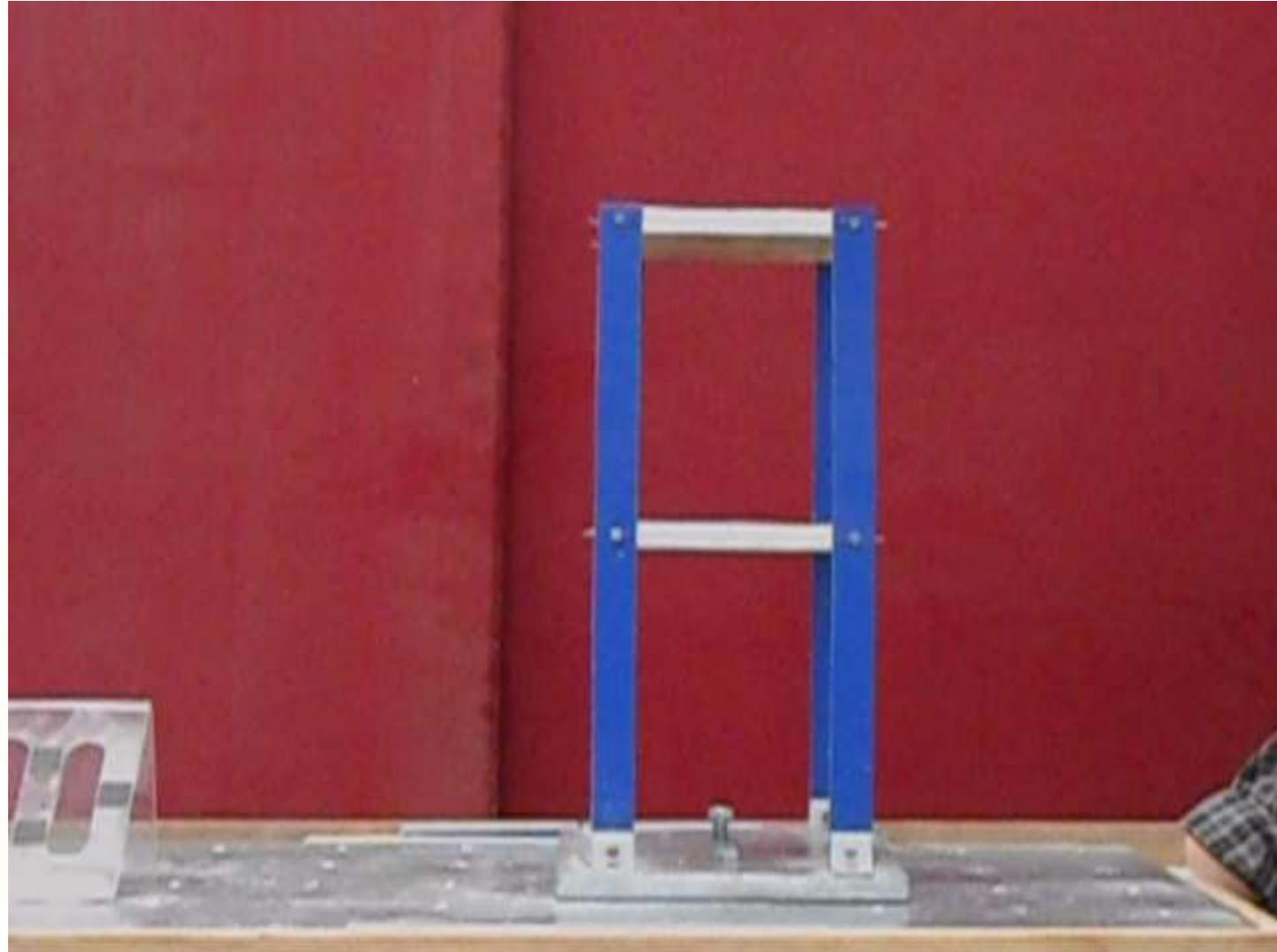
EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



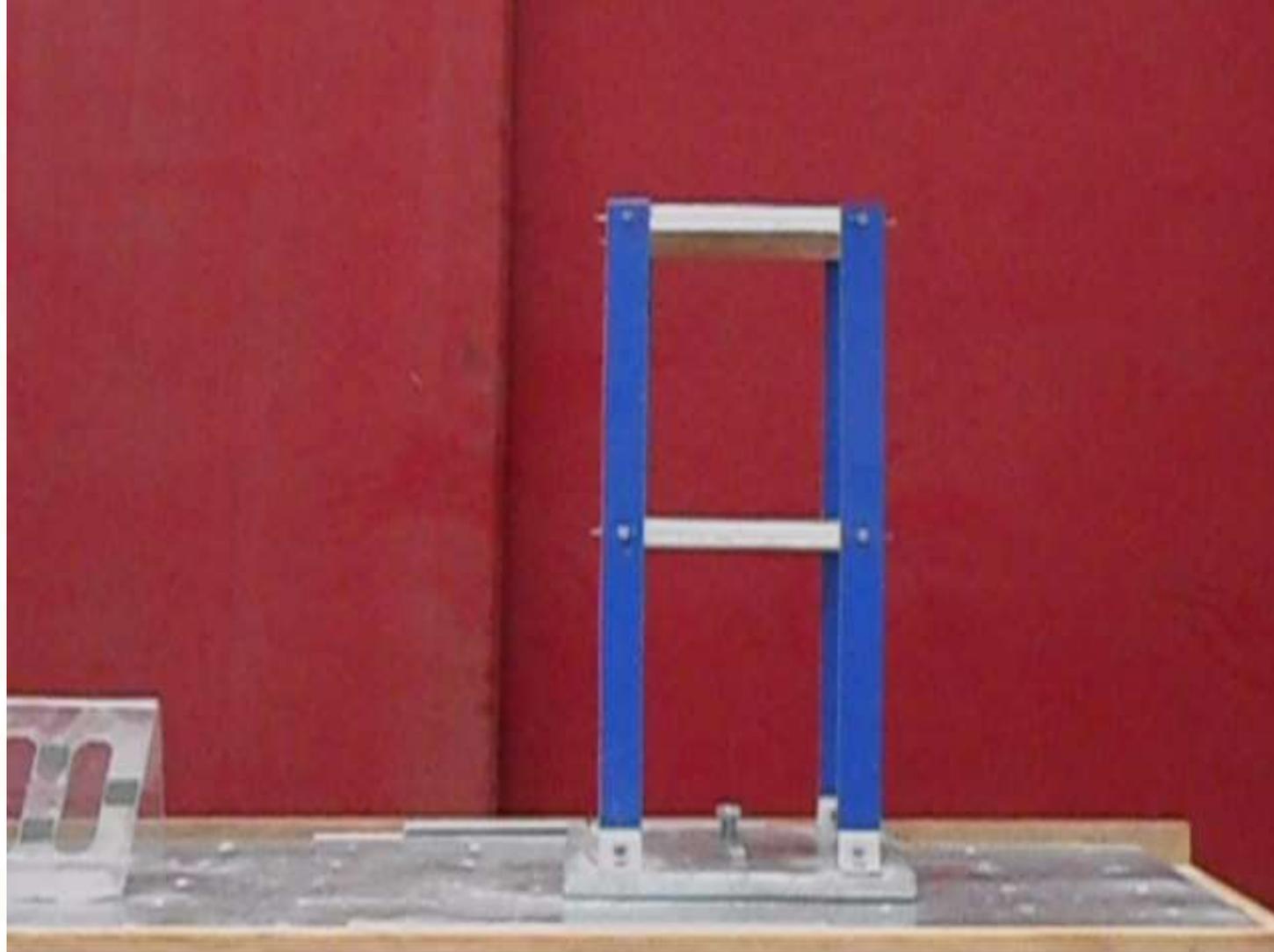
EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



EDIFICIOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

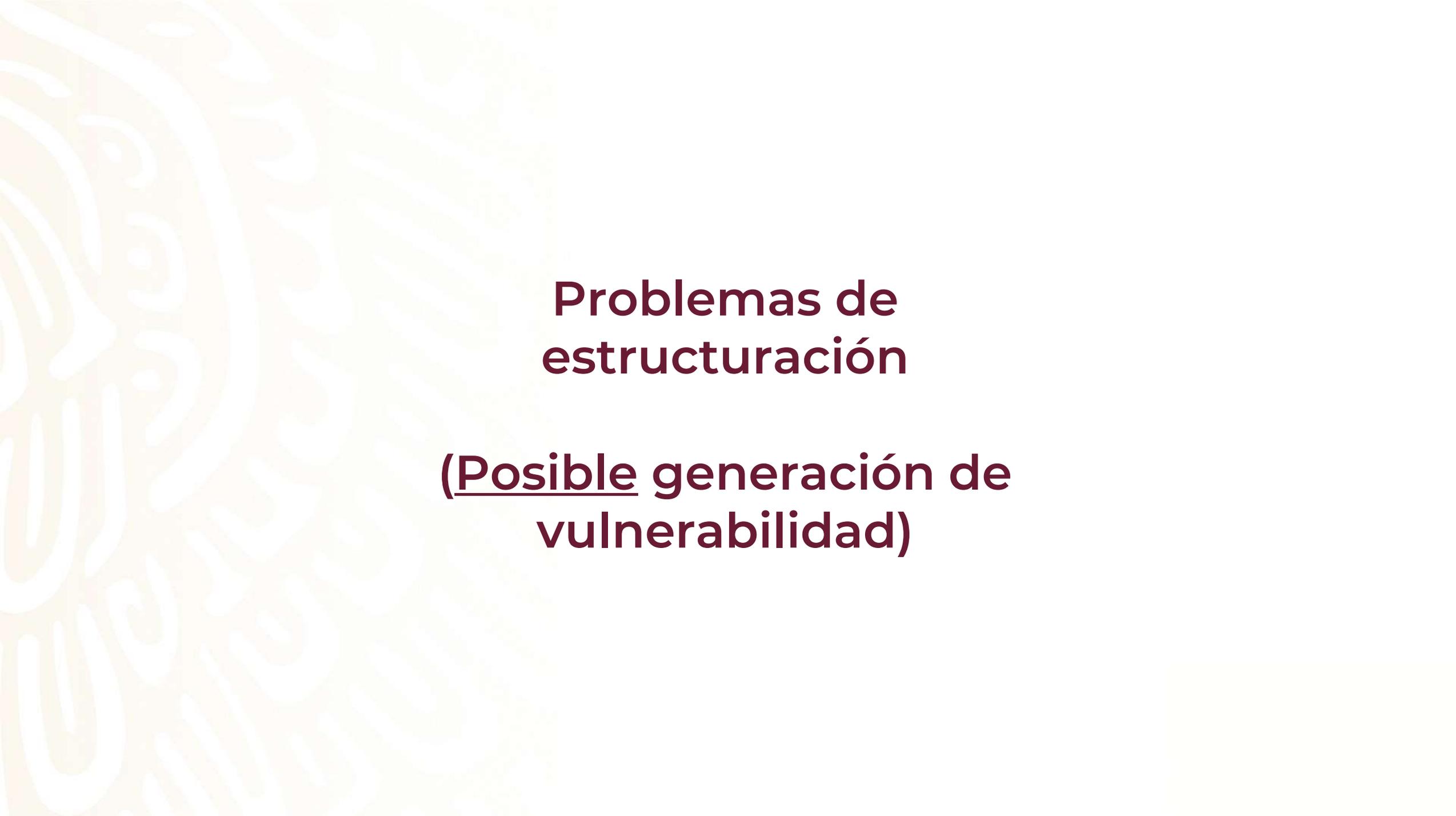


SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES





Problemas de estructuración

(Posible generación de
vulnerabilidad)

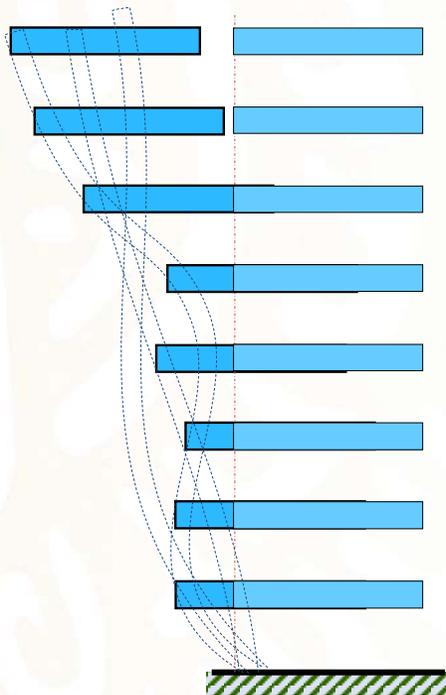
VULNERABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES CONDICIONES DE REGULARIDAD



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



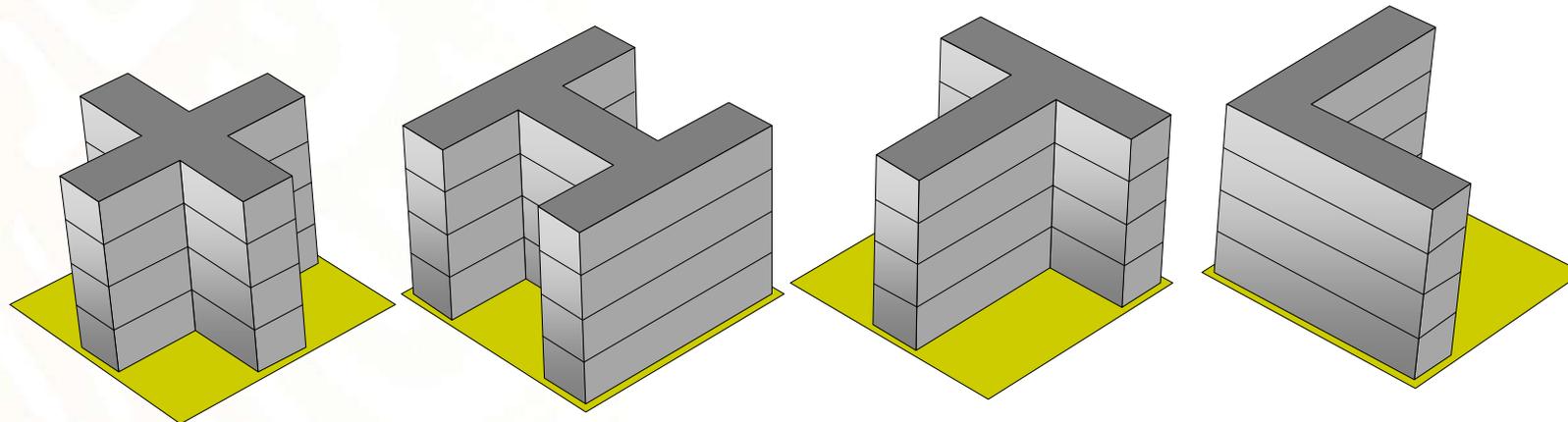
- Forma de la planta del edificio
- Entrantes y salientes
- Relación del ancho de la base contra la altura del edificio
- Longitud del edificio
- Sistema de piso rígido y resistente
- Aberturas en la losa
- Concentración de grandes masas en niveles superiores
- Reducción de la planta del edificio (cambio de rigidez)
- Irregularidades en planta de la distribución de los elementos estructurales
- Irregularidades en elevación en la distribución de los elementos estructurales
- Separación de los edificios vecinos
- Interacción de elementos no estructurales con la estructura (columna corta)
- Otros problemas de estructuración

FORMA DE LA PLANTA DEL EDIFICIO



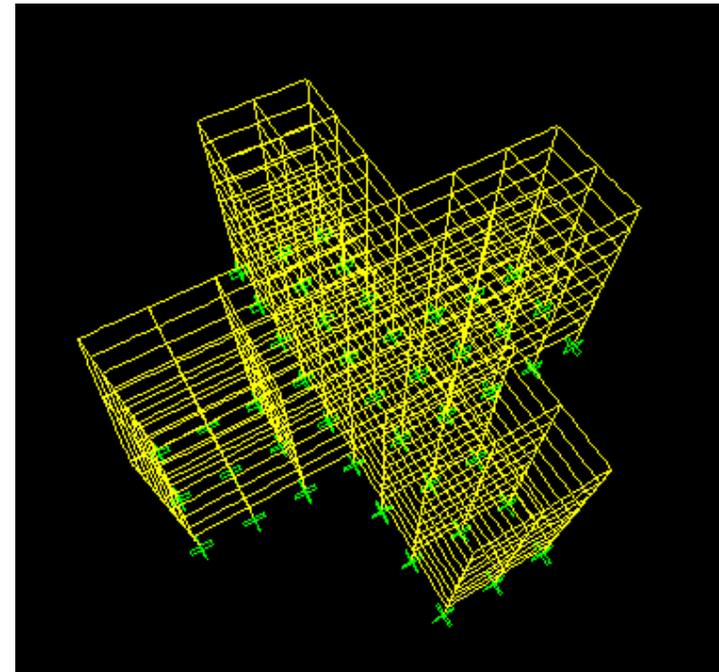
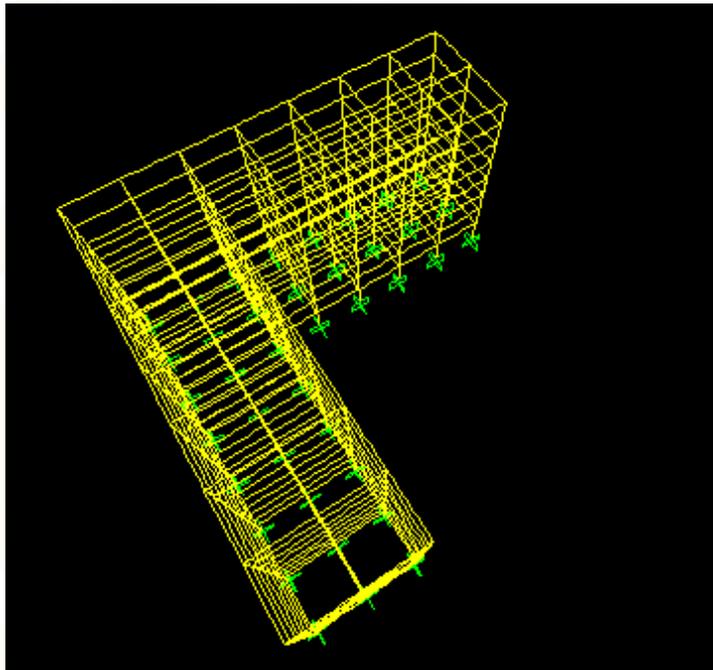
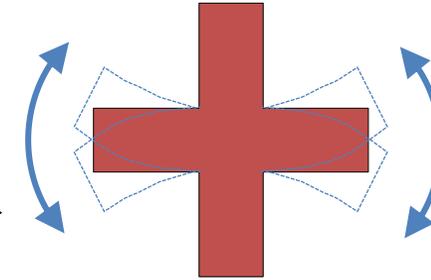
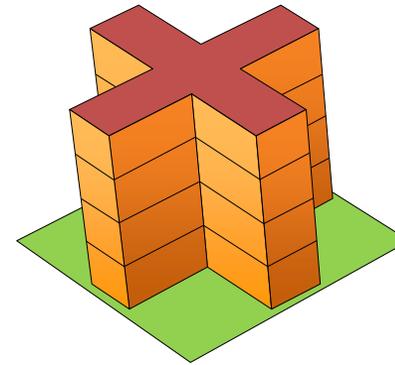
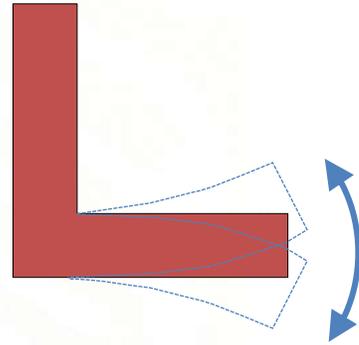
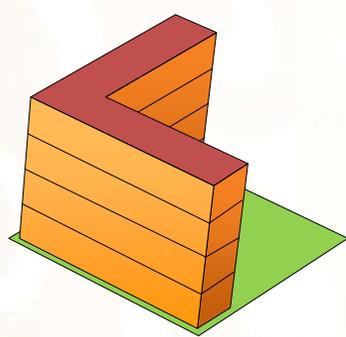


FORMA DE LA PLANTA DEL EDIFICIO

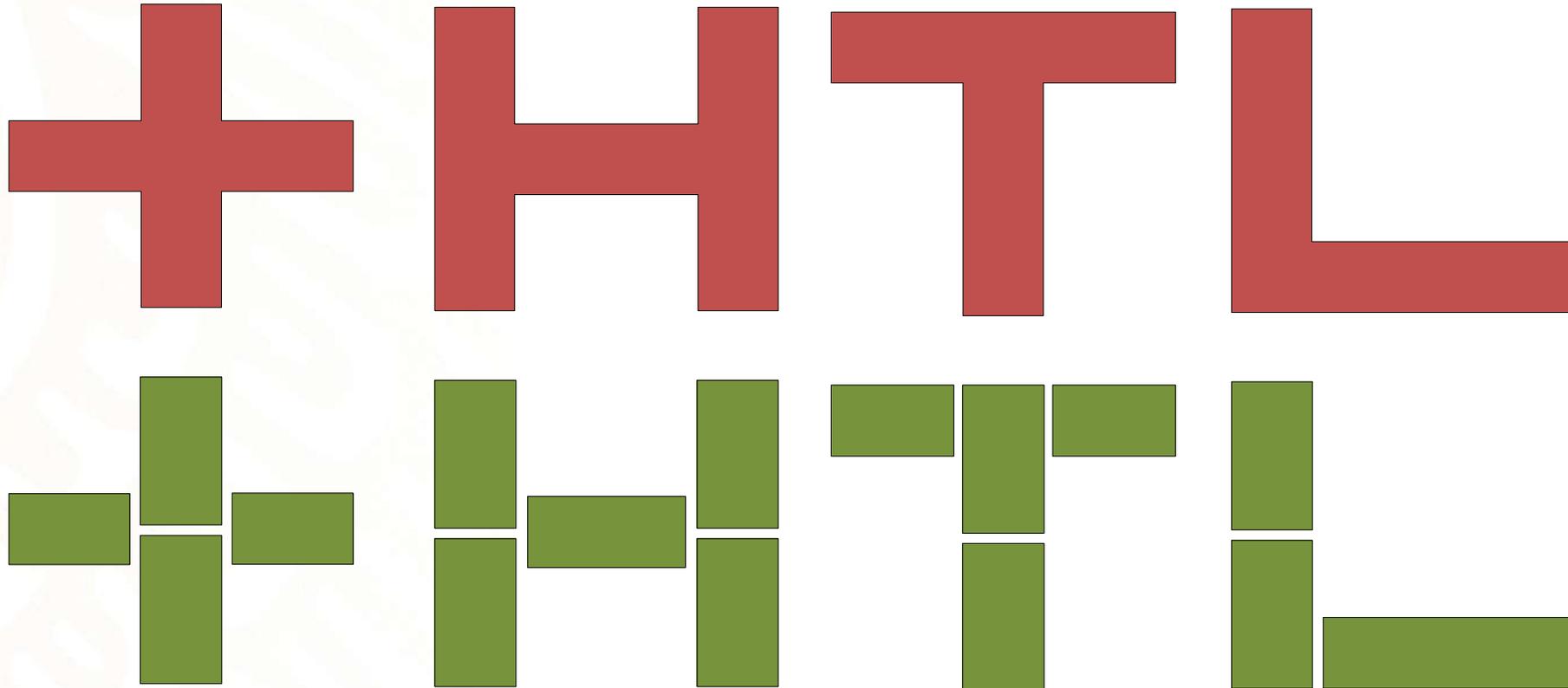




FORMA DE LA PLANTA DEL EDIFICIO

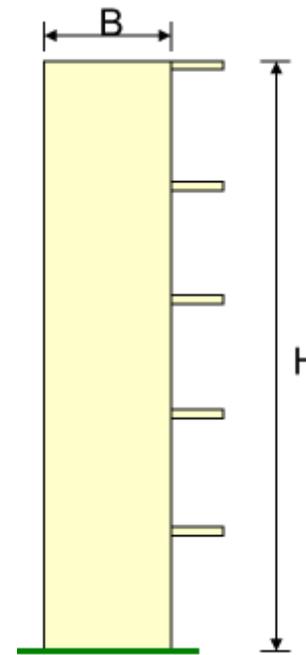
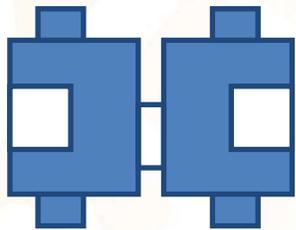


SOLUCIÓN A IRREGULARIDAD EN PLANTA: JUNTAS CONSTRUCTIVAS



Entrantes y salientes

Ancho de la base vs. altura del edificio

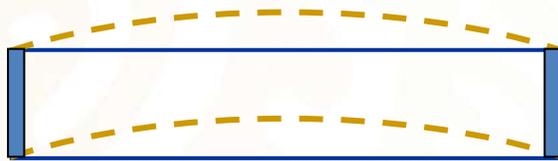
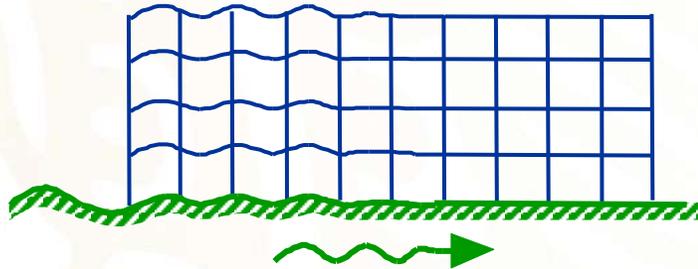


$$H / B_{\min} \leq 2.5$$



Sismo de Turquía, 1999

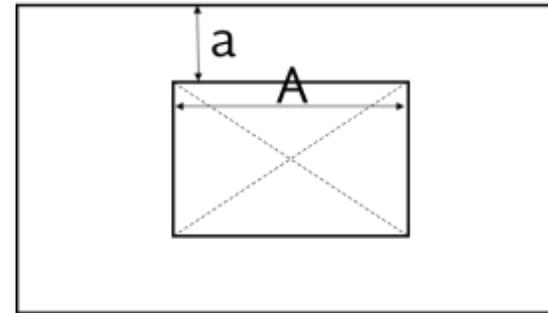
Longitud del edificio



$$L/B \leq 2.5$$



Aberturas en la losa



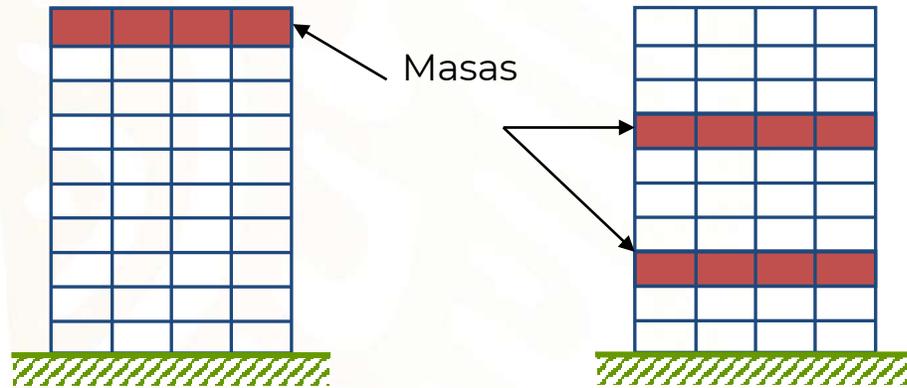
- Dimensión $\leq 20\%$ planta
- Área $\leq 20\%$ planta
- No proporcionan asimetría
- No difiere de piso a piso

Evitar:

$$A/a > 1.0 \quad \frac{\text{Área hueco}}{\text{Área planta}} > 0.25$$



CONCENTRACIÓN DE GRANDES MASAS EN NIVELES SUPERIORES

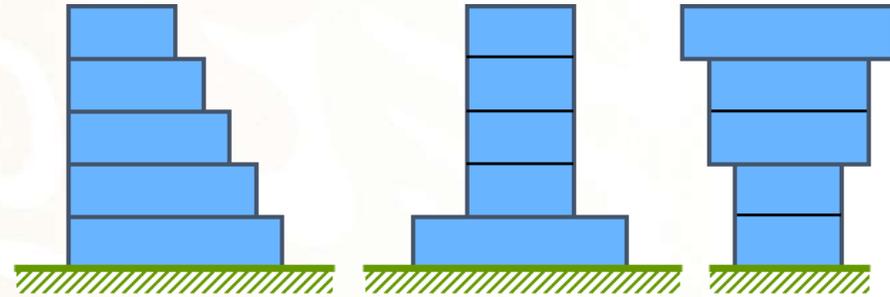


Grandes diferencias en la masa de los pisos



Sismo de Michoacán, 1985

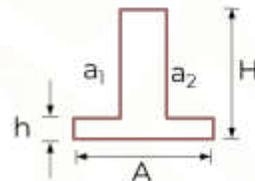
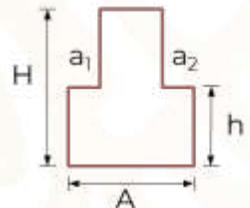
IRREGULARIDADES EN PLANTA (CAMBIO DE RIGIDEZ)



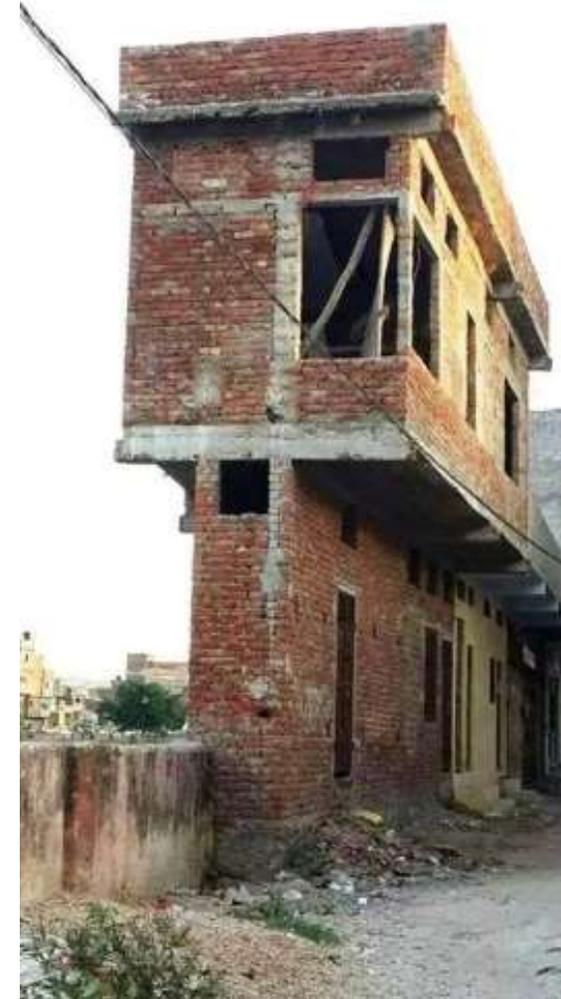
Cambio abrupto en la geometría

si $h/H > 0.2$, evitar:
 $(a_1 + a_2)/A > 0.2$

si $h/H < 0.2$, evitar:
 $(a_1 + a_2)/A > 0.5$



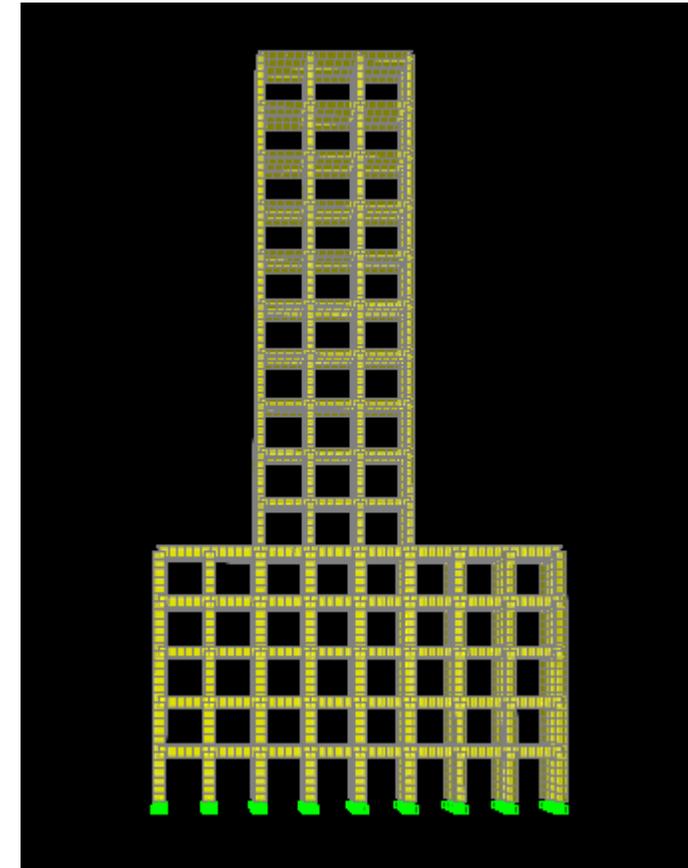
Reducciones bruscas indeseables (Elevación)



REDUCCIÓN DE LA PLANTA DEL EDIFICIO (CAMBIO DE RIGIDEZ)



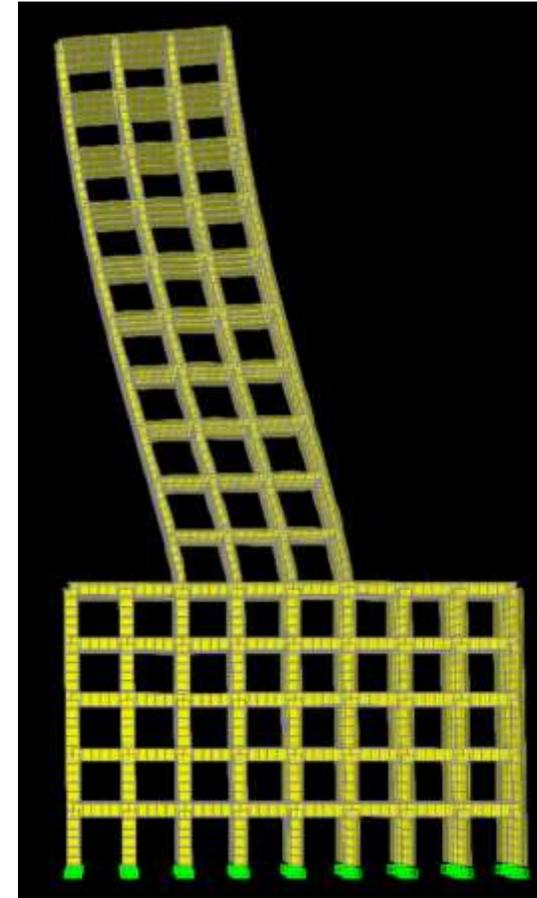
Sismo de Chile, 2010



REDUCCIÓN DE LA PLANTA DEL EDIFICIO (CAMBIO DE RIGIDEZ)

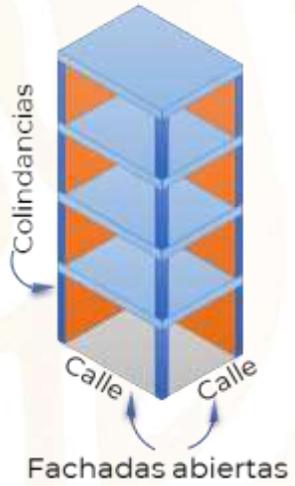


Sismo de Ecuador, 2016

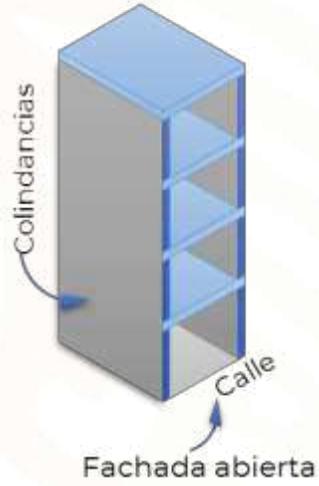


IRREGULARIDADES EN LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

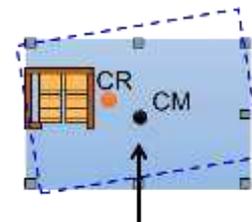
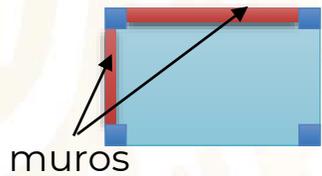
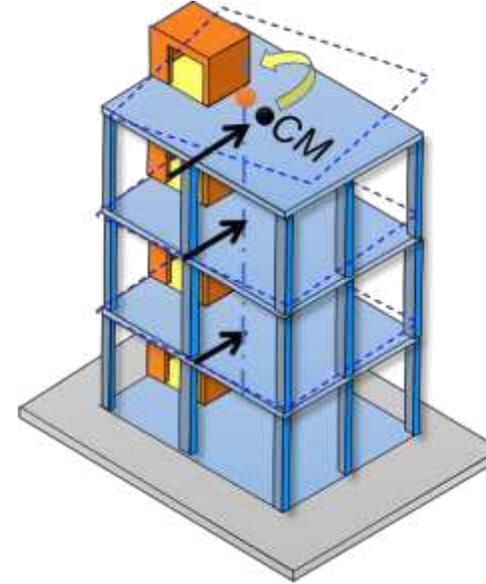
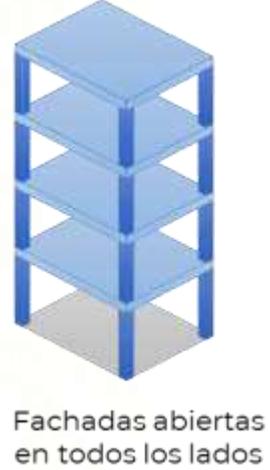
1 En esquina



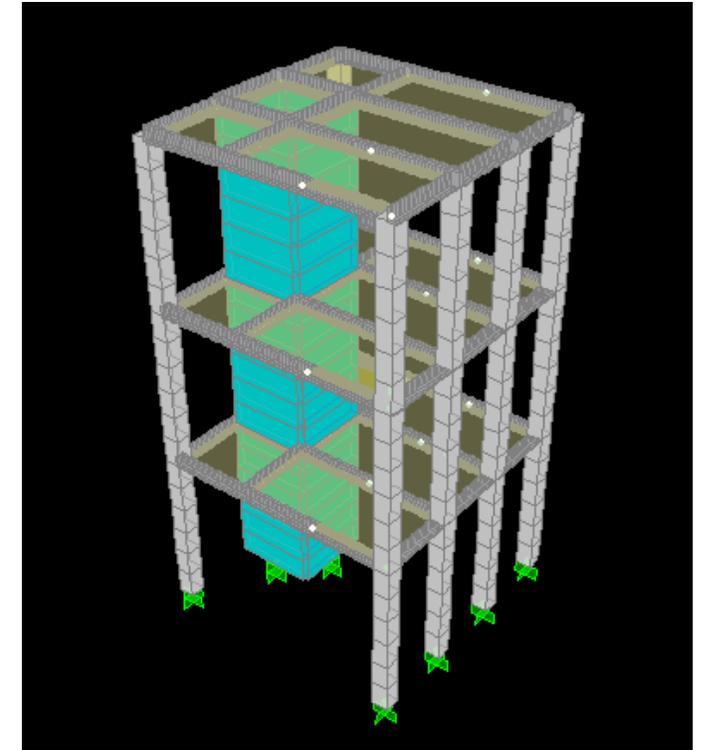
2 En medio



3 Aislado



$e_s \leq 10\%$ dimensión de la planta



DAÑO POR TORSIÓN POR IRREGULARIDAD EN PLANTA (EDIFICIO DE ESQUINA)



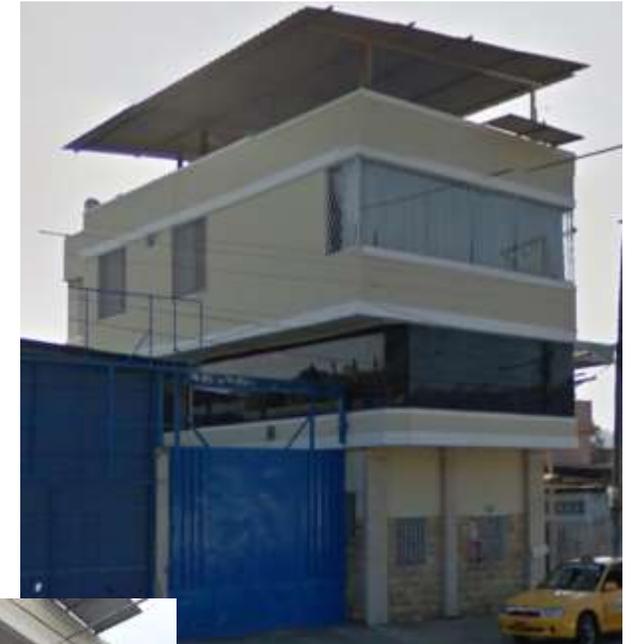
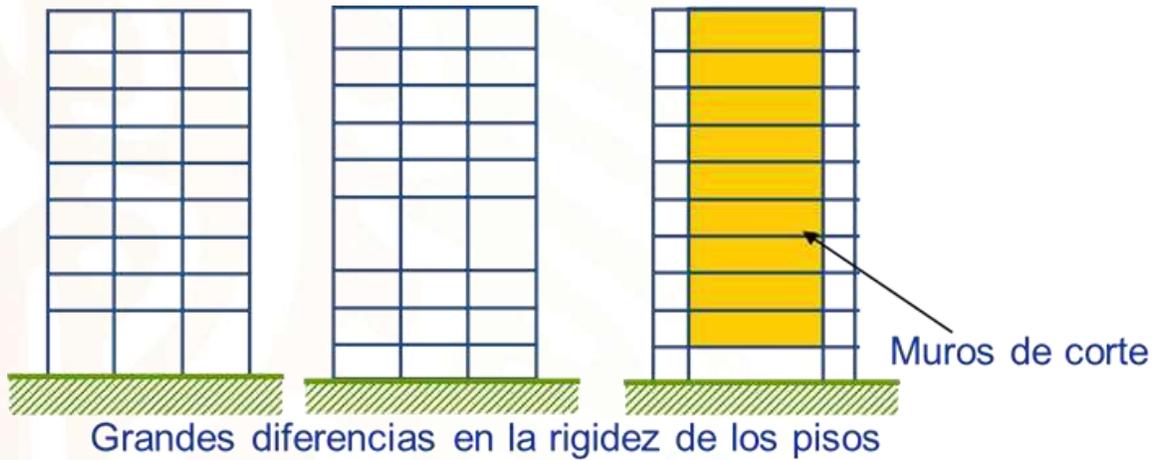
SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

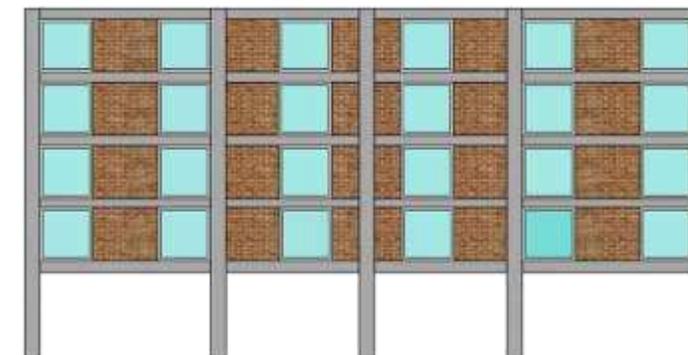


IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES



Sismo de Ecuador, 2016

PLANTA BAJA FLEXIBLE



Edificio con planta baja “diferente” a las superiores (flexible), se considera como un parámetro asociado a la vulnerabilidad

Rigidez difiere $< 50\%$ del piso inferior
resistencia difiere $< 50\%$ del piso inferior
(salvo azotea)

PLANTA BAJA FLEXIBLE



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Sismo de Ecuador, 2016



PLANTA BAJA FLEXIBLE



Sismo de Turquía, 1999

PLANTA BAJA FLEXIBLE



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



19.04.2016 06:24

Sismo de Ecuador, 2016



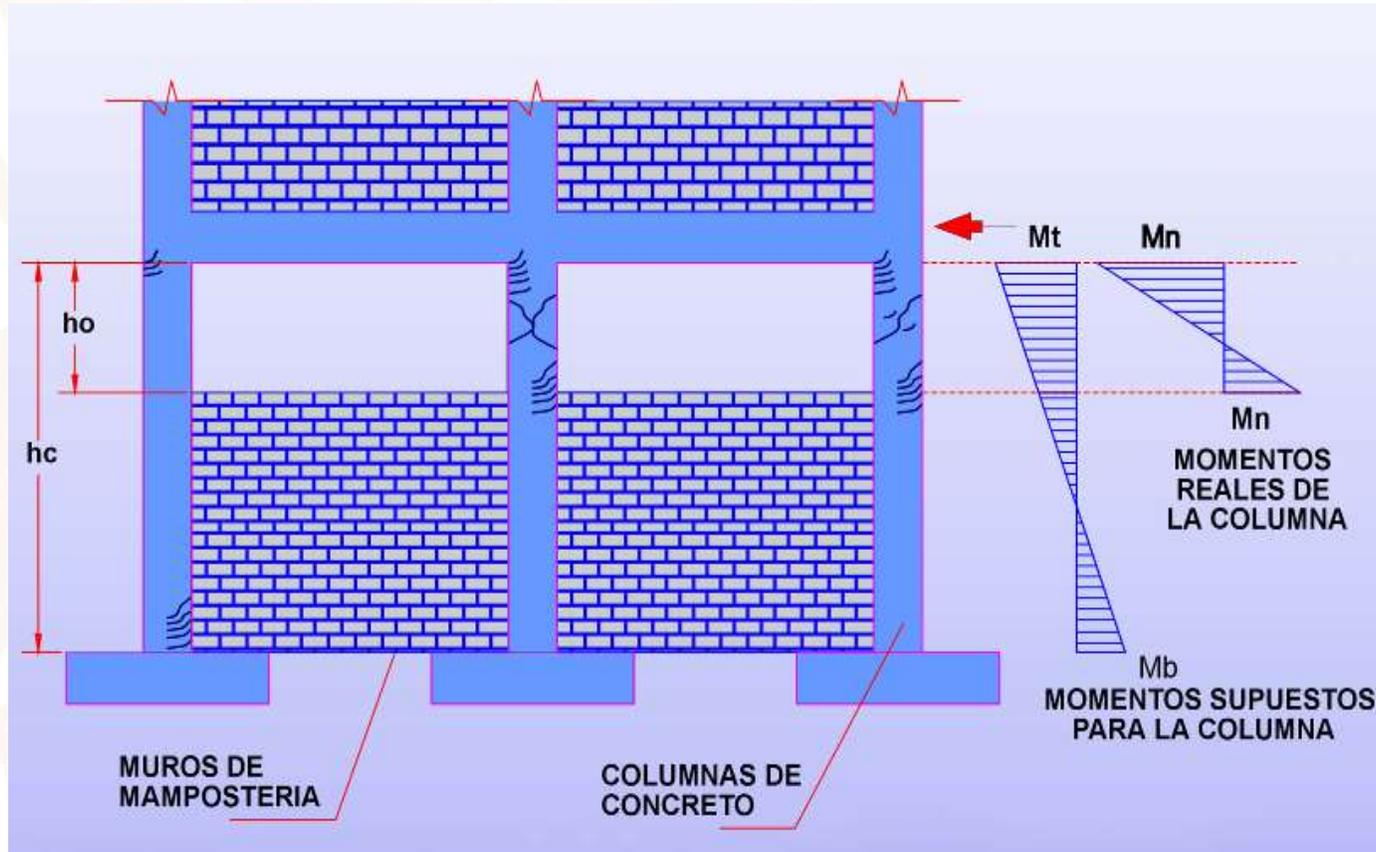
SEPARACIÓN ENTRE EDIFICIOS COLINDANTES

$$s \geq \alpha H, \quad \alpha = 0.012 \text{ terreno blando}$$
$$\alpha = 0.007 \text{ terreno firme}$$

$$s_1 \geq 2\alpha H_1$$
$$s_2 \geq 2\alpha H_2$$

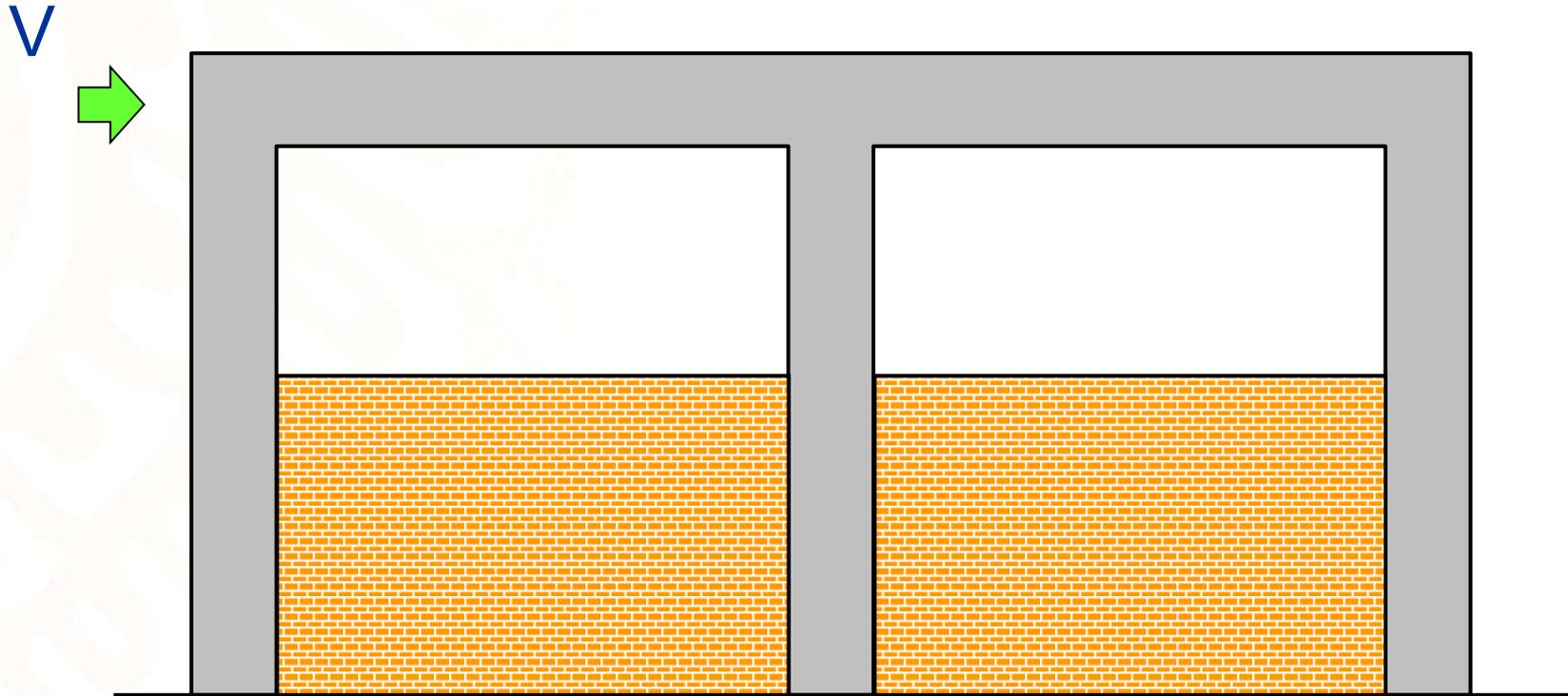


INTERACCIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES CON LA ESTRUCTURA (COLUMNA CORTA)

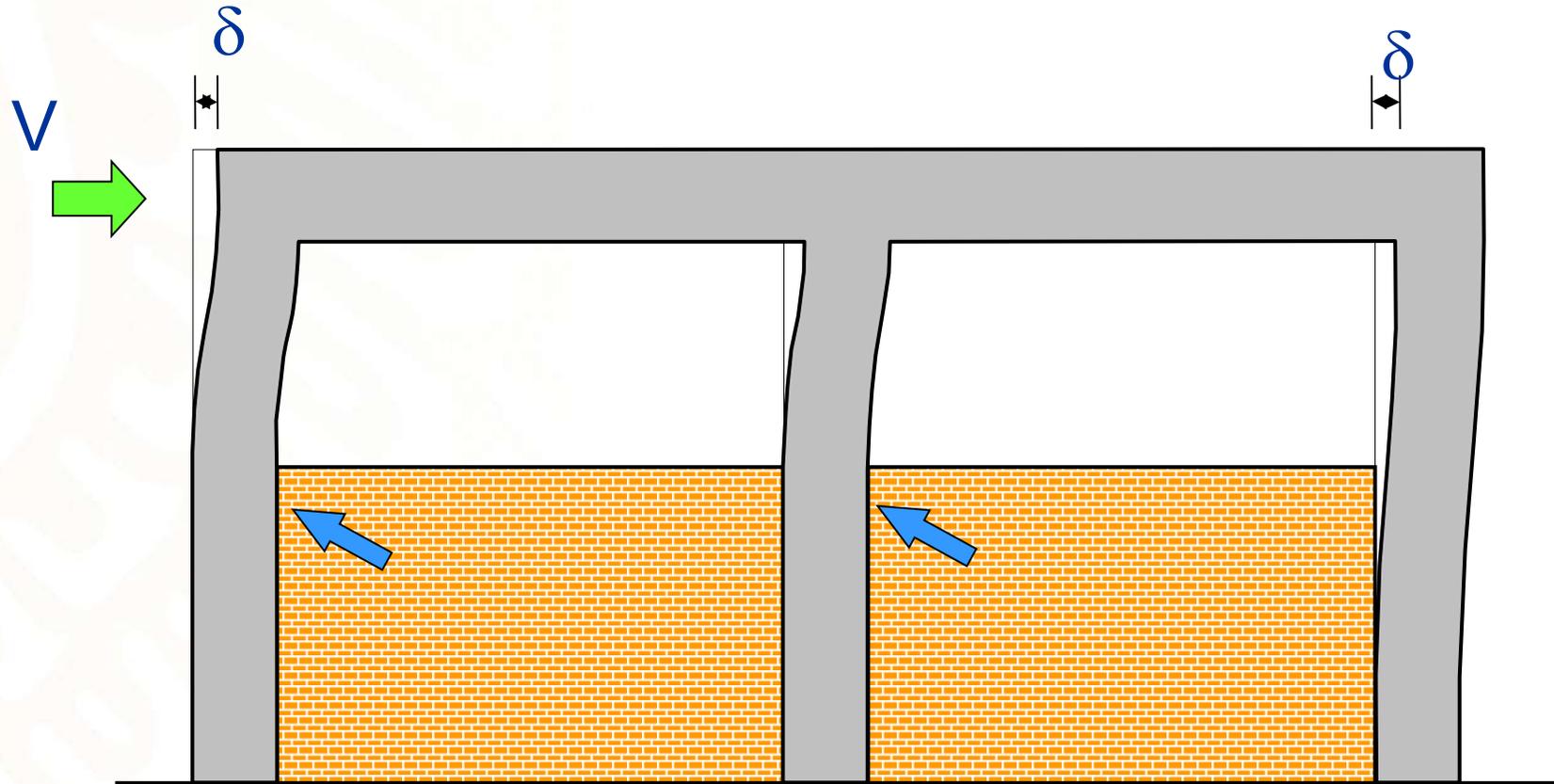




FENÓMENO DE ACORTAMIENTO DE COLUMNA, GENERADOR DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

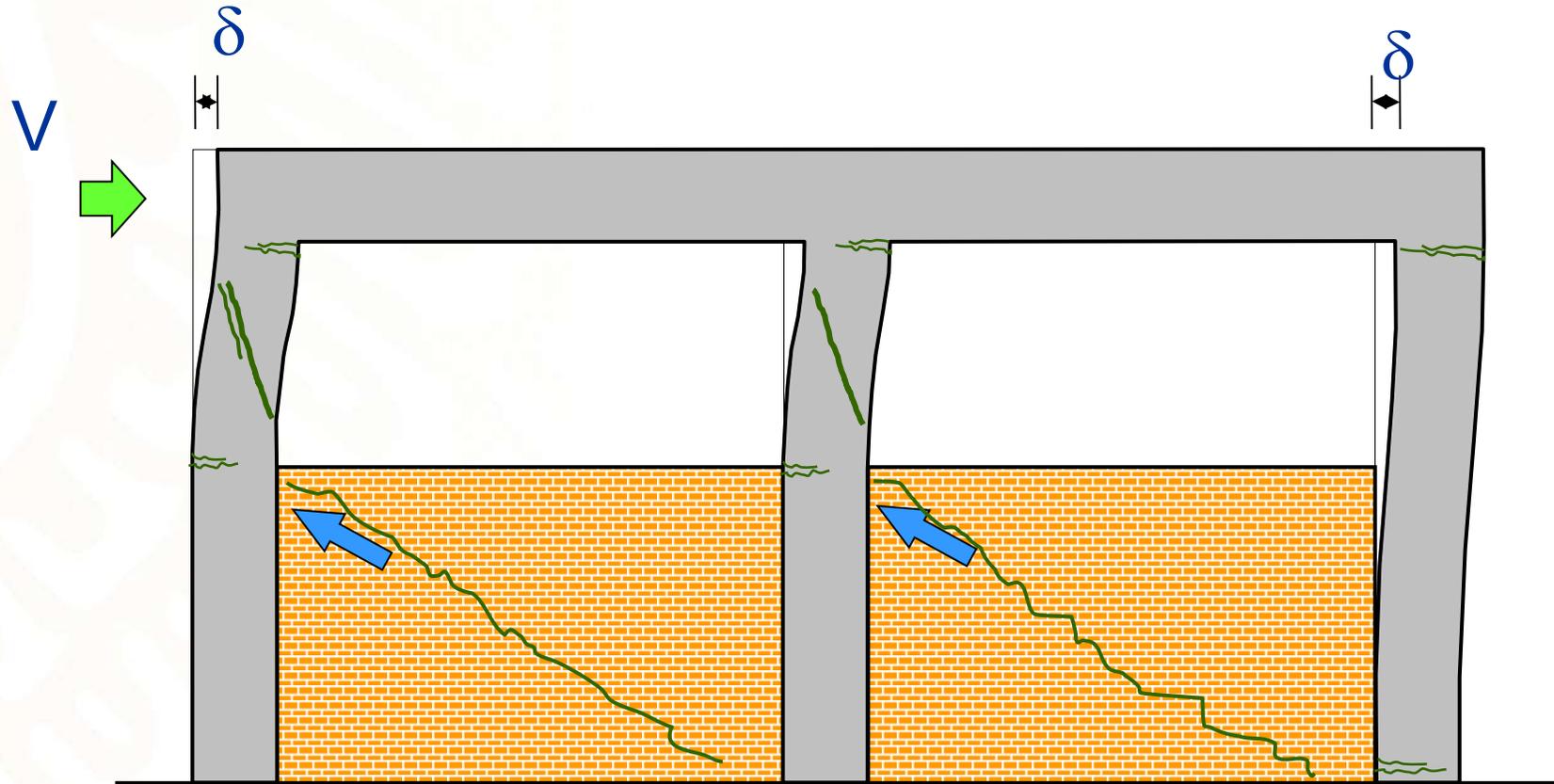


FENÓMENO DE ACORTAMIENTO DE COLUMNA, GENERADOR DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL



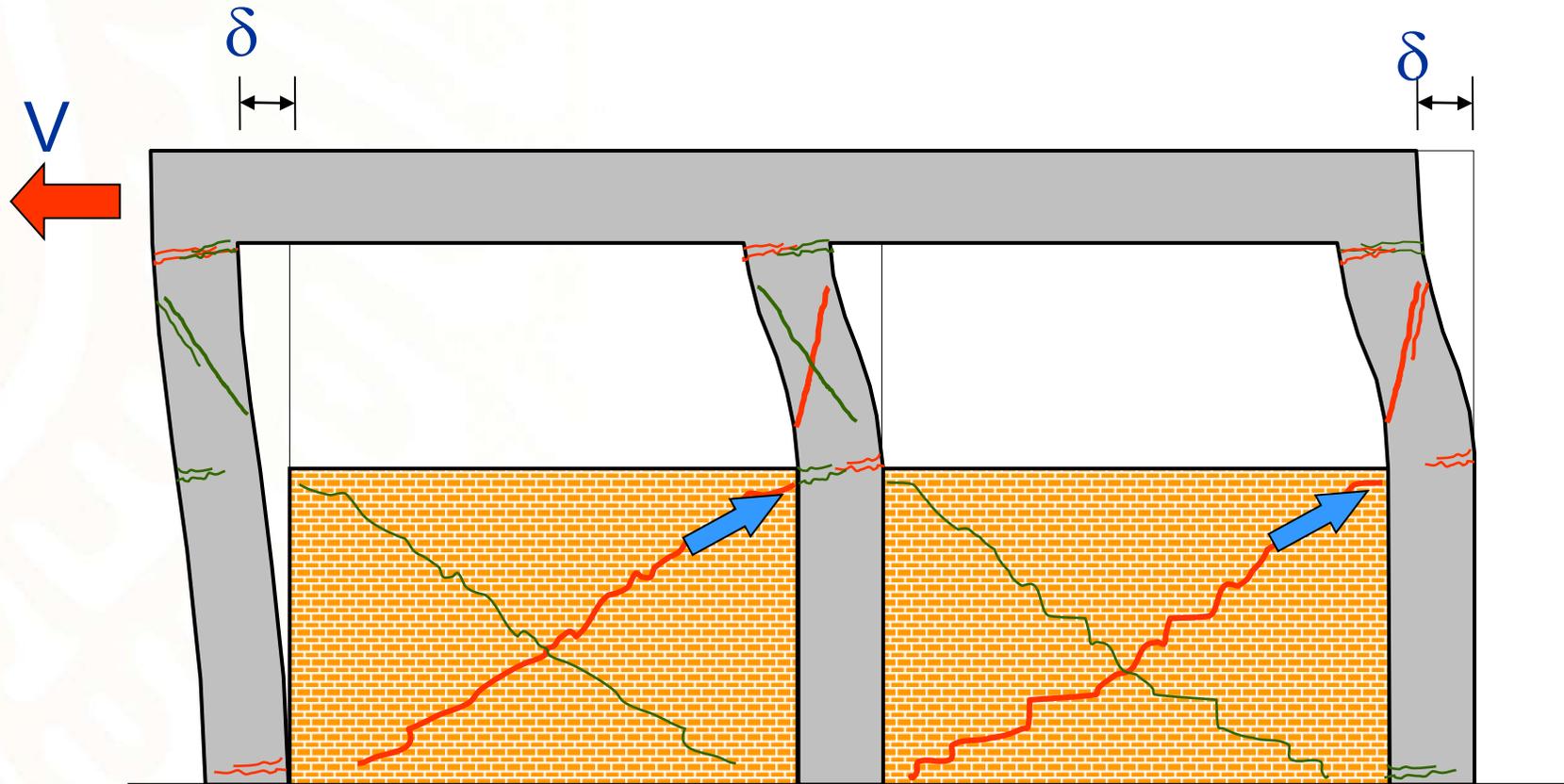


FENÓMENO DE ACORTAMIENTO DE COLUMNA, GENERADOR DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL





FENÓMENO DE ACORTAMIENTO DE COLUMNA, GENERADOR DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL



DAÑOS POR COLUMNA CORTA



Sismo de Ecuador, 2016



Sismo de Kobe, 1995

DAÑOS POR COLUMNA CORTA

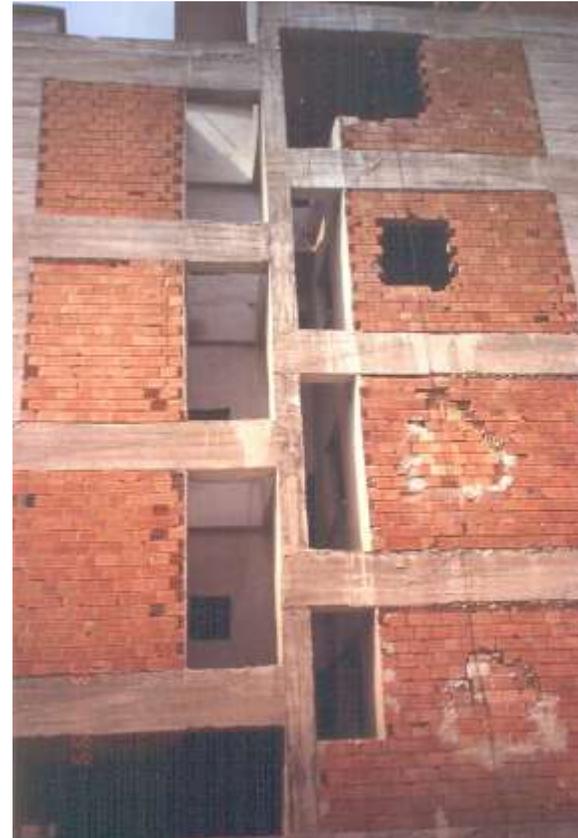




OTROS PROBLEMAS DE ESTRUCTURACIÓN

Estructuraciones que pueden generar vulnerabilidad en las edificaciones:

- Edificio con elementos estructurales no continuos horizontal y/o verticalmente
- Estructuras con vigas de mayores dimensiones que las columnas
- Muros diafragma sin refuerzo adecuado



- Importancia de conocer el año de diseño, o al menos de construcción del edificio (o época aproximada)
- Para asociarlo a un reglamento de construcción (si existía)
- Calidad de los materiales de la época
- Coeficiente sísmico (o espectro de diseño)
- Detallado para estructuras de concreto / acero / mampostería

COBERTURA DE REGLAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO



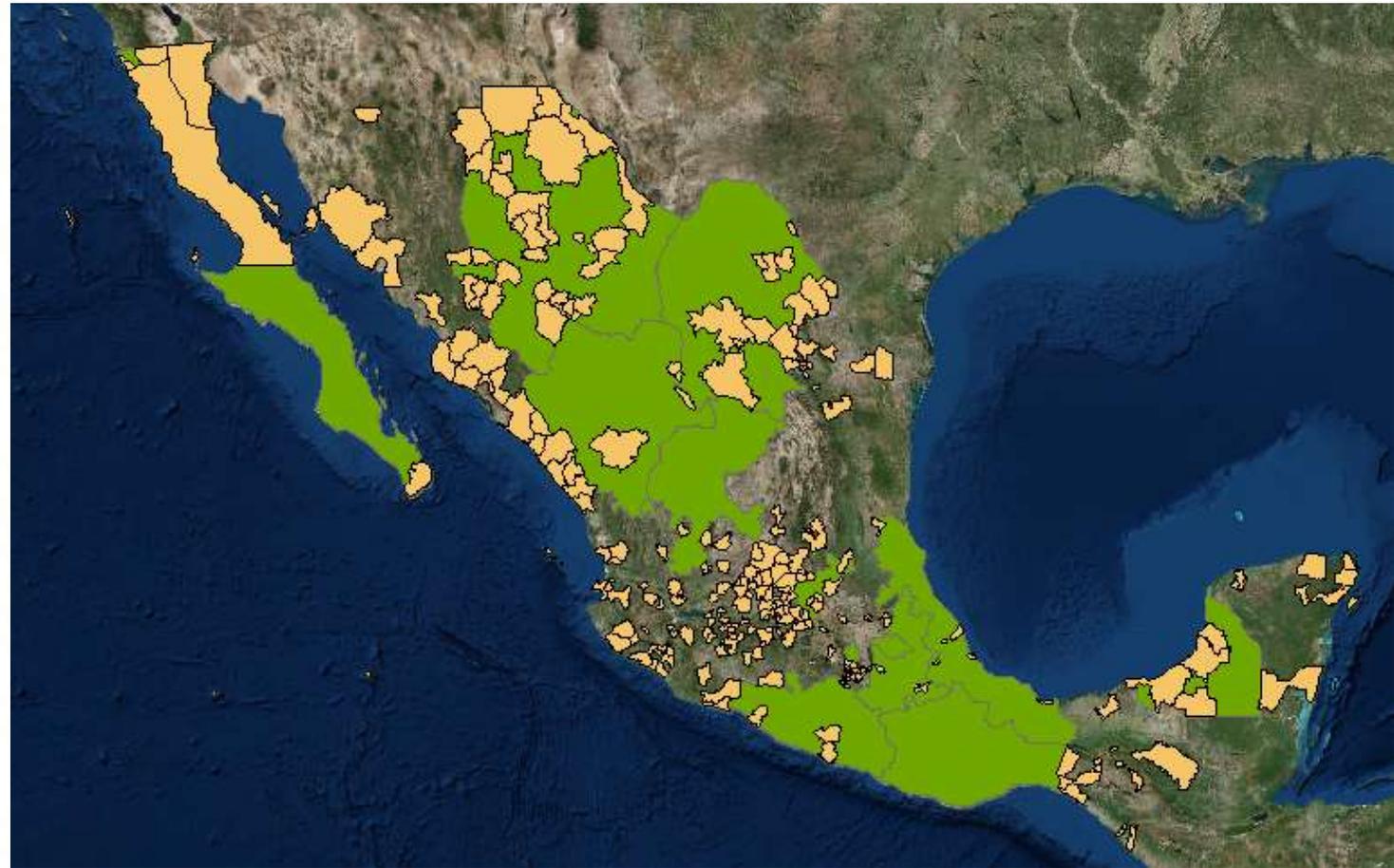
SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

2,469 municipios en el país

320 En la base de datos de CENAPRED



Se pueden consultar la mayoría en la página de la **smie.org.mx**

<https://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/reglamentos-construccion-mexico.php>

*Reglamentos de construcción a nivel nacional
(2019; ANR: Atlas Nacional de Riesgos)*

REGLAMENTOS: HERRAMIENTA VITAL PARA PREVENCIÓN



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



¿Existe una normatividad?

REGLAMENTOS: HERRAMIENTA VITAL PARA PREVENCIÓN



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

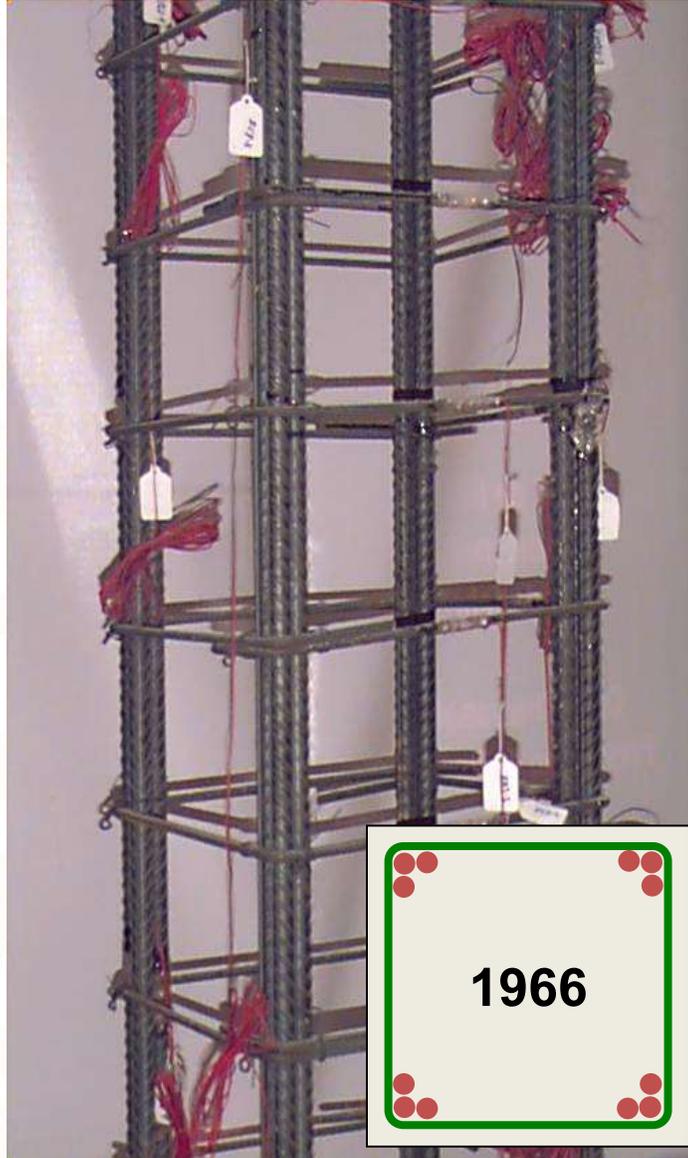


CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

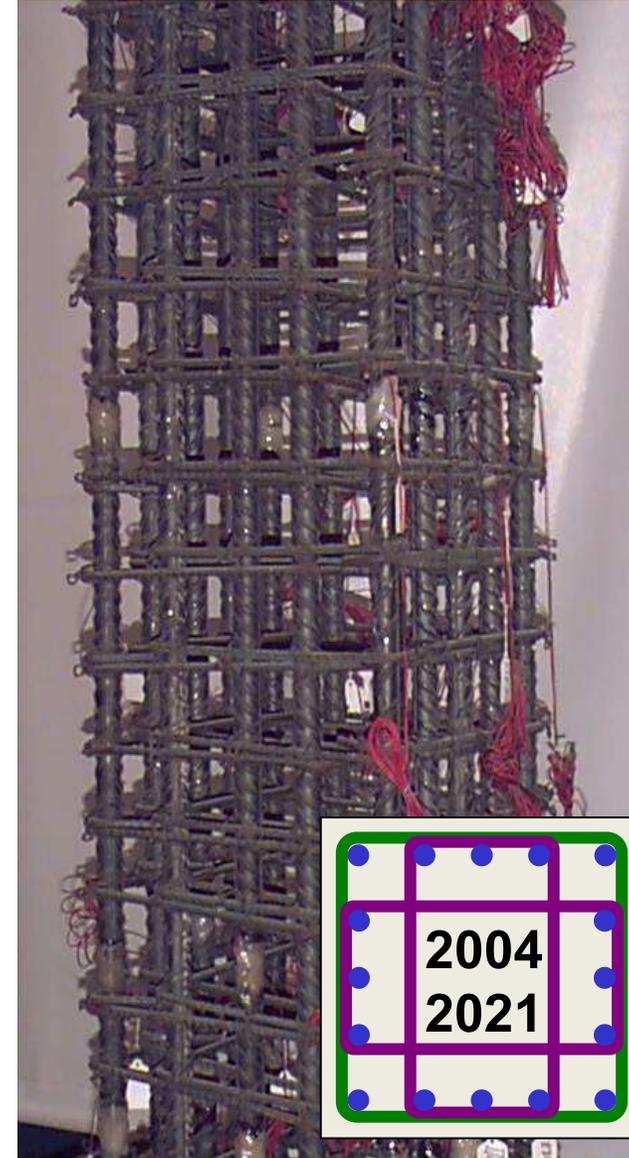


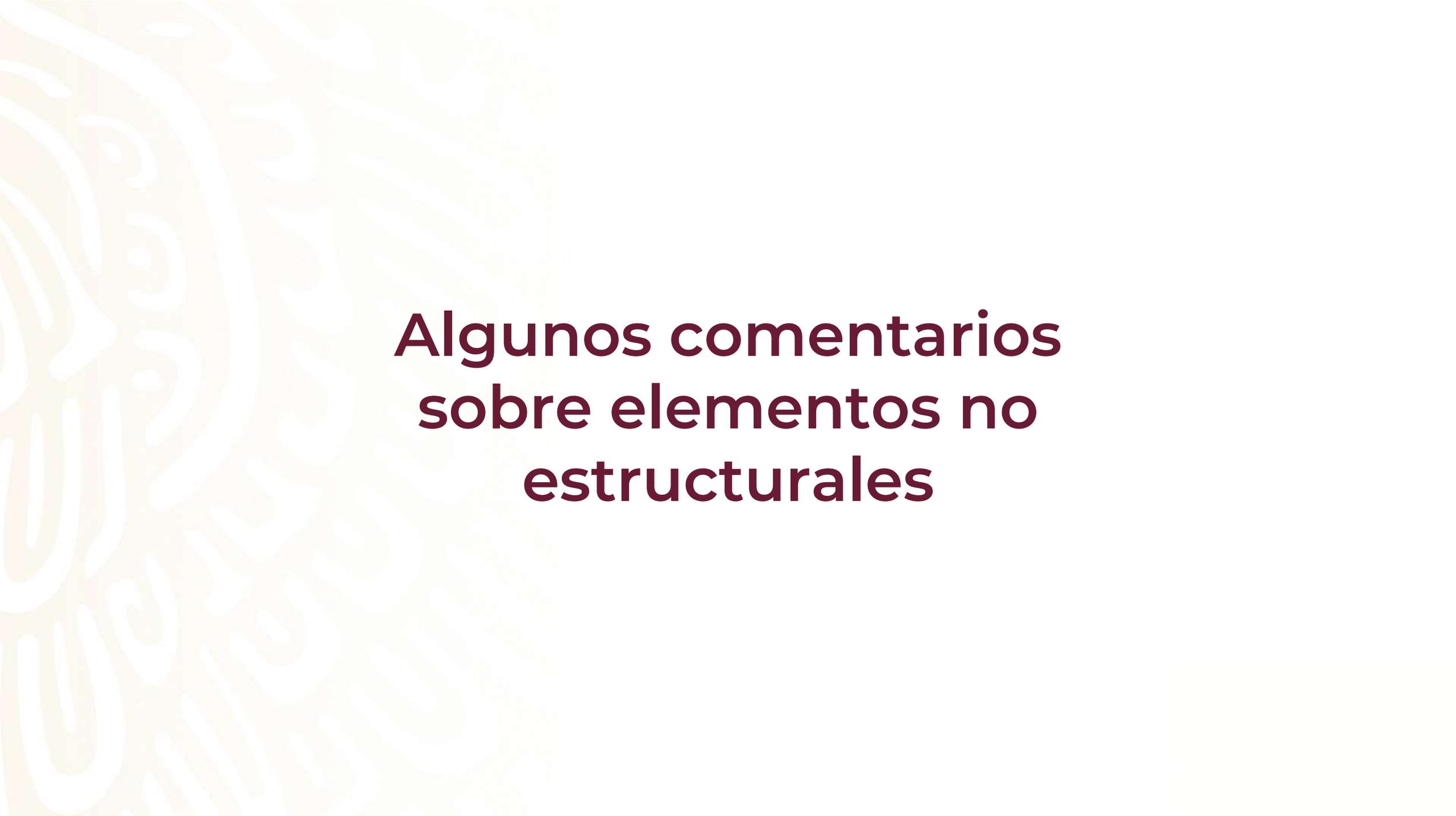
MEJORAMIENTO DE REQUISITOS REGLAMENTARIOS

Reglamento del DF 1966



Reglamento del DF 1987





Algunos comentarios sobre elementos no estructurales

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES





Hospital General de Zona
Elementos no estructurales, ¿alguien los diseña?

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES



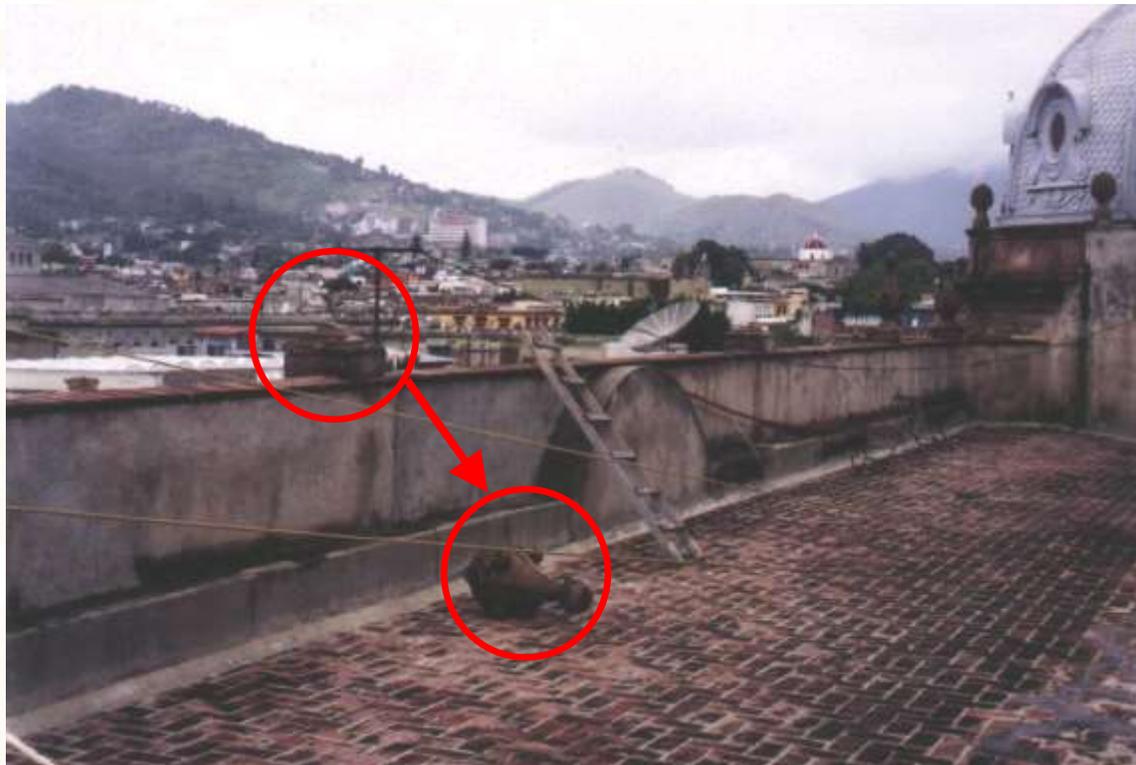
SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Elementos ornamentales (no estructurales), inadecuadamente fijados
Teatro Macedonio Alcalá, Oax. 1999



ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES



Elementos parapetos (no estructurales)
inadecuadamente fijados,
escuela Federal, Oax. 1999





Ejemplos

Colapso parcial de edificaciones



Santa María Xadani



Juchitán, Oaxaca



Colapso de edificaciones



Matías Romero, Oaxaca

Colapso de edificaciones



Colapso de edificaciones



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Colapso de edificaciones



Colapso de edificaciones



Colapso de edificaciones



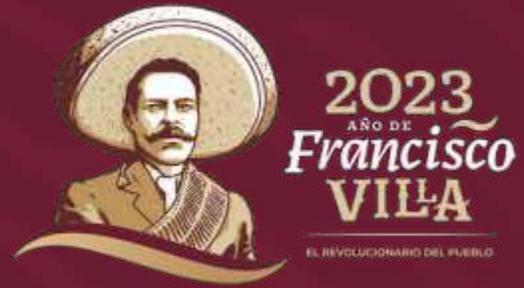
Colapso de edificaciones



Algunos datos estadísticos Comparativos e ilustrativos

Configuración estructural	Casos (% de los edificios con daño severo y colapso)	
	Sismo 19/09/1985	Sismo 19/09/2017
Edificio en esquina	42 %	38 %
Irregularidades en planta o elevación	15 %	19 %
Planta baja flexible	8 %	50 %
Golpeteo o choque	15 %	3 %

Fuentes: Sismo 1985, Roberto Meli Piralla
Sismo 2017, Sergio Alcocer



CENAPRED