



# Planteamiento general de la reparación y del refuerzo de edificios

Ramón Álvarez Cabal  
Dr. Ing. Industrial  
ETSII, Universidad Politécnica de Madrid  
INTEMAC

# Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica



# Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica







REGULARIDAD, SIMETRÍA

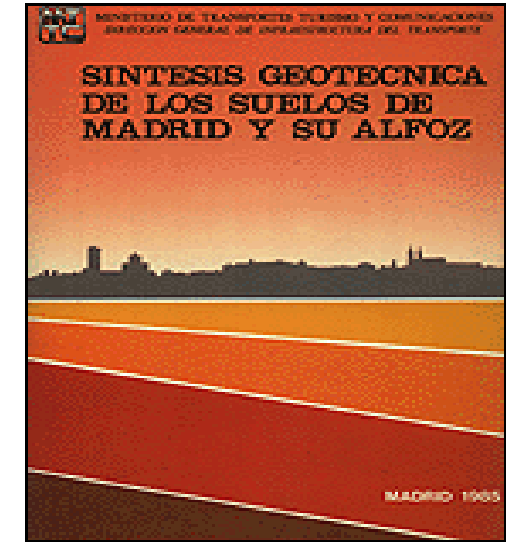
*¡ya no quedan parcelas así en las ciudades!*

Mapa  
Tráfico





*El urbanismo salvaje y su empeño por no dejar a salvo ni un centímetro cuadrado del litoral también ha sido clave en los apuros en que puso la riada a un centenar de vecinos de las urbanizaciones de Les Marines, ... (EL PAÍS 12 de octubre de 2009)*



## Responsabilidades de la Administración:

- Ordenar el crecimiento en función de los riesgos
- Elaborar protocolos de actuación en caso de sismo
- Asegurar las estructuras esenciales en coherencia con los protocolos (comunicaciones –puentes-, abastecimiento -gas, agua-, atención médica -hospitales,...)
- Elaborar estudios de microzonificación
  - ¿Se puede pedir al promotor de una vivienda que se gaste en sondeos más de lo que cuesta la casa?
- ...



**CONSTRUCCIÓN DEFICIENTE**

No existe traba

Degradación  
previa

Grandes  
masas

Los forjados no  
son continuos

Heterogeneidad  
de materiales









**EH-73**

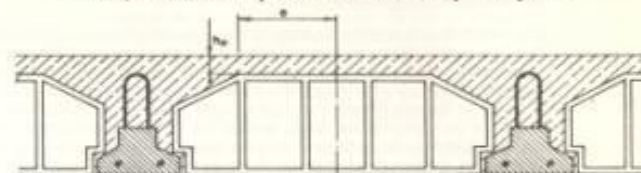
**INSTRUCCION  
para el proyecto y la ejecución  
de obras de hormigón  
en masa o armado**

**1973**

**COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON**

articulado

con piezas resistentes: no inferior a 2 cm. ni a  $a/8$ ;  
con o sin piezas aligerantes: no inferior a 3 cm ni a  $a/6$ ;  
siendo a, la distancia del punto considerando al eje de la pieza.



con piezas resistentes:  $h_0 > a/8 < 2 \text{ cm.}$

con piezas aligerantes:  $h_0 > a/6 < 3 \text{ cm.}$

Figura 43.3

b) En la losa de hormigón, y en dirección perpendicular a los nervios o semiviguetas, se colocará una armadura de reparto, constituida por barras de separación no superior a 33 cm, cuya área  $A_s$  en  $\text{cm}^2/\text{m}$  cumplirá la condición:

$$A_s > \frac{500 h_0}{f_{sd}} < \frac{2000}{f_{sd}}$$

siendo  $h_0$  el espesor en cm de la losa de hormigón en el centro de la pieza, y  $f_{sd}$  la resistencia de cálculo del acero de la armadura de reparto en  $\text{kp}/\text{cm}^2$ .

c) En el cálculo de los forjados con piezas resistentes, pueden considerarse formando parte de la sección de hormigón los tabiquillos de las piezas en contacto con el hormigón. Para tener en cuenta en el cálculo otras partes de las piezas, es preciso justificar experimentalmente su colaboración.

d) En el cálculo de los forjados continuos puede considerarse redistribución de momentos por plasticidad, que, como máximo llegue a igualar en valor absoluto los máximos momentos de vano con los momentos de apoyo.

e) Los nervios o semiviguetas no precisan armadura transversal en toda sección en que se cumpla:

$$V_d < 2 f_{cv} \cdot b_w \cdot d$$

siendo:

$V_d$  el esfuerzo cortante de cálculo;

$f_{cv}$  la resistencia virtual de cálculo a esfuerzo cortante (véase apartado 35.2);

$b_w$  la anchura eficaz del nervio;

$d$  el canto útil de la sección.

En las zonas en que no se cumpla la condición anterior, se dispondrá armadura transversal cuya contribución  $V_{su}$  cumpla:

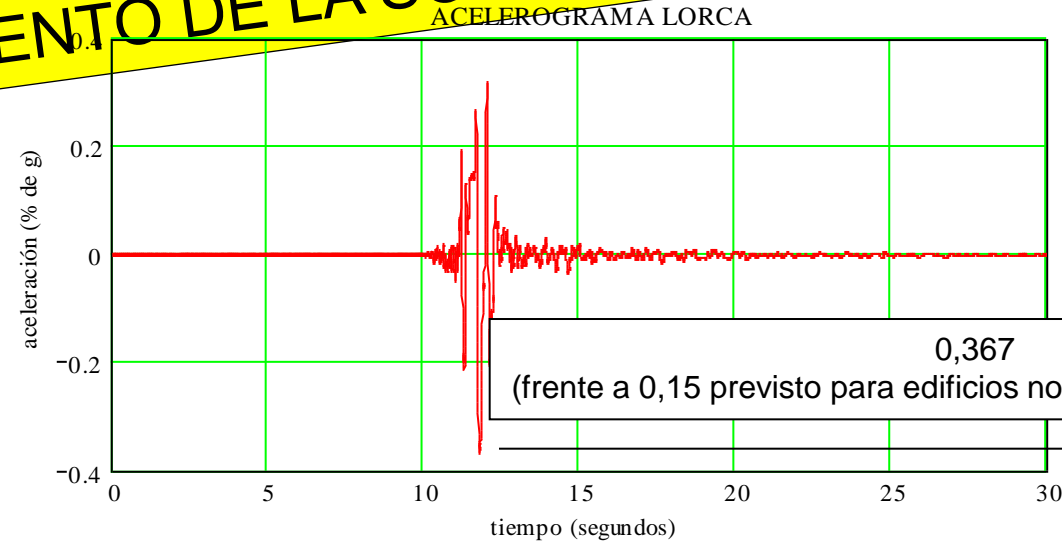


VICIOS OCULTOS





# DESCONOCIMIENTO DE LA SOLICITACIÓN

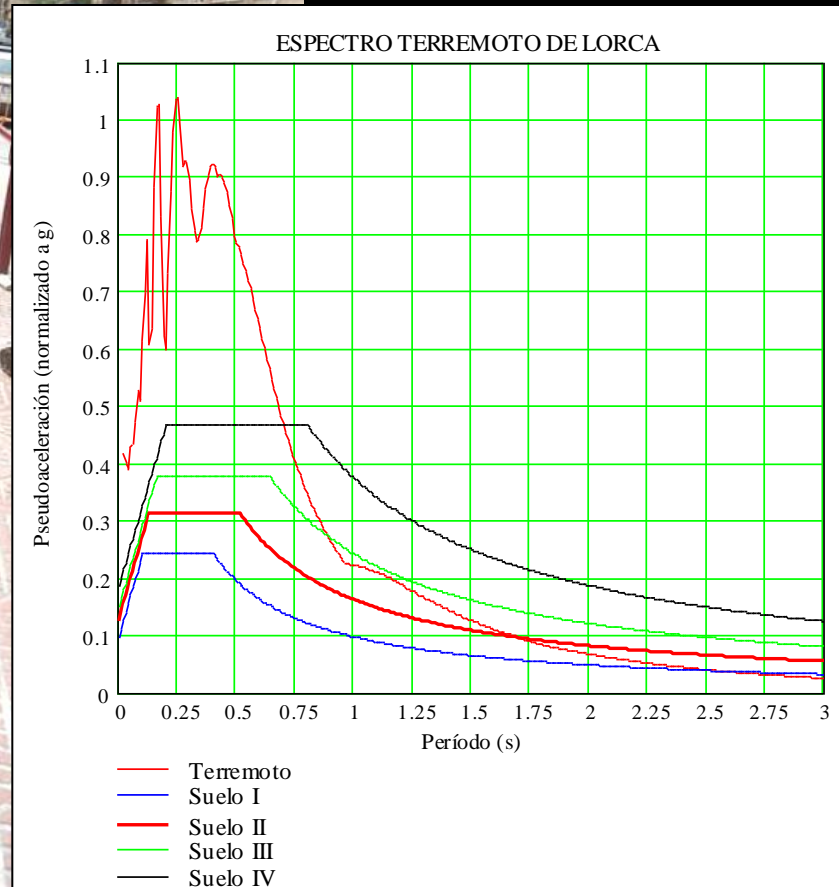
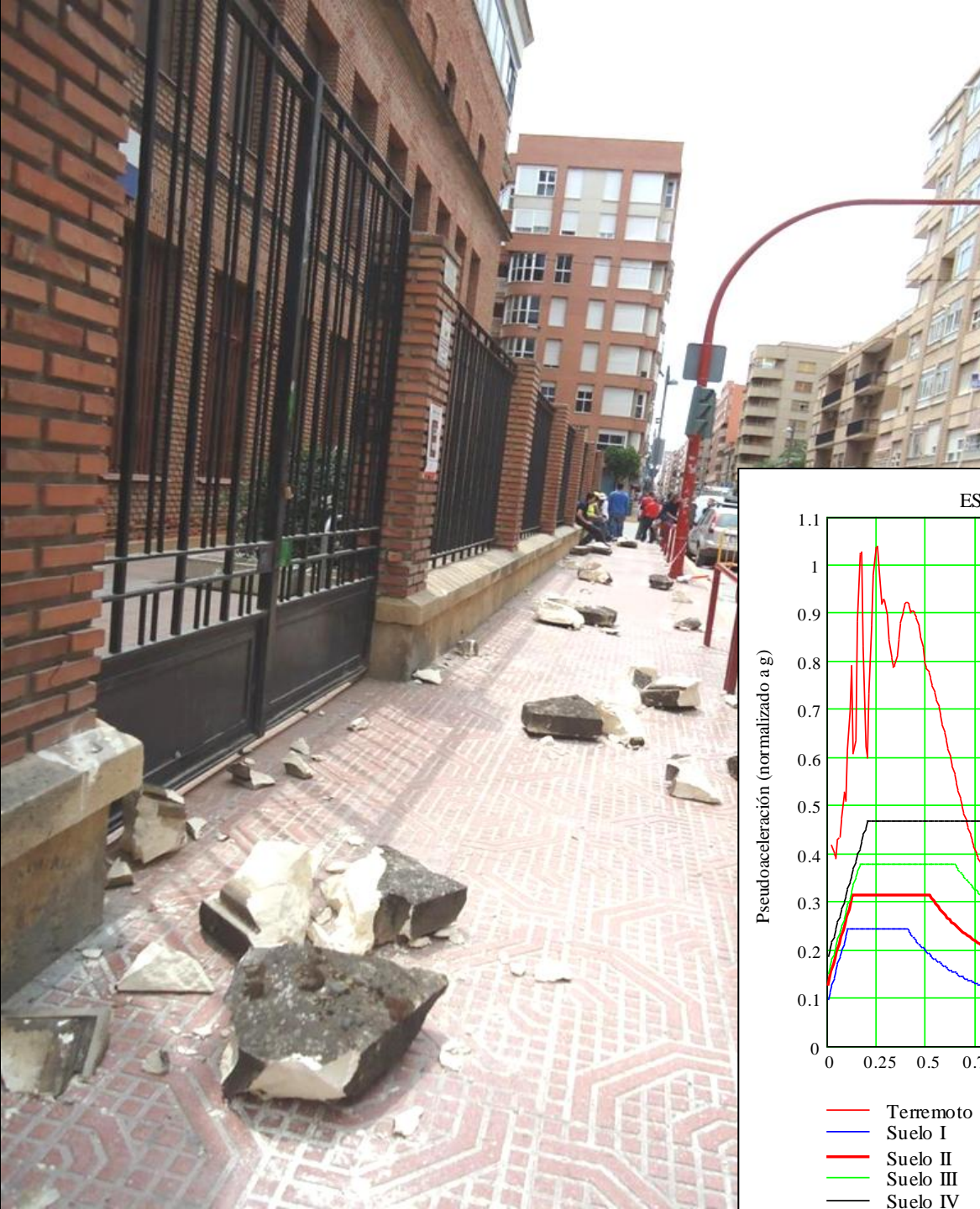


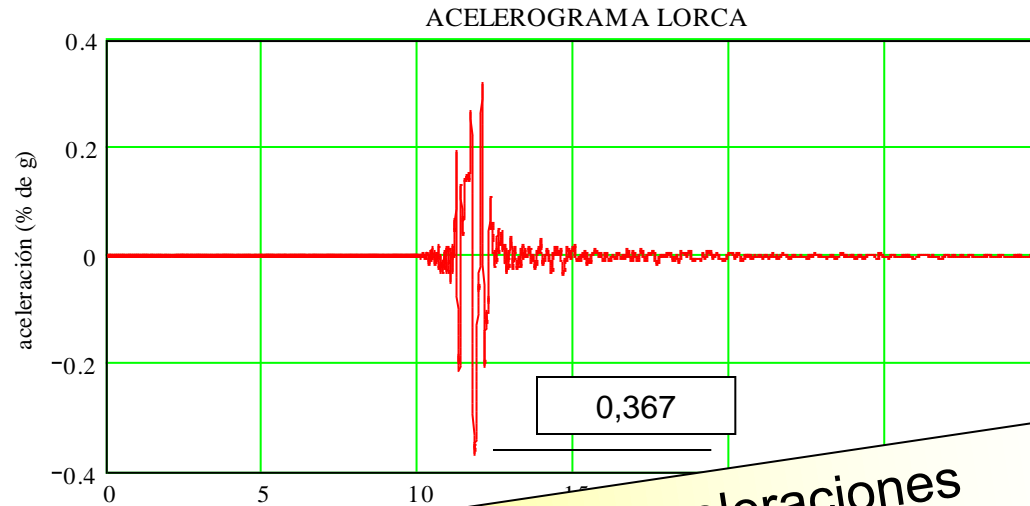
# Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica



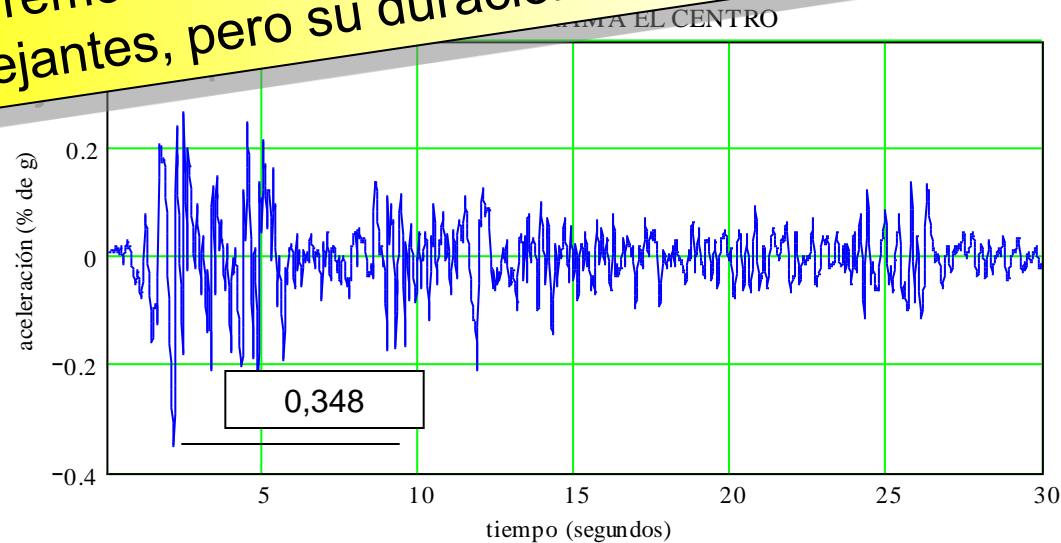


# Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica

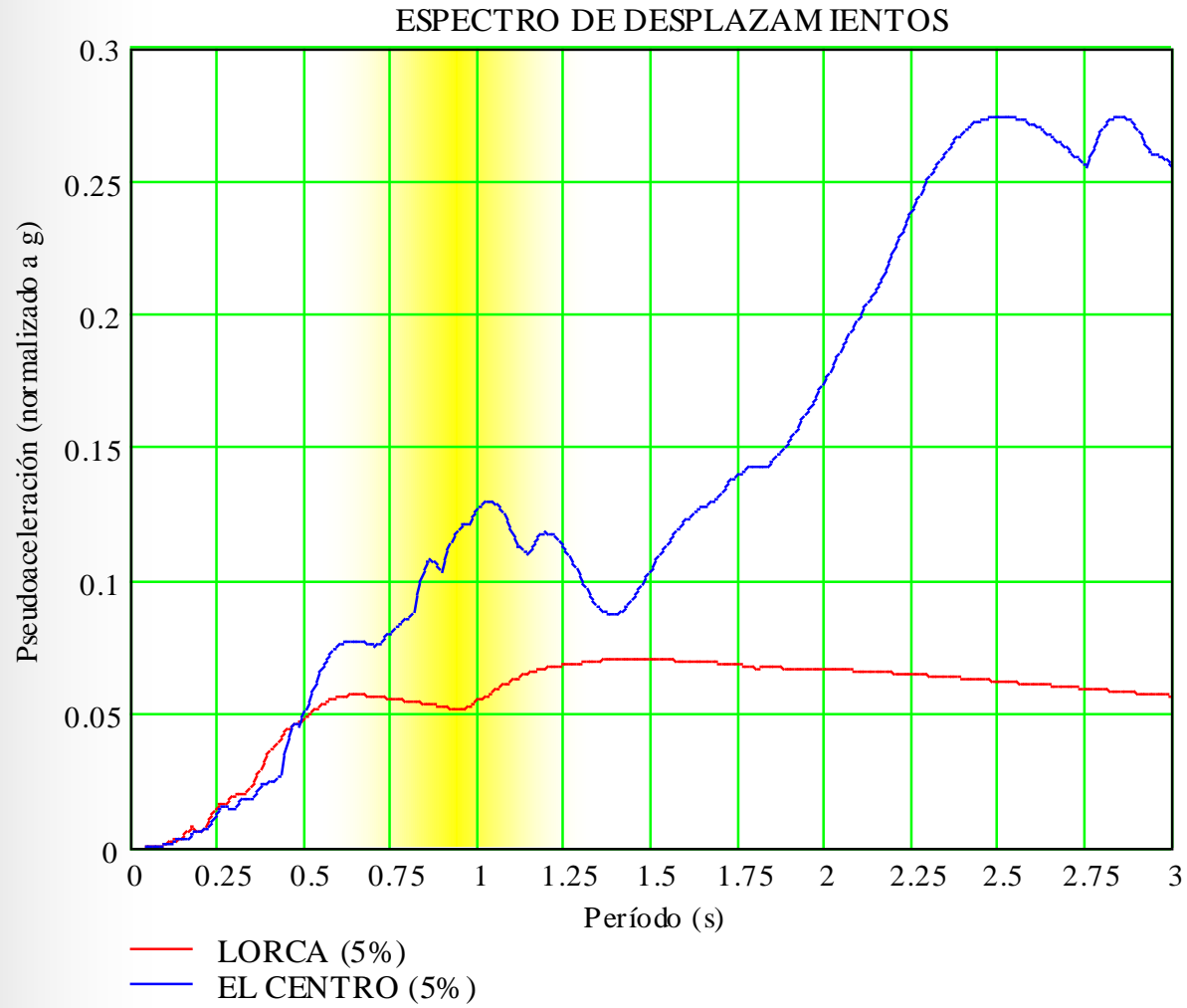




El terremoto del Centro alcanzó aceleraciones semejantes, pero su duración fue diez veces mayor







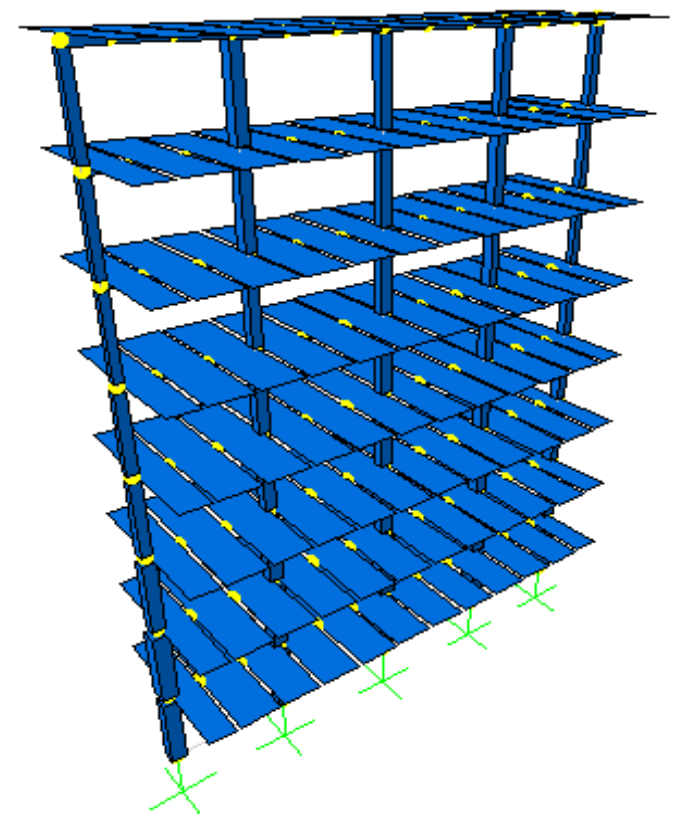
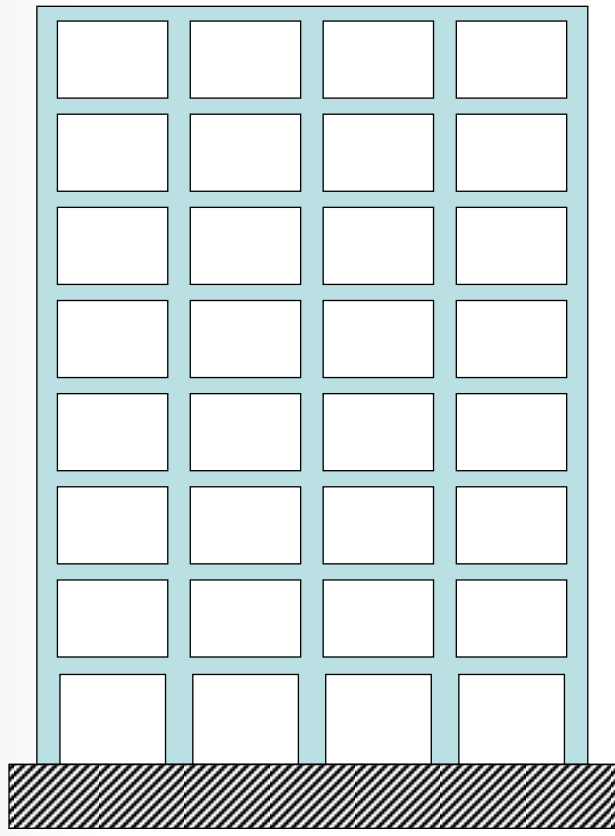
*¿Es tan malo eso de la planta débil?*



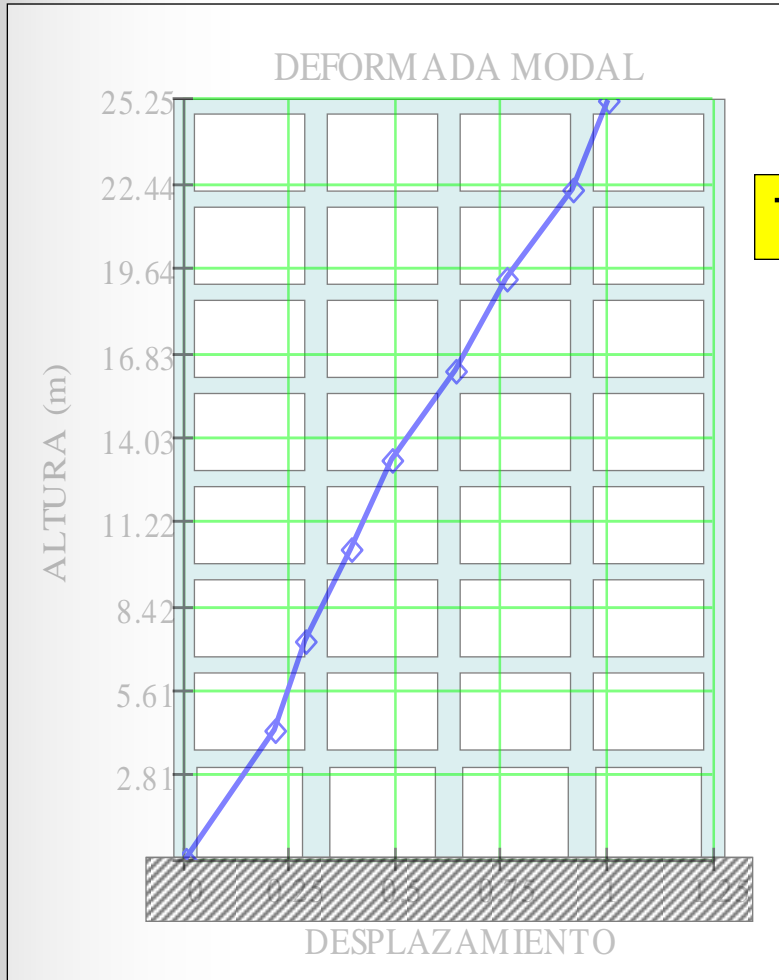


# DESCONOCIMIENTO DEL EDIFICIO

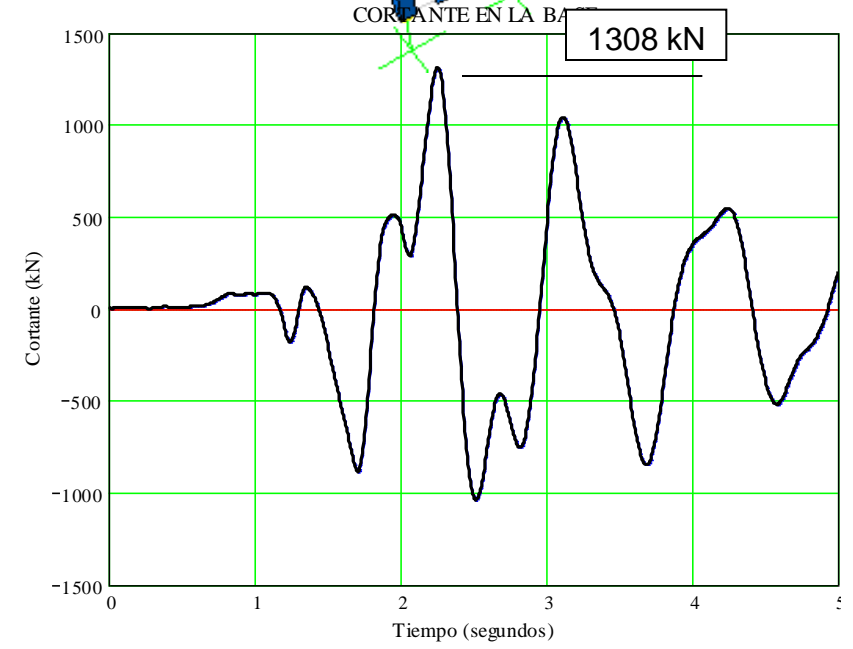
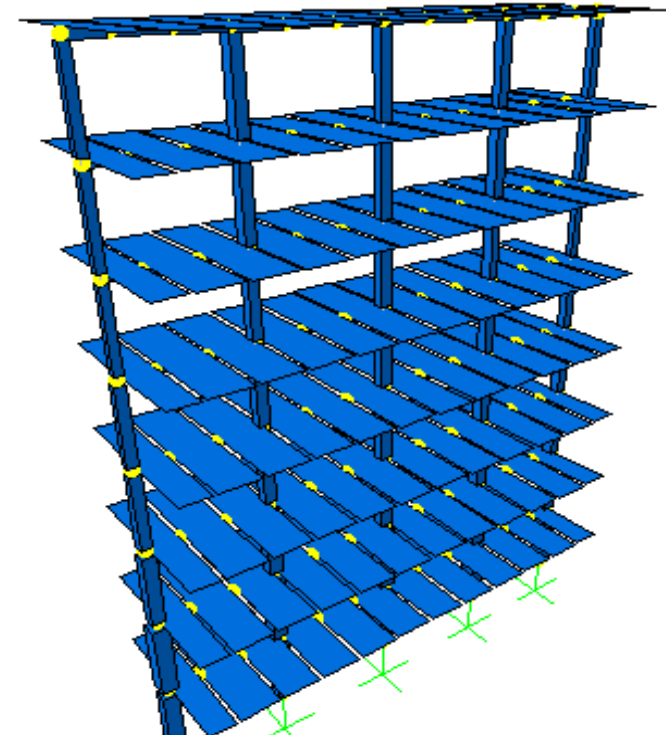
Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE y escuadrías ajustadas a las cargas gravitatorias



Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE y escuadrías ajustadas a las cargas gravitatorias



T=0,985s



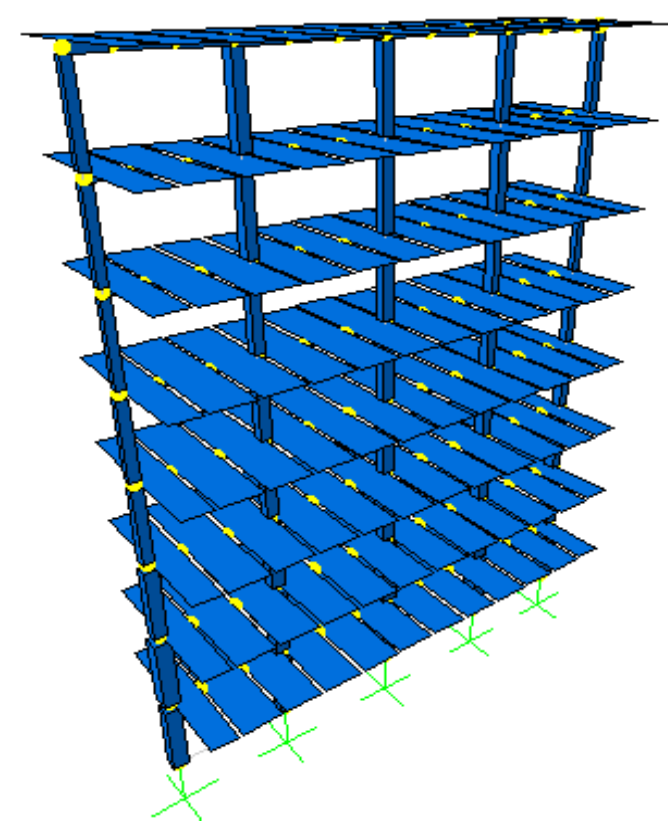
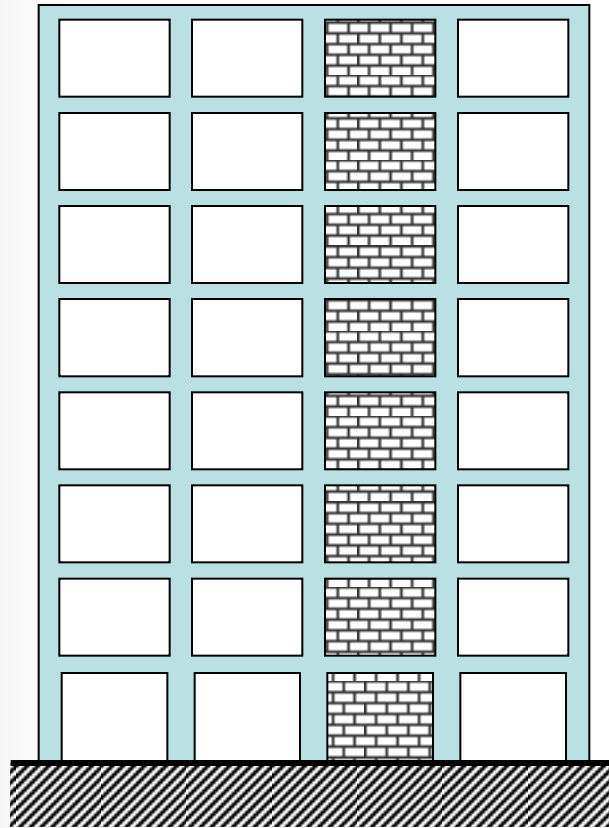


Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica



Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE, y columnas ajustadas a las

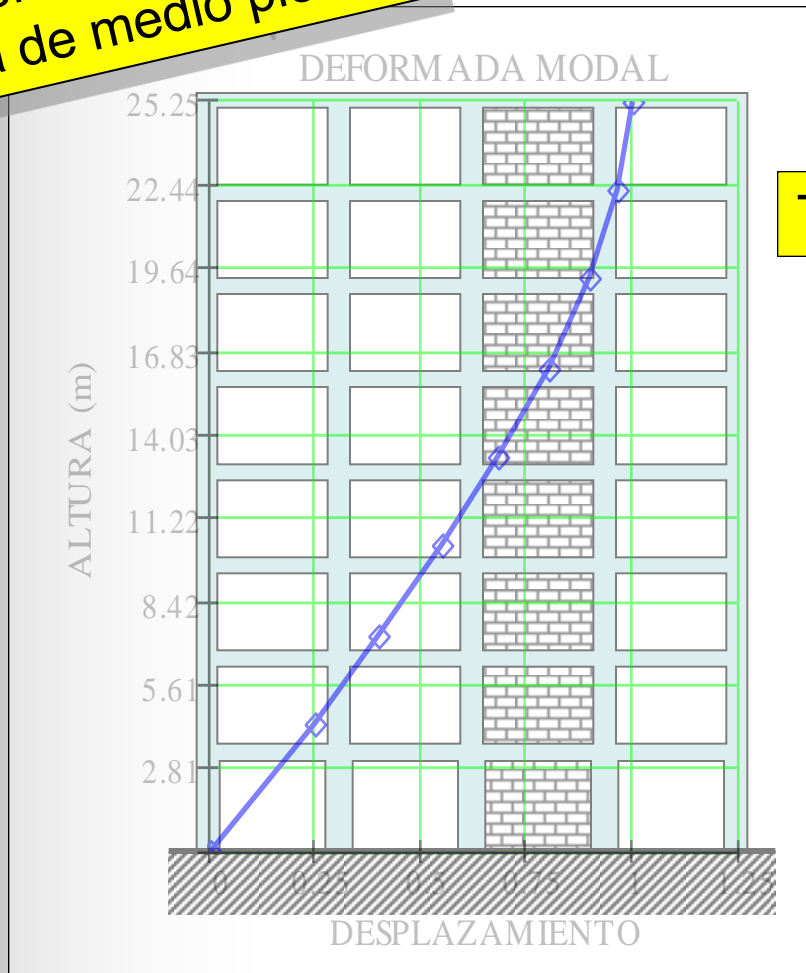
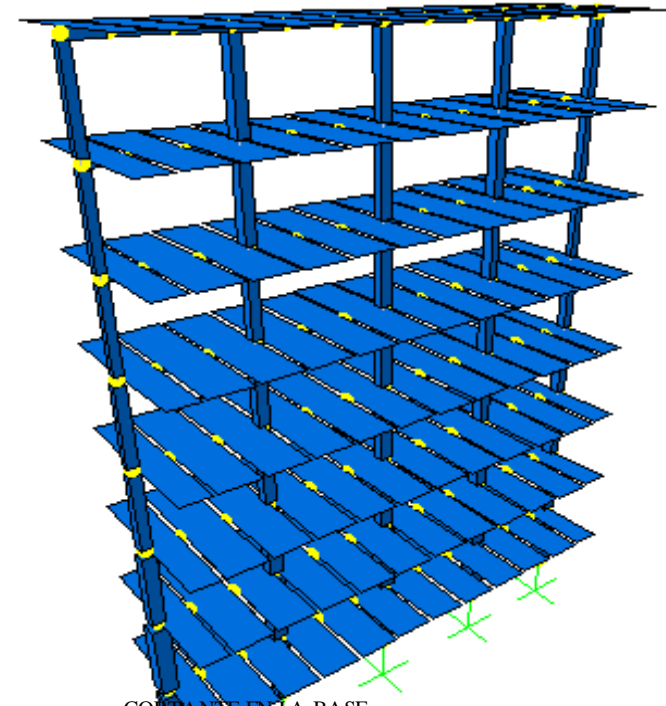
Se rellena un paño con fábrica de medio pié



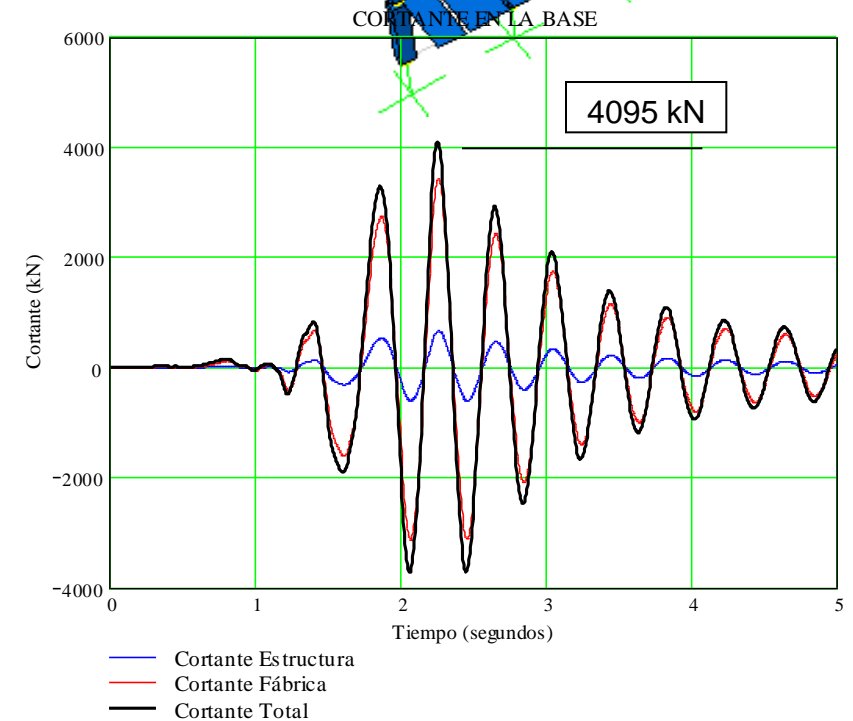


Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE, muros de fábrica de ladrillos ajustadas a las prescripciones

Se rellena un paño con fábrica de medio pie



T=0,396s

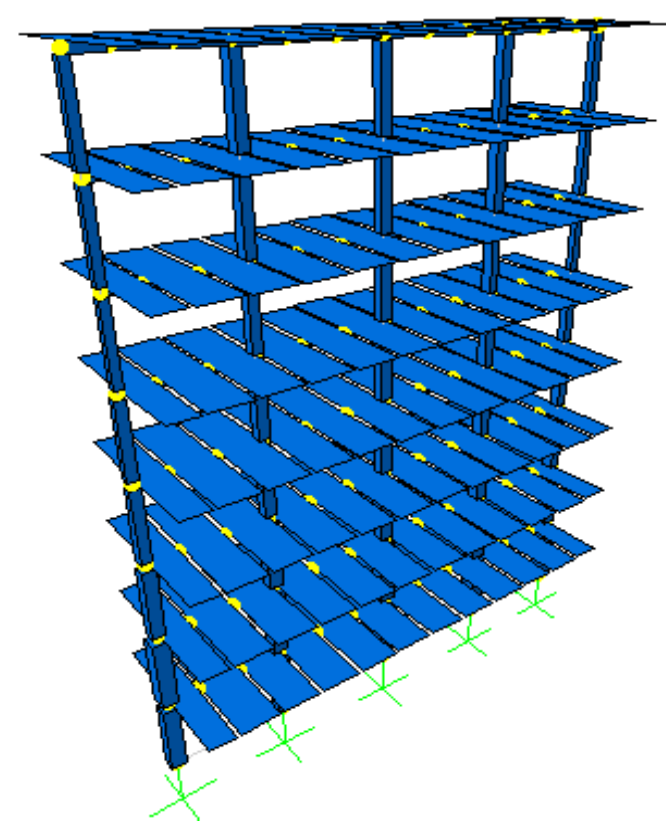
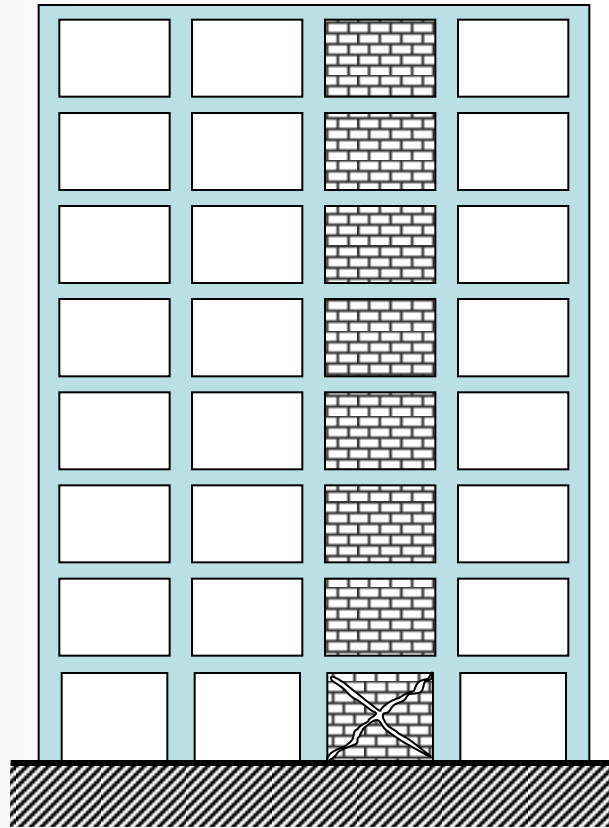






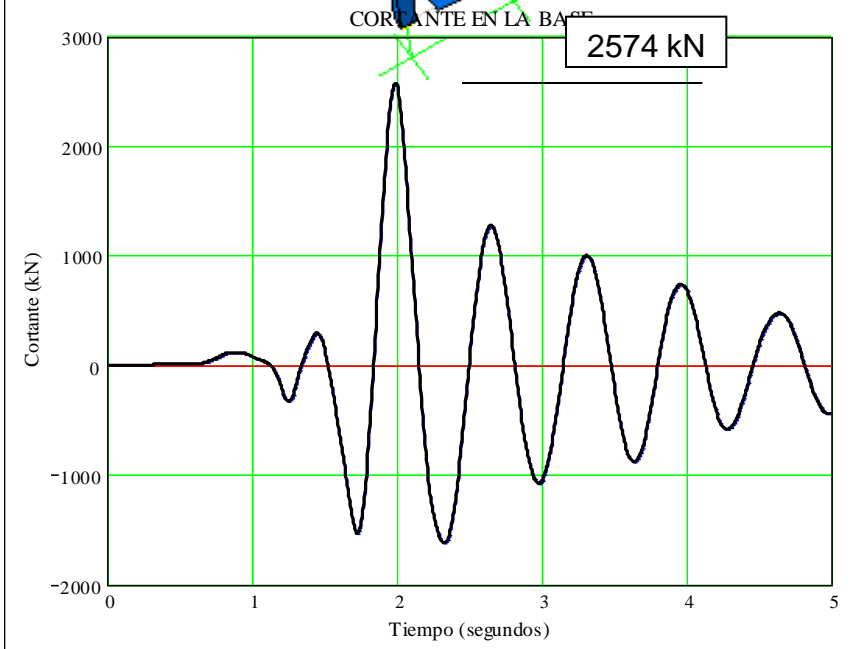
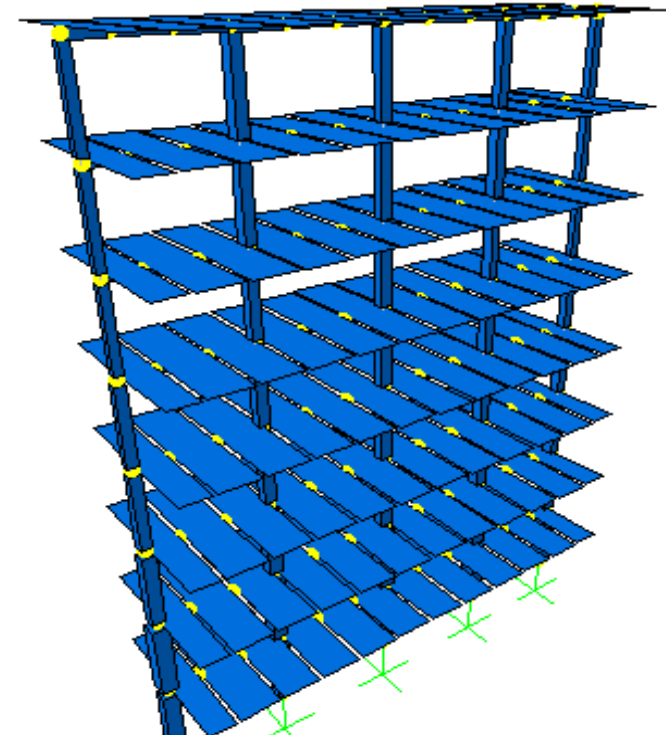
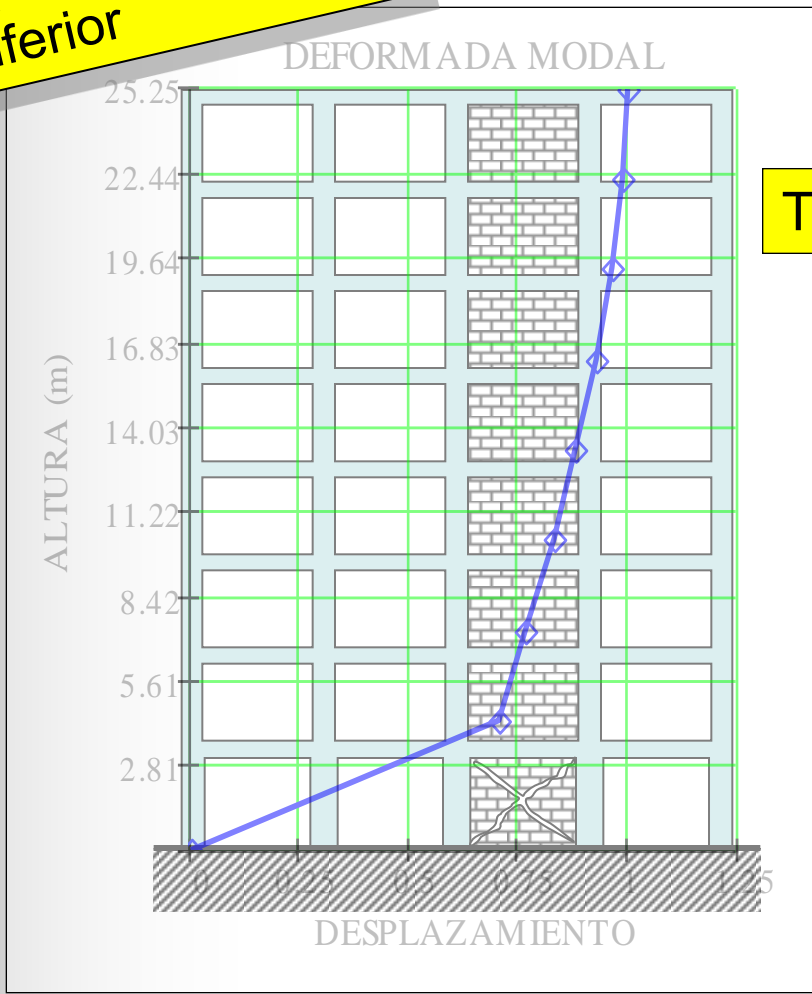
Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE, y columnas ajustadas a las

Se rompe el relleno del paño inferior



Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas prescritas por el CTE, y muros de ladrillo ajustados a las normas

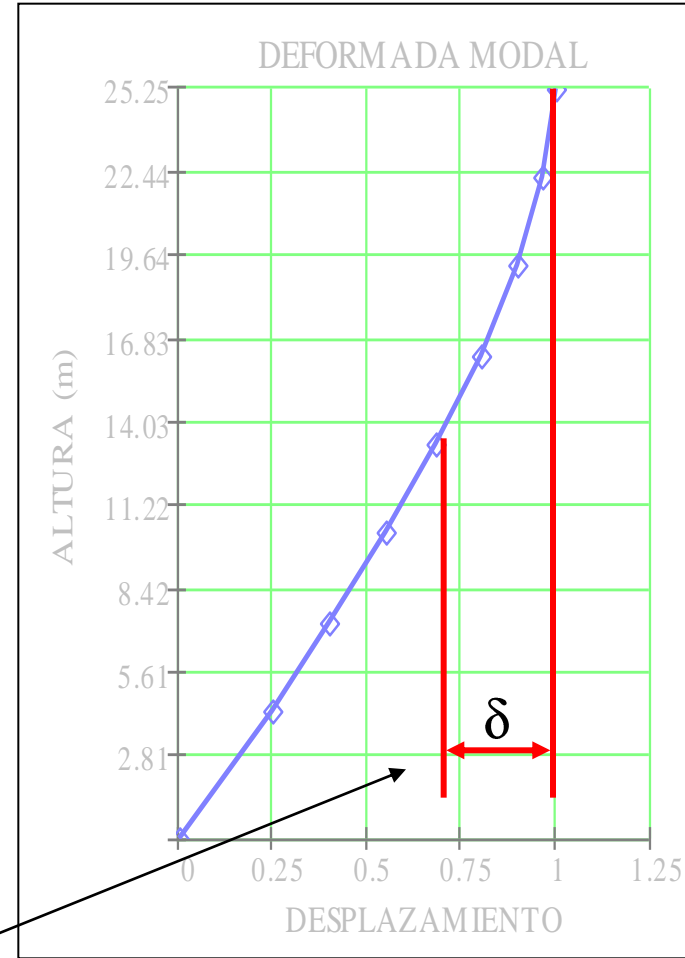
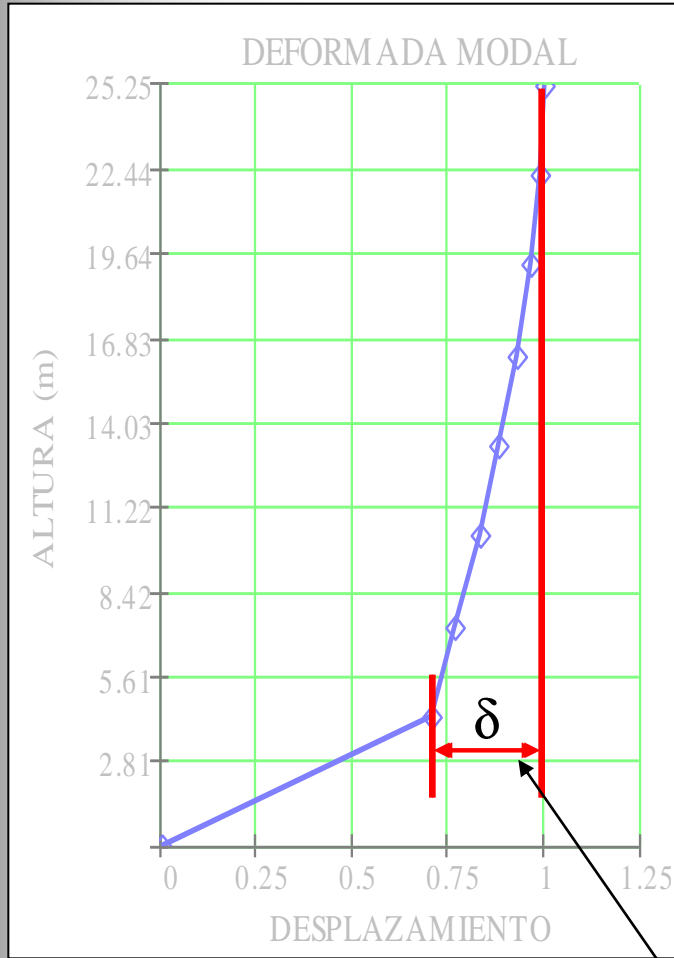
Se rompe el relleno del paño inferior



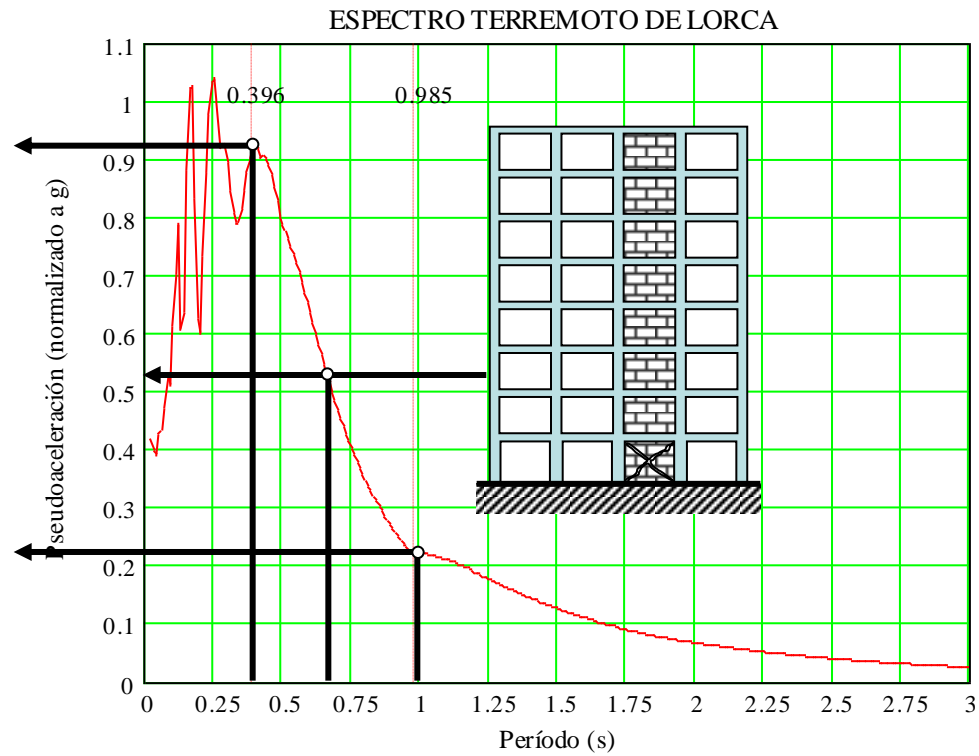
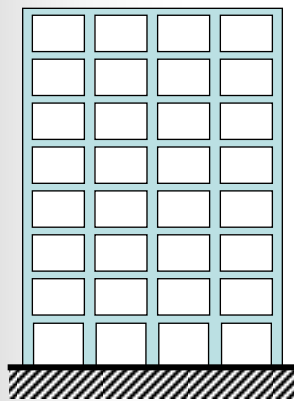
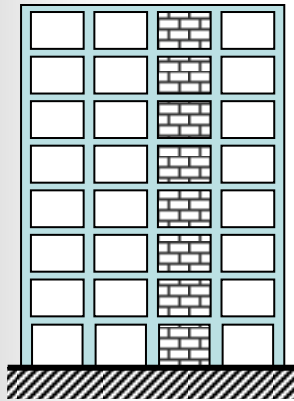


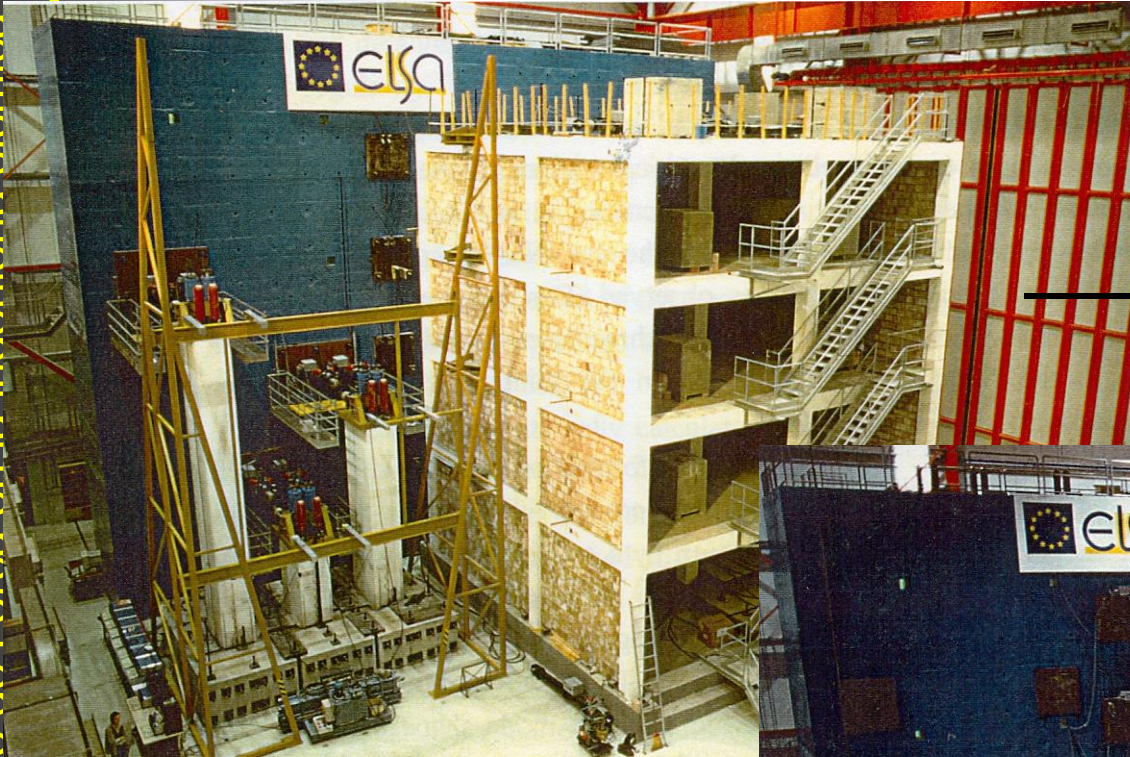


# PLANTA DÉBIL



Incrementa los desplazamientos de las plantas inferiores





Estructura 0,56s → 1,22s

T=0,3s



T=0,6s



## *El papel de los Técnicos:*

- No podemos actuar sobre los aspectos realmente determinantes*
- No sabemos muy bien a qué nos enfrentamos*
- Tampoco sabemos mucho del comportamiento de nuestros edificios*
- ... ¿es suficiente con reparar?*



## Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica



Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica









# Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica



## Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica









*¿Y lo de reforzar?*



**REDUCIR LOS EFECTOS GLOBALES DE LA SOLICITACIÓN**  
(Eliminar masas)



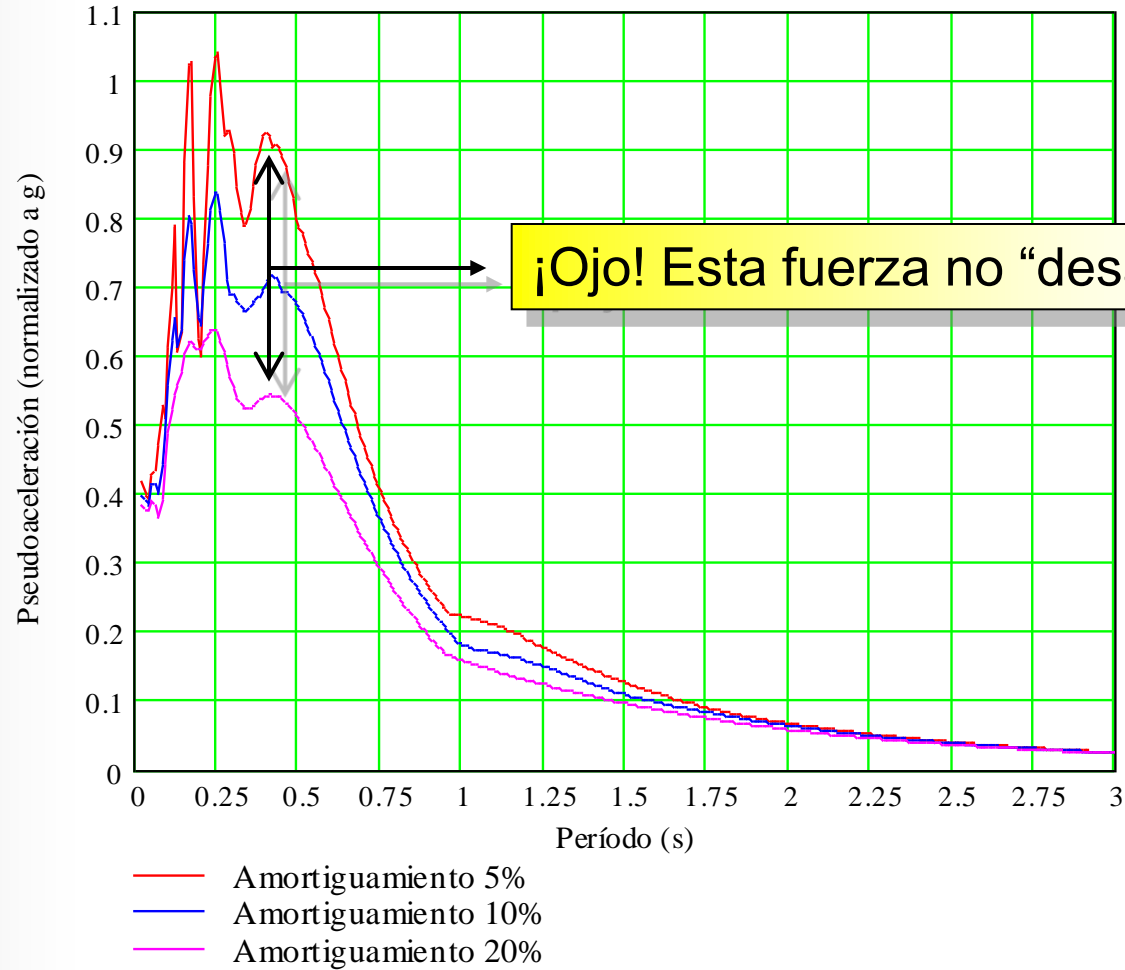




# REDUCIR LOS EFECTOS GLOBALES DE LA SOLICITACIÓN (Aumentar amortiguamiento)



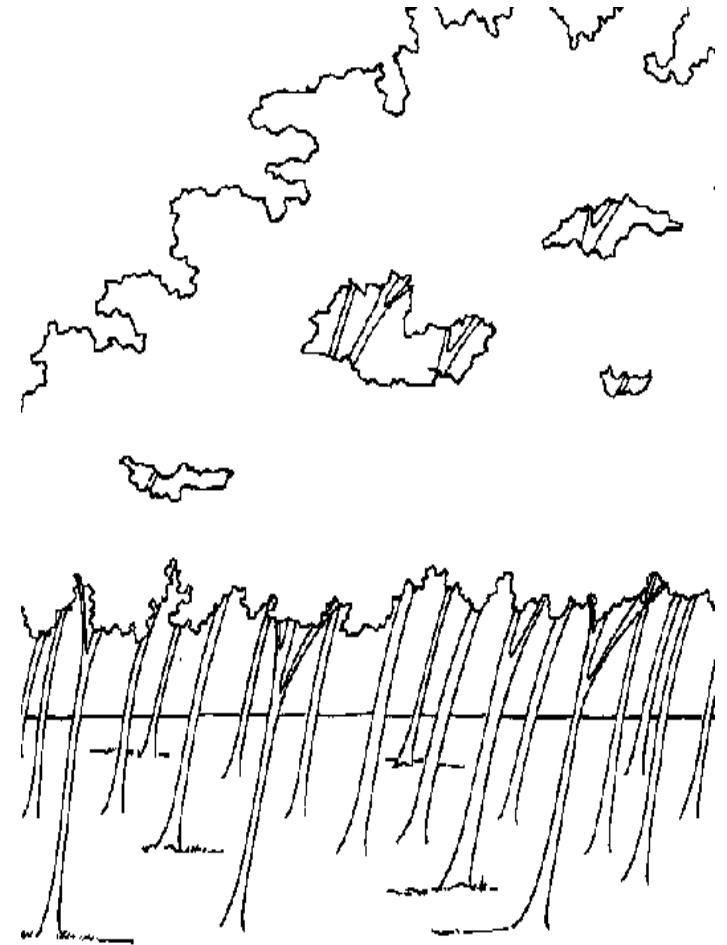
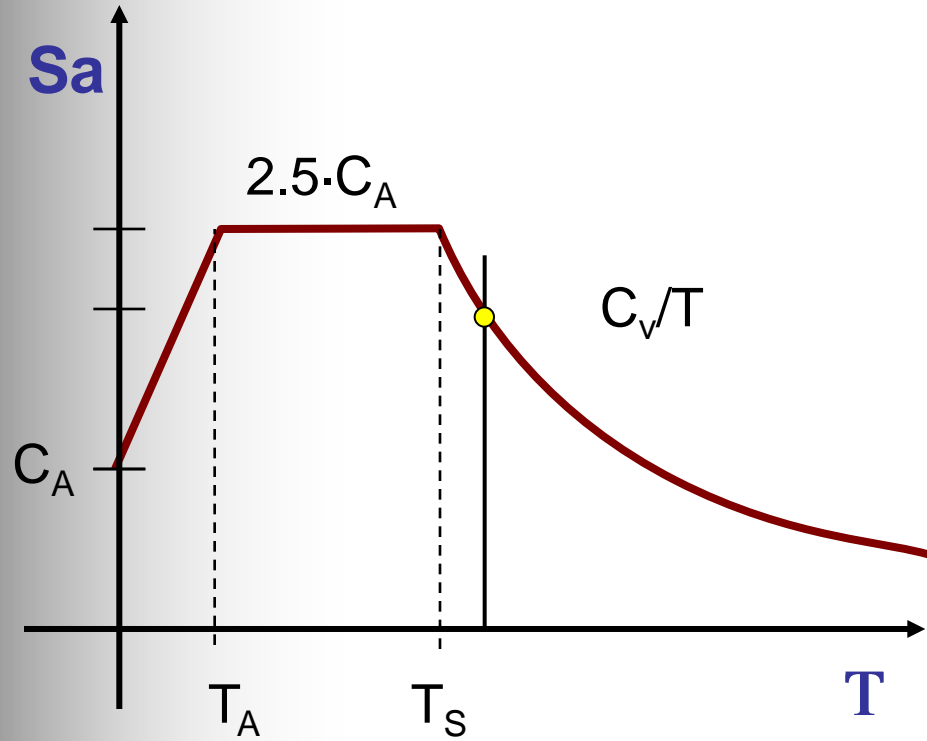
ESPECTRO TERREMOTO DE LORCA



# REDUCIR LOS EFECTOS GLOBALES DE LA SOLICITACIÓN (Disminuir rigidez)



Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería



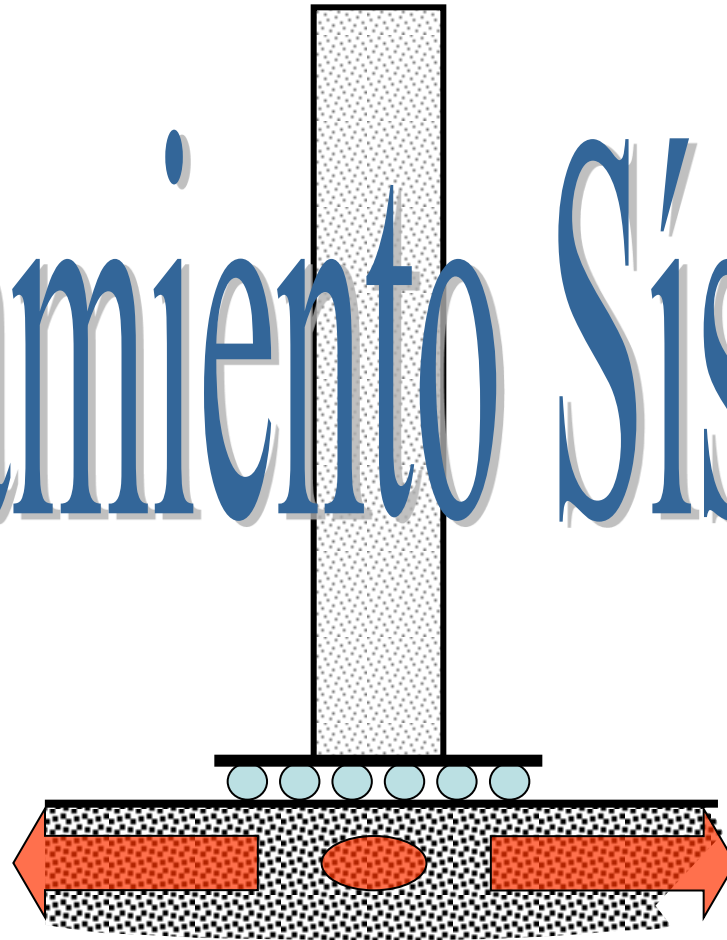


REDUCIR LOS EFECTOS GLOBALES DE LA SOLICITACIÓN  
(Disminuir rigidez)

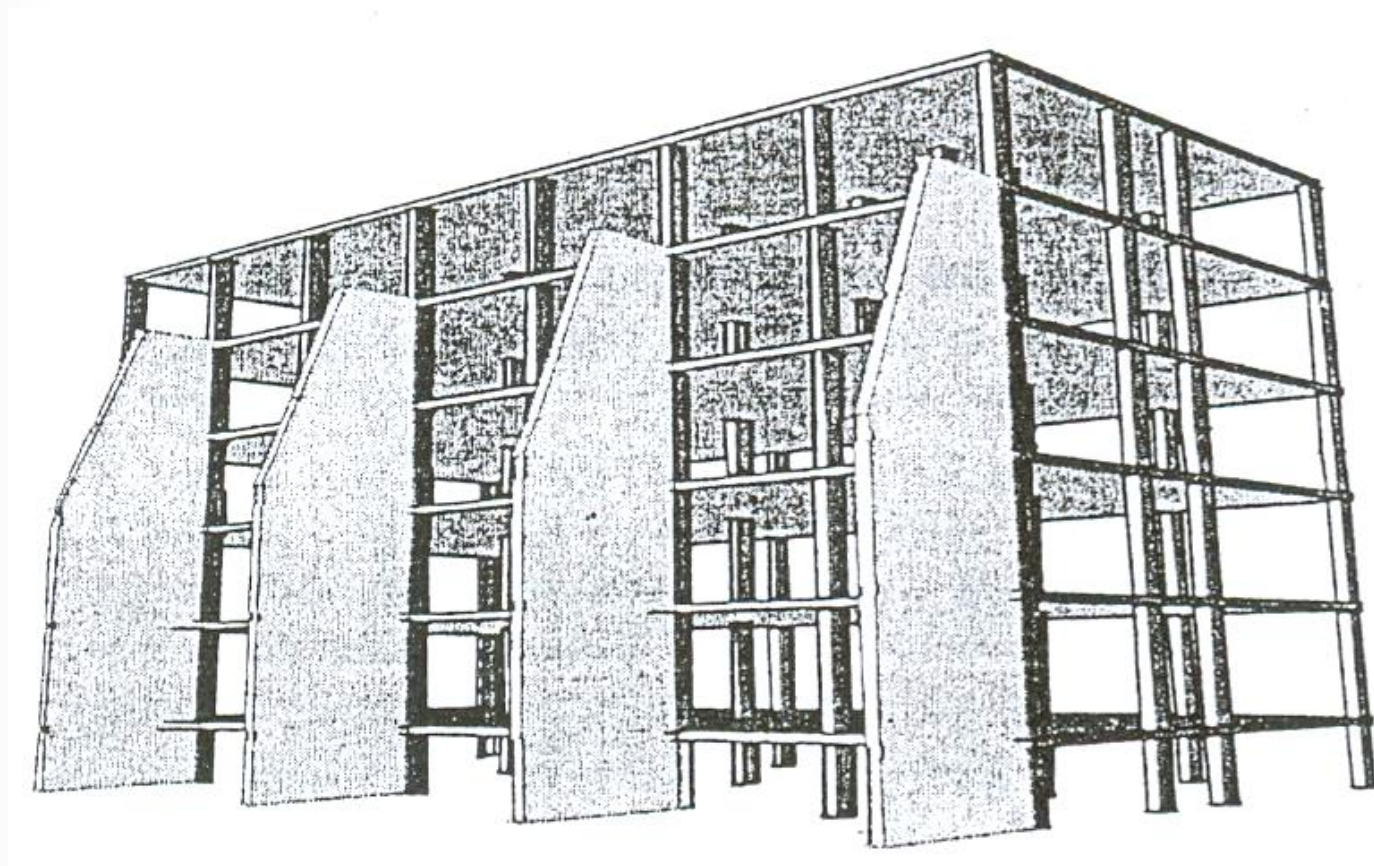
INTEMAC



# Aislamiento Sísmico



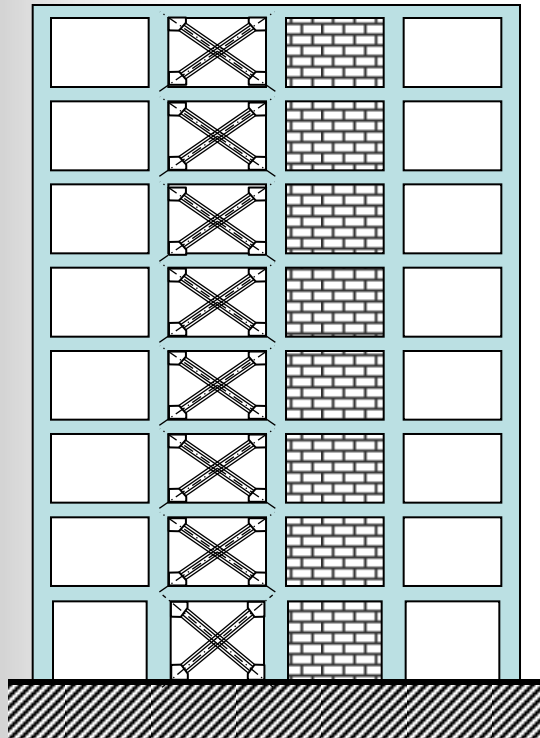
# SUSTITUCIÓN DE LA ESTRUCTURA



Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings. FIB







Exigen otras muchas actuaciones sobre el edificio (rigidizar forjados en su plano, disponer colectores,...)

Han de ser muy rígidos (si se pretende reducir daños en albañilería)

Reducen el período y, por tanto, aumentan las cargas

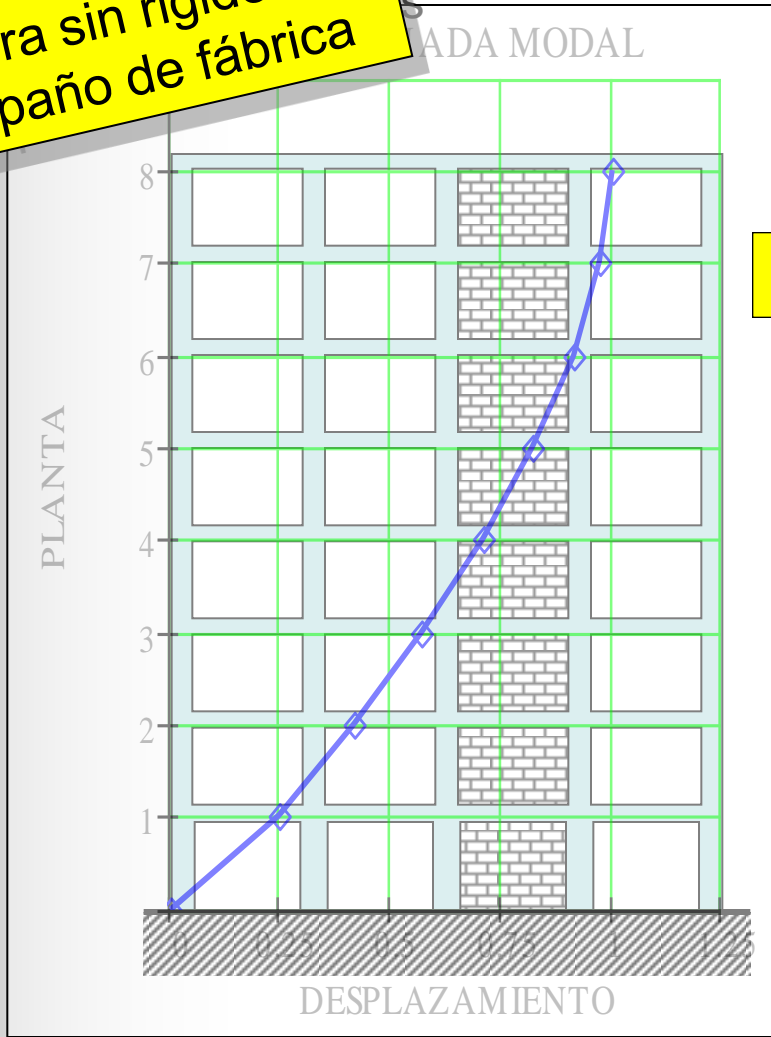
Exigen cimentaciones muy potentes

Poco dúctiles (en general)



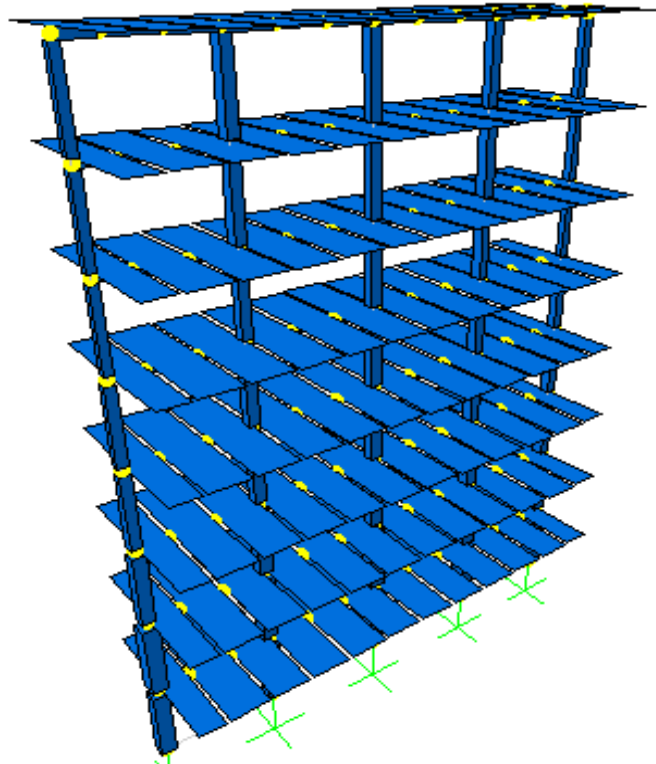
Pórtico de 8 alturas de luces medias (5m en cada dirección), masas las prescritas por el CTE, y rigideces ajustadas a las prescripciones

Estructura sin rigidez.  
Sólo el paño de fábrica

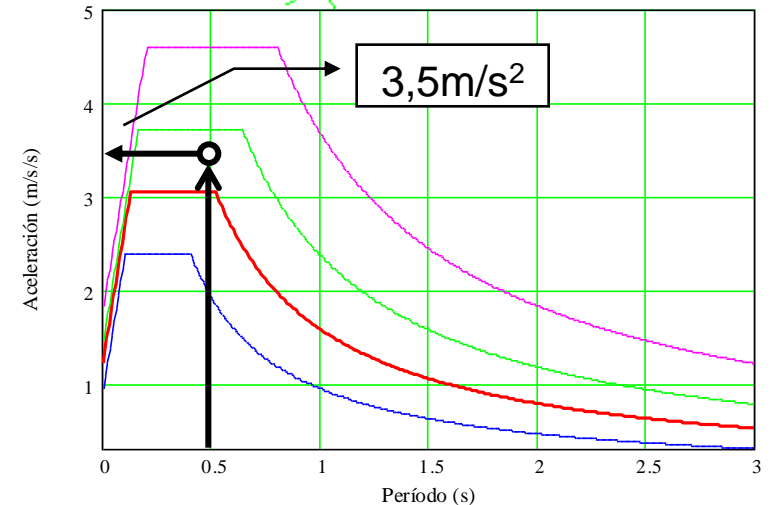


MODA MODAL

T=0,44s

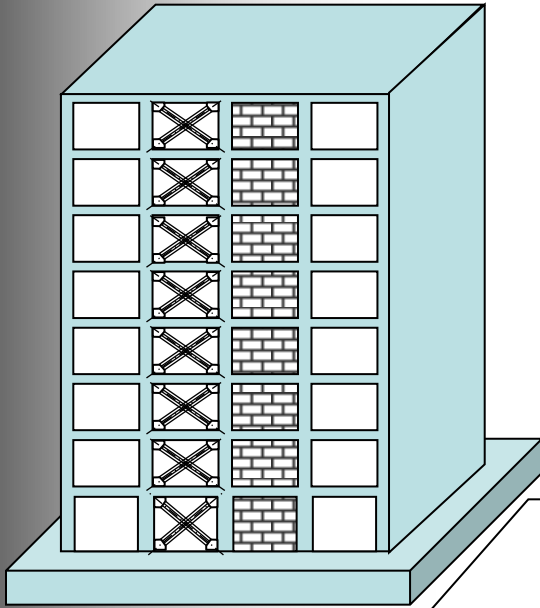


ESPECTRO NCSE-02 LORCA



- Suelo Tipo I
- Suelo Tipo II
- Suelo Tipo III
- Suelo Tipo IV





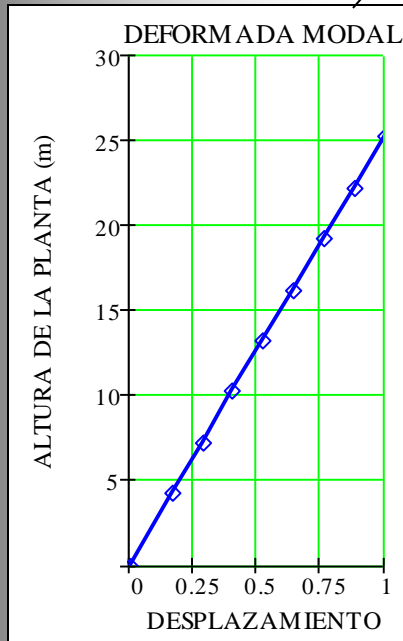
Bloque de 8 alturas (4,25m baja y 3 m las restantes).  
Planta de 20x20mxm.

Masas:

- permanentes forjado: 500 kg/m<sup>2</sup>
  - sobrecargas forjado: 60kg/m<sup>2</sup>
  - fachadas: 600kg/m
- $0.56t \cdot 400m^2 = 224t$   
 $0.6t/m \cdot 80m = 48t$

≈275 t/planta

Se adopta un único modo, triangular



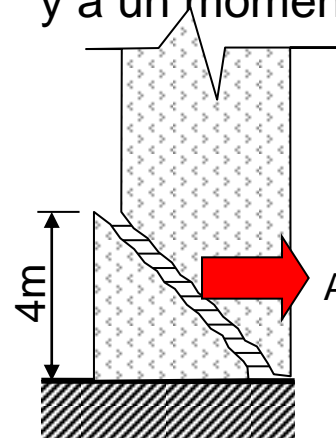
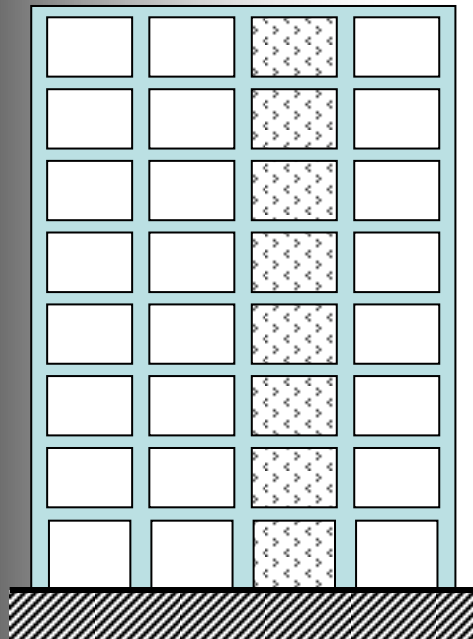
$$\Gamma := \frac{\frac{4.25}{25.25} + \frac{7.25}{25.25} + \frac{10.25}{25.25} + \frac{13.25}{25.25} + \frac{16.25}{25.25} + \frac{19.25}{25.25} + \frac{22.25}{25.25} + \frac{25.25}{25.25}}{\frac{4.25^2}{25.25^2} + \frac{7.25^2}{25.25^2} + \frac{10.25^2}{25.25^2} + \frac{13.25^2}{25.25^2} + \frac{16.25^2}{25.25^2} + \frac{19.25^2}{25.25^2} + \frac{22.25^2}{25.25^2} + \frac{25.25^2}{25.25^2}}$$

$\Gamma = 1.406$

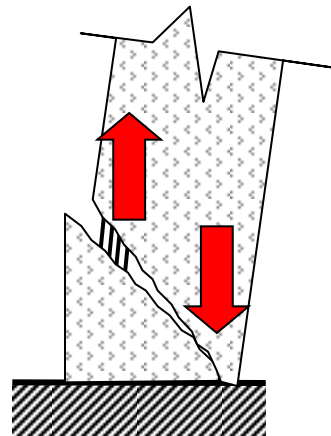
$F_i := masa_i \Phi_i \Gamma S_a$

## Supongamos 2 pantallas de 40x400 cm

Cada una estaría sometida a un cortante de  $\approx 3200$  kN y a un momento de  $\approx 57000$  kN·m



$$A_s = \frac{3200 \text{ E3N}}{500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 6400 \text{ mm}^2 \Rightarrow 16 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow 8\phi 12 \text{ por m.l. y cara}$$



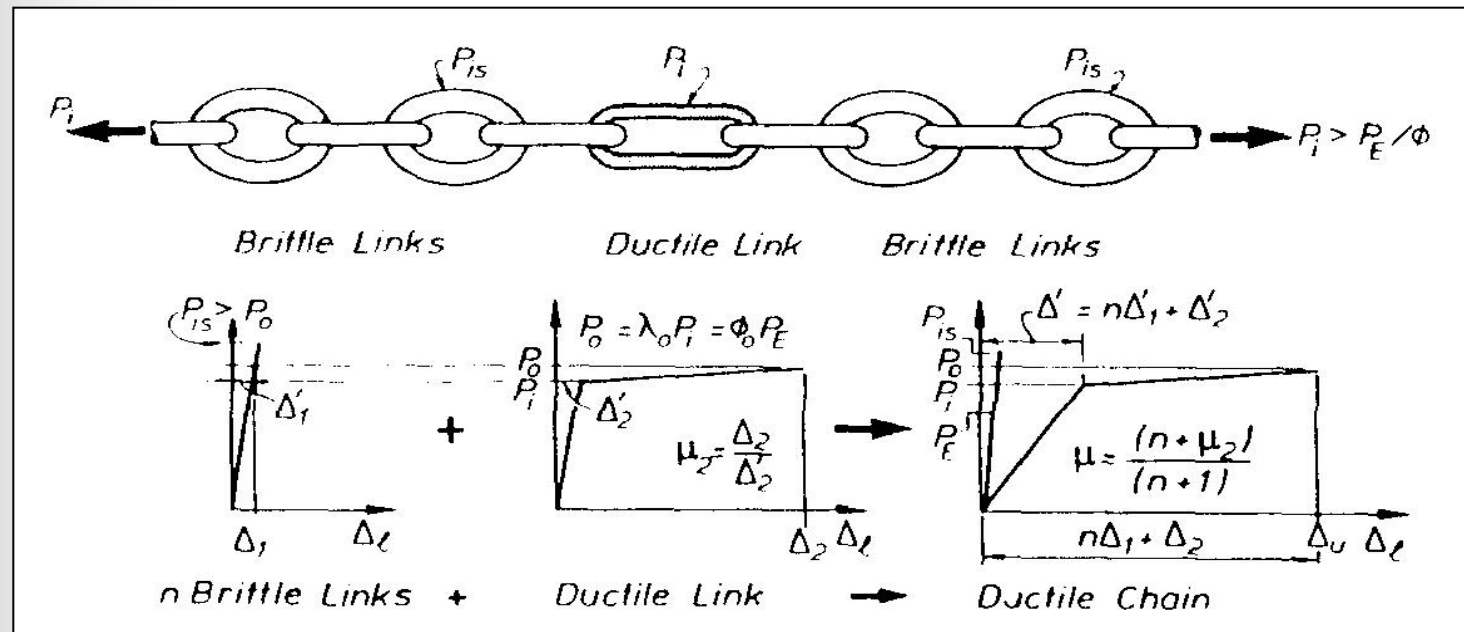
$$U_s \approx \frac{57000 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3,0 \text{ m}} = 19000 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19000 \text{ E3N}}{500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 38000 \text{ mm}^2 \Rightarrow 77\phi 25$$

Única posibilidad cuando no existe estructura





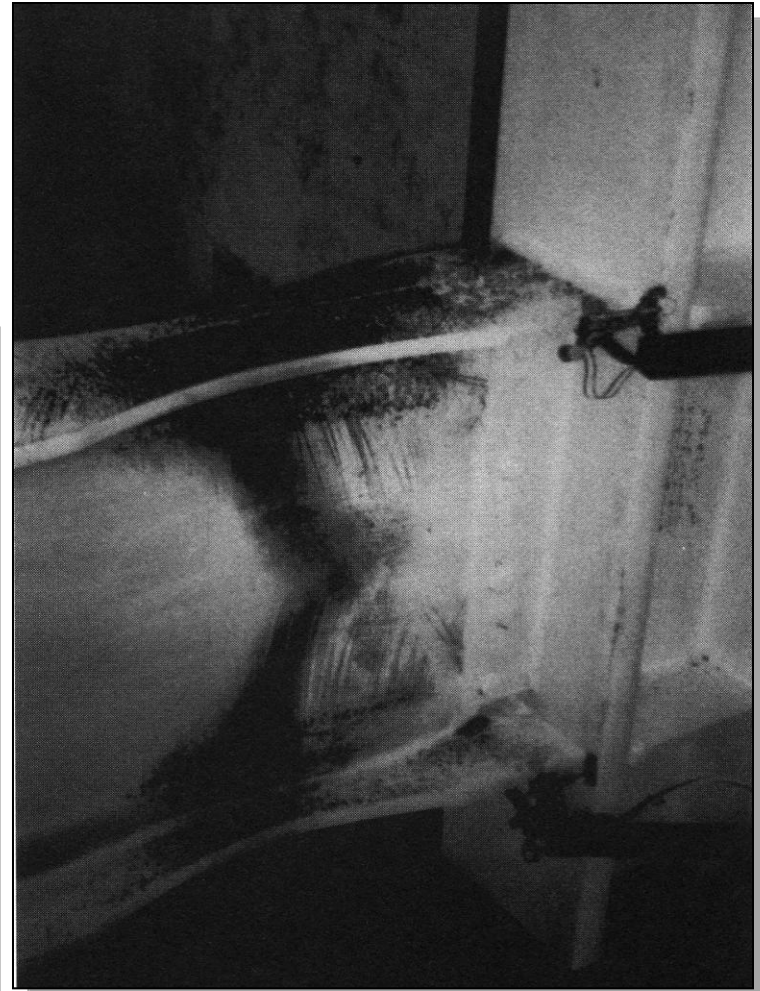
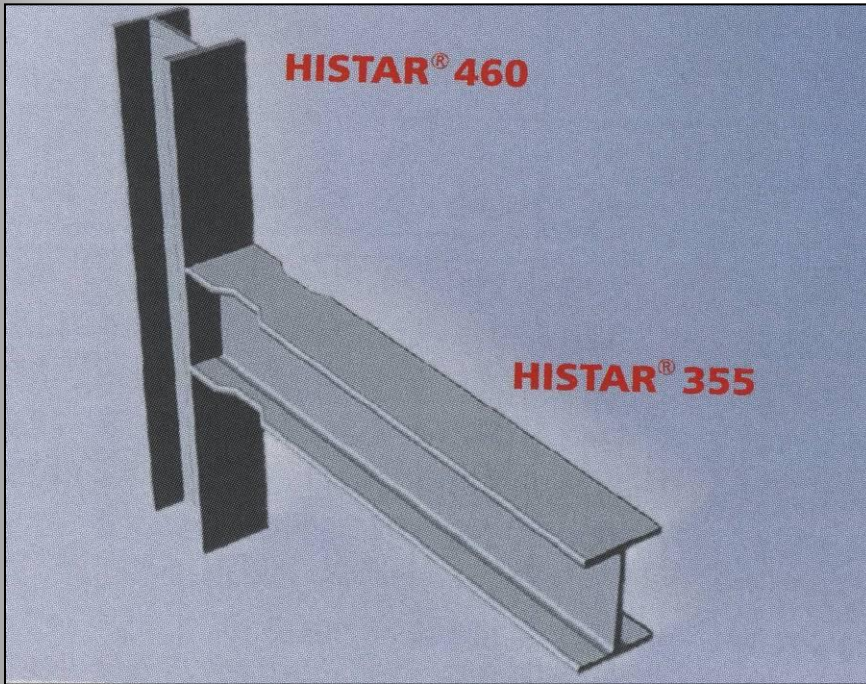


Paulay, T; Priestly, M.J.N. "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings". Wiley 1992

**REFUERZO DE LA ESTRUCTURA**  
(Mejora de la ductilidad)



Reforzar, a veces, es debilitar ...





**REDUCIR LOS EFECTOS LOCALES DE LA SOLICITACIÓN**  
(Atar todo lo que se pueda caer)

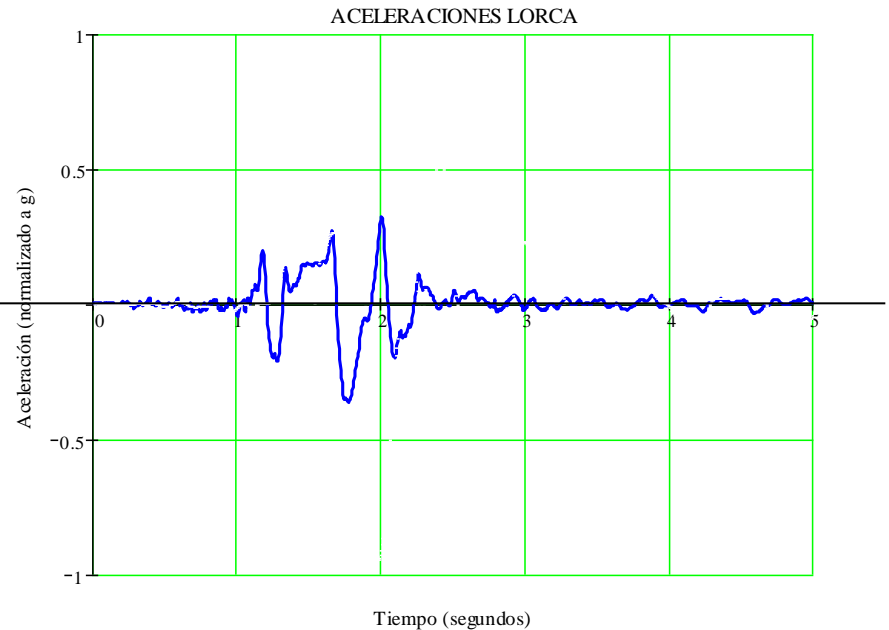
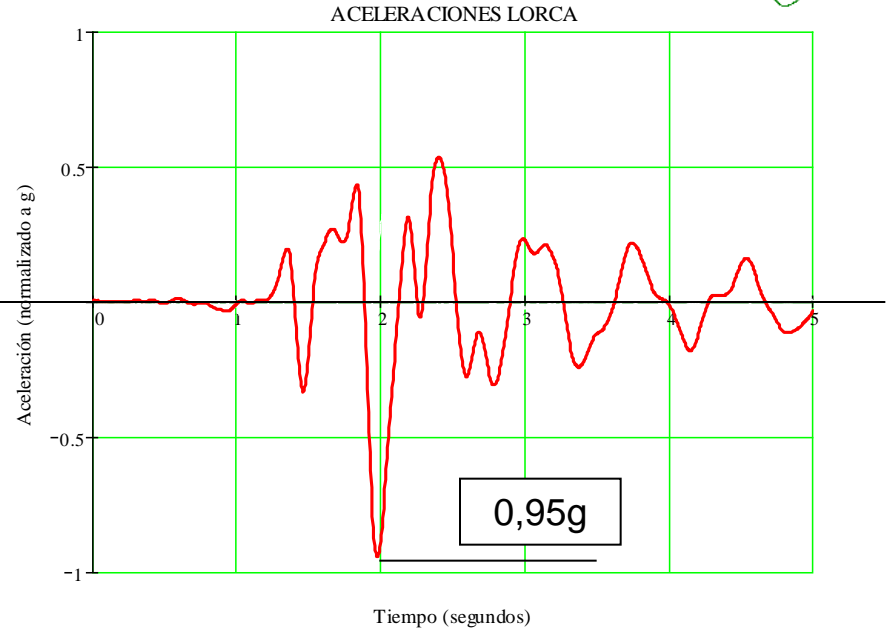
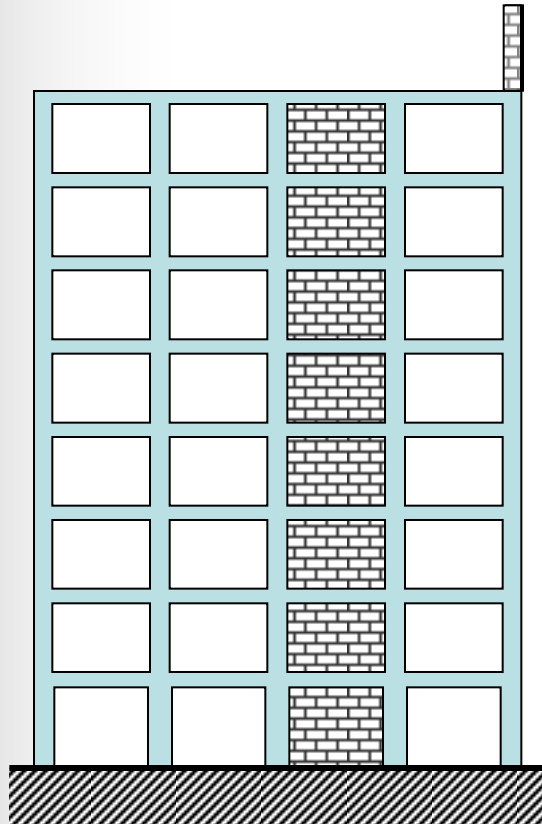
Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería s

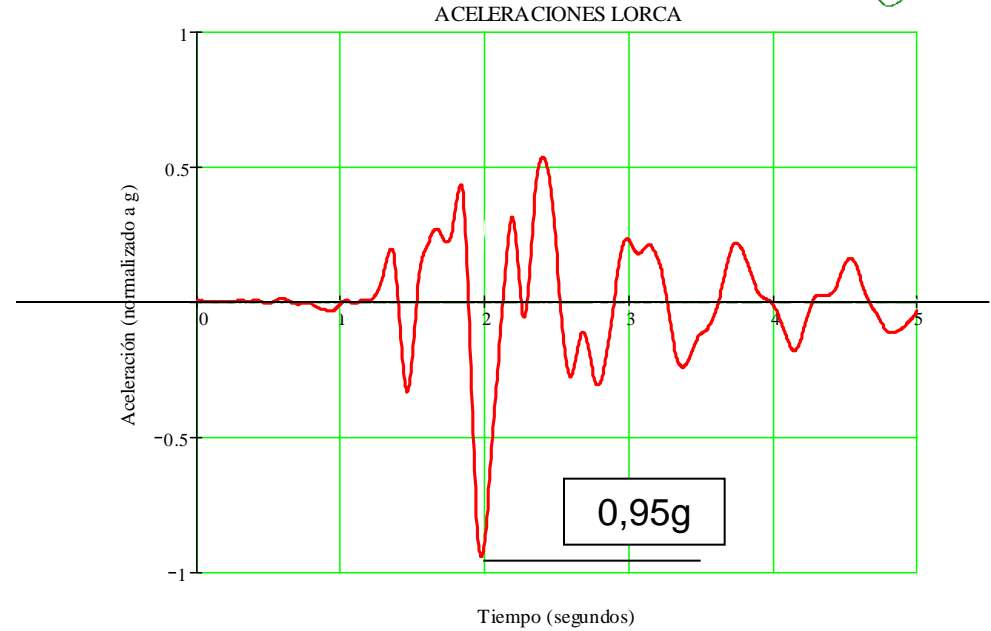
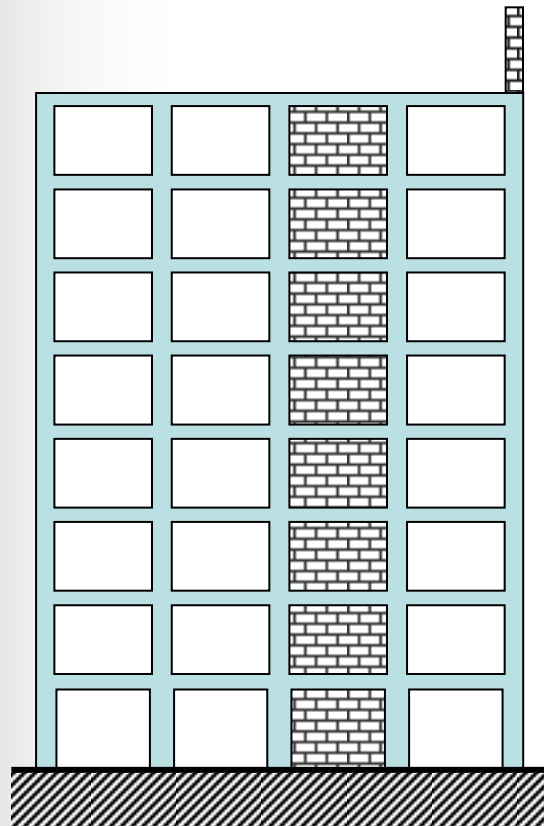






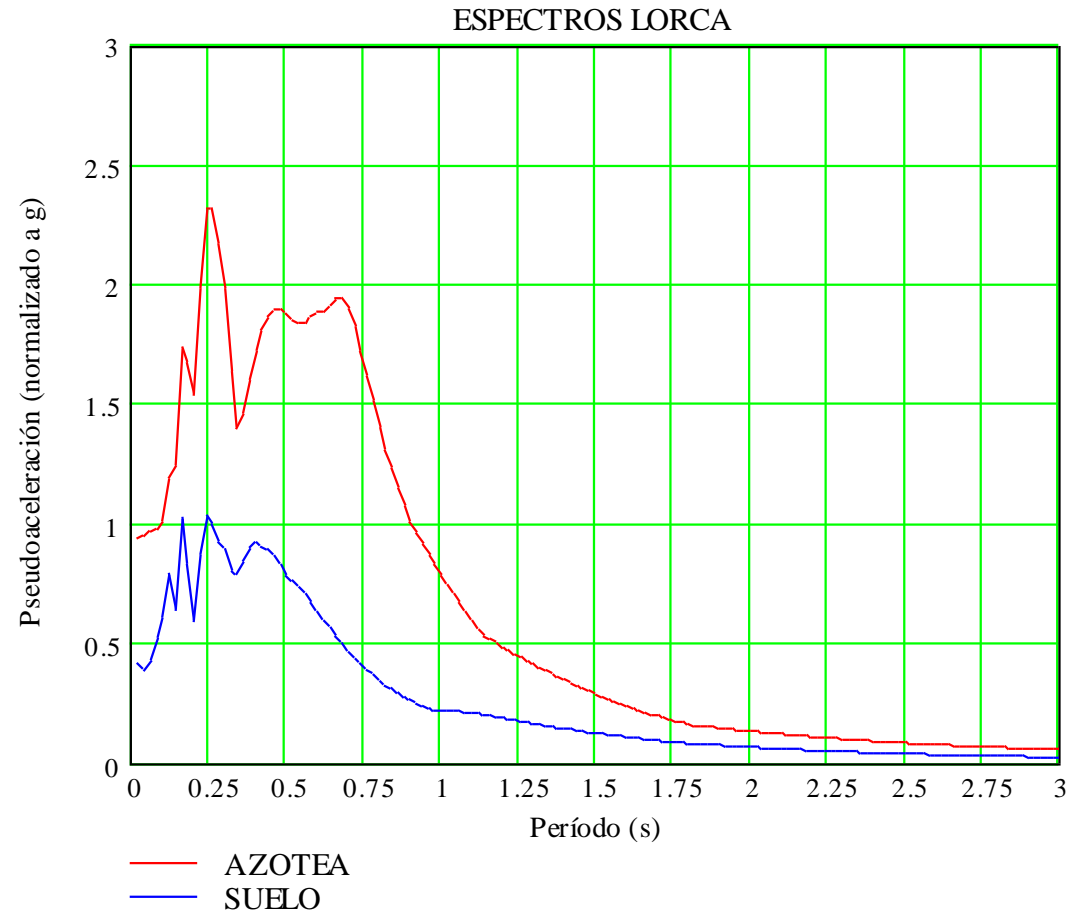
# Edificio de 8 plantas con $T=0,86s$ Comparación entre aceleraciones en suelo y azotea

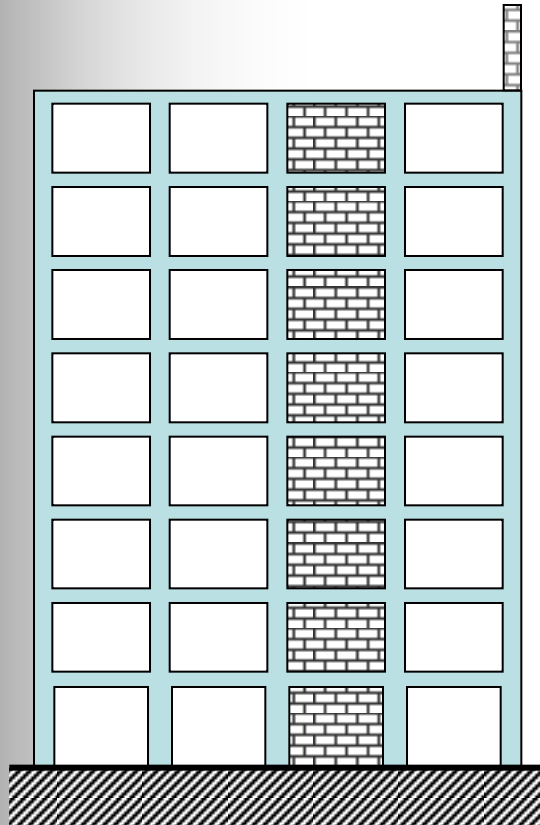




T	Acel (m/s <sup>2</sup> )
1.055	10.89
0.861	9.60
0.746	10.035
0.667	13.4
0.52	15.3
0.497	14.9







Momento debido al peso:

$$M = \frac{q \cdot h^2}{2} = \frac{0,13 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 15 \text{ kN/m}^3 \cdot (1,2 \text{ m})^2}{2} = 1,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento debido a la carga CTE:

$$M = \gamma_Q \cdot (P \cdot h) = 1,5 \cdot (1,6 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m}) = 2,88 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento admisible CTE:

$$M_{Rd} = \frac{f_u \cdot W}{\gamma_M} = \frac{f_u \cdot \frac{b \cdot e^2}{6}}{\gamma_M} = \frac{100 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m} \cdot (0,13 \text{ m})^2}{6}}{1,7} = 0,17 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

*La sollicitación debida al sismo es la mitad de la estática (CTE) pero 8 veces la resistencia..*

















**PILARES CORTOS**





Implicaciones del sismo de Lorca en la ingeniería sísmica

PLANTA DÉBIL







# ESCUELA INFANTIL PEQUES





*... “Al menos doce niños y dos maestras han muerto y un número indeterminado de personas han resultado heridas al derrumbarse una escuela infantil en la localidad de San Giuliano di Puglia tras un terremoto que ha afectado al centro y sur de Italia. Además, una mujer ha muerto en la misma localidad tras desplomarse su vivienda. No se descarta que haya más víctimas, pues en el momento del sismo, 57 niños se encontraban en el edificio, en el que siguen las tareas de rescate”...*

*... “El edificio derrumbado se encuentra en la localidad de San Giuliano di Puglia, en Campobasso, el epicentro del seísmo de 5,4 grados en la escala Richter que se ha dejado sentir en el centro y el sur de Italia” ...*