

Índice

1. ¿Quién teme a la estructura feroz?	2
2. Estructuras, por donde empezar	3
3. Los monumentos y el terreno	4
4. Proyecto sísmoresistente	5
5. Fijaciones acero–hormigón	12
6. Fábrica armada	13
7. Estructuras de acero	14
8. Reparación de la cubierta del hipódromo	15
9. Algunos casos de patologías estructurales	16
10. Restauración y conservación de estructuras antiguas	17

1. ¿Quién teme a la estructura feroz?



sesión inaugural
MÁSTER UNIVERSITARIO EN
ESTRUCTURAS DE LA EDIFICACIÓN

Quién teme a la estructura feroz?

Lección inaugural a cargo de
D. Alejandro Bernabéu Larena
IABSE Prize 2015, y profesor del Máster

martes | 12.00h

13 | 10 | 15

salón de actos | ETSAM

INTERVINIENTES

D. Antonio Mas-Guindal Lafarga
Secretario de la ETSAM

D. Jaime Cervera Bravo
Director del Departamento de Estructuras y Física de la Edificación

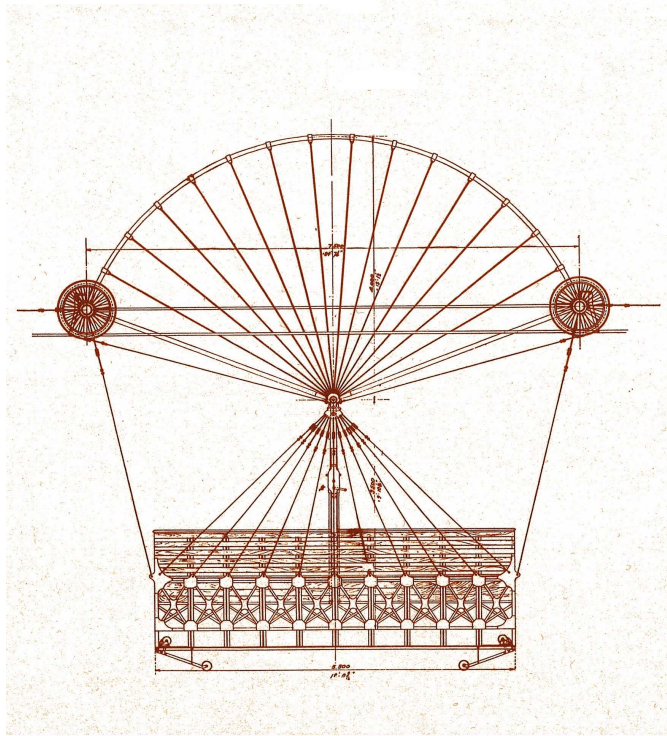
D. Joaquín Antuña Bernardo
Secretario del Máster



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

2. Estructuras, por donde empezar



El proyecto de la estructura: cómo empezar

Ricardo Aroca
conferencia

miércoles | 12.30h

25 | 11 | 15

salón de actos | ETSAM

Organiza el Máster Universitario en Estructuras de edificación

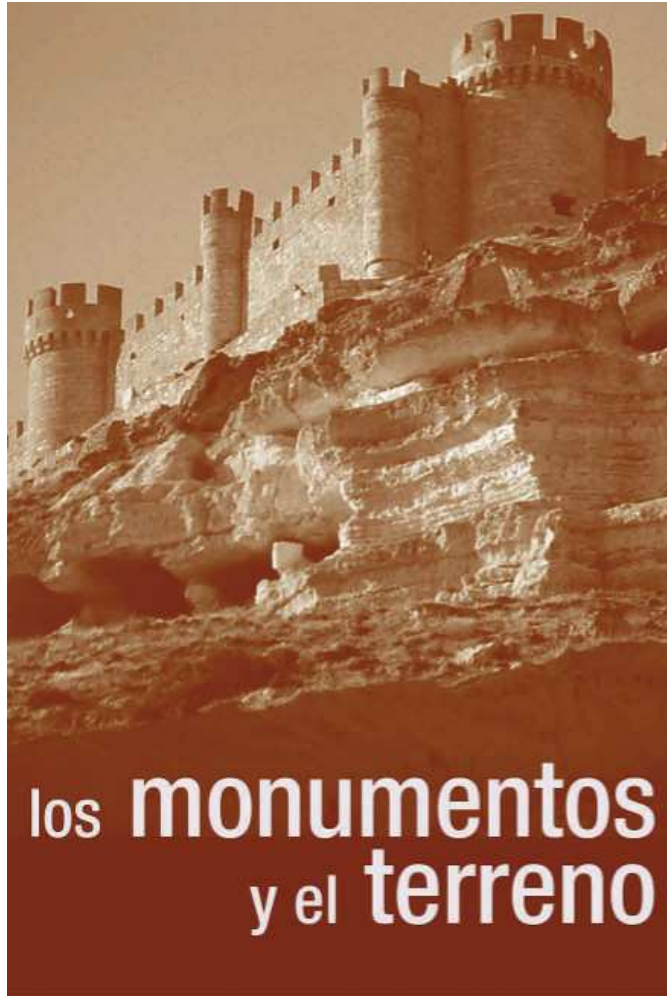


www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Gráfico: Ricardo Aroca

3. Los monumentos y el terreno



José María
Rodríguez Ortiz
conferencia

miércoles | 12.30h

16 | 12 | 15

salón de actos | ETSAM

Organiza el Máster Universitario en Estructuras de edificación



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

“Estrategias convencionales y avanzadas de proyecto sismorresistente”

Amadeo Benavent

02 | 03 | 16

Organiza el Máster Universitario en Estructuras de edificación



ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Estrategias convencionales y avanzadas de proyecto sismorresistente

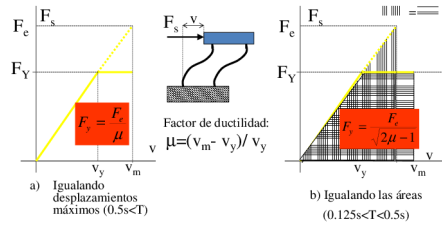
Amadeo Benavent Climent
Dr. Arquitecto
Catedrático de Estructuras - ETS Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid

INDICE

- 1.- Evolución de las estrategias de proyecto sismorresistente. Consideración del daño.
- 2.- El paradigma del "proyecto basado en prestaciones".
- 3.- Los métodos de cálculo estático no lineal; las estructuras "viga débil-columna fuerte".
- 4.- Los métodos de cálculo basados en el balance de energía; la estrategia de las "estructuras mixtas rígido-flexibles".
- 5.- Los disipadores de energía en estructuras sismorresistentes.

Los años 70...introducción de la ductilidad

APROXIMACIONES PARA RELACIONAR COMPORTAMIENTO ELÁSTICO Y PLÁSTICO: PROPUESTAS de VELETSOS Y NEWMARK



Los años 80...introducción del proyecto por capacidad; las estructuras tipo viga débil-columna fuerte.

LA ESTRUCTURA SE PROYECTA PARA QUE EN CASO DE UN SISMO SEVERO SEA CAPAZ DE **DISIPAR ENERGÍA** DE FORMA **ESTABLE** MEDIANTE **DEFORMACIONES PLÁSTICAS**; SE ADMITEN DAÑOS ESTRUCTURALES

Conceptos básicos

- 1.- **A nivel de local:** el fallo debe ser dúctil no frágil.
- 2.- **A nivel global:** En estructuras porticadas, el pilar debe mantenerse en régimen elástico para:
 - (i) garantizar la transmisión de las cargas gravitatorias;
 - (ii) que actúe como elemento "dispersor" del daño entre las plantas, evitando la concentración de daños en plantas concretas, y forzando la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas de todas las plantas.

Breve recorrido histórico de la evolución de las estrategias de proyecto sismo

1923...Primeros códigos sísmicos

- 1923...Primer código japonés: $C_s=0.10$
- 1933...Primer código en EEUU: $C_s=0.08$
- 1943...Código de Los Ángeles: $C_s=0.13$
- 1950...Código nacional japonés: $C_s=0.20$
-

Mé
proyecc
basat
RESIS'

LA ESTRUCTURA SE PROYECTABA PARA QUE SE COMPORTARA RÉGIMEN BÁSICAMENTE ELÁSTICO (SIN DAÑOS) DURANTE E

...Y mientras tanto se sucedían terremotos severos

Año	Terremoto	Lugar registro	Distancia	PGA
1940	El Centro, EEUU	El Centro, EEUU	8 km	340 cm/s ²
1964	Niigata, Japón	Alto, Japón	165 km	95 cm/s ²
1960	Tokachi-Oki, Japón	Hachinohe, Japón	80 km	220 cm/s ²
1971	S. Fernando, EEUU	L. Hughes, EEUU	21 km	287 cm/s ²

Conceptos básicos del proyecto por capacidad; las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel local... Evitar fallos a cortante:



1923...Primeros códigos sísmicos Problemas y limitaciones

- Muchos edificios proyectados conforme a estos códigos **colapsaron** bajo terremotos severos
- Edificios que habían estado sometidos a terremotos severos que los prescritos en los códigos **no colapsaron** por tener suficiente **capacidad de deformación plástica** (ductilidad)
- Los terremotos son acciones **poco frecuentes** pero **extremadamente intensas**; económicamente no se proyectan las estructuras para que se mantengan en el dominio elástico frente a terremotos severos

Conceptos básicos del proyecto por capacidad; las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel local...

Evitar el pandeo de la armadura comprimida



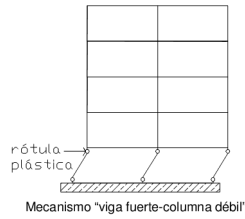
Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel local... Evitar las columnas cort



Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel global... lo que hay que evitar:



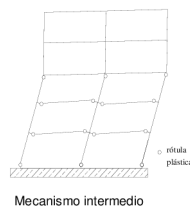
Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel local... Evitar el fallo en el nudo vig



Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel global... lo más probable:



Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

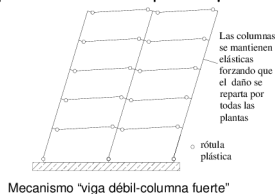
A nivel local...

Evitar fallos por adherencia de las
armaduras en estructuras de H.A.



Conceptos básicos del proyecto por capacidad;
las estructuras tipo viga débil-columna fuerte

A nivel global... lo que se pretende:
Jerarquía de resistencias: los extremos
deben plastificar antes que los pilares



Las normas sísmicas españolas

PDS-74

-Proyecto basado en resistencia. No se habla de ductilidad.

-Se permite que los materiales experimenten mayores deformaciones que en los casos ordinarios (art. 4.7: si se opera en métodos de cálculo en estado límite de rotura el coeficiente de ponderación de acciones permanentes y variables desfavorables es 1, y en métodos en tensiones admisibles se admiten tensiones 50% mayores).

-El objetivo es evitar el hundimiento, no los daños

NCSE-94 y NCSE-02

-Proyecto basado en la resistencia modificada por ductilidad.

-Se permite que los materiales experimenten mayo deformaciones que en los casos ordinarios (art. 3.4 opera en métodos de cálculo en estado límite de rc coeficiente de ponderación de acciones permanentes variables desfavorables es 1).

-Se aceptan daños estructurales. El μ se limita a 4 que para sismos moderados la estructura no experimente daños.

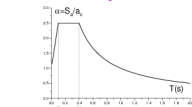
-Se introduce el "proyecto por capacidad" y las est del tipo "viga débil-columna fuerte".

PROYECTO BASADO EN PRESTACIONES (Performance Based Design)

	Target Building Performance Levels			
	Operational Performance Level (O)	Immediate Occupancy Performance Level (I)	Life Safety Performance Level (S)	Collapse Prevention Performance Level (C)
30% to 40 years (P=0.10) damage	a	b	c	d
20 to 30 years (P=0.20) damage	e	f	g	h
10 to 20 years (P=0.50) damage	i	j	k	l
5 to 10 years (P=1.00) damage	m	n	o	p

NCSE-94 y NCSE-02

Caracterización del terremoto de proyecto: espectros elásticos de respuesta



Método de cálculo: análisis modal espectral y coeficiente de comportamiento por ductilidad

$$\text{Para } T_p < T_n \quad [f_{reson}] = [m] \frac{1}{M_n} a_n \left[1 + (2.5 \frac{T_p}{T_n} - 1) \frac{T_n}{T_p} \right]$$

$$\text{Para } T_p > T_n \quad [f_{reson}] = [m] \frac{1}{M_n} a_n \frac{T_n}{T_p}$$

PROYECTO BASADO EN PRESTACIONES CON METODOS DE CALCULO ESTATICO NO LINEAL Y ESTRATEGIAS DEL TIPO "VIGA DEBIL-COLUMNA FUERTE"

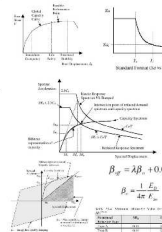
-La **capacidad sísmorresistente del edificio** se define mediante la curva de capacidad $V_p-\delta$ obtenida para una determinada distribución de fuerzas laterales (pushover analysis). Cada punto de la curva define un determinado estado de daño global correlacionable con estados de daño locales.

-La **demanda sísmica** generada por un terremoto de una determinada severidad se caracteriza mediante su espectro elástico de respuesta S_d-T .

-La curva de capacidad $V_p-\delta$ y el espectro elástico de respuesta S_d-T se representan en coordenadas de respuesta espectral S_d-S_d ("Capacity Spectrum Method").

-Cuantos mayor son los desplazamientos inelásticos mayor es la energía disipada mediante deformaciones plásticas y más se puede reducir la demanda sísmica. Para tener en cuenta: (1) la energía disipada mediante deformaciones plásticas se asimila a un "amortiguamiento viscoso equivalente" β_{eq} y (2) la demanda sísmica se reduce en función de β_{eq} hasta un 5% máximo permitido.

-Mediante un proceso iterativo se determina el "punto de prestaciones" (performance point or target displacement point) como intersección de la curva de capacidad y la curva de demanda.



Los sismos de Northridge y Kobe....

¿Qué persigue hoy la ingeniería sísmica?

Hasta ahora se pensaba que las Normas Sísmicas convencionales orientadas a dar seguridad estructural aportaban también implícitamente un adecuado nivel de protección frente a daños estructurales en caso de sismos intensos.

Kobe y Northridge han demostrado que esto no es

Metas de la Ingeniería Sísmica actual, además de evitar la pérdida de vidas humanas:

evaluación y control del daño

PROYECTO BASADO EN PRESTACIONES CON METODOS DE CALCULO ESTATICO NO LINEAL Y ESTRATEGIAS DEL TIPO "VIGA DEBIL-COLUMNA FUERTE"

OBJECIONES...

- Las cargas que un sismo impone a la estructura no son monótonas sino cíclicas y los fenómenos de concentración del daño en plantas concretas de la estructura juegan un papel determinante en el colapso. Caracterizar la capacidad sísmorresistente de estructuras que no sean del tipo "viga débil-columna fuerte" en base a un "pushover analysis" es cuestionable.
- La aceleración de respuesta no es la forma más adecuada de caracterizar el efecto de carga del terremoto.
- El daño estructural depende tanto o más de las deformaciones plásticas acumuladas que de las deformaciones máximas instantáneas.
- No hay principios físicos que justifiquen una relación estable entre la energía de deformación plástica disipada en un ciclo de desplazamiento máximo y un amortiguamiento viscoso equivalente. La limitación de reducción máxima de demanda sísmica según el "amortiguamiento viscoso equivalente" es arbitraria y cuestionable.
- En las estructuras tipo "viga débil-columna fuerte" quedan daños en extremos de vigas y arranque de pilares tras el terremoto.
- Poco adecuados para proyectar estructuras con sistemas innovadores.

PROYECTO BASADO EN PRESTACIONES (Performance Based Design)

-Objetivo es producir estructuras con un comportamiento predecible.

-Extensión del proyecto en "estados límites", orientado a complejo abanico de prestaciones ("ocupación inmediata", "protección de la vida", "estabilidad estructural", etc.).

-Se manejan valores probables de índices de daño condicionados a la probabilidad de una cierta demanda estructural que a su vez de que se alcance una cierta intensidad sísmica.

-La "prestación objetivo" se define mediante un estado n de daño permitido (performance level) para una peligrosidad sísmica dada (level of seismic hazard).

PROYECTO BASADO EN PRESTACIONES CON METODOS BASADOS EN EL BALANCE ENERGETICO DE HOUSNER-AKIYAMA

$$m \ddot{v} + C \dot{v} + F(v) = -m \ddot{v}_g$$

Multiplicando por $dv = \dot{v} dt$ e integrando en el intervalo de duración del sismo:

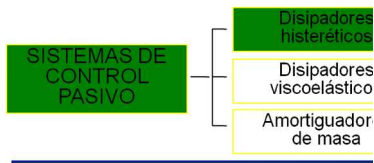
$$W_k = \int_0^t \dot{v} m \dot{v} dt \quad W_\xi = \int_0^t C \dot{v}^2 dt \quad W_s = \int_0^t F(v) \dot{v} dt \quad E = \int_0^t -m \ddot{v}_g \dot{v} dt$$

$$W_e + W_\xi + W_p = E$$

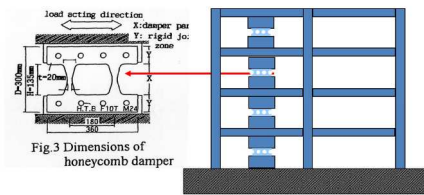
CAPACIDAD SÍSMORRESISTENTE DAÑO ESTRUCTURAL DEMANDA SÍSMICA

MATERIALIZACION DE LA FILOSOFIA PROYECTO BASADO EN PRESTACION

ESTRUCTURAS AVANZADAS CON SIST DE CONTROL PASIVO:

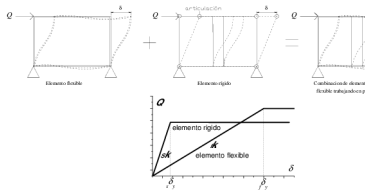


DISIPADORES DE ENERGÍA DE TIPO HISTERÉTICO

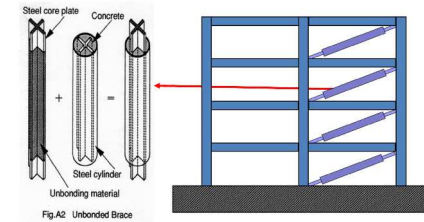


ESTRATEGIAS AVANZADAS DE PROYECTO SISMORRESIS' UTILIZANDO DISIPADORES DE ENERGÍA

El concepto de las estructuras mixtas rígido flex

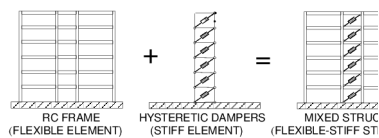


DISIPADORES DE ENERGÍA DE TIPO HISTERÉTICO

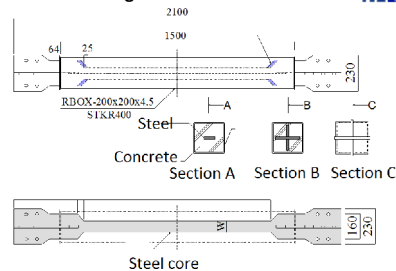


ESTRATEGIAS AVANZADAS DE PROYECTO SISMORRESIS' UTILIZANDO DISIPADORES DE ENERGÍA

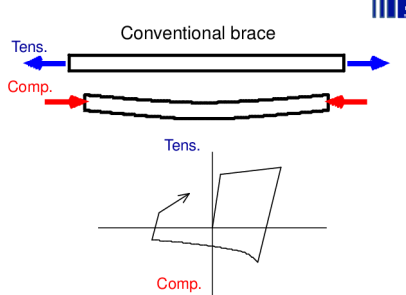
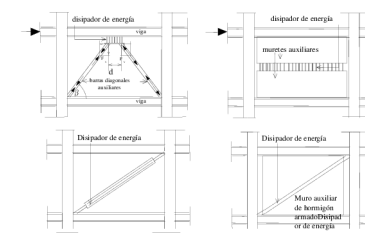
Estructuras mixta rígido-flexible

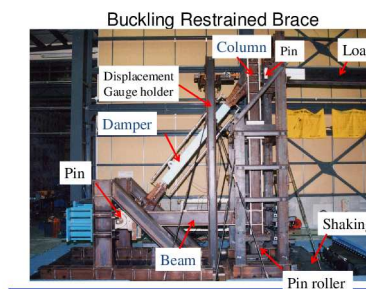
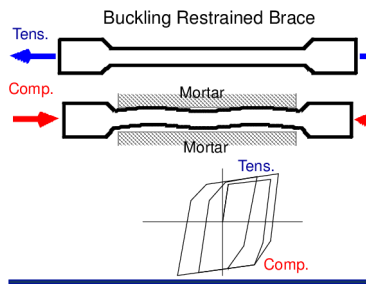


Buckling Restrained Brace

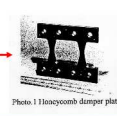
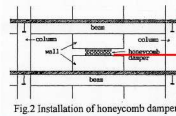


DISIPADORES DE ENERGÍA DE TIPO HISTERÉTICO





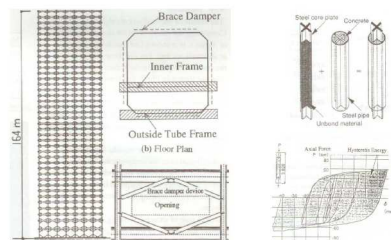
Disipadores en estructuras de nueva planta:
Ejemplo 1: Edificio en 29 plantas en Japón



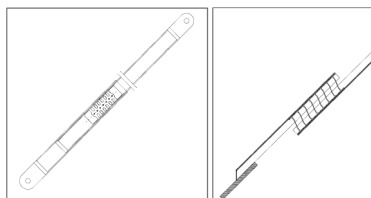
Buckling Restrained Brace



Disipadores en estructuras de nueva planta:
Ejemplo: Edificio en 39 plantas en Japón

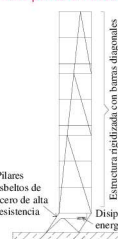


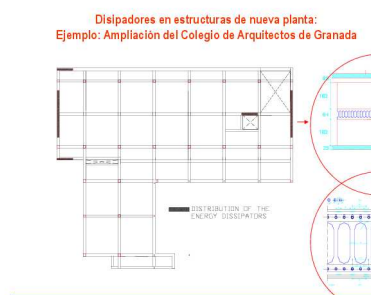
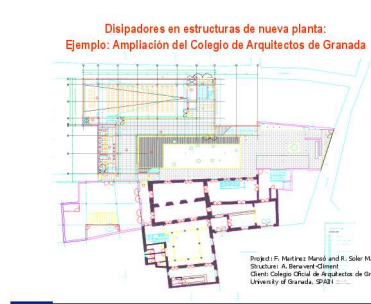
Disipadores de energía desarrollados en UGR
TTD (Tube in Tube Damper)



Disipadores en estructuras de nueva planta:
Ejemplo: Edificio con concentración de daño en la primera planta en Tokio

Se trata de un edificio de 10 plantas formado por una estructura de acero rigidizada con barras diagonales, que se apoya en planta baja sobre unos pilares muy esbeltos de acero de alta resistencia (SA440). Los pilares, de sección 340x240mm² formados a base de chapas soldadas de 10mm de espesor, se dimensionaron para que tuvieran elevada rigidez axial, escasa rigidez lateral y pudiesen mantenerse elásticos para una deformación de la planta baja de 1%. La disipación de la energía introducida por el sismo se confía a cuatro disipadores de energía a base de fluidos.





OTROS METODOS AVANZADOS

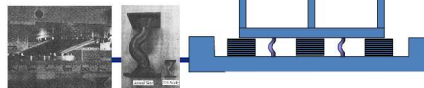
Estructuras con AISLAMIENTO DE BASE

Objetivos:

Toda la energía sísmica se concentra en una planta k de forma que :

- Requisitos de la planta k :
 - 1) *Elevada capacidad de absorción/disipación de energía*
 - 2) *Menor resistencia lateral que el resto de plantas*
- Requisitos del resto de plantas $i \neq k$:
 - 1) *Suficiente resistencia lateral*

Ejemplo: Estructuras con aisladores de láminas de neopreno y disipadores de energía en una planta k determinada



conferencia

“Cálculo de fijaciones *in situ*
acero–hormigón”

Antonio Cardo Fdez.

30 | 03 | 16

POLITÉCNICA



ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

6. Edificios de fábrica armada y postesada.

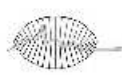


miércoles | 12.30h

06 | 04 | 16

salón de actos | ETSAM

| Organiza el Máster Universitario en Estructuras de Edificación |



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

100 años

7. Estructuras de acero. Proyectos y realizaciones.



miércoles | 15.30h

13 | 04 | 16

sala de grados B | ETSAM

Organiza el Máster Universitario en Estructuras de Edificación



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

UPM

8. El hipódromo de la Zarzuela. Reparación de la cubierta.



miércoles | 12.30h

09 | 03 | 16

salón de actos | ETSAM

| Organiza el Máster Universitario en Estructuras de edificación |



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

0000000000

9. Algunos casos de patologías estructurales.



Conferencia

“Algunos casos
de patología estructural”

Luis Casas López-Amor

Miércoles | 12.30h

18 | 05 | 16

aula del máster de estructuras 1N1

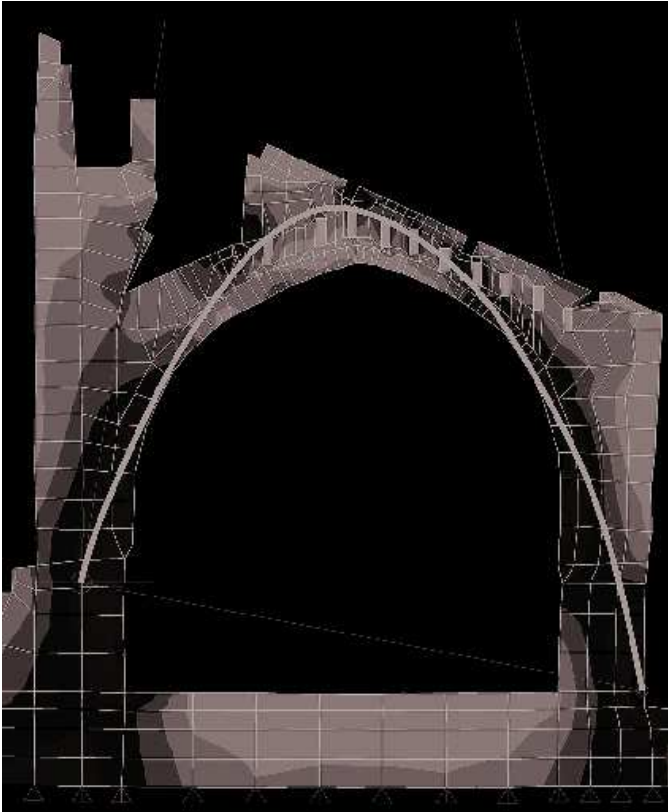
| Organiza el Máster Universitario en Estructuras de Edificación |



www.etsamadrid.upm.es

ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

10. Restauración y conservación de estructuras antiguas.



Francisco
Jurado Jiménez

conferencia
“Restauración y conservación
de estructuras antiguas”

miércoles | 12.30h
25 | 05 | 16
salón de actos | ETSAM

| Organiza el Máster Universitario en Estructuras de edificación |



www.etsamadrid.upm.es
ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID