



CONFIGURACION Y DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS

Ing E. Daniel Quiroga

MOVIMIENTOS DURANTE TERREMOTOS

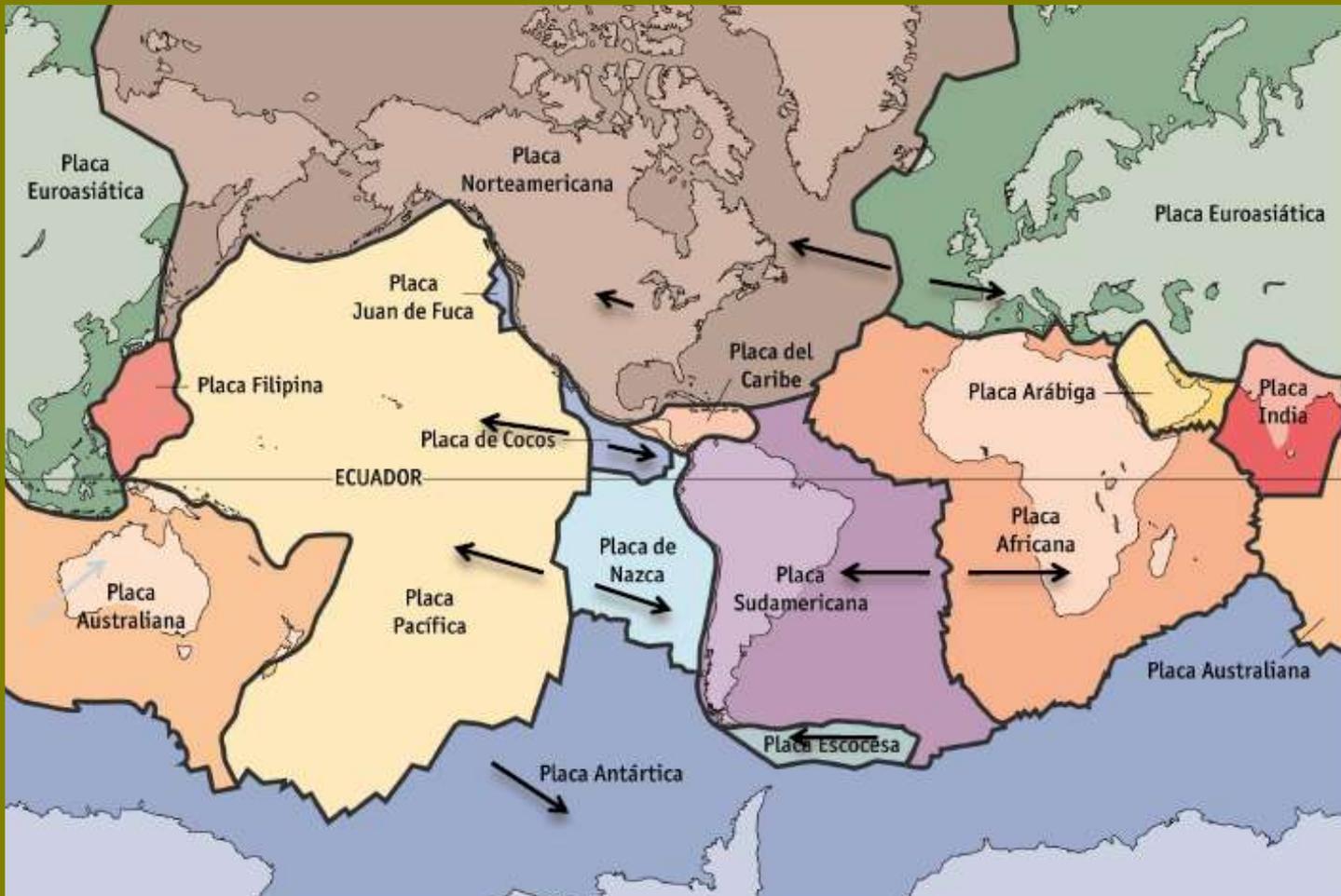


MÉJICO



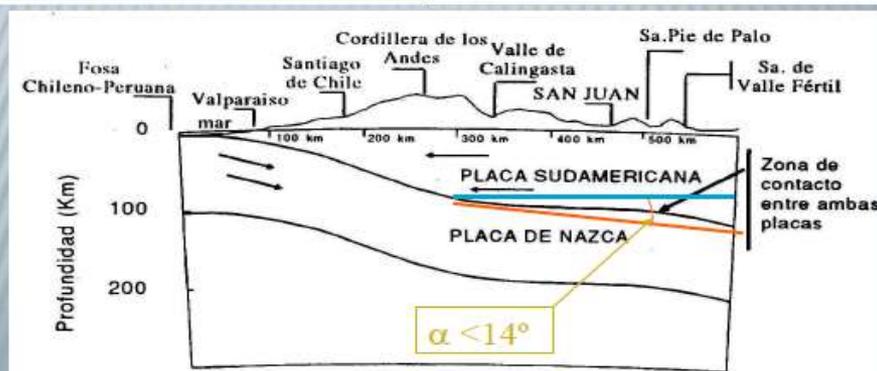
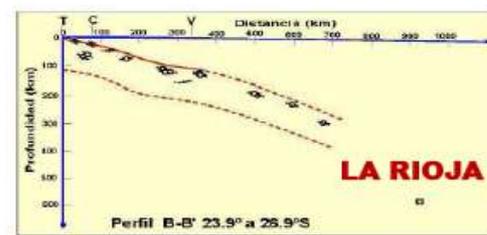
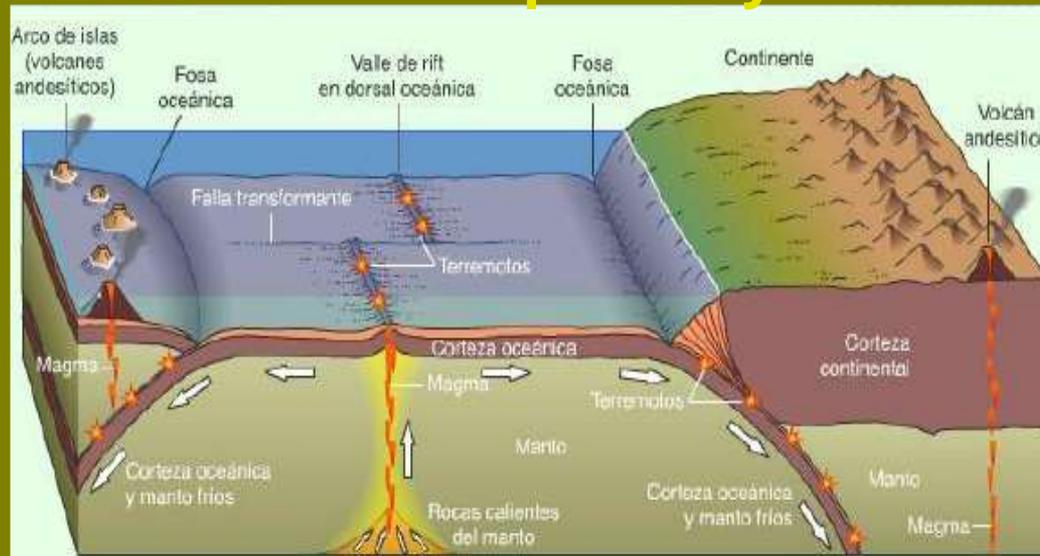
SISMOLOGÍA

Tectónica de placas y fallas



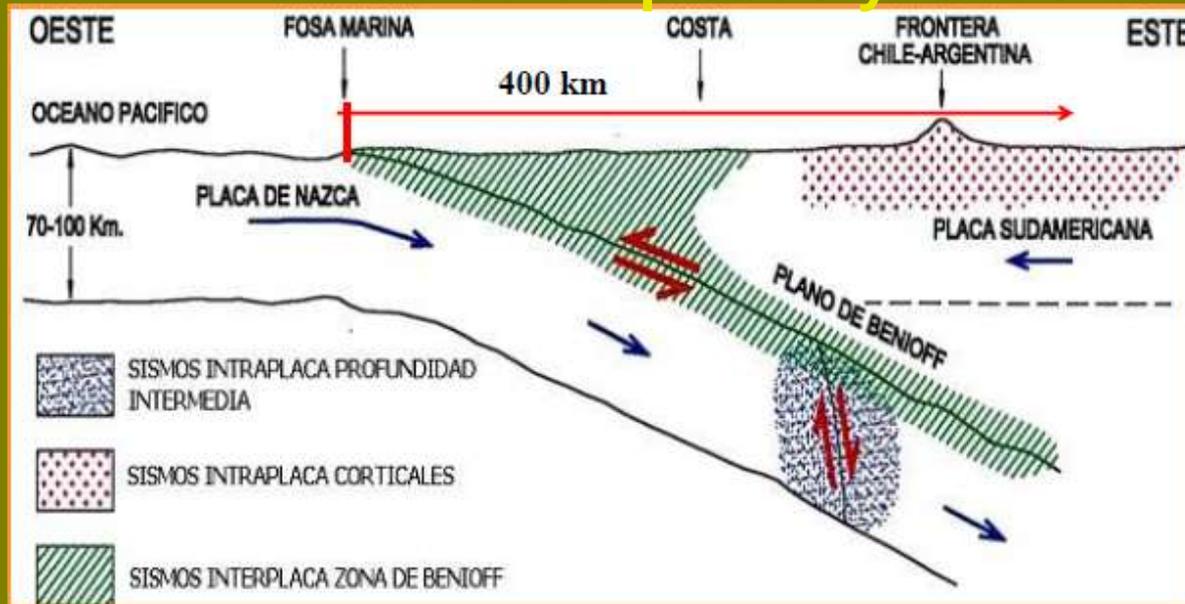
SISMOLOGÍA

Tectónica de placas y fallas

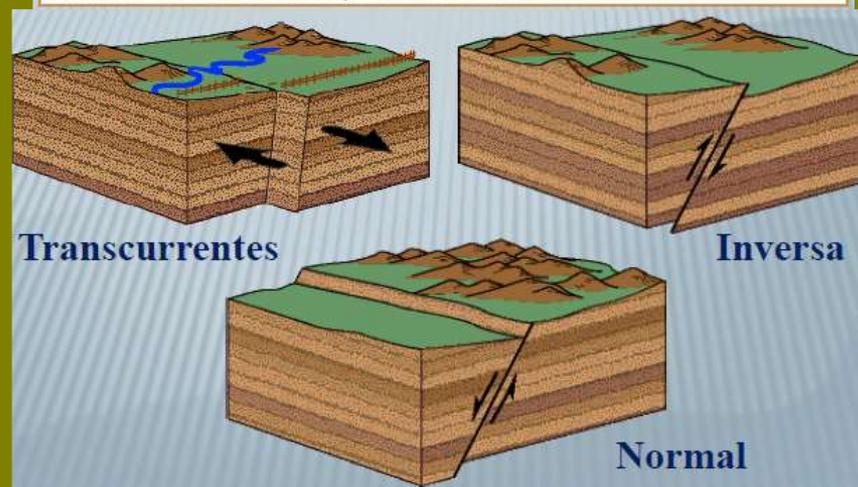


SISMOLOGÍA

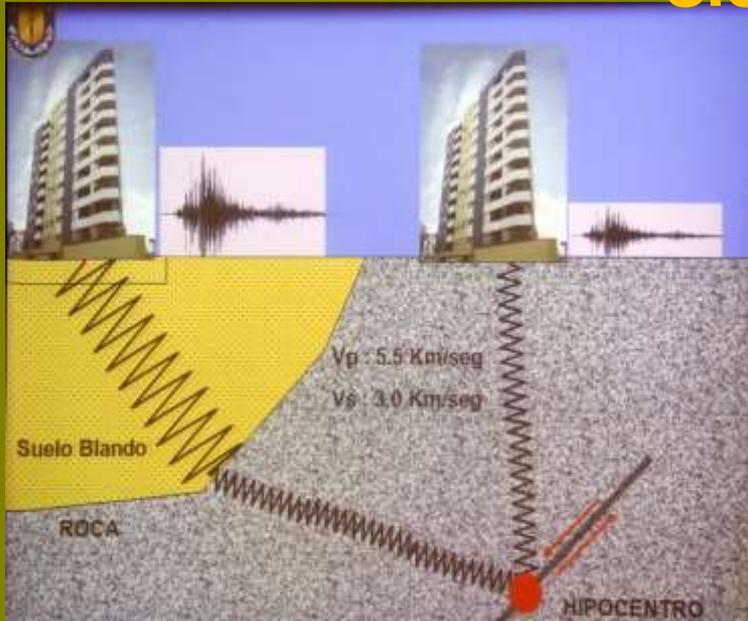
Tectónica de placas y fallas



Las fallas geológicas son las principales fuentes de la actividad sísmica intraplaca cortical

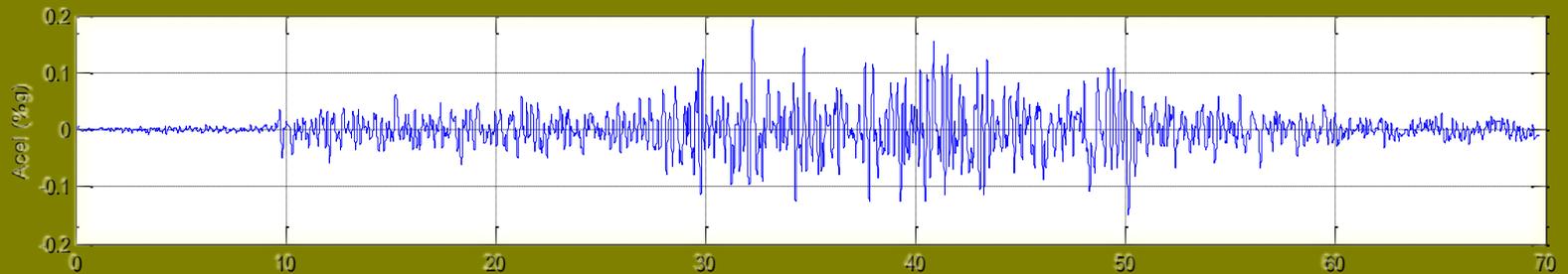


SISMOLOGÍA

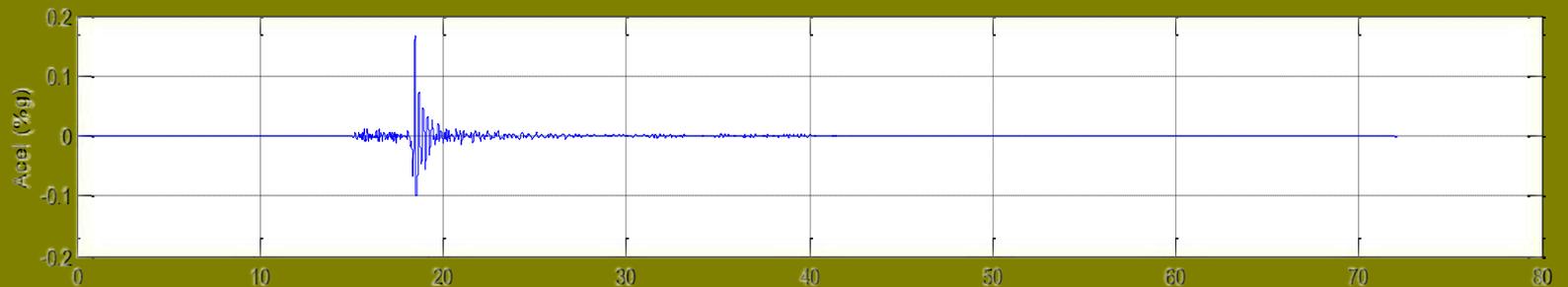


- TERREMOTOS **INTERPLACA**: Se dan en los bordes de placa. Subducción (Chile)
- TERREMOTOS **INTRAPLACA**: Se dan dentro de las placas por fallas locales (Mendoza, Córdoba)

Caucete 1977



Mendoza 2005



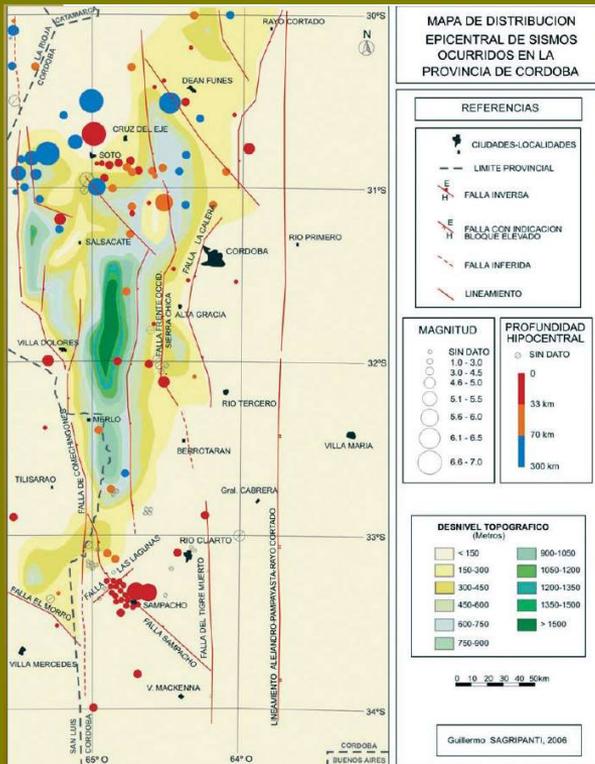
Registros

SISMOLOGÍA

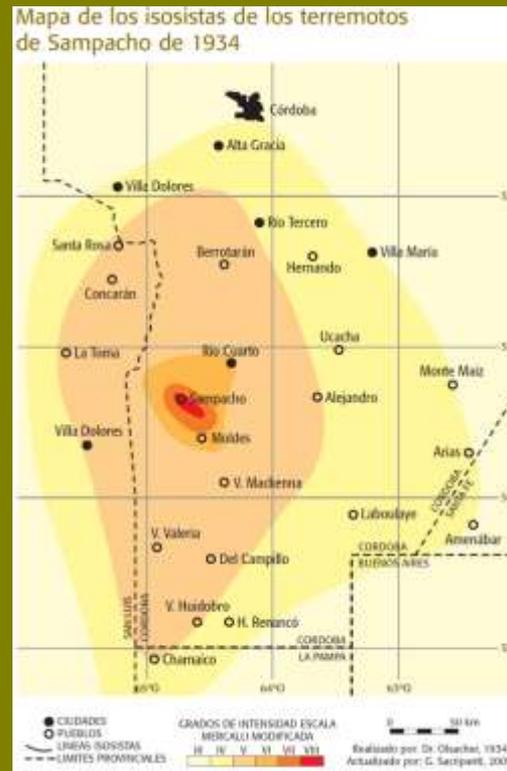
RIESGO SISMICO = **PELIGROSIDAD** + **VULNERABILIDAD**

PELIGROSIDAD (Peligro Sísmico) → **ZONA** de EMPLAZAMIENTO

VULNERABILIDAD → **DISEÑO ESTRUCTURAL**



Sismología histórica



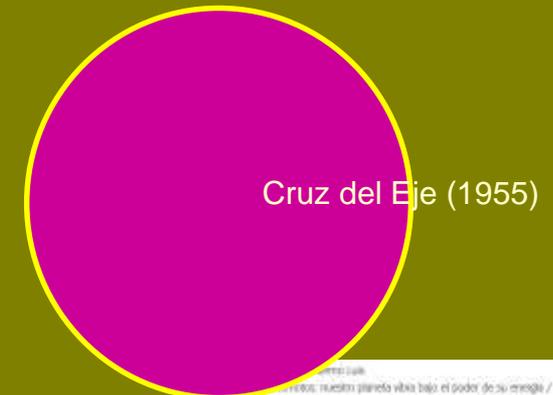
Isosistas (Sampacho 1934)

Sismos en Córdoba

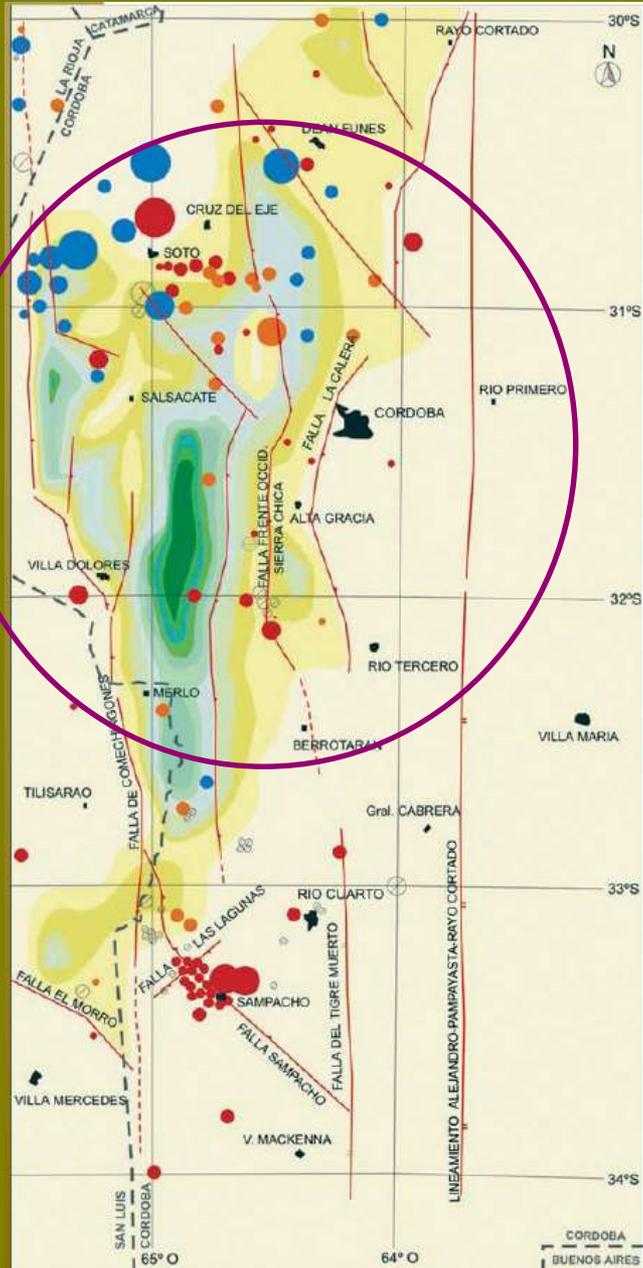
Lugar	Magnitud	Año
Deán Funes	6.5	1908
Villa Giardino	5.6	1947
Cruz del Eje	6.7	1955

Comparación de Magnitudes

- Mendoza (1985)
- Villa Giardino (1947)



SISMOLOGÍA



MAPA DE DISTRIBUCION EPICENTRAL DE SISMOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE CORDOBA

REFERENCIAS

- CIUDADES-LOCALIDADES
- LIMITE PROVINCIAL
- FALLA INVERSA
- FALLA CON INDICACION BLOQUE ELEVADO
- FALLA INFERIDA
- LINEAMIENTO

MAGNITUD

- SIN DATO
- 1.0 - 3.0
- 3.0 - 4.5
- 4.6 - 5.0
- 5.1 - 5.5
- 5.6 - 6.0
- 6.1 - 6.5
- 6.6 - 7.0

PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL

- SIN DATO
- 0
- 33 km
- 70 km
- 300 km

DESIVEL TOPOGRAFICO (Metros)

- < 150
- 150-300
- 300-450
- 450-600
- 600-750
- 750-900
- 900-1050
- 1050-1200
- 1200-1350
- 1350-1500
- > 1500

0 10 20 30 40 50km

Guillermo SAGRIPANTI, 2006



ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA

ZONA	PELIGROSIDAD SÍSMICA	ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO
0	MUY REDUCIDA	0,04 g
1	REDUCIDA	0,10 g
2	MODERADA	0,18 g
3	ELEVADA	0,25 g
4	MUY ELEVADA	0,35 g

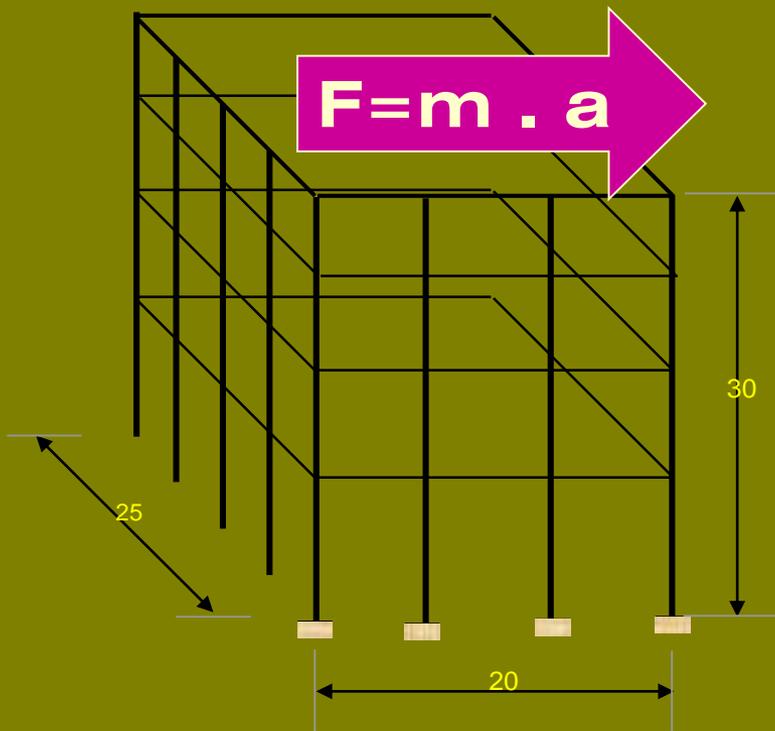


VIENTO ó SISMO



VIENTO - SISMO

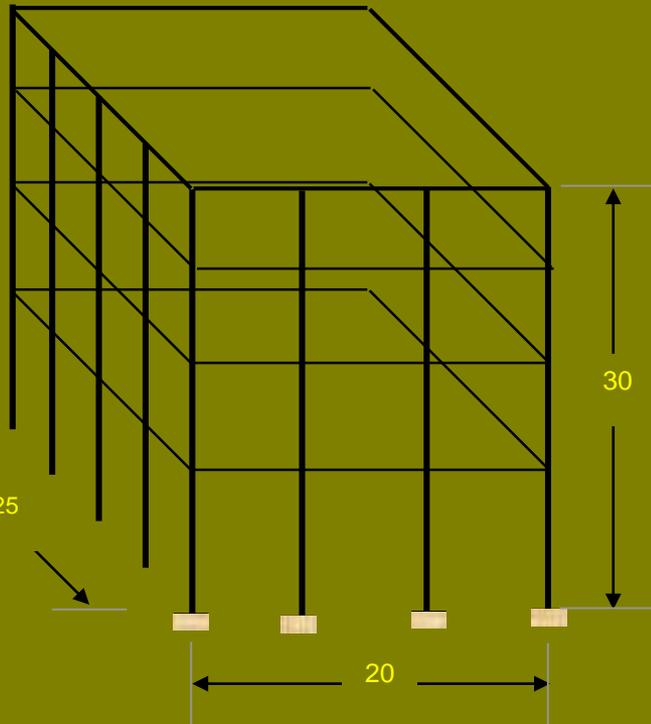
- ¿Se comparan las acciones sísmicas y las de viento?
- ¿Son parecidas en magnitud?



Ejemplo:

Edificio de 10 pisos de 3m c/u
Tipo Estructural: Tabiques y Pórticos
Planta 20 x 25m
Período $T = 0.8$ seg

VIENTO - SISMO



PERSPECTIVA

Período $T = 0.8$ seg

Peso $W = 20 \times 25 \times 1.0\text{t/m}^2 \times 10 = 5000\text{t}$

$S_a = 0.80$ (Zona 4 s/CIRSOC 103)

$F = m \times a = (W/g) \cdot S_a$ (fracción de "g")

$V = S_a \cdot W = 1.00 \cdot 5000\text{t} = \mathbf{5000\text{t}}$

Viento

Carga = 200kg/m^2

Cara Mayor ($25 \times 30 = 750\text{m}^2$)

$W_u = 1,60 (200\text{kg/m}^2 \times 750\text{m}^2) = \mathbf{240\text{t}}$

Cara Menor ($20 \times 30 = 600\text{m}^2$)

$W = 1,60 (200\text{kg/m}^2 \times 600\text{m}^2) = \mathbf{192\text{t}}$

Fuerza Sísmica / Fuerza Viento = $5000/240 = \mathbf{20 \text{ veces!!}}$



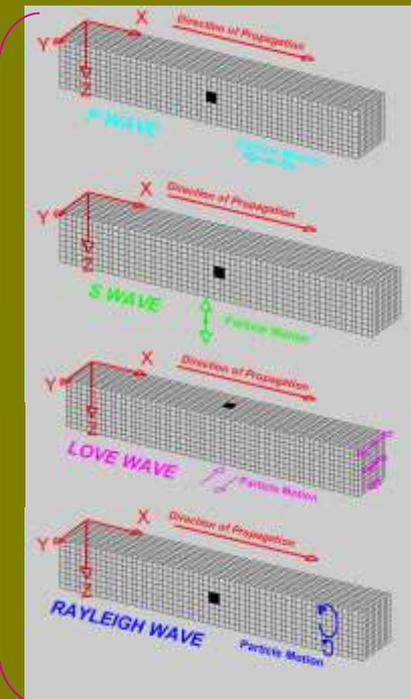
ESTRATEGIAS DE
DISEÑO
SISMORRESISTENTE

ESTRATEGIAS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

Terremoto entrega → **Energía** al Edificio

¿¿Qué hacemos??

- ¿Cómo se **comporta** el edificio?.
- ¿Puede resistir **elásticamente** un terremoto?
- ¿Qué hacemos con **¡tanta!** energía?



ESTRATEGIAS DE DISEÑO

• Energía **“Ingresa”** a la Estructura:

1. Resistir con la estructura
2. Disipar con la estructura
3. Disipar con dispositivos

→ Respuesta **Elástica**

→ Respuesta **Inelástica**

→ Aumentar **Amortiguamiento**

• Energía **“No Ingresa”** a la Estructura: → **Aislamiento** Sísmico



LAS BUENAS NOTICIAS !!!



- Puedo diseñar la estructura para una acción mucho menor que la de Respuesta Elástica.

Por ejemplo 5 veces menos $\rightarrow V = 5000/5 = 1000 \text{ t}$

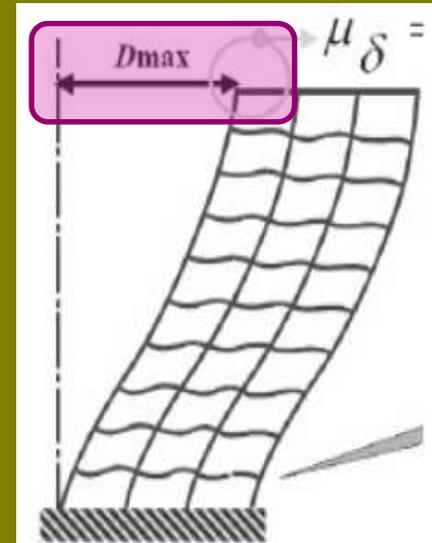
- Deberá soportar varios **ciclos** de carga (ida y vuelta)
- Deberá ser capaz de deformar 5 o 6 veces más allá de la deformación de **fluencia**
- No deberá perder resistencia. **Evitar** el colapso
- Puede quedar totalmente **dañado**, incluso para demolerse
- **Objetivo** primario: minimizar pérdida de vidas

**NECESITA DETALLES Y
CONSTRUCCIÓN ADECUADOS**



☹️ LAS MALAS NOTICIAS !!! ☹️

- La Fuerza Sísmica **Real** será mayor que la de cálculo
→ **(Espectro Elástico Reducido)**
- La Estructura sufrirá grandes desplazamientos por deformaciones **inelásticas**
→ **(Disipación de Energía)**
- Habrá **daño** estructural y no estructural



“NUEVAS” OBLIGACIONES DEL DISEÑADOR

→ **CONTROL DEL DAÑO** ←

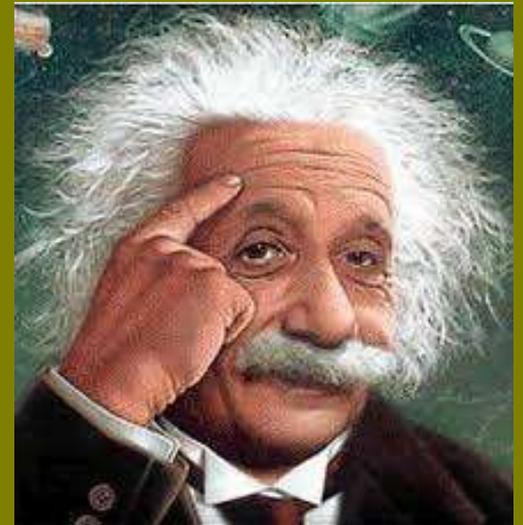
1. **PROYECTO**
Deformación

→ Regularidad. Detallado. Control

2. **CONSTRUCCIÓN** → Dirección Técnica. Control Ejecución

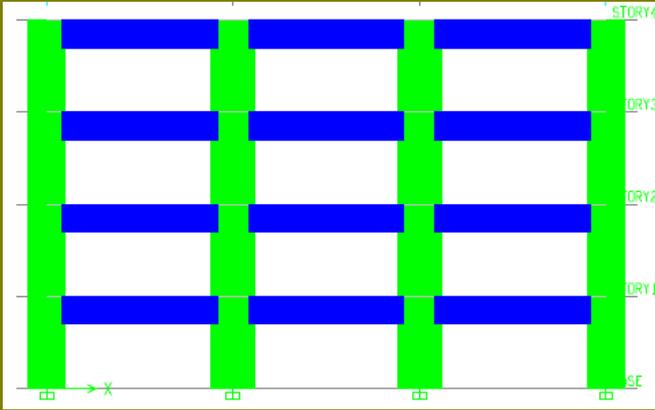
Las acciones sísmicas de diseño, procedimientos de análisis estructural, requisitos de resistencia, rigidez y estabilidad, disposiciones constructivas y previsiones generales se establecen con el propósito principal de evitar colapso total o parcial de la construcción y pérdidas de vida. No se establece como objetivo limitar los daños ni mantener las funciones de las construcciones luego de la ocurrencia de un terremoto.

DISEÑAR
DISEÑAR
DISEÑAR

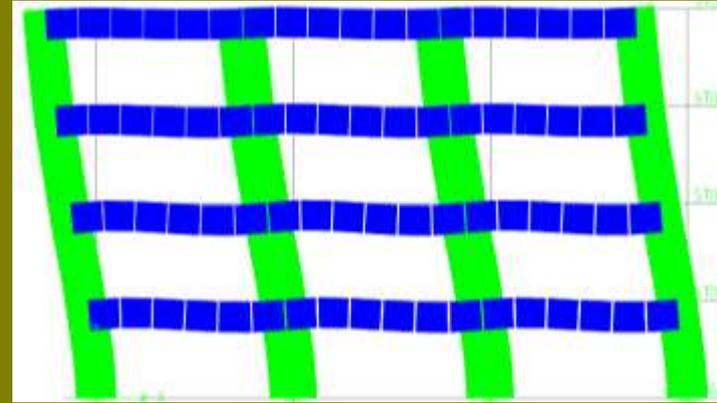


RESPUESTA
ESTRUCTURAL
Y ESPECTROS
DE DISEÑO

COMPORTAMIENTO DINÁMICO

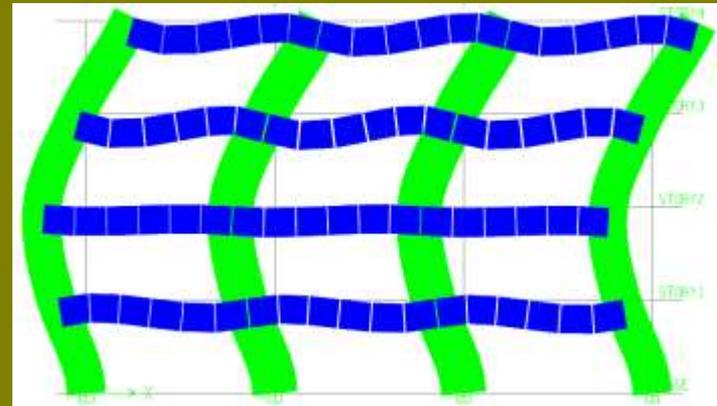


Modo
1

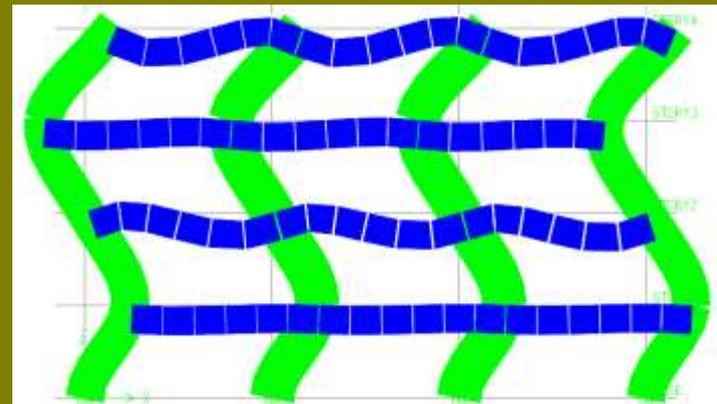


PLANO
ESTRUCTURAL

Modo
2



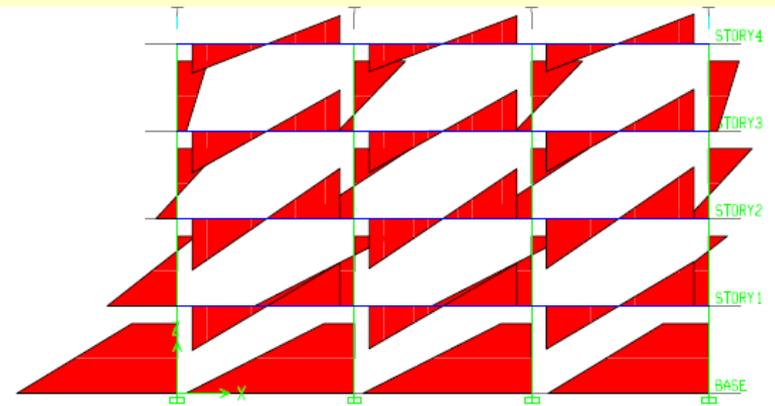
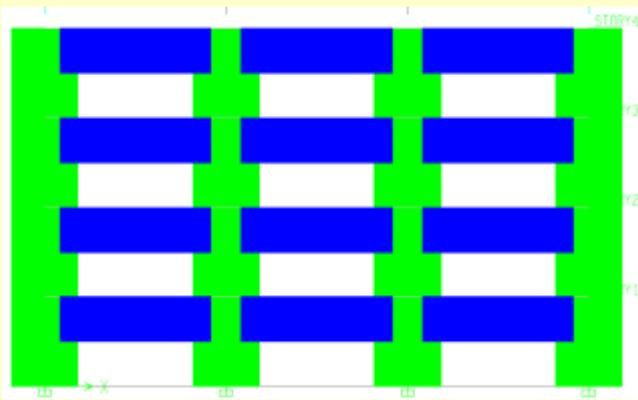
Modo
3



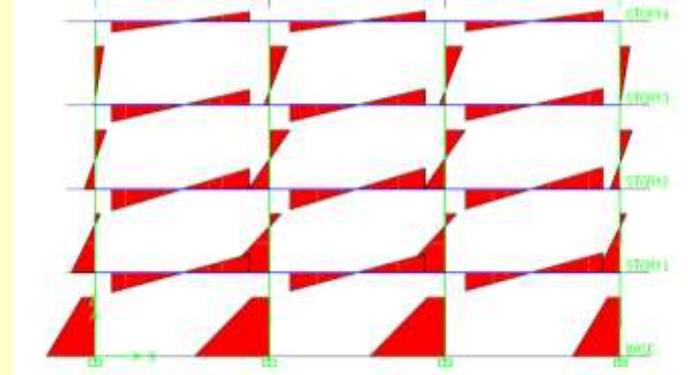
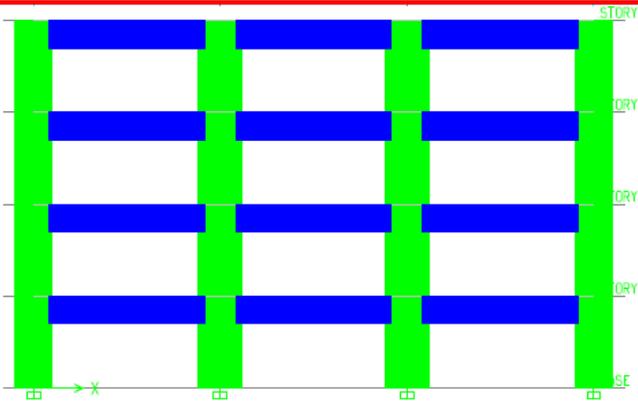
Dinámico Espacial

DISEÑO SISMORRESISTENTE

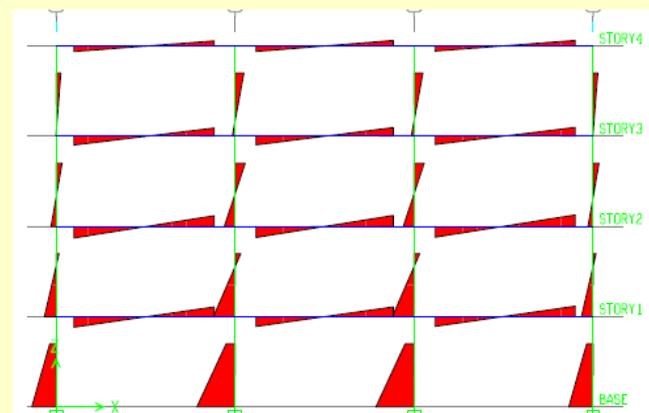
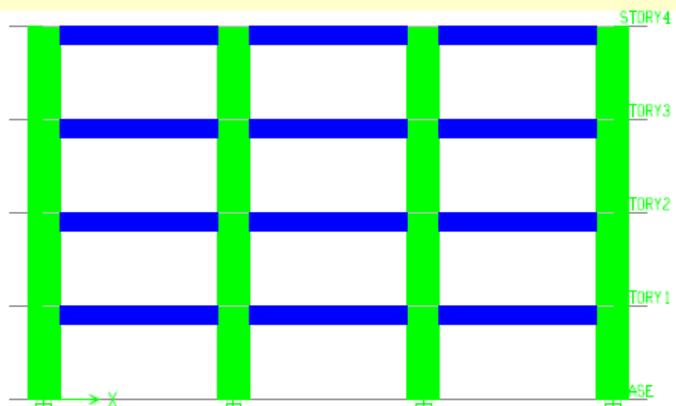
DISEÑO
ELÁSTICO



DISEÑO
INELÁSTICO



DISEÑO
INNOVADO
R (S.P.S.)



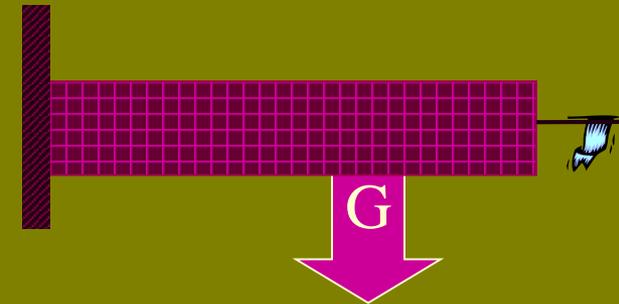
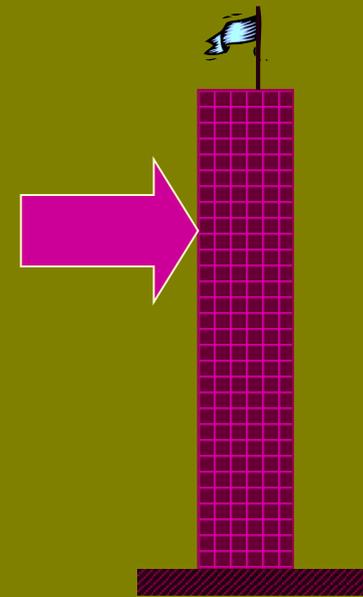
DISEÑAR

DISEÑO SÍSMICO

- Configuración
- Movimiento del suelo
- **Reacción del Edificio**
- Influencia de la configuración
- Irregularidades significativas
- Irregularidades en planta (esquinas interiores)
- Irregularidades verticales (escalonados)
- Discontinuidad de Resistencia y Rigidez
- Colindancia

REACCIÓN DEL EDIFICIO

- Inercia
- **Período y Resonancia**
- Amortiguamiento
- Ductilidad
- Torsión
- Resistencia
- Sistemas Resistentes
- **Diafragmas**
- Tabiques
- Pórticos
- Elementos no Estructurales



REACCIÓN DEL EDIFICIO PERÍODO

REACCIÓN DEL EDIFICIO

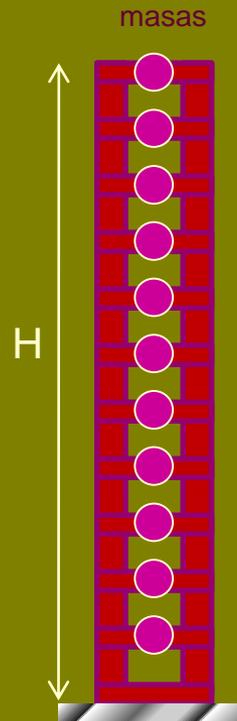
• **Inercia:** $F = \text{masa} \times \text{Aceleración}$ → colapsa por el peso

• **Período y Resonancia** (naturaleza dinámica del movimiento):

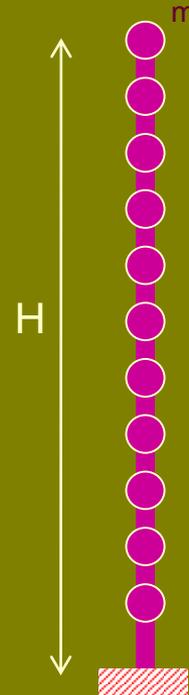
- T_0
- Frecuencias del terremoto
- Resonancia
- “Sintonizar” el edificio



Edificio Real



Esquema 1 Plano Resistente



Modelo Dinámico. 10 grados de libertad. (DOF)

MODELO DINÁMICO EQUIVALENTE

$M = \text{suma de "m"}$



K

$2/3H$

Modelo Dinámico Equivalente. 1 grado de libertad (1 DOF)

PERÍODO

• **Inercia:** $F = m \cdot A$, colapsa por el peso

• **Período y Resonancia:**

- T_0
- Frecuencias del terremoto
- Resonancia
- “**Sintonizar**” el edificio
- (Ejemplos: Tuned Mass Damper TMD)
- Puente Tacoma
- Puente Milenium Bridge
- Taipei 101

1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{Masa}(M)}{\text{Rigidez}(K)}}$$



ARQUITECTURA



ESTRUCTURA

2

$$T = aH^n$$

Pórticos A° → $a = 0,0724$; $n = 0,80$

Pórticos H° A° → $a = 0,0466$; $n = 0,90$

Triang.-Tabiques → $a = 0,0488$; $n = 0,75$

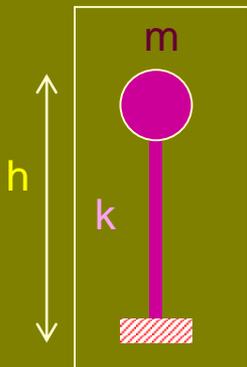
3

$$T = \frac{np}{N}$$

$np = N^\circ$ de pisos

$N = 10$ (Pórticos)

$N = 18$ (Tabiques)



Sistema Original



Altura



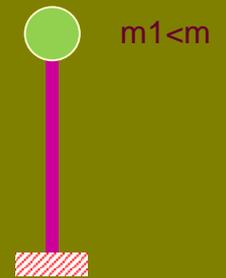
Sección



Material



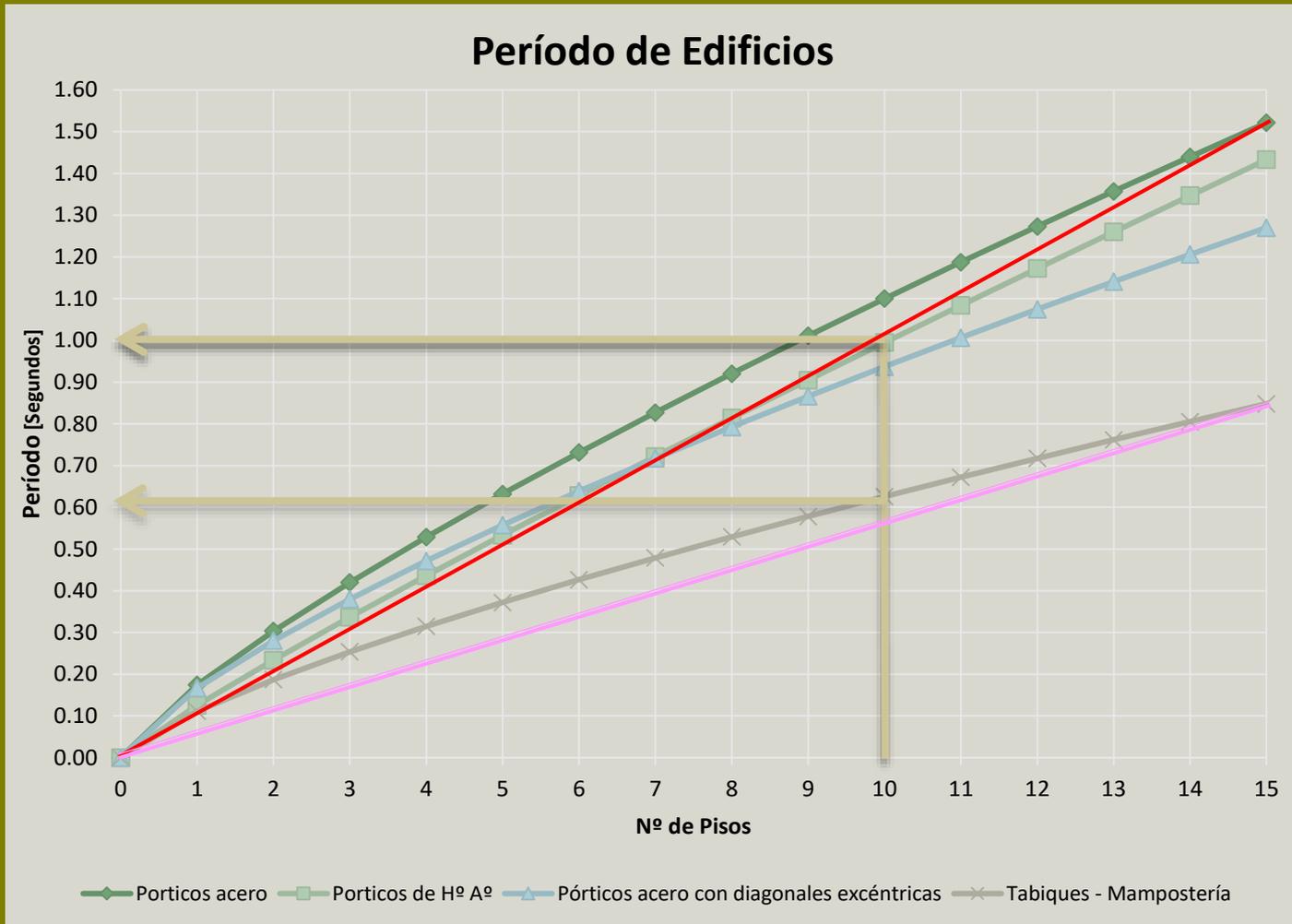
Vínculos
(Fundación)



Modificaciones
en la Masa

Modificaciones en la Rigidez

PROPIEDADES DINÁMICAS



$$T = \frac{np}{N}$$

$np = N^\circ$ de pisos
N = 10 (Pórticos)
N = 18 (Tabiques)

$$T = aH^n$$

Pórticos Aº $\rightarrow a = 0,0724; n = 0,80$
Pórticos Hº Aº $\rightarrow a = 0,0466; n = 0,90$
Triang.-Tabiques $\rightarrow a = 0,0488; n = 0,75$

ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO

REACCIÓN DEL EDIFICIO

- **Inercia:** $F = m \cdot A$, colapsa por el peso

- **Período y Resonancia:**

 - T_0

 - Frecuencias del terremoto

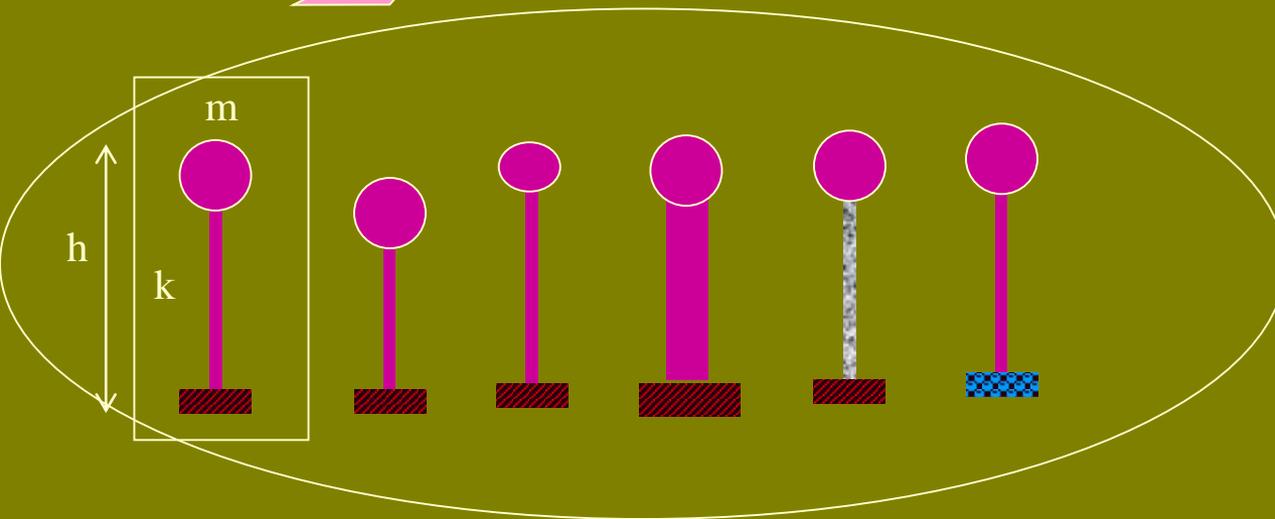
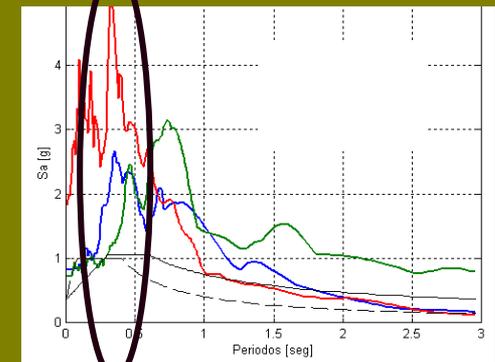
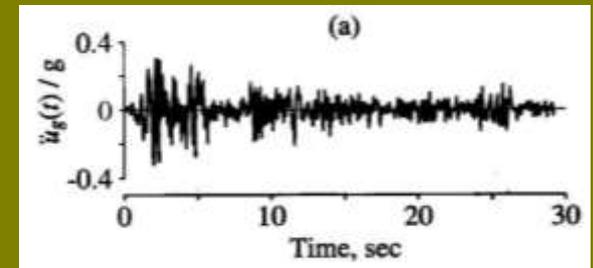
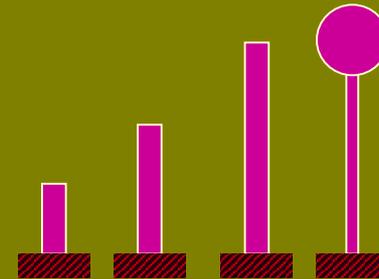
 - Resonancia

 - **“Sintonizar”** el edificio

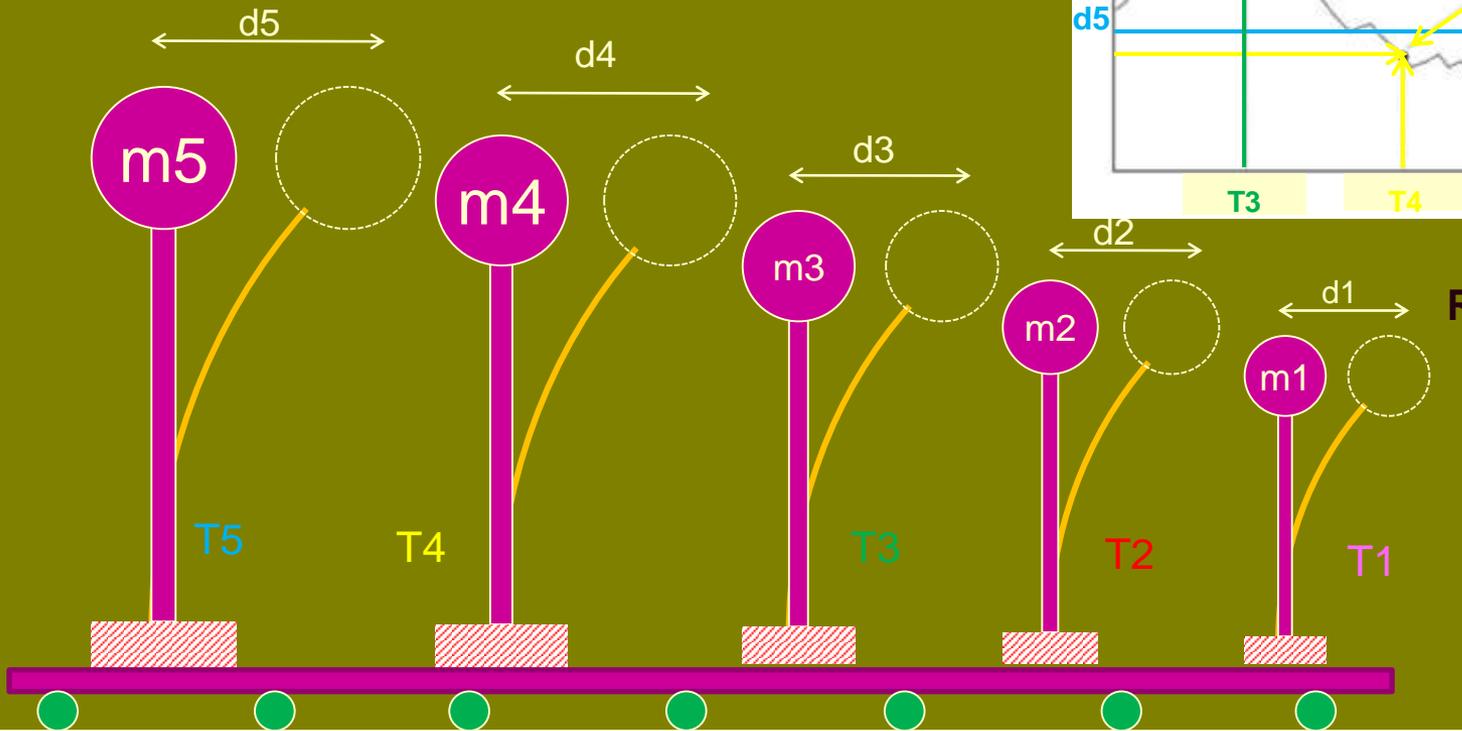
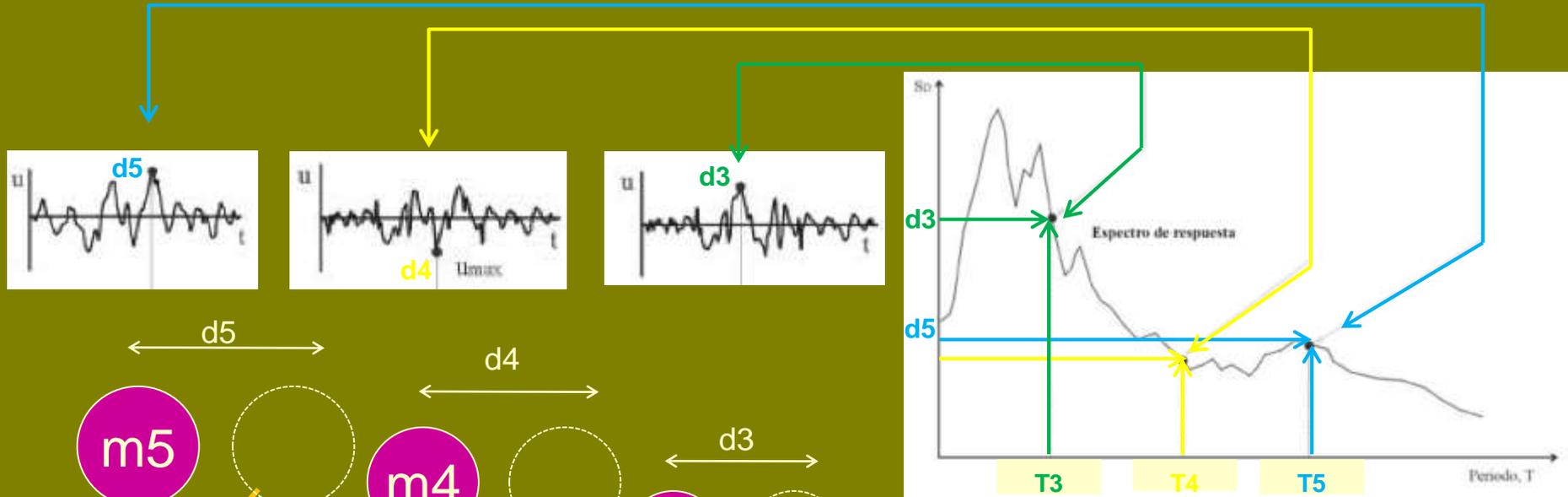
 - Ejemplos:

 - Puente Tacoma

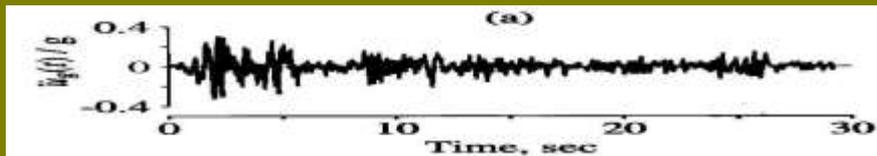
 - Puente Milenium Bridge



ESPECTRO DE RESPUESTA

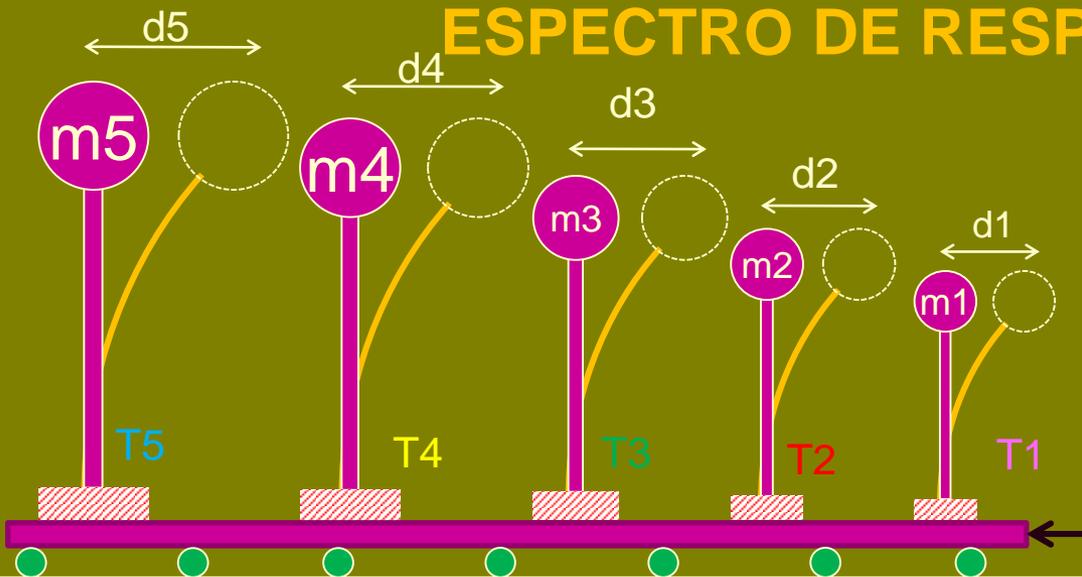


Espectro de Respuesta para un Terremoto

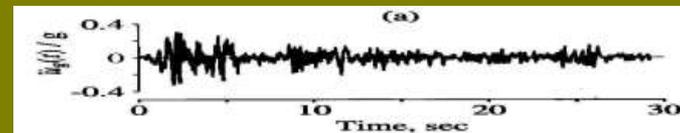


Registro de un terremoto

ESPECTRO DE RESPUESTA

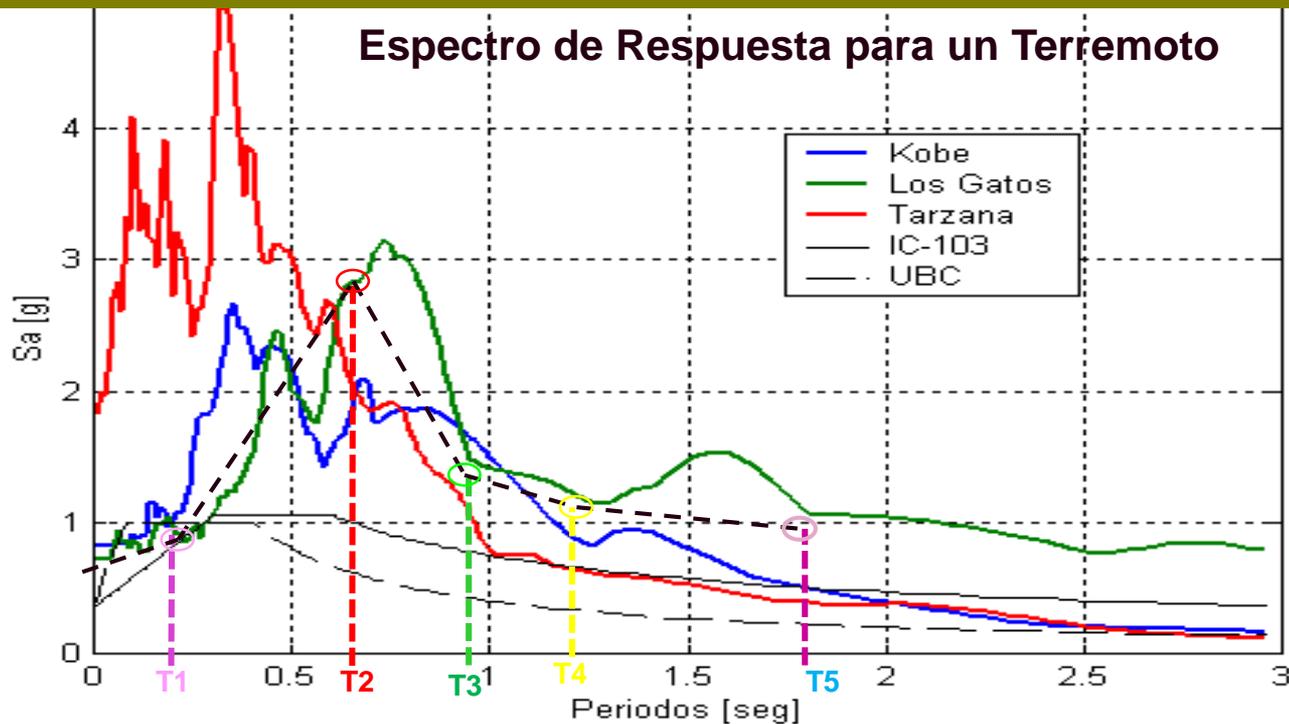


Registro de un terremoto



Actúa en la base de todos los "edificios"

Espectro de Respuesta para un Terremoto



Cada evento tiene propiedades diferentes (contenido de frecuencia)

ESPECTRO DE DISEÑO

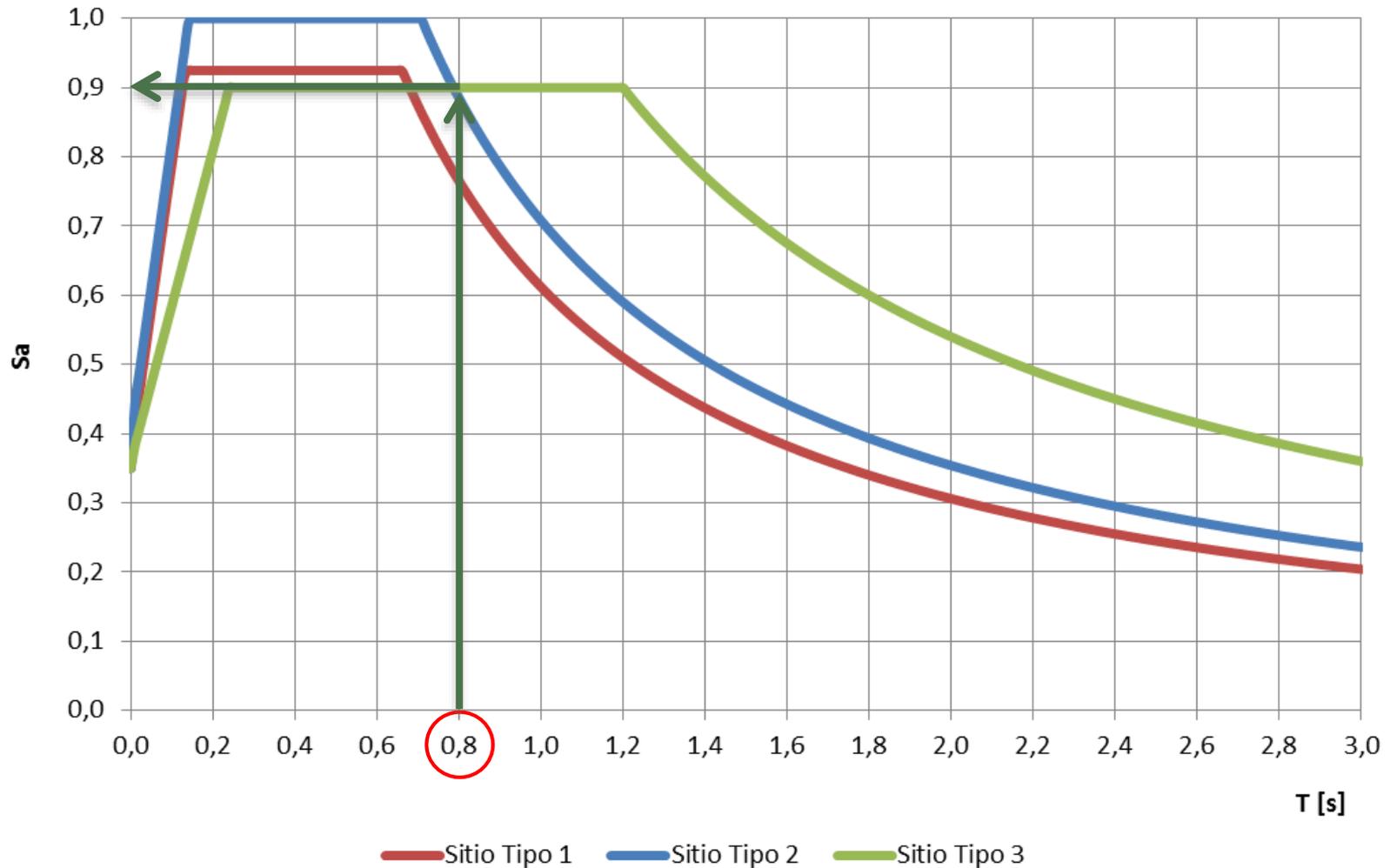


ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA		
ZONA	PELIGROSIDAD SÍSMICA	ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO
0	MUY REDUCIDA	0,04 g
1	REDUCIDA	0,10 g
2	MODERADA	0,18 g
3	ELEVADA	0,25 g
4	MUY ELEVADA	0,35 g

ESPECTRO DE DISEÑO

Aceleraciones (Zona 4)

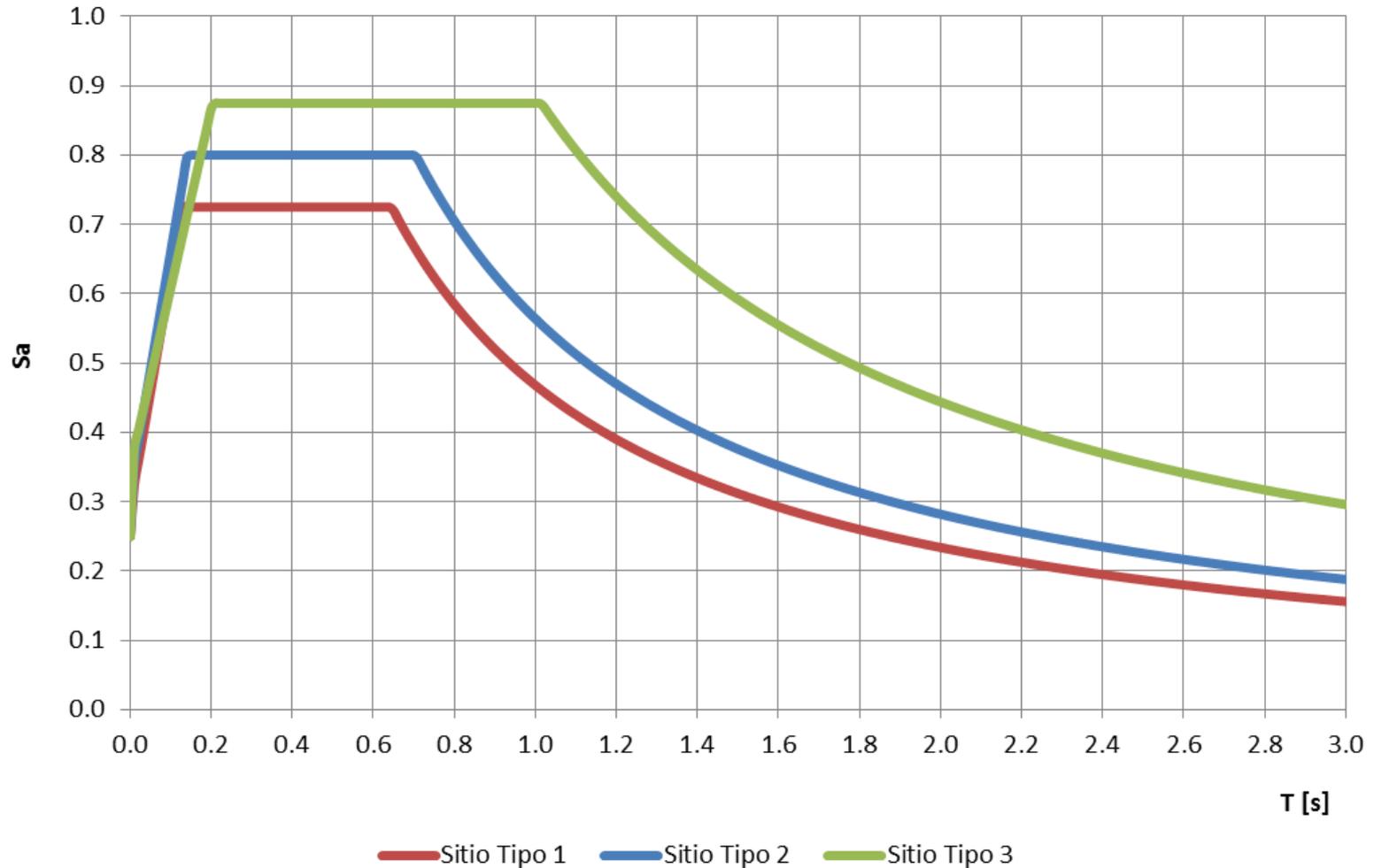
ESPECTRO DE ACELERACIONES (Zona 4)



ESPECTRO DE DISEÑO

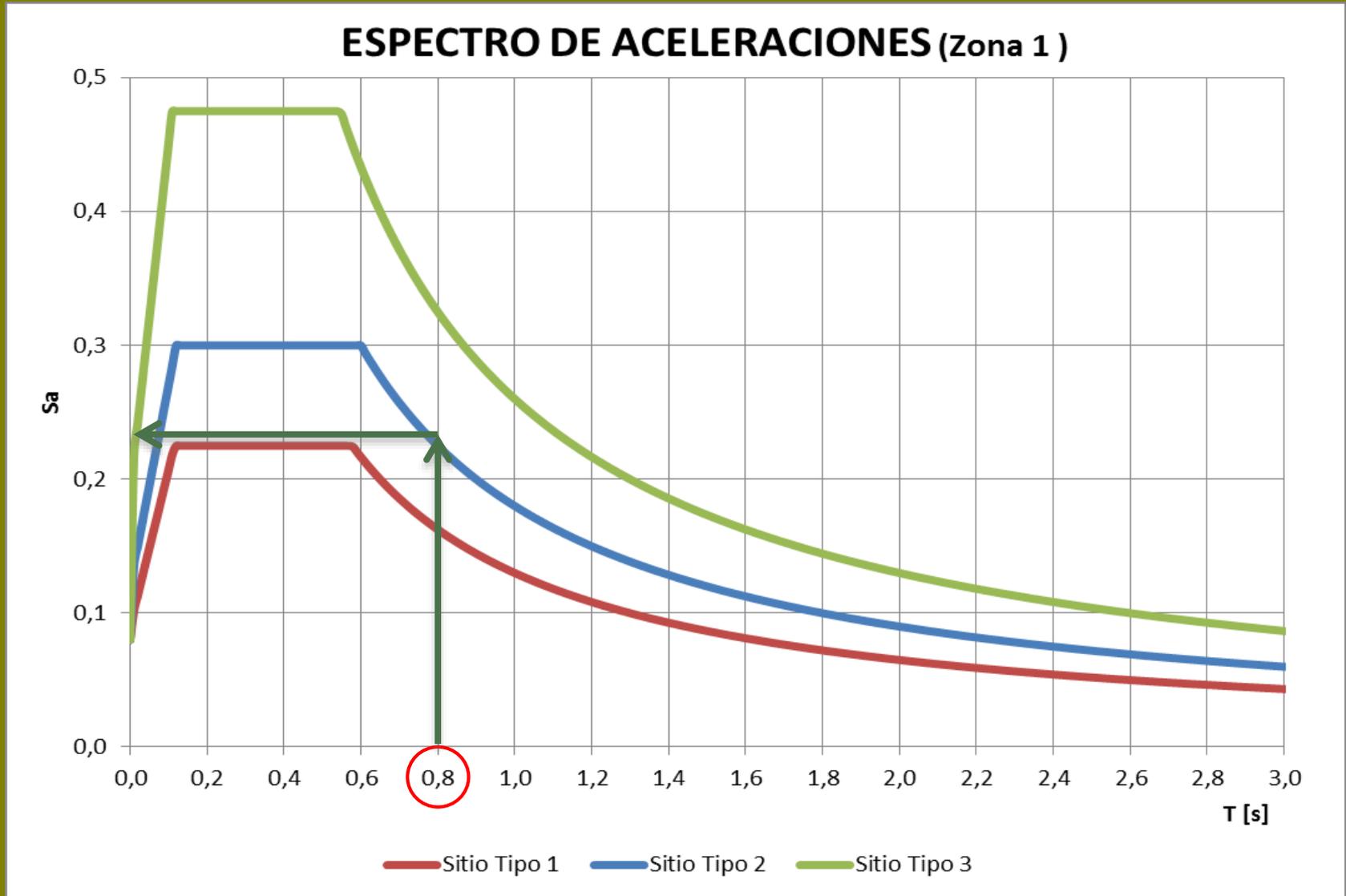
Aceleraciones (Zona 3)

ESPECTRO DE ACELERACIONES (Zona 3)



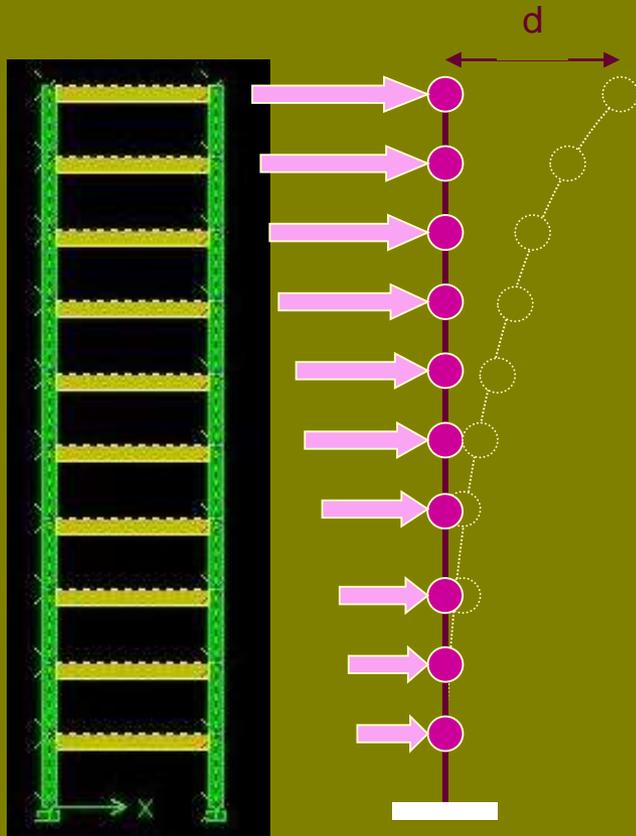
ESPECTRO DE DISEÑO

Aceleraciones (Zona 1)



DISEÑO INELÁSTICO
DISEÑO DEL MECANISMO
DE PLASTIFICACIÓN

MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN



VISTA

- Cómo deforma?
- Cómo disipa energía?
- **Dónde** disipa energía?



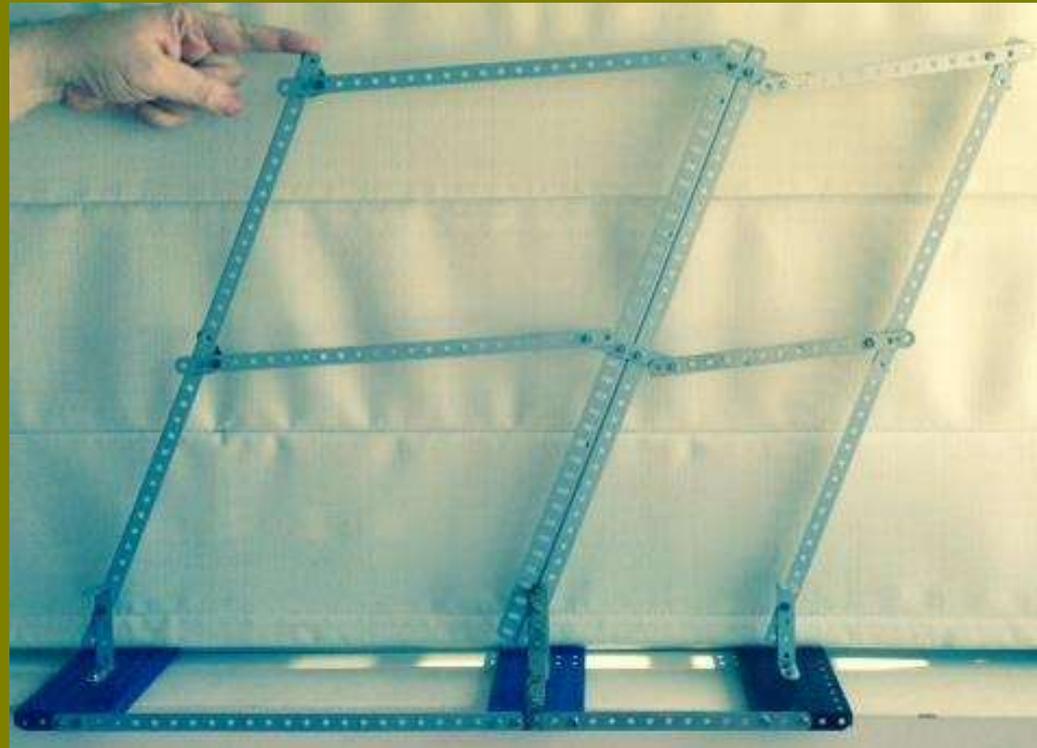
Diseño del
Mecanismo de Plastificación

MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN



Plano Estructural sin deformar

Pórtico



Plano Estructural deformado

MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN

● **Rótula Plástica**



- Puntos de **Disipación** de Energía
- Protección de fallas **Frágiles**
- Factores de Comportamiento **R** y **Cd** (Tabla 5.1-IC 103)
- Dependen del **Tipo Estructural**

Ángulo de Rotación Inelástica

Nudo $\rightarrow 90^\circ$

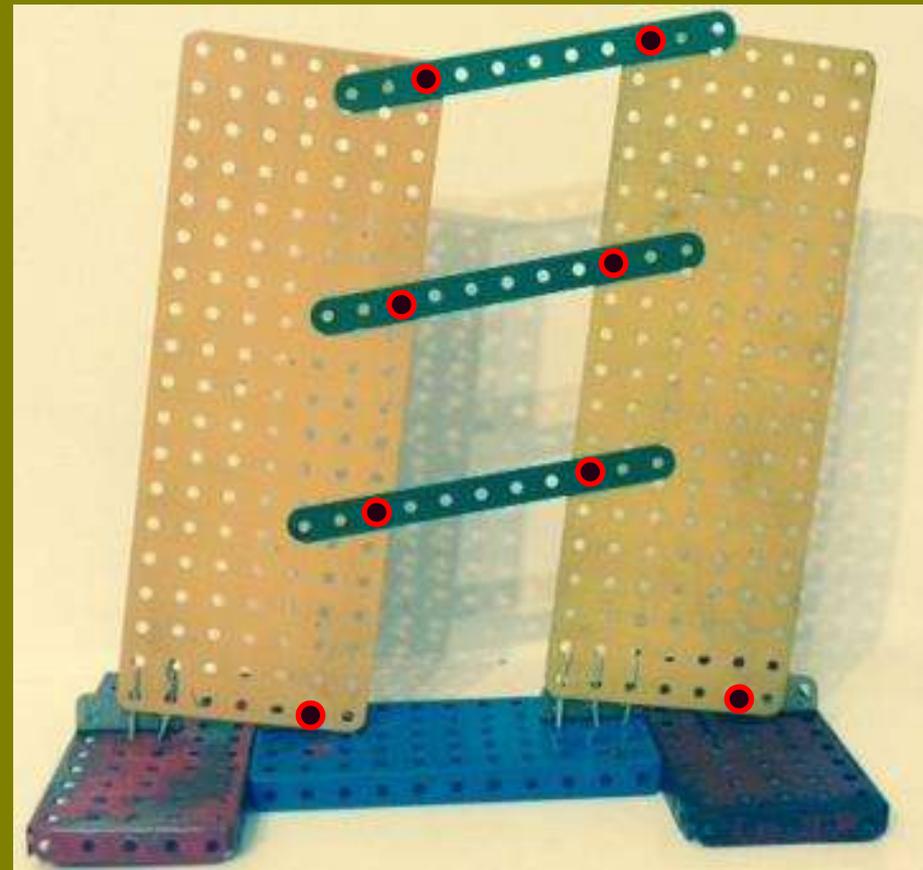
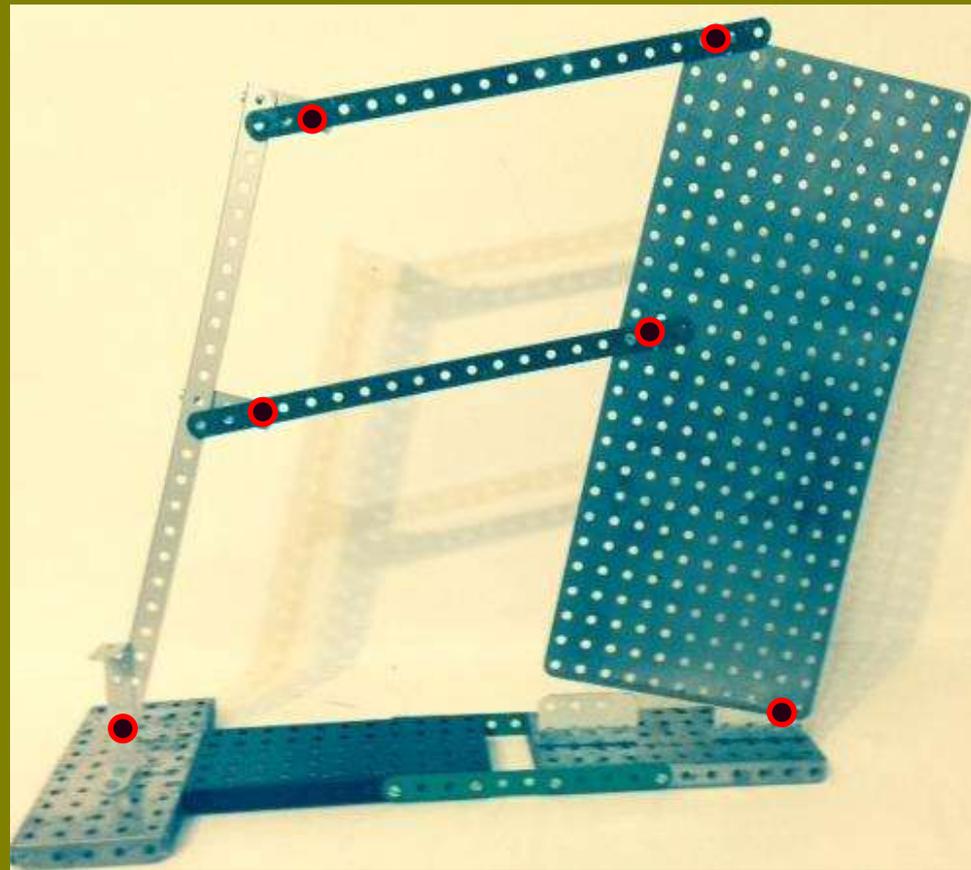
Estructura móvil \rightarrow Mecanismo de Plastificación

Nº rótulas = 11

R = 7

Cd = 5,5

MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN



Mecanismo de Plastificación

Estructura Dual: Pórtico – Tabique

Nº rótulas = 6 $R = 6$ $Cd = 5$

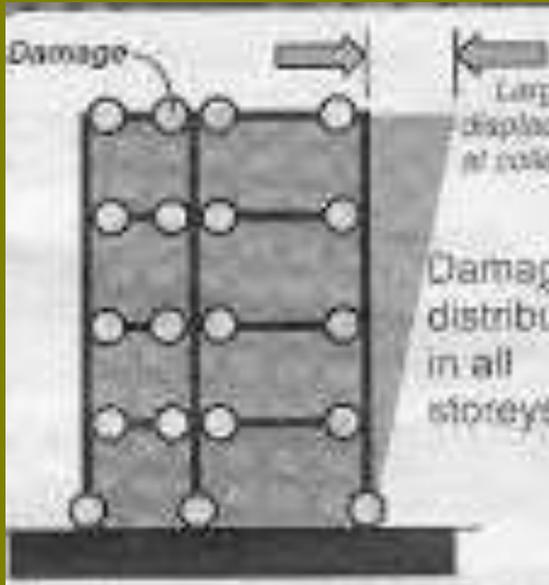
Mecanismo de Plastificación

Tabique Acoplado con vigas

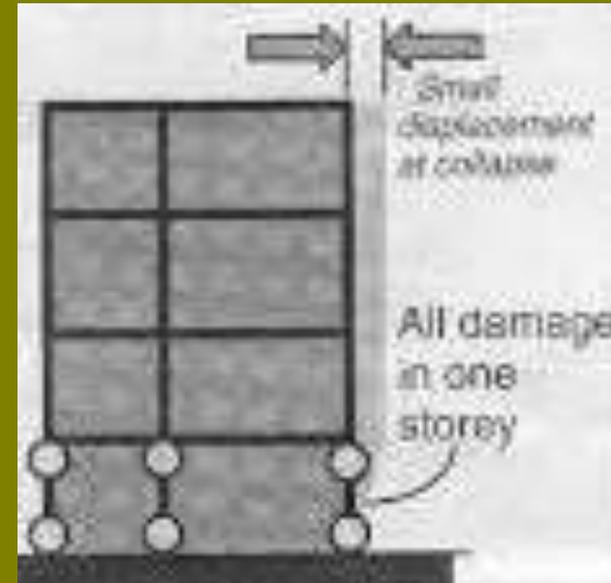
Nº rótulas = 8 $R = 5 \text{ a } 7$ $Cd = R$

MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN

- Puntos de **Disipación** de Energía
- Protección de fallas **Frágiles**
- Rótulas estables (histéresis)
- Evitar mecanismos de piso (piso débil)



Viga débil – Columna Fuerte
Daño distribuido



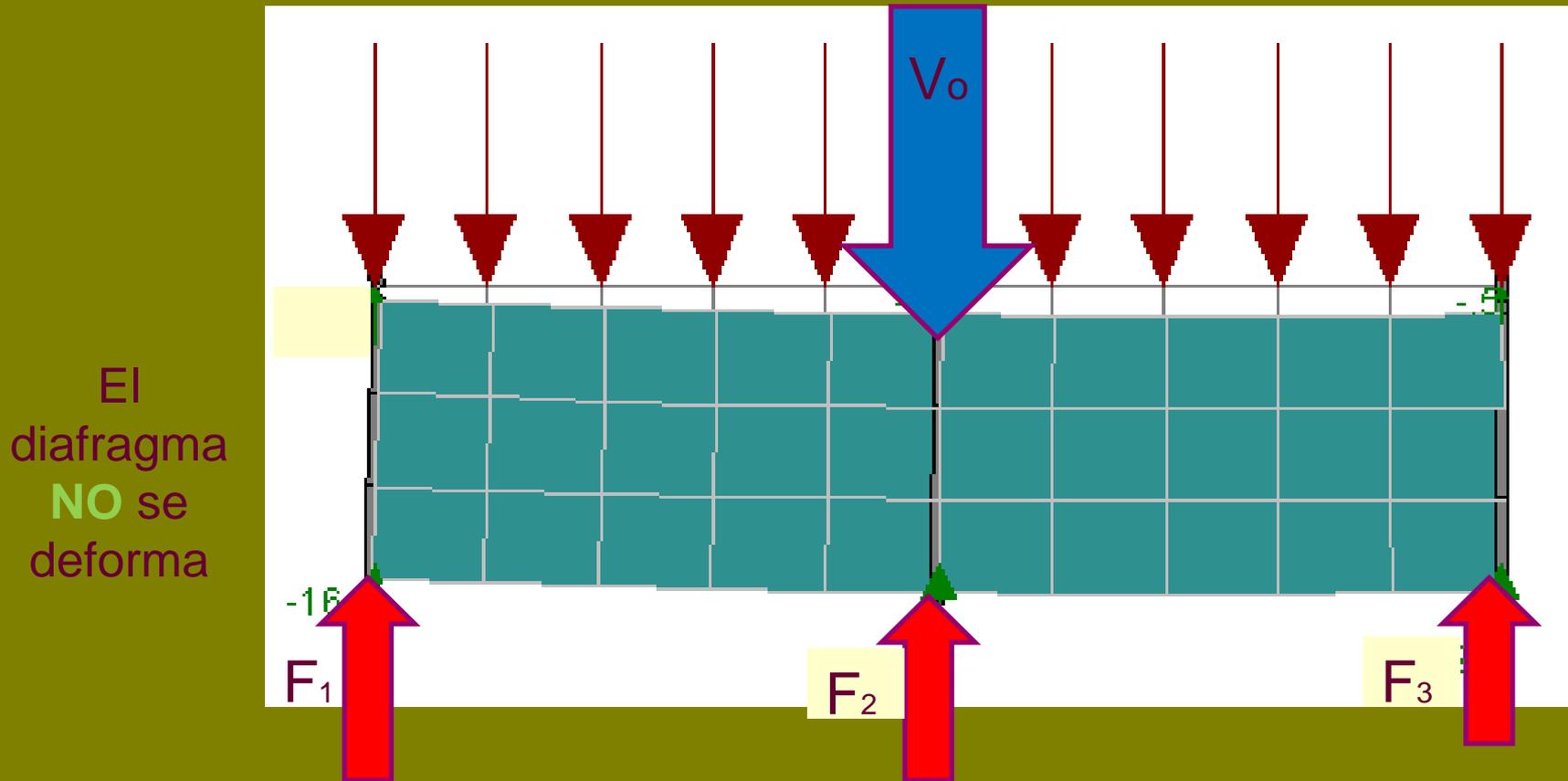
Mecanismo de Piso
Daño concentrado

DISEÑO SÍSMICO CONVENCIONAL

DISEÑO SÍSMICO CONVENCIONAL

- Prop. dinámicas del edificio
 - Espectro Elástico y Reducción
 - Coeficiente Sísmico (Riesgo)
 - Corte Sísmico Basal
 - Distrib. de Fuerzas en altura
 - Deformabilidad de Diafragmas
 - Distribución en planta:
 - Diafragma rígido
 - Diafragma flexible
 - Control de distorsión
- Período
 - Códigos. Ductilidad Destino del Edificio
 - $V = C.W$
 - $F_{si} = V \cdot [m_i \cdot h_i / \sum (m_i \cdot h_i)]$
 - Rígidos o flexibles:
 - Dimensiones, agujeros, esquinas
 - Corte + Torsión
[Torsión baja → por áreas elementos]
 - Corte sin Torsión
[Por área tributaria]
 - Deformaciones últimas → c_d

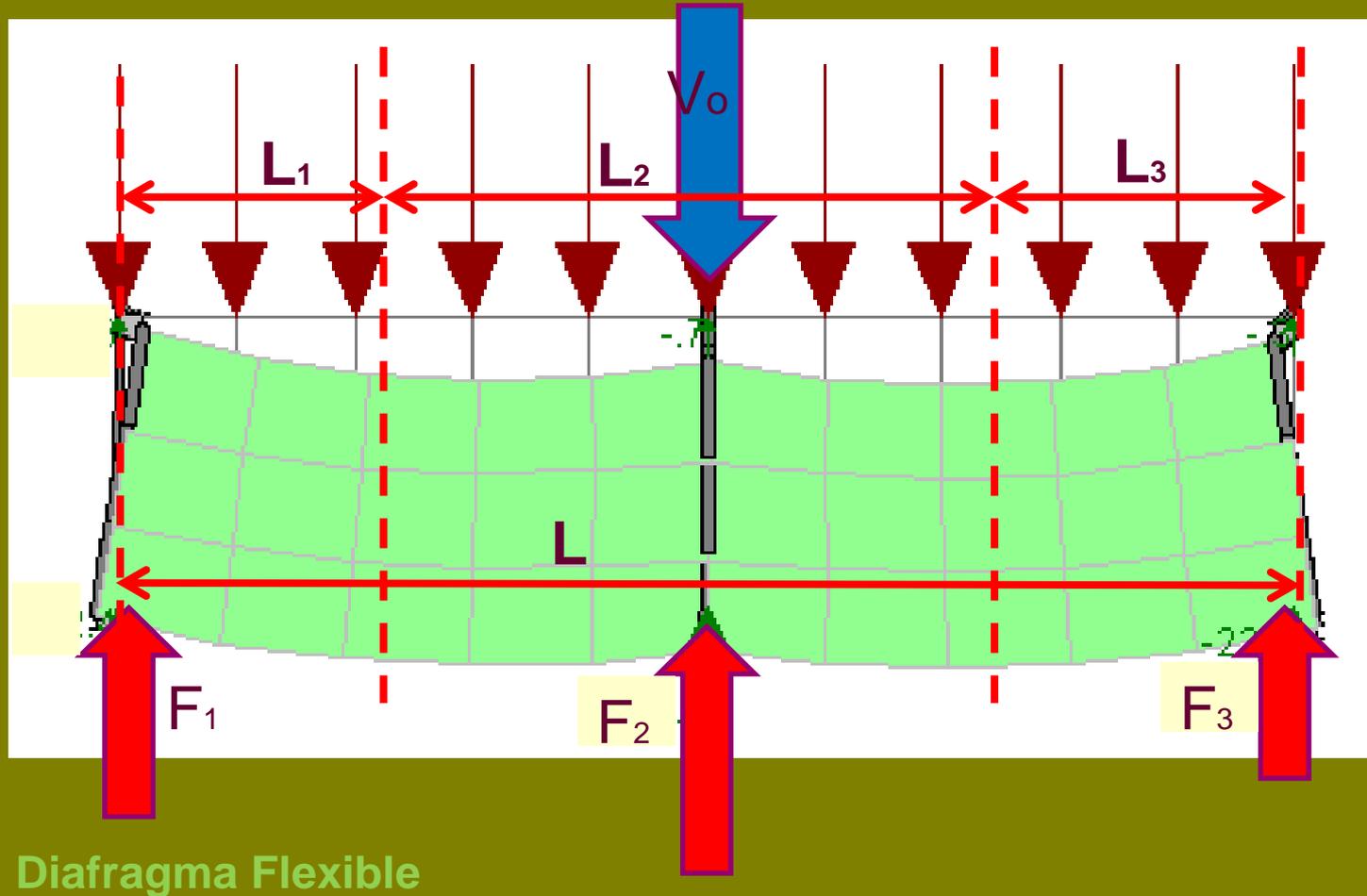
DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS EN PLANTA



Diafragma Rígido

1. General → Distribución de Fuerzas por Rigidez Relativa
2. Si $Exc. < 5\%$ → Distribución Simplificada por **Áreas** de los elementos (métodos gráficos)

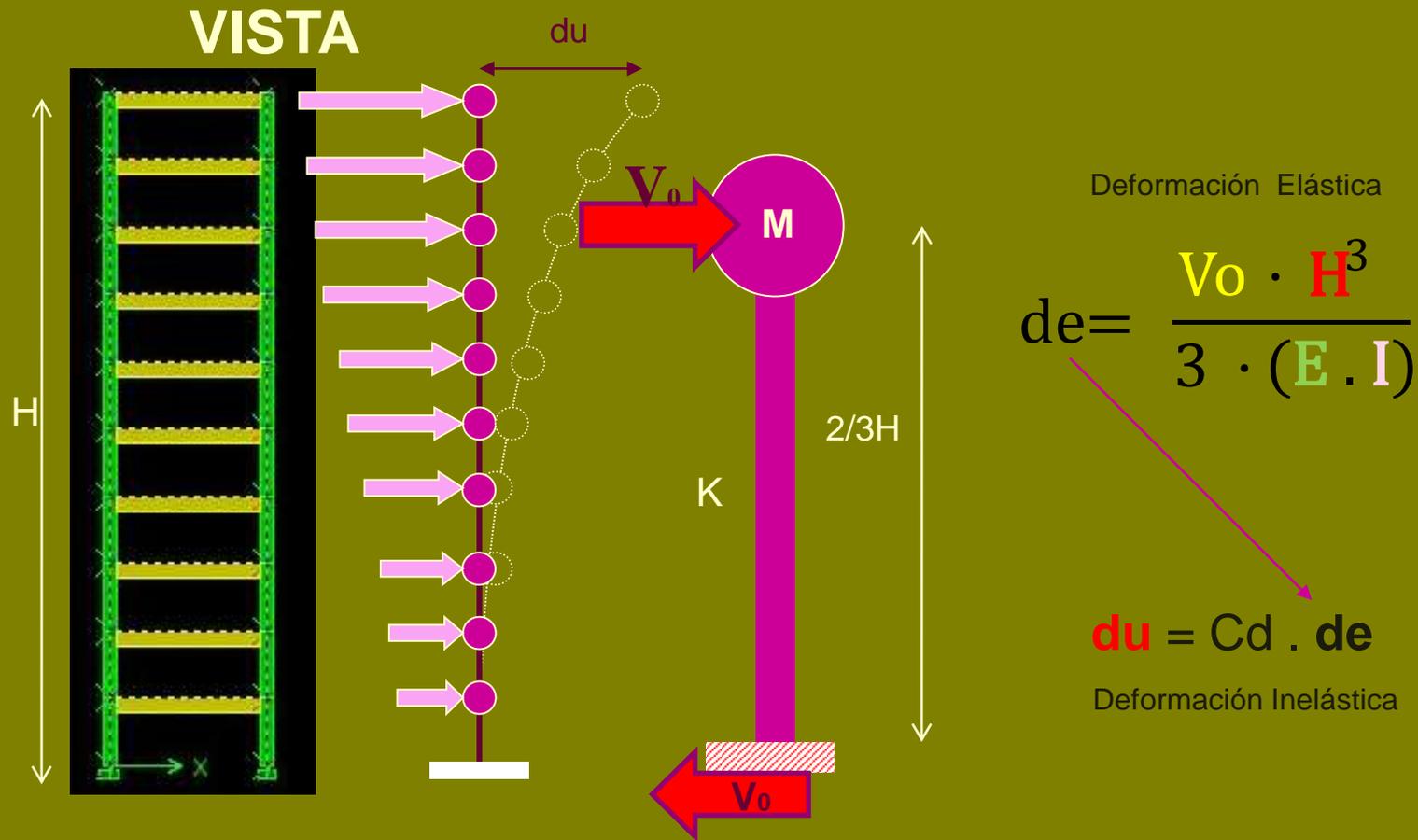
DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS EN PLANTA



Distribución de Fuerzas Sísmicas por Área o Ancho Tributario

$$F_1 = (L_1/L) V_o ; \quad F_2 = (L_2/L) V_o ; \quad F_3 = (L_3/L) V_o$$

CONTROL DE DEFORMACIONES



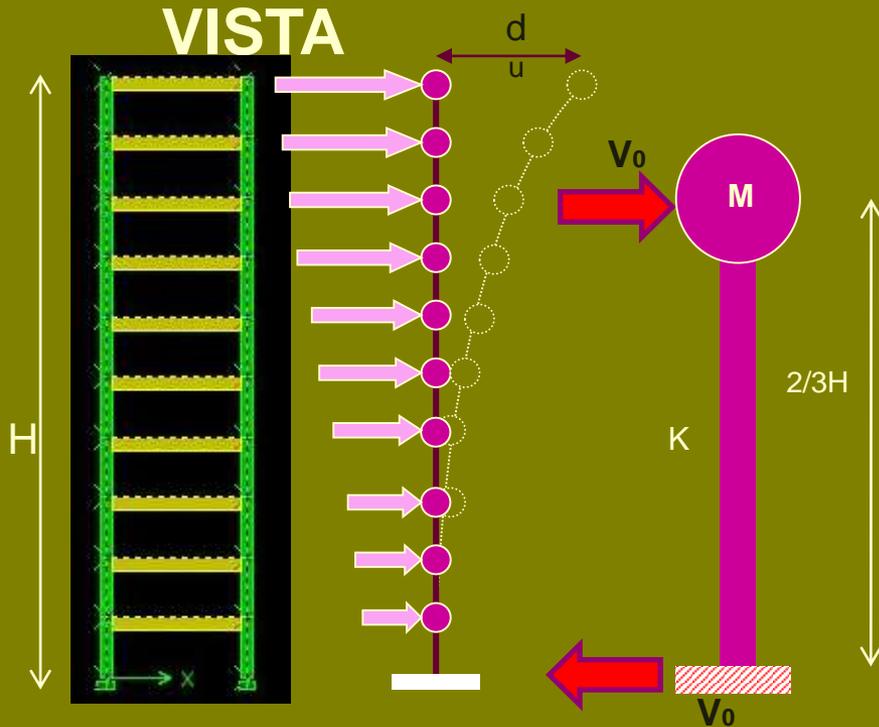
V₀ = Fuerza Sísmica Total (Corte Basal)

H = Altura del Edificio (2/3 H)

E = Módulo Elasticidad Material

I = Suma de Momentos de Inercia de Elementos Estructurales en planta

CONTROL DE DEFORMACIONES



$$du = Cd \cdot de \quad \text{Deformación Inelástica}$$

Control del Daño

$$\text{Distorsión de piso } \theta = (du_{\text{sup}} - du_{\text{inferior}}) / H_{\text{piso}}$$

$$\text{Deformación máxima } du < H / \mathbf{xx}$$

(**xx** = entre 50 y 100)

Por ej. Edificio de 10 pisos x 3m \rightarrow H = 30m

$$\text{Def. máx} = 30 \text{ m} / 100 = 0.30 \text{ m.}$$

$$\text{Def. por piso} = 0.30/10 = 0.03\text{m/piso}$$

$$\theta = (0.03\text{m}/3.00\text{m}) \times 1.5 = \mathbf{0.015}$$

Tabla 6.4. Valores limite de la distorsión horizontal de piso θ_{sk}

Condición	Grupo de la construcción	
	A ₀ o A	B
D	0,01	0,015
ND	0,015	0,025

CONCLUSIONES

- Fuerzas Sísmicas → • Muy **Importantes** (vs Viento)
- Espectro Elástico → • Verdadera **Energía**
- Espectro Inelástico → • Fuerzas **Reducidas**
- Reducción de Fuerza → • **Ductilidad** Elementos
- Ductilidad → • **Daño** Estructural y No Estructural
- Proyecto de Daño → • Control de **deformación**
- Control del Daño → • **Detalles** y Construcción



CONFIGURACION Y DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS

Ing E. Daniel Quiroga