



# CONFIGURACION Y DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS

Ing E. Daniel Quiroga

# MOVIMIENTOS DURANTE TERREMOTOS

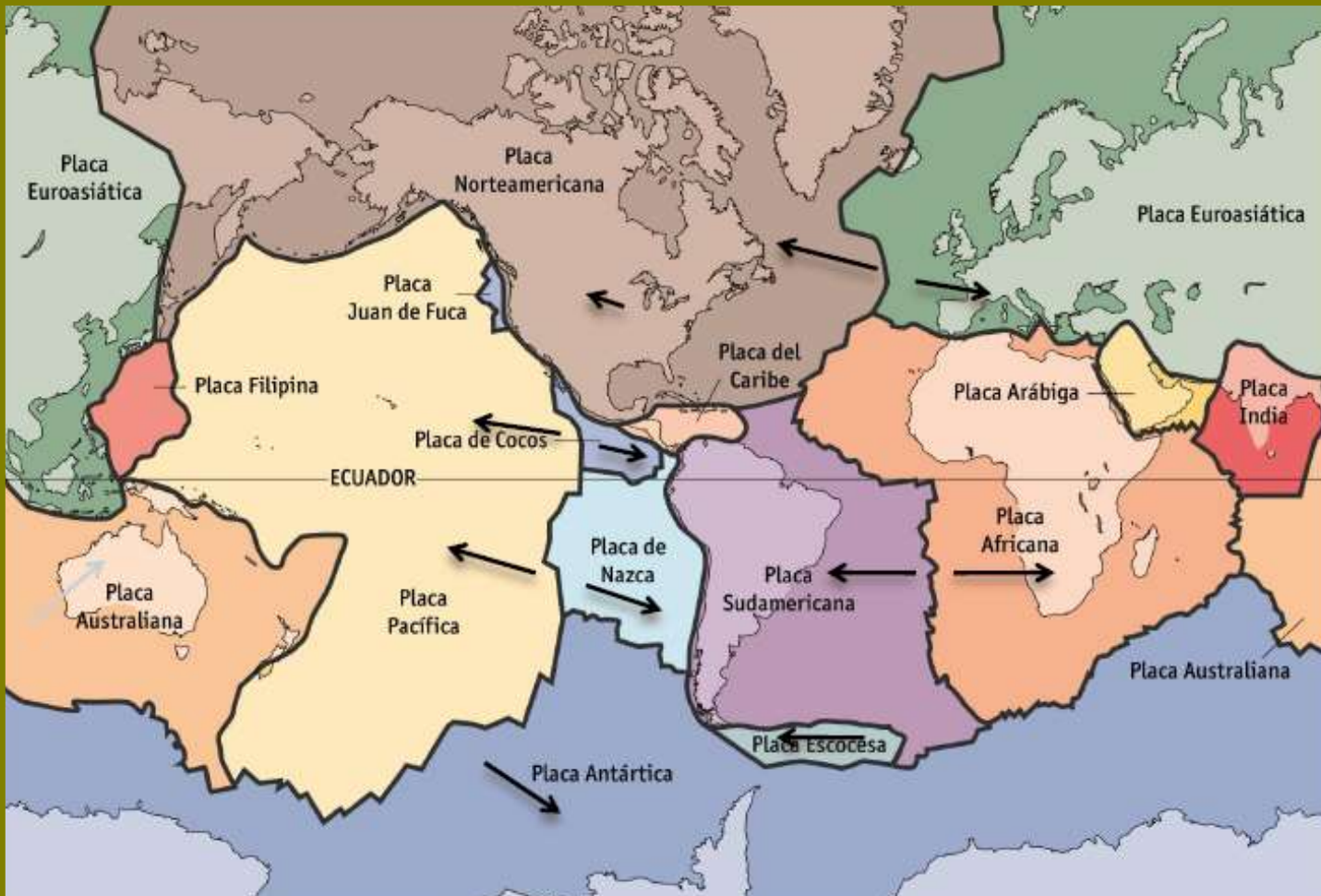


# MÉJICO



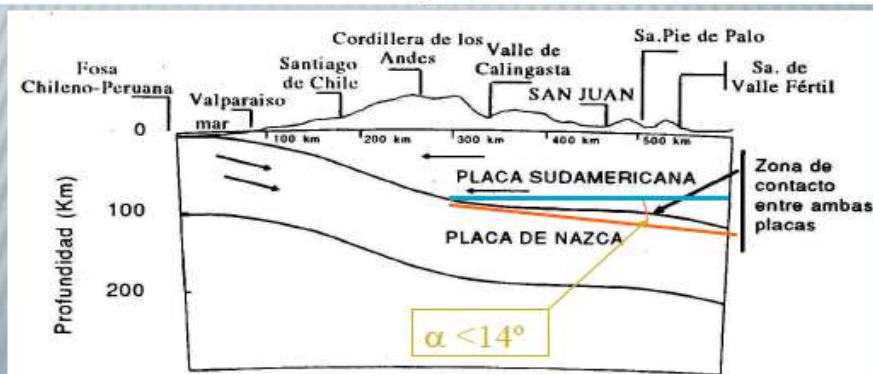
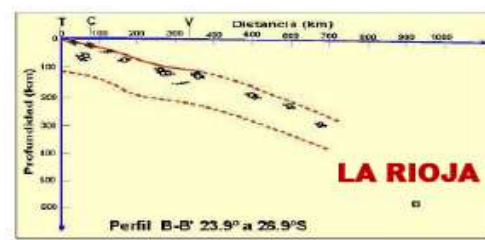
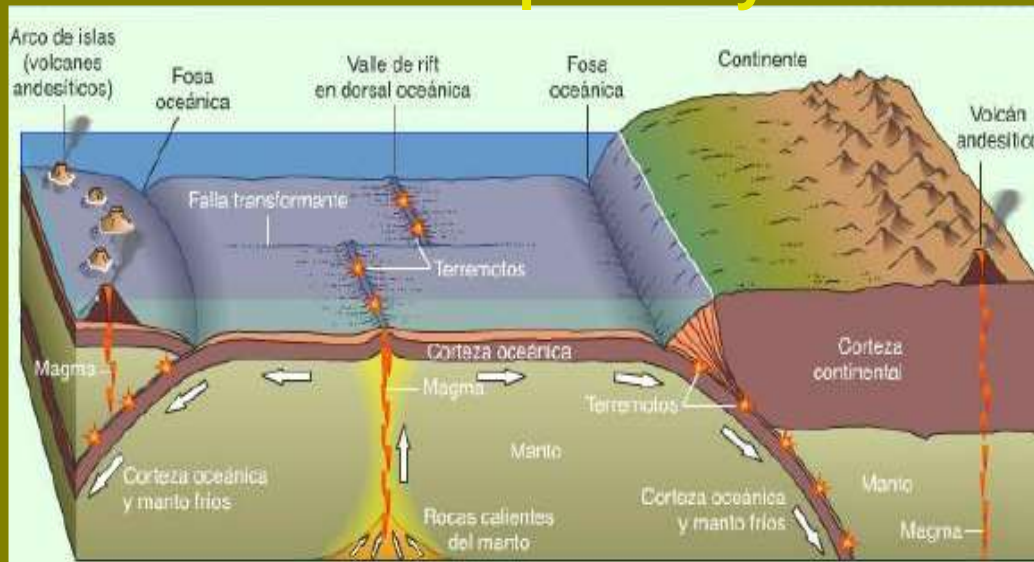
# SISMOLOGÍA

## Tectónica de placas y fallas



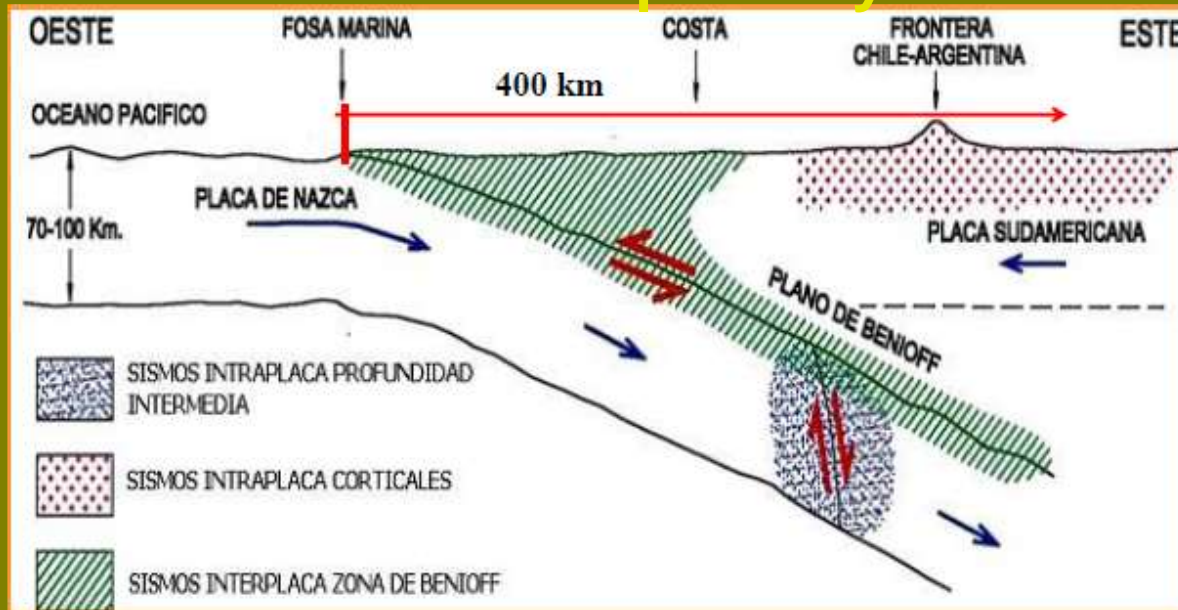
# SISMOLOGÍA

## Tectónica de placas y fallas

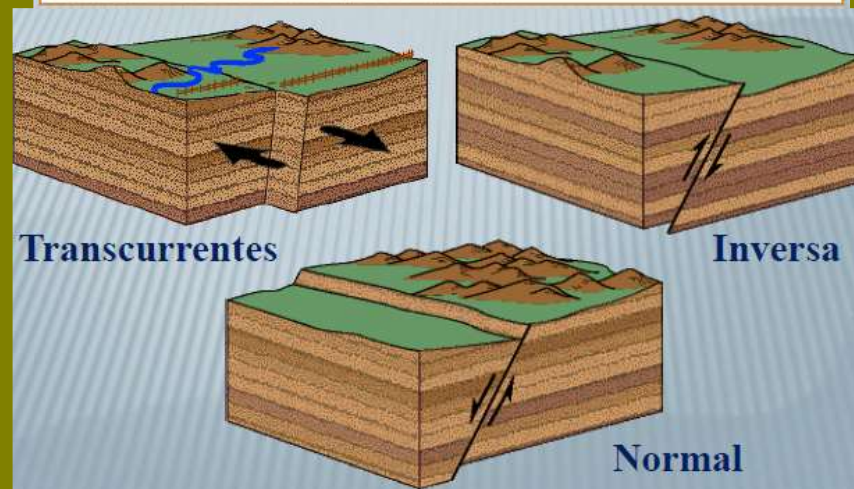


# SISMOLOGÍA

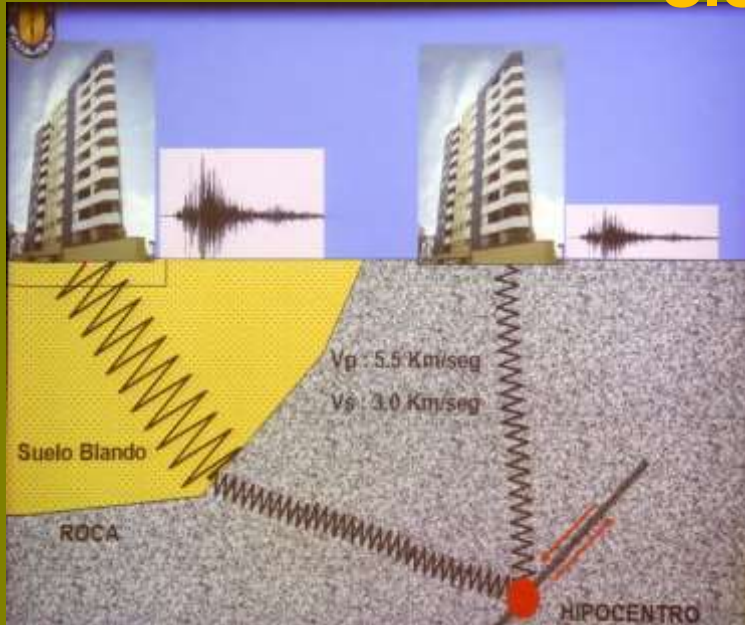
## Tectónica de placas y fallas



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

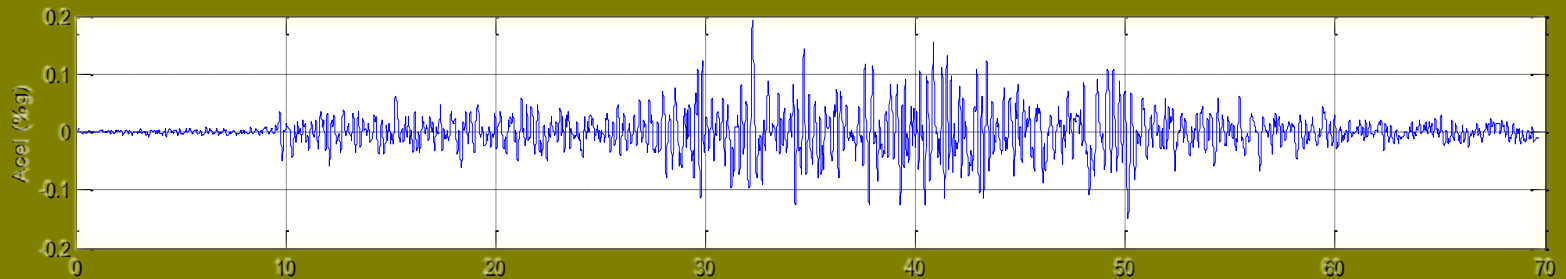


# SISMOLOGÍA

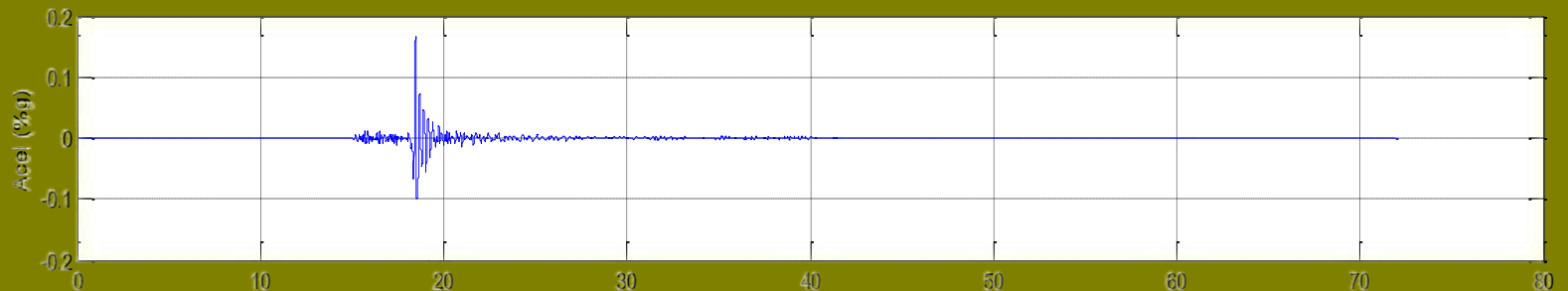


- TERREMOTOS **INTERPLACA**: Se dan en los bordes de placa. Subducción (Chile)
- TERREMOTOS **INTRAPLACA**: Se dan dentro de las placas por fallas locales (Mendoza, Córdoba)

Caucete 1977



Mendoza 2005



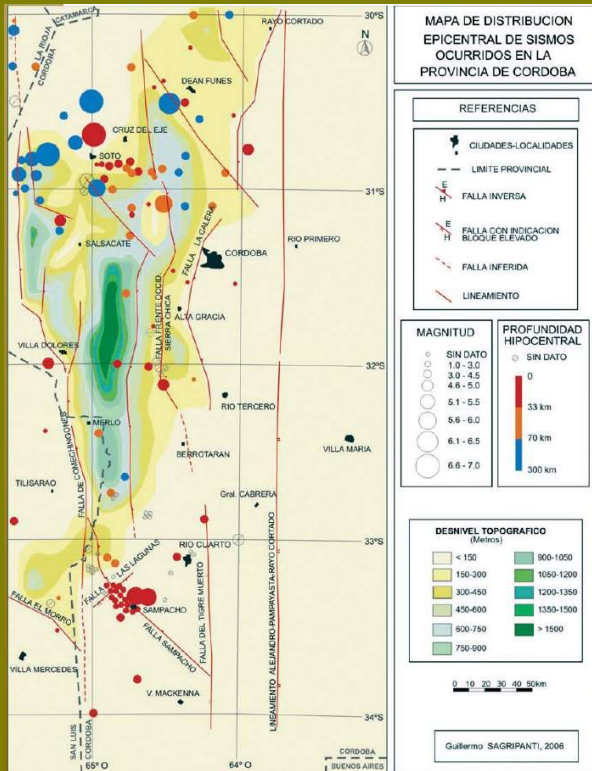
Registros

# 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

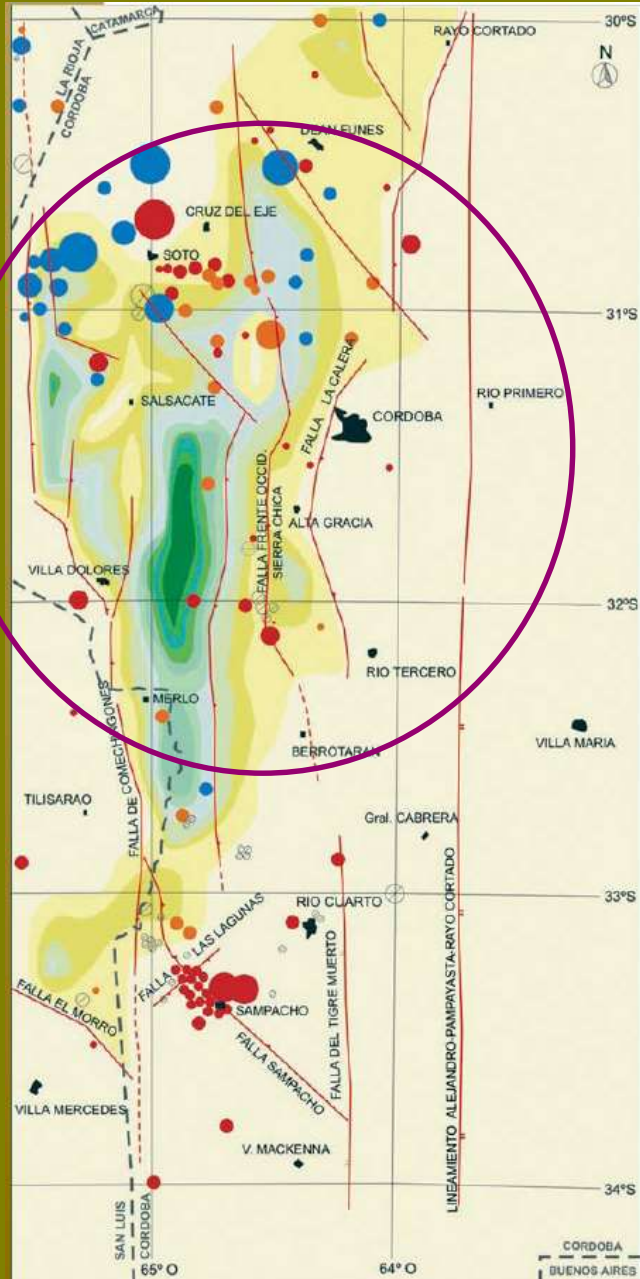
Comparación de Magnitudes

- Mendoza (1985)
- Villa Giardino (1947)





# SISMOLOGÍA

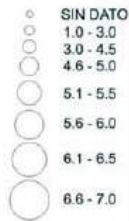


MAPA DE DISTRIBUCION EPICENTRAL DE SISMOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE CORDOBA

## REFERENCIAS

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

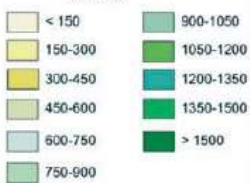
## MAGNITUD



## PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL



## DESIVEL TOPOGRAFICO (Metros)



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

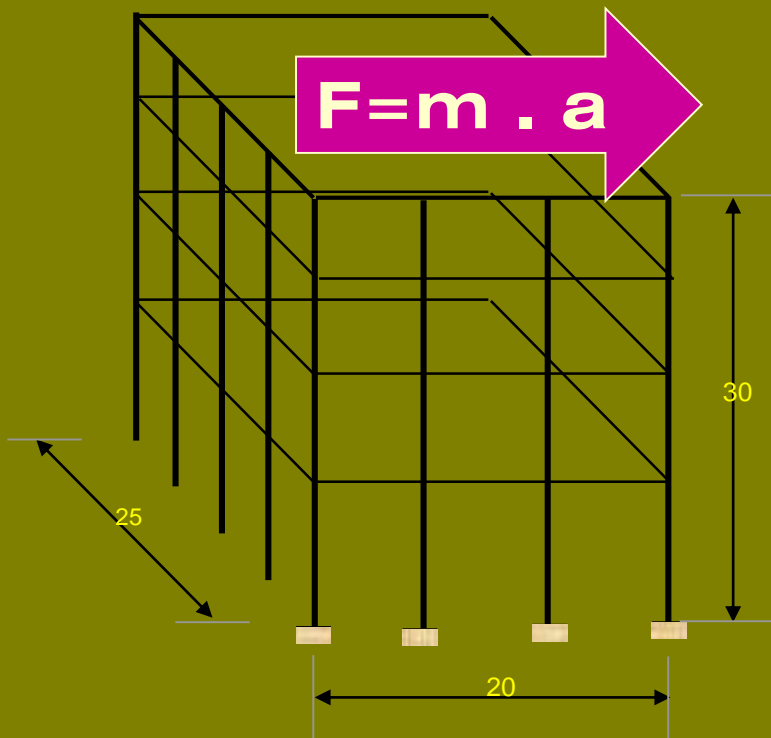


# VIENTO ó SISMO



## VIENTO - SISMO

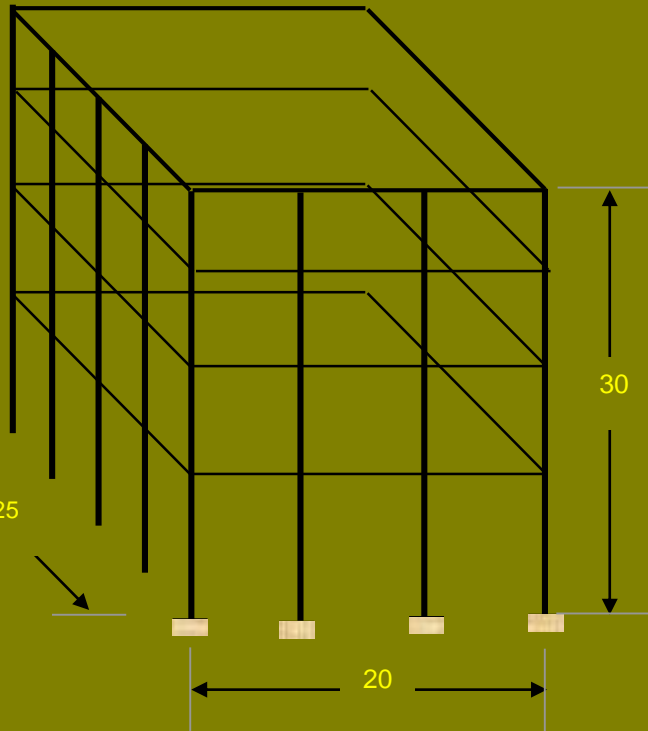
- ¿Se comparan las acciones sísmicas y las de viento?
- ¿Son parecidas en magnitud?



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 =  $200\text{kg/m}^2$

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



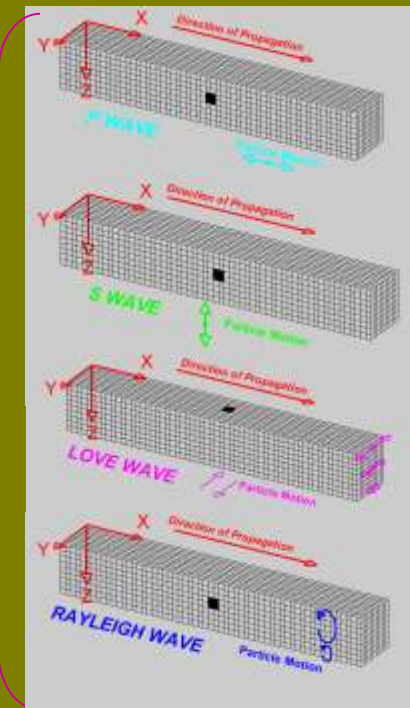
ESTRATEGIAS DE  
DISEÑO  
SISMORRESISTENTE

# 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**

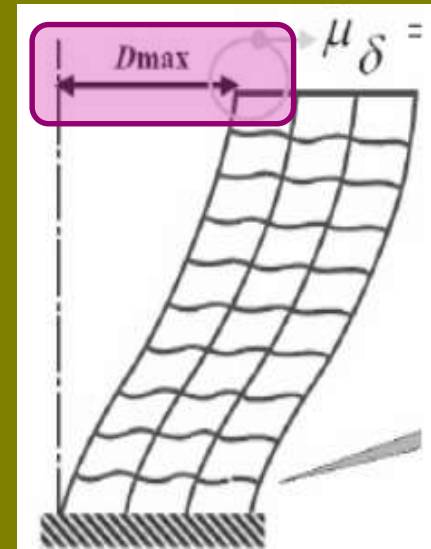






# ☹️ LAS MALAS NOTICIAS !!! ☹️

- 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** ←

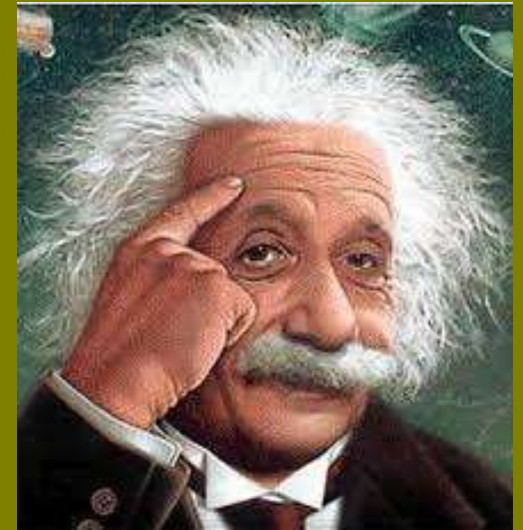
1. **PROYECTO**  
Deformación

→ Regularidad. Detallado. Control

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

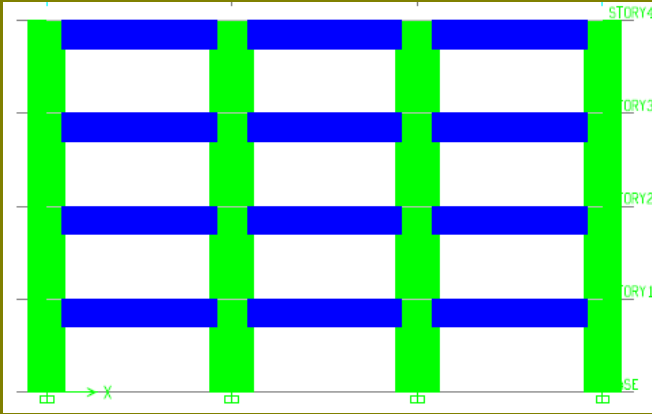
Las acciones sísmicas de diseño, procedimientos de análisis estructural, requisitos de resistencia, rigidez y estabilidad, disposiciones constructivas y previsiones generales se establecen con el propósito principal de evitar colapso total o parcial de la construcción y pérdidas de vida. No se establece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

DISEÑAR  
DISEÑAR  
DISEÑAR

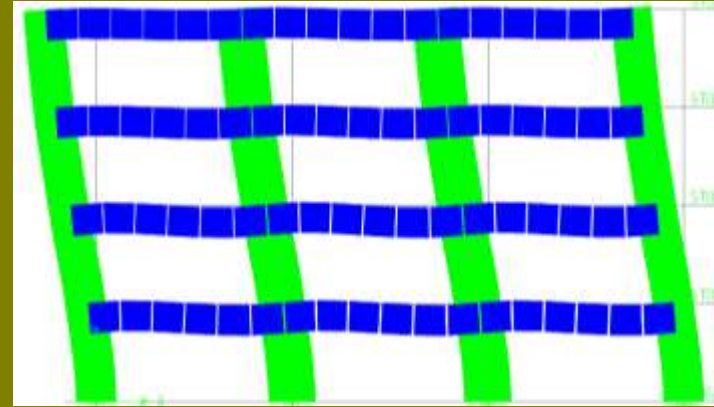


RESPUESTA  
ESTRUCTURAL  
Y ESPECTROS  
DE DISEÑO

# COMPORTAMIENTO DINÁMICO

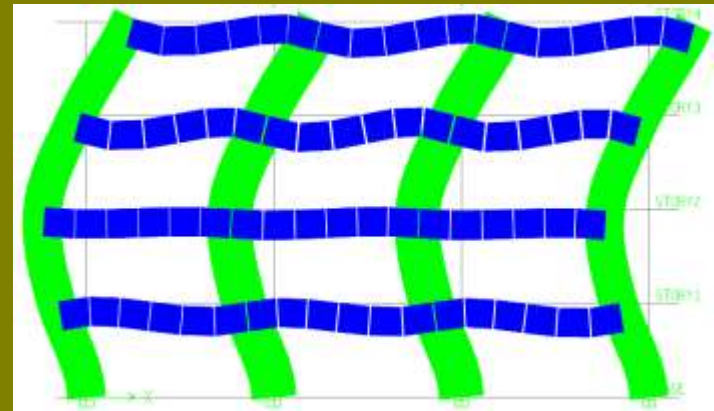


Modo  
1

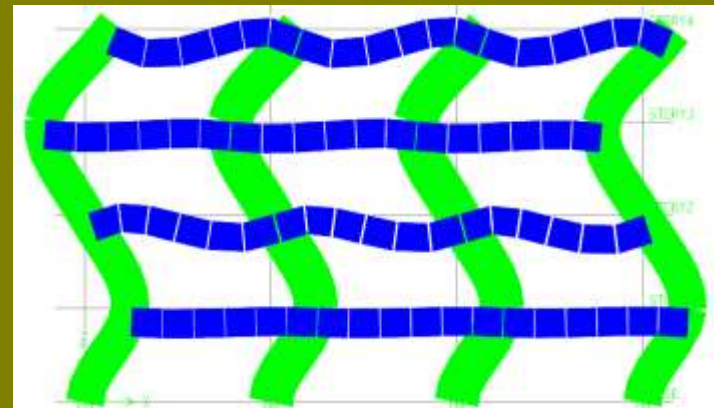


PLANO  
ESTRUCTURAL

Modo  
2



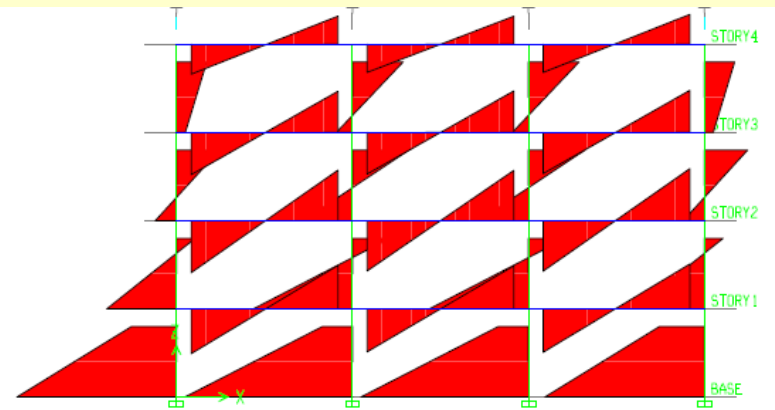
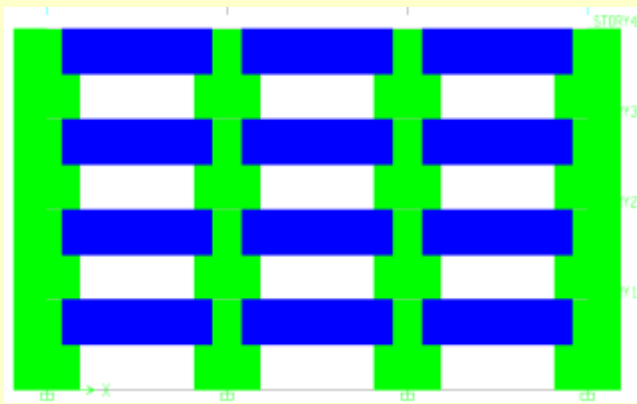
Modo  
3



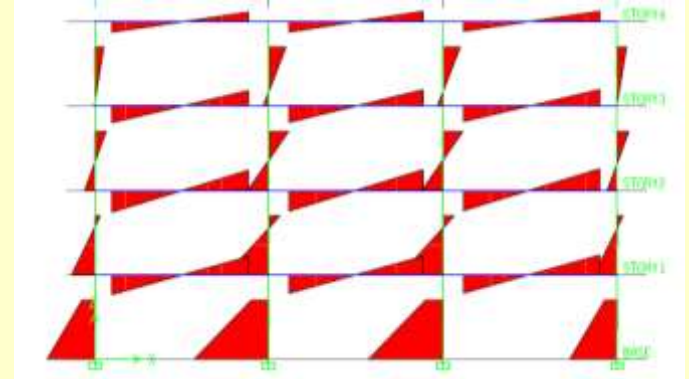
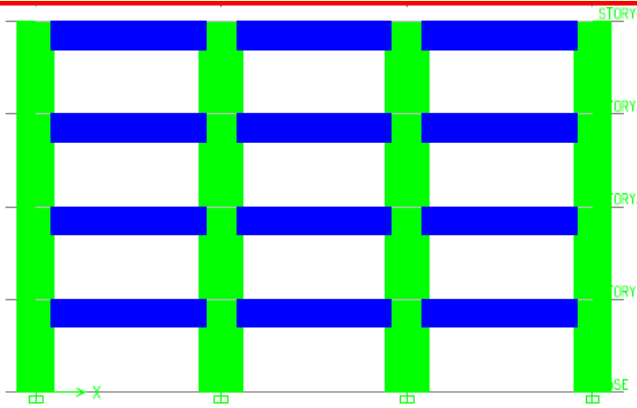
Dinámico Espacial

# DISEÑO SISMORRESISTENTE

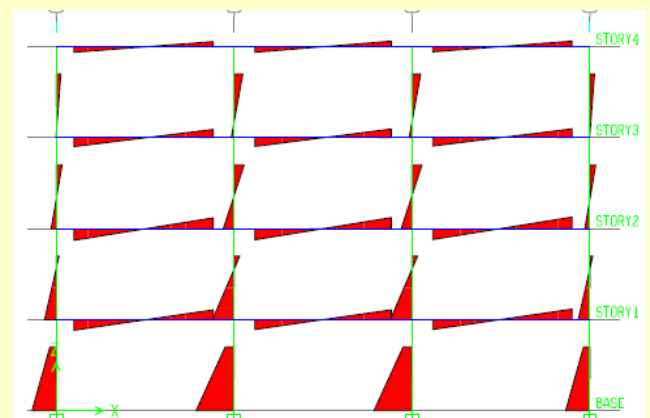
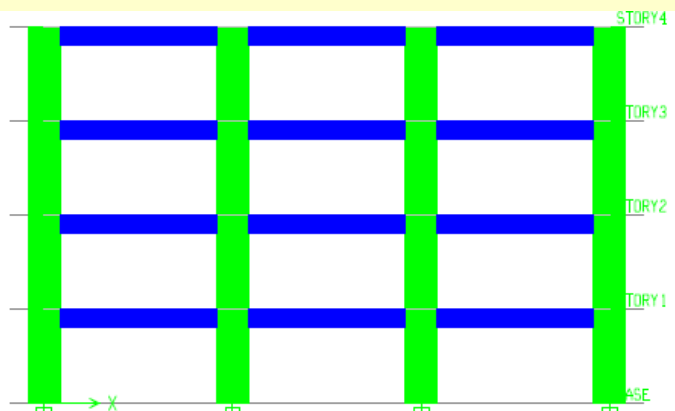
DISEÑO  
ELÁSTICO



DISEÑO  
INELÁSTICO  
O



DISEÑO  
INNOVADO  
R (S.P.S.)



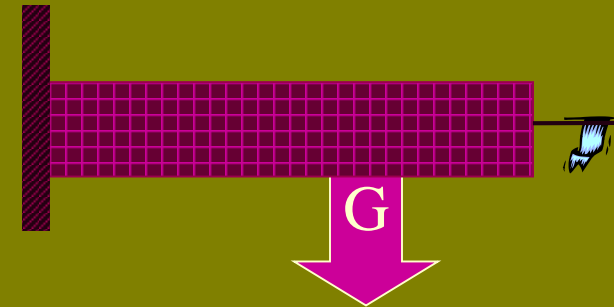
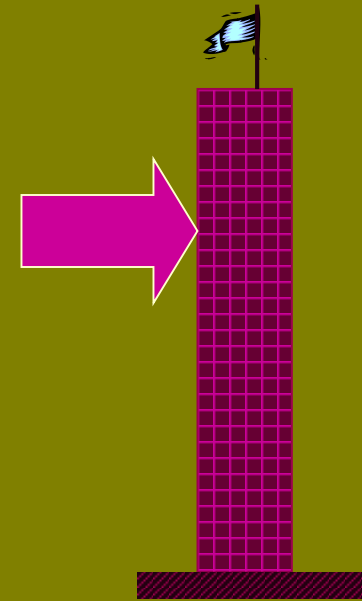
# DISEÑAR

## 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

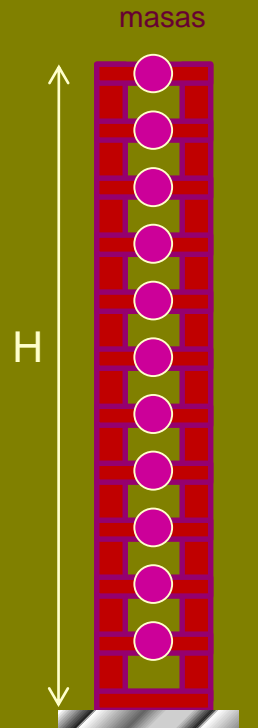
• **Inercia:**  $F = \text{masa} \times \text{Aceleración}$  → colapsa por el peso

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

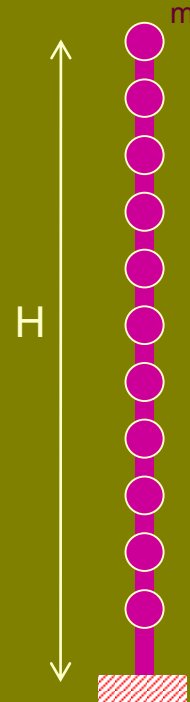
- $T_0$
- Frecuencias del terremoto
- Resonancia
- “Sintonizar” el edificio



Edificio Real



Esquema 1 Plano Resistente



Modelo Dinámico. 10 grados de libertad. (DOF)

## MODELO DINÁMICO EQUIVALENTE

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



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  $A^\circ$  →  $a = 0,0724$ ;  $n = 0,80$

Pórticos  $H^\circ$   $A^\circ$  →  $a = 0,0466$ ;  $n = 0,90$

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

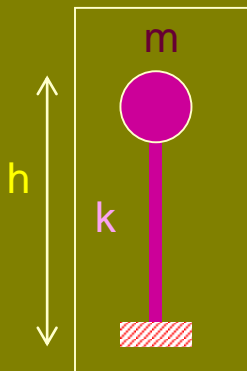
3

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

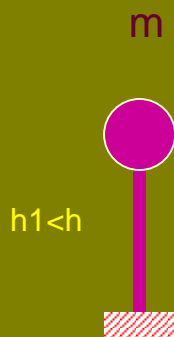
$np = N^\circ$  de pisos

$N = 10$  (Pórticos)

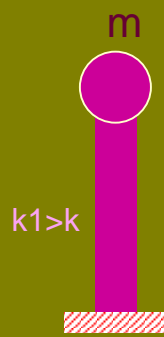
$N = 18$  (Tabiques)



Sistema Original



Altura



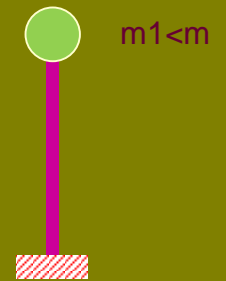
Sección



Material



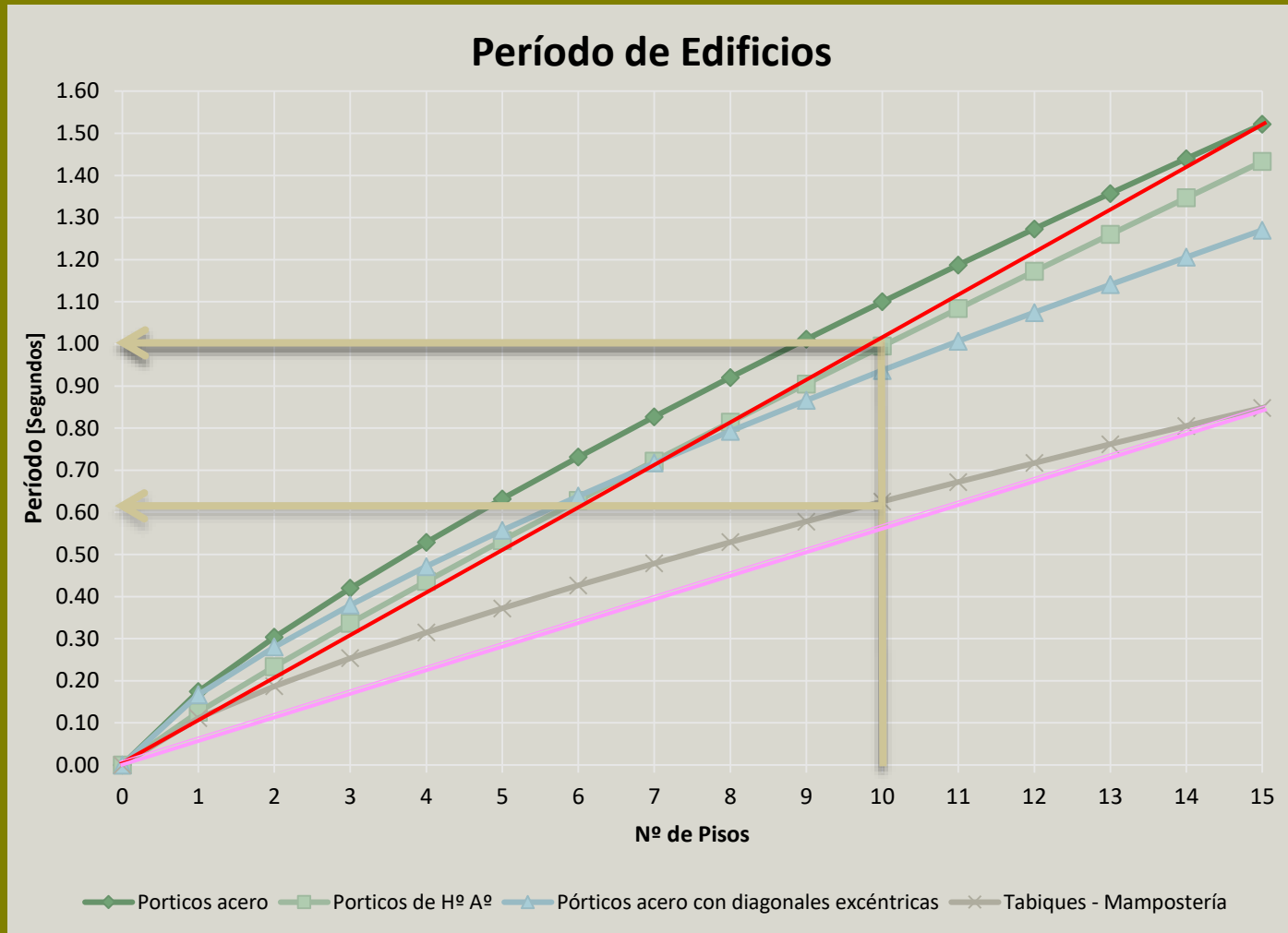
Vínculos  
(Fundación)



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

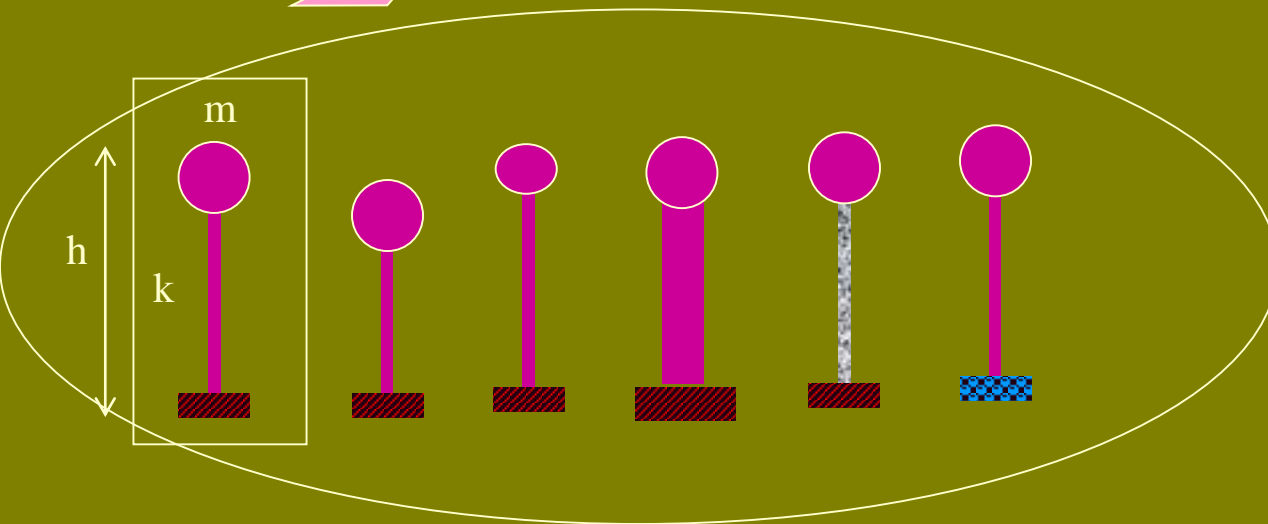
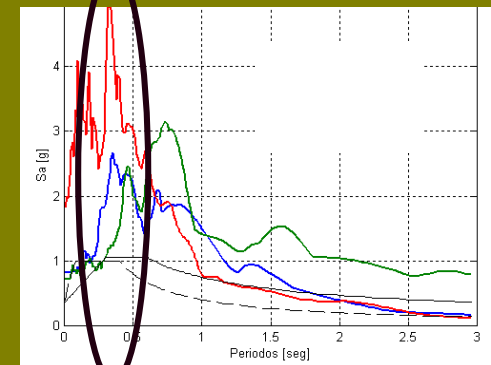
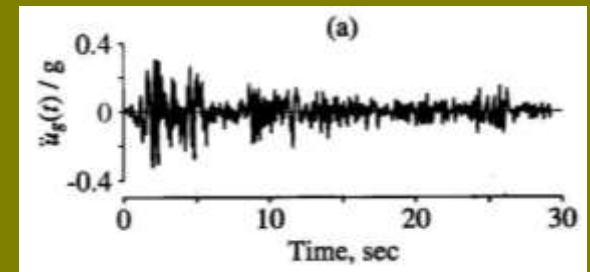
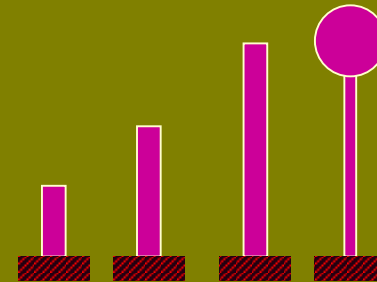
  - Resonancia

  - **“Sintonizar”** el edificio

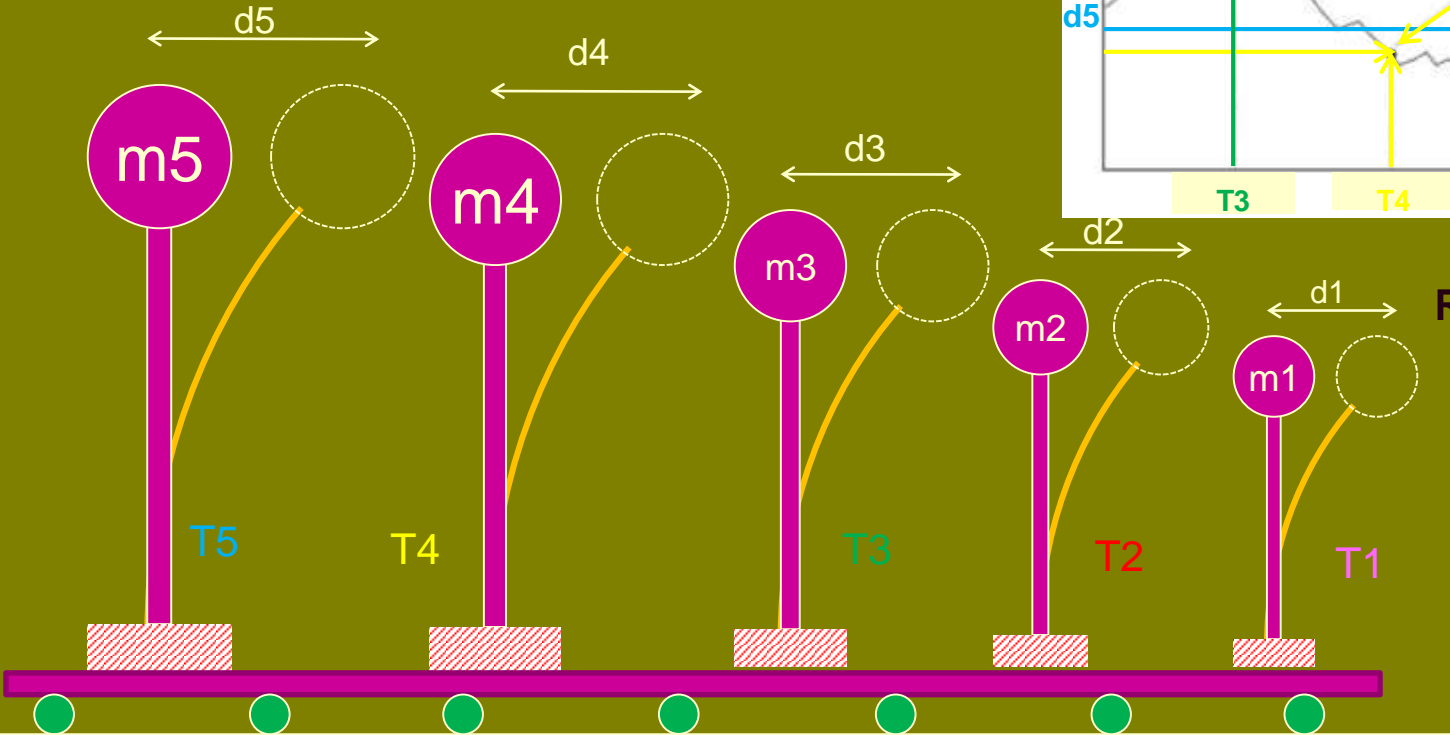
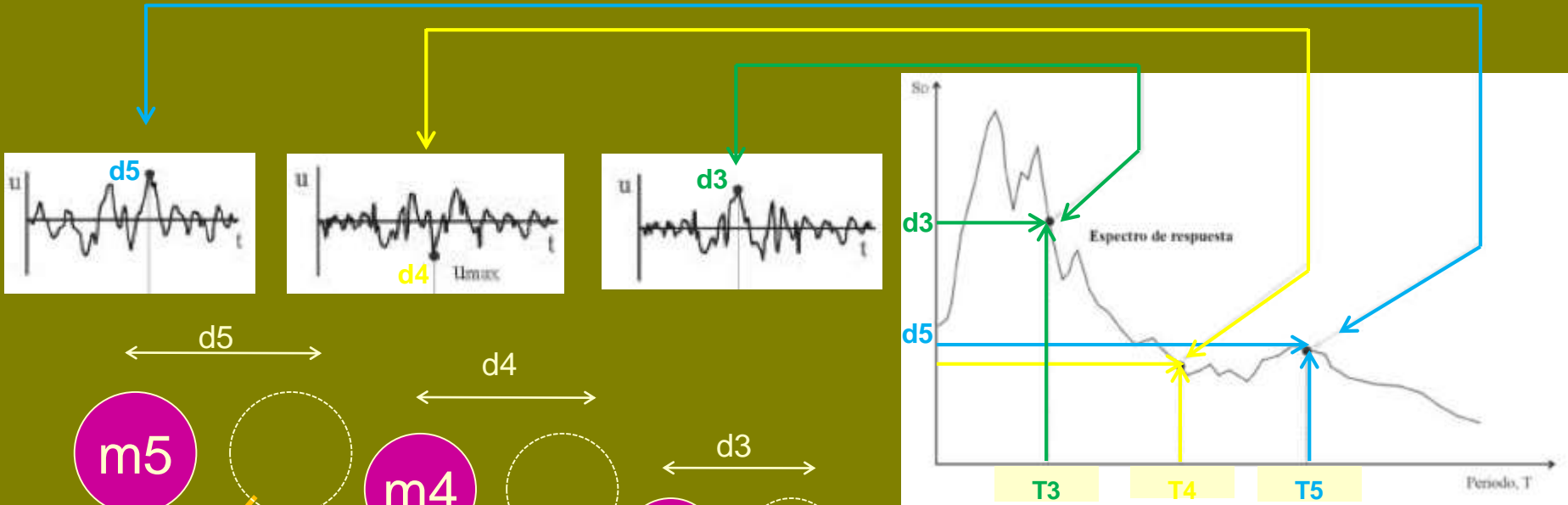
  - Ejemplos:

    - Puente Tacoma

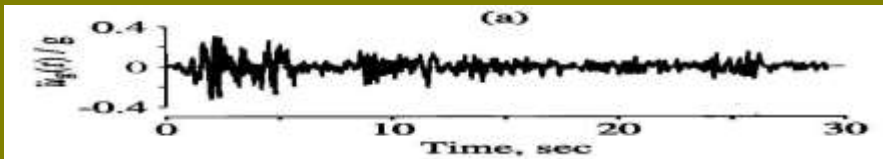
    - Puente Milenium Bridge



# ESPECTRO DE RESPUESTA

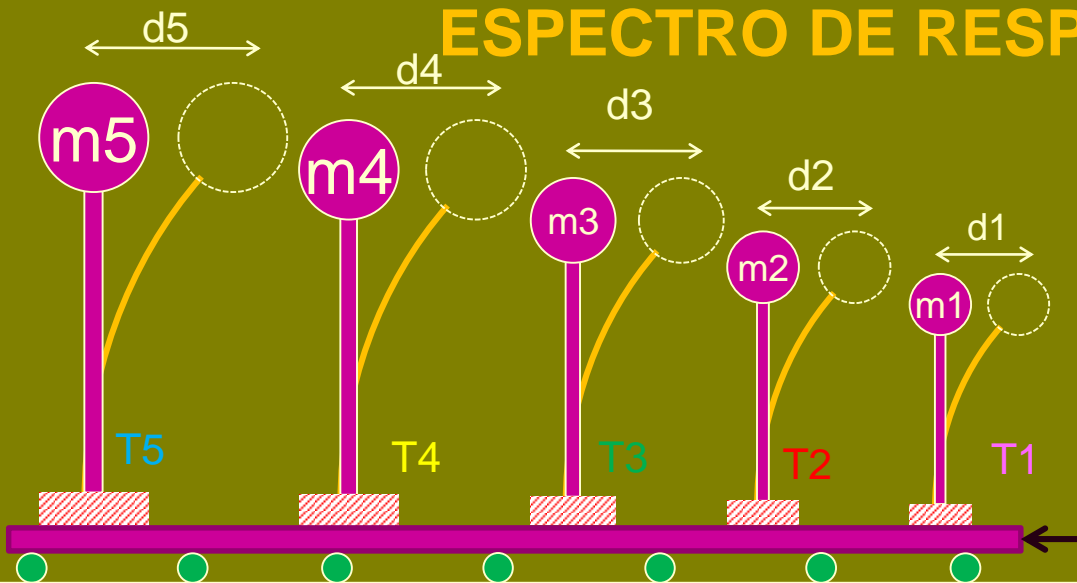


Espectro de Respuesta para un Terremoto

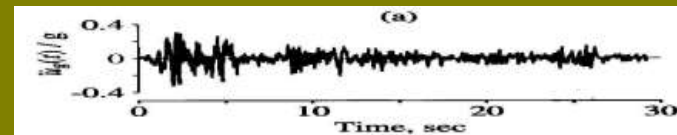


Registro de un terremoto

# 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



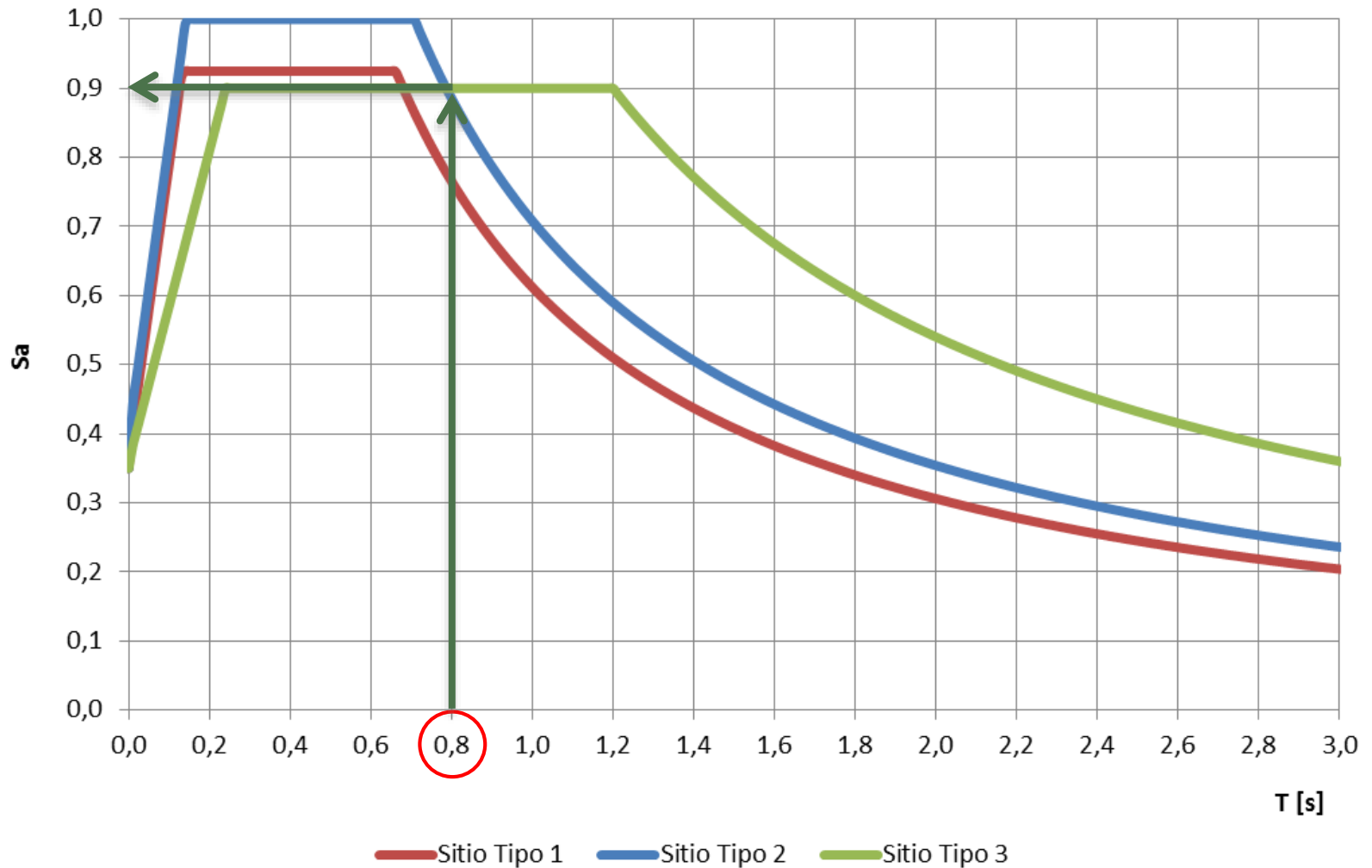
ZONA	PELIGROSIDAD SÍSMICA	ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO
0	MUY REDUCIDA	0,04 g
1	REDUCIDA	0,10 g
2	MODERADA	0,18 g
3	ELEVADA	0,25 g
4	MUY ELEVADA	0,35 g



# ESPECTRO DE DISEÑO

## Aceleraciones (Zona 4)

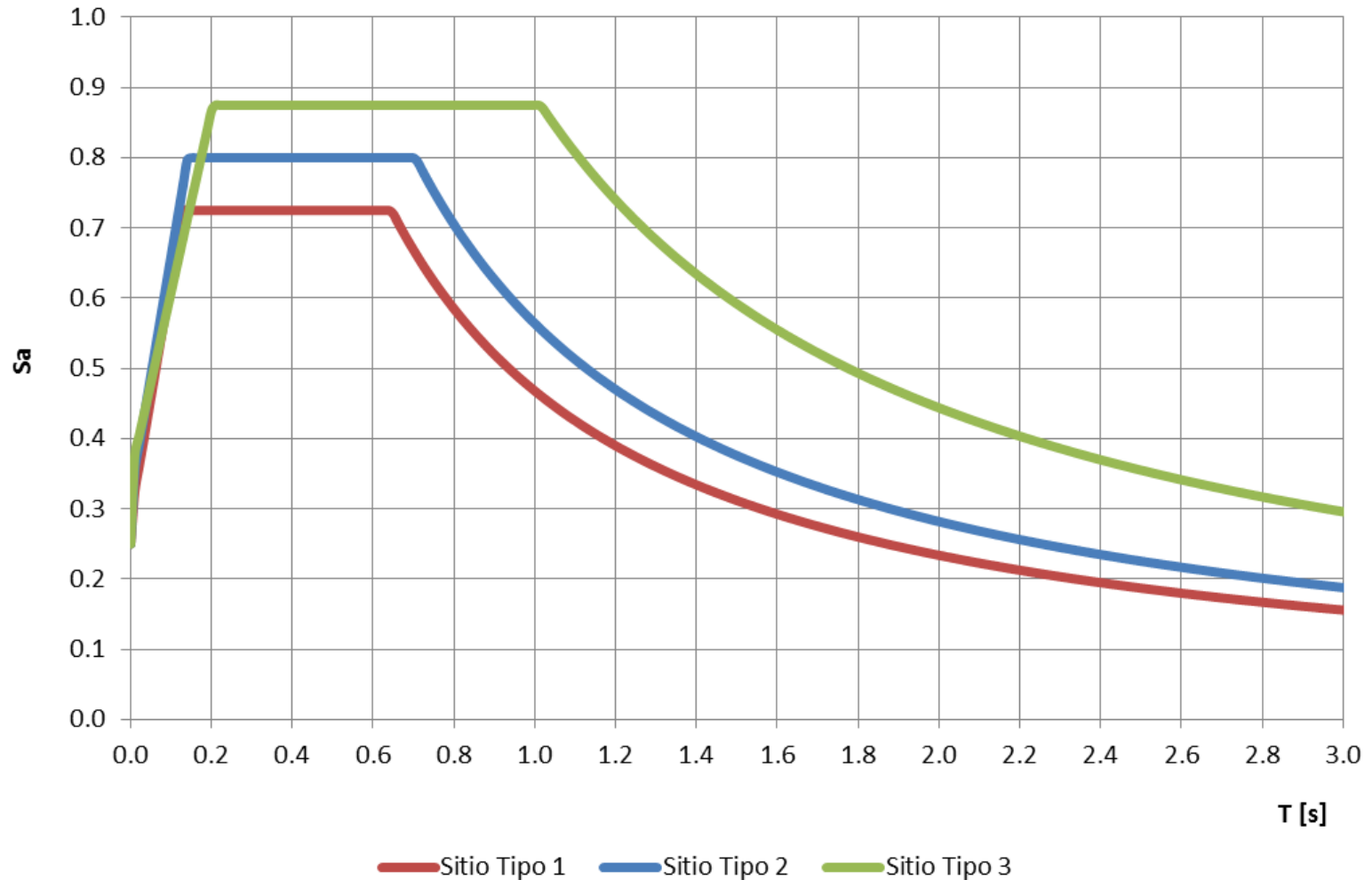
### ESPECTRO DE ACELERACIONES (Zona 4)



# ESPECTRO DE DISEÑO

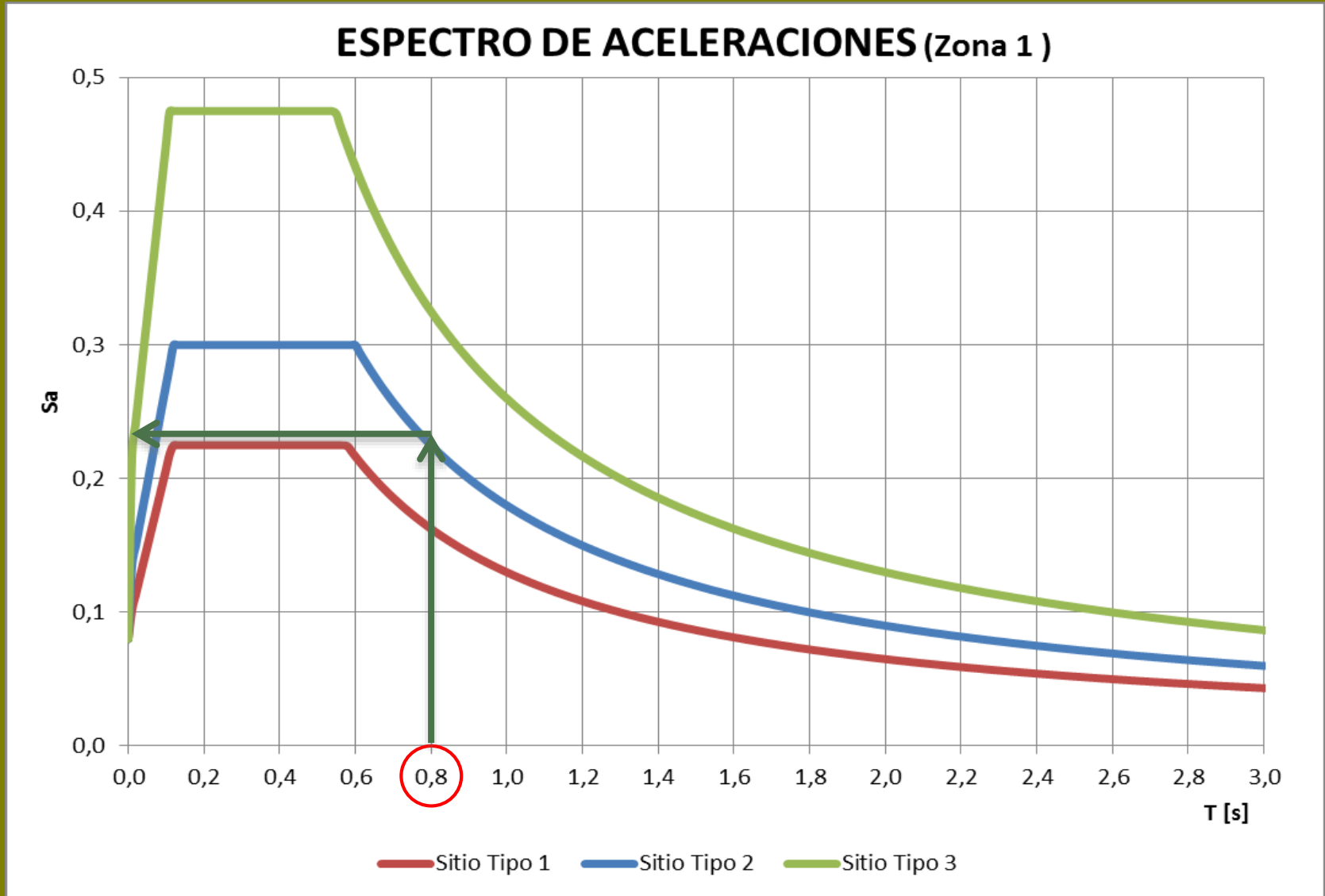
## Aceleraciones (Zona 3)

### ESPECTRO DE ACELERACIONES (Zona 3)



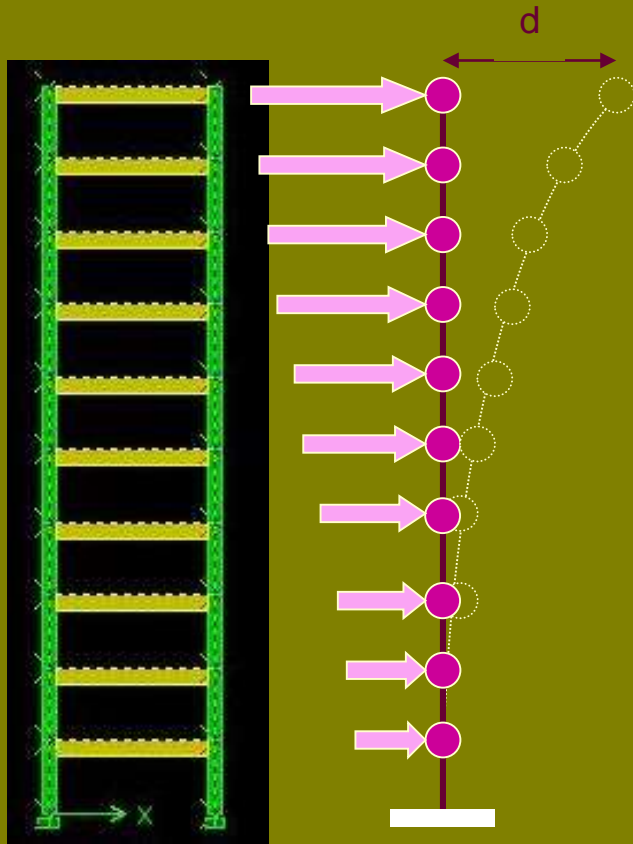
# ESPECTRO DE DISEÑO

## Aceleraciones (Zona 1)



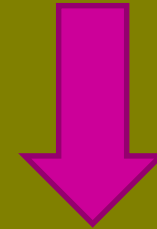
DISEÑO INELÁSTICO  
DISEÑO DEL MECANISMO  
DE PLASTIFICACIÓN

# MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN



VISTA

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



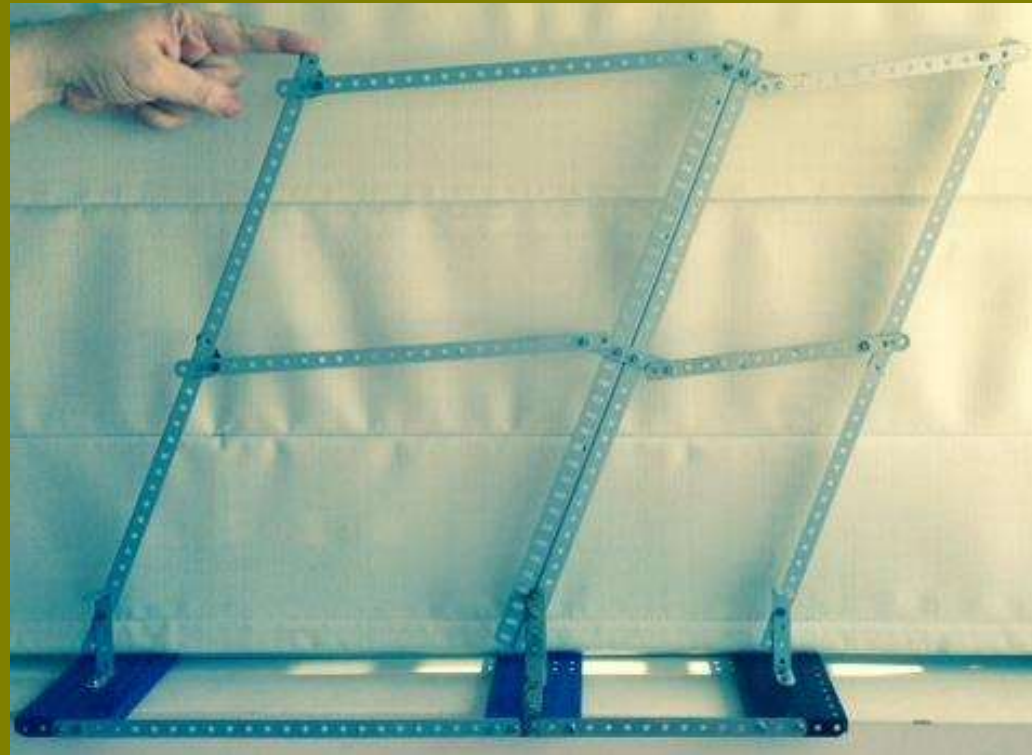
Diseño del  
Mecanismo de Plastificación

# 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  $\rightarrow 90^\circ$

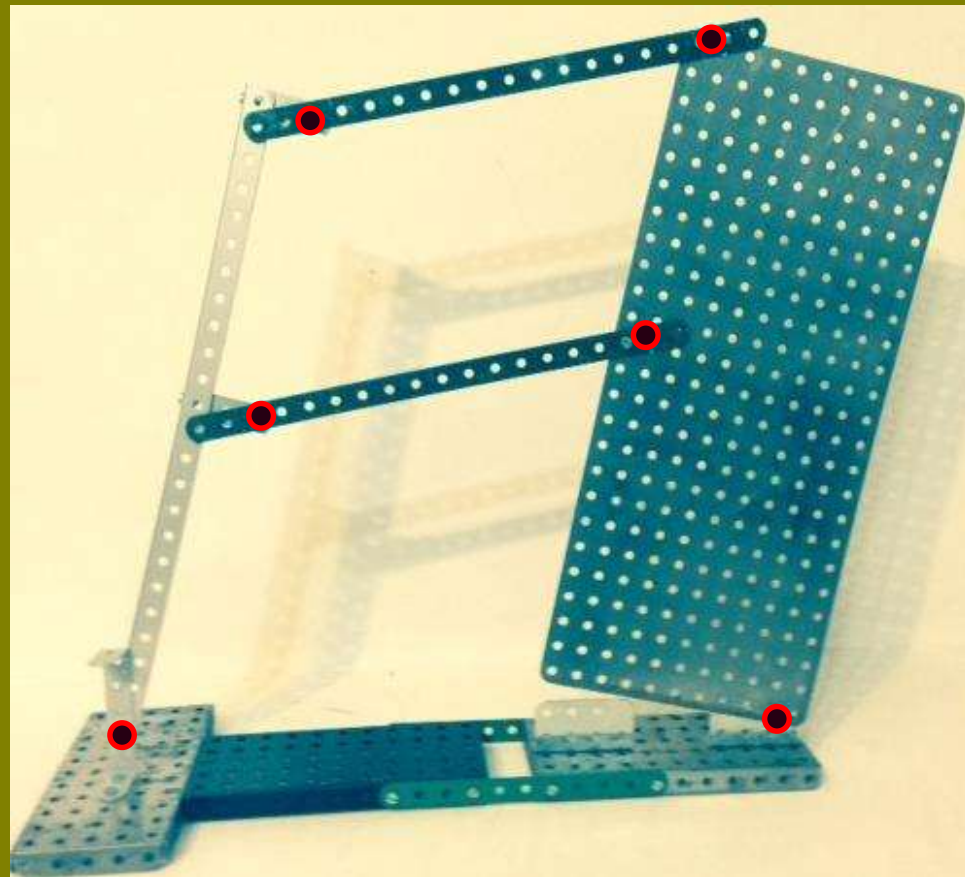
**Estructura móvil  $\rightarrow$  Mecanismo de Plastificación**

**Nº rótulas = 11**

**R = 7**

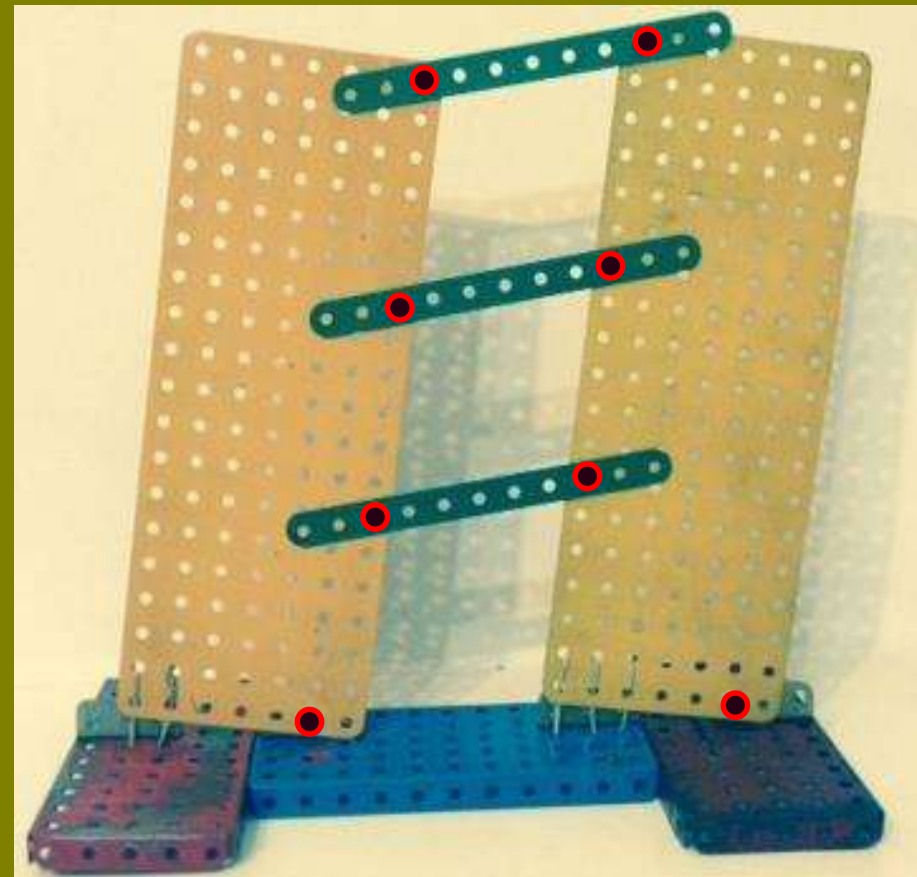
**Cd = 5,5**

# MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN



**Mecanismo de Plastificación**  
**Estructura Dual: Pórtico – Tabique**

**Nº rótulas = 6    R = 6    Cd = 5**



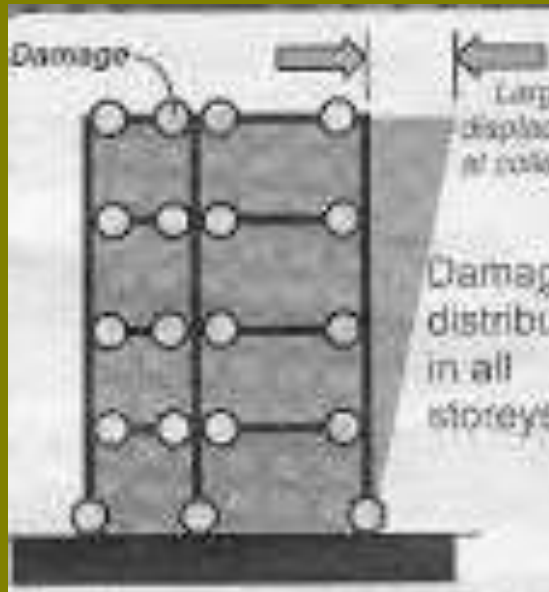
**Mecanismo de Plastificación**  
**Tabique Acoplado con vigas**

**Nº rótulas = 8    R = 5 a 7    Cd = R**

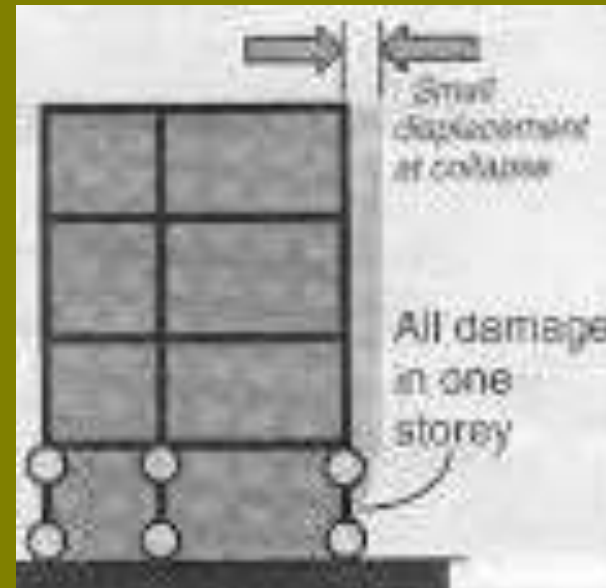


# MECANISMO DE PLASTIFICACIÓN

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



**Viga débil – Columna Fuerte**  
**Daño distribuido**



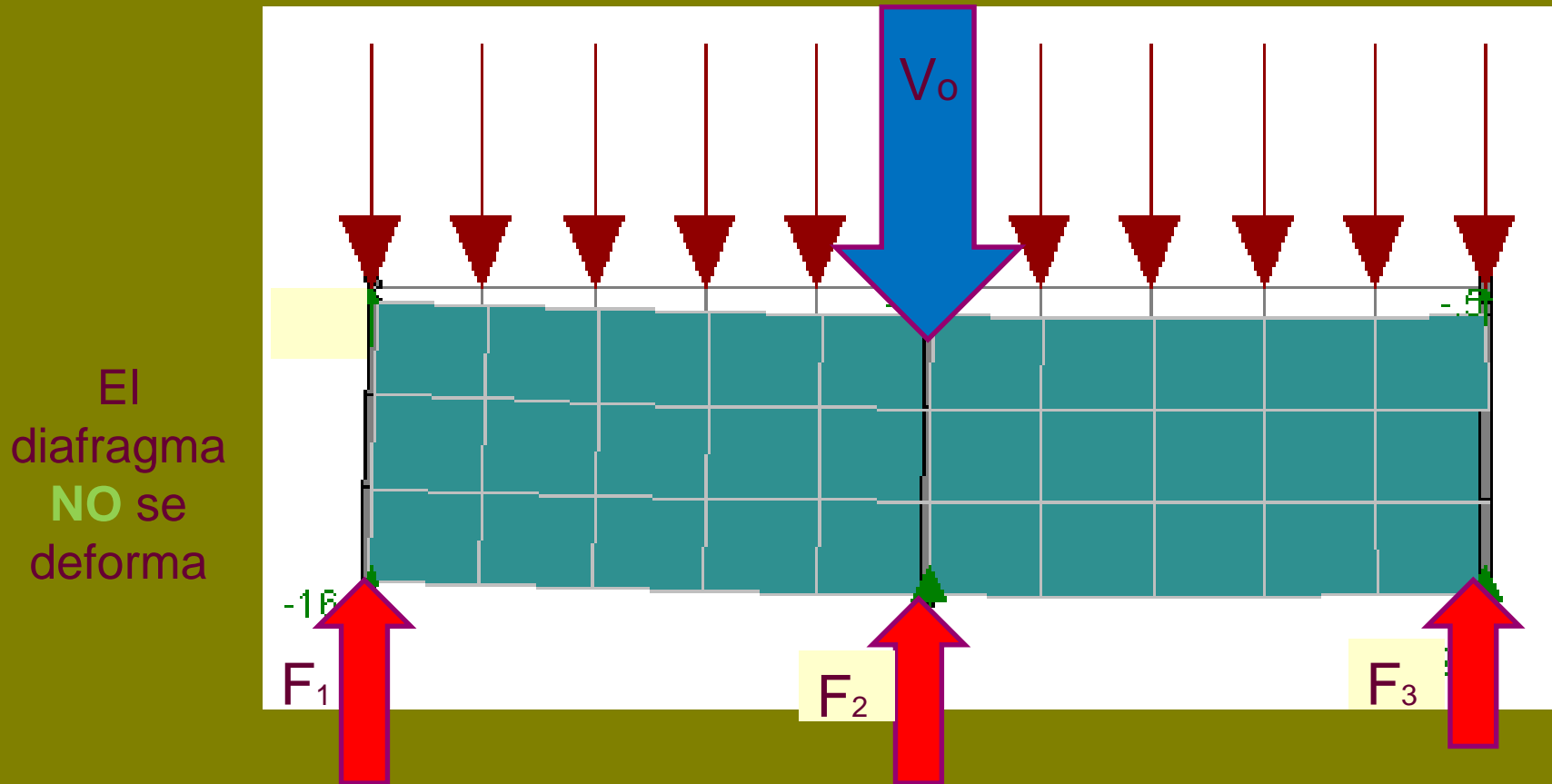
**Mecanismo de Piso**  
**Daño concentrado**

# 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 →  $c_d$

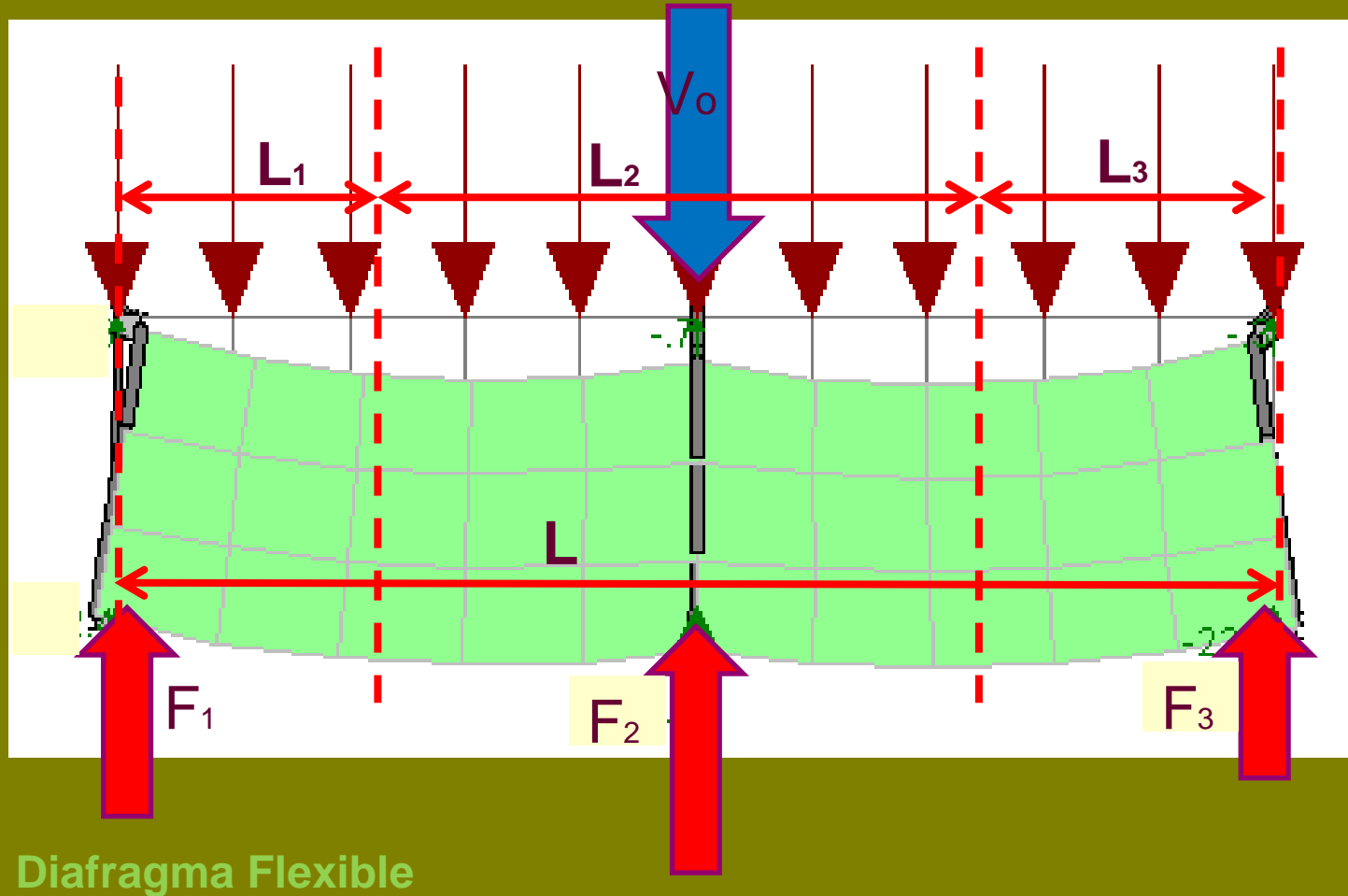
# DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS EN PLANTA



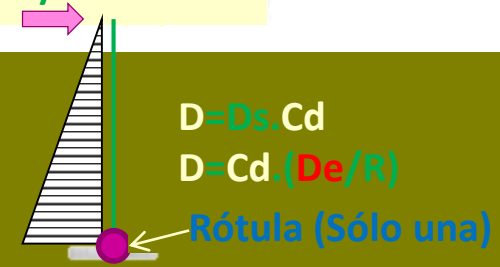
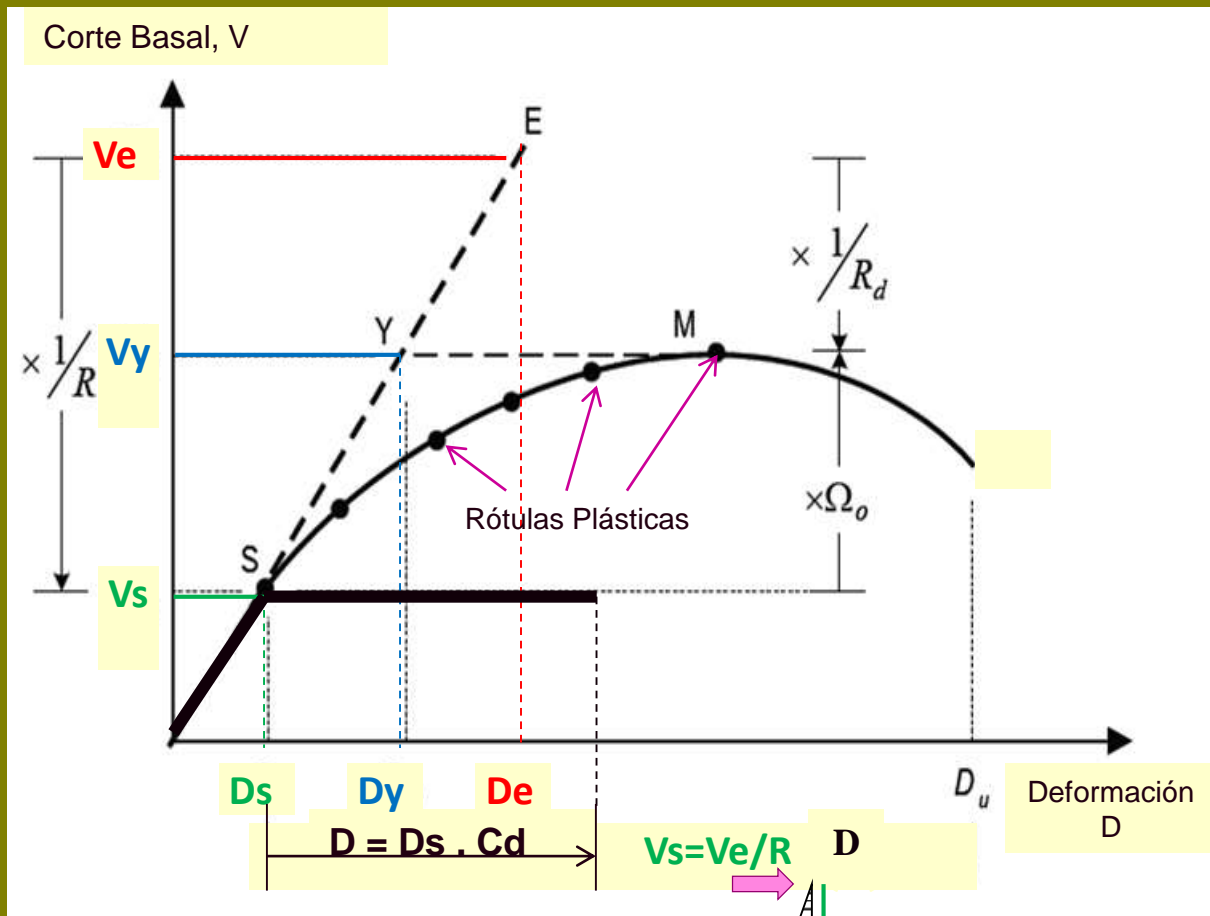
## Diafragma Rígido

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

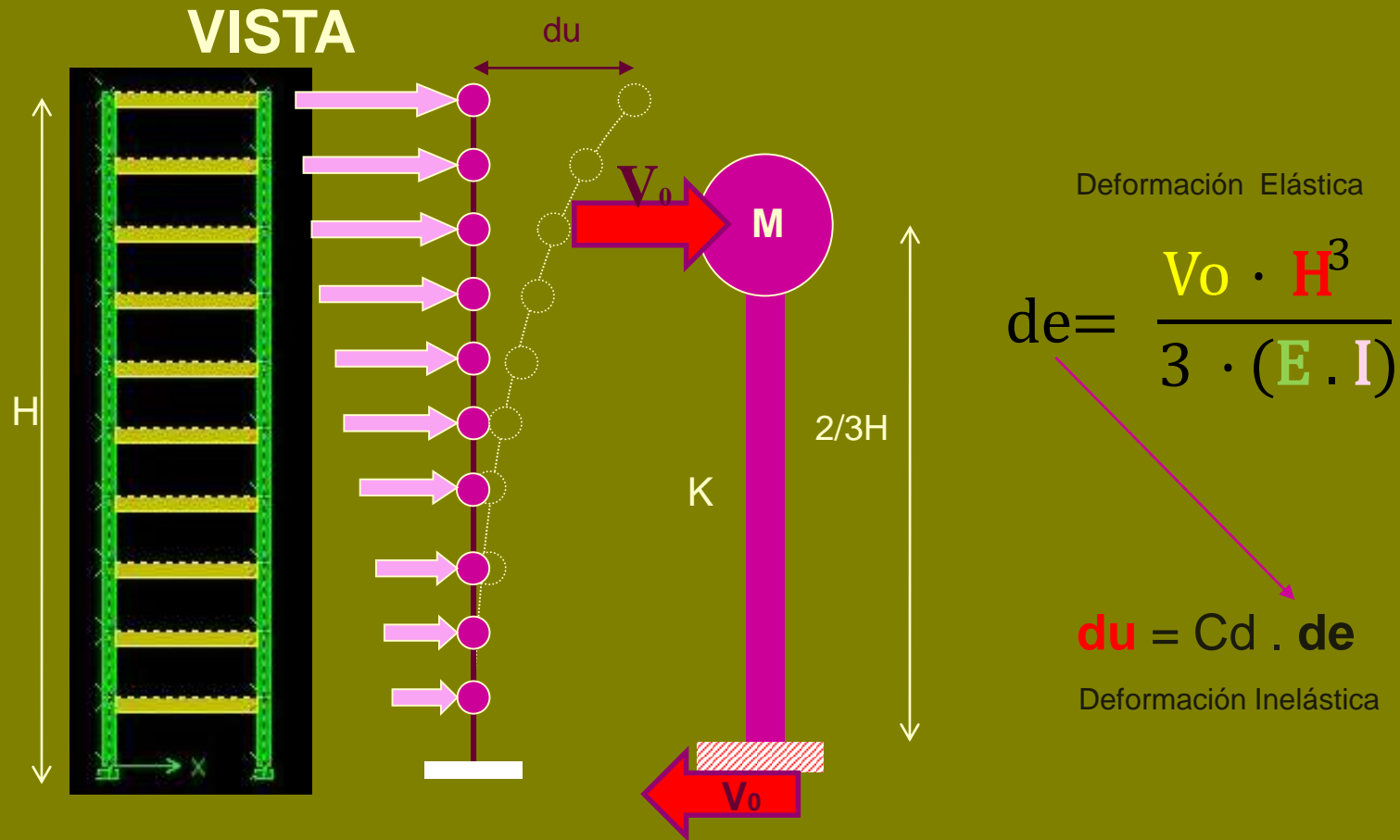
# DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS EN PLANTA



# COEFICIENTE SÍSMICO Y CORTE BASAL



# CONTROL DE DEFORMACIONES



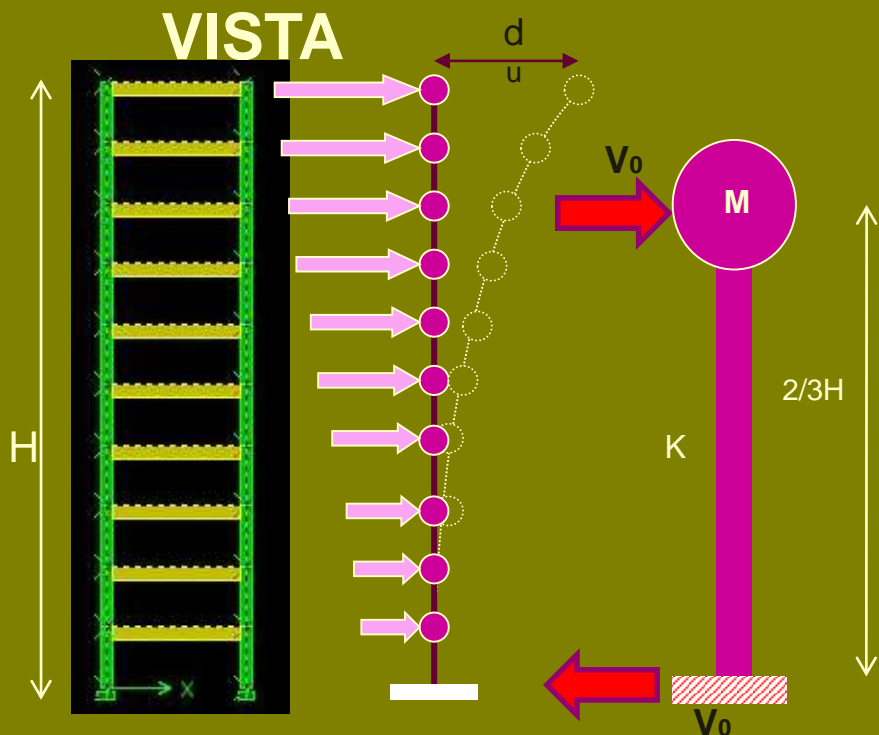
$V_0$  = Fuerza Sísmica Total (Corte Basal)

$H$  = Altura del Edificio ( $2/3 H$ )

$E$  = Módulo Elasticidad Material

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

# CONTROL DE DEFORMACIONES



$du = Cd \cdot de$  Deformación Inelástica

## Control del Daño

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

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

( $\mathbf{xx}$  = entre 50 y 100)

Por ej. Edificio de 10 pisos x 3m  $\rightarrow H = 30\text{m}$

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

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

" $\theta$ " =  $(0.03\text{m}/3.00\text{m}) \times 1,5 = 0.015$

Tabla 6.4. Valores limite de la distorsión horizontal de piso  $\theta_{sk}$

Condición	Grupo de la construcción	
	A <sub>0</sub> 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