



VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA EN EDIFICIOS

Javier Piqué del Pozo



Art. 3. Filosofía y Principios del diseño sismorresistente

- *Evitar pérdidas de vidas*
- *b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos*
- *c. Minimizar los daños a la propiedad.*

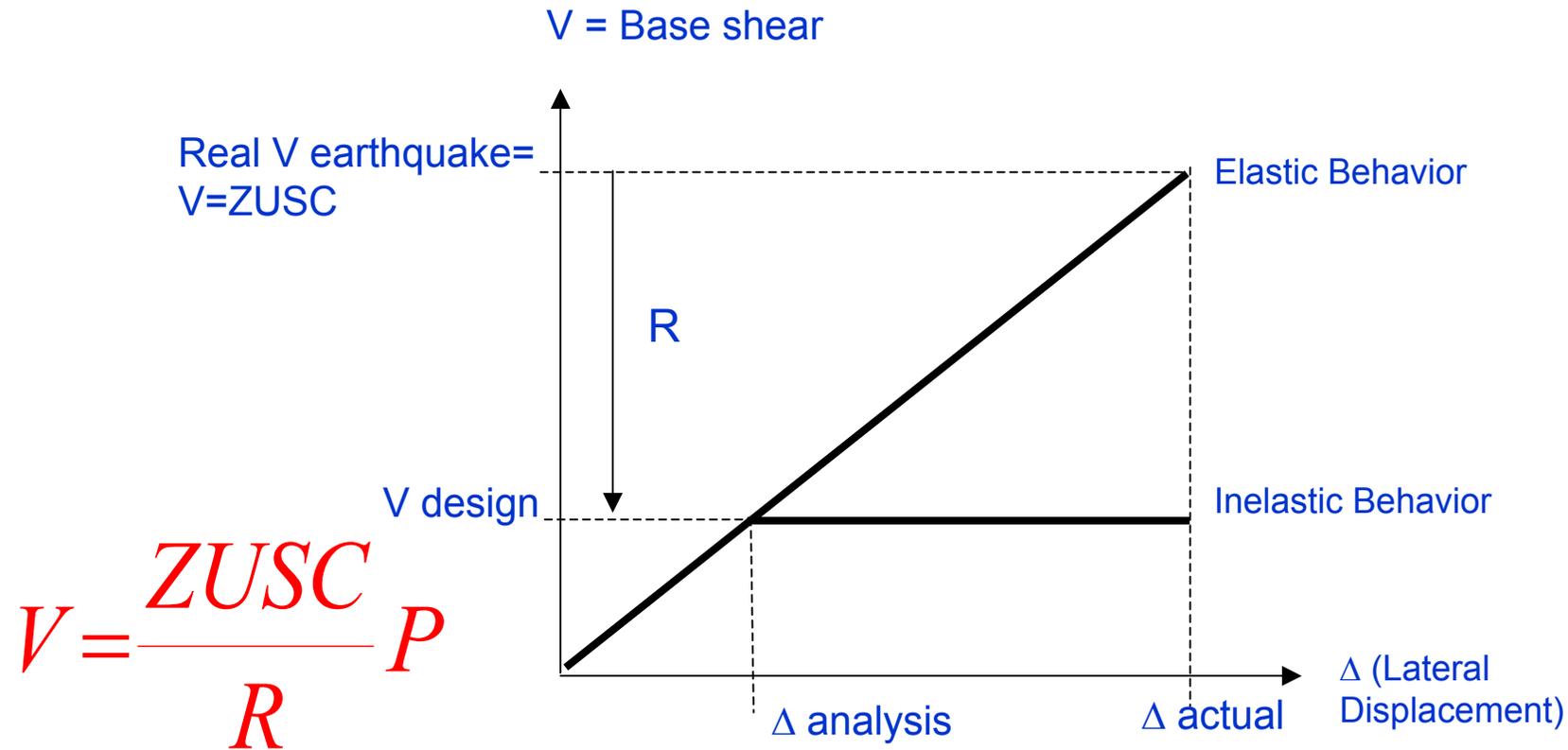


Art. 3 Filosofía y Principios del diseño sismorresistente

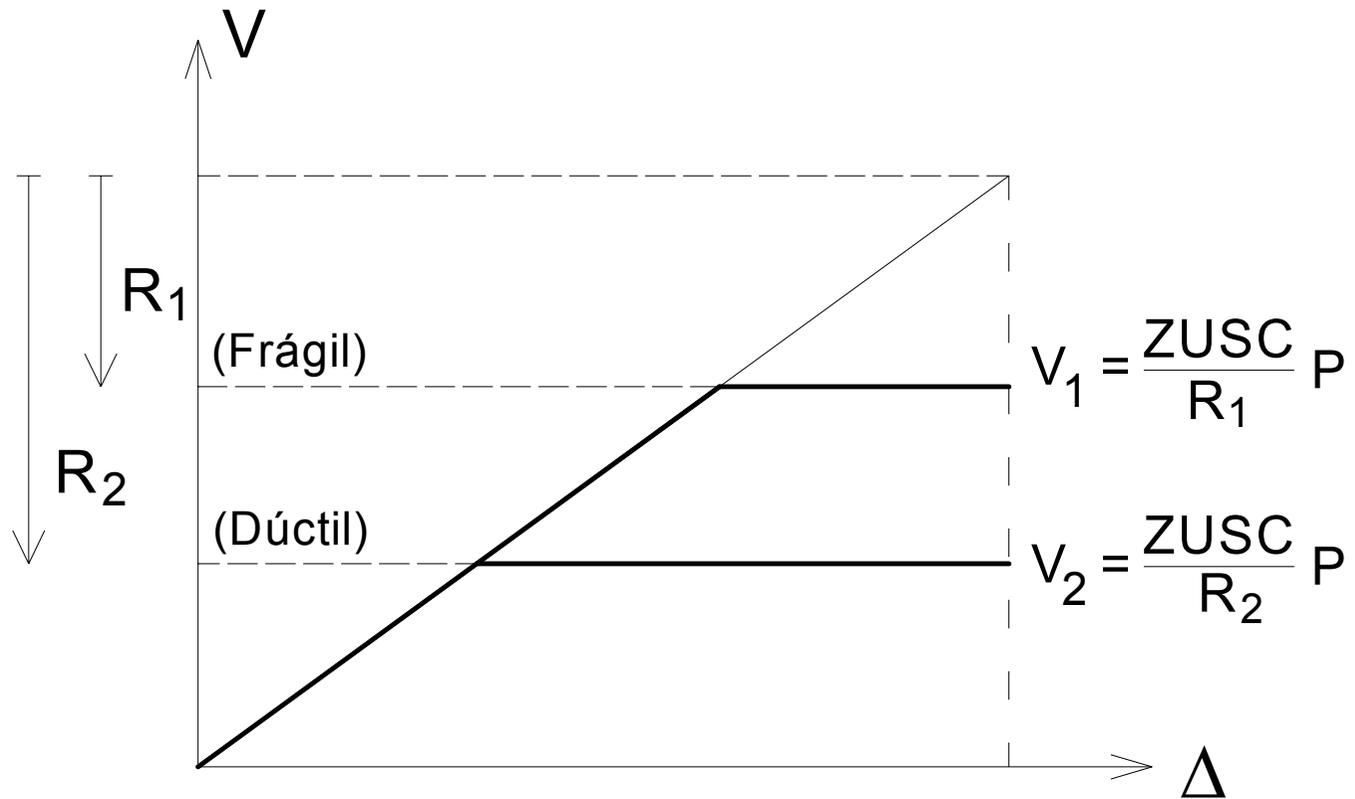
- a) *La estructura no debería colapsar, ni causar graves daños a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio. (estado último)*
- b) *La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables. (estado de serviciabilidad)*



Cotante de diseño en la base



La necesidad de ductilidad



Niveles de desempeño SEAOC

- **Serviciabilidad Completa:** Sólo daños menores.
- **Serviciabilidad o funcionalidad:** Sólo ocurrió daño estructural menor. La estructura conserva casi toda su resistencia y rigidez original.
- **Protección de Vida:** Ocurrió daño estructural y no estructural significativo. La edificación ha perdido significativamente su rigidez original, pero conserva alguna resistencia lateral y marginal al colapso.
- **Cerca al Colapso:** Un estado de daño límite en el cual un daño sustancial ha ocurrido. La edificación ha perdido la mayoría de su resistencia y rigidez original y tiene un pequeño margen contra el colapso.



Objetivos de desempeño:

(Combinación de nivel de desempeño y nivel del sismo)

- 1) Objetivo básico” para una edificación nueva regular (mínimo)
- 2) Objetivos “mejorados” o de riesgo para edificaciones esenciales como hospitales.
- 3) Objetivo de seguridad crítica para edificaciones que contienen materiales peligrosos y proceso de materiales nucleares



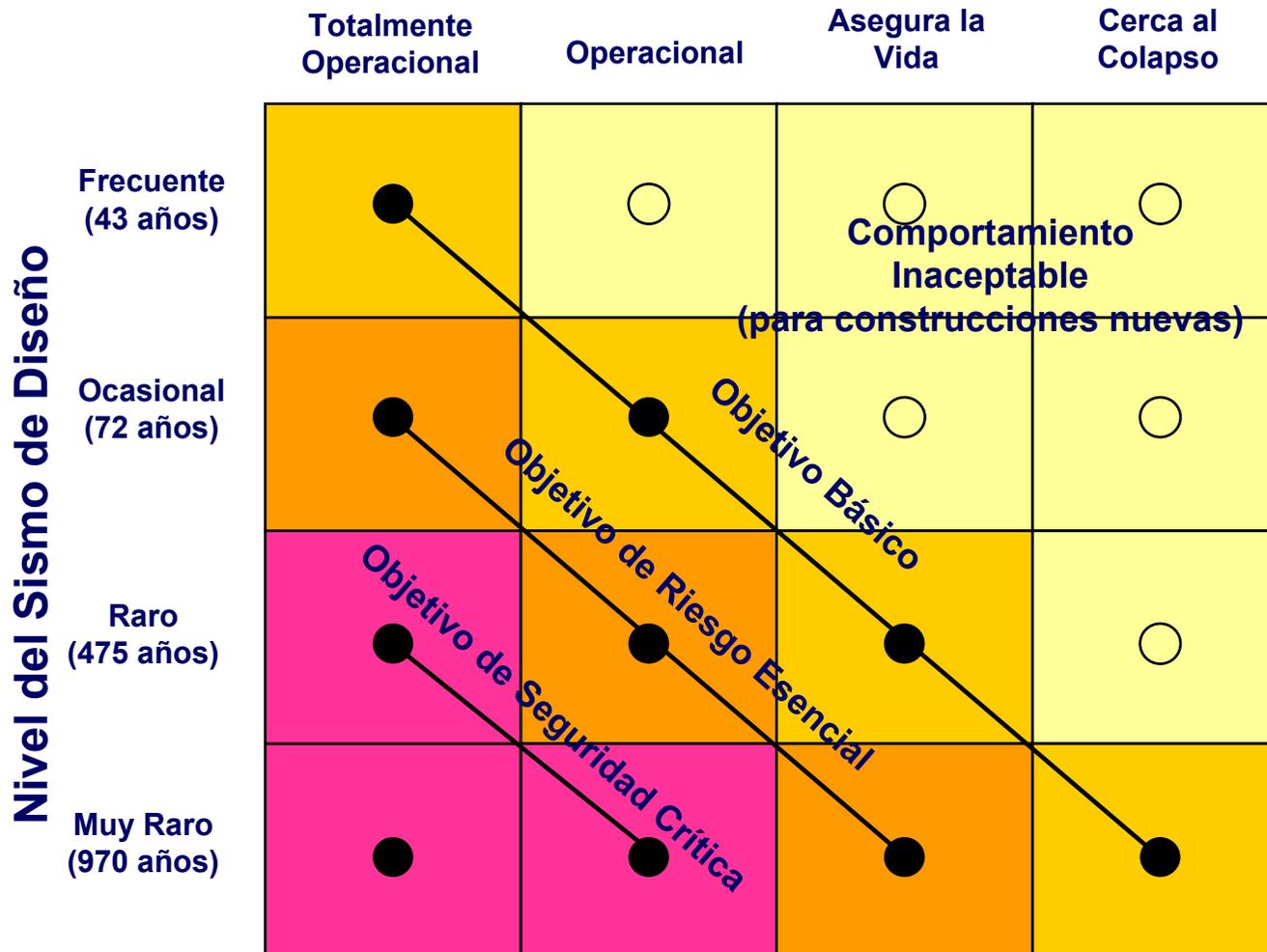
Objetivo básico. SEAOC

- Comportamiento elástico bajo cargas de servicio
- Mantenimiento de la funcionalidad bajo terremotos moderados
- Preservar vidas bajo un terremoto esperado máximo
- Estabilidad estructural bajo terremotos extremos



Objetivos (Vision 2000)

Nivel de Comportamiento Sísmico Esperado



Hay procedimientos aceptables para la estimación de la resistencia última?

- Normas vigentes aseguran realmente que no ocurrirá colapso?
- Cuales son los procedimientos para la determinación (verificación) de la resistencia última?
- El estado actual ha desarrollado procedimientos que estiman la resistencia última dentro de límites aceptables





COLAPSOS EN EDIFICIOS MODERNOS





San Fernando (L.A.) 1971

Kobe, 1995



**CENTRO PERUANO JAPONÉS
MITIGACIÓN DE**



Kobe, Japan, 1995



5o piso de un hospital de 8 pisos colapsó, enterrando a 50 personas

Turquía, 1999: 25,000 muertos



Turquía, 1999



Turquía, 1999



Peru 2007: Hotel Embassy.





DISEÑO POR CAPACIDAD

Diseño para evitar el colapso



Diseño por capacidad

➤ OBJETIVO:

Conseguir una estructura extremadamente tolerante a los desplazamientos impuestos por el sismo



Analogía de la Cadena dúctil



**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**



DEFINICIÓN DE RESISTENCIAS

Ideal o Nominal, S_i o P_i

Ejemplo: $Mu_i = A_s f_y (d - a/2)$

Confiable, S_d o P_d

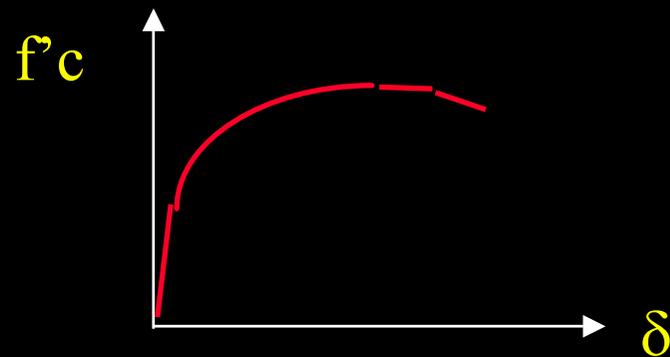
Ejemplo: $Mu_d = \phi A_s f_y (d - a/2)$

Sobre-resistencia o Resistencia real, S_o o P_o

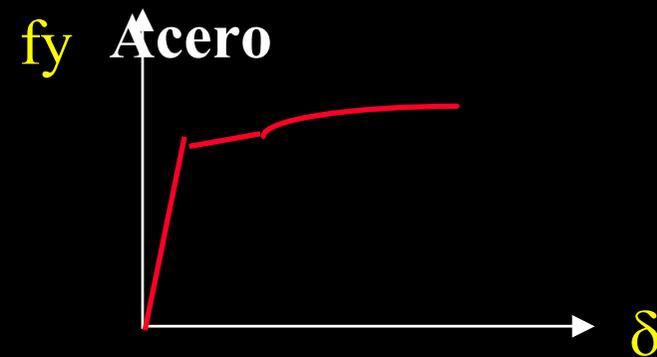
Ejemplo: $S_o = \lambda_o S_i$

FUENTES DE SOBRE-RESISTENCIA

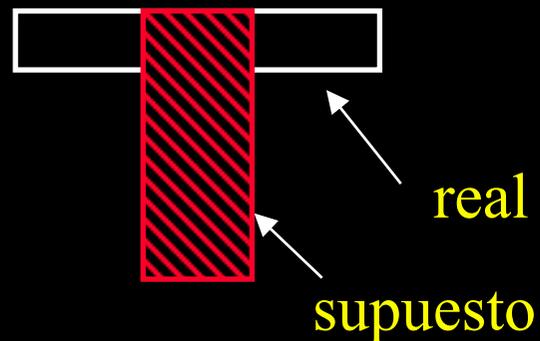
- Calidad del Concreto



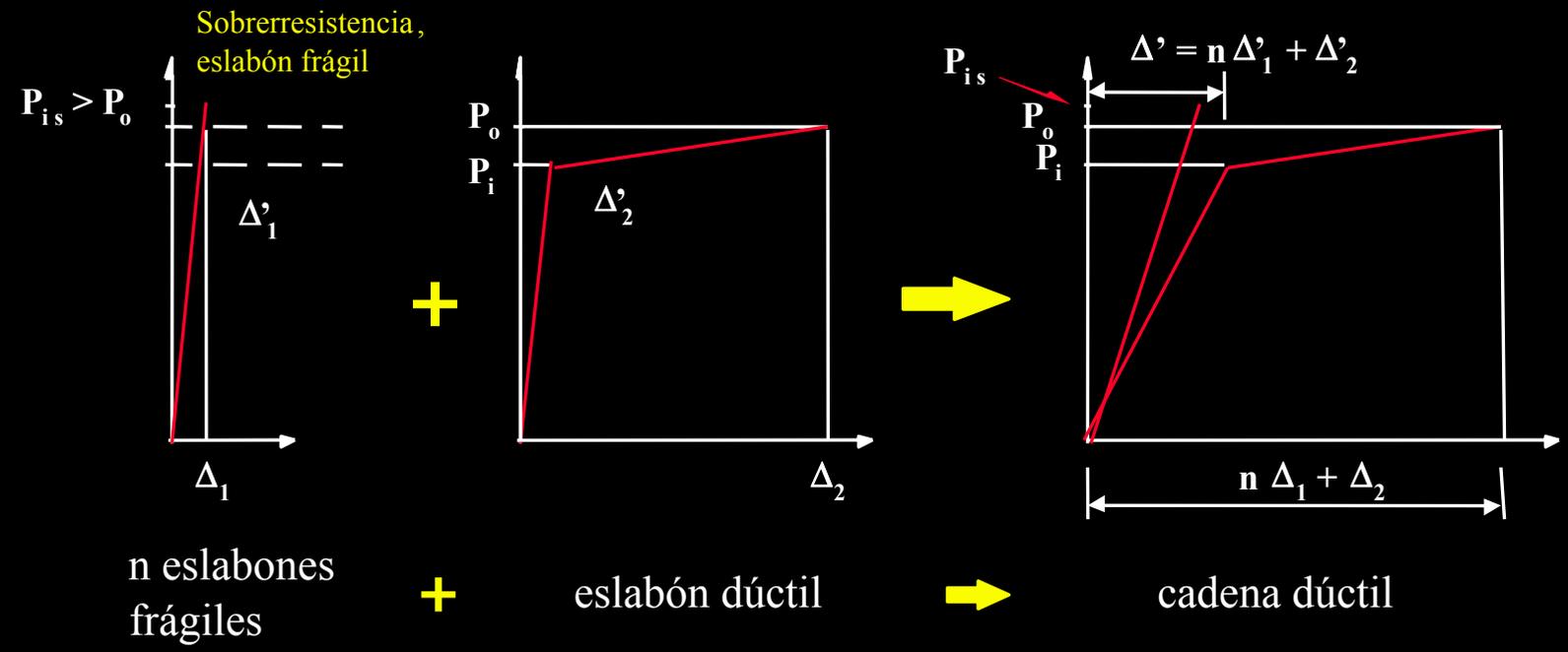
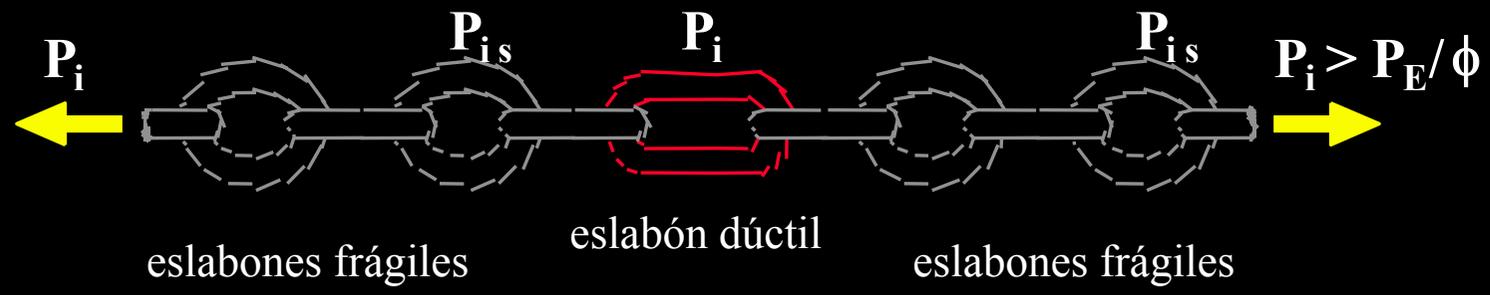
- Endurecimiento por Deformación del Acero



- Sección



- Refuerzo mínimo



Diseño por capacidad

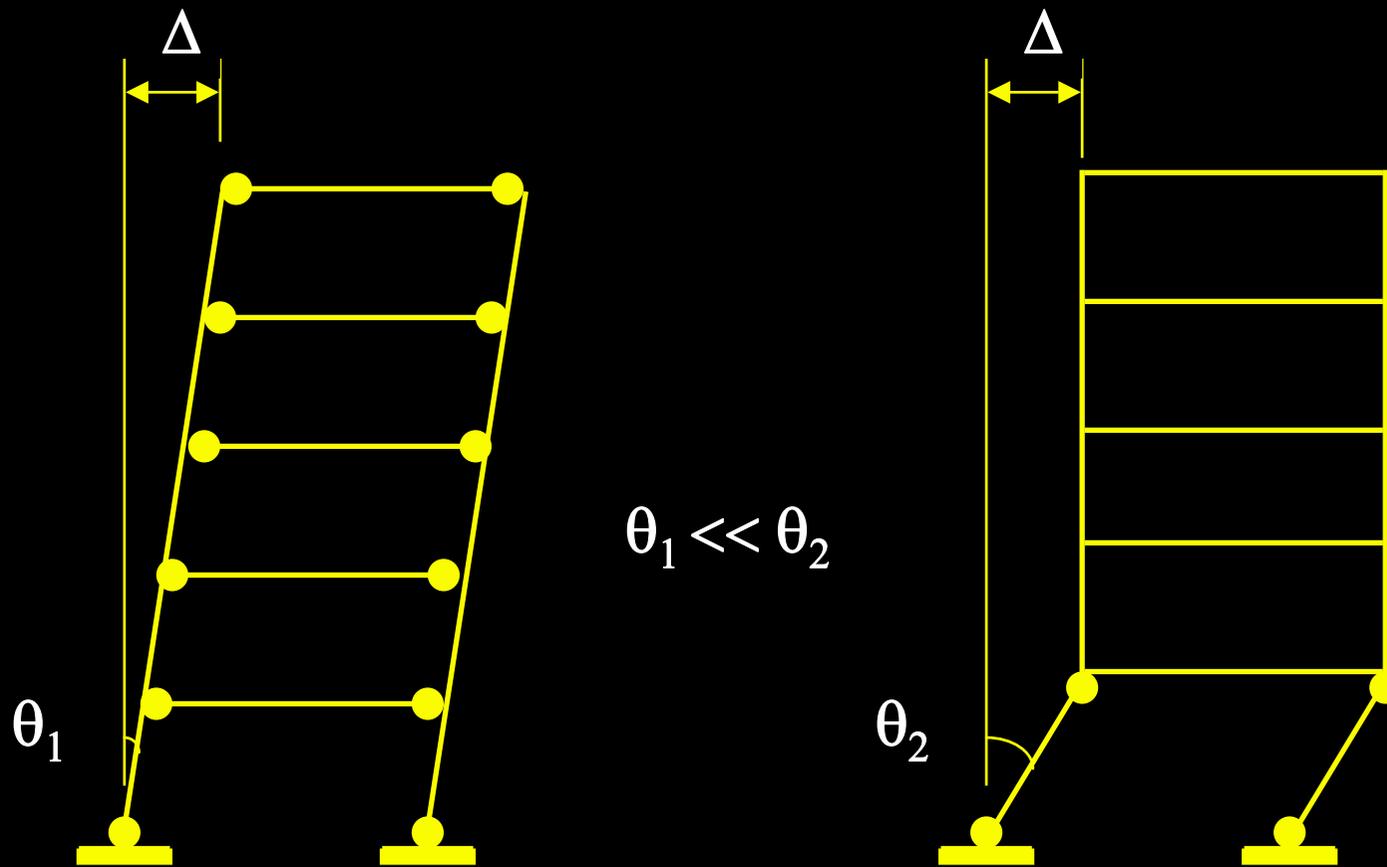
- **1. Escoger un mecanismo inelástico racional y cinemáticamente admisible, e identificar claramente los lugares donde habrá disipación de energía**
- **2. El mecanismo escogido debe ser tal que la ductilidad necesaria pueda ser desarrollada con la mínima demanda de rotación inelástica en las rótulas plásticas.**



Diseño por capacidad

- **3. Una vez que se ha seleccionado el mecanismo inelástico adecuado, las zonas para disipación de energía (rótulas plásticas) se determinan con un alto grado de precisión. Estimar aproximadamente las demandas de ductilidad en estas rótulas plásticas**

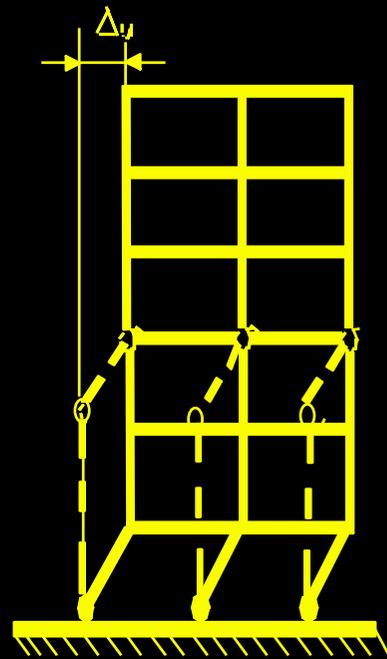




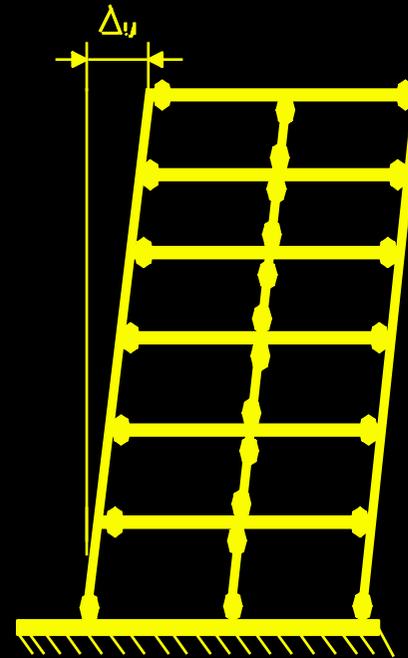
Comparación de mecanismos de disipación de energía



Piso blando y pórtico con algunas columnas débiles



DEBE EVITARSE

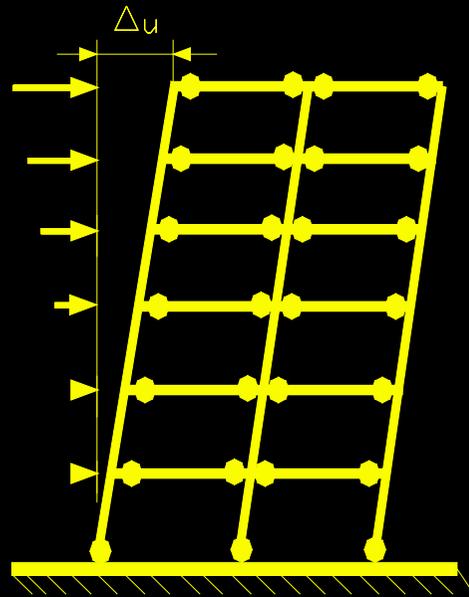


ACEPTABLE

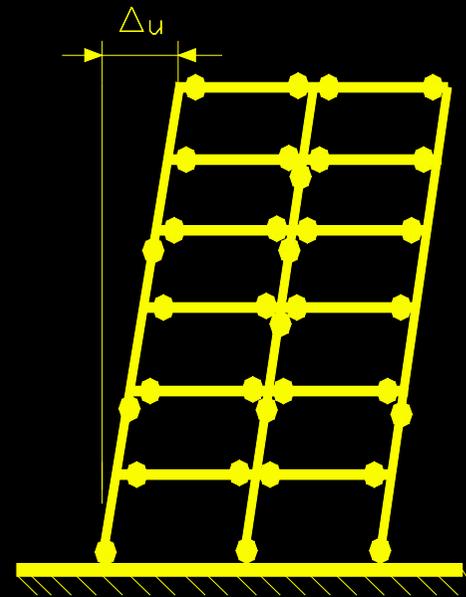


② 外 柵欄
元 町
神戸駅

Pórtico dúctil

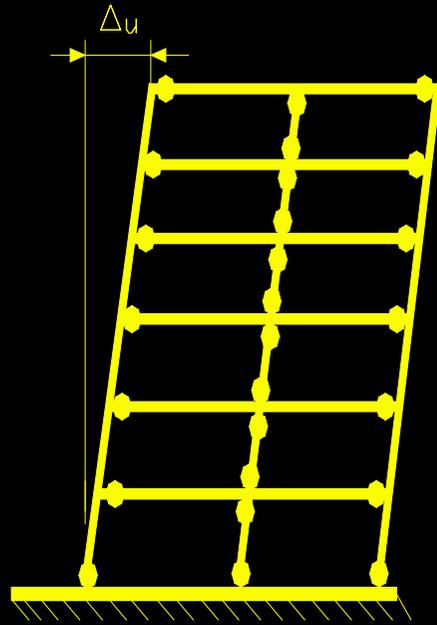


DESEABLE

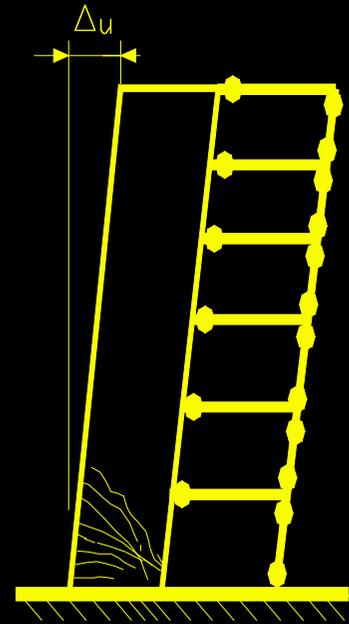


ACEPTABLE

Pórticos y muro con pórtico

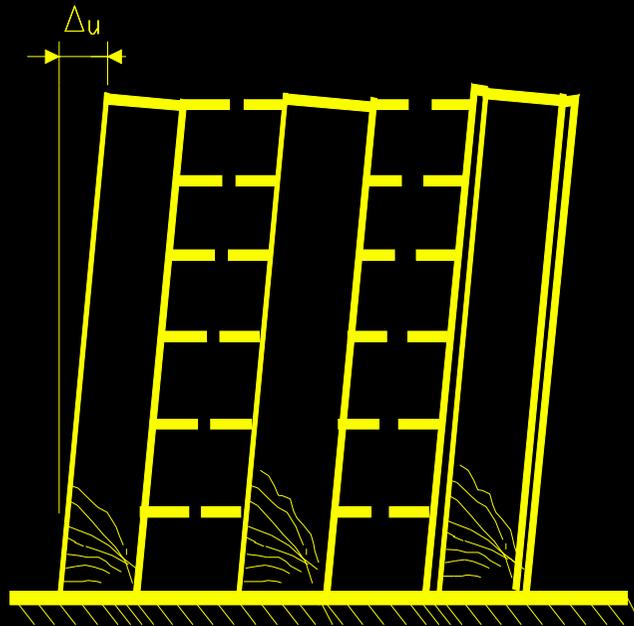


ACCEPTABLE

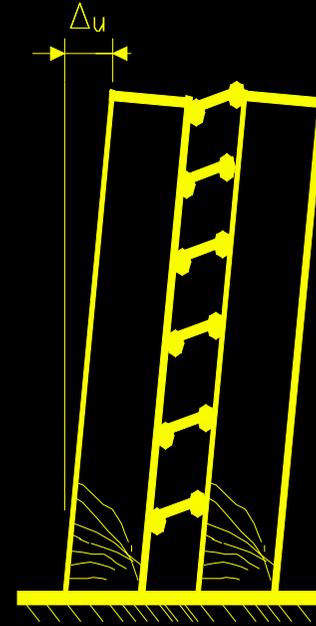


ACCEPTABLE

Placas sin vigas y con vigas



DESEABLE

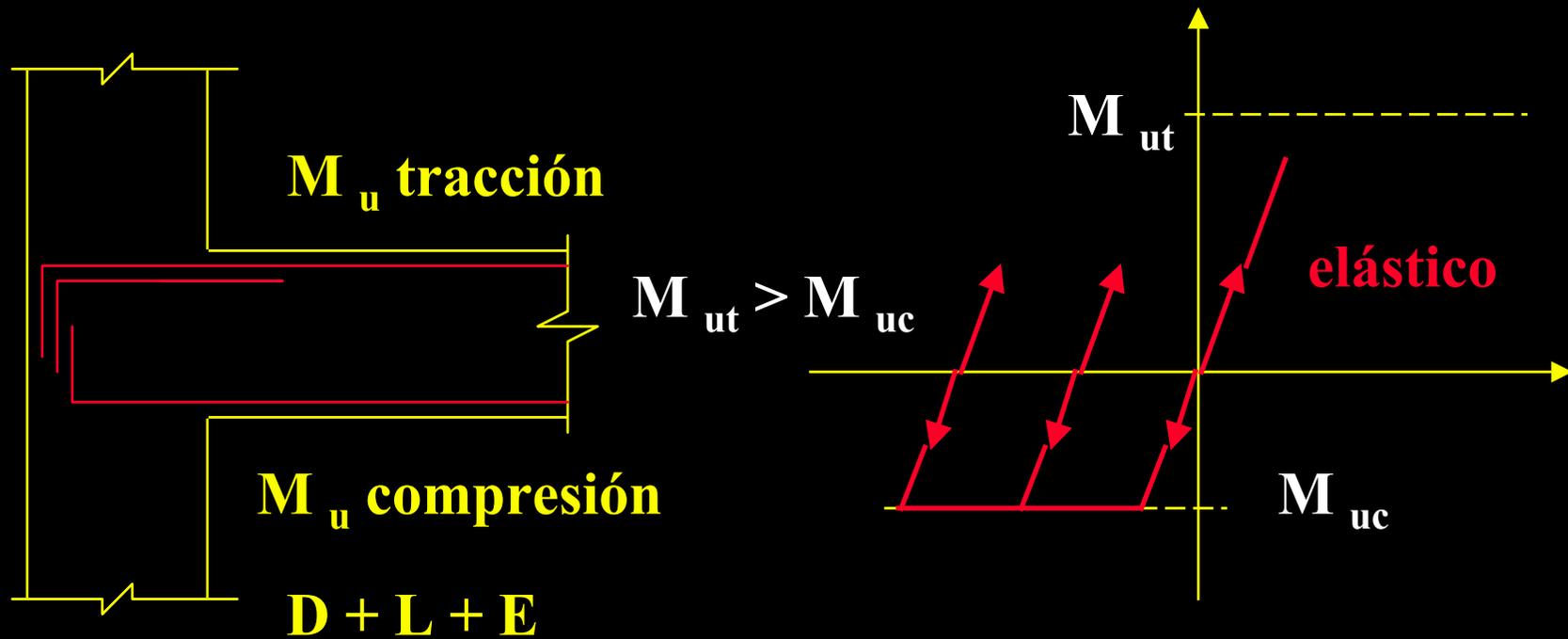


DESEABLE

Diseño por capacidad (cont.)

- **4. Debido a la incertidumbre en el movimiento real del terreno los análisis para las acciones de otras cargas no tienen porque ser excesivamente precisos**
- **5. Hacer una redistribución inelástica estáticamente admisible para máxima economía**





Refuerzo asimétrico

Diseño por capacidad (cont.)

- **6. Evaluar máximas acciones posibles en cada rótula considerando su sobrerresistencia**
- **7. Diseñar los elementos adyacentes para resistir elásticamente estas acciones con sobrerresistencia**
- **8. Detallado para la construcción de las regiones plásticas**





ANÁLISIS INELÁSTICO

Para determinar que mecanismo de colapso se formará y cual será la demanda de ductilidad.

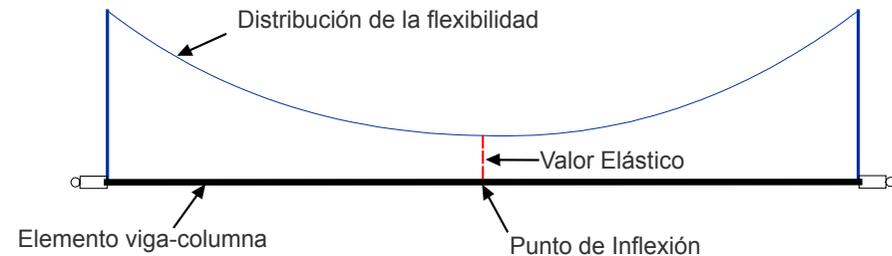
La resistencia es una variable que interviene en el análisis



Modelos para el análisis estructural

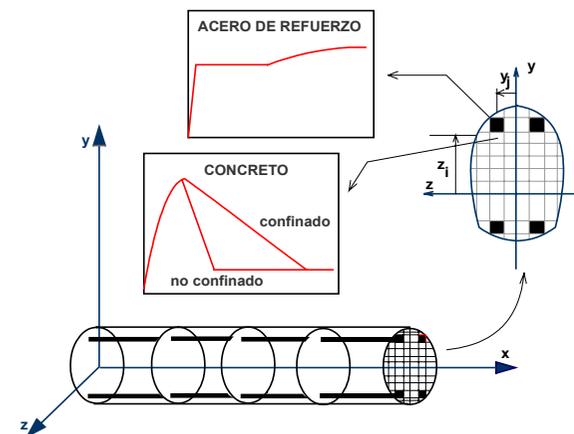
Modelos simplificados

- Modelos de plasticidad concentrada.

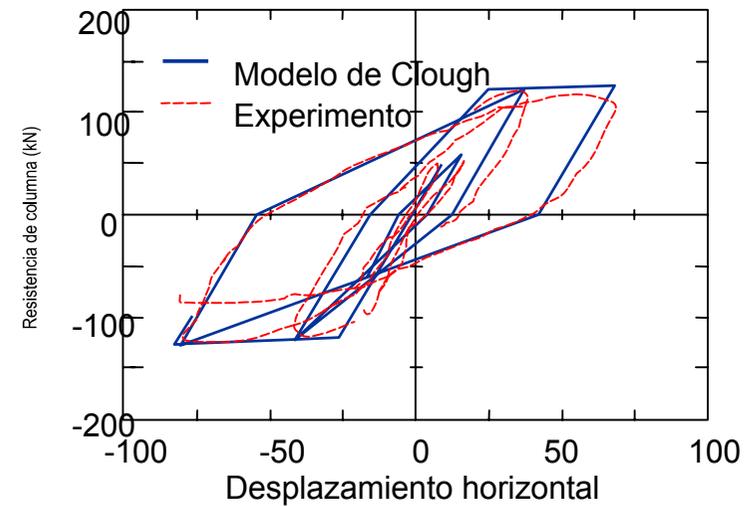
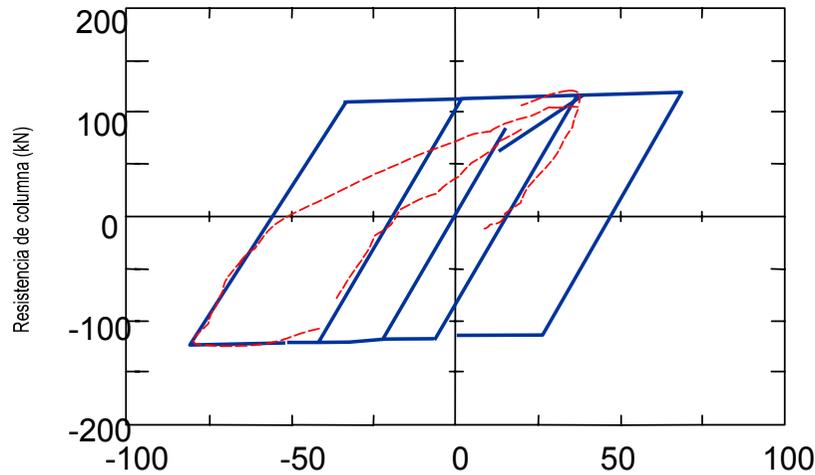
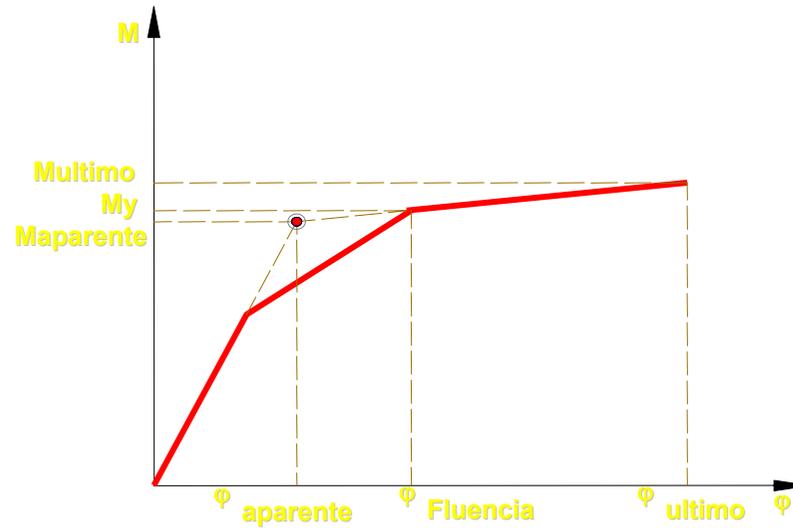


- Modelos de elementos finitos

- Modelos fibra.



Rótula puntual: Fluencia Aparente



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI

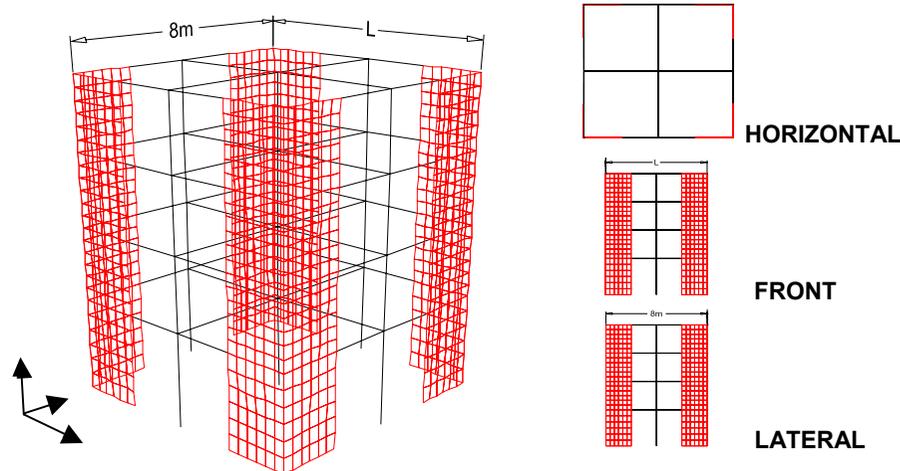
Resistencia de columna (kN)

Desplazamiento horizontal

Desplazamiento horizontal de columna (mm).



Propiedades inelásticas de los pórticos analizados



SISTEMA: Kg/cm

Sección	Tipo	Mcr	ϕ_{cr}	My	ϕ_y	Mu	ϕ_u	C. Ductilidad por momentos
1	SUP	213,999.38	0.0000074	502,346.72	8.15886E-05	546,701.01	0.000564556	32.90
1	INF	218,554.83	0.0000076	737,375.40	8.78067E-05	783,745.00	0.000489913	19.41
2	SUP	211,701.78	0.0000073	502,493.81	8.20625E-05	545,570.50	0.000582826	33.94

SISTEMA: Kg/cm

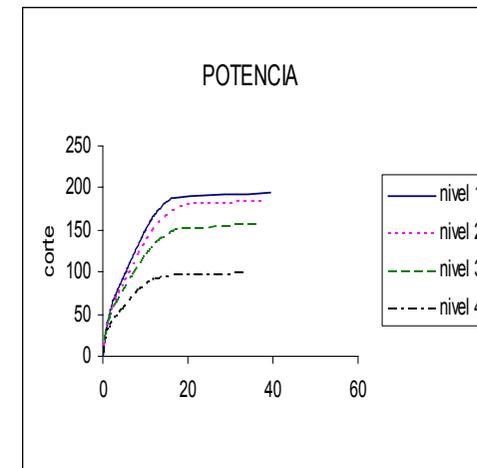
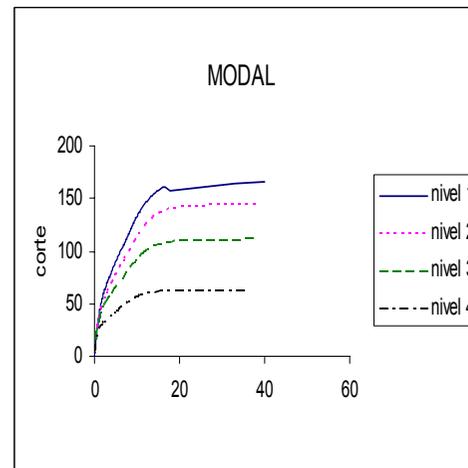
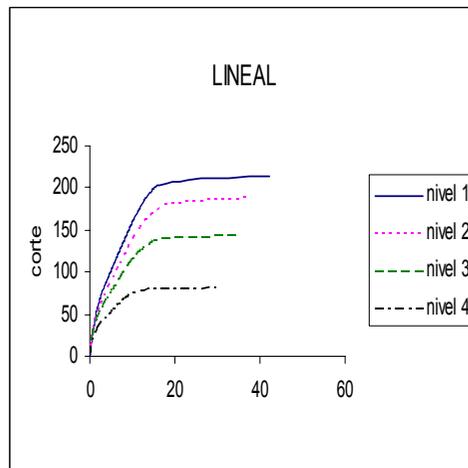
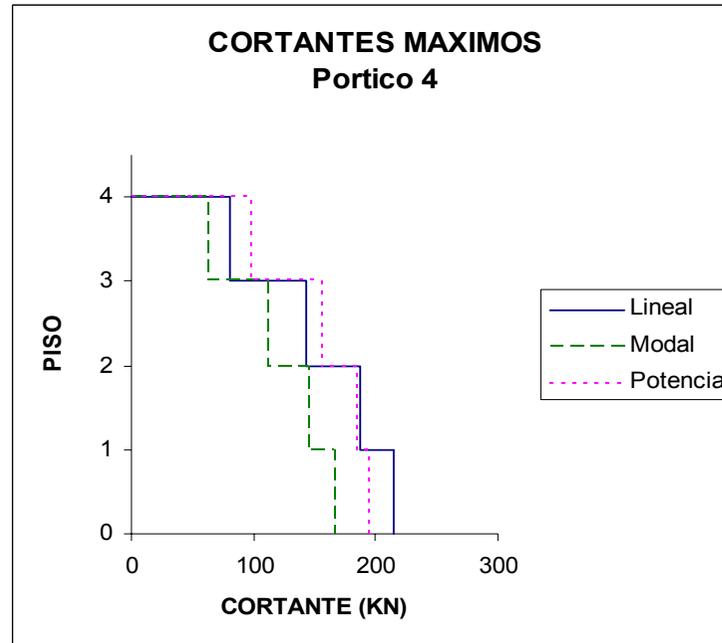
Sección	Tipo	1ª pendiente	3ª Pendiente	Ratio	% 3ª/1ª	C. Ductilidad trilineal	Fluencia Aparente	
							My	ϕ_y
1	SUP	28,933,333,333.33	91,837,124.18	0.003	0.32	6.92	496,429.57	1.71577E-05
1	INF	28,933,333,333.33	115,316,890.74	0.004	0.40	5.58	730,159.93	2.52359E-05
2	SUP	28,933,333,333.33	86,022,026.25	0.003	0.30	7.10	496,912.00	1.71744E-05



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI

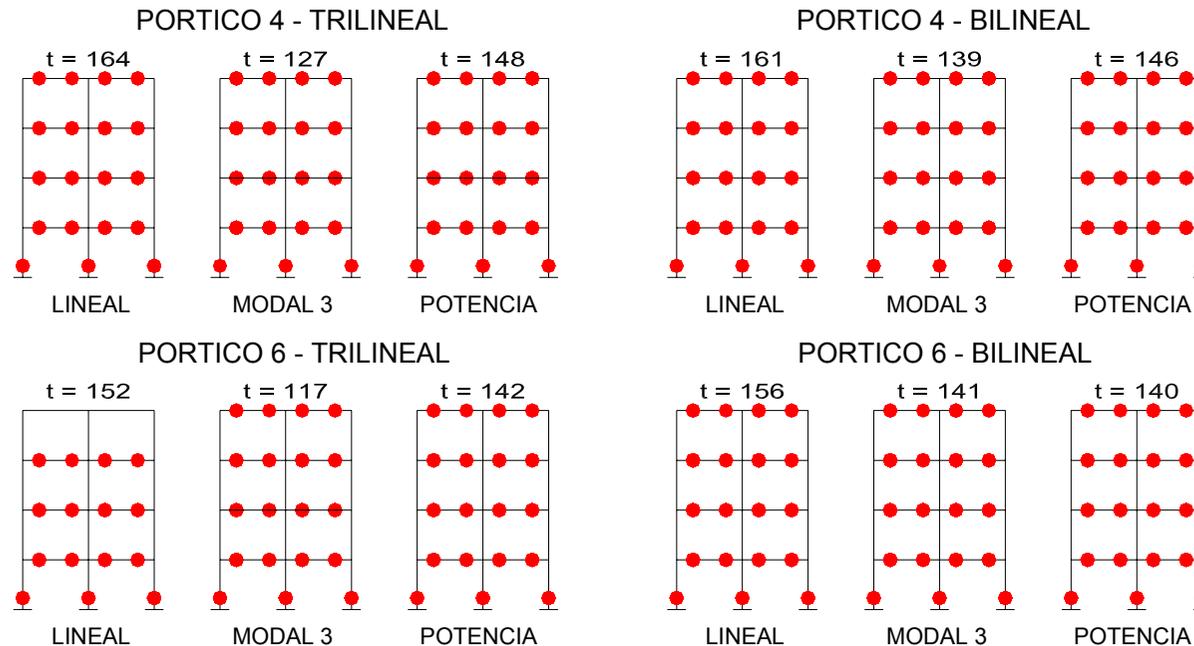


Análisis Inelástico Estático Incremental



Lugares donde se presentan rótulas plásticas

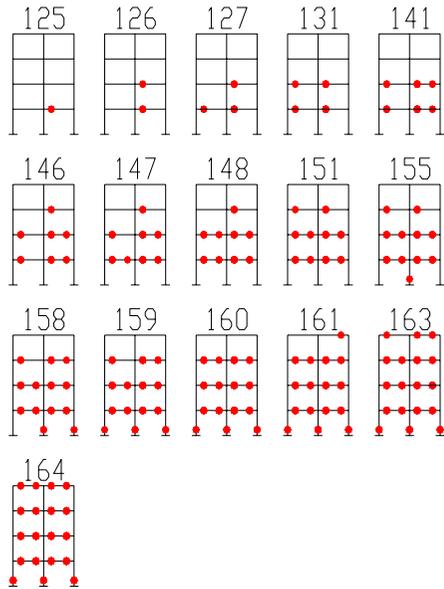
(Análisis Inelástico Estático Incremental)



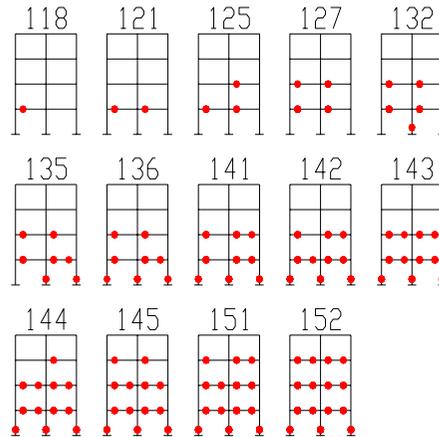
Secuencia de la formación de las rótulas plásticas

TRILINEAL

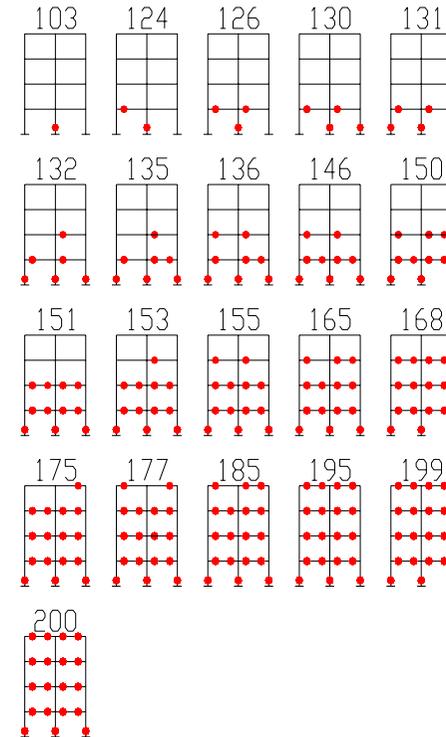
p4



p6

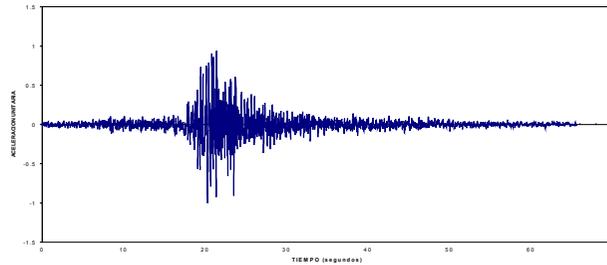


p8



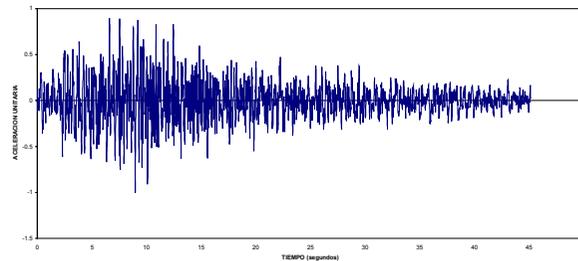
Acelerogramas usados en el análisis dinámico inelástico

REGISTRO DE ACELERACIONES
LIMA, PERU, I.G.P. 10/17/66 COMP N08E



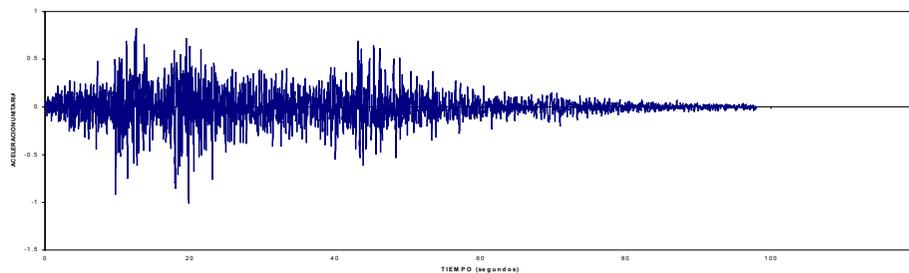
LIMA – 1966

REGISTRO DE ACELERACIONES
LIMA, PERU, I.G.P. 05/31/70 COMP N82W



LIMA - 1970

REGISTRO DE ACELERACIONES
LIMA, PERU, I.G.P. 10/03/74 COMP N82W



LIMA - 1974

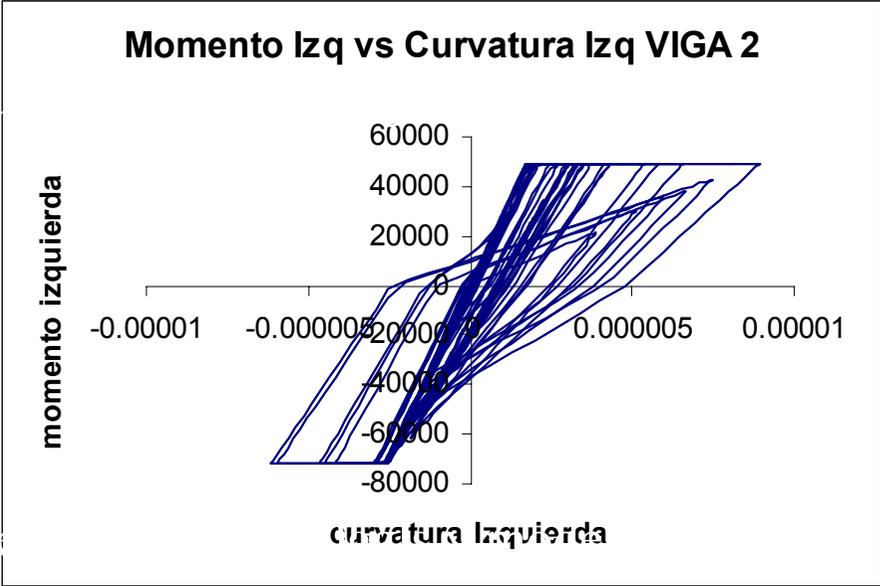
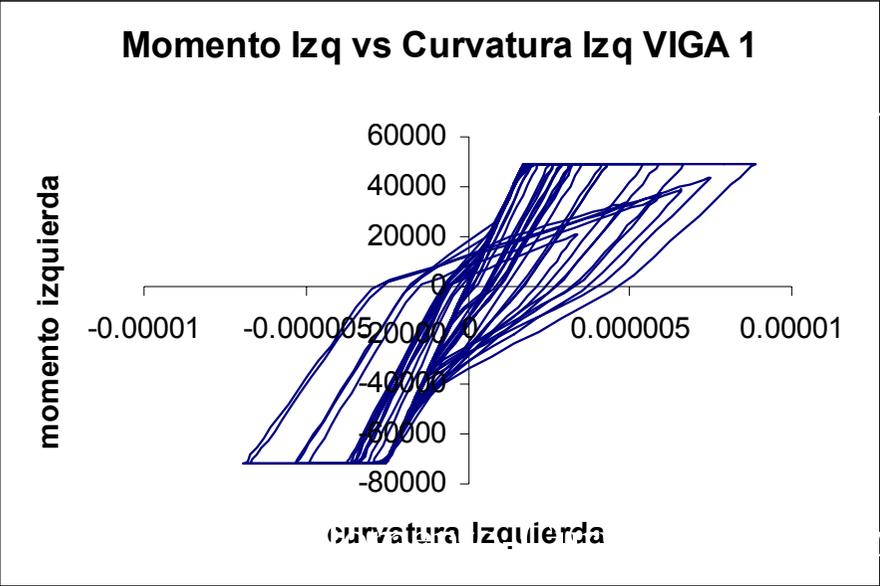


**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**

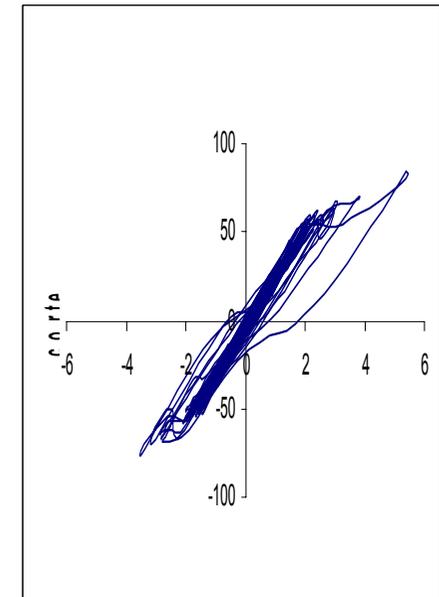
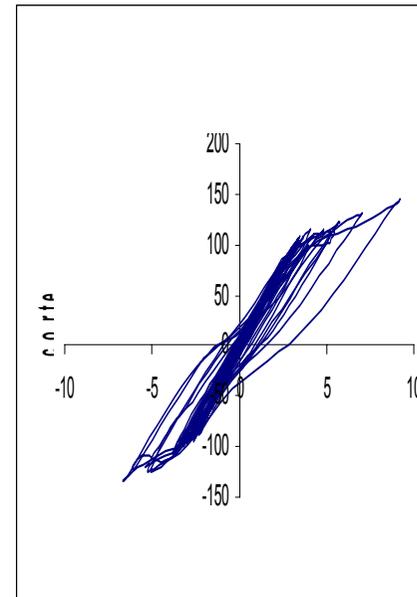
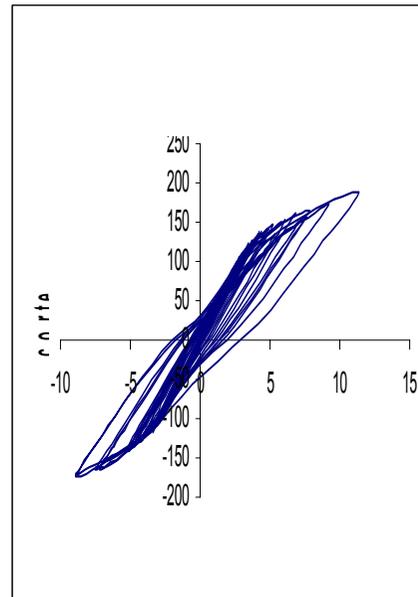
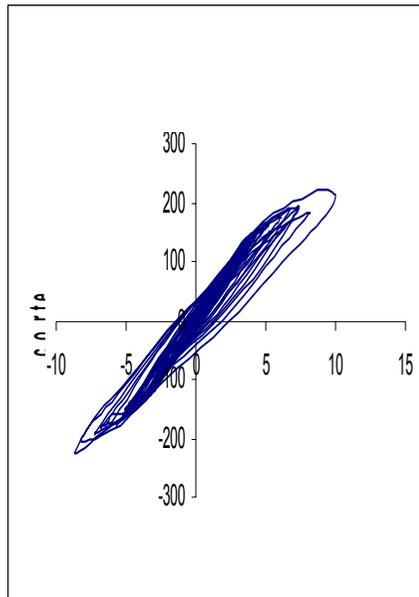


Relación Momento-Curvatura con una aceleración de 600gals y modelo Bilin

10ml_pl_p470104.xls

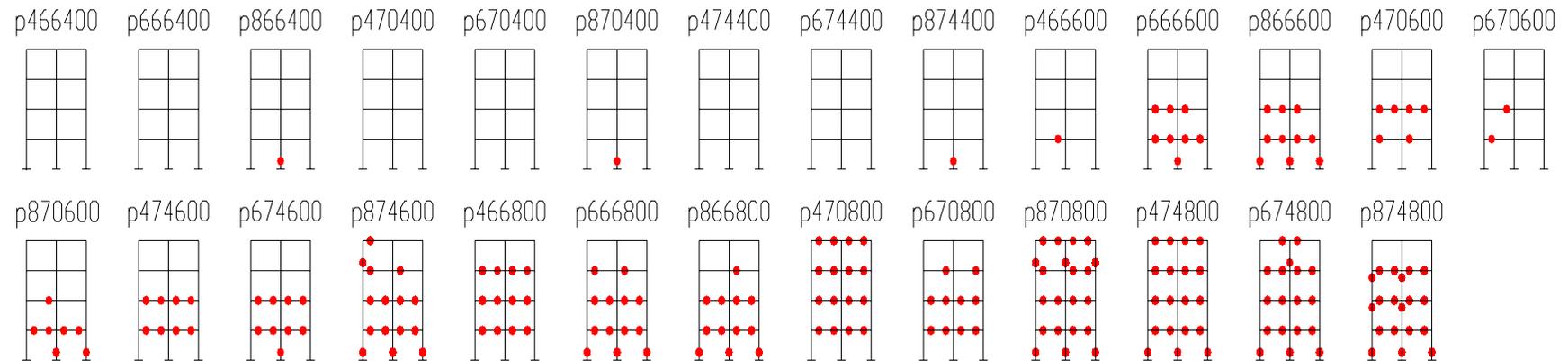


Relación fuerza cortante vs. desplazamiento de entrepiso (pórtico p4 sismo 1970 aceleración 600 gals)



Lugares donde ocurrieron rótulas plásticas

TRILINEAL

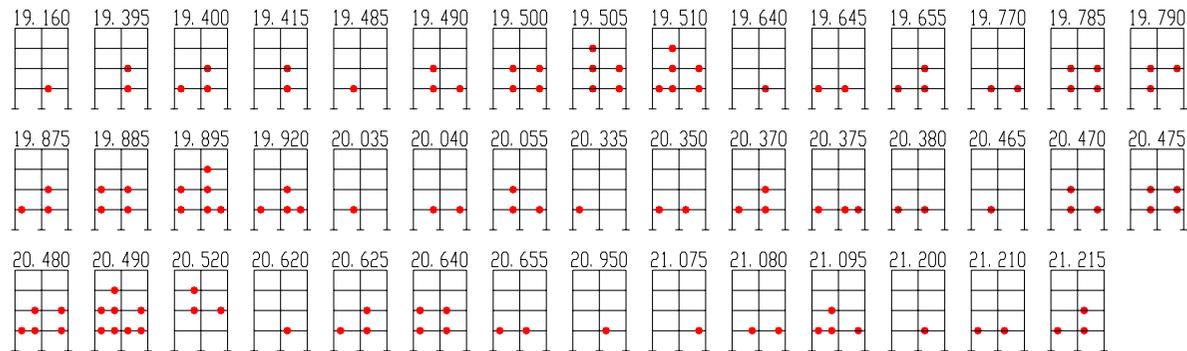


**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**

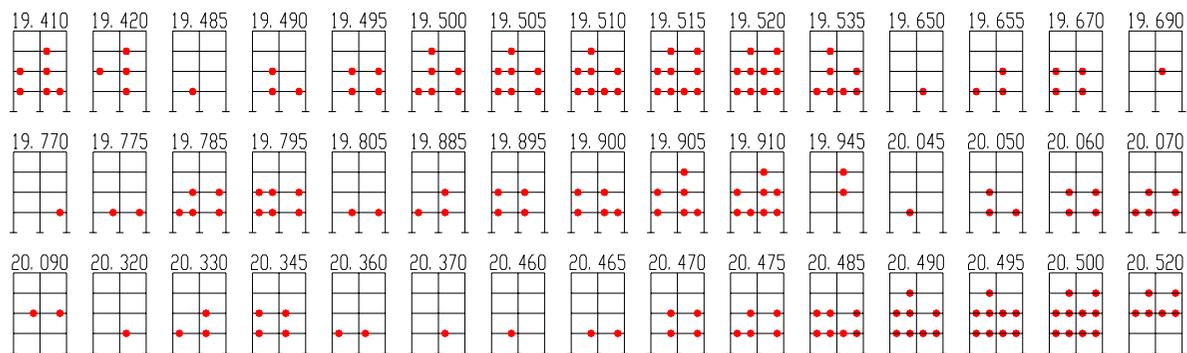


Secuencia de Formación de rótulas plásticas

Pórtico 4 – Sismo 66 – Acel 400gals



Pórtico 4 – Sismo 66 – Acel 600gals



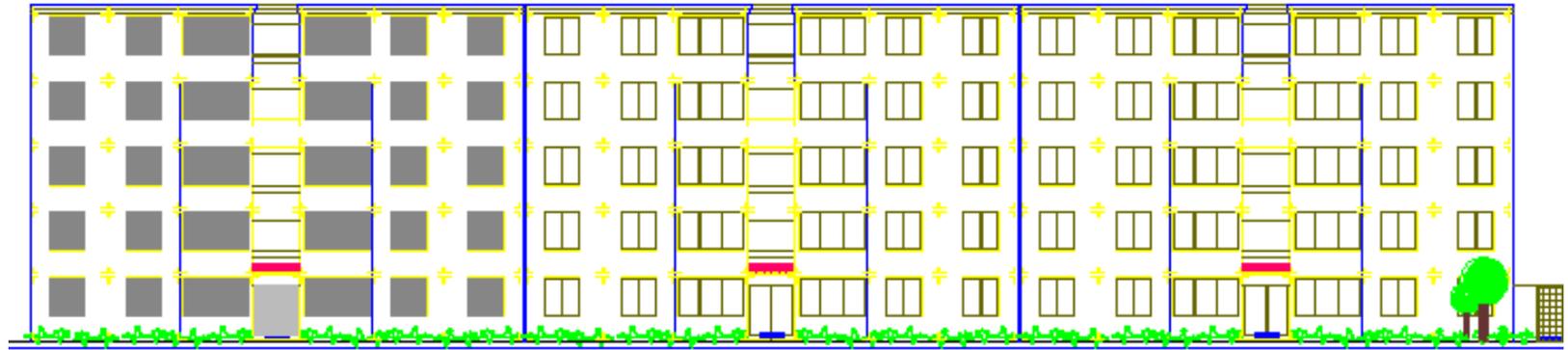


EDIFICIOS CON MUROS DE CORTE

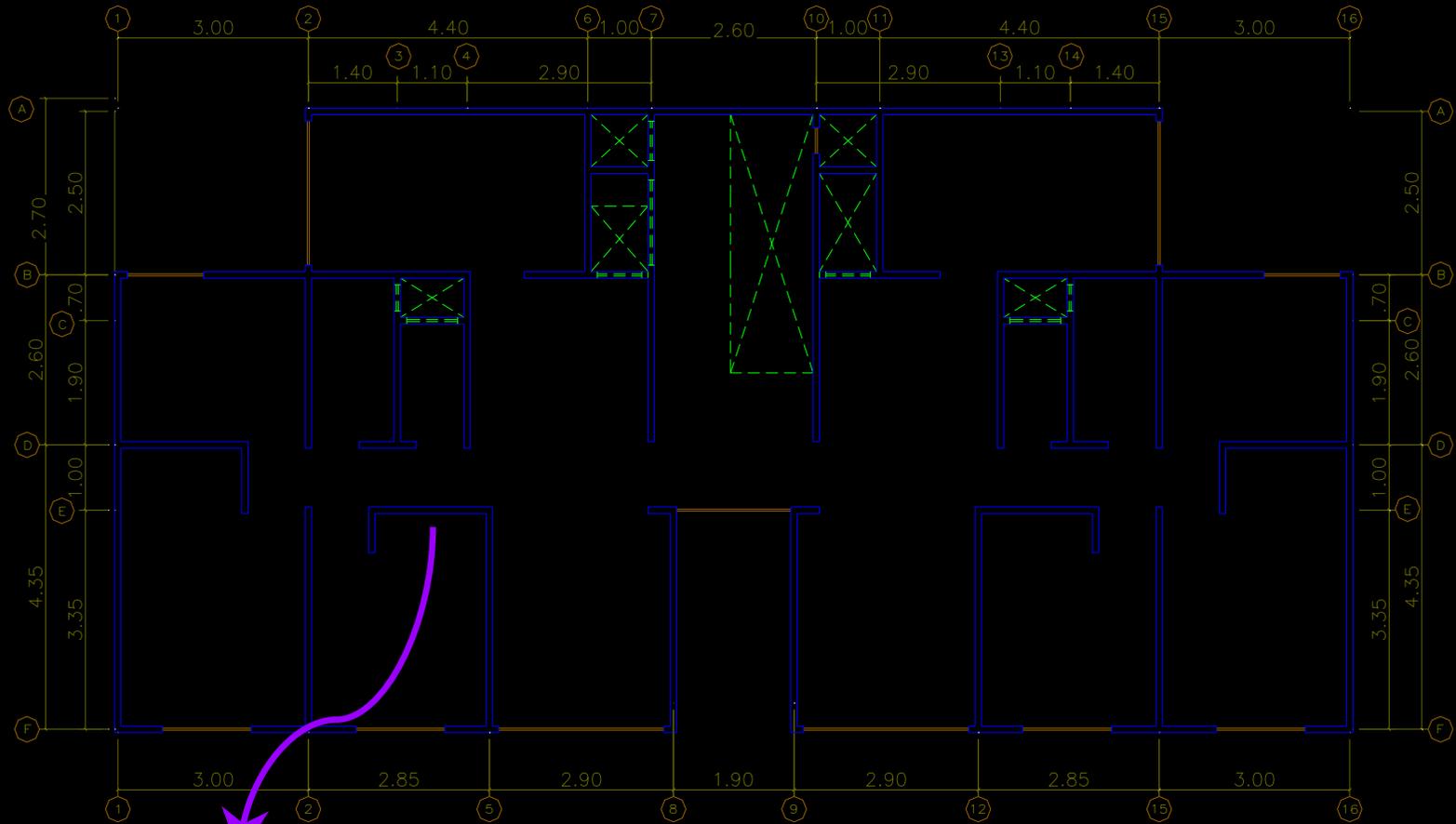
Verificar la resistencia última:
Determinar si el mecanismo de colapso es estable



Edificios analizados



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE MITIGACIÓN DE DESASTRES



Primer piso

Detalle

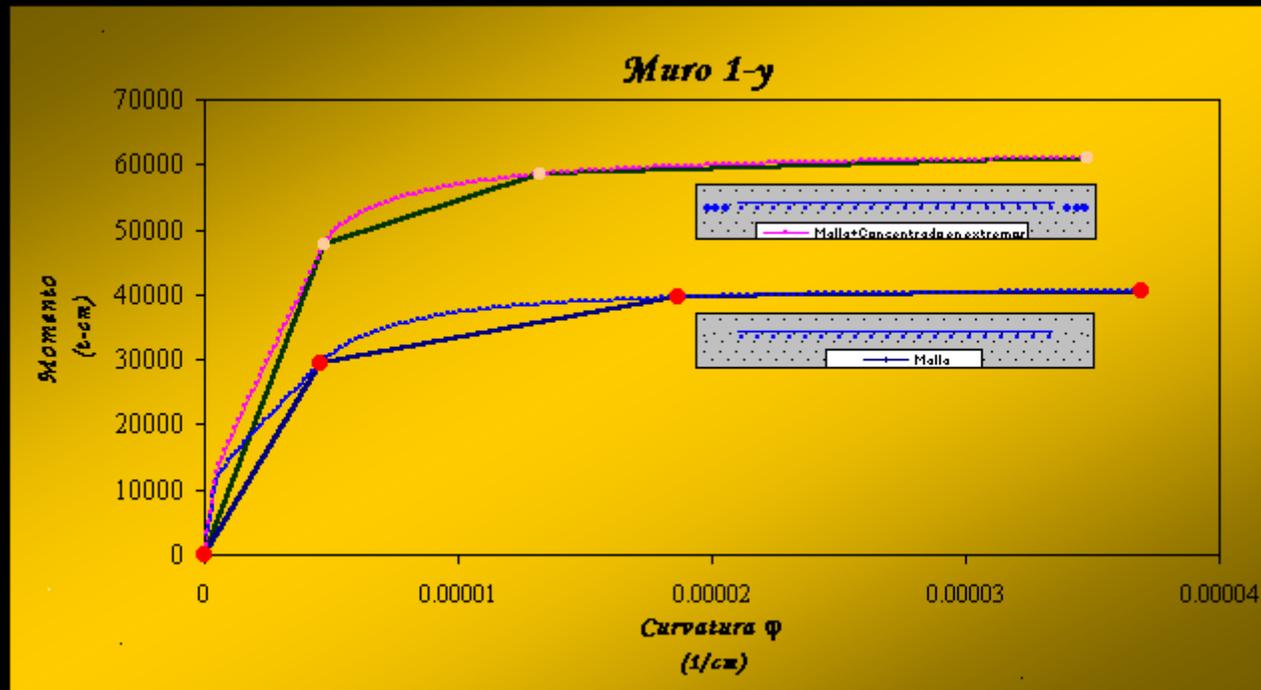
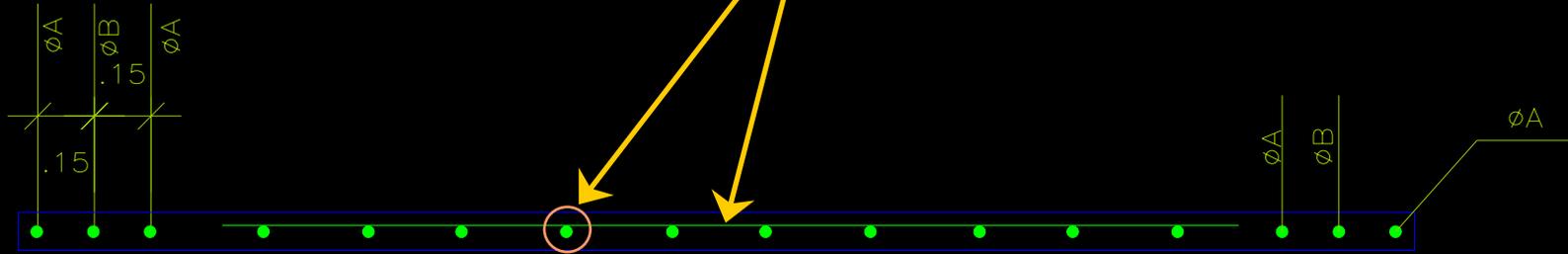


Vista en Planta

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI



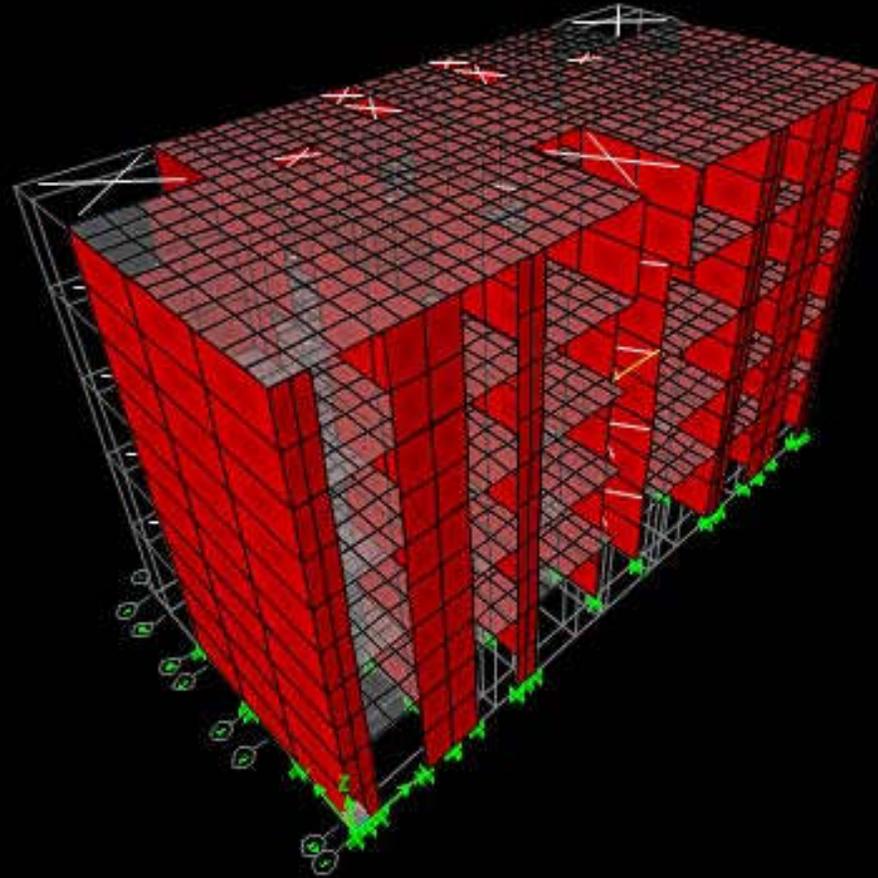
Malla
Electrosoldada



CENTRO



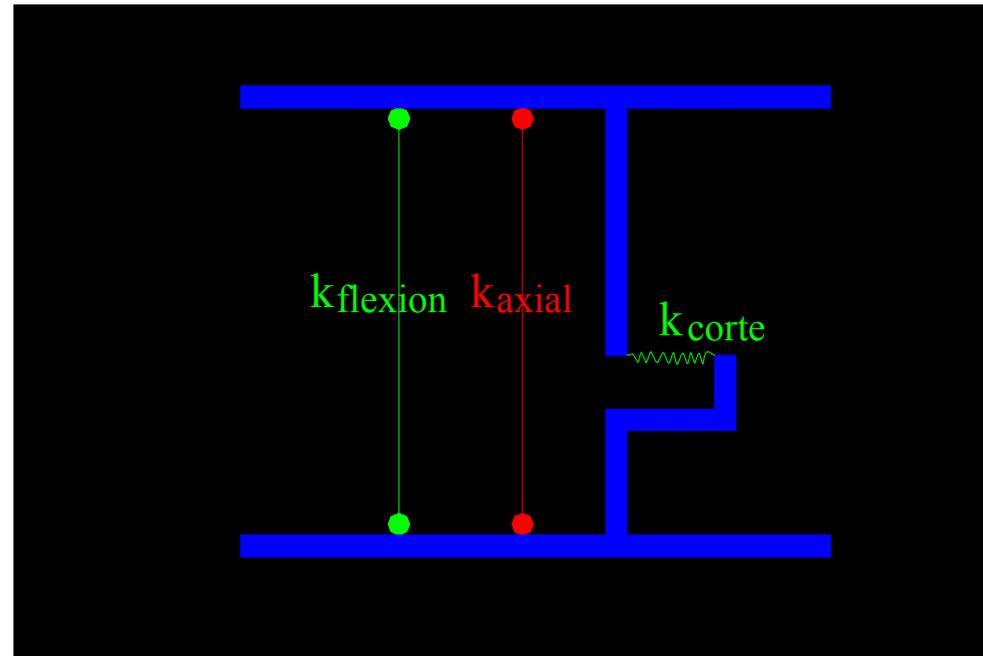
Análisis Dinámico Elástico



**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**
Modelo



Modelo Inelástico



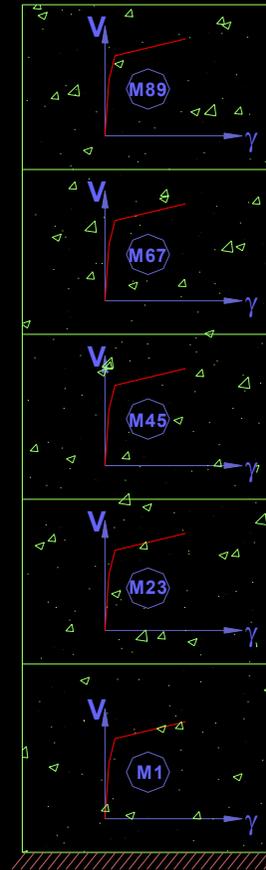
- Resorte de flexión
- Resoste de cortante



Momento-curvatura

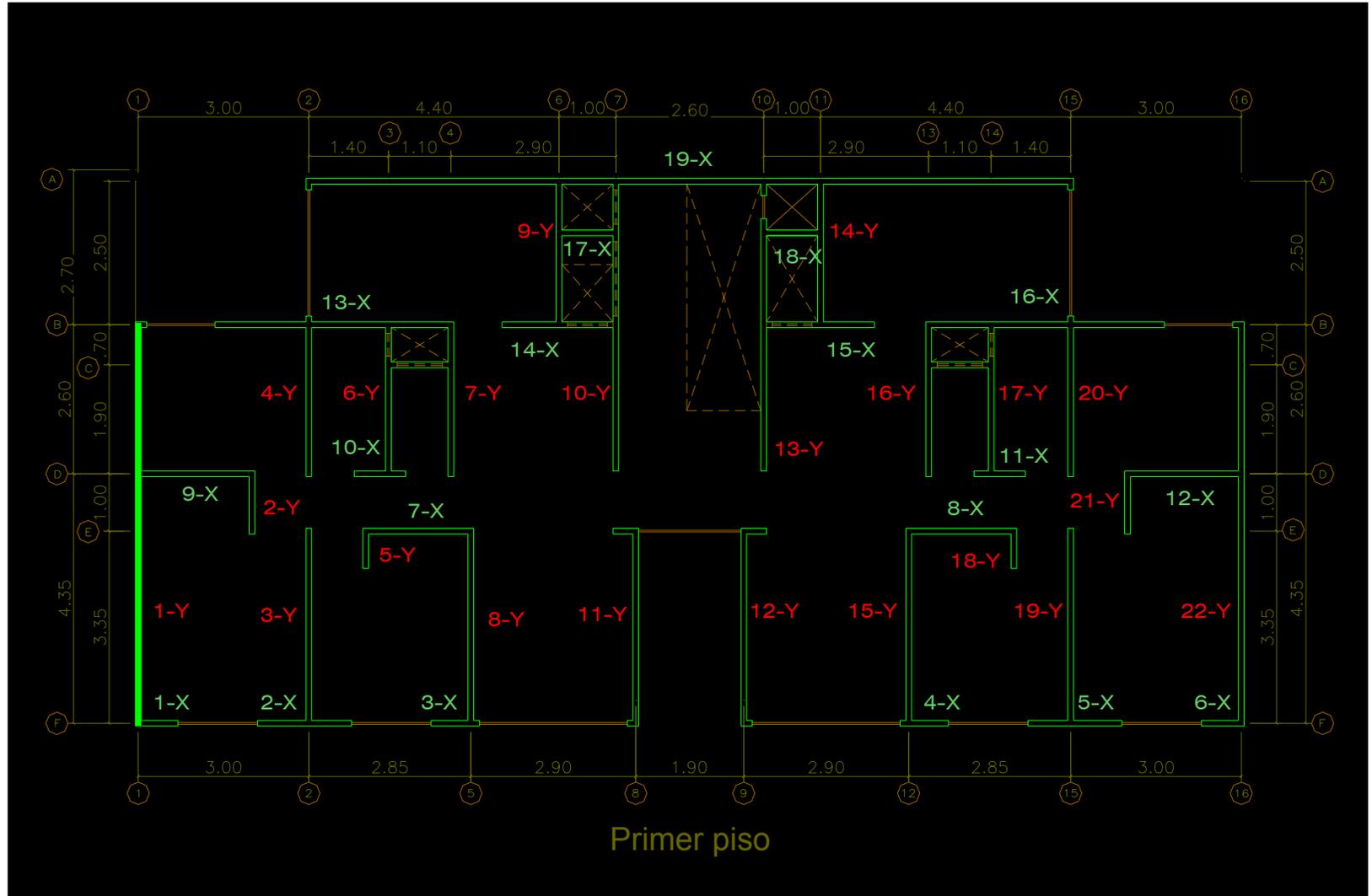


Corte-distorción



**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**



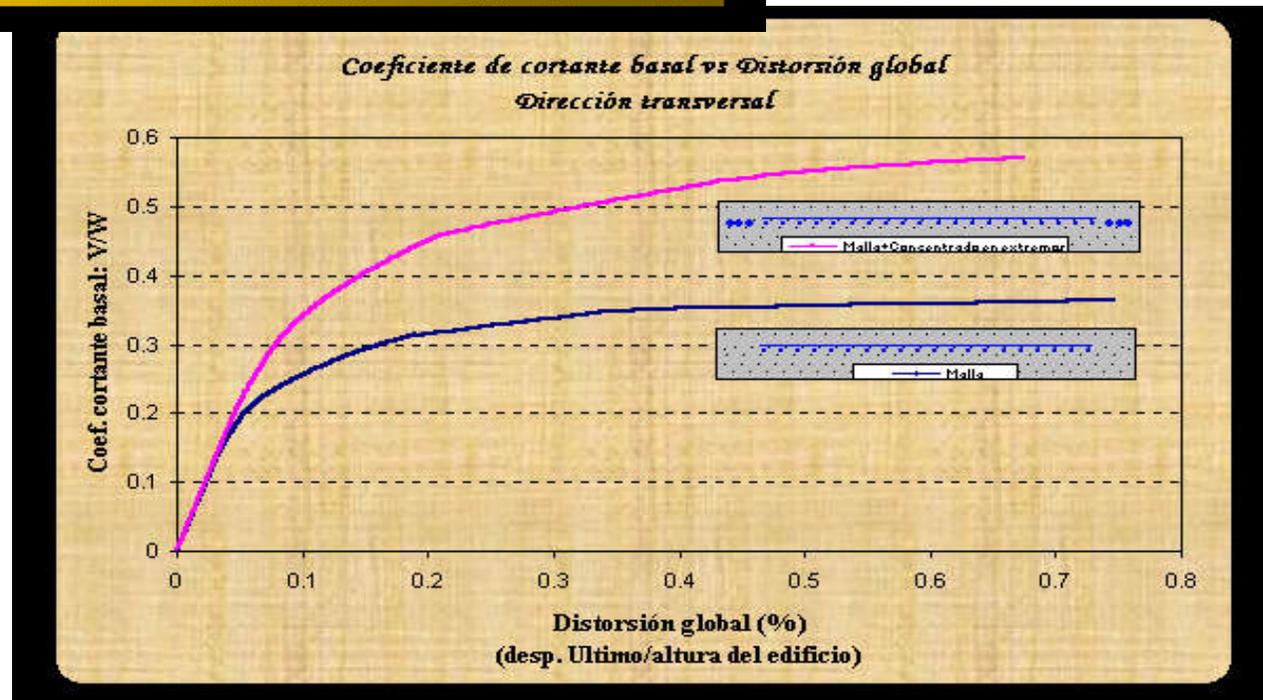
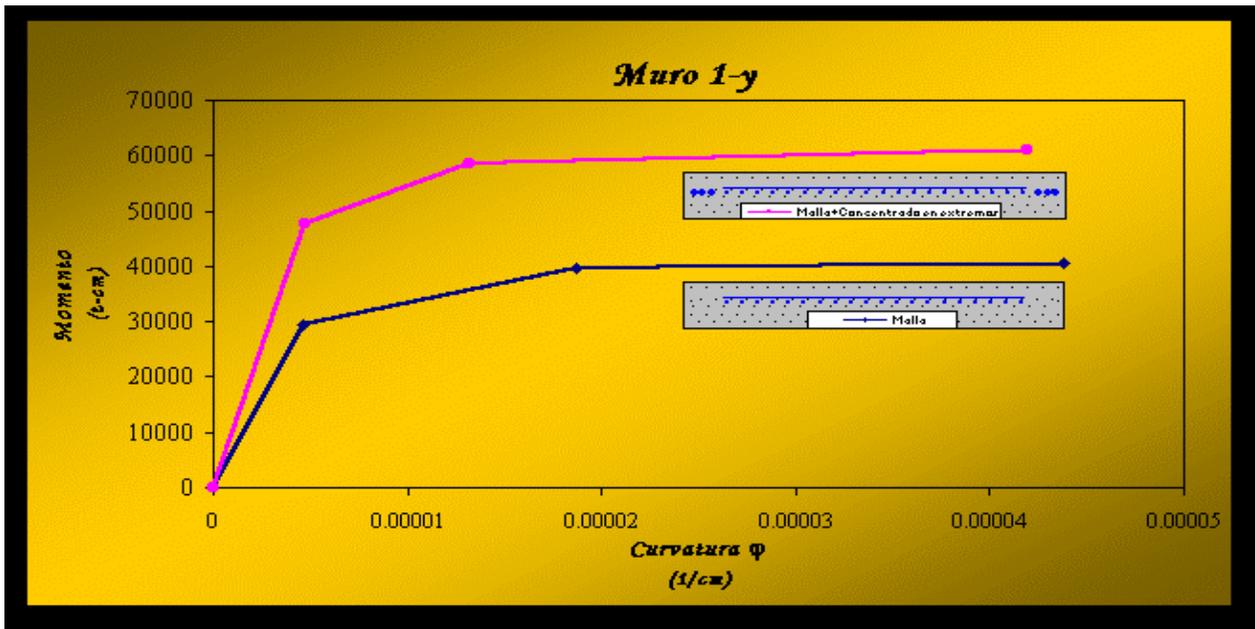


Modelos Inelásticos



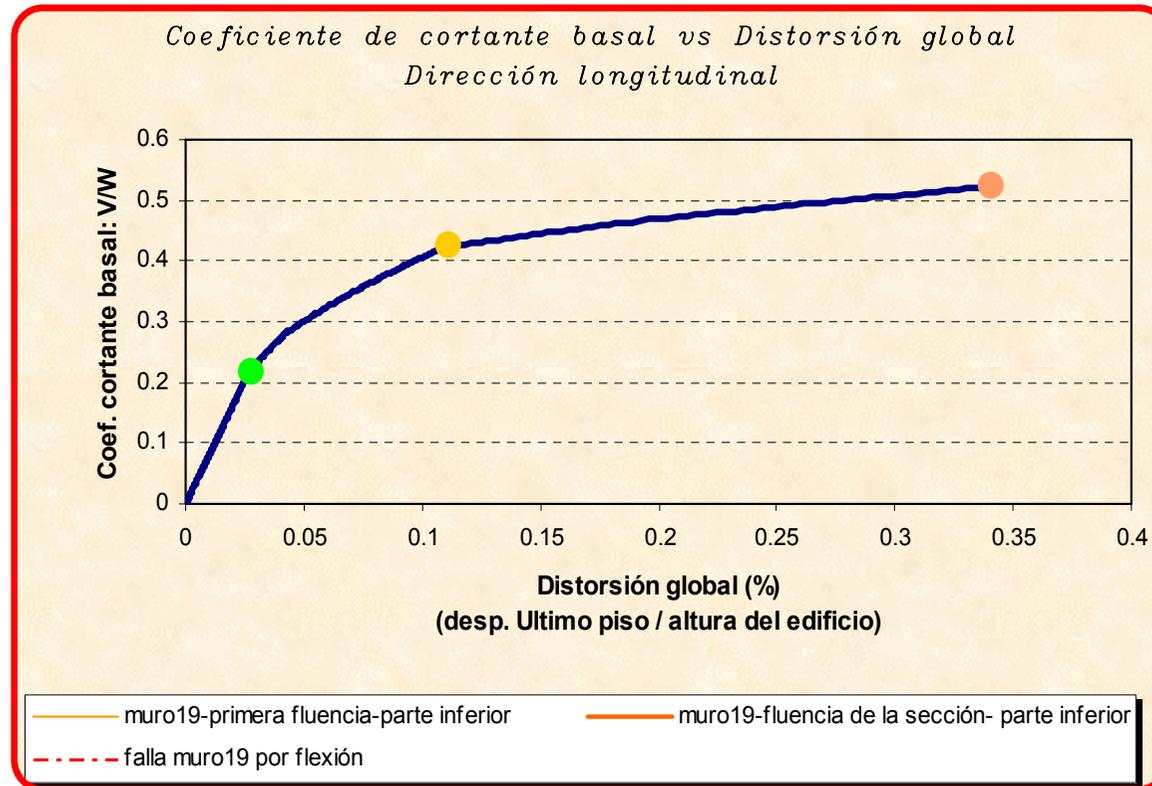
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**



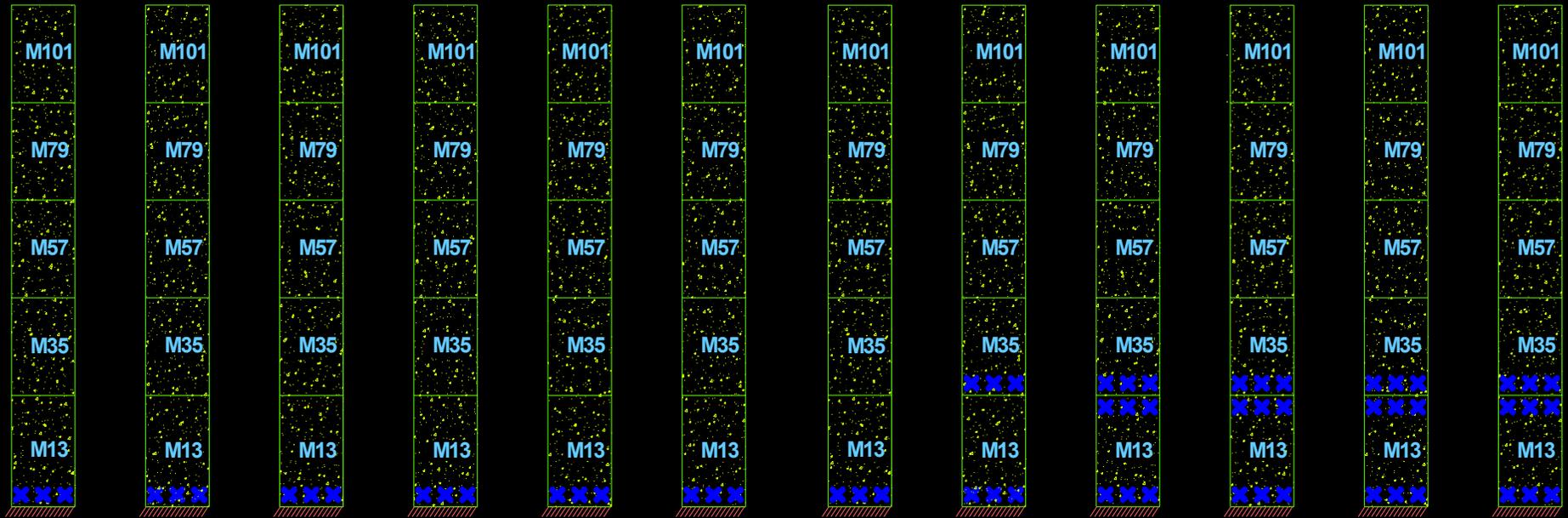


**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES FIC - UNI**

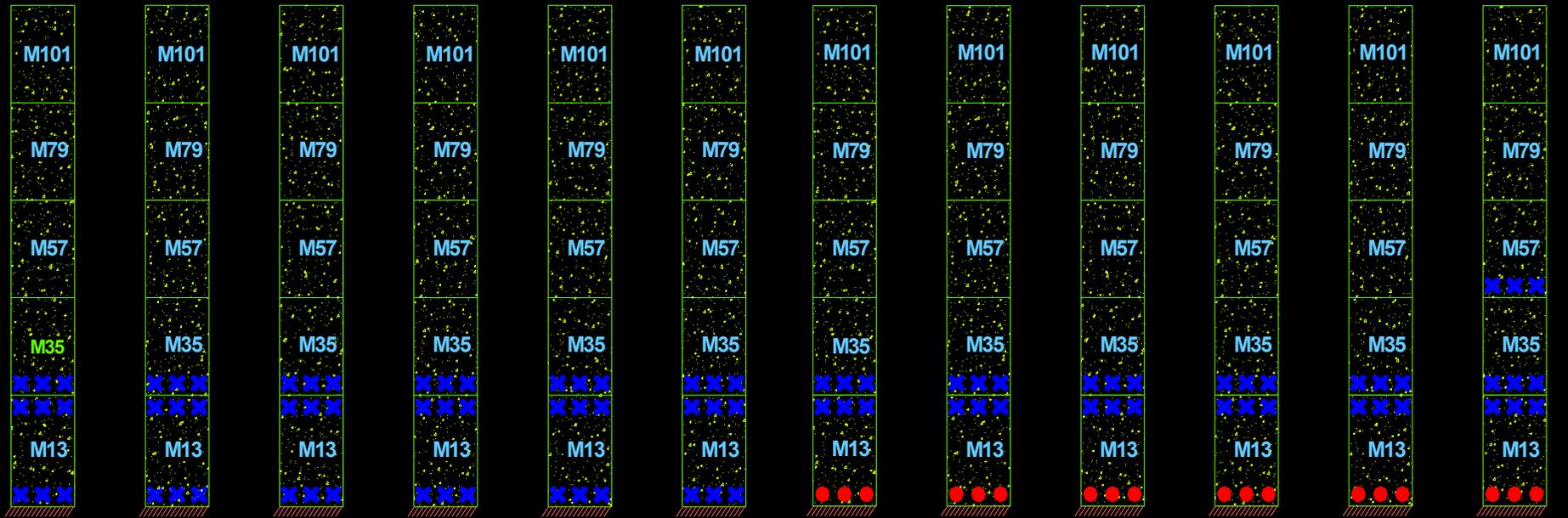




Coef. base: $V/W = 0.3200$ Coef. base: $V/W = 0.3349$ Coef. base: $V/W = 0.3825$ Coef. base: $V/W = 0.4161$ Coef. base: $V/W = 0.4419$ Coef. base: $V/W = 0.4533$
 Coef. base: $V/W = 0.3321$ Coef. base: $V/W = 0.3761$ Coef. base: $V/W = 0.39$ Coef. base: $V/W = 0.4289$ Coef. base: $V/W = 0.4501$ Coef. base: $V/W = 0.49$



Coef. base: $V/W = 0.4589$ Coef. base: $V/W = 0.4670$ Coef. base: $V/W = 0.4899$ Coef. base: $V/W = 0.5384$ Coef. base: $V/W = 0.5473$ Coef. base: $V/W = 0.5557$
 Coef. base: $V/W = 0.4620$ Coef. base: $V/W = 0.4707$ Coef. base: $V/W = 0.5$ Coef. base: $V/W = 0.5445$ Coef. base: $V/W = 0.5549$ Coef. base: $V/W = 0.566$



CONCLUSIONES

- Las rótulas plásticas aparecen mayormente en los mismos lugares tanto para el análisis inelástico estático o dinámico.
- La incursión inelástica siempre comienza en los niveles más bajos y se propaga hacia arriba
- Hay procedimientos disponibles para verificar la resistencia última de edificios, tanto estáticos (incremental, tipo “push over”) como dinámicos y poder conocer si habrá o no colapso.
- Como la carga sísmica es cíclica, la degradación de resistencia y rigidez se incrementa para grandes deformaciones y el análisis inelástico estático (push over) puede sobreestimar la resistencia última.



CONCLUSIONES

- Usar una estrategia orientada a lograr un mecanismo último estable (diseño por capacidad) parece el proceso más lógico para asegurar edificios seguros bajo sismos severos.
- En edificios de muros la respuesta puede estar controlada por la resistencia a la flexión, en muros gruesos, pero por la resistencia al corte puro en muros delgados. Esto último puede conducir a fallas frágiles.
- Como la carga sísmica es cíclica, la degradación de resistencia y rigidez se incrementa para grandes deformaciones y el análisis inelástico estático (push over) puede sobreestimar la resistencia última.





Gracias por su atención

