MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

CURSO DE FORMACIÓN

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA SÍSMICA Y ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS

M.SC. EDWAR ESTEBA APAZA.
INGENIERO ESTRUCTURAL

MODULO VI: DINAMICA ESTRUCTURAL

Temario

- Logro de la sesión
- Introducción
- Comportamiento Inelástico ante carga incrementales.
- Resistencia, ductilidad, tenacidad.
- Comportamiento dinámico inelástico.
- Degradación de la resistencia y rigidez.
- Demandas de ductilidad y energía histeretica.
- Respuesta inelástica de estructura de un grado de libertad.
- Respuesta máxima y cantidades espectrales.
- Factores de reducción de fuerza sísmica.
- Relaciones entre el factor de reducción y las demandas de ductilidad y energía.
- Espectros de Respuesta inelástica.
- Espectros de demanda de ductilidad.
- Espectros de ductilidad constante.
- Espectros de demanda y capacidad.

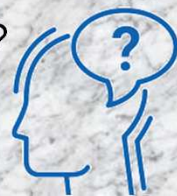
Logro de la sesión

Al finalizar la sesión el estudiante calcula la respuesta inelástica de Estructuras de modelos de 1gdl.

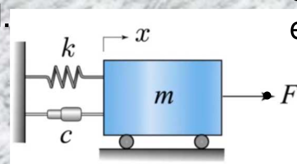
INTRODUCCIÓN

Conceptos Previos

¿Análisis Lineal (Elástica) ?



- Fuerza elástica **proporcional al** desplazamiento.
- Fuerza de Amortiguación **Proporcional** a la Velocidad.



$F_I + F_c + F_R = P(t)$

$m\ddot{u} + C\dot{u} + ku = P(t)$

¿Análisis No Lineal (Inelásticos)?

Casos en el cual el **modelo lineal** no representa sus características dinámicas de la estructura en forma adecuada.

- Fuerza elástica **NO es proporcional al** desplazamiento.
- Fuerza de Amortiguación **NO es Proporcional** a la Velocidad.

Modelo No Lineal con un grado de Libertad

Equilibrio de Fuerzas

$$F_I(t_i) + F_D(t_i) + F_S(t_i) = F(t_i)$$

Variación de tiempo Δt

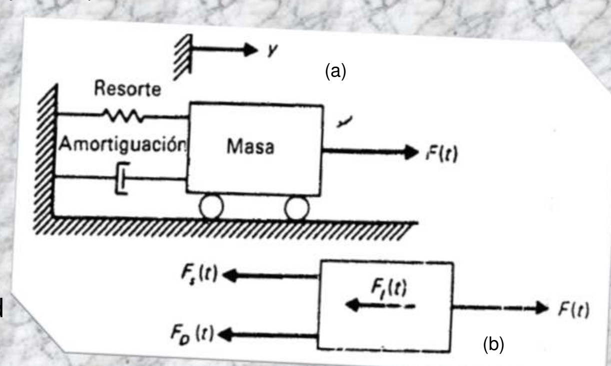
$$F_I(t_i + \Delta t) + F_D(t_i + \Delta t) + F_S(t_i + \Delta t) = F(t_i + \Delta t)$$

$$\Delta F_I + \Delta F_D + \Delta F_S = \Delta Fi$$

Fuerzas Incrementales.

$$\Delta F_I = F_I(t_i + \Delta t) - F_I(t_i)$$
$$\Delta F_D = F_D(t_i + \Delta t) - F_D(t_i)$$
$$\Delta F_S = F_S(t_i + \Delta t) - F_S(t_i)$$
$$\Delta Fi = F(t_i + \Delta t) - F(t_i)$$

$F_I(t_i)$: *Fuernzas internas*
$F_D(t_i)$: *Fuerza de Amortiguamiento*
$F_S(t_i)$: *Fuerza en resorte*
$F(t_i)$: *Fuerza exterior*



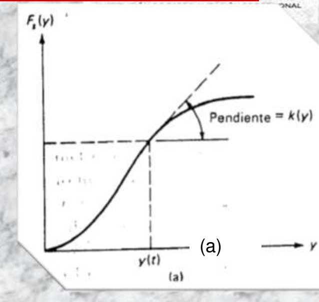
(a) Modelo para un sistema un grado de libertad
(b) Diagrama de cuerpo libre (fuerza de inercia, la fuerza de amortiguación, la fuerza en el resorte y la fuerza extera.

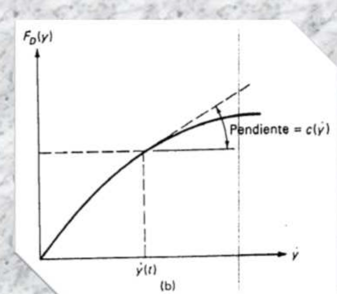
Modelo No Lineal con un grado de Libertad

Se pueden expresar.

$$\Delta F_I = m\Delta\ddot{y}_i$$
$$\Delta F_D = c_i\Delta\dot{y}_i$$
$$\Delta F_S = k_i\Delta y_i$$

a) Rigidez no lineal.
b) Amortiguación no lineal.





Donde el desplazamiento integral Δy velocidad integral $\Delta\dot{y}$, acelaracion incremental $\Delta\ddot{y}$.

$$\Delta y_i = y(t_i + \Delta t) - y(t_i)$$
$$\Delta\dot{y}_i = \dot{y}(t_i + \Delta t) - \dot{y}(t_i)$$
$$\Delta\ddot{y}_i = \ddot{y}_i(t_i + \Delta t) - \ddot{y}_i(t_i)$$

$k_i = \left(\frac{dFs}{dy}\right)_{y=yi}$ $c_i = \left(\frac{dF_D}{dy}\right)_{y=yi}$ *coeficientes no permanecen constates.*

Ecuación Incremental.

$$\boldsymbol{m\Delta\ddot{y}_i + c_i\Delta\dot{y}_i + k_i\Delta y_i = \Delta Fi}$$

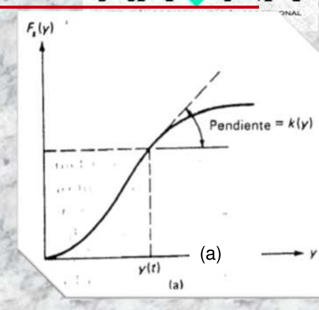
Ecuación aproximada.

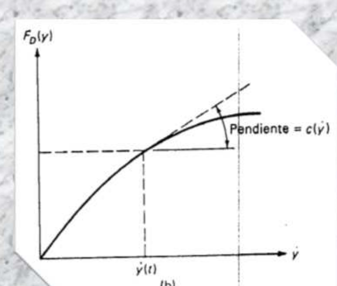
Resistencia, Ductilidad y Tenacidad

Se pueden expresar.

$$\Delta F_I = m\Delta\ddot{y}_i$$
$$\Delta F_D = c_i\Delta\dot{y}_i$$
$$\Delta F_S = k_i\Delta y_i$$

a) Rigidez no lineal.
b) Amortiguación no lineal.





Donde el desplazamiento integral Δy velocidad integral $\Delta\dot{y}$, acelaracion incremental $\Delta\ddot{y}$.

$$\Delta y_i = y(t_i + \Delta t) - y(t_i)$$
$$\Delta\dot{y}_i = \dot{y}(t_i + \Delta t) - \dot{y}(t_i)$$
$$\Delta\ddot{y}_i = \ddot{y}_i(t_i + \Delta t) - \ddot{y}_i(t_i)$$

$k_i = \left(\frac{dFs}{dy}\right)_{y=yi}$ $c_i = \left(\frac{dF_D}{dy}\right)_{y=yi}$ *coeficientes no permanecen constates.*

Ecuación Incremental.

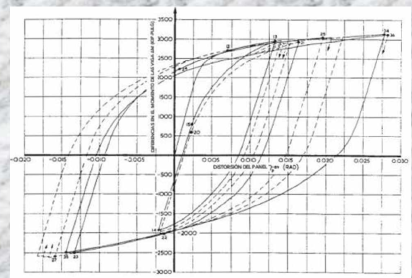
$$\boldsymbol{m\Delta\ddot{y}_i + c_i\Delta\dot{y}_i + k_i\Delta y_i = \Delta Fi}$$

Ecuación aproximada.

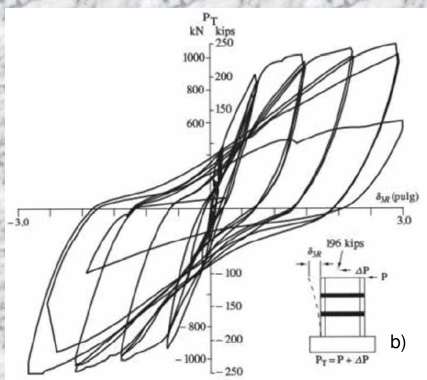
Relación Fuerza – Deformación.

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

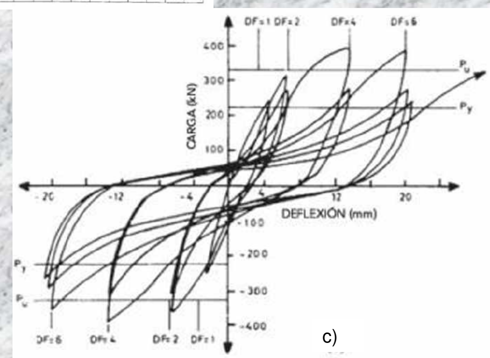
a) Acero Estructural.(Anil K. Chopra)
b) Concreto Reforzado. (Anil K. Chopra)
c) Mampostería. (Anil K. Chopra)



a)



b)

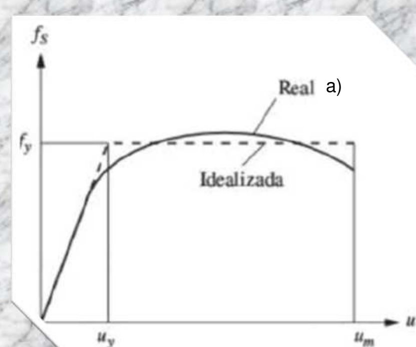


c)

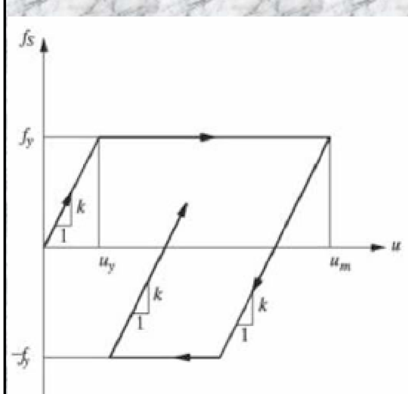
Idealización Elastoplastica

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

a) Curva de fuerza - deformación durante la aplicación de carga: real e idealization.
b) Relación elastoplástica de fuerza deformación.



a)



Ductilidad, Resiliencia,Tenacidad

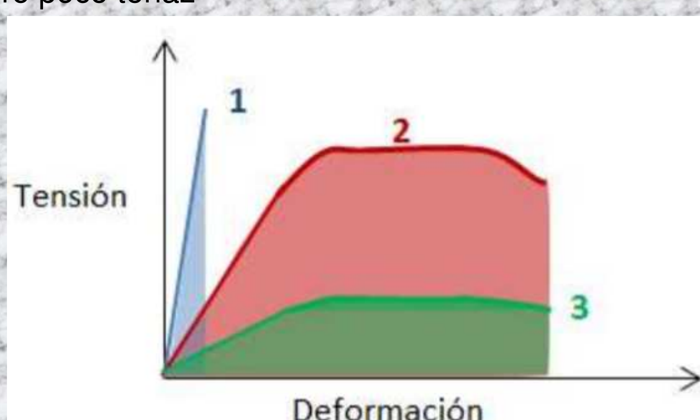
a) Comparación entre ductilidad y fragilidad. denomina material dúctil a aquel que al llegar a rotura ha sufrido deformaciones grandes.
b) Un material resiliente tiene el límite elástico muy alto y el modulo elástico muy bajo.

a)

b)

Ductilidad, Resiliencia,Tenacidad

a) (1) resistencia alta poca deformación, es poco tenaz, (2) posee buenas cualidades de resistencia a la tracción y de deformabilidad, es tenaz, (3) altamente deformable pero posee muy poca resistencia; es por tanto muy dúctil, pero poco tenaz



a)

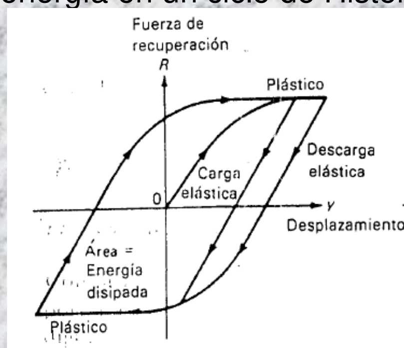
COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO.

MAGNA INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

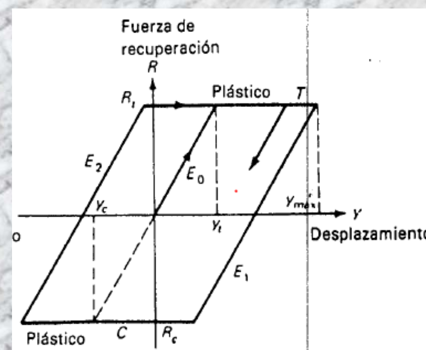
Modelos Estructurales Inelásticos.

a) Deformación Plástico general.
b) Comportamiento elastoplástico.

Disipa energía en un ciclo de Histeresis.



a)

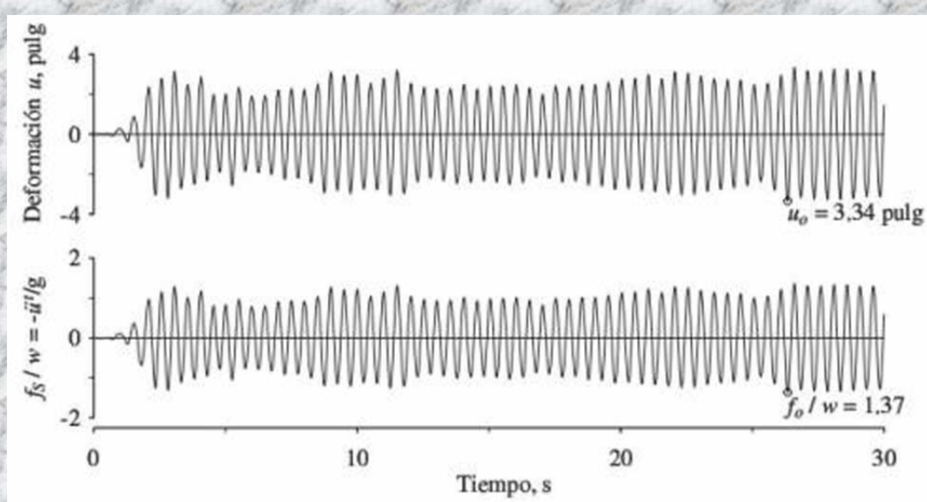


b)

EFECTOS DE LA CEDENCIA

MAGNA INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

a) Respuesta de un Sistema lineal con To=0.5s y $\zeta = 0$ al movimiento de terremoto.

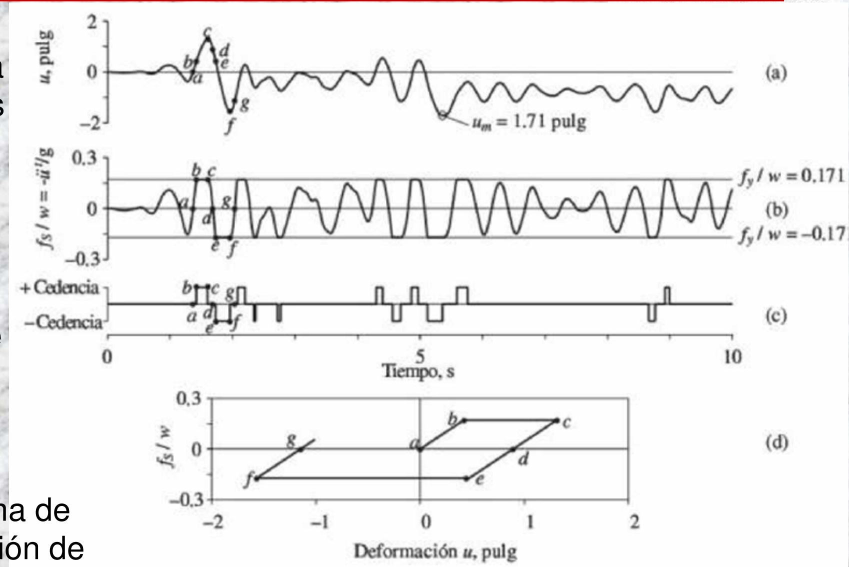


a)

EFECTOS DE LA CEDENCIA

Historia de Respuesta. Respuesta de un Sistema elastoplasico con To=0.5s $\zeta = 0$ y $\overline{fy} = 1.25$ al movimiento de terremoto.

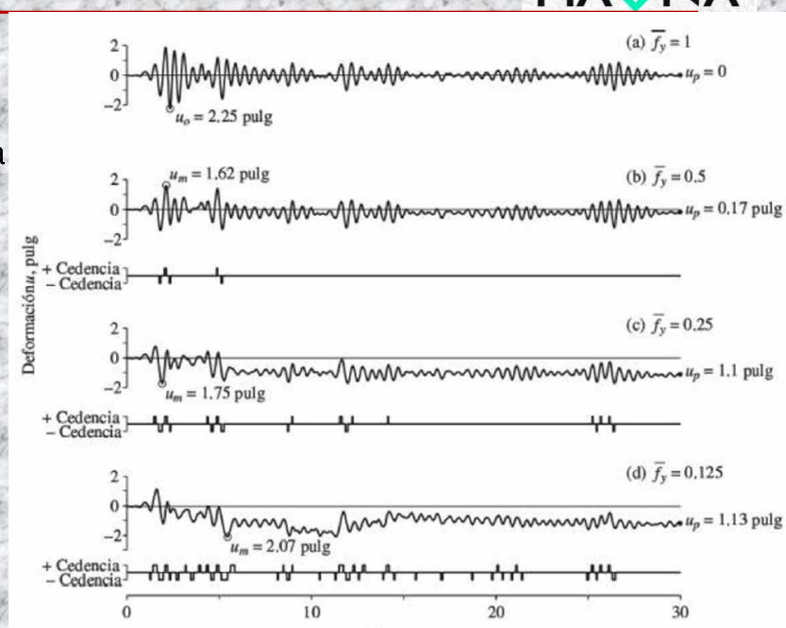
a) Deformación
b) Fuerza restauradora y aceleraciones.
c) Intervalo de tiempo de cedencia.
d) Relación fuerza – deformación.



La cedencia el Sistema de distorsioné de su poción de equilibrio inicial.

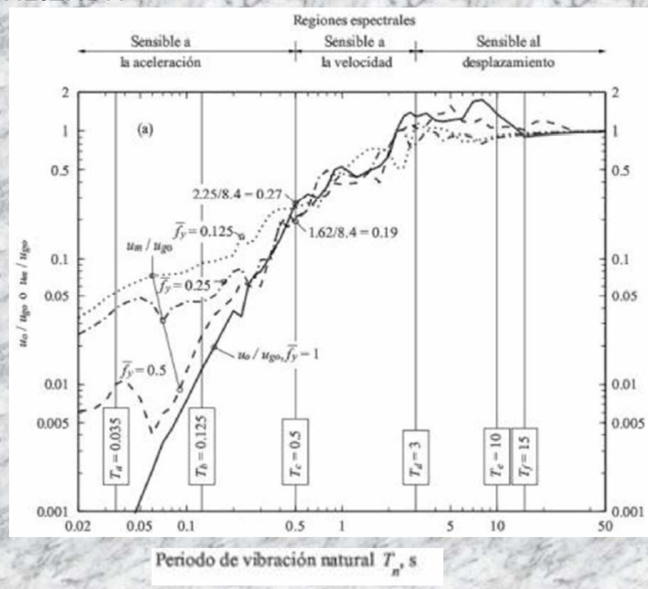
EFECTOS DE LA CEDENCIA

Los sistemas con una Resistencia a la cedencia inferior ceden con mas frecuencia y durante intervalos mas largos.



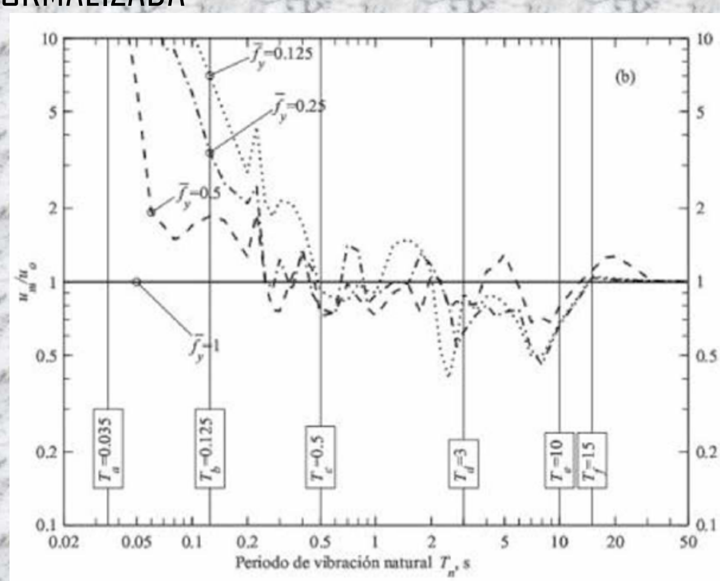
DEMANDA DE DUCTILIDAD, DEFORMACIONES MAXIMAS Y RESISTENCIA A LA CEDENCIA NORMALIZADA

Deformaciones máximas u_m y u_o de sistemas elastoplásticas y del sistema lineal correspondiente debida al movimiento del terreno. Región espectral



DEMANDA DE DUCTILIDAD, DEFORMACIONES MAXIMAS Y RESISTENCIA A LA CEDENCIA NORMALIZADA

Relación $^{u_m}/_{(u_o T n)}$ varia $\zeta = 5\%$ y $\overline{fy} = 1, 0.5, 0.25\ y\ 0.125$.



ESPECTRO DE RESPUESTA PARA LA DEFORMACION DE CEDENCIA Y LA RESITENCIA A LA CEDENCIA

Definiciones

$$D_y = u_y \quad V_y = \omega_n u_y \quad A_y = \omega_n^2 u_y$$

D_y: deformación de cedencia de u_y del sistema elastoplástico.

$$\frac{A_y}{\omega_n} = V_y = \omega_n D_y \ o \ \frac{T_n}{2\pi} A_y = V_y = \frac{2\pi}{T_n} D_y$$

La resistencia a la cedencia de un sistema elastoplástico es

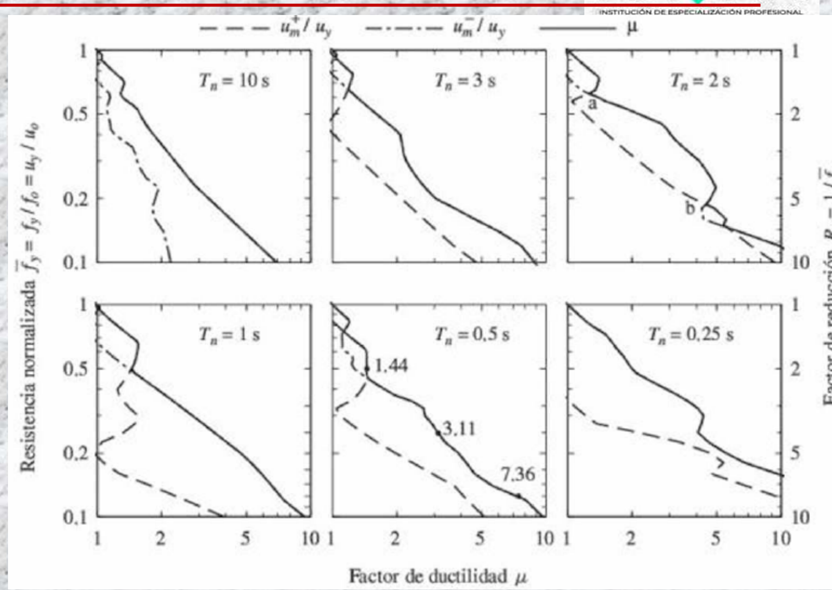
$\frac{A_y}{g} w = f_y$, donde w es el peso.

$$f_y = \mathrm{k}u_y = m(\omega_n^2 u_y) = \mathrm{m}A_y = \frac{A_y}{\omega_n} w$$

$f_o = \frac{A}{g} w$ donde A es el espectro de respuesta de pseudo- aceleración para los sistemas elásticos lineales.

RESISTECIA A LA CEDENCIA PARA UNA DUCTILIDAD ESPECIFICADA

Relación entre la Resistencia normalizada (o factor de reducción) y el factor de ductilidad debido al movimiento del terreno.

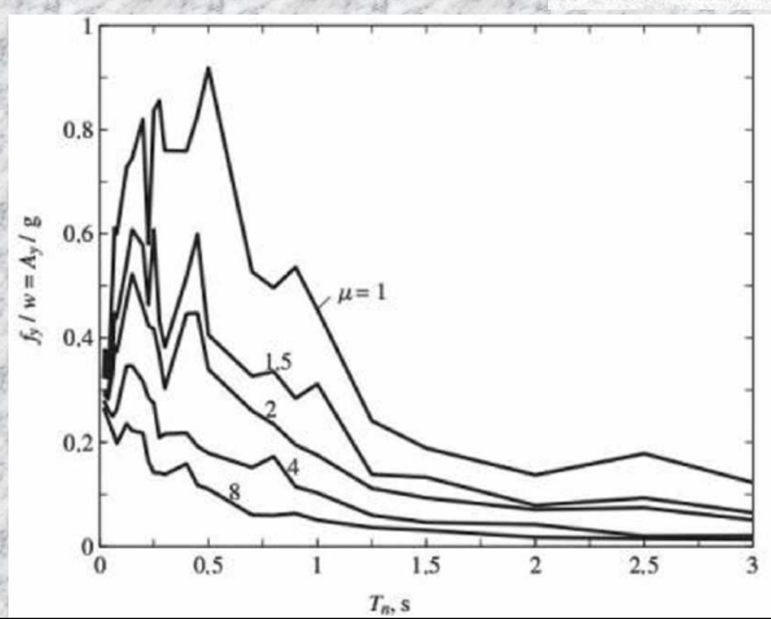


CONSTRUCCION DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE DUCTILIDAD CONSTANTE

1. Defina numéricamente el movimiento de terreno $\ddot{u}_g(t)$.
2. Seleccione y fije el coeficiente de amortiguamiento ζ para el cual va a graficarse el espectro.
3. Selecciones un valor para T_n.
4. Determine la respuesta de $u(t)$ del sistema lineal con T_n y ζ igual a los valores seleccionados.
5. Determine la respuesta $u(t)$ de un sistema elastoplástico con los mismo T_n y ζ y la resistencia a la cedencia $f_y = \overline{f_y}\ f_o$, con una $\overline{f_y} < 1$ seleccionada.
6. Para una u seleccionada, determine el valor $\overline{f_y}$ a partir de los resultados del paso 5, si mas de $\overline{f_y}$ valor corresponde a un valor particular de u , elije el valor mas grande de $\overline{f_y}$.
7. Repita los paso del 3 al 6 para un intervalo de Tn resultante en el espectro valido para el valor de u elegido en el paso 6
8. Repita los paso del 3 al 7 para vario valores de u

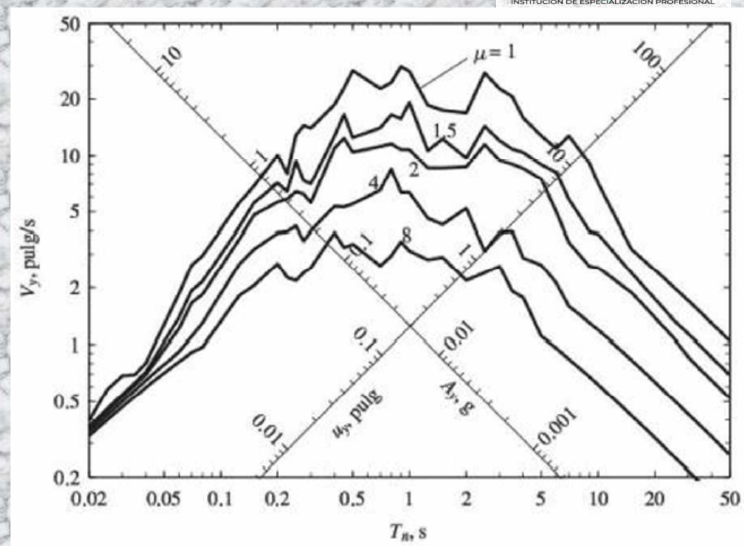
CONSTRUCCION DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE DUCTILIDAD CONSTANTE

Espectro de respuesta de ductilidad constante para los Sistema elastoplásticos y el movimiento del terreno



CONSTRUCCION DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE DUCTILIDAD CONSTANTE

Espectro de respuesta de ductilidad constante para los Sistema elastoplásticos y el movimiento del terreno



RESISTENCIA A LA CEDENCIA Y DEFORMACIÓN A PARTIR DEL ESPECTOR DE RESPUESTA.

A partir de la siguiente ecuación.

$$u_m = \mu u_y$$

Donde.

$$u_y = \frac{f_y}{k} = \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y$$

Al unir las ecuaciones se obtiene.

$$u_m = \mu \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y$$

RESISTENCIA A LA CEDENCIA Y DEFORMACIÓN A PARTIR DEL ESPECTOR DE RESPUESTA.

A partir de la siguiente ecuación.

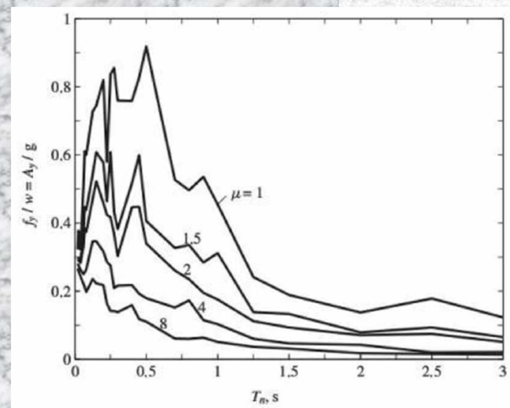
$$u_m = \mu u_y$$

Donde.

$$u_y = \frac{f_y}{k} = \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y$$

Al unir las ecuaciones se obtiene.

$$u_m = \mu \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y$$



Con ejemplo, para $T_n = 0.5s$, $\zeta = 5\%$ y $\mu = 4$, la figura $\frac{A_y}{g} = 0.179$ $f_y = 0.179w$

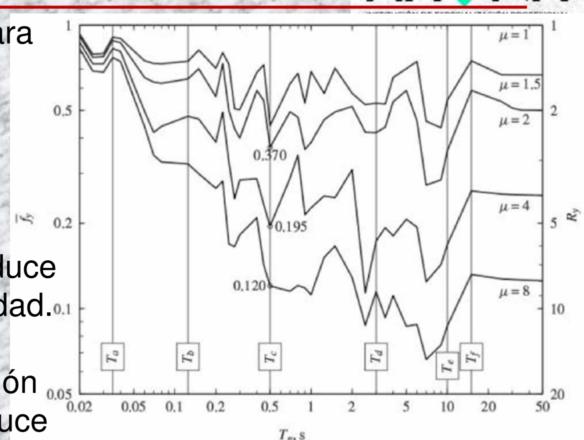
$u_y = \left(\frac{0.5}{2\pi}\right)^2 0.179g = 0.438pulg$ se tiene $u_m = 4(0.438) = 1.752pulg$.

RELACIÓN RESISTENCIA A LA CEDENICA – DUCTILIDAD.

La resistencia a la cedencia f_y requerida para que un sistema de 1GDL experimento una deformación inelástica es inferior a la resistencia mínima necesaria para que la estructura permanezca elástica.

La resistencia de cedencia requerida se reduce al aumentar los valores del factor de ductilidad.

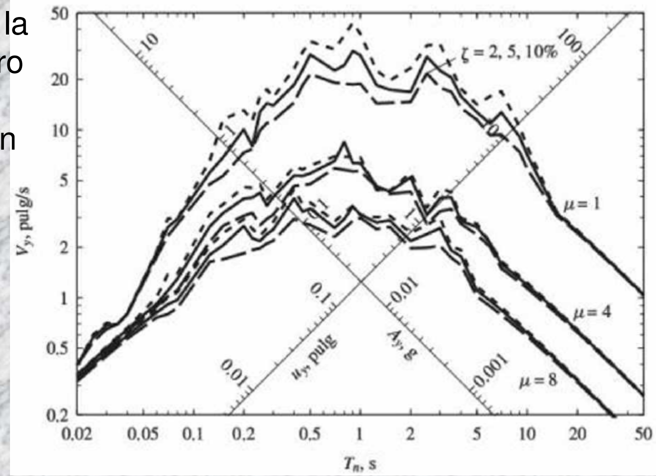
Incluso pequeñas cantidades de deformación inelástica, correspondientes a $\mu = 1.5$ produce reducción significativa en la resistencia requerida.
Con valores creciente de μ se consigue reducciones mayores pero a un ritmo mas lento
Al unir las ecuaciones se obtiene.



Resistencia normalizada $\overline{f_y}$ de sistema elastoplástico como una función del periodo natural de vibración T_n para $\mu = 1{,}1.5{,}2{,}4$ y 8; $\zeta = 5\%$

EFECTOS RELATIVOS DE LA CEDENCI Y EL AMORTIGUAMIENTO

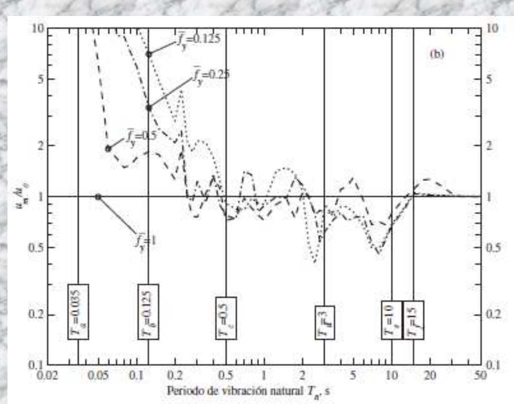
Los efectos del amortiguamiento visco y la cedencia son similares en un sentido pero diferente en otro. Se asemejan en el sentido que cambio mecanismos reducen al pseudo-aceleración y por lo tanto, el valor máximo de la fuerza lateral para la que debe diseñarse el sistema.

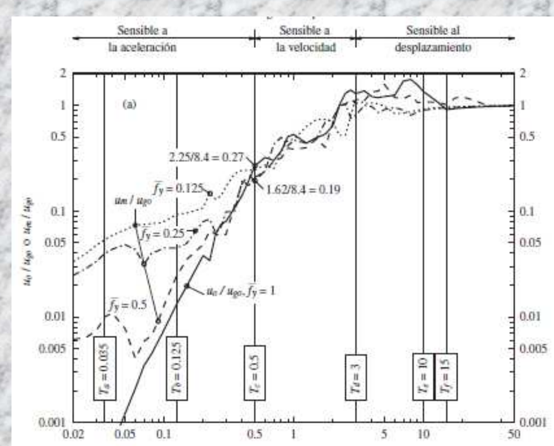


Espectro de respuesta para los sistemas elastoplásticos para $\mu = 1{,}4\ y\ 8;\ \zeta = 2.5\ y\ 10\%$

EFECTOS RELATIVOS DE LA CEDENCI Y EL AMORTIGUAMIENTO

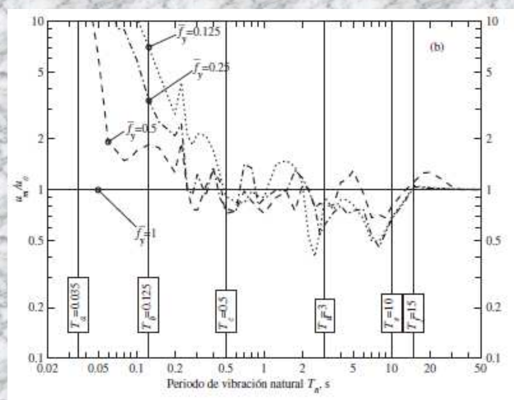
El amortiguamiento tiene una influencia insignificante sobre la respuesta de los sistemas con Tn > Tf en la región del espectro sensible al desplazamiento, mientras que para tales sistemas los efectos de la cedencia sobre la fuerza de diseño son muy importantes, pero en la deformación máxima u_m son insignificantes

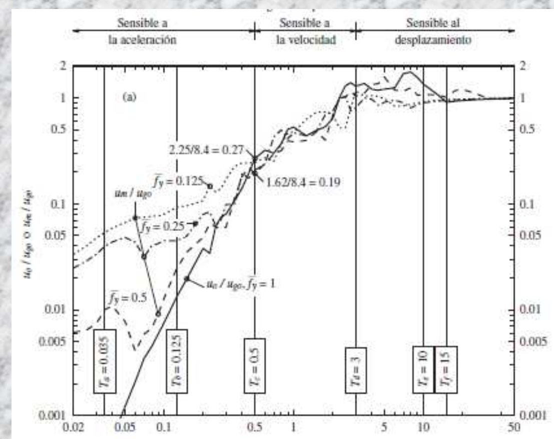




EFECTOS RELATIVOS DE LA CEDENCI Y EL AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento tiene una influencia insignificante en la respuesta de los sistemas con Tn < Ta en la región del espectro sensible a la aceleración, mientras que para tales sistemas los efectos de la cedencia sobre la deformación máxima y la demanda de ductilidad son muy importantes pero en la fuerza de diseño son pequeños

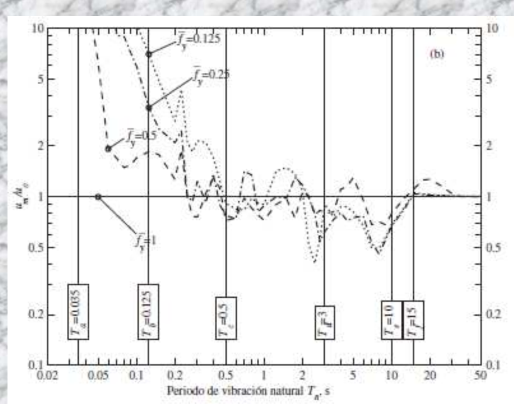


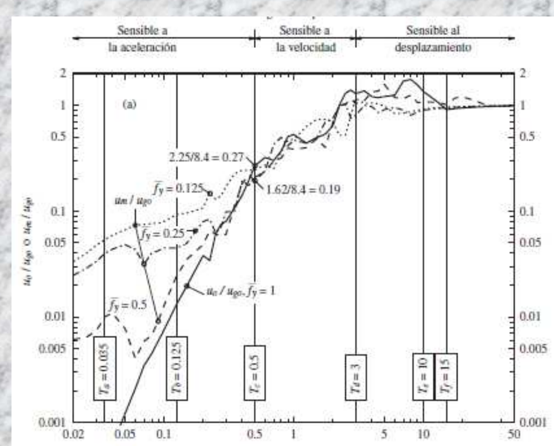


EFECTOS RELATIVOS DE LA CEDENCI Y EL AMORTIGUAMIENTO

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

En el límite cuando Tn tiende a cero, la pseudo-aceleración A o Ay se aproximará al valor máximo de la aceleración del terreno, lo que implica que este parámetro de respuesta no se ve afectado por el amortiguamiento o la cedencia

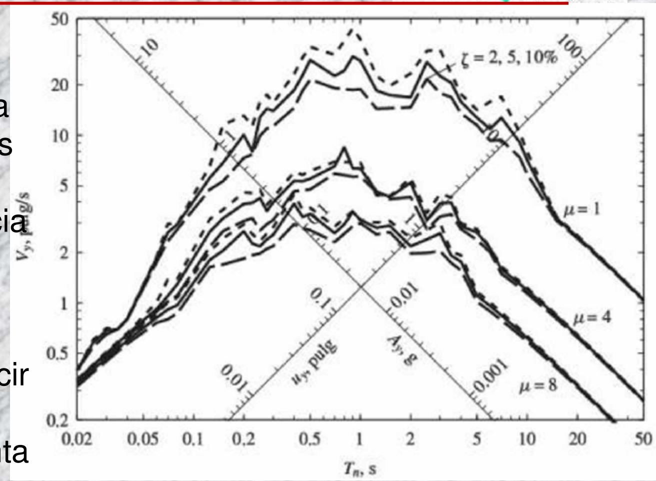




EFECTOS RELATIVOS DE LA CEDENCI Y EL AMORTIGUAMIENTO

MAGNA

El amortiguamiento es más efectivo en reducir la respuesta de los sistemas con Tn en la región del espectro sensible a la velocidad, donde la cedencia es aún más efectiva.
Así, en general, los efectos de la cedencia no pueden considerarse en términos de una cantidad fi ja de amortiguamiento viscoso equivalente.
La eficacia del amortiguamiento en reducir la respuesta es menor para los sistemas inelásticos y disminuye conforme aumenta la deformación inelástica



Espectro de respuesta para los sistemas elastoplásticos para $\mu = 1{,}4\ y\ 8;\ \zeta = 2.5\ y\ 10\%$

ENERGIA DISIPADA

MAGNA
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

La energía de entrada aplicada a un sistema inelástico por un sismo se disipa tanto por el amortiguamiento viscoso como por la cedencia.

Los diferentes términos de energía pueden definirse al integrar ecuación de movimiento de un sistema inelástico.

$$\int_0^u m\ddot{u}(t)\,du + \int_0^u c\dot{u}(t)\,du + \int_0^u f_S(u)\,du = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)\,du \qquad (7.9.1)$$

El lado derecho de esta ecuación es la entrada de energía a la estructura dado el inicio de la excitación sísmica.

$$E_I(t) = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)\,du$$

Esto es claro si se observa que a medida que la estructura se mueve a través de un incremento del desplazamiento du, la energía suministrada a la estructura por la fuerza efectiva $p_{ef}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$

ENERGIA DISIPADA

$$dE_I = -m\ddot{u}_g(t)\,du$$

El primer término en el lado izquierdo de la ecuación (7.9.1) es la energía cinética de la masa asociada a su movimiento en relación con el terreno.

$$E_K(t) = \int_0^u m\ddot{u}(t)\,du = \int_0^{\dot{u}} m\dot{u}(t)\,d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2}$$

El segundo término en el lado izquierdo de la ecuación (7.9.1) es la energía disipada por el amortiguamiento viscoso, definida anteriormente en la sección 3.8

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(t)\,du = \int_0^u c\dot{u}(t)\,du$$

El tercer término en el lado izquierdo de la ecuación (7.9.1) es la suma de la energía disipada por la cedencia y la energía de deformación recuperable del sistema

$$E_S(t) = \frac{[f_S(t)]^2}{2k}$$

ENERGIA DISIPADA

donde k es la rigidez inicial del sistema inelástico. Así, la energía disipada por la cedencia es

$$E_Y(t) = \int_0^u f_S(u)\,du - E_S(t)$$

Con base en estas cantidades de energía, la ecuación (7.9.1) es una descripción del balance de energía para el sistema

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_Y(t)$$

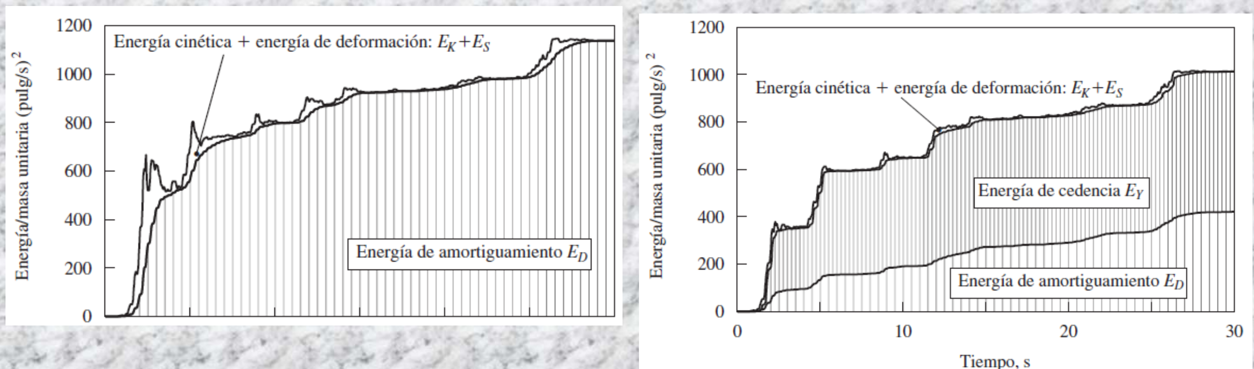
Paralelas con el análisis de la respuesta sísmica de un sistema, estas cantidades de energía pueden calcularse de manera conveniente al reescribir las integrales con respecto al tiempo

$$E_D(t) = \int_0^t c[\dot{u}(t)]^2\,dt$$

$$E_Y(t) = \left[\int_0^t \dot{u}\,f_S(u)\,dt\right] - E_S(t)$$

ENERGIA DISIPADA

El análisis de energía anterior es para una estructura cuya masa está sometida a una fuerza $p_{ef}(t) = -m\ddot{u}t$, no para una estructura cuya base se excita mediante la aceleración $\ddot{u}_g t$

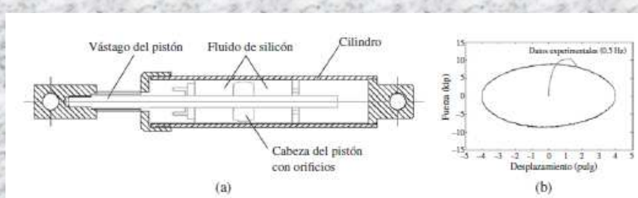


Variación en el tiempo de la energía disipada por el amortiguamiento viscoso y la cedencia, así como por la energía cinética más la energía de deformación; (a) sistema lineal, T_n = 0.5 s, ζ = 5%; (b) sistema elastoplástico, T_n = 0.5 s, ζ = 5%, $\overline{f}_y$ = 0.25.

DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Amortiguadores de fluido viscoso y viscoelásticos.

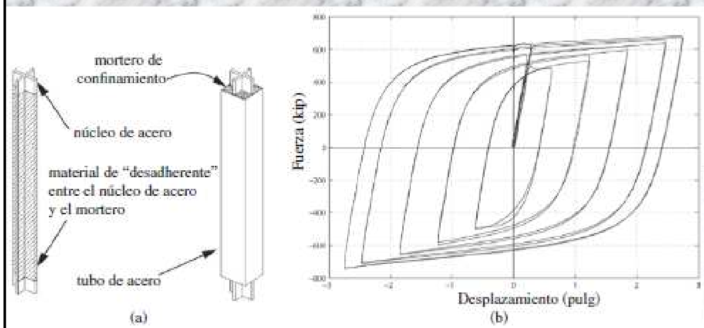
En el amortiguador viscoso que se usa con más frecuencia para la protección sísmica de estructuras.

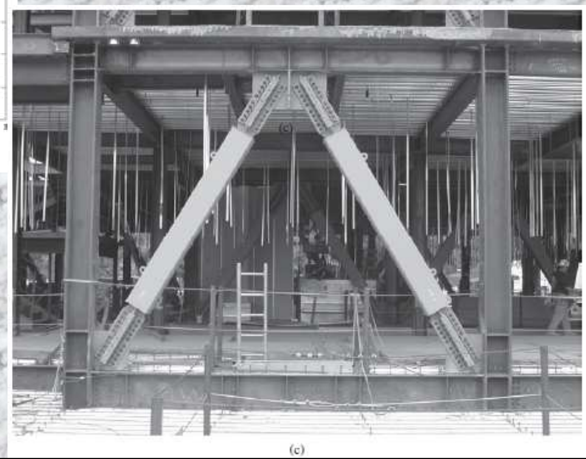



(c)

Figura 7.10.1 (a) Amortiguador de fluido viscoso: dibujo esquemático; (b) relación fuerza-desplazamiento y (c) contravientos con amortiguador de fluido viscoso. [Créditos: (a) Cameron Black; (b) Cameron Black; y (c) Taylor Devices Inc.].

DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA



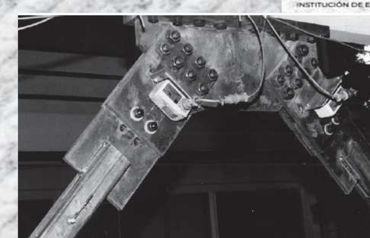


(a) Contraviento restringido contra el pandeo (CRP); dibujos esquemáticos, (b) relación fuerza-desplazamiento y (c) conravientos con CRP. [Créditos: (a) Ian Aiken, (b) Cameron Black; y (c) Ian Aiken].

DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA

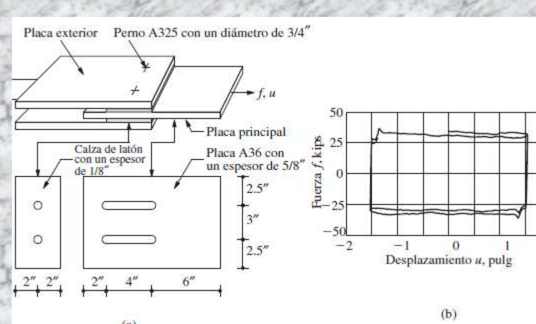
Amortiguadores metálicos histeréticos

Los amortiguadores metálicos disipan energía a través del comportamiento histéretico de los metales cuando se deforman en su intervalo inelástico



Amortiguadores de fricción

Estos dispositivos aumentan la capacidad de la estructura para disipar energía, pero no cambian demasiado los periodos naturales de vibración (aproximadamente entre 10 y 20%)



¡GRACIAS!