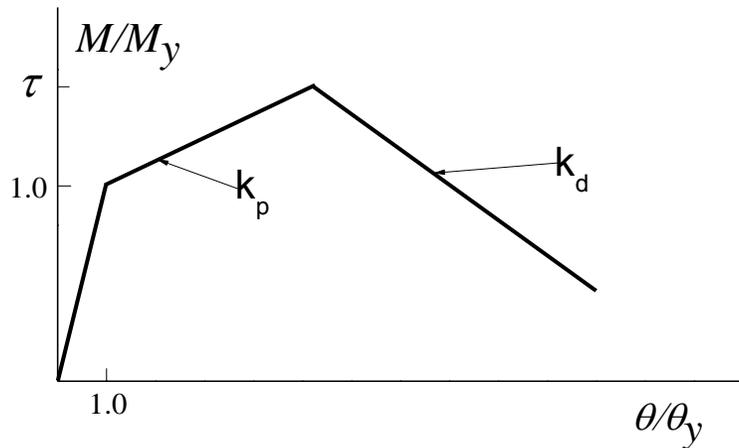


COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS MONÓTONAS Y CÍCLICAS



Elementos con comportamiento gobernado por la flexión

Se caracterizan porque: (i) M_p pueden obtenerse multiplicando el módulo plástico de la sección Z (teniendo en cuenta el eje actuante) y la tensión de fluencia del acero f_y , es decir $M_p = Zf_y$; y (ii) que tras la plastificación son capaces de desarrollar resistencias M_u superiores a M_p , la relación momento-rotación $M-\theta$ bajo cargas monótonas de flexión en doble curvatura se pueden idealizar en general mediante tres segmentos.



k_p depende de cómo evolucione el flujo tensional tras la plastificación y del *strain hardening* del acero. $\tau = M_u/M_p$ y k_d dependen del tipo de pandeo que exhiba el elemento: (i) pandeo local, (ii) pandeo lateral con torsión o (iii) una combinación de ambos.

Elementos con comportamiento gobernado por cortante

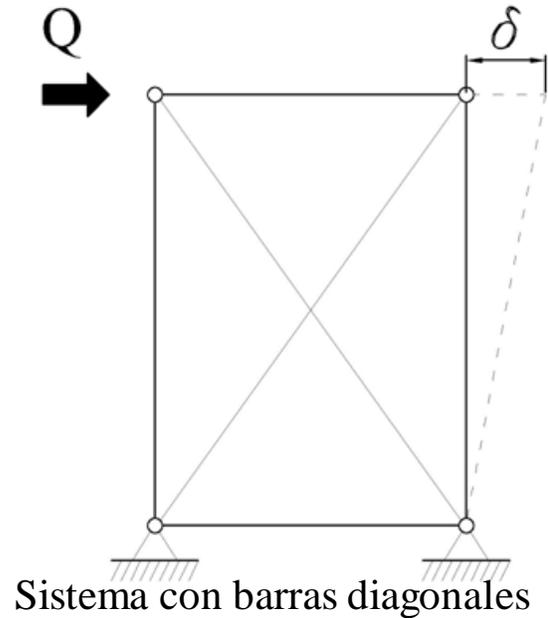
M_y no puede obtenerse como $M_p = Zf_y$



- Secciones en H laminadas en caliente, para que el elemento plastifique adecuadamente y pueda desarrollar resistencias superiores a M_y es necesario que se cumplan unas relaciones de anchura/espesor en las alas y en el alma que establecen las normas.
- Perfiles huecos de sección circular y rectangular: sus características de deformación dependen notablemente de cómo se hayan fabricados (laminados en caliente, o formados a base de chapa deformada en frío y soldada). Existen unas relaciones entre el espesor de la chapa y el diámetro o lado del perfil para que el elemento plastifique adecuadamente y pueda desarrollar resistencias superiores a M_y .



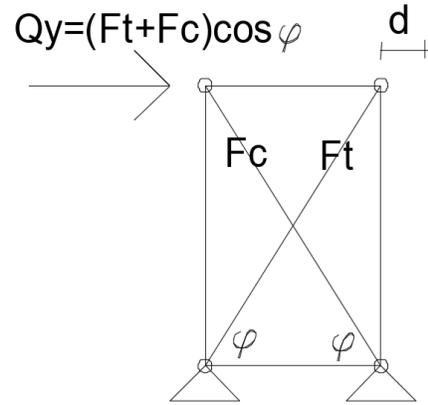
Barras diagonales



Bajo la carga Q una barra queda traccionada y la otra comprimida. Supongamos que tienen la misma sección A_B . Sea σ_y a la tensión de fluencia del acero a tracción, σ_{cr} la tensión máxima de compresión que puede alcanzar a compresión limitada por el pandeo, y φ el ángulo que forman la barras diagonales con la horizontal. La resistencia lateral de fluencia Q_y vale:

$$Q_y = \max\{A_B\sigma_y, 2A_B\sigma_{cr}\}\cos\varphi$$

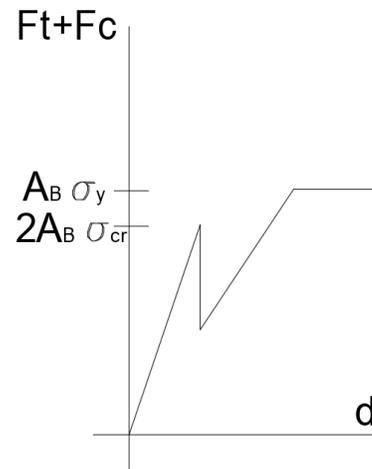




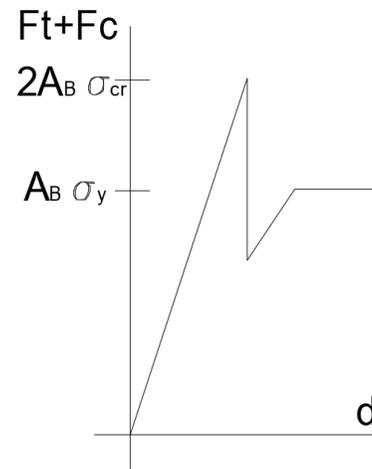
Conjunto



Conjunto



CASO 1: $(A_B \sigma_y) > 2A_B \sigma_{cr}$



CASO 2: $(A_B \sigma_y) < 2A_B \sigma_{cr}$

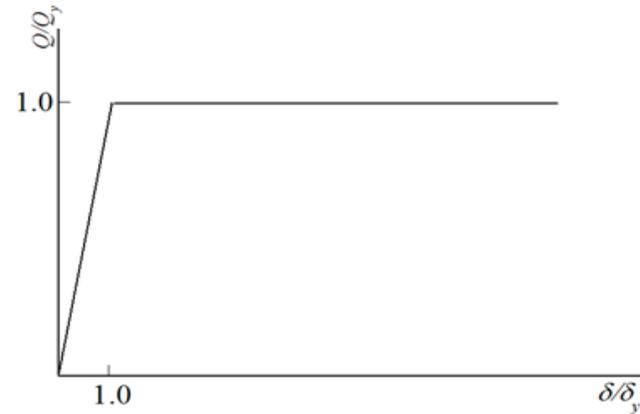


Barras diagonales

Se pueden plantear dos CASOS:

CASO 1: $\sigma_y \geq 2\sigma_{cr}$

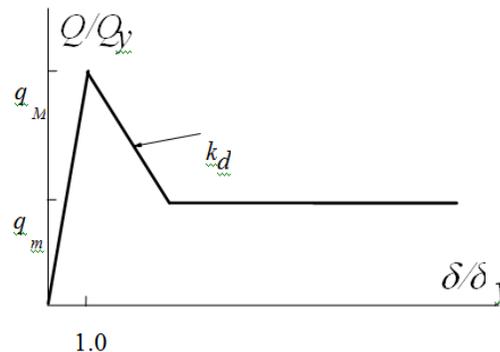
Sistemas con diagonales trabajando fundamentalmente a tracción



CASO 2: $\sigma_y < 2\sigma_{cr}$

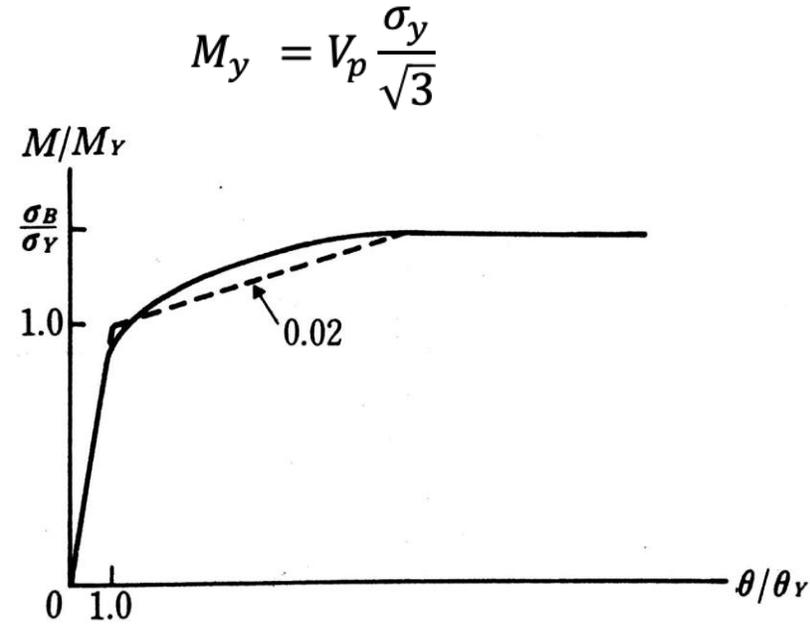
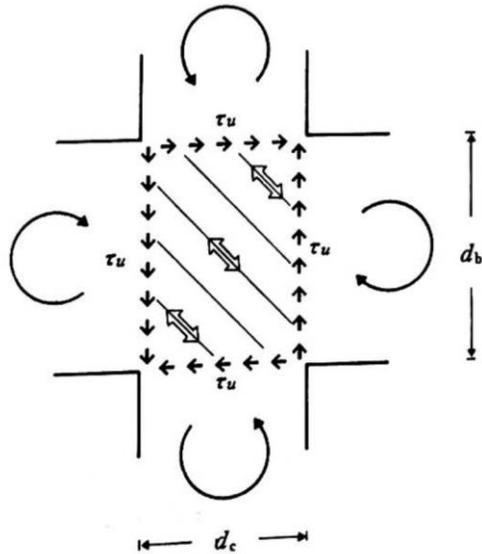
Sistemas con diagonales trabajando fundamentalmente a compresión

Cuando la barra a compresión pandea se produce una importante caída de resistencia lateral Q que se puede idealizar como se indica en la figura. La relación entre Q - δ sigue una ley compleja y difícil de predecir.



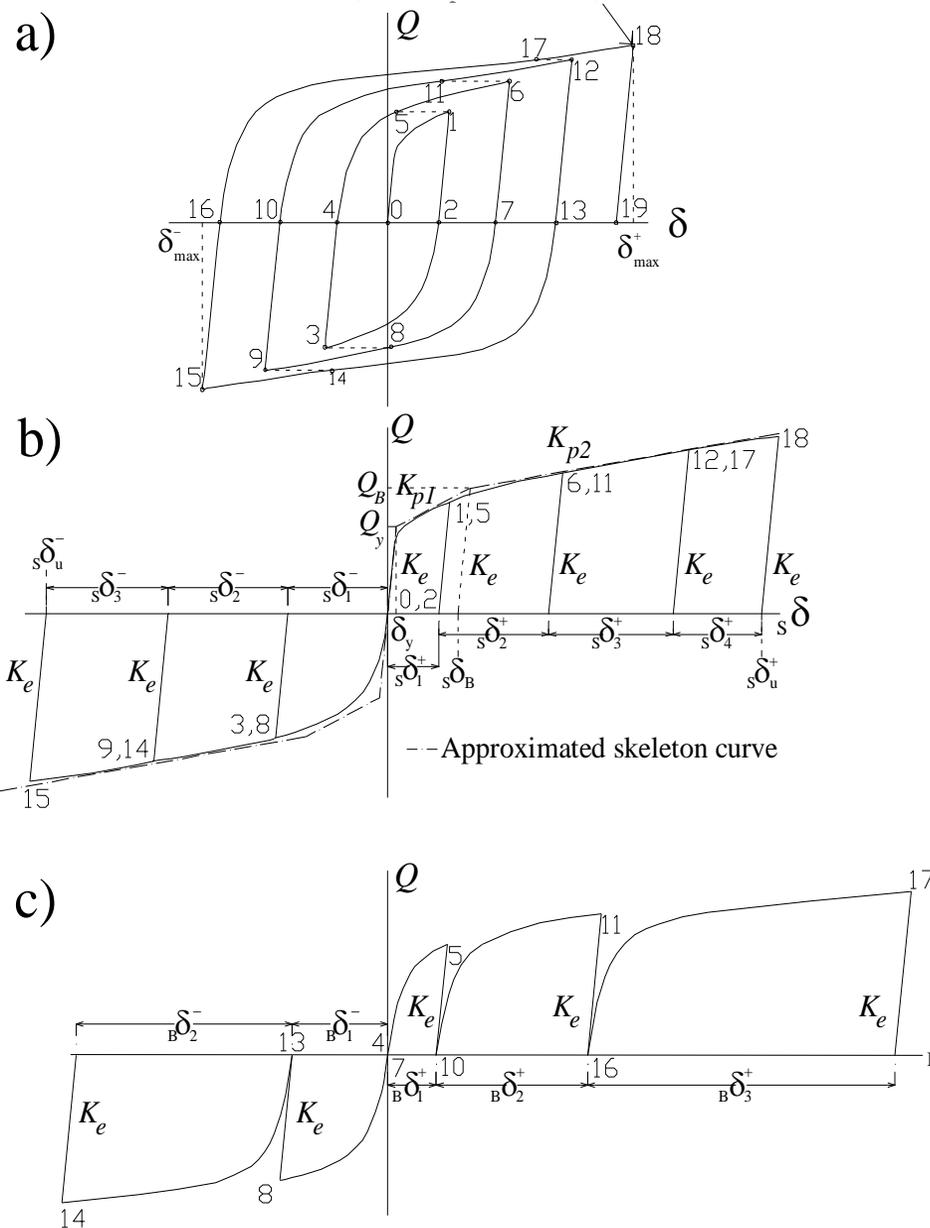
Nudos viga-columna

Los nudos viga-pilar de estructuras de acero desarrolla esfuerzos contantes. La resistencia del nudo se puede expresar en relación al momento M que actúa en los extremos de las vigas adyacentes al nudo, y la deformación correspondiente mediante la rotación θ ; la curva típica se muestra en la Figura. El momento M_y suele valer aproximadamente $M_y = V_p \sigma_y / \sqrt{3}$, donde V_p es el volumen efectivo de la zona de la conexión viga-pilar, σ_y es la tensión de fluencia del acero. σ_B es la tensión máxima.



Comportamiento bajo cargas cíclicas

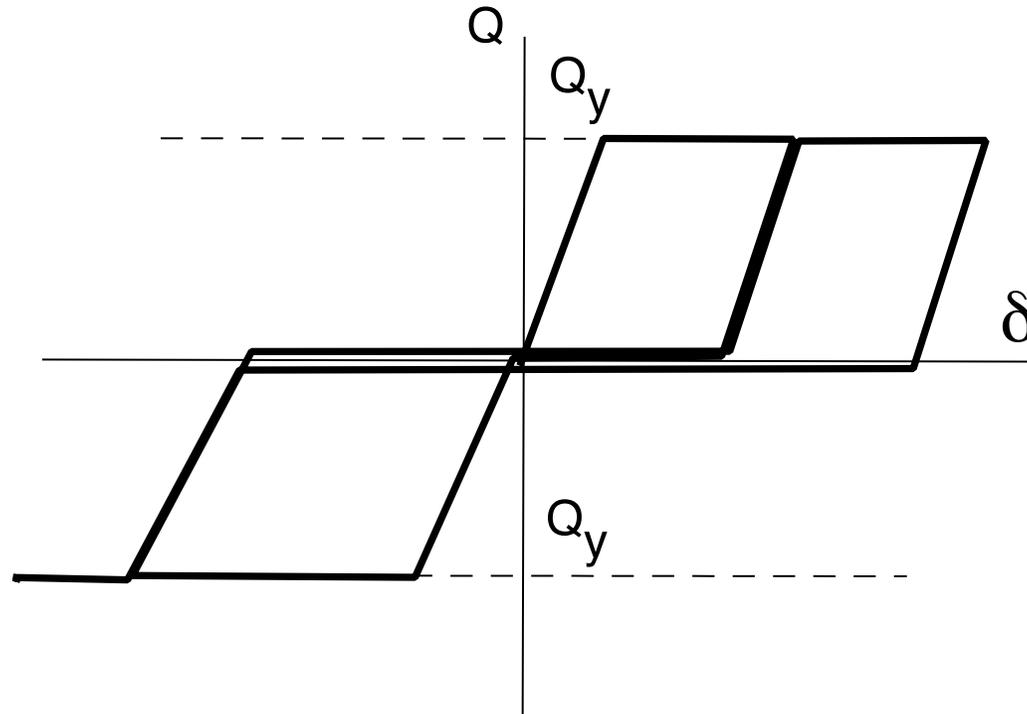
Los elementos de acero cuyo comportamiento esta gobernado por la flexión, reproducen las características de la relación σ - ϵ del acero bajo cargas cíclicas, hasta el punto en que se produce el inicio de degradación de resistencia.



Barras diagonales

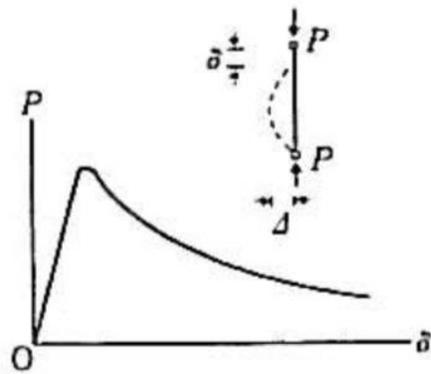
CASO 1: $\sigma_y \geq 2\sigma_c$ Sistemas con diagonales trabajando fundamentalmente a tracción

Exhiben un comportamiento de tipo "deslizante" (*slip type*).

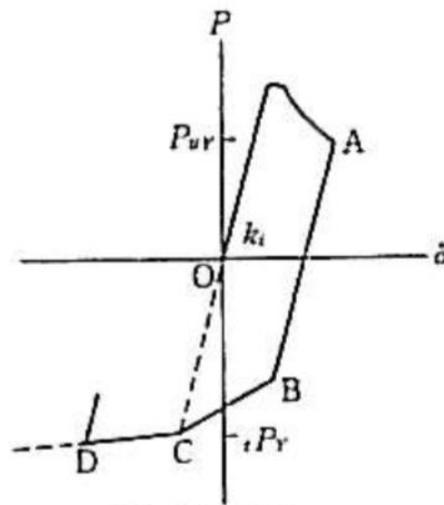


CASO 2: $\sigma_y < 2\sigma_{cr}$ Sistemas con diagonales trabajando fundamentalmente a compresión

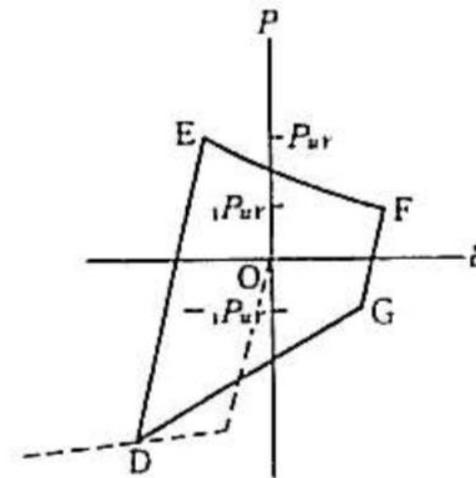
El comportamiento cíclico de estos sistemas es similar al de una barra aislada.



(a) Monotonous compression



(b) Initial stage

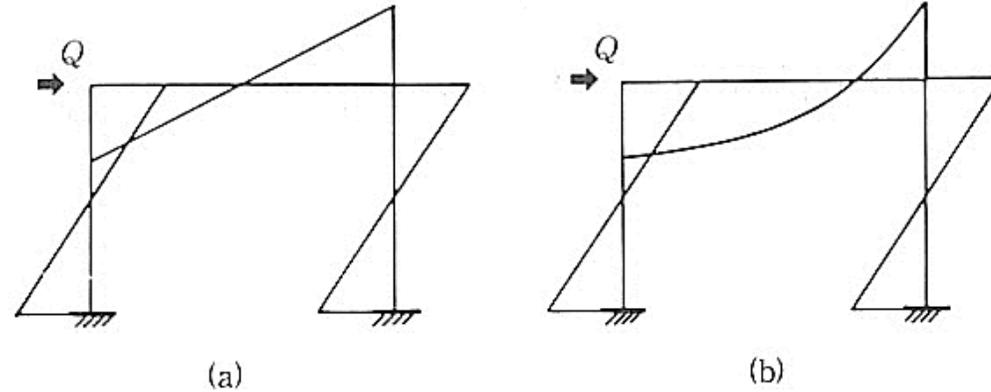


(c) Middle stage

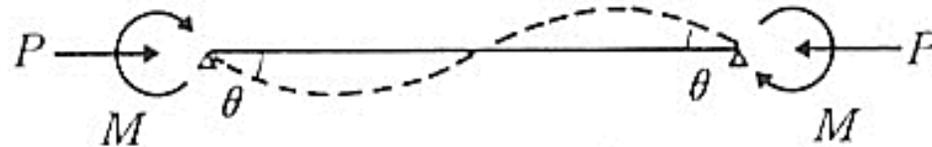
(Nota: la línea a puntos es la relación P - δ para cargas de tracción)



Influencia de las cargas gravitatorias en la resistencia lateral última



Cuando las cargas laterales son elevadas en relación a las gravitatorias, y siempre que no plastifique ninguna sección intermedia de la viga antes de que plastifiquen sus secciones extremas, la resistencia lateral límite última del pórtico correspondiente a la formación de un mecanismo plástico completo apenas se ve afectada por las cargas gravitatorias

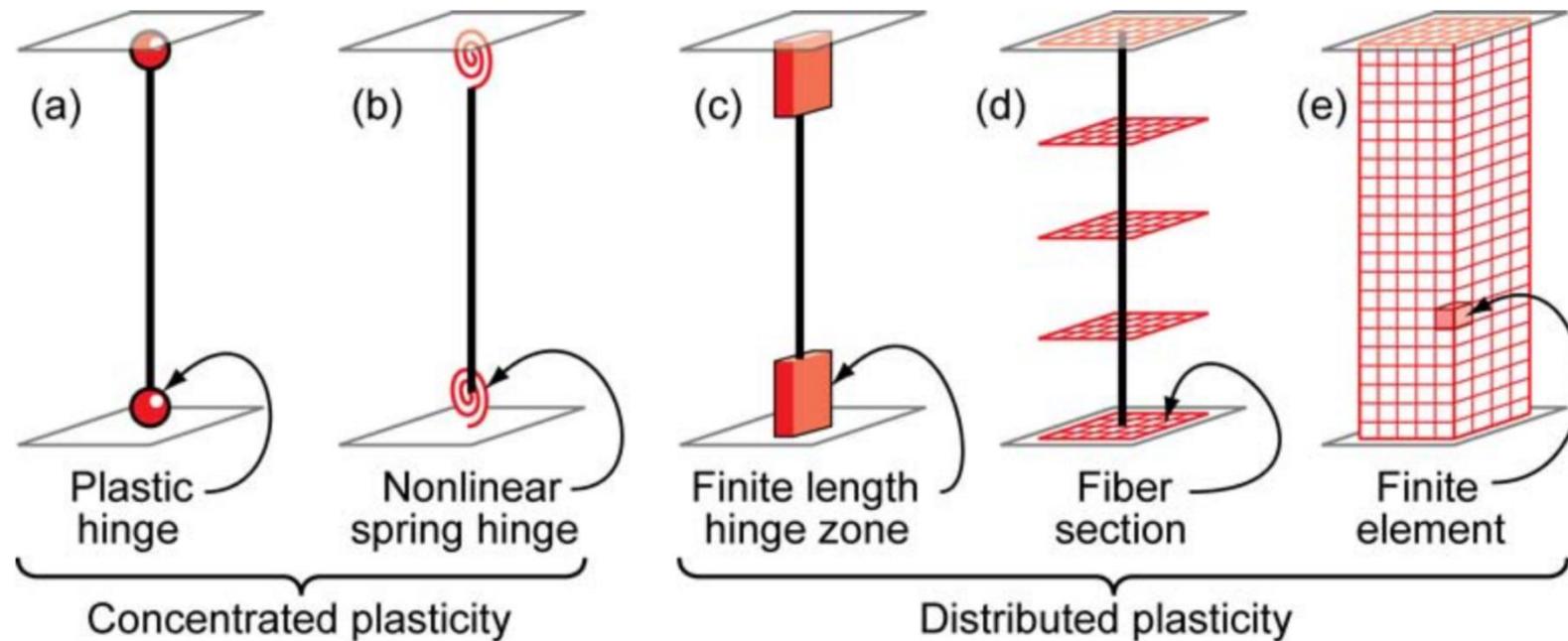


MODELOS PARA REPRESENTAR EL COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

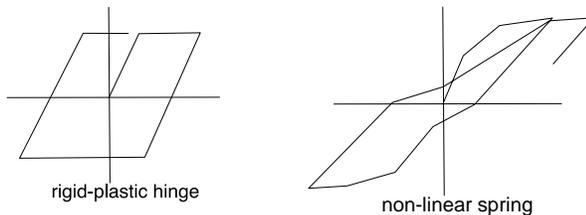
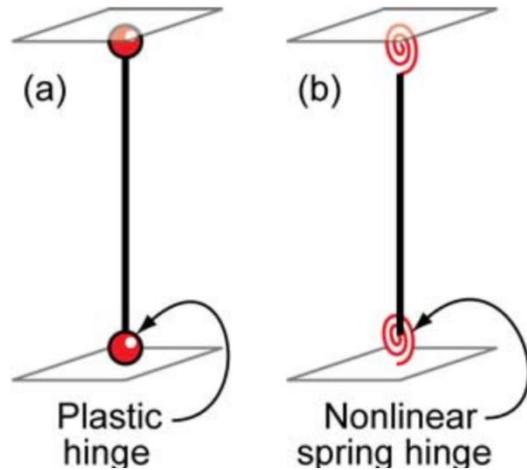


Comportamiento a flexión de elementos tipo barra

En las estructuras proyectadas correctamente frente a sismo aplicando criterios de capacidad, los elementos se dimensionan con una resistencia a cortante mayor que a flexión para que plastifiquen a flexión. Nos centramos primero en el comportamiento a flexión.



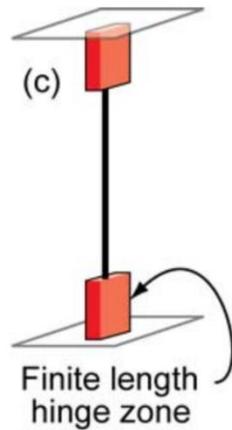
Modelos con plasticidad concentrada



- Las deformaciones plásticas se concentran en los extremos de la barra representadas mediante muelles para los cuales hay que definir la relación momento-rotación $M-\theta$.
- La parte central que conecta ambos muelles se mantiene elástica o infinitamente rígida
- La plasticidad se concentra en zonas de longitud cero.
- Tienen una formulación muy condensada lo que los hace eficientes numéricamente.



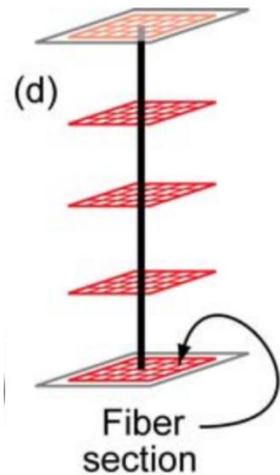
Modelos con plasticidad distribuida



- Las deformaciones plásticas se producen en los extremos de la barra, en unos segmentos de longitud finita (zonas de rótula plástica de longitud finita, *finite length hinge zones*). La parte central entre estos segmentos se mantiene elástica.
- La longitud de las zonas de rótula plástica puede ser constante o variable a medida que evoluciona la deformación.
- En las secciones de la barra situadas dentro de la zona de rótula plástica el comportamiento no-lineal se caracteriza de alguna de las formas siguientes:
 - a) proporcionando directamente las relaciones momento-curvatura $M-\kappa$ de cada sección;
 - b) discretizando la sección en fibras, asignando a cada fibra un material con una ley constitutiva dada, asumiendo que las secciones planas se mantienen planas e integrando se obtiene la relación momento-curvatura $M-\kappa$ de cada sección.
- Integrando las curvaturas a lo largo de la longitud de la zona de rótula plástica se obtiene la relación momento-rotación $M-\Theta$ de la zona de rótula plástica. El que esta zona tenga una longitud finita facilita el cálculo de dicha relación $M-\Theta$.
- Se puede captar de forma más realista que con los modelos de plasticidad concentrada, la propagación de la plasticidad a lo largo de la zona de rótula plástica (*spread of plasticity*).



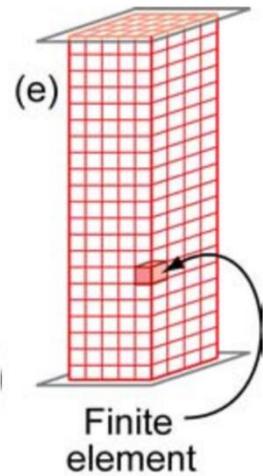
Modelos con plasticidad distribuida



- Las deformaciones plásticas se pueden producir a lo largo de toda la barra y en cualquier fibra de las secciones.
- Se definen varias secciones a lo largo de la barra. Cada sección se discretiza en fibras, a cada fibra se asigna un material y se definen las leyes constitutivas de cada material.
- Se asume que las secciones planas se mantienen planas e integrando dentro de cada sección se obtienen los esfuerzos resultantes en la misma (momentos, axiles etc.), y las relaciones incrementales momento-curvatura $M-\kappa$ y axil-alargamiento unitario $N-\epsilon$.
- Los parámetros obtenidos para las secciones se integran a lo largo de la barra.
- Estos modelos no proporcionan las rotaciones en las zonas de rótula plástica, sino las tensiones en cada una de las fibras de cada sección. Esto es un inconveniente ya que los criterios de verificación en términos de deformaciones de las normas están expresados normalmente en términos de rotaciones (no de deformaciones unitarias ϵ).



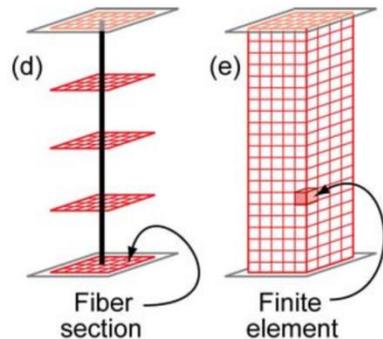
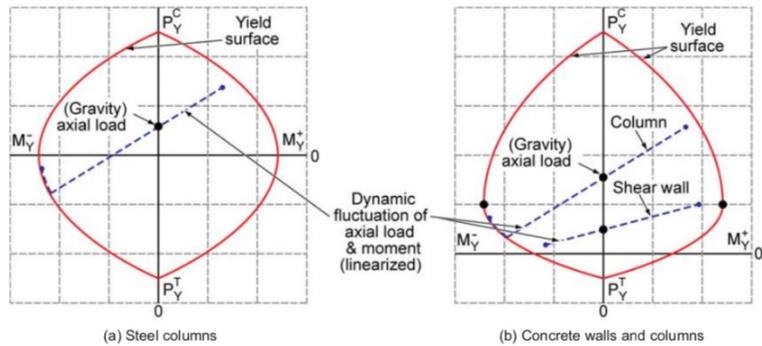
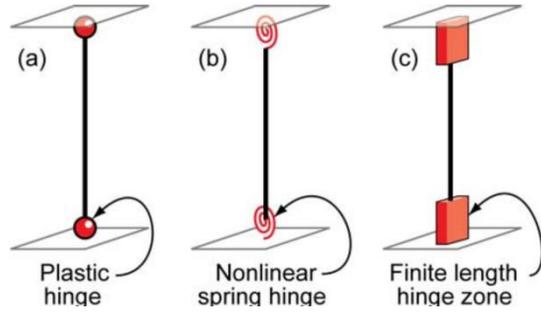
Modelos con plasticidad distribuida



- Discretiza el continuo a lo largo de la barra y en cada sección en pequeños elementos finitos.
- Emplea leyes constitutivas refinadas para los materiales que suelen depender de muchos parámetros cuya calibración es uno de los aspectos más complejos.
- Requiere medios computacionales de altas prestaciones y capacidad.
- Estos modelos no proporcionan las rotaciones en las zonas de rótula plástica, sino las tensiones en cada una de las fibras de cada sección. Esto es un inconveniente ya que los criterios de verificación en términos de deformaciones de las normas están expresados normalmente en términos de rotaciones (no de deformaciones unitarias ϵ).



Comportamiento bajo esfuerzos de flexión y axiles



- Tienen en cuenta la interacción momento-axil mediante superficies de interacción
- Bajo axiles y momentos, pueden hacer un buen seguimiento de la iniciación de la plastificación, pero no capturan con exactitud el comportamiento post-elástico y la degradación de la respuesta.
- Cuando estos modelos tienen implementadas leyes histeréticas complejas para representar la relación $M-\Theta$, pueden no ser capaces de captar la interacción momento-axil. En estos casos, la relación $M-\Theta$ se establece para un valor medio fijo del axil actuante en la zona de la rótula plástica.

- Tienen en cuenta la interacción momento-axil directamente.

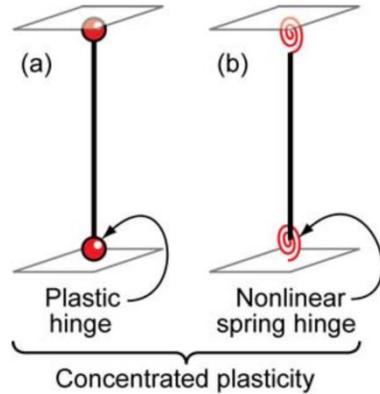


Consideración de los esfuerzos cortantes

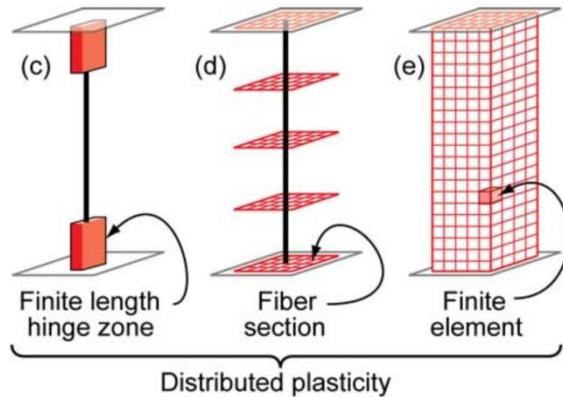
- En estructuras existentes puede ser necesario añadir al análisis los efectos de los esfuerzos cortantes, además de los axiales y los de flexión, porque el fallo a cortante puede producirse antes que la plastificación a flexión.
- Una forma indirecta de hacerlo es limitando el momento de plastificación al valor que se obtiene multiplicando la resistencia a cortante por la distancia de la sección extrema a la sección de momento flector nulo.
- Una forma directa de hacerlo es colocando muelles no lineales a cortante en serie con el modelo que representa el comportamiento frente a momento y axiales.



Capacidad de los modelos para representar efectos locales



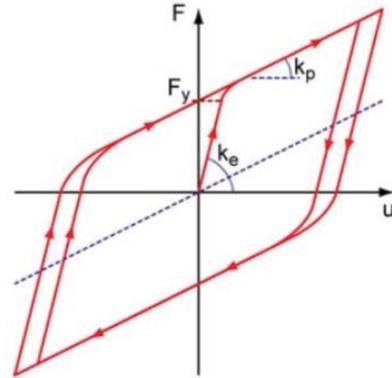
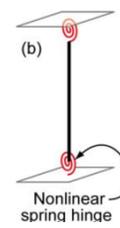
- Son capaces de representar efectos locales como degradación de resistencia debida al pandeo de armaduras o pandeo local el perfiles metálicos, o la interacción no lineal entre flexión y cortante.
- Al ser modelos fenomenológicos es fácil calibrar estos fenómenos con resultados de ensayos



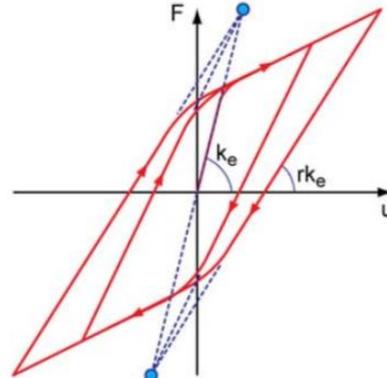
- Para poder representar los efectos locales anteriores es necesario emplear modelos sofisticados que requieren cálculos intensivos



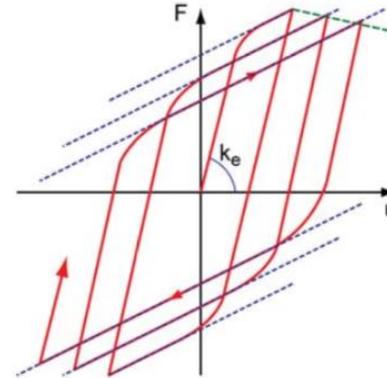
Modelizaciones histeréticas empleadas en los modelos de plasticidad concentrada que emplean muelles no lineales



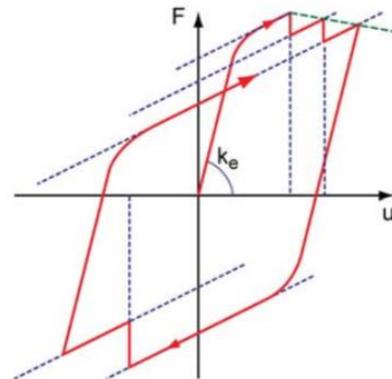
(a) Hysteretic model without deterioration



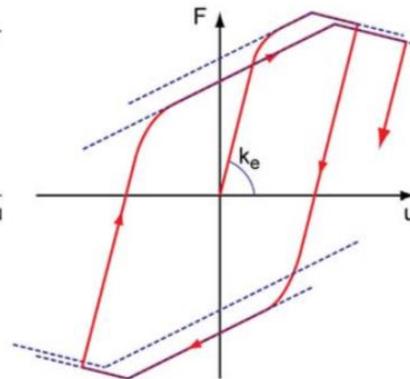
(b) Model with stiffness degradation



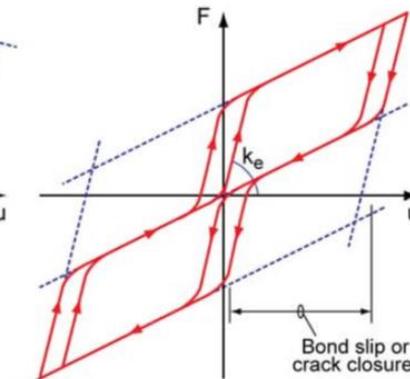
(c) Model with cyclic strength degradation



(d) Model with fracture strength degradation



(e) Model with post-capping gradual strength deterioration

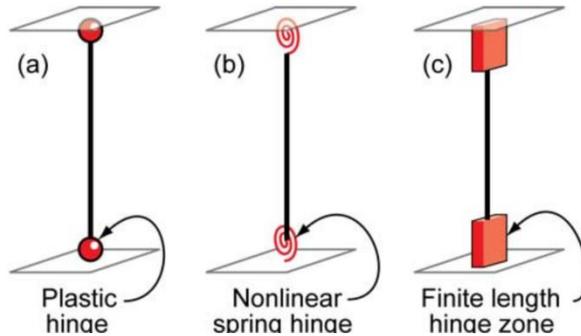


(f) Model with bond slip or crack closure (pinching)

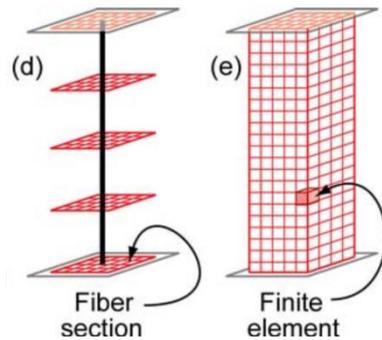


Recomendaciones a la hora de elegir modelos

- Validar/comparar el comportamiento de los modelos a emplear con resultados experimentales



- Estos modelos son más adecuados cuando se quiere estudiar la respuesta de la estructura cerca del colapso, en cuyo caso los efectos de degradación de resistencia, rigidez etc. son importantes.



- Estos modelos son más adecuados para estudiar la respuesta en los estados iniciales en los que el daño es reducido y el comportamiento está dominado por fenómenos de fisuración o “tensión stiffening”.
- Estos modelos son menos estables numéricamente y pueden hacer que los cálculos dejen de converger para deformaciones laterales del orden del 3%.

