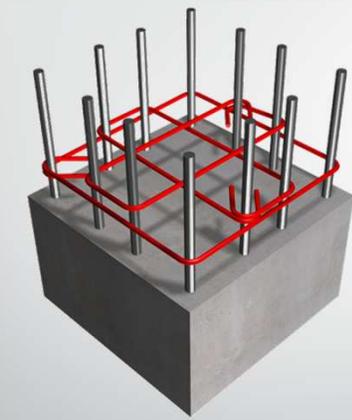


Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Civil
Estructuras de Concreto II (LIC 25)



Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro
III Cuatrimestre, 2022

Profesor: Ing. Ronald Jiménez Castro



ronald.jimenez1@ulatina.net



www.rojica.jimdo.com



<https://t.me/+E5bS6YpUP2Xcr07D>



Nombre del equipo: **ESTRUCTURAS DE CONCRETO II (H y SP)**

Semana 1

✓ Discusión del Programa del curso

Objetivo general

Analizar elementos de concreto reforzado (columnas, muros de corte, losas de piso, etc.) para la determinación de su sección de concreto, las propiedades del mismo y los refuerzos necesarios que permiten que resistan las cargas externas y su propio peso durante su vida útil.

Contenidos

- Tema I. Comportamiento del concreto a la compresión
- Tema II. Diseño de columnas esbeltas
- Tema III. Diseño de núcleos de unión de viga-columna (nudos)
- Tema IV. Muros estructurales
- Tema V. Diseño de losas de entrepiso
- Tema VI. Diseño de losas en dos direcciones apoyadas sobre columnas
- Tema VII. Fundamentos del concreto pre y postensado
- Tema VIII. Diseño estructural de edificios de concreto reforzado

Evaluación

- Tareas y quices (10%)
- Primer Parcial (30%): Semana 8 (4 noviembre)
- Segundo Parcial (35%): Semana 14 (16 diciembre)
- Proyecto grupal (25%): Entrega Semana 14 (16 diciembre) / Exposición Semana 15 (23 diciembre)

Bibliografía

- McCormac, Jack. **Diseño de Concreto Reforzado**. Editorial Alfaomega. 10 edición. 2019.
- American Concrete Institute. **Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural** (ACI 318S-19). Detroit, Michigan, U.S.A.,
- Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. **Código Sísmico de Costa Rica 2010** (Revisión 2014). Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.



Cronograma

Semana	Contenido / Evaluación
No. 1	Introducción. Tema I
No. 2	
No. 3	
No. 4	Tema II
No. 5	<u>Temas complementarios:</u> Cálculo de fuerzas sísmicas (Método Estático CSCR-10) y Modelado de edificios en SAP2000
No. 6	
No. 7	Diseño de vigas dúctiles
No. 8	Primer Examen Parcial (4 noviembre)

Semana	Contenido / Evaluación
No. 9	Temas III y IV
No. 10	Tema IV
No. 11	Temas V y VI
No. 12	Tema VII
No. 13	Tema VIII
No. 14	Segundo Examen Parcial (16 diciembre)
No. 15	Entrega Trabajo Grupal (23 diciembre)

✓ Enfoque por Atributos

¿Qué son los Atributos?

“Conjunto de resultados individuales evaluables, que los componentes indicativos del potencial del graduado para adquirir la competencia para la práctica profesional” Washington Accord, 2015.

Atributos asociados al curso:

Atributo	Nivel
Conocimientos de Ingeniería	Avanzado
Diseño / Desarrollo de soluciones	Intermedio
Utilización de herramientas modernas de Ingeniería	Avanzado

“Conocimientos de Ingeniería: Capacidad para aplicar los conocimientos a nivel universitario de Matemáticas, Ciencias Naturales, Fundamentos de la Ingeniería y conocimientos especializados de Ingeniería para la solución de problemas complejos de Ingeniería”.

“Diseño / Desarrollo de soluciones: Capacidad para diseñar soluciones para problemas de Ingeniería complejos, así como para diseñar sistemas, componentes o procesos que satisfagan necesidades específicas teniendo en cuenta las consideraciones apropiadas para la salud pública, la seguridad, los estándares pertinentes, así como los aspectos culturales, sociales, económicos y ambientales”.

“Utilización de herramientas modernas de Ingeniería: Capacidad para crear, seleccionar, aplicar, adaptar y ampliar apropiadamente técnicas, recursos y herramientas modernas de Ingeniería y de Tecnologías de la Información, incluyendo la prospección y modelado de problemas complejos de Ingeniería, con la comprensión de las limitaciones asociadas.”

TEMA I. Comportamiento del concreto a la compresión

Introducción

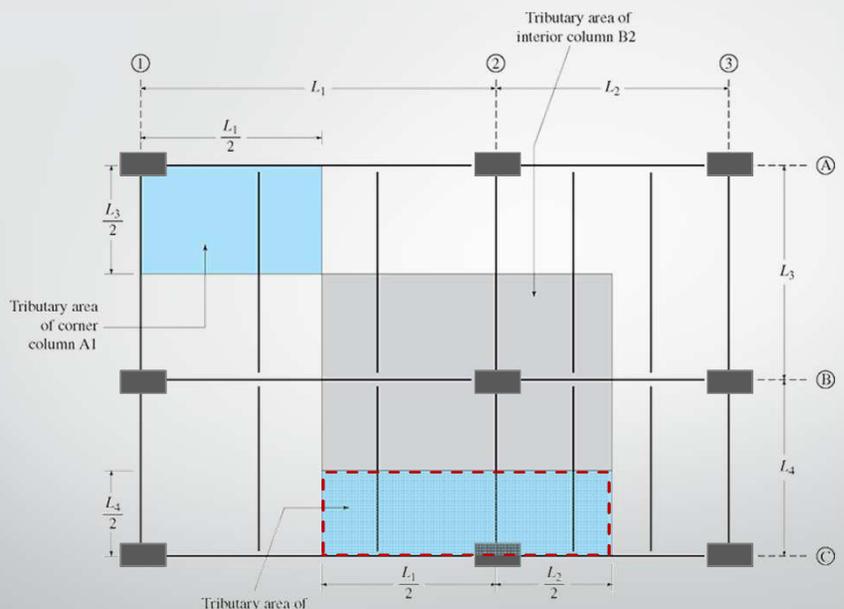
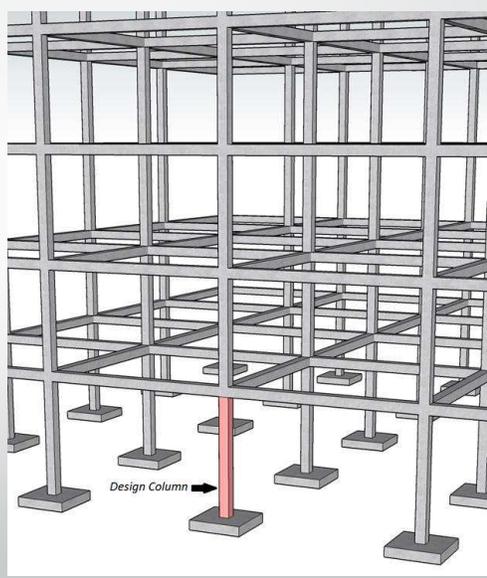
Una columna es un elemento usualmente vertical que soporta cargas axiales de compresión pero que debido a su ubicación en el sistema estructural deberá ser capaz de resistir también fuerzas de flexión (momentos), cortante y torsión. Las cargas verticales que soporta una columna provienen tanto de los entresijos superiores como del techo y son transmitidas finalmente a las fundaciones.



La ubicación de una columna dentro del sistema estructural determina en gran medida su demanda a cortante, carga axial y flexión, principalmente debido a cargas gravitacionales.

En la figura adjunta se señala una columna perimetral de la planta baja de un edificio tipo marco. Tomando en consideración únicamente las cargas permanentes y temporales, la carga axial que "bajará" por esta columna proviene del techo, de los entrepisos, peso de las vigas (dentro de su respectiva área tributaria) así como el peso de las columnas por "encima".

Adicionalmente se debe considerar el peso de los muros (si existieran) y la carga de fachada correspondiente al área tributaria.



Área tributaria en columnas

Dado que las columnas se comportan fundamentalmente en compresión, una eventual falla podría causar un colapso progresivo del sector adyacente a ella; con el consecuente daño económico y hasta pérdida de vidas humanas.

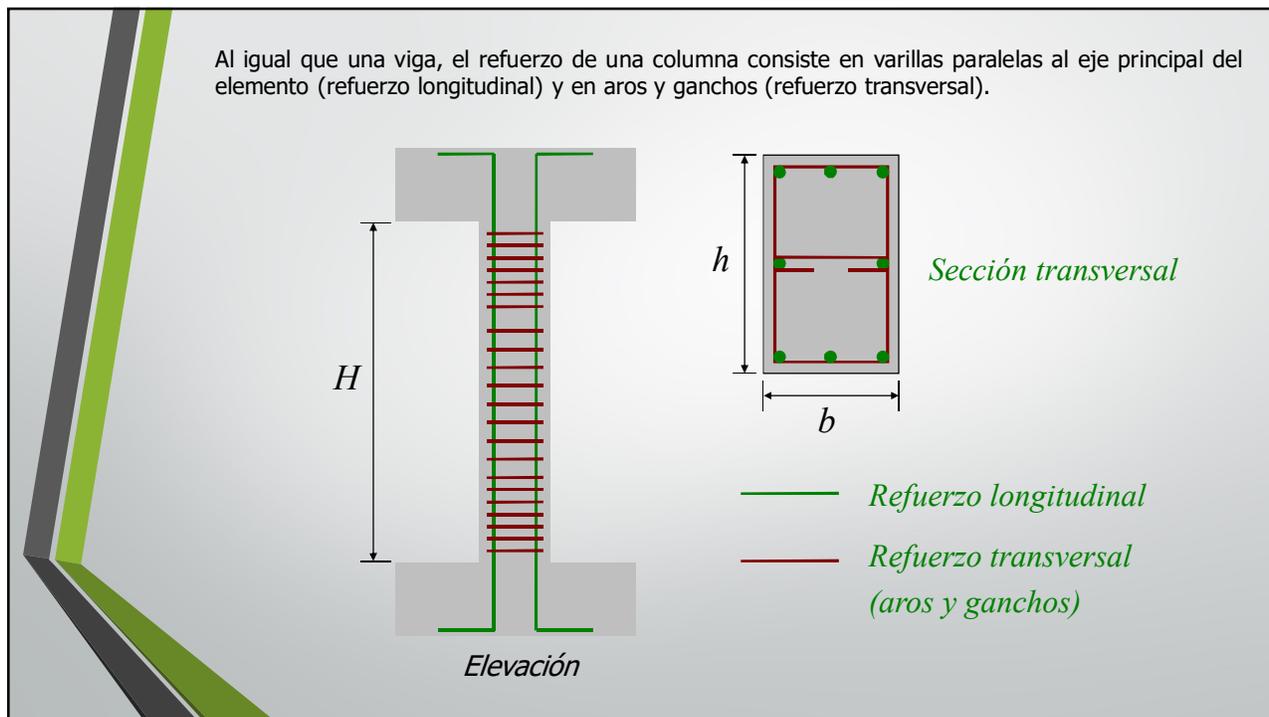
Por ende, en el proceso de diseño se le debe proporcionar una mayor reserva de resistencia debido que una falla en compresión es de naturaleza frágil, es decir, exhibe muy poca advertencia visual. Esto hace que los códigos de diseño asignen en el diseño de columnas, un factor de resistencia ϕ menor que para otro tipo de fallas como flexión.

Al igual que en vigas, la capacidad de una columna se sustenta en las siguientes hipótesis:

- ✓ Se asume una variación lineal de la deformación unitaria ϵ con respecto a la altura (peralte) de la sección (Hipótesis de Bernoulli)
- ✓ No hay deslizamiento relativo entre la varilla y el concreto circundante
- ✓ La máxima deformación unitaria en el concreto (al momento de la falla) es $\epsilon_{cu}=0.003$
- ✓ La resistencia a la tensión del concreto se desprecia y de hecho se ignora en los cálculos.

Las dimensiones de la sección transversal de una columna son por lo general considerablemente más pequeñas que su altura.

Secciones transversales más usuales de columnas de concreto



Tipos de columnas

Existen diversos criterios para clasificar las columnas tales como: *i)* forma geométrica y disposición del refuerzo, *ii)* excentricidad de la carga y *iii)* razón altura/ancho (esbeltez).

De acuerdo con el primer criterio, se pueden identificar tres tipos de columnas:

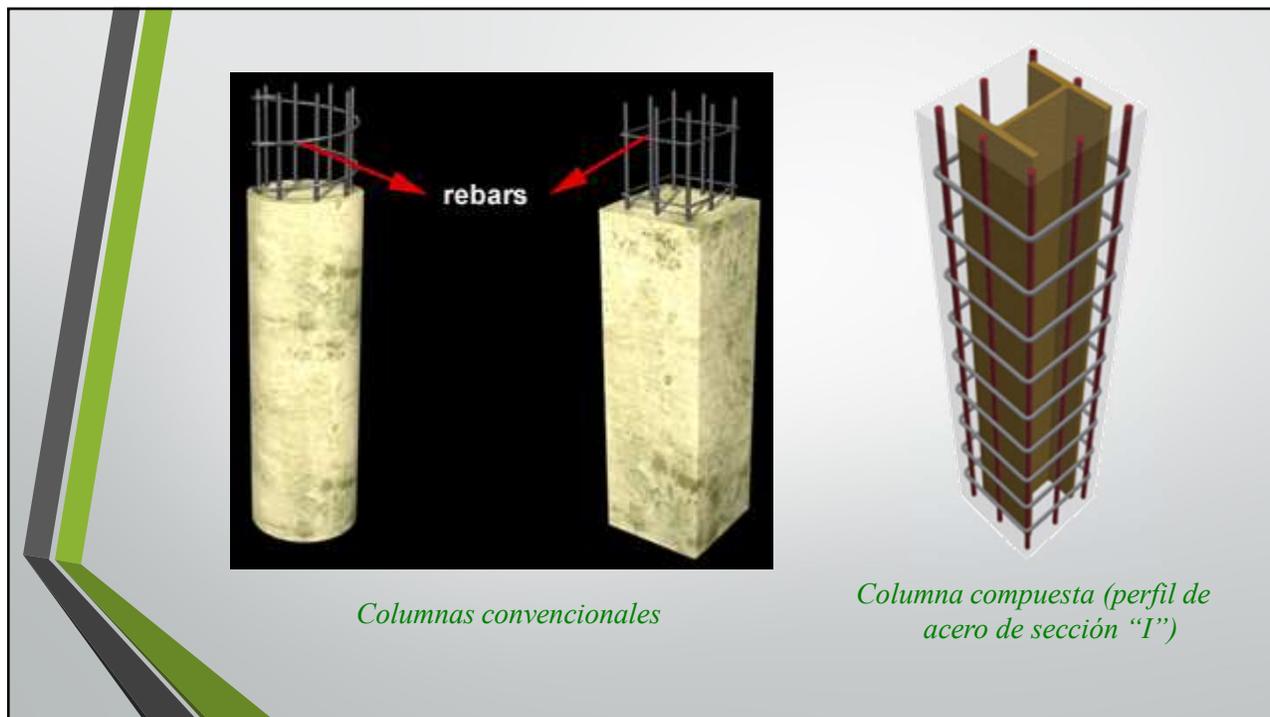
1. Columnas circulares con varillas longitudinales y refuerzo transversal con aros circulares o en espiral.
2. Rectangular o cuadradas con varillas longitudinales y aros convencionales.
3. Columnas compuestas donde un perfil de acero estructural es embebido en concreto.

En el curso se estudiarán únicamente los tipos 1 y 2; el tipo 3 queda fuera del alcance del mismo.

Aunque las columnas con aros convencionales son las más frecuentes debido a su bajo costo, se emplea el refuerzo en espiral cuando se requiere incrementar la ductilidad como es el caso de proyectos ubicados en zonas de alta sismicidad

Failure of a tied column

Failure of a spiral column



(a)

(b) or

(c) or

Desde le punto de vista de la posición de la carga en la sección transversal, las columnas pueden ser cargadas concéntrica o excéntrica.

Una columna con carga concéntrica (figura a) implica ausencia de momento. En la práctica, sin embargo, las columnas deben diseñarse para alguna excentricidad accidental debido a causas tales como imperfecciones en el alineamiento vertical, asimetría de la carga, entre otras.

La falla en una columna puede ocurrir por tres razones:

- i. Fluencia del acero más cercano a la cara en tensión
- ii. Aplastamiento del concreto en la cara en compresión
- iii. Pérdida de estabilidad lateral (pandeo). Esta falla ocurre en columnas esbeltas (**Tema 2**)

Resistencia de columnas cargadas axialmente

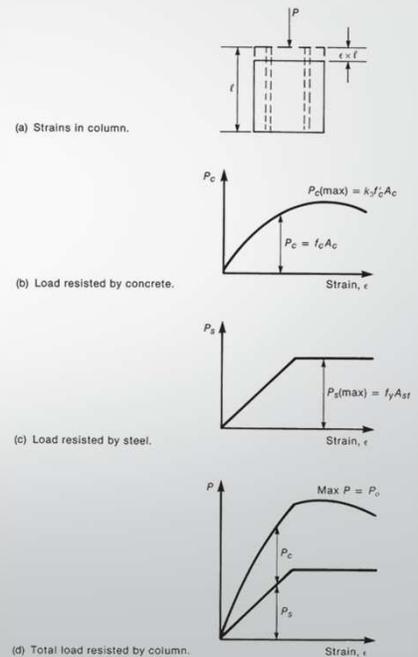
Considérese una columna de sección transversal A_g , con un refuerzo longitudinal total A_{st} simétricamente dispuesto y sometida a carga axial concéntrica P .

Suponiendo que el acero y el concreto están perfectamente adheridos, las deformaciones unitarias en ambos materiales son iguales. Experimentalmente se ha observado que el concreto alcanza su resistencia máxima f'_c cuando la deformación unitaria $\epsilon_{cu} \approx 0.002 - 0.003$.

Si se suman los aportes del concreto y del acero, se obtiene la resistencia axial concéntrica nominal:

$$P_0 = 0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

Si bien es cierto no existen columnas con carga concéntrica perfecta, la expresión anterior proporciona un valor razonable de resistencia axial máxima del elemento.



El Código ACI 318-19 reconoce que es altamente improbable una excentricidad nula por lo que reduce el valor de P_0 para el cálculo de la resistencia nominal máxima a compresión de una columna $P_{n,max}$.

$$P_{n,max} = 0.80 \cdot P_0 = 0.80 \left[0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \right] : \text{Para columnas con aros}$$

$$P_{n,max} = 0.85 \cdot P_0 = 0.85 \left[0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \right] : \text{Para columnas con espiral}$$

Predimensionamiento de columnas

El primer paso en el diseño de una columna consiste en estimar el tamaño de la misma. No existe una regla simple para esto debido a que la capacidad de carga axial ϕP_n de una sección dada varía con el momento actuante como se observa en un diagrama de interacción.

Para valores muy pequeños de M_u , el tamaño de la columna se puede aproximar como:

$$A_g \cong \frac{P_u}{0.40 \cdot (f_c' + f_y \rho_g)}$$

A_g : área bruta de la sección transversal [cm^2]

ρ_g : porcentaje de acero longitudinal (conservadoramente se toma como 0.01)

P_u : carga axial última en compresión [kg o Ton]

El porcentaje de acero longitudinal ρ_g en una columna se define como la razón del área acero longitudinal total al área bruta de la sección transversal:

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$$

De acuerdo con el **CSCR-10** (Sección 8.3.3), este parámetro ρ_g debe estar comprendido entre los siguientes valores límites:

$$0.01 \leq \rho_g \leq 0.06$$

El límite inferior busca controlar las deformaciones dependientes del tiempo y garantizar que el momento de fluencia M_y sea mayor que el momento de agrietamiento M_{cr} ; mientras que el límite superior procura evitar el congestionamiento de varillas así como la presencia de altos esfuerzos de cortante.

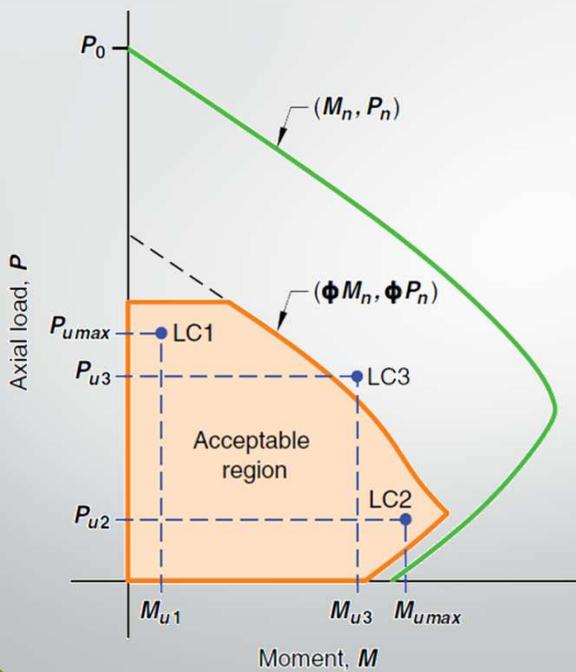
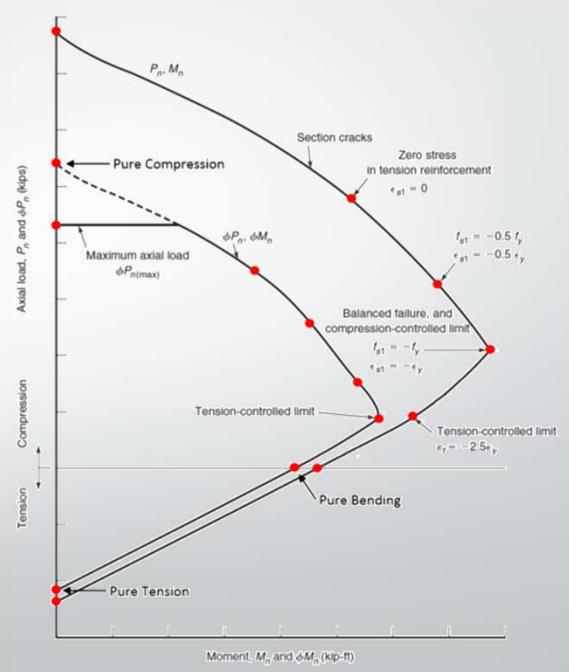
En la práctica usual, las columnas de edificaciones de baja y mediana altura poseen valores de ρ_g que oscilan entre el 1.2% y el 2%.

Concepto de Diagrama de interacción

Un diagrama de interacción es un gráfico en el cual se muestra cómo varía, para una columna dada, la capacidad de carga axial ϕP_n debido a la presencia simultánea de momento flexionante.

En otras palabras, para una sección de columna con una geometría dada, una distribución de acero (A_{st}) definida y flexión en un cierto sentido (x o y), existe una única curva (correspondiente a un valor ρ) mediante la cual se determina si la columna es adecuada para resistir la fuerzas últimas P_u y M_u .

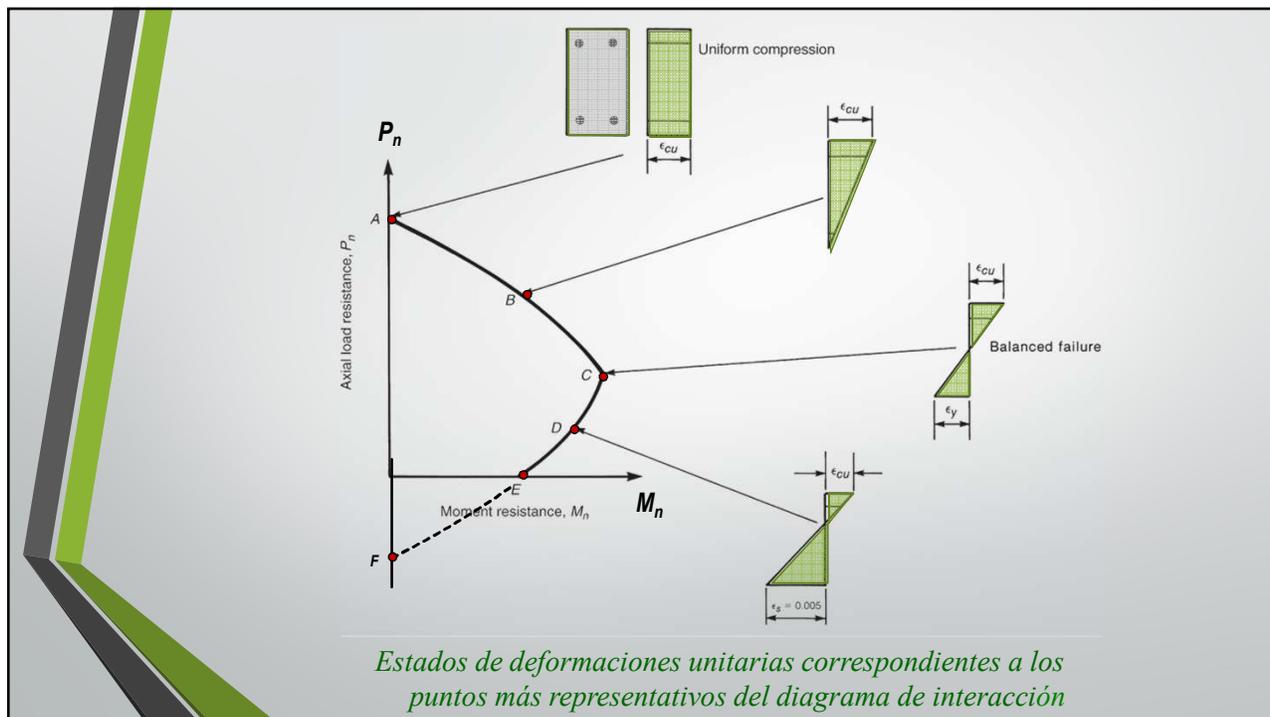
Como se observa en la figura, el gráfico proporciona información muy valiosa de



Según el gráfico, los puntos correspondientes a las combinaciones **LC1** y **LC2** representan combinaciones adecuadas mientras que **LC3** es inadecuado.

Para efectos del diseño de una columna en particular, en el diagrama construido para flexión en un determinado sentido, deberán graficarse un conjunto de pares ordenados (M_u, P_u) correspondientes a todas las combinaciones de carga en las secciones bajo estudio (usualmente 3: extremo superior, extremo inferior y el centro).

Es decir, en un análisis tridimensional, cada columna del edificio tendrá asociados al menos 30 pares ordenados: 10 combinaciones x 3 secciones.



Para comprender mejor el diagrama de interacción de una columna, es conveniente describir sus puntos más representativos en términos de su interpretación física.

➤ **Tramo A-B-C-D-E**

Se presenta flexo-compresión. El punto **A** representa la capacidad máxima de carga axial (en compresión) de la columna. En el caso de columnas con aros convencionales y se obtiene con la fórmula:

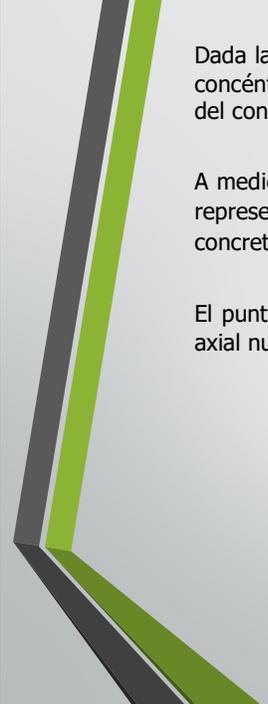
$$(\phi P_n)_{comp} = \phi_c \cdot 0.80 \cdot \left[0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \right]$$

ϕ_c : 0.65 (para regiones controladas por compresión)

A_g : Área bruta de la sección transversal [cm²]

A_{st} : Área total de acero longitudinal [cm²]

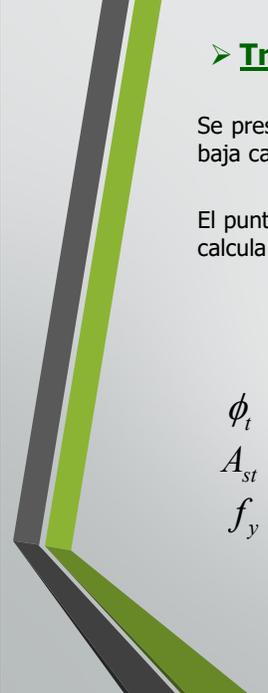
f_y : Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal [kg/cm²]



Dada la ausencia de flexión, el punto **A** corresponde al caso teórico de compresión pura (carga axial concéntrica sin flexión). La falla que experimentaría la columna en este caso sería por aplastamiento del concreto, es decir, se excede la capacidad a compresión del mismo f'_c .

A medida que se incrementa el momento M , se va generando la curva hasta llegar al punto **C** que representa el caso de falla balanceada. Esta condición se produce cuando, de manera simultánea, el concreto y el acero alcanzan sus valores de deformación ε_{cu} y ε_y , respectivamente.

El punto **E** corresponde a la condición teórica de flexión pura, o sea momento aplicado con carga axial nula.



➤ **Tramo E-F**

Se presenta flexo-tensión. Esta es una situación indeseable desde el punto de vista práctico dada la baja capacidad a tensión del concreto.

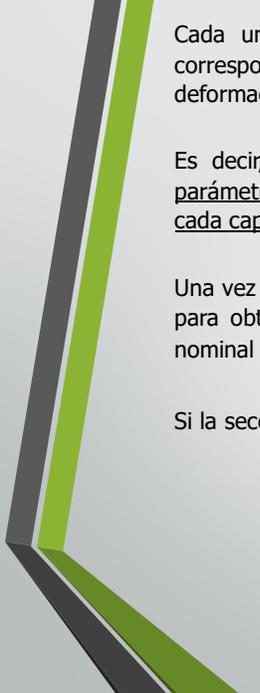
El punto inferior de la curva **F** refleja la capacidad máxima de carga axial en tensión y se obtiene se calcula con la expresión:

$$(\phi P_n)_{tens} = \phi_t \cdot A_{st} \cdot f_y$$

ϕ_t : 0.90 (para tensión)

A_{st} : Área total de acero longitudinal [cm²]

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal [kg/cm²]



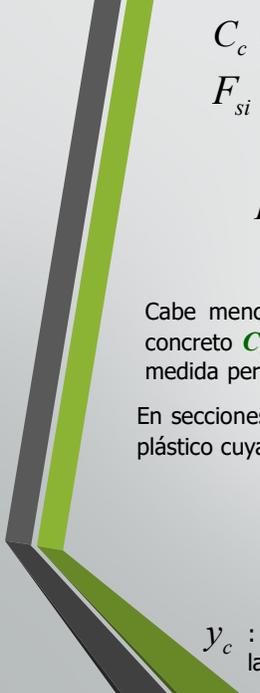
Cada uno de los puntos analizados anteriormente, y de hecho cualquier punto de la curva, corresponde a una posición específica del eje neutro (valor de c) que define a su vez un estado de deformaciones y esfuerzos.

Es decir, en esencia la construcción de un diagrama de interacción consiste en ir variando el parámetro c y calcular para esa posición los correspondientes valores de fuerza en el concreto y en cada capa de acero.

Una vez se tengan todas las fuerzas, se calculan los momentos de éstas respecto al centroide plástico para obtener el momento nominal M_n así como la suma de las fuerzas para hallar la carga axial nominal P_n .

Si la sección es rectangular $b \times h$, con flexión perpendicular a la dimensión h , se tiene que:

$$P_n = C_c + \sum_{i=1}^n F_{si} \quad : \text{Carga axial nominal (+ en compresión)}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n F_{si} \left(\frac{h}{2} - y_i \right) \quad : \text{Momento nominal}$$


$C_c = 0.85 f'_c \cdot ab$: fuerza en compresión del concreto

F_{si} : fuerza de tensión o compresión en la capa de acero i .

$$F_{si} = \begin{cases} f_{si} \cdot A_{si} & : \text{si } a < y_i \\ (f_{si} - 0.85 f'_c) \cdot A_{si} & : \text{si } a \geq y_i \end{cases}$$

Cabe mencionar que si la sección no es rectangular, en el cálculo de la fuerza en compresión del concreto C_c , el área ab debe reemplazarse por el área de la zona en compresión A_c cuya altura es a , medida perpendicularmente al eje neutro.

En secciones transversales no simétricas, el momento nominal debe calcularse con respecto al centroide plástico cuya ubicación es y_{CP} , usualmente medido desde la cara en compresión de la columna.

$$M_n = C_c (y_{CP} - y_c) + \sum_{i=1}^n F_{si} (y_{CP} - y_i)$$

y_c : centroide del área de la zona en compresión medida con respecto a la cara en compresión de la columna [cm].

Centroide plástico

Corresponde al punto en la sección de la columna donde la carga axial actúa produciendo deformaciones iguales.

Para localizar el centroide plástico se supone que todo el concreto está sometido a un esfuerzo de compresión igual a $0.85f'_c$ y todas las n capas de acero a su respectivo f_y igualmente en compresión.

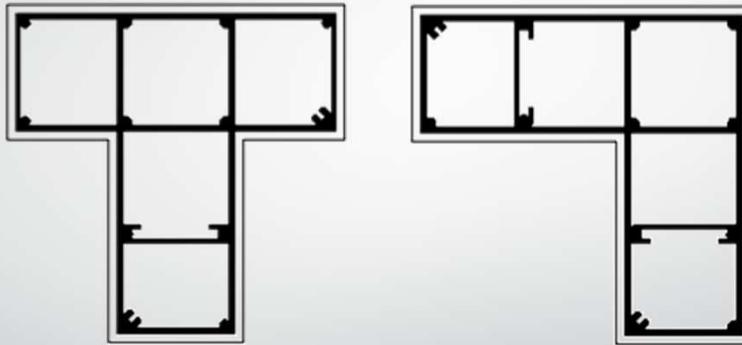
$$y_{CP} = \frac{0.85f'_c A_g \cdot y_{gc} + \sum_{i=1}^n [A_{si} \cdot (f_{yi} - 0.85f'_c) \cdot y_i]}{0.85f'_c A_g + \sum_{i=1}^n [A_{si} \cdot (f_{yi} - 0.85f'_c)]}$$

y_{gc} : distancia del eje de referencia al centroide del área bruta de la columna [cm]

A_{si} y f_{yi} : Área de acero y esfuerzo de fluencia de la capa i , respectivamente [cm² y kg/cm²]

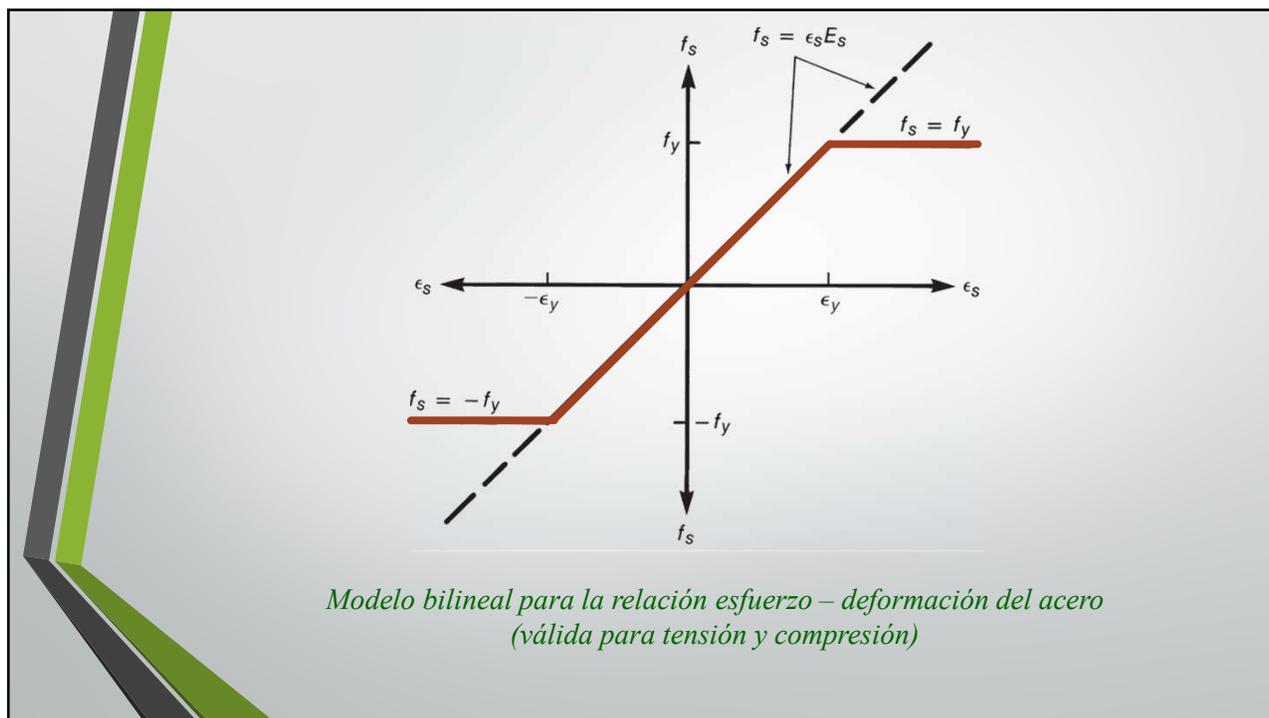
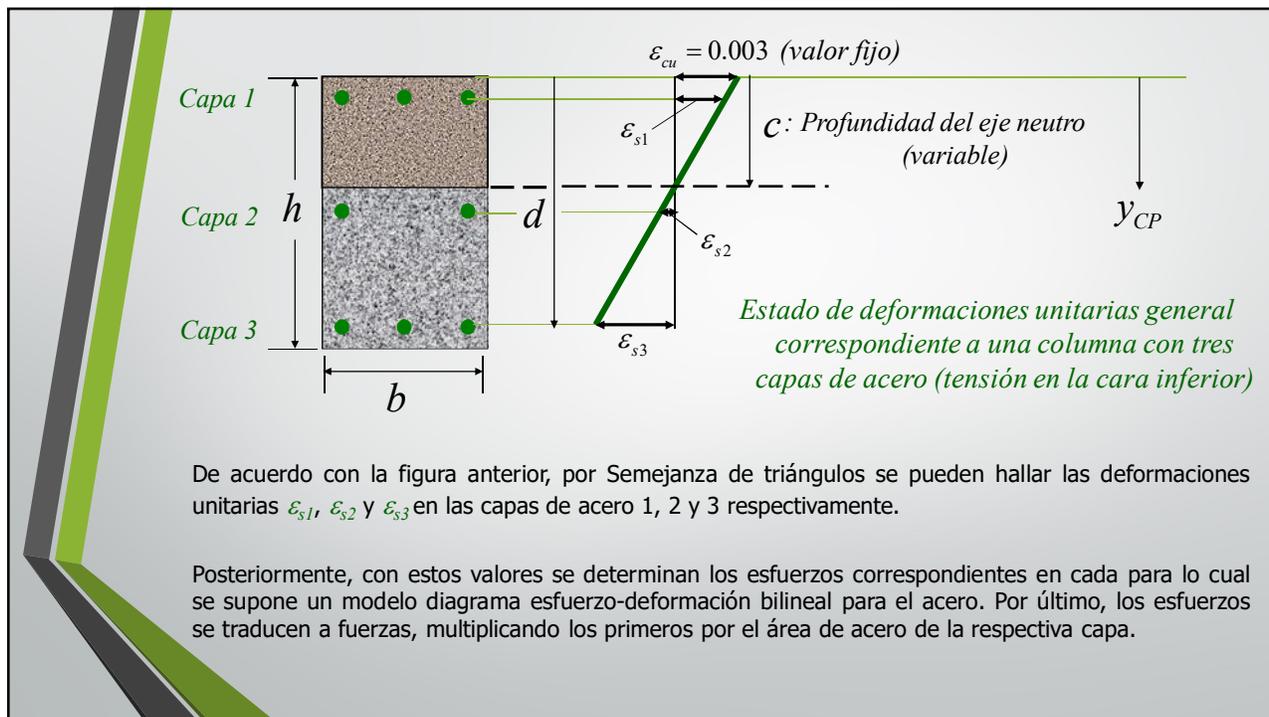
y_i : distancia del eje de referencia al centroide de la capa i [cm]

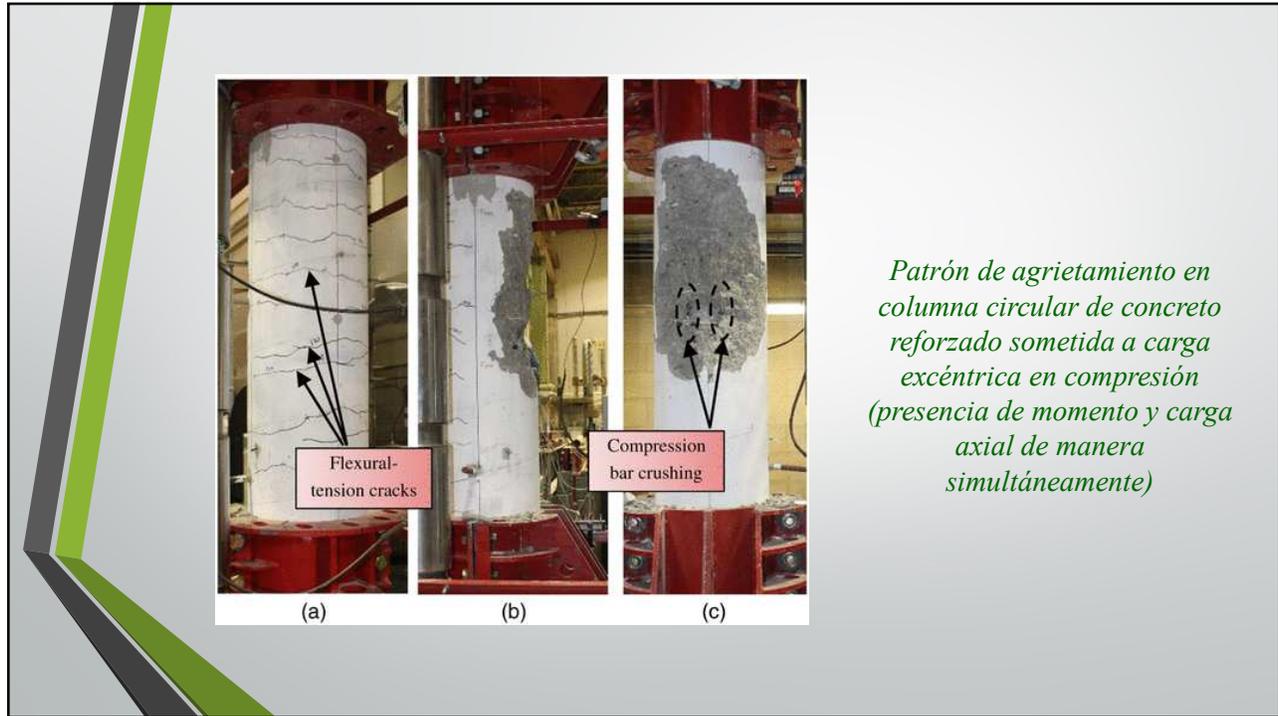
En la práctica, es común encontrar columnas cuya sección transversal no es rectangular, sea por requerimientos arquitectónicos, electromecánicos y/o restricciones propias proyecto (presencias de construcciones en colindancia, retiros, etc.).



Columna en "T"

Columna en "L"





Refuerzo transversal en columnas

El refuerzo transversal en columnas cumple las mismas funciones que en una viga de concreto reforzado.

La gran mayoría de las columnas en edificaciones resisten las fuerzas cortantes V_u a través de aros (*ties*). Ocasionalmente, cuando se requiere una gran resistencia y ductilidad, el refuerzo longitudinal se coloca circularmente y en lugar de aros se emplean varillas dobladas en forma de hélice o espiral.



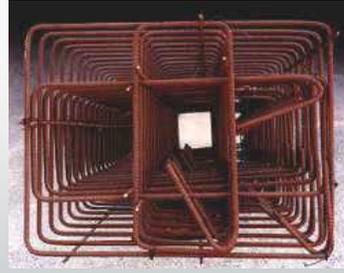
Columna con aros



Columna con espirales

Las columnas con refuerzo en espiral generalmente son circulares aunque también pueden ser secciones rectangulares o incluso poligonales. La espiral restringe la expansión lateral del concreto en el núcleo de la columna dándole a ésta ultima mayor capacidad de carga axial.

El refuerzo en espiral es raramente usado en Costa Rica. En su lugar lo que se ha empezado a comercializar en los últimos años son las armaduras prefabricadas que se ofrecen como una alternativa que reduce los costos de mano de obra.



“Canastas” prefabricadas

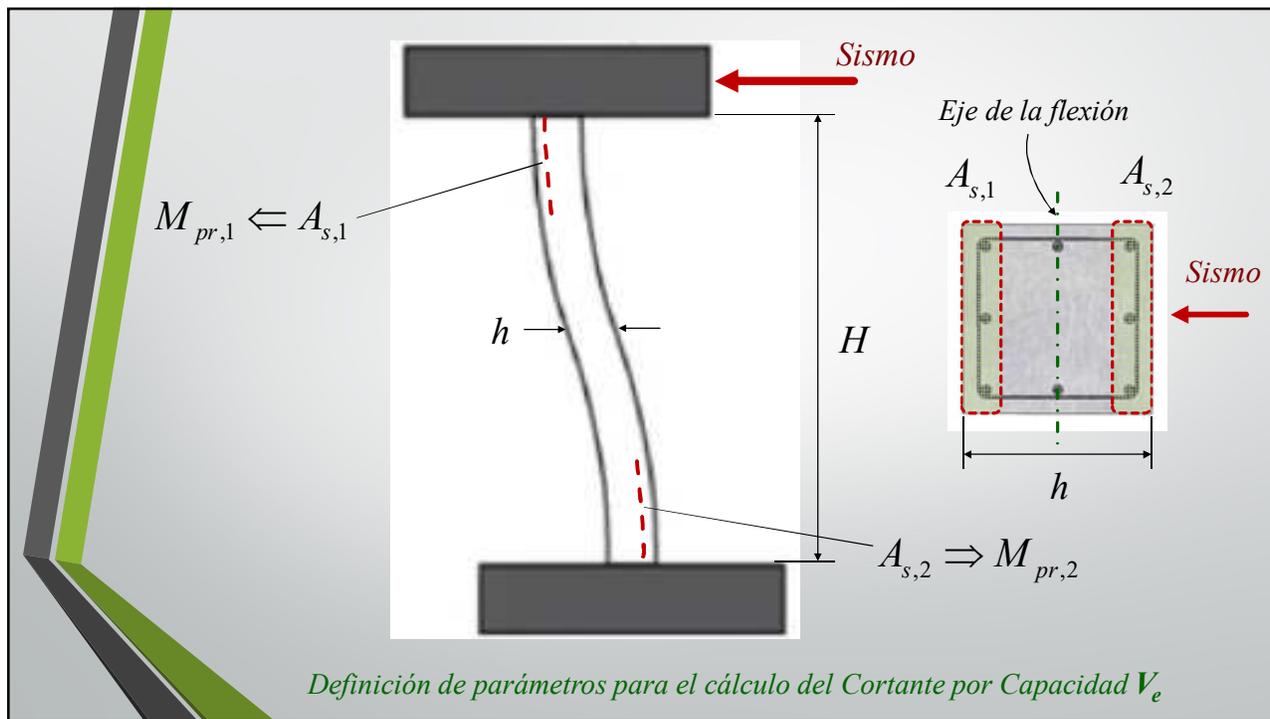
Para columnas de estructuras tipo marco y elementos de ductilidad local óptima de estructuras tipo dual, el CSCR-10 estipula en el artículo 8.7.1. inciso b) que la fuerza cortante para el cual se diseñan los aros $V_{diseño}$ será el mayor valor entre el V_u proveniente del análisis y el cortante V_e asociado a una condición de doble curvatura, también llamado cortante por capacidad.

$$V_{diseño} = \text{mayor} \begin{cases} V_u : \text{valor que se obtiene del análisis estructural} \\ V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \end{cases}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot (1.25 f_y) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \cdot (1.25 f_y)}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

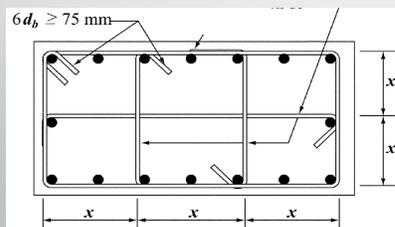
H : altura libre de la columna



Por su parte, en elementos con ductilidad local óptima, la separación de los arcos s no debe exceder el valor máximo que define el *CSCR-10* en el apartado 8.3.4 inciso c como:

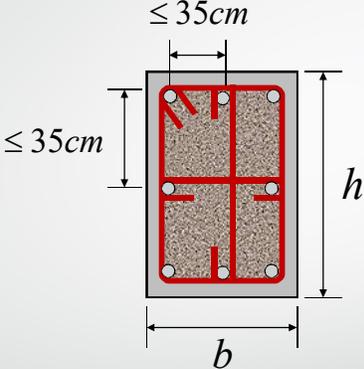
$$s_{\max} = \text{menor} \begin{cases} 0.25 \text{ de la dimensión mínima de la sección} \\ 6 \text{ veces el diámetro de la barra de menor diámetro} \\ s_o = 10 + \frac{(35 - h_x)}{3} \end{cases}$$

Donde h_x es la distancia máxima horizontal, centro a centro, entre ganchos suplementarios o barras que forman arcos cerrados de confinamiento de todas las caras de la columna [cm]



h_x es el valor más grande que pueda tener la dimensión x de la figura adjunta.

Cuando una dimensión del elemento sea mayor o igual a 50cm, se deben colocar varillas longitudinales con amarres suplementarios (ganchos) separados no más de 35cm.



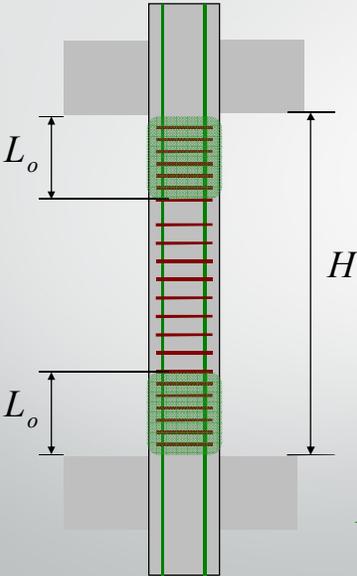
$\leq 35cm$

$\leq 35cm$

h

b

Según CSCR-10 apartado 8.3.4 inciso a, en columnas se debe dar un confinamiento especial en una longitud L_o a partir de la cara de cada nudo tal y como se aprecia en la figura:



L_o

H

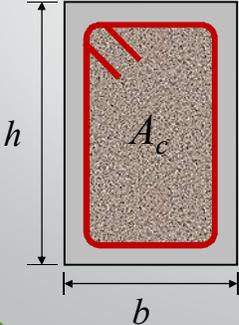
L_o

$L_o = mayor \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{6} \\ \text{Máxima dimensión de su sección transversal} \\ 45cm \end{array} \right.$

En la restante longitud de la columna, la separación máxima s_{max} definida anteriormente puede duplicarse.

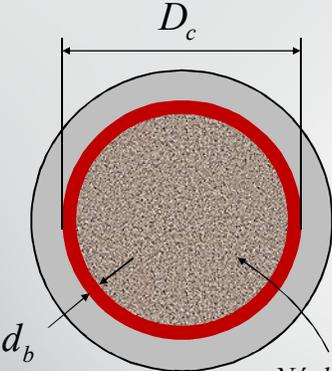
Distribución del refuerzo transversal en columnas

El inciso b) de la sección 8.3.4 del CSCR-10 establece que en elementos con ductilidad local óptima, el refuerzo transversal dentro de la longitud L_o debe tener una área mínima para el caso de aros rectangulares.

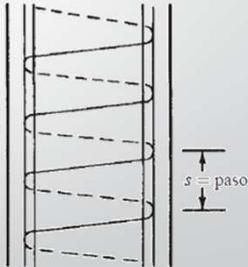
$$A_{sh,min} = \text{mayor} \begin{cases} A_{sh,1} = \frac{0.3 \cdot s \cdot h_c \cdot f_c'}{f_{yh}} \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \\ A_{sh,2} = \frac{0.09 \cdot s \cdot h_c \cdot f_c'}{f_{yh}} \end{cases}$$


A_{sh} : Área total de varillas que forman aros y ganchos con separación s y perpendiculares a la dimensión h_c [cm^2]
 A_g : Área bruta de la columna [cm^2]
 A_c : Área del núcleo interior confinado [cm^2]
 h_c : dimensión del núcleo de la columna (medida centro a centro del aro) perpendicular a la dirección del cortante [cm]

Si la columna posee refuerzo en espiral, el porcentaje de acero transversal ρ_s se define como:



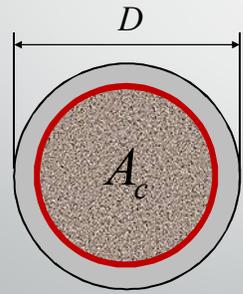
$$\rho_s = \frac{V_{espiral}}{V_{núcleo}} = \frac{a_s \cdot \pi (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) s}$$

$$\rho_s = \frac{4a_s (D_c - d_b)}{D_c^2 \cdot s}$$


D_c : Diámetro del núcleo de extremo a extremo de la espiral [cm]
 d_b y a_s : diámetro y área de la varilla de la espiral, respectivamente [cm y cm^2]
 s : paso de la espiral [cm]

En el caso de columnas con refuerzo en espiral o aros circulares, el CSCR-10 establece un límite mínimo para el ρ_s :

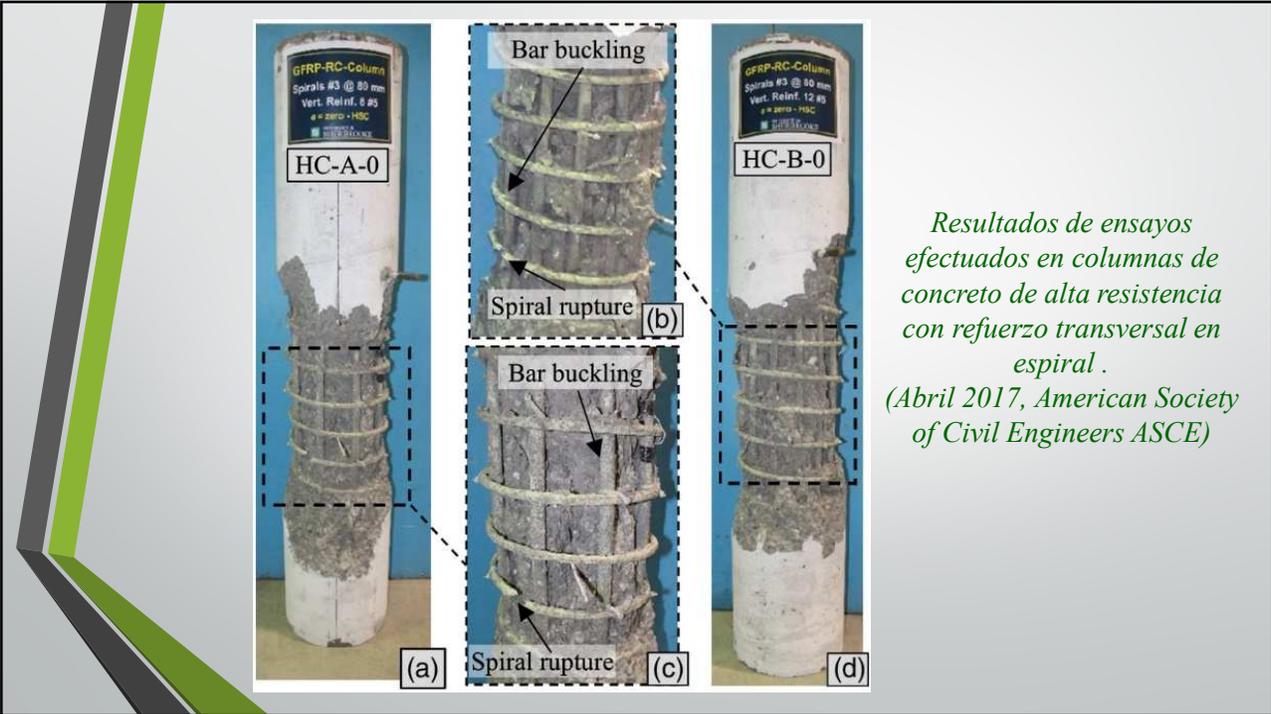
$$\rho_{s,\min} = \text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} \rho_{s,1} = \frac{0.12 \cdot f'_c}{f_{yh}} \\ \rho_{s,2} = \frac{0.45 \cdot f'_c}{f_{yh}} \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \end{array} \right.$$



- ρ_s : razón del volumen de los aros respecto al volumen del núcleo confinado por dicho refuerzo.
- A_g : Área bruta de la columna [cm^2]
- A_c : Área del núcleo interior confinado de la columna [cm^2].



Empleo de armadura en pilotes





Esquema de aplicación de carga sísmica en edificio.

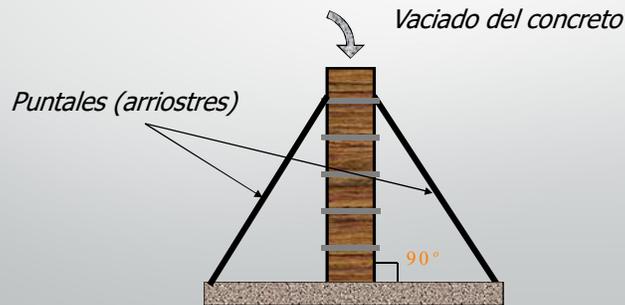


Falla por pandeo del refuerzo longitudinal en la base la columna

Aspectos prácticos y detalles constructivos de columnas

El proceso constructivo de una columna requiere de verificar los siguientes aspectos:

- ✓ Asegurarse que la formaleta o encofrado está debidamente apoyada y arriostrada de manera que durante el vertido de concreto no se abran las caras ni se produzca un desplome (pérdida de verticalidad de la columna).





- ✓ Durante la colocación de la formaleta garantizar el recubrimiento, mediante "helados", en todas las caras de la columna.
- ✓ No es recomendable verter concreto a alturas mayores a 2.0m si no se tienen "ventanas" (aberturas de control) en la formaleta.
- ✓ El proceso de curado debe iniciarse apenas se quite la formaleta (al día siguiente de la chorrea) y se prolongará por al menos 14 días.



Columna

Vigas de fundación

