

DNC ESTRUCTURAS – NIVEL 2 - PLAN DE ESTUDIOS 6

Taller: VERTICAL III – DELALOYE - NICO - CLIVIO

GE4 **Guía de estudio nro. 4: COLUMNAS DE HORMIGÓN ARMADO**

2013

Elaboró: Ing. Alejandro Nico

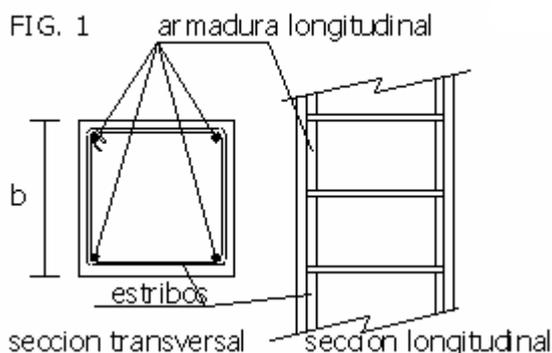
Revisión: 0

Fecha junio de 2013

1 -INTRODUCCION

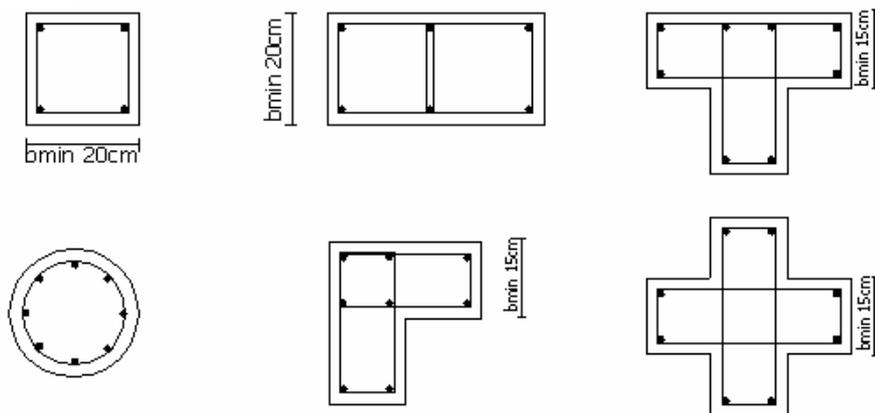
Las **columnas** de hormigón armado son los elementos lineales, que en una estructura se encargan de transmitir las cargas de las vigas que sobre ellas apoyan, y las transmiten a la estructura de fundación. Si bien en la generalidad de los casos trabajan a **compresión simple**, pueden verse sometidas a esfuerzos de tracción por flexión por excentricidad de carga u otros esfuerzos (**pandeo**). Por eso, dado que el hormigón esta capacitado para absorber solo esfuerzos de compresión, este tipo de columnas llevan además acero, para absorber los eventuales esfuerzos de tracción.

La armadura además da un margen de seguridad con respecto a la rotura del elemento dado que la hace más dúctil, esto es que la estructura nos "avisa" con fisuras la proximidad del colapso



2- FORMAS

Las formas que se utilizan en **columnas de hormigón armado** provienen fundamentalmente de las que originan el proyecto. No obstante en cada una de estas formas existe una distribución ideal de la armadura.



Distintos tipos de secciones de columna y su distribución de armadura



En general, la forma y cantidad de hormigón viene dada por cuestiones de **proyecto arquitectónico** (siempre y cuando las altas cargas no obliguen a tener que adoptar mayores secciones de hormigón que las que se “quisieran”) y por lo tanto **“dimensionar”** una columna es encontrar la cantidad de armadura necesaria para, con el hormigón disponible, soportar las cargas que recibe.

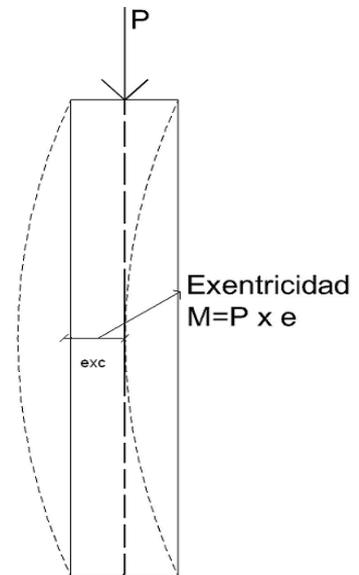
Si bien cualquier elemento estructural debe ser dimensionado con la mayor precisión y seguridad, en el caso de las columnas esto es **doblemente importante**. Efectivamente, la eventual falla de **una** losa o viga por sobrecargas no previstas, errores de cálculo o ejecución etc. ocasionarían eventualmente la destrucción única del propio elemento (dentro de ciertos límites). En cambio, el **colapso de una columna** seguramente arrastrara con ella varios elementos estructurales e incluso toda la estructura. Por ello es que los coeficientes de mayoración utilizados en las cargas de columnas son mayores que los del resto de los elementos



1
2
3

3- PANDEO

El **pandeo** es un efecto de inestabilidad elástica que hace que piezas sometidas a compresión pura terminen afectadas simultáneamente por **flexiones**, producto justamente de esa inestabilidad. El pandeo comienza con alguna excentricidad en la carga provocando una pequeña flexión y luego se retroalimenta en si mismo aumentando la excentricidad y su efecto, y así sucesivamente hasta provocar la rotura por flexión con cargas mucho menores que la que hubieran provocado la rotura si el pandeo no existiese. Todo lo anterior es válido para cualquier material, hormigón armado, hierro, madera, etc.



COLUMNA SOMETIDA A PANDEO

Si el pandeo no existiese, la columna estaría sometida a una tensión uniforme en toda su superficie

$$\sigma = P/A$$

El Momento flector generado por el pandeo produce un diagrama triangular de tensiones "descomprimiendo" algunas fibras y "sobrecomprimiendo" otras.

La suma de ambos efectos se observa en la figura siguiente:

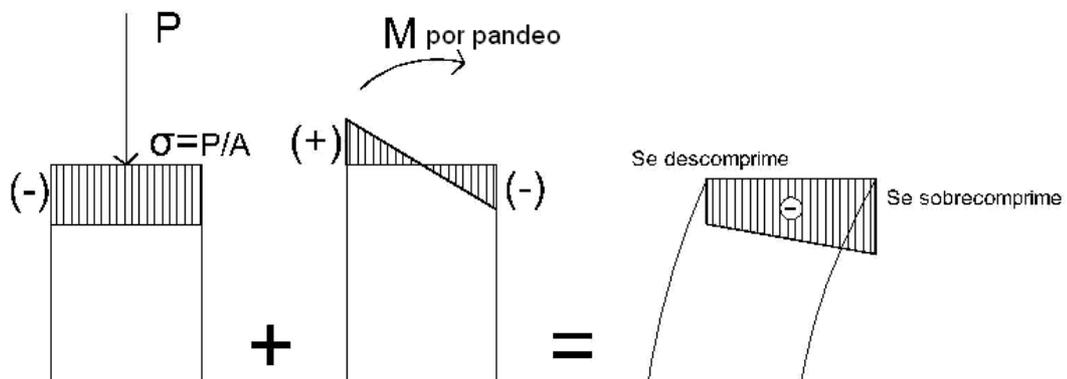


Diagrama de tensiones de una sección comprimida sometida a pandeo

Del diagrama de tensiones resultante se observa que parte de las fibras están más comprimidas que por el efecto único de la compresión pura: Por lo tanto y como conclusión, el **pandeo ocasionara mayor necesidad de material** (hormigón y hierro en el caso de HºAº) que si no existiera.

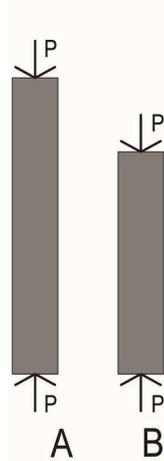
3.1- FACTORES QUE AFECTAN EL PANDEO

La magnitud del efecto del pandeo depende de algunos factores propios de la columna que es necesario conocer para poder evaluarlo y así dimensionar finalmente una columna sometida a compresión. Esos factores son:

- ALTURA
- MOMENTO DE INERCIA
- ESBELTEZ (función de la altura y el momento de inercia)
- CONDICIONES DE APOYO

3.1.1.- ALTURA (ALTO)

Cuanta más alta sea la columna, mayor efecto tendrá el pandeo



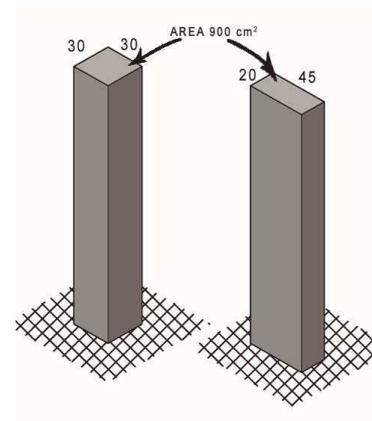
En la **figura** se observan 2 columnas sometidas a la misma carga P pero distinta altura. Si el pandeo no existiera, ambas precisarían la misma sección (igual cantidad de material) para soportar la carga. Pero por efecto del pandeo la columna más alta requerirá mayor material para soportar su efecto.

Efecto de la altura sobre el pandeo

3.1.2.- MOMENTO DE INERCIA

Otro de los factores que incide sobre el efecto del pandeo es el **momento de inercia**. Como ya se comentó, el pandeo termina "curvando" la pieza tal como si actuara un momento flector. La característica geométrica que se opone a un momento flector es el modulo resistente o el momento de inercia J. Efectivamente, resulta intuitivamente comprensible, que si una columna, por ejemplo, tiene un lado menor que el otro (un momento de inercia distinto según el eje x o el Y) "buscara" pandear en el sentido "mas débil" o de menor oposición que es el menor momento de inercia. De igual forma si tienen dos columnas, de igual sección, pero distintos momento de inercia, sufrirá mas el pandeo aquella que tenga menor momento de

inercia aunque sea alrededor de uno solo de sus ejes



Efecto del momento de inercia sobre el pandeo

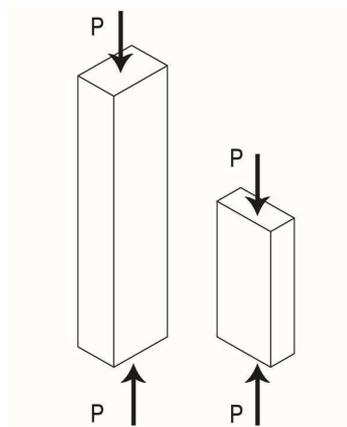
Si el pandeo no existiese, las columnas de la **figura** (de igual sección = 900 cm³) soportarían la misma carga, pero por efecto del mismo, la columna B, resistirá menos, ya que tiene uno de sus momentos de inercia menor (de h= 20 cm) que cualquiera de los dos de la columna A (que tiene los dos h = 30).

3.1.3.- ESBELTEZ (λ)

Se denomina **esbeltez** de una pieza a la relación entre su longitud (o altura) y un parámetro geométrico ligado con su momento de inercia. En otras palabras, es un parámetro que involucra simultáneamente a los dos factores mencionados anteriormente (altura y momento de inercia). En el caso del hormigón se tomara como "parámetro" del momento de inercia al lado mínimo de la columna (**b_{\min}**), entonces;

$$\lambda = L/b_{\min}$$

Para comprender mejor la importancia de la esbeltez véase el siguiente ejemplo:



Efecto de la esbeltez sobre el pandeo

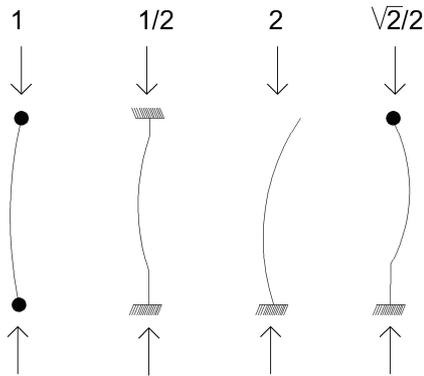
La columna A de la figura tiene mayor altura pero también mayor momento de inercia (que el menor de la columna B). En cambio la Columna B, si bien tiene menor altura, también tiene uno de los momentos de inercia menor. Ambas columnas tienen "**una a favor y otra en contra**" en relación al pandeo: Lo sufrirá más aquella que tenga mayor esbeltez.

3.1.4.- CONDICIONES DE APOYO:

Una columna de acuerdo al tipo de vinculación que tenga en su parte superior e inferior se comportara de forma diferente frente al efecto de pandeo provocado por una fuerza de compresión. Efectiva y nuevamente si asimilamos el efecto de pandeo a un esfuerzo de flexión, este dependerá de las condiciones de apoyo deformándose menos cuanto más empotrado sean los bordes y "sufriendo" más en los apoyos libres ("voladizos"). A los efectos de su futuro dimensionado se tomara como altura o luz de cálculo la misma que tiene la columna si ambos "apoyos" son articulados. Y para las otras alternativas se considerara como luz de cálculo:

$$L_{\text{ calculo}} = \text{LUZ}_{\text{ real}} \times C$$

Donde C es un parámetro que depende de las condiciones de borde de acuerdo al siguiente esquema



Coefficientes C para distintas condiciones de borde

El **empotramiento mayor o menor** que puede tener una columna en relación a las vigas que le “hacen” de apoyo, dependerá fundamentalmente de **las rigideces relativas entre la columna y las mencionadas vigas**.

3.2.- DIMENSIONADO AL PANDEO

Para tener en cuenta el efecto del pandeo en el dimensionado de una columna sometida a compresión existen 2 grandes criterios

- Calcular de alguna forma el momento flector equivalente que genera el pandeo y dimensionar la columna a flexocompresión o
- Mayorar ficticiamente la carga actuante N mediante un coeficiente ω (método omega). Esta mayoración hará que la sección resultante sea mayor que si el pandeo no existiese teniendo, en esta diferencia, justamente ese efecto. Lógicamente el coeficiente ω deberá tener en cuenta todos los factores que inciden sobre el pandeo vistos en los puntos 3.1

Si bien el primer método es más “real”, también es más complicado, y prefiriendo, la simplicidad a favor del concepto, es que en este nivel optaremos por el método omega.

En el caso del hormigón armado, la tabla siguiente provee los valores de ω , en función de la esbeltez de la pieza, tomando como tal a:

$$\lambda = Lc/b_{\min}$$

Las condiciones de apoyo se tendrán en cuenta al tomar la luz de cálculo de acuerdo a los coeficientes vistos en el punto 4.1.4

Lc/b _{min}	ω
15	1.00
20	1.08
25	1.32
30	1.72
35	2.28
40	3.00

Para valores intermedios deberá interpolarse.

El elemento puede tener **distintas** "alturas de pandeo" según los ejes **x** e **y**, si por ejemplo es "cortado" por una viga en la dirección **x**, y otra en la dirección **y** a otra altura distinta. Por ello y en estos casos, deberá verificarse el pandeo en las dos situaciones posibles, con sus correspondientes luces de cálculo y anchos (en este caso el b_{min} , deberá ser reemplazado por cada b , b_x y b_y , según el caso).

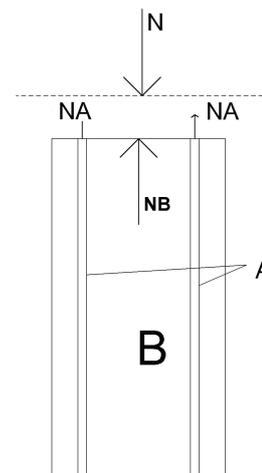


4.- ECUACION DE EQUILIBRIO PARA EL CÁLCULO DE COLUMNAS

Para poder dimensionar una columna de hormigón armado, es decir, qué cantidad de hierro y hormigón deben colocarse para soportar una determinada carga, debe previamente analizarse las fuerzas accionantes y resistentes que sobre ella actúan.

Sea una columna de hormigón con una sección B y una armadura de área A .

La carga actuante N' , será absorbida en forma proporcional por el hormigón y el acero de acuerdo a la siguiente ecuación de equilibrio:



Fuerzas actuantes en una columna

$$N' = N'b + N'a \quad (1)$$

Donde

- N' = esfuerzo solicitante de compresión
- N'_b = esfuerzo que absorbe el hormigón a compresión
- N'_a = esfuerzo que absorbe el acero a compresión

Las fuerzas resistentes del hormigón y el acero no son más que el producto de la máxima tensión que ellos pueden proveer por el área total sobre la que actúan. Se tendrá entonces

- $N'_b = \sigma'_{bk} \cdot B$
- $N'_a = \sigma'_{ecol} \cdot A$

La expresión queda

$$N' = \sigma'_{bk} \cdot B + \sigma'_{ecol} \cdot A$$

Donde

- σ'_{ecol} (**380 Mpa**), es la tensión del acero "disminuida" (recordar que el verdadero valor es σ'_{ek} (420 Mpa))
- σ'_{bk} la que tenga el hormigón utilizado pero algunos reglamentos aconsejan no tomar mas a **15 Mpa**

A la vez se debe afectar la carga solicitante N' por un **coeficiente de seguridad (γ)** y el **coeficiente de pandeo (ω)** obteniendo de esta forma la denominada **carga de rotura (N'_{rot})**

$$N' \cdot \gamma \cdot \omega = \sigma'_{bk} \cdot B + \sigma'_{ecol} \cdot A \quad (2)$$

El valor de γ se toma igual a 2,5, en general salvo para el caso de escuelas, hospitales donde se tomara igual a 2,6 o 2,8 según el reglamento

5.- DIMENSIONADO DE UNA COLUMNA DE HORMIGON ARMADO

En general, la forma y cantidad de hormigón viene dada por cuestiones de proyecto arquitectónico (siempre y cuando las altas cargas no obliguen a tener que adoptar mayores secciones de hormigón que las que se "quisieran") y por lo tanto "dimensionar" una columna es encontrar la cantidad de armadura necesaria para, con el hormigón disponible, soportar las cargas que recibe.



Recordando la formula de equilibrio vista en el punto anterior

$$N' \cdot \gamma \cdot \omega = \sigma'_{bk} \cdot B + \sigma'_{ecol} \cdot A$$

Salvo A (área de acero) y B (área de hormigón), el resto de los parámetros son datos. Pero resulta que se tiene una ecuación con 2 incógnitas imposible de resolver matemáticamente. Entonces y nuevamente, se fija el hormigón por cuestiones de proyecto y se despeja la cantidad de armadura necesaria. Entonces los pasos a seguir serían

5.1.- PREDIMENSIONADO: Establecer provisoriamente la cantidad de hormigón por cuestiones arquitectónicas o de diseño, teniendo presente que la columna mínima reglamentaria es de 20 cm x 20 cm.

5.2.- ANALISIS DE CARGA: Las cargas que actúan sobre una columna son siempre puntuales y corresponden a

- Peso propio = dimensiones de la columna x $P_{UVHORMIGON}$
- Cargas de columna superior
- Reacciones de vigas vecinas

5.3.- DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PANDEO ω : En función de las condiciones de borde y la esbeltez de la pieza ingresando a la tabla afín se obtiene el valor de ω

5.4.- CÁLCULO DE LA ARMADURA: De la **formula (2)**, despejando el área A se tiene:

$$A = (N' \cdot \gamma \cdot \omega - \sigma'_{bk} \cdot B) / \sigma'_{ecol}$$

En términos conceptuales, el acero deberá soportar, de la carga total (mayorada), lo que que no alcanza a soportar el hormigón. Incluso la formula anterior puede dar un **resultado negativo**, que matemática y estructuralmente, significa que el Hormigón resiste por si solo mas que la carga que tiene la columna, en cuyo casos la armadura no sería necesaria y solo se colocara la mínima como se verá más adelante.

La armadura hallada anteriormente se resuelve con un numero par (siempre mayor de 4) de hierro redondos de diámetros tales que sus aéreas individuales sumen el Área total buscada (diámetro mínimo $\Phi 12$)

5.5.- VERIFICACION DE CUANTIAS MAXIMAS Y MINIMAS

Por cuestiones de tipo de rotura (que sea dúctil y no frágil, "que la columna avise") se limita la cuantía de armadura con relación a la cantidad de hormigón entre un valor máximo y mínimo de tal manera que:

$$A_{mín} = 0.008 B \text{ o sea que } A_{mín}/B = 0,8\%$$

$$A_{máx} = 0.03 B \text{ o sea que } A_{máx}/B = 3 \%$$

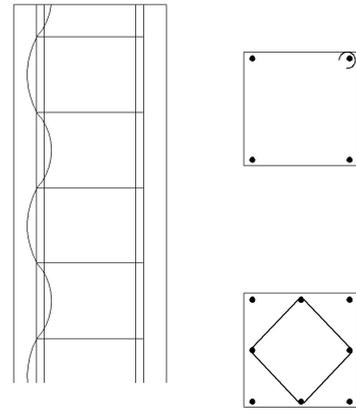
Desde el punto de vista económico la armadura no debería superar el 2% (**$A_{económica} = 0.02 B$**) de la sección de hormigón.

En el punto de la cuantía máxima es donde en muchos se deba dimensionar nuevamente la columna, modificando el valor tomado en aquel lejano predimensionado. Efectivamente, si la armadura necesaria obtenida es mayor que la A_{max} por cuantía (y/o economía) deberá volverse atrás y aumentar la sección de hormigón para obtener menos armadura necesaria y adaptarnos a la cuantía máxima. Este es el motivo por

el cual es habitual ver en una estructura de que manera van aumentando los tamaños visibles del hormigón de abajo (donde las cargas son mayores) hacia arriba (que disminuyen).

5.6.- OTRAS CONSIDERACIONES:

Además de la armadura longitudinal, las columnas llevan estribos que son hierros horizontales que la abrazan. Los mismos facilitan el llenado, evitan el pandeo localizado de las barras



Estribo para que no pandeen los hierros del medio

Estribos de columnas

5.7.- LIMITACIONES REGLAMENTARIAS

A continuación se dan las pautas que marcan los reglamentos en lo referente a dimensiones mínimas, cantidad de armadura, estribos y separación entre sí de estos últimos.

- La dimensión mínima en las secciones rectangulares era de 20 cm y la armadura mínima $4\phi 12$. (o por cuantía)
- ϕ de estribos ≥ 6 mm. Y la separación $<$ que el lado mínimo y $<$ a 40 cm. Y $<$ que 12Φ de la armadura principal
- Ninguna sección transversal de la columna tendrá barras longitudinales espaciadas entre sí a más de 40 cm.
- La separación mínima entre barras longitudinales no será menor que 1.5 veces el diámetro de la barra de mayor diámetro ni menor que 4 cm.
- El diámetro mínimo utilizado para armadura principal será de 12 mm.

6.- PLANILLA DE COLUMNAS:

Se vuelca a continuación un ejemplo de una planilla de cálculo de las columnas de una estructura. En la columna externa de la derecha (fuera de la planilla misma) se encuentran los valores de las cuantías correspondientes de acuerdo al hormigón y armadura propuesta para controlar que no sobrepasen los valores máximos.

Planilla de Columnas		Ed. xxx TORRE DELANTERA Hormigon 170 coef.seg. 2,5																		
PLANTA BAJA		Acero 3800																		
Posic	Peso Propio	Carga Sup.	Segun xx		Carga Total	Altura	Dimensiones		Mfl.	W	Carga Ultima	Armadura		A.disp cm2	Estribos		Observaciones			
			Izq.	Der.			bx	by				A.nec cm2	Arm. Long cant		FI	sep				
C1	0,4	50,2		2,8	7,5	60,9	2,5	20	35	700	1	152,2	12,4	12	13,56	6	20	1,8%		
C2	0,5	61,1	5,1	7,3		73,8	2,5	40	20	800	1	184,6	17,0	10	20,10	6	20	2,1%		
C3	0,4	42,8	5,8		3,0	51,9	2,5	20	30	600	1	129,9	10,5	6	12,06	6	20	1,7%		
C4	0,4	42,8		5,8	3,0	51,9	2,5	20	30	600	1	129,9	10,5	6	12,06	6	20	1,7%		
C5	0,5	61,1	7,3	5,1		73,8	2,5	40	20	800	1	184,6	17,0	10	20,10	6	20	2,1%		
C6	0,4	50,2	2,8		7,5	60,9	2,5	20	35	700	1	152,2	12,4	8	16	16,08	6	20	1,8%	
C7	0,8	100,7		2,5	7,9	10,4	2,5	20	70	1400	1	306,0	25,3	8	20	25,12	6	20	1,8%	
C8	0,7	95,6	7,8	12,1		116,2	2,5	60	20	1200	1	290,4	29,1	10	20	31,40	6	20	2,4%	
C9	0,7	81,9	8,5		4,3	99,8	2,5	20	60	1200	1	249,4	18,3	10	16	20,10	6	20	1,5%	
C10	0,7	81,9		8,5	4,3	99,8	2,5	20	60	1200	1	249,4	18,3	10	16	20,10	6	20	1,5%	
C11	0,7	95,6	12,1	7,8		116,2	2,5	60	20	1200	1	290,4	29,1	10	20	31,40	6	20	2,4%	
C12	0,8	100,6	2,5		7,9	10,4	2,5	20	70	1400	1	305,9	25,2	8	20	25,12	6	20	1,8%	
C13	0,4	55,8	2,6		0,9	59,7	2,5	20	30	600	1	149,2	15,6	8	16	16,08	6	20	2,6%	
C14	0,5	57,3		2,3	4,2	69,6	2,5	20	40	800	1	174,0	14,2	10	16	20,10	6	20	1,8%	
C15	0,6	70,9	5,0	8,7	0,7	85,8	2,5	50	20	1000	1	214,5	17,0	10	16	20,10	6	20	1,7%	
C16	0,4	48,7		6,4	1,6	58,6	2,5	20	30	600	1	146,5	14,9	8	16	16,08	6	20	2,5%	
C17	0,6	70,9	8,7	5,0	0,7	85,8	2,5	50	20	1000	1	214,5	17,0	10	16	20,10	6	20	1,7%	
C18	0,5	57,3	2,3		4,2	69,6	2,5	20	40	800	1	174,0	14,2	8	16	16,08	6	20	1,8%	
C19	0,3	34,2		2,8	1,6	41,5	2,5	20	25	500	1	103,7	7,6	8	12	9,04	6	20	1,5%	
C20	0,4	42,8	4,2	4,1		52,1	2,5	30	20	600	1	130,2	10,6	10	12	11,30	6	20	1,8%	
C21	0,7	92,7	4,6	4,5		103,0	2,5	20	55	1100	1	257,5	24,3	12	16	24,12	6	20	2,2%	
C22	0,7	91,2	4,5	4,6		102,1	2,5	20	55	1100	1	255,2	23,7	12	16	24,12	6	20	2,2%	
C23	0,4	42,8	4,1	4,2		52,1	2,5	30	20	600	1	130,2	10,6	10	12	11,30	6	20	1,8%	
C24	0,3	34,2	2,8		1,6	41,5	2,5	20	25	500	1	103,7	7,6	8	12	9,04	6	20	1,5%	
C25	0,9	104,8		6,3	9,4	127,4	2,5	20	75	1500	1	318,5	24,6	8	20	25,12	6	20	1,6%	
C26	0,7	87,5	6,3		7,2	106,2	2,5	20	55	1100	1	265,6	26,5	14	16	28,13	6	20	2,4%	
C27	0,7	87,5		6,3	7,2	106,2	2,5	20	55	1100	1	265,6	26,5	14	16	28,13	6	20	2,4%	
C28	0,9	104,8	6,3		9,4	127,4	2,5	20	75	1500	1	318,5	24,6	8	20	25,12	6	20	1,6%	
C29	0,4	42,2			4,2	4,7	51,5	2,5	20	30	600	1	128,8	10,2	6	16	12,06	6	20	1,7%
C30	0,4	42,2			4,2	4,7	51,5	2,5	20	30	600	1	128,8	10,2	6	16	12,06	6	20	1,7%
C31	0,4	47,0			2,8	6,8	57,0	2,5	20	30	600	1	142,5	13,8	8	16	16,08	6	20	2,3%
C32	0,4	50,2	4,7	6,1		61,3	2,5	30	20	600	1	153,4	16,7	8	16	16,08	6	20	2,8%	
C33	0,2	27,3	3,2		2,7	33,4	2,5	20	20	400	1	83,5	6,2	6	12	6,78	6	20	1,5%	
C34	0,2	27,3		3,2	2,7	33,4	2,5	20	20	400	1	83,5	6,2	6	12	6,78	6	20	1,5%	
C35	0,4	50,2	6,1	4,7		61,3	2,5	30	20	600	1	153,4	16,7	8	16	16,08	6	20	2,8%	
C36	0,4	47,0	2,8		6,8	57,0	2,5	20	30	600	1	142,5	13,8	8	16	16,08	6	20	2,3%	

7.- OTRAS VARIANTES DE LA FORMULA DE EQUILIBRIO:

De la formula de equilibrio (2) intercambiando datos e incógnitas se pueden resolver algunas situaciones particulares. Por ejemplo, tener que saber:

- cuál es la máxima carga N que puede soportar una sección de hormigón y armadura determinada. ¿???
- Que sección de hormigón será necesaria si se quiere mantener una armadura determinada ¿???????????
- Con coeficiente de seguridad está realmente trabajando un columna existente de la cual se conoce su carga, armadura y cantidad de hormigón??'