HORMIGON ARMADO: ABACOS PARA EL CALCULO DE SECCIONES RECTANGULARES SOMETIDAS A COMPRESION COMPUESTA Y A FLEXION COMPUESTA

Por FRANCISCO RUIZ GARCIA
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El autor ha encontrado unas relaciones lineales entre los esfuerzos a que están sometidas las secciones y las características geométricas y tensionales de las mismas. Estas relaciones lineales permiten la construcción de ábacos — en forma de haces de rectas — de fácil manejo y extrapolación, con los que se logra una determinación inmediata de cuándo las secciones están sometidas a compresión compuesta y cuándo a flexión compuesta. La parte primera ("Abacos para la compresión compuesta) se incluye a continuación. En el próximo número se incluirán las partes segunda ("Abacos para la flexión compuesta") y tercera ("Juicio crítico y consideraciones sobre el uso de los ábacos").

1. ABACOS PARA LA COMPRESION COMPUESTA

A) HIPOTESIS:

1.ª: Ley de Hooke de proporcionalidad entre tensiones y deformaciones.
2.ª: Hipótesis de Navier de conservación de las secciones planas.
3.ª: Relación entre el módulo de elasticidad del acero y del hormigón igual a 15.
4.ª: Igual revestimiento para las dos armaduras.

B) NOTACIONES EMPLEADAS:

a = recubrimiento de las armaduras.
b = ancho de la sección.
c = canto total de la sección.
$h = c - a$ = canto útil si la sección estuviera sometida a flexión.
n = relación entre el módulo de elasticidad del acero y el del hormigón = 15.
r' = relación de σ_H a 60 Kg./cm.².
x = distancia desde el eje geométriico de la pieza a la fibra neutra.

F_a = sección de la armadura menos comprimida.
F'_a = sección de la armadura más comprimida.
K = relación $\sigma'_A/\sigma_H \times n$.
M = momento solicitante referido al eje geométrico de la pieza.
M_s = valor de $M/b \times h$.
N = fuerza axil solicitante.
N_s = valor de $N/b \times h$.

α = relación F_a/F'_a.
δ = relación a/h.
γ = valor de $\dfrac{F'_a \cdot 100}{b \times h}$.
σ_A = tensión del acero menos comprimido.
σ'_A = tensión del acero más comprimido.

σ_H = máxima tensión de compresión en el hormigón.
σ_{H2} = mínima tensión de compresión en el hormigón.
φ_1 = haz de rectas que da los valores de γ en función de N_s y de σ'_A.
φ_2 = haz de rectas que da los valores de $\frac{M_s}{h}$ en función de N_s y de σ'_A.

C) CALCULO:

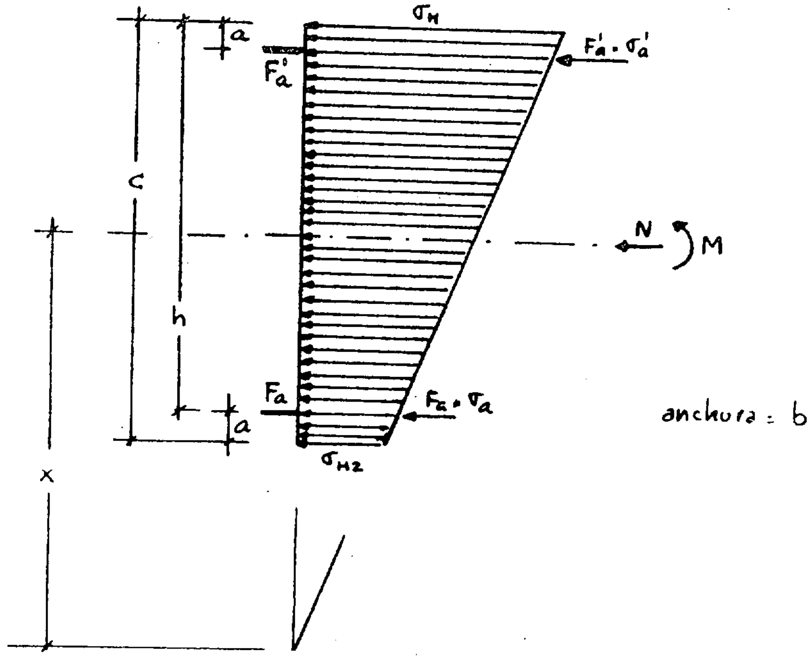


Figura 1.

Las ecuaciones de equilibrio son:

$$N = \frac{\sigma_H + \sigma_{H2}}{2} \cdot c \cdot b + F'_a \cdot \sigma'_a + F_a \cdot \sigma_a \tag{1}$$

y

$$M = \frac{\sigma_H + \sigma_{H2}}{2} \cdot c \cdot b \left[\frac{c}{3} \cdot \frac{2\sigma_H + \sigma_{H2}}{\sigma_H + \sigma_{H2}} - \frac{c}{2} \right] + F'_a \cdot \sigma'_a \left[\frac{c}{2} - a \right] - F_a \cdot \sigma_a \left[h - \frac{c}{2} \right] \tag{2}$$

y teniendo en cuenta que:

$$\sigma_{H2} = \frac{2x - c}{2x + c} \cdot \sigma_H \tag{3}$$

$$\sigma_A = \frac{2x - c + 2a}{2x + c} \cdot \sigma_H \cdot n \tag{4}$$

$$\sigma'_A = \frac{2x + c - 2a}{2x + c} \cdot \sigma_H \cdot n \tag{5}$$

y

$$F_a = \alpha \cdot F'_a \tag{6}$$

el sistema (1) y (2) queda:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{N}{\sigma_H} &= \frac{2x}{2x+c} \,.\, c \;.\; b + F'_a \,.\, \frac{2x+c-2a}{2x+c}\, n + \alpha \;\; F'_a \,.\, \frac{2x-c+2a}{2x+c} \,.\, n \\
\frac{M}{\sigma_H} &= \frac{c^3 \; b}{12x+6c} + F'_a \,.\, \frac{2x+c-2a}{2x+c}\, n \left[\frac{c}{2} - a\right] - \alpha \,.\, F'_a \,.\, n \,.\, \frac{2x-c+2a}{2x+c} \left[h - \frac{c}{2}\right]
\end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Introducimos ahora la nueva variable

$$\gamma = \frac{F'_a}{b \,.\, h} \,.\, 100 \qquad (8)$$

Y, teniendo en cuenta que de la ecuación (5) se obtiene

$$\frac{\sigma'_a}{n \,.\, \sigma_H} = \frac{2x+c-2a}{2x+c} \qquad (9)$$

si llamamos

$$K = \frac{\sigma'_a}{n \,.\, \sigma_H}, \qquad (10)$$

queda:

$$x = \frac{2a - c(1-k)}{2(1-k)}. \qquad (11)$$

Entrando con (8) y (11) en el sistema (7) se obtiene:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{N}{\sigma_H} &= \frac{c \,.\, b}{2}\left[1 + \frac{a - c(1-K)}{a}\right] + \gamma \frac{b \,.\, h}{100} \,.\, K \,.\, n + \gamma \frac{b \,.\, h}{100} \,.\, \alpha \,.\, \frac{a - h(1-K)}{a} \,.\, n \\
\frac{M}{\sigma_H} &= \frac{c^3 \,.\, b \,.\, (1-K)}{12 \,.\, a} + \gamma \frac{b \;.\; h}{100} \,.\, K \,.\, n\left[\frac{c}{2} - a\right] - \gamma \frac{b \,.\, h}{100} \,.\, \alpha \frac{a - h(1-K)}{a} \,.\, n\left[h - \frac{c}{2}\right]
\end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Dividiendo por $b \cdot h$ y llamando

$$N_s = \frac{N}{b \,.\, h} \qquad (13)$$

$$M_s = \frac{M}{b \,.\, h} \qquad (14)$$

tenemos:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{N_s}{\sigma_H} &= \frac{2a - (a+h)(1-K)}{a} \,.\, \frac{h+a}{2h} + \frac{\gamma \,.\, n}{100}\left[K + \alpha \frac{a - h(1-K)}{a}\right] \\
\frac{M_s}{\sigma_H} &= \frac{a}{h} \,.\, \frac{a}{12}\left[1 + \frac{h}{a}\right]^3 (1-K) + \frac{\gamma \,.\, n}{100}\left[K\left(\frac{c}{2} - a\right) - \alpha \frac{a - h(1-K)}{a}\left(h - \frac{c}{2}\right)\right]
\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

que puede ser puesto de la siguiente forma, teniendo en cuenta que $c = a + h$:

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \frac{\dfrac{N_s}{\sigma_H} - \dfrac{1+\dfrac{a}{h}}{2}\left[2-\left(1+\dfrac{h}{a}\right)(1-K)\right]}{n\left[K+\alpha\left[1-\dfrac{h}{a}(1-K)\right]\right]} \times 100 \\ \frac{M_s}{h} &= \sigma_H \cdot \frac{a^2}{12 \cdot h^2}\left[1+\frac{h}{a}\right]^3 (1-K) + \frac{\gamma \cdot n \cdot \sigma_H}{100} \cdot \frac{1-\dfrac{a}{h}}{2}\left[K-\alpha\left(1-\frac{1-K}{\dfrac{a}{h}}\right)\right] \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

Se consideran como constantes $n = 15$ y $\sigma_H = 60$ Kg./cm.², con lo que $K = \sigma'_a/900$ y entonces (16) son ecuaciones del tipo:

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \Phi_1\left[\sigma'_a, N_s, \alpha, \frac{a}{h}\right] \\ \frac{M_s}{h} &= \Phi_2\left[\sigma'_a, \alpha, \frac{a}{h}, \gamma\right] = \Phi_3\left[\sigma'_a, N_s, \alpha, \frac{a}{h}\right] \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

y, al fijar los valores de los parámetros $\delta = \dfrac{a}{h}$ y α, quedarán ambas expresiones de la forma:

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \varphi_1(\sigma'_a, N_s) \\ \frac{M_s}{h} &= \varphi_2(\sigma'_a, N_s) \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

Ambas expresiones, φ_1 y φ_2, son dos haces de rectas cuyo parámetro es σ'_a.

Los ábacos se construyen para valores de $\delta = \dfrac{a}{h} = 0{,}08,\ 0{,}10,\ 0{,}12$ y $0{,}14$, y por cada uno de estos valores se hace $\alpha = 0{,}50,\ 0{,}75$ y $1{,}00$.

En cada uno de los ábacos se marca con una línea de trazos un valor crítico para σ'_a. Este valor crítico es aquél por debajo del cual la sección ya no se encuentra sometida a compresión compuesta, sino a flexión compuesta. En efecto, este supuesto se da cuando la tensión σ_{H2} (ver fig. 1) es mayor que 0,00, entonces tenemos:

Introduciendo el valor (11) en la ecuación (3) queda:

$$\sigma_{H2} = \frac{a - c(1-K)}{a} \cdot \sigma_H \quad (19)$$

$$\sigma_{H2} \leq 0 \Rightarrow a - c(1-K) \leq 0 \;\text{»}\; \frac{a}{c} \leq 1 - K$$

y como $K = \sigma'_a / n \cdot \sigma_H$ queda:

$$\frac{\sigma'_a}{n \cdot \sigma_H} \leq 1 - \frac{a}{c} = \frac{h}{a+h} \quad (20)$$

Teniendo en cuenta que $n = 15$, $\sigma_H = 60$ Kg./cm.² y $\dfrac{a}{h} = \delta$, la desigualdad la podemos poner de la forma:

$$\boxed{\sigma'_a \leq \frac{900}{1+\delta}\ \text{kg./cm.}^2} \quad (21)$$

D) USO DE LOS ABACOS:

Caso 1.º — *Datos*: M, N, b, h, α y $\frac{a}{h} = \delta$; $\sigma_H = 60$ Kg./cm.².

Incógnitas: F'_a y σ'_a.

Operaciones preliminares:

$$\left.\begin{array}{l} N_s = \dfrac{N}{b\,.\,h} \\ M_s = \dfrac{M}{b\,.\,h} \end{array}\right\} \text{ siendo } [b] = [h] = \text{cm.} \;\; ; \;\; [N] = \text{kg.} \;\; y \;\; [M] = \text{cm.} \times \text{kg.} \; :$$

se obtiene el valor de $\frac{M_s}{h}$, cuyas dimensiones son Kg./cm.².

Abaco:

Se define el punto de abscisa $\frac{M_s}{h}$ y de ordenada N_s, que nos da, sobre la recta del haz φ_2 que pasa por él, el valor de σ'_a medido en Kg./cm.².

1.º Si este valor de σ'_a es inferior al crítico (se encuentra por debajo de la línea de trazos), se pueden hacer dos cosas: modificar los valores de α y de δ hasta encontrar unos — si es que existen — que nos den un valor de σ'_a superior al crítico, o bien abandonar estos ábacos y trabajar con los de la flexión compuesta.

2.º Si este valor de σ'_a es superior al crítico (se encuentra por encima de la línea de trazos) continuamos de la siguiente forma:

La intersección de la ordenada N_s con la recta del haz φ_1 de valor σ'_a igual al obtenido anteriormente nos define en abscisas el valor de γ.

Tenemos así:

$$F'_a = \gamma \,.\, \frac{b\,.\,h}{100} \text{ cm.}^2 \quad . \quad \text{siendo } [b] = [h] = \text{cm.}$$

y

$$F_a = \alpha \quad . \quad F'_a \text{ cm.}^2$$

Ejemplo:

Datos:

$M = 3750$ m. kg. $= 375\,000$ cm. kg.

$N = 86\,200$ kg.

$b = 30$ cm.

$h = 50$ cm.

$\alpha = 0{,}50$

$a = 5$ cm. $\Longrightarrow$ $\delta = \frac{a}{h} = 0{,}10$

$\sigma_H = 60$ kg./cm.

$c = h + a = 55$ cm.

Operaciones preliminares:

$$N_s = \frac{86\,200}{30 \times 50} = 57{,}5 \quad ; \quad M_s \frac{375\,000}{30 \times 50} = 250 \quad ; \quad \frac{M_s}{h} = \frac{250}{50} = 5{,}0$$

Abaco: En el ábaco $\delta = 0{,}10$ y $\alpha = 0{,}50$ para $N_s = 57{,}5$ y $\dfrac{M_s}{h} =$ $= 5{,}0$ encontramos en el haz φ_2 el valor de $\sigma'_a = 860$ Kg./cm.^{2}, superior al crítico ($\sigma'_a = 818$). En el haz φ_1 la abscisa del punto de ordenada $N_s = 57{,}5$ sobre la recta $\sigma'_a = 860$ Kg./cm.^{2} vale $\gamma =$ $= 0{,}73$.

Tenemos:

$$F'_a = 0{,}73 \;.\; \frac{30 \times 50}{100} = 10{,}95 \text{ cm.}^2$$

$$F_a = \alpha \;.\; F'_a = 0{,}50 \times 10{,}95 = 5{,}475 \text{ cm.}^2$$

$$K = \frac{\sigma_a}{h \,.\, \sigma_H} = \frac{860}{15 \times 60} = 0{,}945 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{2 \times a - c\,(1-K)}{2\,(1-K)} =$$

$$= \frac{2 \,.\, 5 - 55 \,.\, (1 - 0{,}945)}{2\,(1 - 0{,}945)} = 63{,}6 \text{ cm.}$$

Caso 2.º — *Datos:* M, N, b, h, α y δ, con $\sigma_H \neq 60$ Kg./cm.^{2}.

Incógnitas: F'_a y σ'_a.

Cálculo: Las ecuaciones (16) se pueden escribir (una vez fijos α y δ)

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \frac{\dfrac{N_s}{\sigma_H} - f_1(K)}{f_2(K)} \\ \frac{M_s}{h} &= \sigma_H \;.\; f_3(K, \gamma) \end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

para las cuales están preparados los ábacos siempre que $\sigma_H =$ $= 60$ Kg./cm.^{2} y, por tanto, $K = \dfrac{\sigma'_a}{n \,.\, \sigma_H} = \dfrac{\sigma'_a}{900}$.

Sea ahora $\sigma_H \neq 60$ Kg./cm.^{2} y llamemos $r = \dfrac{\sigma_H}{60}$. Entonces (22) lo podemos escribir de la siguiente forma:

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \frac{\dfrac{N_s}{r} \,.\, \dfrac{1}{\sigma_H / r} - f_1(K)}{f_2(K)} \\ \frac{M_s}{h} \,.\, \frac{1}{r} &= \frac{\sigma_H}{r} \;.\; f_3(K, \gamma) \end{aligned}\right\} \qquad (23)$$

Y si ahora llamamos:

$$(\sigma'_a)_1 = \frac{\sigma'_a}{r}\,; \qquad (M_s)_1 = \frac{M_s}{r} \qquad \text{y} \qquad (N_s)_1 = \frac{N_s}{r}$$

(23) lo podemos escribir:

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \frac{\dfrac{(N_s)_1}{60} - f_1(K)}{f_2(K)} \\ \frac{(M_s)_1}{h} &= 60 \,.\, f_3(K, \gamma) \end{aligned}\right\} \qquad (24)$$

donde K puede ser puesto de la siguiente forma:

$$K = \frac{\sigma'_a / r}{n \cdot \sigma_H / r} = \frac{\sigma'_a / r}{n \cdot 60} = \frac{(\sigma'_a)_1}{900}$$

De forma que el sistema (24) es exactamente igual a (22) y son válidos los ábacos existentes sin más que en vez de los valores σ'_a, M_s y N_s, usemos los que hemos llamado $(\sigma'_a)_1$, $(M_s)_1$ y $(N_s)_1$.
En lo que se refiere al valor crítico de σ'_a, la ecuación (20) puede ser puesta de la forma:

$$\frac{\sigma'_a}{r} \leq n \cdot \frac{\sigma_H}{r} \cdot \frac{1}{1+\delta} \quad \text{»} \quad (\sigma'_a)_1 \leq \frac{900}{1+\delta} \tag{25}$$

que es igual que (21), sólo que tomando $(\sigma'_a)_s$ en vez de σ'_a.

Operaciones preliminares:

$$r = \frac{\sigma_H}{60}$$

$$N_s = N/b \times h \quad \Rightarrow \quad (N_s)_1 = N_s / r$$

$$M_s = M/b \times h \quad \Rightarrow \quad (M_s)_1 = M_s / r \quad \Rightarrow \quad \frac{(M_s)_1}{h}$$

Abaco: Igual que en el caso 1.º, entramos en el ábaco con los valores $(N_s)_1$ y $(M_s)_1/h$ que da el valor de $(\sigma'_a)_1$.
Si $(\sigma'_a)_1$ está por debajo de la línea de trazos, lo que ocurre en realidad es que el verdadero valor $\sigma'_a = (\sigma'_a)_1 \times r$ es inferior al crítico, que vale $n \cdot \sigma_H/(1 + \delta)$, aunque no sea necesario conocerlo, pues ya hemos visto que (25) da una relación inmediata entre el valor crítico real y el ficticio.
De igual forma que lo expuesto en el primer caso, obtenemos el valor de γ. De forma que tenemos al final:

$$\sigma'_a = (\sigma'_a)_1 \times r$$

$$F'_a = \gamma \cdot \frac{b \cdot h}{100} \text{ cm.}^2 \qquad \text{y} \qquad F_a = \alpha \cdot F'_a \text{ cm.}^2$$

En este caso el límite superior de σ'_a no es 900 Kg./cm.², sino $15 \cdot \sigma_H$. Naturalmente, $15 \cdot \sigma_H = 15 \cdot r \cdot 60 = 900 \times r$. O, lo que es lo mismo, ha de ser $(\sigma'_a)_1 < 900$ Kg./cm.².

Ejemplo:

Igual que antes, con $\sigma_H = 70$ Kg./cm.².

Operaciones preliminares:

$$r = \frac{70}{60} = 1{,}165$$

$$N_s = 57{,}5 \quad \Rightarrow \quad (N_s)_1 = \frac{57{,}5}{1{,}165} = 49{,}4$$

$$M_s = 250 \quad \Rightarrow \quad (M_s)_1 = \frac{250}{1{,}165} = 214{,}5 \quad \Rightarrow \quad \frac{(M_s)_1}{h} = \frac{214{,}5}{50} = 4{,}29$$

Abaco: Con $(N_s)_1 = 49{,}4$ y $(M_s)_1/h = 4{,}29$, encontramos en el haz φ_2 el valor de $(\sigma'_a)_1 = 852$ Kg./cm.², superior al crítico ($\sigma'_a = 818$).
En el haz φ_1 obtenemos $\gamma = 0{,}32$.
Por tanto:

$$\sigma'_a = 852 \times 1{,}165 = 992 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$F'_a = 0{,}32 \cdot \frac{30 \times 50}{100} = 4{,}80 \text{ cm.}^2 \quad \Rightarrow \quad F_a = 0{,}50 \times 4{,}80 = 2{,}40 \text{ cm.}^2$$

$$K = \frac{(\sigma'_a)_1}{900} = \frac{852}{900} = 0{,}946$$

Luego:

$$x = \frac{2 \cdot a - c(1 - K)}{2(1 - K)} = \frac{2 \cdot 5 - 55 \cdot (1 - 0{,}946)}{2(1 - 0{,}946)} = 62{,}8 \text{ cm.}$$

Caso 3.º — *Datos:* M, N, b, h, α, δ y F'_a.

Incógnitas: σ_H y σ'_a.

Cálculo: Como $\dfrac{N_s}{\frac{M_s}{h}} = \dfrac{(N_s)_1}{\frac{(M_s)_1}{h}} = \lambda \equiv$ constante, la ecuación $N_s = \lambda \cdot M_s/h$ es una recta que pasa por el origen. Por otra parte, el valor de $\gamma = \dfrac{F'_a}{b \cdot h} \cdot 100$ define una recta vertical.

Abaco: Es necesario proceder por tanteos. Hay que encontrar un valor de $(N_s)_1$ — ordenada — que corte a la recta γ en un punto del haz φ_1 cuyo valor de σ'_a sea el mismo que el correspondiente al punto del haz φ_2 en que esa misma ordenada tanteada corta a la recta $N_s = \lambda \cdot M_s/h$.

Encontrado ya ese $(N_s)_1$, como conocemos el verdadero valor de N_s tenemos: $\dfrac{(N_s)_1}{N_s} = \dfrac{1}{r}$, y entonces: $\sigma'_a = r \cdot (\sigma'_a)_1$ y $\sigma_H = r \cdot 60$ kilogramos/cm.², donde $(\sigma'_a)_1$ es el valor auxiliar que ha sido usado en el ábaco. Igual que en el segundo caso, si $(\sigma'_a)_1$ es inferior al valor crítico, hay que pasar a la flexión compuesta.

Ejemplo:

Datos:

$M = 3\,750 \text{ m.} \times \text{Kg.} = 375\,000 \text{ cm. Kg.}$

$N = 86\,200 \text{ Kg.}$

$b = 30 \text{ cm.};\ h = 50 \text{ cm.};\ a = 5 \text{ cm.};\ \Rightarrow \delta = \dfrac{a}{h} = 0{,}10$

$c = a + h = 55 \text{ cm.}$

$\alpha = 0{,}50$

$F'_a = 15{,}0 \text{ cm.}^2$

Operaciones preliminares:

$$N_s = \frac{86\,200}{30 \times 50} = 57{,}5 \quad ; \quad M_s = \frac{375\,000}{30 \times 50} = 250$$

$$\frac{M_s}{h} = \frac{250}{50} = 5{,}0 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{N_s}{M_s/h} = \frac{57{,}5}{5{,}0} = 11{,}5 \quad \gamma = F'_a \cdot \frac{100}{30 \times 50} = 1{,}00$$

Abaco:

Se ha encontrado un valor de $(N_s)_1 = 55{,}0$ Kg./cm.² para el cual su intersección con $\gamma = 1{,}00$ sobre el haz φ_1 da un valor de $(\sigma'_a)_1$ — 848 Kg./cm.² — que es el mismo que el que corresponde a su intersección con la recta $N_s = 11{,}5 \times M_s/h$ sobre el haz $\varphi_2 \cdot$ $\cdot\ [(M_s)_1/h = 4{,}78]$.

Así, pues:

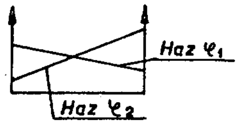
$$1/r = \frac{55{,}0}{57{,}5} = \frac{4{,}78}{5{,}00} = 0{,}956 \quad ; \quad r = 1{,}045$$

Luego:

$$\sigma'_a = 1{,}045 \times 848 = 886 \quad \text{Kg./cm.}^2$$

$$\sigma_H = 1{,}045 \times 60 = 62{,}6 \quad \text{Kg./cm.}^2$$

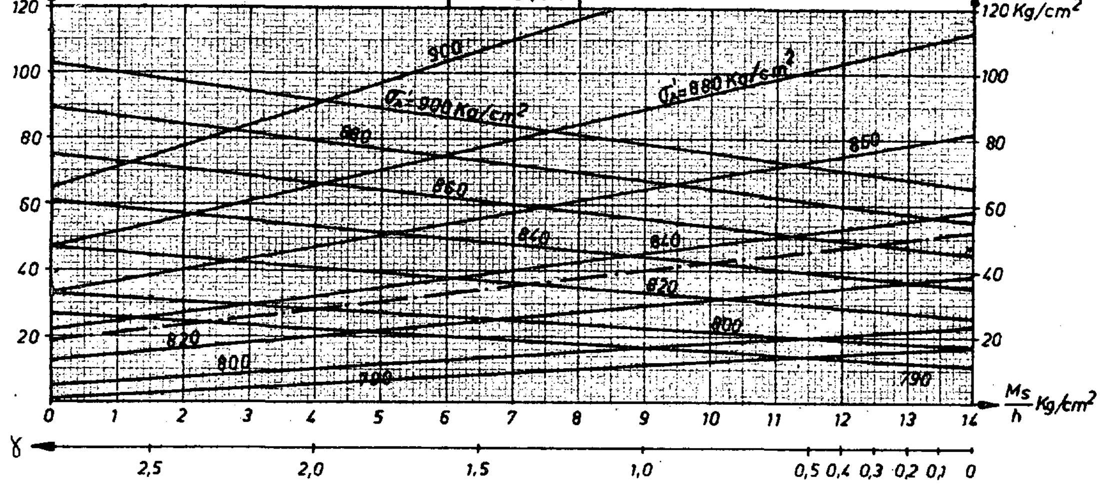
(El valor de $(\sigma'_a)_1$ es superior al crítico — 818,0 —, luego el uso del ábaco de compresión compuesta ha sido correcto.)



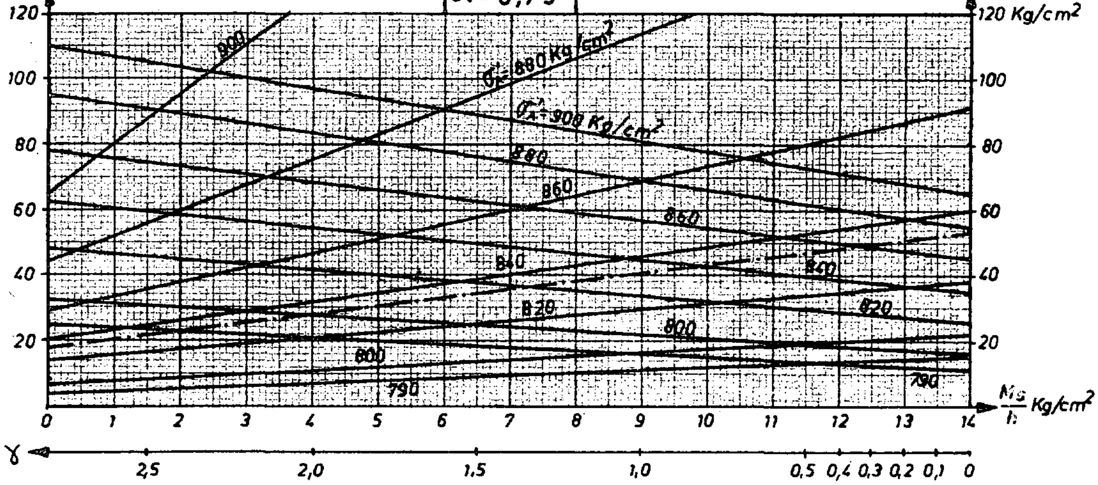
$\boxed{\delta = 0{,}08}$

$\boxed{(\sigma'_A)_{critico} = \text{-·-·-} = 834\ Kg/cm^2}$

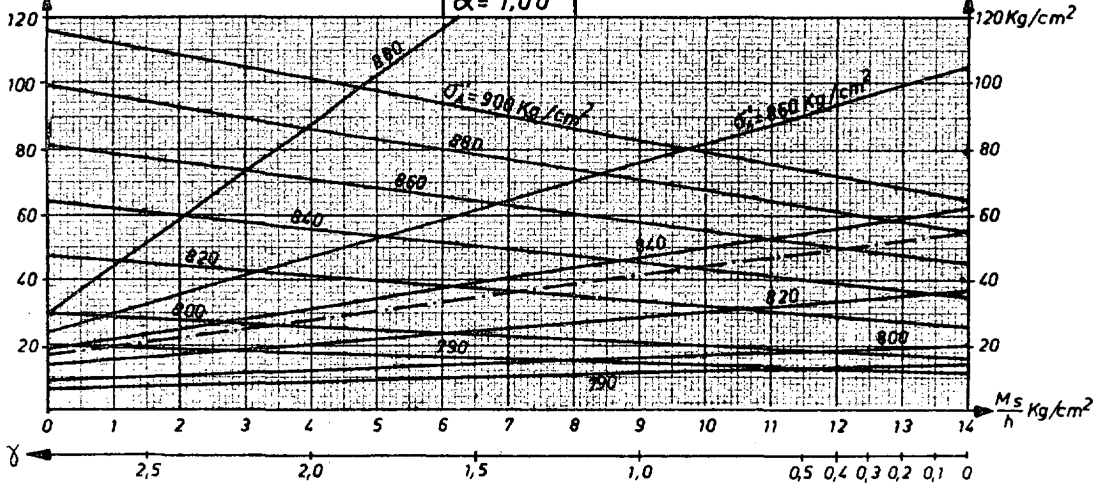
$\alpha = 0{,}50$

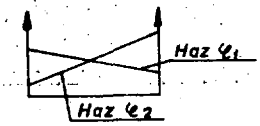


$\alpha = 0{,}75$



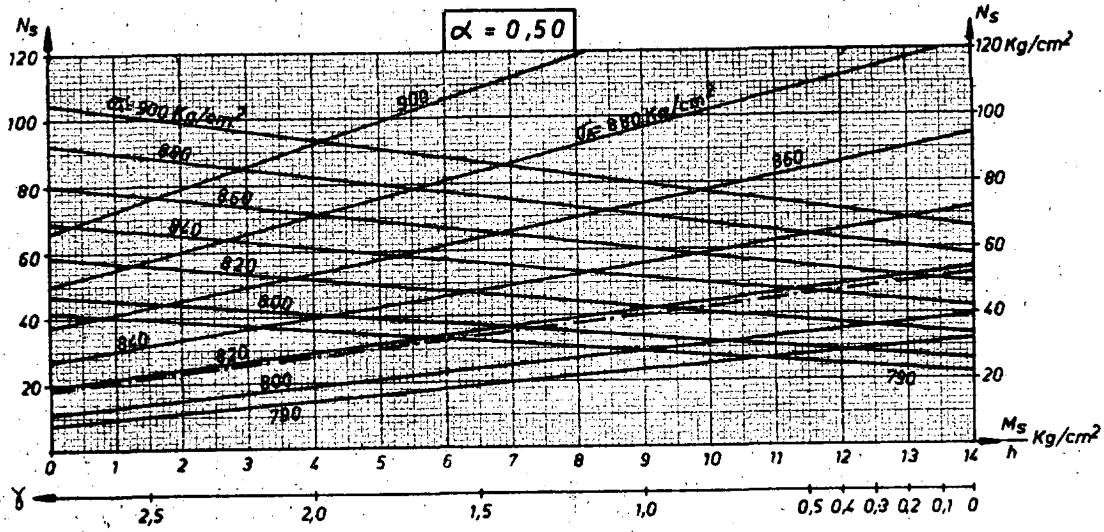
$\alpha = 1{,}00$

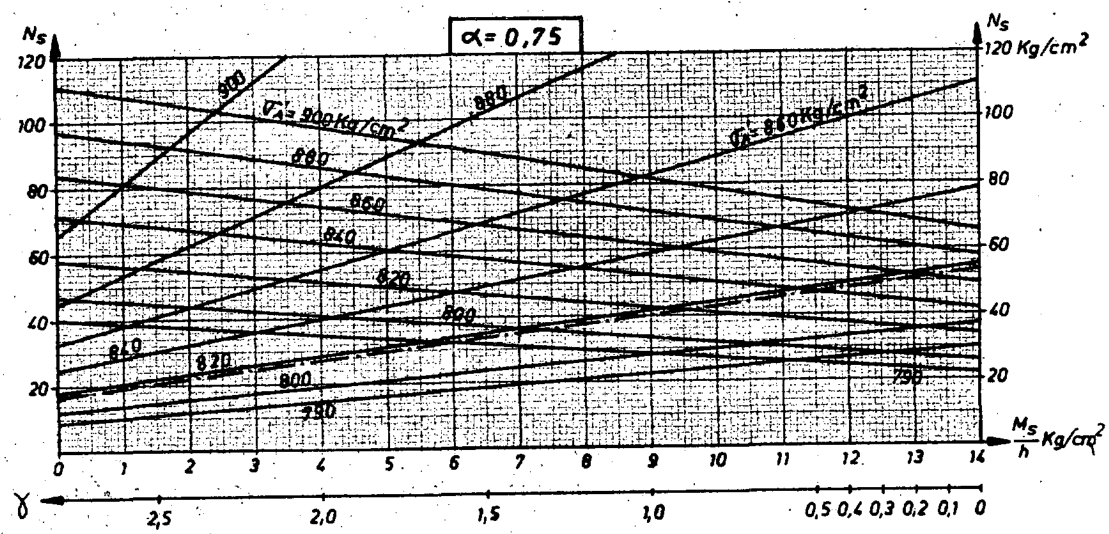


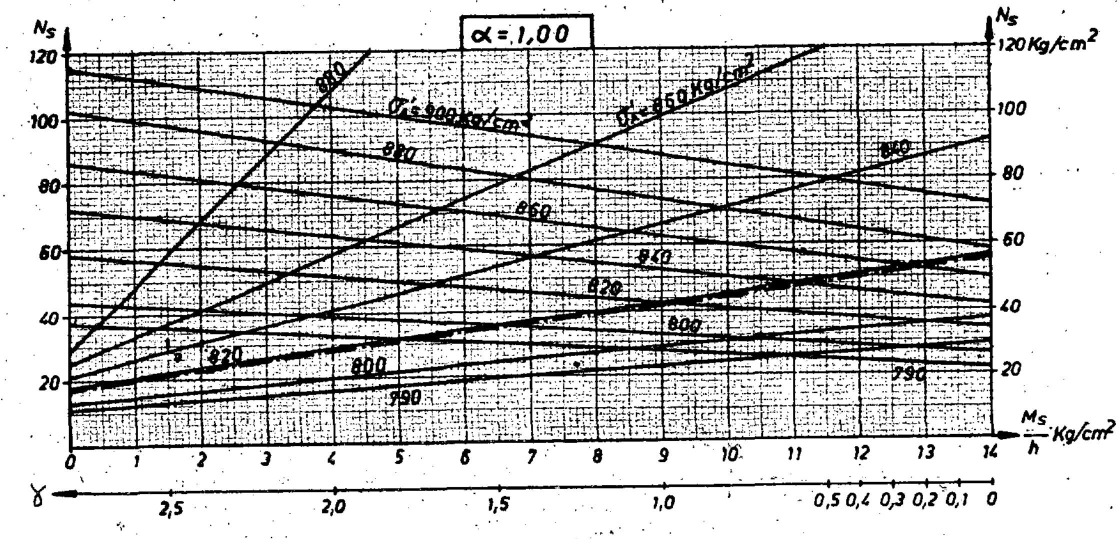


$\boxed{\delta = 0,10}$

$(\sigma'_A)_{critico}$ = —·—·— = 819 Kg/cm²

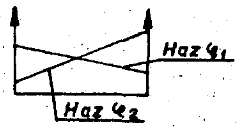


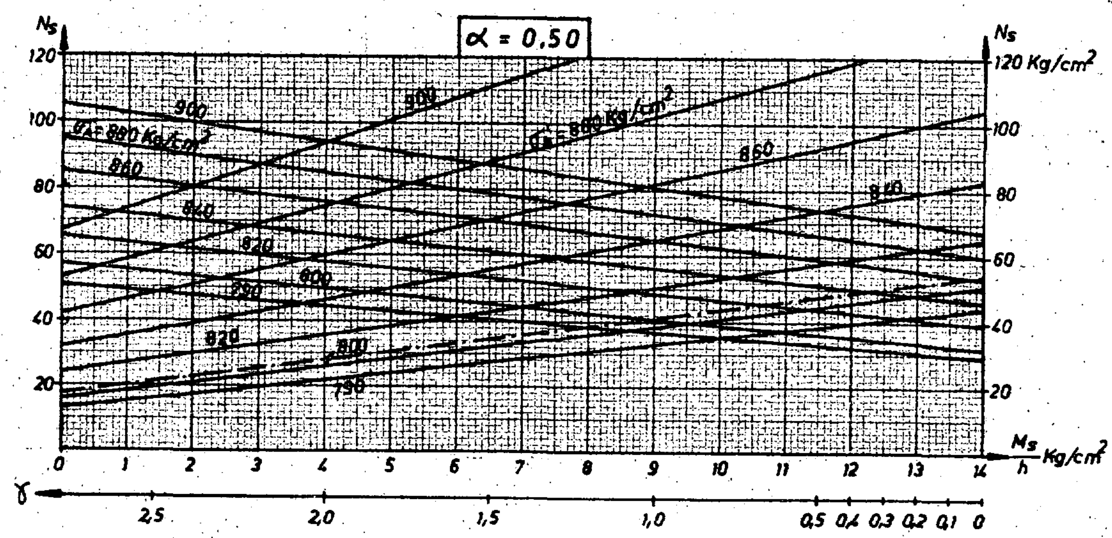


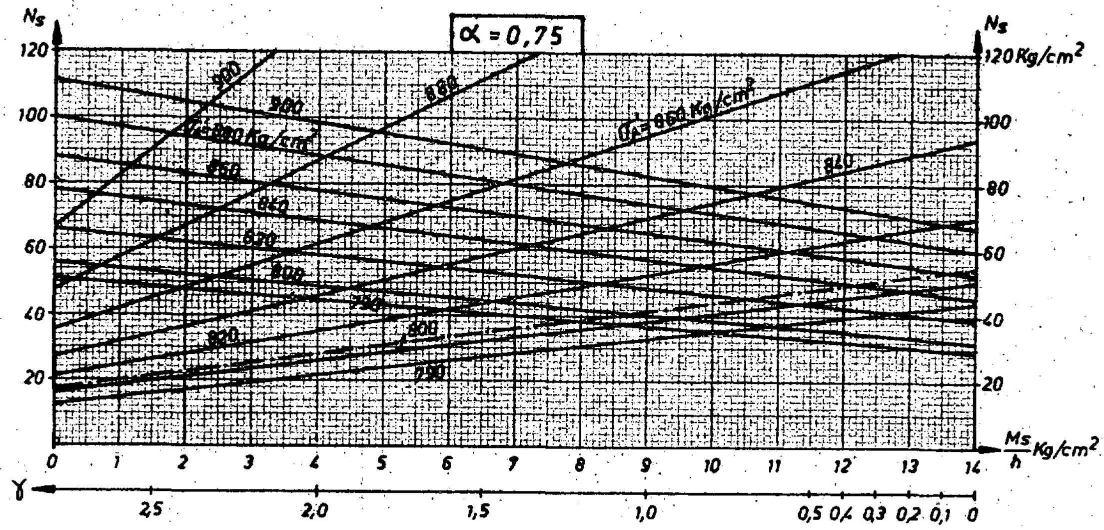


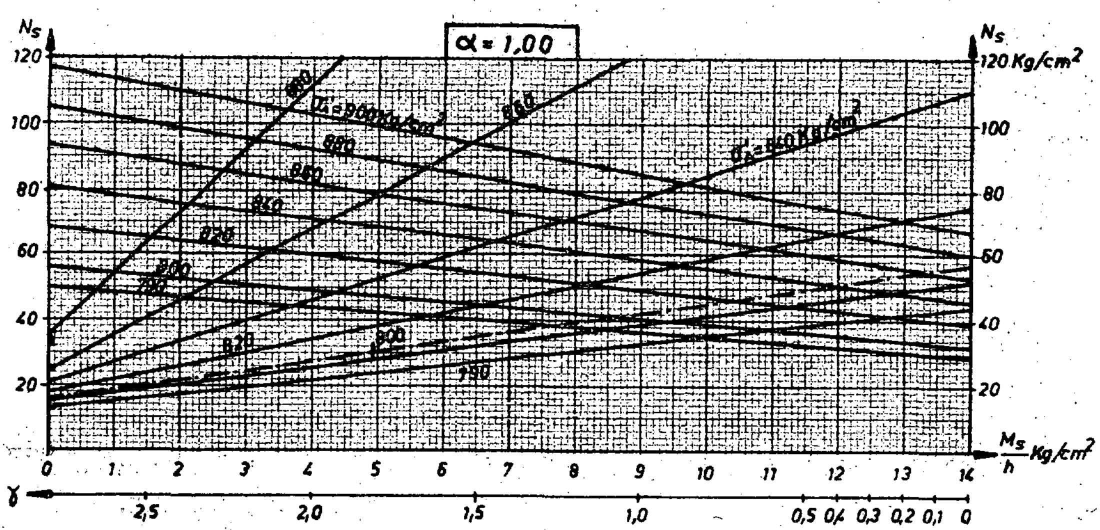
$\boxed{\delta = 0,12}$

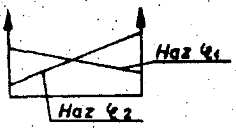
$\boxed{(\sigma'_A)_{critico} = \text{— · — · —} = 804\ Kg/cm^2}$





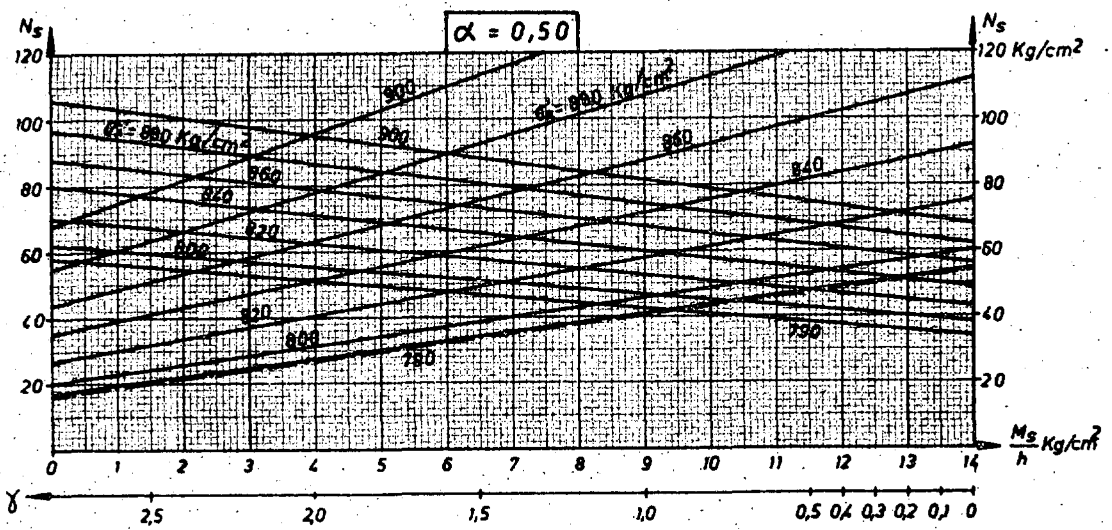


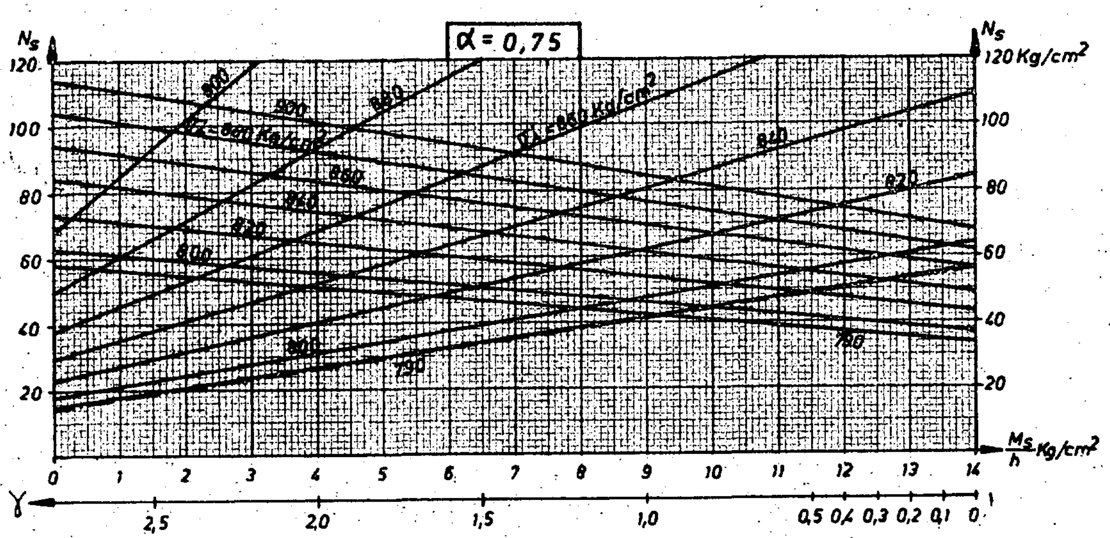


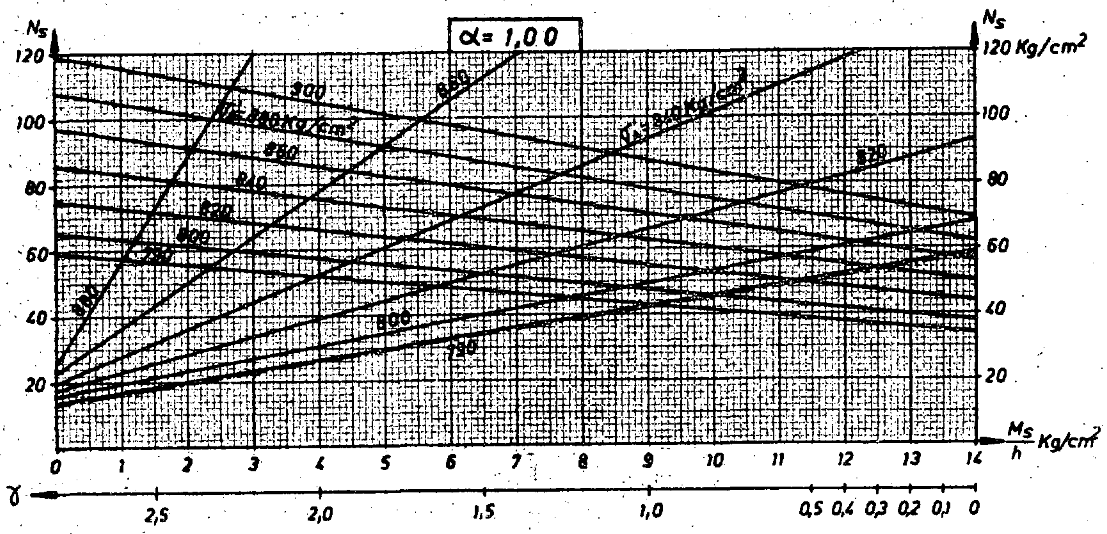


$\boxed{\delta = 0,14}$

$(\sigma'_A)_{\text{critico}} = \text{-·-·-} = 789\ Kg/cm^2$







(Continuará.)