

ARMADO EXACTO DE UNA VIGA

NOTA: El objeto de este ejercicio es describir paso a paso el proceso de dimensionamiento de una viga, y todas las verificaciones necesarias a realizar cuando se decide el armado de la misma.

PRIMER PASO: el primer paso consistirá en el predimensionamiento de los elementos, el análisis de cargas y la determinación de los diagramas de solicitaciones últimas (M_u y V_u), puntos que han sido tratados con anterioridad.

Geometría:

$h = 60\text{cm}$
 $h_f = 11\text{cm}$
 $b_w = 20\text{cm}$
 $b_e = 90\text{cm}$
 $L = 12\text{m}$ (2 tramos de 6m c/u)
 $r = 2\text{cm}$

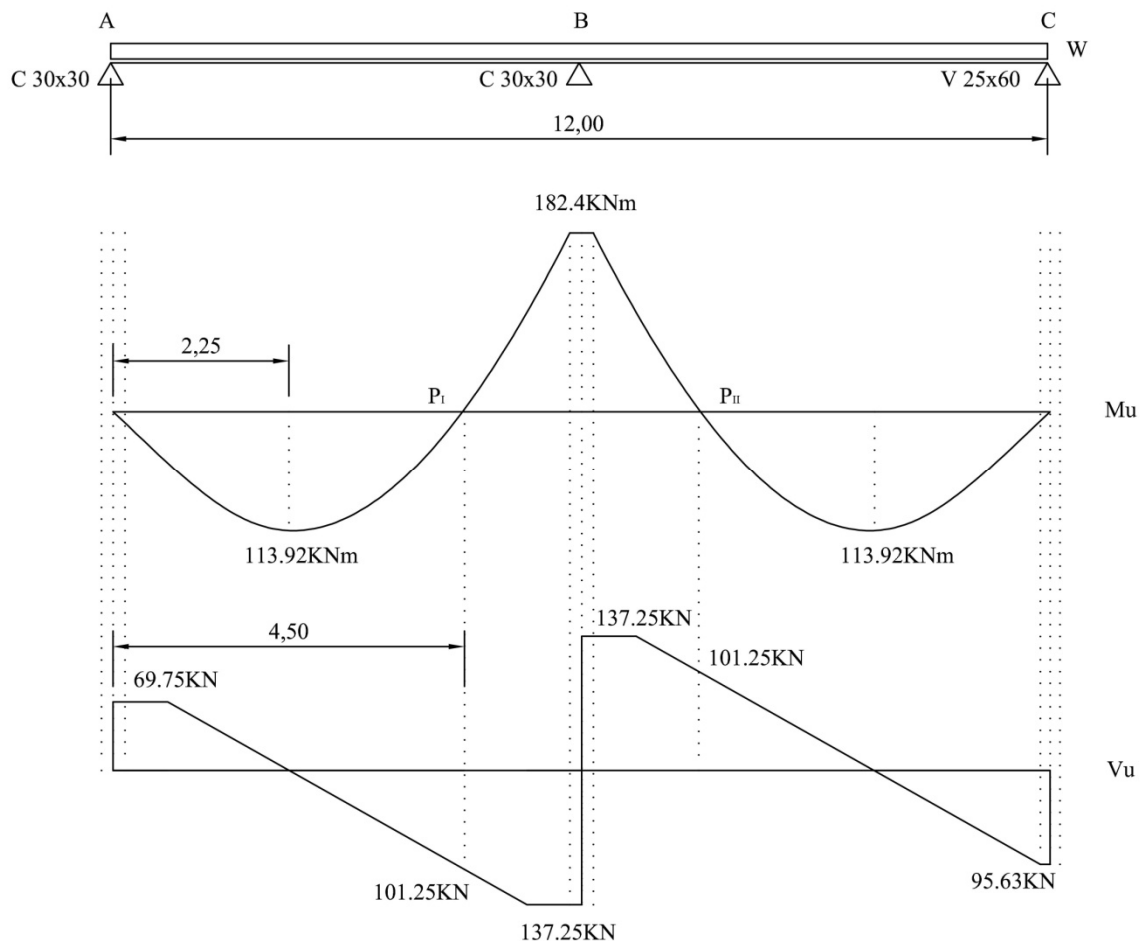
Materiales:

Hormigón H30
 Acero ADN420

Cargas:

$w_u = 45\text{kN/m}$

Diagramas de Momento y Corte últimos



SEGUNDO PASO: A partir del diagrama de solicitaciones, con las reducciones reglamentarias permitidas ya incorporadas, se dimensiona la armadura a flexión y corte para cada tramo.

Por ser una viga simétrica, tenemos que: Tramo I = Tramo II, entonces:

$$\begin{aligned} M_u &= 113.92 \text{ kNm} \\ h &= 60 \text{ cm} \Rightarrow d \approx 55 \text{ cm} \\ H30: 3 \text{ kN/cm}^2 &\Rightarrow \alpha_1=0.85, \beta_1=0.85, \alpha_2=0.5, \varepsilon_c=3\% \end{aligned}$$

$$\text{Hipotesis 1: FCT} \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_t \geq 5\% \\ f_s = f_y = 42 \text{ kN/cm}^2 \\ \phi = 0.90 \end{cases}$$

$$\text{Hipotesis 2: } a = 11 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$j_d = d - \alpha_2 a = 55 \text{ cm} - 0.5 \times 11 \text{ cm} = 49.5 \text{ cm}$$

Fuerza de compresión

$$C_c = \frac{M_{us}}{\phi j_d} = \frac{11392 \text{ kNcm}}{0.90 \times 49.5 \text{ cm}} = 255.7 \text{ kN}$$

Altura de la zona comprimida

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_e} = \frac{255.7 \text{ kN}}{0.85 \times 3 \text{ kN/cm}^2 \times 0.85 \times 90 \text{ cm}} = 1.31 \text{ cm} \rightarrow a = 1.11 \text{ cm} \text{ Cumple hipótesis 2}$$

$$\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} = \frac{\varepsilon_c}{c} \Rightarrow \frac{3\% + \varepsilon_s}{55 \text{ cm}} = \frac{3\%}{1.31 \text{ cm}} \Rightarrow \varepsilon_s = \varepsilon_t = 122.95\% > 5\% \checkmark$$

Recalculo el brazo elástico

$$j_d = d - \alpha_2 a = 55 \text{ cm} - 0.50 \times 1.11 \text{ cm} = 54.45 \text{ cm}$$

Recalculo la fuerza de compresión

$$C_c = \frac{M_{us}}{\phi j_d} = \frac{11392 \text{ kNcm}}{0.90 \times 54.45 \text{ cm}} = 232.47 \text{ kN}$$

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_e} = \frac{232.47 \text{ kN}}{0.85 \times 3 \text{ kN/cm}^2 \times 0.85 \times 90 \text{ cm}} = 1.19 \text{ cm}$$

$$j_d = d - \alpha_2 \beta_1 \times c = 55 \text{ cm} - 0.50 \times 0.85 \times 1.19 \text{ cm} = 54.49 \text{ cm}$$

Fuerza de tracción

$$T = C_c = 232.34 \text{ kN}$$

$$A_s^{nec} = \frac{T}{f_y} = \frac{232.34 \text{ kN}}{42 \text{ kN/cm}^2} = 5.53 \text{ cm}^2$$

Armadura adoptada $A_s^{adop} = 3\phi 16 = 6.03 \text{ cm}^2$ en una capa.

Verificación de la sección: adopto $d_e = 0.6$ (diámetro del estribo)

Entran en una sola capa?

$$s = \frac{b_w - 2d_e - 3d_b - 2r}{(n-1)} = \frac{20\text{cm} - 2 \times 0.6\text{cm} - 3 \times 1.6\text{cm} - 2 \times 2\text{cm}}{(3-1)} = 5\text{cm} > 2.5\text{cm} \quad \checkmark$$

Reajuste de la altura útil

$$d = h - r - d_e - \frac{d_b}{2} = 60\text{cm} - 2\text{cm} - 0.6\text{cm} - \frac{1.6\text{cm}}{2} = 56.60\text{cm}$$

$$T = A_s f_y = 6.03\text{cm}^2 \times 42\text{kN/cm}^2 = 253.26\text{kN}$$

Altura de la zona comprimida

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_e} = \frac{253.26\text{kN}}{0.85 \times 3\text{kN/cm}^2 \times 0.85 \times 90\text{cm}} = 1.30\text{cm}$$

$$\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} = \frac{\varepsilon_c}{c} \Rightarrow \frac{3\text{‰} + \varepsilon_s}{56.60\text{cm}} = \frac{3\text{‰}}{1.30\text{cm}} \Rightarrow \varepsilon_s = \varepsilon_t = 127.62\text{‰} > 5\text{‰} \quad \checkmark \quad \text{Verifica FCT } \phi = 0.90$$

$$j_d = d - \alpha_2 \beta_1 \times c = 56.60\text{cm} - 0.50 \times 0.85 \times 1.30\text{cm} = 56.05\text{cm}$$

Momento externo reducido a las armaduras

$$M_{ns} = C_c j_d = 253.26\text{kN} \times 0.5605\text{m} = 141.95\text{kNm}$$

$$\phi M_{ns} = 0.9 \times 141.95\text{kNm} = 127.76\text{kNm} > M_{us} = 113.92\text{kNm} \quad \checkmark$$

La armadura adoptada es adecuada.

Para el apoyo intermedio:

$$M_u = 182.40\text{kNm}$$

$$h = 60\text{cm} \Rightarrow d = 55\text{cm}$$

$$b_w = 20\text{cm}$$

$$\text{H30: } 3\text{kN/cm}^2 \Rightarrow \alpha_1=0.85, \beta_1=0.85, \alpha_2=0.5, \varepsilon_c=3\text{‰}$$

$$\text{Hipotesis 1: FCT} \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_t \geq 5\text{‰} \\ f_s = f_y = 42\text{kN/cm}^2 \\ \phi = 0.90 \end{cases}$$

$$\text{Estimo: } j_d = 0.8d = 0.8 \times 55\text{cm} = 44\text{cm}$$

Fuerza de compresión

$$C_c = \frac{M_{us}}{\phi j_d} = \frac{18240\text{kNcm}}{0.90 \times 44\text{cm}} = 460.61\text{kN}$$

Altura de la zona comprimida

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_w} = \frac{460.61\text{kN}}{0.85 \times 3\text{kN/cm}^2 \times 0.85 \times 20\text{cm}} = 10.63\text{cm}$$

$$\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} = \frac{\varepsilon_c}{c} \Rightarrow \frac{3\text{‰} + \varepsilon_s}{55\text{cm}} = \frac{3\text{‰}}{10.63\text{cm}} \Rightarrow \varepsilon_s = 12.52\text{‰} > 5\text{‰} \quad \checkmark$$

Recalculo el brazo elástico

$$j_d = d - \alpha_2 \beta_1 \times c = 55\text{cm} - 0.50 \times 0.85 \times 10.63\text{cm} = 50.48\text{cm}$$

Recalculo la fuerza de compresión

$$C_c = \frac{M_{us}}{\phi j_d} = \frac{18240kNcm}{0.90 \times 50.48cm} = 401.48kN$$

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c' \beta_1 b_w} = \frac{401.48kN}{0.85 \times 3kN/cm^2 \times 0.85 \times 20cm} = 9.26cm$$

$$j_d = d - \alpha_2 \beta_1 \times c = 55cm - 0.50 \times 0.85 \times 9.26cm = 51.06cm$$

Fuerza de tracción

$$T = C_c = 401.48kN$$

$$A_s^{nec} = \frac{T}{f_y} = \frac{401.48kN}{42kN/cm^2} = 9.56cm^2$$

Armadura adoptada $A_s^{adop} = 4\phi 16 + 2\phi 12 = 10.30cm^2 \Rightarrow$ se adoptan en 2 capas.

Verificación de la sección: adopto $d_e = 0.6$ (diámetro del estribo)

Separación de las barras de la primera capa:

$$s = \frac{b_w - 2d_e - 4d_b - 2r}{(n-1)} = \frac{20cm - 2 \times 0.6cm - 4 \times 1.6cm - 2 \times 2cm}{(4-1)} = 2.8cm > 2.5cm$$

Reajuste de la altura útil

$$y_T = \frac{2A_s^{\phi 12} \left(r + d_e + d_b^{\phi 16} + s + \frac{d_b^{\phi 12}}{2} \right) + 4A_s^{\phi 16} \left(r + d_e + \frac{d_b^{\phi 16}}{2} \right)}{(2A_s^{\phi 12} + 4A_s^{\phi 16})} = 4.39cm$$

$$d = h - y_T = 60cm - 4.39cm = 55.61cm$$

$$T = A_s f_y = 10.30cm^2 \times 42kN/cm^2 = 432.6kN$$

Altura de la zona comprimida

$$c = \frac{C_c}{\alpha_1 f_c' \beta_1 b_w} = \frac{432.60kN}{0.85 \times 3kN/cm^2 \times 0.85 \times 20cm} = 9.98cm$$

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_c \left(h - r - d_e - \frac{d_b^{\phi 16}}{2} \right)}{c} - \varepsilon_c = 14.01\% > 5\% \quad \checkmark \quad \text{Verifica FCT } \phi = 0.90$$

$$j_d = d - \alpha_2 \beta_1 \times c = 55.61cm - 0.50 \times 0.85 \times 13.95cm = 49.68cm$$

Momento externo reducido a las armaduras

$$M_{ns} = C_c j_d = 432.60kN \times 0.4968m = 214.92kNm$$

$$\phi M_{ns} = 0.9 \times 214.92kNm = 193.42kNm > M_{us} = 182.4kNm \quad \checkmark$$

La armadura adoptada es adecuada.

Calculamos la armadura de corte necesaria:

Resistencia nominal al corte del Hormigón

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \sqrt{30MPa} \times \frac{200mm \times 556.1mm}{1000} = 101.53kN$$

NOTA: se toma $d = 55.61cm$ correspondiente al apoyo, ya que es el d más desfavorable de las secciones críticas de momento.

Se calculan los estribos para el corte máximo $V_u=137.25kN$, correspondiente al apoyo intermedio.

Coeficiente de minoración de resistencia para corte $\phi=0.75$.

Verifica el Hormigón?

$$V_n = \frac{V_{u,max}}{\phi} = \frac{137.25kN}{0.75} = 183kN$$

$$V_n = 183kN < \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{2}{3} \sqrt{30MPa} \times \frac{200mm \times 556.1mm}{1000} = 406.19kN \quad \checkmark$$

$$V_s = V_n - V_c = 183kN - 101.53kN = 81.47kN$$

Zona?

$$V_s = 81.47 < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{3} \sqrt{30MPa} \times \frac{200mm \times 556.1mm}{1000} = 203.06kN$$

Zona II – Adopto $E\phi6$ c/15cm (n=2)

$$V_s^{adop} = \frac{2A_v f_y}{s} d = \frac{2 \times 0.28cm^2 \times 42kN/cm^2}{15cm} \times 55.61cm = 87.20kN$$

$$V_n^{adop} = V_c + V_s^{adop} = 101.53kN + 87.20kN = 188.73kN$$

$$\phi V_n^{adop} = 0.75 \times 188.73kN = 141.55kN \geq V_{u,max} \quad \checkmark$$

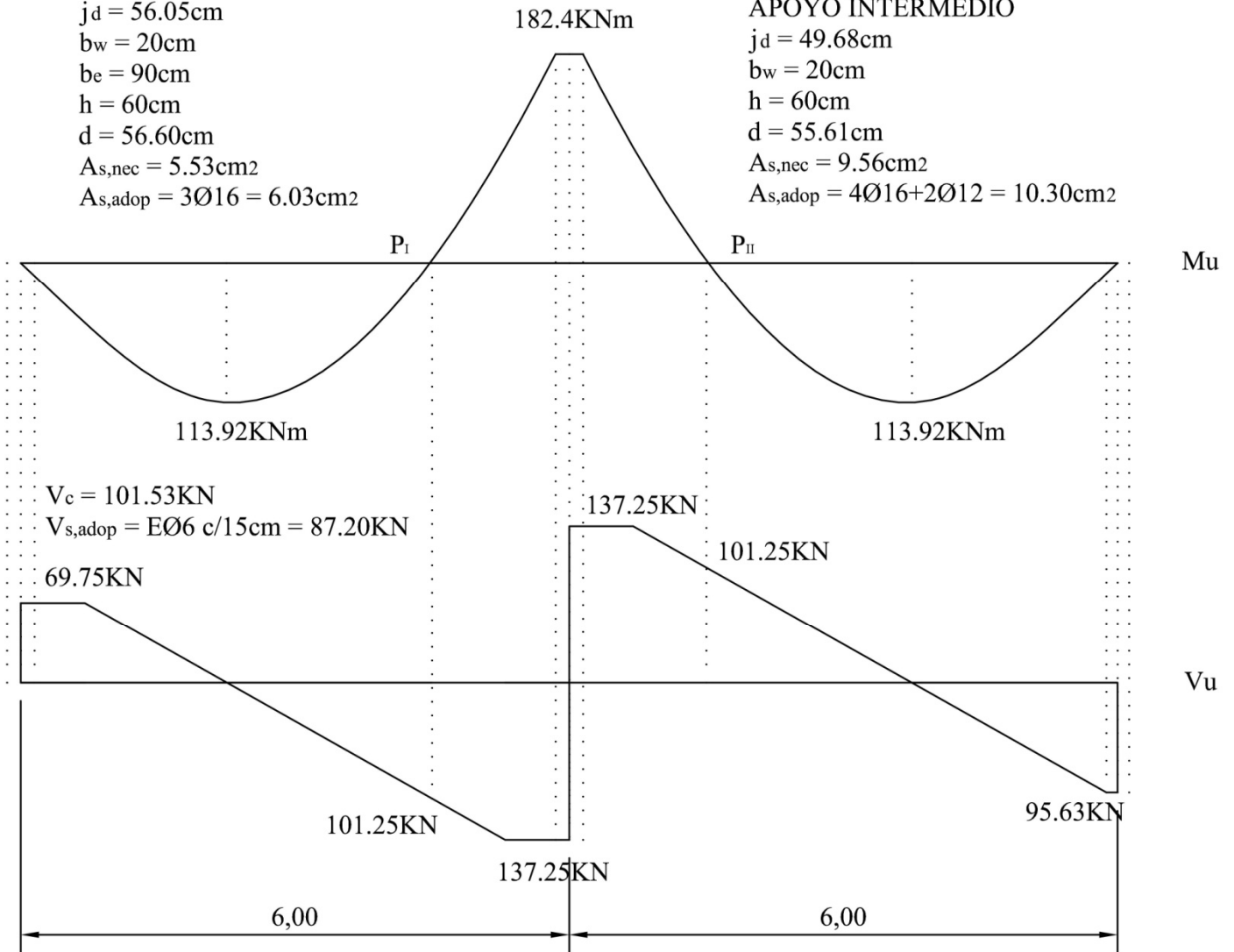
Resumiendo lo anterior:

TRAMOS

$j_d = 56.05\text{cm}$
 $b_w = 20\text{cm}$
 $b_e = 90\text{cm}$
 $h = 60\text{cm}$
 $d = 56.60\text{cm}$
 $A_{s,nec} = 5.53\text{cm}^2$
 $A_{s,adop} = 3\text{Ø}16 = 6.03\text{cm}^2$

APOYO INTERMEDIO

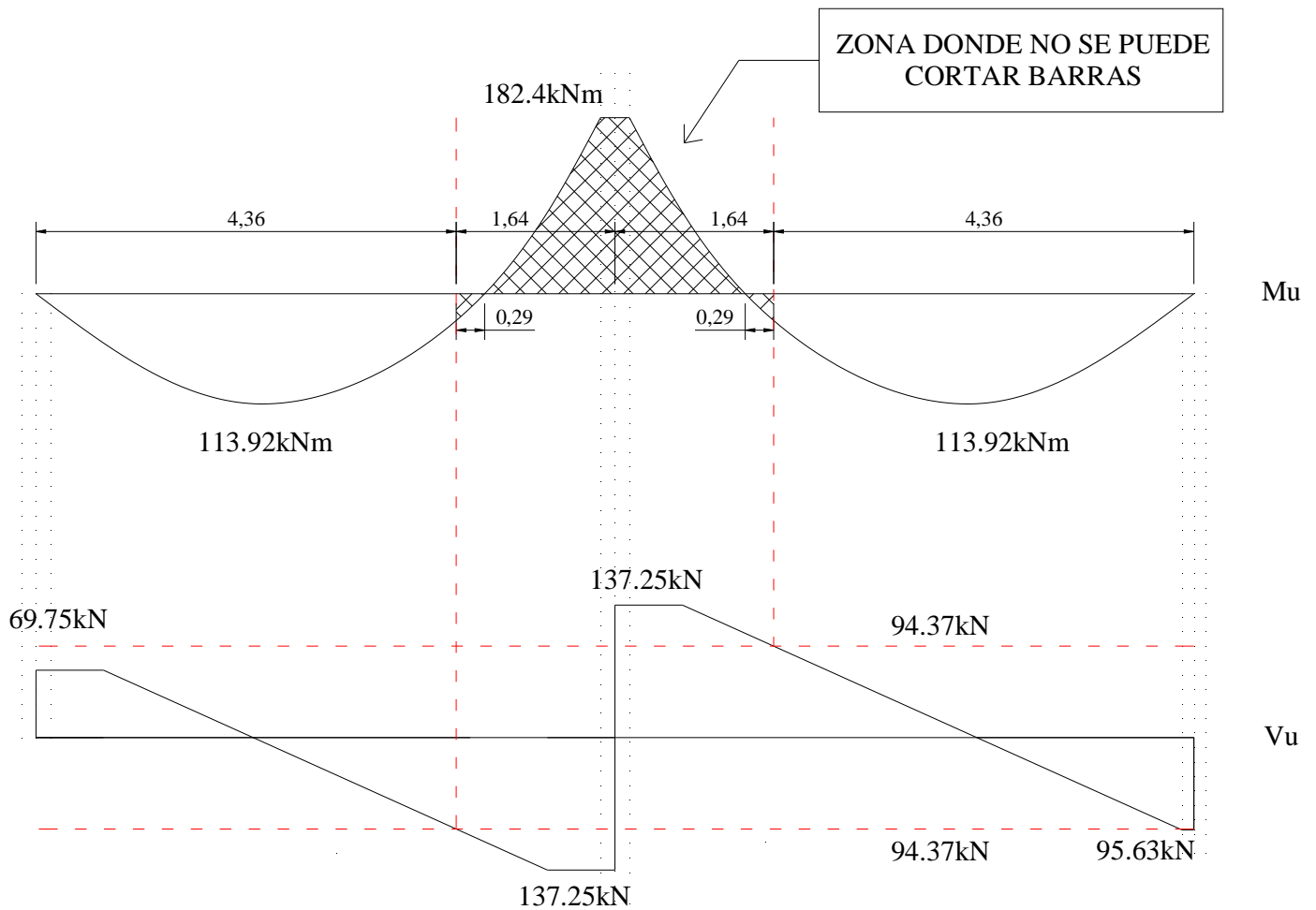
$j_d = 49.68\text{cm}$
 $b_w = 20\text{cm}$
 $h = 60\text{cm}$
 $d = 55.61\text{cm}$
 $A_{s,nec} = 9.56\text{cm}^2$
 $A_{s,adop} = 4\text{Ø}16 + 2\text{Ø}12 = 10.30\text{cm}^2$



TERCER PASO: Una vez elegidas las barras en los puntos críticos, comenzaremos a decidir nuestro armado exacto. El reglamento establece zonas donde no se pueden cortar barras. Adoptando la condición más sencilla del reglamento:

$$V_u \leq \frac{2}{3} \phi V_n^{adop} = \frac{2}{3} \times 0.75 \times 188.73 \text{ kN} = 94.37 \text{ kN}$$

Volcando al diagrama, determinamos la zona donde no podremos cortar barras.



CUARTO PASO: Determinación de M_d para cada barra y superposición con M_u .

Tramo I = Tramo II

$$A_s^{\phi 16} = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$j_d = 56.05 \text{ cm}$$

$$\phi = 0.9$$

$$f_y = 42 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d^{\phi 16} = \phi \times A_s^{\phi 16} \times f_y \times j_d = 42.59 \text{ kNm}$$

Apoyo Intermedio

$$A_s^{\phi 16} = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$j_d = 49.68 \text{ cm}$$

$$\phi = 0.9$$

$$f_y = 42 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d^{\phi 16} = \phi \times A_s^{\phi 16} \times f_y \times j_d = 37.74 \text{ kNm}$$

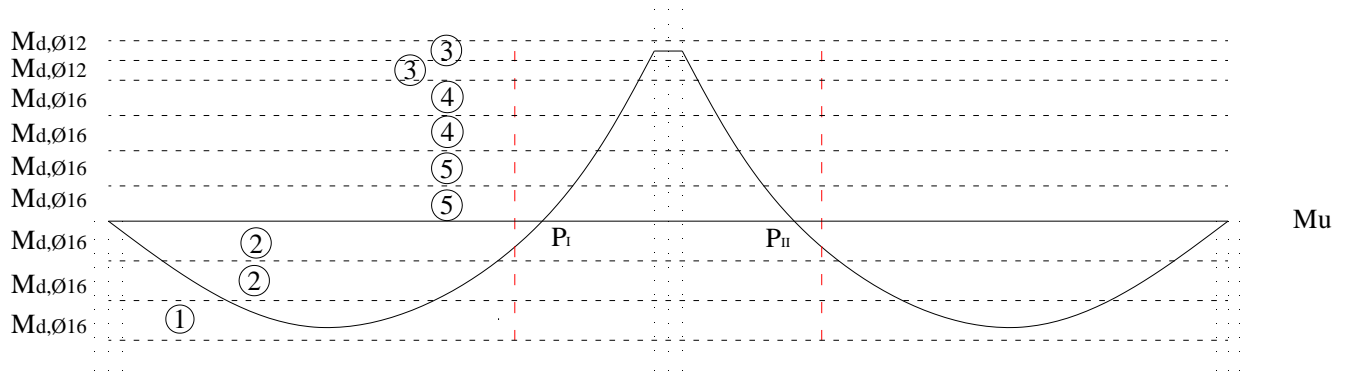
$$A_s^{\phi 12} = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$j_d = 49.68 \text{ cm}$$

$$\phi = 0.9$$

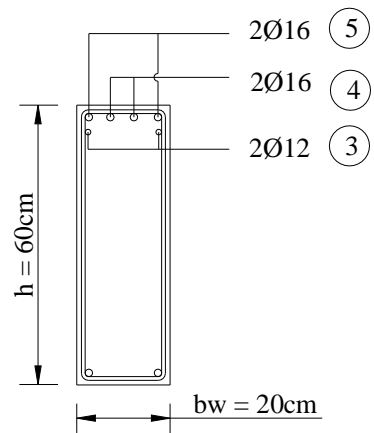
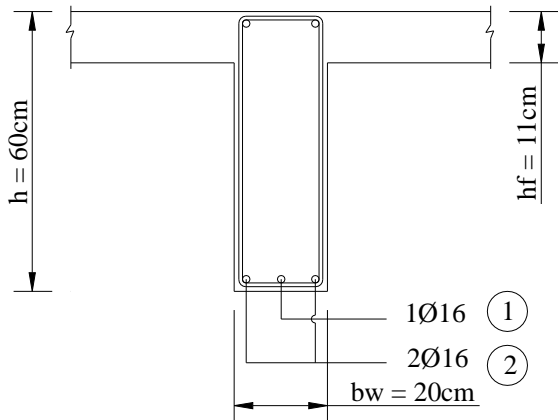
$$f_y = 42 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d^{\phi 12} = \phi \times A_s^{\phi 12} \times f_y \times j_d = 21.22 \text{ kNm}$$



SECCIÓN DE TRAMO

SECCIÓN DE APOYO INTERMEDIO



A partir de aquí decido cómo realizar el armado exacto. Se propone:

- En los tramos (armadura inferior): cortar la barra central donde deje de ser necesaria y continuar con las restantes dos barras hasta donde fuera necesario.
- En el apoyo: cortar primero las dos barras del 12 donde dejan de ser necesarias, luego las dos barras centrales del 16 donde éstas dejan de ser necesarias, y continuar con las otras dos barras del 16 hasta donde hiciera falta.

QUINTO PASO: realizar todas las verificaciones necesarias para saber si lo propuesto es posible, y determinar entonces la longitud total de las barras.

Barras (1):

Condición I: Zonas en las que se recomienda no cortar barras. **VERIFICA**

Condición II: Prolongación mínima de barras a partir del punto teórico de corte para flexión.

$$\text{Valor máximo entre: } \begin{cases} 12 \times d_b = 12 \times 1.6\text{cm} = 19.2\text{cm} \\ d = 56.6\text{cm} \end{cases} \Rightarrow l_1 = 56.6\text{cm}$$

Condición III: Distancia mínima entre puntos de cortes sucesivos. **NO APLICA**

Condición IV: Armadura de momento positivo a extender hasta apoyos. **NO APLICA**

Condición V: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos negativos. **ACEPTAMOS QUE NO APLICA**

Condición VI: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos positivos. **NO APLICA**

Calculamos la longitud de anclaje:

$$l_d^1 = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{c_b + k_{tr}} d_b = 41.47\text{cm} \text{ (Para anclajes rectos)}$$

$$\psi_t = 1 \text{ (Armadura inferior)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Armadura sin revestir)}$$

$$\psi_s = 0.8 \text{ (} d_b \leq \phi 16 \text{)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Hormigón de densidad normal)}$$

$$k_{tr} = 0$$

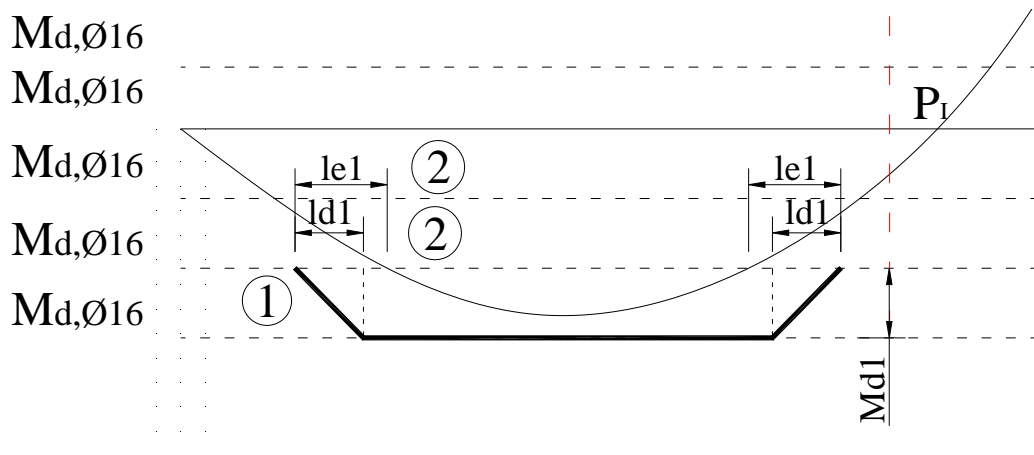
$$d_b = 1.6\text{cm}$$

$$c_b = \min \left\{ r + d_e + \frac{d_b}{2}; \frac{d_b + s}{2} \right\} = \min \left\{ 2\text{cm} + 0.6\text{cm} + \frac{1.6\text{cm}}{2}; \text{No aplica} \right\} = 3.4\text{cm}$$

$$\text{Falla por arrancamiento? } \frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{3.4\text{cm}}{1.6\text{cm}} = 2.13 < 2.5. \text{ No falla por arrancamiento}$$

Para calcular el anclaje de la barra 1 solo rige la 1ª condición en para el cálculo de c_b , porque se toma la distancia entre barras que se están anclando y en este caso, sólo se está anclando la barra 1 y por lo tanto rige la 1ª condición de distancia al filo de hormigón más cercano.

Graficamos el aporte a la resistencia de diseño de la viga, dado por la barra (1)



Barras (2):

Condición I: Zonas en las que se recomienda no cortar barras. **VERIFICA**

Condición II: Prolongación mínima de barras a partir del punto teórico de corte para flexión.

Valor máximo entre: $\begin{cases} 12 \times d_b = 12 \times 1.6 \text{ cm} = 19.2 \text{ cm} \\ d = 56.6 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow l_2 = 56.6 \text{ cm}$

Condición III: Distancia mínima entre puntos de cortes sucesivos. Los extremos de las barras 2, deberán distar como mínimo l_{d2} desde los puntos de corte de la barra 1.

Condición IV: Armadura de momento positivo a extender hasta apoyos.

Valor máximo entre: $\begin{cases} \text{Apoyo extremo: } \begin{cases} \frac{A_s^{nec}}{3} = \frac{5.53 \text{ cm}^2}{3} = 1.84 \text{ cm}^2 \\ A_s = \frac{0.75 \times V_u}{f_y} = \frac{0.75 \times 69.75 \text{ cm}^2}{42 \text{ kN / cm}^2} = 1.25 \text{ cm}^2 \end{cases} \\ \text{Apoyo continuo: } \frac{A_s^{nec}}{4} = \frac{5.53 \text{ cm}^2}{4} = 1.39 \text{ cm}^2 \end{cases}$

Además, por cuestiones constructivas se deberán colocar dos barras como mínimo. Como serán llevadas a los apoyos las dos barras (2) restantes (4.02 cm^2) **VERIFICA**

En el apoyo intermedio, las barras deberán sobrepasar **como mínimo 15 cm** el filo del apoyo.

Condición V: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos negativos. **NO APLICA**

Condición VI: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos positivos. En el punto de inflexión P_i debe verificarse

$$l_d^2 \leq \frac{M_n}{V_u} + l_a$$

Siendo:

$$l_d^2 = 42.93cm \leq \frac{M_n}{V_u} + l_a = \frac{94.64kNm}{101.25kN} + 0.566m = 1.50m$$

$$M_n = 2 \times \frac{M_d^{\phi 16}}{\phi} = 2 \times \frac{42.59kNm}{0.9} = 94.64kNm$$

$$V_u = 101.25kN \text{ (corte correspondiente a } P_I \text{)}$$

$$l_a \leq \begin{cases} l_x = 1.50m \\ \text{máx} \begin{cases} 12d_b = 12 \times 1.6cm = 19.2cm \\ d = 56.6cm \end{cases} \end{cases}$$

VERIFICA

NOTA: Esta condición no se verifica en el apoyo extremo, porque las barras 2 se anclan con gancho normal recto.

Calculamos la longitud de anclaje de las barras (2):

$$l_d^2 = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{c_b + k_{tr}} d_b = 41.47cm \text{ (Para anclajes rectos)}$$

$$\psi_t = 1 \text{ (Armadura inferior)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Armadura sin revestir)}$$

$$\psi_s = 0.8 \text{ (} d_b \leq \phi 16 \text{)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Hormigón de densidad normal)}$$

$$k_{tr} = 0$$

$$d_b = 1.6cm$$

$$c_b = \min \left\{ r + d_e + \frac{d_b}{2}; \frac{d_b + s}{2} \right\} = \min \left\{ 2cm + 0.6cm + \frac{1.6cm}{2}; \frac{1.6cm + 11.6cm}{2} \right\} = 3.4cm$$

$$\text{Falla por arrancamiento? } \frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{3.4cm}{1.6cm} = 2.13 < 2.5. \text{ No falla por arrancamiento}$$

$$l_{dh}^2 = 0.24 \psi_e \lambda \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} d_b = 29.45cm \text{ (Para anclajes con gancho normal)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Armadura sin revestir)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Hormigón de densidad normal)}$$

$$d_b = 1.6cm$$

$$l_{dh}^2 \text{ debe ser } \geq \begin{cases} 8d_b = 8 \times 1.6cm = 12.8cm \\ 15cm \end{cases}$$

Además, estamos llevando al apoyo más armadura de la necesaria, en una relación:

$$A_s^{adop} = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$A_s^{req} = \frac{1}{3} A_s^{nec} = 1.84 \text{ cm}^2 \Rightarrow \frac{A_s^{req}}{A_s^{adop}} = 0.46$$

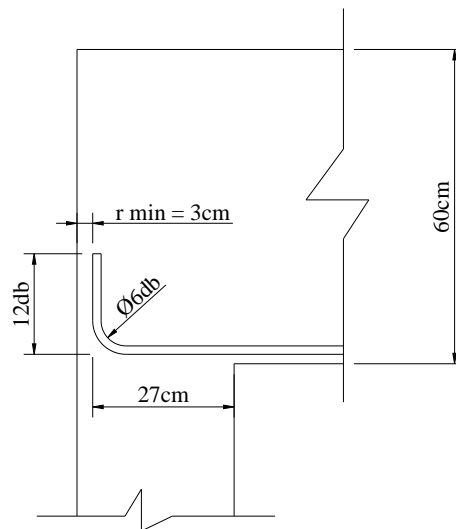
Por lo tanto, l_{dh} podrá reducirse quedando: $l_{dh} = l_{dh}^2 = 0.46 \times 29.45 \text{ cm} = 13.55 \text{ cm}$.

NOTA 1: Esta reducción permitida por el reglamento no es obligatoria, sino que es una recomendación.

NOTA 2: El desarrollo de la longitud de anclaje l_{dh} se medirá desde el filo interno de apoyo. En este caso se utilizará un gancho normal, por lo tanto se deberá cumplir:

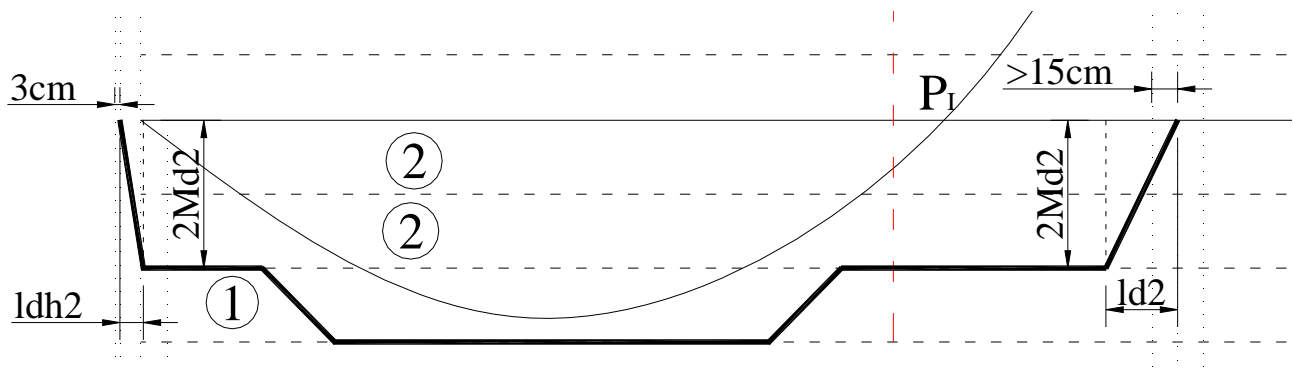
$$l_{dh} = 13.55 \text{ cm} \leq c - r = 30 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 27 \text{ cm} \text{ VERIFICA}$$

NOTA 3: La "patita" del gancho deberá tener un largo de $12d_b = 12 \times 1.6 \text{ cm} = 19.2 \text{ cm}$



Detalle 1 - Anclaje con gancho normal en apoyo extremo

Graficamos la cobertura del diagrama, dado por las barras (2)



Barras (3):

Condición I: Zonas en las que se recomienda no cortar barras. **NO VERIFICA** por lo que tendremos que extender nuestras barras. Como mínimo las extenderemos hasta una distancia d excedente el punto donde verifica que $V_u < 2/3\phi V_n$.

Condición II: Prolongación mínima de barras a partir del punto teórico de corte para flexión.

Valor máximo entre: $\begin{cases} 12 \times d_b = 12 \times 1.2 \text{ cm} = 14.4 \text{ cm} \\ d = 55.61 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow l_3 = 55.61 \text{ cm}$

Condición III: Distancia mínima entre puntos de cortes sucesivos. **NO APLICA**

Condición IV: Armadura de momento positivo a extender hasta apoyos. **NO APLICA**

Condición V: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos negativos. **NO APLICA**

Condición VI: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos positivos. **NO APLICA**

La longitud de anclaje de las barras 3 será:

$$l_d^3 = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{c_b + k_{tr}} d_b = 34.45 \text{ cm (Para anclajes rectos)}$$

$$\psi_t = 1.3 \text{ (Armadura superior)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Armadura sin revestir)}$$

$$\psi_s = 0.8 \text{ (} d_b \leq \phi 16 \text{)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Hormigón de densidad normal)}$$

$$k_{tr} = 0$$

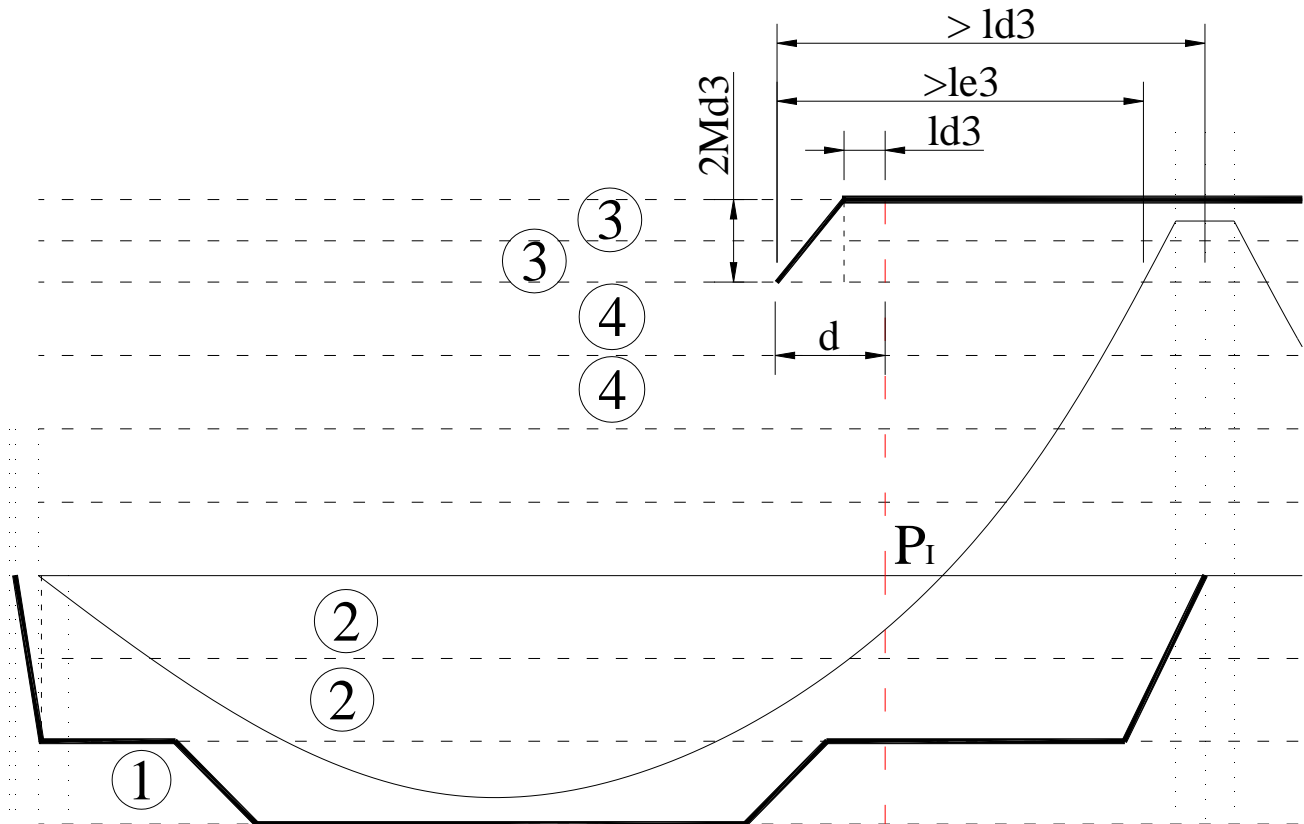
$$d_b = 1.2 \text{ cm}$$

$$c_b = \min \left\{ r + d_e + \frac{d_b}{2}; \frac{d_b + s}{2} \right\} = \min \left\{ 2 \text{ cm} + 0.6 \text{ cm} + \frac{1.2 \text{ cm}}{2}; \frac{1.2 \text{ cm} + 12.8 \text{ cm}}{2} \right\} = \min \{ 3.2 \text{ cm}; 7.4 \text{ cm} \}$$

NOTA: Para el anclaje de las barras 3, la segunda condición para el cálculo de c_b es la mitad de la distancia entre barras que se están anclando, es decir, entre las barras $\phi 12$, ya que éstas últimas se cortan antes de que se anclen las barras 4 ($\phi 16$).

Falla por arrancamiento? $\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{3.2 \text{ cm}}{1.2 \text{ cm}} = 2.67 > 2.5$. Falla por arrancamiento \Rightarrow se toma $\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = 2.5$

La longitud mínima que tendrán las barras (3) será dos longitudes de anclaje l_{d3} . La cobertura de estas barras resulta:



Barras (4):

Condición I: Zonas en las que se recomienda no cortar barras. **VERIFICA**, pues estas barras las cortaremos luego de haber cortado las barras (3).

Condición II: Prolongación mínima de barras a partir del punto teórico de corte para flexión.

$$\text{Valor máximo entre: } \begin{cases} 12 \times d_b = 12 \times 1.6 \text{ cm} = 19.2 \text{ cm} \\ d = 55.61 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow l_4 = 55.61 \text{ cm}$$

Condición III: Distancia mínima entre puntos de cortes sucesivos. Los extremos de las barras 4, deberán distar como mínimo l_d^4 desde el punto de corte de la barra 3.

Condición IV: Armadura de momento positivo a extender hasta apoyos. **NO APLICA**

Condición V: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos negativos. **NO APLICA**

Condición VI: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos positivos. **NO APLICA**

La longitud de anclaje de las barras (4) será:

$$l_d^A = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{\frac{c_b + k_{tr}}{d_b}} d_b = 64.24 \text{ cm (Para anclajes rectos)}$$

$\psi_t = 1.3$ (Armadura superior)

$\psi_e = 1$ (Armadura sin revestir)

$\psi_s = 0.8$ ($d_b \leq \phi 16$)

$\lambda = 1$ (Hormigón de densidad normal)

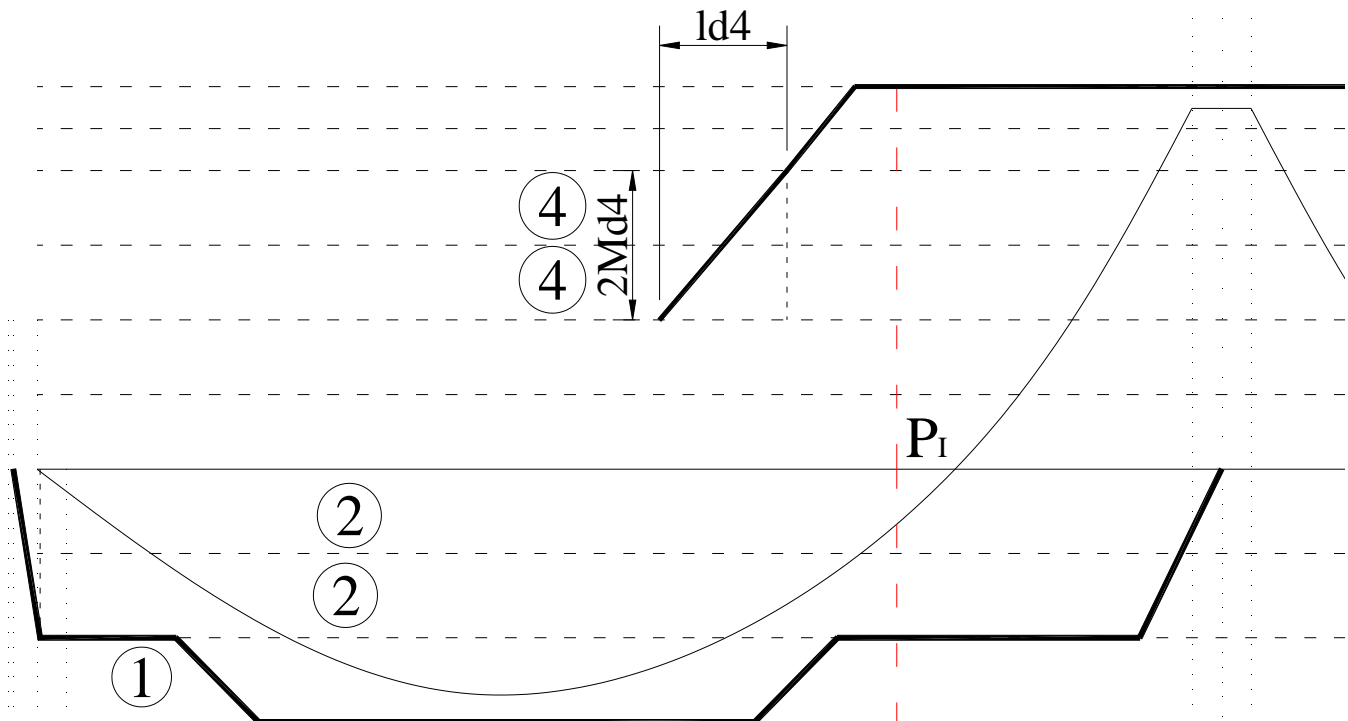
$k_{tr} = 0$

$d_b = 1.6 \text{ cm}$

$$c_b = \min \left\{ r + d_e + \frac{d_b}{2}; \frac{d_b + s}{2} \right\} = \min \left\{ 2 \text{ cm} + 0.6 \text{ cm} + \frac{1.6 \text{ cm}}{2}; \frac{1.6 \text{ cm} + 2.8 \text{ cm}}{2} \right\} = \min \{ 3.4 \text{ cm}; 2.2 \text{ cm} \}$$

Falla por arrancamiento? $\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{2.2 \text{ cm}}{1.6 \text{ cm}} = 1.38 < 2.5$. No falla por arrancamiento

La cobertura de las barras 4 es:



Barras 5:

Condición I: Zonas en las que se recomienda no cortar barras. **VERIFICA**

Condición II: Prolongación mínima de barras a partir del punto teórico de corte para flexión.

$$\text{Valor máximo entre: } \begin{cases} 12 \times d_b = 12 \times 1.6\text{cm} = 19.2\text{cm} \\ d = 55.61\text{cm} \end{cases} \Rightarrow l_5 = 55.61\text{cm}$$

Condición III: Distancia mínima entre puntos de cortes sucesivos. Los extremos de las barras 5, deberán distar como mínimo l_d^5 desde el punto de corte de la barra 4. Por simplicidad se llevarán las barras 5 a los apoyos extremos. **VERIFICA**

NOTA: Se llevarán las dos barras 5 hasta el apoyo extremo, por lo tanto las mismas actuarán como “perchas”. En caso de que se hubiese optado por cortarlas antes y disponer de otras barras de diámetro menor que oficiarán de “perchas”, éstas últimas debieran cumplir con $A_{s, \text{perchas}} = A_{s, \text{nec}}/6$.

Ejemplo:

$$A_{s, \text{perchas}} = \frac{A_s^{\text{nec}}}{6} = \frac{9.56\text{cm}^2}{6} = 1.59\text{cm}^2 \Rightarrow \text{podría utilizar } 2\phi 10 = 1.57\text{cm}^2$$

Condición IV: Armadura de momento positivo a extender hasta apoyos. **NO APLICA**

Condición V: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos negativos.

$A_{s, \text{min}} = \frac{A_s^{\text{nec}}}{3} = \frac{9.56\text{cm}^2}{3} = 3.19\text{cm}^2 \rightarrow M_d = 59.82\text{KNm}$. Esta armadura se debe extender una distancia l_e desde los puntos de inflexión P_I y P_{II} .

$$\text{Valor máximo de } l_e \text{ entre: } \begin{cases} P_I \begin{cases} d = 55.61\text{cm} \\ 12 \times d_b = 12 \times 1.6\text{cm} = 19.2\text{cm} \\ \frac{l_n}{16} = \frac{600\text{cm} - 30\text{cm}}{16} = 35.63\text{cm} \end{cases} \\ P_{II} \begin{cases} d = 55.61\text{cm} \\ 12 \times d_b = 12 \times 1.6\text{cm} = 19.2\text{cm} \\ \frac{l_n}{16} = \frac{600\text{cm} - 30\text{cm} / 2 - 25\text{cm} / 2}{16} = 35.78\text{cm} \end{cases} \end{cases}$$

Considerando únicamente las barras Pos. 5 (que se llevarán hasta el apoyo extremo), tendremos: $A_{s, \text{adop}} = 4.02\text{cm}^2 \rightarrow \text{VERIFICA}$

Condición VI: Condiciones para cubrir las tracciones en puntos de inflexión en zonas de momentos positivos. **NO APLICA**

La longitud de anclaje de las barras 5 es:

$$l_d^5 = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{c_b + k_{tr}} d_b = 53.91 \text{cm} \text{ (Para anclajes rectos)}$$

$$\psi_t = 1.3 \text{ (Armadura superior)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Armadura sin revestir)}$$

$$\psi_s = 0.8 \text{ (} d_b \leq \phi 16 \text{)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Hormigón de densidad normal)}$$

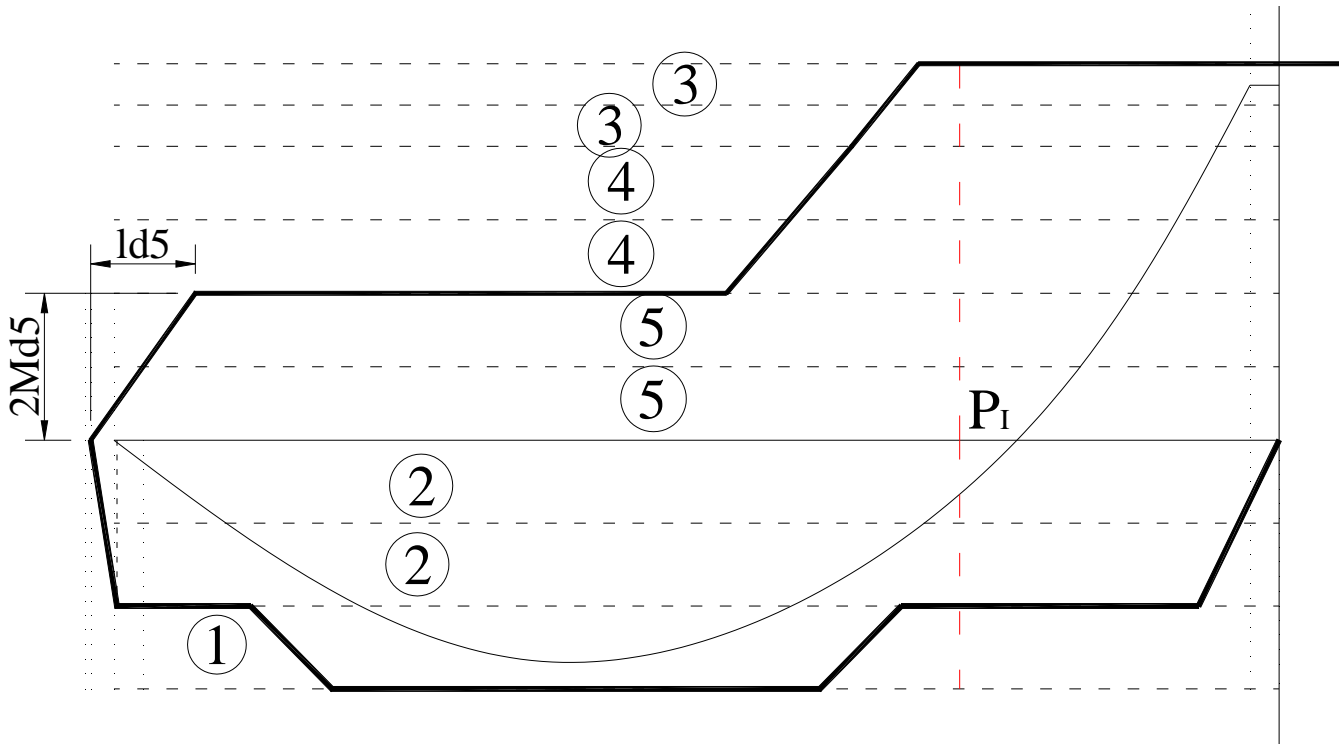
$$k_{tr} = 0$$

$$d_b = 1.6 \text{cm}$$

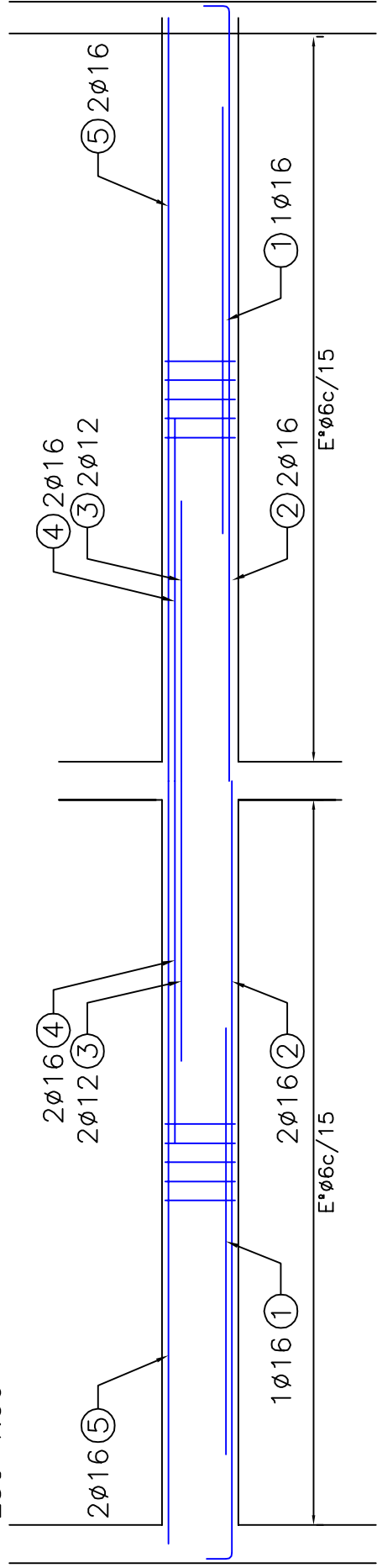
$$c_b = \min \left\{ r + d_e + \frac{d_b}{2}; \frac{d_b + s}{2} \right\} = \min \left\{ 2\text{cm} + 0.6\text{cm} + \frac{1.6\text{cm}}{2}; \frac{11.6\text{cm}}{2} \right\} = \min \{ 3.4\text{cm}; 6.6\text{cm} \}$$

Falla por arrancamiento? $\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{3.4\text{cm}}{1.6\text{cm}} = 2.13 < 2.5$. No falla por arrancamiento

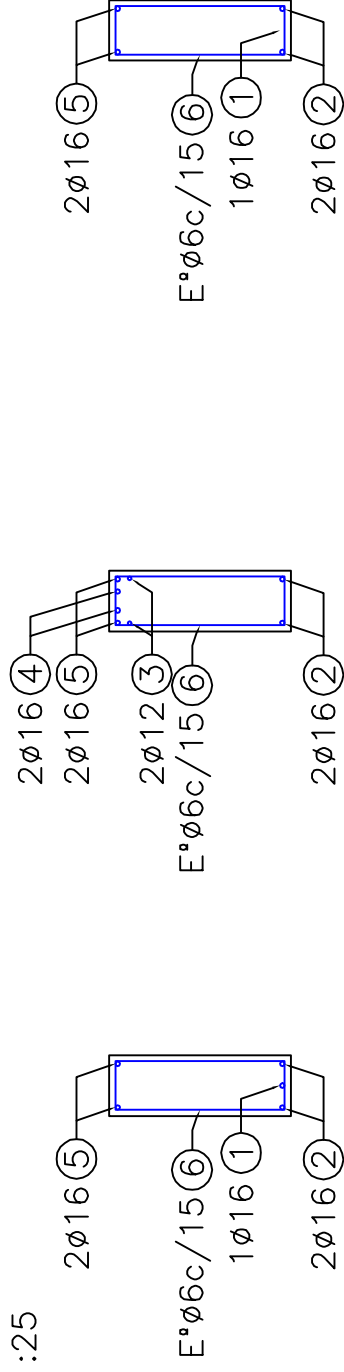
La cobertura total resulta entonces:



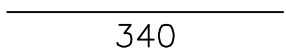
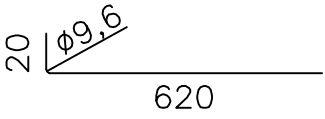
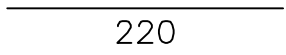
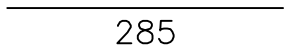
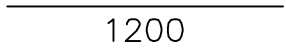
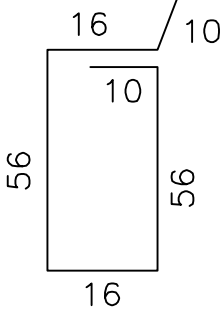
VISTA
ESC 1:50



CORTES
ESC 1:25



FIUBA - HORMIGON I (74.01/94.01)
ARMADO EXACTO

POS	∅	CANT	FORMA	LONG.	TOTAL	kg
1	16	2		3.40	6.80	5.36
2	16	4		6.40	25.60	40.39
3	12	2		2.20	4.40	3.90
4	16	2		2.85	5.70	9.00
5	16	2		12.00	24.00	37.87
6	6	78		1.64	127.92	28.12

DIAM	LONG	KG
6	127.92	28.2
12	4.40	3.9
16	62.21	98.0