



CAPITULO III

CIMENTACIONES PROFUNDAS

TEMAS:

3.2 INTRODUCCIÓN .- ZAPATAS SOBRE PILOTES RECTANGULAR

3.2 DISEÑO DE UNA ZAPATA AISLADA RECTANGULAR SOBRE PILOTES.

3.2 DISEÑO DE UNA ZAPATA RECTANGULAR AISLADA SOBRE PILOTES:

Diseñar un cimiento sobre pilotes para soportar una columna cuadrada de 45 cm x 45 cm, y está sometida a la acción de un momento por carga muerta de 12 Tn-m, y un momento por carga viva de 4,5 Tn-m. Las cargas axiales son de 65 Tn por carga muerta y de 27 Tn por carga viva. El diámetro promedio de las cabezas de los pilotes es de 30 cm, la carga de trabajo es de 11,5 Tn/pilote. Considerar además el hecho de que unos pilotes de ensayo fallaron bajo una carga de 23 Tn.

El acero vertical de la columna consiste en 12 barras ϕ 22 mm. Utilizar un concreto de resistencia a la compresión de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$; acero de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

SOLUCIÓN:

Varios cálculos de tanteo indican que se necesitan 12 pilotes y se escoge una distribución tal como se muestra en la figura siguiente. La carga de servicio total es de $P = 92 \text{ Tn}$ y momento de servicio de $M = 16,5 \text{ Tn-m}$:

Como el cimiento está sometido a flexión, se debe calcular el momento de inercia equivalente de los pilotes con respecto del centroide del cimiento.

$$I_{pg} = \sum_1^n (1 * y_n^2)$$



$$\Sigma d_y^2 = 2 * 3 * 0,45^2 + 2 * 3 * 1,35^2 = 12,15 m^2$$

La carga sobre cada pilote está dada por:

$$P = \frac{P_s}{n} \pm \frac{M_s * dy}{\Sigma dy^2}$$

$$R_{max} = \frac{92}{12} + \frac{16,5 * 1,35}{12,15} = 9,5 Tn$$

Esto nos permite determinar el peso del cemento por pilote:

$$p_{cim} = R_a - R_{max} = 11,5 - 9,5 = 2,0 \text{ Tn/pilote}$$

Lo que permite verificar el número de pilotes que debe tener el cimiento:

$$n_{pilote} = \frac{P_s + M_s}{P_{max}} = \frac{92 + 16,5}{9,5} = 11,42 \approx 12 \text{ pilotes}$$

La carga última sobre cada pilote se obtiene sustituyendo en la ecuación (1) la distancia d correspondiente a cada fila de pilote.

$$\vdots$$

$$P = \frac{P_s}{n} \pm \frac{M_s * dy}{\Sigma d_v^2}$$



$$P_U = 1,2 * 65 + 1,6 * 27 = 121,2 \text{ Tn}$$
$$M_U = 1,2 * 12 + 1,6 * 4,5 = 21,6 \text{ Tn} * m$$

Primera fila de pilotes:

$$R_{UP} = \frac{121,2}{12} - \frac{21,6 * 1,35}{12,15} = 7,7 \approx 8,0 \text{ Tn}$$

Segunda fila de pilotes:

$$R_{UP} = \frac{121,2}{12} - \frac{21,6 * 0,45}{12,15} = 9,3 \approx 9,5 \text{ Tn}$$

Tercera fila de pilotes:

$$R_{UP} = \frac{121,2}{12} + \frac{21,6 * 0,45}{12,15} = 10,9 \approx 11,0 \text{ Tn}$$

Cuarta fila de pilotes:

$$R_{UP} = \frac{121,2}{12} + \frac{21,6 * 1,35}{12,15} = 12,5 \approx 13,0 \text{ Tn}$$

Basándose en la carga y en el mayor de los momento últimos y como el mayor valor de $R_{UP} = 13 \text{ Ton}$, más 1,2 veces el peso del cemento por pilote, no sobrepasan la carga de ensayo de 23 Tn/pilote. Por lo que no existe riesgo de falla en los pilotes.

$$R_{UP-req.} = R_U + 1,2 * P_{dado/pilote} = 13 \text{ Ton} + 1,2 * 2,0 = 15,4 \text{ Ton.}$$

$$R_{UP-req.} = 15,4 \text{ Ton.} \leq P_{U-max.} = 23 \text{ Ton.} \quad \text{Ok.}$$

El esfuerzo de punzonamiento crítico para un pilote individualmente se tendrá en la periferia del pilote más cargado como se indica en la figura siguiente:

Asumiendo el espesor del cemento en base de la L_d a la compresión de la columna:

$$L_{dc} = 0,075 * d_b * \psi_r * f_y / \lambda * \sqrt{280} \geq 0,0044 * d_b * \psi_r * f_y$$

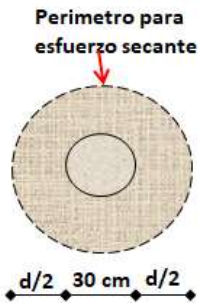
$$L_{dc} = 0,075 * 2,2 \text{ cm.} * 1,0 * 4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} / 1,0 * \sqrt{280} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 41,4 \approx 42 \text{ cm.}$$

$$l_{dc} = 0,0044 * 2,2 * 1,0 * 4200 = 40,66 \approx 41 \text{ cm}$$

$$h = L_{dc} + 2\phi + r = 42 + 2(2,5) + 7,5 + 15 = 69,5 \approx 70 \text{ cm.}$$

Donde el peralte asumido d es igual:

$$d = h - r - \frac{0,5\phi + 1,5\phi}{2} - 15 \text{ cm.} = 70 - 7,5 - 2,5 - 15 = 45 \text{ cm.}$$



CHEQUEO DEL ESFUERZO SECANTE O PUNZONAMIENTO DEL PILOTE.

$$b_0 = \pi * (D + d) = \pi * (30 + 45) = 235,62 \text{ cm}$$

$$V_U = 13\,000 \text{ Kg.}$$

$$\phi V_c = 1,1 * 0,75 * \sqrt{f'_c} * b_0 * d = 1,1 * 0,75 * \sqrt{280} \text{ Kg/cm}^2 * 235,62 * d \text{ Kg/cm.}$$

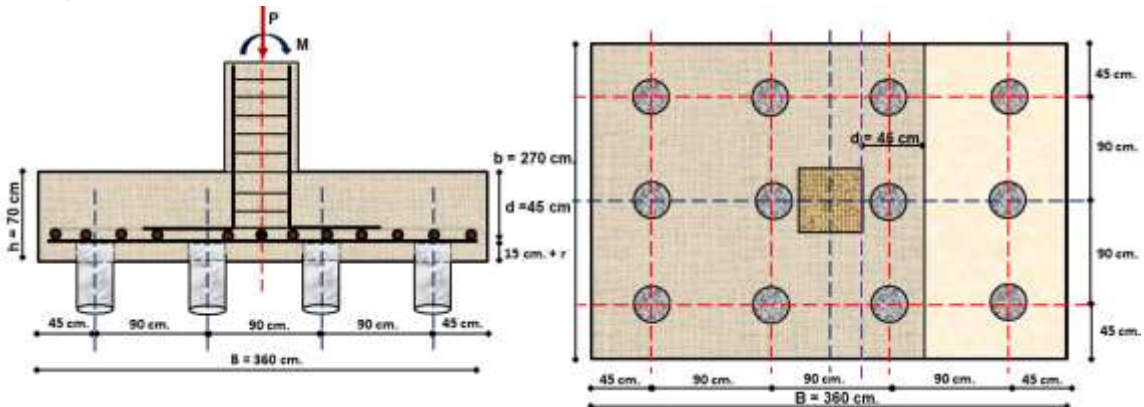
$$\phi V_c = V_U$$

$$3\,252,71 * d * \text{Kg/cm} = 13\,000 \text{ Kg.}$$

$$d = \frac{13\,000 \text{ Kg}}{3\,252,71 \text{ Kg/cm}} = 4,0 \text{ cm.}$$

$$d_{requerido} = 4,0 \text{ cm.} \leq d_{asumido} = 45 \text{ cm.} \quad \text{Ok.}$$

CHEQUEO DEL ESFUERZO CORTANTE EN UNA DIRECCION - LADO CORTO.



Si se observa la figura, dentro de área crítica se encuentran tres pilotes, que estos son los que producen la fuerza cortante en la dirección corta.

$$V_U = 3 * P_U = 3 * 13 \text{ Ton} = 39 \text{ Ton} = 39\,000 \text{ Kg.}$$

$$\phi V_c = 0,53 \phi \sqrt{f'_c} * b * d = 0,53 * 0,75 * \sqrt{280} * 270 * d = 1\,795,89 * d \text{ Kg/cm}$$

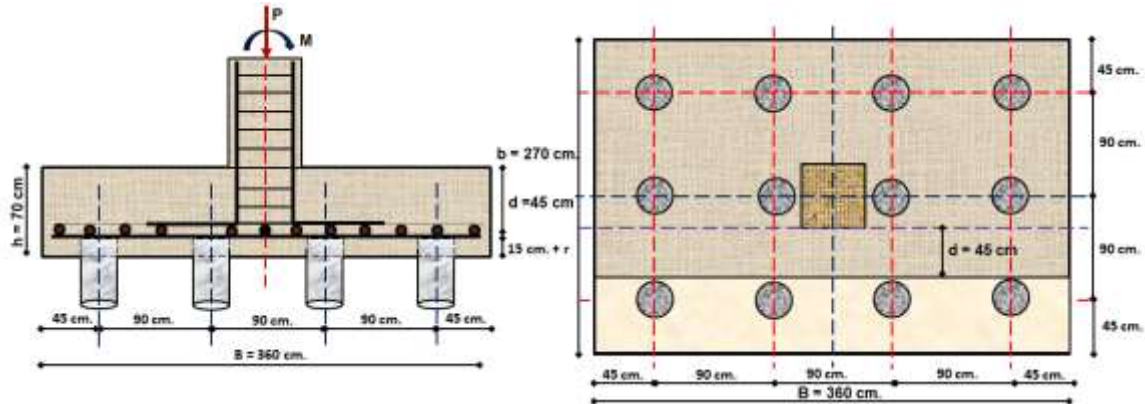
$$\phi V_c = V_U$$



$$1\,795,89 * d \text{ Kg/cm.} = 39\,000 \text{ Kg.}$$

$$d = \frac{39\,000 \text{ Kg}}{1\,795,89 \text{ Kg/cm.}} = 21,72 \text{ cm} \leq d_{asum.} = 45 \text{ cm.} \quad OK.$$

CHEQUEO DEL ESFUERZO CORTANTE EN UNA DIRECCION - LADO LARGO.



Como se puede observar en la figura superior, dentro de área crítica se encuentran cuatro pilotes, que estos son los que producen la fuerza cortante en la dirección longitudinal.

$$V_U = 8,0 + 9,5 + 11 + 13 = 41,5 \text{ Tn} = 41\,500 \text{ Kg.}$$

$$\phi V_C = 0,53 \phi \sqrt{f'_c} * b * d = 0,53 * 0,75 * \sqrt{280} * 360 * d = 2\,394,52 * d \text{ Kg/cm}$$

$$\phi V_C = V_U$$

$$2\,394,52 * d \text{ Kg/cm} = 41\,500 \text{ Kg.}$$

$$d = \frac{41\,500 \text{ Kg}}{2\,394,52 \text{ Kg/cm}} = 17,33 \text{ cm} \leq d_{asum.} = 45 \text{ cm.} \quad OK.$$

CHEQUEO DEL ESFUERZO CORTANTE POR PUNZONAMIENTO.

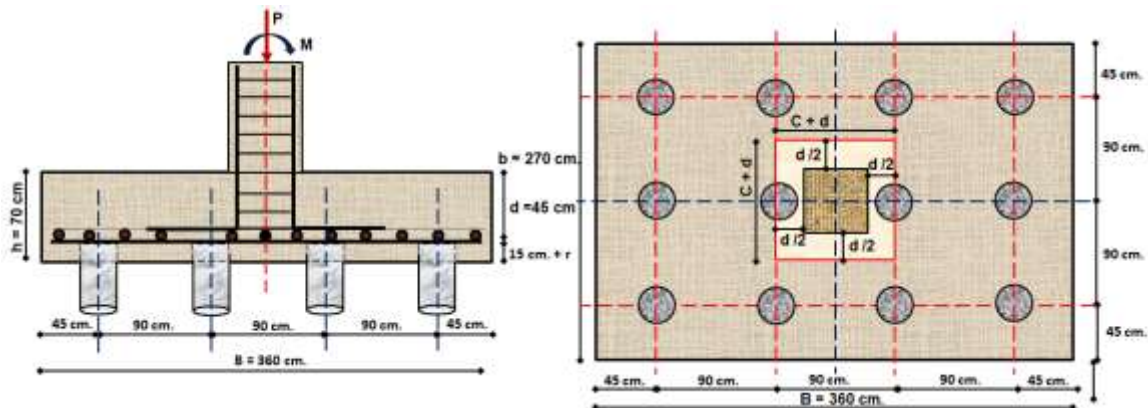
El esfuerzo cortante por punzonamiento como losa, se debe tener en cuenta que en las filas 2 y 3, hay dos pilotes que están 15 cm dentro de la sección crítica.

Consecuentemente solo se considerarán efectos parciales en estos dos pilotes. La ecuación correspondiente a la carga modificada de los dos pilotes es: En este caso $X = 0$

$$P' = P * (15 - X) / 30$$

Dónde:

$$P' = 0,50 * P$$



$$V_U = 3 * (8,0) + 2 * (9,5) + 0,50 * (9,5) + 0,50 * (11) + 2 * (11) + 3 * (13)$$

$$V_U = 114,25 \text{ Ton.}$$

$$b_0 = 4(C + d) = 4(45 + 45) = 360 \text{ cm.}$$

$$\phi V_c = 1,1 \phi \sqrt{f'_c} * b_0 * d = 1,1 * 0,75 * \sqrt{280} * 360 * d = 4\,969,76 * d \text{ Kg/cm.}$$

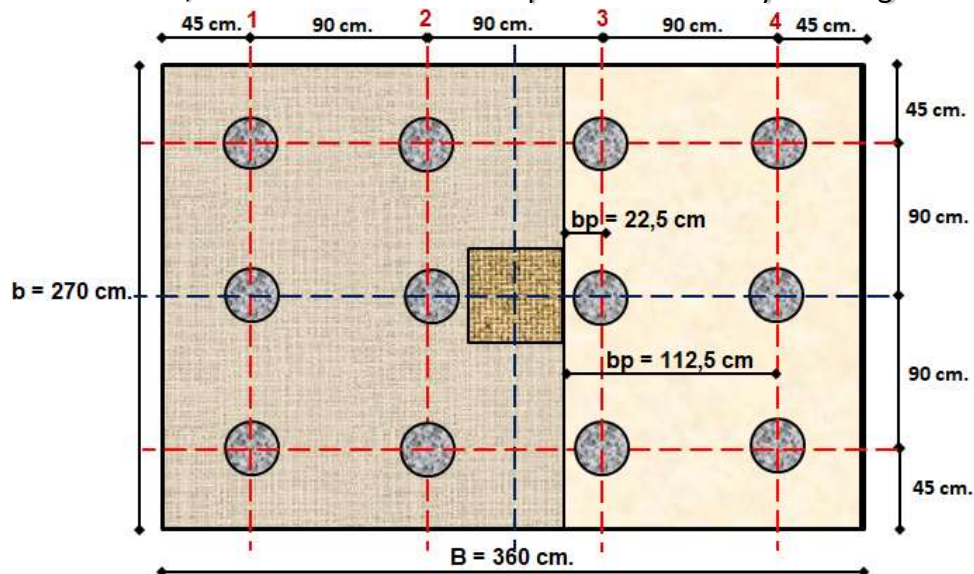
$$\phi V_c = V_U$$

$$4\,969,76 * d \text{ Kg/cm} = 114\,250 \text{ Kg.}$$

$$d = \frac{114\,250 \text{ Kg}}{4\,969,76} = 23 \text{ cm.} \leq 45 \text{ cm.} \quad \text{OK.}$$

CÁLCULO DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN.- SENTIDO CORTO – REFUERZO LONGITUDINAL.

La sección crítica para momento y adherencia está en el borde de la columna por el lado derecho del cimiento, donde se encuentran los pilotes con las mayores cargas.





$$M_U = 3 * P_{U3} * bp1 + 3 * P_{U4} * bp2$$

$$M_U = 3 * 11 \text{ Ton} * 22,5 \text{ cm} + 3 * 13 \text{ Ton} * 112,5 \text{ cm} = 5\,130 \text{ Ton} * \text{cm}$$

$$M_U = 5\,130 \text{ Ton} * \text{cm} * (1\,000 \text{ Kg}/1 \text{ Ton}) = 5\,130\,000 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$R_U = \frac{M_U}{\phi * b * d^2} = \frac{5\,130\,000 \text{ Kg} * \text{cm.}}{0,90 * 270 \text{ cm} * (45 \text{ cm})^2} = 10,43 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \leq 14 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

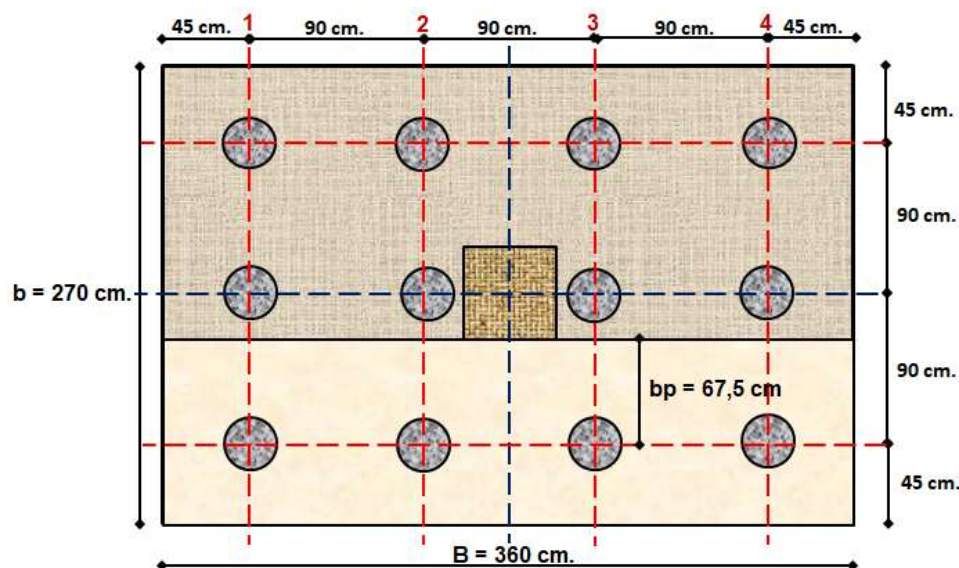
$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{4200} = 0,0033$$

$$A_S = \rho * b * d^2 = 0,0033 * 270 \text{ cm} * 45 \text{ cm} = 40,10 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 22 \text{ mm.} \Leftrightarrow A_b = 3,80 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ barras} = \frac{A_S}{A_b} = \frac{40,10 \text{ cm}^2}{3,80 \text{ cm}^2} = 10,55 \approx 11 \phi 22 \text{ mm c}/25,5 \text{ cm.}$$

CÁLCULO DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN.- SENTIDO LARGO – REFUERZO TRANSVERSAL.





$$M_U = P_{U1} * bp + P_{U2} * bp + P_{U3} * bp + P_{U4}$$

$$M_U = 8 \text{ Ton} * 67,5 \text{ cm} + 9,5 \text{ Ton} * 67,5 \text{ cm} + 11 \text{ Ton} * 67,5 \text{ cm} + 13 \text{ ton} * 67,5 \text{ cm}.$$

$$M_U = 2\,801,25 \text{ Ton} * \text{cm} * (1\,000 \text{ Kg}/1 \text{ Ton}) = 2\,801\,250 \text{ Kg} * \text{cm}.$$

$$R_U = \frac{M_U}{\phi * b * d^2} = \frac{2\,801\,250 \text{ Kg} * \text{cm}}{0,90 * 360 \text{ cm} * (45 \text{ cm})^2} = 4,3 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \leq 14 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = \frac{14}{4200} = 0,0033$$

$$A_s = \rho * b * d = 0,0033 * 360 * 45 = 53,46 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ barras} = \frac{A_s}{A_b} = \frac{53,46 \text{ cm}^2}{3,14 \text{ cm}^2} = 17,03 \approx 17 \phi 20 \text{ mm}$$

$$\text{Refuerzo ancho de banda} = \gamma_s = \frac{2}{\beta + 1} = \frac{2}{1,33 + 1} = \frac{2}{2,33} = 85,8 \%$$

$$\gamma_s = \frac{2}{2,33} * 17 = 15 \phi 20 \text{ mm } 19/\text{cm}.$$

Refuerzo en las dos alas se calcula con:

$$A'_s = (1 - \gamma_s) * A_s = (1 - 0,858) * 53,46 \text{ cm}^2 = 7,60 \text{ cm}^2$$

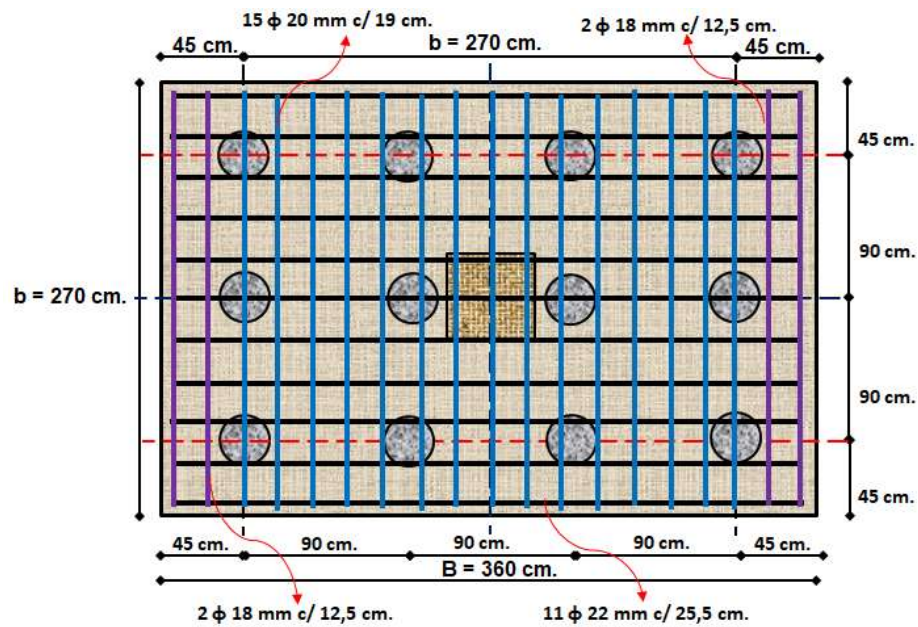
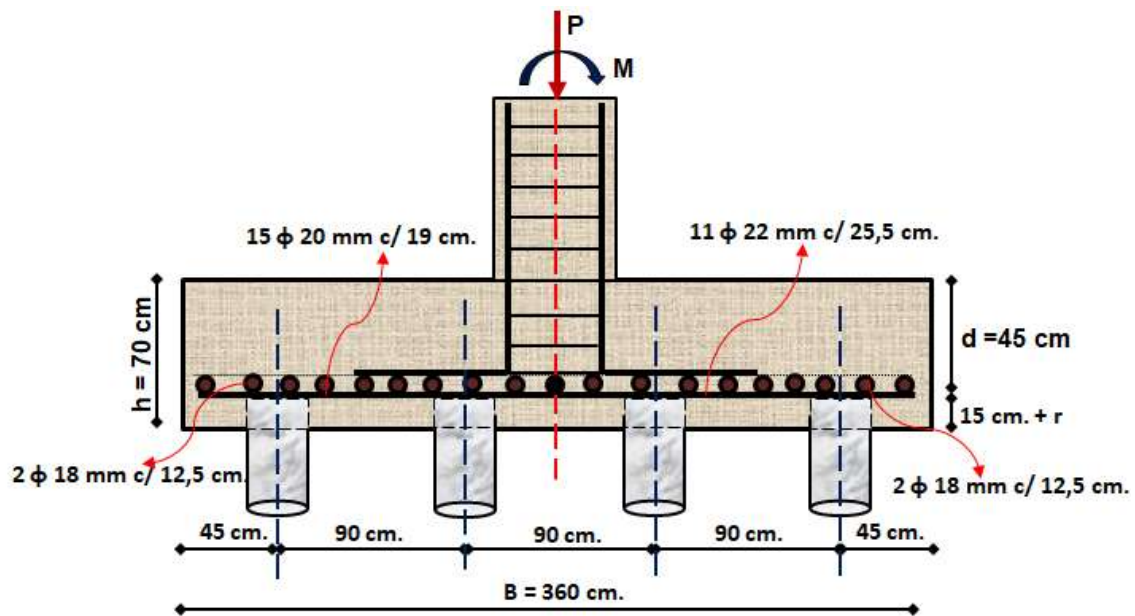
$$\# \text{ barras} = \frac{A'_s}{A_b} = \frac{7,60 \text{ cm}^2}{3,14 \text{ cm}^2} = 3 \approx 4 \phi 18 \text{ mm}$$

En cada ala se colocan:

$$2 \phi 18 \text{ mm } c/12,5 \text{ cm}.$$



GRAFICO DEL REFUERZO A FLEXIÓN.





VERIFICACIÓN DE ESFUERZO DE TRANSFERENCIA:

FUERZA PERMISIBLE DE APOYO EN EL CONCRETO EN LA BASE DE LA COLUMNA.

$$f_p = \phi * (0,85 * f'_c * A_g) \quad \phi = 0,65 \Rightarrow \text{Por aplastamiento}$$

$$P_U = 1,2(DL) + 1,6(LL) = 1,2(65 \text{ Tn}) + 1,6(27 \text{ Tn}) = 121,2 \text{ Ton}$$

$$f_p = 0,65 * 0,85 * 210 * 45^2 = 234\,951 \text{ Kg} = 234,95 \text{ Ton}$$

$$f_p = 234,95 \text{ Tn} \geq P_U = 121,2 \text{ Ton} \Rightarrow OK:$$

FUERZA PERMISIBLE DE APOYO EN EL CONCRETO DE LA ZAPATA.

$$f_p = \phi * (0,85 * f'_c * A_g) * \sqrt{\frac{A_0}{A_g}} \quad \text{Donde: } \sqrt{\frac{A_0}{A_g}} \leq 2$$

$$\sqrt{\frac{A_0}{A_g}} = \sqrt{\frac{90 * 90}{45 * 45}} = \sqrt{\frac{8\,100 \text{ cm}^2}{2\,025 \text{ cm}^2}} = \sqrt{4,0} = 2,0 \leq 2$$

LA RELACION $\sqrt{\frac{A_0}{A_g}}$ SE ASUME IGUAL A 2

$$f_p = 0,65 * 0,85 * 210 * (45)^2 * 2 = 469\,902 \text{ Lb}$$

$$f_p = 469,9 \text{ Tn} \geq P_U = 121,2 \text{ Ton} \Rightarrow OK:$$

CALCULO DE LA LONGITUD DE DESARROLLO REQUERIDA:

Ld = ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL.- $\phi = 22 \text{ mm}$

$$L_d = \frac{1}{3,5} * \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s * \psi_g}{\frac{C_b + k_{tr}}{d_b}} * d_b$$

$$\frac{C_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{7,5 + 0}{2,2} = 3,4 > 2,5$$



Se escoge el valor de 2,5.

$$L_d = \frac{1}{3,5} * \frac{4\,200\text{ Kg/cm}^2}{1,0 \sqrt{280\text{ Kg/cm}^2}} * \frac{1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0}{2,5} * 2,2\text{ cm} = 63,11\text{ cm}.$$

$$Ld_{disp} = 1500\text{ cm} > Ld_{req} = 63\text{ cm} \quad \Rightarrow OK:$$

Ld = ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL.- $\phi = 20\text{ mm}$

$$L_d = \frac{1}{3,5} * \frac{fy}{\lambda \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s * \psi_g}{\frac{C_b + k_{tr}}{d_d}} * d_b$$

$$\frac{C_b + k_{tr}}{d_b} = \frac{7,5 + 0}{2,0} = 3,75 > 2,5$$

$$L_d = \frac{1}{3,5} * \frac{4\,200\text{ Kg/cm}^2}{1,0 \sqrt{280\text{ Kg/cm}^2}} * \frac{1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0}{2,5} * 2,0 = 57,37\text{ cm}.$$

$$Ld_{disp} = 105\text{ cm} > Ld_{req} = 58\text{ cm} \quad \Rightarrow OK:$$