

Ejemplo de cabezal para dos pilotes

Disenar un cabezal para pilotes usando el Método de los brelas.

El Informe de Suelos recomienda usar pilotes de concreto reforzado de no menos de 50 cm de diámetro.

DATOS

$$\text{Columna } b_x \times b_y = 60 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$$

$$N_u = 202590 \text{ kgf}$$

$$M_u = 0 \text{ myf}$$

Materiales:

$$\text{Concreto } F_c = 250 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Acero de refuerzo, } F_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

Solución

1. Pilotes

De la Tabla 1. Capacidad de pilotes de los Suelos para cabezales del HINDEUR

Carga total, suponiendo un 5% de peso propio del cabezal (a validar)

$$P_u = 1.05 \times 202590 \text{ kgf} = 212719.50 \text{ kgf}$$

2 pilotes. $D = 50 \text{ cm}$ de diám. reforzado con 5 No. 5, tener la capacidad

$$110 \times 2 = 220 \text{ tf} > P$$

separación centro a centro de pilotes

$$S \geq 3D$$

$$S \geq 3 \times 50 = 150 \text{ cm}$$

2. Dimensiones del cabozal

Para que resulte un cabozal rígido, se requiere de una altura útil

$$d \geq 0.6 S$$

$$d \geq 0.6 * 150 = 90 \text{ cm}$$

Probaremos con $d = 100 \text{ cm}$

Altura total, $h = d + \text{penetración del pivote en el cabozal}$

$$h = 100 + 15 = 115 \text{ cm}$$

[según la Tabla 4. Valores de T y altura útil, de los tablos para cabozales del Manual Mindur

$$d > \frac{e}{2} \tan 50^\circ$$

$$d > \frac{150}{2} \tan 50^\circ = 89.4 \text{ cm} \approx 90 \text{ cm}]$$

Verificación de la aplicabilidad del Método de los bridos (Ver Figura 2 Cálculo de T y de la altura útil d)

El ángulo entre el eje de la columna y el de uno de los pilotes debe ser $\leq 40^\circ$

$$\tan \theta = \left(\frac{\text{separación de pilotes}}{2} \right) / d$$

$$\tan \theta = \left(\frac{150}{2} \right) / 1.0 = 0.75$$

$$\arctan 0.75 = 36.87^\circ < 40^\circ$$

Cumple las condiciones del Método de los bridos

Dimensiones del cabezal

Largo, $L_1 = S + D + 2 \text{ recubrimientos}$
 $L_1 = 1.50 + 0.50 + 2 \times 0.15 = 2.30 \text{ m}$

Anchura, $L_2 = D + 2 \text{ rec} = 0.50 + 2 \times 0.15 = 0.80 \text{ m}$

Las dimensiones del cabezal son: $2.30 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 1.15 \text{ m}$

Peso propio (concreto reforzado, $\gamma_c = 2500 \text{ gf/m}^3$)

$P_p = (L_1 \times L_2 \times h) \gamma_c$

$P_p = (2.30 \times 0.8 \times 1.15) 2500 = 5290 \text{ gf}$

De la Tabla 5.3.1 Combinación de solicitaciones, ACI 318-14

$1.4 P_p = 7406 \approx 7410 \text{ gf}$

$\left(\frac{7410}{202590} \times 100 = 3.66\% < 5\% \text{ supuesto} \right)$

3. Acero de refuerzo en el pedestal

$P_0 = N_0 + P_p = 210 \times 10^3 \text{ gf}$
 $M_u = 0$ [Cuando $M_u \neq 0$, se trabajará con Pequiv. Ver tabla 3. Reacciones sobre pilotes y carga equivalente, de los Tablos del Manual Mindor]

Note - según la Subsección 13.2.6.1 deben emplearse solicitaciones mejoradas. En zonas sísmicas aplica la subsección 18.2.2.3, ACI 318-14.

3.1 Armadura inferior (acero de refuerzo del fondo del cabezal)

según los fórmulas de la Tabla 4. Valores de T y de la altura útil de los tablos para Tablotes del Manual Mindor, con $a = b_x = 0.60 \text{ m}$

Tensión longitudinal, $T_{ux} = \frac{P_u(2e-a)}{8d}$

$$T_{ux} = \frac{210 \times 10^3 (2 \times 1.5 - 0.6)}{8 \times 1} = 63 \times 10^3 \text{ kgf}$$

$$A_{sx} = \frac{T_{ux}}{\phi F_y}, \text{ con } \phi = 0.90 \text{ de la Tabla 2.1.2.1, ACI 318-14}$$

$$A_{sx} = \frac{63 \times 10^3}{0.9 \times 4200} = 16.67 \text{ cm}^2$$

De la tabla 1. Sección útil de acero, cm^2 de los Ayudos para el proyecto de cabezales

se adapta 6 20M (18.84 cm^2)

[se considera que no existe tracción transversal, T_{uy} , que podría calcularse como

$$T_{uy} = \frac{P_u D}{9d} = 3.50 \times 10^3 \text{ kgf}$$

$$A_{sy} = \frac{T_{uy}}{\phi F_y} = 0.92 \text{ cm}^2; 2 \text{ 16M (4.02 cm}^2)$$

que queda cubierto con el acero mínimo, $A_{s \text{ min}}$.
Referir los tablos 7.6.1.1 y 8.6.1.1, ACI 318-14

$$A_{s \text{ min}} = 0.002bh = 0.002 \times 80 \times 115 = 18.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$16\text{M} @ 10\text{cm} \text{ (20.1 cm}^2/\text{m)}$$

es decir
No cabillos en c/retido = $\frac{\text{Anchura} - 2 \text{ rec. bridas}}{\text{separación}}$

$$\text{No cabillos} = \frac{230 - 2 \times 15}{10} = 20 \text{ cabillos}$$

Recomendación:

$$A_s \text{ cm}^2/\text{m} = \frac{A_s}{\text{Anchura}}; \text{ sep} = \frac{100db}{A_s \text{ cm}^2/\text{m}}$$

3.2 Armadura superior (acero de refuerzo en el tope del cabezal)

No está contemplado en los Tablos para cabezales del Manual Mindus, pero sí en los esquemas de detallado. Ver Detallado 2 y 4.

$$A_{s-topo} = 0.3 A_{suy}$$

$$A_s = 0.3 \times 18.84 = 5.65 \text{ cm}^2 \quad 5M12 (5.65 \text{ cm}^2)$$

[De la tabla 5. Cabezal para dos pilotes

Datos			Geometría				
Diam.	P	e	b	L1	L2	d	h
cm	ton	cm	cm	cm	cm	cm	cm
50	220	150	40	205	80	80	90

Armadura		Rp	Esta capacidad del pilote se ha calculado con una resistencia del concreto de 45 kg/cm ²
4200 kg/cm ²	Asx	ton	
32.91	Asuy	107	
	Asrep		

4. Acero de paramento

La subsección 9.7.2.3 y la Sección 24.3.2 del ACI 318-14 recomiendan usar acero de paramento formado por Cercos de barras de refuerzo de pequeño diámetro y separación no mayor de 30cm en la zona traccionada, para evitar la aparición de grietas por encima del recubrimiento del acero principal a tracción.

La Figura R9.7.2.3 del Comentario del Reglamento ACI 318-14 se ha incluido en los tablos para Cabezales del Mindus como Detallado 3b. Ver también Detallado 4a y 4b.

$$0.1 A_{sppel} = 0.1 \times 16.67 = 1.67 \text{ cm}^2$$

4 Cercos bien ajustados 16M @ 25cm

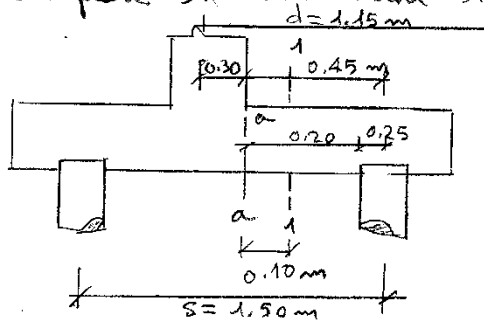
5. Acero de refuerzo por corte

El plano crítico de corte está a una distancia d de la cara de la columna.

En este ejemplo la sección crítica queda por fuera del cabezal, por lo que se adopta el mismo criterio ACI para los vigas de gran altura (Artículo 9.9.3).

se toma la sección crítica a la mitad de la distancia entre el eje de la columna y la primera fila de los pilotes.

[Ver en Ayudas para el proyecto de cabezales, Diseño de cabezales por corte según ACI 318, donde se interpreta la Subsección 13.4.2.5]



Criterio viga
de gran altura o
viga pared
$$\frac{L_n}{h} = \frac{S-d}{h}$$

$$\frac{L_n}{h} = \frac{1.50 - 0.5}{1.15}$$

$$L_n/h = 0.86 < 4$$

$$V_u = \frac{P_u}{2} = \frac{210 \times 10^3}{2} = 105 \times 10^3 \text{ kgf}$$

$$V_u < \phi 2.65 \sqrt{F_c} b_w d \quad (9.9.2.1)$$

con $\phi = 0.75$ (Tabla 21.2.1)

$$V_u \leq 0.75 \times 2.65 \sqrt{250} (80) 100 = 251401.10 \text{ kgf}$$

$$= 251.40 \times 10^3 \text{ kgf}$$

Para controlar en las direcciones

$$V_u = \frac{V_u}{\phi b d} = \frac{105 \times 10^3}{0.75 \times 80 \times 100} = 17.50 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \leq \phi 1.6 \sqrt{F_c}$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{F_c} = 8.38 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tabla } (9.9.1.1, \text{ Caso a}), \text{ Tabla } 22.6.6.2)$$

$$V_{s \text{ min}} = 3.50 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tablas } 9.6.3.3; 10.6.2.2(b); 15.4.2(b))$$

Para cortante en dos direcciones,

$$V_s = V_u - V_c$$

$$V_s = 17.50 - 8.38 = 9.12 \text{ kgf/cm}^2$$

con estribos cerrados de dos ramas 16M
(2.01 cm² por rama)

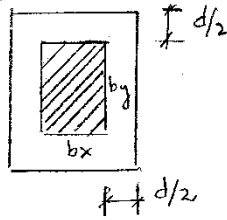
$$s = \frac{A_v F_y}{V_s L} = \frac{2 \times 2.01 \times 4200}{9.12 \times 80} = 23.14 \text{ cm}$$

se colocaran @ 20 cm
Estribos cerrados 16M @ 20 cm

6. Puzonado

se revisaron separadamente el puzonado de la columna y en q/u de los pilotes. se seleccionara el mas critico en el cabezal

6.1 Puzonado por columna columna rectangular



perimetro, $b_o = 2(b_x + b_y + 2d)$

$$b_o = 2(40 + 60 + 2 \times 100) = 600 \text{ cm}$$

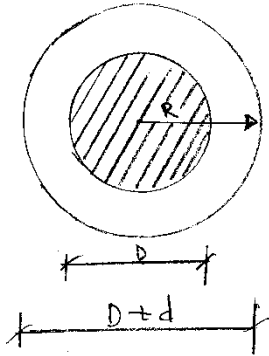
$$V_u = \frac{N_u}{\phi b_o d} = \frac{202590}{0.75 \times 600 \times 100}$$

$$V_u = 4.57 \text{ kgf/cm}^2 < 2 \times 0.53 \sqrt{F_c}$$

$$< 16.76 \text{ kgf/cm}^2$$

Verifica

6.2 Punzonado por pilote



$$b_0 = 2\pi R$$

$$R = (D+d)/2 = (50+100)/2 = 75\text{cm}$$

$$b_0 = 2\pi \cdot 75 = 471.24\text{ cm}$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b_0 d} = \frac{105 \times 10^3}{0.75 \times 471.24 \times 100}$$

$$v_u = 2.97 \text{ kgf/cm}^2 \leq 16.76 \text{ kgf/cm}^2$$

Verifica

7. Aplastamiento

según la Subsección 22.8.3.1, ACI 318-14

$$\phi B_m \geq B_u \quad \text{con } \phi = 0.65$$

(Tabla 21.2.1, ACI 318-14)

B_m es el menor valor entre $\sqrt{A_2/A_1} (0.8 F_c A_1)$ y $2(0.85 F_c A_1)$

área de columna, $A_1 = 40 \times 60 = 2400 \text{ cm}^2$

área en el cabezal, $A_2 = 230 \times 80 = 18400 \text{ cm}^2$

$$\sqrt{A_2/A_1} = 2.77 > 2.0$$

entonces

$$\phi B_m = \phi 2 (0.85 F_c A_1)$$

$$\phi B_m = 0.65 \times 2 (0.85 \times 250 \times 2400)$$

$$\phi B_m = 663000 \text{ kgf} > B_u = N_u = 202590 \text{ kgf}$$

8. Vigas de riostras

Verifica

La buena práctica de la Ingeniería exige el amostramiento de los cabezales de pilotes. Usualmente se calcularán con el 10% de la carga máxima de la columna. En zonas sísmicas, la Sección 11.4.1 de la Norma Colombiana 1756-01 especifica que "los fundaciones se conectarán entre sí"

U.C. 01/02/2017

9/M

en dos direcciones preferiblemente ortogonales con
muchos estructurales, capaces de repartir axialmente
la mayor carga en las columnas que soportan la
losa, multiplicada por un coeficiente igual a
 $\frac{\alpha A_0}{3}$ pero no menor a un 3% de dicha carga.

α es el factor de importancia de la estructura
 A_0 es el coeficiente de aceleración horizontal
del movimiento sísmico.

$$\text{Fuerza axial en la losa} = 0.1 P_0 = 0.1 \times 210 \times 10^3 \\ = 21 \times 10^3 \text{ kgf}$$

$$A_s = \frac{N_u}{\phi F_y} = \frac{21 \cdot 10^3}{0.9 \times 4200} = 5.56 \text{ cm}^2$$

se armará con 4 16M (8.04 cm²)
con estribos cerrados de 2 ramas
con 12 M @ 25 cm.

La sección transversal de la viga de losa
no será menor de 40 x 40 cm.

[La importancia de los vigas de losas en el comporta-
miento global de los sistemas estructurales para edifica-
ciones ha sido estudiada, entre otros en:

Pérez Manero, Johnny, y Santos Simón, Eduardo (1999).
"Búsqueda de parámetros adimensionales en la
determinación de efectos de asentamiento en porticos
de acero y concreto". UCAB, NOV, BZP. Total: Marco Papeiron

Asconce López, C. y Salgado Perera, D (2014). "Análisis
del comportamiento de vigas de losas en un
sistema de fundación de una estructura aporticada
mediante el método de elementos finitos". UCAB, octubre,
195p. Total: Eduardo López.]

9. Detallado del acero de refuerzo

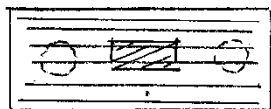
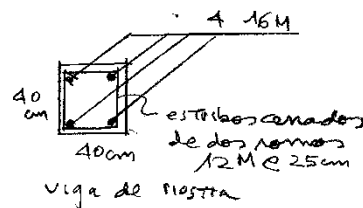
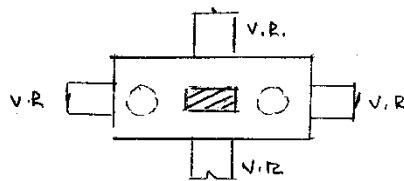
Como se puede constatar en los siguientes documentos de Ayudas para el proyecto de cabezales:

- Procedimientos, detalles y cabezales ensayados
- Tipificación de Cabezales por empresa de pilaje
- Tablas para cabezales Normal Mindur
- Dibujo de estructuras de concreto armado

y en los Ejemplos, existen diferentes criterios para el detallado del acero de refuerzo en cabezales. Por

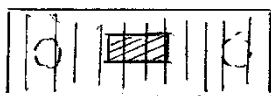
eso es importante revisar en Documentos Complementarios, los ESTUDIOS experimentales.

Por estas consideraciones se adopta un detallado conservador.



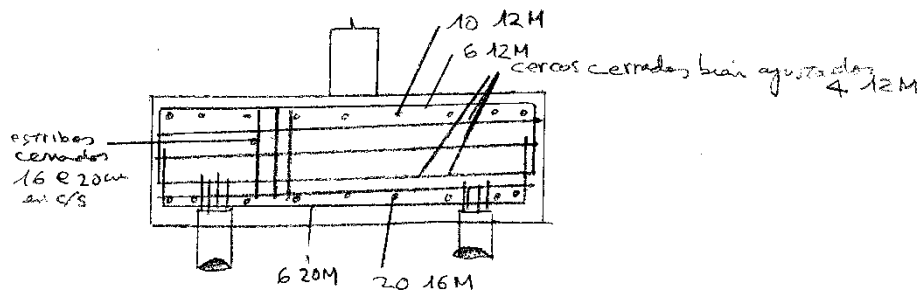
Armadura superior 6 12M

Armadura inferior 6 20M



Armadura superior 10 12M

Armadura inferior 20 16M



Sobre el detallado del acero de refuerzo en cabezales, véanse en

Anexo Ejemplos, Carpeta Pilotes y Cabezales, Pilote y cabezal para un monopole

Anexo Documentos complementarios:

Delalibera, Rodrigo Gustavo (2006). *Análise numérica e experimental de blocos de concreto armado sobre duas estacas submetidas á ação de força centrada e excêntrica*. Tesis doctoral , Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo, 332 p.

Stripari Munhoz, Fabiana (2004). *Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidas á ação de força centrada*. Tesis de Maestría, Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo, 160 p.

Rausch, José A.; D´Ascenzo, Nello; Goldschmidt, Pablo; Natalini, Mario. *Ensayo sobre cabezales de tres pilotes*. Y también *Nueva propuesta sobre el funcionamiento de los cabezales de pilotes*. Departamento de Estabilidad. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Chaco, Argentina.