

12  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EJERCICIOS PARA LA ASIGNATURA DE  
CIMENTACIONES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A :

**MARCO ANTONIO BARAJAS CAVAZOS**



MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-013/95

Señor  
**MARCO ANTONIO BARAJAS CAVAZOS**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. HECTOR SANGINES GARCIA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

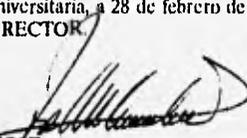
**"EJERCICIOS PARA LA ASIGNATURA DE CIMENTACIONES"**

- I. INTRODUCCION**
- II. CAPACIDAD DE CARGA**
- III. ANALISIS DE DEFORMACIONES EN SUELOS**
- IV. CIMENTACIONES SOMERAS**
- V. CIMENTACIONES COMPENSADAS Y EXCAVACIONES**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 28 de febrero de 1995.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl1

A mis padres, José Barajas Velázquez y Gloria Cavazos de Barajas por su cariño y esfuerzo, les brindo este pequeño trabajo.

A mis hermanos: Edmundo, María Inés, Francisco, Alma Laura, Gloria, Carlos, Lucila, Juan, José, Patricia, Mauricio, Josefina y Horacio por ser una familia tan unida y como pocas han de existir.

A mis amigos, familiares, profesoras y compañeros de la Universidad que durante el transcurso de mi vida me han ayudado y ofrecido su amistad, el no nombrarlos se deba a que el omitir alguno de ellos sería un imperdonable error.

## EJERCICIOS PARA LA ASIGNATURA DE CIMENTACIONES

### ÍNDICE

#### CAPÍTULO I

##### INTRODUCCIÓN

1

#### CAPÍTULO II

##### CAPACIDAD DE CARGA

2.1 Determinación de anchos de zapatas corridas para tablero	3
2.2 Determinación del ancho único para zapata corrida de tablero	5
2.3 Zapata corrida sometida a carga vertical	6
2.4 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento	10
2.5 Zapata cuadrada sometida a carga vertical	15
2.6 Zapata rectangular sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales	19
2.7 Cimentación compensada	24
2.8 Pilote de punta	30

### CAPÍTULO III

#### ANÁLISIS DE DEFORMACIONES EN SUELOS

3.1 Zapata corrida sometida a carga vertical	35
3.2 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento	39
3.3 Zapata cuadrada sometida a carga vertical	44
3.4 Zapata cuadrada sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales	47
3.5 Cimentación compensada	52

### CAPÍTULO IV

#### CIMENTACIONES SOMERAS

4.1 Zapata corrida sometida a carga vertical	80
4.2 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento	88
4.3 Zapata cuadrada sometida a carga vertical	97
4.4 Zapata cuadrada sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales	105

### CAPÍTULO V

#### CIMENTACIONES COMPENSADAS Y EXCAVACIONES

5.1 Tablero de esquina de losa inferior	116
---	-----

CAPÍTULO VI  
CONCLUSIONES

124

BIBLIOGRAFÍA

125

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El trabajo que sigue a continuación es el resultado de haber leído los apuntes de los Ingenieros Agustín Deméneghi Colina y Héctor Sanginés García que sobre la materia "Cimentaciones" se imparte en la Facultad de Ingeniería. La sugerencia proviene del Ing. Sanginés, en el sentido de presentar los ejercicios que en dichos apuntes desarrollan su contenido como parte de un trabajo de titulación. La comprensión eficaz de estos ejercicios es de evidente interés práctico.

Los estudios que se requieren en el diseño de esta clase de obras se ejemplifican centrándose en los dos tipos principales de cimentación existentes: zapatas corridas y aisladas, sujetas a combinaciones de carga axial y momento.

En el segundo capítulo se exponen las características que rigen el análisis por capacidad de carga para suelos de distinta clase de comportamiento, así como el caso particular de su cálculo para un pilote de punta.

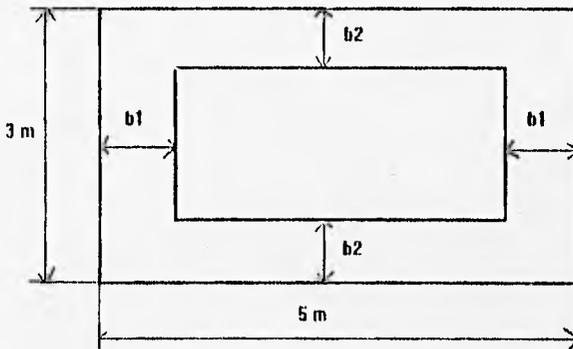
En el tercer capítulo se estudia el asentamiento elástico conforme a la teoría de Terzaghi, así como los giros elásticos que se producen. Finalmente, mediante una cimentación compensada se estudian las restantes deformaciones que existen.

En los capítulos cuarto y quinto se remata lo hecho previamente al proporcionar el diseño estructural básico que se requiere para construir las zapatas y losa de cimentación.

En lo que se refiere a la precisión numérica con la que se realizaron los cálculos, se mantuvo siempre hasta donde un proceso determinaba mostrar un resultado, el cual era redondeado de ser necesario para lograr que su manejo fuera coherente con las características del problema en cuestión.

**CAPÍTULO II**  
**CAPACIDAD DE CARGA**

2.1 Determinar los anchos de las zapatas corridas de la siguiente figura. El peso total del tablero es  $\Sigma Q = 33 \text{ t}$  y la capacidad de carga admisible del terreno de cimentación es  $q_a = 8 \text{ t/m}^2$ .



Dimensiones del tablero:

$$a_1 = 3 \text{ m}$$

$$a_2 = 5 \text{ m}$$

Los anchos  $b_1$  y  $b_2$  de las zapatas corridas se pueden calcular considerando que cada zapata toma una carga proporcional al área tributaria correspondiente del tablero. Por lo tanto, el ancho  $b_2$  se obtiene resolviendo la siguiente ecuación cuadrática:

$$4a_2q_a b_2^2 + [a_1^2 w - 4a_1 a_2 q_a - a_1 w(2a_2 - a_1)]b_2 + w a_1^2 (2a_2 - a_1) = 0$$

donde

$w$  = peso unitario de la estructura calculado con:

$$w = \Sigma Q / a_1 a_2$$

$$w = 33 / (3)(5)$$

$$w = 2.2 \text{ t/m}^2$$

$$4(5)(8)b_2^2 + \{3^2(2.2) - 4(3)(5)(8) - (3)(2.2)[2(5) - 3]\}b_2 + 2.2(3)^2[2(5) - 3] = 0$$

$$160b_2^2 - 506.4b_2 + 138.6 = 0$$

$$b_2 = [-(-506.4) \pm \sqrt{(-506.4)^2 - 4(160)(138.6)}] / 2(160)$$

$$b_2 = 2.86 \text{ m}$$

$$b_2 = 0.30 \text{ m}$$

Se opta por  $b_2 = 0.30 \text{ m}$  ya que siendo  $b_2$  el ancho de zapata que le corresponde al lado más largo, satisface el ancho total del tablero.

El ancho  $b_1$  se determina con la siguiente ecuación:

$$b_1 = a_1^2 w / 4(a_1 - b_2)q_a$$

$$b_1 = 3^2(2.2) / 4(3 - 0.30)8$$

$$b_1 = 0.23 \text{ m}$$

2.2 Determinar el ancho de la zapata corrida de un tablero con dimensiones de  $a_1 = 3$  m y  $a_2 = 5$  m. La suma de cargas vale  $\Sigma Q = 33$  t, la capacidad de carga admisible del terreno de cimentación es de  $8 \text{ t/m}^2$  y  $w = 2.2 \text{ t/m}^2$ .

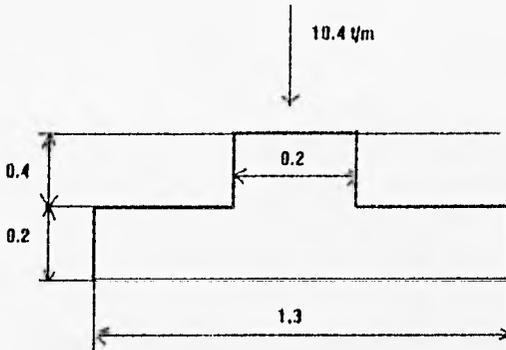
$$b = (a_1 + a_2) / 4 \pm \sqrt{[(a_1 + a_2) / 4]^2 - w a_1 a_2 / 4 q_a}$$

$$b = (3 + 5) / 4 \pm \sqrt{[(3 + 5) / 4]^2 - (2.2) (3) (5) / 4 (8)}$$

$$b = 0.28 \text{ m}$$

2.3 Zapata corrida sometida a carga vertical.

Revisar por capacidad de carga la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud de la zapata es  $L = 6$  m. Tomar un factor de carga  $F_c = 1.4$  y en el terreno de cimentación  $F_R = 0.45$ .



Acotaciones en metros

$$\gamma_m = 1.5 \text{ t/m}^3$$

$$c = 6 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

Toba parcialmente cementada

En un suelo cohesivo, la revisión de la seguridad por resistencia al corte del suelo es satisfactoria cuando se cumple la siguiente desigualdad (NTC del RCDF):

$$\Sigma QF_c / A < c_u N_c F_R + p_v \quad (1)$$

donde

$\Sigma QF_c$  = suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, afectada por su respectivo factor de carga.

A = área del cimiento,  $m^2$

$c_u$  = cohesión aparente del suelo,  $t/m^2$

$p_v$  = presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo,  $t/m^2$

$F_R$  = factor de resistencia

$N_c$  = coeficiente de capacidad de carga dado por

$$N_c = 5.14(1 + 0.25D_f / B + 0.25B / L)$$

donde

$D_f$  = profundidad de desplante en m

B = ancho de la cimentación, m

y se debe satisfacer

$$D_f / B < 2$$

$$B / L < 1$$

(En caso de que no se cumplan las desigualdades anteriores, dichas relaciones se considerarán iguales a 2 y 1, respectivamente).

Se procede a determinar la suma de cargas al nivel de desplante del cimiento

$$\Sigma Q = W_r + W_z + \Sigma Q'$$

$W_r$  = peso del relleno

$$W_r = (1.3 - 0.2)(0.4)(1.5)$$

$$W_r = 0.66 \text{ t}$$

$W_z$  = peso de la zapata

$$W_z = [(1.3)(0.2) + (0.2)(0.4)](2.4)$$

$$W_z = 0.82 \text{ t}$$

$\Sigma Q'$  = peso de la estructura

$$\Sigma Q' = 10.4 \text{ t} \rightarrow$$

$$\Sigma Q = 0.66 + 0.82 + 10.4$$

$$\Sigma Q = 11.88 \text{ t (por cada metro de longitud de zapata)}$$

Haciendo:

$$q_{cu} = \Sigma Q F_c / A$$

$$q_{Rc} = c_u N_c F_R + p_v$$

$$q_{cu} = 11.88(1.4) / (1.3)(1)$$

$$q_{cu} = 12.79 \text{ t/m}^2$$

$$N_c = 5.14[1 + 0.25(0.6 / 1.3) + 0.25(1.3 / 6)]$$

$$N_c = 5.14[1 + 0.25(0.46) + 0.25(0.21)]$$

$$0.46 < 2$$

$$0.21 < 1$$

$$N_c = 6.01$$

$$p_v = \gamma D_f$$

$$p_v = (1.5)(0.6)$$

$$p_v = 0.9 \text{ t/m}^2$$

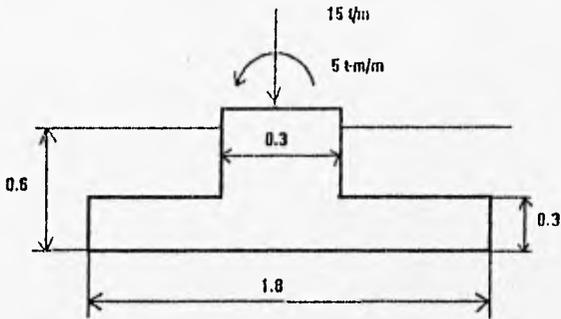
$$q_{Rc} = (6)(6.01)(0.45) + 0.9$$

$$q_{Rc} = 7.13 \text{ t/m}^2$$

$$q_{cu} < q_{Rc} \rightarrow \text{cumple}$$

2.4 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento.

Revisar por capacidad de carga la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud de la misma es de  $L = 8 \text{ m}$ .



Acotaciones en metros

$$F_c = 1.1$$

$$F_R = 0.45$$

$$\gamma_m = 1.6 \text{ t/m}^3$$

$$\phi^* = 39^\circ$$

$$D_r = 68\%$$

Arena compacta

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

En suelos puramente friccionantes se debe satisfacer la siguiente desigualdad (NTC del RCDF):

$$\sum QF_c / A < [p_{ve}(f_q N_q - 1) + \gamma B f_\gamma N_\gamma / 2] F_R + p_v \quad (2)$$

donde

$\sum QF_c$  = suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, afectada por su respectivo factor de carga.

A = área del cimiento,  $m^2$

$p_{ve}$  = presión vertical efectiva a la profundidad de desplante,  $t/m^2$

$f_q$  = factor igual a  $1 + (B / L) \tan \varphi$  para cimientos rectangulares

$N_q$  = coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2(45 + \varphi/2)$$

donde  $\varphi$  es el ángulo de fricción interna del material, que se define más adelante

$\gamma$  = peso volumétrico del suelo,  $t/m^3$

$f_\gamma$  = factor igual a  $1 - 0.4(B / L)$  para cimientos rectangulares

$N_\gamma$  = coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi$$

$F_R$  = factor de reducción de resistencia

$\varphi = \text{ang} \tan(\alpha \tan \varphi^*)$ , donde  $\varphi^*$  es el ángulo con la horizontal de la envolvente con los círculos de Mohr a la falla en la prueba de resistencia más representativa.

La magnitud de  $\alpha$  depende de la compactación relativa  $D_r$  del suelo. Para  $D_r \leq 0.5$ ,  $\alpha = 0.67$ ; para  $D_r \geq 0.7$ ,  $\alpha = 1.0$ . Para valores intermedios de  $D_r$  se puede interpolar linealmente, es decir,

$$\alpha = 0.67 + 1.65(D_f - 0.5)$$

Dado que existe un momento se tiene que calcular el ancho reducido  $B'$

$$B' = B - 2e \quad (3)$$

donde

$B$  = ancho de la zapata

$e$  = excentricidad calculada con:

$$e = M / \Sigma Q$$

$M$  = momento actuante

$\Sigma Q$  = peso total

$$\Sigma Q = \Sigma Q' + W_f + W_z + W_c$$

Relleno ( $W_f$ ):

$$W_f = 0.3(1.6)(1.8 - 0.3)$$

$$W_f = 0.72 \text{ t/m}$$

Zapata ( $W_z$ ):

$$W_z = 0.3(2.4)(1.6)$$

$$W_z = 1.3 \text{ t/m}$$

Contratrabe ( $W_c$ ):

$$W_c = 0.3(2.4)(0.3)$$

$$W_c = 0.22 \text{ t/m}$$

Peso de la estructura ( $\Sigma Q'$ ):

$$\Sigma Q' = 15 \text{ t/m}$$

$$\Sigma Q = 15 + 0.72 + 1.3 + 0.22$$

$$\Sigma Q = 17.2 \text{ t/m}$$

$$e = 5 / 17.2$$

$$e = 0.29 \text{ m}$$

$$B' = 1.8 - 2(0.29)$$

$$B' = 1.22 \text{ m}$$

Por tratarse de una zapata corrida, por sencillez de cálculo, se trabaja por metro de longitud (excepto para la determinación de los factores de forma, donde se tomará la longitud total del cimiento).

Haciendo:

$$q_{cu} = \Sigma Q F_c / A$$

$$q_{Rf} = [p_{ve}(f_q N_q - 1) + \gamma B f_\gamma N_\gamma / 2] F_R + p_v$$

$$q_{cu} = (17.2)(1.1) / 1.22$$

$$q_{cu} = 15.5 \text{ t/m}^2$$

$$p_v = \gamma D_f$$

$$p_v = 1.6(0.6)$$

$$p_v = 0.96 \text{ t/m}^2$$

$$p_{ve} = \gamma D_f - \gamma_w z$$

donde  $\gamma_w z$  es la presión hidrostática a la profundidad de desplante

$$p_{ve} = 0.96 - 0$$

$$p_{ve} = 0.96 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.67 + 1.65(0.68 - 0.5)$$

$$\alpha = 0.967$$

$$\varphi = \text{ang tan}(0.967 \tan 39)$$

$$\varphi = 38.06^\circ$$

$$N_q = \exp(\pi \tan 38.06) \tan^2(45 + 38.06 / 2)$$

$$N_q = 49.32$$

$$f_q = 1 + (1.22 / 8) \tan 38.06$$

$$f_q = 1.12$$

$$N_\gamma = 2(49.32 + 1) \tan 38.06$$

$$N_\gamma = 78.8$$

$$f_\gamma = 1 - 0.4(1.22 / 8)$$

$$f_\gamma = 0.94$$

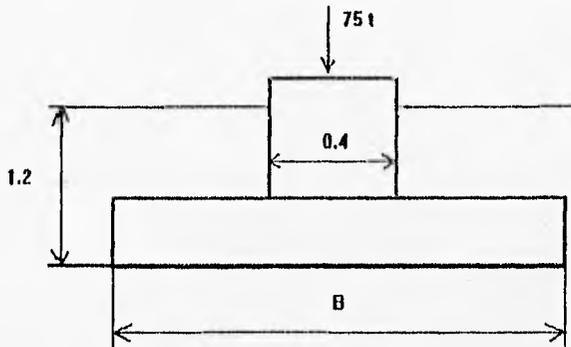
$$q_{Rf} = \{0.96[(1.12)(49.32) - 1] + (1.6)(1.22)(0.94)(78.8) / 2\}0.45 + 0.96$$

$$q_{Rf} = 56.9 \text{ t/m}^2$$

$$q_{cu} < q_{Rf} \rightarrow \text{cumple}$$

### 2.5 Zapata cuadrada sometida a carga vertical.

Analizar por capacidad de carga la zapata cuadrada de concreto reforzado de la siguiente figura.



Acotaciones en metros

$$F_C = 1.4$$

$$F_R = 0.45$$

Arena de grano medio

$$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$D_r = 62 \%$$

$$\varphi^* = 33^\circ$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

Determinación del área aproximada del cimientó, para el inicio de los cálculos

$$A \cong \Sigma Q' / q_{an} \quad (4)$$

donde

$\Sigma Q'$  = carga al nivel de la superficie del terreno o al nivel del piso terminado

$q_{an}$  = capacidad de carga admisible neta

Considerando que se trata de una arena compacta, la capacidad de carga admisible neta se toma de aproximadamente de  $14 \text{ t/m}^2$

$$A = 75 / 14$$

$$A = 5.36 \text{ m}^2$$

$$A = B^2$$

$$B = \sqrt{5.36}$$

$$B = 2.32 \rightarrow 2.3 \text{ m}$$

La determinación del ancho definitivo se lleva a cabo por tanteos, hasta que se satisfagan todos y cada uno de los estados límite de falla y de servicio. Procediendo de esta forma, se obtiene que un ancho  $B = 1.8 \text{ m}$  cumple con ello. A continuación se presentan los cálculos para esta dimensión de la zapata, suponiendo un peralte de  $40 \text{ cm}$ .

Peso total ( $\Sigma Q$ ) es igual a:

$$\Sigma Q = W_f + W_r + W_o + \Sigma Q'$$

Peso del relleno ( $W_r$ ):

$$W_r = [(1.8)^2 - (0.4)^2](0.8)(1.8)$$

$$W_r = 4.44 \text{ t}$$

Peso de la zapata ( $W_z$ ):

$$W_z = (1.8)^2(0.4)(2.4)$$

$$W_z = 3.11 \text{ t}$$

Peso de la columna ( $W_c$ ):

$$W_c = (0.4)^2(0.8)(2.4)$$

$$W_c = 0.31 \text{ t}$$

$$\sum Q = 4.44 + 3.11 + 0.31 + 75$$

$$\sum Q = 82.9 \text{ t}$$

Para cimentaciones desplantadas sobre suelos friccionantes se debe cumplir la siguiente desigualdad (ecuación 2):

$$q_{cu} < q_{Rf}$$

donde

$$q_{cu} = \sum Q F_c / A$$

$$q_{Rf} = [p_{ve}(f_q N_q - 1) + \gamma B f_\gamma N_\gamma / 2] F_R + p_v$$

$$q_{cu} = (82.9)(1.4) / (1.8)^2$$

$$q_{cu} = 35.82 \text{ t/m}^2$$

Dado que no existe nivel freático en el terreno de cimentación,

$$p_{ve} = p_v = \gamma D_f$$

$$p_{ve} = p_v = 1.8(1.2)$$

$$p_{ve} = p_v = 2.16 \text{ t/m}^2$$

para  $0.5 < D_f < 0.7$ :

$$\alpha = 0.67 + 1.65(D_f - 0.5)$$

$$\alpha = 0.67 + 1.65(0.62 - 0.5)$$

$$\alpha = 0.868$$

$$\varphi = \text{ang tan}(\alpha \tan \varphi^*)$$

$$\varphi = \text{ang tan}(0.868 \tan 33)$$

$$\varphi = 29.41^\circ$$

$$f_q = 1 + (B / L) \tan \varphi$$

$$f_q = 1 + (1.8 / 1.8) \tan 29.41$$

$$f_q = 1.56$$

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2(45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = \exp(\pi \tan 29.41) \tan^2(45 + 29.41 / 2)$$

$$N_q = 17.22$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = 2(17.22 + 1) \tan 29.41$$

$$N_\gamma = 20.54$$

$$f_\gamma = 1 - 0.4(B / L)$$

$$f_\gamma = 1 - 0.4(1.8 / 1.8)$$

$$f_\gamma = 0.6$$

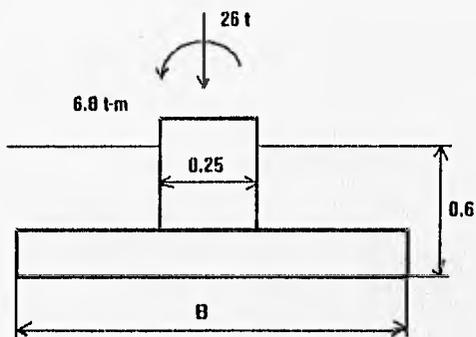
$$q_{Rf} = \{2.16[(1.56)(17.22) - 1] + (1.8)(1.8)(0.6)(20.54) / 2\}(0.45) + 2.16$$

$$q_{Rf} = 36.28 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$q_{cu} < q_{Rf} \rightarrow \text{cumple}$$

## 2.6 Zapata rectangular sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales

Revisar por capacidad de carga la zapata aislada de concreto reforzado de la siguiente figura



Elevación

Acotaciones en metros

$$F_c = 1.4$$

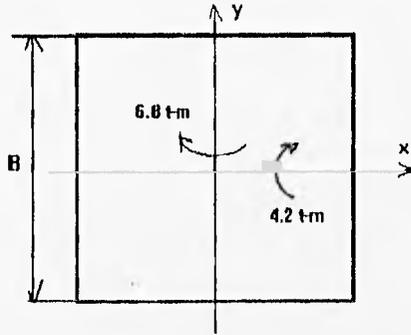
$$F_R = 0.45$$

Arena de grano medio

$$\phi^* = 37^\circ$$

$$D_r = 58\%$$

$$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$



Planta  
Acotaciones en metros

Determinación del área aproximada del cimiento (ecuación 4)

$$A = \sum Q' / q_{an}$$

Cuando existen momentos se tiene que trabajar con las dimensiones reducidas  $B'$  y  $L'$

Consideremos inicialmente que no existen momentos y que las dimensiones  $B$  y  $L$  son iguales, entonces  $B' = L'$

$$A' = B' L'$$

$$A' = \sum Q' / q_{an}$$

$$\sum Q' = 26 \text{ t}$$

Para arena medianamente compacta:

$$q_{an} = 10 \text{ t/m}^2$$

$$A' = 26 / 10$$

$$A' = 2.6 \text{ m}^2 \Rightarrow$$

$$B' = L' = \sqrt{A'}$$

$$B' = \sqrt{2.6}$$

$$B' = 1.61 \text{ m}$$

Hay que tomar en cuenta ahora el efecto de los momentos. Consideremos que sólo existe momento alrededor del eje "y" (ecuación 3)

$$B = B' + 2e_x$$

$$e_x \cong M_y / 1.15(\Sigma Q')$$

(Considerando un 15% de incremento debido al peso del cemento)

$$e_x = 6.8 / [(1.15)(26)]$$

$$e_x = 0.23 \text{ m}$$

$$B = 1.61 + 2(0.23)$$

$$B = 2.07 \text{ m}$$

Como se trata de un cálculo aproximado, se inicia la revisión de la seguridad de la cimentación con un ancho intermedio entre 1.61 y 2.07 m, digamos con  $B = 1.8 \text{ m}$ .

Procediendo por tanteos, se obtiene que para  $B = 1.7 \text{ m}$  no se excede el estado límite de falla del suelo, con una buena aproximación.

Suponiendo una zapata de 25 cm de peralte:

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_t + W_z + W_c + \Sigma Q'$$

Peso del relleno ( $W_r$ )

$$W_r = (1.7 - 0.25)^2 (0.35)(1.8)$$

$$W_r = 1.32 \text{ t}$$

Peso zapata ( $W_z$ )

$$W_z = (1.7)^2 (0.25)(2.4)$$

$$W_z = 1.73 \text{ t}$$

Peso columna ( $W_c$ )

$$W_c = (0.25)^2 (0.35)(2.4)$$

$$W_c = 0.05 \text{ t} \quad \rightarrow$$

$$\Sigma Q = 1.32 + 1.73 + 0.05 + 26$$

$$\Sigma Q = 29.1 \text{ t}$$

$$e_x = M_y / \Sigma Q$$

$$e_x = 6.8 / 29.1$$

$$e_x = 0.23 \text{ m}$$

$$e_y = M_x / \Sigma Q$$

$$e_y = 4.2 / 29.1$$

$$e_y = 0.14 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e_x$$

$$B' = 1.7 - 2(0.23)$$

$$B' = 1.24 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_y$$

$$L' = 1.7 - 2(0.14)$$

$$L' = 1.42 \text{ m}$$

En suelos puramente friccionantes se debe satisfacer lo siguiente (ecuación 2):

$$q_{cu} < q_{Rf}$$

donde

$$q_{cu} = \Sigma QF_c / A$$

$$q_{Rf} = [p_{vg}(f_q N_q - 1) + \gamma B f_\gamma N_\gamma / 2] F_R + p_v$$

$$\Sigma QF_c / A = (29.1)(1.4) / [(1.24)(1.42)]$$

$$\Sigma QF_c / A = 23.14 \text{ t/m}^2$$

para  $0.5 < D_r < 0.7$

$$\alpha = 0.67 + 1.65(D_r - 0.5)$$

$$\alpha = 0.67 + 1.65(0.58 - 0.5)$$

$$\alpha = 0.802$$

$$\varphi = \text{ang } \tan(\alpha \tan \varphi^*)$$

$$\varphi = \text{ang } \tan(0.802 \tan 37)$$

$$\varphi = 31.15^\circ$$

$$f_q = 1 + (B / L) \tan \varphi$$

$$f_q = 1 + (1.24 / 1.42) \tan 31.15$$

$$f_q = 1.53$$

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2(45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = \exp(\pi \tan 31.15) \tan^2(45 + 31.15 / 2)$$

$$N_q = 20.99$$

$$f_\gamma = 1 - 0.4(B / L)$$

$$f_{\gamma} = 1 - 0.4(1.24 / 1.42)$$

$$f_{\gamma} = 0.85$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

$$N_{\gamma} = 2(20.99 + 1) \tan 31.15$$

$$N_{\gamma} = 26.58$$

Ya que no se presenta nivel freático en el terreno de cimentación:

$$p_v = p_{ve}$$

$$p_v = \gamma D_f$$

$$p_v = (1.8)(0.6)$$

$$p_v = 1.08 \text{ t/m}^2$$

$$q_{Rf} = \{1.08[(1.53)(20.99) - 1] + [(1.8)(1.24)(0.85)(26.58) / 2]\}(0.45) + 1.8$$

$$q_{Rf} = 25.6 \text{ t/m}^2$$

$$q_{cu} (q_{Rf}) \Rightarrow \text{cumple}$$

## 2.7 Cimentación compensada.

Revisar por capacidad de carga el subsuelo de la cimentación del edificio con las características que se indican a continuación:

Edificio de 4 niveles

Área de la cimentación de 20 por 26 m

Profundidad de despiante= 2.4 m

Profundidad de sondeo= 22.8 m

Profundidad del nivel de agua freática (NAF)= 1.8 m

Estratigrafía y propiedades del subsuelo

Est	c	$\gamma$	H (m)	Lim (m)	w (%)	Observaciones
1	5.6	1.27	1.8	0.0-1.8	58.2	Limo arenoso café osc. y verde olivo
2		1.83	0.3	1.8-2.1	35.8	Arena limosa verde, med. compacta
3	2.9	1.33	2.4	2.1-4.5	72.5	Limo poco arenoso verde olivo
4		1.53	0.3	4.5-4.8	77.6	Arena limosa gris, med. compacta
5	2.7	1.2	0.6	4.8-5.4	218.2	Limo verde olivo
6	3.9	1.53	1.2	5.4-6.0	77.5	Limo verde olivo con arena gris
7	1.9	1.39	4.8	6.8-11.4	109.6	Limo arcilloso verde olivo
8	2.8	1.18	3.6	11.4-15	260.4	Limo arcilloso verde olivo
9		1.95	1.2	15-16.2	26.1	Arena limosa negra
10	3.2	1.23	0.6	16.2-16.8	204.3	Limo arcilloso verde olivo
11	3.5	1.49	0.6	16.8-17.4	76.8	Limo verde olivo
12	3	1.21	3	17.4-20.4	321.3	Limo arcilloso verde olivo
13	1.6	1.18	1.8	20.4-22.2	241.4	Limo arcilloso verde olivo
14	3.6	1.38	1.2	22.2-23.4	112.9	Limo arcilloso verde olivo
15	2.6	1.13	1.8	23.4-25.2	382.1	Limo arcilloso verde olivo
16		1.83	3.6	25.2-28.8	53.4	Arena limosa muy compacta

Nota: c= cohesión en  $t/m^2$ ,  $\gamma$ = peso volumétrico en  $t/m^3$ , H= espesor del estrato en m, Lim= límites del estrato, w= contenido de agua en %

Cargas que transmite el edificio a nivel de desplante

Primer tipo de combinación de cargas: acciones permanentes más acciones variables (con intensidad máxima la más desfavorable).

$$\Sigma Q = 3330 \text{ t}$$

Segundo tipo de combinación de cargas: acciones permanentes más acciones variables con intensidad instantánea y acciones accidentales (viento o sismo). Entre las acciones debidas al sismo, se incluirá la fuerza de inercia que obra en la masa de suelo potencialmente deslizante que subyace al cimiento de la construcción.

$$\Sigma Q = 2960 \text{ t}$$

Momento de volteo en los dos sentidos

$$4970 \text{ t-m}$$

Si bien el subsuelo de la cimentación presenta una estratigrafía variada, puede suponerse que su comportamiento corresponde al de un suelo cohesivo debido a que en la profundidad de interés, es decir, igual a la del ancho del edificio, predominan las características propias de este suelo tanto en el número de estratos, como del espesor de los mismos.

Según la ecuación (1), se debe cumplir:

$$q_{cu} \geq q_{Rc}$$

donde

$$q_{cu} = \Sigma Q F_c / A$$

$$q_{Rc} = c_u N_c F_R + p_v$$

Primera combinación de cargas

$$A = (20)(26)$$

$$A = 520 \text{ m}^2$$

$$q_{cu} = (3330 / 520)(1.4)$$

$$q_{cu} = 8.97 \text{ t/m}^2$$

$c_u$  = cohesión aparente, tomando un promedio pesado entre 2.4 y 22.4 m de profundidad

$$c_u = [2.9(2.1) + 2.7(0.6) + 3.9(1.2) + 1.9(4.8) + 2.8(3.6) + 3.2(0.6) + 3.5(0.6) + 3(3) + 1.8(1.8) + 3.6(0.2)] / 18.5$$

$$c_u = 2.63 \text{ t/m}^2$$

$$F_R = 0.7$$

$$N_c = 5.14(1 + 0.25D_f / B + 0.25B / L)$$

$$D_f / B = 2.4 / 20$$

$$D_f / B = 0.12 < 2$$

$$B / L = 20 / 26$$

$$B / L = 0.77 < 1$$

$$N_c = 5.14[1 + 0.25(0.12) + 0.25(0.77)]$$

$$N_c = 6.28$$

$$p_v = 1.27(1.8) + 1.83(0.3) + 1.33(0.3)$$

$$p_v = 3.23 \text{ t/m}^2$$

$$q_{Rc} = (2.63)(6.28)(0.7) + 3.23$$

$$q_{Rc} = 14.8 \text{ t/m}^2$$

$$q_{cu} < q_{Rc} \rightarrow \text{cumple}$$

La cimentación es estable para la primera combinación de cargas

Segunda combinación de cargas

A partir de la ecuación (3)

$$e = M / \sum Q$$

$$e = 4970 / 2960$$

$$e = 1.68 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e$$

$$B' = 20 - 2(1.68)$$

$$B' = 16.64 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e$$

$$L' = 26 - 2(1.68)$$

$$L' = 22.64 \text{ m}$$

$$A' = B' L'$$

$$A' = (16.64)(22.64)$$

$$A' = 377 \text{ m}^2$$

Para un suelo puramente cohesivo, el efecto de la fuerza de inercia se toma en cuenta multiplicando la capacidad de carga neta del suelo por el siguiente factor (Normas de Emergencia, 1985)

$$f = 1 - 0.12 F_{c_s} b_y / F_R c_u$$

$c_s$  = aceleración del terreno de cimentación, como una fracción de la aceleración

de la gravedad, que corresponde a la ordenada al origen del espectro de aceleración para diseño sísmico. En las Normas de Sismo,

$$c_s = c / 4 \quad (\text{cap III})$$

Para la zona III del Distrito Federal  $c = 0.4$

$$c_s = 0.4 / 4$$

$$c_s = 0.1$$

$b = \text{menor}(d, 1.2h, 20 \text{ m})$

$d =$  dimensión del área reducida de contacto en la dirección que se analiza.

$$d = B' = 16.64 \text{ m}$$

$h =$  profundidad del desplante del cimiento hasta la capa dura más próxima

$$h = 25.2 - 2.4$$

$$h = 22.8 \text{ m}$$

$$1.2h = 1.2(22.8)$$

$$1.2h = 27.36 \text{ m} \rightarrow$$

$$b = 16.64 \text{ m}$$

$\gamma =$  peso volumétrico promedio a nivel de desplante

$$\gamma = [1.27(1.8) + 1.83(0.3) + 1.33(0.3)] / 2.4$$

$$\gamma = 1.35 \text{ t/m}^3$$

$$f = 1 - 0.12(1.1)(0.1)(16.64)(1.35) / [(0.7)(2.63)]$$

$$f = 0.84$$

$$q_{cu} = \Sigma QF_c / A'$$

$$q_{cu} = (2960 / 377)(1.1)$$

$$q_{cu} = 8.64 \text{ t/m}^2$$

$$q_{Rc} = c_u N_c F_{Rf} + p_v$$

$$N_c = 5.14(1 + 0.25D_f / B' + 0.25B' / L')$$

$$D_f / B' = 2.4 / 16.64$$

$$D_f / B' = 0.14 < 2$$

$$B' / L' = 16.64 / 22.64$$

$$B' / L' = 0.73 < 1$$

$$N_c = 5.14[1 + 0.25(0.14) + 0.25(0.73)]$$

$$N_c = 6.26$$

$$q_{Rc} = (2.63)(6.26)(0.7)(0.84) + 3.23$$

$$q_{Rc} = 12.91 \text{ t/m}^2$$

$$q_{cu} < q_{Rc} \rightarrow \text{cumple}$$

### 2.8 Pilote de punta.

Determinar la capacidad de carga admisible por punta de un pilote apoyado en el estrato 5 de la siguiente tabla. El diámetro del pilote vale 0.4 m y su longitud es 15.4 m. El área tributeria del pilote  $a'$  vale  $3.0 \text{ m}^2$ . En el estrato resistente  $c_d = 3 \text{ t/m}^2$ ,  $\varphi_d = 40^\circ$ ,  $D_f = 0.85$ ; emplear un factor de seguridad  $FS = 2$ .  $NAF = 1$  de profundidad.

Estrato	Límites (m)	Descripción	$\gamma$ ( $\text{t/m}^3$ )
1	0.0-4.2	Limo arenarcilloso	1.48
2	4.2-7.3	Limo arcilloso	1.18
3	7.3-9.2	Arcilla limosa	1.14
4	9.2-15.4	Limo arcilloso	1.17
5	15.4-	Arena limosa	

Nomenclatura

NAF= nivel de agua freática

$\gamma$ = peso volumétrico natural

$c_d$ = cohesión determinada en prueba de compresión triaxial drenada

$\phi_d$ = ángulo de fricción interna determinado en prueba de compresión triaxial drenada

$D_r$ = compacidad relativa

a) Cálculo de la fricción negativa

$$FN = (\omega K_\phi \int_0^L p'_{v0} dz) / (1 + \omega K_\phi L / 3a')$$

La cantidad  $\int_0^L p'_{v0} dz$  representa el área bajo el diagrama de presión vertical efectiva.

Est	$\gamma$ ( $\text{t/m}^3$ )	H (m)	$p_v$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\gamma_w z$ ( $\text{t/m}^2$ )	$p'_{vo}$ ( $\text{t/m}^2$ )	Área del diagrama ( $\text{t/m}$ )
1*	1.48	1.0	1.48	0.0	1.48	0.74
1**	1.48	3.2	8.22	3.2	3.02	7.2
2	1.18	3.1	9.81	8.3	3.51	10.12
3	1.14	1.9	11.08	6.2	3.78	8.93
4	1.17	6.2	19.23	14.4	4.83	28.69
					SUMA	51.68

#### Nomenclatura

H= Espesor del estrato

$p_v$ = presión vertical debida al peso propio

$\gamma_w z$ = presión hidrostática

$p'_{vo}$ = presión efectiva inicial

Nota:  $p_v$ ,  $\gamma_w z$ ,  $p'_{vo}$  y el área del diagrama de presión efectiva están referidos al límite del estrato.

$$\int_0^L p'_{vo} dz = 51.68 \text{ t/m}$$

$$\omega = 2\pi r$$

$$r = 1.05r_0$$

$$r = 1.05(0.4 / 2)$$

$$r = 0.21 \text{ m}$$

$$\omega = 2\pi(0.21)$$

$$\omega = 1.319 \text{ m}$$

$$K_{\varphi} = \tan \varphi_p (1 - \sin^2 \varphi) / (1 + \sin^2 \varphi)$$

donde,  $\varphi_p$  = ángulo de fricción interna entre suelo y pilote

Empleando  $\varphi_p = 26^\circ$  en arcilla remoldeada alrededor del pilote

$$K_{\varphi} = \tan 26^\circ (1 - \sin^2 26^\circ) / (1 + \sin^2 26^\circ)$$

$$K_{\varphi} = 0.3305$$

$$FN = [(1.319)(0.3305)(51.68)] / [1 + 1.319(0.3305)(15.4) / 3(3)]$$

$$FN = 12.9 \text{ t}$$

b) Capacidad de carga admisible

$$C_{pa} = [\alpha_1(c_d N_c + p'_v N_q)(D_r + 0.1) / FS + p_v] a_p - FN$$

$a_p$  = área del pilote

$$a_p = \pi(0.2)^2$$

$$a_p = 0.126 \text{ m}^2$$

$\alpha_1$  = factor de forma, que para pilotes de sección cuadrada o circular vale 1.2

$p'_v$  = presión vertical efectiva al nivel de desplante del pilote

$$p'_v = p'_{v0} - \Delta p'_v$$

$$\Delta p'_v = FN / a'$$

$$\Delta p'_v = 12.9 / 3$$

$$\Delta p'_v = 4.3 \text{ t/m}^2$$

$$p'_{v0} = 4.83 \text{ t/m}^2$$

$$p'_v = 4.83 - 4.3$$

$$p'_v = 0.53 \text{ t/m}^2$$

$$p_v = 19.23 \text{ t/m}^2$$

Para  $\varphi = 40^\circ$  y  $\beta = 0$ :

$$N_c = \tan(45 + \varphi/2) + \\ + [\exp(3\pi/2 - \varphi) \tan \varphi - 1] / 2\cos^2(45 + \varphi/2) \tan \varphi$$

$$\varphi = 40^\circ = 0.698 \text{ rad}$$

$$N_c = \tan(45 + 40/2) + \\ + [\exp(3\pi/2 - 0.698) \tan 40 - 1] / [2\cos^2(45 + 40/2) \tan 40]$$

$$N_c = 95.66$$

$$N_q = \exp(3\pi/2 - \varphi) \tan \varphi / 2\cos^2(45 + \varphi/2)$$

$$N_q = \exp(3\pi/2 - 0.698) \tan 40 / 2\cos^2(45 + 40/2)$$

$$N_q = 81.27$$

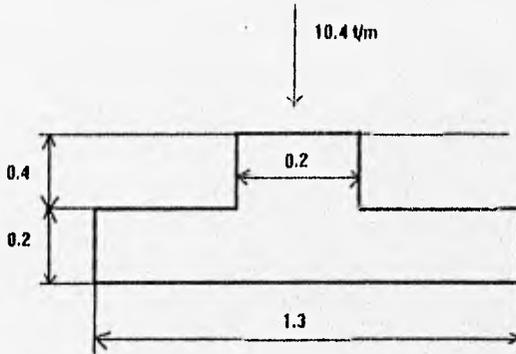
$$C_{pa} = \{1.2[(3)(95.66) + (0.53)(81.27)](0.85 + 0.1)/2 + 19.23\}(0.126) - 12.9$$

$$C_{pa} = 13.23 \text{ t}$$

**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS DE DEFORMACIONES EN SUELOS**

3.1 Zapata corrida sometida a carga vertical.

Revisar el asentamiento instantáneo de la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud de la zapata es de  $L = 6$  m.



Acotaciones en metros

Asentamiento permisible = 3 cm

$E = 1600 \text{ t/m}^2$

$\vartheta = 0.25$

$\gamma_m = 1.5 \text{ t/m}^3$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

Asentamiento instantáneo bajo la esquina de un rectángulo cargado sobre un medio semiinfinito:

$$\delta = \left[ \frac{q(1-\nu^2)}{\pi E} \right] \left\{ L \ln \left[ \frac{B + \sqrt{B^2 + L^2}}{L} \right] + B \ln \left[ \frac{L + \sqrt{L^2 + B^2}}{B} \right] \right\} \quad (5)$$

donde

q= carga uniformemente repartida

$\nu$ = relación de Poisson

E= módulo de elasticidad del suelo

L= longitud del rectángulo

B= ancho del rectángulo

Para este ejemplo se emplea como carga el incremento neto de presión ( $q_n$ ):

$$q_n = q - \gamma D_f$$

donde

$$q = \Sigma Q / A$$

q= presión media de contacto

$\Sigma Q$ = peso total

A= área del cimiento

$\gamma$  = peso volumétrico del suelo

$D_f$  = profundidad de desplante

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_r + W_z + \Sigma Q'$$

Peso del relleno ( $W_r$ )

$$W_r = (1.3 - 0.2)(0.4)(1.5)$$

$$W_r = 0.66 \text{ t}$$

Peso de la zapata ( $W_z$ )

$$W_z = [(1.3)(0.2) + (0.2)(0.4)](2.4)$$

$$W_z = 0.82 \text{ t}$$

Peso de la estructura ( $\Sigma Q'$ )

$$\Sigma Q' = 10.4 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 0.66 + 0.82 + 10.4$$

$$\Sigma Q = 11.88 \text{ t ( por cada metro de longitud de zapata)}$$

$$q_{an} = (11.88 / 1.3) - (1.5)(0.6)$$

$$q_{an} = 8.24 \text{ t/m}^2$$

$$B = 1.3 / 2$$

$$B = 0.65 \text{ m}$$

$$L = 6 / 2$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Nótese que el área cargada se divide en cuatro

$$\delta = (8.24) [1 - 0.25^2] / [\pi (1600)] \{ 3 \ln [ (0.65 + \sqrt{0.65^2 + 3^2}) / 3 ]$$

$$+ 0.65 \ln [ (3 + \sqrt{3^2 + 0.65^2}) / 0.65 ] \}$$

$$\delta = 0.0032 \text{ m}$$

El asentamiento total al centro del área se obtiene multiplicando por cuatro el resultado previo:

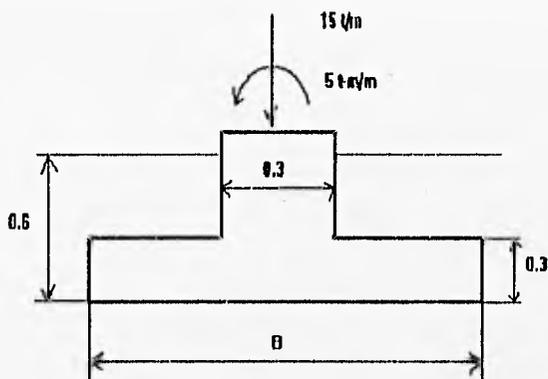
$$\delta_T = 4(0.0032)$$

$$\delta_T = 0.0128 \text{ m} = 1.28 \text{ cm}$$

que resulta menor que el asentamiento permisible de 3 cm

### 3.2 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento.

Determinar el giro y el asentamiento instantáneo de la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud de la zapata es de  $L = 8$  m.



Acotaciones en metros

Giro permisible = 0.82 %

Asentamiento permisible = 5 cm

$$\gamma_m = 1.6 \text{ t/m}^3$$

$$E = 900 \text{ t/m}^2$$

$$g = 0.25$$

Arena compacta

El ancho de la zapata se obtiene con (ecuación 4):

$$A = \Sigma Q' / q_{an}$$

Considerando inicialmente que no existe momento, entonces el ancho  $B' = B$  ;

trabajando por unidad de longitud de cimiento:  $A = B(1) = B$

$$B' = \Sigma Q' / q_{an}$$

Para el tipo de suelo que se presenta puede tomarse

$$q_{an} = 13 \text{ t/m}^2$$

$$B' = 15 \text{ t} / (13 \text{ t/m})$$

$$B' = 1.15 \text{ m}$$

Si existe momento (según ecuación 3):

$$B = B' + 2e$$

$$e = M / \Sigma Q$$

Suponiendo un 15% de incremento debido al peso del cimiento:

$$e \cong 5 / [(1.15)(\Sigma Q')]$$

$$e \cong 5 / [(1.15)(15)]$$

$$e \cong 0.29 \text{ m} \rightarrow 0.3 \text{ m} \Rightarrow$$

$$B = 1.15 + 2(0.3)$$

$$B = 1.75 \text{ m}$$

Giro del cimiento (Fröhlich)

$$\theta = \text{ang tan } 16(1 - \vartheta^2) M / \pi EB^2 \quad (6)$$

donde

$\nu$  = relación de Poisson

M = momento por unidad de longitud

E = módulo de deformación del suelo

B = ancho del cimiento

$$\theta = \text{ang tan } 16(1 - 0.25^2)(5) / [\pi(900)(1.75)^2]$$

$$\theta = 0.00866 = 0.866\% > 0.82\%$$

Incrementando el ancho a 1.8 m:

$$\theta = \text{ang tan } 16(1 - 0.25^2)(5) / [\pi(900)(1.8)^2]$$

$$\theta = 0.00818 = 0.818\% < 0.82\%$$

que cumple con la condición

Asentamiento instantáneo (ecuación 5)

$$\delta = [q(1 - \nu^2) / (\pi E)] \{ L \ln [ (B + \sqrt{B^2 + L^2}) / L ] \\ + B \ln [ (L + \sqrt{L^2 + B^2}) / B ] \}$$

Para este ejemplo se empleará la presión media de contacto para calcular el asentamiento instantáneo

$$q = \Sigma Q / A$$

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = \Sigma Q' + W_1 + W_2 + W_c$$

Relleno ( $W_r$ )

$$W_r = 0.3(1.8)(1.8 - 0.3)$$

$$W_r = 0.72 \text{ t}$$

Zapata ( $W_z$ )

$$W_z = 0.3(2.4)(1.8)$$

$$W_z = 1.3 \text{ t}$$

Contratrabe ( $W_c$ )

$$W_c = 0.3(2.4)(0.3)$$

$$W_c = 0.22 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 15 + 0.72 + 1.3 + 0.22$$

$$\Sigma Q = 17.2 \text{ t (por cada metro de longitud de zapata)}$$

$$q = 17.2 / 1.8$$

$$q = 9.56 \text{ t/m}^2$$

$$B = 1.8 / 2$$

$$B = 0.9 \text{ m}$$

$$L = 8 / 2$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\delta = (9.56) [1 - 0.25^2] / [\pi (900)] \{ 4 \ln [ (0.9 + \sqrt{0.9^2 + 4^2}) / 4 ]$$

$$+ 0.9 \ln [ (4 + \sqrt{4^2 + 0.9^2}) / 0.9 ] \}$$

$$\delta = 0.0091 \text{ m}$$

Relleno ( $W_1$ )

$$W_1 = 0.3(1.8)(1.8 - 0.3)$$

$$W_1 = 0.72 \text{ t}$$

Zapata ( $W_2$ )

$$W_2 = 0.3(2.4)(1.8)$$

$$W_2 = 1.3 \text{ t}$$

Contrarabe ( $W_3$ )

$$W_3 = 0.3(2.4)(0.3)$$

$$W_3 = 0.22 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 15 + 0.72 + 1.3 + 0.22$$

$$\Sigma Q = 17.2 \text{ t (por cada metro de longitud de zapata)}$$

$$q = 17.2 / 1.8$$

$$q = 9.56 \text{ t/m}^2$$

$$B = 1.8 / 2$$

$$B = 0.9 \text{ m}$$

$$L = 8 / 2$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\delta = (9.56) [1 - 0.25^2] / [\pi (900)] \{ 4 \ln [ (0.9 + \sqrt{0.9^2 + 4^2}) / 4 ]$$

$$+ 0.9 \ln [ (4 + \sqrt{4^2 + 0.9^2}) / 0.9 ] \}$$

$$\delta = 0.0091 \text{ m}$$

El asentamiento total al centro del área cargada es igual a:

$$\delta_r = 4\delta$$

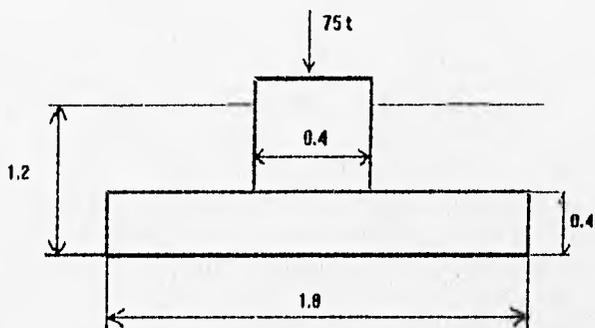
$$\delta_r = 4(0.0091)$$

$$\delta_r = 0.036 \text{ m} = 3.6 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  cumple

### 3.3 Zapata cuadrada sometida a carga vertical.

Revisar el asentamiento instantáneo de la zapata cuadrada de concreto reforzado de la siguiente figura.



Acotaciones en metros

Arena de grano medio

Asentamiento permisible= 5 cm

$$\gamma_m = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$E = 1200 \text{ t/m}^2$$

$$g = 0.25$$

De la ecuación 5

$$\delta = [q(1-\nu^2) / (\pi E)] \{ L \ln [ (B + \sqrt{B^2 + L^2}) / L ] \\ + B \ln [ (L + \sqrt{L^2 + B^2}) / B ] \}$$

Empleando la presión media de contacto:

$$q = \Sigma Q / A$$

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_r + W_z + W_c + \Sigma Q'$$

Relleno ( $W_r$ )

$$W_r = [(1.8)^2 - (0.4)^2](0.8)(1.8)$$

$$W_r = 4.44 \text{ t}$$

Zapata ( $W_z$ )

$$W_z = (1.8)^2(0.4)(2.4)$$

$$W_z = 3.11 \text{ t}$$

Columna ( $W_c$ )

$$W_c = (0.4)^2(0.8)(2.4)$$

$$W_c = 0.31 \text{ t}$$

Estructura ( $\Sigma Q'$ )

$$\Sigma Q' = 75 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 4.44 + 3.11 + 0.31 + 75$$

$$\Sigma Q = 82.9 \text{ t}$$

$$q = 82.9 / (1.8)^2$$

$$q = 25.59 \text{ t/m}^2$$

$$B = L = 1.8 / 2$$

$$B = L = 0.9 \text{ m}$$

Nótase que el área cargada se divide en cuatro

$$\delta = (25.59) (1 - 0.25^2) / [\pi (1200)] \{0.9 \ln \{ (0.9 + \sqrt{0.9^2 + 0.9^2}) / 0.9 \}$$

$$+ 0.9 \ln \{ (0.9 + \sqrt{0.9^2 + 0.9^2}) / 0.9 \}}$$

$$\delta = 0.01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Asentamiento total:

$$\delta_T = 4\delta$$

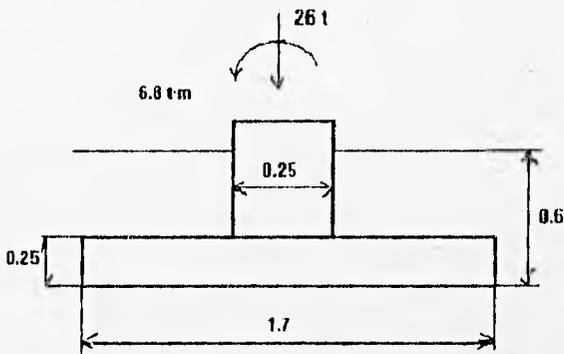
$$\delta_T = 4(1)$$

$$\delta_T = 4 \text{ cm} \quad ( 5 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  cumple

3.4 Zapata cuadrada sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales.

Revisar el asentamiento instantáneo y el giro de la zapata aislada de concreto reforzado de la siguiente figura.



Elevación

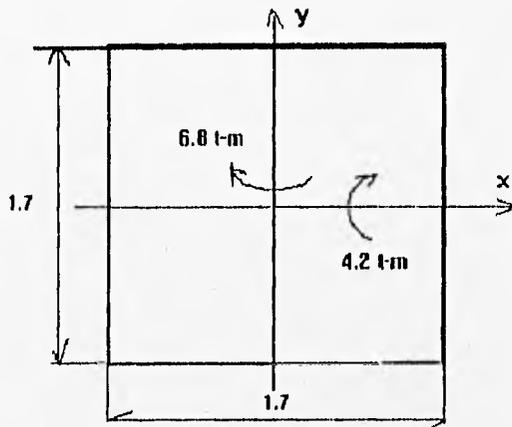
Acotaciones en metros

Arena de grano medio

$$\gamma_m = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

Asentamiento permisible = 6 cm



Planta

Acotaciones en metros

Giro permisible= 0.9%

$\nu = 0.25$

$E = 900 \text{ t/m}^2$

De la ecuación 5:

$$\delta = \left\{ \frac{q(1-\nu^2)}{\pi E} \right\} \left[ L \ln \left\{ \frac{(B + \sqrt{B^2 + L^2})}{L} \right\} \right]$$

$$+ B \ln \left\{ \frac{(L + \sqrt{L^2 + B^2})}{B} \right\}$$

**Empleando la presión media de contacto**

$$q = \Sigma Q / A$$

**Peso total ( $\Sigma Q$ )**

$$\Sigma Q = W_r + W_z + W_o + \Sigma Q'$$

**Peso del relleno ( $W_r$ )**

$$W_r = (1.7 - 0.25)^2(0.35)(1.8)$$

$$W_r = 1.32 \text{ t}$$

**Peso de la zapata ( $W_z$ )**

$$W_z = (1.7)^2(0.25)(2.4)$$

$$W_z = 1.73 \text{ t}$$

**Peso de la columna ( $W_o$ )**

$$W_o = (0.25)^2(0.35)(2.4)$$

$$W_o = 0.05 \text{ t}$$

**Peso de la estructura ( $\Sigma Q'$ )**

$$\Sigma Q' = 26 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 1.32 + 1.73 + 0.05 + 26$$

$$\Sigma Q = 29.1 \text{ t}$$

$$q = 29.1 / (1.7)^2$$

$$q = 10.07 \text{ t/m}^2$$

$$B = L = 1.7 / 2$$

$$B = L = 0.85 \text{ m}$$

**Nótese que el área cargada se divide en cuatro**

$$\delta = (10.07) (1 - 0.25^2) / (\pi E) \{0.851n [0.85 + \sqrt{0.85^2 + 0.85^2}] / 0.85\}$$

$$+ 0.851n \{ (0.85 + \sqrt{0.85^2 + 0.85^2}) / 0.85 \}$$

$$\delta = 0.005 \text{ m} = 0.5 \text{ cm}$$

$$\delta_r = 4\delta$$

$$\delta_r = 4(0.5)$$

$$\delta_r = 2 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \Rightarrow \text{cumple}$$

Giro alrededor del eje y

De manera aproximada se puede calcular el giro de la zapata, obteniendo el momento de inercia en la dirección que se está analizando y determinar el radio equivalente a un círculo.

$$I_r = bh^3 / 12$$

$$I_r = (1.7)(1.7)^3 / 12$$

$$I_r = 0.696 \text{ m}^4$$

$$R = (4I_r / \pi)^{1/4}$$

$$R = [4(0.696) / \pi]^{1/4}$$

$$R = 0.97 \text{ m}$$

Finalmente, el giro del círculo ocasionado por un momento M vale (Richart):

$$\theta_v = [3(1 - \nu)M] / (8GR^3) \quad (7)$$

donde

$$G = E / [2(1 + \nu)]$$

$$G = 900 / [2(1 + 0.25)]$$

$$G = 360 \text{ t/m}^2$$

$$\theta_y = [(3)(1 - 0.25)(6.8)] / [(8)(360)(0.97)^3]$$

$$\theta_y = 0.0058 = 0.58\%$$

$$\theta_y < 0.9\% \Rightarrow \text{cumple}$$

El giro alrededor del eje x se calcula en forma análoga.

### 3.5 Cimentación compensada.

Revisar los asentamientos producidos por el edificio de las siguientes características:

Edificio de 4 niveles

Área de cimentación de 20 por 26 m

Profundidad de desplante= 2.4 m

Profundidad del nivel de agua freática (NAF)= 1.8 m

Cargas que transmite el edificio a nivel de cimentación

Primer tipo de combinación de cargas: acciones permanentes más variables

Carga total media= 2610 t

Peso unitario medio= 5.02 t/m<sup>2</sup>

Carga total máxima= 3330 t

Peso unitario máximo= 6.4 t/m<sup>2</sup>

Segundo tipo de combinación de cargas: acciones permanentes más variables y accidentales

Carga total instantánea= 2960 t

Peso unitario instantáneo= 5.69 t/m<sup>2</sup>

Momento de volteo=4970 t·m (en ambos sentidos)

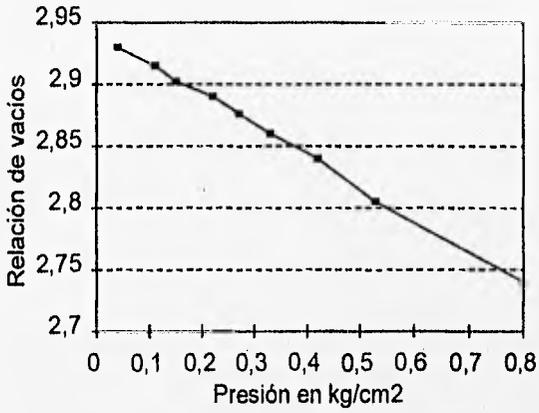
Ver posteriormente, el efecto del abatimiento por bombeo del nivel piezométrico, de 1.5 m an el estrato que aparece de 4.5 a 4.8 m de profundidad.

Estratigrafía y propiedades del subsuelo

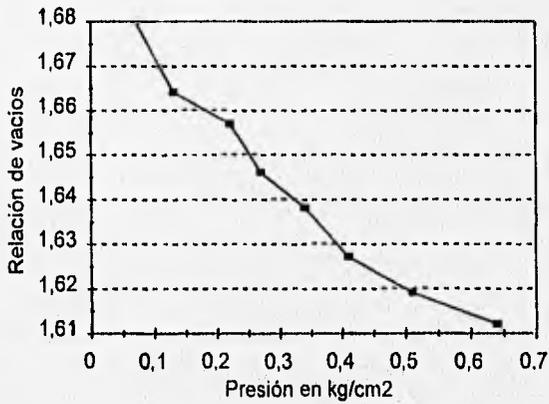
Est	$\gamma_m$ (t/m <sup>3</sup> )	LIm (m)	w%	$E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_{din}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.27	0.0-1.8	56.2			
2	1.83	1.8-2.1	35.8			
3	1.33	2.1-4.5	72.5	97	68	182
4	1.53	4.5-4.8	77.6	98	69	186
5	1.2	4.8-5.4	218.2	45	32	85
6	1.53	5.4-6.6	77.5	99	69	191
7	1.39	6.6-11.4	109.6	64	45	118
8	1.18	11.4-15	260.4	45	32	87
9	1.95	15-16.2	28.1	120	49	238
10	1.23	16.2-16.8	204.3	46	32	84
11	1.49	16.8-17.4	76.8	69	48	128
12	1.21	17.4-20.4	321.3	65	46	119
13	1.18	20.4-22.2	241.4	85	60	164
14	1.38	22.2-23.4	112.9	97	68	179
15	1.13	23.4-25.2	382.1	50	25	93
16	1.83	25.2-28.8	53.4			

$E_s$  = módulo de elasticidad del suelo,  $E_c$  = módulo de deformación del suelo en compresión,  $E_{din}$  = módulo de elasticidad dinámico del suelo.

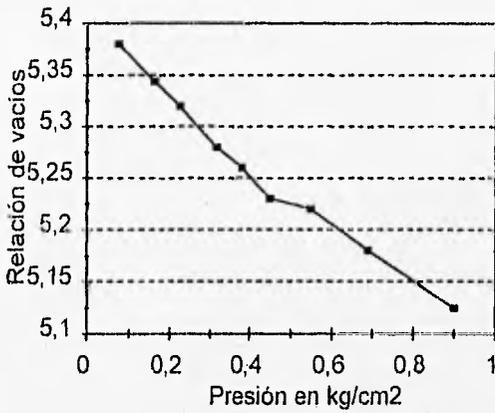
Curva de compresibilidad 1, profundidad 3.3 m, estrato 3



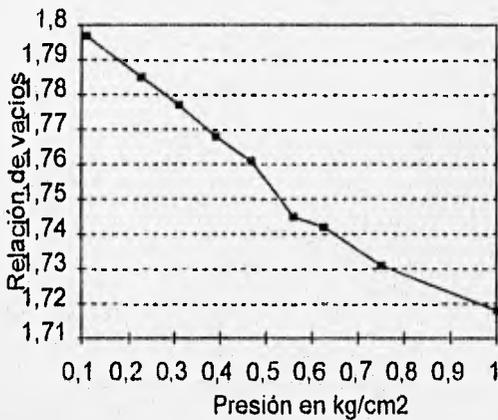
Curva de compresibilidad 2, profundidad 4.7 m, estrato 4



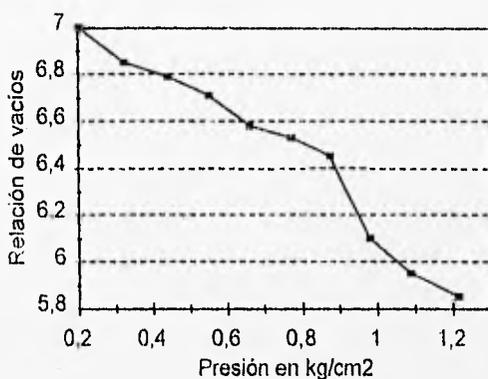
Curva de compresibilidad 3. profundidad 5.1 m, estrato 5



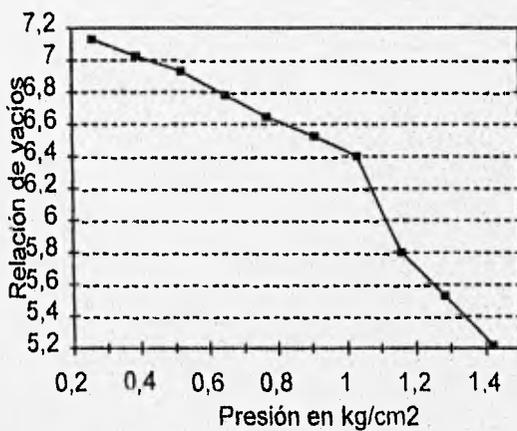
Curva de compresibilidad 4. profundidad 6.9 m, estrato 7



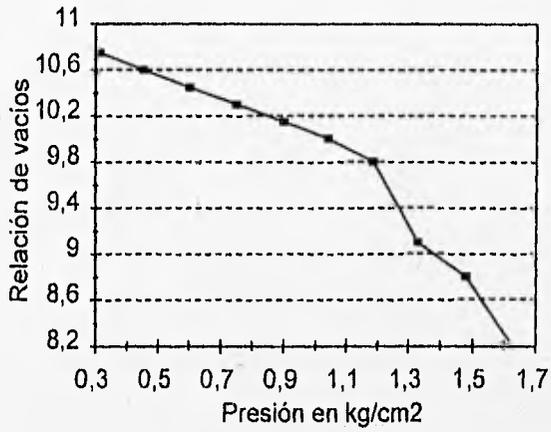
Curva de compresibilidad 5, profundidad 14.7 m, estrato 8



Curva de compresibilidad 6, profundidad 19.5 m, estrato 12



Curva de compresibilidad 7, profundidad 23.7 m, estrato 15



Cálculo de la expansión por excavación (instantánea)

Est	$z'$ (m)	H (m)	$E_s$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\eta$	$\rho_s$ ( $\text{t/m}^3$ )	$\sigma_z$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\sigma_x$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\sigma_y$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\delta_s$ (m)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
3	1.05	2.4	970	0.45	4.63	3.23	2.66	2.69	0.0017
4	2.25	0.3	980	0.45	6.26	3.21	2.20	2.30	0.0003
5	2.7	0.6	450	0.45	6.85	3.20	2.03	2.15	0.0012
6	4.2	1.2	990	0.45	8.12	3.12	1.54	1.72	0.0012
7	6.8	4.8	640	0.45	12.38	2.89	0.95	1.16	0.0070
8	10.8	3.6	450	0.45	17.84	2.32	0.40	0.56	0.0055
9	13.2	1.2	1200	0.25	21.13	2.00	0.08	0.17	0.0008
10	14.1	0.6	460	0.45	22.67	1.89	0.21	0.31	0.0062
11	14.7	0.6	690	0.45	23.49	1.81	0.18	0.28	0.0004
12	16.5	3.0	650	0.45	25.75	1.81	0.13	0.21	0.0017
13	18.9	1.8	650	0.45	28.63	1.38	0.08	0.14	0.0008
14	20.4	1.2	970	0.45	30.52	1.25	0.08	0.11	0.0003
15	21.9	1.8	500	0.45	32.36	1.14	0.05	0.09	0.0007
								SUMA	0.0274

## Notas

(1) Distancia medida desde el nivel de desplante (2.4 m) hasta el centro del estrato.

(2) Espesor del estrato.

(3) Módulo de elasticidad obtenido en pruebas de rebote elástico.

(4) Relación de Poisson.

(5) Esfuerzo total vertical ( $\gamma_m z$ ) debido al peso propio del terreno.

(6) Esfuerzo normal vertical bajo la esquina de un rectángulo, calculado con la expresión:

$$\sigma_z = (q / 2\pi) [(1 / (x^2 + z^2) + 1 / (y^2 + z^2))(xyz) / A + \text{ang tan } (xy / zA)]$$

$$\text{donde } A = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

La carga uniforme  $q$  es igual a  $3.23 \text{ t/m}^2$  que corresponde al esfuerzo total vertical a la profundidad de desplante. El resultado se multiplica finalmente por cuatro, debido a que se requiere el incremento al centro del área cargada.

(7) Incremento de esfuerzo calculado con la expresión:

$$\sigma_x = (q / 2\pi) [\pi / 2 - (xyz) / (x^2 + z^2)A - \text{ang tan } (zA / xy) + (1 - 2\nu)(\text{ang tan } y/x - \text{ang tan } (yA / xz))]$$

(8) Incremento de esfuerzo obtenido con:

$$\sigma_y = (q / 2\pi) [\pi / 2 - (xyz) / (y^2 + z^2)A - \text{ang tan } (zA / xy) + (1 - 2\nu)(\text{ang tan } x/y - \text{ang tan } (xA / yz))]$$

(9) Deformación en cada estrato determinada con:

$$\delta_s = \rho_s H (\sigma_z - 3(\sigma_x + \sigma_y)) / E_s$$

$$\text{donde } \rho_s = (\sigma_z / p_o)^{c-1} \quad \text{y} \quad c = 1.5$$

El asentamiento instantáneo por recompresión es aproximadamente igual a la

expansión instantánea y se determina en forma similar a dicha expansión, salvo que se omita en su cálculo del factor de expansión ( $\rho_e$ ) y se involucra el módulo de recompresión ( $E_{rc}$ ) correspondiente.

Cálculo del asentamiento por compresión

Est	$z'$ (m)	H (m)	$\rho$	$E_c$ ( $t/m^2$ )	$\sigma_z$ ( $t/m^2$ )	$\sigma_x$ ( $t/m^2$ )	$\sigma_y$ ( $t/m^2$ )	$\delta_c$ (m)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
3	1.05	2.4	0.45	680	3.17	2.62	2.64	0.00283
4	2.25	0.3	0.45	690	3.15	2.16	2.25	0.00051
5	2.7	0.6	0.45	320	3.14	1.99	2.11	0.00243
6	4.2	1.2	0.45	690	3.06	1.51	1.69	0.00282
7	6.6	4.8	0.45	450	2.84	0.94	1.14	0.02031
8	10.8	3.8	0.45	320	2.28	0.39	0.55	0.02089
9	13.2	1.2	0.25	490	1.96	0.075	0.17	0.00485
10	14.1	0.6	0.45	320	1.85	0.20	0.31	0.00304
11	14.7	0.6	0.45	480	1.78	0.18	0.28	0.00197
12	16.5	3.0	0.45	460	1.58	0.13	0.20	0.00934
13	18.9	1.8	0.45	600	1.35	0.08	0.14	0.00375
14	20.4	1.2	0.45	680	1.23	0.06	0.11	0.00204
15	21.9	1.8	0.45	250	1.12	0.05	0.09	0.00761
							SUMA	0.08219

Notas

(1) Distancia medida desde el nivel de desplante (2.4 m) hasta el centro del estrato.

(2) Espesor del estrato.

(3) Relación de Poisson.

(4) Módulo de elasticidad en compresión.

(5) Esfuerzo normal vertical bajo la esquina de un rectángulo, calculado con:

$$\sigma_z = (q / 2\pi) [(1 / (x^2 + z^2) + 1 / (y^2 + z^2))(xyz) / A + \text{ang tan } (xy / zA)]$$

$$\text{donde } A = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

La carga uniforme  $q$  es igual a  $6.4 - 3.23 = 3.17 \text{ t/m}^2$  que es el incremento neto de carga obtenido de restar al peso unitario máximo la presión total a nivel de desplante. El resultado se multiplica finalmente por cuatro, debido a que se requiere el incremento al centro del área cargada.

(6) Incremento de esfuerzo calculado con la expresión:

$$\sigma_x = (q / 2\pi) [\pi / 2 - (xyz) / (x^2 + z^2) A - \text{ang tan } (zA / xy) + (1 - 2\nu)(\text{ang tan } y / x - \text{ang tan } (yA / xz))]$$

(7) Incremento de esfuerzo obtenido con:

$$\sigma_y = (q / 2\pi) [\pi / 2 - (xyz) / (x^2 + z^2) A - \text{ang tan } (zA / xy) + (1 - 2\nu)(\text{ang tan } x / y - \text{ang tan } (xA / yz))]$$

(8) Deformación en cada estrato determinada con:

$$\delta_e = H [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] / E_c$$

Deformaciones transitorias y permanentes bajo cargas sísmicas

Los asentamientos ocasionados por una carga vertical  $\Sigma Q$  y un momento de volteo  $M$ , se pueden determinar en forma aproximada con el siguiente procedimiento:

Se calcula la reacción del terreno de cimentación empleando la fórmula de la escuadría

$$\sigma = \Sigma Q / A \pm 6M / b^2h$$

$$\Sigma Q / A = 5.69 \text{ t/m}^2$$

$$M = 4970 \text{ t-m}$$

$$b = 20 \text{ m}$$

$$h = 26 \text{ m}$$

$$\sigma = 5.69 \pm 6(4970) / (20)^2(26)$$

$$\sigma_u = 8.56 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_b = 2.82 \text{ t/m}^2$$

Para el cálculo de los esfuerzos en la masa de suelo, dividimos la carga trapezoidal sobre el terreno en pequeñas cargas rectangulares, v. gr. unas 5.

Alturas de las cargas rectangulares:

$$y = mx + b$$

$$m = (8.56 - 2.82) / 20$$

$$m = 0.287$$

$$y = 0.287x + 2.82$$

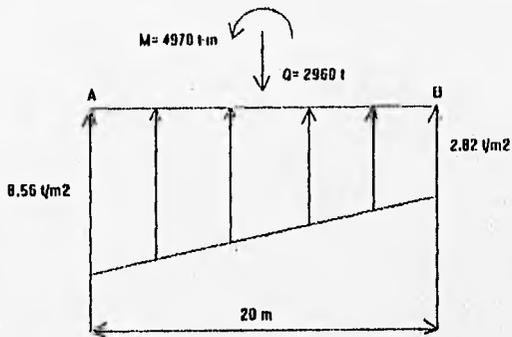
$$y_1 = 3.39 \text{ t/m}^2$$

$$y_2 = 4.54 \text{ t/m}^2$$

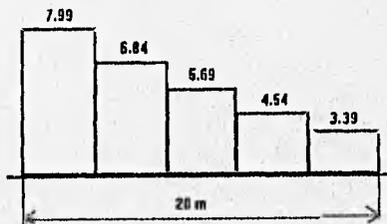
$$y_3 = 5.69 \text{ t/m}^2$$

$$y_4 = 6.84 \text{ t/m}^2$$

$$y_5 = 7.99 \text{ t/m}^2$$



Reacción del terreno



Cargas en t/m<sup>2</sup>

Incremento de esfuerzo  $\sigma_z$  en el punto A ( $\text{t/m}^2$ )

$z'$ (m)	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	Total
1.05	1.98	0.01	0.00085	0.0008	0.0003	1.99
2.25	1.89	0.08	0.0089	0.002	0.0006	1.98
2.7	1.83	0.12	0.014	0.002	0.0004	1.97
4.2	1.6	0.26	0.042	0.01	0.002	1.91
6.6	1.25	0.42	0.11	0.03	0.008	1.82
10.8	0.86	0.47	0.19	0.073	0.026	1.62
13.2	0.71	0.44	0.21	0.094	0.037	1.49
14.1	0.67	0.43	0.22	0.1	0.041	1.46
14.7	0.64	0.42	0.22	0.102	0.043	1.43
16.5	0.57	0.39	0.22	0.11	0.049	1.34
18.9	0.5	0.38	0.21	0.117	0.058	1.24
20.4	0.45	0.33	0.21	0.118	0.059	1.17
21.9	0.42	0.31	0.2	0.118	0.06	1.11

Incremento de esfuerzo  $\sigma_z$  en el punto B ( $U/m^2$ )

$z'$ (m)	Carga 5	Carga 4	Carga 3	Carga 2	Carga 1	Total
1.05	0.841	0.007	0.00085	0.0005	0.003	0.85
2.25	0.802	0.052	0.0089	0.003	0.001	0.87
2.7	0.777	0.078	0.014	0.004	0.002	0.88
4.2	0.68	0.172	0.042	0.014	0.007	0.92
6.6	0.532	0.276	0.106	0.045	0.021	0.98
10.0	0.364	0.31	0.193	0.11	0.062	1.04
13.2	0.303	0.294	0.216	0.141	0.089	1.04
14.1	0.284	0.285	0.221	0.15	0.097	1.04
14.7	0.273	0.279	0.222	0.155	0.102	1.03
16.5	0.243	0.262	0.222	0.167	0.117	1.01
18.9	0.21	0.236	0.217	0.175	0.132	0.97
20.4	0.193	0.221	0.211	0.178	0.138	0.94
21.9	0.178	0.209	0.205	0.178	0.143	0.91

Incremento de esfuerzo  $\sigma_x$  en el punto A ( $t/m^2$ )

$z'$ (m)	9	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	Total
1.05	0.45	1.34	0.249	0.065	0.021	0.008	1.68
2.25	0.45	0.785	0.425	0.14	0.055	0.023	1.43
2.7	0.45	0.635	0.452	0.163	0.066	0.028	1.34
4.2	0.45	0.316	0.436	0.211	0.096	0.043	1.1
6.6	0.45	0.114	0.3	0.22	0.121	0.061	0.82
10.8	0.45	0.025	0.13	0.153	0.114	0.068	0.49
13.2	0.25	0.032	0	0.086	0.077	0.051	0.25
14.1	0.45	0.007	0.069	0.102	0.091	0.063	0.33
14.7	0.45	0.005	0.061	0.094	0.087	0.061	0.31
16.5	0.45	0.002	0.044	0.075	0.074	0.055	0.25
18.9	0.45	0	0	0.055	0.059	0.048	0.16
20.4	0.45	0	0	0.045	0.051	0.043	0.14
21.9	0.45	0	0	0.038	0.044	0.038	0.12

Incremento de esfuerzo  $\sigma_x$  en el punto B ( $t/m^2$ )

$z'$ (m)	$\theta$	Carga 5	Carga 4	Carga 3	Carga 2	Carga 1	Total
1.05	0.45	0.569	0.166	0.065	0.034	0.019	0.85
2.25	0.45	0.333	0.282	0.14	0.083	0.053	0.89
2.7	0.45	0.27	0.3	0.183	0.1	0.066	0.9
4.2	0.45	0.134	0.289	0.211	0.144	0.103	0.88
6.6	0.45	0.048	0.199	0.22	0.182	0.143	0.79
10.8	0.45	0.01	0.988	0.153	0.172	0.162	1.48
13.2	0.25	0	0	0.086	0.116	0.12	0.32
14.1	0.45	0.003	0.046	0.102	0.137	0.147	0.44
14.7	0.45	0.002	0.041	0.094	0.131	0.143	0.41
16.5	0.45	0.008	0.03	0.075	0.111	0.13	0.35
18.9	0.45	0	0	0.055	0.089	0.111	0.26
20.4	0.45	0	0	0	0.077	0.101	0.18
21.9	0.45	0	0	0	0.066	0.09	0.16

Incremento de esfuerzo  $\sigma_x$  en el punto A ( $t/m^2$ )

$z'$ (m)	$\eta$	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	Total
1.05	0.45	1.511	0.13	0.04	0.018	0.0004	1.7
2.25	0.45	1.205	0.228	0.069	0.028	0.0005	1.53
2.7	0.45	1.107	0.253	0.079	0.031	0.0001	1.47
4.2	0.45	0.843	0.298	0.103	0.041	0.0002	1.29
6.6	0.45	0.572	0.288	0.122	0.052	0.00008	1.03
10.8	0.45	0.322	0.209	0.112	0.055	0.0004	0.7
13.2	0.25	0.15	0.107	0.068	0.037	0.0003	0.36
14.1	0.45	0.216	0.153	0.091	0.049	0	0.51
14.7	0.45	0.201	0.144	0.088	0.047	0	0.48
16.5	0.45	0.164	0.12	0.076	0.043	0	0.4
16.9	0.45	0.126	0.095	0.062	0.037	0	0.32
20.4	0.45	0.107	0.082	0.056	0.034	0	0.28
21.9	0.45	0.091	0.071	0.049	0.03	0	0.24

Incremento de esfuerzo  $\sigma_y$  en el punto B ( $t/m^2$ )

$z'$ (m)	$\beta$	Carga 5	Carga 4	Carga 3	Carga 2	Carga 1	Total
1.05	0.45	0.641	0.086	0.04	0.026	0.021	0.81
2.25	0.45	0.511	0.151	0.069	0.042	0.029	0.8
2.7	0.45	0.47	0.168	0.079	0.046	0.032	0.8
4.2	0.45	0.358	0.198	0.103	0.081	0.041	0.76
6.6	0.45	0.243	0.191	0.122	0.077	0.051	0.66
10.8	0.45	0.137	0.139	0.112	0.082	0.059	0.53
13.2	0.25	0.064	0.071	0.066	0.057	0.048	0.31
14.1	0.45	0.092	0.101	0.091	0.073	0.056	0.41
14.7	0.45	0.085	0.096	0.088	0.071	0.055	0.4
16.5	0.45	0.07	0.08	0.076	0.065	0.051	0.34
18.9	0.45	0.053	0.063	0.062	0.056	0.046	0.28
20.4	0.45	0.045	0.054	0.058	0.051	0.043	0.25
21.9	0.45	0.039	0.047	0.049	0.046	0.04	0.22

Punto A

$z'$ (m)	H (m)	$\beta$	$E_{din}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_z$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_x$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (t/m <sup>2</sup> )	$\delta_s$ (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.05	2.4	0.45	1620	1.99	1.68	1.7	0.00062
2.25	0.3	0.45	1860	1.96	1.43	1.53	0.0001
2.7	0.6	0.45	850	1.97	1.34	1.47	0.0005
4.2	1.2	0.45	1910	1.91	1.1	1.29	0.00052
6.6	4.8	0.45	1180	1.82	0.82	1.03	0.00402
10.8	3.6	0.45	870	1.62	0.49	0.7	0.00449
13.2	1.2	0.25	2380	1.49	0.25	0.36	0.00067
14.1	0.6	0.45	840	1.46	0.33	0.51	0.00077
14.7	0.6	0.45	1280	1.43	0.31	0.46	0.0005
16.5	3.0	0.45	1190	1.34	0.25	0.4	0.00284
18.9	1.8	0.45	1640	1.24	0.16	0.32	0.00112
20.4	1.2	0.45	1790	1.17	0.14	0.28	0.00066
21.9	1.8	0.45	930	1.11	0.12	0.24	0.00183
						SUMA	0.01844

Punto A

$z'$ (m)	H (m)	$\theta$	$E_{din}$ ( $U/m^2$ )	$\sigma_z$ ( $U/m^2$ )	$\sigma_x$ ( $U/m^2$ )	$\sigma_y$ ( $U/m^2$ )	$\delta_s$ (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.05	2.4	0.45	1820	1.99	1.68	1.7	0.00062
2.25	0.3	0.45	1860	1.98	1.43	1.53	0.0001
2.7	0.6	0.45	850	1.97	1.34	1.47	0.0005
4.2	1.2	0.45	1910	1.91	1.1	1.29	0.00052
6.6	4.8	0.45	1180	1.82	0.82	1.03	0.00402
10.8	3.6	0.45	870	1.62	0.49	0.7	0.00449
13.2	1.2	0.25	2380	1.49	0.25	0.36	0.00067
14.1	0.6	0.45	840	1.46	0.33	0.51	0.00077
14.7	0.6	0.45	1280	1.43	0.31	0.48	0.0005
18.5	3.0	0.45	1190	1.34	0.25	0.4	0.00264
18.9	1.8	0.45	1640	1.24	0.18	0.32	0.00112
20.4	1.2	0.45	1790	1.17	0.14	0.28	0.00066
21.9	1.8	0.45	930	1.11	0.12	0.24	0.00183
						SUMA	0.01844

## Notas

(1) Distancia medida a partir del nivel de desplante (2.4 m) hasta el centro del estrato.

(2) Espesor del estrato.

(3) Relación de Poisson.

(4) Módulo de elasticidad dinámico.

(5) Esfuerzo normal vertical en el punto A calculado con:

$$\sigma_z = (q / 2\pi) \left\{ \left( 1 / (x^2 + z^2) + 1 / (y^2 + z^2) \right) (xyz) / A + \text{ang tan } (xy / zA) \right\}$$

$$\text{donde } A = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

Las cargas que se consideraron para calcular los incrementos de esfuerzo  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  se obtuvieron de convertir la distribución trapezoidal de esfuerzos debida a la carga vertical y el momento, en un sistema equivalente de cinco cargas rectangulares. Asimismo, se empleó el artificio de adición y sustracción de áreas para obtener el incremento de esfuerzo en el punto de interés.

(6) Incremento de esfuerzo en el punto A obtenido con:

$$\sigma_x = (q / 2\pi) \left[ \pi / 2 - (xyz) / (x^2 + z^2)A - \text{ang tan } (zA / xy) + \right. \\ \left. + (1 - 2\theta)(\text{ang tan } y / x - \text{ang tan } (yA / xz)) \right]$$

(7) Incremento de esfuerzo en el punto A calculado con:

$$\sigma_y = (q / 2\pi) \left[ \pi / 2 - (xyz) / (y^2 + z^2)A - \text{ang tan } (zA / xy) + \right. \\ \left. + (1 - 2\theta)(\text{ang tan } x / y - \text{ang tan } (xA / yz)) \right]$$

(8) Deformación en el estrato determinada con:

$$\delta_a = [\sigma_z - \theta(\sigma_x + \sigma_y)] H / E_{din}$$

Punto B

$z'$ (m)	H (m)	$\theta$	$E_{a1}$ ( $V/m^2$ )	$\sigma_z$ ( $V/m^2$ )	$\sigma_x$ ( $V/m^2$ )	$\sigma_y$ ( $V/m^2$ )	$\delta_z$ (m)
1.05	2.4	0.45	1820	0.85	0.85	0.81	0.00014
2.25	0.3	0.45	1860	0.87	0.89	0.8	0.000018
2.7	0.6	0.45	850	0.88	0.9	0.8	0.000081
4.2	1.2	0.45	1910	0.92	0.88	0.76	0.00011
6.8	4.8	0.45	1180	0.98	0.79	0.68	0.0013
10.8	3.6	0.45	870	1.04	1.48	0.53	0.00056
13.2	1.2	0.25	2380	1.04	0.32	0.31	0.00044
14.1	0.6	0.45	840	1.04	0.44	0.41	0.00047
14.7	0.6	0.45	1280	1.03	0.41	0.4	0.00031
16.5	3.0	0.45	1190	1.01	0.35	0.34	0.00178
18.9	1.8	0.45	1640	0.97	0.26	0.28	0.0008
20.4	1.2	0.45	1790	0.94	0.18	0.25	0.0005
21.9	1.8	0.45	930	0.91	0.16	0.22	0.00143
						SUMA	0.00791

Giro elástico del cajón de cimentación

$$\theta_e = (\delta_a - \delta_b) / B$$

donde

B= ancho del cajón

$$\delta_a = 1.84 \text{ cm}$$

$$\delta_b = 0.8 \text{ cm}$$

$$\theta_e = (1.84 - 0.8) / 2000$$

$$\theta_e = 0.00052$$

Giro permanente

En una cimentación bien diseñada, el giro permanente es del orden del 40 al 70%

del giro elástico; tomando conservadoramente el límite superior:

$$\theta_p = 0.7\theta_e$$

$$\theta_p = 0.7(0.00052)$$

$$\theta_p = 0.000364 = 0.0364\%$$

Giro permisible

$$G.P. = 100 / (100 + 3h), \text{ en por ciento}$$

donde h= altura de la construcción

$$h = 14 \text{ m}$$

$$G.P. = 100 / [100 + 3(14)]$$

$$G.P. = 0.704 \text{ por ciento}$$

$$\theta_p < G.P.$$

⇒ correcto

Asentamiento diferido

z (m) (1)	Curva (2)	z' (m) (3)	H (m) (4)	$p_o$ (t/m <sup>2</sup> ) (5)	$\sigma_z$ (t/m <sup>2</sup> ) (6)	$p_t$ (t/m <sup>2</sup> ) (7)	$e_o$ (8)	$e_t$ (9)	$\delta$ (m) (10)
3.45	1	1.05	2.4	2.99	1.79	4.78	2.07	2.82	0.031
4.85	2	2.25	0.3	3.41	1.78	5.19	1.637	1.618	0.00216
5.1	3	2.7	0.6	3.55	1.77	5.32	5.268	5.222	0.0044
9	4	6.6	4.8	5.19	1.6	6.79	1.752	1.738	0.0244
13.2	5	10.8	3.6	6.44	1.29	7.73	6.6	6.53	0.03316
16.5	5	14.1	0.6	7.98	1.04	9.02	6.49	6.33	0.0128
18.9	6	16.5	3.0	8.68	0.89	9.55	6.55	6.46	0.03576
21.3	6	18.9	1.8	9.13	0.76	9.89	6.52	6.44	0.01914
24.3	7	21.9	1.8	9.87	0.63	10.5	10.05	9.98	0.0114
								SUMA	0.1742

## Notas

- (1) Distancia medida desde el nivel del terreno hasta el centro del estrato.
- (2) Curva de compresibilidad asociada.
- (3) Distancia medida desde el nivel de desplante (2.4 m) hasta el centro del estrato.
- (4) Espesor del estrato.
- (5) Presión efectiva obtenida de restar del esfuerzo total vertical, la presión hidrostática (distribución lineal de equilibrio estático).
- (6) Incremento de esfuerzo obtenido con:

$$\sigma_z = (q / 2\pi) \left[ \left( 1 / (x^2 + y^2) + 1 / (y^2 + z^2) \right) (xyz) / A + \text{ang tan } (xy / zA) \right]$$

$$\text{donde } A = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

La carga uniforme  $q$  es igual a  $5.02 - 3.23 = 1.79 \text{ t/m}^2$  que es el incremento neto de carga, obtenido de restar al peso unitario medio la presión total a nivel de desplante. El resultado se multiplica finalmente por cuatro, debido a que se requiere el incremento al centro del área cargada.

- (7) Presión final obtenida con:

$$p_f = p_o + \sigma_z$$

- (8) Relación de vacíos inicial correspondiente a  $p_o$

- (9) Relación de vacíos final dada por  $p_f$

- (10) Deformación del estrato:

$$\delta = [(e_o - e_f) / (1 + e_o)] H$$

deformación total= asent. recomp. + asent. comp. + asent. difer.

$$\delta_T = 2.7 + 8.2 + 17.4$$

$$\delta_T = 28.3 \text{ cm} \sim 25 \text{ cm (hundimiento total permisible)}$$

Cálculo de las expansiones del suelo; efecto combinado de excavación y bombeo

Esfuerzos normales debidos a la excavación	Esfuerzos normales debidos al bombeo
--	--------------------------------------

$z'$ (m)	$\sigma_x$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$\sigma_z$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$\sigma_y$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$z^a$ (m)	$\sigma_x$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$\sigma_z$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$\sigma_y$ ( $\mu\text{m}^2$ )
(1)	(2)	(2)	(2)	(3)	(4)	(4)	(4)
2.7	3.2	2.03	2.15	0.3	1.5	1.38	1.37
4.2	3.12	1.54	1.72	1.2	1.49	1.21	1.22
6.6	2.89	0.95	1.16	4.2	1.45	0.72	0.8
10.8	2.32	0.4	0.56	8.4	1.24	0.3	0.38
13.2	2	0.076	0.17	10.8	1.08	0.09	0.15
14.1	1.89	0.21	0.31	11.7	1.02	0.15	0.22
14.7	1.81	0.18	0.28	12.6	0.96	0.13	0.19
16.5	1.61	0.13	0.21	14.1	0.88	0.1	0.14
18.9	1.36	0.08	0.14	16.5	0.75	0.06	0.1
20.4	1.25	0.06	0.11	18	0.68	0.05	0.07
21.9	1.14	0.05	0.09	19.5	0.62	0.03	0.06

## Notas

- (1) Distancia medida desde el nivel de desplante (2.4 m) hasta el centro del estrato.
- (2) Incrementos de esfuerzo producidos por la carga uniforme  $q = 3.23 \text{ t/m}^2$  que representa la presión total a nivel de desplante. Dichos esfuerzos se multiplican finalmente por cuatro, ya que se requiere el incremento al centro del área cargada.
- (3) Distancia medida desde los 4.8 m de profundidad hasta el centro del estrato.
- (4) Incrementos de esfuerzo producidos por la carga uniforme  $q = 1.5 \text{ t/m}^2$  que se produjo como resultado de un abatimiento promedio del nivel piezométrico de 1.5 m en el estrato de arena limosa gris que aparece de 4.5 a 4.8 m de profundidad. En estas condiciones, dicho abatimiento incrementa la presión efectiva y equivale a la colocación de una sobrecarga de  $1.5 \text{ t/m}^2$  a la profundidad de 4.8 m.

Cálculo de las expansiones del suelo; efecto combinado de excavación y bombeo

Diferencia entre esfuerzos	
----------------------------	--

H (m)	$\sigma_1$ ( $U/m^2$ )	$\sigma_2$ ( $U/m^2$ )	$\sigma_3$ ( $U/m^2$ )	$E_s$ ( $U/m^2$ )	$\beta$	$p_o$ ( $U/m^2$ )	$\delta_o$ (m)
(1)	(2)	(2)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0.6	1.7	0.65	0.70	450	0.45	6.85	0.0007
1.2	1.63	0.33	0.5	990	0.45	8.12	0.00068
4.8	1.44	0.23	0.36	640	0.45	12.38	0.003
3.6	1.08	0.1	0.17	450	0.45	17.84	0.00189
1.2	0.92	- 0.01	0.02	1200	0.25	21.13	0.00019
0.6	0.87	0.08	0.09	460	0.45	22.68	0.00021
0.6	0.85	0.05	0.09	690	0.45	23.49	0.00013
3	0.73	0.03	0.07	650	0.45	25.75	0.00053
1.8	0.63	0.02	0.04	850	0.45	28.63	0.00019
1.2	0.57	0.01	0.04	970	0.45	30.52	0.00009
1.8	0.52	0.02	0.03	500	0.45	32.36	0.00023
						<b>SUMA</b>	<b>0.00784</b>

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Notas

- (1) Espesor del estrato
- (2) Diferencia entre los esfuerzos por excavación y bombeo.
- (3) Módulo de elasticidad obtenido en pruebas de rebote elástico.
- (4) Relación de Poisson.
- (5) Esfuerzo total vertical ( $\gamma_m z$ ).
- (6) Deformación del estrato:

$$\delta_s = \rho_s \cdot H[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] / E_s$$

donde  $\rho_s = (\sigma_z / p_0)^{c-1}$  ,  $c = 1.5$

Expansión obtenida con excavación y bombeo = 0.00784 m

Expansión de los estratos 3 y 4 = 0.00196 m

$$\text{Expansión total} = 0.00784 + 0.00196$$

$$\text{Expansión total} = 0.0098 \text{ m}$$

Expansión sin bombeo = 0.02741 m  $\Rightarrow$

$$\text{Reducción} = (0.0098 / 0.02741)100$$

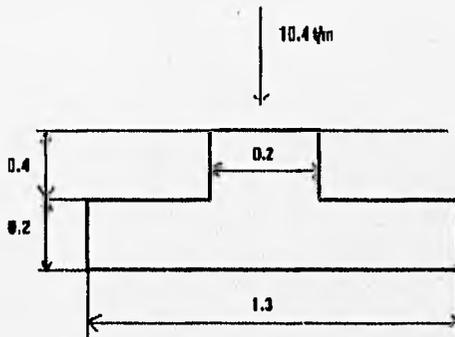
$$\text{Reducción} = 35.8\%$$

## CAPÍTULO IV

### CIMENTACIONES SOMERAS

#### 4.1 Zapata corrida sometida a carga vertical.

Realizar el diseño estructural de la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud es  $L = 6$  m.



Acotaciones en metros

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$F_o = 1.4$$

Varillas del No. 4; considerar que se coló una plantilla de concreto pobre.

### Revisión por cortante (tensión diagonal)

La revisión por cortante se lleva a cabo a una distancia "d" del paño del muro. Para esto se calcula el cortante último en esta sección y se compara con el cortante resistente del concreto

#### Peralte efectivo (d)

Dado que se cuela una plantilla de concreto pobre sobre el terreno de cimentación, el recubrimiento del acero puede ser de 3 cm y empleando varillas del no. 4 (diámetro= 1.27 cm)

$$d = 20 - 3 - 1.27/2$$

$$d = 16.4 \text{ cm}$$

En elementos anchos, como losas, zapatas y muros, en los que el ancho B no sea menor que cuatro veces el peralte efectivo d ( $B \geq 4d$ ), con espesor hasta de 60 cm y donde la relación  $M / Vd$  no exceda de 2, la fuerza cortante de diseño que toma el concreto  $V_{CR}$  puede tomarse igual a  $0.5F_Rbd\sqrt{f'_c}$ , independientemente de la cuantía de refuerzo.

$$4d = 4(16.4)$$

$$4d = 65.6 \text{ cm}$$

$$B = 130 \text{ cm}$$

$$B > 4d$$

$$h = 0.2 \text{ m}$$

$$h < 60 \text{ cm}$$

$$M = q_u l^2 / 2$$

$$V = q_u l$$

donde

$l$  = distancia a la sección crítica de interés medida a partir del extremo de la zapata.

$q_r$  = reacción neta calculada con:

$$q_r = q - \text{cargas debidas al peso propio de zapata y relleno}$$

$q$  = presión de contacto

$$q = \Sigma Q / A$$

Por tratarse de una zapata corrida, por sencillez de cálculo, se trabaja por metro de longitud

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_1 + W_2 + \Sigma Q'$$

Peso del relleno ( $W_1$ )

$$W_1 = (1.3 - 0.2)(0.4)(1.5)$$

$$W_1 = 0.66 \text{ t}$$

Peso de la zapata ( $W_2$ )

$$W_2 = [(1.3)(0.2) + (0.2)(0.4)](2.4)$$

$$W_2 = 0.816 \text{ t}$$

Peso de la estructura ( $\Sigma Q'$ )

$$\Sigma Q' = 10.4 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 0.66 + 0.816 + 10.4$$

$$\Sigma Q = 11.88 \text{ t}$$

$$q = 11.88 / 1.3$$

$$q = 9.14 \text{ t/m}^2$$

$$q_r = 9.14 - 0.2(2.4) - 0.4(1.5)$$

$$q_r = 8.08 \text{ t/m}^2$$

$$l = (1.3 - 0.2) / 2 - 0.164$$

$$l = 0.386 \text{ m}$$

$$M = (8.08)(0.386)^2 / 2$$

$$M = 0.6 \text{ t-m}$$

$$V = (8.08)(0.386)$$

$$V = 3.11 \text{ t}$$

$$M / Vd = 0.8 / (3.11)(0.164)$$

$$M / Vd = 1.18 < 2$$

⇒ cumple como elemento ancho

$$f'_c = 0.8f'_c$$

$$f'_c = 0.8(200)$$

$$f'_c = 160 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{CR} = 0.5 (0.8) (100) (16.4) \sqrt{160}$$

$$V_{CR} = 8,298 \text{ kg}$$

$$V_u = F_u V$$

$$V_u = 1.4(3.11)$$

$$V_u = 4.36 \text{ t} = 4,360 \text{ kg}$$

$$V_{CR} > V_u$$

⇒ cumple

## Flexión

La sección crítica para muro o columna de concreto reforzado corresponde al paño.

$$l = (1.3 / 2) - (0.2 / 2)$$

$$l = 0.55 \text{ m}$$

$$M = q_l l^2 / 2$$

$$M = (8.06)(0.55)^2 / 2$$

$$M = 1.22 \text{ t-m}$$

$$M_u = F_o M$$

$$M_u = (1.4)(1.22)$$

$$M_u = 1.71 \text{ t-m}$$

El acero mínimo está dado por

$$P_{\min} = 0.7 \sqrt{F'_c} / f_y$$

$$P_{\min} = 0.7 \sqrt{200} / 4200$$

$$P_{\min} = 0.00236$$

El porcentaje de acero máximo de tensión en elementos que forman parte de sistemas que deban resistir fuerzas sísmicas, corresponde al 75% del balanceado.

$$p_b = (f''_o / f_y) [4800 / (f_y + 6000)]$$

$$f''_o = 0.85f'_o \text{ si } f'_o \leq 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f''_o = (1.05 - f'_o / 1250)f'_o \text{ si } f'_o > 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 160 \text{ (250 kg/cm}^2 \text{)} \Rightarrow$$

$$f''_c = 0.85(160)$$

$$f''_c = 136 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_b = (136 / 4200)[4800 / (4200 + 6000)]$$

$$\rho_b = 0.01524$$

$$\rho_{\max} = 0.75(0.01524)$$

$$\rho_{\max} = 0.01143$$

El porcentaje de acero necesario para resistir un momento último  $M_u$  está dado por:

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2M_u / (F_y b d^2 f''_c)}$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - (2) (1.71E5) / [(0.9) (100) (16.4)^2 (136)]}$$

$$q = 0.05337$$

$$p = q f''_c / f_y$$

$$p = 0.05337(136) / 4200$$

$$p = 0.00173$$

$$\Rightarrow \text{rige } p_{\min}$$

Área de acero requerida

$$A_s = p b d$$

$$A_s = (0.00236)(100)(16.4)$$

$$A_s = 3.87 \text{ cm}^2$$

Separación de varillas

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (1.27)(100) / 3.87$$

$$s = 32.8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow 18 \# 4 @ 32 \text{ cm}$$

El refuerzo por cambios volumétricos se colocará en forma longitudinal y en el lecho superior, a pesar de que en este último caso la dimensión del elemento es menor a 1.5 m.

$$A_s = 66000 x_1 / [f_y(x_1 + 100)]$$

$A_s$  = área de acero requerida por temperatura en  $\text{cm}^2 / \text{m}$

$x_1$  = dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo (cm)

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

$$h > 15 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  el refuerzo se colocará en dos capas, próximas a las caras

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 20 / 2$$

$$x_1 = 10 \text{ cm}$$

En elementos en contacto con el terreno el refuerzo se multiplica por 1.5

$$A_s = 66000(1.5)(10) / [4200(10 + 100)]$$

$$A_s = 2.14 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de  $3.5 x_1$ ,

Separación de varillas

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (1.27)(100) / 3.87$$

$$s = 32.8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow 18 \# 4 @ 32 \text{ cm}$$

El refuerzo por cambios volumétricos se colocará en forma longitudinal y en el lecho superior, a pesar de que en este último caso la dimensión del elemento es menor a 1.5 m.

$$A_s = 66000 x_1 / [f_y(x_1 + 100)]$$

$A_s$  = área de acero requerida por temperatura en  $\text{cm}^2 / \text{m}$

$x_1$  = dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo (cm)

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

$$h > 15 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  el refuerzo se colocará en dos capas, próximas a las caras

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 20 / 2$$

$$x_1 = 10 \text{ cm}$$

En elementos en contacto con el terreno el refuerzo se multiplica por 1.5

$$A_s = 66000(1.5)(10) / [4200(10 + 100)]$$

$$A_s = 2.14 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de 3.5  $x_1$

Empleando varillas del No. 3 ( $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ )

En la dirección longitudinal:

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (0.71)(100) / 2.14$$

$$s = 33.17 \text{ cm}$$

⇒ en el lecho inferior:

$$3 \# 3 @ 33 \text{ cm}$$

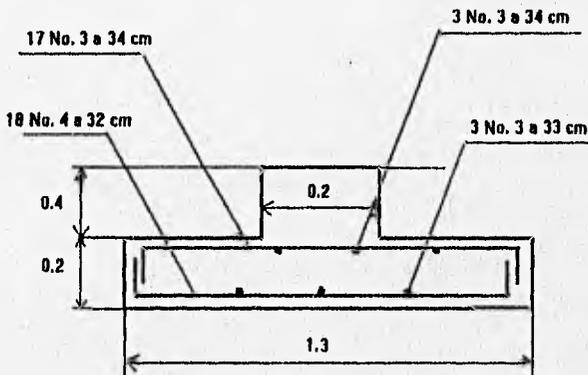
y en el lecho superior:

$$3 \# 3 @ 34 \text{ cm}$$

En la dirección corta

$$s = 33.17 \text{ cm}$$

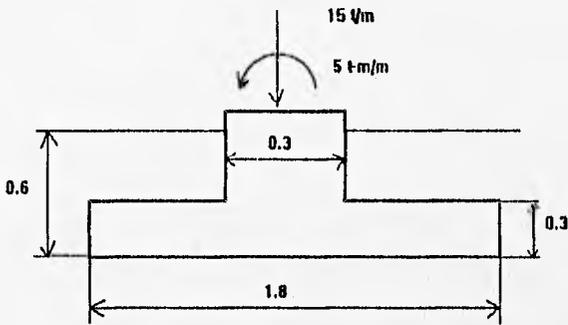
$$\Rightarrow 17 \# 3 @ 34 \text{ cm}$$



Acotaciones en metros

4.2 Zapata corrida sometida a carga vertical y momento.

Realizar el diseño estructural de la zapata corrida de concreto reforzado de la siguiente figura. La longitud de la zapata  $L = 8$  m.



Acotaciones en metros

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$$

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_o = 1.1$$

Utilizar varillas del No. 4

Considerar que se coló una plantilla de concreto pobre sobre el terreno de cimentación

Revisión por cortante (tensión diagonal)

Se propone un peralte total  $h = 20$  cm

Peralte efectivo ( $d$ )

Dado que se cuela una plantilla de concreto pobre, el recubrimiento puede ser de 3 cm y empleando varillas del no. 4 (diámetro = 1.27 cm):

$$d = 20 - 3 - 1.27 / 2$$

$$d = 16.4 \text{ cm}$$

Revisión de las condiciones necesarias para ser elemento ancho

$$B \geq 4d$$

$$B = 180 \text{ cm}$$

$$4d = 4(16.4)$$

$$4d = 65.6 \text{ cm}$$

$$B > 4d$$

$$h \leq 60 \text{ cm}$$

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

$$h < 60$$

$$M / Vd < 2$$

Por tratarse de una zapata corrida, por sencillez de cálculo, se trabaja por metro de longitud

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_1 + W_2 + W_3 + \Sigma Q'$$

**Relleno ( $W_r$ )**

$$W_r = 0.3(1.6)(1.8 - 0.3)$$

$$W_r = 0.72 \text{ t}$$

**Zapata ( $W_z$ )**

$$W_z = 0.3(2.4)(1.8)$$

$$W_z = 1.3 \text{ t}$$

**Contratrabe ( $W_c$ )**

$$W_c = 0.3(2.4)(0.3)$$

$$W_c = 0.22 \text{ t}$$

**Estructura ( $\Sigma Q'$ )**

$$\Sigma Q' = 15 \text{ t}$$

$$\Sigma Q = 0.72 + 1.3 + 0.22 + 15$$

$$\Sigma Q = 17.2 \text{ t}$$

**De la ecuación (3):**

$$e = M / \Sigma Q$$

$$e = 5 / 17.2$$

$$e = 0.29 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e$$

$$B' = 1.8 - 2(0.29)$$

$$B' = 1.22 \text{ m}$$

$$q = \Sigma Q / B'$$

$$q = 17.2 / 1.22$$

$$q = 14.1 \text{ t/m}^2$$

Reacción neta

$$q_r = 14.1 - 0.3(2.4) - 0.3(1.6)$$

$$q_r = 12.9 \text{ t/m}^2$$

La revisión por cortante se lleva a cabo a una distancia "d" del paño del muro

$$l = (1.8 - 0.3) / 2 - 0.164$$

$$l = 0.586 \text{ m}$$

$$M = q_r l^2 / 2$$

$$M = (12.9)(0.586)^2 / 2$$

$$M = 2.21 \text{ t-m}$$

$$V = q_r l$$

$$V = (12.9)(0.586)$$

$$V = 7.56 \text{ t}$$

$$M / Vd = 2.21 / [(7.56)(0.164)]$$

$$M / Vd = 1.76$$

$$M / Vd < 2$$

⇒ se trata de elemento ancho

$$V_{cr} = 0.5 F_r b d \sqrt{F' c}$$

$$f'_c = 0.8 f'_o$$

$$f'_c = 0.8(250)$$

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{cR} = 0.5 (0.8) (100) (16.4) \sqrt{200}$$

$$V_{cR} = 9,277 \text{ kg}$$

$$V_u = F_v V$$

$$V_u = (1.1)(7.58)$$

$$V_u = 6,316 \text{ kg}$$

$$V_u < V_{cR}$$

⇒ cumple

#### Flexión

La sección crítica para muro o columna de concreto reforzado corresponde al paño.

$$l = (1.8 - 0.3) / 2$$

$$l = 0.75 \text{ m}$$

$$M = q_l l^2 / 2$$

$$M = (12.9)(0.75)^2 / 2$$

$$M = 3.63 \text{ t-m}$$

$$M_u = 1.1(3.63)$$

$$M_u = 4 \text{ t-m}$$

El acero mínimo está dado por

$$P_{min} = 0.7 \sqrt{f'_c} / f_y$$

$$P_{min} = 0.7 \sqrt{250} / 4200$$

$$\rho_{\min} = 0.00264$$

El porcentaje de acero máximo de tensión en elementos que forman parte de sistemas que deban resistir fuerzas sísmicas, corresponde al 75% del balanceado.

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b$$

$$\rho_b = (f''_c / f_y) [4800 / (f_y + 6000)]$$

$$f''_c = 200 < 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow f''_c = 0.85 f''_c$$

$$f''_c = 0.85(200)$$

$$f''_c = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_b = (170 / 4200)[4800 / (4200 + 6000)]$$

$$\rho_b = 0.01905$$

$$\rho_{\max} = 0.75(0.01905)$$

$$\rho_{\max} = 0.01429$$

El porcentaje de acero necesario para resistir un momento último  $M_u$ , está dado por:

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2M_u / (F_y b d^2 F''_c)}$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2(4E5) / [(0.9)(100)(16.4)^2(170)]}$$

$$q = 0.1025$$

$$\rho = q f''_c / f_y$$

$$\rho = (0.1025)(170) / 4200$$

$$p = 0.004147$$

Como  $p$  está en rango el área de acero requerida es:

$$A_s = pbd$$

$$A_s = (0.004147)(100)(16.4)$$

$$A_s = 6.8 \text{ cm}^2$$

Separación de varillas

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = 1.27(100) / 6.8$$

$$s = 18.67 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow 41 \# 4 @ 19 \text{ cm}$$

El refuerzo por cambios volumétricos se colocará en forma longitudinal y en el lecho superior, a pesar de que en este último caso la dimensión del elemento es menor a 1.5 m.

$$A_s = 66000(1.5)x_1 / [f_y(x_1 + 100)]$$

$$h = 20 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  el refuerzo longitudinal se colocará en dos capas, próximas a las caras

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 20 / 2$$

$$x_1 = 10 \text{ cm}$$

$$A_s = 66000(1.5)(10) / [4200(10 + 100)]$$

$$A_s = 2.14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$p = 0.004147$$

Como  $p$  está en rango el área de acero requerida es:

$$A_s = pbd$$

$$A_s = (0.004147)(100)(16.4)$$

$$A_s = 6.8 \text{ cm}^2$$

Separación de varillas

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = 1.27(100) / 6.8$$

$$s = 18.67 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow 41 \# 4 @ 19 \text{ cm}$$

El refuerzo por cambios volumétricos se colocará en forma longitudinal y en el lecho superior, a pesar de que en este último caso la dimensión del elemento es menor a 1.5 m.

$$A_s = 66000(1.5) \lambda_1 / [f_1(x_1 + 100)]$$

$$h = 20 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  el refuerzo longitudinal se colocará en dos capas, próximas a las caras

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 20 / 2$$

$$x_1 = 10 \text{ cm}$$

$$A_s = 66000(1.5)(10) / [4200(10 + 100)]$$

$$A_s = 2.14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de  $3.5x_1$ ,

Empleando varillas del No. 3 ( $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ )

En la dirección longitudinal

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = 0.71(100) / 2.14$$

$$s = 33.17 \text{ cm}$$

⇒ en el lecho inferior

5 # 3 @ 32 cm

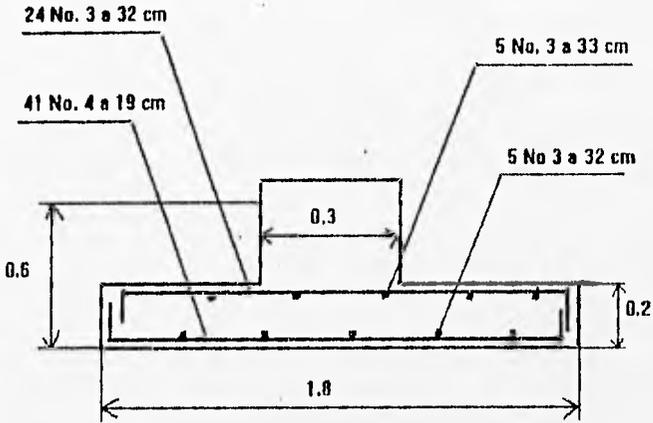
y en el lecho superior

5 # 3 @ 33 cm

En la dirección corta

$$s = 33.17 \text{ cm}$$

⇒ 24 # 3 @ 32 cm



Acotaciones en metros

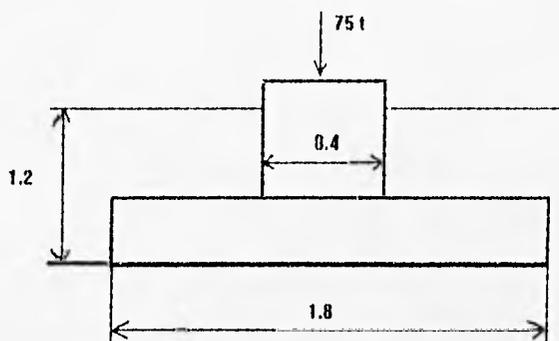
$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Características estructurales de la zapata

#### 4.3 Zapata cuadrada sometida a carga vertical.

Realizar el diseño estructural de la zapata cuadrada de concreto reforzado de la siguiente figura.



Acotaciones en metros

$$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Recubrimiento zapata = 3 cm

$$F_c = 1.4$$

### Penetración

La determinación del peralte de la losa de la zapata se lleva a cabo por tanteos, hasta determinar aquel peralte que satisfaga todos y cada uno de los requisitos estructurales. Procediendo de esta forma, se obtiene que un peralte  $h = 34$  cm cumple con lo anterior.

### Peralte efectivo (d)

Se emplearán varillas del no. 4 en un armado de dos direcciones

$$d = 34 - 3 - 1.27$$

$$d = 29.7 \text{ cm}$$

De acuerdo con las Normas de Concreto, la sección crítica forma una figura semejante a la definida por la periferia del área cargada, a una distancia de ésta igual a  $d / 2$ , siendo "d" el peralte efectivo de la losa.

Si no hay transmisión de momento entre la zapata y la columna, el esfuerzo cortante de diseño se calcula con:

$$v_u = V_u / b_o d$$

donde  $b_o$  es el perímetro de la sección crítica y  $V_u$  la fuerza cortante de diseño en dicha sección. La fuerza cortante en la sección crítica se obtiene multiplicando la reacción neta del terreno por el área exterior a dicha sección.

$$A_o = 1.8^2 - (0.4 + 0.297)^2$$

$$A_o = 2.75 \text{ m}^2$$

Reacción neta

$$q_u = \Sigma Q' / A$$

$$q_r = 75 / (1.8)^2$$

$$q_r = 23.15 \text{ t/m}^2$$

Nótese que en una zapata rectangular sometida únicamente a carga vertical, la reacción neta se puede determinar, con una pequeña pérdida de precisión, dividiendo la carga en la columna al nivel de la superficie del terreno entre el área de la zapata.

$$V = (23.15)(2.75)$$

$$V = 63.7 \text{ t}$$

$$V_u = 1.4V$$

$$V_u = 1.4(63.7)$$

$$V_u = 89.2 \text{ t}$$

$$b_o d = (69.7)(4)(29.7)$$

$$b_o d = 8280 \text{ cm}^2$$

$$v_u = 89200 / 8280$$

$$v_u = 10.77 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo cortante máximo de diseño obtenido no debe exceder ninguno de los dos siguientes valores:

$$V_{CR1} = F_R (0.5 + \gamma) \sqrt{f'_c} c$$

$$V_{CR2} = F_R \sqrt{f'_c} c$$

donde

$$f'_c = 0.8f'_o$$

$\gamma = A$  la relación del lado corto al lado largo del área donde actúa la carga o reacción.

$$f'_c = 0.8(250)$$

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1 \Rightarrow$$

$$V_{CR} = 0.8\sqrt{200}$$

$$V_{CR} = 11.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{CR} > V_u$$

$\Rightarrow$  cumple

#### Tensión diagonal

Revisión de las 3 condiciones para que la zapata sea elemento ancho:

$$h \leq 60 \text{ cm}$$

$$h = 34 \text{ cm}$$

$$h < 60 \text{ cm}$$

$$B \geq 4d$$

$$B = 180 \text{ cm}$$

$$4d = 4(29.7)$$

$$4d = 118.8 \text{ cm}$$

$$B > 4d$$

$$M / Vd < 2$$

Sección crítica a una distancia "d" del paño del muro

$$l = (1.8 - 0.4) / 2 - 0.297$$

$$l = 0.403 \text{ m}$$

$$M = q_l^2 / 2$$

$$M = (23.15)(0.403)^2 / 2$$

$$M = 1.88 \text{ t-m}$$

$$V = q_l l$$

$$V = (23.15)(0.403)$$

$$V = 9.33 \text{ t}$$

$$V_u = 1.4V$$

$$V_u = 1.4(9.33)$$

$$V_u = 13.1 \text{ t}$$

$$M / Vd = 1.88 / [(9.33)(0.297)]$$

$$M / Vd = 0.68$$

$$M / Vd < 2$$

⇒ es elemento ancho

$$V_{cr} = 0.5 F_R b d \sqrt{f'c}$$

$$V_{cr} = 0.5 (0.8) (100) (29.7) \sqrt{200}$$

$$V_{cr} = 16,801 \text{ kg}$$

$$V_{cr} > V_u$$

⇒ cumple

Flexión

Sección crítica corresponde al paño

$$l = (1.8 - 0.4) / 2$$

$$l = 0.7 \text{ m}$$

Momento flexionante en la sección crítica (por metro de ancho)

$$M = q_l^2 / 2$$

$$M = (23.15)(0.7)^2 / 2$$

$$M = 5.68 \text{ t-m}$$

$$M_u = F_o M$$

$$M_u = 1.4(5.68)$$

$$M_u = 7.96 \text{ t-m}$$

El acero mínimo está dado

$$\rho_{\min} = 0.7 \sqrt{E'c} / f_y$$

$$\rho_{\min} = 0.7 \sqrt{250} / 4200$$

$$\rho_{\min} = 0.00264$$

El porcentaje de acero máximo en tensión en elementos sujetos a fuerzas sísmicas está dado por:

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = (f''_c / f_y) [4800 / (f_y + 6000)]$$

$$f''_c < 250 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$$

$$f''_c = 0.85f'_c$$

$$f''_c = 0.85(200)$$

$$f''_c = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{max} = 0.75(170 / 4200)[4800 / (4200 + 6000)]$$

$$\rho_{max} = 0.01429$$

El porcentaje de acero necesario para resistir un momento último  $M_u$  está dado por:

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2M_u / (F_y b d^2 F''_c)}$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2(7.96E5) / [(0.9)(100)(29.4)^2(170)]}$$

$$q = 0.06212$$

$$\rho = q f''_c / f_y$$

$$\rho = (0.06212)(170) / 4200$$

$$\rho = 0.00251$$

Como rige  $\rho_{min}$  el área de acero requerida es:

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = (0.00264)(100)(29.7)$$

$$A_s = 7.84 \text{ cm}^2$$

Separación de varillas

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = 1.27(100) / 7.84$$

$$s = 16.2 \text{ cm} \Rightarrow$$

10 #4 @ 16 cm en cada dirección

Aún cuando la dimensión menor de la zapata no sobrepasa los 1.5 m, se empleará acero por temperatura en la parte superior en dos direcciones.

$$h = 34 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$$

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 34 / 2$$

$$x_1 = 17 \text{ cm}$$

$$A_s = 66000(1.5)x_1 / [f_y(x_1 + 100)]$$

$$A_s = 66000(1.5)(17) / [4200(17 + 100)]$$

$$A_s = 3.42 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de  $3.5x_1$ ,

Empleando varillas del no. 3 ( $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ )

En la parte superior en los dos sentidos:

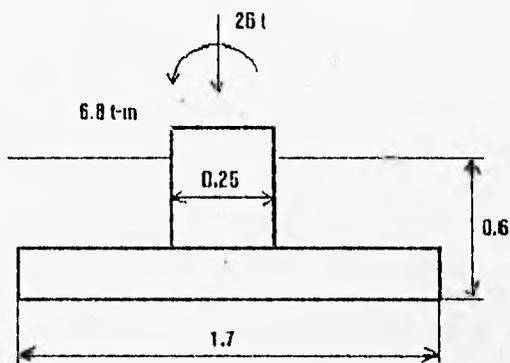
$$s = (0.71)(100) / 3.42$$

$$s = 20.8 \text{ cm} \Rightarrow$$

8 #3 @ 20 cm

#### 4.4 Zapata cuadrada sometida a carga vertical y dos momentos ortogonales.

Realizar el diseño estructural de la zapata aislada de concreto reforzado con las siguientes características:



Elevación

Acotaciones en metros

$$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

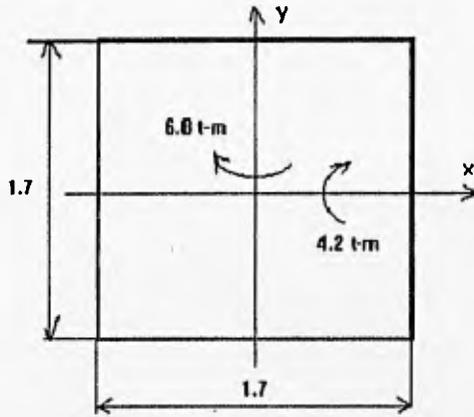
$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Emplear varillas del No. 4

Considerar que se coló una plantilla de concreto pobre sobre el terreno de cimentación

$$F_o = 1.4$$



Planta

Acotaciones en metros

El espesor de la losa de la zapata se obtiene por tanteos, hasta encontrar un valor de "h" que satisfaga todos y cada uno de los requisitos de seguridad estructural. En esta forma, se halló que con peralte  $h = 35$  cm se cumple con lo anterior.

#### Penetración

De acuerdo con las Normas de Concreto, la sección crítica corresponde a la periferia del área cargada, a una distancia de ésta igual a  $d / 2$ .

#### Peralte efectivo (d)

El armado en la parte inferior es en dos direcciones con varilla del No. 4.

$$d = 35 - 3 - 1.27$$

$$d = 30.7 \text{ cm}$$

El esfuerzo cortante  $v_{AB}$  se obtiene tomando en cuenta el efecto de la carga axial y del momento, suponiendo que los esfuerzos cortantes varían linealmente

$$v_{AB} = V / A_c + \alpha M c_{AB} / J_c$$

donde

$V$  = fuerza cortante obtenida de multiplicar la reacción neta por el área exterior a la sección crítica

$$A_c = 2d(c_1 + c_2 + 2d)$$

$\alpha$  = fracción del momento, transmitida por excentricidad de la fuerza cortante total, con respecto al centroide de la sección crítica definida antes.

$$\alpha = 1 - 1 / [1 + 0.67 \sqrt{(c_1 + d) / (c_2 + d)}]$$

En columnas rectangulares  $c_1$  es la dimensión paralela al momento transmitido y  $c_2$  es la dimensión perpendicular a  $c_1$ ,

$$c_{AB} = (c_1 + d) / 2$$

$$J_c = d(c_1 + d)^3 / 6 + (c_1 + d)d^3 / 6 + d(c_2 + d)(c_1 + d)^2 / 2$$

$$\alpha = 1 - 1 / [1 + 0.67 \sqrt{(25 + 30.7) / (25 + 30.7)}]$$

$$\alpha = 0.401$$

$$J_c = 0.307(0.25 + 0.307)^3 / 6 +$$

$$+ (0.25 + 0.307)(0.307)^3 / 6 +$$

$$+ 0.307(0.25 + 0.307)(0.25 + 0.307)^2 / 2$$

$$J_c = 0.03806 \text{ m}^4$$

$$A_c = 2(0.307)[0.25 + 0.25 + 2(0.307)]$$

$$A_c = 0.684 \text{ m}^2$$

$$c_{AB} = (0.25 + 0.307) / 2$$

$$c_{AB} = 0.279 \text{ m}$$

Reacción neta

Peso total ( $\Sigma Q$ )

$$\Sigma Q = W_f + W_z + W_c + \Sigma Q'$$

Peso relleno

$$W_f = (1.7 - 0.25)^2(0.25)(1.8)$$

$$W_f = 0.95 \text{ t}$$

Peso zapata

$$W_z = (1.7)^2(0.35)(2.4)$$

$$W_z = 2.43 \text{ t}$$

Peso columna

$$W_c = (0.25)^2(0.3)(2.4)$$

$$W_c = 0.045 \text{ t}$$

Peso estructura ( $\Sigma Q'$ )

$$\Sigma Q' = 26 \text{ t} \Rightarrow$$

$$\Sigma Q = 0.95 + 2.43 + 0.045 + 26$$

$$\Sigma Q = 29.4 \text{ t}$$

$$A' = B' L'$$

De la ecuación (3)

$$e_x = M_y / \Sigma Q$$

$$e_x = 6.8 / 29.4$$

$$e_x = 0.23 \text{ m}$$

$$e_y = M_x / \Sigma Q$$

$$e_y = 4.2 / 29.4$$

$$e_y = 0.14 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e_x$$

$$B' = 1.7 - 2(0.23)$$

$$B' = 1.24 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_y$$

$$L' = 1.7 - 2(0.14)$$

$$L' = 1.42 \text{ m}$$

$$q_f = 29.4 / [(1.24)(1.42)] - (0.25)(1.8) - (0.35)(2.4)$$

$$q_f = 15.4 \text{ t/m}^2$$

$$V = 15.4[1.7^2 - (0.25 + 0.307)^2]$$

$$V = 39.7 \text{ t}$$

$$v_{AB} = 39.7 / 0.684 + (0.401)(6.8)(0.279) / 0.03806$$

$$v_{AB} = 78.1 \text{ t/m}^2 = 7.81 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{ABU} = F_o V_{ABU}$$

$$V_{ABU} = (1.4)(7.81)$$

$$V_{ABU} = 10.9 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor no debe exceder ninguno de los dos siguientes valores:

$$V_{CR1} = F_R (0.5 + \gamma) \sqrt{f'_c C}$$

$$V_{CR2} = F_R \sqrt{f'_c C}$$

donde  $\gamma$  es la relación del lado corto al lado largo del área donde actúa la carga o reacción.

$$\gamma = 1.7 / 1.7$$

$$\gamma = 1$$

$$f'_o = 0.8 f'_c$$

$$f'_o = (0.8)(250)$$

$$f'_o = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{CR2} = 0.8 \sqrt{2000}$$

$$V_{CR2} = 11.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{CR2} > V_{ABU}$$

### Tensión diagonal

Revisión de las 3 condiciones para que la zapata sea elemento ancho:

$$h \leq 60 \text{ cm}$$

$$h = 35 \text{ cm}$$

$$h < 60 \text{ cm}$$

$$B \geq 4d$$

$$B = 170 \text{ cm}$$

$$4d = 4(30.7)$$

$$4d = 122.8 \text{ cm}$$

$$B > 4d$$

$$M / Vd < 2$$

Sección crítica a una distancia "d" del paño del muro

$$l = (1.7 - 0.25) / 2 = 0.307$$

$$l = 0.418 \text{ m}$$

$$M = q_l^2 / 2$$

$$M = (15.4)(0.418)^2 / 2$$

$$M = 1.35 \text{ t-m}$$

$$V = q_l l$$

$$V = (15.4)(0.418)$$

$$V = 6.44 \text{ t}$$

$$M / Vd = 1.35 / \{(6.44)(0.307)\}$$

$$M / Vd = 0.68$$

$$M / Vd < 2$$

⇒ Es elemento ancho

$$V_{cR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f'c}$$

$$V_{cR} = 0.5 (0.8) (100) (30.7) \sqrt{200}$$

$$V_{cR} = 17,367 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.4V$$

$$V_u = 1.4(6.44)$$

$$V_u = 9 \text{ t}$$

$$V_{cR} > V_u$$

⇒ Cumple

### Flexión

Sección crítica corresponde al paño del muro

$$l = (1.7 - 0.25) / 2$$

$$l = 0.73 \text{ m}$$

Momento flexionante en la sección crítica (por metro de ancho)

$$M = q_l l^2 / 2$$

$$M = (15.4)(0.73)^2 / 2$$

$$M = 4.1 \text{ t-m}$$

$$M_u = F_u M$$

$$M_u = 1.4(4.1)$$

$$M_u = 5.74 \text{ t-m}$$

$$P_{\min} = 0.7\sqrt{F'c}/fy$$

$$P_{\min} = 0.7\sqrt{250}/4200$$

$$P_{\min} = 0.00264$$

$$P_{\max} = 0.75p_b$$

$$p_b = (f''_c / f_y) [4800 / (f_y + 6000)]$$

$$f''_c < 250 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$$

$$f''_c = 0.85f''_c$$

$$f''_c = 0.85(200)$$

$$f''_c = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\max} = 0.75(170 / 4200)[4800 / (4200 + 6000)]$$

$$P_{\max} = 0.01429$$

El porcentaje de acero necesario para resistir un momento último  $M_u$  está dado por:

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2M_u / (F_x b d^2 f''_c)}$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2(5.74E5) / [(0.9)(100)(30.7)^2(170)]}$$

$$q = 0.04063$$

$$p = qf''_c / f_y$$

$$\rho = (0.04063)(170) / 4200$$

$$\rho = 0.00164$$

Rige  $\rho_{min}$

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = (0.00264)(100)(30.7)$$

$$A_s = 8.1 \text{ cm}^2$$

Separación de varillas

Empleando varillas del No. 4

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (1.27)(100) / 8.1$$

$$s = 15.7 \text{ cm} \Rightarrow$$

11 # 4 @ 14.5 cm en cada dirección

El acero que va en la parte superior de la losa en dos direcciones, se proporciona únicamente por temperatura

$$A_s = 66000(1.5)(x_1) / [f_y(x_1 + 100)]$$

$$h = 35 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$$

$$x_1 = h / 2$$

$$x_1 = 35 / 2$$

$$x_1 = 17.5 \text{ cm}$$

$$A_s = 66000(1.5)(17.5) / [4200(17.5 + 100)]$$

$$A_s = 3.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de  $3.5x_1$

Empleando varillas del No. 3 ( $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ )

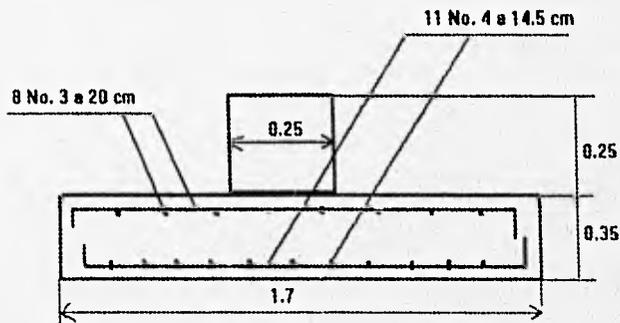
En la parte superior en las dos direcciones:

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (0.71)(100) / 3.5$$

$$s = 20.3 \text{ cm} \Rightarrow$$

8 # 3 @ 20 cm en cada dirección



Acotaciones en metros

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Características estructurales de la zapata

### Separación de varillas

La separación del refuerzo no excederá de 50 cm ni de  $3.5x_1$ ,

Empleando varillas del No. 3 ( $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ )

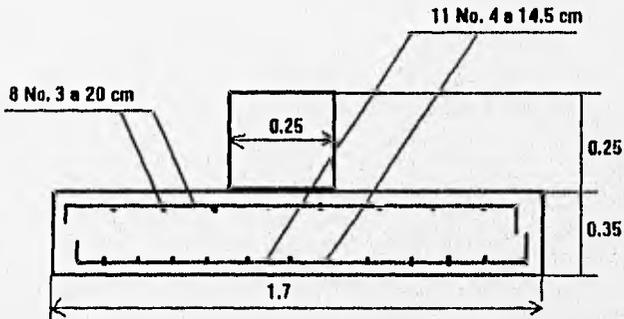
En la parte superior en las dos direcciones:

$$s = a_s b / A_s$$

$$s = (0.71)(100) / 3.5$$

$$s = 20.3 \text{ cm} \Rightarrow$$

8 # 3 @ 20 cm en cada dirección



Acotaciones en metros

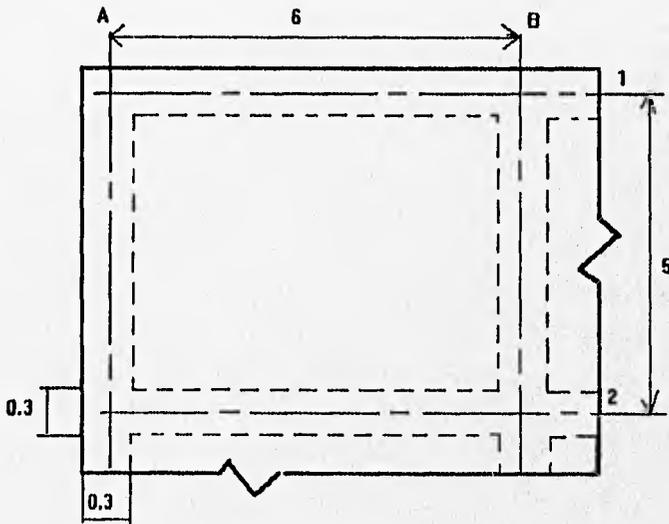
$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Características estructurales de la zapata

**CAPÍTULO V**  
**CIMENTACIONES COMPENSADAS Y EXCAVACIONES**

5.1 Diseñar el tablero de esquina de la losa inferior de la cimentación del edificio de 4 niveles, área de cimentación de 20 por 26 m y profundidad de desplante de 2.4 m, con las siguientes características:



Anotaciones en metros

$$\gamma_m = 1.8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Emplear varillas del No. 3

Considerar que se coló una plantilla de concreto pobre sobre el terreno de cimentación

$$F_o = 1.4$$

Losa colada monolíticamente con sus apoyos

$$\Sigma Q \text{ (Carga total máxima al nivel de cimentación)} = 3330 \text{ t}$$

Incremento neto de presión

$$q_n = \Sigma Q / A - \gamma D_1$$

$$q_n = 3330 / [(20)(26)] - (1.8)(2.4)$$

$$q_n = 2 \text{ t/m}^2$$

El cálculo de deflexiones puede omitirse si el peralte efectivo no es menor que el perímetro del tablero entre 300. Para lo anterior, habrá que corregir el perímetro con un factor si no se cumple:

$$f_c \leq 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega \leq 360 \text{ kg/cm}^2$$

Dicho factor es igual a:

$$0.034(f_c \omega)^{1/4}$$

donde

$f_s$  = esfuerzo del acero en condiciones de servicio, en  $\text{kg/cm}^2$  (puede suponerse igual a  $0.6f_y$ )

$\omega$  = carga en condiciones de servicio,  $\text{kg/cm}^2$

$$\text{perímetro} = 600 + 500 + 1.25(600 + 500)$$

$$\text{perímetro} = 2475 \text{ cm}$$

$$f_s = 0.6(4200)$$

$$f_s = 2520 > 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_n = 2000 \text{ kg/m}^2 > 380 \text{ kg/m}^2$$

$\Rightarrow$  modificar perímetro

$$0.034[(2520)(2000)]^{1/4} = 1.61$$

$$\text{perímetro corregido} = (1.61)(2475)$$

$$\text{perímetro corregido} = 3985 \text{ cm}$$

$$d_{\min} = 3985 / 300$$

$$d_{\min} = 13.3 \text{ cm}$$

$$h = d_{\min} + 3$$

$$h = 13 + 3$$

$$h = 16 \text{ cm}$$

Cálculo de momentos en las franjas centrales

$$\omega_u = 1.4\omega$$

$$\omega_u = 1.4(2000)$$

$$\omega_0 = 2800 \text{ kg/m}^2$$

$$a_1 = 500 - 30$$

$$a_1 = 470 \text{ cm}$$

$$a_2 = 600 - 30$$

$$a_2 = 570 \text{ cm}$$

$$a_1 / a_2 = 470 / 570$$

$$a_1 / a_2 = 0.82 \text{ (caso I)}$$

$$10^{-4} \omega_0 a_1^2 = 10^{-4} (2800) (4.7)^2$$

$$10^{-4} \omega_0 a_1^2 = 6.19 \text{ kg-m/m}$$

Tabla de coeficientes de momento

Tablero	Momento	Claro	0.8	0.9	$\alpha_1$	$M_1$ (kg-m)
De esquina	Negativo en bordes interiores	Corto	419	371	409.4	2534(2502)
		Largo	394	360		
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	250	219		
		Largo	222	208		
	Positivo	Corto	216	178		
		Largo	140	138		
De borde con un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	403	357	393.8	2438(2470)
		Largo	350	328		
	Negativo en borde discontinuo	Largo	222	208		
		Positivo	Corto	202		
	Largo	131	129			

$\alpha_1$ = valor del coeficiente de momento, interpolado linealmente

$$M_1 = \alpha_1 (10^{-4} \omega_u a_1^2)$$

Corrección del momento en el borde común

$$\text{Diferencia de momentos} = 2534 - 2438 = 96$$

$$(2 / 3)(96) = 64 \text{ kg-m}$$

Momento de diseño

$$2534 - 64 / 2 = 2502 \text{ kg-m}$$

$$2438 + 64 / 2 = 2470 \text{ kg-m}$$

Determinación del refuerzo

$$\rho_{min} = 0.002$$

$$s_{max} = 50 \text{ cm } \text{ o}$$

$$3.5h = 3.5(16) = 56 \text{ cm } > 50 \text{ cm}$$

$$F_R bd^2 f'_c = (0.9)(100)(13)^2(136)$$

$$F_R bd^2 f'_c = 207 \text{ E4 (acero positivo)}$$

$$F_R bd^2 f'_c = (0.9)(100)(11)^2(136)$$

$$F_R bd^2 f'_c = 148 \text{ E4 (acero negativo)}$$

$M_i$ (kg-m)	$Q =$ $M_i / F_R bd^2 f'_c$	$q$	$\rho =$ $q f'_c / f_y$	$A_s$ ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )	$s$ (No. 3) (cm)
2502	0.169	0.188	0.006	6.8	10.8
2470	0.167	0.183	0.0059	6.5	10.9

El valor de  $q$  puede obtenerse de alguna ayuda gráfica para diseño por flexión

Revisión por cortante

$$V_u = 1.15(a_1 / 2 - d)\omega / [1 + (a_1 / a_2)^6]$$

Se incrementa en 15% el valor del cortante debido a que el tablero tiene bordes continuos y discontinuos.

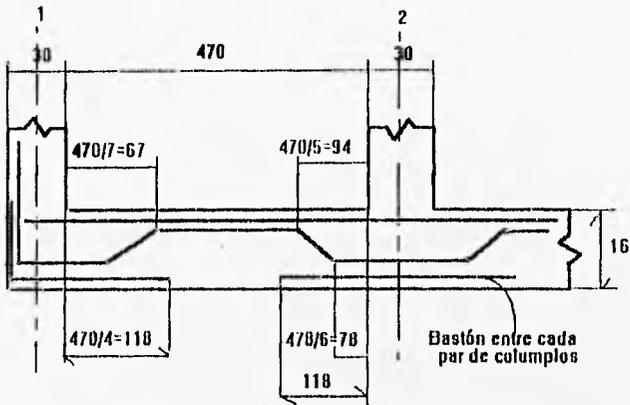
$$V_u = [1.15(4.7 / 2 - 0.13)2800] / [1 + (4.7 / 5.7)^6]$$

$$V_u = 5,439 \text{ kg}$$

$$V_c = 0.5 F_R b d \sqrt{f'_c}$$

$$V_c = 0.5 (0.8) (100) (13) \sqrt{150}$$

$$V_c = 6,578 \text{ kg} > V_u$$



Acotaciones en cm

La separación entre ejes de varillas es de 10.5 cm:

2 columpios por cada varilla recta.

### Claro Corto-Franja Central

Anchos de franjas centrales

$$a_1 / a_2 > 0.5 \Rightarrow$$

Claro corto

$$\text{Ancho franja} = a_2 / 2$$

$$\text{Ancho franja} = 570 / 2 = 285 \text{ cm}$$

Claro largo

$$\text{Ancho franja} = a_1 / 2$$

$$\text{Ancho franja} = 470 / 2 = 235 \text{ cm}$$

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES**

No obstante la diversidad de condiciones que puedan existir en: la aplicación de las cargas, características del subsuelo, tipo de obra o cualquier otro aspecto que influya en el diseño de cimentaciones, se observan una serie de requisitos que cumplir para que nuestra labor se considere satisfactoria. En lo referente a mecánica de suelos, lo anterior se logra al evaluar la capacidad de carga y constatar que sea la suficiente para soportar nuestra estructura y no se presente una falla súbita. Pero además se debe vigilar el aspecto funcional al revisar que los asentamientos queden por abajo de los permisibles.

La naturaleza del comportamiento del suelo ante cargas es complicada y su interpretación está basada en buena parte en suposiciones que idealizan tal respuesta de forma más simplificada. Debido a esto, hay que tener cuidado para identificar las variables principales y contar con procedimientos adecuados que permitan realizar con éxito cualquier tarea en el campo, no solo en el de las cimentaciones, sino de la ingeniería en general. El apoyo adicional proporcionado por los trabajos de investigación y de las normas y reglamentos que para el efecto los gobiernos exigen como obligatorios en la edificación de obras constituyen un invaluable complemento que junto a un criterio abierto, facilitarán llevar a buen término cualquier proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Deméneghi Colina, Agustín. *Apuntes de Cimentaciones*.
- 2.- Sanginés García, Héctor. *Apuntes de Cimentaciones*.
- 3.- Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. *Mecánica de Suelos*, tomos I y II, México, D.F., Limusa, 1992.
- 4.- *Diseño y construcción de cimentaciones. Normas técnicas complementarias del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. México, D.F., Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1990.
- 5.- *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. México, D.F., Libros económicos, 1990.
- 6.- *Diseño y construcción de estructuras de concreto. Normas técnicas complementarias del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. México, D.F., Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1990.
- 7.- González Cuevas, Oscar y Robles Fernández-Villegas, Francisco. *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado*, 2a. edición. México, D.F., Limusa, 1993.
- 8.- Mell Piralla, Roberto. *Diseño Estructural*, 1a. edición. México, D.F., Limusa, 1993.