

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO
CARRERA DE ARQUITECTURA

ESTRUCTURAS III

Tema: SUBMURACIONES PROFUNDAS

Ing. José María Canciani

Arq_a. Cecilia Cei

Año Académico: 2009

SUBMURACIONES PROFUNDAS

Se tratarán distintos sistemas de estabilización para contrarrestar el empuje de los suelos, en especial muros de contención, y se efectuará una comparación entre los mismos.

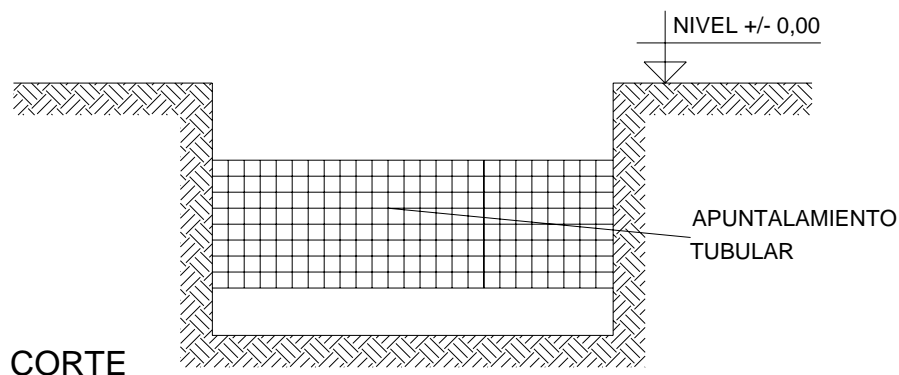
Se tienen, por un lado, los sistemas tradicionales de apuntalamiento, eficaces en cuanto a los resultados perseguidos, pero engorrosos en su aplicación y materialización práctica, y por otro, un sistema no tradicional de anclajes de muros de contención y/o losas de subpresión mediante pilotes de tracción sumamente prácticos durante la edificación y también luego de concluida la misma, pues evita los inconvenientes de los sistemas tradicionales.

SISTEMAS TRADICIONALES

En el caso de excavaciones profundas resulta necesario prever apoyos provisorios o definitivos en los muros a construir contra paramentos perfilados de la excavación, a fin de impedir que los empujes del suelo ocasionen su propio derrumbe o el de construcciones linderas.

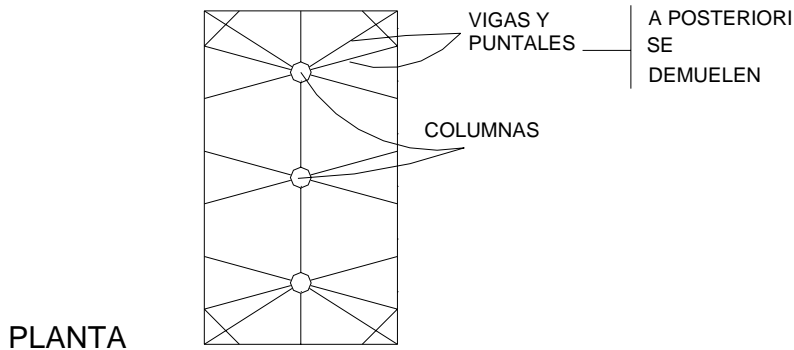
1 - Apuntalamiento con puntales tubulares desde el interior de la obra.

El apuntalamiento tubular, de carácter provisorio, ocasiona un alto grado de entorpecimiento de las tareas de la obra dado el considerable espacio que ocupa en el interior de la obra, ya que se debe tener en cuenta que la sección transversal de cada puntal puede alcanzar un valor de 3 metros, con 36 cordones de caños convenientemente arriostrados. Es decir, estos apuntalamientos interiores complican la ejecución de los muros de hormigón armado y de la aislación hidráulica con la consecuente inseguridad en cuanto a la continuidad superficial de ésta última en correspondencia con los extremos de cada puntal. Esto produce disminuciones en el nivel de calidad buscado, demoras y el consiguiente aumento del costo operativo.



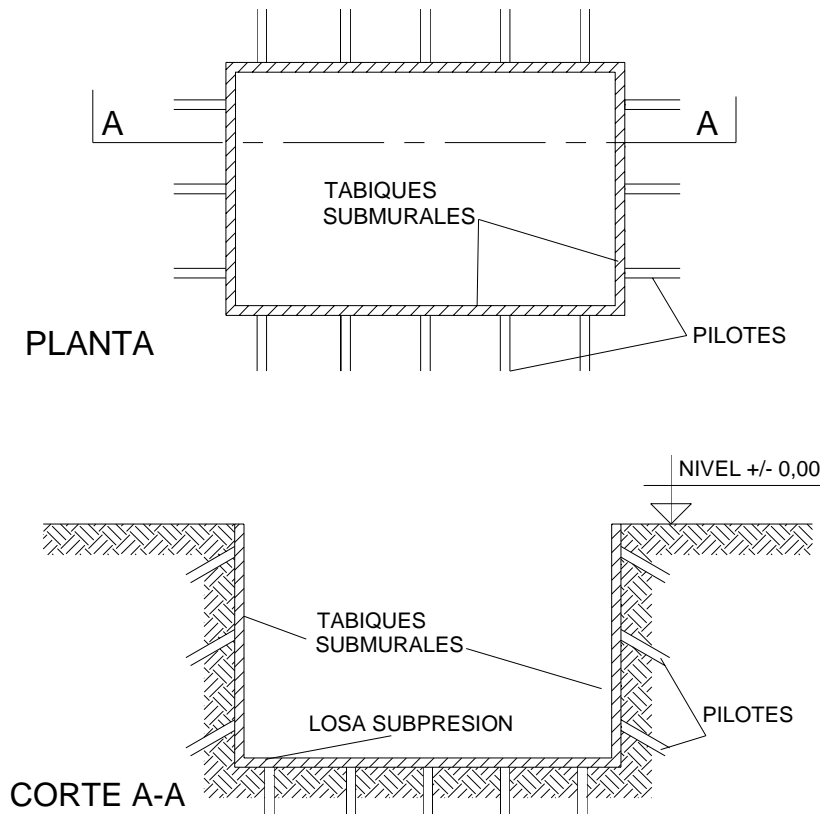
2 - Apuntalamiento con puntales de hormigón armado provisorios desde el interior de la obra.

Los puntales de hormigón armado, de carácter provisorio, tienen generalmente una sección transversal menor respecto de los tubulares, lo cual redundaría en un menor entorpecimiento constructivo en comparación con el sistema anterior. Pero presentan un doble inconveniente; en primer lugar, su necesaria posterior demolición y retiro de los escombros de obra cuando la estructura definitiva adquiriera la resistencia adecuada para cumplir con su función específica, y en segundo lugar, el establecimiento, no exento de dificultad, como se hizo notar en el sistema tubular, de la continuidad perfecta y segura de la aislación hidráulica en correspondencia con los extremos de cada puntal retirado.



SISTEMA NO TRADICIONAL DE ANCLAJE DE MUROS DE CONTENCION Y/O LOSAS DE SUBPRESION MEDIANTE PILOTES DE TRACCION.

El sistema no tradicional de anclajes de muros de contención mediante pilotes de tracción evita los inconvenientes señalados en los sistemas tradicionales. En efecto, donde legalmente resulta posible, los pilotes de tracción establecen anclajes exteriores ocultos en el terreno aledaño a la excavación, liberando el interior de la obra de las conflictivas obstrucciones propias de los apuntalamientos convencionales. Las profundidades de las excavaciones realizadas con este método no tradicional oscilan entre los 10 metros y los 20/25 metros bajo el nivel de vereda.



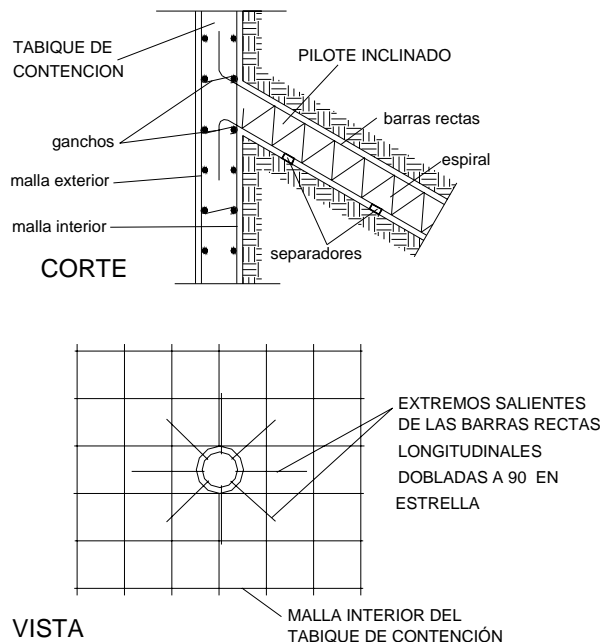
1 - Principales ventajas de este sistema no tradicional

a.- Como se expresó, permite trabajar en un espacio libre de obstáculos fijos interiores.

- b.- Los pilotes permiten el cosido de los estratos del terreno vecino a la excavación contribuyendo de este modo a su estabilización.
- c.- Constituye un práctico anclaje del encofrado de los tabiques a submurar a los extremos de los pilotes.
- d.- Los pilotes contienen el posible empuje activo del suelo contra los tabiques de contención como asimismo el empuje hidrostático del agua originado por napas freáticas de considerable potencia contra las losas de subpresión y/o plateas.
- e.- Sencillez de ejecución que resulta relativamente más económica respecto del sistema tradicional.

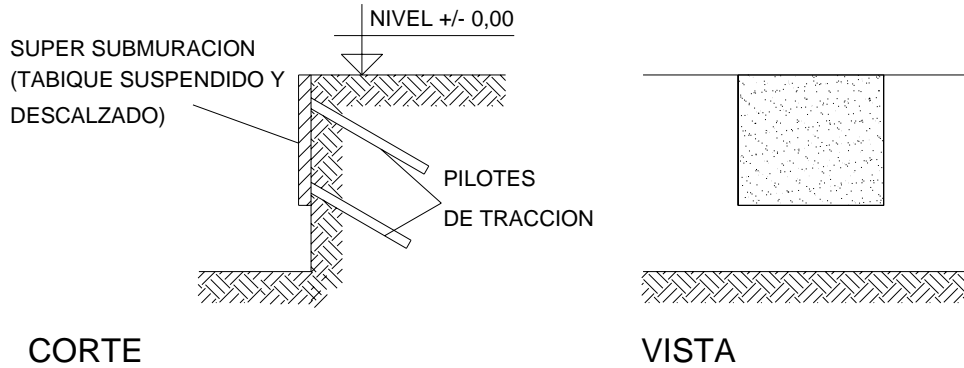
2.- Tecnología de ejecución

- a.- Los paramentos perfilados de la excavación preparados para recibir los tabiques de submuración se perforan mediante trépanos helicoidales con diámetros variables entre 10 cm. y 50 cm., y longitudes totales fluctuantes entre 5 m. y 30 m. Según las características del suelo a horadar conviene ejecutar estas perforaciones con una ligera pendiente para facilitar su posterior llenado por gravitación, evitándose de este modo el empleo de una bomba de hormigón.
- b.- Simultáneamente se preparan las armaduras de los pilotes constituidas por barras rectas longitudinales encargadas de soportar los esfuerzos de tracción y los estribos circulares o helicoidales correspondientes. Estas se introducen en el orificio del paramento a submurar convenientemente apoyados sobre separadores que garanticen un adecuado recubrimiento. Los extremos salientes de las barras se doblan a 90° en forma de estrella, disponiéndose en un plano intermedio entre las armaduras simétricas del tabique de contención.
- c.- El hormigonado del túnel se efectúa con hormigón fluido; éste debe ser compatible con la imprescindible adherencia a las barras de acero y con el correcto y completo llenado del volumen perforado. Esto asegura el necesario rozamiento lateral entre el suelo y el pilote, confiriéndole a este último una adecuada capacidad resistente a las sollicitaciones de tracción.
- d.- El encofrado del tabique de contención se ancla en los extremos de losa pilotes sin necesidad de puntales a tierra.



3.- Submuración

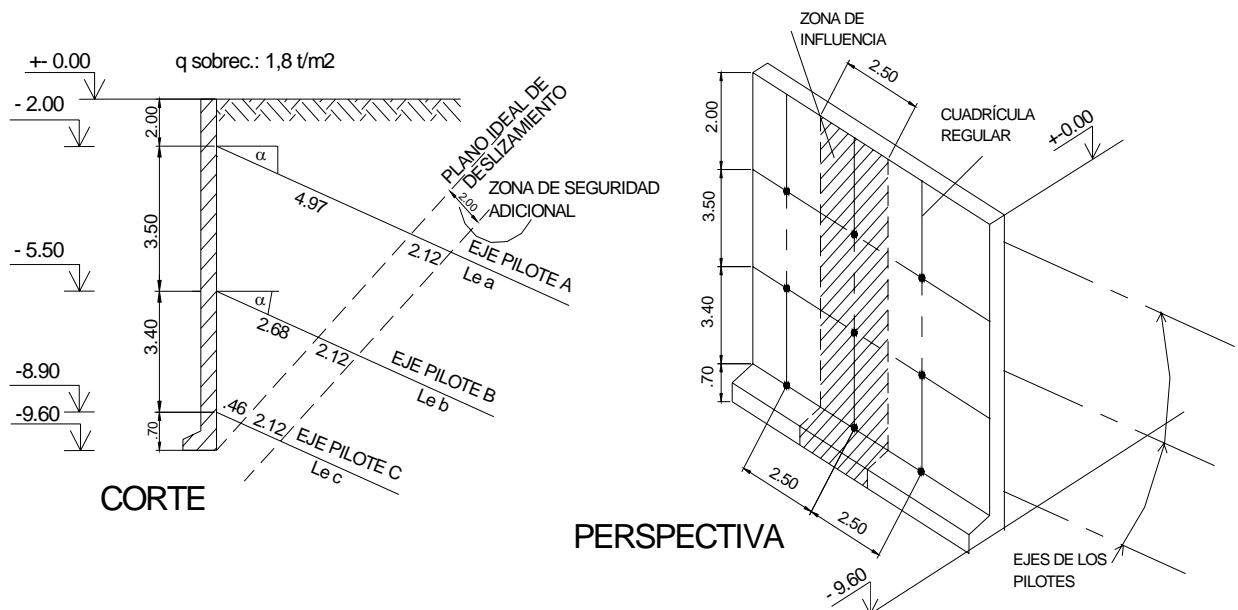
Es una submuración efectuada en etapas desde arriba hacia abajo. Esto resulta posible, ya que el peso propio de los tramos de muros suspendidos totalmente descalzados es soportado por corde a través de los pilotes de anclaje y por el rozamiento desarrollado entre la superficie interna del tabique y el paramento perfilado de la excavación.

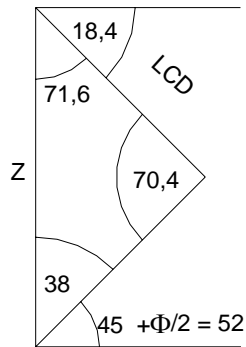


EJEMPLO NUMÉRICO

Se calculará la longitud total y armadura de los pilotes de tracción que anclan a un muro de contención de 9,60 m de altura.

Los pilotes se disponen en las intersecciones de una cuadrícula regular formada por líneas horizontales ubicadas en cotas -2m, -5,50 m, y -9,60 m, y por líneas verticales separadas cada 2,50 m entre sí, como se indica a continuación.





$$LCD = Z \frac{\sin 38^\circ}{\sin 70,4^\circ} = 0,6535 Z$$

LONGITUD PILOTES DENTRO DE LA CUÑA DE DESLIZAMIENTO Lcd	}	pilote a	$0,6535 \times 7,60 = 4,97 \text{ m}$
		pilote b	$0,6535 \times 4,10 = 2,68 \text{ m}$
		pilote c	$0,6535 \times 0,70 = 0,46 \text{ m}$

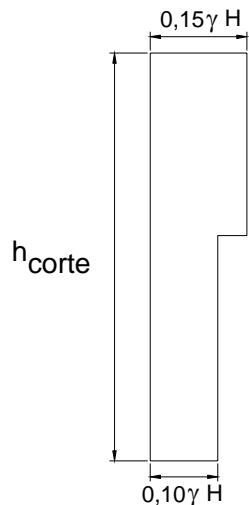
Datos:

Se adoptan para el cálculo los datos obtenidos en el ensayo de suelos:

- ϕ (ángulo talud natural del terreno) = 14°
- c (resistencia al corte del terreno) = 9 T/m^2
- γ_t (peso específico del terreno) = $1,8 \text{ T/m}^2$
- v (coef. de seguridad variable s/caso) = 2
- q sobrecarga a nivel + ó - $0,00$ = $1,8 \text{ T/m}^2$

EMPUJE DE TIERRA

De acuerdo al informe técnico del especialista en suelos, se adopta el diagrama de cargas N° 2 del Código Municipal de la Ciudad de Buenos Aires, que corresponde al empuje de un suelo constituido por arcillas y limos de origen eólico (loess pampeano), compacto y fuertemente preconsolidado por desecación. El especialista en suelos siempre especifica que diagrama de empuje de suelos se debe utilizar en cada caso particular.



γ = pe equivalente al del agua de acuerdo a la teoría de Coulomb-Krey = 1 t/m^3

H = profundidad de la excavación considerada teniendo en cuenta la sobrecarga a determinar.

h_{corte} = profundidad real de la excavación = $9,60 \text{ m}$

CALCULO DE "H"

La sobrecarga aplicada en el plano superior del terreno se puede considerar como una altura de tierra equivalente al cociente entre dicha sobrecarga y el peso específico del suelo; este valor debe adicionarse a la profundidad real de excavación.

$$H = \frac{q_{\text{sobrecarga}}}{\gamma_t} + H_{\text{corte}} = \frac{1,8 \text{ T/m}^2}{1,8 \text{ T/m}^2} + 9,60 \text{ m} = 1 \text{ m} + 9,60 \text{ m} = 10,60 \text{ m}$$

CALCULO DE LAS ORDENADAS DE CARGA SUPERIOR E INFERIOR

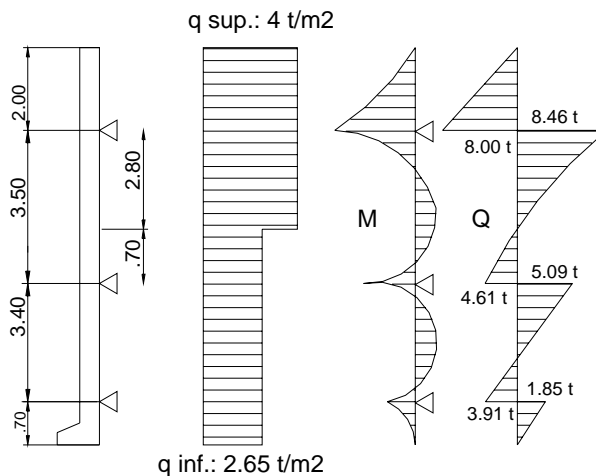
Como los pilotes están colocados sobre una misma línea vertical, tienen una zona de influencia de ancho constante 2,50 m (ver perspectiva); en consecuencia, los valores de las ordenadas superior e inferior del diagrama birrectangular de empuje de suelos serán:

$$q\text{-superior} = 0,15 H \gamma s = 0,15 \cdot 10,6 \text{ m} \cdot 1 \text{ T/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m} = 4 \text{ T/m}$$

$$q\text{-inferior} = 0,10 H \gamma s = 0,10 \cdot 10,6 \text{ m} \cdot 1 \text{ T/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m} = 2,65 \text{ T/m}$$

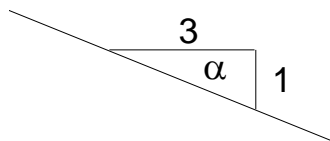
ESQUEMA ESTRUCTURAL Y DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXORES Y ESFUERZOS DE CORTE

Obtenido el diagrama de cargas y considerando cada sector vertical de muro de 2,50 m de ancho como una estructura continua de 2 tramos con 2 voladizos en los extremos, se procede a calcular el hiperestático como viga continua, por cualquier método de los ya conocidos y obtener los diagramas de momentos flexores y esfuerzos de corte. El primero servirá para dimensionar cada franja de 2,5 m de ancho de tabique, y el segundo para dimensionar los pilotes de tracción. En este se dan los valores del corte previamente calculados.

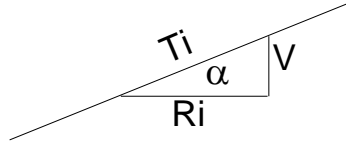


ESFUERZOS EN LOS PILOTES DE TRACCION

Las cargas a soportar por los pilotes se obtienen del diagrama de esfuerzos de corte. Como los pilotes se disponen según una ligera pendiente para favorecer el llenado por gravitación, como se explicó anteriormente, hay que proyectar los esfuerzos calculados horizontalmente en esa dirección. La pendiente elegida, 1:3, corresponde a un ángulo $\alpha = \text{art. Tg } 1/3 = 18,4^\circ$



Los esfuerzos en los pilotes según la dirección considerada:



$$T_i = \frac{R_i}{\cos \alpha} \quad \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{V10}{3}$$

$$T_A = \frac{R_A}{\cos \alpha} = \frac{V10}{3} (8,00 + 8,46) = 17,35 \text{ T}$$

$$T_B = \frac{R_B}{\cos \alpha} = \frac{V10}{3} (4,61 + 5,06) = 10,22 \text{ T}$$

$$T_C = \frac{R_C}{\cos \alpha} = \frac{V10}{3} (3,91 + 1,85) = 6,07 \text{ T}$$

CALCULO DE LA LONGITUD EFECTIVA TOTAL DE LOS PILOTES

La longitud efectiva de anclaje LE_i se extiende a partir de la zona adicional de seguridad. Esta es una franja estimada en 2 metros de ancho dispuesta inmediatamente a continuación del plano ideal de deslizamiento. La pendiente de éste se calcula teniendo en cuenta el ángulo del talud natural del terreno, ϕ , de acuerdo a lo informado en estudio de suelos.

$$\phi_D = 45^\circ + \phi/2 = 45^\circ + 14^\circ/2 = 52^\circ$$

Longitud efectiva de cada pilote LE_i :

$$LE_i = \frac{T_i}{\pi \cdot d \cdot Cadm}$$

T_i = esfuerzo de tracción en cada pilote según la dirección considerada.

d = diámetro adoptado para el pilote: 0,25 m

$Cadm$ = resistencia admisible al corte del terreno:

$$C / v = 9 / 2 = 4,5 \text{ T/m}^2$$

$$LE_A = \frac{17,35}{\pi \cdot 0,25 \cdot 4,5} = 4,91 \text{ m}$$

$$LE_B = \frac{10,22}{\pi \cdot 0,25 \cdot 4,5} = 2,90 \text{ m}$$

$$LE_C = \frac{6,07}{\pi \cdot 0,25 \cdot 4,5} = 1,72 \text{ m}$$

LONGITUD TOTAL DE CADA PILOTE

Es igual a la suma de la longitud en la cuña de deslizamiento LCD, más la zona adicional más la longitud efectiva.

Si bien la zona adicional de seguridad tiene un ancho de 2 m, según la dirección del eje de los pilotes, este valor asciende a:

$$2,00 \text{ m} / \cos \alpha = 2 \cdot V10 / 3 = 2,11 \text{ m}$$

$$L_i = L_{coi} + 2,11 + LE_i$$

$$L_A = 4,97 + 2,11 + 4,91 = 11,99 \text{ m} \quad \text{se adoptan } 12 \text{ m}$$

$$L_B = 2,68 + 2,11 + 2,90 = 7,69 \text{ m} \quad \text{se adoptan } 7,70 \text{ m}$$
$$L_C = 0,46 + 2,11 + 1,72 = 4,29 \text{ m} \quad \text{se adoptan } 4,30 \text{ m}$$

CALCULO ARMADURA LONGITUDINAL DE LOS PILOTES

A fin de evitar excesivas deformaciones que puedan afectar al tabique de contención, se adopta una tensión admisible más baja para el acero, por ejemplo $\sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$

$$F_{eA} = \frac{17,35 \times 1000}{1400} = 12,39 \text{ cm}^2 \quad \text{se adoptan } 7 \phi 16 (14,07 \text{ cm}^2)$$

$$F_{eB} = \frac{10,22 \times 1000}{1400} = 7,30 \text{ cm}^2 \quad \text{se adoptan } 4 \phi 16 (8,04 \text{ cm}^2)$$

$$F_{eC} = \frac{6,07 \times 1000}{1400} = 4,34 \text{ cm}^2 \quad \text{se adoptan } 4 \phi 12 (4,52 \text{ cm}^2)$$

Como armadura transversal se establece una espiral de $\phi 6 \text{ c}/20 \text{ cm}$