



CIMENTACIONES

1. CIMENTACIONES.....	3
1.1. TIPOS PRINCIPALES DE SUELOS	3
1.2. TÉCNICAS PARA LA INVESTIGACIÓN EN EL SUBSUELO	4
1.3. TIPO DE CIMENTACIONES Y MODO DE CONSTRUCCIÓN.....	4
2. NORMATIVA.....	6
3. CIMENTACIONES SUPERFICIALES.....	7
3.1. ZAPATAS	7
3.1.1 Zapata aislada cuadrada.....	8
3.1.2 Zapata aislada circular	14
3.1.3 Zapata corrida.....	16
3.1.4 Zapata de medianería	20
3.1.5 Zapata combinada	21
3.2. LOSAS DE CIMENTACIÓN	25
4. CIMENTACIONES PROFUNDAS	29
4.1. PILOTES	29
4.1.1 Función de los pilotes.....	29
4.1.2 Tipos de pilotes.....	30
4.1.2.1 Clasificación.....	30
4.1.2.2 Pilotes de madera	30
4.1.2.3 Pilotes de hormigón.....	30
4.1.2.4 Pilotes de acero	31
4.1.3 Instalación de pilotes.....	35
4.1.3.1 Equipo para el hincado de pilotes.....	35
4.1.4 Comportamiento de los pilotes con cargas verticales	37
4.1.4.1 Pilotes individuales	37
4.1.4.2 Pruebas de carga en los pilotes.....	37
4.1.4.3 Grupos de pilotes.....	38
4.1.5 Elección del tipo de pilote	38
4.1.6 Fabricación	38
4.1.7 Hinca	38
4.1.8 Juntas.....	39
4.1.9 Control.....	39
4.1.9.1 Control en fábrica.....	39
4.1.9.2 Control en obra.....	39
4.2. OBRAS SINGULARES	40
4.2.1 Características técnicas.....	40
4.3. ENCEPADOS	41
5. MUROS DE CONTENCIÓN	49
5.1. MURO MÉNSULA.....	49
5.2. MUROS DE CONTRAFUERTES	56
5.3. MUROS DE SÓTANO	60
5.4. MUROS PANTALLA.....	64
5.5. MUROS POR PILOTES.....	68
6. BIBLIOGRAFÍA	69

1. Cimentaciones

El cimiento es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno. Debido a que la resistencia y rigidez del terreno suelen ser inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los pilares y muros portantes (estructura vertical).

Los cimientos por tanto serán por lo general piezas de volumen considerable con respecto al volumen de las piezas de la estructura. Se construyen en hormigón armado y en general se empleará hormigón de calidad relativamente baja ya que no resulta económicamente interesante el empleo de hormigones de resistencias mayores.

Para poder realizar una buena cimentación es necesario un conocimiento previo del terreno en el que se va a construir la estructura. Aquí vamos a realizar una pequeña introducción sobre el suelo y la roca.

Los términos roca y suelo, tal como se usan en la ingeniería civil, implican una clara distinción entre dos clases de materiales de cimentación. Se dice que **roca** es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que **suelo** es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua.

El ingeniero para preparar un proyecto debe saber cuáles son los materiales que están presentes y qué propiedades poseen, este conocimiento se adquiere, parcialmente, consultando libros, pero sobre todo, extrayendo, examinando y tal vez probando muestras que considere representativas de los materiales. En la ingeniería de las cimentaciones, la experiencia es un factor inapreciable.

La correcta clasificación de los materiales del subsuelo es un paso importante para cualquier trabajo de cimentación, porque proporciona los primeros datos sobre las experiencias que puedan anticiparse durante y después de la construcción. El detalle con el que se describen, prueban y valoran las muestras, depende del tipo de estructura que se va a construir, de consideraciones económicas, de la naturaleza de los suelos, y en cierto grado del método con el que se hace el muestreo. Las muestras deben describirse primero sobre la base de una inspección ocular, y de ciertas pruebas sencillas que pueden ejecutarse fácilmente tanto en el campo como en el laboratorio clasificando el material en uno de los grupos principales.

Las estructuras de cimentación son, con frecuencia, elementos tridimensionales, en ocasiones elementos lineales, por ejemplo las vigas de cimentación.

1.1. Tipos principales de suelos

Los términos principales que usan los ingenieros civiles para describir suelos son: grava, arena, limo y arcilla. La mayor parte de los suelos naturales se componen por la mezcla de dos o más de estos elementos, y pueden contener por añadidura material orgánico parcial o completamente descompuesto.

A las gravas y las arenas se les llama **suelos de grano grueso**, y a los limos y a las arcillas **suelos de grano fino**. La distinción radica en que puedan diferenciarse las partículas a simple vista. Las partículas que tienen un tamaño mayor que aproximadamente 5 mm se clasifican como **grava**. Sin embargo, si el diámetro excede de aproximadamente 200 mm, se aplica usualmente el nombre de **boleo**. Si los granos son visibles a simple vista pero menores a 5 mm el suelo se describe como **arena**, esta puede ser gruesa, media y fina.

La resistencia en estado seco proporciona una base para distinguirlos. Se moldea un pequeño prisma de suelo que se deja secar al aire. Luego se rompe y tomando un fragmento de aproximadamente 3

mm se aprieta con el pulgar y el índice. El esfuerzo necesario para romper el fragmento proporciona una base para describir su resistencia como muy baja, baja, media y alta o muy alta. Un fragmento de arcilla puede romperse solamente con un gran esfuerzo, mientras que uno de limo se rompe fácilmente.

Ejecutando las pruebas pertinentes de clasificación y determinando las propiedades índice correspondientes, el ingeniero adquiere medios para describir con precisión un suelo dado sin usar descripciones verbales que están sujetas a malas interpretaciones debido a la vaguedad de la terminología. Las propiedades del suelo en conjunto, dependen de la estructura y disposición de las partículas en la masa del suelo. Aunque comúnmente se usan las propiedades de los granos para fines de identificación, el ingeniero debe saber que las propiedades del terreno en conjunto tienen una mayor influencia en el comportamiento desde el punto de vista técnico del suelo.

El ingeniero especialista en cimentaciones también debe conocer las propiedades hidráulicas de los suelos. Si, por ejemplo, en la construcción de una cimentación se requiere abatir el nivel de agua freática, el ingeniero deberá estar informado con respecto a las propiedades hidráulicas y las características de drenaje de los materiales del subsuelo.

Se dice que un material es permeable, cuando contiene huecos o intersticios continuos. Todos los suelos y todas las rocas satisfacen esta condición habiendo grandes diferencias en el grado de permeabilidad de los diferentes materiales térreos. En general el coeficiente de permeabilidad se incrementa al aumentar el tamaño de los intersticios, que a su vez crece al aumentar el tamaño de los granos.

El nivel que toma el agua en los pozos de observación hechos en los depósitos de suelos se conoce con el nombre de nivel del agua subterránea, superficie libre del agua, o bien nivel freático.

Las características de esfuerzo-deformación de un suelo o de una roca, determinan el asiento que una estructura dada puede experimentar. Los asentamientos de las estructuras construidas sobre mantos de arcilla blanda, que algunas veces están enterrados profundamente debajo de materiales mas resistentes y menos compresibles, pueden producirse lentamente y alcanzar grandes magnitudes.

La relación entre la presión vertical, el asentamiento y el tiempo, se investigan en el laboratorio por medio de una prueba de compresión confinada.

1.2. Técnicas para la investigación en el subsuelo

Para que el ingeniero pueda proyectar una cimentación inteligente, debe tener un conocimiento razonable de las propiedades físicas y disposición de los materiales del subsuelo. A las operaciones de campo y de laboratorio necesarias para obtener esta información esencial se les llama **exploración del suelo** o programa de exploración.

El método que más se adapta a una variedad de condiciones consiste en hacer sondeos en el terreno y extraer muestras para su identificación y, en algunos casos, para hacerles pruebas. Después de que se han conocido mediante sondeos preliminares las características generales de los materiales del subsuelo, puede ser adecuado un programa más extenso de sondeo y muestreo. O puede resultar más efectivo investigar la consistencia o la compacidad relativa de las partes más débiles del depósito, por medio de pruebas de penetración u otros métodos directos que no requieren muestreo.

1.3. Tipo de cimentaciones y modo de construcción

Las cimentaciones de la mayor parte de las estructuras se desplantan debajo de la superficie del terreno. Por lo tanto, no pueden construirse hasta que se ha excavado el suelo o roca que está por encima del nivel de las cimentaciones.

Ordinariamente el ingeniero especialista en cimentaciones no se encarga de elegir el equipo de excavación en un lugar dado, ni de diseñar el apuntalamiento, si se necesita. Sin embargo, generalmente es obligación del ingeniero aprobar o recusar el procedimiento de construcción propuesto por el constructor y revisar el proyecto del apuntalamiento.

En los suelos permeables para hacer excavaciones por debajo del agua freática, usualmente se requiere desaguar el lugar antes o durante la construcción.

2. Normativa

Respecto al dibujo de construcción no existe una normativa clara y aplicable siendo recomendable el uso de la NTE, en este caso la específica de cimentaciones incluyendo éstas aparte de los parámetros de cálculo de las mismas, también detalles para su representación en plano. Para detalles específicos lo más usual es acudir a libros específicos sobre construcción en los que estarán representados detalles generales como los que se incluyen en este trabajo.

3. Cimentaciones superficiales

Cuando a nivel de la zona inferior de la estructura, el terreno presenta características adecuadas desde los puntos de vista técnico y económico para cimentar sobre él, la cimentación se denominará **superficial o directa**. Las cimentaciones superficiales estarán constituidas por **zapatas, vigas y placas**, o por combinaciones de estos elementos.

Estas características del terreno son fundamentales a la hora de la elección de la cimentación.

La influencia del tipo de edificio a ejecutar también es importante en la selección de la cimentación. Las características más importantes de los edificios a la hora de la cimentación pueden ser:

- a) *Existencia de sótanos*
- a) *Edificios ligeros de poca altura: se usará cimentación superficial*
- b) *Edificios de poca altura: losas, pilotaje*
- c) *Edificios de gran altura: Cimentaciones profundas o losas de cimentación*

Antes de la selección de la cimentación, y como parte previa a la redacción del proyecto, debe realizarse un estudio geotécnico del terreno que en sus conclusiones debe recomendar los tipos de cimentaciones más adecuados.

Como características principales una zapata debe cumplir:

- a) *Conducción de las cargas al terreno a través de los elementos estructurales.*
- b) *Reparto uniforme de las cargas para que no se superen las tensiones superficiales del terreno.*
- c) *Deben limitarse los asentamientos de la estructura a los máximos admisibles por ésta, y evitar asimismo los asentamientos diferenciales.*
- d) *Las cimentaciones deben quedar ocultas.*

En el caso de edificios industriales el modo de selección de las cimentaciones no difiere del resto de las edificaciones, siendo incluso en muchos casos un factor decisivo a la hora de decidir el emplazamiento de la industria, pues un coste muy elevado por las malas características del terreno encarecería demasiado el proyecto. El tipo de cimentación más usado en proyectos industriales es la zapata en sus diversas variantes. No se desestimarán en caso necesario el uso de losas e incluso, en casos muy desfavorables del terreno, cimentaciones profundas como pilotes.

3.1. Zapatas

Se trata de la solución más usada, debido a que es la más económica, de más fácil ejecución y adaptarse bien a terrenos resistentes. Es además una solución interesante para luces importantes.

Una zapata es una ampliación de la base de una columna o muro que tiene por objeto transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo. A las zapatas que soportan una sola columna se llaman individuales o zapatas aisladas. La zapata que se construye debajo de un muro se llama zapata corrida o zapata continua. Si una zapata soporta varias columnas se llama zapata combinada. Una forma especial de zapata combinada que se usa normalmente en el caso que una de las columnas soporte un muro exterior es la zapata en voladizo o cantilever.

En las zonas frías, las zapatas se desplantan a una profundidad no menor que la penetración normal de la congelación. En los climas más calientes, y especialmente en las regiones semiáridas, la profundidad mínima de las zapatas puede depender de la mayor profundidad a que los cambios estacionales de humedad produzcan una contracción y expansión apreciable del suelo. La elevación a la que se desplanta una zapata depende del carácter del subsuelo, de la carga que debe soportar y del coste del cimiento. Generalmente la zapata se colocara a la altura máxima en que pueda encontrarse un material que tenga de forma estable la capacidad de carga adecuada.

La excavación de una zapata para hormigón armado debe mantenerse seca, para poder colocar el refuerzo y sostenerlo en su posición correcta mientras seca el hormigón. Para hacer esto en los suelos que contienen agua debe ser necesario bombear o instalar previamente un sistema de drenaje.

La clasificación de zapatas es muy amplia. Según su forma de trabajo se puede clasificar como: aislada, combinada, corrida o continua y arriostrada o atada. Según su forma en planta su clasificación será: rectangular, cuadrada, circular, anular o poligonal.

3.1.1 Zapata aislada cuadrada

En este tipo de zapatas el elemento estructural que transmite los esfuerzos será un pilar, pudiendo ser éste de hormigón o metálico. El pilar arrancará siempre desde el centro geométrico de la base de la zapata.

En el caso de pilares de hormigón armado se deberá dejar una armadura vertical saliente de la zapata como armadura de espera para unión con la armadura del pilar, para que se produzca la transferencia de esfuerzos del pilar a la zapata. En el caso de pilares metálicos no se dispondrá esta armadura de espera.



Fig. 1 Armadura de una zapata



Fig. 2 Esperas de la zapata



Fig. 3 Zapata

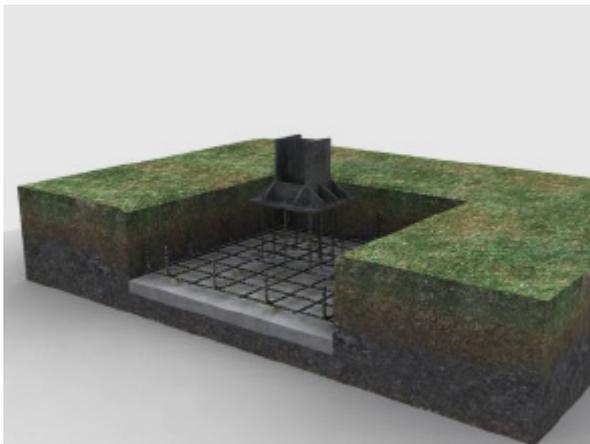


Fig. 4 Zapata para pilar de hierro



Fig. 5 Zapata para pilar de hierro



Fig. 6 Zapata para pilar de hierro

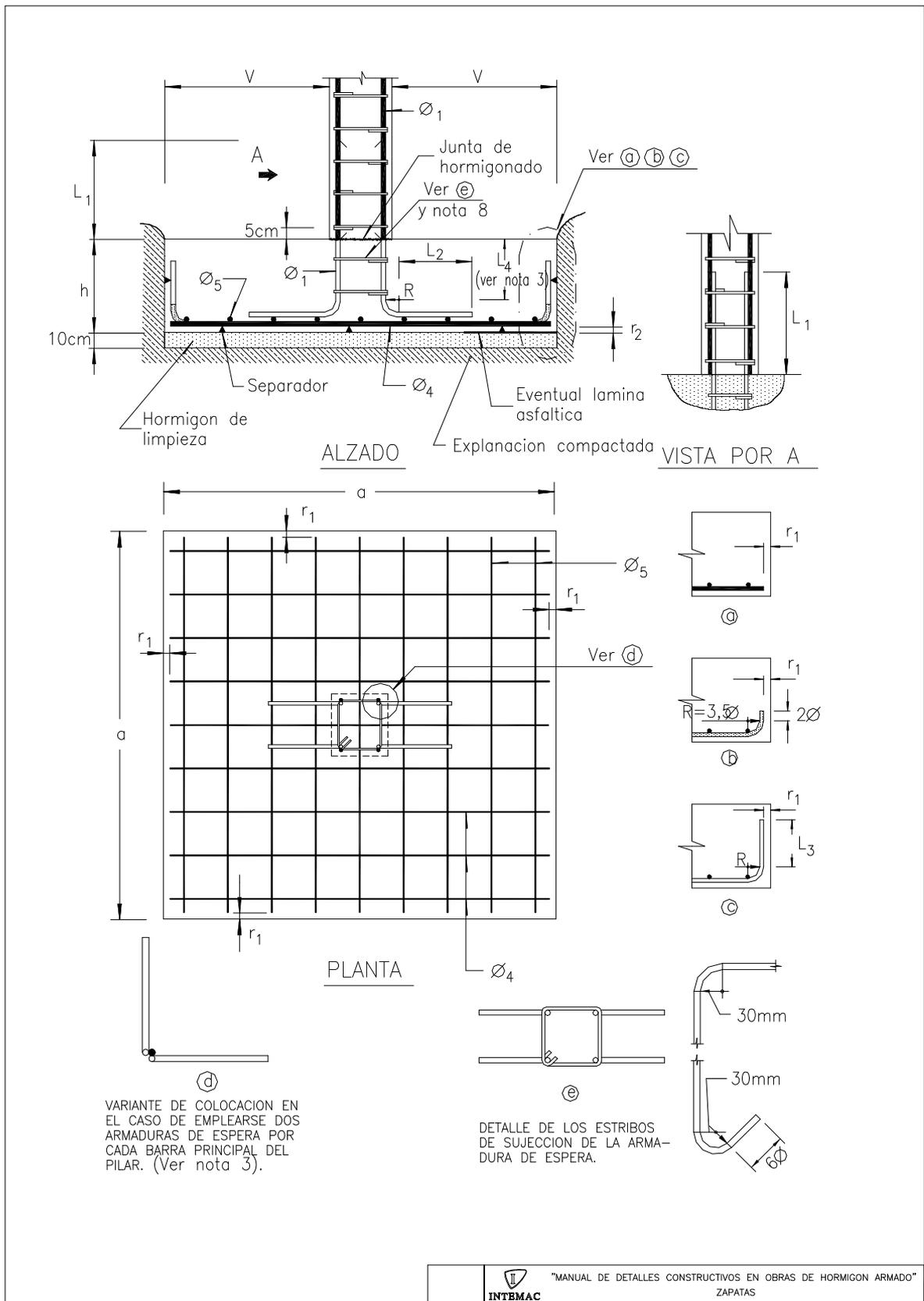


Fig. 7 Zapata aislada cuadrada

v:	vuelo de la zapata	
a:	ancho de la zapata	
h:	canto de la zapata	
r1:	recubrimiento lateral de la armadura inferior	Estos dos recubrimientos dependerán del tipo de hormigón y ambiente en el que nos encontremos.
r2:	recubrimiento inferior de la armadura.	
L1:	longitud de solape de la armadura de espera con la armadura del pilar	
L2:	longitud de anclaje de la armadura de espera.	
L3:	longitud de anclaje del emparrillado.	
L4:	longitud de la armadura de espera hasta doblado para anclaje	
$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$	diámetros de las barras de acero corrugado necesarias para la armadura según cálculos	

En la Fig. 8 se incluyen algunos comentarios a la representación de la Fig. 7

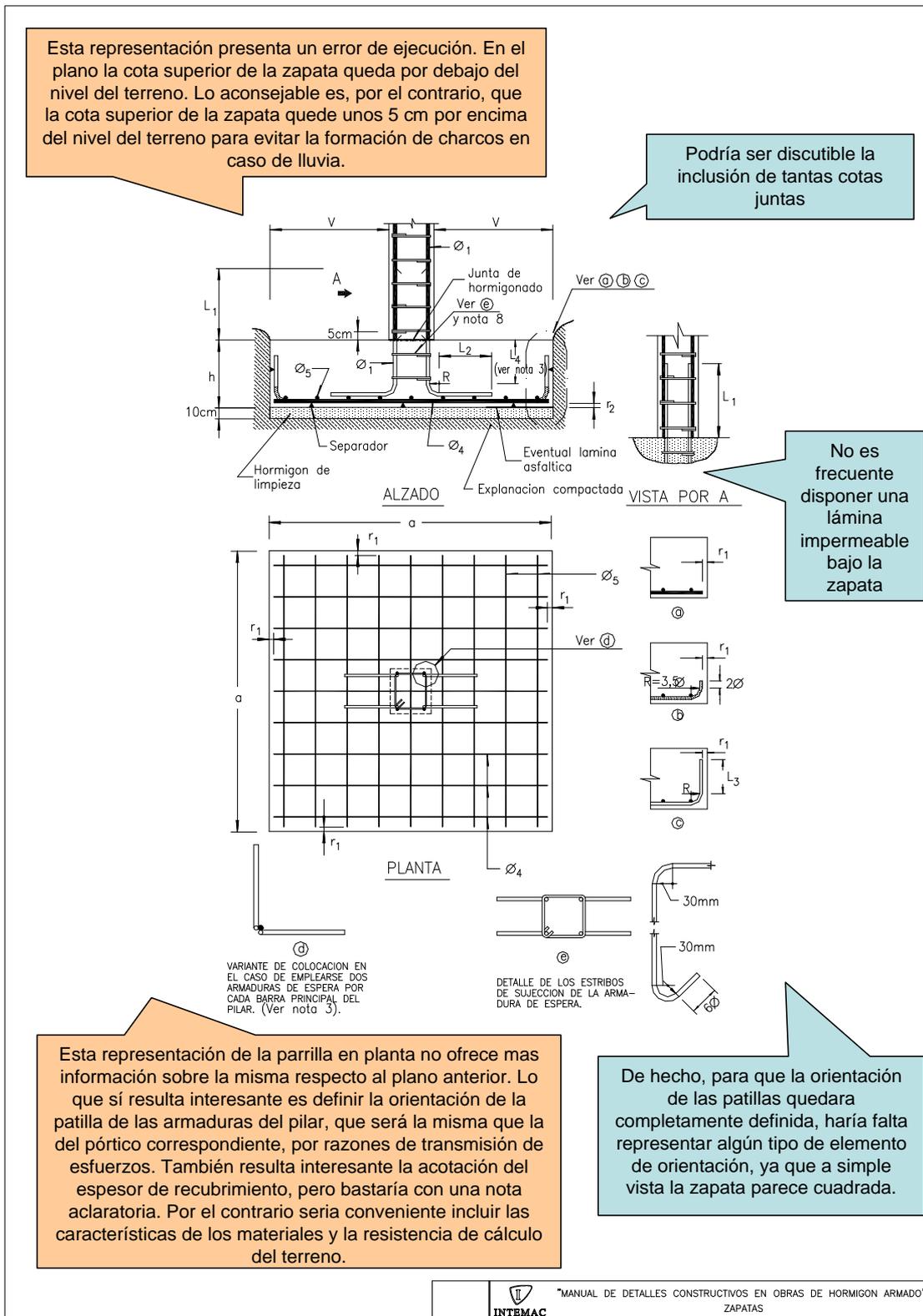


Fig. 8 Zapata aislada cuadrada

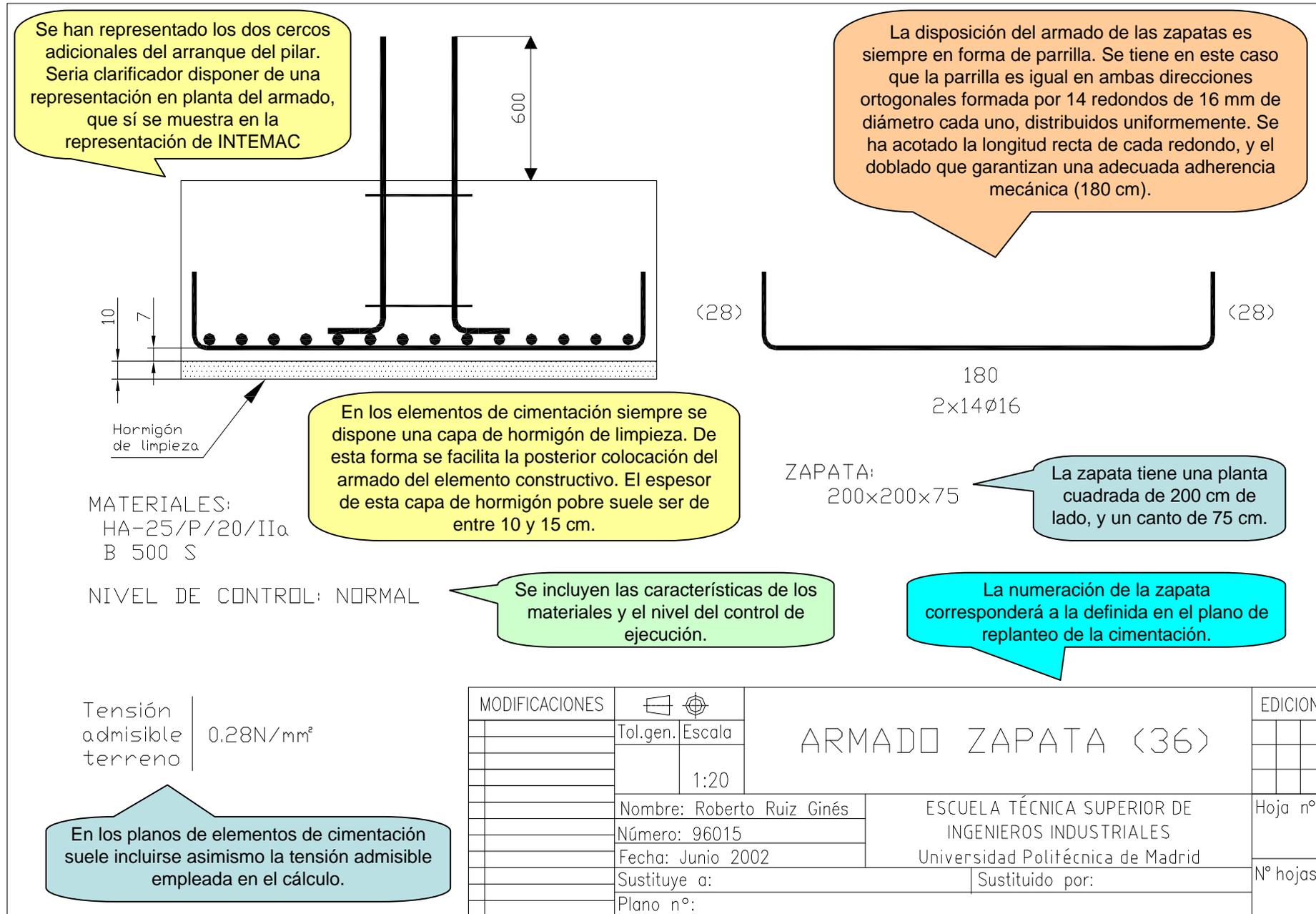


Fig. 9 Armado de una zapata aislada cuadrada

El hormigón de limpieza serán 10 cm.

Los radios de doblado de las armaduras se determinarán según norma de hormigón (EHE).

La armadura inferior o emparrillado debe distribuirse uniformemente en todo el ancho.

La zapata se organiza en forma idéntica si es rectangular, aunque en este caso el emparrillado deja de ser simétrico.



Fig. 10

3.1.2 Zapata aislada circular

Este tipo de zapatas no es de uso frecuente excepto en caso de edificaciones singulares o soluciones prefabricadas, pues el coste de la armadura sería elevado por la dificultad de su disposición. El uso de zapatas circulares exige la necesidad de usar una geometría especial con canto variable y por tanto la necesidad de encofrado para su ejecución in situ. Por estas causas su uso no es recomendable económicamente excepto en los casos anteriormente mencionados.

Dentro de las zapatas circulares encontraremos dos disposiciones distintas de armado:

Zapata circular con armado circunferencial

Zapata circular con armado con emparrillado

El ángulo $\alpha \leq 25$ para mantener el hormigón con su talud natural al vibrar.

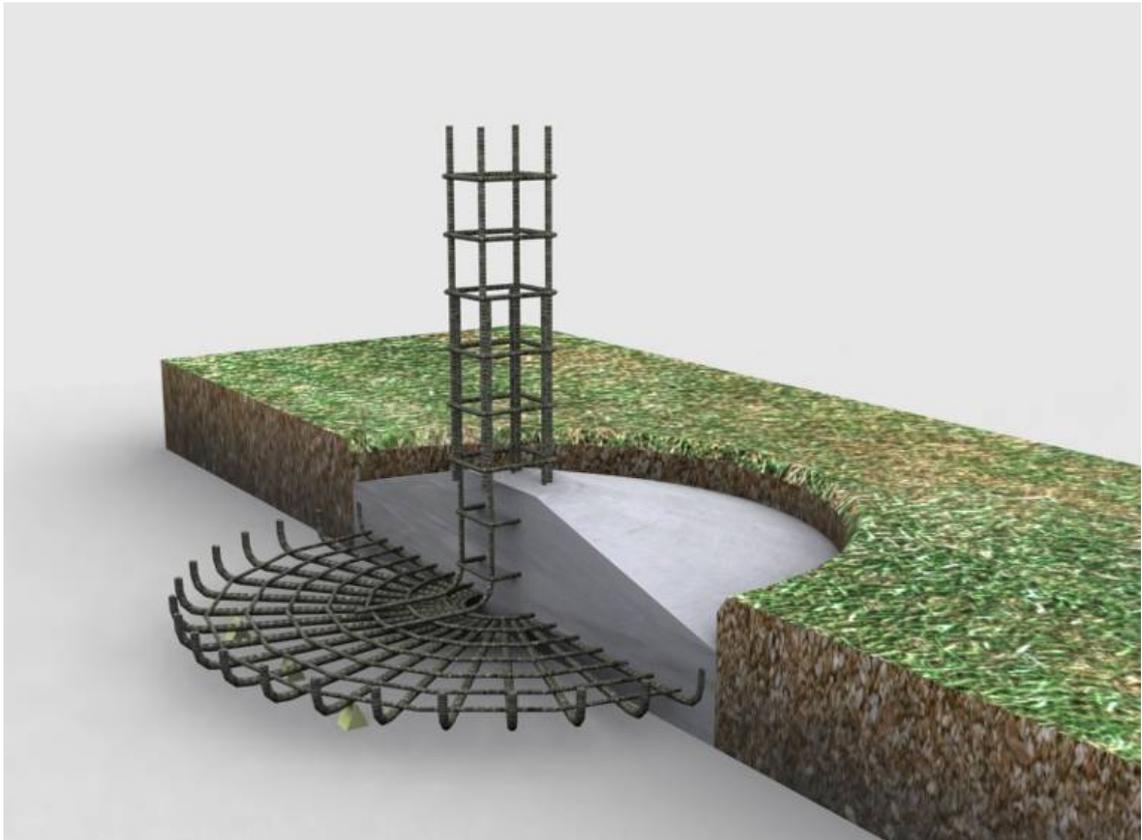


Fig. 11 Zapata aislada circular

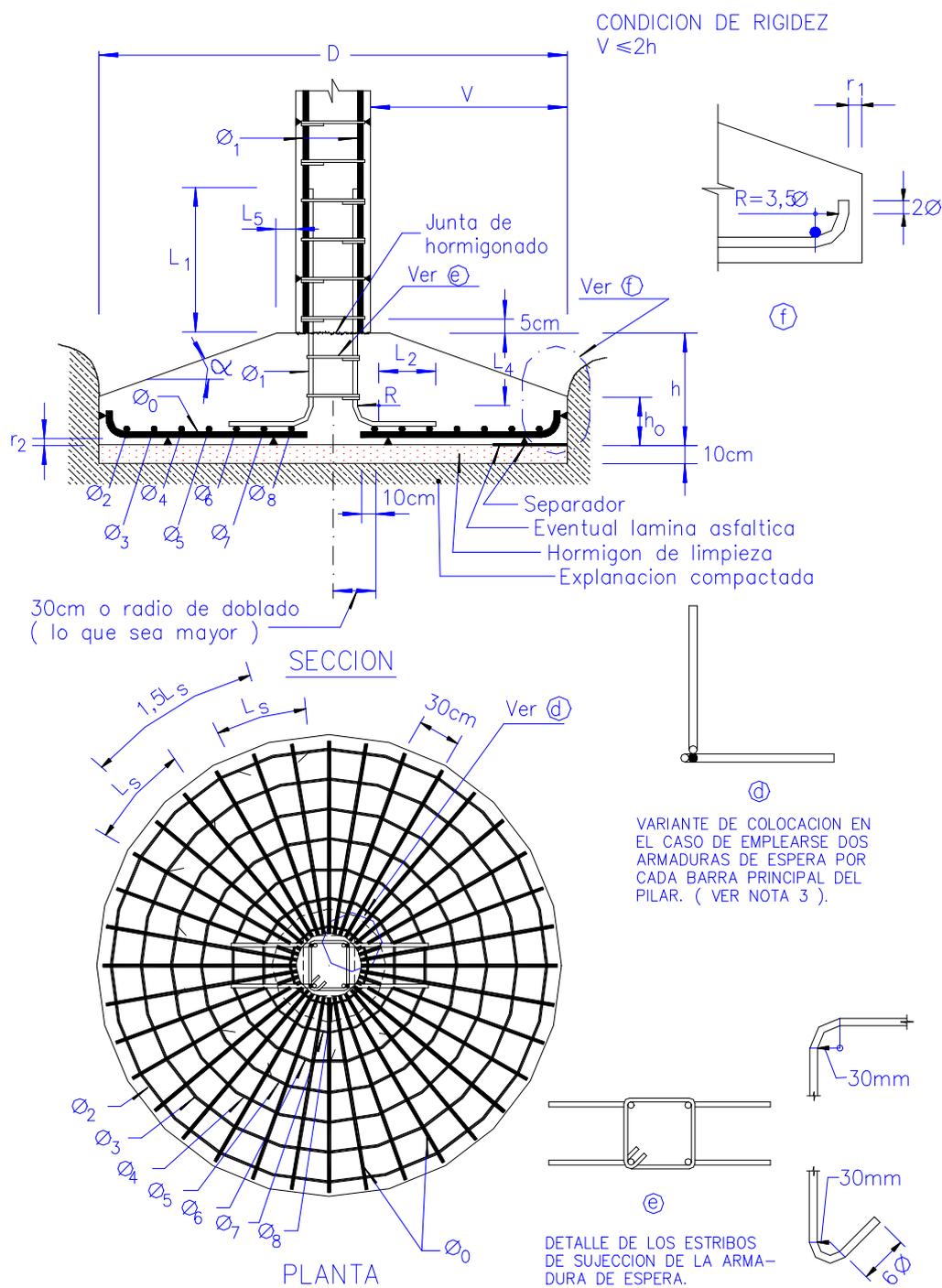


Fig. 12 Zapata aislada circular con armadura circunferencial

3.1.3 Zapata corrida

La zapata corrida es una zapata continua que servirá como cimentación generalmente a un muro de hormigón armado. El elemento estructural que transmitirá los esfuerzos a la cimentación será por tanto un muro. El muro transmitirá una carga lineal a la zapata. Esta solución es muy apta tanto para edificios residenciales como industriales con sótanos que requieran de muros de contención.

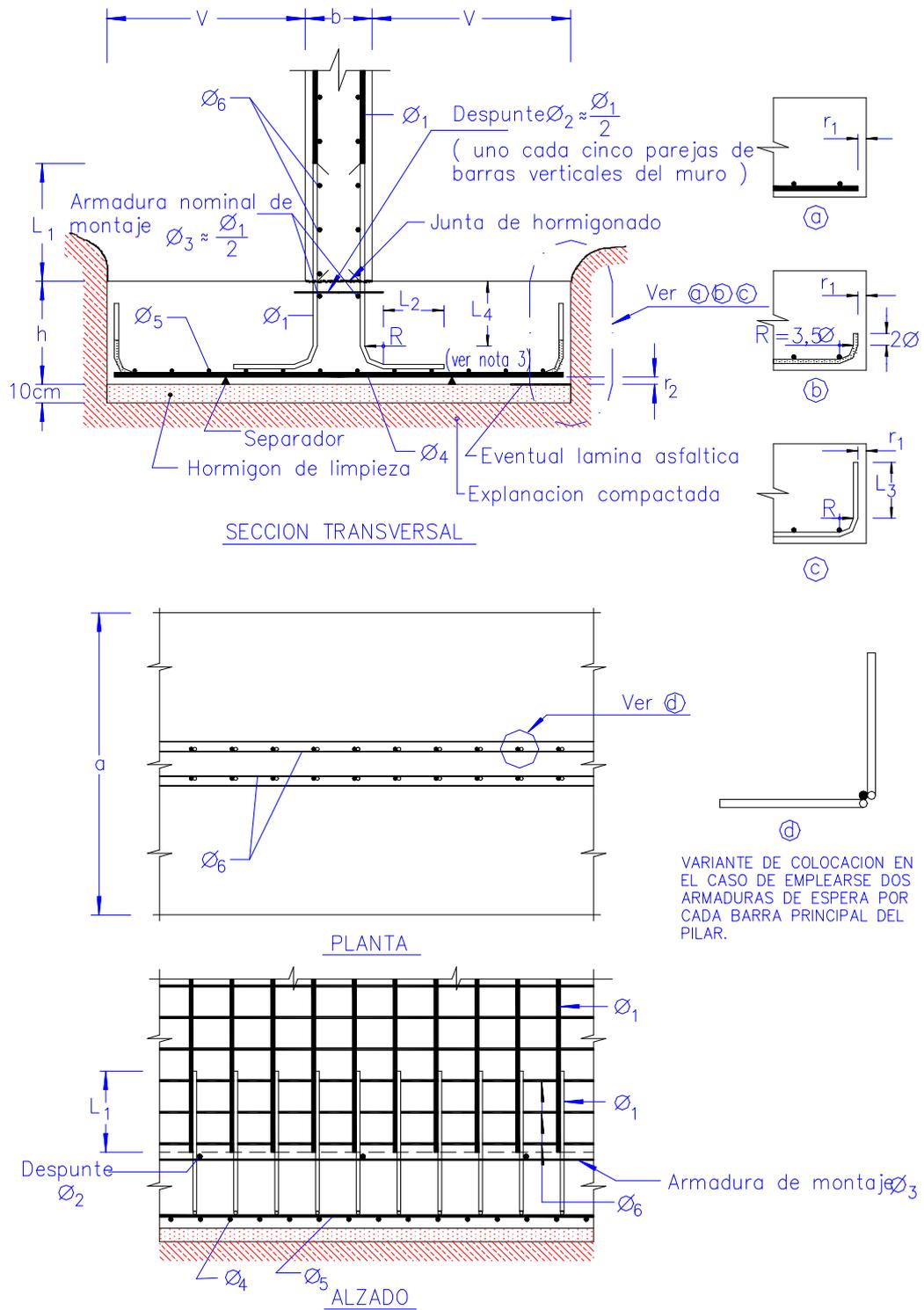


Fig. 13 Zapata corrida soportando un muro de hormigón armado

v:	vuelo de la zapata
L1:	longitud de solape y de anclaje de la armadura Φ_1
b:	ancho del muro
L2:	longitud de anclaje de la armadura de espera de la zapata al muro, debiendo ser esta distancia superior a la distancia entre dos barras Φ_5 de la armadura transversal
L4:	longitud de la armadura de espera antes de anclaje
R:	radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE
h:	canto de la zapata
a:	ancho de la zapata
r2:	recubrimiento de la armadura inferior
Φ_1, Φ_6	de la armadura transversal y longitudinal respectivamente del muro que apoya en la zapata continua
$\Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$	diámetros de las armaduras necesarias para absorber los esfuerzos del muro, siendo Φ_3 la armadura dispuesta a lo largo de la zapata para facilitar el montaje de la armadura de espera de la zapata

En los detalles a, b, c se puede observar la necesidad de acotar r1 como el recubrimiento lateral, R como doblado de la armadura para comenzar el anclaje y L3 la longitud de anclaje de esta armadura.

El espesor del hormigón de limpieza será 10 cm.

Según la NTE (Norma Técnica de la Edificación) para una buena definición en plano de una zapata continua deben darse las vistas necesarias para determinar todas las distancias y armaduras necesarias para un correcto montaje.

En este ejemplo de acotación de una zapata continua se han necesitado una sección transversal para definir el canto h, el vuelo v, y las longitudes de anclaje L1, L2 y L4, el recubrimiento r2, el ancho del muro así como las distintas armaduras. La planta para definir el ancho a de la zapata no habiendo sido necesario definir el diámetro Φ_6 de la armadura longitudinal del muro pues éste ya quedaría definido en la sección transversal. Así mismo se realizarán todos los detalles necesarios en la forma indicada para cualquier aclaración.

Destacar que la longitud de la zapata quedará determinada por la longitud del muro viniendo esta especificada en sus planos correspondientes.

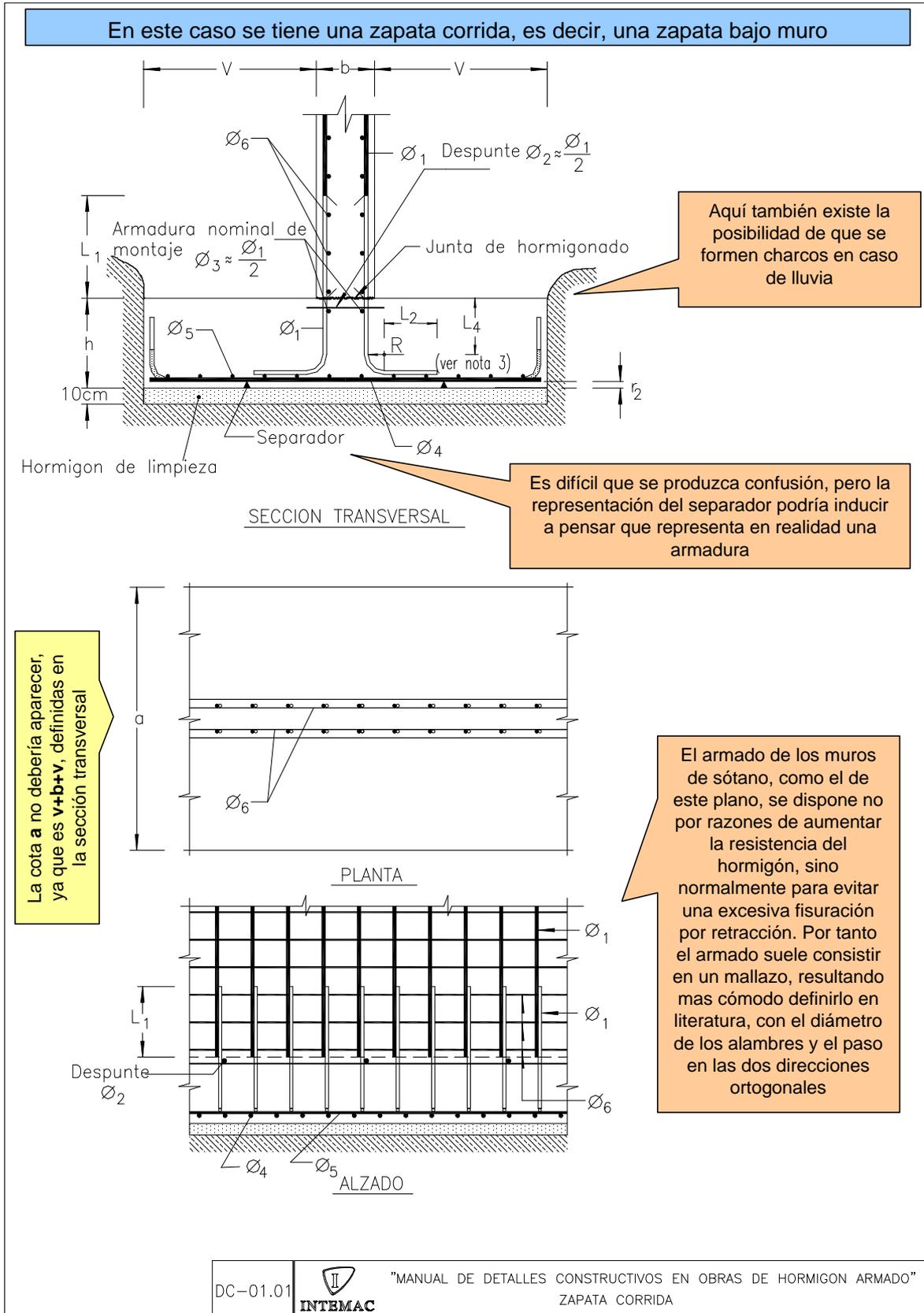


Fig. 14 Zapata corrida soportando un muro de hormigón armado

3.1.4 Zapata de medianería

Se encontrará este tipo de zapatas en aquellos terrenos con medianería, y ante la imposibilidad de cimentar en el terreno colindante se tiene que descentrar el pilar colocándolo en un lado de la zapata. Debido a la excentricidad producida este tipo de zapatas, suele centrarse mediante una viga centradora con una zapata próxima, así se consiguen unas tensiones más uniformes en su reacción con el terreno.

A continuación se incluye un ejemplo de una zapata centrada con otra zapata aislada:

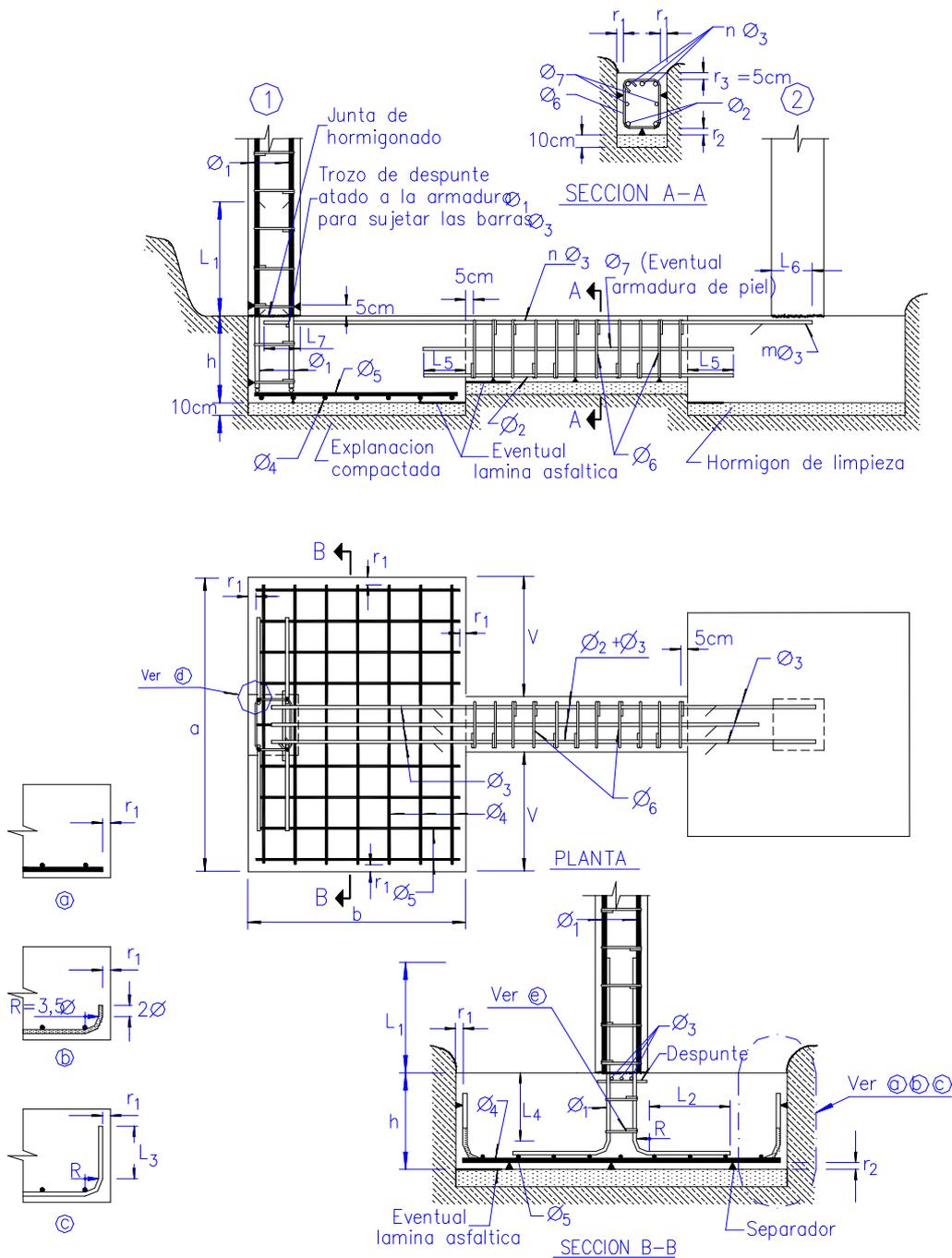


Fig. 15 Zapata medianera con viga centradora (Ref ZM1)

En este dibujo la zapata 1 corresponde a la zapata medianera, mientras que la 2 es una zapata cuadrada centrada cuya armadura se dispondrá como en el ejemplo de la zapata aislada descrito anteriormente.

Aquí se observa que se vuelven a dar dos vistas como son la planta y el alzado, así como una sección transversal que corresponderá a la sección B-B, además de una sección transversal de la viga centradora para definir la disposición de su armadura. Se deben dar los detalles necesarios.

Las barras Φ_1 apoyan directamente en la cara superior de la zapata, sin patilla.

v:	vuelo de la zapata
h:	canto de la zapata
a, b:	dimensiones de la zapata
L1:	longitud de solape y de anclaje de la armadura Φ_1
L2:	longitud de anclaje de la armadura de espera de la zapata
r2:	recubrimiento inferior del emparrillado y de la armadura de la viga (sección A-A)
r1:	recubrimiento lateral de la armadura
R:	radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE
Φ_4, Φ_5	diámetros de las barras de la zapata
Φ_2, Φ_3, Φ_7	armadura longitudinal de la viga, siendo n el número de barras a colocar de ese diámetro, y Φ_6 el diámetro de la armadura transversal o estribos de la viga
L5, L6, L7	longitudes de anclaje de la armadura longitudinal de la viga sobre las zapatas

En la sección A-A también deben indicarse los recubrimientos laterales superior e inferior de la viga (r1, r3, r2 respectivamente).

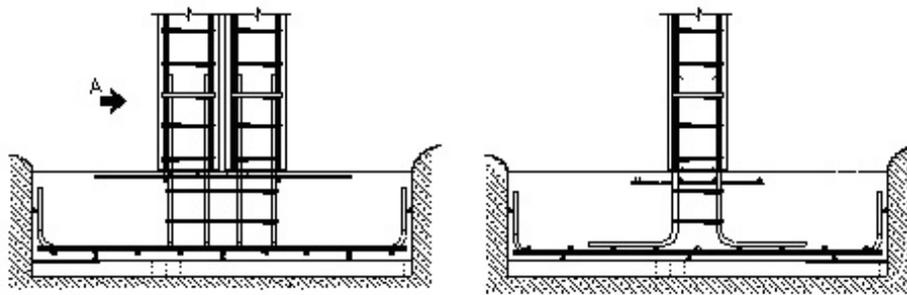
Deberá dejarse una distancia de desde la cara de la zapata hasta el primer estribo o cerco de la viga debiendo anotarse también en los planos. En este ejemplo esa distancia será de 5cm.

El hormigón de limpieza serán 10cm.

La viga centradora habría que definirla como cualquier otra viga, cosa que aquí no se ha realizado pues no se ha indicado la separación entre estribos aunque sí la dimensión de éstos.

3.1.5 Zapata combinada

Este tipo de zapatas tiene la principal característica de que llegan dos o más pilares a la zapata:



ALZADO

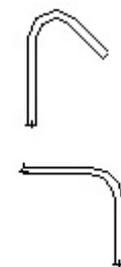
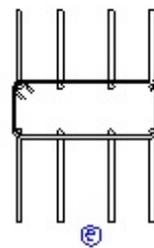
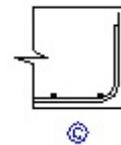
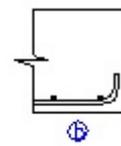
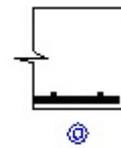
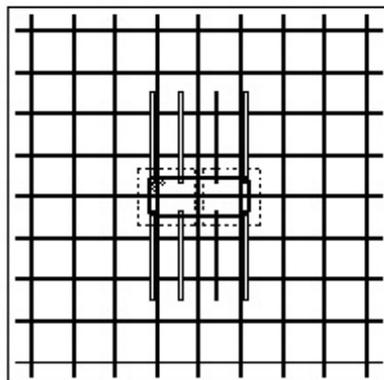
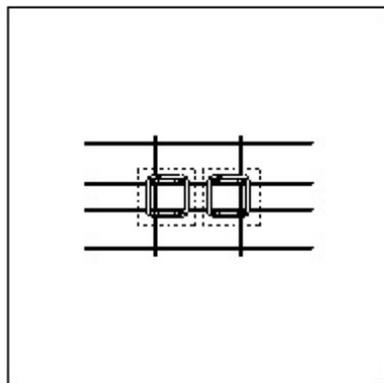


Fig. 16 Zapata combinada

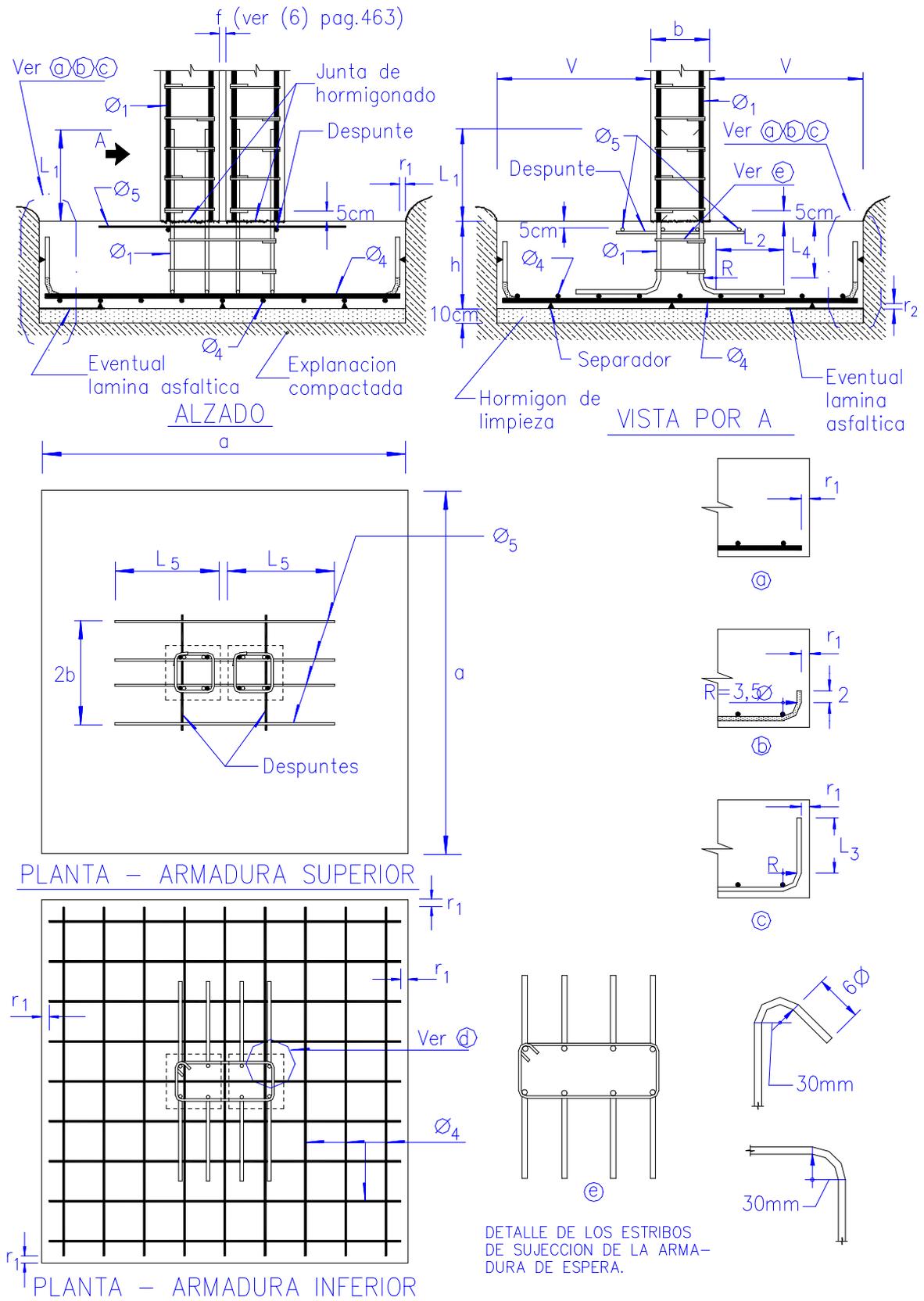


Fig. 17 Zapata combinada

En este tipo de zapatas es imprescindible dar dos vista de planta, una incluyendo la armadura inferior y otra con la armadura superior, pues con una sólo no quedaría bien definida o no sería del todo aclaratorio. La armadura superior tiene como función evitar el punzonamiento de los pilares sobre la zapata, debido a la cercanía de dos cargas puntuales y el consiguiente aumento del riesgo de punzonamiento.

v:	vuelo de la zapata	
a:	ancho de la zapata	
h:	canto de la zapata	
f:	distancia entre caras interiores de pilares	
r1:	recubrimiento lateral de la armadura inferior.	Estos dos recubrimientos dependerán del tipo de hormigón y ambiente en el que nos encontremos.
r2:	recubrimiento inferior de la armadura.	
L1:	longitud de solape de la armadura de espera con la armadura del pilar.	
L2:	longitud de anclaje de la armadura de espera.	
L3:	longitud de anclaje del emparrillado.	
L4:	longitud de la armadura de espera hasta doblado para anclaje	
L5:	longitud de la armadura de punzonamiento desde la cara interior de cada pilar hasta su anclaje	
R:	radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE	
b:	dimensión a cubrir por armadura de punzonamiento	
$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$	diámetros de las barras de acero corrugado necesarias para la armadura según cálculos	

En el alzado o en las vistas laterales habrá que incluir la distancia desde el plano de la zapata al primer estribo del pilar: aquí 5 cm. En este caso también se incluirá la distancia desde la armadura superior al plano superior de la zapata.

El espesor del hormigón de limpieza será 10 cm.

Hasta aquí serían los tipos más significativos de dibujos en planos de zapatas. Si ahora se comparase con las mínimas dimensiones y anotaciones que exige la NTE se verá que no sólo se cumplen esos mínimos sino que se intenta aclarar todo lo posible mediante detalles, secciones y aclaraciones escritas.

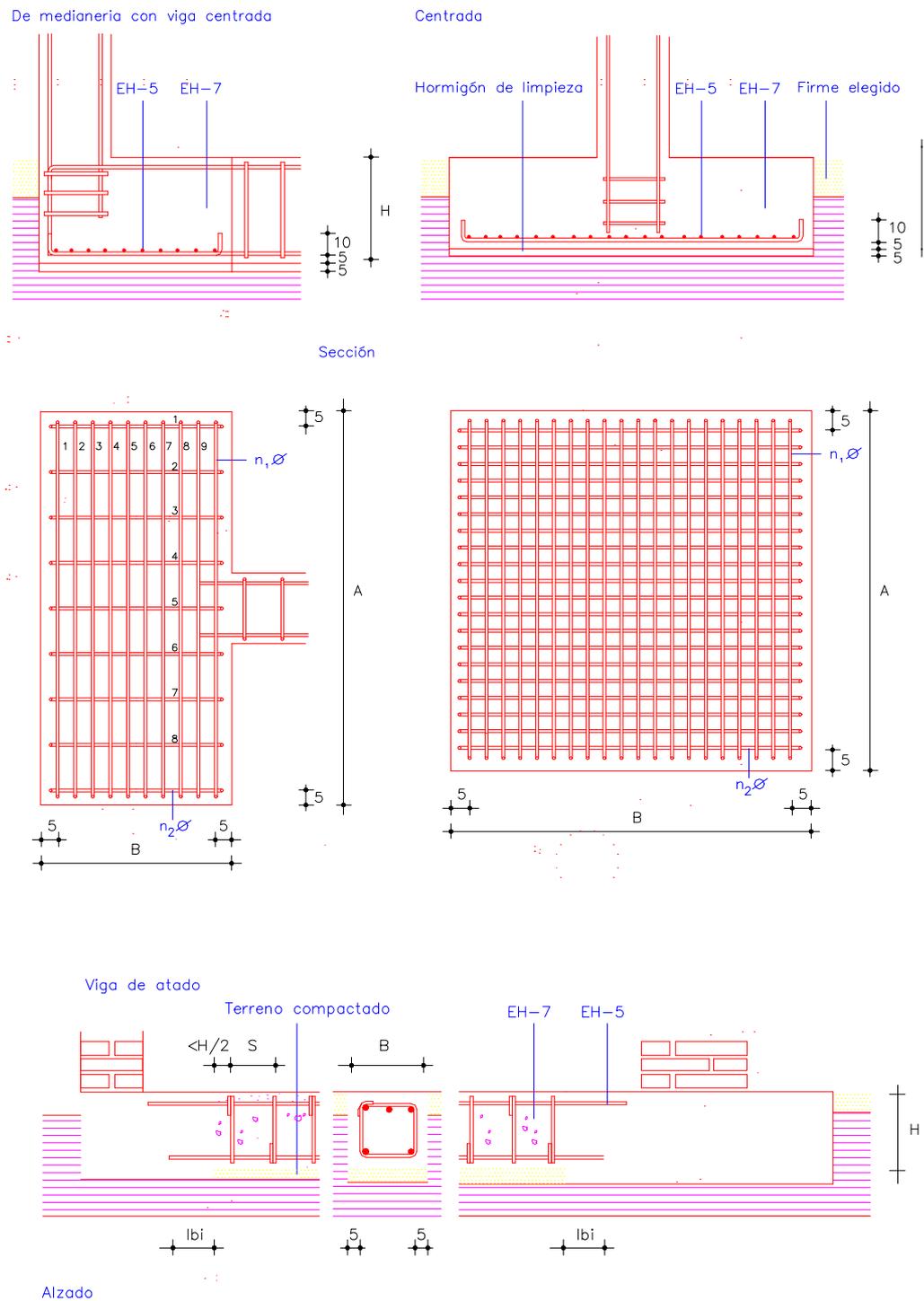


Fig. 18 Zapata centrada, de medianería y viga atado según NTE

3.2. Losas de cimentación

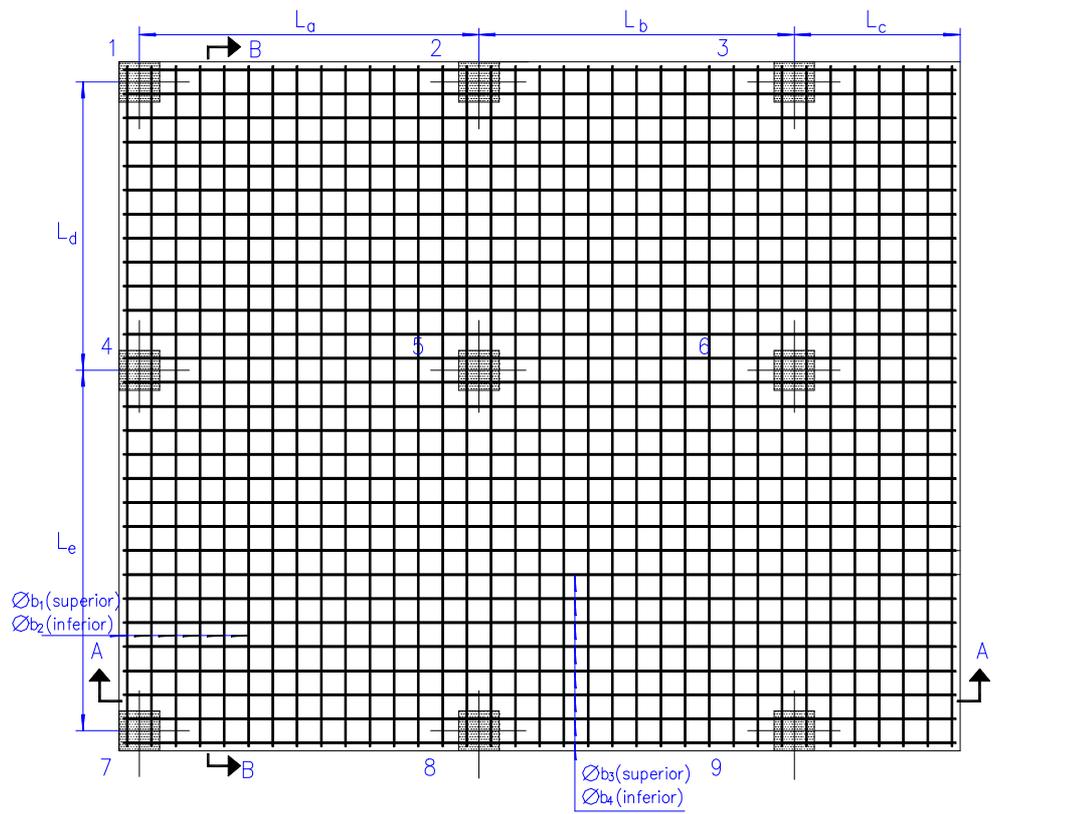
Las losas de cimentación son zapatas de gran tamaño encargadas de repartir lo más uniformemente posible las cargas al terreno. Sus principales características pueden ser: espesor reducido en función

de sus otras dimensiones. Son útiles cuando la suma de las superficies de la zapata $> 50\%$ de la superficie de la edificación. Se trata de una solución cara por lo que su uso será en terrenos con baja resistencia pues en terrenos heterogéneos reducen asientos diferenciales.

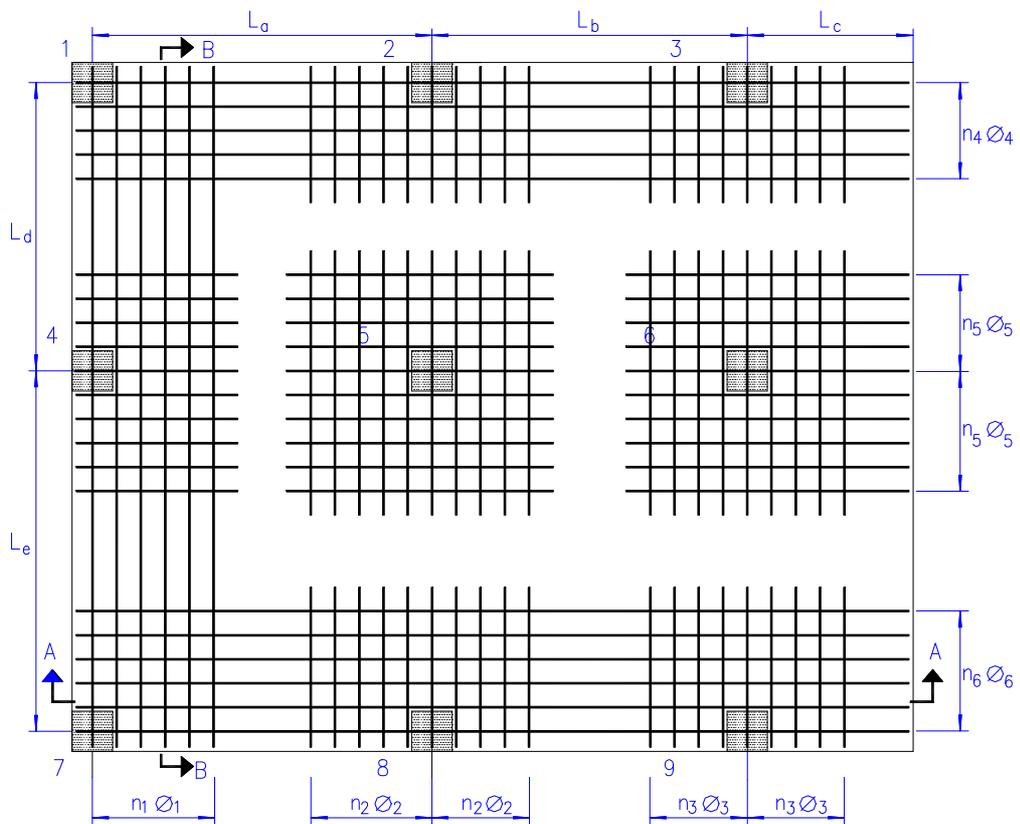
El ejemplo más claro de losa de cimentación será:



Fig. 19



PLANTA – ARMADURA DE BASE SUPERIOR E INFERIOR



PLANTA – ARMADURA DE REFUERZO EN CARA INFERIOR

Fig. 20 Losa o placa de cimentación

No obstante será necesario dar las vistas por dos secciones transversales A-A y B-B:

Secciones transversales A-A y B-B

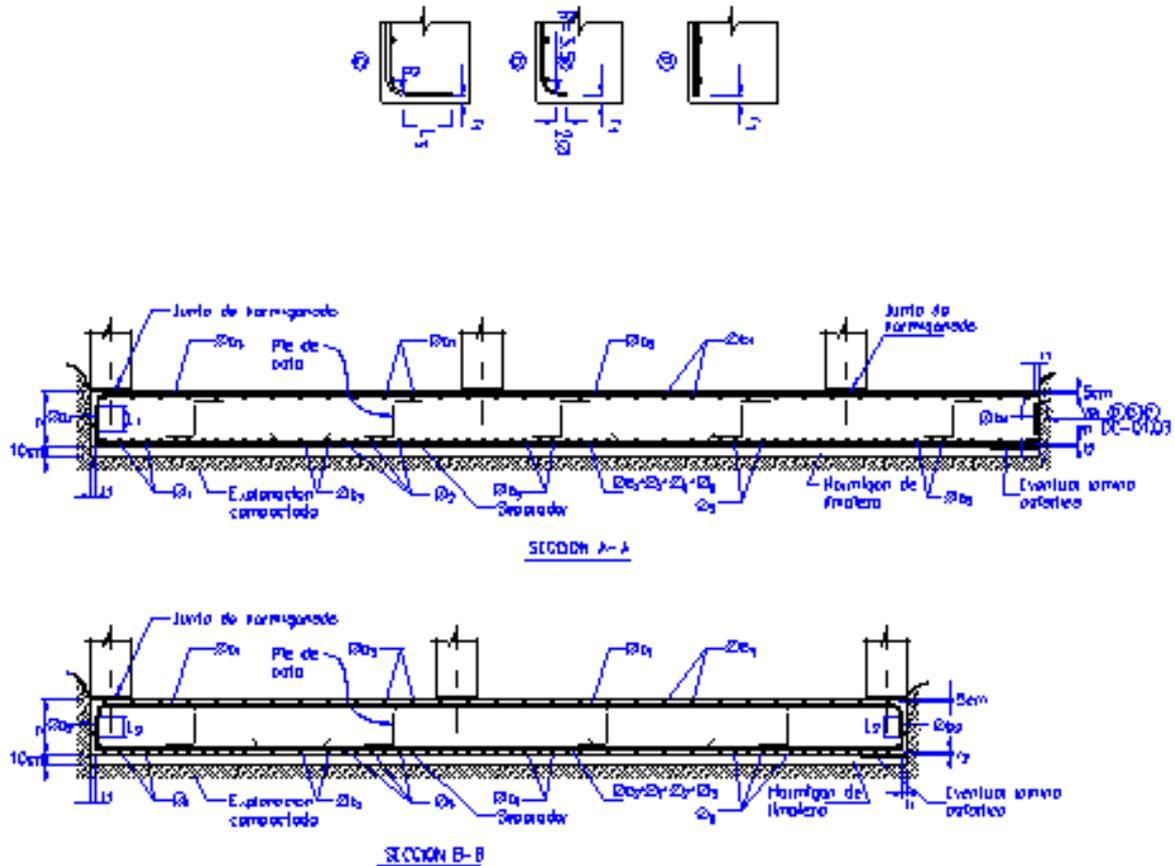


Fig. 21 Losa o placa de cimentación

En las vistas de planta deberán quedar definidas las armaduras tanto en la cara superior como la armadura de refuerzo de negativos en la cara inferior.

L_a, L_b, L_c, L_d, L_e serán las distancias entre ejes de pilares

$n_1\Phi_1, n_2\Phi_2, n_3\Phi_3, n_4\Phi_4, n_5\Phi_5$ indicará el número de barras a disponer de cada diámetro y a qué distancia una de otra.

Los pilares irán numerados.

El pie de pato es un elemento separador entre la armadura superior de la inferior para que no haya desplazamientos durante el hormigonado.

En las secciones transversales se indicarán los recubrimientos laterales, inferior y superior, r_1, r_2 y 5 cm respectivamente.

h : canto de la losa.

El hormigón de limpieza serán 10 cm.

4. Cimentaciones profundas

Estas cimentaciones se usarán cuando el terreno firme no se encuentra en la superficie sino a mayor profundidad. La cimentación profunda más usada es la cimentación por pilotes.

4.1. Pilotes

Un pilote es un elemento de cimentación de gran longitud comparada con su sección transversal, que enterrado consigue una cierta capacidad de carga, suma de su resistencia por rozamiento con el terreno y su apoyo en punta.

4.1.1 Función de los pilotes

Cuando el suelo situado al nivel en que se desplantaría normalmente una zapata o una losa de cimentación, es demasiado débil o compresible para proporcionar un soporte adecuado, las cargas se transmiten al material más adecuado a mayor profundidad por medio de *pilotes*. Los pilotes son elementos estructurales con un área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud, y usualmente se instalan usando una piloteadora que tiene un martinete o un vibrador. A menudo se hincan en grupos o en filas, conteniendo cada uno suficientes pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro.

Las columnas con poca carga, pueden en algunos casos, necesitar un solo pilote. Sin embargo, ya que en las condiciones del trabajo de campo, la posición real de un pilote puede quedar a varios centímetros de la posición proyectada, difícilmente pueden evitarse las cargas excéntricas. En consecuencia las cabezas de los pilotes aislados usualmente se arriostran en dos direcciones por medio de contratrabes. Si solo se necesitan dos pilotes las cabezas se unen con un cabezal de hormigón, siendo arriostradas solamente en una dirección, perpendicular a la línea que une los dos pilotes. Los grupos que contienen tres o más pilotes están provistos de cabezales de hormigón reforzado y se consideran estables sin apoyarlos con contratrabes.

También pueden usarse pilotes verticales para resistir cargas laterales; por ejemplo, debajo de una chimenea alta sometida al viento. Comparada con la capacidad axial, la capacidad lateral es usualmente pequeña. Cuando es necesario soportar grandes cargas laterales, pueden usarse pilotes inclinados. Las inclinaciones de 1 horizontal por 3 vertical representan aproximadamente la mayor inclinación que puede obtenerse con el equipo ordinario para el hincado. La economía favorece usualmente las menores inclinaciones, aunque tenga que usarse un mayor número de pilotes.

Su utilización será requerida cuando:

- a) *Las cargas no pueden transmitirse al terreno con una cimentación superficial*
- b) *Asientos imprevisibles pero existiendo terreno profundo resistente*
- c) *Cuando el terreno de cimentación puede sufrir grandes variaciones (retracción...)*
- d) *Estructuras sobre agua*
- e) *Cargas inclinadas*
- f) *Recalce de cimentaciones existentes*

La ejecución de los pilotes será de dos maneras: por hincas o por hormigonado in situ.

Actualmente los pilotes alcanzan profundidades de 50 m o superiores y diámetros de 2 a 4 m, con cargas por encima de las 200 t.

Si el estrato firme está muy profundo (>25 m) deberán estudiarse otras alternativas (mejora y consolidación del terreno, cimentaciones compensadas. Lo mismo cuando se trata de áreas extensas poco cargadas (naves, almacenes...))

Ejecución	Material	Geometría
Hinca	Hormigón	Cilíndricos Cuadrados Hexagonales
Hinca	Metálicos	Tubo Perfil laminado
In situ	Hormigón (de extracción de tierras) Hormigón (de desplazamiento)	

4.1.2 Tipos de pilotes

4.1.2.1 Clasificación

Los pilotes se construyen en una gran variedad de tamaños, formas, y materiales para adaptarse a muchos requisitos especiales, incluyendo la competencia económica.

4.1.2.2 Pilotes de madera

Probablemente los pilotes de madera son los más utilizados en todo el mundo. Bajo muchas circunstancias proporcionan cimentaciones seguras y económicas. Los pilotes de madera no pueden soportar los esfuerzos debidos a un fuerte hincado, en ocasiones necesarias para penetrar mantos muy resistentes. Pueden reducirse los daños a las puntas usando regatones de acero, pero, para un tipo dado de martinete, el peligro de romper los pilotes puede reducirse mucho únicamente limitando el esfuerzo inducido en la cabeza del pilote y el número de golpes del martillo.

Aunque los pilotes de madera pueden durar indefinidamente cuando están rodeados permanentemente por un suelo saturado, están sujetos a pudrirse por encima de la zona de saturación. En algunas localidades pueden destruirse por insectos como las termitas. La vida de los pilotes de madera, por encima del nivel del agua puede aumentarse mucho tratándolos a presión con creosota. La duración efectiva con este tratamiento todavía no se ha determinado bien, pero se sabe que excede a los 40 años.

Los pilotes de madera en aguas estancadas o saladas también están sujetos al ataque por varios organismos marinos como el *teredo* y *la limnoria*. El deterioro puede ser completo en unos cuantos años o, en condiciones extremadamente desfavorables, en unos cuantos meses.

4.1.2.3 Pilotes de hormigón

Poco después de 1900 se idearon varios tipos de pilotes de hormigón. Desde entonces han aparecido numerosas variantes, y en la actualidad se dispone de una gran variedad de pilotes entre los cuales

el ingeniero puede elegir el que mejor se adapte a una obra determinada. Los pilotes de hormigón pueden dividirse en dos categorías principales, *colados en el lugar y precolados*. Los colados en el lugar pueden subdividirse en pilotes con y sin *ademe*.

El hormigón de un pilote con ademe se cuela dentro de un molde, que usualmente consiste en un forro de metal o tubo delgado que se deja en el terreno. El forro puede ser tan delgado que su resistencia se desprecia al evaluar la capacidad estructural del pilote, pero, sin embargo, debe tener la resistencia suficiente para que no sufra colapso bajo la presión del terreno que lo rodea antes de que se llene con hormigón. Los forros muy delgados y los tubos no pueden hincarse sin estar soportados en el interior por un mandril, que en si es una fuente de gastos y a veces origina dificultades de construcción.

La supresión del ademe o forro reduce el costo de los materiales que se utilizan en el pilote; por lo tanto hay incentivos económicos en el desarrollo de pilotes sin ademe. Varios de los primeros tipos se formaron hincando un tubo abierto en el terreno, limpiándolo, y llenando la perforación de hormigón al ir sacando el tubo. Por ejemplo, al formar el pilote sin ademe tipo Franki, se deja caer directamente un martinete de gravedad en una masa de concreto en la parte inferior del tubo de hincado; el rozamiento entre el hormigón y el tubo, hinca el tubo en el terreno. Cuando se ha alcanzado la profundidad necesaria, se levanta ligeramente el tubo de hincado y se sostiene para que no penetre mas al seguir echando hormigón, en tanto que el martillo sigue golpeando para que el hormigón penetre en el suelo y forme un pedestal. Luego se retira el tubo progresivamente mientras se inyectan cantidades adicionales de hormigón, compactándolo para ir formando el fuste del pilote, que presenta una superficie exterior áspera donde queda en contacto con el suelo. La variante con ademe se forma de la misma manera hasta que se crea el pedestal, luego, se inserta un forro de acero corrugado en el tubo para hincar, se coloca un tapón de hormigón en el fondo del forro, sobre el pedestal, y se hinca para que arrastre al forro dentro de la parte superior del pedestal aun sin fraguar. Se saca el tubo para hincar y el resto se llena de hormigón.

Los pilotes precolados de hormigón se fabrican de muchas formas. Un tipo muy usado comúnmente para los caballetes de los puentes, y ocasionalmente en los edificios, es de sección cuadrada, armado en su interior y acabado en punta, para facilitar así su hincado. Estos pilotes deben reforzarse para soportar su manejo hasta que están listos para hincarse, y los esfuerzos de hincado. Si se ha subestimado la longitud necesaria, resulta muy difícil prolongarlos, cortarlos es caro por lo que los fabricantes los realizan de muchas medidas diferentes.

Los pilotes precolados pueden ser también preesforzados. Con el preesforzado se trata de reducir las grietas por tensión durante su manejo e hincado y de proporcionar resistencia a los esfuerzos de flexión.

Como la mayor parte de los pilotes de hormigón pueden hincarse hasta alcanzar una alta resistencia sin daño, usualmente es posible asignarles mayores cargas admisibles que a los pilotes de madera. Bajo condiciones ordinarias no están sujetos a deterioro y pueden usarse arriba del nivel del agua freática. Las sales del agua de mar y la humedad marina, atacan el refuerzo en los pilotes a través de las grietas en el hormigón; al formarse el óxido el hormigón se desconcha. La mejor protección es usar un hormigón denso y de alta calidad. El deterioro de los pilotes preesforzados no es tan rápido porque las grietas de tensión se reducen al mínimo.

4.1.2.4 Pilotes de acero

Se utilizan mucho como pilotes los tubos de acero, que usualmente se llenan de hormigón después de hincados, y los perfiles de acero en H cuando las condiciones requieren un hincado violento, longitudes desusadamente grandes o elevadas cargas de trabajo por pilote.

Los pilotes de perfiles de acero en H penetran en el terreno mas fácilmente que otros tipos, en parte porque desalojan relativamente poco material. En consecuencia se usan frecuentemente para alcanzar un estrato de gran capacidad de carga a gran profundidad. Si el hincado es difícil y especialmente si el material superior obstrucciones o gravas gruesas, es posible que los patines se dañen y los pilotes se tuerzan o se doblen. Pueden producirse pocos defectos serios y pueden

notarse los síntomas durante el hincado. Cuando las condiciones sugieran la posibilidad de estos daños, las puntas de los pilotes deben reforzarse.

Los pilotes de acero están sujetos a la corrosión. El deterioro es usualmente insignificante, si todo el pilote está enterrado en una formación natural, pero puede ser intenso en algunos rellenos debido al oxígeno atrapado. Si los pilotes se prolongan hasta el nivel del terreno, o más arriba del mismo, las zonas inmediatas arriba y abajo del nivel del suelo, son especialmente vulnerables. Una buena defensa para el acero es recubrir las zonas vulnerables con hormigón.

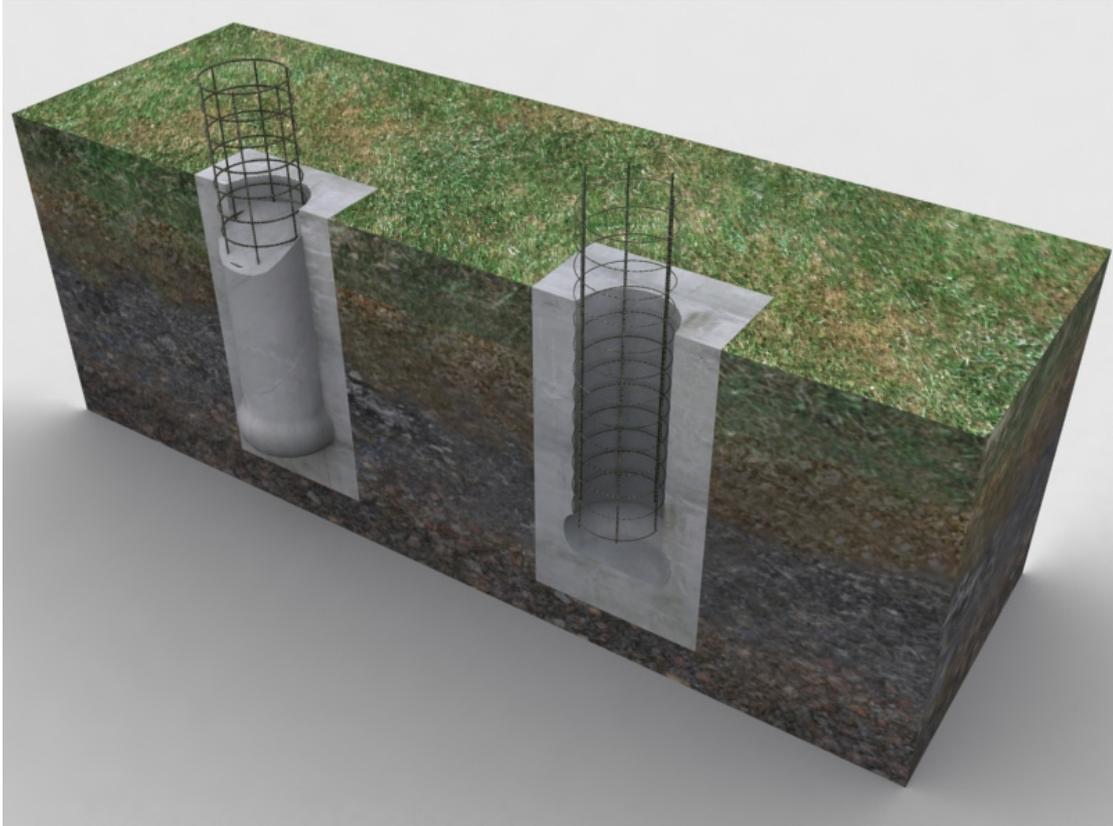


Fig. 22 Modelo virtual de un pilote

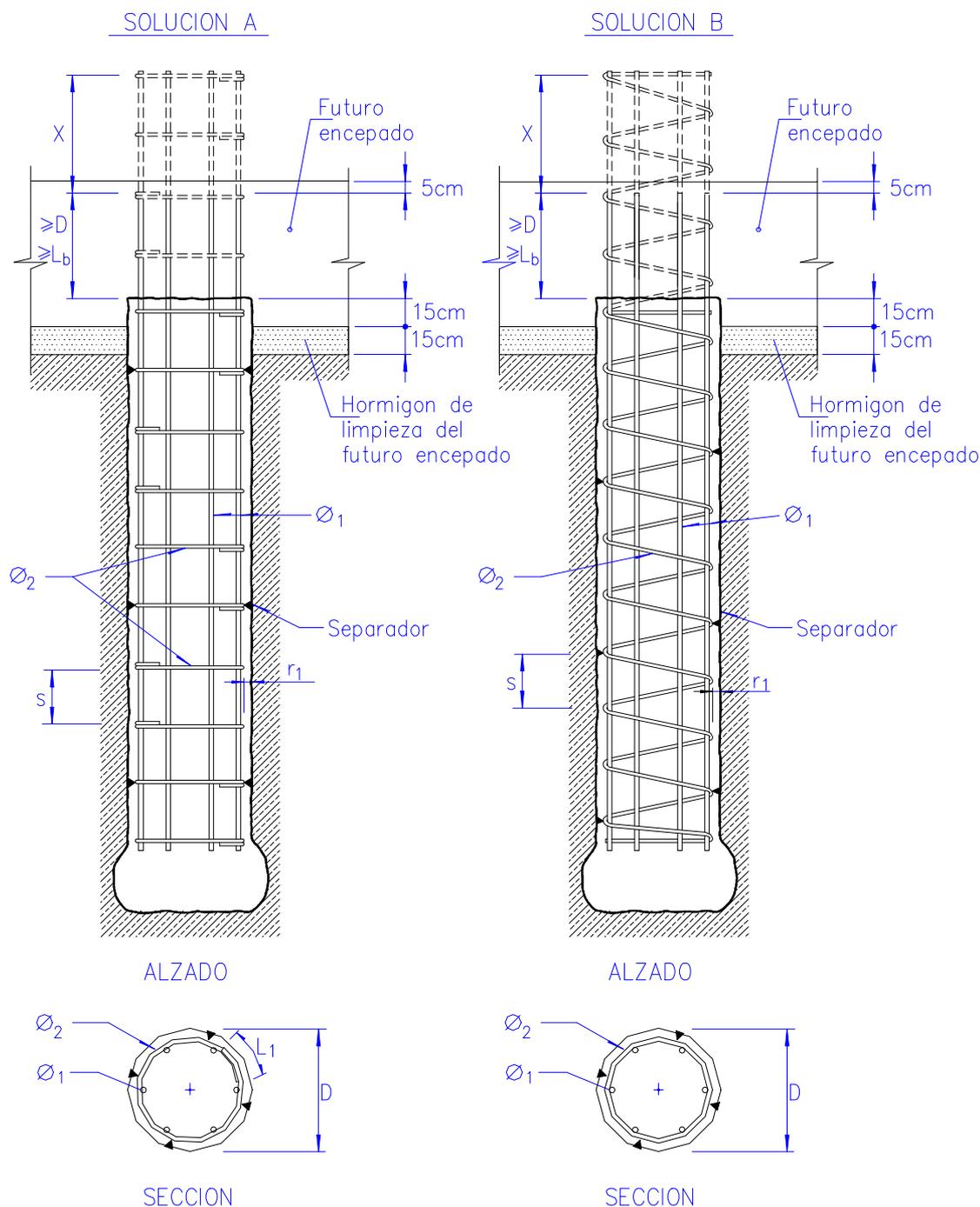


Fig. 23 Pilote ejecutado in situ cilíndrico

Aquí se han presentado dos opciones para la ejecución de un pilote, según la disposición de la armadura transversal: La solución A con los cercos tradicionales separados una distancia S según norma y la solución B mediante una armadura transversal helicoidal. La armadura transversal irá atada o soldada en todos los cruces con la principal.

Para su correcta definición se tendrá que representar al menos una vista y una sección:

Φ_1, Φ_2 será la armadura principal y transversal respectivamente

El número de barras de armadura longitudinal debe ser 6 como mínimo

L1 es la longitud de solape de Φ_2

L_b es la longitud de anclaje de las barras Φ_2

La armadura debe sobresalir por la cara superior de hormigonado del pilote. La longitud de salida X debe ser tal que aparezcan dos estribos o dos espiras de armadura transversal. Esta prescripción tiene por objeto asegurarse de que la maza no golpea la armadura transversal durante el descabezado del pilote. La longitud X se corta antes de hormigonar el encepado.

En la sección transversal se indicará el diámetro del pilote: D

El hormigón de limpieza serán 15 cm

El pilote debe introducirse un mínimo de 5 cm en el encepado debiendo referirse esta medida en el plano.

Según la NTE la representación del pilote sería igual que la descrita con la única diferencia de que aquí se representa únicamente una vista acotando el diámetro del pilote en el alzado.

Al no representarse la sección en algún lugar del plano debería indicarse cual es el número de barras longitudinales usadas. Se podría indicar mediante $n_1 \Phi_1$.

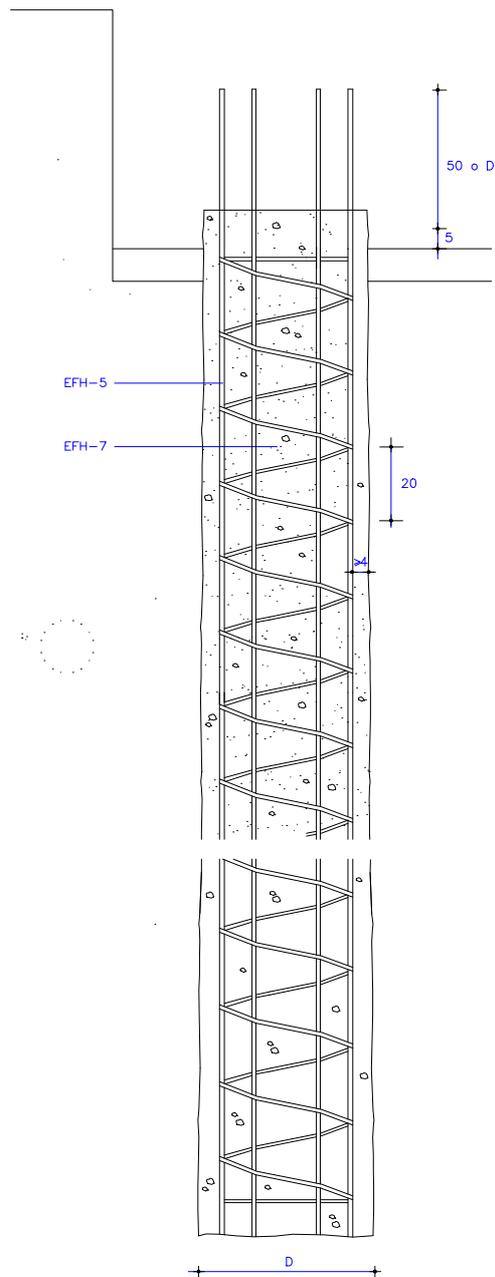


Fig. 24 Pilote según NTE

4.1.3 Instalación de pilotes

4.1.3.1 Equipo para el hincado de pilotes

Los pilotes se hincan comúnmente por medio de un martinete, y ocasionalmente mediante un generador de fuerzas vibratorias. El martinete funciona en medio de un par de guías paralelas o correderas suspendidas de una grúa elevadora estándar. En la parte inferior las guías se conectan a la grúa por medio de un miembro horizontal, conocido como marcador. El marcador puede alargarse

o acortarse para permitir el hincado de pilotes inclinados y también para poner a plomo las guías en el sitio de un pilote vertical. Al martinete lo guían axialmente rieles incorporados en las guías.

4.1.3.1.1 Martillos de impacto

Originalmente las piloteadoras estaban equipadas con martillos que caían desde el extremo superior de las guías a la cabeza del pilote. Ocasionalmente se usan todavía aparatos de este tipo, martillos de gravedad o de caída libre, pero la mayor parte de los martillos de impacto son del tipo de vapor o diesel. Los martinetes de vapor tienen un martillo que es levantado por la presión de éste y se deja caer por gravedad, con o sin la ayuda de la presión del vapor. Si la caída se debe solo a la acción de la gravedad, el martinete se llama de acción sencilla. Si la presión del vapor se suma a la energía hacia abajo, el martinete se llama de doble acción o diferencial. El martillo de los martinetes suele tener un amortiguador reduciendo los esfuerzos de impacto. La clasificación de los martinetes se basa en la energía total del golpe.

Los martinetes diesel disponen de una cámara entre el extremo inferior del martillo y el bloque del yunque donde se produce una explosión de combustible haciendo la compresión de los gases que se levante el martillo. El martillo cae por gravedad.

4.1.3.1.2 Piloteadoras vibratorias

Los pilotes también se hincan valiéndose de generadores de fuerza que consisten en un peso estático y un par de pesos excéntricos que giran en sentido contrario, dispuestos de manera que las componentes horizontales de la fuerza centrífuga se anulen entre sí, mientras que las componentes verticales son aditivas. La parte vibratoria de la máquina se une positivamente a la cabeza del pilote que se va a hincar, pero el resto de la máquina se aísla del vibrador por medio de muelles, de manera que no participe en los movimientos vibratorios. La fuerza pulsante facilita la penetración del pilote bajo la influencia del peso que actúa constantemente hacia abajo,

4.1.3.1.3 Resistencia al hincado

Los pilotes que se hincan por medio de martinetes de impacto, ordinariamente se clavan hasta obtener una resistencia que se mide por el número de golpes necesarios para la penetración en los últimos dos o tres centímetros.

4.1.3.1.4 Chiflones, barrenas y pulsetas

Si los pilotes deben atravesar estratos compactos de arena o grava, con objeto de pasar a depósitos inferiores suaves, puede aflojarse la arena o la grava por medio de chiflones. En este procedimiento se descarga un chorro de agua cerca de la punta que afloja la arena y la hace movediza de manera que el pilote puede fácilmente atravesarla.

Las barrenas permiten penetrar en suelos duros o cohesivos a profundidad considerable.

Los estratos relativamente delgados de arcillas firmes o de roca blanda a poca profundidad, pueden atravesarse algunas veces con pulsetas, es decir, puntas duras de metal que se clavan en el terreno y se sacan antes de producir los pilotes.

4.1.4 Comportamiento de los pilotes con cargas verticales

4.1.4.1 Pilotes individuales

Los pilotes se clasifican comúnmente en pilotes de punta o de fricción. Los pilotes de punta obtienen toda su capacidad de carga de la roca o suelo que esta cerca de la punta, y muy poca del suelo que rodea su fuste. Por otra parte, un pilote de fricción adquiere su capacidad de carga principalmente del suelo que lo rodea, por la resistencia al corte que se desarrolla entre el suelo y el pilote. El suelo que esta cerca del extremo inferior del pilote soporta un porcentaje muy pequeño de carga.

Una de las decisiones técnicas más importantes en conexión con cualquier trabajo en el que vayan a usarse pilotes es la elección del tipo mas apropiado para las circunstancias particulares de cada caso. Poseer un concepto claro de la manera en que los pilotes de las diferentes características transmiten su carga al suelo bajo condiciones de trabajo puede servir de base para el desarrollo de un buen criterio a medida que el ingeniero acumula experiencia.

A los pilotes de punta rodeados de suelo, algunas veces se les considera erróneamente como columnas libremente apoyadas sin que el suelo que las rodea les dé apoyo lateral. Sin embargo, tanto la experiencia como la teoría han demostrado ampliamente que no existe peligro de flexión transversal en un pilote de punta, de las dimensiones convencionales, cargado axialmente por soporte lateral inadecuado, aunque esté rodeado por los suelos más blandos. Por lo tanto, los esfuerzos en estos pilotes, bajo las cargas de trabajo, pueden tomarse como la de los materiales que están hechos cuando se sujetan a compresión directa.

Para tener la seguridad de obtener la resistencia necesaria en el hormigón de los pilotes colados en el lugar, debe controlarse el revenimiento entre los límites de 7.5 y 15 cm o más. Para los tubos lisos hincados verticalmente es conveniente un revenimiento de 9 cm; por otra parte, en un pilote inclinado, o en un pilote vertical con forro corrugado o con refuerzo, el revenimiento debe ser de 15 cm o menos.

Si el estrato de apoyo no es excepcionalmente firme habría que colocar un pilote con una punta muy grande. La punta puede ser una placa o de hormigón precolado, o bien puede tener forma de una ampliación o pedestal, hecho inyectado hormigón fresco en el suelo blando que quede directamente arriba del estrato de apoyo. La capacidad de tal pilote no puede aumentarse por ningún efecto de cuña, porque la penetración del pilote en el estrato resistente, está gobernada enteramente por la capacidad y compresibilidad del suelo sobre el cual se apoya el propio pilote.

El término de pilote de fricción es algo incorrecto, ya que implica que las fuerzas de corte entre el pilote y el suelo, provienen necesariamente del rozamiento; pueden provenir también de la adherencia. En cualquier caso la capacidad de los pilotes de fricción depende de las características del material que rodea al pilote.

4.1.4.2 Pruebas de carga en los pilotes

Las diversas variables que influyen en el comportamiento de un pilote bajo carga y la naturaleza compleja de los fenómenos envueltos, han llevado a la técnica a efectuar pruebas de carga en uno o más pilotes en el lugar de las obras importantes.

La carga se aplica usualmente por incrementos por medio de un gato hidráulico apoyado contra un peso muerto o contra un yugo sujetado contra un par de pilotes de anclaje. A cada incremento se observa el hundimiento de la cabeza del pilote en función del tiempo, hasta que la rapidez del hundimiento sea muy pequeña. Se aplica luego otro incremento. Al aproximarse a la capacidad de carga, el tamaño de los incrementos se disminuye, con objeto de poder apreciar mas precisamente cuando se llega a la capacidad de carga del pilote. Se mide la altura de la cabeza del pilote cuando se quita la carga.

Una prueba de carga puede proporcionar datos con respecto a las características de carga, asentamiento y capacidad de un pilote, solamente en el tiempo y bajo las condiciones de la prueba.

4.1.4.3 Grupos de pilotes

En el desarrollo anterior solo se ha tratado el comportamiento de los pilotes individuales. Sin embargo, los pilotes casi nunca se usan así, sino combinados, formando grupos o conjuntos.

El comportamiento de un grupo de pilotes puede no estar relacionado directamente al de los pilotes aislados, sujetos a la misma carga por pilote en el mismo depósito. Cuando se carga un sólo pilote, como en una prueba de carga, una gran parte de su apoyo puede deberlo al suelo que está a lo largo de su fuste, por fricción lateral, aunque el suelo sea relativamente débil y compresible. Si el mismo pilote tiene muchos vecinos, a los que el suelo que lo rodea proporciona apoyo, el esfuerzo acumulado en todo el bloque de suelo en que está encajado el grupo puede tender gradualmente a comprimir el terreno y, por tanto, permitir que los pilotes se hundan, cuando menos ligeramente, con lo que una porción mayor de la carga se transmite directamente de los pilotes al estrato firme. En los grupos grandes, la mayor parte de la carga puede, tarde o temprano, quedar apoyada en la punta, cualquiera que sea la magnitud de la fricción lateral, que haya podido desarrollarse a elevaciones mayores alrededor de un solo pilote en una prueba de carga.

4.1.5 Elección del tipo de pilote

La elección final del tipo de pilote para una obra la dictan las condiciones del subsuelo, las características de hincado de los pilotes, y el probable comportamiento de la cimentación, y la economía. Las comparaciones económicas deben basarse en el costo de toda la cimentación y no únicamente en el costo de los pilotes. Por ejemplo, el costo de doce pilotes de madera con 18 toneladas de capacidad cada uno, puede ser menor que el de cuatro pilotes de hormigón de 54 toneladas, pero el mayor tamaño del cabezal necesario para transmitir la carga de la columna a los pilotes de madera, puede aumentar el costo de la cimentación con éstos, hasta ser mayor que el de la cimentación con pilotes de hormigón.

4.1.6 Fabricación

El procedimiento técnico de fabricación, permite garantizar el suministro de pilotes de muy alta tecnología (hormigón de 450 kg/cm²), gran capacidad de resistencia frente a los agentes químicos, tanto sulfatos como agua marina (al fabricarse con cemento SR/MR), y gran compacidad (por los automatismos de puesta en molde y vibrado del hormigón).

4.1.7 Hinca

La hinca de los pilotes se hacen con los modernos equipos de caída libre, donde una maza de peso variable entre 4 y 6 toneladas es elevada por un sistema simple de cable, o bien mediante los más avanzados métodos de accionamiento hidráulico, de elevado rendimiento y control.

Estos equipos son totalmente autónomos, por lo que no necesitan prestaciones auxiliares, y de fácil movimiento al ir montados sobre grúas de oruga.

Previamente se efectúa la planificación de la obra, en donde se analiza la secuencia de hinca de los pilotes de prueba, las zonas de apilado, etc. Los pilotes de prueba (pilotes penetrómetros) servirán de referencia para definir las profundidades óptimas de los pilotes, como confirmación de lo previsto en el estudio geológico del terreno realizado con anterioridad a la hora de la redacción del proyecto. Este estudio como se explicó con anterioridad lo llevarán a cabo expertos que nos mandarán un informe detallado del terreno existente en la zona de cimentación (Explanada de España, Alicante).

4.1.8 Juntas

Las juntas es el elemento que permite la unión de diferentes tramos de pilotes para alcanzar la profundidad necesaria.

Las juntas con materiales de alta calidad. Están calculadas para resistir mayores esfuerzos incluso que la propia sección tipo del pilote, como han demostrado los distintos ensayos a flexión, compresión y tracción realizados a las mismas.

Todos los elementos que la componen quedan totalmente recubiertos por hormigón y protegidos del genero circundante a excepción de la chapa exterior que carece de función estructural una vez hormigonado el pilote.

Además todos los elementos de conexión se encuentran embebidos en una grasa protectora contra la corrosión (certificada por el Instituto de Técnica Aeroespacial), y ajustadas las piezas que la componen, de forma que una vez unidos los diferentes elementos, se genera una pretensión que asegura una perfecta transmisión de esfuerzos.

Las cualidades anteriores junto con su fácil puesta en obra y la posibilidad de inspección visual de la junta, hacen de este elemento constructivo una garantía de calidad en consonancia con la del propio pilote, como demuestra en la practica su uso continuado desde hace 50 años.

Todas las empresas tienen un elevado control de calidad para sus productos pudiendo ofrecer a sus clientes la máxima garantía de sus productos a la vez de un precio económico haciendo que la empresa sea competitiva en el mercado.

4.1.9 Control

4.1.9.1 Control en fábrica

Los pilotes prefabricados se controlan sistemáticamente tanto durante su fabricación en factoría como durante su instalación en obra.

Se efectúan los siguientes controles:

- a) *De recepción de los materiales: Agua, cemento, áridos, armaduras y aditivos, realizándose los ensayos que prescribe la norma EH-91 “ Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en masa o armado”.*
- b) *De resistencia y geometría: De los pilotes, azuches, collares y juntas.*
- c) *De fabricación: Preparación de los moldes, adecuada instalación de las armaduras, correcta dosificación y colocación del hormigón, vibrado, manejo, curado.*
- d) *De la resistencia y consistencia del hormigón: Los ensayos se realizan a las 24 horas, 7 días y 28 días con resistencias mínimas de 175, 375 y 450 kg/cm² respectivamente.*

4.1.9.2 Control en obra

- a) *-Medida de rechazo: Sobre todos y cada uno de los pilotes se mide el rechazo, que es la penetración del pilote en una serie de 10 golpes dados con la maza del equipo de hinca. A través de la medida del mismo se controla que se ha alcanzado la capacidad de carga que debe soportar el pilote.*

- b) *-Pruebas estáticas de carga: En este tipo de ensayos y con la ayuda de otros pilotes o anclajes como reacción, se somete al pilote a cargas superiores a la máxima de servicio, observándose su comportamiento y obteniéndose la curva carga-asiento.*
- c) *- Analizador hinca de pilotes: Usado cada vez con mayor frecuencia, por su bajo coste y elevada rapidez. Este ensayo avalado por una gran experiencia a nivel mundial, permite de una forma rápida y no destructiva analizar tanto las condiciones del terreno como el desarrollo de la hinca, controlando la integridad del pilote y su capacidad de carga. Se consigue en muchos casos mejorar el diseño de la cimentación, con la optimización de los coeficientes de seguridad.*
- d) *-Analizador de integridad de pilotes: Se emplea para controlar específicamente la integridad de los pilotes. Está basado en la teoría de propagación de onda de choque a través de los mismos. De una forma sencilla, y con un equipo de mano, es posible chequear un gran número de pilotes en una sola jornada.*
- e) *-Control de vibraciones: Cuando el entorno en que esta situada la obra lo requiera, es posible controlar la transmisión de vibraciones y onda aérea que provoca la instalación de los pilotes. Su cuantificación permite confirmar los criterios de hinca y adecuarlos al entorno.*

4.2. Obras singulares

La topología de los pilotes, el elevado rendimiento y la autonomía de los equipos de los equipos de hinca, así como el cuidado del medio ambiente del sistema, permiten la realización de obras de características muy especiales:

- a) *Obras marítimas (pantanales, muelles, etc.)*
- b) *Estructuras que requieren pilotes inclinados, como viaductos.*
- c) *Grandes superficies (depuradoras, centros comerciales, etc.)*

4.2.1 Características técnicas

Los pilotes prefabricados están capacitados para absorber esfuerzos verticales de compresión en el entorno de los 125 Kp/cm², al tratarse de pilotes de categoría I, prefabricados con todos los controles en instalaciones fijas según la norma Tecnológica NTE-CPP 78.

Se fabrican en todos los casos con hormigones de resistencia característica 450 Kp/cm², (H-450 según norma EHE-99)

Asimismo se emplea cemento CEM I 42,5-SR (RC-97), que hace que los pilotes sean resistentes a los sulfatos y al agua de mar.

Van armados en toda su longitud, y en sus esquinas, con cuatro u ocho barras de acero corrugado y calidad mínima AEH-400 (límite elástico 4100 Kp/cm²).

Zunchados también a lo largo de toda su longitud mediante una armadura transversal en acero AE-215I (lisa, de límite elástico 2200 Kp/cm²), de 6 mm de diámetro. El paso es de 16 cm, reduciéndose a 8 cm en los 0,8m próximos a los extremos y en la zona de los ganchos de izado.

Para concluir, hay que comentar que este tipo de cimentaciones se están imponiendo en todas las obras de gran envergadura, donde el terreno en el que se va a construir no cumple con las características necesarias de resistencia necesarias para el aguante de las cargas producidas por la obra.

4.3. Encepados

Los encepados son bloques prismáticos que unen las cabezas de varios pilotes para que trabajen conjuntamente y sirven de base al pilar o elemento estructural. Cuando se procede a la hincada del pilote y éste ha llegado al rechazo, el pilote sobresaldrá del terreno procediéndose al descabezado del pilote para realizar posteriormente el encepado.

El encepado irá desde un solo pilote hasta un grupo de pilotes.

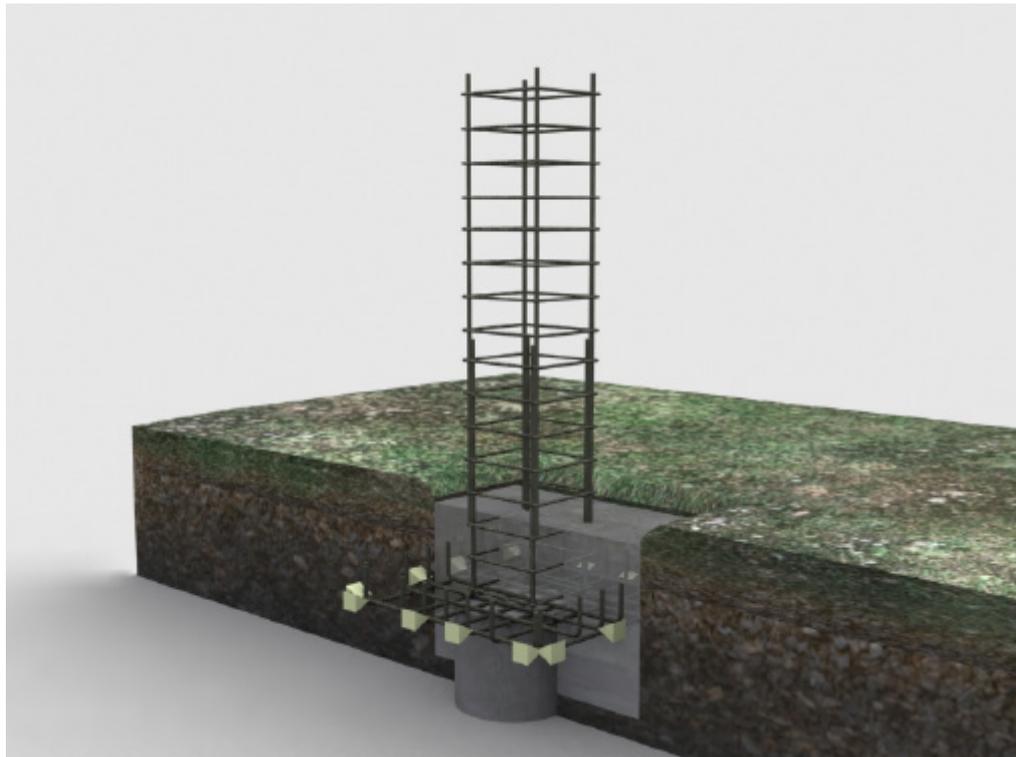
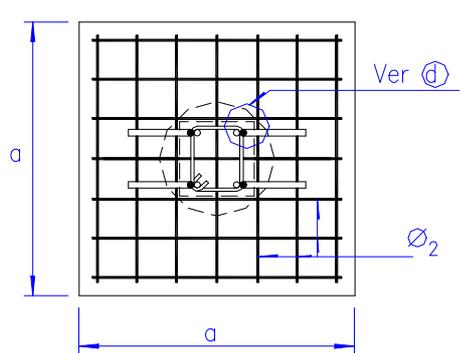
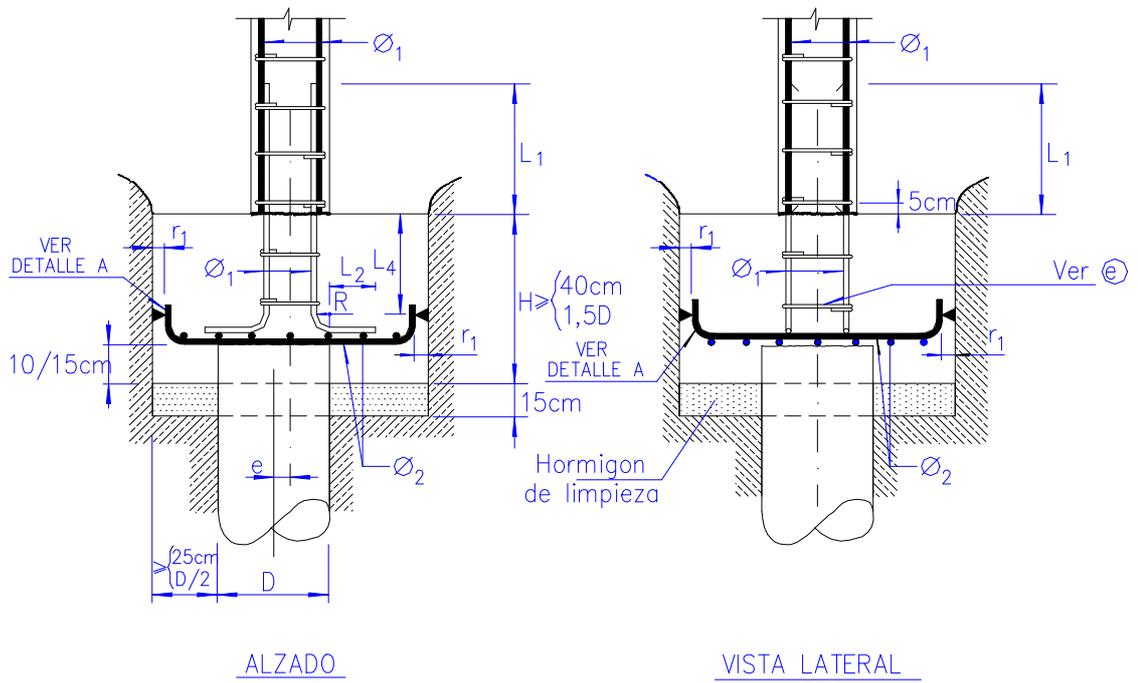
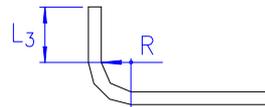


Fig. 25 Representación virtual de un encepado



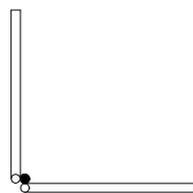
$e_{\max} \begin{cases} 5\text{cm} & \text{(Control de ejecucion intenso)} \\ 10\text{cm} & \text{(Control de ejecucion normal)} \\ 15\text{cm} & \text{(Control de ejecucion reducido)} \end{cases}$

(e_{\max} , es la excentricidad maxima en cualquier direccion)



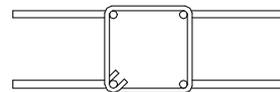
PLANTA

DETALLE A



(d)

VARIANTE DE COLOCACION EN EL CASO DE EMPLEARSE DOS ARMADURAS DE ESPERA POR CADA BARRA PRINCIPAL DEL PILAR.



(e)

DETALLE DE LOS ESTRIBOS DE SUJECCION DE LA ARMADURA DE ESPERA.

Fig. 26 Encepado de un pilote

- a:** ancho del encepado
- H:** canto del encepado
- r1:** recubrimiento lateral de la armadura inferior.
- L1:** longitud de solape de la armadura de espera con la armadura del pilar.
- L2:** longitud de anclaje de la armadura de espera.
- L3:** longitud de anclaje del emparrillado.
- L4:** longitud de la armadura de espera hasta doblado para anclaje
- R:** radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE
- D:** Diámetro del encepado

El emparrillado se apoya en la superficie de descabezado del pilote

Se indicará también la longitud que el pilote penetre en el encepado

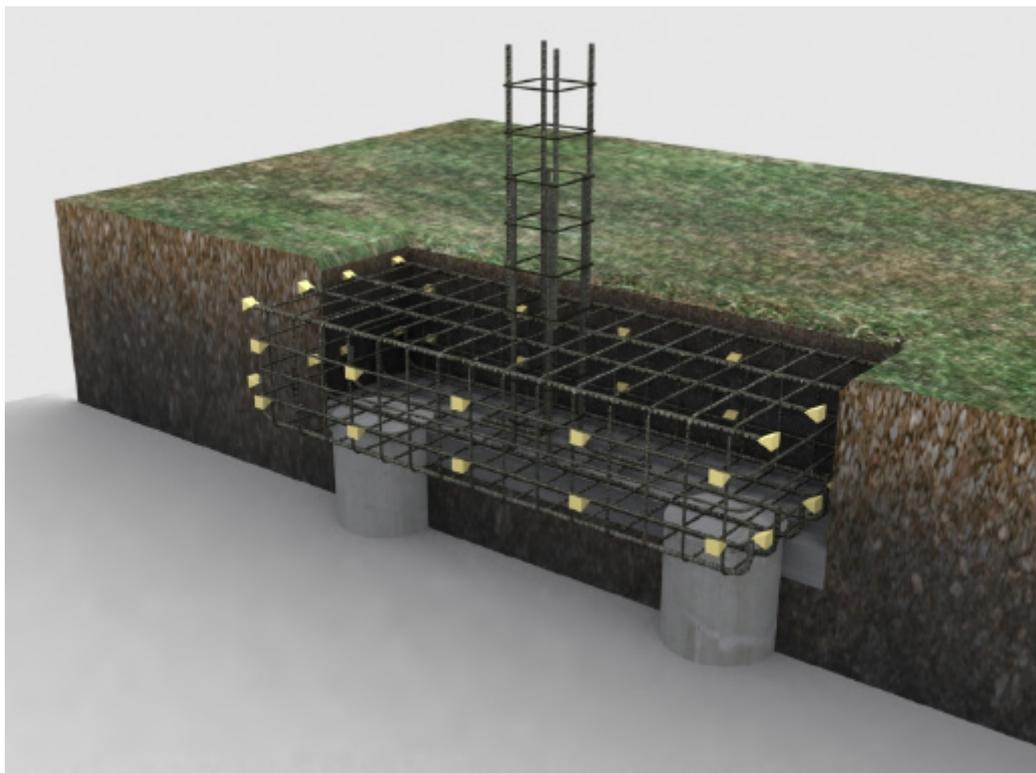


Fig. 27 Representación virtual de un encepado de dos pilotes

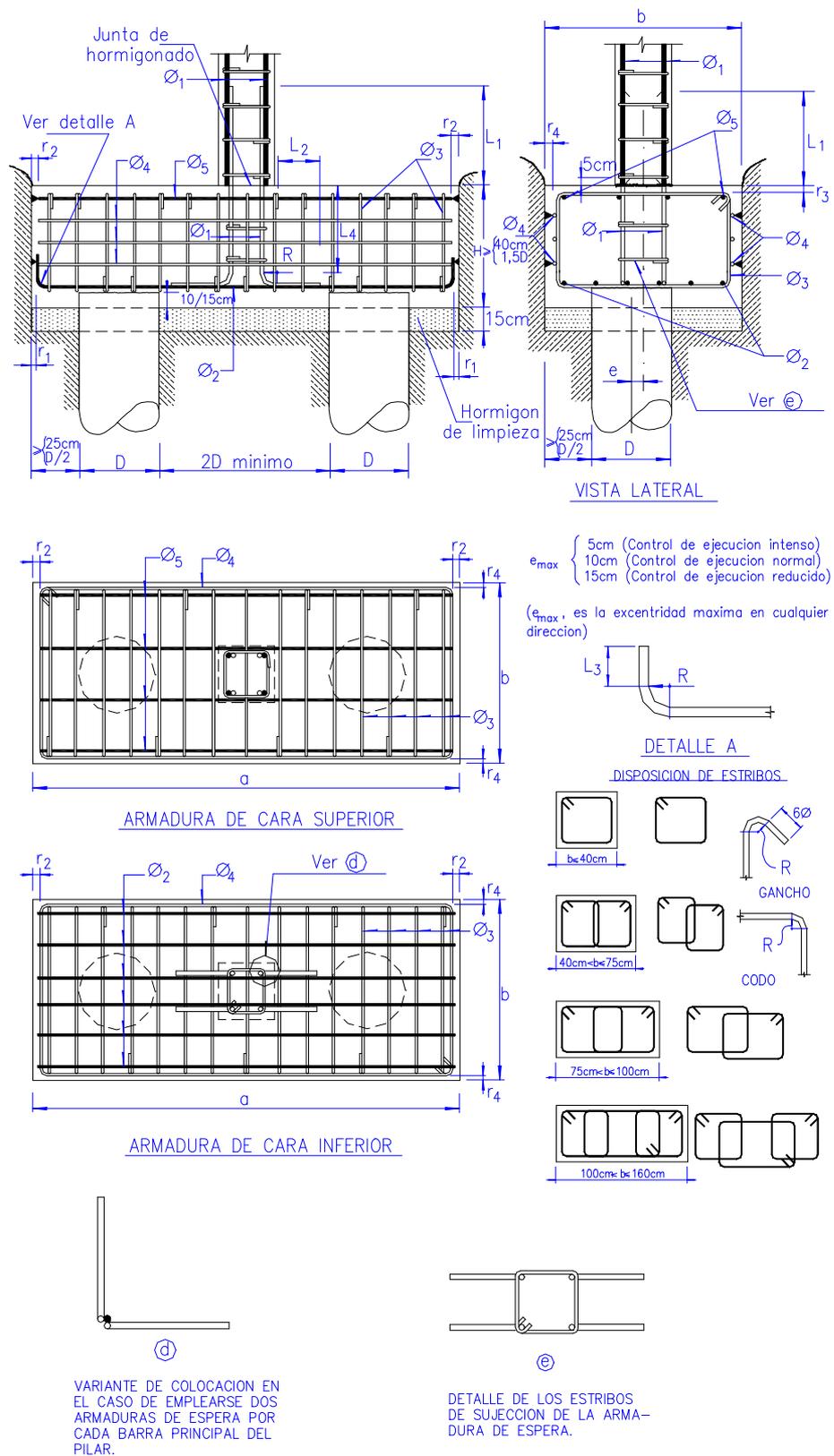


Fig. 28 Encepado de dos pilotes

La armadura inferior se dispondrá de forma que se aten las cabezas de los pilotes

a, b serán las dimensiones del encepado

r1, r2, r3, r4 serán los recubrimientos laterales de las armaduras principal y secundaria del encepado.

L1: longitud de solape de la armadura de espera del encepado

L4 y L2 serán respectivamente la longitud de la armadura de espera y su longitud de anclaje

L3 será la longitud de anclaje de la armadura inferior

$n_1\Phi_1, n_2\Phi_2, n_3\Phi_3, n_4\Phi_4, n_5\Phi_5$ nos indicará en el número de barras a disponer de cada diámetro y a que distancia una de otra

H: canto del encepado

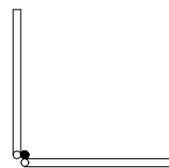
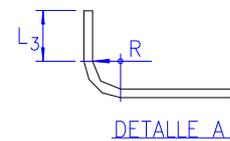
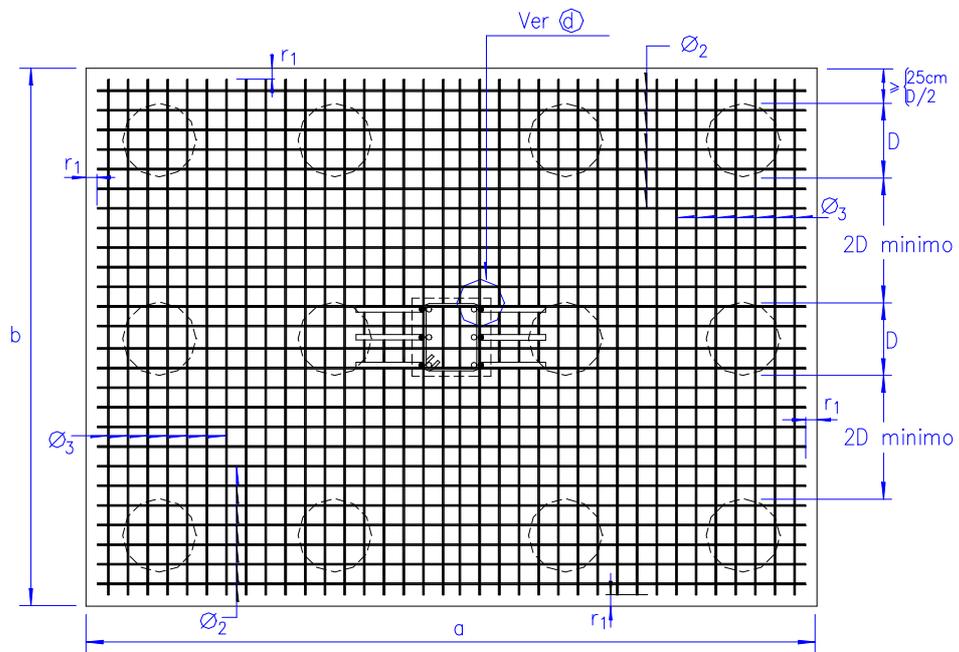
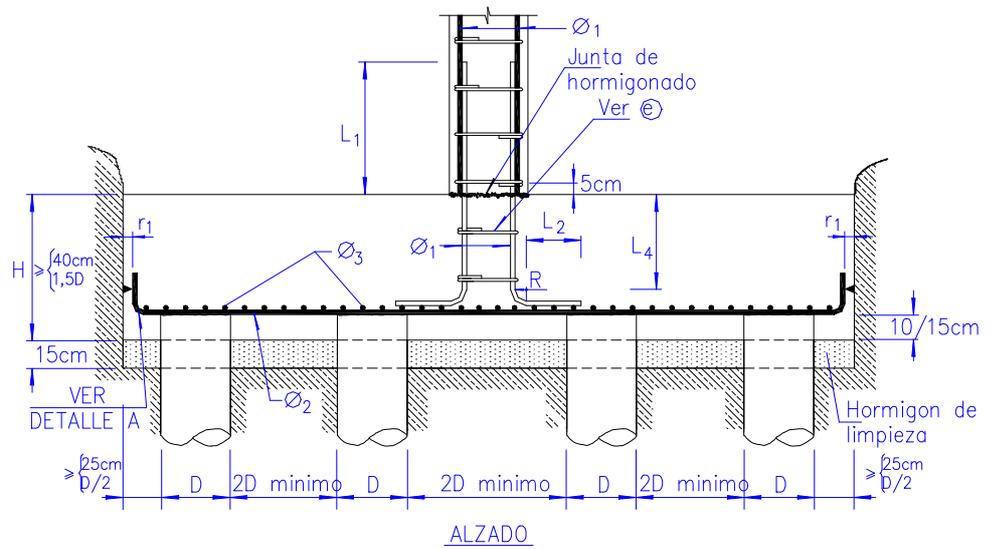
D: Diámetro del encepado

La distancia entre pilotes será un mínimo de 2D

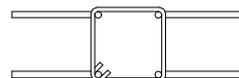
R: radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE

Se indicará también la longitud que el pilote penetre en el encepado

En el siguiente ejemplo se representan varias opciones distintas para la disposición de los estribos o armadura transversal según la dimensión b del encepado



VARIANTE DE COLOCACION EN EL CASO DE EMPLEARSE DOS ARMADURAS DE ESPERA POR CADA BARRA PRINCIPAL DEL PILAR.



DETALLE DE LOS ESTRIBOS DE SUJECCION DE LA ARMADURA DE ESPERA.

Fig. 29 Encepado de grupos de pilotes ($N > 4$)

Los elementos a representar serán los mismos que en el encepado de un pilote.

La armadura inferior se dispondrá de forma que se aten las cabezas de los pilotes formando la armadura principal.

L1: longitud de solape de la armadura de espera del encepado

L4 y L2 serán respectivamente la longitud de la armadura de espera y su longitud de anclaje

L3 será la longitud de anclaje de la armadura inferior

H: canto del encepado

D: Diámetro del encepado

La distancia entre pilotes será un mínimo de $2D$

R: radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE

Se indicará también la longitud que el pilote penetre en el encepado

Según la NTE una representación de un grupo de 4 pilotes podría ser de la siguiente manera:

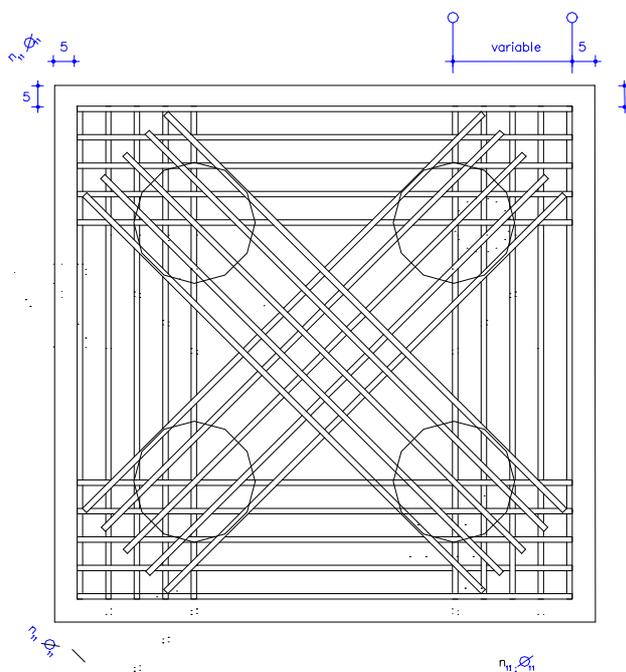
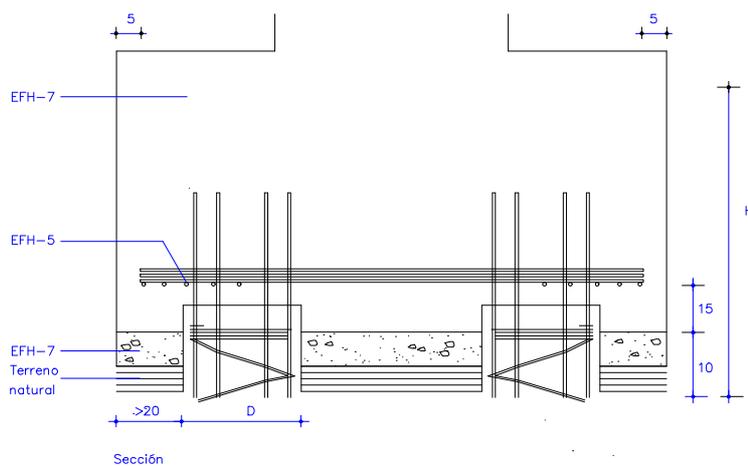


Fig. 30 Encepado de 4 pilotes según NTE

La colocación de la armadura de atado de los pilotes puede hacerse según lo indica la NTE o según lo indicado anteriormente, no significando ninguna de ellas una deficiente ejecución.

5. Muros de contención

El terreno tiene su propio talud natural siendo la pendiente función de la cohesión interna. La modificación del talud de un terreno por encima de su pendiente natural obliga a utilizar procedimientos artificiales de contención.

Un muro de contención es aquella obra encargada de contener las tierras que tienden a alcanzar su talud natural. En unas ocasiones se tratará de un terreno natural y en otras de un relleno artificial.

Las estructuras de contención pueden clasificarse según dos tipos:

- a) *Rígidas*
- b) *Flexibles*

Dentro de los muros de hormigón los muros más frecuentes son :

- a) *Muros de gravedad: Son de hormigón en masa*
- b) *Muros ménsula: Aligeran el muro de gravedad y son útiles para grandes muros por razón de economía*
- c) *Muros con contrafuertes*
- d) *Muros de sótano*

5.1. Muro ménsula

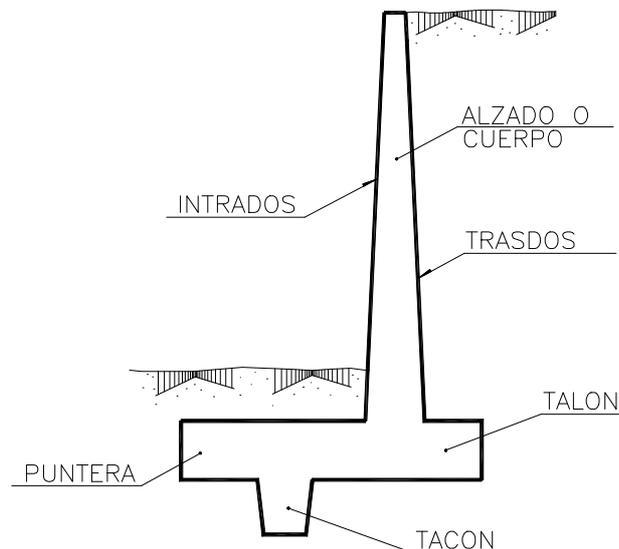


Fig. 31 Partes de un muro ménsula

Habría que distinguir entre la parte correspondiente al cimiento y la parte correspondiente al muro.

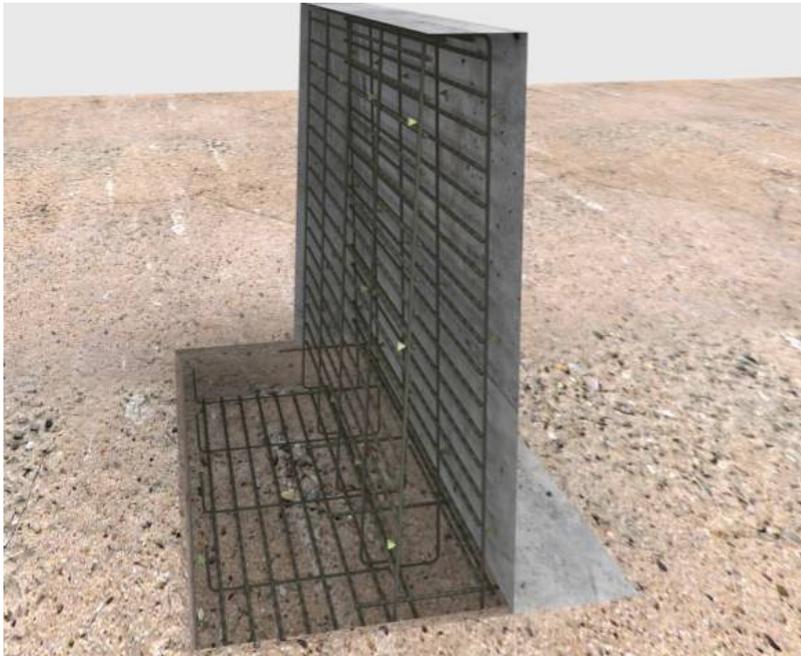
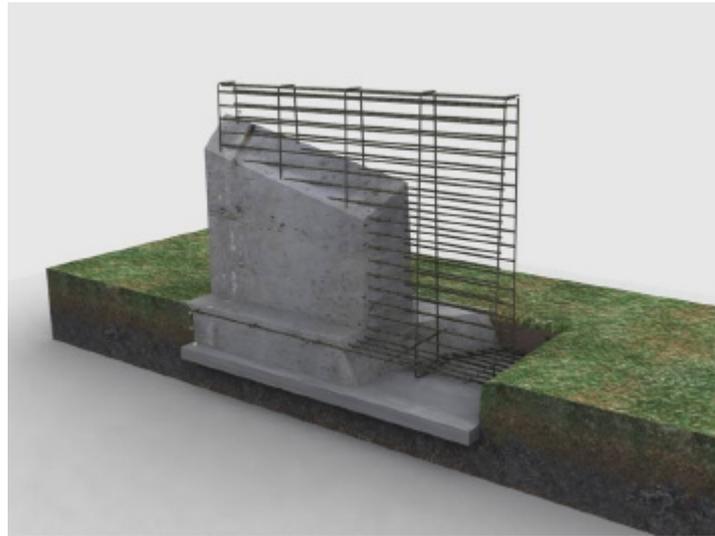


Fig. 32



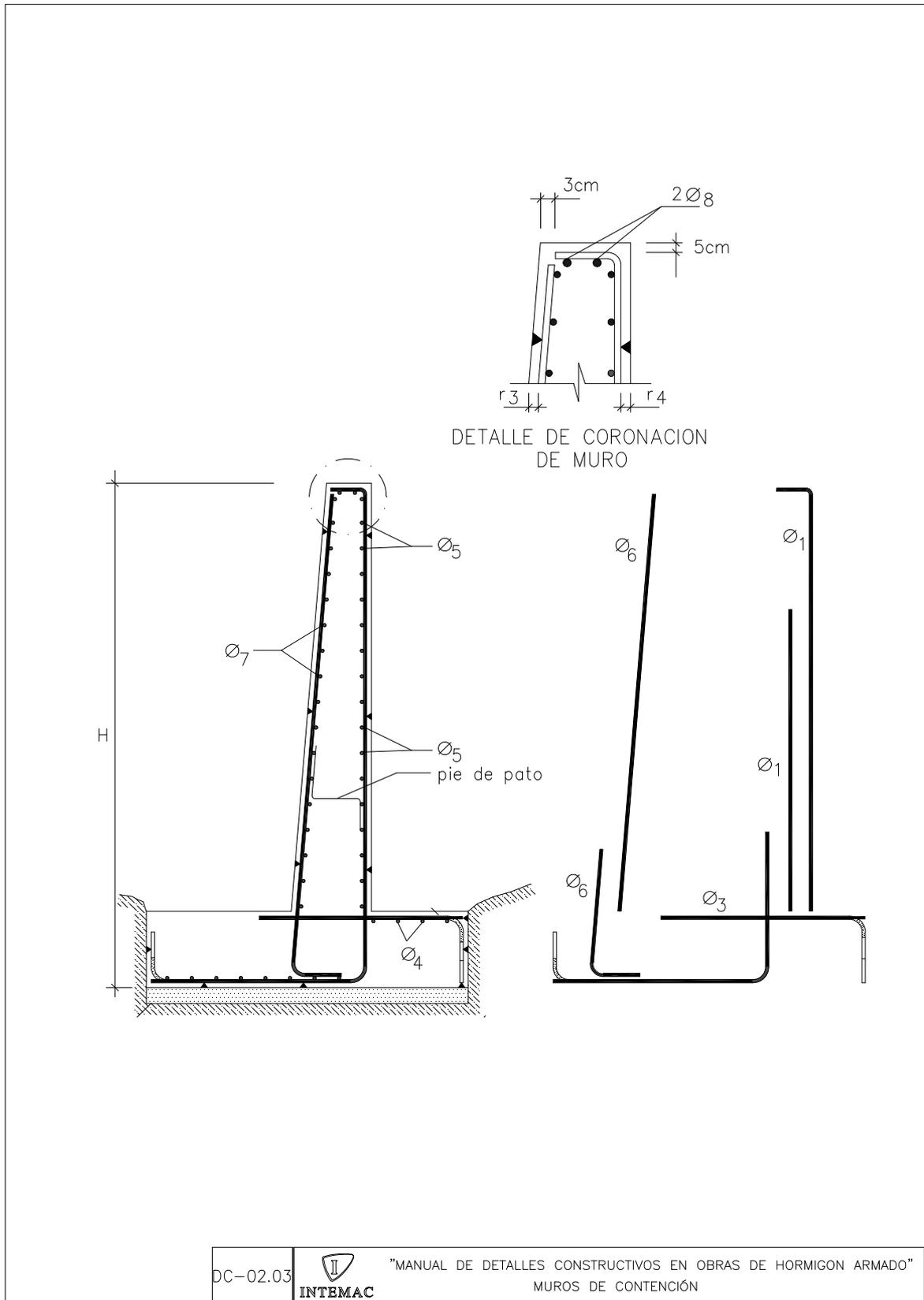


Fig. 33 Muro de contención

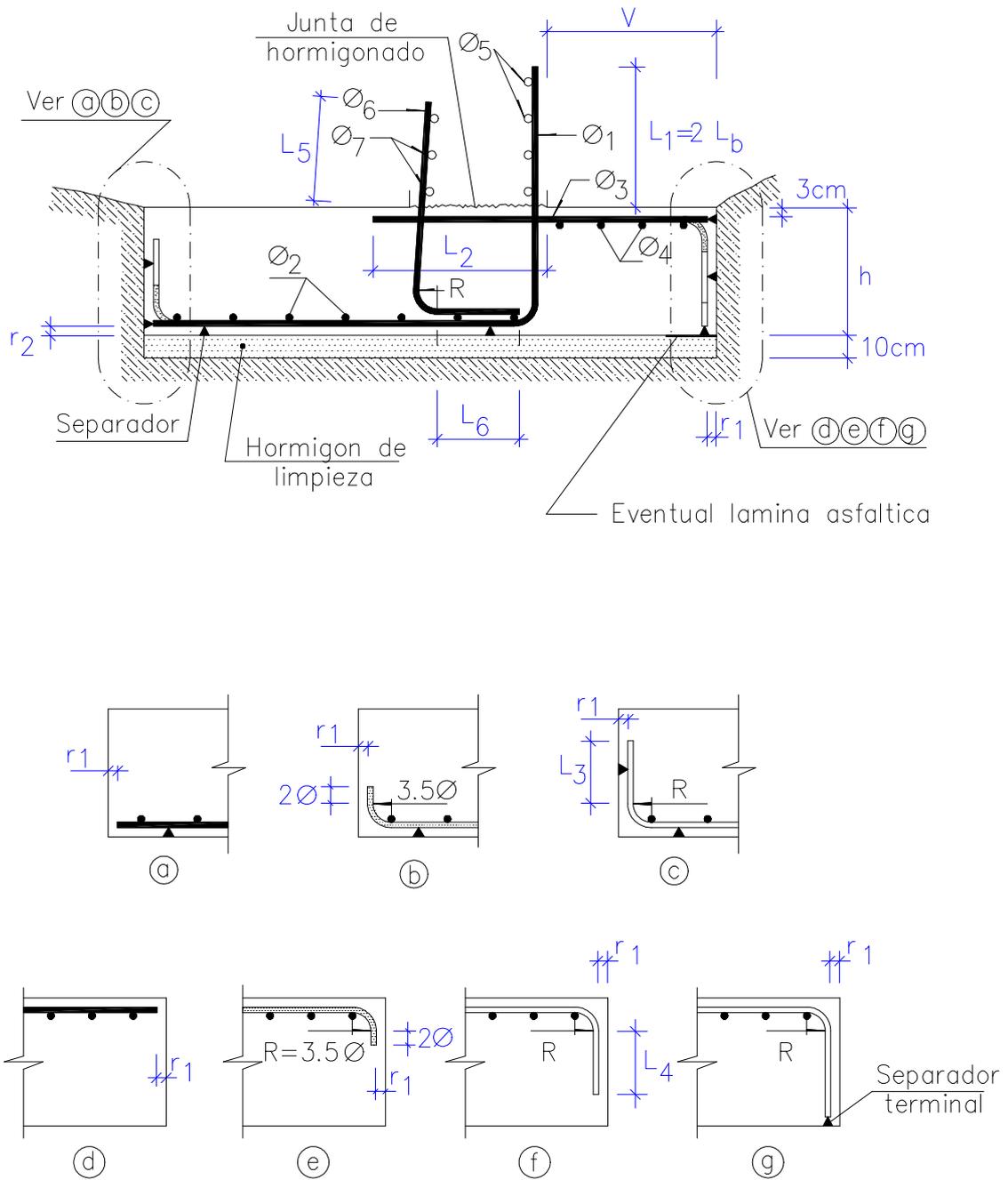


Fig. 34 Muro ménsula (Cimiento)

Φ_1, Φ_3 será la armadura transversal de la cimentación del muro siendo L_3 y L_2 sus longitudes de anclaje respectivamente. Además Φ_1 será la armadura de espera a la armadura principal del muro siendo L_1 su longitud de solape

Φ_2, Φ_4 será la armadura longitudinal a lo largo de toda la cimentación

Φ_6 será la armadura de espera de la armadura transversal o armadura de retracción del muro siendo L_5 su longitud de solape

R: radio de curvatura de la armadura para anclaje en patilla según norma del hormigón estructural EHE

r1 y r2 serán los recubrimientos laterales e inferiores respectivamente

h: canto de la cimentación

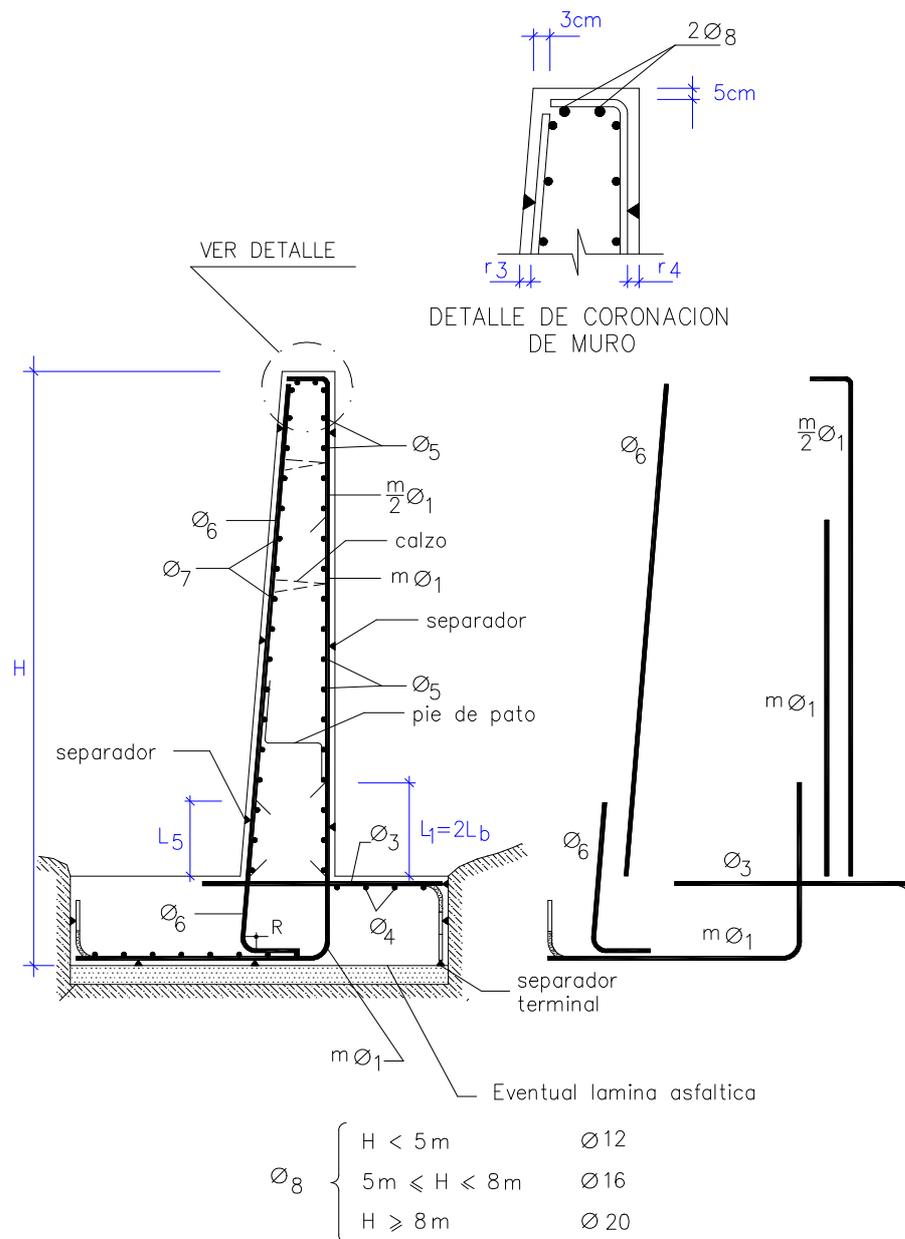
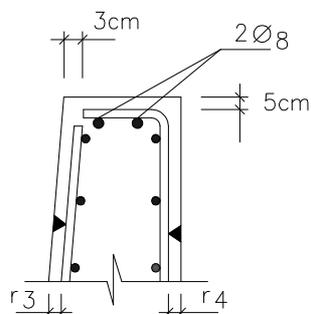


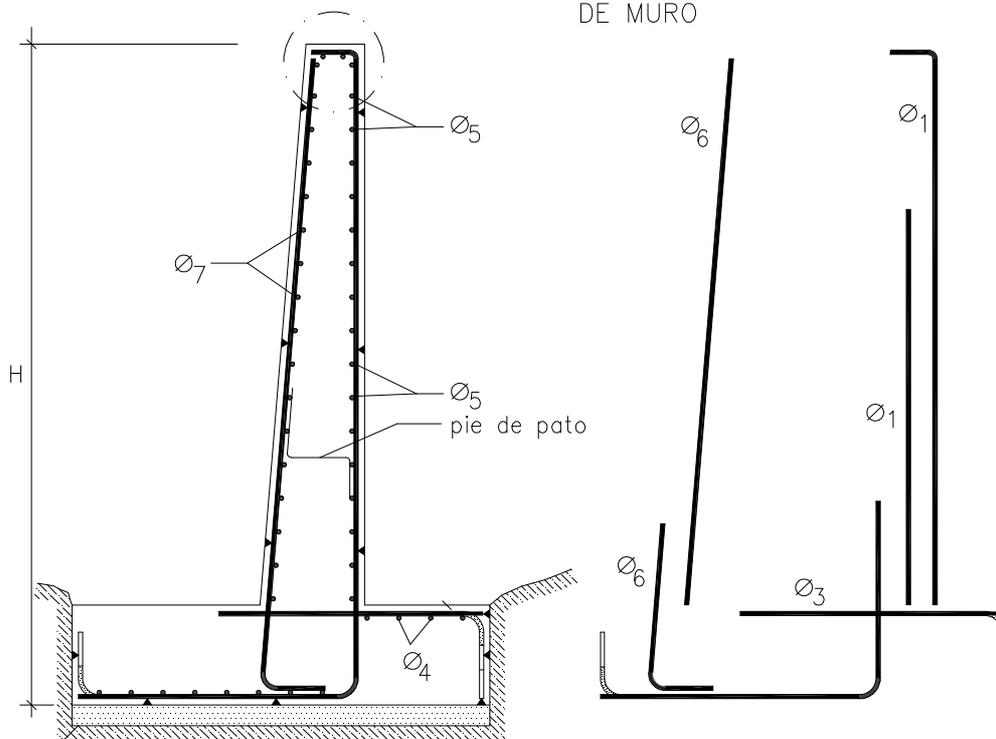
Fig. 35 Muro ménsula (Alzado)

Al contrario que en los muros de sótano, en los muros de contención de tierras si es necesario disponer armadura como elemento resistivo, y no solo para evitar una figuración excesiva por retracción durante el endurecimiento del hormigón.

La coronación del muro debe reforzarse siempre con armadura adicional



DETALLE DE CORONACION DE MURO



La información sobre el diámetro de las barras corrugadas debería ir acompañada de su longitud. Asimismo, para definir correctamente el armado del muro de contención se debería definir la distancia entre dos barras consecutivas

Fig. 36 Muros de contención

Φ_8 será la armadura de atado de la cabeza del muro

Φ_7 será la armadura transversal de la cara vista del muro (armadura de retracción)

r3 y r4 serán los recubrimientos laterales del muro

H será la altura del muro incluyendo la cimentación

5.2. Muros de contrafuertes

Se usan para muros elevados pues se consigue aligerar la pieza. Los contrafuertes se pueden colocar tanto en el trasdós como en el intradós. Como inconveniente se encuentra un complicado armado y hormigonado.

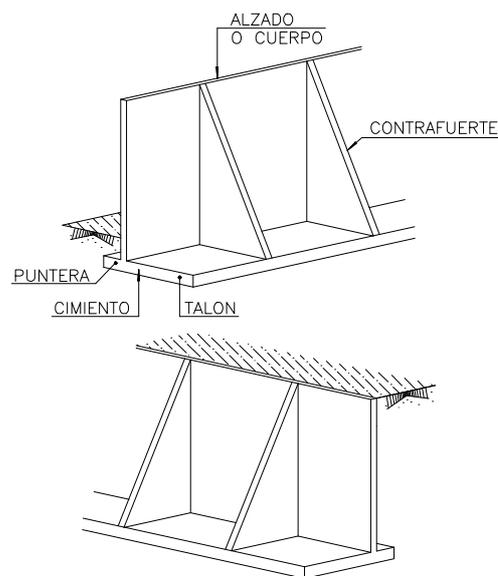


Fig. 37 Muro con contrafuertes

La diferencia fundamental con el muro ménsula radica en que el intradós del muro con bandejas no se encuentra inclinado por lo que el encofrado durante su ejecución será más sencillo, complicándose sin embargo en el trasdós.

En los tramos con contrafuertes la armadura de la cimentación será sustancialmente distinta al muro ménsula pues habrá que incluir armadura de espera para la armadura de los contrafuertes.

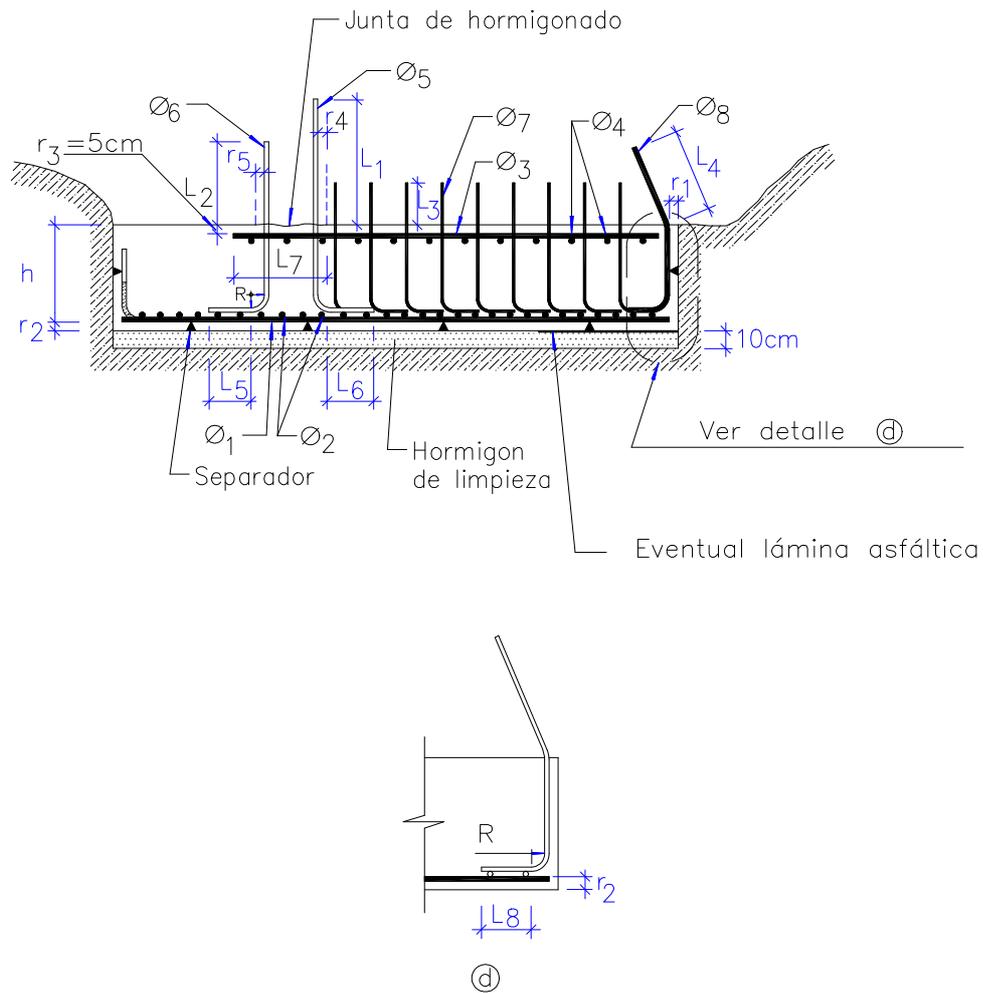


Fig. 38 Muro con contrafuertes (Cimiento)

La armadura Φ_7 , Φ_8 será la armadura de espera de la armadura del contrafuerte siendo L_8 su longitud de anclaje en el cimiento y L_3 y L_4 las longitudes de solape respectivamente

El resto de las armaduras, y por tanto longitudes y recubrimientos, serán los mismos que en la cimentación del muro ménsula.

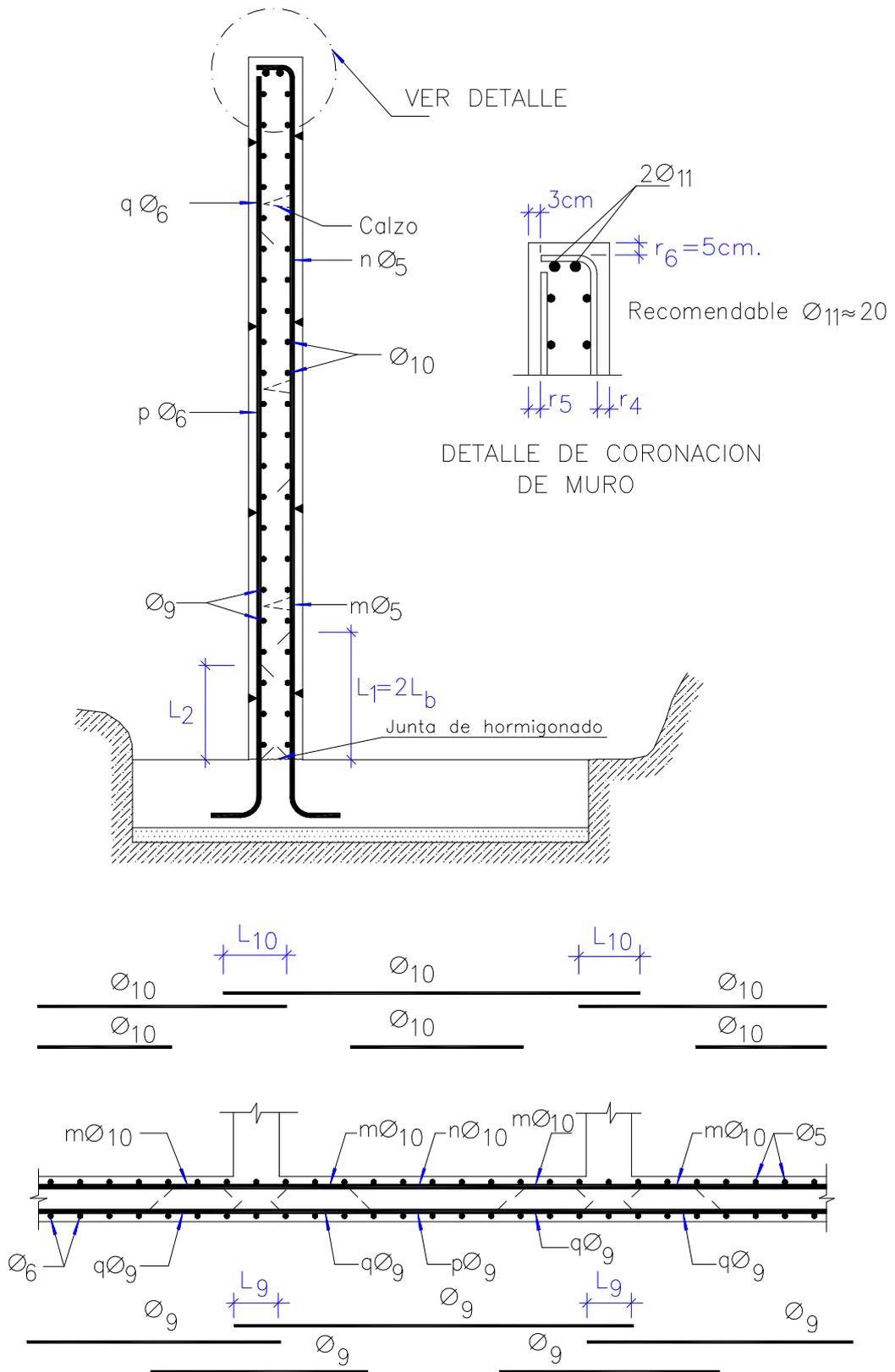


Fig. 39 Muro con contrafuertes (Alzado)

La longitud L1 es doble de la longitud de solape Lb de las barras Φ_5

La longitud L2 es la de solape de las barras Φ_6

La longitud L9 es la de solape de las barras Φ_9

La longitud L10 es la de solape de las barras Φ_{10}

r4 y r5 son los recubrimientos de la armadura del trasdós y del intradós del muro respectivamente

Φ_{11} es la armadura de atado de la coronación del muro siendo r6 su recubrimiento

Se colocarán unos calzos para separar la armadura de ambos lados durante el hormigonado

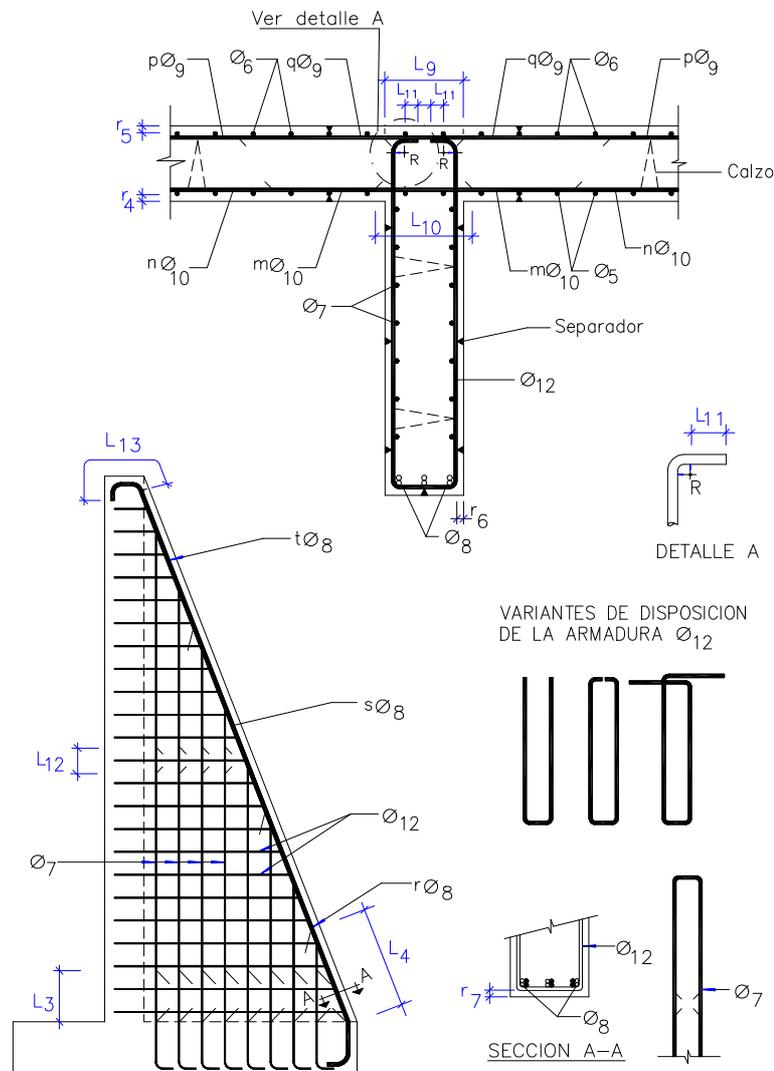


Fig. 40 Muros de contrafuertes (contrafuerte intermedio)

Se representarán un alzado y una planta como vistas principales y una sección A-A para representar la disposición de la armadura del contrafuerte. Así mismo se representan varias variantes de disposición de la armadura Φ_{12} .

Se observa la colocación de calzos también en el contrafuerte para la separación de ambas caras de la armadura del contrafuerte.

5.3. Muros de sótano

Estos elementos se colocarán en los edificios tanto residenciales como industriales siempre que haya presencia de sótano, con la misión de contener el terreno. El armado de la cimentación de estos muros no es la misma que tendrán las zapatas corridas anteriormente explicada.





Fig. 41 Muros de sótano

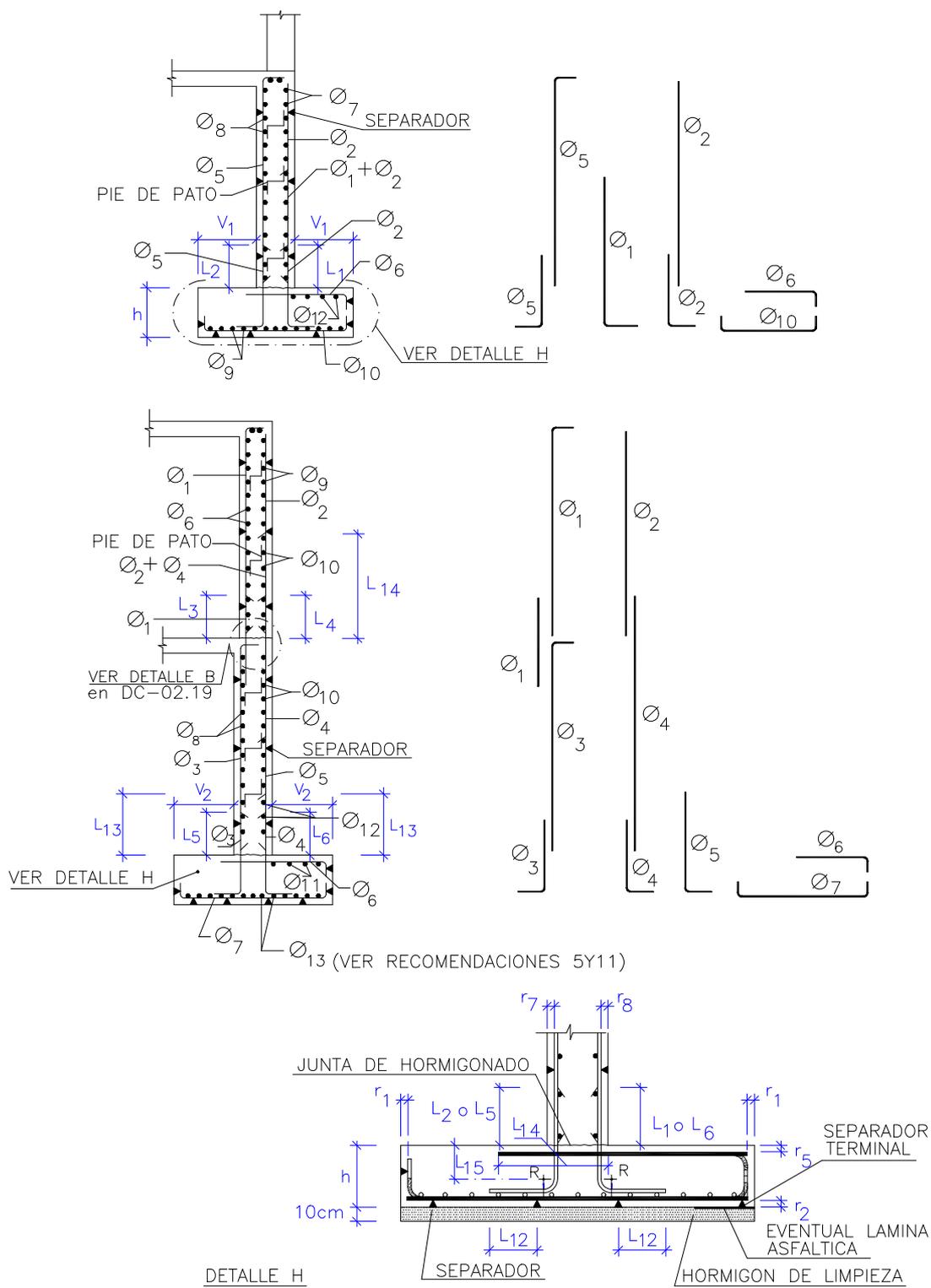


Fig. 42 Muros de sótano (Zapata centrada)

En este ejemplo se tiene la disposición y acotado del armado de un muro de sótano cuando se tiene un solo sótano y cuando hay dos sótanos. En ambos casos la cimentación tendrá la misma disposición cambiando únicamente el número y los diámetros de las barras.

En este tipo de elementos es conveniente realizar una disposición de armado al lado de las vistas necesarias para una mejor aclaración.

Sólo será necesario disponer alzados pues una sección longitudinal del muro no aclararía mucho la disposición del armado aunque en las zonas de empalmes de armadura podría ser conveniente para las longitudes de solape de las armaduras longitudinales (según NTE) no habiéndose realizado en este ejemplo.

Otros elementos importantes a la hora de definir un muro serán las juntas verticales de contracción y dilatación.

a) JUNTA VERTICAL DE CONTRACCION

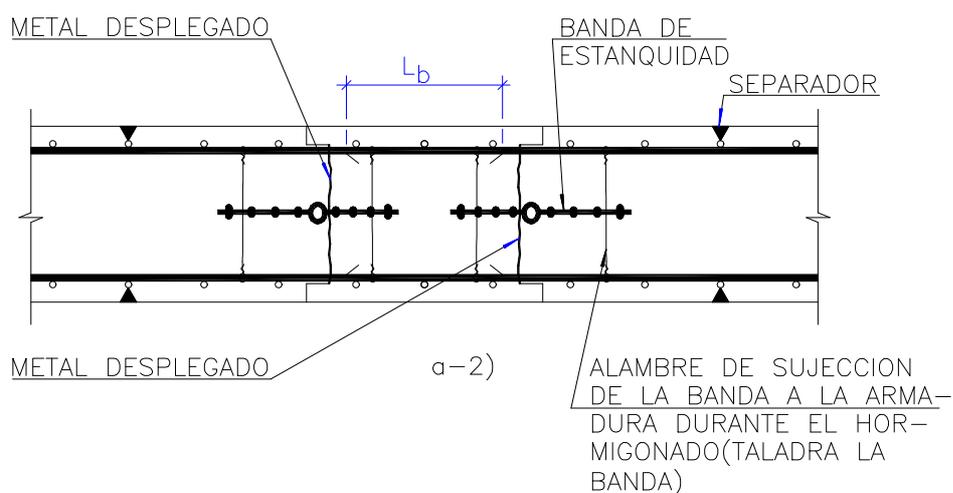
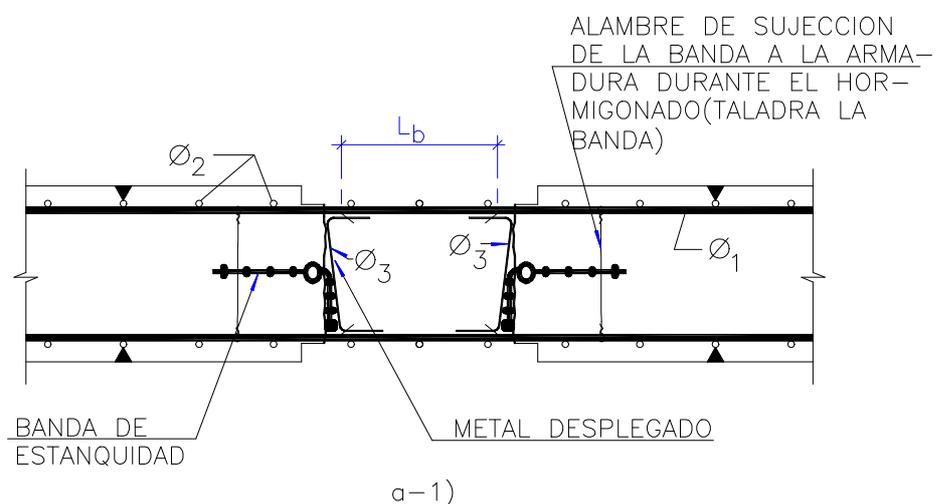


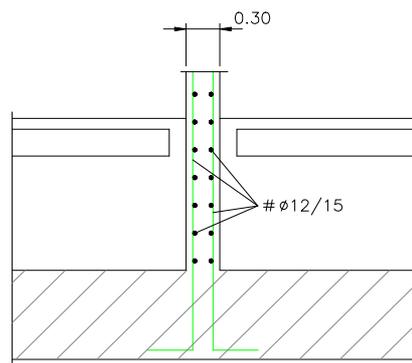
Fig. 43 Juntas de dilatación (Ref MS2)

Las juntas de dilatación se organizarán de la misma manera que para los muros de contención.

Lo más habitual es usar, como en este ejemplo, bandas de estanqueidad, pero los medios para realizar estas juntas son muy diversos. Aquí se muestran dos ejemplos de disposición.

Se colocarán donde cambie la profundidad del plano de cimentación y en todo cambio de dirección de planta.

Un ejemplo de un plano real de las obras del metro correspondiente a la elaboración de un muro sería:



DETALLE -5-

Fig. 44 Muro

5.4. Muros pantalla

Se trata de una pared de hormigón que se realiza sin entibación (contención temporal del terreno). El equilibrio de la excavación se realiza por sí mismo o gracias al empleo de lodos bentoníticos. La estabilidad se consigue absorbiendo empujes horizontales mediante un empotramiento adecuado en lugar de zapata de cimentación

Este tipo de muros es muy útil en terrenos donde se tiene poco espacio para realizar excavaciones por tratarse de terrenos medianeros. Muy útil por tanto para obras de aparcamientos y otro tipo de obras subterráneas dentro de núcleos urbanos.

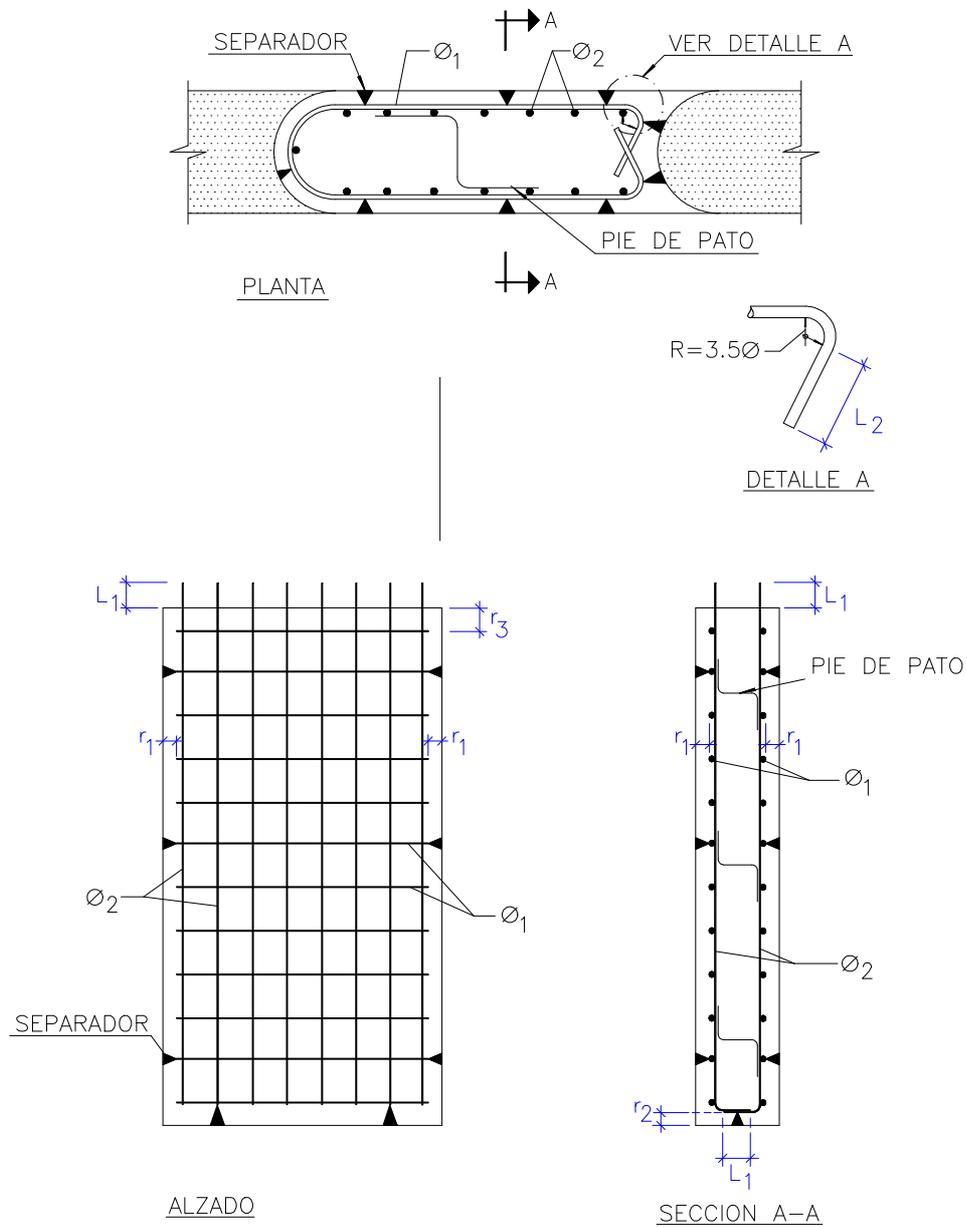


Fig. 45 Muros pantalla. Armado general

Para una completa definición del elemento faltaría la acotación del ancho del muro bien en la sección o bien en la planta.

Las vistas necesarias para la definición del muro son la planta y la sección A-A pues en el alzado se dispone de la misma información que en la sección.

La forma redondeada de la armadura de este tipo de muros debido a su ejecución por bataches (El muro se va ejecutando por partes y esa forma redonda es debida a la cuchara utilizada para la excavación).

L_1 es la longitud de anclaje de la armadura Φ_2

r_1 es el recubrimiento lateral

r_2 es el recubrimiento inferior

L_2 se fija por razones constructivas

Este plano no correspondería con la altura completa del muro por eso el significado de L_1 para empalmar con armaduras sucesivas hasta coronación siendo necesario por tanto la descripción de la coronación del muro que además dispondrá de una viga de atado:

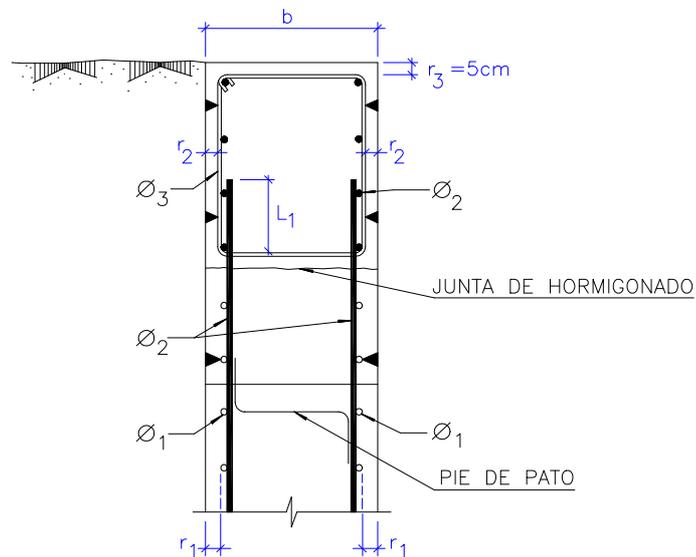


Fig. 46 Muros pantalla (Viga de coronación)

Habría que definir claramente los elementos constituyentes de la viga de atado.

El ancho b de la viga correspondería al ancho de muro con lo cual quedaría completamente definido.

Los recubrimientos r_2 , r_3 serán los correspondientes a una viga de atado de una cimentación.

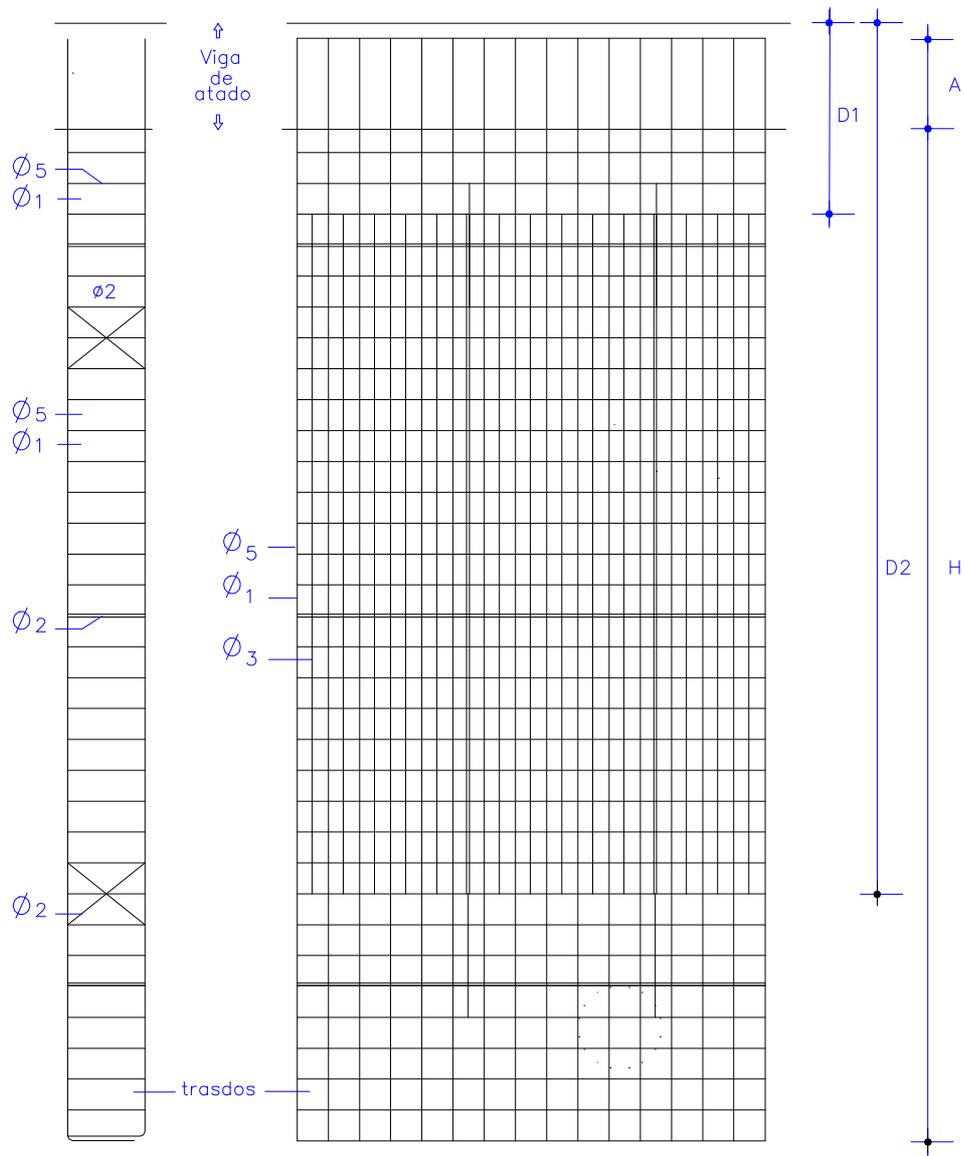


Fig. 47 Muro pantalla según NTE

La NTE no contempla la definición de la viga de atado en el propio plano del muro aunque también se podría realizar en un detalle.

La NTE define las longitudes de cada barra de armadura así como la altura total del muro.

5.5. Muros por pilotes

Este tipo de muros pantalla están realizados mediante pilotes ejecutados in situ a una determinada distancia unos de otros, compactando el terreno contiguo y por tanto conteniendo el terreno. El intradós del muro se revestirá para que los pilotes no queden vistos. Los pilotes empleados serán pilotes tradicionales.

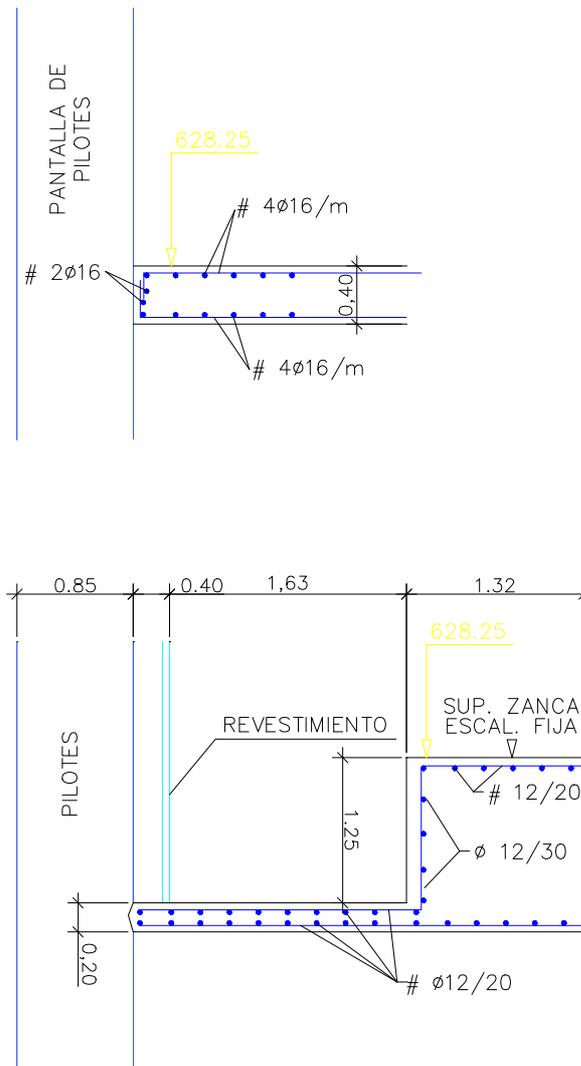


Fig. 48 Muro por pilotes

Los pilotes se definirán en plano de la misma manera que se han explicado anteriormente.

Este plano corresponde a un muro pantalla de las obras del Metrosur, y es el enlace de una losa de forjado y una losa de escalera al muro pantalla.

6. Bibliografía

- [1] NTE (Normas Técnicas de la Edificación). Norma de Cimentaciones. Editada por el Ministerio de Fomento
- [2] Apuntes de la asignatura.
- [3] AE-88. Acciones en la Edificación. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- [4] EFHE-2001. Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados.
- [5] EHE-98. Instrucción de Hormigón Estructural; Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica.
- [6] "Normas Técnicas de Edificación" 1ª y 2ª parte; M.O.P.U.
- [7] "Manual normas UNE sobre dibujo"; Tomo 3. Normas generales: AENOR
- [8] "Código Técnico de la Edificación"; Ministerio de Vivienda .CTE; <http://www.codigotecnico.org>
- [9] Arizmendi Barnes, L.J; "Cálculo y normativa básica de las instalaciones en los edificios: i. Instalaciones hidráulicas, de ventilación y de suministros con gases combustibles"; Ed. EUNSA; Pamplona 2005
- [10] Arizmendi Barnes, L.J; "Cálculo y normativa básica de las instalaciones en los edificios: ii. Instalaciones energéticas y electrotécnicas"; Ed. EUNSA; Pamplona 2005
- [11] Azpiazu Monteys, J. y otros; "Biblioteca Atrium de las instalaciones Tomo IV: Componentes de Fontanería y Calefacción; Tomo V: Calefacción"; Ed. Atrium; 1990
- [12] Calavera, J.; "Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación"; INTEMAC (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones)
- [13] Calavera, J.; "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios"; INTEMAC; 1985.
- [14] Calavera, J; González Valle, E; Fernández Gómez, J; Valenciano, F; "Manual de Ferralla"; INTEMAC y ANIFER (Asociación Nacional de Industriales de Ferralla); Madrid 1999.
- [15] Jiménez Montoya, Pedro; García Meseguer, Álvaro; Morán Cabré, Francisco.; "Hormigón Armado"; Ed. Gustavo Gili, S.A. Depósito legal: B.18.748 – 2000.
- [16] Martín Sánchez, F; "Nuevo manual de instalaciones de fontanería, saneamiento y calefacción" Ed. de Arquitectura Técnica; Madrid, 2007
- [17] "Tolerancias en la Construcción de Obras de Hormigón"; Cuadernos INTEMAC nº 18, segundo trimestre de 1.995.
- [18] Ruiz Duerto, A.; Ferreres Gómez, T.; "Protección contra el agua de obras enterradas". Madrid 1995.
- [19] Ruiz Gines, Roberto; "Control de proyecto y ejecución. Industrialización de procesos"; Proyecto Fin de Carrera ETSIIM; Julio 2002
- [20] www.geoteknia.com