

Cerramientos verticales tierra-aire. Muros de sótano

JURIFICACION GONZALEZ, ARQUITECTO

1. INTRODUCCION

La Real Academia Española define: "Sótano: pieza subterránea entre los cimientos de un edificio". En la Enciclopedia Sopena leemos: "Sótano: derivado del latín SUBTUM, debajo. En un edificio pieza subterránea o piso situado bajo la rasante de la calle". En algunos autores podemos leer: "Sótano: planta situada por debajo de la planta baja", y "Planta baja: la que tiene el piso al nivel del terreno, o por encima, nunca por debajo".

Todas estas definiciones son bastante ambiguas por lo que estableceremos las siguientes:

SOTANO: Espacio de un edificio totalmente rodeado de tierra, agua, o agua y tierra y que puede estar compartimentado por uno o varios cerramientos horizontales; el inferior lo separa del terreno, el superior de la planta baja.

SEMI-SOTANO: Espacio de un edificio parcialmente rodeado de tierra, agua, o agua y tierra, que puede estar compartimentado por uno o varios cerramientos horizontales; el inferior lo separa del terreno o del techo superior del sótano, el superior de la planta baja.

Tanto el sótano como el semi-sótano pueden tener un patio perimetral para luces y ventilación (Esquemas 1.a, 1.b, 1.c, 1.d, 1.e, 1.f).

2. FUNCIONES

Todo muro de sótano debe dar respuesta a exigencias funcionales que se derivan de su propia definición como tal: exigencias estructurales, de habitabilidad de los espacios que limita (impermeabilidad, aislamiento térmico), de durabilidad.

2.1. Función estructural

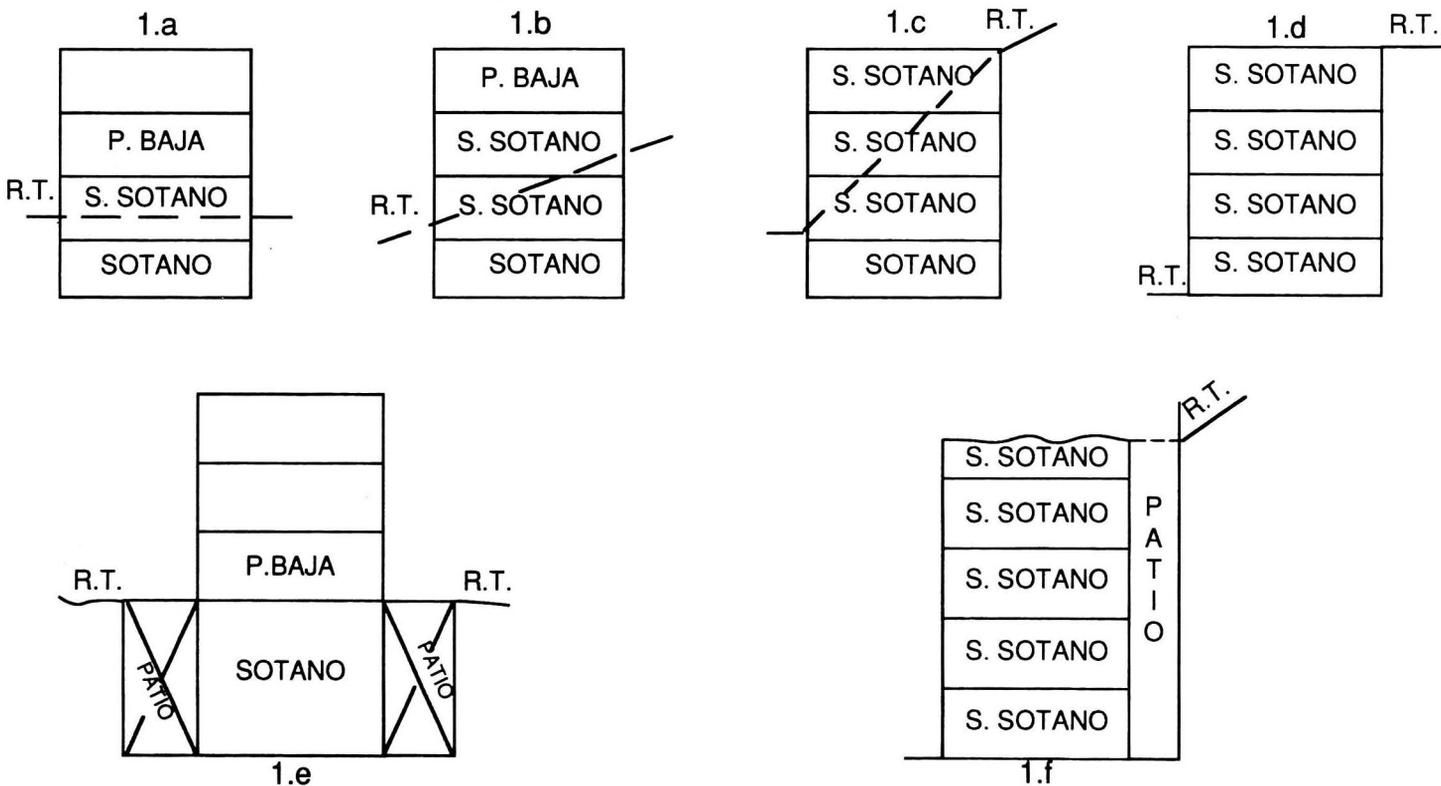
El muro debe ser capaz de soportar los esfuerzos generados por las acciones que actúan sobre él. Peso propio, cargas que le transmite el resto de la estructura tanto verticales como horizontales. Cargas del terreno debidas al peso y a sus empujes; en su caso empuje del agua. Cargas debidas al proceso constructivo. Acciones sísmicas. Acciones debidas a retracción y fluencia. Acciones originadas por deformaciones térmicas. En la fig. 2 y 2.a se expresan formas diversas del trabajo del muro o pantalla.

Las acciones térmicas y reológicas, retracción y fluencia, se evitan o anulan con soluciones constructivas adecuadas.

2.2. Impermeabilidad

Las condiciones de habitabilidad de los sótanos exigen:

- No debe haber agua en estado líquido sobre los suelos.



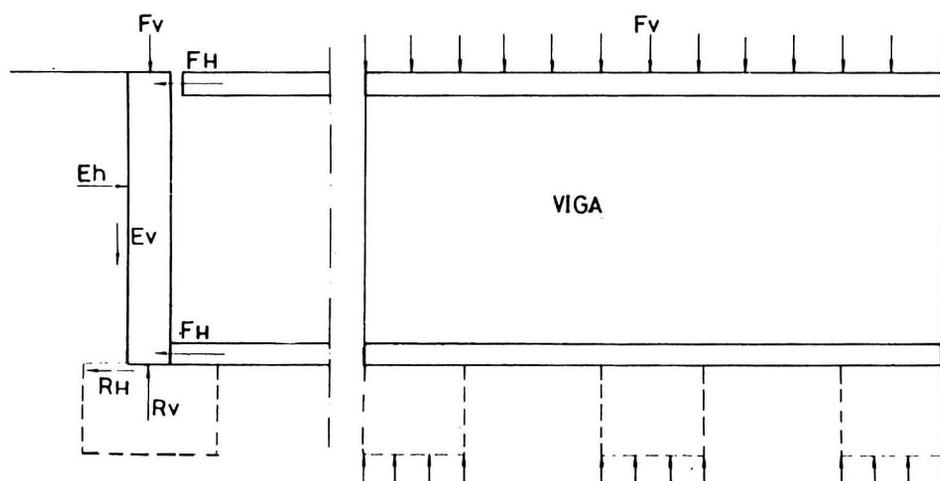
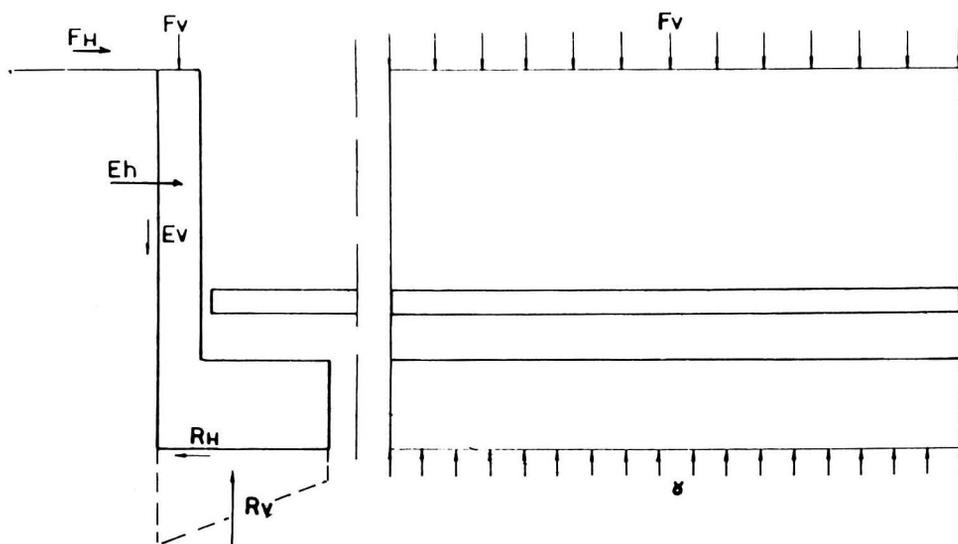


Fig. 2.

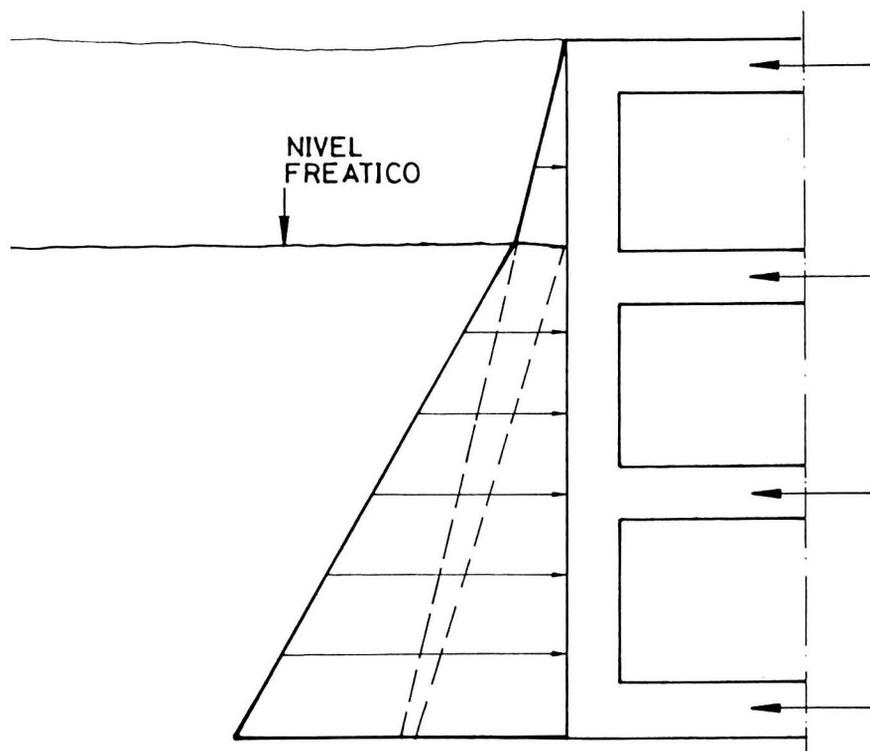


Fig. 2.a.

— El grado de humedad del aire debe estar limitado, siendo la humedad relativa función del uso del sótano.

— Las paredes del sótano no deben presentar manchas de humedad.

Por tanto los muros deben ser estancos al agua líquida y al agua en forma de vapor. El nivel de estanqueidad requerida será función de factores de diversa índole que habrá que calibrar en cada caso particular (factores económicos, de uso, constructivos...). Hay ocasiones en las que se puede permitir que pasen pequeñas cantidades de agua líquida a través del muro, agua que ocasionará manchas y que habrá que recoger en pequeñas canaletas para su evacuación con el resto de las aguas que se producen en el interior. También se puede permitir, en ocasiones, el aporte de vapor de agua por parte del muro, procedente del agua líquida que lo impregna. Este vapor de agua aumenta la humedad relativa del ambiente, pero se puede llegar a regular mediante la ventilación natural o forzada.

El agua, ante la cual hay que tomar siempre medidas para evitar los daños que puede provocar, proviene de:

1. Agentes meteorológicos: lluvia, nieve, granizo, escarcha, etc.
2. Procedentes de rotura o defectos de construcción de redes de agua, alcantarillado, depósitos de agua enterrados, pozos filtrantes, etc.
3. Aguas de riego y limpieza de calles y jardines.
4. Aguas sub-álveas. El nivel freático se encuentra a nivel superior al del suelo del sótano. También puede suceder que el nivel freático sea inferior, pero las aguas asciendan por capilaridad.

En los casos 1, 2 y 3, cuando es posible, se reducen los riesgos de humedades ejecutando drenes en el trasdós de los muros. Con ello y con una buena construcción del muro, se eliminan los posibles empujes del agua y prácticamente las humedades son nulas o fácilmente evitables.

Cuando no es posible hacer estos drenes y en el caso nº 4, en el que las aguas ejercen una presión sobre el muro, habrá que construir muros de hormigón totalmente impermeables. Si esto no es posible técnica y económicamente, habrá que aceptar como respuesta el caso que expusimos anteriormente, en el que se permitía pasar pequeñas cantidades de agua líquida que eran recogidas y canalizadas.

2.3. Aislamiento térmico

Sólo cuando la temperatura del sótano debe ser inferior a la del terreno que lo rodea (6° a 10°C), como es el caso de la instalación de cámaras frigoríficas, tiene importancia el aislar térmicamente

te, y además, debe hacerse. En condiciones normales la transmisión de calor a través de los muros del sótano es muchísimo menor que la de los muros expuestos al aire. El terreno actúa, en cierto modo, como acumulador de calor: su temperatura aumenta y simultáneamente disminuyen las pérdidas.

La transmisión de calor a través de un muro de sótano viene regulada por la fórmula siguiente:

$$Q = k (t_i - t_e)$$

siendo: k, coeficiente de transmisión térmica del muro.

t_i , temperatura interior.

t_e , temperatura del terreno.

Al aumentar t_e , disminuye la pérdida de energía calorífica Q. Si por cualquier circunstancia disminuyese t_e , y se verificase $t_e < t_i$, el terreno devolvería calor hasta llegar al equilibrio, donde $t_e = t_i$.

La NBE-CT 79, en el punto 2.5 para el cálculo del coeficiente de transmisión térmica de los cerramientos en contacto con el terreno, indica que para soleras y muros enterrados a una profundidad $z \geq 6$ m., el coeficiente de transmisión térmica lineal se considera igual a cero.

2.4. Resistencia a los agentes químicos

Si hay indicios de agresividad del terreno o de las aguas en contacto con él, es necesario realizar ensayos de los mismos. En el caso de que existan estos agentes agresivos, habrá que tomar las medidas necesarias tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra para evitar los daños o reducirlos al mínimo.

En estos casos los hormigones deberán ser homogéneos, compactos e impermeables. Si los agentes agresivos son sulfatos, el contenido mínimo de cemento del hormigón del muro será 250 kg./m.³; si el contenido de sulfatos del

agua es mayor o igual a 400 mg./kg., o el contenido de sulfatos del suelo es mayor o igual que 300 mg./kg., se deberán emplear cementos resistentes a los sulfatos.

3. TIPOLOGIA

3.1. Materiales

Desde el punto de vista de los materiales se pueden establecer los siguientes tipos de muro:

Material	Aplicación
Fábrica de ladrillo, bloque de hormigón o piedra con mortero hidrófugo. Hormigón en masa sin armadura.	Sótanos, semi-sótanos poco profundos en los que el riesgo de humedad sea mínimo.
Hormigón en masa con malla electrosoldada por ambas caras.	Edificios con un solo sótano, con altura libre no superior a 2,50 m.
Hormigón armado.	Para todo tipo de sótanos.
Hormigón pretensado prefabricado.	Para edificios de varios sótanos bien para la realización de pantallas ancladas, o como sustituto del hormigón armado en el caso de pantallas ejecutadas con lodos bentoníticos.

3.1.1. Muros de fábrica de ladrillo, bloque de hormigón o piedra.

Sólo excepcionalmente y para muros poco profundos, se utilizarán ladrillos, bloques de hormigón o mampostería. Desde el punto de vista estructural la respuesta no es buena; trabajan a flexo-compresión por lo que se necesitarían muros muy gruesos para una respuesta válida. Son muros anti-económicos.

Son bastante permeables por lo que necesitan tratamiento antihumedad. Deben emplearse aditivos hidrófugos, tanto para los morteros de agarre como para los enfoscados. Deben enfoscarse a ambas caras, y especialmente por el trasdós, siempre que sea posible. Sobre el enfoscado deben llevar un acabado con pintura impermeable al agua líquida pero permeable al vapor. Así se evita que la presión del vapor de agua despegue la pintura al generar esfuerzos superiores a la adherencia pintura-soprote. La pintura del trasdós es útil durante su periodo de durabilidad, muy inferior a la vida del muro (fig. 3).

Siempre que sea posible se deben drenar.

3.1.2. Muros de hormigón

El material idóneo para la construcción de muros y pantallas es el hormigón en sus tres formas:

- a) En masa.
- b) Armado.
- c) Pretensado.

Lo más frecuente es que los muros sean de hormigón armado. Se ejecutan también muchos de hormigón en masa, entendiéndose por hormigón en masa el que no lleva armadura o bien la lleva en cuantía inferior a la mínima. El hormigón pretensado se utiliza casi exclusivamente cuando los muros o pantallas son prefabricados.

El hormigón ha de ser impermeable; esto exige homogeneidad, compacidad, mínimo de poros abiertos, no fisuración, juntas estancas, mínimo de juntas.

La comprobación de *homogeneidad* del hormigón exige el cumplimiento de lo especificado en la tabla 15.2.5 de la EH-88. Deberán obtenerse resultados satisfactorios en los dos ensayos del grupo A, y al menos, en dos de los cuatro del grupo B. (Ver cuadro).

Para conseguir un hormigón *homogéneo, compacto* y con el *mínimo de poros abiertos* se deben utilizar:

- áridos de granulometría continua.
- dosificación de cemento comprendida entre 250 kg./m.³ y 350 kg./m.³
- aditivo aireante o superfluidificante para conseguir reducir la relación a/c y alcanzar consistencias cuyo asiento en el cono de

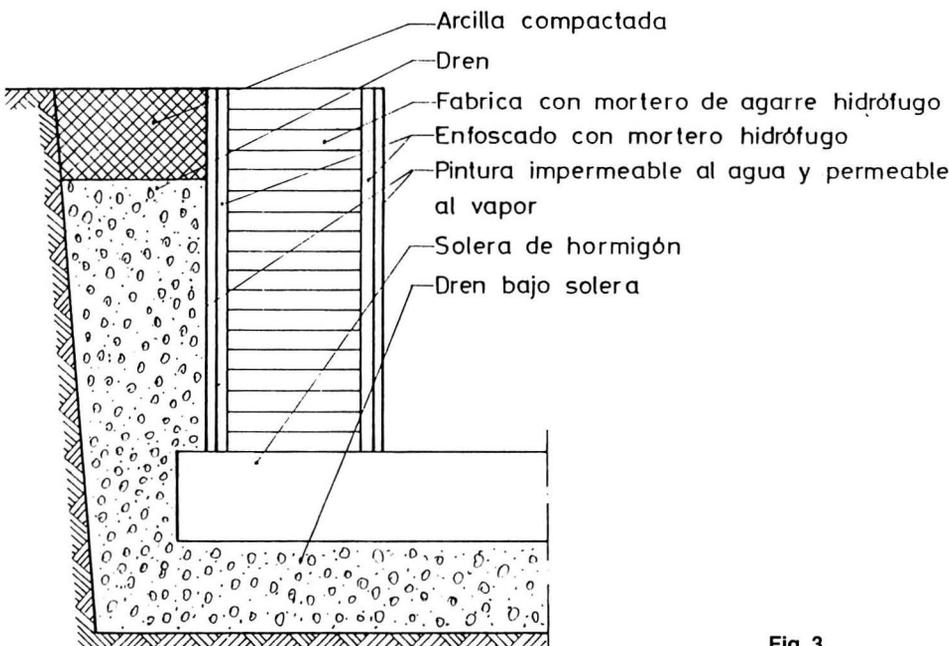


Fig. 3.

Abrams esté comprendido entre 4 y 7 cm.

— compactación por vibración.

Para que no se produzcan fisuras será necesario respetar las juntas de dilatación de la estructura, dejar previstas juntas de retracción y disponer y tratar adecuadamente las juntas de hormigonado. Todas ellas deberán ser estancas.

El hormigón del muro, que en la sección más desfavorable normalmente trabaja a flexo-tracción, no debe alcanzar el límite de fisuración. Para ello, los hormigones a emplear deben ser de alta calidad con resistencias a compresión $f_{ck} \geq 175 \text{ kp./cm.}^2$, que suelen tener una resistencia a tracción directa

$$f_{ctk} \geq 0,45 f_{ck}^{2/3} = 14 \text{ kp./cm.}^2$$

y una resistencia a flexo-tracción

$$f_{ct,flex} \geq 0,8 f_{ck}^{2/3} \text{ (Art. 45.3 - EH-88)}$$

Según la EH-88, la fisuración del hormigón, "se supone ocurre cuando la tracción en la fibra más tendida del hormigón alcanza el valor:

$$f_{ct,m} = 1,5 f_{ctk} = 0,68 f_{ck}^{2/3}$$

donde $f_{ct,m}$, f_{ctk} y f_{ck} se expresan en kp./cm.^2 " (art. 44.3 EH-88). Para $f_{ck} = 175 \text{ kp./cm.}^2$

$$f_{ct,m} = 21 \text{ kp./cm.}^2 \approx 2,1 \text{ Mpa.}$$

Este límite de fisuración se demuestra que no es alcanzado cuando se utilizan hormigones de las características anteriores, el espesor del muro es igual o mayor de 25 cm. y la altura libre del muro, entre suelo y techo del sótano, no excede los tres metros. Estas recomendaciones son aplicables a muros de hormigón realizados "in situ" por procedimientos normales.

En el caso de pantallas de hormigón en las que se utilizan lodos bentoníticos, los hormigones no pueden tener las características definidas anteriormente, ya que el sistema de hormigonado exige una consistencia fluido-líquida con un proceso de compactación debido al peso propio del hormigón. En este caso, el espesor de la pantalla nunca es menor que 45 cm. y habitualmente son de 60 cm.

En el caso de muros pantalla prefabricados de hormigón pretensado, los hormigones son de mayor calidad:

$$f_{ck} \geq 250 \text{ kp./cm.}^2$$

y sus espesores suelen reducirse a 15 cm.

	Ensayos	Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga de hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga)	
Grupo A	1. Consistencia: Si el asiento medio es igual o inferior a 9 centímetros	3,0	
	Si el asiento medio es superior a 9 centímetros	4,0	
	2. Resistencia (*): En porcentaje respecto a la media	7,5	
Grupo B	3. Peso del hormigón en kp. por metro cúbico	16,0	
	4. Contenido de aire: En porcentaje respecto al volumen del hormigón	1,0	
	5. Contenido de árido grueso: En porcentaje respecto al peso de la muestra tomada (UNE 7295)	6,0	
	6. Módulo granulométrico del árido (UNE 7295)	0,5	

TABLA 15.2.5 EH-88

(*) Por cada muestra se romperán en compresión, a siete días y según el método de ensayo UNE 83304/84, tres probetas cilíndricas de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura. Estas probetas serán confeccionadas y conservadas según el método de ensayo UNE 83301/84. Se determinará la medida de cada una de las dos muestras como porcentaje de la media total. La diferencia entre dichos porcentajes no sobrepasará el límite indicado en la tabla 15.2.5.

3.2. Tipología Estructural

Elemento estructural	Solicitaciones	Figura
1. Ménsula	Flexión compuesta $N M_x$	4
2. Ménsula y Viga de canto superior a 60 cm. o gran canto	Flexión $M_x M_y$	5
3. Placa sustentada en bordes paralelos	Flexión compuesta $N M_x$	6
4. Placa sustentada en bordes paralelos y Viga de gran canto.	Flexión $M_x M_y$	7
5. Placa sustentada en su contorno	Flexión compuesta $N M_x M_z$	8
6. Placa sustentada en su contorno y Viga de gran canto	Flexión $M_x M_y M_z$	9
7. Placa sobre apoyos aislados	Flexión compuesta $N M_x M_z$	10
8. Placa sobre apoyos aislados y Viga de gran canto	Flexión $M_x M_y M_z$	11

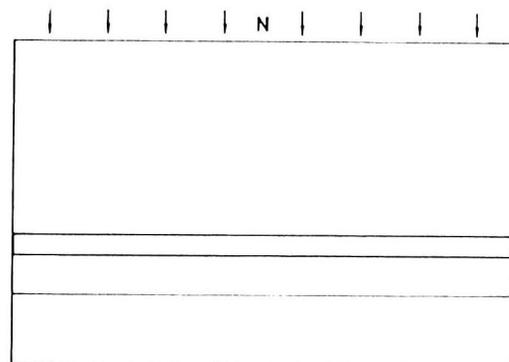
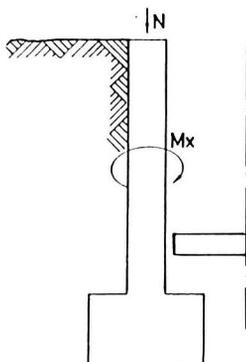


Fig. 4.

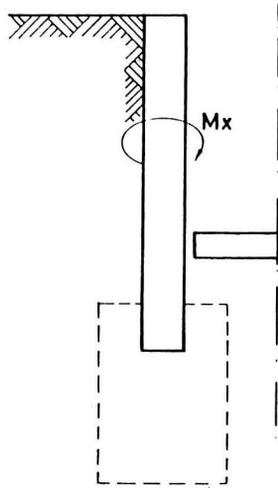


Fig. 5.

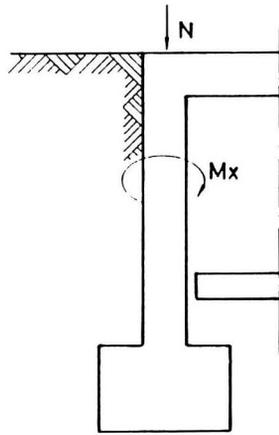
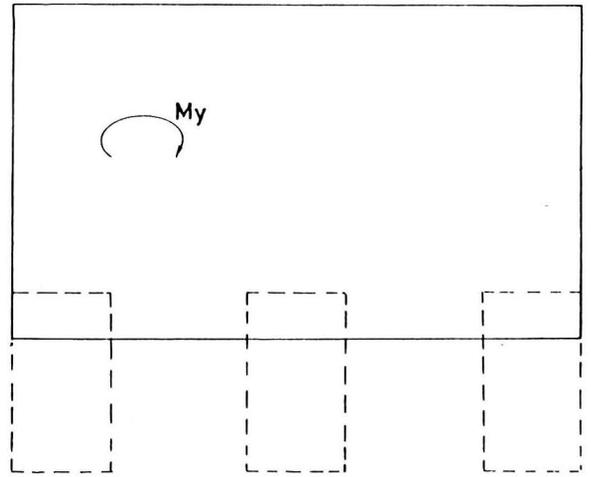


Fig. 6.

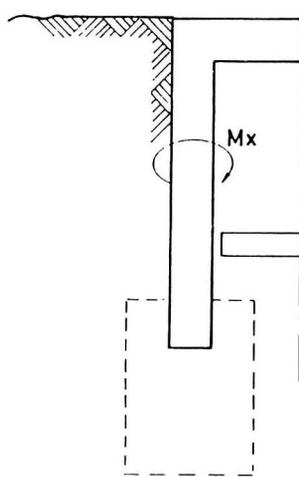
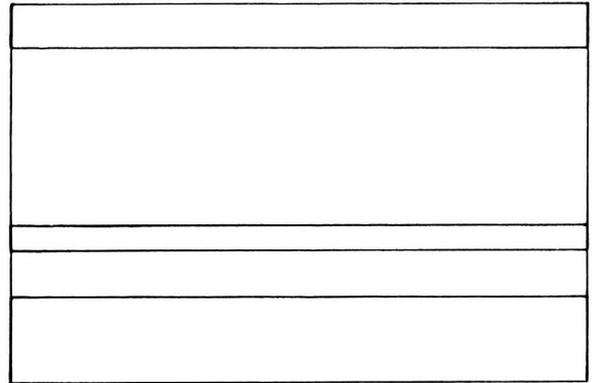


Fig. 7.

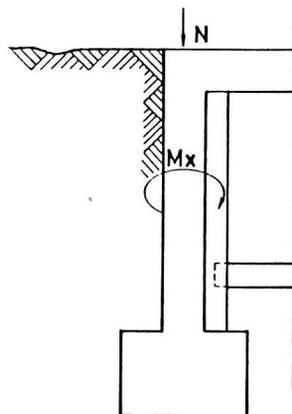
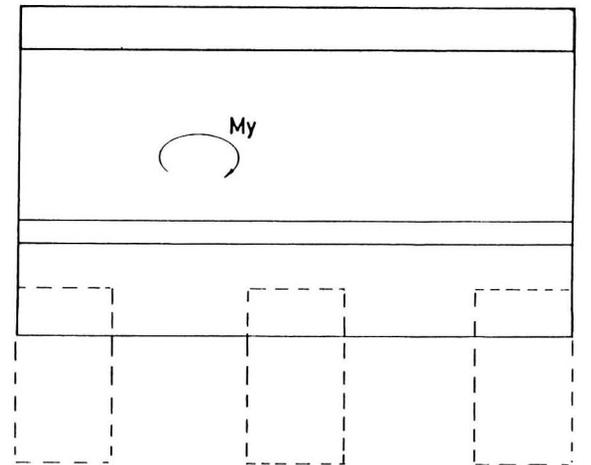
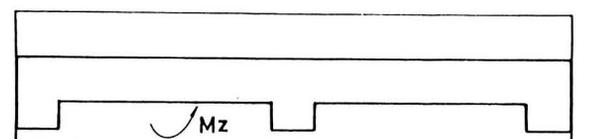
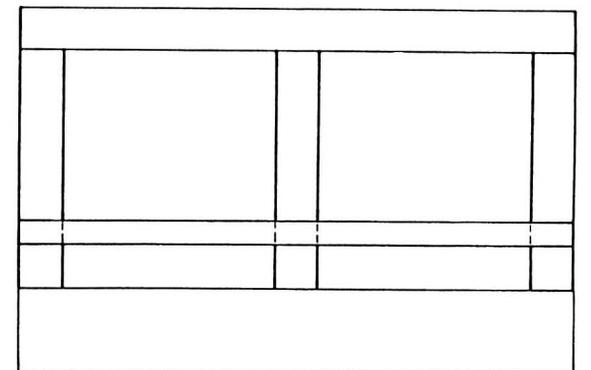


Fig. 8.



4. CONSTRUCCION

4.1. Excavación

La elección del sistema de excavación depende al menos de los siguientes factores:

- 1) *Ubicación del edificio.* Aislado, entre medianeras de otros edificios o de calles. Características constructivas de estos edificios: tipo de cimentación, existencia o no de sótanos en los edificios medianeros. Tipo de calles: mucho o poco tráfico, existencia de redes enterradas próximas a la medianera.
- 2) *Número de sótanos y altura de cada uno.*
- 3) *Tipo de terreno.* Cohesivo, roca, no cohesivo, rellenos.
- 4) *Presencia de agua.* Procedente de rotura de redes, lluvia o altura del nivel freático.
- 5) *Volumen de la excavación.*
- 6) *Maquinaria y técnicas disponibles para realizarla.*

Elegido el sistema de excavación, ésta podrá realizarse:

- a) *Antes de la ejecución del muro.* La excavación puede realizarse con taludes verticales por imposibilidad de actuar sobre terrenos fuera del solar, o bien con taludes inclinados cuando esto es posible. Esta segunda solución, aumenta el volumen de la excavación y posteriormente requiere encofrar el muro por las dos caras, lo que supone un mayor costo. Sin embargo, es la solución técnica aconsejable ya que permite drenar el trasdós del muro y eliminar o reducir el riesgo de humedad en el sótano. Este sistema se emplea para un sótano, excepcionalmente para dos o tres sótanos y en este último caso cuando el terreno es cohesivo, muy compacto y no hay peligro de agotamiento. En el caso de taludes verticales suele ser necesaria la entibación.
- b) *Después de la ejecución del muro.* Se construye el muro previamente por batches, pantallas con lodos trioxtrópicos o pilotes tangentes.
- c) *Alternando la excavación y la ejecución del muro.* Se realiza primero una parte de la excavación y luego el muro, en este caso un muro-pantalla anclado que se realiza de arriba hacia abajo.

4.2. Muros de hormigón

Las actividades que se llevan a cabo a la hora de realizar un muro de sótano de hormigón son:

- colocación de armaduras.
- encofrado.
- juntas de estanqueidad.

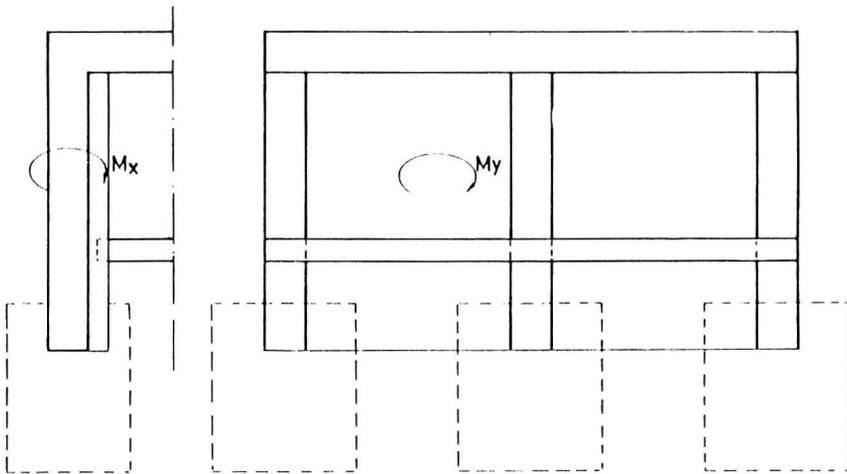


Fig. 9.

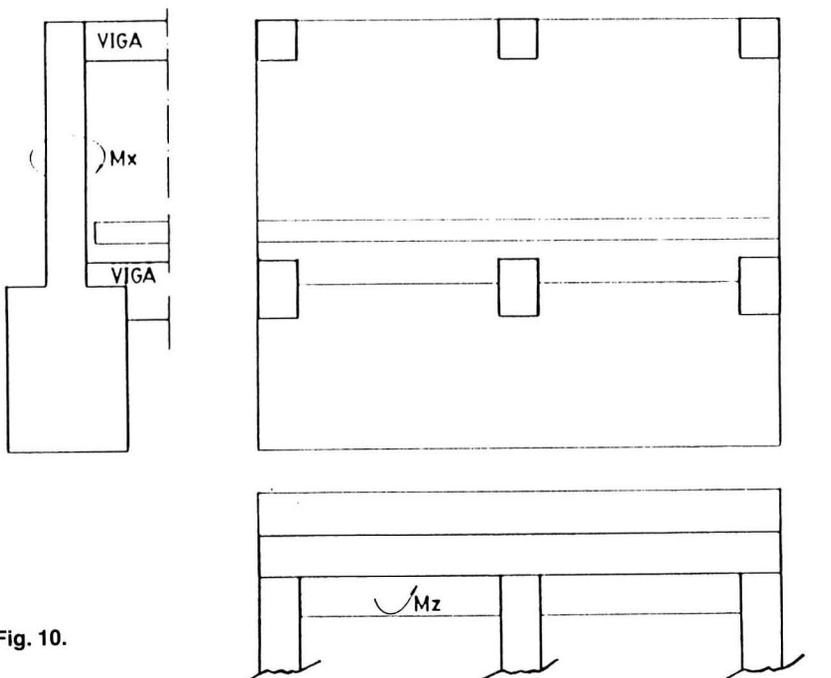


Fig. 10.

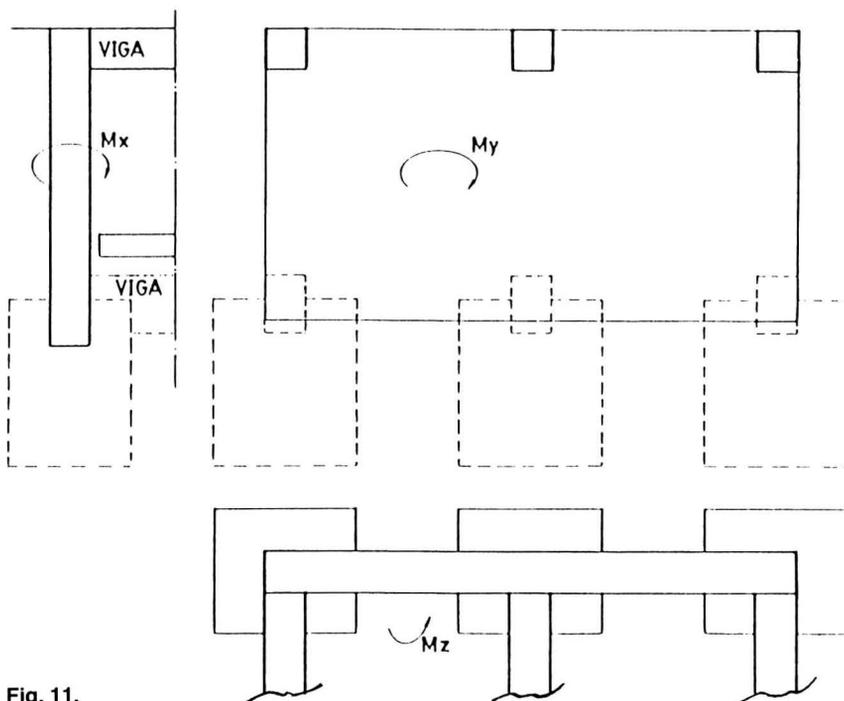


Fig. 11.

- hormigonado.
- impermeabilización.
- drenaje.

En muros de sótano se exige una cuantía mínima de *armaduras* en previsión de esfuerzos térmicos y de retracción, que no suelen tenerse en cuenta en los cálculos. Estas armaduras mínimas son:

	Cuantía geométrica mínima en tanto por mil de la sección total de hormigón	
	Horizontal	Vertical
AE 215-L	2,5	1,5
AEH-400	2,0	1,2
AEH-500	1,6	0,9
AEH-600	1,4	0,8

La armadura es total para las dos caras en la dirección considerada. En cualquier caso, ninguna de las caras debe tener una cuantía inferior a un tercio de la indicada. Para esta armadura suelen utilizarse mallas electrosoldadas de acero AEH-500, normalmente ME 100 x 150 de diámetro 4,5 ó 6 mm., en función de la anchura del muro.

El *encofrado* puede ser por una o por las dos caras, y además el encofrado transversal para las juntas de hormigonado verticales que deben ser estancas. Cuando sólo se realiza encofrado transversal y por una cara, conviene colocar en el trasdós tubos verticales drenantes o un tabicón de bloque de hormigón poroso, como encofrado perdido y con función drenante. (fig. 12 a-b).

Juntas de estanqueidad. En el proceso de hormigonado es necesario *prever* los siguientes tipos de juntas que deben ser estancas:

Horizontales	Unión muro-zapata (1)
(fig. 13)	Unión muro-muro (2).
Verticales	Hormigonado.
	Retracción.
	Dilatación.

La junta muro-zapata, debe hacerse a cota superior de la unión zapata muro. Realmente se trata de una junta muro-muro. La junta horizontal muro-muro debe evitarse, si es posible, hormigonando el muro de una sola vez.

Las juntas de hormigonado verticales deben suprimirse haciéndolas coincidir con las juntas de retracción. Estas juntas si el muro está armado al menos con cuantía mínima, deben estar a una distancia no superior a 12 metros. Si el muro no lleva armadura las juntas de retracción distarán entre sí, como máximo 6 metros (fig. 14).

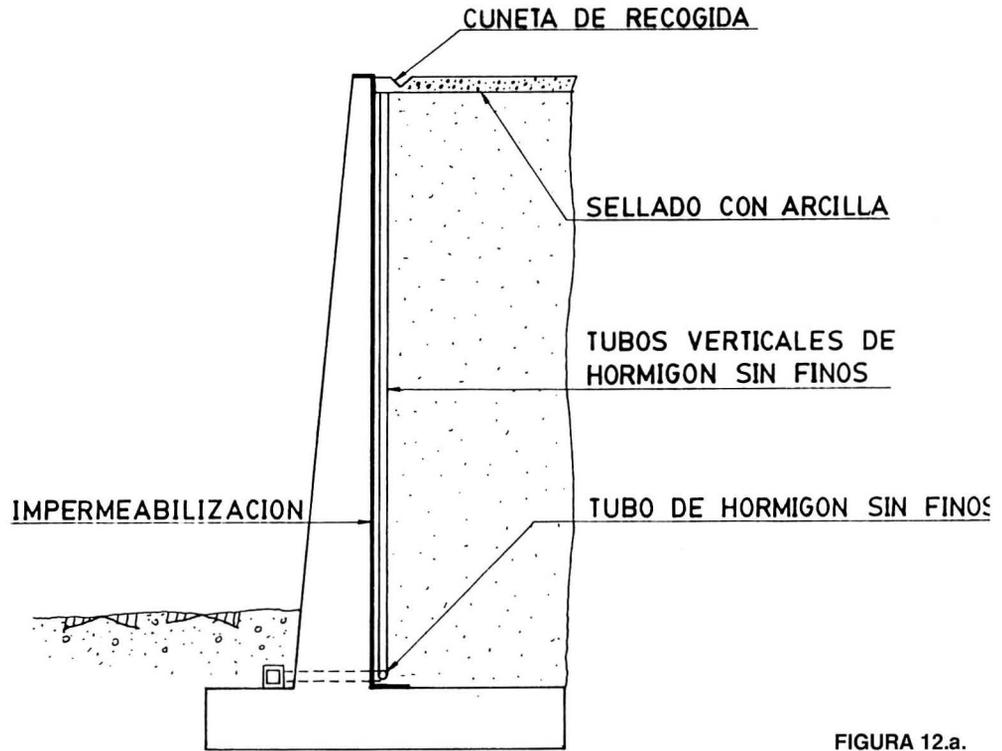


FIGURA 12.a.

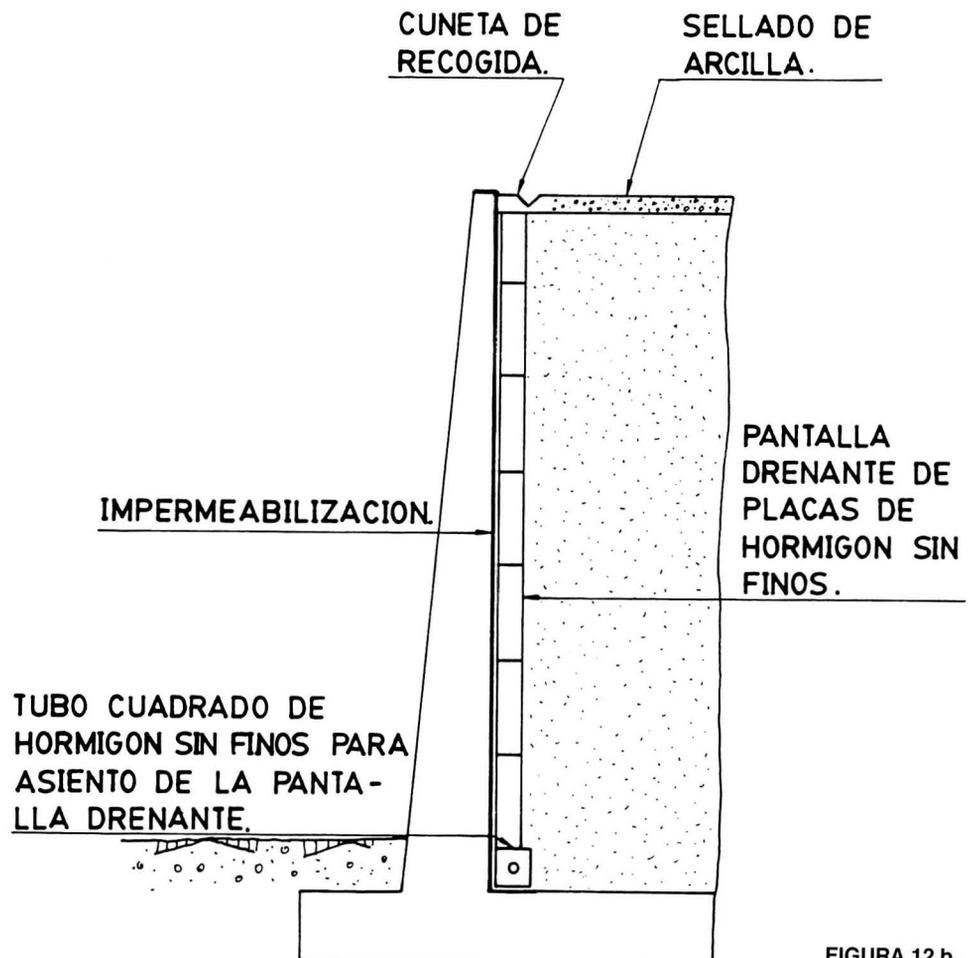
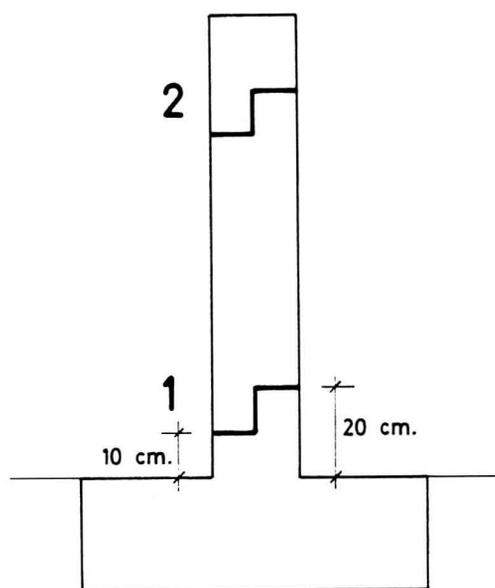


FIGURA 12.b.



- 1 Union muro - zapata
- 2 Union muro - muro

Fig. 13.

En el caso de hacer juntas de hormigonado, se realizarán de modo análogo a las de retracción.

Las juntas de dilatación coincidirán con las del resto de la estructura. (Fig. 15).

Impermeabilización. Un muro de hormigón bien construido, sin poros, ni fisuras, con las juntas de estanqueidad correctamente ejecutadas, es impermeable y garantiza la estanqueidad al

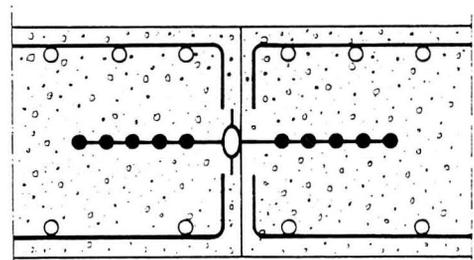
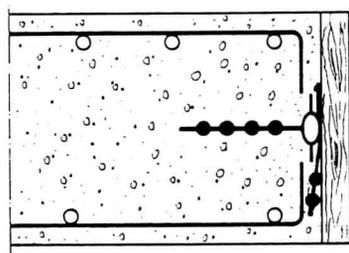


Fig. 14.

agua a través de él. No obstante para garantizar la estanqueidad se suelen dar dos soluciones:

- a) Pintar el trasdós con betún asfáltico tipo G1, que ha de cumplir las condiciones que exige la norma UNE 41088.
- b) Colocación de membrana impermeabilizante, ejecutada mediante bandas horizontales iniciando la realización desde la base del

muro y solapando las bandas un mínimo de 7 cm.

Estos sistemas sólo pueden emplearse cuando la excavación en el trasdós del muro es posible. Esto no es normal en la mayoría de los muros de sótano construidos entre medianeras.

Por otra parte la durabilidad de los materiales no suele garantizarse más allá de cinco años. ¿Qué pasa después? ¿Aparecen humedades? No es lo normal cuando el muro está bien hecho. Este tipo de trabajo, en mi opinión, tiene dos posibles justificaciones: "Haber tomado precauciones para que no haya humedades" o "Llegar en el mejor de los casos, a evitar las humedades en el periodo de responsabilidad decenal".

Drenaje. El drenaje es bueno efectuarlo, y se debe hacer siempre que se pueda, y el nivel freático esté por debajo de la superficie de cimentación. Reduce el riesgo de humedades en muros mal construidos, y en cualquier caso facilita los trabajos de reparación e impermeabilización si aparecen manchas de humedad o incluso agua en el intradós del muro.

El drenaje está formado por un dren longitudinal que puede ser:

- Tubo de PVC de junta abierta, o bien ranurado o perforado.
- Tubo de hormigón poroso.

Sobre el dren se dispone una pantalla porosa formada por material filtrante o grava gruesa de tamaño 50 a 76 mm. con un espesor mínimo de 25 cm. Sobre este relleno se coloca un relleno de material formado con grava y arena, coronándose con una capa de arcilla compacta de 20 cm. de espesor máximo. (fig. 16).

El material filtrante deberá cumplir las condiciones especificadas en el artículo 421.2 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

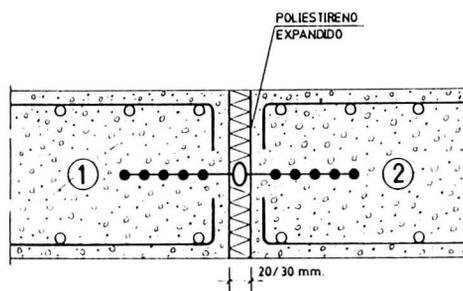


Fig. 15.

421.2. Rellenos localizados de material filtrante. Materiales

421.2.1 Condiciones generales

Los materiales filtrantes a emplear en rellenos localizados serán áridos naturales o procedentes del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, o áridos artificiales exentos de arcilla, marga y otros materiales extraños.

421.2.2 Composición granulométrica

El tamaño máximo no será, en ningún caso, superior a setenta y seis milímetros (76 mm), cedazo 80 UNE, y el cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE no rebasará el cinco por ciento (5%).

Siendo F, el tamaño superior al del x%, en peso, de material filtrante, y d el tamaño superior al de x%, en peso, del terreno a drenar, se deberán cumplir las siguientes condiciones de filtro:

$$(a) \frac{F_{15}}{d_{85}} < 5; \quad (b) \frac{F_{15}}{d_{35}} > 5;$$

$$(c) \frac{F_{50}}{d_{50}} < 25; \quad (d) \frac{F_{60}}{d_{10}} < 20$$

En el caso de terrenos cohesivos, la condición (a) se puede sustituir por la de

$$F_{15} < 0,1 \text{ mm.}$$

Además, de acuerdo con el sistema previsto para la evacuación del agua, el material filtrado situado junto a los tubos o mechinales deberá cumplir las condiciones siguientes:

- Si se utilizan tubos perforados:

$$\frac{F_{85}}{\text{diámetro del orificio}} > 1$$

- Si se utilizan tubos con juntas abiertas:

$$\frac{F_{85}}{\text{ancho de la junta}} > 1,2$$

- Si se utilizan tubos de hormigón poroso:

$$\frac{F_{85}}{d_{15} \text{ del árido del tubo}} > 0,2$$

- Si se drena por mechinales:

$$\frac{F_{85}}{\text{diámetro del mechinal}} > 1$$

Cuando no sea posible encontrar un material que cumpla con dichos límites, podrá recurrirse al empleo de filtros compuestos por varias capas; una de las cuales, la de material más grueso, se colocará junto al sistema de evacuación, y cumplirá las condiciones de filtro respecto a la siguiente, considerada como terreno; ésta, a su vez, las cumplirá respecto de la siguiente; y así, sucesivamente, hasta llegar al relleno o terreno natural.

Cuando el terreno natural esté constituido por materiales con gravas y bolos se atenderá, únicamente, a la curva granulométrica de la fracción del mismo inferior a veinticinco milímetros (25 mm.), a efecto de cumplimiento de las condiciones anteriores.

Si el terreno natural está constituido por suelos no cohesivos con arena fina y limo, el material filtrante deberá cumplir, además de las condiciones de filtro generales, la siguiente:

$$F_{15} < 1 \text{ mm.}$$

Si dicho terreno natural es un suelo cohesivo, compacto y homogéneo, sin vetas de arena fina o de limo, las condiciones de filtro a) y b) serán sustituidas por la siguiente:

$$0,1 \text{ mm.} < F_{15} < 0,4 \text{ mm.}$$

En los drenes ciegos el material de la zona permeable central deberá cumplir las siguientes condiciones:

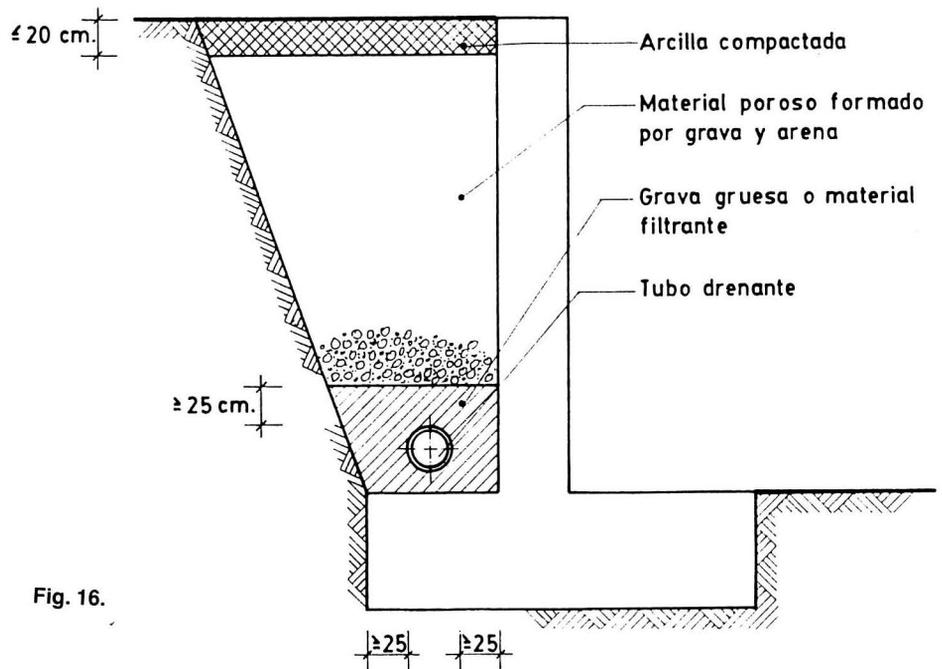


Fig. 16.

- Tamaño máximo del árido comprendido entre veinte milímetros (20 mm.) y ochenta milímetros (80 mm).
- Coeficiente de uniformidad:

$$\frac{D_{60}}{D_{30}} < 4$$

421.2.3 Plasticidad

El material filtrante será no plástico, y su equivalente de arena será superior a treinta (30).

421.2.4 Calidad

El coeficiente de desgaste de los materiales de origen pétreo, medido por el ensayo de Los Angeles, según la Norma NLT-149/72, será inferior a cuarenta (40). Los materiales procedentes de escorias deberán ser aptos para su empleo en obras de hormigón. Los materiales de otra naturaleza deberán poseer una estabilidad química y mecánica suficiente, de acuerdo con los criterios establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.