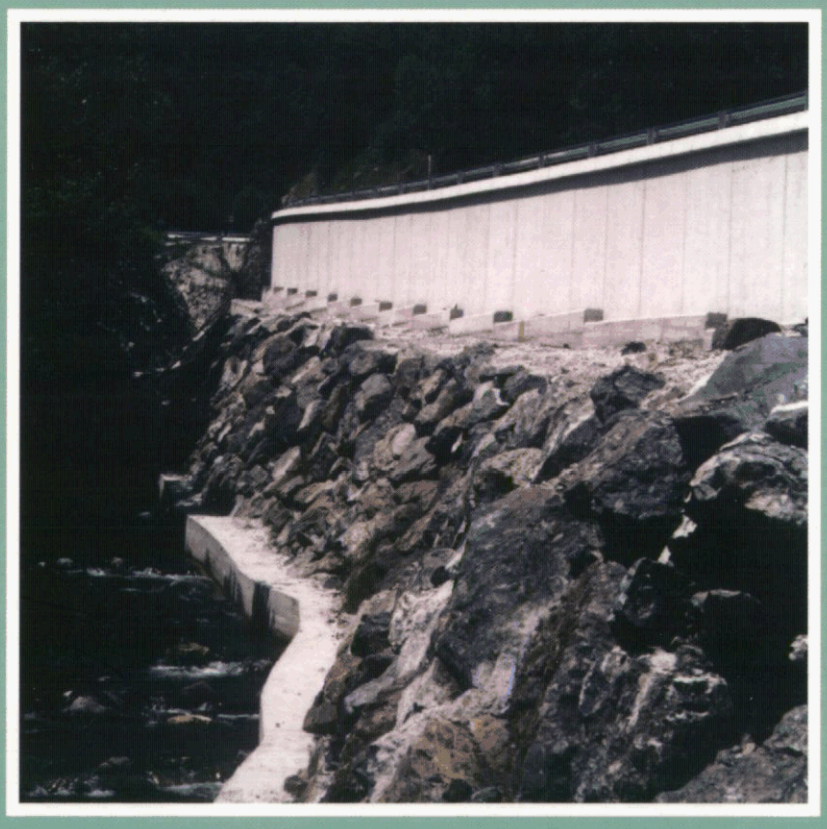
serie monografías

Tipología de muros de carreteras



Ministerio de Fomento
Dirección General de Carreteras

serie monografías

Tipología de muros de carreteras

Ministerio de Fomento
Dirección General de Carreteras

1999

Este trabajo ha sido realizado para la Subdirección General Adjunta de Tecnología de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y por el Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos de la Universidad de Cantabria.

La Dirección de los trabajos ha correspondido a **D. Jesús Santamaría Arias**, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe del Servicio de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras.

El equipo investigador ha estado formado por **D. Francisco Ballester Muñoz**, como director del mismo, y **D. Claudio Mª Álvarez Ortega.**

Madrid, marzo de 1997

ESPAÑA. Dirección General de Carreteras

Tipología de muros de carreteras / Dirección General de Carreteras. 1ª reimpresión - Madrid : Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, 1999.
85 p. : il. ; 30 cm. - (Serie monografías)

CARRETERAS-Construcción
MUROS DE CONTENCIÓN

624.137
625.737

PRIMERA REIMPRESIÓN ABRIL 1999

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento ©

I.S.B.N.: 84-498-0333-0
NIPO: 161-99-038-8
Depósito Legal: M-15.921-1999
Imprime: Centro de Publicaciones

Diseño cubierta: Carmen G. Ayala

Impreso en papel reciclado

ÍNDICE

Pág.

1. PRELIMINARES 7

2. MUROS 9
2.1. Definición 9
2.2. Tipología funcional 9
2.3. Clasificación de los muros 10

3. MUROS DE HORMIGÓN EJECUTADOS "IN SITU" 11

4. MUROS DE FÁBRICA 15
4.1. Muros de sillería 15
4.2. Muros de mampostería 15

5. MUROS DE ESCOLLERA 17
5.1. Elementos constructivos 18
5.2. Drenaje 18
5.3. Sistema constructivo 18
5.3.1. Cimentación 18
5.3.2. Colocación de los bloques de escollera 18
5.4. Análisis estructural 20
5.4.1. Suelos granulares 20
5.4.2. Suelos cohesivos 22

6. MUROS VEGETADOS 25

6.1. Elementos constructivos 25
6.1.1. Geotextiles de armadura 26
6.1.2. Geotextil de vegetación 27
6.1.3. Mallazo de sujeción 27
6.1.4. Material de relleno 27
6.2. Drenaje 27
6.3. Sistema constructivo 28
6.4. Análisis estructural 30

7. MUROS DE GAVIONES 33
7.1. Elementos constructivos 33
7.1.1. Jaulas 33
7.1.2. Materiales de relleno 35

El capítulo 5: Muros de Escollera, queda derogado y sustituido por la publicación de 2006 "Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera".

Pág.

7.2. Drenaje 36
7.3. Sistema constructivo 36
7.4. Análisis estructural 38

8. MUROS JARDINERA DE MADERA 39
8.1. Elementos constructivos 39
8.1.1. Madera 39
8.1.2. Material de relleno 40
8.2. Drenaje 40
8.3. Sistema constructivo 40
8.4. Análisis estructural 43

9. MUROS PREFABRICADOS CON ELEMENTOS DE HORMIGÓN 45
9.1. Muros prefabricados empotrados 46
9.1.1. Muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ" 46
9.1.2. Muros de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ" 52
9.1.3. Muros completamente prefabricados 54
9.1.4. Muros de lamas 56
9.1.5. Muro pantalla aligerado 57
9.2. Muros prefabricados de gravedad 58
9.2.1. Muros de módulos prefabricados verdes 58
9.2.2. Muros de bloques macizos 61
9.3. Muros de bloques prefabricados de hormigón 62
9.3.1. Elementos constructivos 63
9.3.2. Drenaje 63
9.3.3. Sistema constructivo 63
9.3.4. Análisis estructural 64
9.4. Muros de tierra reforzada 64
9.4.1. Muro celular verde 64
9.4.2. Muros de bloques aligerados 66
9.4.3. Muros de bloques macizos 68
9.4.4. Muros jardinera 68
9.4.5. Muros de escamas prefabricadas de hormigón 70

10. CRITERIOS DE SELECCIÓN 75
10.1. Análisis de costes 75
10.1.1. Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ" 76
10.1.2. Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ" 76

Pág.

10.1.3. Muro completamente prefabricado 76
10.1.4. Muro de módulos prefabricados verdes 77
10.1.5. Muro celular verde 77
10.1.6. Muro de escamas prefabricadas de hormigón 77
10.1.7. Muro de hormigón "in situ" 77
10.1.8. Muro de escollera 77
10.2. Tipología funcional 78
10.3. Acabado 79

APÉNDICE 81

BIBLIOGRAFÍA 85

1. Preliminares

1.1. Antecedentes

El desarrollo cada vez mayor de los modernos trazados de carreteras así como la menor disponibilidad de corredores con topografía idónea para las obras lineales, debido principalmente a razones de tipo sociológico y medioambiental , han hecho de los muros de carretera un valioso comodín para resolver los problemas de emplazamiento de las vías de comunicación terrestres produciéndose un aumento considerable de este tipo de estructuras. Por otra parte, la aparición en el mercado de nuevas soluciones prefabricadas, ha originado la necesidad de definir, normalizar y clasificar dichas soluciones.

La Dirección General de Carreteras ha pretendido con la edición de este documento, dar a conocer los diversos tipos de muros utilizados en carreteras, indicando sus características para facilitar la elección, dando las directrices de cálculo y métodos constructivos de cada uno de ellos, esperando que esta obra pueda ser una herramienta idónea para el proyectista, constructor y controlador de obra.

1.2. Introducción

Las soluciones a los problemas de sostenimiento y contención de tierras han evolucionado de forma rápida en los últimos años, debido principalmente a la aparición en el mercado de nuevos sistemas con elementos prefabricados que ha supuesto un abaratamiento y reducción de la mano de obra, una mayor rapidez de ejecución y una minimización del impacto ambiental, gracias a la incorporación de elementos naturales y plantaciones vegetales en los mismos.

Esta nueva situación se ha visto favorecida por el apoyo e interés dado por los fabricantes de prefabricados a estas soluciones, lo que se traduce en un incremento cada vez mayor del uso de elementos prefabricados en la ejecución de las obras públicas.

Las principales ventajas que lleva asociada la utilización de estructuras prefabricadas de contención son:

- Reducción de costes al tratarse de un proceso de fabricación industrial, influenciado por la sencillez de montaje de los elementos prefabricados.
- Reducción del tiempo de ejecución.
- Reducción de los recursos humanos necesarios, siendo necesaria menor mano de obra especializada.
- Mejora de la calidad final del acabado, difícil de igualar en soluciones realizadas "in situ".
- Reducción del impacto medio ambiental, con la posibilidad de obtener diferentes acabados dependiendo del entorno en donde se ubica finalmente la estructura de contención.

2. Muros

2.1. *Definición*

Se define muro como: "Toda estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno".

De esta manera, de esta definición quedan excluidos aquellos sistemas que, o bien, de forma puntual (anclajes o bulones) o de forma lineal (cables y mallas), pueden estabilizar una masa de terreno.

2.2. *Tipología funcional*

Los muros, según su tipología funcional, pueden ser: (tabla 1).

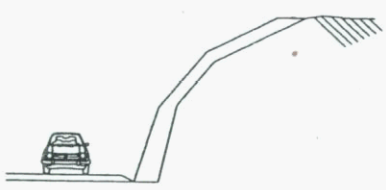
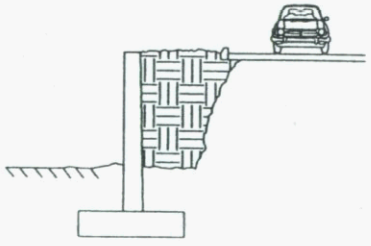
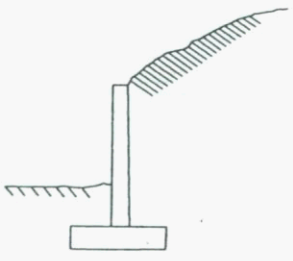
Función	Definición	Esquema
Recubrimiento	Su función principal es proteger superficialmente al terreno de la acción de la erosión y meteorización.	
Sostenimiento	Se construye separado del terreno natural dejando un espacio vacío que posteriormente se rellena con un material seleccionado, con el objeto de crear o ampliar la plataforma de la carretera. Sostiene a la carretera.	
Contención	Se emplean para la sujeción de tierras o terrenos inestables. Contiene tierras respecto a la carretera.	

Tabla 1. Clasificación funcional de muros

2.3. Clasificación de los muros

Atendiendo a sus materiales y a su forma de fabricación los muros se pueden dividir en:

a) *Muros de hormigón ejecutados "in situ"*	— Muro de hormigón en masa	
	— Muro de hormigón armado	— Muro de hormigón armado — Pantallas
b) *Muros de fábrica*	— Sillería — Mampostería	
c) *Muros de escollera.*		
d) *Muros vegetados.*		
e) *Muros de gaviones.*		
f) *Muros jardinera de madera.*		
g) *Muros prefabricados con elementos de hormigón*	— Muros prefabricados empotrados — Muros prefabricados de gravedad — Muros de bloques prefabricados de hormigón — Muros de tierra reforzada	

3. Muros de hormigón ejecutados "in situ"

Son muros de hormigón armado o en masa, construidos mediante un molde ó encofrado, ejecutados totalmente en el mismo lugar en donde se ubicará finalmente.

Dentro de los muros de hormigón "in situ" quedan incluidos los muros de hormigón de recubrimiento de poco espesor, con hormigón proyectado o gunitado, con o sin armaduras y anclajes.

Según se utilice o no armadura se pueden clasificar en:

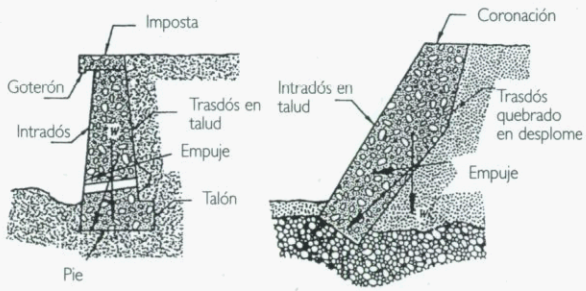


Fig. 3.1. Muro de hormigón en masa

Muro de hormigón en masa o de gravedad

Utiliza su propio peso como elemento estabilizador, no estando diseñado para que trabaje a tracción.

Muro de hormigón armado

Son muros armados interiormente con barras de acero, diseñado para poder soportar esfuerzos de tracción.

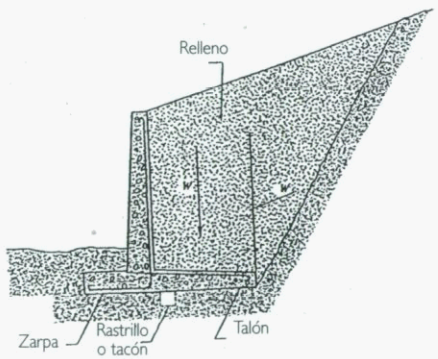


Fig. 3.2. Muro de hormigón armado

La clasificación de los muros de hormigón "in situ" viene dada en la tabla 2.

En masa	De gravedad	El efecto estabilizador viene dado por su propio peso
Armado	De semigravedad	Similar al de gravedad, pero ligeramente armado.
	Con contrafuerte en el intrasdós	Consiste en aligerar un muro de gravedad, suprimiendo hormigón en las zonas que colaboran muy poco en el efecto estabilizador.
	Con contrafuerte en el trasdós	Su idea es igual a la del muro con los contrafuertes en el intrasdós, pero en este caso los contrafuertes son interiores, es decir, no se ven.

Armado	Con plataforma estabilizadora		En el trasdós se sitúa una plataforma estabilizadora que reduce el empuje producido por las tierras y los momentos en la pantalla.
	De bóvedas horizontales		Su filosofía es análoga a la del muro anterior, pero su construcción se remonta más años atrás.
	En "L"	Con o sin zarpa exterior	En estos muros el momento al vuelco, producido por el empuje de las tierras, es contrarrestado por el peso de las tierras situadas sobre la zapata.
	Pantallas	– Empotradas – ancladas	Ejecutadas en el interior del terreno, previamente a la excavación. También son construidas mediante pilotes.

Tabla 2. Clasificación de muros de hormigón ejecutados "in situ"



Fig. 3.3. Muros de hormigón en masa o de gravedad

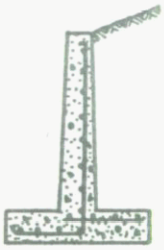
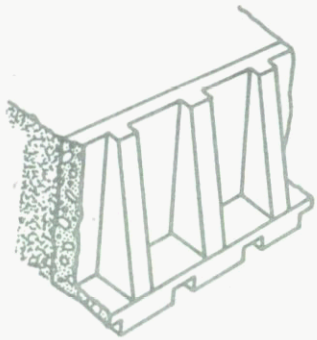


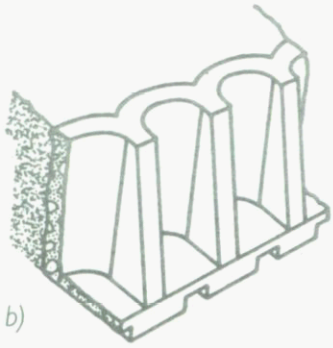
Fig. 3.4. Muro de hormigón armado



Fig. 3.5. Muro de semigravedad



a)



b)

Fig. 3.6. Muros de contrafuerte

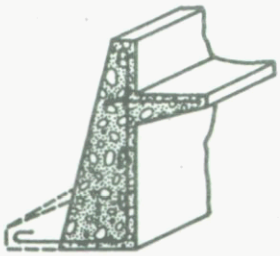


Fig. 3.7. Muros con plataforma estabilizadora

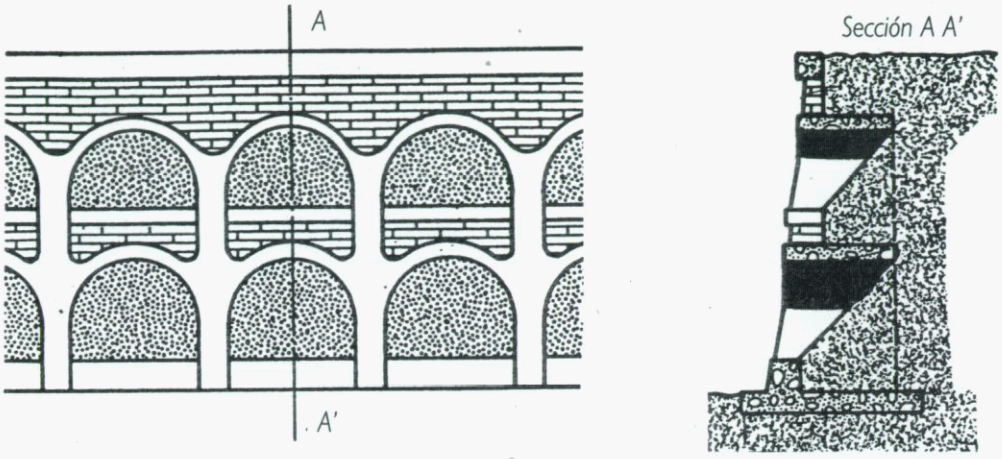


Fig. 3.8. Muro con bóveda horizontal

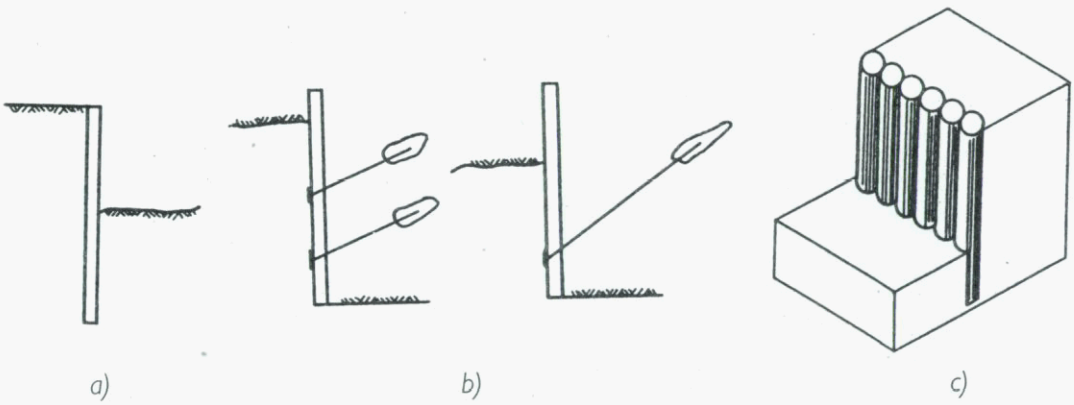


Fig. 3.9. Pantallas: a) empotrada; b) anclada; c) de filotes.

Omitimos el desarrollo detallado de este tipo de muros así como los de fábrica ya que ambos se desarrollan el la "Colección de Muros de Carreteras" que la Dirección General de Carreteras publicará en breve. Los muros de fabrica prácticamente no se emplean en la actualidad.

4. Muros de fábrica

Se definen como muros de piedras naturales, pudiéndose encontrar en algunos casos ladrillo o bloques de hormigón, ejecutados de forma artesanal.

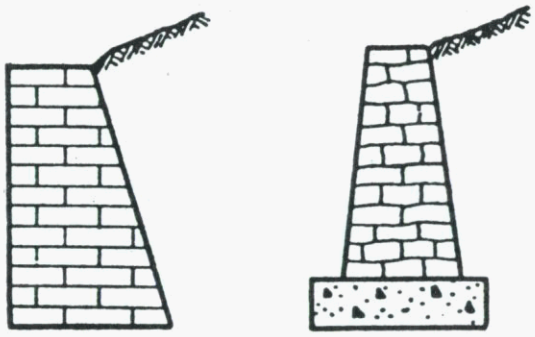


Fig.4-1. Muros de fábrica

4.1. Muros de sillería

Son muros de piedra, sillería, colocada una junto a otra de forma que se sostengan mutuamente por yuxtaposición, asentándose sobre otras mediante un mortero.

Según el aspecto del paramento se pueden distinguir:

— ***Sillería almohadillada.*** Los sillares tienen una banda perimetral labrada finamente, estando el resto también con labra fina, aunque en distinto plano que los bordes.

— ***Sillería aplantillada.*** Cuando en el paramento de los sillares existen ángulos entrantes y salientes.

— ***Sillería averrugada.*** Cuando los sillares tienen en el paramento visto una banda perimetral labrada toscamente, estando el resto desbastado.

— ***Sillería moldurada.*** Cuando los sillares en su paramento visto tiene molduras.

— ***Sillería recta.*** Cuando el paramento de la sillería es liso.

4.2. Muros de mampostería

Son combinaciones de mampuestos acuñados en seco o con mortero de unión.

Su construcción comienza colocando los mampuestos de los dos paramentos, realizando posteriormente su relleno.

Se distinguen tres tipos de mampostería:

— ***Mampostería concertada.*** Formada por mampuestos labrados toscamente y de formas paralelepípedas, siendo distintas las dimensiones de cada pieza.

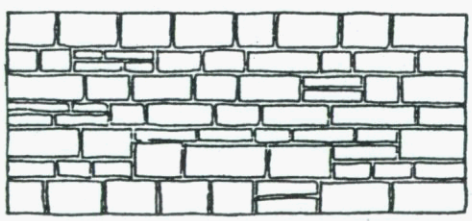
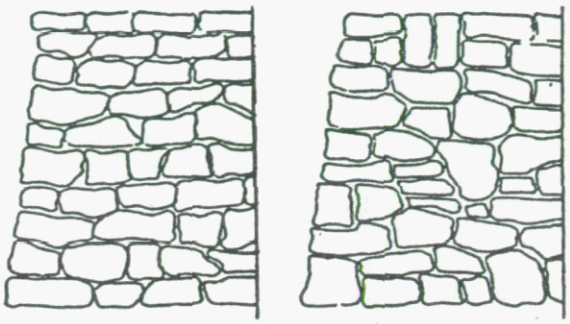


Fig. 4-2. Mampostería concertada

— ***Mampostería ordinaria.*** El relleno de huecos se realiza mediante mortero bastardo, empleándose ripios para reducir huecos dentro de la fábrica, no utilizándose nunca en el paramento. Dentro de la mampostería ordinaria se puede distinguir:

- *Mampostería careada.* Se selecciona el mampuesto de manera que los paramentos queden lo más lisos posible.

- *Mampostería tosca.* El mampuesto se coloca tal y como sale de la cantera.



a) b)

Fig. 4-3. Mampostería ordinaria: a) careada; b) tosca

— ***Mampostería 'en seco' o 'a hueso'.*** Es aquella en las piedras quedan acuñadas sin ningún tipo de mortero, debiéndose escoger los mampuestos más adecuados en cada momento para obtener la estabilidad del conjunto, utilizándose ripios para acuñar y rellenar los huecos. Esta mampostería no debe soportar cargas.

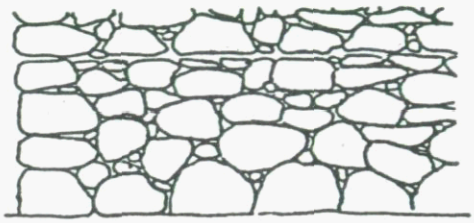


Fig. 4-4. Mampostería 'en seco' o 'a hueso'

6. Muros vegetados

Los muros vegetados son esencialmente macizos de tierra reforzada con geotextiles.

En los últimos tiempos, consecuencia de la necesidad de respetar el medio ambiente, se ha venido implantando, con una intensidad cada vez mayor, un nuevo tipo de muro de sostenimiento. Siendo mal denominado muro ecológico y que denominamos muro vegetado o vegetalizado.

¿Porqué no muro ecológico?; la definición de lo que sería un muro ecológico, dará solución al conflicto. Muro ecológico sería aquel que no rompe o perturba el flujo de energía y materiales en su contexto. Minimizar el impacto ambiental y visual es siempre positivo pero difiere de una actuación ecológica.

Estos macizos de tierra, a los que se les da un acabado vegetal, están formados básicamente por capas de material de relleno separadas y armadas entre sí por mallas o geotextiles, aumentando estos la resistencia al corte del terraplén.

Sus ventajas respecto a otros sistemas son:

- ❒ No necesita cimentación previa de ningún tipo, reduciéndose los costes de expropiación y construcción.
- ❒ Reducción del Impacto Ambiental gracias a su total integración paisajística.
- ❒ Posibilidad de construcción sobre terrenos de escasa calidad portante, dada la flexibilidad del paramento y su capacidad de asimilar sin ningún problema los asientos diferenciales que pudieran producirse.
- ❒ Aprovechamiento para el relleno de cualquier material próximo de la obra, reduciendo de esta forma los costes de transporte.
- ❒ Posibilidad de obtener muros totalmente verticales.
- ❒ Sus costes y robustez permiten la construcción de muros de alturas superiores a otros sistemas.
- ❒ La utilización única de geotextiles, evitando de esta forma estructuras armadas, posibilita el nulo mantenimiento del muro una vez acabado, en el caso de una correcta y adecuada selección de las especies vegetales a utilizar, gracias a la mejora del equilibrio ecológico conseguido por la vegetación.

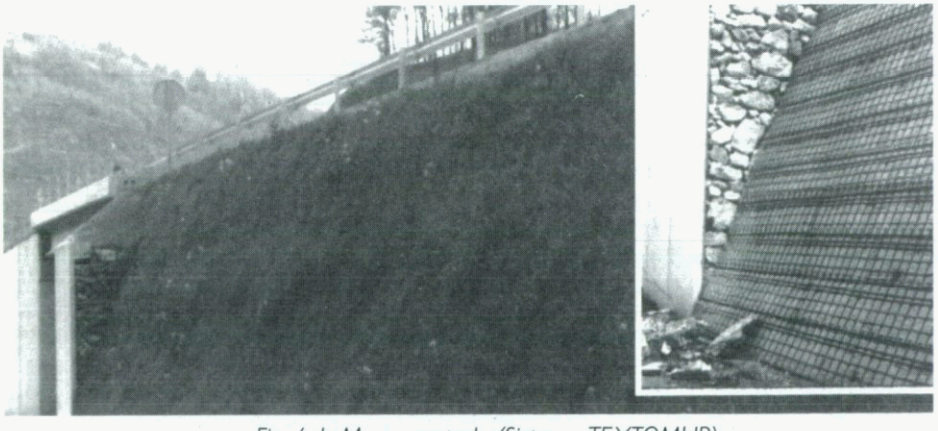


Fig. 6-1. Muro vegetado (Sistema TEXTOMUR)

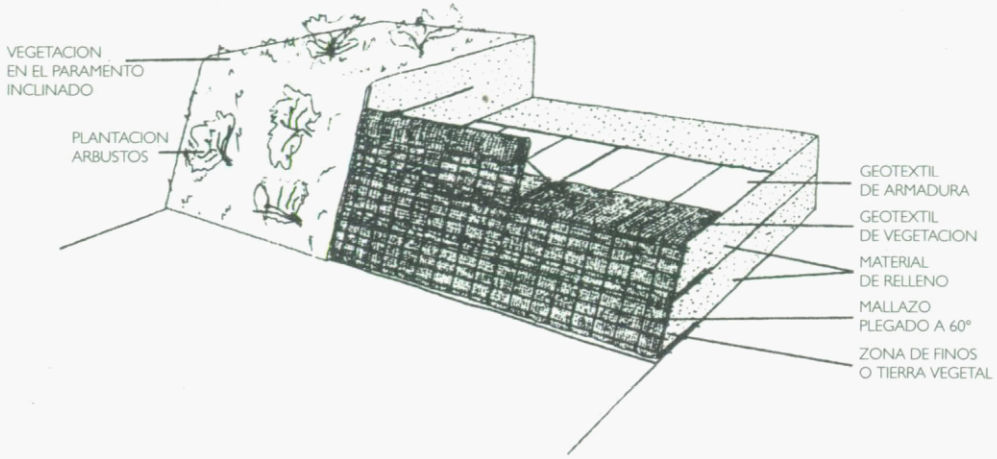


Fig. 6-2. Elementos constructivos (Sistema TEXTOMUR)

6.1. Elementos constructivos

Los elementos constructivos que intervienen en este tipo de muro son: geotextil de armadura, geotextil de vegetación, mallazo de sujeción y material de relleno.

Alguno de estos elementos puede no ser necesario dependiendo del sistema constructivo que se emplee. En España existen varios sistemas comerciales de muros vegetados.

Se debe asegurar que los geotextiles o geomallas lleven un certificado de homologación, en donde el fabricante certifica que el material es idóneo para el uso que se le demanda.

6.1.1. *Geotextiles de armadura*

Son las mallas o geotextiles situadas entre las tongadas de tierra, cuya misión es la de reforzar el terraplén y estabilizar el talud.

6.1.1.1. *Composición*

Este refuerzo se realiza normalmente mediante la utilización de geomallas, fajas geocompuestas, geotextiles tejidos y geotextiles no tejidos[1].

Por lo general están fabricadas a base fibras de poliéster de alto módulo elástico o de materiales poliolefínicos (polipropileno o polietileno de alta densidad).

La disposición de las fibras variarán según se traten de materiales tejidos o no tejidos. Esta será:

- En materiales tejidos se dispondrán en dos direcciones perpendiculares (longitudinal y transversal), con una cierta apertura según se trate de geotextiles tejidos (abertura pequeña) o geomallas (superior a los dos centímetros).
- En el otro caso, materiales no tejidos, se disponen aleatoriamente mediante agujas (geotextil punzonado) o mediante calor (geotextil termosoldado).

6.1.1.2. *Características mecánicas*

Por su función de refuerzo va a necesitar una alta resistencia a tracción con pequeñas deformaciones en rotura a corto plazo. Son los materiales tejidos (geotejidos o geomallas) los más adecuados a emplear, aunque al principio también fue aceptada la utilización de los no tejidos. Estos últimos, hoy no aconsejados al incumplir las condiciones de baja deformación y elevada tensión.

Las deformaciones de los materiales tejidos son normalmente del orden de 10 al 15%, mientras que en los materiales no tejidos estas deformaciones en rotura se encuentran entre el 50 y 80 por ciento.

Así mismo, debe poseer una alta resistencia específica. Es por esta misma razón que los materiales tejidos vuelvan a ser recomendables frente a los no tejidos, los primeros necesitarán menor cantidad de material para conseguir una cierta resistencia.

Como se ha indicado anteriormente, su módulo elástico tiene que ser elevado.

Deben poseer una alta resistencia de diseño a largo plazo, influenciado por el buen comportamiento del poliéster frente a la fluencia.

[1] Únicamente en Estados Unidos se permite la utilización de geotextiles no tejidos en muros temporales.

Los materiales sintéticos obtenidos a partir de polímeros van a tener una fluencia, por lo que su tensión nominal a largo plazo se minorará mediante la aplicación de un coeficiente de fluencia, función de la composición polimérica del material (para poliéster de alto módulo varía de 0,6 a 0,8; y para polipropileno oscilará entre 0,2 y 0,4). Aplicándose la siguiente fórmula:

$$\sigma_{TRABAJO} = \text{Coef. fluencia} \cdot \sigma_{NOMINAL}$$

La resistencia al deslizamiento del terraplén se ve incrementada gracias a este refuerzo.

6.1.1.3. *Características de durabilidad*

Se debe tener en cuenta que tanto el poliéster como los materiales poliolefínicos (polipropileno y polietileno) se van a degradar por la acción de los rayos ultravioletas del sol, aunque estos últimos en menor medida. Es por ello que la zona expuesta a los mismos, estará recubierta por PVC u otro material resistente a los rayos UVA.

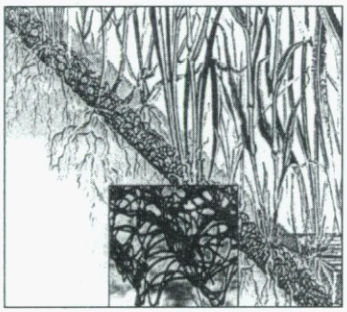


Fig. 6-3. Geotextil de vegetación (ENKAMAT)

Esta cubierta de PVC servirá adicionalmente de protección contra los daños mecánicos.

Asimismo, poseerán una resistencia al ataque químico de los elementos encontrados naturalmente en el terreno, como a microorganismos y otros elementos biológicos.

6.1.2. Geotextil de vegetación

Malla situada en el paramento exterior del muro, funcionando como protección contra la erosión y soporte de la hidrosiembra posterior.

6.1.3. Mallazo de sujeción

Malla metálica electrosoldada, cuya misión es conformar la superficie plana exterior dándole la correspondiente pendiente al talud, pudiendo ser utilizado adicionalmente como elemento de fijación del encofrado durante el montaje de la estructura.

Existen sistemas que no incluyen este mallazo, proporcionando la verticalidad al muro mediante encofrado y andamiaje metálico.

No tiene función estática alguna. La corrosión del mallazo no ejerce ningún tipo de consecuencia final.

6.1.4. Material de relleno

Puede emplearse cualquier material no contaminado por materia orgánica y que pueda ser compactado de forma convencional. Recomendándose normalmente el empleo de materiales granulares de baja o ninguna cohesión, con tamaños máximos no superiores a doscientos cincuenta milímetros.

El talud se conformará con un material fino (habitualmente tierra vegetal), con un espesor de unos veinte centímetros., que constituya una reserva de agua para la vegetación, y que permita el relleno sin huecos tras el mallazo de sujeción. Esta capa permitirá el adecuado crecimiento de la vegetación. No tiene ninguna característica resistente.

6.2. Drenaje

En la zona de contacto del muro con el talud natural se coloca un sistema de drenaje en el interfase talud natural-relleno, evitándose la filtraciones de agua hacia el muro que pueden influir en la compactación del mismo y al coeficiente de fricción entre material de relleno y el de refuerzo. Del mismo modo se elimina el riesgo de colmatación del tubo colector situado en la parte inferior del muro.

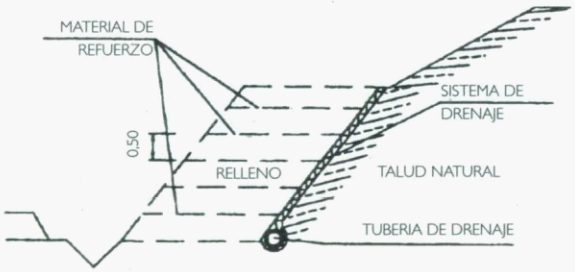


Fig. 6-4. Ubicación del sistema de drenaje

Este tubo colector recoge el agua, evacuándola posteriormente al exterior.

Adicionalmente, y dentro del muro, el geotextil de armadura presenta la ventaja de la permeabilidad en su plano, por los que puede funcionar como una capa drenante.



Fig. 6-5. Detalle del geotextil de drenaje (Enkadrain)

6.3. Sistema constructivo

En el mercado español existen varios métodos de ejecución de muros vegetalizados. Resumiéndose la ejecución del muro en los siguientes pasos:

1. Estudio topográfico del lugar de ubicación, para obtener datos que permitan el cálculo de los parámetros que definen el muro.

2. Preparación de la superficie de apoyo del muro.

   — El terreno debe estar limpio y liso.
   — Se coloca la cama de drenaje que permita canalizar las aguas que llegan a la cuenca al exterior del muro, sin que estás perjudiquen a las distintas tongadas de que se compondrá el muro.

3. Colocación de los distintos elementos geotextiles y el mallazo (cuando lo requiera el método constructivo).

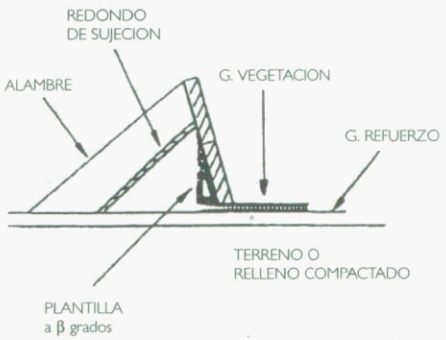
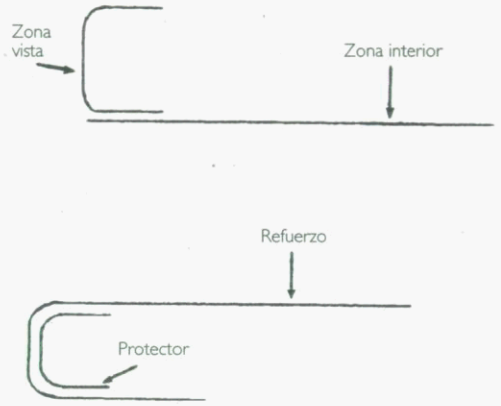


Fig. 6-6. Elementos de montaje (Sistema ARCO SYSTEMS)

   — Los geotextiles se colocan sobre el terreno cuidando siempre que la disposición del mismo (su dirección longitudinal) sea perpendicular al frente del muro.
   — Debe existir una continuidad en el geosintético. Aunque normalmente, y debido al menor coste del geotextil este se suele utilizar en la zona interior del muro y en la zona exterior se suele colocar una geomalla, más cara. Ambas irán cosidas y llevarán un solape de al menos veinte centímetros, estando el conjunto anclado al terraplén. Esto abaratará el coste del muro, pero añade un riesgo incontrolado al no garantizarse la continuidad.



4. Instalación del encofrado en el borde del terraplén, dependiendo su altura de la tongada de diseño (normalmente se suelen utilizar tongadas de unos cincuenta centímetros).

   — Cuando sea necesario, también se colocará el andamiaje.
   — Es ahora cuando, o anteriormente con la colocación del mallazo de sujeción (sobre el que se apoyará el encofrado), cuando se fija el ángulo final del terraplén.

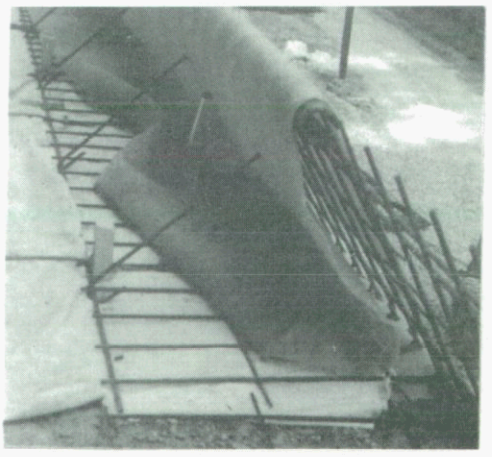


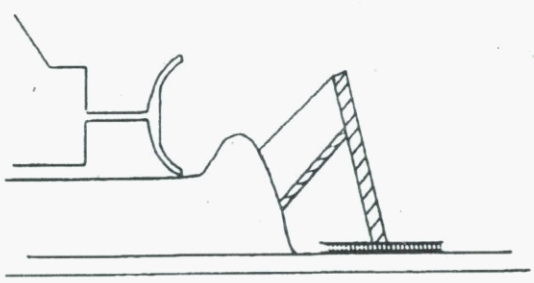
Fig. 6-7. Sistema tradicional (Sistema TEXTOMUR)



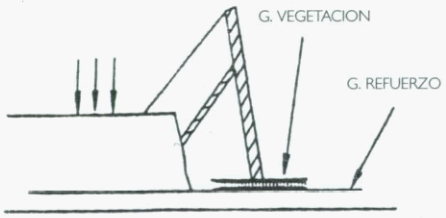
Fig. 6-8 Sistema de andamiaje (Sistema ORLEKI)

5. Colocación y compactación de la tierras de relleno, se debe dejar un espacio próximo al paramento para rellenarlo con tierra vegetal o con un material fino que sirva de depósito de agua para la vegetación.

a)



b)



6. Colocación y compactación de la tierra vegetal. En determinadas ocasiones se puede primero compactar la tierra vegetal y posteriormente el material de relleno.



a)



b)

7. Retirar el encofrado y envolver la cara vista del terraplén con la malla, en ciertos sistemas se invierte el orden.

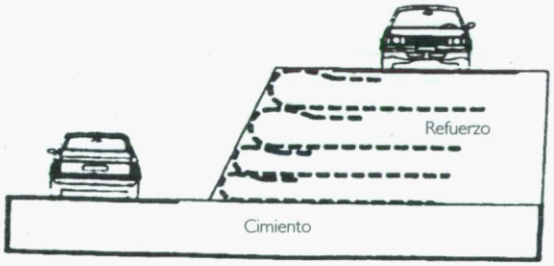
a)



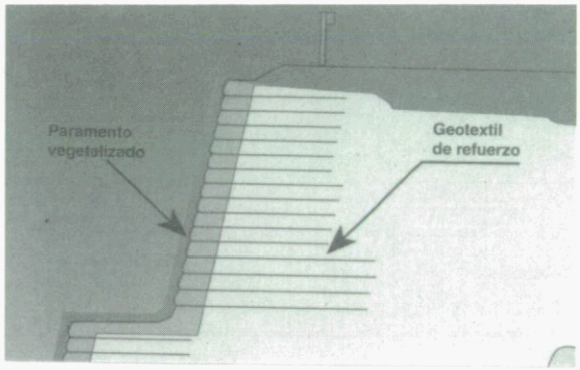
b)



8. Repetición de los pasos anteriores, hasta alcanzar la altura de muro deseada.

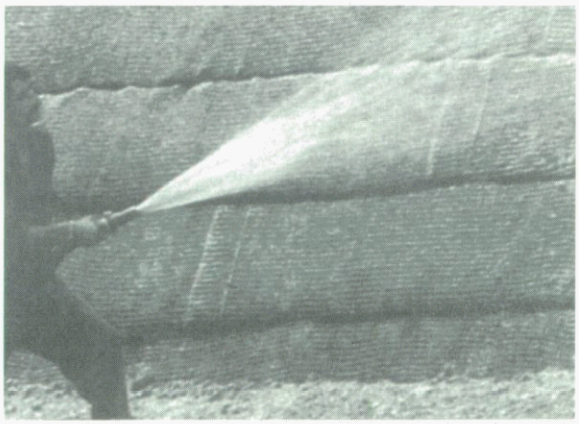


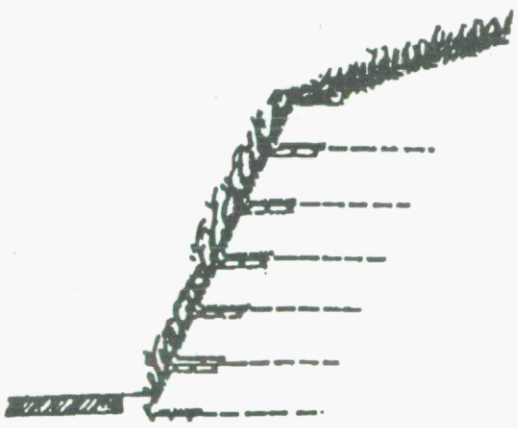
— Dependiendo de la altura final del muro, ésta se podrá dividir en distintos niveles separados por unas bermas.



9. Vegetación mediante hidrosiembra directa sobre el paramento exterior del muro. En el caso de la existencia de bermas, la integración en el paisaje se ve reforzada por la plantación de arbustos en ellas.

— Para que el arraigo de la vegetación pueda realizarse es necesario que los geotextiles tejidos tengan un tamaño de poro no menor de dos milímetros.





— Esta operación de realizarse inmediatamente después de finalizar el muro, para evitar posibles deterioros de la geomalla o geotextil de la cara vista.

— En otras ocasiones, y por diversas razones, en lugar de la hidrosiembra se puede proyectar gunita o cubrirse con un geotextil que evite el lavado de finos y el deterioro de la cara vista.

6.4. *Análisis estructural*

Existen varios métodos de cálculo que se engloban en dos tipos:

— El que incluye la deformación del geotextil y por lo tanto permiten un cierto desplazamiento de la estructura. Calculan las solicitaciones a las que se encuentra sometida cada tongada.

— Y el que supone que tanto el relleno como el geotextil trabajan hasta la rotura. Calcula el esfuerzo total a que se encuentra sometido el muro y lo reparte por igual entre todos los refuerzos. Todos los refuerzos trabajan por igual.

Los diferentes métodos (el método francés Cartage; el DIN 4084, utilizado en Alemania; el método inglés Jewell, sustituido en 1996 por otro más conservador (Code of Practice for Strenthened Reinforced Soils BS 8006)), debido a la cada vez mayores limitaciones introducidas, permitirán obtener unos resultados muy similares.

Los datos de partida necesarios para el dimensionamiento del muro son:

— *Datos geotécnicos del material de relleno:*

- Densidad (KN/m^3).
- Ángulo de rozamiento interno.
- Tipo de granulometría (tamaño): Roca/grava/arena/arcilla.

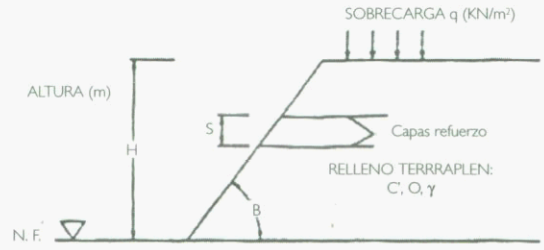


Fig. 6-7. Datos muro ARCO SYSTEMS

— *Datos geométricos del muro:*

- Altura del muro (m).
- Altura del nivel de agua (m).
- Ángulo de pendiente.
- Sobrecarga (KN/m^2).

El dimensionamiento de la estructura depende de tres factores:

— La fuerza de tracción del geotextil (Z).
— La longitud de la armadura necesaria (B).
— La longitud de anclaje (La) detrás de la superficie de deslizamiento.

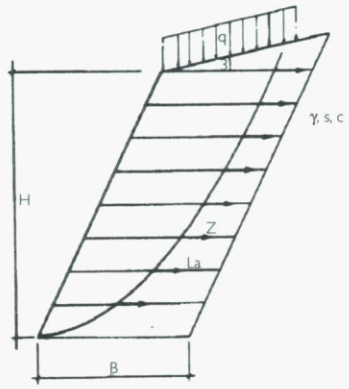


Fig. 6-8. Cálculo estático para TEXTOMUR

Importante en el cálculo del muro van a ser los coeficientes de seguridad. Estos son de dos tipos:

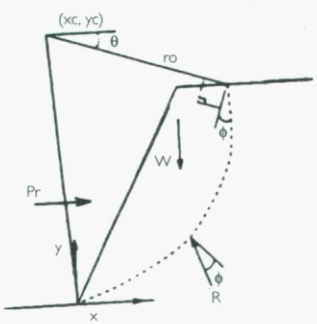
1. Debidos al diseño de estabilidad del talud. Los valores adoptados son muy diferentes según el país del que se trate. Así en España se adopta el valor de 1,50, por ejemplo, el método Jewell adopta 1,20 en la hipótesis más desfavorable.

2. Debidos al comportamiento real del material de refuerzo. Cada material de refuerzo tiene sus características propias, por lo que este coeficiente variará en cada caso dependiendo del material utilizado. El valor nominal del refuerzo se debe minorar:

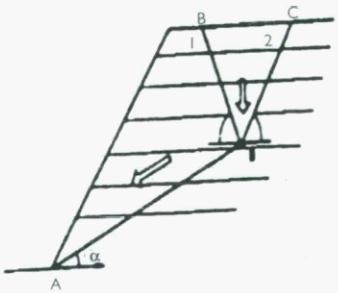
— Debido a la fluencia del material con el paso del tiempo. Con el paso del tiempo el material perderá resistencia (fluencia). Normalmente el diseño de un muro vegetalizado se realiza para una vida útil de 120 años, pasado este tiempo la resistencia a tracción de geotextil de refuerzo es menor que la inicial.
— El porcentaje de reducción de la resistencia depende del material utilizado como refuerzo, es decir, no será lo mismo utilizar un poliéster que un polipropileno; y en el primer caso, este valor varia dependiendo del tipo de poliéster de que se trate.
— Debido a los daños mecánicos que sufre el material en su puesta en obra. El valor de este coeficiente depende del material de relleno que se utilice, del nivel de compactación y principalmente de la existencia o no de una capa protectora sobre la fibra resistente (el coeficiente para geomallas es menor que para geotextiles).
— Debido a los daños químicos y biológicos que puedan sufrir. Dependerá de las propiedades químicas y biológicas del material de relleno, siendo su valor diferente según el tipo de refuerzo utilizado.
— Debido al desconocimiento del comportamiento real del muro durante su vida útil. Es por ello que se debe aplicar el coeficiente de extrapolación para el comportamiento real del refuerzo.

Actualmente, cada país en la aplicación del coeficiente que analiza el material de refuerzo adopta una política diferente. Así en España el Ministerio de Fomento a través del Manual para el Proyecto y Ejecución de Estructuras de Suelo Reforzado adopta un valor conjunto de 2,50, sin considerar el tipo de material utilizado; los franceses toman un valor de 3,30 cuando se emplea poliéster y de 6,60 para el polipropileno; alemanes e ingleses toman un valor diferente para cada uno de los cuatro factores anteriormente mencionados.

En España uno de los métodos de cálculo que más se utiliza es el de Jewell. Los gráficos utilizados se obtie-



a)



b)

Fig. 6-9. Métodos de empuje activo: a) espiral logarítmica; b) doble cuña

nen a partir de los métodos de empuje activo: mecanismo de fallo de la espiral logarítmica y mecanismo de doble cuña.

Se parte de una serie de premisas:

— Espesor de tongada (distancia entre capas de refuerzo) constante.
— El material utilizado como refuerzo debe cumplir: $\sigma_{trabajo(material\ sintético)} > \sigma_{diseño}$.
— Longitud de anclaje superior a la superficie crítica, calculándose para cada nivel de profundidad.
— Para cada refuerzo se establece su tensión admisible (para vida útil de 120 años):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{nominal} \times Coef.\ fluencia}{F1 \times F2 \times F3 \times FS}$$

siendo:

F1: coef. debido a los daños de fabricación del material (1,2-1,3).
F2: coef. por daño mecánico (1,1-1,4).
F3: coef. por daño medioambiental (1,0-1,15).
FS: coef. de seguridad (1,50).

7. Muros de gaviones

Están formados por la superposición de cajas de forma prismática, fabricadas generalmente de enrejado de alambre galvanizado, rellenadas de rocas de pequeño tamaño.

Al igual que los muros de escollera comenzó su utilización en las obras fluviales. Más tarde pasaron a emplearse en la construcción de estructuras de contención y sostenimiento para carreteras.

Entre las características fundamentales de los gaviones, se pueden destacar:

- ❒ Posibilidad de construir macizos de gran volumen y peso, resistentes a ser desplazados, a partir de materiales de pequeñas dimensiones (piedras).
- ❒ Gran flexibilidad estructural al carecer de una piel rígida.

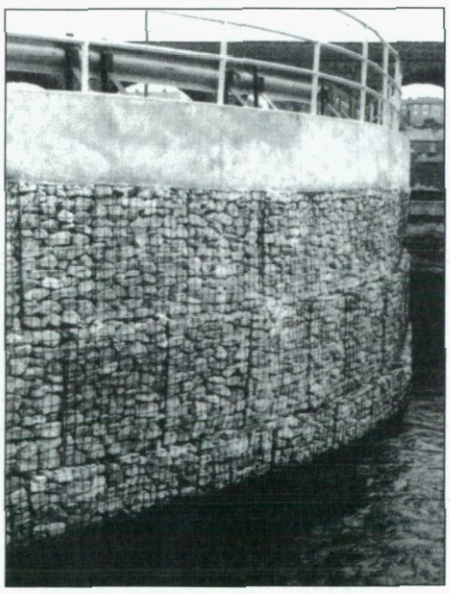


Fig. 7-1. Muro de gaviones

- ❒ Alta permeabilidad, lo cual posibilitará el flujo de agua a través de ellos, quedando retenidos los sedimentos.
- ❒ Construcción simple que no va a requerir equipos, ni mano de obra especializada.
- ❒ Resultan idóneos para aquellas zonas que presenten dificultades para transporte de otros materiales que no sean jaulas vacías y plegadas, y de alambre, y exista disponibilidad de rocas o cantos rodados adecuados para el relleno de las jaulas.
- ❒ Buena integración con el medio ambiente, principalmente cuando transcurre un cierto periodo de tiempo en que los huecos se rellenan parcialmente de tierra, permitiendo de este modo el crecimiento de vegetación.

7.1. Elementos constructivos

Los dos elementos fundamentales de este muro son: la jaula y el material de relleno.

7.1.1. *Jaulas*

El material más utilizado en la elaboración de jaulas para gaviones es el alambre de acero galvanizado, con una resistencia mínima a la tracción de 42 kg/mm^2. El diámetro de alambre más utilizado es el de 3,0 mm, pudiéndose emplear alambres de 2, 2,2 , 2,4 y 2,7 mm. Las jaulas llegan a obra plegadas y su peso oscila entre los 10 y 38 kg. cada una, dependiendo de sus dimensiones y del calibre del alambre.

La malla se galvaniza, recubriéndola con zinc en caliente, lo cual se realizar fundiendo el zinc (habitualmente se emplean 275 gr. de zinc por cada metro cuadrado de alambre) con el acero del alambre para así obtener una buena adherencia. La función de este galvanizado

Corrosión	Ambiente	Vida útil (años)
Menor corrosión	Rural	35-45
↓	Urbano	15-18
↓	Marítimo	11-13
Mayor corrosión	Industrial	4-5

Tabla 3. Vida útil estimada del galvanizado [1]

es proteger la malla contra la corrosión, la cual afectará a la vida útil de ésta.

El efecto de la corrosión variará dependiendo del medio en que se encuentra el gavión, tabla 3.

Las principales causas del deterioro de este galvanizado a los largo del tiempo son:

— El ambiente del emplazamiento.
— Los golpes de las piedras contra las mallas.
— La abrasión de los sedimentos.
— La acción del agua.
— La tensión del alambre.

Las mallas comúnmente utilizadas en los gaviones tienen forma hexagonal y los alambres se unen entre sí enlazándolos mediante tres giros, lo que se conoce como doble torsión.

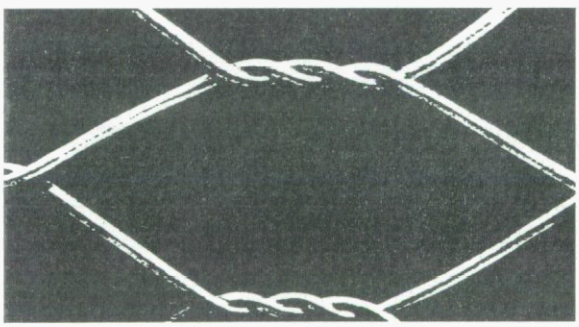


Fig. 7-2. Detalle de una malla

Además de las mallas galvanizadas, hexagonales, doblemente torsionadas, de uso generalizado en la construcción de gaviones, también se utilizan otros tipos de malla.

7.1.2. Tipos de mallas

Malla de simple torsión

Su utilización más extendida se encuentra en la construcción de cercas. Está formada por alambre galvanizado de 3,0 mm de diámetro, el cual también puede plastificarse cuando su utilización sea necesaria en ambientes agresivos. La malla está formada por elementos cuadrados de 7,0 cm de lado, con sus diagonales dispuestas vertical y horizontalmente.

En esta malla no existe una verdadera unión entre los alambres que la forman, sino un simple doblado. El inconveniente que presenta este tipo de unión, es que en el caso de producirse una rotura de los alambres, la superficie debilitada es mayor que en las fabricadas con alambre de doble torsión.

Por contra, su ventaja radica en la fácil obtención de esta en zonas alejadas de los centros urbanos.

Malla electrosoldada

Esta malla está formada por barras estriadas de acero, con resistencia a la rotura igual a 5.555 kg/cm^2 y un límite elástico de 5.000 kg/cm^2. Las barras no son galvanizadas.

La malla se suele fabricar con aberturas cuadradas de unos diez centímetros de lado y están formadas por barras de cinco milímetros de diámetro, para compensar con este espesor adicional la carencia de galvanizado. Si el ambiente en que se encuentra la malla es corrosivo se puede sumergir la malla en un baño de asfalto, aunque si se dispone de las facilidades necesarias lo ideal sería galvanizarla y plastificarla. La unión de las barras para formar la malla se hace mediante soldadura eléctrica.

Malla plástica

En la fabricación de las jaulas se puede utilizar polietileno de alta densidad. Este material es de color negro, tiene un peso específico de 955 kg/cm^3, una resistencia a la tracción de 220-250 kg/cm^2 y un alargamiento a la rotura del 500-800 por ciento.

El polietileno es resistente a los ácidos inorgánicos diluidos, a las bases y a las sales metálicas. Es atacado por los hidrocarburos clorados y los compuestos aromáticos. Para la protección contra la acción de los ra-

[1] *L. M. SUAREZ VILLAR. "Presas de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos". 1993*

yos ultravioleta, el calor y el oxígeno del aire, se le agrega negro de humo y material antioxidante.

La malla se fabrica con diferentes aberturas, siendo la más utilizada 7,4 x 6,0 cm. Las jaulas se construyen de manera análoga a las de alambre. Para facilitar el doblado de la malla plástica, se puede calentar la arista del doblez con un soplete de aire caliente, o mediante el contacto con una barra metálica precalentada.

Los amarres y los tirantes se hacen con cordel sintético de polipropileno o de polietileno de alta densidad, con un diámetro de 3,0 mm y una carga de rotura superior a cincuenta kilos.

Las principales ventajas de estas jaulas son:

— Resistencia a la corrosión, lo que las hace idóneas para ambientes industriales y marítimos.
— Facilidad de transporte y manejo por su menor peso. Una malla de alambre (con diámetro 3,0 mm, a doble torsión) pesa 2,5 veces más que una plástica de iguales dimensiones.
— Los amarres de las aristas y tirantes se hacen a mano, sin ser necesario el uso de herramientas.

Como inconvenientes se destacan:

— Poca resistencia al fuego.
— Coste superior a la malla de alambre.

Malla de enrejado

Son utilizadas en Japón para la protección frente a grandes avalanchas, etc. Estas jaulas se fabrican con perfiles y pletinas de acero, unidos entre sí mediante pernos y tuercas.



Fig. 7-3. Detalle

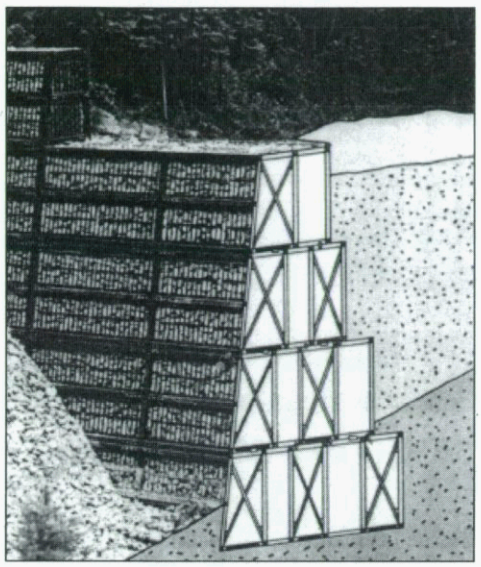


Fig. 7-4. Sección

Su gran coste, en comparación con las tradicionales mallas de alambre, sólo es justificada por la importancia de los efectos que va a evitar.

7.1.3. Materiales de relleno

Para el relleno de las cajas puede emplearse cualquier material mientras que sus características (peso, densidad, etc.) mantengan el equilibrio estático de la estructura y proporcionen durabilidad al muro. Normalmente, los materiales más empleados son cantos rodados o piedras de cantera, pudiéndose también utilizar materiales artificiales producto de demoliciones (tales como hormigón o ladrillos). Utilizándose un material con alto peso específico cuando la estructura esta sometida a las fuerzas producidas por el agua, o para resistir el momento al vuelco en el caso de un muro de gravedad.

Las dimensiones, en todos los sentidos, de las piedras debe ser del orden, al menos, de 1,5 veces mayores que la abertura de la malla, en especial las piedras exteriores que están en contacto con ella, que deberán ser las de mayor tamaño y preferiblemente con formas redondeadas. Las piedras interiores pueden tener un tamaño menor.

Las rocas de relleno, además de ser lo más densas posible, deben ser preferiblemente resistentes a los impactos y a las acciones químicas y atmosféricas.

La tabla 2 indica el orden de preferencia para el empleo de diferentes materiales en el relleno de gaviones. No siendo recomendables rocas muy foliadas o frágiles (lutitas, esquistos blandos, etc.).

Material	Peso específico (Ton/m3)	Orden de preferencia
Granito	2.4-3.0	1
Basalto	2.8-3.0	1
Caliza muy dura	2.6-2.7	1
Caliza dura	2.5-2.5	1
Caliza semi dura	1.9-2.3	2
Caliza blanda	1.5-1.8	2
Mármol y dolomita	2.5-2.9	1
Cuarcita	2.2-2.8	1
Arenisca	1.9-2.6	2-3
Toba	1.6-1.8	3
Geneiss granítico	2.5-2.8	1
Esquisto	2.0-2.6	3
Ladrillos de arcilla	1.4-1.5	3
Hormigón	2.0-2.4	3

Tabla 2. Orden de preferencia de materias de relleno

7.2. Drenaje

El drenaje de las aguas se realiza a través de los gaviones, siendo en algunas ocasiones aconsejable el empleo de tubos de drenaje, ubicados a lo largo de la base del muro, para así facilitar el transporte de las aguas.

7.3. Sistema constructivo

Las jaulas son recibidas en la obra plegadas, para facilitar así el transporte de las mismas en paquetes que contienen varias unidades, e "in situ" se desdoblan. Este despliegue es recomendable realizarlo sobre una superficie de terreno plana.

Posteriormente, se ensambla la jaula, dejando la tapa superior abierta. La unión de las caras de la jaula se lleva acabo cosiendo fuertemente los bordes con alambre galvanizado, para que pueda sufrir deformaciones sin comprometer la estabilidad del muro. Cuando se emplea malla galvanizada y plastificada el alambre, empleado en las costuras y en los tirantes, debe ser igual al de la red, pues de lo contrario sería el elemento más débil frente a la corrosión.

Cuando la jaula es colocada en su situación definitiva y se amarra a las aristas de las jaulas contiguas, se obtendrá una estructura monolítica que soportará en conjunto las solicitaciones a las que está sometida, de manera que el conjunto de gaviones trabaje solidariamente. Es recomendable coser las aristas estando las jaulas vacías, para facilitar así la unión entre los diferentes gaviones.

Durante el llenado de los gaviones es necesario colocar en el interior de los mismos una serie de tirantes cuya misión será lograr que las caras opuestas de las jaulas sean solidarias entre sí, evitando la aparición, al deformarse, de abultamientos excesivos en las superficies, con la consiguiente aglomeración de piedras. Para el tirante se utilizará alambre galvanizado, igual al utilizado en las costuras de

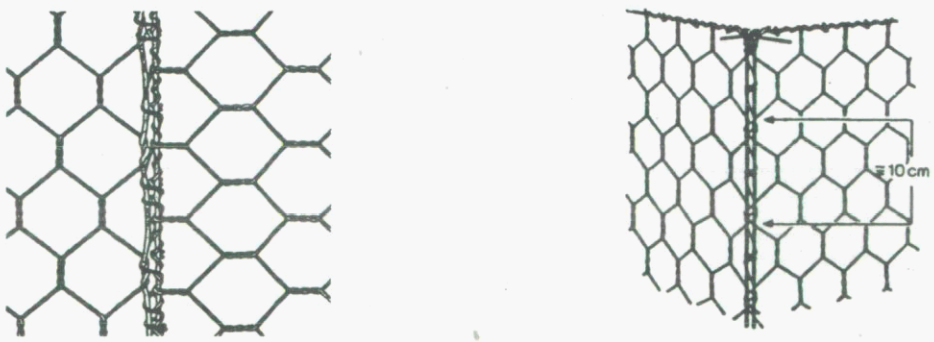


Fig. 7-5. Detalle del amarre y del refuerzo en los bordes

las aristas. es conveniente amarrar los tirantes abarcando varios alambres de la malla. En gaviones de un metro de altura se dispondrán tirantes horizontales (separados entre 70 y 80 cm), cuya longitud será inferior (3-4%) a la distancia que exista entre las caras que se pretenden amarar, estando situados en planos paralelos, separados 1/3 de la altura del gavión, e intercalados con los del plano siguiente. En el caso, de gaviones con altura de medio metro, estos tirantes se colocarán en un plano medio.

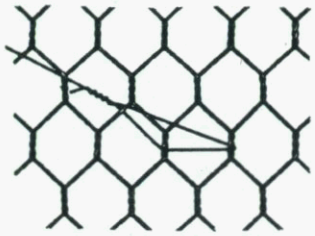


Fig. 7-6. Detalle del un tirante

En gaviones con alturas iguales o menores de 50 cm también se utilizarán tirantes verticales, los cuales unen la red de la cara del fondo con la tapa de la jaula. Normalmente suele situar un tirante por cada metro cuadrado de superficie horizontal. Se recomienda poner tirantes verticales en los gaviones, de cualquier altura, que no tengan otro gavión colocado encima.

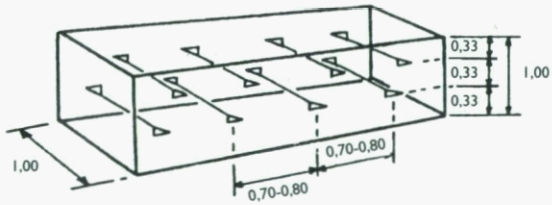


Fig. 7-7. Tirantes horizontales

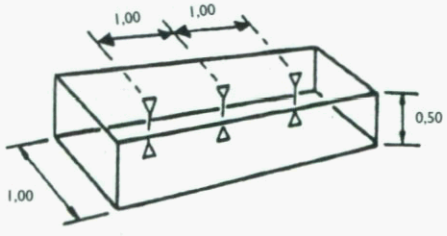


Fig. 7-8. Tirantes verticales

En los gaviones que situados en los extremos en los extremos de una hilada, se suelen colocar unos tirantes diagonales que amarran las caras verticales contiguas para evitar deformaciones excesivas en las mismas.

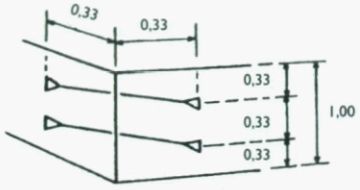


Fig. 7-9. Tirantes diagonales

En ciertos casos, y para proporcionar una mayor resistencia al gavión, se puede poner diafragmas verticales, situados cada metro, que sirvan como elemento separador y de amarre con las caras opuestas.

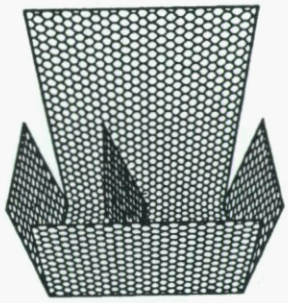


Fig. 7-10. Jaula con diafragma

El relleno se podrá realizar de forma manual ó mediante máquinas, pero en ambos casos se debe evitar la descarga de forma violenta, el roce y los golpes, para no dañar el recubrimiento de los alambre. No debiendo quedar aristas vivas en contacto con la mala.

En los gaviones superiores (los que no tienen otro gavión por encima), se evitará colocar en la última capa de relleno piedras pequeñas.

En el relleno se debe buscar reducir al mínimo el número de huecos debido a dos razones: por un lado, para proporcionar al muro un aspecto de compacidad; y por otro, debido a que la porosidad es directamente proporcional al tamaño de los bloques de relleno, por lo tanto para obtener el mayor peso de un gavión se deben utilizar rocas lo más pequeñas posibles, o lo que es mejor: rocas bien gradadas dentro de un cierto rango de tamaños, de manera que las más pequeñas ocupen parte de los huecos dejados por las más grandes, siempre teniendo en cuenta las limitaciones por abertura de la malla.

La operación de llenado se realiza conjuntamente con la instalación de los tirantes y diafragmas, cuando

los hubiese, es decir, se colocan piedras hasta alcanzar el primer plano de tirantes, se colocan y se amarran estos, y se siguen colocando las piedras. Los tirantes verticales se amarran a la base del gavión, dejando los extremos opuestos sueltos hasta que se cierre la jaula por su parte superior, la cual también se cose.

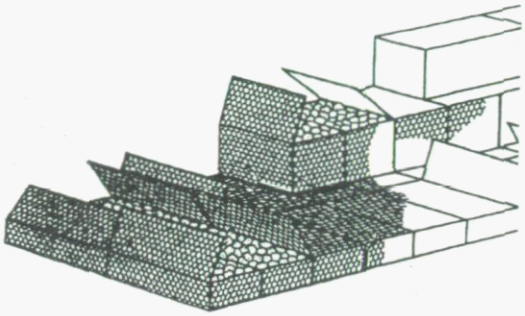


Fig. 7-11. Esquema muro de gaviones

En la construcción de este muro, el paramento exterior puede ser plano (con escalonamiento interno) ó con escalones. El primer caso, paramento exterior plano, se suele emplear por motivos estéticos o funcionales, siempre debiéndose tener en cuenta, la necesidad de dar una inclinación a este de al menos 6°. Pero, por motivos estáticos y por razones de altura es aconsejable construir el muro con el intrasdós escalonado.

7.4. Análisis estructural

La utilización de escalonamiento en el intrasdós permite la reducción de tensiones.

El cálculo de equilibrio general de un muro de gaviones se realiza de forma similar a la de los muros de gravedad.

Al tratarse de un muro flexible, igual que ocurre en los de muros de escollera, su análisis estructural es también análogo al realizado para estos últimos, con la salvedad de que la densidad y el ángulo de rozamiento interno del muro de gaviones es diferente.

8. Muros jardinera de madera

Es un muro de gravedad cuya estructura esta formada por piezas de madera que se van encajando y cuyo interior se rellena de tierra, actuando finalmente como un cuerpo monolítico.

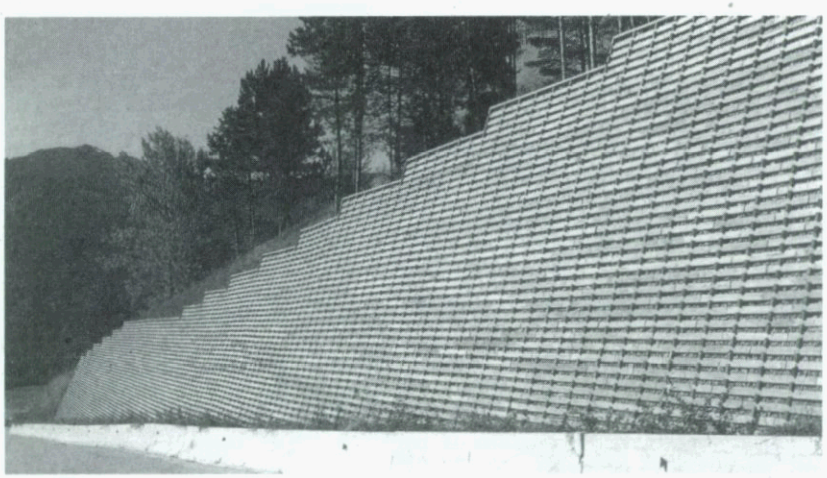


Fig. 8-1. Muro jardinera de madera. (TIMBACRIB)

Los modernos sistemas de conservación de la madera permiten construir estructuras de madera muy resistentes en contacto con el terreno, e incluso con presencia de humedad.

Es un tipo de muro muy común en Nueva Zelanda, Gran Bretaña , Australia y Estados Unidos.

8.1. Elementos constructivos

Los dos elementos principales que componen este muro son: las piezas de madera y el material de relleno.

8.1.1. Madera

La madera más empleada es la de pino.

Para una larga vida útil, la madera utilizada debe cumplir dos propiedades:

— Resistencia a la degradación física.

— Resistencia al ataque de los insectos y a la putrefacción.

En la resistencia a la degradación física existe una influencia del tamaño de la pieza, el grado de exposición

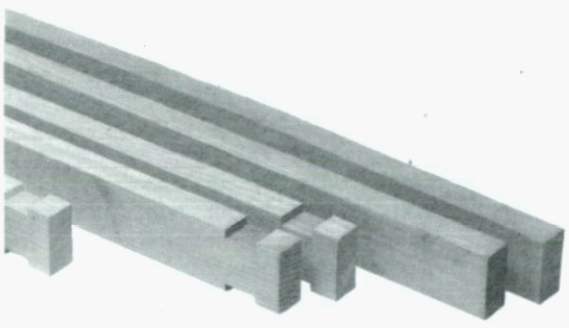


Fig. 8-2. Elementos constructivos

a las acciones atmosféricas y los tratamientos de conservación a los que se someten las piezas.

Uno de los productos químicos más empleado para la conservación de las piezas es el CCA. Este tratamiento consiste en la aplicación a estas piezas de un producto formado por cobre-cromo-arseniato, que proporciona a la madera un considerable grado de impermeabilidad. Estos metales pesados son también excelentes absorbentes de los rayos ultravioletas, otra causa de degradación física que sufre la madera expuesta al sol.

El segundo requerimiento que se le exige a la madera es conferido por la natural estabilidad de la madera o por los tratamientos conservativos que se la pueden aplicar.

8.1.2. Material de relleno

El material de relleno debe estar formado por un material drenante limpio y bien graduado, y resistente a las condiciones atmosféricas (heladas,...). El tamaño máximo será de 100 mm, estando normalmente formado por material situado entre los 50 y 100 mm. Con una densidad mínima de 1,8 gr/cm^3.

La parte superior del relleno (coronación del muro), en unos cuatrocientos cincuenta milímetros de profundidad, puede consistir en arcillas u otro material de baja permeabilidad que sirva de soporte para la vegetación posterior.

8.2. Drenaje

El material de relleno es drenante, lo que permitirá la que no existan presiones hidrostáticas en el trasdós del muro.

Es importante instalar una tubería drenante de unos 100 mm de diámetro (65 mm para muros pequeños) situada en la parte inferior del trasdós del muro, que recoja el agua que llega a él. Se le dará un cierta caída hacia los puntos colectores, desde los cuales se realiza la salida. De esta manera se garantiza el drenaje del muro.

Los tubos drenantes pueden ser de plástico, cemento, PVC, metal corrugado, amianto o de hormigón cerámico. Estos llevarán perforaciones, en su perímetro, espaciadas uniformemente a lo largo de toda su longitud, con un área de abertura de 20 mm^2 por cada 300 mm de longitud.

8.3. Sistema constructivo

La cara vista del muro esta formada por una malla de piezas de madera espaciadas, de tal modo que el material de relleno no pueda derramarse a través de estos huecos. La inclinación de este paramento oscilara entre el 4:1 y la completa verticalidad, según sea la misión del muro.

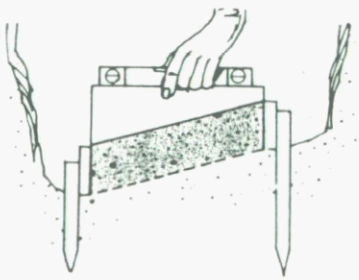
El muro ira provisto de unos largueros en el trasdós, a lo largo de toda su altura. Proporcionando un adecuado arriostramiento a las piezas transversales, situadas estas perpendicularmente al intrasdós del muro. Si la situación lo requiriera, pueden emplearse unos espaciadores adicionales entre las piezas transversales.

El sistema puede admitir la adición de uno o más conjuntos de celdas, paralelos y situado detrás de la estructura principal. Realizándose la unión de estructuras por medio de las piezas transversales.

En los puntos de intersección de las piezas se debe asegurar la sustentación total de los largueros, utilizando para ello las ranuras que presentan las piezas transversales.

Las fases en la construcción del muro serían:

1. Excavación.
   - — El asiento de la excavación será material sano, estando su profundidad mínima comprendida entre 200 y 350 mm.
   - — A la excavación se la da una pendiente de 1:4. Marcándose posteriormente la posición en que irá el muro.



   - — El diseño de la cimentación dependerá de la capacidad portante del terreno, la altura del muro y de las condiciones de carga. Existirán pues, dos opciones:
     - No utilizar cama de hormigón.
     - Empleo de una cama de cemento u hormigón armado a lo largo de toda la base del muro. No deberá estar sometida a ningún esfuerzo significativo hasta como

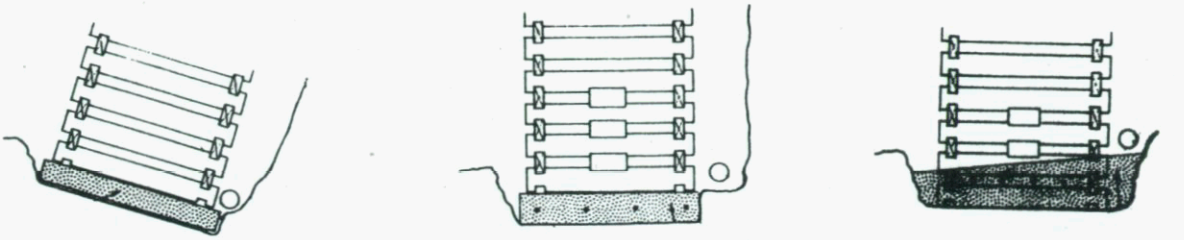


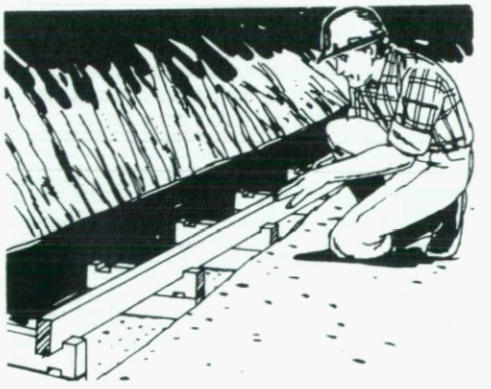
Fig. 8-3. Cimentaciones

mínimo de 48 horas después de ser colocada la base de hormigón y se obtenga una resistencia a compresión de 10 N/mm^2. En este caso existen varias soluciones como indican los dibujos.

2. Colocación de la tubería de drenaje y primera hilada de piezas transversales, correctamente espaciadas, sobre la base.

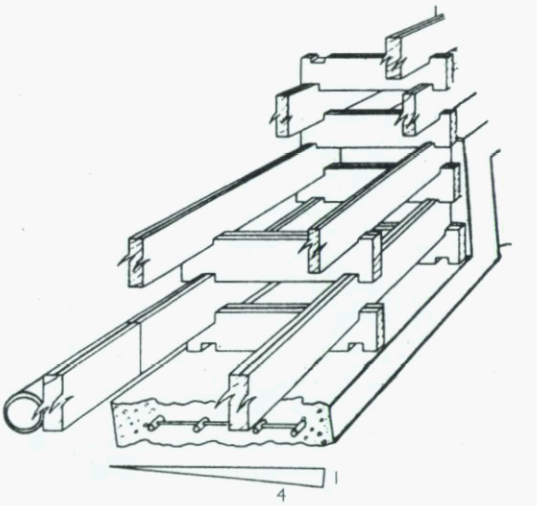


— Se prestará mucho cuidado en la colocación de estas unidades, utilizándose mortero si fuese necesario para asegurarlas adecuadamente.



3. Levantación de las hiladas sucesivas.

— Sobre las ranuras de los travesaños se sitúan los largueros, frontales y dorsales. Estas unidades serán manipuladas y colocadas de manera que ninguna sufran daños o se muevan, de forma que no afecten a la estabilidad del muro.





— Es útil clavar el larguero de la hilada a la pieza transversal inferior cerca del eje central y ensamblar mediante clavos cada unión de extremos entre largueros adyacentes, asegurando de este modo la correcta alineación horizontal. Empleándose clavos galvanizados de cabeza redonda de 75 mm, todo claveteo se hará desde dentro del muro.

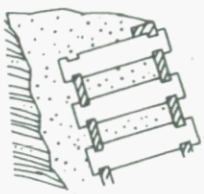
— Se instalará una membrana geotextil, que evitará la migración de finos desde el terreno hacia el muro, en el interfase muro-talud de excavación, tapándose con material de relleno. Si fuese necesario este geotextil estaría atrapado entre los travesaños.

— El material de relleno será extendido detrás del muro como mínimo 150 mm y en tongadas que no excedan los 500 mm de espesor. Cada capa irá correctamente consolidada dentro y detrás del muro. En las operaciones de llenado y compactación se deberá tener cuidado de no romper la alineación de las piezas.

— Estas operaciones se repetirán hasta alcanzar la altura de muro deseada.

4. Finalización del muro.

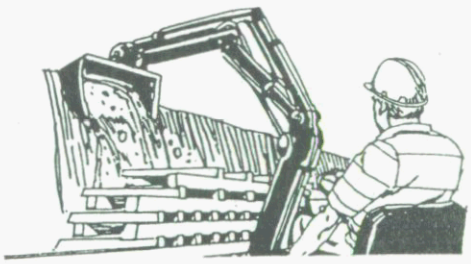
— Directamente sobre la ranura de la última pieza transversal se apoya un larguero tumbado, a modo de tapadera. Este larguero irá claveteado mediante clavos galvanizados de cabeza redonda de 100 mm.



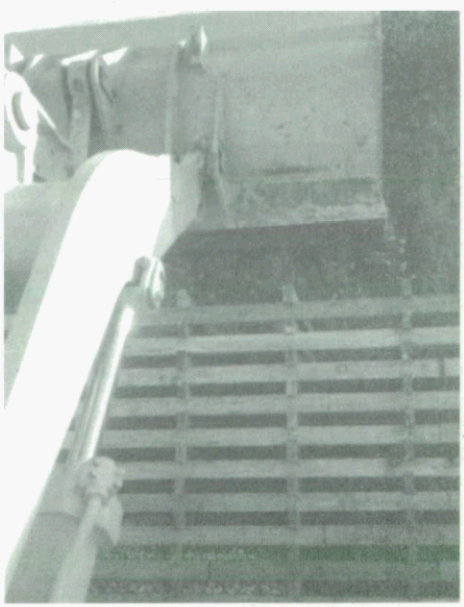
a)



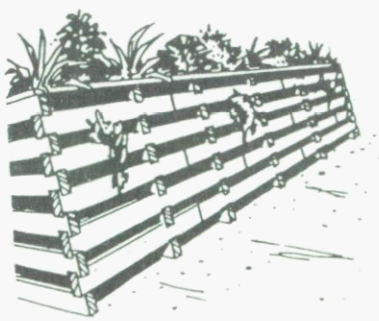
b)

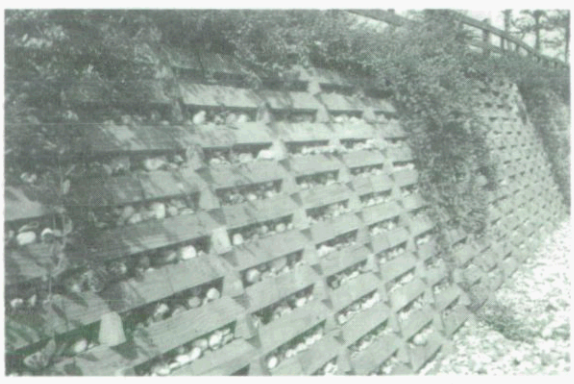


c)



— La zona superior del muro y del trasdós se rellenan hasta la cota de terreno con tierras de carácter arcilloso o de baja permeabilidad, de forma que la superficie drene libremente. Dándole superficialmente un recubrimiento de tierra vegetal que sirva de soporte para el crecimiento de vegetación.





8.4. Análisis estructural

La teoría de Rankine para el calculo de empujes activos o pasivos ha sido utilizada frecuentemente en el cálculo estructural de muros. Esta teoría considera el estado de tensiones en una masa semi-infinita y este estado no cambia aunque se introduzca como limite un muro vertical perfectamente liso. Sin embargo, en la mayoría de los muros, particularmente estos, existirá rozamiento y por tanto las tensiones dentro de la masa de terreno pueden ser diferentes a las del estado de Rankine.

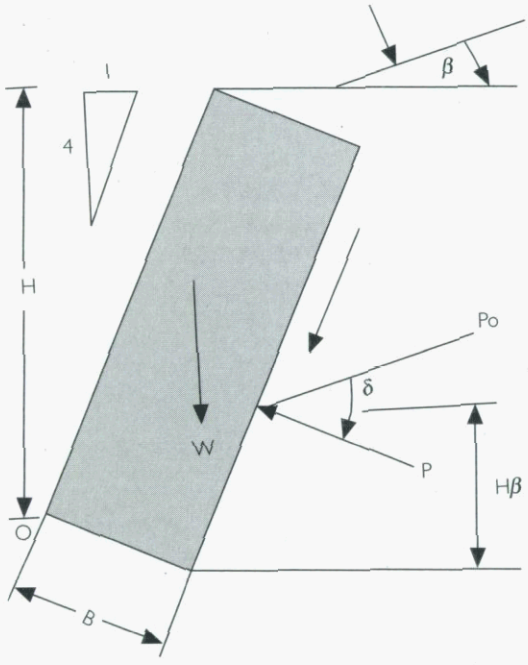


Fig. 8-4. Esquema de cálculo

La teoría de Coulomb es un método simplificado que considera las fuerzas de rozamiento entre el trasdós del muro y el terreno. Aunque la teoría de Coulomb considera la línea de rotura plana en lugar de una superficie curva, el efecto de las presiones activas laterales se considera despreciable. Es esta teoría la más comúnmente utilizada, conjugándose en ocasiones con la de Rankine.

Aunque en el cálculo del muro se utilice la teoría de Rankine, la teoría de Coulomb u otros métodos de evaluación de las fuerzas laterales para los cálculos propuestos, el método de análisis sólo afectará a la magnitud y línea de acción de la presión resultante del terreno (P_a). El cálculo de los factores de seguridad serán similares para todos los tipos de muro jardinera de madera.

Los factores de seguridad a considerar son:

— Estabilidad al vuelco..... 2,0
— Estabilidad al deslizamiento..... 2,0
— Estabilidad al hundimiento..... 3,0

No importa que teoría sea adoptada, lo más importe en el cálculo es la elección adecuada de los parámetros del suelo.

Así los parámetros de densidad y ángulo de rozamiento interno del terreno adoptará valores diferentes, tabla 5, según la clase de suelo del que se trate.

El cálculo de los componentes estructurales (madera, geotextil de drenaje, material de relleno) del muro se basa en la Teoría Silo de Reimbert y han sido refrendados mediante la fórmula de Janssen, dando ambos resultados conservadores para un relleno semi-compactado. Resultando la densidad para conjunto del muro de 1,7 gr/cm^3.

Tipo de suelo	Densidad (gr/cm3)	Ángulo de rozamiento interno
Arcilla suelta	1,6-1,7	25°
Arcilla compactada	1,6-1,7	30°
Arena o arcilla arenosa	1,8	30°-35°
Arena suelta o grava	1,6-1,7	30°-35°
Arena compactada o grava	1,9-2,0	35°-40°
Piedra machacada	1,6-1,9	35°-45°
Tierra vegetal compactada	1,3-1,4	30°
Tierra vegetal	1,5-1,6	30°-35°

Tabla 5. Valores tipos (Condiciones secas)

9. Muros prefabricados con elementos de hormigón

Los muros prefabricados de hormigón son aquellos fabricados total o parcialmente en un proceso industrial mediante elementos de hormigón.

Posteriormente son trasladados a su ubicación final, en donde son instalados o montados, con la posibilidad de incorporar otros elementos prefabricados o ejecutados en la propia obra.

Estos se han clasificado, según su diseño estructural, como se indica en la tabla 6.

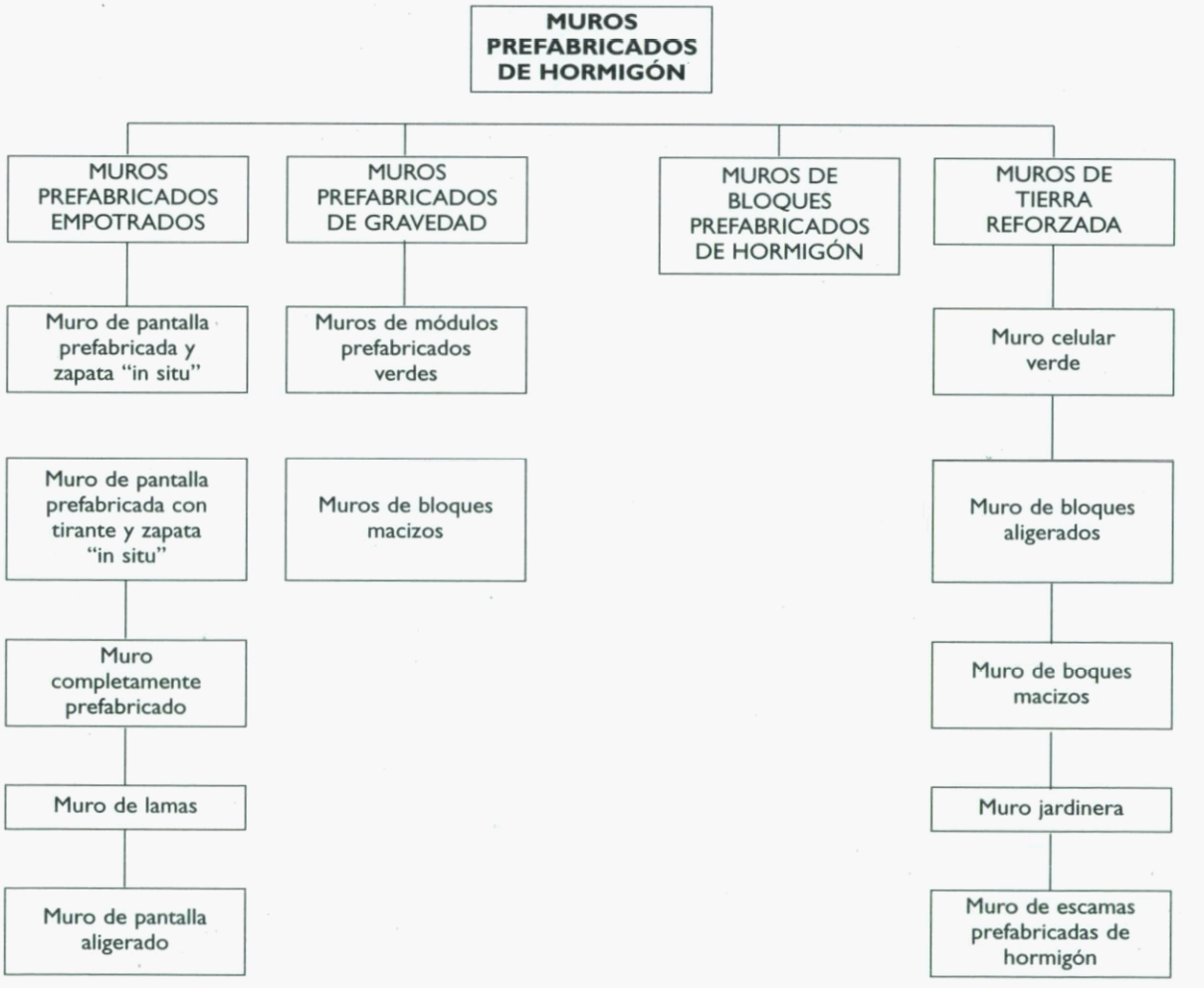


Tabla 6. Clasificación de muros prefabricados con elementos de hormigón

9.1. Muros prefabricados empotrados

Muro prefabricado empotrado es el formado por un elemento plano o nervado, continuo ó discontinuo, prefabricado de hormigón armado, pretensado o postensado y empotrado en su base.

Los muros prefabricados empotrados trabajan en voladizo con un empotramiento en su base o zapata. Este tipo de muro puede considerarse activo, es decir, entra en carga cuando se le aplica el material de relleno. Sus dos funciones principales son el sostenimiento y contención de tierras. La construcción de la zapata requiere una excavación previa, lo que dificulta a este muro tener una función de revestimiento.

Los asientos importantes del terreno base pueden ser en determinadas ocasiones, un problema para este tipo de estructuras de contención. Estos muros son estructuras rígidas, pudiendo existir un nervio ó zuncho superior que aumentaría más la rigidez del muro, por lo que si el terreno sobre el que se apoya sufre asentamientos diferenciales, la pantalla del muro se puede dañar, salvo que se disponga de juntas en la cimentación y zuncho, formándose en este caso un paramento articulado.

9.1.1. *Muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ"*

Estos muros se definen como muros de elementos modulares prefabricados de hormigón, de secciones nervadas, colocadas de forma continua, adosados unos a otros, que empotrados en una zapata realizada "in situ", constituyen el paramento exterior del muro.

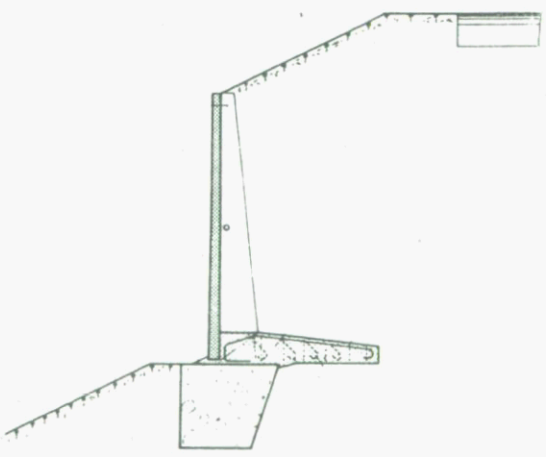


Fig. 9-1. Muro de pantalla prefabricado y zapata "in situ" (TENSITER)

9.1.1.1. *Elementos constructivos*

Este tipo de muro esta constituido por una serie de elementos: pantalla, zapata y material de relleno.

Pantalla

Las pantallas, también denominadas losas o paneles, son elementos prefabricados de hormigón armado, pretensado o postensado. Estos elementos están formados por unos contrafuertes, siendo su sección a modo de "T" o "TT" (en algunos casos esta última sección se denomina en "PI"). Su anchura esta normalizada según los fabricantes (no superando los 2,50 m. correspondientes a la anchura del camión encargado del transporte de estas piezas).

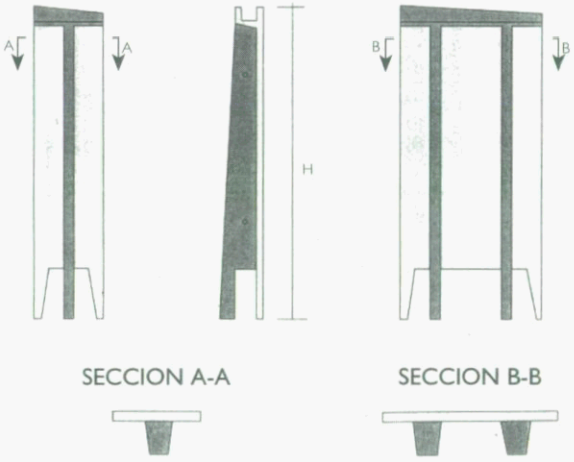


Fig. 9-2. Pantallas (MUREBAL)

La máxima altura que puede alcanzar un muro de este tipo, es variable según el fabricante, no superándose para un muro de contención los nueve metros (en el caso de estribos no se superan los dieciséis metros de altura, en una sola pieza).

Reciben directamente la practica totalidad de los empujes del terreno. Su canto es variable, aumentando con la altura del muro, evitándose de esta forma la necesidad de armadura de corte, siendo el propio hormigón de la pantalla el encargado de absorber todo el esfuerzo cortante.

El acabado de su cara vista puede tener diferentes formas, reduciéndose de este modo el impacto visual que el muro podría originar en su entorno.

Los elementos de que se componen los paneles son:

— Patas: permiten que la pantalla sea autoestable durante el montaje.

— Armadura de espera situada en la parte inferior y formada por la prolongación de la armadura principal del nervio o contrafuerte. Permite realizar la unión entre la pantalla prefabricada y la zapata de hormigón armado ejecutada "in situ".
— Canalón de hormigón o armadura de espera en la parte superior para la realización de un cordón de atado o cabezal de coronación, realizándose antes del relleno y compactación del tradós.

Opcionalmente, se puede situar una imposta de coronación para un mejor acabado final. Las dos funciones principales de la imposta son:

— Absorber posibles saltos o diferencias de cotas que hayan podido producirse durante el montaje.
— Evitar, mediante el goterón, la aparición de manchas en el alzado del muro provocadas por la circulación de agua con tierra por la cara vista.

Zapata

La zapata de cimentación se hormigona "in situ" una vez montada la pantalla, colocándose la armadura antes o después de dicho montaje, dependiendo del sistema de montaje utilizado.

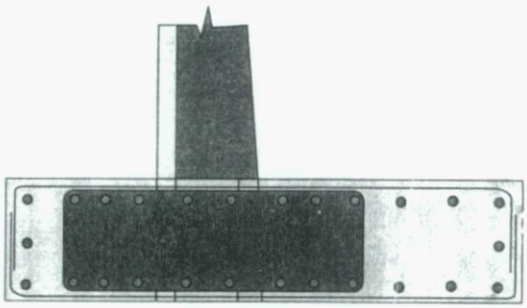


Fig. 9-3. Zapata tipo (MUREBAL)

Para la buena ejecución de la zapata, durante el hormigonado se realiza un correcto vibrado. Esto garantiza el funcionamiento monolítico alzado-cimentación, con lo que se obtiene un muro "in situ" con alzado prefabricado, aprovechando las ventajas del muro prefabricado.

Material de relleno

Los materiales filtrantes empleados en el relleno del trasdós son naturales o procedentes de machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, arenas, escorias, suelos seleccionados o materiales locales exentos de arcilla, marga u otras materias extrañas.

El tamaño máximo a emplear no deberá ser superior a 76,0 mm (Tamiz 3 ASTM).

9.1.1.2. Drenaje

Si no existe una impermeabilidad del trasdós del muro surgirán problemas estéticos y/o funcionales, que en el diseño del muro se deben considerar y solucionar. Es por esto que siempre es recomendable esta impermeabilización.

Además, un correcto drenaje evitará la aparición del empuje hidrostático sobre el trasdós del muro y la subpresión de agua sobre el conjunto muro-relleno.

La solución más simple y económica será aplicar sobre el trasdós una pintura asfáltica. Si se desea una mayor garantía de impermeabilización se empleará una tela asfáltica, protegida mediante una capa de mortero para evitar daños durante el relleno y compactación del trasdós.

Es recomendable situar en la coronación del muro una cuneta de recogida y una capa de arcilla compactada y con una ligera pendiente hacia la cuneta, reduciendo de esta forma la entrada de agua al relleno.

La evacuación de agua se puede realizar de varias formas:

— A través de mechinales. Esta solución de mechinales al tres bolillo presenta el inconveniente de que con el paso del tiempo acaban por colmatarse o cegarse, además de conducir el agua drenada a la puntera del muro, afectando a la resistencia del suelo portante.
— A través de la junta situada entre dos paneles de pantalla consecutivos. Esta junta puede estar protegida por un geotextil, colocado verticalmente y por la zona de las tierras, que permite la salida de agua pero no de los finos del material de relleno, eliminándose de este modo el riesgo de aparición de blandones. Normalmente, en estas juntas se colocan piezas de plástico ranuradas que permiten el drenaje en toda su altura.
— Impermeabilización de las juntas y salida del agua mediante conducción al punto de desagüe. Se realiza mediante la aplicación de un geotextil drenante adherido al trasdós durante el proceso de colocación de la pantalla, aportando de este modo un filtro vertical que recoge las aguas y las conduce a la parte baja del muro, donde existirá un tubo drenante longitudinal. La incorporación de estos geotextiles cierran las juntas verticales del muro, impidiendo la salida de los finos del trasdós.

El coste del drenaje respecto al total del muro es muy pequeño. Sin embargo, su influencia sobre el valor del empuje y la impermeabilización del muro es muy importante.

9.1.1.3. Sistema constructivo

Se distinguen dos etapas: proceso de fabricación de la pantalla y fases de ejecución del muro de contención.

Proceso de fabricación de la pantalla

Los moldes en donde se fabrican las pantallas, se adaptan en cada caso a los tamaños de las mismas. Estos llevan incorporado sistemas de vibración para la compactación del hormigón fresco.

La armadura se coloca en el molde de acuerdo con los planos de fabricación, amarrándose entre sí los distintos conjuntos de barras y mallas necesarios, sujeta al encofrado mediante separadores con dos objetivos: garantizar los recubrimientos y evitar el movimiento de la armadura durante el vertido y compactación del hormigón. Realizándose posteriormente, si fuese necesario, un pretensado o postensado.

El vertido del hormigón sobre el molde se realiza prácticamente desde el mismo nivel al que se encuentran los moldes con el objeto de evitar la disgregación del mismo.

La cara vista de la pantalla se sitúa en el fondo del molde con el fin de obtener un acabado superficial liso de la mayor calidad posible. Esto del mismo modo, permite la obtención de diferentes acabados superficiales a partir de la disposición sobre el fondo del molde de un elastómero con el negativo del acabado que se desea en la cara vista. Los acabados pueden de muy diferentes formas:

— Hormigón liso.
— Texturizado.
— Imitación Piedra.
— Combinación de los anteriores (Liso-textura, Textura-imitación piedra, etc.).

Para facilitar el desmoldeo, una vez que la pieza adquiere la suficiente resistencia, se emplea desencofrante que no afecte al hormigón.

Una vez obtenida la pieza, ésta pasará al parque de almacenamiento, para su posterior traslado a obra. El hecho que hormigón armado sea un material pesado, origina que el transporte tenga una influencia importante en el coste final del producto, especialmente si el traslado es a grandes distancias.

En algún determinado caso, la pantalla se puede formar uniendo, en la propia obra, placas a los contrafuertes, como si fuesen módulos (sistema modular).

Fases de ejecución en obra del muro de contención

Las fases de ejecución en obra son:

1. Descarga y almacenamiento de las piezas. Las pantallas cuando llegan a obra se pueden descargar y montar directamente desde el camión mediante la utilización de una grúa, en caso contrario se producirá el almacenamiento de las piezas.
   — Las piezas se manipulan y descargan en posición horizontal empleando para estos movimientos una grúa, y apoyándose en dos puntos de amarre: uno en el alma o contrafuerte y el otro en las esperas inferiores para evitar la rotura (por donde indique el fabricante).

   — En el caso de existir almacenamiento este se realiza horizontalmente, con la cara vista hacia el suelo y separando los distintos elementos, entre sí y el suelo, a través de unos tableros colocados transversalmente. La pila de almacenamiento debe contener un número mínimo de paneles (se recomienda tres pantallas como máximo o que la altura superior no sobrepa-

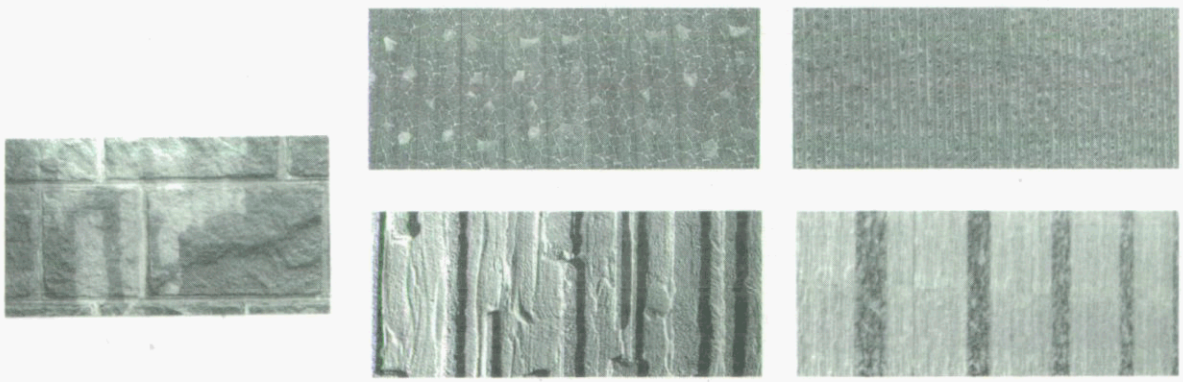
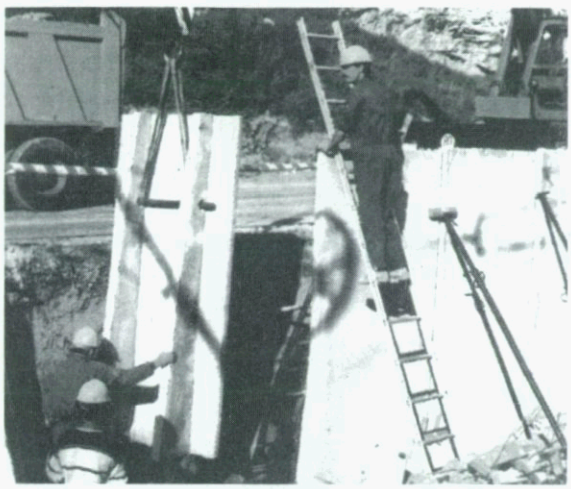
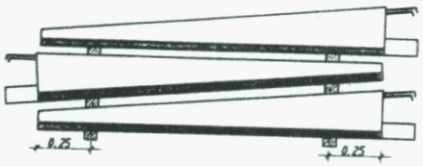


Fig. 9-4. Acabados (MUREBAL)



se los 3.00 ó 2.50 metros, consultar al fabricante).

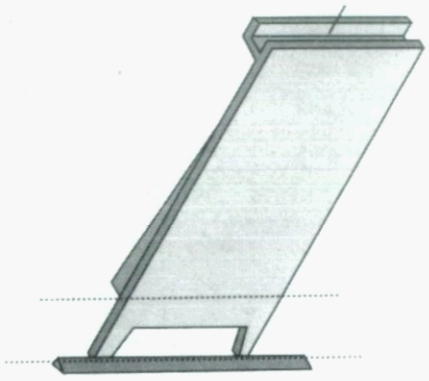


— Durante esta operaciones se debe tener el máximo cuidado de que las piezas no reciban daños por su incorrecto almacenamiento o por golpes que provoquen la rotura de las patas de montaje, daños en la cara vista y descascarilleo de las aristas.

2. Excavación de la zapata, para el posterior montaje de la pantalla. En algunos, esta excavación es previa a la llegada de las piezas a la obra.

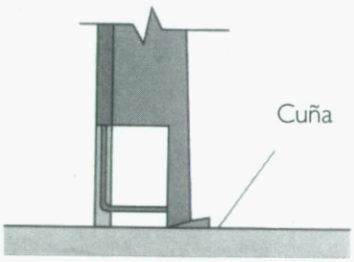
3. Hormigón de limpieza y replanteo. Tras la excavación de la zapata se procede al vertido de una capa de hormigón pobre de nivelación de determinado espesor y anchura mínima la de la zapata. Esta solera debe estar perfectamente nivelada y enrasada, pues servirá de apoyo para las patas de la pantalla. No siendo necesario, en muchos casos, la utilización de encofrado.

— Sobre la solera se indicara, mediante marcas, la ubicación de final de las pantallas.

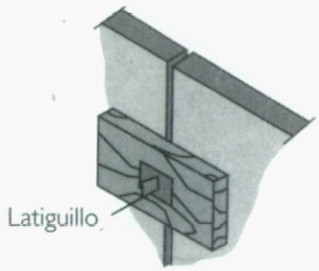


4. Montaje de los paneles. Después de haber preparado la superficie de apoyo, y mediante la ayuda de una grúa, se procede al montaje de las piezas prefabricadas, manipulándoles verticalmente.

— Las pantallas se apoyan a través de las patas sobre el hormigón de limpieza, calzándolas mediante la utilización de unos tacos o cuñas, siguiendo el trazado marcado en el replanteo.



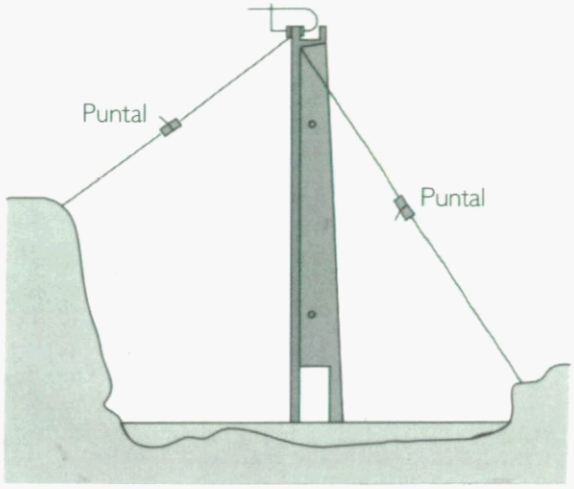
— Las placas se sujetaran a los contiguas mediante unos latiguillos o sargentos. Además, ciertas placas se deben arriostrar mediante el empleo de puntales u otros mecanismos.



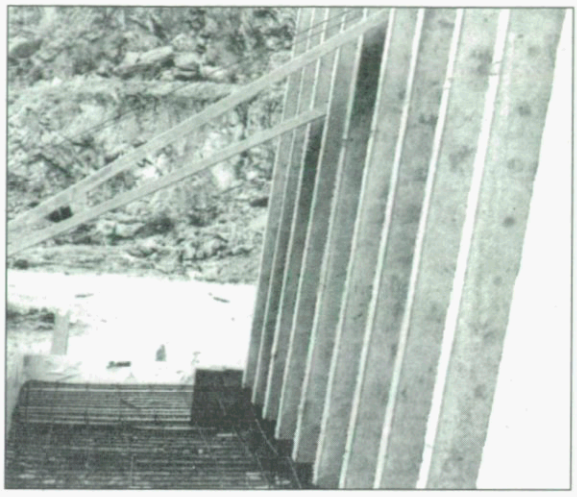
— Todos estos elementos de sujeción se deben dejar hasta haber pasado un cierto periodo de tiempo después de hormigonar la zapata.

5. Ejecución de la zapata. Tras el montaje de las piezas prefabricadas se procede a la colocación de la armadura de la zapata. Esta armadura puede colocarse antes o después de montar los alzados.

— Colocada la armadura se procede al vertido del hormigón. Durante el hormigonado se realiza un vibrado para la correcta ejecución de la zapata.
— Ahora se está en condiciones de garantizar el correcto funcionamiento del conjunto estructural resistente (pantalla-zapata).

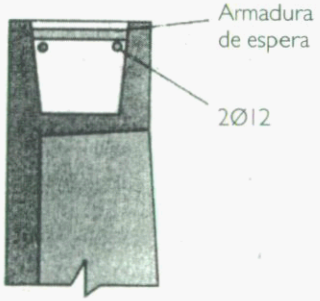


6. Hormigonado del zuncho en coronación, cuando exista. Se debe realizar antes del relleno y compactación del trasdós, evitándose de este modo los posibles desplazamientos, originados por el relleno, de las pantallas entre sí.

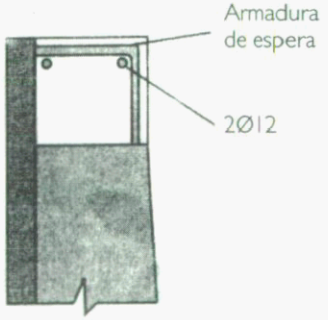


8. Colocación de la imposta para un buen acabado.

Panel con cabezal



Panel sin cabezal

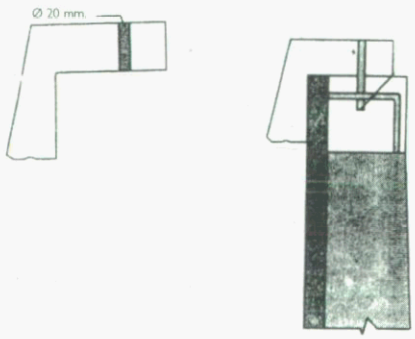


7. Ejecución del relleno y compactación. El relleno no debe realizarse hasta que la zapata alcance la resistencia deseada.

a)



b)



9.1.1.4. Análisis estructural

Las transmisiones de esfuerzos se realizan de la siguiente forma:

— Las tracciones se transmiten a la zapata a través del anclaje de la armadura principal del contrafuerte.
— Las compresiones y tensiones tangenciales se transmiten a través del contacto pantalla-zapata.

En algún caso, la pantalla dispone en el trasdós de unos nervios horizontales, estos son los responsables de la transmisión de los esfuerzos provenientes del propio panel a los contrafuertes, transmitiéndolos a su vez al terreno, a través de la cimentación. En este caso la pantalla se considera apoyada en el nervio horizontal superior y empotrada en el resto de los nervios horizontales del muro, y semiempotrada en los contrafuertes.

El proceso de cálculo consta al menos de tres fases:

— Diseño geométrico del muro.
— Cálculo de la zapata.
— Cálculo de la pantalla.

Diseño geométrico

La geometría del muro y de todos sus elementos depende en todo momento de la geometría, en planta y alzado, de la obra.

Cálculo de la zapata

En el cálculo de la zapata se parte de una serie de condiciones:

— Geometría del muro (altura, trazado en planta).
— Características del terreno (tensión admisible del terreno de cimentación, ángulo de rozamiento interno, cohesión del terreno, densidad aparente del material a retener, ángulo del talud del relleno, etc.) .
— Coeficientes de seguridad adoptados (coeficientes de minoración del acero y del hormigón, de mayoración de acciones, etc.) .
— Acciones consideradas: peso propio de la pantalla y de la zapata, peso propio y empuje de tierras retenidas por el muro, cargas permanentes, sobrecargas de uso, acciones indirectas, acciones sísmicas (si las hubiera, dependiendo de la ubicación de la obra), presiones hidrostáticas y subpresión de agua (en algunos casos no se consideran al proyectarse los muros con un drenaje adecuado que evite estos empujes), etc.

Los estados límites a comprobar y los cálculos a efectuar son:

— Comprobación de seguridad frente al deslizamiento superficial muro-zapata. Se realiza en la zona de contacto entre la zapata y el terreno de cimentación. Este coeficiente se seguridad es igual o superior a un valor dado (k):
Las fuerzas contra el movimiento son:

$$C_d = \frac{\sum F_{contra\ movimiento}}{\sum F_{sentido\ movimiento}} \geq K$$

- Fuerzas debidas al rozamiento y adherencia entre el suelo y zapata (en el caso de terrenos con cohesión).
- Posible empuje pasivo del terreno sobre la puntera de la zapata.

De las fuerzas a favor del movimiento se destaca el empuje de tierras (empuje activo) sobre el trasdós. Este empuje puede ser calculado mediante diferentes métodos en el caso de suelos granulares (siendo el más empleado la Teoría de Rankine o la Teoría de Coulomb), para suelos cohesivos el método de cálculo de empujes que se puede emplear es el Bishop.

— Comprobación de la seguridad frente al *vuelco* del conjunto muro-zapata. Se calcula mediante la fórmula:

$$C_v = \frac{\sum M_{ESTABILIZANTES}}{\sum M_{VOLCADORES}} \geq Cte.$$

Los momentos se toman respecto a la arista inferior de la puntera de la zapata.

— Comprobación de la seguridad frente a la capacidad portante del terreno de cimentación. Se debe comprobar que la estructura no quedará fuera de servicio consecuencia de los asientos del terreno de cimentación, al superarse la tensión admisible del terreno por parte de las presiones transmitidas por la zapata. Lo ideal será cimentar la estructura sobre roca sana.

— Comprobación de la seguridad frente a un deslizamiento profundo del conjunto muro-terreno. Se requiere un análisis del terreno que se encuentra bajo la cimentación. Dicho deslizamiento se produce a través de las líneas de deslizamiento profundo.

— Comprobación de la seguridad estructural:

- Deformación excesiva del alzado. Muy poco frecuente salvo en muros de gran esbeltez.

- Fisuración excesiva. Puede aparecer en las zonas de tracción: puntera, alzado, tacón o talón.
- Rotura por flexión. La prerrotura sólo se observa en las zonas sometidas a tracción, que se encuentran ocultas, lo que puede producirse sin que exista ningún aviso previo.
- Rotura por esfuerzo cortante. Se presenta en las mismas secciones que el caso de fisuración excesiva.
- Rotura por esfuerzo rasante. La sección de máximo riesgo es la que se encuentra entre el alzado y la zapata, pues es la que se encuentra sometida a máximos esfuerzos cortantes y momentos flectores.
- Rotura por fallo de solape. La sección más peligrosa es la de arranque de la armadura de tracción del alzado, interfase alzado-zapata. Es la más desfavorable, al estar sometida a los máximos esfuerzos cortantes y flectores.

— Cálculo de la armadura de la zapata, teniéndose en cuenta que se deben cumplir las condiciones y cuantías necesarias para evitar los fallos anteriormente mencionados. Posteriormente se armará la zapata en obra, para su siguiente hormigonado.

Cálculo de la pantalla

Partiendo de las mismas condiciones que para la zapata, se calcularán los esfuerzos a que se encuentra sometida la pantalla, realizando posteriormente el cálculo de armadura necesaria para el alzado. Queda así definida tanto la geometría como el armado de la pantalla, para su realización en fabrica.

9.1.2. *Muros de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"*

A estos muros les podemos definir como muros de paneles prefabricados de hormigón, planos o nervados, con un tirante y anclados, ambos elementos, a una zapata construida "in situ".

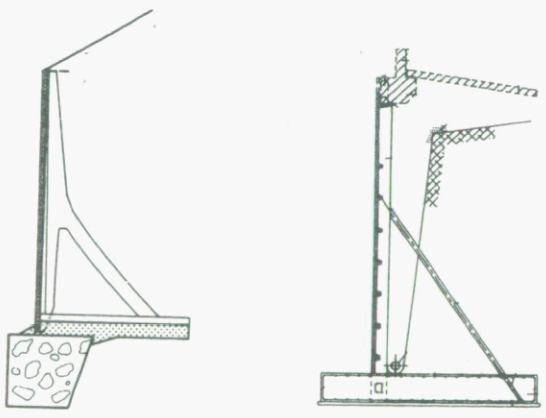


Fig. 9-5. Muros de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ". (TENSITER y MURO MASTER)

Su utilización más frecuente es en la construcción de muros de contención de alturas considerables.

Una degeneración de este muro, modificando la solución de tirante, debido al alto volumen de excavación

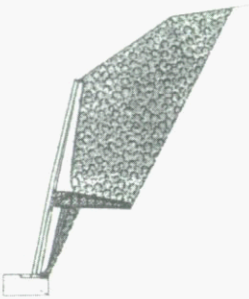


Fig. 9-6. Muro con plataforma estabilizadora (TENSITER)

que requiere, consistente en aplicar una plataforma estabilizadora a media altura, logrando de este modo dos cosas: reducir la excavación requerida y reducir las leyes de empuje, pudiendo alcanzar una altura máxima algo superior.

9.1.2.1. *Elementos constructivos*

La principal característica de este tipo de muro respecto al anterior radica en el tirante prefabricado, que se incorpora cuando los esfuerzos en la base del muro son excesivos. Se fabrica como una pieza de sección cuadrada (de aproximadamente 20x20 cm.) o con una cierta curvatura, dependiendo en cada caso del fabricante.

Este tirante, que trabaja a tracción pura, puede incorporarse al sistema estructural resistente o fabricarse conjuntamente con la pantalla a la cual queda unida mediante armaduras que funcionan a modo de bisagra. En este último caso, con independencia de esas armaduras, de la pantalla y del tirante saldrán otras en forma de bucle que se unen mediante un pasador de acero durante el montaje.

Los tamaños de las piezas estarán condicionados por las medidas (gálibo permitido) del camión que las a de transportar, siendo la anchura máxima de 2,50 metros. La altura máxima para este tipo de muro oscila entorno a los once metros.

Al igual que sucede para el muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ", su acabo exterior puede adaptarse al entorno en que se sitúa el muro, reduciéndose el impacto visual.

9.1.2.2. Drenaje

El drenaje se realiza a través de las juntas, situadas entre paneles, en toda la altura de muro, mediante la introducción de una membrana o geotextil que impide la salida de finos del relleno del trasdós, evitándose también de este modo que se ensucie el paramento. La existencia del tirante dificulta la realización de otra serie de soluciones.



Fig. 9-7. Junta de drenaje

9.1.2.3. Sistema constructivo

El sistema de transporte y almacenamiento es similar al empleado en el caso de muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ".

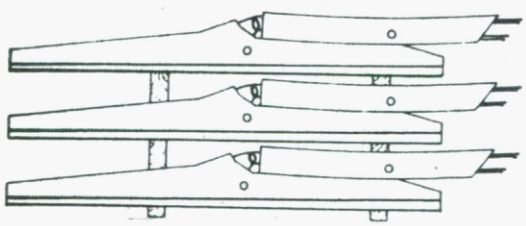
Las fases de que consta la construcción del muro son similares al muro anterior, de pantalla prefabricada y zapata "in situ", con las siguientes cualidades:

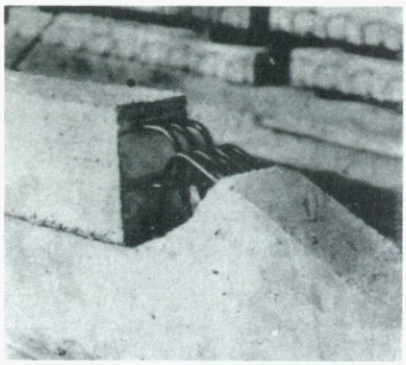
1. Excavación necesaria para la cimentación, zapata y montaje del muro.

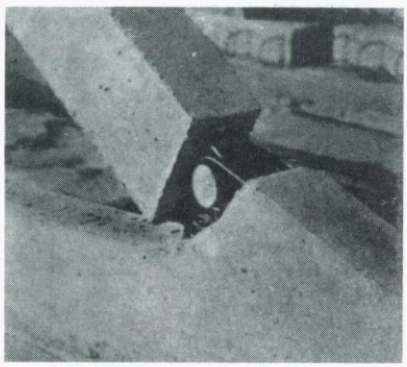
2. Cordón de cimentación u hormigón de limpieza y nivelación. Vertido de un hormigón pobre en masa contra la excavación, no siendo, en principio necesario, el empleo de encofrado.

3. Montaje de la pantalla. El alzado llega a la obra con el tirante tumbado, cuando este va incorporado.

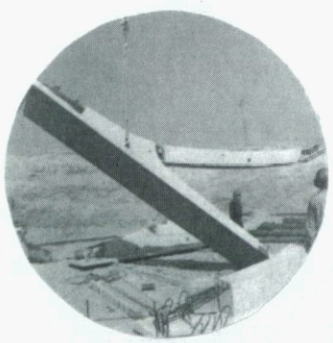
— La unión tirante-alzado se termina de completar "in situ", pudiéndose realizar en el propio camión si aún no se ha descargado la pieza, girando el tirante hasta formar unos 45°. En ese momento se tendrán enfrentados los bucles tanto del tirante como de la pieza prefabricada, es ahora cuando se introduce el pasador de acero.



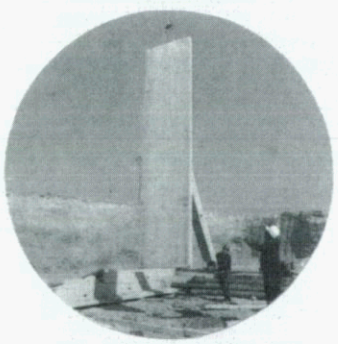




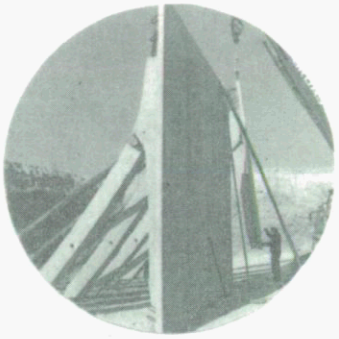
— Después de esta operación se sitúa la pantalla sobre el cordón de cimentación, calzándola mediante unas cuñas de madera, pudiéndose necesitar la ayuda de puntales para mantener la verticalidad de la misma. No existe ningún tipo de unión entre el alzado y el cordón de cimentación u hormigón de limpieza.



a)



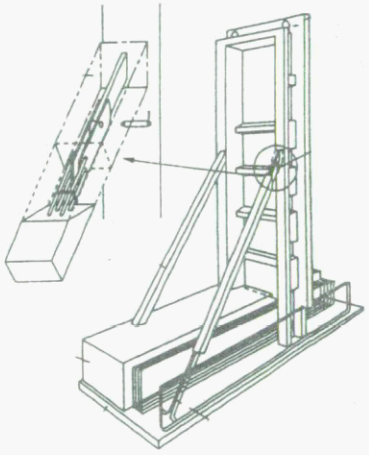
b)



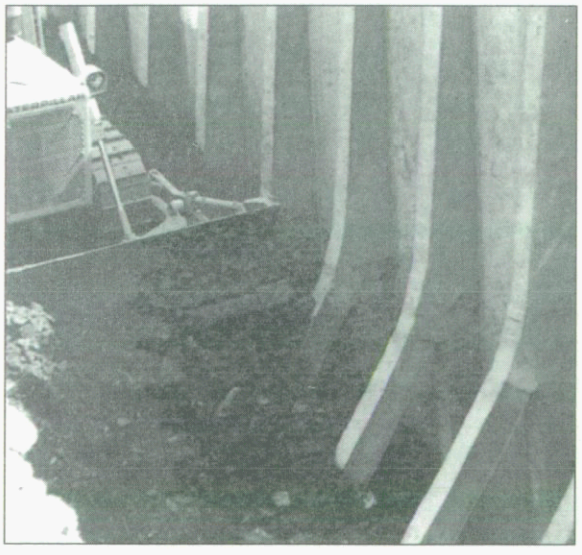
c)

4. Construcción de la base o zapata. Se produce el vertido de hormigón sobre la jaula armada que constituye la base.

— El tirante queda anclado a la zapata a través de una armadura en forma de esperas. Asimismo, la bisagra se sellará con un mortero sin retracción para mejorar su protección.



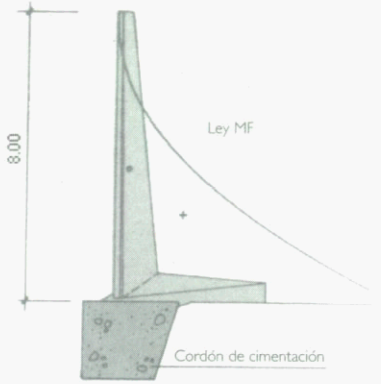
5. Relleno y compactación del trasdós.

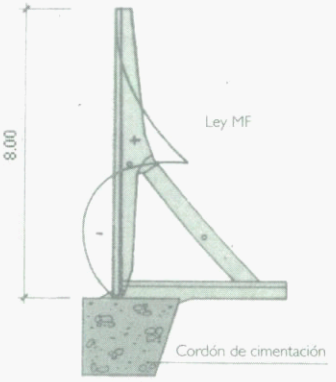


9.1.2.4. *Análisis estructural*

En los muros de gran altura existe una fuerte concentración de tensiones en el arranque del muro, debi-

a)





b)

das al momento de empuje de tierras y sobrecargas, muy elevada. La utilización del tirante originará que estos esfuerzos, tanto los del muro como los de la cimentación, se reduzcan de forma sensible.

El resto de las condiciones de cálculo del muro son muy similares a las empleadas en los muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ".

9.1.3. *Muros completamente prefabricados*

Son muros en donde el panel y la zapata se ha prefabricado conjuntamente formando un solo elemento.

9.1.3.1. *Elementos constructivos*

Estos muros están formados por piezas de hormigón en forma de "L", donde alzado y zapata forman un cuerpo monolítico, pudiendo su cara vista tener diferentes acabados (hormigón liso, árido visto, imitación piedra, etc.). Existen sistemas en los que la zapata está

parcialmente construida, es decir, la pieza lleva la armadura necesaria para terminar de completar la zapata "in situ".

Las dimensiones geométricas de las unidades tiene en cuenta tanto el gálibo del medio de transporte, como el proceso de fabricación y montaje. Limitándose la altura a 4,0 m., talón a 2,40 m. y anchura 2,50 m. (anchura máxima del camión).

El material de relleno del trasdós debe ser un material filtrante, similar al utilizado en los muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ".

Este tipo de muro se puede considerar de instalación inmediata en su lugar de ubicación tras una simple limpieza del terreno, pero aconsejándose: compactar el terreno de apoyo y verter un hormigón pobre de limpieza y nivelación para obtener una superficie horizontal, se debe procurar que la zapata de la pieza se apoye totalmente sobre el hormigón anteriormente vertido, evitándose de este modo asientos no deseables de éstas al realizarse el relleno del trasdós. Para una mayor seguridad se puede realizar un vertido de lechada para garantizar el asiento. Posteriormente se procede al relleno y compactación del trasdós.

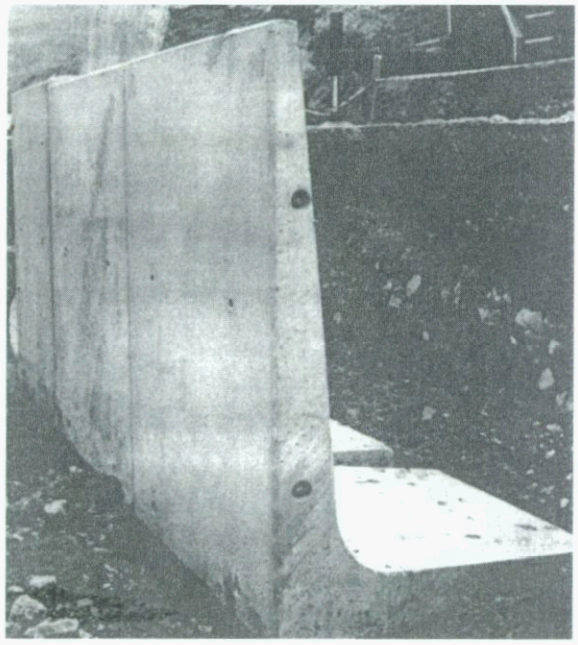
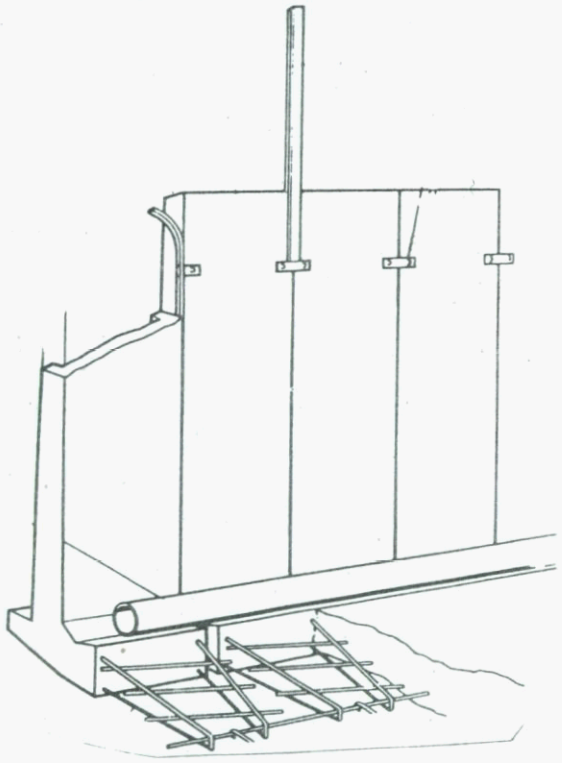


Fig. 9-8. Muros completamente prefabricados. (MUROL-ST)



9.1.3.2. Drenaje

Los sistemas de drenaje que puede incorporar este muro son los tres ya conocidos y empleados en los muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ", que son: mechinales; a través de juntas entre piezas a todos los niveles (incluso las bases); o mediante la ayuda de tubos de drenaje situados en el trasdós del muro.

9.1.3.3. Sistema constructivo

Las piezas prefabricadas tienen sus limitaciones geométricas condicionadas por el medio de transporte, siendo su manejo realizado de forma sencilla a través de una grúa.

Este es un tipo de muro que presenta la ventaja de su rapidez (al evitarse, normalmente, toda la fase relativa a las zapatas) y facilidad de montaje, frente a la escasa altura que puede alcanzar.

9.1.3.4. Análisis estructural

Habitualmente su limite de uso no esta en su resistencia estructura, sino en los problemas de deslizamiento o vuelco, principalmente estos últimos.

Las condiciones de cálculo del muro son muy similares a las empleadas en los muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ".

9.14. *Muros de lamas*

Se definen así, a los **muros formados por placas transversales prefabricadas, lamas, situadas entre unos contrafuertes verticales empotrados a la zapata hecha "in situ".**



Fig. 9-9. Muros de lamas

Este tipo de muro lleva una cobertura vegetal.

9.1.4.1. Elementos constructivos

El muro esta formado por unos contrafuertes de hormigón armado prefabricados, anclados a las zapatas realizadas "in situ", y unas placas, lamas, transversales prefabricadas de hormigón armado, fijadas éstas mediante tornillos o bulones a los contrafuertes.

El aspecto final de la cara vista es el formado por unas bandejas fijadas lateralmente a los contrafuertes y

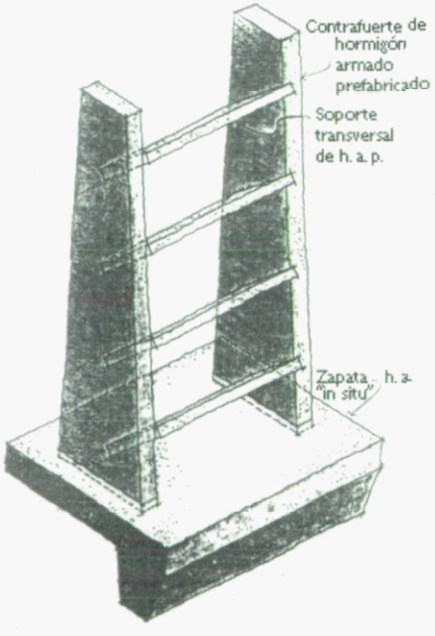


Fig. 9-10. Esquema del muro. (PRETASA)

ligeramente inclinadas, que sirven de apoyo para el crecimiento de vegetación.

El material de relleno en contacto con el muro esta compuesto por un capa de tierra vegetal que sirve de base para el crecimiento posterior de vegetación, proporcionando así un aspecto final verde y una reducción del impacto visual.

El número de placas depende de la altura del muro. Oscilando la máxima altura para estos los ocho metros, con una separación entre ejes de aproximadamente 2,20 metros.

Estos muros tienen la ventaja de poder sustituir fácilmente una placa, cuando esta sufra algún daño o rotura.

9.1.4.2. Drenaje

Los sistemas de drenaje son iguales a los empleados en los casos anteriores de muros (mechinales, juntas de unión o tubo drenante situado en el trasdós).

9.1.4.3. Elementos constructivos

Las fases de construcción son:

1. Llegada a la obra de las placas y contrafuertes de forma separada. La manipulación de estas placas es fácil y sencilla gracias al reducido peso de estas piezas.
2. Previamente, o simultáneamente, a la recepción de las piezas se debe realizar la excavación necesaria para la cimentación o zapata del muro.
3. Antes de instalar el muro se vierte una cama de hormigón pobre de limpieza y nivelación.
4. Se izan los contrafuertes con la ayuda de una grúa, calzándolos en su posición final por medio de unas cuñas. Se suele utilizar la ayuda de puntales para mantener su verticalidad. Posteriormente, se ensamblarán las placas o lamas a los contrafuertes.
5. Una vez realizadas las operaciones anteriores se procede al vertido de hormigón en la zapata. La unión entre zapata y contrafuerte se realiza por medio de unas armaduras de esperas.
6. Una vez la zapata adquiera las resistencias adecuadas, se procede al relleno y compactación del trasdós con material filtrante y/o tierra vegetal.
7. Vegetalización del muro.

9.1.4.4. Análisis estructural

Las hipótesis y condiciones de cálculo son similares a la de los muros con pantalla prefabricada y zapata "in situ".

El empuje de tierras esta aplicado directamente sobre estas placas transversales, transmitiendo posteriormente los esfuerzos a la cimentación a través de los contrafuertes.

En el caso de las placas con cierta inclinación, esta situación proporciona una mayor estabilidad al muro, debido a que el empuje de tierras sobre la placa ejerce una fuerza estabilizadora contraria al vuelco del mismo.

9.1.5. Muro pantalla aligerado

Es el muro formado por una pantalla aligerada o alveolar prefabricada, anclada a otro panel prefabricado o zapata hecha "in situ".

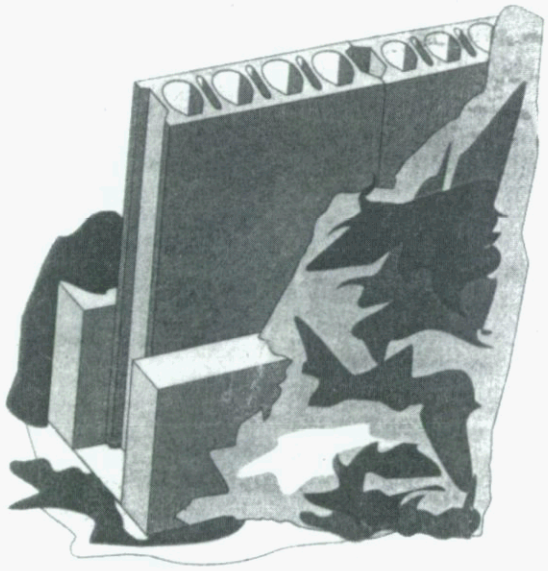


Fig. 9-11. Muro pantalla aligerado

9.1.5.1. Elementos constructivos

Este tipo de muro esta formado por una placa alveolar anclada a una zapata, la cual puede ser:

- Pantalla aligerada, de menor dimensión, unida al alzado mediante una pieza prefabricada con forma triangular.
- Formada por piezas prefabricadas.
- Realizada "in situ".

La cara vista puede tener diferentes acabados, de forma similar a lo que sucedía para los de pantalla prefabricada y zapata "in situ", según el entorno en que se encuentre el muro.

La máxima altura que se puede llegar alcanzar con este tipo de muro oscila los siete metros. La anchura de las piezas esta condicionada por las limitaciones del transporte.

9.1.5.2. Drenaje

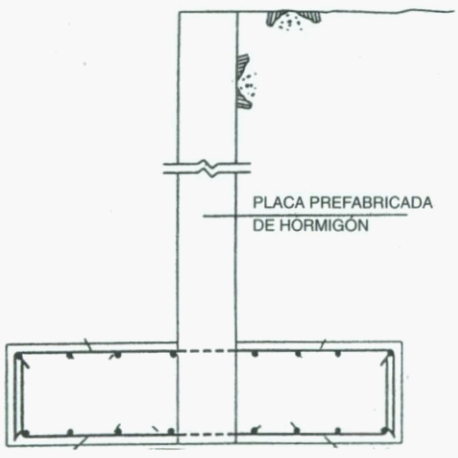
El drenaje habitual en este tipo de muro se realiza a través de las juntas situadas entre pantallas consecutivas, existiendo, normalmente, unas piezas de plástico ranuradas que permiten el drenaje del muro impidiendo la salida de finos del trasdós.

Este también se puede realizar con la ayuda de unos tubos de drenaje, situados en el pie del trasdós a lo largo de todo el muro.

9.1.5.3. Sistema constructivo

El proceso de montaje es el siguiente:

1. Realización de la excavación necesaria para el montaje de la zapata.
2. Vertido del hormigón pobre de limpieza en la zona de apoyo de las placas, utilizado para la nivelación del muro.
3. Colocación de las placas sobre la superficie de apoyo o la pieza prefabricada, que está a modo de zapata, mediante la ayuda de una grúa. Para mantener la verticalidad se utiliza la ayuda de puntales.
4. Montaje de la zapata cuando sea necesario.



5. Montaje del zuncho cuando exista
6. Relleno y compactación del trasdós.

9.1.5.4. Análisis estructural

Para casos especiales, cuando existe alguna posibilidad de que se produzca agotamiento por cortante, se

suele macizar algún alvéolo o introducir armadura pasiva, evitándose así este agotamiento.

Las condiciones e hipótesis de cálculo son muy similares a las empleadas en las tipologías anteriores.

9.2. Muros prefabricados de gravedad

Se entiende por muro prefabricado de gravedad aquel formado por elementos prefabricados, que es estable por su propio peso, sin que existan esfuerzos de tracción en alguno de sus elementos.

Los muros de gravedad construidos mediante unidades prefabricadas pueden ser de módulos huecos o de bloques macizos. Sus funciones van a ser tanto de recubrimiento como de sostenimiento o contención de tierras.

La anchura de la solera de base es variable, dependiendo de la altura de muro y de las condiciones de terreno.

9.2.1. *Muros de módulos prefabricados verdes*

Se define muro de módulos prefabricados verdes aquel muro formado por piezas prefabricadas huecas que se van encajando unas con otras rellenando posteriormente su interior con tierra.



Fig. 9-12. Muro de módulos prefabricados verdes (EVERGREEN)

Este tipo de muro admite el cultivo de flores y plantas reduciendo de este modo el impacto visual provocado por el muro. El aspecto final que se obtiene es el de una combinación de superficies lisas de hormigón y vegetación.

9.2.1.1. *Elementos constructivos*

Los elementos de que compone este tipo de muro son: piezas prefabricadas y material de relleno.

Piezas prefabricadas

Son elementos prefabricados de hormigón armado de longitud y anchura diferentes, según las ne-

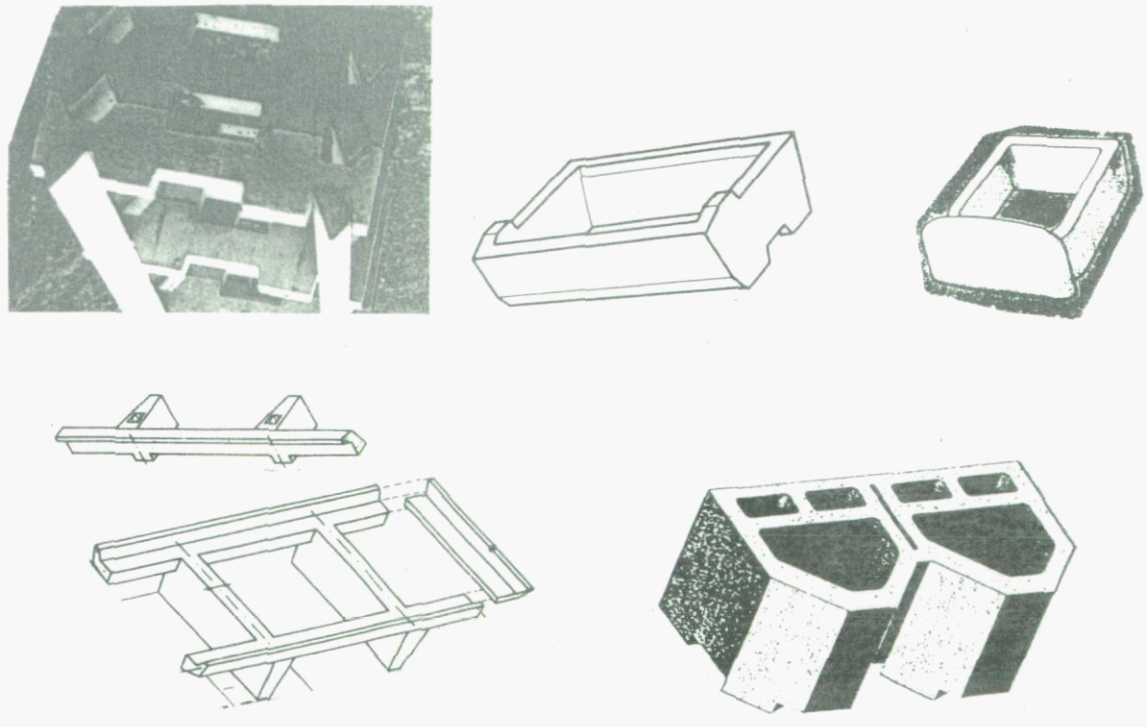


Fig. 9-13. Piezas prefabricadas

cesidades del muro. Las formas de estas piezas son variables dependiendo del sistema comercial empleado.

La altura máxima aconsejable para este tipo de muro oscila entre los veinte y los veinticuatro metros.

Material de relleno

Se distinguen dos tipos de material función de su ubicación final en el muro.

El relleno empleado en el trasdós, situado entre la línea de excavación y las piezas prefabricadas, esta formado por material filtrante.

Los elementos prefabricados se rellenan de tierra vegetal y/o material filtrante, utilizándose la primera de base para el crecimiento de la vegetación.

9.2.1.2. *Drenaje*

El drenaje del muro se realiza de dos formas posibles:

— A través del propio paramento o las juntas existentes entre los bloques que configuran el muro.
— A través una tubería porosa situada en el trasdós, al pie del muro. Esta tubería se coloca con una cierta pendiente, facilitando así la conducción del agua recogida a unas arquetas, espaciadas a lo largo del muro, encargadas de evacuarlo al exterior del muro.

9.2.1.3. *Sistema constructivo*

El proceso de montaje del muro es el siguiente:

1. Descarga y almacenamiento de las piezas.

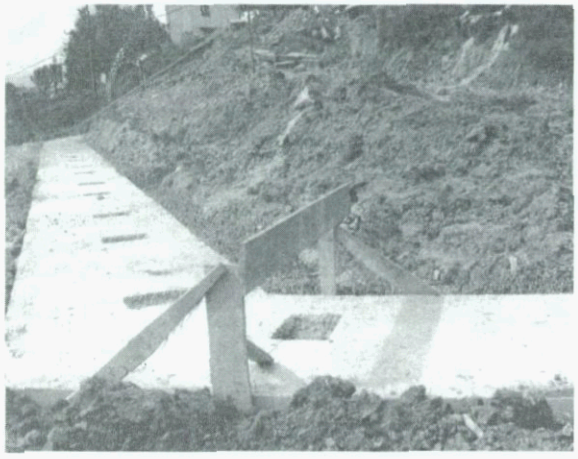
— Cuando el tamaño de la pieza sea grande, será conveniente que su almacenamiento se realice en un sitio próximo al lugar de su ubicación final, para: evitar daños en las mismas como consecuencia de su manipulación; y la aparición de tensiones originadas por el desplazamiento de la pieza suspendida a lo largo de la obra.

2. Excavación y ejecución de la zapata "in situ". El diseño de la cimentación se realiza en función de los parámetros geotécnicos de los materiales, la geometría del muro y sobrecargas adoptadas.

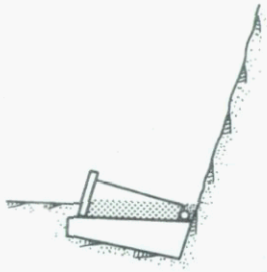
— La cimentación puede ser:

- Corrida a lo largo del muro, realizada normalmente sobre terreno no rocoso.
- Sobre zapatas aisladas, apoyadas en rocas.

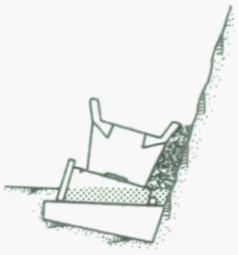




3. Sobre las zapatas se colocarán las piezas base prefabricadas, en caso de existir, correctamente alineadas y niveladas. Estas pueden ser recibidas con hormigón entre sí y con la zapata. Posteriormente, se colocará el sistema de drenaje.





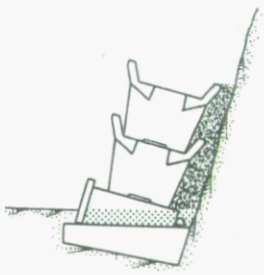






4. Montaje de las sucesivas hiladas del muro. Las piezas pueden ser descargadas, mediante una grúa o manualmente (dependiendo del tamaño de las piezas).

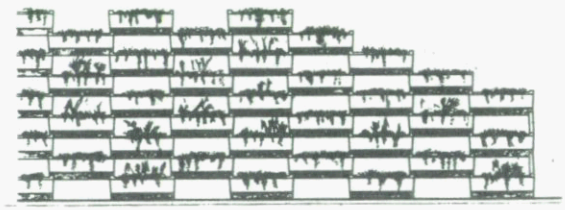
— Cada hilada se va nivelando y asentando sobre la anterior empleando mortero, ayudado por la existencia en las piezas de unas muescas. En otros casos, las piezas se pueden ir encajando entre ellas a modo de "lego".
— Una vez colocada la primera hilada se procede al relleno y compactación, primero, de su interior y posteriormente de su trasdós.
— La operación se repite con las hiladas sucesivas, una por una, rellenando y compactando su interior y su trasdós antes de montar la siguiente, hasta completar la altura final del muro.





5. Remate y vegetalización. Una vez concluida la construcción del muro se procede a realizar el perfilado de las tierras de coronación, mejorando así la estabilidad del muro.

— También se procede al relleno del frente del muro con tierra vegetal, en caso de no haberlo hecho durante el montaje de las piezas, para su posterior vegetalización.



9.2.1.4. Análisis estructural

En el cálculo del muro se debe analizar:

— Estabilidad a vuelco y deslizamiento. En el cálculo de empujes se suele aplicar la teoría de Coulomb, determinando el resto de la fuerzas actuantes por equilibrio estático al tratarse de un muro de gravedad.

— Seguridad al hundimiento de la cimentación. Se calcula la carga de hundimiento y las tensiones resultantes por la teoría de Brinch-Hansen ó mediante el método de la tensiones.

— Diseño estructural y armado de la cimentación. Los esfuerzos producidos en cada pieza se calculan estáticamente, comparándolos posteriormente con los admisibles.

— Los parámetros geotécnicos (cohesión, peso específico y rozamiento interno) del relleno y del terreno del trasdós, al igual que para el terreno de cimentación, serán conocidos o supuestos de acuerdo con las teorías anteriores.



Fig. 9-14. Muro de bloques macizos

9.2.2. *Muros de bloques macizos*

Son muros de bloques macizos de hormigón encajados entre sí.

9.2.2.1. Elementos constructivos

Existen en el mercado una amplia tipología de bloques utilizados en la construcción de muros. Todos ellos tienen distintas dimensiones, pesos y resistencias, dependiendo del fabricante.

El manejo de estos bloques se realiza habitualmente de forma manual, sin requerir medio auxiliar alguno, debido a las pequeñas dimensiones y pesos.

Estos muros estructuralmente pueden ser macizos o abiertos. Los últimos dejan huecos libres, para normalmente, permitir el crecimiento de vegetación, pero así mismo supone una limitación para la altura que puede alcanzar el muro.

La máxima altura aconsejable que se puede alcanzar con un muro de este tipo, sin existir ningún tipo de refuerzo y dependiendo de la densidad de ajardinamiento de la cara vista, no supera los tres metros, para el caso de obra continua.

El relleno esta formado por un material filtrante.

Sobre la superficie de excavación puede instalarse una malla geotextil que ayude en el drenaje.

9.2.2.2. Drenaje

El drenaje es similar al de los muros de módulos prefabricados verdes.

9.2.2.3. Sistema constructivo

Se pueden encontrar distintos modos constructivos dependiendo del sistema de trabazón entre bloques: en seco, encajados y sin juntas de mortero; o unidos mediante mortero.

Las fases constructivas son:

1. Excavación de la cimentación de para el muro, realizando posteriormente el vertido del hormigón.

2. Sobre el cimiento de hormigón se asienta la primera hilada de bloques. Se debe garantizar la correcta inclinación de esta hilada, para asegurar la pendiente del muro.

   — Esta primera hilada será siempre continua (sin huecos para la vegetación), colocándose estos bloques con mortero de hormigón sobre el cimiento con la inclinación precisa.

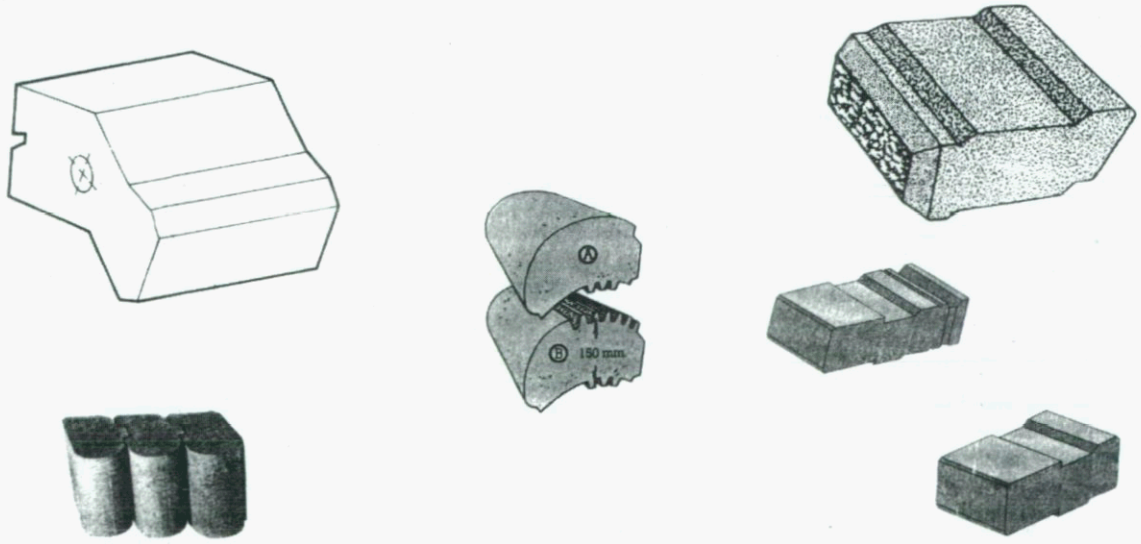
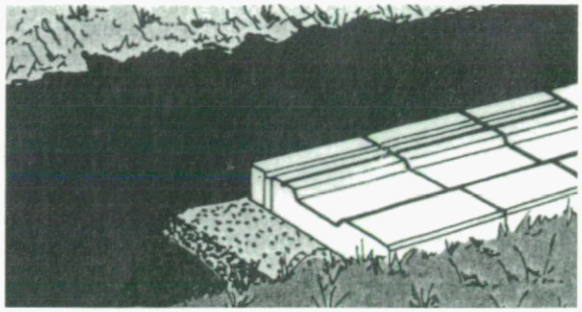
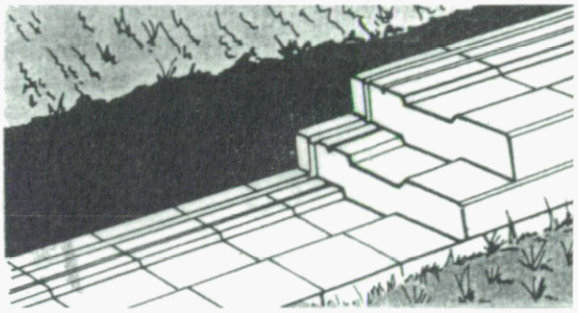
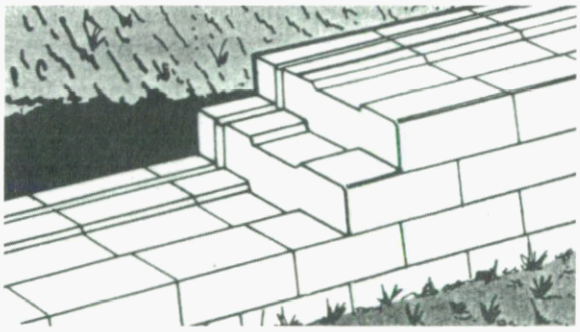


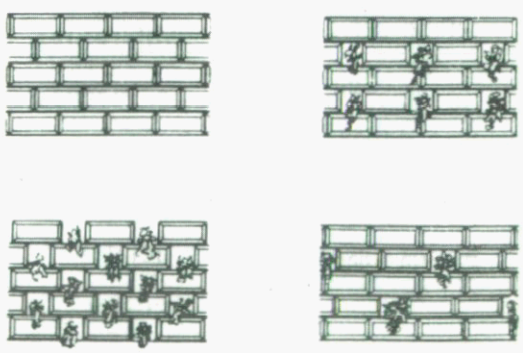
Fig. 9-15. Bloques



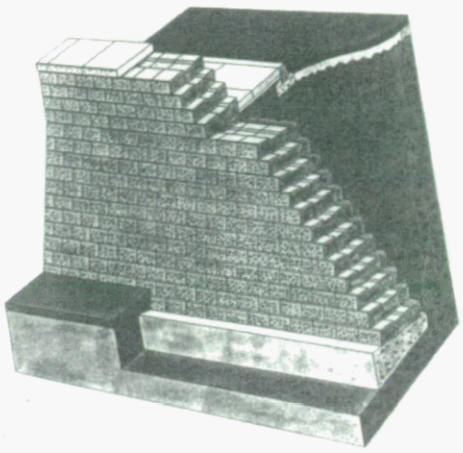


3. Colocación de las sucesivas hiladas. se va levantado el muro en toda su altura, dando al paramento visto distintas densidades de ajardinamiento (dependiendo del tamaño de los huecos que existan).





— A medida que va subiendo se rellena y compacta, por tongadas, el trasdós



9.2.2.4. Análisis estructural

Para asegurar la estabilidad de la obra se debe realizar un cálculo estático del muro similar al de los muros de módulos prefabricados verdes.

9.3. Muros de bloques prefabricados de hormigón

Son muros realizados mediante la superposición de bloques abiertos, no macizos, unidos entre sí por un mortero de cemento.

Su uso se limita normalmente a muros pequeños y medianos. En algunos casos puede ser necesario armarlos interiormente con barras de acero y hormigón, y unirse mediante armaduras de espera a la zapata para resistir los momentos que se pueden dar en esta unión, en estos casos los huecos se rellenan con mortero.

Es un muro completamente vertical.

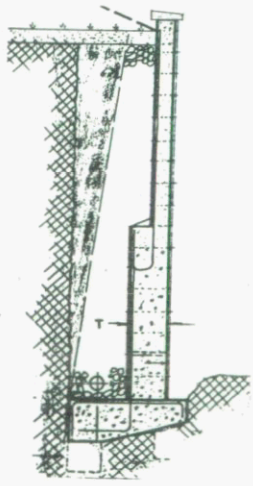


Fig. 9-16. Muro de bloques prefabricados de hormigón

9.3.1. *Elementos constructivos*

Este muro esta formado por bloques prefabricados de hormigón con pesos, formas y dimensiones geométricas variables según las necesidades.

La altura máxima de este tipo de muro depende la existencia, o no, de un refuerzo interno de los bloques. En una situación favorable puede oscilar entorno a los tres metros.

La cara vista del bloque puede ser lisa, tosca o con formas geométricas.

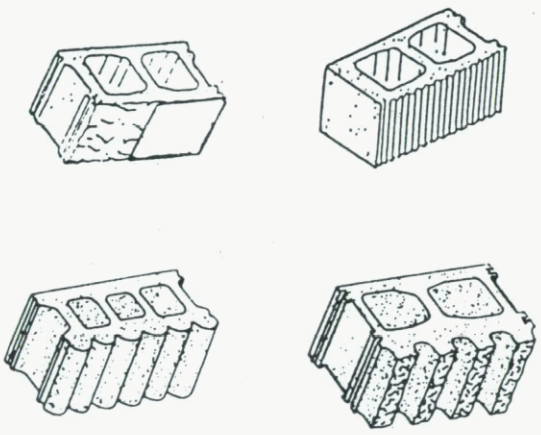


Fig. 9-17. Bloques

El material de relleno del trasdós debe ser filtrante.

9.3.2. *Drenaje*

El drenaje del muro se realizar de dos formas:
- — A través de mechinales en el muro.
- — Mediante una tubo de drenaje situado en la base del trasdós a lo largo de todo el muro. Este tubo tiene una pendiente, permitiendo así que el agua sea recogida en arquetas para su evacuación posterior.

9.3.3. *Sistema constructivo*

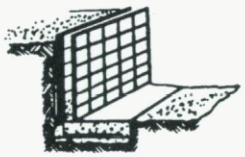
Las fase constructivas de un muro de bloques es:

1. Excavación y ejecución de la cimentación. En el caso de que el terreno bajo la cimentación tenga poca capacidad portante, se recomienda añadir una tongada de material granular, compactada, de unos diez o quince centímetros de espesor a lo largo de toda la cimentación.

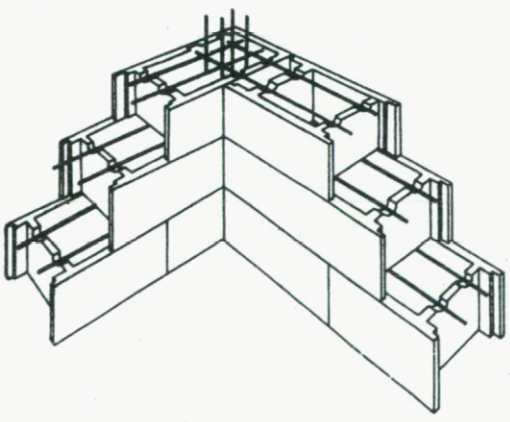


- — La cimentación puede ir armada, saliendo de ella unas armaduras de espera encargadas de recibir el muro.

2. Levantamiento del muro. Las primeras hiladas de bloques recogen interiormente la armadura de espera de la cimentación.
- — Los bloques se colocan secos, humedeciendo únicamente la superficie en contacto con el mortero de agarre, extendido sobre la superficie de asiento del bloque, de forma que las perforaciones de los bloques se correspondan en toda la altura del muro.
- — Si el drenaje se realiza mediante un tubo drenante, su instalación se realiza cuando estén montadas varias hiladas.
- — Durante el levantamiento se debe conservar los plomos y niveles para asegurar la verticalidad y nivel del paramento.



- — Para un buen acabado y aspecto del muro se repasan las juntas, eliminando las rebabas de mortero producidas por el asentamiento de los bloques.
- — Si los bloques se refuerzan en su interior con armadura, esta se dispondrá de la siguiente forma: la horizontal ira situada en cada hilada; y la ver-



tical recogerá varias hiladas. El refuerzo se completa rellenando el hueco interior de los bloques de hormigón.
— El material de relleno se va añadiendo a medida que sube el muro, compactándose por tongadas.
— Estas operaciones se repiten hasta completar el muro.



9.3.4. *Análisis estructural*

Los cálculos estáticos en esta tipología son similares a los empleados en los muros prefabricados de gravedad. Este cálculo permite asegurar la estabilidad del muro.

9.4. *Muros de tierra reforzada*

Se definen como los muros construidos mediante tongadas de material de relleno, colocándose entre éstas elementos que arman el mismo, estando su paramento exterior formado por elementos prefabricados de hormigón.

La combinación de las distintas piezas prefabricadas junto con la tierra compactada y las armaduras refuerzo dan como resultado un sistema estructuralmente resistente y estable debido a su gran peso propio.

Según este realizado el paramento exterior se clasifican en: muro celular verde, muro de bloques aligerados, muro de bloques macizos, muro jardinera y muro de escamas prefabricadas de hormigón.

Las principales características de este tipo de muro se pueden encontrar en su sistema constructivo, el cual requiere una compactación por tongadas con la posterior colocación, en el trasdós, de unos elementos de refuerzo. La tendencia actual es sustituir estos anclajes, que anteriormente eran de acero galvanizado, por geotextiles y geosintéticos. Independientemente del terreno a reforzar y dependiendo de la tipología de muro empleada, se pueden llegar a alcanzar, excepcionalmente, alturas del orden de veinte a treinta metros.

Estos muros pueden estar construidos con bermas, de forma escalonada.

La ocupación requerida por estos muros, que va a depender de las características geotécnicas del relleno, es muy superior a la que necesitan los muros de pantalla y contrafuerte. El principal uso de estos muros son los de sostenimiento o contención de tierras.

9.4.1. *Muro celular verde*

Son muros de piezas prefabricadas, con forma de celdas, constituyendo una estructura celular de contención, reforzándose el trasdós o relleno mediante un geotextil.

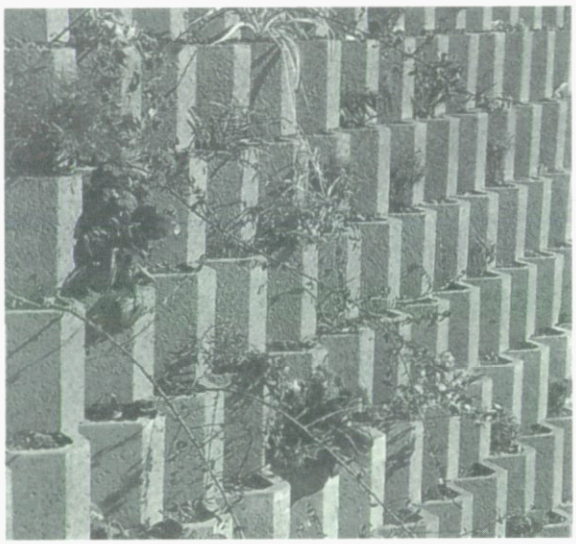


Fig. 9-18. Muro celular verde (BETOATLAS)

9.4.1.1. *Elementos constructivos*

Este tipo de muro esta constituido por bloques, con alvéolos, prefabricados de hormigón con peso, forma y dimensiones geométricas variables.

Estas piezas se encajan entre sí gracias a unas muescas o ranuras dispuestas a tal modo. El montaje entre ellas se realiza normalmente en seco, es decir, sin necesidad de mortero.

Como refuerzo se emplea un geotextil colocado horizontalmente sobre el relleno del trasdós y trabado al muro con un solape entre las piezas que lo componen.

El del relleno del trasdós esta formado por material filtrante que ayude al drenaje de las aguas que a él llegan. En los alvéolos del bloque se introduce tierra vegetal que sirve de soporte para el posterior crecimiento de vegetación.

Este sistema formará muros de contención con alturas superiores a los diez metros, capaz de soportar empujes importantes de tierras.

9.4.1.2. Drenaje

El drenaje del muro se produce de dos maneras:
— A través de las juntas existentes entre los bloques que constituyen el muro, gracias a que la unión entre ellos no lleva mortero alguno.
— Mediante un tubo de drenaje colocado a lo largo y al pie del trasdós del muro, conduciéndolo a unas arquetas desde las cuales, posteriormente, se realiza su evacuación hacia el exterior del muro.

La evacuación de las aguas que confluyen al muro evitará la formación de bolsas de agua que perjudiquen a la estabilidad del muro.

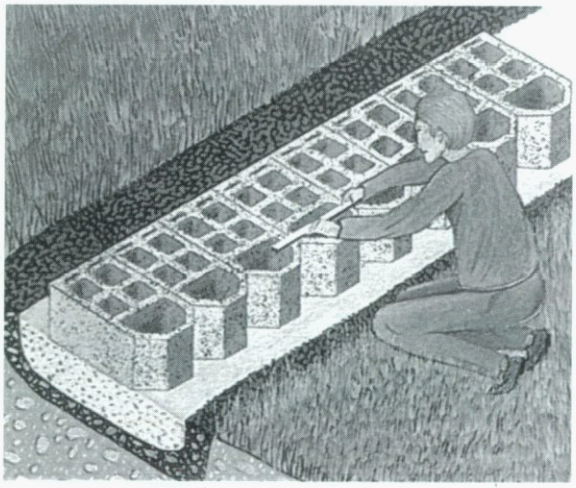
Para mejorar el drenaje se puede instalar un geotextil sobre la superficie de excavación del terraplén o talud.

9.4.1.3. Sistema constructivo

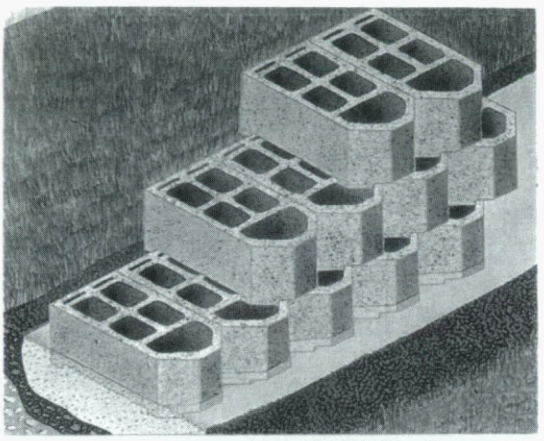
Las fases de montaje del muro son:

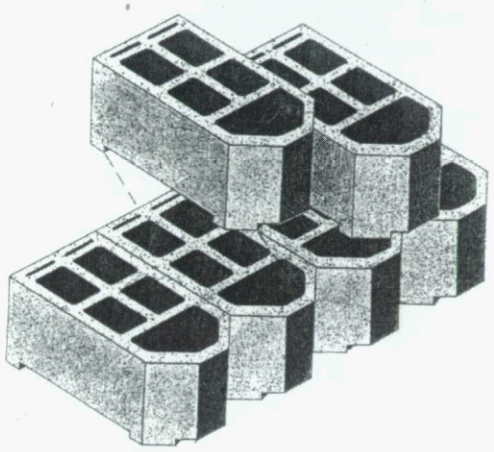
1. Preparación de la cimentación. Se excava la zanja necesaria para la cimentación, vertiendo posteriormente el hormigón.

2. Colocación de los bloques. Esta se puede hacer de forma manual debido al poco peso de éstos.

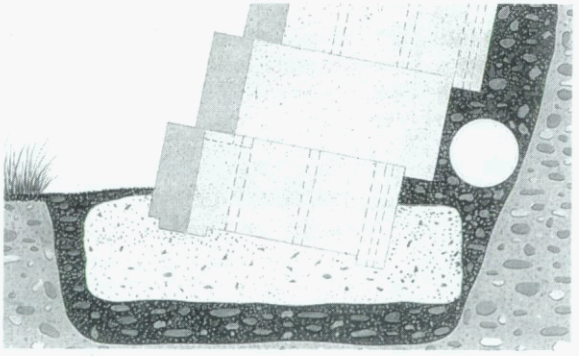


— La primera fila de bloques se fija sobre la cimentación rellenando sus alvéolos de hormigón. Esta fila, al igual que el resto de hiladas, debe quedar correctamente nivelada y alineada, pues cualquier error o irregularidad se mantendrá durante la toda la construcción del muro.
— Las piezas van ensambladas unas sobre otras, retranqueando estas con respecto al nivel inferior, hasta alcanzar la altura de muro deseada. No se obtiene una verticalidad total.

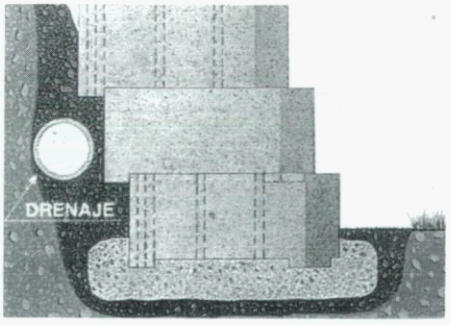




— Se puede variar la pendiente del talud inclinando los bloque, en la base, el ángulo que sea preciso.



— El tubo de drenaje se sitúa en la parte baja del muro.

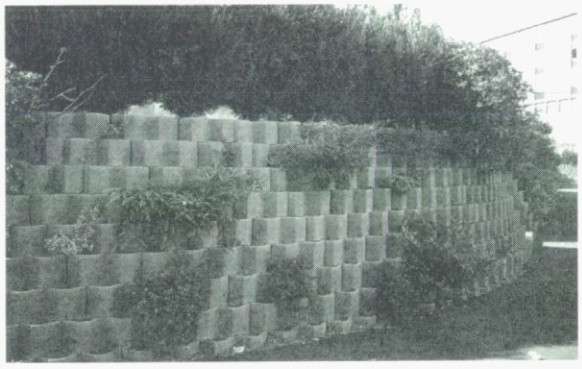


— Al tiempo que sube el muro se puede ir rellenando de tierra vegetal los alvéolos de los bloques.

3. Relleno y compactación. El material de relleno se aplica y compacta por tongadas. Sobre este, y antes de aplicar la siguiente tongada, se sitúa el geotextil de refuerzo, unido al muro mediante trabazón entre las piezas que lo constituyen.

— Esta operación y la anterior se repite hasta el acabado final del muro.

4. Perfilado y vegetalización. Concluido el muro se perfilarán las tierras de coronación mejorando la estabilidad de este. Del mismo modo, se procede al relleno de los alvéolos con tierra vegetal para facilitar el crecimiento de la vegetación, esta introduce una fijación adicional.



9.4.1.4. *Análisis estructural*

Para asegurar la estabilidad de la obra se debe realizar un cálculo estático del muro. Este análisis se lleva acabo de forma similar al realizado en los muros de módulos prefabricados verdes, comprobándose la estabilidad externa (cálculo de empujes, presión sobre la cimentación, deslizamiento y vuelco del muro) e interna (tensiones y deslizamiento de la armadura).

9.4.2. *Muros de bloques aligerados*

Son muros cuyo paramento exterior está formado por bloques aligerados prefabricados de hormigón unidos entre sí mediante pernos, sin cama de mortero, y de donde parte el refuerzo del terreno mediante un geotextil.

Estas unidades celulares no llevan vegetación en el paramento exterior.

9.4.2.1. *Elementos constructivos*

Los elementos que componen este muro, son bloques o unidades, con huecos, prefabricadas de hormigón con formas, pesos y dimensiones geométricas variables. Estas van arriostradas, sin mortero, entre sí gracias a la propia geometría de la pieza o a la ayuda de otros elementos auxiliares (pernos, etc.) .

El relleno del trasdós debe estar formado por material con un buen drenaje (piedra o grava machacada), no debiéndose utilizar arcillas ni tierras orgánicas debido a su alta retención de agua.

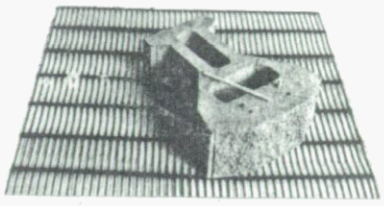


Fig. 9-19. Elementos constructivos (KEYSTONE)

El refuerzo empleado es, habitualmente, un poliéster de alta densidad con forma de malla reticular. Este se extiende horizontalmente sobre el relleno trabándose a las piezas que componen el muro. Un vez realizada la compactación, el conjunto refuerzo-terreno compactado forma el sistema estructural sólido y resistente.

Las cantidades empleadas de refuerzo dependen en cada situación de[4]

— Altura de muro y terraplén.
— Propiedades resistentes del geotextil de refuerzo.
— Empuje del terreno (esfuerzo cortante).
— Cargas hidrostáticas.
— Sobrecargas y pendientes.

Se pueden llegar a alcanzar alturas máximas de doce metros.

9.4.2.2. *Drenaje*

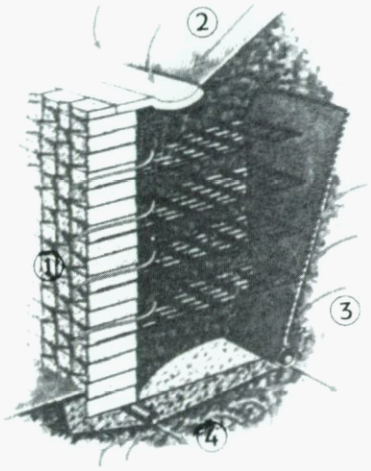
Un mal drenaje tiene como consecuencia la acumulación de presión hidrostática, originando una fuerza desequilibrante en el terreno reforzado.

El sistema de drenaje normalmente empleado, similar al de la mayoría de las tipologías de muros anteriormente mencionadas, consiste en la evacuación del agua a través de:

— Las juntas situadas entre las piezas.
— Tubo de drenaje situado al pie del trasdós y a lo largo de todo el muro, que conduce al agua a unas arquetas de evacuación.

[4] Para el material de refuerzo "GEORED".

Otro modo de realizar el drenaje, empleado por algunos fabricantes, consta de cuatro medidas: 1) a través de las juntas de las unidades que componen el muro; 2) mediante unas canaletas situadas en coronación que conducen el agua superficial hacia unas vertientes, siempre que esto sea posible; 3) empleo de un tubo de drenaje en la sub-base que evite la entrada de agua al terreno reforzado; 4) mediante la colócación de un tubo de drenaje por debajo de la sub-base en la zona de tierra reforzada.

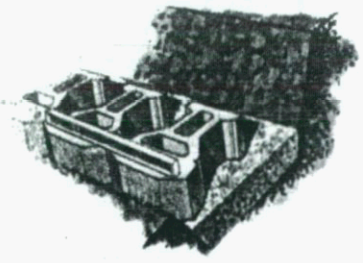


9.4.2.3. Sistema constructivo

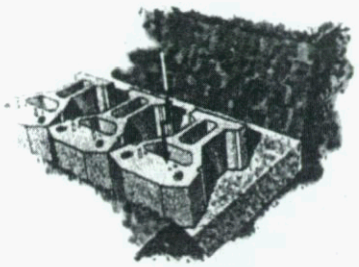
Las etapas constructivas del muro son:

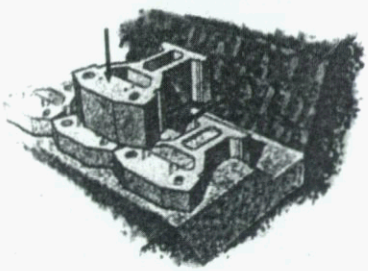
1. Excavación de la sub-base o cimentación y del área de terreno a reforzar (dependiente de la longitud de refuerzo que se va necesitar).
   — Una vez excavada la cimentación se debe verter una base de relleno granular de drenaje o de hormigón. En cualquier caso, esta se debe nivelar.

2. Colocación de las primeras hiladas de piezas.
   — La primera hilada se debe fijar a la cimentación asegurándose una correcta nivelación, cualquier error se arrastrara hasta el final.



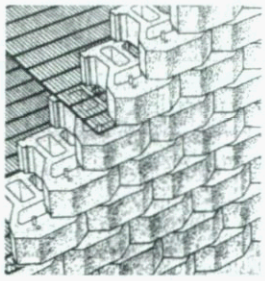
   — La colocación de las piezas se puede realizar de forma manual gracias al peso, relativamente pequeño, de estas piezas.
   — Las piezas se irán encajando unas con otras, ya sea mediante trabazón o usando elementos auxiliares (pernos, etc). Se pueden obtener muros, según las necesidades y el bloque empleado, con o sin inclinación del paramento exterior.

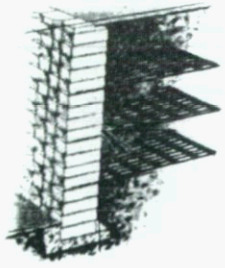




3. Vertido y compactación del relleno. Se produce el relleno tanto del trasdós como de los orificios interiores o alvéolos de las propias piezas.
   — El relleno y compactación del trasdós se realiza por tongadas. La compactación evitará posteriores asentamientos del relleno.
   — Para la compactación se emplean maquinaria ligera (placas de vibración o rodillos ligeros).

4. Colocación del refuerzo.
   — Se corta la longitud necesaria de geotextil, extendiéndose desde el muro hacia el terraplén. En el muro este ira trabado o enganchado a través de elementos auxiliares a las piezas que lo componen. Se debe asegurar que este geotextil se encuentre perfectamente extirpado.





5. Repetición de los últimos tres pasos (colocación de las sucesivas hiladas de bloques, vertido y compactación del relleno y colocación de refuerzo) hasta completar el muro.

9.4.2.4. *Análisis estructural*

En el diseño de un muro de este tipo se deben analizar y verificar:

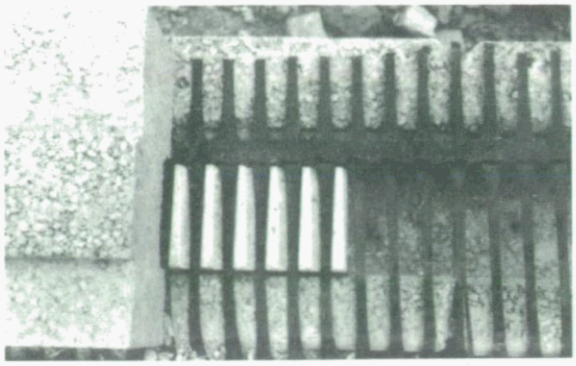
- Los parámetros geotécnicos (cohesión, peso específico y rozamiento interno) del relleno y del terreno del trasdós, al igual que para el terreno de cimentación, serán conocidos o supuestos de acuerdo con las teorías anteriores.
- Estabilidad externa. Los fallos más comunes en un muro de contención son: vuelco, deslizamiento, estabilidad global y carga admisible. Es por ello que se deben analizar y aplicar los coeficientes de seguridad necesarios que eviten su aparición.
- Estabilidad interna. Para determinar los tres factores de equilibrio interno entre las capas de material de refuerzo (adherencia, resistencia a la tracción y fatiga) se debe conocer de este la: duración del material, capacidad de adherencia al terreno y resistencia de diseño.

9.4.3. *Muros de bloques macizos*

Se define como muros cuyo paramento exterior está formado por bloques macizos de hormigón prefabricado, colocados en seco, estando el terreno de relleno del trasdós reforzado con láminas de geotextil.

Las características (drenaje, constructivas, etc.) y propiedades de este tipo de muro son similares a las de los muros de bloques aligerados





Algunos fabricantes ofrecen la posibilidad de obtener un muro abierto de bloques, es decir, con huecos en donde crece la vegetación. Esto origina en el muro una reducción de los esfuerzos capaces de resistir, así como una disminución de la altura máxima de muro que se pueda llegar a obtener.

En el caso de muros cerrados, sin huecos, la altura máxima de puede llegar a los seis metros, en este caso la anchura de refuerzo necesaria sería de unos tres metros.

9.4.4. *Muros jardinera*

Son muros cuyo paramento exterior está compuesto por módulos prefabricados de hormigón a modo de jardinera.

El muro tiene una flexibilidad que le permite adaptarse a los asientos diferenciales que puedan producirse.

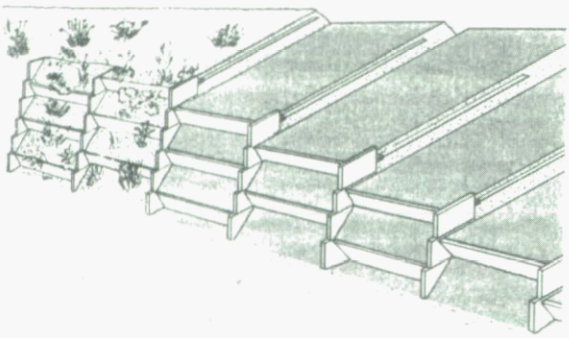


Fig. 9-20. Muro jardinera (PRETASA).

9.4.4.1. *Elementos constructivos*

Los módulos que forman este tipo de muro son diferentes según el fabricante, pero se distinguen dos tipologías principales:

— La formada por:

- Elemento modular de hormigón armado con sección en forma de "L".
- Pieza de anclaje de hormigón armado con forma en cuña semicircular.
- Correas de anclaje fabricadas con poliéster de alto módulo o acero galvanizado encargadas de unir las dos piezas anteriormente mencionadas. Estas deben estar tratadas contra el ataque de microorganismos y agentes químicos, además de ser anticorrosivas.
- Material de relleno.

— Y la constituida por:

- Piezas verticales a las que se anclan las armaduras utilizando tornillos de alta resistencia (1).
- Pieza horizontal inclinada que soporta la vegetación (2).
- Armaduras que absorben las tensiones por rozamiento. Estas son de acero galvanizado y longitud variable según cálculo (3).
- Material de relleno (4).

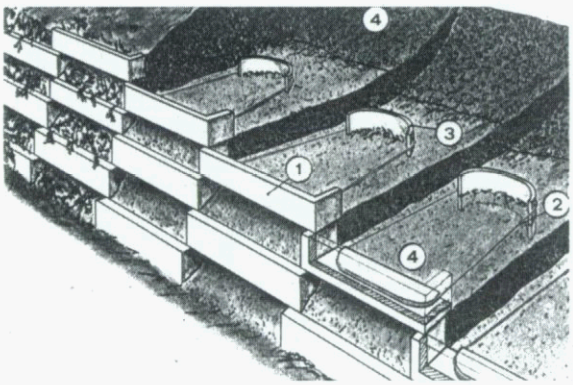


Fig. 9-21. Muro jardinera (NEW-FORTE)

La altura máxima aconsejable a la que pueden llegar es unos quince metros.

9.4.4.2. Drenaje

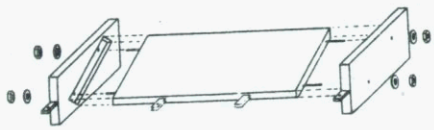
El drenaje de este muro se realiza:

— A través del propio paramento o las juntas existentes entre los bloques que configuran el muro.
— A través una tubería porosa situada en el trasdós, al pie del muro. Esta tubería se coloca con una cierta pendiente, facilitando así la conducción del agua recogida a unas arquetas, espaciadas a lo largo del muro, encargadas de evacuarlo al exterior del muro.

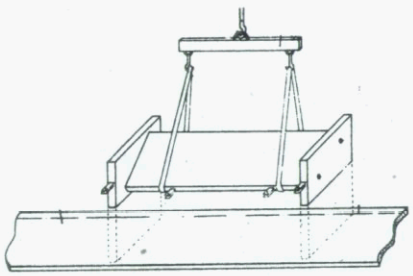
9.4.4.3. Sistema constructivo

Las fases de construcción del muro son:

1. Preparación o excavación de la superficie de ocupación en planta.
2. Instalación de la base de nivelación. Este muro no va a necesitar una cimentación, siendo necesario una solera lisa de nivelación que sirve de apoyo y montaje de la primera fila.
3. Montaje de los elementos. Para el montaje del muro es suficiente la utilización de maquinaria ligera.



— En la primera tipología el montaje de los elementos se realiza de forma individual. En las superficies de apoyo se sitúan bandas flexibles que eviten el daño de los elementos de hormigón debidos a las altas tensiones que se originan en el periodo de asentamiento.

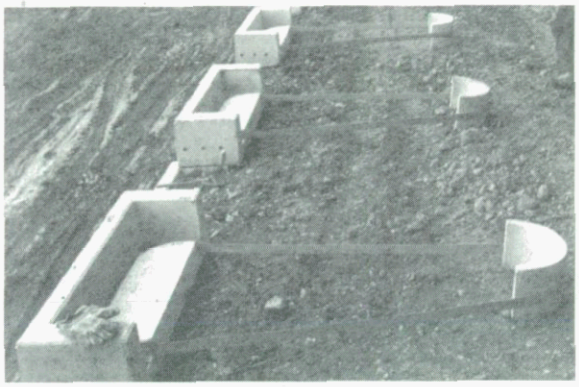




— La segunda, las piezas de hormigón se instalan ya unidas, montando posteriormente las armaduras. También irán provistas de unos tacos elásticos que eviten el daño de las piezas. El montaje se realiza con la ayuda de unos gatos de sujeción.

— Las uniones entre los módulos no necesitarán mortero, es decir, son uniones secas.
— Las hiladas se irán montando con un retranqueo respecto a la anterior, no pudiéndose obtener la verticalidad total del muro.

4. Vertido y compactación del relleno. El material de relleno se va aportando por tongadas, mientras se unen los diferentes elementos.





— La compactación se realiza con maquinaria ligera (rodillos ligeros o placas vibrantes).

5. Perfilado y vegetalización de muro. Una vez finalizado el muro se rematarán las tierras de coronación del muro para mejorar la estabilidad.
— La vegetalización final permite una adecuada adaptación al paisaje, reduciéndose el impacto visual.

9.4.4.4. *Análisis estructural*

Las presiones horizontales que produce el material de relleno son transmitidas y distribuidas por las correas de anclaje o armaduras a los elementos de hormigón.

Para asegurar la estabilidad del muro se debe realizar un cálculo estático del mismo, verificándose la estabilidad externa (cálculo de empujes, presión sobre la cimentación, deslizamiento y vuelco del muro) e interna (tensiones y deslizamiento de la armadura).

9.4.5. *Muros de escamas prefabricadas de hormigón*

Se le define como el muro cuyo paramento exterior está constituido por unas escamas prefabricadas de hormigón, que encajonadas unas con otras, forman una superficie vertical y continua, que va unida a las armaduras de refuerzo.

El muro de tierra reforzada se puede adaptar a pequeños asentamientos que sufra el terreno; esto es debido a que cada escama del muro se comporta individualmente, siendo capaz de moverse ligeramente sin que se produzcan tensiones en las juntas de las escamas adyacentes.

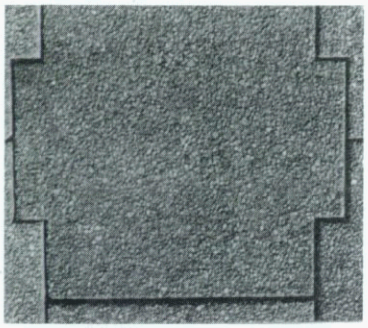
A este tipo de muro se le conoce tradicionalmente como " Muro de tierra armada".

Actualmente se están utilizando nuevos tipos de materiales de refuerzo, mucho más fáciles de manejar que las tradicionales tiras de acero. Estos nuevos productos, normalmente geotextiles, tienen propiedades resistentes contra la corrosión y son fáciles de transportar debido a su menor volumen y peso.

9.4.5.1. *Elementos constructivos*

Los componentes principales del muro son:

— PARAMENTO O ESCAMAS. El paramento exterior consiste en una repetición de un mismo diseño a lo largo de todo el muro.
  • Antiguamente este paramento estaba formado por elementos metálicos. Actualmente este diseño consiste, normalmente, en unas grandes escamas de hormigón, encajadas entre sí, de diferentes acabados y con dimensiones aproximadas a un metro cuadrado. Existe otros tipos de paramentos, como el formado por paneles de gran altura.
— ARMADURAS. Son unas bandas de acero galvanizado con sección y longitud variable según se determine en cada situación. Estas pueden ser lisas o con pequeños resaltes. Van unidas al paramento mediante la utilización de tornillos.
  • El tipo de armadura utilizada esta condicionada en cada caso por la ubicación y carácter del muro.





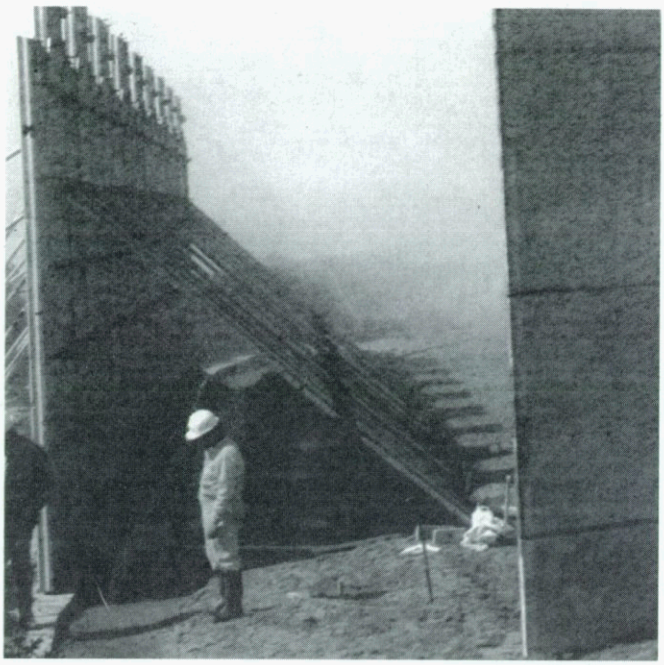


Fig. 9-22. Escamas

— RELLENO. Cuanto mayor sea el ángulo de rozamiento terreno-armadura mayor es el efecto de refuerzo para una densidad de armado dada. Esta es la causa por la que se utiliza relleno granular, el cual debe cumplir las siguientes especificaciones:

- **Mecánicas:**
  - — *Granulometría:*
    - Pasa menos del 15% por el tamiz de 80 micras (0,8 mm).
  - — *Sedimentometría:*
    - Pasa menos del 10% por el tamiz de 15 micras.
    - Pasa entre el 10 y el 20% por el tamiz de 15 micras. Siendo además, el ángulo de rozamiento interno no inferior a los 25°.
    - El material de relleno no debe contener ningún elemento superior a los 250 milímetros.
- **Electroquímicas** (importantes para conocer la posible corrosión de la armadura):
  - — *Resistencia eléctrica:*
    - En ambiente seco, igual o mayor de 1000 Ω cm.
    - En ambiente saturado, igual o mayor de 3000 Ω cm.
  - — *PH:*
    - situado entre $5 \leq ph \leq 10$.
  - — *Contenido en sales solubles:*
    - En ambiente seco, (Cl^-) Ω 200 mg/kg. y $(SO_4^{=}) \leq 1000$ mg/kg.
    - En ambiente saturado, $(Cl^-) \leq 100$ mg/kg. y $(SO_4^{=}) \leq 500$ mg/kg.
  - — *Contenido en sulfatos:*
    - En ambiente seco, menor o igual de 300 mg/kg.
    - En ambiente saturado, menor o igual de 100 mg/kg.
- **Criterios de puesta en obra.** La compacidad requerida en el relleno suele ser suficiente con la obtenida al verterlo y extenderlo en obra alcanza un comportamiento mecánico razonable, aun así se deben cumplir las prescripciones técnicas generales dadas por el Ministerio de Fomento para terraplenes y rellenos.

Las limitaciones pueden variar dependiendo de la ubicación del muro.

Puede alcanzar alturas de hasta treinta metros.

9.4.5.2. Drenaje

El drenaje es muy importante para evitar los empujes de agua que no se hayan considerado en cálculo del muro.

Este se realiza:

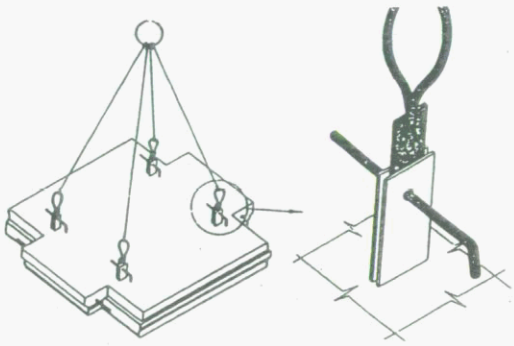
— A través de las uniones, horizontales y/o verticales, existentes entre las piezas que forman el paramento. En estas uniones existen unas juntas, que pueden ser de diferentes materiales (poliuretano, etc.), que evitan la perdida de finos del

trasdós. Del mismo modo, se evita manchar la cara vista del muro.

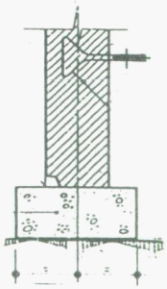
9.4.5.3. Sistema constructivo

El montaje del muro se realiza en las siguientes fases:

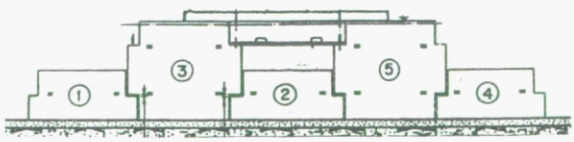
1. Preparación del terreno para el montaje del muro. Se requiere una gran superficie de excavación en planta, condicionada por la armadura de refuerzo.
2. Llegada y acopio de los materiales a la obra. La descarga y almacenamiento de las piezas del paramento y de las armaduras se debe realizar con precaución para evitar las deformaciones, que posteriormente pueden provocar fallos en el muro.



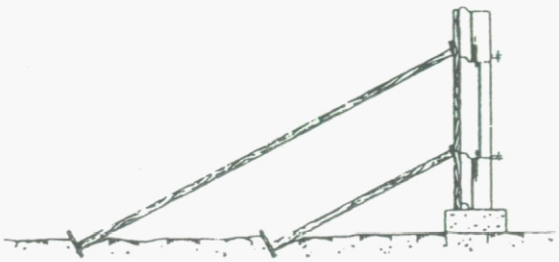
3. Excavación y colocación de la solera de reglaje o nivelación.



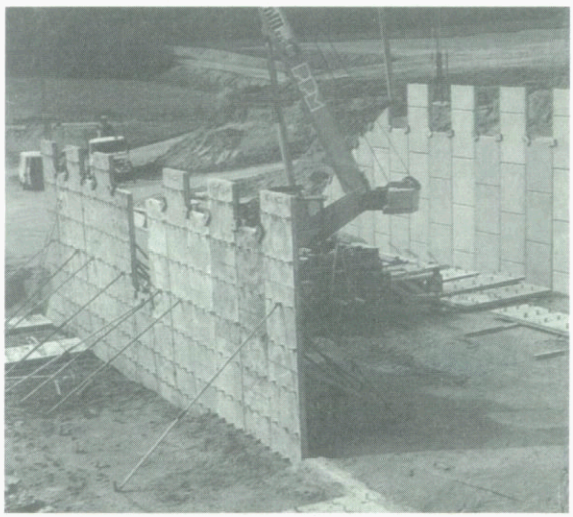
4. Colocación de la primera fila de escamas. Esta se apoya sobre la solera anteriormente montada. La instalación de las piezas se realiza con la ayuda de una grúa.



— Esta primera hilada es la única que requerirá un arriostramiento del paramento, procediendo posteriormente a colocar una capa de material de relleno, que se compacta, y una de armadura.



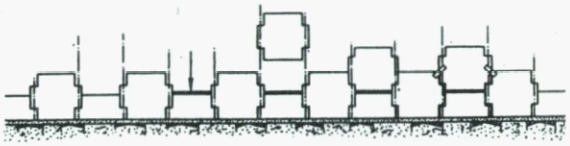
— La nivelación y replanteo es muy importante para evitar su influencia en el resto del muro.
— La armadura debe reposar sobre el relleno, comprobando que este bien enganchada al paramento.
— La longitud de las armaduras dependerá de la altura del muro y de las características del relleno.

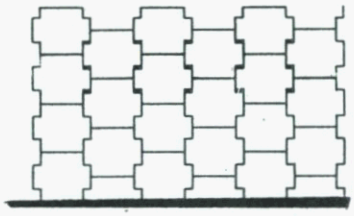




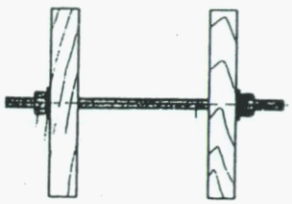
— En el caso que las piezas sean paneles, estos se arrostrarán y se ira colocando sucesivamente una capa de relleno, compactación de la misma, y otra de armadura. Repitiendo estos pasos sucesivamente en toda la altura del panel. Los paneles se sujetan temporalmente mediante gatos, que se retirarán a medida que se sube en el trasdós.

5. Colocación del resto de filas. Sucesivamente se irán colocando el resto de hiladas de piezas, capas de relleno y de armaduras. Antes de colocar la capa de armadura se compacta la tongada de relleno anterior.





— Las piezas que se van instalando se sujetan a las anteriores por medio de unos gatos e inmobilizándolas mediante cuñas, que evitan la descolocación de las piezas durante el montaje. Posteriormente, se retiran estos los elementos auxiliares, a medida que el muro va subiendo.



— La compactación en la zona cercana al paramento se realiza mediante compactadores ligeros.

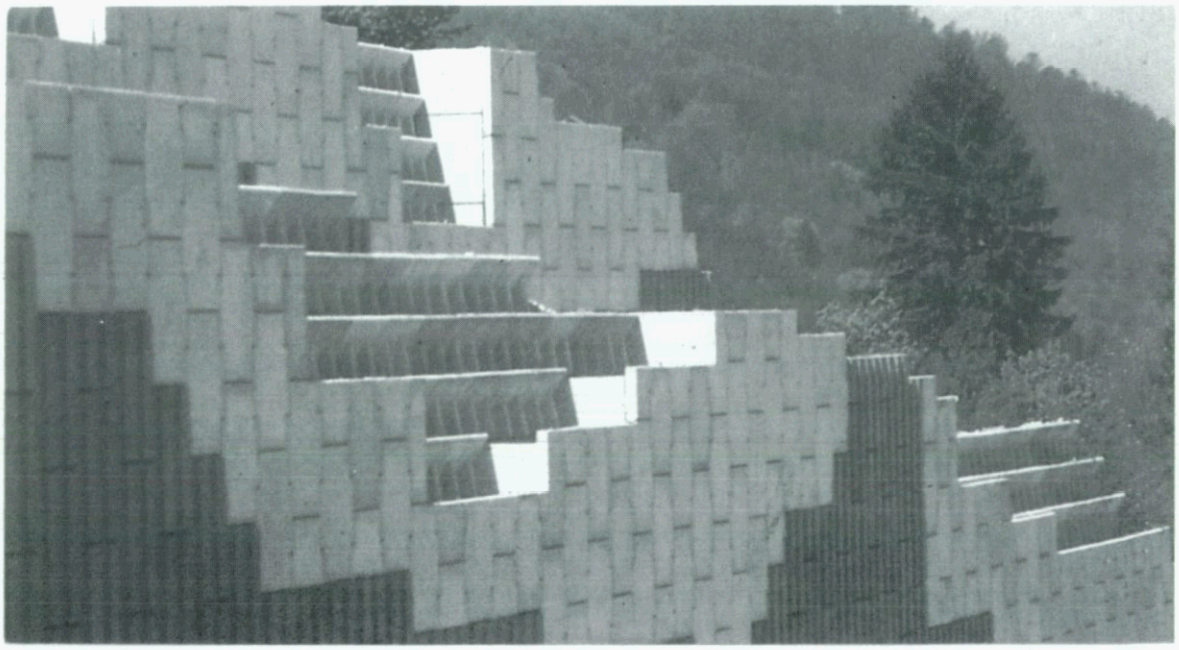
6. Perfilado del terreno de coronación. Opcionalmente, se puede colocar una imposta en la coronación del muro, que evitará que se ensucie la cara vista.

9.4.5.4. Análisis estructural

Las acciones a considerar son:

— *Permanentes:*
  - Peso propio (peso de los distintos elementos de la obra que actúan de forma permanente, tenga o no carácter resistente).
  - Empuje del terreno sobre el macizo de suelo reforzado. Para este cálculo se toma el macizo de tierra reforzado como un muro tradicional.

— *Variables:*
  - Sobrecargas de uso.
  - Acciones producidas por el agua.
  - Otras acciones (climatológicas (nieve, ...), etc.).



— *Accidentales:*
  • Choques.
  • Movimientos sísmicos.

Los coeficientes de mayoración que se adoptan son función de las situaciones de carga.

Para dimensionar estos muros, se deben hacer una serie de comprobaciones:

— Estabilidad general: al vuelco; al deslizamiento por la base; rotura general; y, tensiones en el cimiento.
— Estabilidad interna: rotura del refuerzo a tracción (puede producirse en el interior o en el frente del macizo reforzado, por las tensiones del terreno según el plano de refuerzo, por lo general horizontal); anclaje del refuerzo; y, deformaciones y esfuerzos admisibles del refuerzo.

Las formas de rotura más generales son: por inestabilidad general del terreno en el que se asienta el muro; rotural local por falta de capacidad portante del terreno local, por falta de capacidad portantes del terreno de cimentación; y, deslizamiento horizontal por exceso de inclinación de la resultante transmitida al terreno de cimentación. Otras formas específicas de rotura son: rotura de la armadura por exceso de tensión; deslizamiento entre armadura y relleno, por falta de longitud suficiente de armadura en la zona resistente; y, rotura local del paramento, por exceso de empujes de tierra.

10. Criterios de selección

En este capítulo se han abordado un estudio comparativo (costes, tipologías funcionales y acabados) entre distintos tipos de muros (tanto convencionales como prefabricados) que se pueden encontrar en la actualidad en el mercado.

10.1. Análisis de costes

El análisis se ha realizado solicitando a una serie de empresas fabricantes de distintas tipologías de muros un presupuesto para la realización de tres muros, todos ellos de veinte metros y de las siguientes alturas:

— H = 3 metros.
— H = 7 metros.
— H = 12 metros.

Se determinaron los siguientes datos o características de partida del muro, del terraplén, terreno de cimentación y material relleno (Figura 8.1):

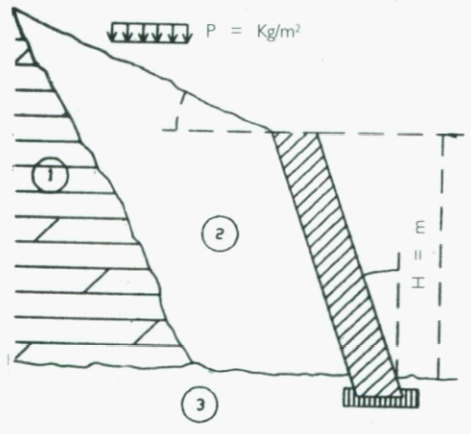


Fig. 10-1. Esquema del muro

— **Muro:**

- Longitud (L) ..... 20 metros
- Desfase ó pendiente del paramento ..... lo más vertical posible
- Pendiente del terreno de cimentación ..... 15°
- Sobrecarga (P) ..... 0 kg/m^2

— **Terraplén:**

- Ángulo de rozamiento interno (ϕ_1). 25°
- Densidad (γ_1) ..... 2,0 ton/m^3
- Cohesión (C_1) ..... 0 kg/m^2

— **Material de relleno:**

- Ángulo de rozamiento interno (ϕ_2). 30°
- Densidad (γ_2) ..... 1,8 ton/m^3
- Cohesión (C_2) ..... 0 kg/m^2
- Material filtrante con un tamaño máximo por debajo de quince centímetros.

— **Terreno de cimentación:**

- Ángulo de rozamiento interno (ϕ_3). 25°
- Densidad (γ_3) ..... 2,0 ton/m^3
- Cohesión (C_3) ..... 0 kg/m^2
- Capacidad portante (σ_3) ..... 2,5 kg/cm^2

Las tipologías de muro analizadas:

— Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ".
— Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ".
— Muro completamente prefabricado.
— Muro de módulos prefabricados verdes.
— Muro celular verde.
— Muro de escamas prefabricadas de hormigón.

— Muro de hormigón "in situ".
— Muro de escollera.

En el coste final del muro se han incluido:

— Coste del material.
— Coste de transporte (distancia inferior a 50 km).
— Coste de mano de obra y maquinaria.
— No se incluye ni el coste de excavación ni el de relleno.

Se debe considerar que estos costes son ORIENTATIVOS y relativos al año 1996.

Los resultados obtenidos se representan gráficamente, Figura 10-2. A partir de esta gráfica, a modo orientativo, se puede realizar una comparación entre las diferentes tipologías.

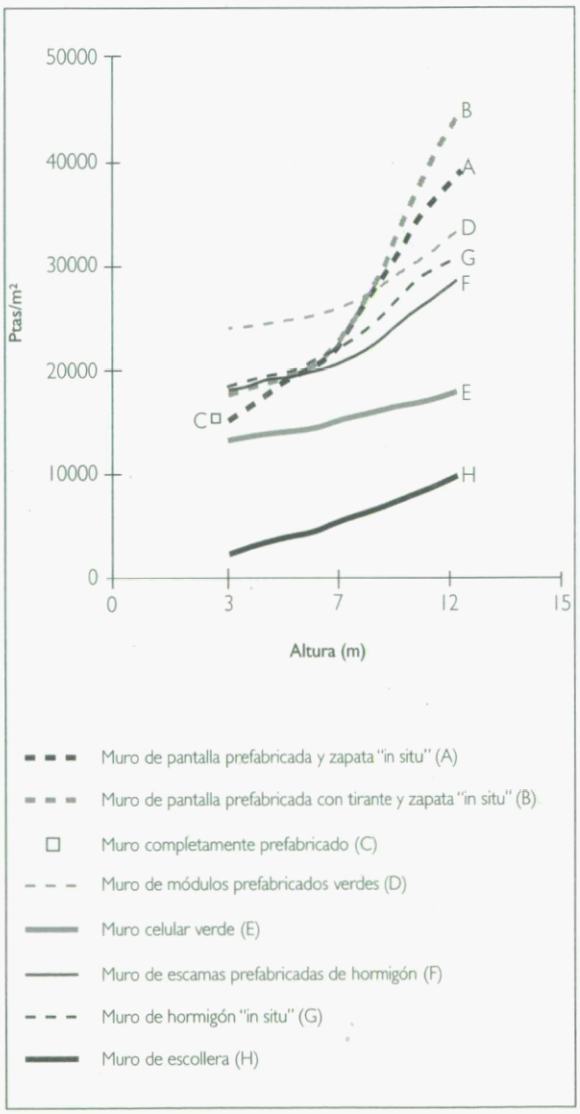


Fig. 10-2. Gráfica de costes

10.1.1. Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ"

El coste total de los muros construidos con este sistema, se indica en la tabla 7.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m²)
H = 3 m.	15.015
H = 7 m.	22.766
H = 12 m.	38.766

Tabla 7. Coste total (Ptas/m²) para muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ"

El desglose de estos costes aparece en el apéndice A (A.1).

10.1.2. Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"

El coste total de los muros se indica en la tabla 8.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m²)
H = 3 m.	17.209
H = 7 m.	22.270
H = 12 m.	43.372

Tabla 8. Coste total (Ptas/m²) del muro pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"

Se utiliza hormigón H-175 para el cordón de cimentación y hormigón H-250 para la zapata del muro.

El desglose de estos costes aparecen en el apéndice A (A.2).

10.1.3. Muro completamente prefabricado

En este tipo de muro sólo existe el coste para la altura de tres metros, tabla 9, pues la altura máxima de este tipo oscila los cuatro metros.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m²)
H = 3 m.	15.796
H = 7 m.	—
H = 12 m.	—

Tabla 9. Coste total (Ptas/m²) del muro completamente prefabricado.

Este coste no incluye los de excavación y preparación del terreno.

Este coste esta desglosado en el apéndice A (A.3).

10.1.4. Muro de módulos prefabricados verdes

Los costes totales para esta tipología se indican en la tabla 10.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m2)
H = 3 m.	23.913
H = 7 m.	25.692
H = 12 m.	31.906

Tabla 10. Coste total (Ptas/m^2) del muro de módulos prefabricados verdes

En este coste esta incluida la vegetalización, tierra vegetal más plantación, del muro

El desglose del coste total esta incluido en el apéndice A (A.4).

10.1.5. Muro celular verde

El coste total para los tres muros se indican en la tabla 11.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m^2)
H = 3 m.	13.066
H = 7 m.	14.865
H = 12 m.	17.368

Tabla 11. Coste total (Ptas/m^2) para muro celular verde

En este coste no se encuentra incluido el material de relleno.

El coste se encuentra desglosado en el apéndice A (A.5).

10.1.6. Muro de escamas prefabricadas de hormigón

Los costes de estos muros se indica en la tabla 12.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m^2)
H = 3 m.	18.474
H = 7 m.	20.406
H = 12 m.	27.696

Tabla 12. Coste total (Ptas/m^2) para muros de escamas prefabricadas de hormigón

No se incluye el coste del material de relleno.

Estos costes se encuentran desglosados en el apéndice A (A.6).

10.1.7. Muro de hormigón "in situ"

El coste total de este tipo de muro para las alturas solicitadas, se indica en la tabla 13.

Altura del muro	Coste total (Ptas/m^2)
H = 3 m.	18.302
H = 7 m.	21.716
H = 12 m.	30.802

Tabla 13. Coste total (Ptas/m^2) para muro de hormigón "in situ"

El desglose de estos coste se encuentra en el apéndice A (A.7).

10.1.8. Muro de escollera

El coste total[5] de este tipo de muro para las alturas solicitadas, se indica en la tabla 14.

Altura del muro	Coste Total (Ptas/m^2)
H = 3 m.	2.343
H = 7 m.	5.273
H = 12 m.	9.140

Tabla 14. Coste total (Ptas/m^2) para muro de escollera

[5] Actualización de datos de "Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carretera".

10.2. Tipología funcional

	Recubrimiento	Contención	Sostenimiento
Muros de escollera	*	*	*
Muros vegetados	*	*	*
Muros de gaviones	*	*	*
Muros jardinera de madera	*	*	*
Muros prefabricados empotrados			
Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ"		*	*
Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"		*	*
Muro completamente prefabricado		*	*
Muro de lamas		*	*
Muro de pantalla aligerado		*	*
Muros prefabricados de gravedad			
Muro de módulos prefabricados verdes	*	*	*
Muro de bloques macizos	*	*	*
Muros de bloques prefabricados de hormigón		*	*
Muros de tierra reforzada			
Muro celular verde		*	*
Muro de bloques aligerados		*	*
Muro de bloques macizos		*	*
Muro jardinera		*	*
Muro de escamas prefabricadas de hormigón		*	*

10.3. Acabado

	VEGETACIÓN	PIEDRA NATURAL	MADERA	HORMIGÓN
MUROS DE ESCOLLERA	*	*		
MUROS VEGETADOS	*			
MUROS DE GAVIONES	*	*		
MUROS JARDINERA DE MADERA	*		*	
MUROS PREFABRICADOS EMPOTRADOS				
Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ"				*
Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"				*
Muro completamente prefabricado				*
Muro de lamas	*			*
Muro de pantalla aligerado				*
MUROS PREFABRICADOS DE GRAVEDAD				
Muro de módulos prefabricados verdes	*			*
Muro de bloques macizos	*			*
MUROS DE BLOQUES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN				*
MUROS DE TIERRA REFORZADA				
MURO CELULAR VERDE	*			
MURO DE BLOQUES ALIGERADOS	*			*
MURO DE BLOQUES MACIZOS	*			*
MURO JARDINERA	*			
MURO DE ESCAMAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN				*

Apéndice

La zapata se considera armada con acero AEH-500N y una cuantía de 22 kg/m^3. El coste, incluido la puesta en obra, para el conjunto hormigón-acero de la zapata se ha estimado en 18.260 ptas/m^3.

El coste, incluido la puesta en obra, de la vegetalización de los muros, cuando esta sea necesaria, incluye la tierra vegetal y plantación.

Estos costes son ORIENTATIVOS y relativos al año 1996.

A.1. Muro de pantalla prefabricada y zapata "in situ"

ALTURA (metros)	HORMIGÓN ARMADO PARA ZAPATAS		PANTALLAS (Ptas/ml)	MONTAJE Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
	m^3/ml	Ptas/ml			
3	0,64	11.684	24.660	8.700	45.046
7	3,28	59.892	79.170	20.300	159.362
12	11,60	211.816	218.580	34.800	465.196

A.2. Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ"

ALTURA (metros)	HORMIGÓN ARMADO PARA ZAPATAS		PANTALLAS (Ptas/ml)	MONTAJE Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
	m^3/ml	Ptas/ml			
3	0,92	16.707	26.220	8.700	51.627
7	2,48	45.284	90.300	20.300	155.884
12	12,10	220.946	264.720	34.800	520.466

A.3. *Muro completamente prefabricado*

ALTURA (metros)	PANELES (Ptas/ml)	MONTAJE Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
3	33.858	13.530	47.388

A.4. *Muro de módulos prefabricados verdes*

ALTURA (metros)	HORMIGÓN ARMADO PARA ZAPATAS		PANTALLAS (Ptas/ml)	MONTAJE Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	VEGETA-LIZACIÓN (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
	m^3/ml	Ptas/ml				
3	0,50	9.130	46.060	8.100	8.450	71.740
7	0,83	15.155	124.440	18.900	21.350	179.845
12	1,95	35.607	277.220	32.400	37.650	382.877

A.5. *Muro celular verde*

ALTURA (metros)	ELEMENTOS PREFABRICADOS (Ptas/ml)	PANTALLAS (Ptas/ml)	MONTAJE Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	VEGETA-LIZACIÓN (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
3	21.600	7.250	5.850	4.500	39.200
7	49.700	29.151	14.700	10.500	104.051
12	84.000	83.620	25.200	15.600	208.420

A.6. *Muro de escamas prefabricadas de hormigón*

ALTURA (metros)	MATERIAL Y TRANSPORTE (Ptas/ml)	MONTAJE Y HORMIGÓN DE REGULARIZACIÓN (Ptas/ml)	TOTAL (Ptas/ml)
3	49.572	5.850	55.422
7	128.142	14.700	142.842
12	307.152	25.000	332.352

A.7. Muro de hormigón armado "in situ"

ALTURA (metros)	HORMIGÓN		ENCOFRADO		ACERO		TOTAL (Ptas/ml)
	m^3/ml	Ptas/ml	m^2/ml	Ptas/ml	kg/ml	Ptas/ml	
3	1,97	30.772	8.32	18.304	48.6	5.832	54.908
7	6,01	93.877	15.07	33.154	208.2	24.984	152.015
12	14,81	231.332	26.48	58.256	667	80.040	369.628

Los costes del hormigón, encofrado y acero, incluido el coste de transporte y montaje, son[6]:

— Hormigón (H-175) ..... 15.620 ptas/m^3
— Encofrado ..... 2.200 ptas/m^2
— Acero (AEH-500N)..... 120 ptas/kg

[6] Datos obtenidos del libro " Precio de la Construcción". Tomo II.
Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cantabria. 1995.

Bibliografía

Jesús Santa María Arias y Francisco Ballester Muñoz, 1997. *Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Muros de Escollera en Obras de Carreteras.*

José Antonio Hinojosa Cabrera y José M.ª Rodríguez Ortiz, 1989. *Manual para el Proyecto y Ejecución de Estructuras de Suelo Reforzado.*

José A. Jiménez Salas, J. L. de Justo Alpañes y A. A. Serrano González, 1976. *Mecánica del Suelo y de las Rocas* (Geotecnia y Cimientos II).

José A. Jiménez Salas, J. L. de Justo Alpañes y A. A. Serrano González, 1976. *Cimentaciones, Excavaciones y Aplicaciones de la Geotecnia* (Geotecnia y Cimientos III).

J. Barros, 1974. *Muros de Contención: Proyecto, Cálculo y Construcción.*

J. Calavera, 1989. *Muros de Contención y Muros de Sótano.*

Institution of Structural Engineers, 1951. *Civil Engineering Codes of Practice: Earth Retaining Structures.*

M. & A. Reimbert, 1974. *Retaining Walls, Anchorages and Sheet Piling.*

Soil Mechanics and Foundations Division American Society of Civil Engineers, 1966. *Stability and Performance of Slopes and Embankments.*

L. M. Suarez Villar, 1993. *Presas de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos.*

J. García Mina y M. Muro, 1996. *Terraplenes Reforzados Mediante Materiales Sintéticos-Muros Ecológicos.* Simposio sobre Estructuras de Contención de Terrenos.

Alfonso Rico y Hermilo del Castillo, 1977. *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.* Tomo I y II.

Lambe Whitman, 1972. *Mecánica de Suelos.*

J. Florez, 1996. *Estructuras de Contención Mediante Elementos Prefabricados de Hormigón.* Simposio sobre Estructuras de Contención de Terrenos.

Información técnica:

ALBION CONCRETE PRODUCTS
ALHOSA
ARCO SYSTEMS, S. A. (ARCOTRAC)
BLOQUES GRANADA, S. A.
BLOQUES SAN PABLO
BOURNE INTERNATIONAL (DARMUR)
BREINCO, S. A.
FORTE
FREYSSIOL
GEOBLOCK INTERFACE LIMITED
JUAN ROCES, S. A. (PORCUPINE Y SILLAREJO ROCES)
LERIPRESA
MILTON PIPES LIMITED
MMOPSA (MATERIALES METROPOLITANOS OBRAS Y PROYECTOS, S. A.)
MUREBAL IBÉRICA, S. A.
MURO MASTER, S. A.
PÁRAMO
PERMABAN PRODUCTS LTD.
PHI GROUP LIMITED
POSTENSA, S. A.
POSTES NERVIÓN, S. A.
PRECESA (PREFABRICADOS DE CEMENTO, S. A.)
PRECON
PREFABRICADOS EIROS
PREFABRICADOS J. CICERA ARCOS, S. A. (PREFABRICADOS CIRAL, S. L.)
PREFABRICATS OLIVA, S. A.
PRETASA
STARLOK GEOTECHNICAL ENGINEERING
TECOMA, S. A. (TEXTOMUR)
TENSITER IBÉRICA, S. A.
TERRA-TECHNO
VANGUARD

Ministerio de Fomento
Centro de Publicaciones



P.V.P.: 1.600 ptas.
9,62 €
(I.V.A. incluido)