

*LA CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
AGRADECE LA COLABORACIÓN DE LAS SIGUIENTES EMPRESAS
EN LA PUBLICACIÓN DE ESTE DOCUMENTO TÉCNICO*



Tierra Armada[®]



VSL SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION S.A.



CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Cámara Chilena de la Construcción



GRUPO TÉCNICO TIERRA REFORZADA INEXTENSIBLE

Prólogo

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

Santiago, Noviembre de 2002

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Cámara Chilena de la Construcción

1ª Edición, Noviembre 2002, 400 ejemplares.

**RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE SUELO
MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE**

Es propiedad de la
Corporación de Desarrollo Tecnológico.
Marchant Pereira 221, Of. 11
Providencia, Santiago de Chile
Fono (56 2) 204 2840 - Fax (56 2) 204 2845
E-mail: cdt@cdt.cl

Prohibida su reproducción total o parcial sin citar la fuente.

Prólogo

El Ministerio de Obras Públicas, con gran satisfacción, acoge el valioso aporte que significa disponer de este estudio que se ha llevado a cabo bajo la coordinación técnica de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción.

Los muros de suelo mecánicamente estabilizado con armadura inextensible son una tecnología ampliamente empleada en países de Europa, Estados Unidos y Japón, cuyo uso ha experimentado un gran crecimiento en Chile durante los últimos años. En nuestro país se han realizado numerosos muros con esta tecnología, incluyendo algunos de gran complejidad técnica con alturas superiores a los 20 metros, como defensa fluvial y como estribos de puentes.

Este es el primer documento chileno destinado a ser una herramienta práctica para la aplicación de esta tecnología en obras civiles, al incorporar tanto recomendaciones y criterios de obra como aproximaciones teóricas y de cálculo que incluyen desde las características técnicas de diseño y comportamiento sísmico, hasta recomendaciones de ejecución y control.

De este modo, contar con este documento permitirá al Ministerio de Obras Públicas, y también a otros organismos, incorporar nuevas tecnologías a sus proyectos, colaborando así a potenciar el rápido y eficiente desarrollo de la infraestructura del país.

Por lo tanto, nuestro agradecimiento a los profesionales, tanto de las instituciones privadas como de los Ministerios de Vivienda y de Obras Públicas como de las empresas proveedoras de esta tecnología, que constituyeron el grupo Técnico y elaboraron el presente estudio.

Carlos Uribe Bascur
Director General de Obras Públicas

INTEGRANTES GRUPO TÉCNICO

Presidente: Héctor Ventura B.
Tierra Armada Ltda.

Secretario Técnico: Luis Ebensperger M.
Corporación de Desarrollo Tecnológico

Integrantes: Marcia Agurto C.
Dirección de Obras Hidráulicas – MOP

Andrés Avendaño B.
VSL Sistemas Especiales de Construcción S.A.

Víctor Cabello S.
VSL Sistemas Especiales de Construcción S.A.

Rafael González M.
Serviu Región Metropolitana

Patricio Hurtado M.
Concesiones – MOP

Juan Lobos D.
Secretaría Ejecutiva Innovación Tecnológica – MOP

Pedro Ortigosa de P.
IDIEM

Fernando Pino H.
VSL Sistemas Especiales de Construcción S.A.

Héctor Ventura G.
Tierra Armada Ltda.

Ramón Verdugo A.
IDIEM

NOMENCLATURA

ITO	Inspección Técnica de Obra
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MSE	Mechanically Stabilized Earth
TEM	Tierra Estabilizada Mecánicamente
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
FHWA	Federal Highway Administration
ASCE	American Society of Civil Engineers
MOPU	Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, España
NF	Norme Française
BS	British Standards

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1: Esquema de muro mecánicamente estabilizado.
- Figura 2: Datos de diseño
- Figura 3: Estados de carga usuales
- Figura 4: Resultantes para cálculo de estabilidad externa
- Figura 5: Fuerzas en cálculo de deslizamiento
- Figura 6: Distribución de coeficiente horizontal de empuje
- Figura 7: Distribución usual de tensiones en conexión
- Figura 8: Distribución de coeficiente de adherencia
- Figura 9: Esquema de estados de carga usuales
- Figura 10: Análisis de estabilidad externa
- Figura 11: Distribución de cuña activa
- Figura 12: Distribución de empuje sísmico
- Figura 13: Solicitaciones en un muro estribo
- Figura 14: Solicitaciones para el análisis interno en un muro estribo y distribución de tensiones según Meyerhof
- Figura 15: Esquema de muros próximos
- Figura 16: Esquema de muro traslapado
- Figura 17: Esquema de muro con paramento escalonado

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

- Fotografía 1: Terminaciones arquitectónicas proyecto Carolina Rabat, Vitacura, Chile
- Fotografía 2: Muro Camino Arica Tambo Quemado, Chile
- Fotografía 3: Muro Camino La Pólvara, Valparaíso, Chile
- Fotografía 4: Defensas fluviales Estero Marga-Marga, Viña del Mar, Chile
- Fotografía 5: Muros estribo puente carretero, Jalisco, México
- Fotografía 6: Muros estribo Ferrocarril N1, Ruta 5, Temuco, Chile
- Fotografía 7: Muro chancador El Tesoro, Calama, Chile
- Fotografía 8: Conexión con barra atornillada y perno
- Fotografía 9: Conexión con malla y clavija
- Fotografía 10: Muro escalonado Kaufmann, Viña del Mar, Chile
- Fotografía 11: Muro Portezuelo, Vitacura, Chile
- Fotografía 12: Fabricación de placas de hormigón en planta
- Fotografía 13: Fabricación de placas de hormigón en obra
- Fotografía 14: Acopio de placas de hormigón
- Fotografía 15: Acopio de armaduras
- Fotografía 16: Fijación de mallas de placas de hormigón

LISTADO DE TABLAS

- Tabla 1: Factores de seguridad estáticos usuales
- Tabla 2: Espesores de sacrificio en mm
- Tabla 3: Ensayos para realización de controles de relleno

LISTADO DE FICHAS TÉCNICAS

- Ficha 1: Muros de contención
- Ficha 2: Estribos de puentes
- Ficha 3: Defensas fluviales
- Ficha 4: Muros en minería
- Ficha 5: Muros en obras menores

ÍNDICE	
I.	INTRODUCCIÓN 11
II.	CLASIFICACIÓN DE MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO 13
2.1	General 13
2.2	Muros con armadura inextensible (acero) 13
2.3	Muros con armadura extensible (materiales plásticos) 13
III.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE 15
3.1	Mecanismo estructural 15
3.2	Flexibilidad 15
3.3	Durabilidad 16
3.4	Comportamiento (experiencias previas) 16
3.5	Alternativas arquitectónicas 17
3.6	Limitaciones 18
IV.	APLICACIONES DEL SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE 19
4.1	Muros de contención 19
4.2	Defensas fluviales 20
4.3	Estribos de puentes 21
4.4	Otras aplicaciones 23
V.	DISEÑO DE MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE 25
5.1	Alcances 25
5.2	Investigación de campo y estudios previos 25
5.3	Parámetros y datos de diseño 26
5.4	Estabilidad externa 28
5.5	Estabilidad interna 32
5.6	Diseño sísmico 37
5.6.1	<i>Estabilidad externa</i> 38
5.6.2	<i>Estabilidad interna</i> 41
5.7	Deformaciones de servicio 43

5.8	Consideraciones especiales	43
5.8.1	Muro estribo	44
5.8.2	Obras marítimas y fluviales	45
5.8.3	Muro espalda-espalda	46
5.8.4	Cargas especiales y singularidades	48
5.8.5	Muros de paramentos escalonados	48
VI.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE	51
6.1	Definición y clasificación	51
6.2	Materiales para rellenos de obras de tierra reforzada	52
6.2.1	Definición	52
6.2.2	Condiciones generales	52
6.2.3	Características mecánicas	52
6.2.4	Características físico-químicas	52
6.2.5	Elementos metálicos para obras de tierra reforzada	53
6.2.6	Elementos prefabricados de hormigón para placas de obras de tierra reforzada	55
6.2.7	Apoyos de placas de hormigón	57
6.2.8	Tratamientos de juntas entre placas	58
6.2.9	Elementos para la unión de armaduras y placas	58
6.2.10	Hormigón para emplantillado	59
6.2.11	Material para la ejecución de capas drenantes	59
6.3	Ejecución	59
6.3.1	Descarga y almacenamiento	59
6.3.2	Preparación de base o solera de nivelación	60
6.3.3	Capas drenante	60
6.3.4	Montaje de la placa	60
6.3.5	Colocación de armaduras	61
6.3.6	Relleno	62
6.4	Tolerancias y terminaciones	63
6.4.1	Relleno	63
6.4.2	Paramento	63

VII. INSPECCIÓN TÉCNICA DE OBRAS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE	65
7.1 Planos y especificaciones en obra	65
7.2 Certificación de materiales estructurales	66
7.2.1 Control de elementos metálicos	66
7.2.2 Placas de hormigón	66
7.3 Control de montaje	66
7.4 Control del relleno	68
7.4.1 En su origen (yacimiento o planta)	68
7.4.2 En el acopio	68
7.4.3 En la obra	68
7.5 Tolerancias de montaje	69
7.6 Verificación de los parámetros de diseño	70
VIII. BIBLIOGRAFÍA	71
IX. ANEXOS	73
9.1 Guía recomendada para la inspección técnica de muros de tierra reforzada inextensible	74
9.2 Especificaciones técnicas de montaje	77
9.2.1 Proveedor: Tierra Armada Ltda.	77
9.2.2 Proveedor: VSL Sistemas Especiales de Construcción S.A.	89
9.3 Fichas técnicas con ejemplos de aplicación	101
9.3.1 Muros de contención	101
9.3.2 Estribos de puentes	102
9.3.3 Defensas fluviales	103
9.3.4 Muros en minería	104
9.3.5 Muros en obras menores	105

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología de Suelos Mecánicamente Estabilizados (conocida también por sus siglas en inglés MSE, de “*Mechanically Stabilized Earth*”, o como TEM, por “*Tierra Estabilizada Mecánicamente*”, según el Manual de Carreteras del MOP) fue desarrollada en Francia, hace más de 40 años, como una alternativa técnica y económica a la solución tradicional de muros de contención de hormigón armado. La norma “*Standard Specification for Highway Bridges*”, de la “*American Association of State Highway and Transportation Officials*” (AASHTO), de Estados Unidos, incorpora su diseño con dicha denominación MSE (Mechanically Stabilized Earth Walls) en la sección 5.8, mientras la FHWA (*Federal Highway Administration*) los especifica en su documento FHWA-SA-96-071.

Como indica su nombre, los sistemas TEM, o MSE, consisten en la estabilización mecánica de un terraplén por medio de una armadura, gracias a la interacción entre ambos. Básicamente, el suelo, al tender a deslizar, es retenido por la armadura, la cual entra en tracción. Debido a que el fenómeno de interacción termina en el extremo de la armadura y que el terraplén estaría afecto a fenómenos de erosión (viento, agua, inestabilidades locales, etc.), se cubre el paramento del mismo con placas de hormigón conectadas a las armaduras, dando valor estético a la obra. El muro se construye como un terraplén, en que cada cierto número de capas se incorpora un conjunto de armadura, cubriendo el paramento con placas de hormigón que se encajan unas a otras, según se ilustra en la Figura 1.

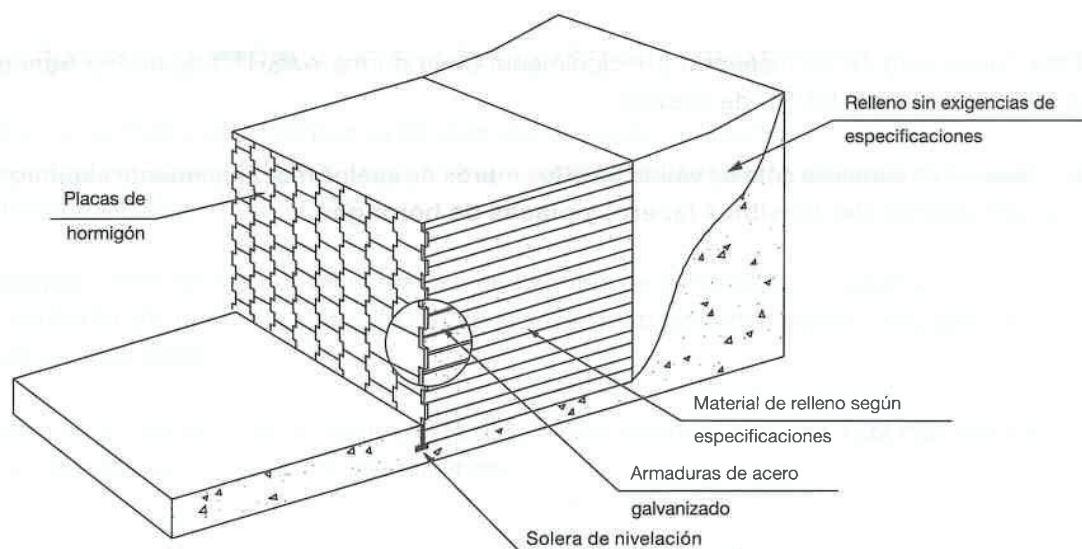


Figura 1: Esquema de muro mecánicamente estabilizado

El resultado es un material híbrido (suelo–armadura) que permite construir muros de contención y otras obras con interesantes propiedades, como:

- gran ductilidad
- gran adaptabilidad a asentamientos diferenciales en suelos compresibles
- rapidez de montaje
- económicamente competitivos
- variadas posibilidades arquitectónicas

La rigidez de las estructuras de suelo mecánicamente estabilizado (TEM) a las solicitaciones externas tanto estáticas como dinámicas (sismos, explosiones, vibraciones, etc.) depende principalmente del tipo y naturaleza de las armaduras.

Todas las ventajas anteriores tienen validez con una correcta aplicación de la tecnología, lo que depende directamente del conocimiento de sus propiedades y limitaciones.

El objetivo del presente documento es entregar al medio privado y público, una herramienta técnica de carácter referencial respecto a las recomendaciones de buen diseño, construcción e inspección de esta tecnología, que sirva tanto a proyectistas como a proveedores, constructores, inspectores y usuarios. Del mismo modo, que el documento pueda servir de base para la generación, revisión y actualización de normas al respecto, así como base o referencia para futuras licitaciones tanto públicas como privadas.

Este documento se ha inspirado principalmente en la norma AASHTO, la norma francesa y la Aplicación 31 del MOPU de España.

El presente documento sólo es válido para los muros de suelos mecánicamente estabilizados con armaduras inextensibles (acero) y placas de hormigón.

II. CLASIFICACIÓN DE MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

2.1 GENERAL

El comportamiento de los suelos mecánicamente estabilizados, como un material híbrido de suelo y armadura, depende en forma directa de las propiedades de sus componentes. Debido a que el suelo se limita a una determinada calidad, es el tipo y naturaleza de la armadura lo que define el comportamiento del sistema, al depender de su rigidez la magnitud de los esfuerzos y deformaciones en el muro. Esta situación hace que la norma AASHTO clasifique los sistemas TEM en inextensibles (acero) y extensibles (geosintéticos, geogrillas, geomallas, etc.), clasificación propuesta por McGown en 1978 y vigente hasta hoy (ASCE, FHWA).

2.2 MUROS CON ARMADURA INEXTENSIBLE (ACERO)

Los muros TEM con armadura inextensible son aquellos en que la deformación en ruptura de su armadura es menor que la deformación de falla del suelo, para condiciones de operación similares (McGown et al., 1978).

Ejemplos: Armaduras de acero galvanizado o sin galvanizar tipo barra, armaduras de acero galvanizado o sin galvanizar tipo malla.

2.3 MUROS CON ARMADURA EXTENSIBLE (MATERIALES PLÁSTICOS)

Los muros TEM con armadura extensible son aquellos en que la deformación en ruptura de su armadura es mayor que la deformación de falla del suelo, para condiciones de operación similares (McGown et al., 1978).

Ejemplos: Armaduras compuestas por geotextiles de polipropileno, polietileno o poliéster, armaduras de geogrillas de alta densidad de polipropileno, polietileno, armaduras de PVC u otros plásticos.

Como se indica en la introducción, este documento se limita a muros TEM con armadura del tipo indicado en 2.2, es decir, inextensibles.

III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

3.1 MECANISMO ESTRUCTURAL

La tecnología del sistema de tierra reforzada se incluye en la norma AASHTO dentro de los denominados MSE o "muros de tierra mecánicamente estabilizada". Como indica su nombre, la estabilización corresponde al mejoramiento de las características mecánicas de un suelo para mejorar sus propiedades estructurales.

Un suelo granular con cohesión baja a nula en estado de reposo generará taludes, cuya estabilidad dependerá del grado de rugosidad y compacidad de sus partículas. Si a este sistema de partículas se incorporan láminas rugosas o con resaltes, las partículas en contacto con ellas restringirán su movimiento por el fenómeno de roce o efecto pasivo, provocando una reacción similar en todas las partículas circundantes, aumentando la estabilidad del conjunto.

En este efecto mecánico de estabilización se basa la tierra reforzada, al incorporar a un terraplén de suelo elementos rugosos y/o con resaltes de acero de gran rigidez (inextensibles), los que por roce o efecto pasivo toman la componente horizontal del empuje, permitiendo conformar taludes verticales estables. Es importante señalar que el efecto pasivo de las armaduras ocurre en varios puntos y a lo largo de toda la barra.

Todo sistema o mecanismo basado en una barra y un muerto de anclaje, cuya estabilidad depende de dicho elemento, constituirá un sistema de contención por anclajes, y no de suelo mecánicamente estabilizado.

3.2 FLEXIBILIDAD

Los muros de tierra reforzada, al igual que todo terraplén, aceptan asentamientos diferenciales muy superiores a los que permite una estructura de hormigón armado, disminuyendo el riesgo de colapso o inutilización de la estructura. Como manifiesta la FHWA, "*Una de las grandes ventajas de los sistemas TEM es su flexibilidad y capacidad para absorber deformaciones en suelos de pobres características de fundación*" (FHWA-SA-96-071, cap 2.2 a).

Esta propiedad hace que los muros tengan, al combinar la elasticidad del suelo y la armadura, junto al sistema multirrotulado del paramento, una gran capacidad de absorción de energía, equivalente a la de un terraplén.

Los asentamientos diferenciales aceptados por un muro de tierra reforzada sin producir daño alguno, pueden alcanzar hasta el 1% de la altura total del muro (FHWA-SA-96-071, cap 2.7 c, tabla 3).

Finalmente se debe indicar que las deformaciones absolutas y los asentamientos diferenciales quedan limitados, no por el macizo de tierra reforzada, sino por las deformaciones aceptadas por las estructuras que se apoyan en dicho macizo.

3.3 DURABILIDAD

La durabilidad de los muros de tierra reforzada queda definida exclusivamente por la corrosión de las armaduras. El diseño de la obra, en consecuencia, se realiza con el remanente de sección de la armadura después del cálculo del espesor de sacrificio para la vida útil solicitada.

La ley de corrosión utilizada depende del tipo de armadura, de la agresividad del suelo y de la saturación del mismo.

En el capítulo 6 de este documento se entregan espesores de sacrificio recomendados en función de estos parámetros.

3.4 COMPORTAMIENTO (EXPERIENCIAS PREVIAS)

El comportamiento de los muros de tierra reforzada es conocido desde hace más de 35 años, desde su creación en 1963 por el ingeniero francés Henri Vidal. Desde entonces, más de 50 millones de m² se han construido en el mundo, en aplicaciones tan diversas como muros de contención, estribos de puentes, defensas fluviales y embalses. Su extensión ha sido explosiva, estando presente en más de 35 países, de los cuales Japón constituye hoy en día el consumidor más importante, con más del 30% del volumen de obras.

La obra más antigua corresponde a los muros de contención realizados en la Autopista A53 en Francia, en 1968, mientras en América la Autopista 39 del noreste de Los Ángeles abrió esta tecnología en nuestro continente en 1972 (ambas obras ejecutadas por la empresa Tierra Armada®). Esta última obra estuvo cerca del epicentro del terremoto de Northridge de 1994, no presentando daño alguno.

En las aplicaciones, los muros de contención han tenido el mayor desarrollo, con muros que han sobrepasado los 35 m (Japón) y alcanzando hasta 40 m (Hong-Kong). En el caso de los estribos de puentes, hoy en día se han construido más de 3.000 obras, siendo uno de los mayores el de Jalisco, de 20 m de altura, en México. Como vías de ferrocarril, han sido aplicados principalmente en Japón (Hiroshima), España (Madrid, Sevilla), Canadá (Ontario) y Venezuela (Caracas). Las obras fluviales más notables han correspondido a EE.UU., con la presa Taylor Draw (1984), así como las defensas marítimas de la isla Reunión (1994).

La experiencia sísmica también ha sido importante. Desde su creación, han sido sometidos a los sismos de Italia (1976), Japón (1983), México (1985) y California (1989-1994). En el caso de Kobe (1983), se alcanzaron aceleraciones de hasta 0,8 g, con daños catastróficos para las obras tradicionales de hormigón armado (700 puentes fallaron), mientras que para las 124 obras con esta tecnología ubicadas dentro de los 50 km del epicentro no existió daño estructural. En el

caso de Northridge, 1994, las aceleraciones sobrepasaron con creces las de diseño, sin que en las 30 obras (2 estribos) existiera daño estructural (Informe de Tierra Armada Internacional, 1994-1995). Como manifiesta la FHWA, "Basado en las observaciones en zonas sísmicas activas, estas estructuras (TEM) han demostrado más resistencia a sollicitaciones sísmicas que las estructuras rígidas de hormigón" (FHWA-SA-96-071, cap 2.2 a).

3.5 ALTERNATIVAS ARQUITECTÓNICAS

Una importante ventaja de la tierra reforzada es su gran valor estético, debido a las infinitas posibilidades de terminación de las placas de hormigón y la versatilidad de realizar muros escalonados y curvos.

El prefabricado permite al arquitecto, urbanista o proyectista entregar, por medio de su terminación, acabados compatibles con el entorno de la obra, ya sea mimetizando la misma o, por el contrario, destacándola como un hito particular. Las placas permiten posibilidades de relieve, rugosidad y color, muy difíciles y onerosas de realizar con la solución tradicional de hormigón armado.

En el caso del escalonamiento, los muros permiten realizar gradas simplemente desplazando las placas, generando jardines de gran valor estético en terrazas y sin un costo mayor.

Las curvaturas de los muros son otra posibilidad interesante, ya que al ser el paramento multi-rotulado, permite el giro de las placas unas con otras, sin mayor problema. En los casos más difíciles, las juntas necesarias se pierden con el cuadrículado general, sin romper la armonía.

La mezcla de estas posibilidades (color, textura y forma) hace de la tierra reforzada uno de los sistemas más versátiles desde el punto de vista urbanístico.



Fotografía 1: Terminaciones arquitectónicas proyecto Carolina Rabat, Vitacura, Chile

3.6 LIMITACIONES

Al igual que cualquier sistema estructural, los muros de **tierra reforzada tienen limitaciones**, las cuales se pueden identificar como:

- a) Limitaciones de espacio que impiden el **desarrollo de la armadura**, no dando cabida al macizo. Esto ocurre en el caso de **muros al pie de cortes rocosos** o de estructuras cercanas.
- b) Carencia de suelos granulares, existiendo sólo **disponibilidad de suelos finos** (arcilla, limos) como material de relleno.
- c) Existencia de **acopios muy agresivos** (suelos con altos contenidos de sales solubles o ácidos), asociados a una demanda de vida útil alta, donde la posibilidad de otros rellenos no es económicamente viable.
- d) Aplicación en lugares de difícil acceso, que impiden el traslado o producción in situ de las placas de hormigón y armaduras.
- e) Adosamiento del paramento del muro con estructuras rígidas externas, cuyo período propio es incompatible sísmicamente con los muros de tierra reforzada.
- f) Fundaciones de estructuras rígidas sensibles a asentamientos diferenciales ubicadas sobre o dentro del macizo incompatibles a la ductilidad del mismo.



IV. APLICACIONES DEL SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

4.1 MUROS DE CONTENCIÓN

La aplicación principal de la tecnología de tierra reforzada es la de muro de contención, debido a su rapidez de construcción, gran adaptabilidad a suelos de apoyo con baja rigidez, gran valor estético y, en la mayoría de los casos, ahorro económico respecto a la solución tradicional de hormigón armado.

En general, todo muro de contención normal puede ser materializado como muro mecánicamente estabilizado con armadura inextensible, pero no siempre será la solución más adecuada. Existen limitaciones de espacio para las armaduras, suelos agresivos químicamente para los refuerzos y otras condicionantes como las señaladas en el punto 3.6 de este documento.

Los muros mecánicamente estabilizados con armaduras inextensibles poseen una mayor potencialidad que una solución tradicional, pudiéndose construir estructuras que serían casi impensables como muros de hormigón armado. Tal es el caso de muros con alturas de más de 35 metros y con fuertes aceleraciones sísmicas horizontales, en países como Japón y China (Hong-Kong).

Una de las mayores ventajas de los muros de tierra reforzada, que es de gran interés, en casos de suelos de fundación complejos, consiste en su flexibilidad. Se ha comprobado su sobresaliente capacidad de admitir deformaciones diferenciales entre distintas partes del muro, debidas a una fuerte heterogeneidad del suelo de apoyo, como son casos de transición de roca a suelo.

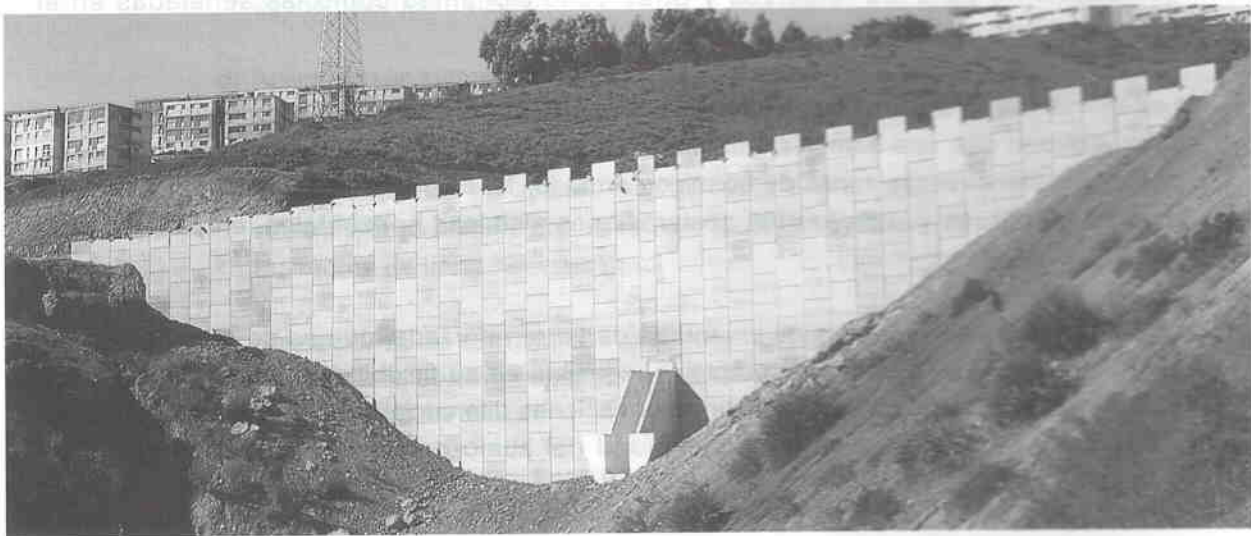
Desde el punto de vista estético, los muros de tierra reforzada pueden presentar ventajas comparativas, permitiendo terminaciones especiales rugosas, con relieve o color, además de la posibilidad de crear escalonamientos y curvaturas.

En cuanto a los recursos involucrados, el sistema prefabricado del paramento del muro no requiere moldajes, maquinaria especial ni mano de obra calificada, haciéndolo muy atractivo para todo tipo de obras.

Como resumen, la tierra reforzada siempre puede ser considerada como una alternativa interesante. Sin embargo, si las fundaciones son complejas, con suelos heterogéneos o de baja capacidad portante, el sistema ofrece ventajas claras respecto a la solución tradicional. Como regla general, cuanto más complejo sea el problema de ingeniería planteado, mayores serán las ventajas que esta tecnología aporta.



Fotografía 2: Muro camino Arica-Tambo Quemado, Chile



Fotografía 3: Muro camino La Pólvara, Valparaíso, Chile

4.2 DEFENSAS FLUVIALES

Una de las aplicaciones más representativas de este tipo de muros son las defensas fluviales y marítimas, en gran parte debido a la adaptabilidad de estos sistemas frente a las heterogeneidades de suelos (transiciones entre diversos tipos de sedimentos), problemas de socavación, variaciones bruscas de niveles de ríos y la acción de mareas.

El problema de la socavación, al igual que toda obra hidráulica, depende de un estudio particular del especialista, el cual determinará el nivel de empotramiento de la estructura y los refuerzos adicionales de la obra (tetrápodos, bloques, etc.).

La presencia de agua en el interior de los muros, asociada al aumento del nivel durante las crecidas, plantea un problema adicional. La presión hidrostática generada se disipa por la permeabilidad del

relleno y las juntas entre las placas, lo que equivale a un muro con infinitas barbacanas. La capacidad de drenaje se refuerza con drenes en el intradós de las placas del paramento, que evitan efectos de presiones de poros generados por cambios repentinos de nivel de aguas.



Fotografía 4: Defensas fluviales Estero Marga-Marga, Viña del Mar, Chile

4.3 ESTRIBOS DE PUENTES

En general, un estribo de puente puede ser considerado como muro de contención con cargas adicionales. Tal y como se ha mencionado, los muros de tierra reforzada poseen una excelente capacidad para resistir grandes sollicitaciones y alcanzar importantes alturas, haciendo por ello su uso como estribo una solución muy frecuente a nivel mundial. Es por ello que no son raros los estribos de 15 o 20 metros de alto, lo que en algunos viaductos puede incluso suponer el ahorro de tramos de puentes.

La aplicación como estribo reduce drásticamente el problema de asentamiento diferencial entre terraplén y el tablero, cuando el suelo de fundación experimenta deformaciones por consolidación.

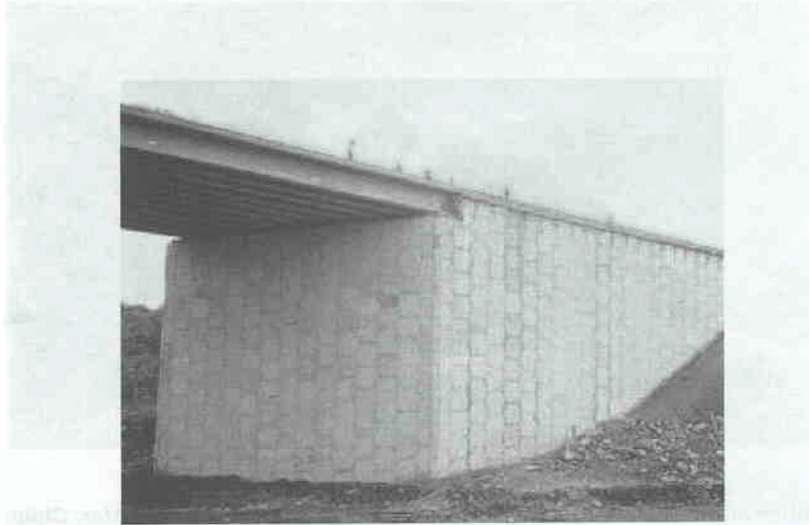
La aplicación de esta tecnología como estribo permite construir dicha estructura al mismo tiempo que la rampa de acceso, eliminando la posibilidad de asentamientos diferenciales.

Los estribos en tierra reforzada pueden fundarse en suelos de pobres características geotécnicas, donde la solución tradicional requiere de fundaciones especiales de gran costo. Esto debido a la gran capacidad de aceptar asentamientos diferenciales.

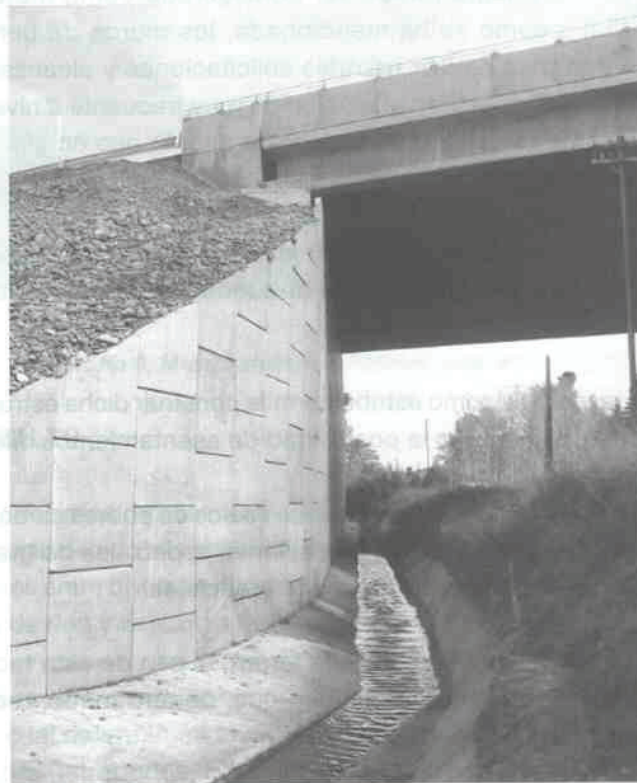
En el caso de estribos de pasos sobre la línea férrea, el uso de esta tecnología reduce la luz de las vigas, por no utilizar una zarpa delantera que, de otro modo, requeriría alejarse de la vía para no invadir la faja del ferrocarril.

La aplicación como estribo reduce drásticamente el problema de asentamiento diferencial entre terraplén y el tablero, cuando el suelo de fundación experimenta deformaciones por consolidación.

En los estribos de tierra reforzada, el apoyo a las vigas se materializa directamente sobre el macizo a través de lo que se denomina cargadero. Sin embargo, en casos muy especiales es posible incorporar columnas de puentes dentro del macizo de tierra reforzada, tomando éste la componente horizontal del empuje estático y sísmico.



Fotografía 5: Muros estribo puente carretero, Jalisco, México



Fotografía 6: Muros estribo Ferrocarril N1, Ruta 5, Temuco, Chile

4.4 OTRAS APLICACIONES

Las posibilidades de aplicación de la tierra reforzada son múltiples. Se utilizan como muros de protección contra derrames de petróleo, de doble cara, o como defensa contra explosiones en aplicaciones militares. También se han empleado exitosamente en grandes muros mineros, con fuertes solicitaciones y rellenos muy agresivos, pero con vidas útiles menores de las que comúnmente se consideran en obras civiles.

Como elemento prefabricado, puede ser desmontado y utilizado en otras obras.



Fotografía 7: Muro chancador El Tesoro, Calama, Chile

V. DISEÑO DE MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

5.1 ALCANCES

El presente capítulo no pretende ser un manual de diseño, sino presentar conceptos generales de diseño y los criterios utilizados por las instituciones que participan en este Grupo Técnico. No existiendo una normativa chilena de diseño vigente a la fecha, el presente documento expone normas y criterios internacionales, los cuales se pueden consultar en la bibliografía anexa.

5.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y ESTUDIOS PREVIOS

El diseño de los muros de tierra reforzada se inicia con una ingeniería básica, es decir, con todos los estudios previos que delimitan el proyecto y que son los datos de ingreso para el diseño.

Estos estudios previos e investigaciones de campo son:

Evaluación técnico-económica

La evaluación técnica es la primera aproximación al proyecto. En base a los esfuerzos estáticos (cargas vivas y muertas) y dinámicos (sismos o impactos), así como las condicionantes del terreno, se evalúa si esta tecnología es una alternativa de solución.

La evaluación económica del anteproyecto determinará si la alternativa es competitiva.

Topografía

Esta técnica indica cómo se posiciona el proyecto e interviene el terreno, definiendo la geometría del muro. La topografía puede invalidar la solución si la extensión del macizo interviene zonas vecinas o genera cortes no factibles de materializar.

Mecánica de suelos

Define los parámetros del relleno del macizo (suelo reforzado), relleno a trasdós (suelo contenido) y el suelo de apoyo (suelo de fundación), así como los parámetros dinámicos atingentes al proyecto. Por lo tanto, es fundamental en el cálculo del muro, tanto en la estabilidad interna como externa.

Zonificación sísmica

Determina los esfuerzos dinámicos para los cuales tiene que estar calculado el muro. Lo anterior dependerá del emplazamiento de la obra, tipo de suelo e interacción con estructuras vecinas.

Vida útil

La vida operativa de la obra quedará definida por el proyecto del cual forma parte la estructura, pudiendo ser mínima para una obra temporal, y de 75 o más años para una obra permanente (ver capítulo 6.1 a).

Materiales disponibles

La disponibilidad y características de los yacimientos influye no sólo en el costo directo de su explotación y transporte, sino en el diseño del muro y por lo tanto en el costo del suministro de los elementos especiales del sistema. Suelos salinos o agresivos pueden hacer poco competitiva la alternativa de la tierra reforzada.

Otros estudios

En función del proyecto, es posible que se requieran otros estudios previos. Tal es el caso de muros inundables, los que requerirán de estudios hidráulicos y geotécnicos especiales.

5.3 PARÁMETROS Y DATOS DE DISEÑO

Los parámetros de cálculo quedan definidos por las investigaciones y estudios previos indicados en el capítulo 5.2. Esto se traduce en los siguientes datos de entrada (ver Figura 2):

- a) Geometría del muro: Son los datos dimensionales del muro, como:

H = altura del muro (m)

L = largo de armaduras (m)

ω = ángulo talud sobre muro ($^{\circ}$)

- b) Condiciones del relleno del macizo: Corresponde al relleno del macizo en contacto con el reforzamiento, con parámetros como:

γ_1 = peso unitario del relleno (KN/m³)

ϕ_1 = ángulo de fricción interna ($^{\circ}$)

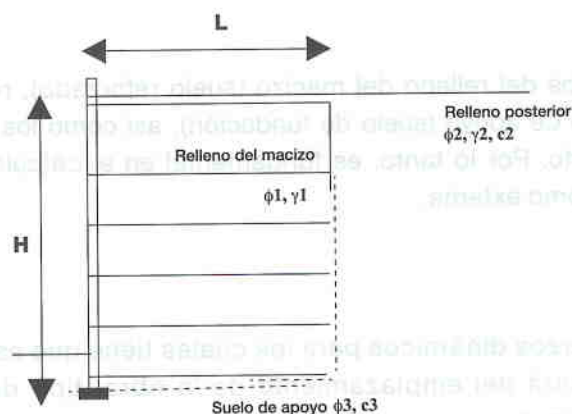


Figura 2: Datos de diseño

c) Relleno posterior: Corresponde al suelo a trasdós del muro.

d) Los parámetros utilizados son:

γ_2 = peso unitario del suelo retenido (KN/m³)

ϕ_2 = ángulo de fricción interna (°)

c_2 = cohesión del suelo (MPa)

e) Suelo de apoyo: Se utilizan:

ϕ_3 = ángulo de fricción interna (°)

c_3 = cohesión del suelo (MPa)

f) Tipo de armaduras: Resistencia a la tracción del reforzamiento.

T_r (MPa)

g) Geometría de las armaduras:

longitud L (m)

ancho b (mm), para barras planas

espesor e_o (mm), para barras planas

diámetro ϕ (mm), para mallas

h) Tipo de paramento: Placas prefabricadas de hormigón.

Establecidas las dimensiones y parámetros del muro, se determinan los estados de carga más realistas para el diseño del mismo. Los estados usuales de análisis son los indicados en la figura 3, en que se considera:

- **Caso 1:** Toda la sobrecarga a trasdós del macizo. Desfavorable para el deslizamiento y volcamiento (ver capítulo 5.4)
- **Caso 2:** Sobrecarga sobre el macizo y a trasdós. Desfavorable para la capacidad de soporte (ver capítulo 5.4)
- **Caso 3:** Sin sobrecarga. Desfavorable para el deslizamiento

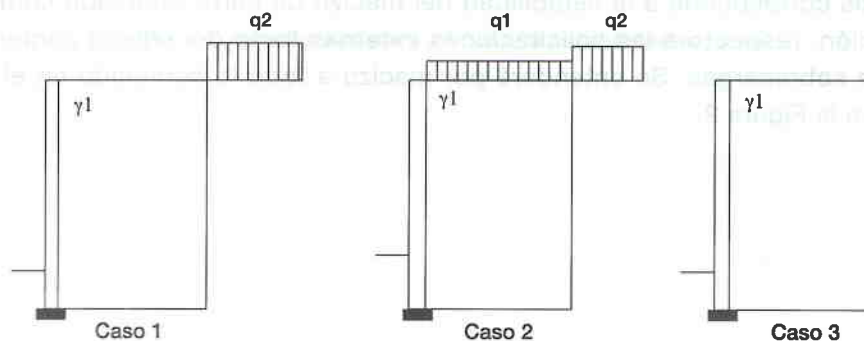


Figura 3: Estados de carga usuales

Los factores de seguridad se determinan según el tipo de cálculo escogido, es decir, por estados límite (limit states) o por tensiones de trabajo (working loads). Asimismo, deben discriminarse según se analice la estabilidad externa o interna.

Estados Limite (LS)

En el caso de estados límite, se define un factor de seguridad a la ruptura de la armadura, utilizando los factores de seguridad habituales. A lo anterior se adicionan los llamados “factores de carga”. Estos factores amplifican las sobrecargas entre 30 y 60%, además de aumentar los empujes a trasdós en la misma magnitud.

Tensiones Admisibles (WS)

Para las tensiones admisibles se define un factor de seguridad a la fluencia de la armadura, no utilizando factor de carga alguno. El factor de seguridad a la fluencia dependerá del refuerzo, variando entre 1,8 y 2,0.

Los factores de seguridad utilizados deberán ser definidos por el proveedor o el mandante para cada proyecto en particular, pudiendo basarse en normas internacionales como la AASHTO, FHWA, NF u otra. Valores típicos son los indicados en la Tabla 1:

Tabla 1: Factores de seguridad estáticos usuales

CRITERIO	WS Working Stresses	LS Limit States
Deslizamiento del macizo	1,5	1,2
Volcamiento del macizo	2,0	1,5
Capacidad de soporte suelo fundación	2,0	1,5
Resistencia a la tracción de armaduras	σ	1,5
Adherencia suelo / armadura	1,5	1,3

σ = 55% o 48% de la tensión de fluencia para una barra o malla, respectivamente.

5.4 ESTABILIDAD EXTERNA

Este análisis corresponde a la estabilidad del macizo de tierra reforzada como elemento de contención, respecto a las sollicitaciones externas tanto del relleno contenido tras él, como el de sobrecargas. Se entenderá por macizo a todo lo contenido en el rectángulo H * L, según la Figura 2.

A continuación se desarrollará la metodología básica de diseño, la que podrá modificarse según la norma exigida por el mandante para cada proyecto en particular, tomando como ejemplo un muro de geometría regular (sin talud superior, de largo de armaduras uniforme).

El análisis es el siguiente (ver Figura 4):

- a) Para el caso de cohesión $c_2 = 0$, se establece el empuje del relleno (P) retenido por el macizo de la tierra reforzada, en función del ángulo de fricción interna del suelo retenido y la geometría del muro, como:

$$P = (K_2 * \gamma_2) * \frac{H^2}{2}$$

donde:

K_2 = Coeficiente de empuje activo del relleno a trasdós del macizo

γ_2 = Peso unitario del suelo retenido

H = altura efectiva

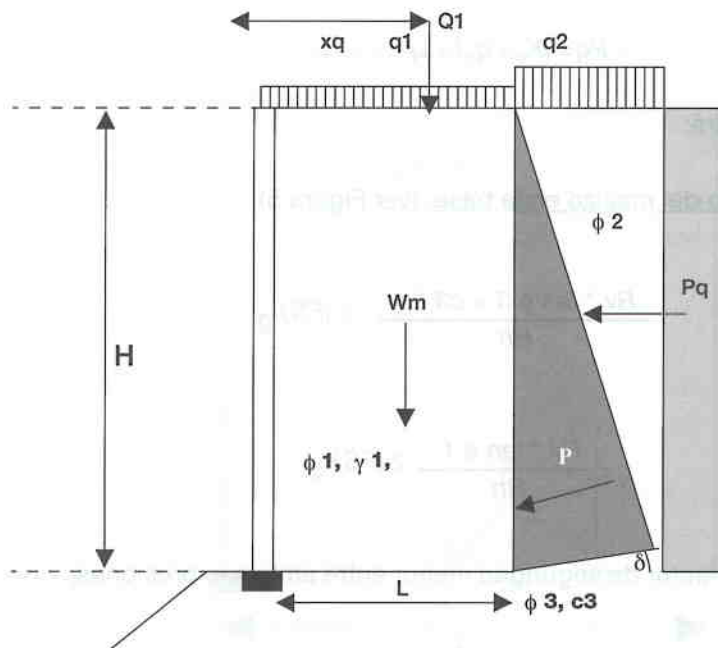


Figura 4: Resultantes para cálculo de estabilidad externa

Luego, las componentes serán:

$$P_h = P \cdot \cos \delta \text{ (empuje horizontal)}$$

$$P_v = P \cdot \tan \delta \text{ (empuje vertical)}$$

con:

δ = inclinación del diagrama de empuje respecto a la horizontal

Q_1 = resultante de la sobrecarga sobre el macizo

W_m = peso del macizo

x_r = brazo del peso del macizo

Esta última inclinación dependerá del ángulo de fricción del relleno, del talud y de la geometría del macizo.

b) La sobrecarga sobre el relleno posterior al macizo (q_2) queda incorporada al empuje sobre el mismo, con la siguiente simplificación ($\delta = 0$)

$$P_q = (K_2 \cdot q_2) \cdot H$$

c) Se verificará:

Deslizamiento del macizo en la base (ver Figura 5)

$$\frac{R_v \cdot \tan \phi + c \cdot L}{R_h} \geq (FS)_g$$

$$\frac{R_v \cdot \tan \phi}{R_h} \geq (FS)_g$$

se tomará el factor de seguridad menor entre ambas expresiones, con:

R_v = peso del macizo (W_m), más la resultante de la sobrecarga sobre el macizo (Q_1), y más la componente vertical del empuje (P_v).

R_h = componentes horizontales del empuje ($P_h + P_q$)

$(FS)_g$ = factor de seguridad al deslizamiento

Volcamiento (ver Figura 5)

El punto de volcamiento en torno al punto O, FS, se define como:

$$\frac{Mr}{Ms} \geq (FS)_r$$

con:

Mr = momento resistente con respecto al punto O

$$Mr = (Wm * L/2)$$

Ms = momento solicitante con respecto al punto O

$$Ms = PH * H/3 + Pq * H/2 - Q_1 * xq - Pv * L$$

(FS)_r = Factor de Seguridad al Volcamiento

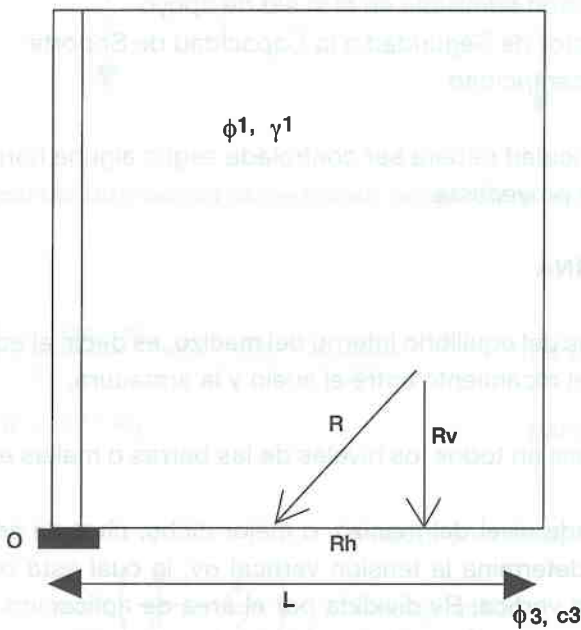


Figura 5: Fuerzas en cálculo de deslizamiento

Capacidad de soporte

La tensión vertical de trabajo de diseño, q_t , en la base del muro, se obtiene usando el método aproximado de Meyerhof, debiendo verificarse

$$q_t \frac{Rv}{L - 2e} \geq q_{adm}$$

con:

$$e = \frac{(Ms - (Mr - Rv * L/2))}{Rv}$$

Luego:

$$q_t \leq q_a$$

con:

q_a = tensión admisible en el suelo de apoyo
 $(FS)_c$ = Factor de Seguridad a la Capacidad de Soporte
 e = Excentricidad

La excentricidad deberá ser controlada según alguna norma o criterio del proyectista.

5.5 ESTABILIDAD INTERNA

Corresponde al análisis del equilibrio interno del macizo, es decir, el equilibrio entre las fuerzas internas de empuje y el rozamiento entre el suelo y la armadura.

La secuencia de análisis en todos los niveles de las barras o mallas es la siguiente:

- a) Para cada nivel del macizo, o mejor dicho, nivel de armadura (z), se determina la tensión vertical σ_v , la cual está dada por la carga vertical Rv dividida por el área de aplicación. Para el análisis por ancho unitario, el largo de aplicación corresponde a L_v . Luego,

Luego,

$$\sigma_v(z) = \frac{Rv(z)}{L_v}$$

Los factores de carga, si corresponde, deben ser incluidos en el análisis.

b) La tensión horizontal σ_h se establece multiplicando la tensión vertical antes calculada por el coeficiente de empuje horizontal K.

Luego:

$$\sigma_h = K * \sigma_v$$

El valor del coeficiente K en el caso de la armadura inextensible es una función del coeficiente en reposo K_0 y activo K_a , con la siguiente distribución (ver figura 6):

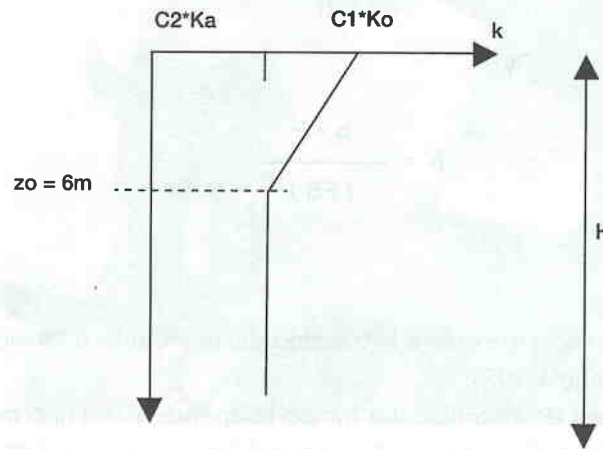


Figura 6: Distribución de coeficiente horizontal de empuje

$$K = \frac{C1 * Ko * (zo - z)}{zo} + C2 * Ka * \frac{z}{zo} \quad \text{para } 0 < z < 6.0 \text{ m}$$

$$K = C2 * Ka \quad \text{para } z \geq 6.0 \text{ (ver Figura)}$$

con:

$$K_0 = 1 - \text{sen} \phi_1 \quad \text{empuje en reposo}$$

$$K_a = \tan - \text{sen}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \quad \text{empuje activo}$$

$$C_1 \text{ y } C_2 \Rightarrow 1 \quad \text{factores de mayoración, según tipo de refuerzo y norma.}$$

Esta modelación es producto de numerosas investigaciones ante sollicitaciones estáticas y dinámicas. La distribución indicada podría variar según el tipo de armadura y la norma de diseño utilizada.

- c) Con la tensión horizontal definitiva para cada nivel (z), se establece la presión horizontal (Tm) en función del espaciamiento vertical (ΔH) y el número de armaduras por metro lineal de muro (n).

$$Tm = \frac{\sigma_h * \Delta H}{n}$$

- d) Para cada nivel (z) se comprueba que la tensión de trabajo (Tm) sea menor que la resistencia máxima a la tracción de las armaduras (Tr):

$$Tm \leq Tr$$

con:

$$Tr = \frac{R * \Gamma}{(FS)_t}$$

donde:

- R = Resistencia máxima a la tracción del acero (LS) o tensión de fluencia (WS).
- Γ = Espesor de sacrificio. La función dependerá del tipo de armadura. Para barras, $\Gamma = (eo-es)/eo$, con eo = espesor inicial y es = espesor de sacrificio.
- (FS)_t = Factor de Seguridad a la Ruptura de las armaduras

Los valores del espesor de sacrificio dependen de la vida útil de la estructura, tipo de acero (galvanizado o no) y si la obra está sumergida. Su valor se indica en el la Tabla 2, en el capítulo 6.5.2.

- e) La tensión máxima en la conexión de la armadura y la placa de hormigón viene dada por:

$$Tr_o = \lambda Tr$$

con:

- Tr_o = tensión admisible en la conexión
- λ = función del tipo de armadura.

En el caso de barras atornilladas:

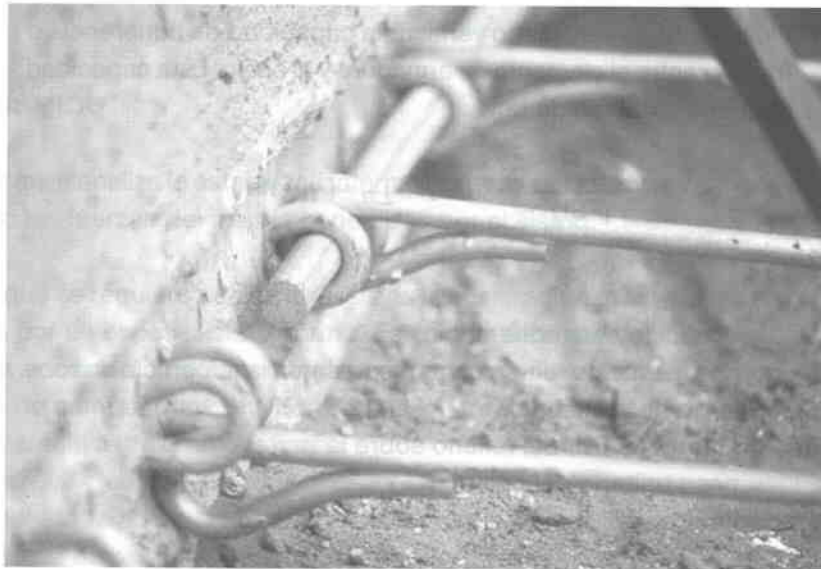
$$\lambda = (b-d)/b, \text{ con } b = \text{ancho de barra y } d = \text{diámetro de perforación.}$$

En el caso de mallas conectadas con clavijas y bucle:

$$\lambda = 1.$$



Fotografía 8: Conexión con barra atornillada y perno



Fotografía 9: Conexión con malla y clavija

- En otras palabras, se comprueba que la tensión de trabajo en la barra no supere la tensión admisible de la misma, a nivel de la conexión con la placa. En el caso de la barra, esta situación queda definida por la existencia de la perforación del perno. La tensión de trabajo en la conexión T_o corresponde al 85% de la tensión de trabajo máxima de la barra T_m , llegando al 100% sólo en el sector inferior (a partir de $0,4 H$).

Luego:

$$T_o \leq Tr_o$$

La distribución indicada podrá variarse según el proyectista o la norma de diseño (ver Figura 7).

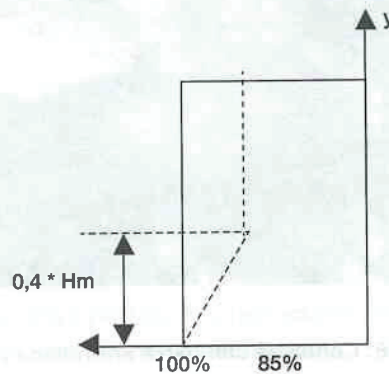


Figura 7: Distribución usual de tensiones en conexión

- f) Finalmente, es necesario verificar la capacidad de adherencia o fricción entre el elemento de armadura y el suelo. Esta capacidad T_f queda establecida por:

$$T_f = \frac{1}{(FS)_f} * Cr * f' * La * (\gamma_1 * ha)$$

con:

- f = coeficiente de adherencia
- Cr = coeficiente de refuerzo, que representa la superficie de roce.
- La = largo de adherencia
- ha = altura efectiva del relleno sobre la barra
- γ_1 = peso unitario del relleno
- $(FS)_f$ = Factor de Seguridad a la adherencia

El coeficiente de adherencia tiene una distribución como la indicada en la Figura 8, siendo mayor en el coronamiento y menor, hasta un valor constante igual a $\tan \phi_1$, al disminuir la altura.

$$f = f_0 \cdot \frac{h_0 - h_a}{h} + f_1 \cdot \frac{h_a}{h_0} \quad \text{para } 0 < h < 6 \text{ m}$$

$$f = f_1 \quad \text{para } h \geq 6 \text{ m}$$

f_0 y f_1 , coeficientes de roce que dependen del tipo de armadura y tipo de suelo.

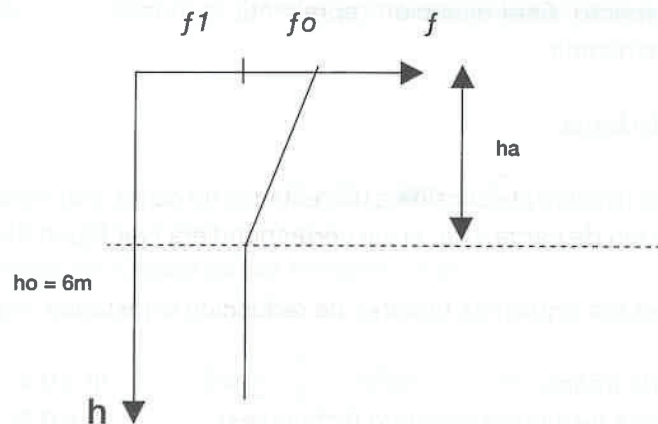


Figura 8: Distribución de coeficiente de adherencia

El coeficiente de adherencia queda determinado por la granulometría del material y por el tipo de armadura.

Luego se debe cumplir:

$$T_m \leq T_f$$

5.6 DISEÑO SÍSMICO

El diseño sísmico analiza la estabilidad interna y externa del mismo modo que en el caso estático, adicionando las fuerzas de inercia generadas por el sismo.

Lo primero que se requiere para el análisis es la aceleración máxima horizontal de campo libre, A_0 , definida por un especialista o norma. Este valor dependerá de la zona sísmica, del tipo de suelo u otra consideración especial del proyecto (amplificaciones por topografía, etc.). Esta aceleración de campo, que considera todos los factores antes mencionados, se denominará aceleración efectiva máxima de diseño

Una vez obtenida la aceleración efectiva máxima A_0 , se procede a determinar el coeficiente sísmico máximo de diseño CS_{max} , mediante la siguiente relación:

$$CS_{max} = \frac{A_0}{g} * \left(1.45 - \frac{A_0}{g} \right)$$

con:

g = aceleración de gravedad

Para aceleraciones A_0 superiores a 0.45 g, se seguirán las especificaciones de una norma o especialista al respecto. Esta ecuación representa la amplificación de la aceleración en el macizo de tierra reforzada.

5.6.1 Estabilidad Externa

La estabilidad externa usualmente considera dos estados de carga, con inclusión de sobrecargas y factores de reducción de carga viva, si así correspondiera (ver figura 9).

Usualmente se tienen los siguientes factores de reducción ψ (estados límite):

<i>Cargas de tráfico:</i>	$\Psi = 0.4$
<i>Estructuras de almacenamiento (estanques):</i>	$\Psi = 0.8$
<i>Galpones o edificios:</i>	$\Psi = 1.0$

Para el cálculo en tensiones admisibles, $\Psi = 1$

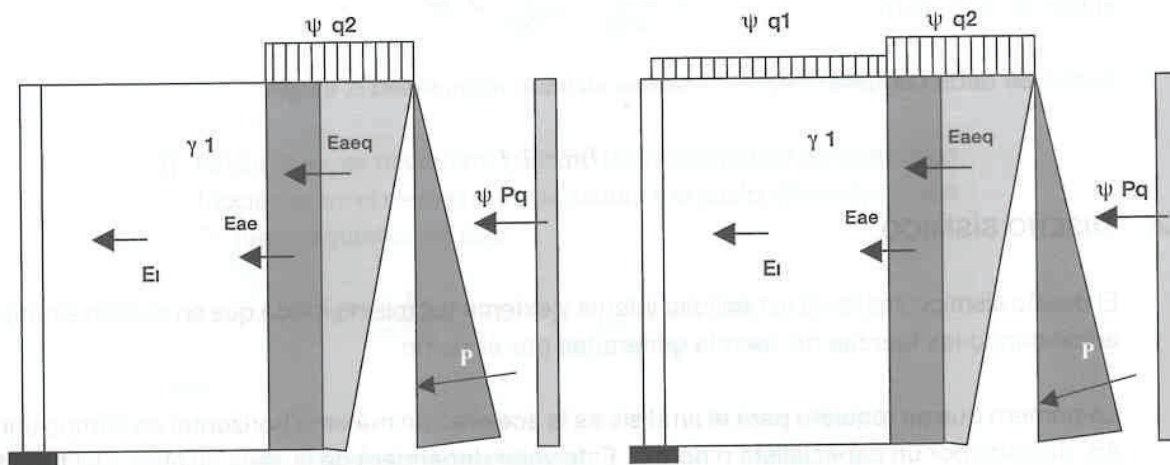


Figura 9: Esquema de estados de carga usuales

El cálculo es idéntico al caso estático, incluyéndose las fuerzas de inercia del relleno retenido por el macizo, representadas por la componente sísmica obtenida con la expresión de Mononobe-Okabe (Eae), la fuerza de inercia transmitida por la sobrecarga en este mismo relleno (Eaeq) y la fuerza de inercia del macizo (Ei).

El coeficiente sísmico horizontal incorporado al diseño, C_s , de los sistemas de tierra reforzada corresponde normalmente a una fracción del coeficiente sísmico máximo, lo que implica aceptar corrimientos sísmicos limitados en la base del muro y en los tirantes. En reemplazo de un análisis que determine estos corrimientos sísmicos, se propone utilizar un coeficiente sísmico, C_s , obtenido como:

$$C_s = 0.5 * C_{s_{max}}$$

El factor que relaciona los coeficientes C_s y $C_{s_{max}}$ puede modificarse según sean los requerimientos del proyecto.

De este modo:

$$E_i = C_s * W_m$$

El empuje por Mononobe-Okabe queda establecido por:

$$E_{ae} = \frac{1}{2} * \Delta K_{ae} * \gamma^2 * H^2$$

con:

$$\Delta K_{ae} = K_{ae} - K_2$$

K_{ae} = coeficiente de empuje estático + sísmico dado por la relación de Mononobe-Okabe

K_2 = coeficiente de empuje estático

El valor del coeficiente K_{ae} está definido como:

$$K_{ae} = \left(\frac{\cos(\phi_2 - \theta)}{\cos\theta * (1 + \sqrt{(\sin\phi_2 - \theta - \omega) / (\cos\theta * \cos\omega)})} \right)^2$$

con:

$\theta = \arctan(C_s)$, (se considera nulo el coeficiente sísmico vertical)

El incremento del empuje por sobrecarga E_{aeq} queda establecido por la siguiente relación:

$$E_{aeq} = E_{ae} * \frac{P_q}{P} * \psi$$

Con estas ecuaciones se verifican (ver Figura 10):

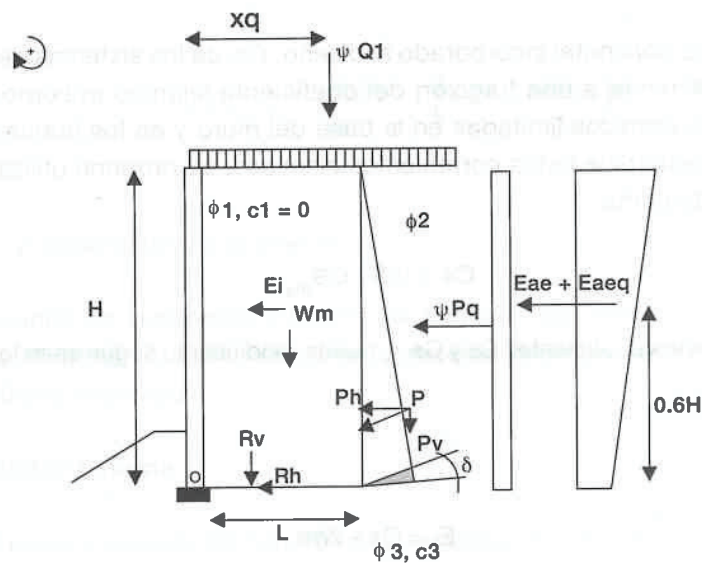


Figura 10: Análisis de estabilidad externa

Deslizamiento

El mismo equilibrio establecido en el punto 5.4 (c)

$$R_v = (W_m) + \psi Q_1 + P_v$$

$$R_h = E_i + (P_h + \psi P_q) + (E_{ae} + E_{aeq})$$

con:

- Q_1 = carga viva sobre el macizo
- P_v = componente vertical del empuje

Volcamiento (en torno al punto O de la base)

El momento resistente es:

$$M_r = (W_m) * \frac{L}{2}$$

El momento solicitante es:

$$M_r = (E_i * \frac{H}{2}) + (P_h * \frac{H}{3} + \psi P_q * \frac{H}{2}) + (E_{ae} + E_{aeq}) * 0.6H - \psi Q_1 * x_q - (P_v) * L$$

Capacidad de soporte

Se verifica del mismo modo establecido en el diseño estático.

5.6.2 Estabilidad Interna

La estabilidad interna se analiza en forma idéntica que en el caso estático, añadiendo la inercia de la cuña activa.

La cuña activa queda establecida por la localización de la línea de máximas tensiones de las armaduras (ver figura 11), distribución propia de los sistemas inextensibles.

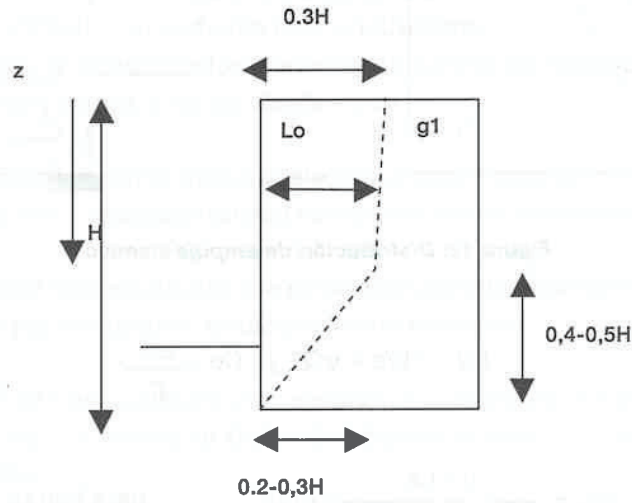


Figura 11: Distribución de cuña activa

De este modo, la tensión en las armaduras viene dada por:

$$T_m = T_{m_1} + T_{m_2}$$

T_{m_1} es la tensión obtenida por el análisis estático, indicada en el punto 5.5 (c), es decir:

$$T_{m_1} = \frac{\sigma_h * \Delta H}{n}$$

con:

- σ_h = tensión horizontal
- ΔH = espaciamento entre barras
- n = número de barras por metro lineal

T_{m_2} equivale al incremento sísmico, es decir, a la inercia de la cuña activa (ver Figura 12). Para su cálculo se considera la masa de la cuña activa por el coeficiente sísmico horizontal. La fuerza E_d de la cuña sísmica equivalente (W_a) queda definida por :

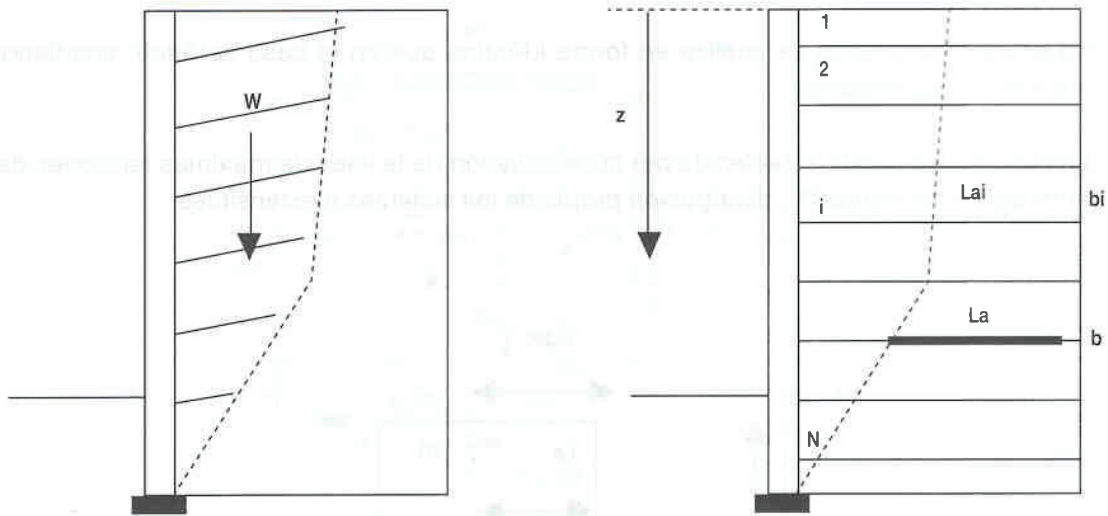


Figura 12: Distribución de empuje sísmico

$$Ed = (Wa + \psi Q_1') * Co * \frac{ac}{g}$$

$$Tm_2 = \frac{b * La}{\sum_{i=1}^N n_i * b_i * La_i} * Ed \quad \text{para barras}$$

$$Tm_2 = \frac{La}{\sum_{i=1}^N * La_i} * Ed \quad \text{para mallas}$$

con:

- Q_1 = sobrecarga sobre el macizo, si corresponde
- b = ancho de la barra de acero
- L_{ai} = largo de adherencia de la barra o malla en el nivel i
- n_i = número de barras o mallas por metro lineal en el nivel i

El valor del coeficiente $Co \leq 1$

- En el caso de las barras, Ed se distribuye a lo largo de ellas en proporción al producto del ancho de la barra y el largo resistente, como se observa en la ecuación.
- En el caso de las mallas, Ed se distribuye en proporción al largo de las mallas.

5.7 DEFORMACIONES DE SERVICIO

Se entenderá como deformaciones de servicio aquellas que ocurren después de la construcción, es decir, durante la vida útil y operativa de la estructura. Estas deformaciones pueden ser comunes o extraordinarias, es decir, contempladas en el diseño original o producidas accidentalmente.

Las causas más comunes de las deformaciones de servicio son:

- asentamientos totales o diferenciales del suelo de apoyo del muro
- eventos sísmicos superiores a los de diseño
- rellenos mal compactados o no controlados
- eventos no considerados (socavaciones, empujes hidrostáticos, mayores cargas a las de diseño, etc.)

Cualquiera de estas causas, en forma única o en efecto combinado, podría provocar deformaciones tanto horizontales (desaplomes o desplazamientos) como verticales (hundimientos o asentamientos).

La experiencia mundial ha demostrado que estos eventos son mejor tolerados por los muros de tierra reforzada que por estructuras tradicionales de hormigón.

Específicamente en el caso sísmico, por ejemplo, las mayores deformaciones detectadas con eventos sísmicos superiores al doble del diseño, fueron menores al 3% de la altura del muro (Kobe, 1995).

Lo más importante de este fenómeno es que éste sea compatible con las estructuras apoyadas o adosadas a ella, pudiendo ser controlado mediante un seguimiento post construcción.

5.8 CONSIDERACIONES ESPECIALES

La aplicación de muros en diversas áreas y situaciones de ingeniería, lleva a enfrentarse a casos donde habrá que hacer consideraciones especiales para el diseño.

Los casos especiales considerados en este capítulo son los más frecuentes. Existen otras posibilidades, pero su solución debe ser investigada en la bibliografía especializada, ya que no es la finalidad de este documento realizar un exhaustivo tratado sobre los muros de tierra reforzada.

Los casos destacados en este capítulo son: muros estribo, muros marítimos o fluviales y muros espalda-espalda. Es posible que un determinado proyecto combine varios de éstos, en cuyo caso se deberá diseñar de manera que satisfaga todas las exigencias simultáneamente.

5.8.1 Muro estribo

Los muros de tierra reforzada para estribos de puentes, tal y como indican las principales normas internacionales (AASHTO, NF P 94-220-0 y BS 8006:1995), deben diseñarse considerando que las cargas que transmite la estructura sobre el muro son tomadas completamente por el muro de tierra reforzada.

El cargadero se analiza de forma independiente, como elemento de hormigón armado, sujeto a las diferentes comprobaciones según los diferentes estados de carga. Obviamente, deberá ser estable por sí solo (verificar el deslizamiento y el volcamiento) y deberá estar reforzado para transmitir adecuadamente las cargas de tierras y repartir las reacciones de los apoyos.

En cada combinación de cargas (ya sean casos estáticos o sísmicos) se determinarán las resultantes que se transmiten desde el cargadero al macizo reforzado, considerando (ver Figura 13):

- P_v = Carga vertical debida a peso propio, sobrecargas y cargas muertas adicionales que actúan sobre el cargadero y que deben ser soportadas por el muro
- P_h = Carga horizontal transmitida por el puente (frenado, sísmica, retracciones, etc.)
- W_c = Peso propio del cargadero
- E_t = Empuje de tierra

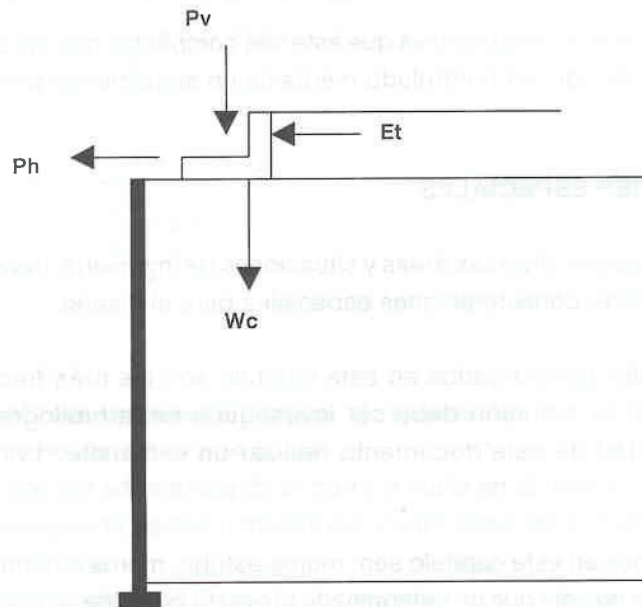


Figura 13: Solicitaciones en un muro estribo

Análisis Externo

Se realiza el mismo análisis de estabilidad (deslizamiento, vuelco y tensión admisible) descrito en los capítulos precedentes, agregando los nuevos esfuerzos a las ecuaciones de equilibrio del bloque.

Análisis Interno

En el análisis interno se añaden los efectos de las cargas nuevas. Tanto la carga vertical como la horizontal transmitida por el cargadero, se incorporan en el cálculo, según la expresión que sigue (ver Figura 14):

$$\sigma_h = K (\sigma_v + \Delta\sigma_v) + \Delta\sigma_h \text{ (Modificando la ecuación del capítulo 5.5 (b))}$$

donde:

$$\Delta\sigma_h = (Ph + Et) / (a1 - 2ev + c) * (1 - z (2 * (a1 - 2ev + c)))$$

$$\Delta\sigma_v = Pv / (a1 - 2ev + z/2 + \min(c, z/2))$$

con:

ev = excentricidad de la resultante bajo el cargador

$a1$ = base del cargadero

c = distancia entre cargadero y muro

z = profundidad

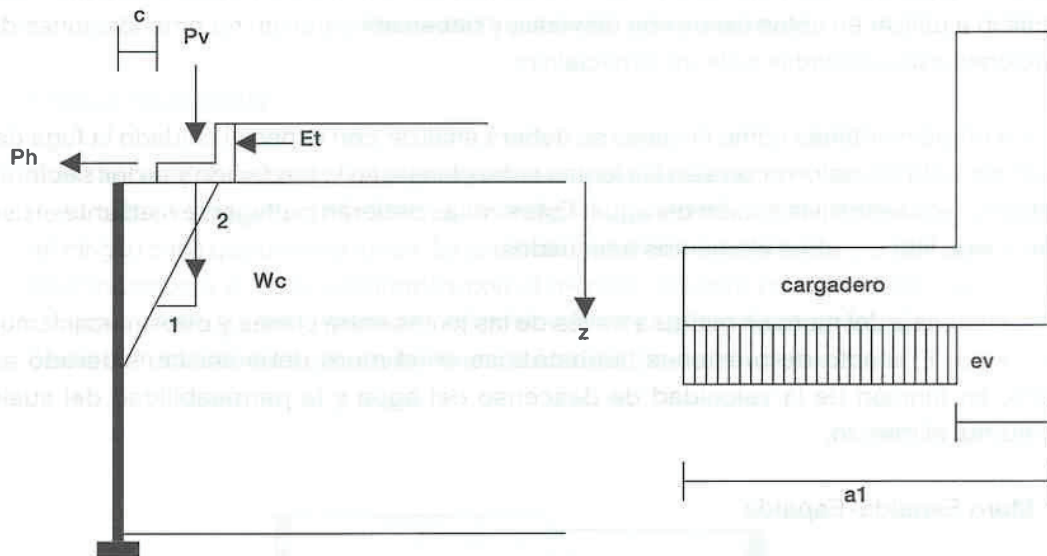


Figura 14: Solicitaciones para el análisis interno en un muro estribo y distribución de tensiones según Meyerhof

5.8.2 Obras Marítimas y Fluviales

En general, los muros marítimos y fluviales se analizan como cualquier otro muro, considerando adicionalmente el efecto del agua, la posible simultaneidad entre sismo y presencia de agua y la presencia de subpresiones, en caso de que éstas sean esperables.

Las obras marítimas y fluviales suman al problema de diseño estructural las verificaciones asociadas a la presencia del agua. En el caso de obras fluviales, es imprescindible considerar

dos estudios mínimos, sin los cuales, de forma general, no deben proyectarse estructuras permanentes:

- Estudio hidráulico e hidrológico.
- Estudio mecánico fluvial.

El primero determinará las solicitaciones a la estructura (caudales, velocidades y cotas de crecida para los periodos de retorno de diseño) y el segundo debe definir las pautas de diseño frente a erosiones y socavaciones.

En los muros situados en la zona marítima, en general, no se realizarán estos estudios, sino sus equivalentes marítimos:

- Estudios de oleaje, corrientes y mareas.
- Estudio mecánico marítimo.

En caso de obras marítimas, es muy importante considerar la presencia de sal marina en el estudio de durabilidad. Normalmente se desprecia el efecto del galvanizado en ambiente marino, por lo que muchas normas y publicaciones recomiendan no utilizarlo. Los espesores de sacrificio a utilizar en estos casos son mayores, y deben apoyarse en recomendaciones de publicaciones especializadas o de un especialista.

Tanto para obras marítimas como fluviales se deberá analizar con especial cuidado la fuga del material fino. Esta situación ocurre en las juntas entre placas, en la fundación y en los sectores de transición expuestos a la acción del agua. Estas zonas deberán protegerse mediante el uso de geotextiles, filtros y otros elementos adecuados.

A su vez, el drenaje del muro se realiza a través de las juntas entre placas y otros mecanismos (drenes, etc.). El efecto de presiones hidrostáticas en el muro debe ser considerado en el diseño, en función de la velocidad de descenso del agua y la permeabilidad del suelo que conforma el macizo.

5.8.3 Muro Espalda-Espalda

Corresponde al caso de dos muros enfrentados, cuyos paramentos son paralelos y comparten el relleno. La influencia entre los muros suele ser favorable, ya que los empujes del relleno detrás del muro disminuyen. La bibliografía básica recomienda variar el empuje del relleno posterior, según los casos y criterios descritos a continuación:

Caso I (sin traslaparse $D > 0$)

Se distinguen dos posibilidades:

1. Muros alejados, que se deben diseñar como independientes:

$$D > H * \tan(45^\circ - \phi/2)$$

2. Muros próximos, en los que se considera una reducción lineal (entre el caso de muro alejado y el traslapado) en el valor de los empujes:

$$D < H * \tan(45^\circ - \phi/2)$$

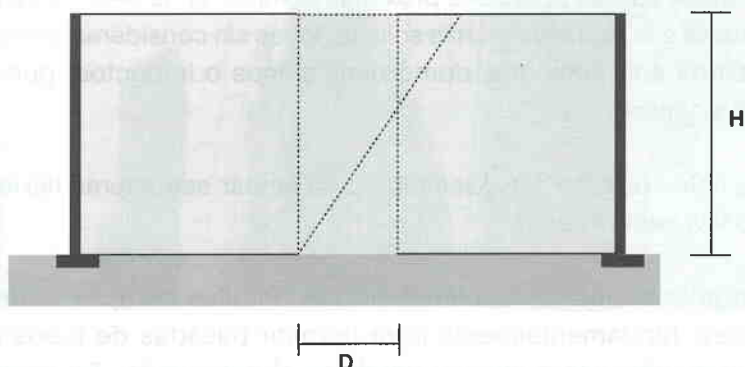


Figura 15: Esquema de muros próximos

Caso II (traslapado)

En este caso no se debe considerar empuje debido a tierras en la parte posterior del muro. Es importante destacar que los refuerzos de ambos muros pueden llegar a traslaparse, no aceptándose en ningún caso que éstos se unan. La unión de los refuerzos implicaría someter al muro a esfuerzos muy superiores a los considerados con el modelo utilizado para el diseño de muros de tierra reforzada. Además, en la práctica, constructivamente es muy difícil garantizar un paralelismo de las caras enfrentadas tal, que posibilite unir los refuerzos de forma adecuada.

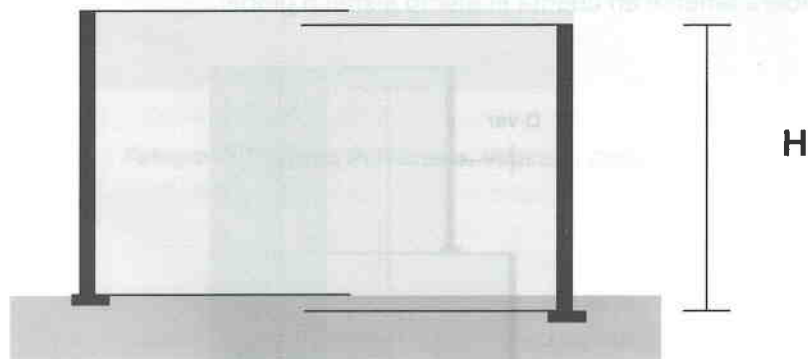


Figura 16: Esquema de muro traslapado

5.8.4 Cargas Especiales y Singularidades

Son múltiples los casos especiales que pueden surgir. Dependerá de la imaginación de los proyectistas y de la complejidad del problema de ingeniería a resolver. En general, pueden existir tanto solicitaciones verticales como horizontales adicionales en diferentes puntos del macizo, cuyos efectos deben ser considerados en el dimensionamiento de los refuerzos. Las reglas de distribución de esfuerzos son las establecidas en los capítulos anteriores.

Cuando se aplican cargas puntuales próximas al muro, en la determinación de los esfuerzos de la armadura se suelen incluir dichas solicitaciones sin considerar un modelo de distribución específico. Otras solicitaciones, como explosiones o impactos, pueden ser modeladas como efectos sísmicos.

Los muros también pueden ser diseñados para fundar estructuras flexibles, como galpones industriales o viviendas livianas.

Entre las singularidades, se suelen producir detalles complejos dentro de proyectos convencionales, fundamentalmente para permitir pasadas de tubos u otras estructuras perpendiculares, oblicuas o incluso paralelas al paramento. Tal es el caso de obras de arte, pilotes, ductos, entre otros.

5.8.5 Muros de paramentos escalonados

Los muros de tierra reforzada se pueden escalonar, generando terrazas o gradas de diferente ancho para acomodarse a la topografía del terreno, o simplemente para dar un mayor valor estético.

El análisis de estos muros dependerá de las condiciones geométricas del escalonamiento respecto a las dimensiones del muro. Gradas pequeñas en relación a la altura del muro son despreciadas en el diseño, considerándose como un solo muro con la altura total de ambos. En el caso de gradas de mayor dimensión y número, el diseño del muro puede considerarse como de paramento inclinado, con el consecuente efecto en el diseño. Por último, para distanciamientos mayores entre muros, éstos pueden diseñarse en forma independiente. Sin desmedro de lo anterior, deberá tenerse en cuenta el efecto sísmico global.

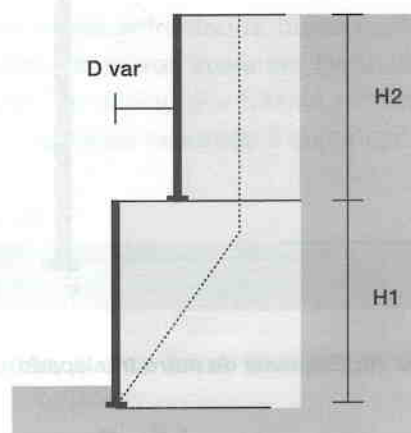


Figura 17: Esquema de muro con paramento escalonado

VI. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

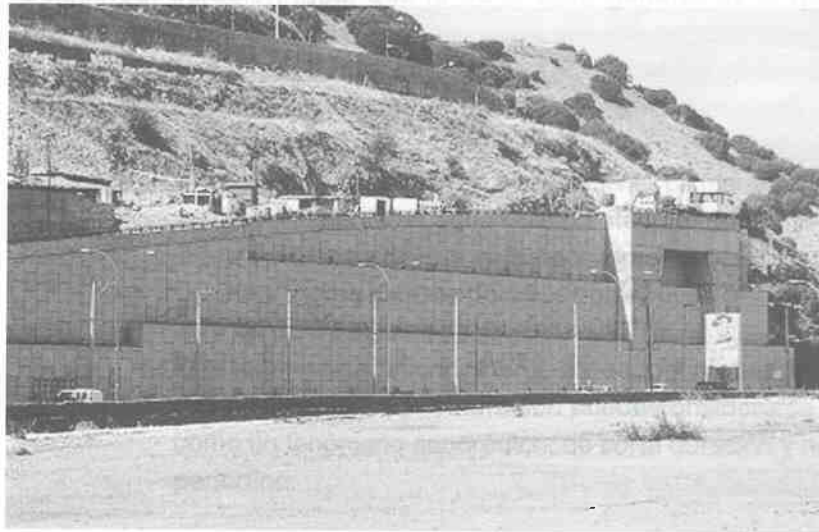
PARA MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

6.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El objetivo de este capítulo es definir los requisitos técnicos para el diseño, ejecución y control de los muros de suelo mecánicamente estabilizado con armadura inextensible. Este tipo de muros se caracterizan por su estructura rígida y su capacidad para soportar grandes cargas de tierra y agua. Se clasifican en función de su altura, su tipo de suelo y su uso. Los requisitos técnicos deben ser adecuados para garantizar la seguridad y la durabilidad de estas estructuras.



Fotografía 10: Muro escalonado Kaufmann, Viña del Mar, Chile



Fotografía 11: Muro Portezuelo, Vitacura, Chile

VI. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA MUROS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

6.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Se definen como obras de contención de tierra reforzada aquellas basadas en armaduras metálicas intercaladas entre capas de relleno granular seleccionado. Las armaduras se disponen horizontalmente, por lo general perpendiculares a las placas, unidas entre sí de forma no rígida. Las placas constituyen el paramento exterior de las obras de contención.

Las obras de tierra reforzada se clasifican:

a) Según su duración prevista de servicio

Provisionales: duración hasta 5 años.

Definitivas: duración igual que la de la obra general de la que forma parte.

b) Según sus condiciones ambientales

Saturadas : El relleno está inundado total o parcialmente, permanente o temporalmente en agua dulce, entendiéndose como agua dulce aquella que es potencialmente potable.
Ej.: ríos, lagos, esteros de agua dulce.

Secas : El relleno está adecuadamente drenado y protegido de la infiltración, y la saturación puede considerarse como un fenómeno esporádico, de corta duración y no periódico.

Marítimas : La obra está en contacto con aguas saladas, bien sea por inmersión o porque pueda estar sometida a la acción directa de las olas o de sus salpicaduras.

Especiales : La obra está sometida a condiciones no usuales de agresividad: corrientes erráticas, rellenos industriales, rellenos salinos, cercanía de agua o líquidos agresivos, etc.

6.2 MATERIALES PARA RELLENOS DE OBRAS DE TIERRA REFORZADA

6.2.1 Definición

Se denomina materiales para rellenos de obras de tierra reforzada a aquellos suelos granulares que se utilizan para formar el cuerpo de los macizos, tras su vertido, colocación y adecuada compactación, tales como: gravas arenosas, arenas gravosas, arenas y arenas limosas.

6.2.2 Condiciones generales

Los materiales a emplear serán suelos granulares obtenidos de los yacimientos que se determinen en los planos y especificaciones técnicas particulares.

6.2.3 Características mecánicas

El material de relleno deberá tener un ángulo de rozamiento interno no inferior a 25°.

Si el material que pasa bajo malla ASTM N° 200 (0,080 mm) es inferior al 15%, el suelo se considerará válido desde el punto de vista mecánico. En los casos en que dicho % se supere, se podrá aprobar una vez realizado un ensayo de corte directo o triaxial para determinar el ángulo de rozamiento interno.

El tamaño máximo de las partículas no podrá ser superior a 250 mm, a menos que sea definido de otra forma por el mandante y/o la empresa proveedora.

6.2.4 Características fisico-químicas

Introducción

Las características fisico-químicas del material deberán cumplir con un conjunto de especificaciones, las que podrán variar en el caso de proyectos especiales (ej.: obras marítimas).

Estas especificaciones son:

a) Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica del suelo saturado (ASTM G 57) deberá ser superior a:

- 1.000 Ω cm para obras secas
- 3.000 Ω cm para obras saturadas

b) Actividad en iones hidrógeno (pH)

El pH de la mezcla agua-suelo deberá estar comprendido entre 5 y 10.

c) Contenido en sales solubles

La mezcla agua-suelo tendrá un contenido de iones cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{--}) y no deberá sobrepasar los siguientes valores:

- Obras secas $\text{Cl}^- \leq 200 \text{ mg/kg}$ $\text{SO}_4^{--} \leq 1.000 \text{ mg/kg}$
- Obras saturadas $\text{Cl}^- \leq 100 \text{ mg/kg}$ $\text{SO}_4^{--} \leq 500 \text{ mg/kg}$

d) Contenido orgánico

El relleno deberá estar libre de todo contenido orgánico.

Estas exigencias son las normales para rellenos estructurales utilizados en obras civiles. Casi todos los suelos granulares naturales de Chile cumplen estas exigencias, a excepción en general de los suelos salinos de la I y II región.

6.2.5 Elementos metálicos para obras de Tierra Reforzada

a) Definición

Se denomina elementos metálicos de tierra reforzada a las armaduras en todos los casos, a los arranques o clavijas para las armaduras de las placas de hormigón, a los empalmes y enganches, así como a los pasadores o tornillos que se utilizan para unir entre sí armaduras y placas.

Todos los elementos metálicos se fabrican en acero dulce de bajo contenido en carbono, con un recubrimiento de zinc por galvanización en caliente (Tierra Armada y VSL) o electrolítico (VSL) conforme a la norma ASTM A 153 o ASTM A 123.

En cada estructura se utilizarán elementos de un solo tipo de material, es decir, con o sin protección de galvanización, utilizándose los no galvanizados únicamente en obras marítimas, suelos agresivos y obras provisionales.

b) Corrosión de las armaduras

Los espesores nominales de los elementos metálicos serán tales, que tras deducir los espesores de seguridad correspondientes a la corrosión que se detallan en la Tabla 2, los espesores remanentes sean iguales o mayores que los previstos en los cálculos (en mm).

Tabla 2: Espesores de sacrificio en mm

Obra/Condición	Acero sin galvanizar			Acero galvanizado		
	Seca	Saturada	Marítima	Seca	Saturada	Marítima
Provisional (5 años)	0,5	0,5	1,0			
Definitiva (75 años)			0,5	1,0	1,5	
Definitiva (100 años)			7,0	1,5	2,0	
Especial	SP	SP	SP	SP	SP	SP

Notas:

i) SP = según proyecto.

ii) Los espacios en blanco se tratarán como casos especiales.

Por ejemplo, una obra provisional y saturada tendrá un espesor de sacrificio de 0,5 mm al utilizar acero sin galvanizar.

c) Características del acero

Armaduras

El acero será del tipo ASTM A -82, para el caso de mallas, y grado 65 según ASTM A 572 para el caso de barras.

Pernos

Deberán cumplir con la norma ASTM A 325 o equivalente.

d) Galvanizado

Generalidades

En el caso de que se especifique como material metálico el acero galvanizado, todas las piezas serán galvanizadas en caliente (Tierra Armada y VSL) o por método electrolítico (VSL), conforme a las normas ASTM A 123, ASTM A 143 o ASTM A -153.

Aspecto superficial del recubrimiento

Será revisado visualmente, no debiendo presentar picaduras o rayaduras. Además el recubrimiento podrá presentar una cristalización visible, diferente entre ambas caras. La cristalización deberá ser homogénea en su conjunto, sin importar el tamaño de los cristales y su densidad de reparto

En caso de que se detecten picaduras o saltaduras de menor envergadura, éstas deberán ser tratadas con galvanizado en frío.

Peso del recubrimiento

El peso nominal del recubrimiento en el caso de galvanizado en caliente no podrá ser menor de 500 g/m² en cada cara (5 gr/dm²) para las barras y 90 g/m² para las mallas con galvanizado electrolítico.

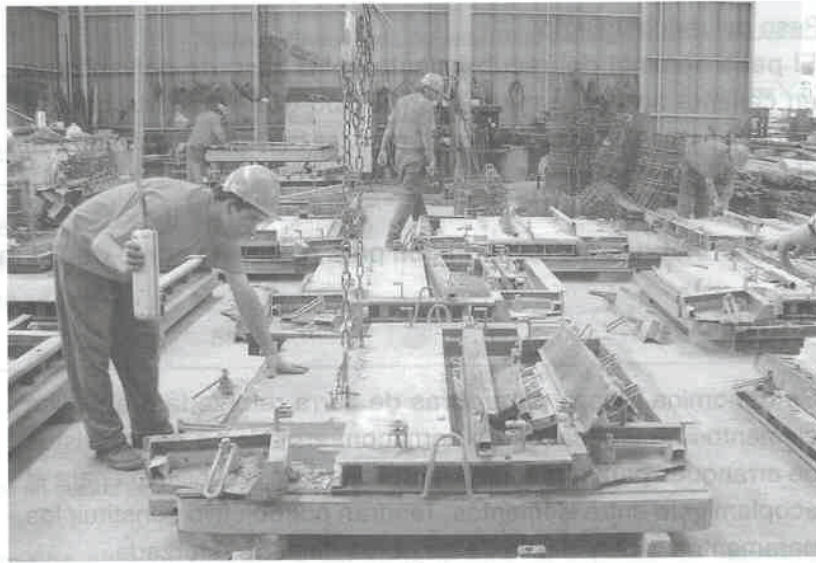
6.2.6 Elementos prefabricados de hormigón para placas de obras de Tierra Reforzada

a) Definición

Se denomina placas para obras de tierra reforzada a aquellos elementos prefabricados de hormigón, armados o no, provistos de arranques para armaduras metálicas y de dispositivos para el acoplamiento entre elementos. Tendrán por objetivo constituir los paramentos o cara visible de las obras de tierra reforzada.

b) Hormigón

- Las placas serán prefabricadas en planta o en obra, según corresponda.
- El hormigón se dosificará para alcanzar las resistencias del proyecto.
- El tamaño máximo de los áridos será de 25 mm.
- Los áridos, así como el cemento, no tendrán características agresivas respecto al metal de los arranques y enganches para las armaduras de tierra reforzada.
- Los elementos se hormigonarán horizontalmente con la cara exterior (paramento) hacia abajo sobre el encofrado y la cara interior hacia arriba.
- El hormigón se colocará sin interrupción, teniendo cuidado de que no entren en contacto, bajo ningún concepto, los enganches de las armaduras de tierra reforzada y las armaduras de la placa.
- El hormigón se vibrará, y se controlará que penetre en todas las esquinas y huecos, para evitar nidos y otros defectos.
- Se utilizará el mismo tipo de desmoldante para todos los elementos.



Fotografía 12: Fabricación de placas de hormigón en planta



Fotografía 13: Fabricación de placas de hormigón en obra

c) Armaduras para hormigón

Las armaduras de las placas cumplirán las condiciones del hormigón armado indicadas en las especificaciones técnicas.

d) Dimensiones y tolerancias

Las dimensiones y tolerancias de los elementos serán las fijadas en los planos.

e) Manejo y reparación

Se tomarán todas las precauciones necesarias en el manejo y almacenamiento, para evitar dañar los elementos, erosionar la superficie exterior (paramento) y doblar los arranques para las armaduras de tierra reforzada. Los elementos se almacenarán siempre con los arranques o clavijas hacia arriba, sobre tacos de madera de mayor espesor que la longitud de los arranques y colocados junto a éstos. Nunca se apilarán más de 8 elementos. El paramento no tocará el suelo.

Se indicará claramente en la parte trasera o lateral de cada placa la fecha de hormigonado.

Las placas podrán ser reparadas en obra, en caso de daños menores.

6.2.7 Apoyos de placas de hormigón

a) Definición

Se define esta unidad como el elemento situado entre dos placas de hormigón que están colocadas una encima de otra y que tiene por misión obtener un contacto flexible que permita el giro y un cierto desplazamiento relativo entre las dos placas.

b) Características generales

Los apoyos consisten en una placa de neopreno o plástico, de las calidades especificadas por el proveedor.

c) Características mecánicas

Las características mecánicas serán las especificadas por el proveedor.

d) Dimensiones y tolerancias

El espesor de las juntas será de 20 ± 2 mm. La longitud y ancho de los apoyos serán los fijados en los planos y especificaciones.

6.2.8 Tratamientos de juntas entre placas

Según sea el proveedor, las juntas estarán conformadas por una espuma de poliuretano o por un geotextil.

a) Juntas de espuma de poliuretano para placas de hormigón

Las juntas de espuma de poliuretano rellenarán los espacios laterales entre elementos vecinos en las placas de hormigón. Estas juntas están formadas por tiras de espuma de poliuretano de células abiertas, con una sección cuadrada 4 x 4 cm.

El material deberá presentar un buen aspecto, sin indentaciones ni cortaduras ni signos de descomposición. Será suficientemente resistente como para permitir su manejo y puesta en obra sin sufrir daños.

b) Juntas de geotextiles para placas de hormigón

Estas juntas se colocarán, en su caso, fijadas a la parte trasera del paramento, cubriendo las juntas verticales y horizontales. Estarán formadas por tiras de 30 cm mínimo de ancho de material geotextil para filtros de un gramaje mínimo de 125 gr/m².

c) Casos especiales

En el caso de que se prevea la ocurrencia de un flujo de agua a través del paramento, se deberán complementar los dispositivos anteriormente señalados, con los recomendados por especialistas en la materia.

6.2.9 Elementos para la unión de armaduras y placas

Los elementos de unión de armaduras y placas serán tornillos con sus correspondientes tuercas o pasadores, todos de acero de alta resistencia. Se utilizarán con o sin protección galvánica, dependiendo de si la tienen o no las armaduras y otros elementos metálicos.

Las dimensiones nominales para los tornillos y pasadores serán las que especifique el proyecto.

El acero de los tornillos tendrá un límite elástico de 600 MPa, conforme a norma ASTM A 325.

El acero de los pasadores tendrá un límite elástico idéntico al utilizado en las mallas.

6.2.10 Hormigón para enplantillado

Este material se ajustará en todo a las características definidas por el proveedor, debiendo estar bien nivelado y de terminación lisa.

6.2.11 Material para la ejecución de capas drenantes

Este material se ajustará en todo a las características exigidas para drenes en las especificaciones técnicas generales.

6.3 EJECUCIÓN

6.3.1 Descarga y almacenamiento

- Las placas prefabricadas de hormigón llegarán a la obra en camiones de gran tonelaje, por lo cual el acceso deberá ser el adecuado.
- Las placas prefabricadas se descargarán del camión, y las hormigonadas in-situ se desmoldarán, manipulándose por los arranques de ella.
- Se sujetarán por un mínimo de dos (2) o cuatro (4) arranques según traiga la placa, y se mantendrán horizontales durante el proceso de descarga o desmolde, y también durante el apilado.
- Las pilas de placas no tendrán más de ocho (8) unidades.
- Cada placa quedará con sus arranques o clavijas hacia arriba, por lo que deberá colocarse cuarterones o tacos de madera, de modo de impedir el contacto entre placas y arranques.
- Las armaduras se almacenarán planas sobre el suelo.
- Los demás elementos, como tornillos, tacos, geotextil, etc., se entregarán debidamente embalados.



Fotografía 14: Acopio de placas de hormigón



Fotografía 15: Acopio de armaduras

6.3.2 Preparación de base o solera de nivelación

La excavación para obtener la cota de la base o solera se hará de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas de la obra. Se alcanzarán las cotas exigidas, con las tolerancias fijadas por las especificaciones técnicas o por la ITO (Inspección Técnica de Obra).

La base de nivelación se materializará de acuerdo con las dimensiones indicadas en los planos. Este emplantillado tendrá por lo general un ancho de 0,30 m y un espesor de 0,15 m, siendo su superficie lo más lisa posible, admitiendo una tolerancia vertical de hasta 5 mm en todos sus tramos.

Sobre la solera se replanteará la línea exterior del paramento de placas de hormigón. A continuación deberá comprobarse la geometría del replanteo y las distancias del proyecto, marcándose en la solera el punto inicial del montaje.

6.3.3 Capas drenantes

Se ejecutarán, cuando corresponda, de acuerdo con las indicaciones del proyecto y especificaciones técnicas.

6.3.4 Montaje de la placa

El montaje del sistema se efectuará según las especificaciones detalladas incluidas en el Manual de Montaje del proveedor (ver anexos). Sin embargo, un esquema del montaje es el siguiente:

- Las placas deberán ser montadas una vez que éstas tengan la resistencia adecuada para montar.

- Se colocará la primera fila de placas sujeta por puntales en la parte exterior del paramento.
- Se colocarán cuñas de madera en el número suficiente de filas de placas, para evitar los movimientos de éstas al ejecutar el relleno.
- Las placas se trasladarán y colocarán en forma vertical en su posición definitiva con ayuda de un equipo elevador, sujetándolas por los puntos de enganche situados en la parte superior.
- Las placas se colocarán en filas horizontales sucesivas, según se indique en los planos.
- Se sujetarán las placas a las adyacentes de la fila anterior, mediante prensas de madera.
- Para ayudar en el montaje, se utilizarán cuñas de madera, que deberán ser retiradas por etapas, no debiendo quedar alguna al finalizar el muro.
- Se comprobará con plomada y nivel la verticalidad y nivelación de cada placa de hormigón, para asegurar el correcto montaje de la fila siguiente.
- Una vez que el relleno compactado detrás de las placas alcance la altura de la placa (1,50 m) desde el nivel de apoyo del muro, se quitará el sistema de apuntalamiento de la primera fila.

6.3.5 Colocación de armaduras

Cuando el relleno compactado y controlado alcance el nivel de los arranques o clavijas, se nivelará la última capa de relleno, para la colocación de las armaduras.

Las armaduras se colocarán planas, lo más horizontal posible y, por lo general, perpendiculares al paramento.

Se desecharán en cualquier caso todas las armaduras que hayan sufrido deformaciones o daños importantes durante su manejo y almacenamiento, que no hayan podido ser corregidas en obra.

Cada armadura se fijará al arranque correspondiente con los tornillos o pasadores, conforme a las instrucciones del proveedor.

Las armaduras deberán apoyarse adecuadamente sobre el relleno, debiendo evitarse que queden levantadas en la parte del arranque o clavija.

Antes de iniciar la colocación de una nueva capa de relleno, es fundamental comprobar:

- que se han puesto todas las armaduras que indican los planos para el nivel correspondiente.
- que éstas tienen las dimensiones que los planos exigen.
- que están todas debidamente fijadas en los arranques pertinentes.
- que están todas extendidas y perpendiculares al paramento, salvo otra indicación en los planos.

- que todos los elementos metálicos que se encuentren en contacto entre sí (arranque o clavija, armaduras, tornillo o pasador, empalmes, etc.) tengan las mismas características de galvanizado (con o sin).

6.3.6 Relleno

a) Ejecución

El relleno se irá compactando por capas, a medida que se montan las placas.

Las capas de relleno deberán cumplir dos condiciones:

- tener el espesor adecuado para conseguir la compactación exigida,
- hacer coincidir la última capa de cada nivel con el arranque correspondiente.

Para cumplir con estas condiciones, hay que tener en cuenta el tamaño máximo del material, el equipo compactador y las especificaciones técnicas de la obra.

El material de relleno se extenderá y compactará por franjas paralelas al paramento. No es recomendable extender y compactar el relleno en la dirección perpendicular al paramento.

Al extender el relleno sobre un nivel de armaduras, deberá evitarse que estos elementos sean removidos o dañados.

Toda maquinaria sobre orugas no deberá pasar directamente por encima de un nivel de armaduras. La tierra se extenderá, avanzando sobre la capa que va extendiendo.

Se limitará al mínimo posible la circulación de camiones por encima del nivel de armaduras.

Los camiones y maquinaria pesada deberán pasar a una distancia mayor a 1,5 m del paramento.

b) Compactación y humedad exigidas

La compactación y humedad del relleno se fijará en las especificaciones técnicas particulares, cuidando que sea lo más homogénea posible.

La densidad de compactación será la exigida según la función que cumpla la estructura de tierra reforzada. En general, la densidad será igual o superior al 95% de la máxima densidad Proctor Modificado o 75% de la densidad relativa.

El relleno se compactará con un equipo adecuado, para obtener la compactación especificada. Se utilizarán siempre compactadores lisos, como rodillo liso vibrante o placa vibrante.

La compactación de la franja cercana al paramento (1,5 m) se realizará exclusivamente con un equipo menor a 1 ton.



Fotografía 16: Fijación de mallas a placas de hormigón

6.4 TOLERANCIAS Y TERMINACIONES

6.4.1 Relleno

La terminación del relleno estará de acuerdo con las exigencias del proyecto.

6.4.2 Paramento

En lo que respecta al paramento, las tolerancias recomendadas serán las siguientes:

- Respecto al trazado en planta, se recomienda que el paramento no puede estar alejado más de 50 mm de su posición teórica.
- El desplome total del paramento se recomienda que sea inferior a uno por ciento (1%) de la altura total del muro.

El mandante podrá, según los requisitos estéticos y funcionales de cada obra, modificar las tolerancias de montaje del paramento antes indicadas.

VII. INSPECCIÓN TÉCNICA DE OBRAS DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON ARMADURA INEXTENSIBLE

7.1 PLANOS Y ESPECIFICACIONES EN OBRA

El proyecto de un muro de tierra reforzada queda definido por los planos y especificaciones técnicas.

Los planos son la representación visual de la obra, tanto en planta como en elevación, con detalles geométricos y constructivos. Los planos deben incluir:

- Elevaciones geométricas, con hito de inicio y término, y cotas de nivel de coronamiento y base.
- Planta general, con hito de inicio y término, distancias totales y locales, curvas de nivel y largo de armaduras.
- Elevaciones de montaje, con identificación de placas, cantidad de armaduras y longitudes. Contendrá detalles de montaje, como apuntalamiento, detalle de prensas, solera de nivelación, y coronamiento cuando corresponda.
- Cortes transversales, mostrando las secciones más representativas, con largos de armaduras, nivel de apoyo y perfil tipo del pavimento o estructura sobre el muro.
- Cuadro de especificaciones, conteniendo las bases generales de diseño, como vida útil, sobrecarga, parámetros del relleno y suelo de apoyo, factores de seguridad y zona sísmica u otras consideraciones de acuerdo con el mandante.
- Viñetas identificatorias de la empresa, obra, ubicación, proyectista y revisor, así como la identificación del número del plano y proyecto.

Las especificaciones técnicas deberán incluir:

- Bases de cálculo (si corresponde).
- Manual de montaje.
- Especificaciones de materiales, tanto de los propios del sistema como de los rellenos, tal como se indican en el capítulo 6.

7.2 CERTIFICACIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES

Los materiales que conforman el macizo de tierra reforzada, al igual que todo material estructural para la construcción, deben cumplir con las exigencias de calidad que aseguran el cumplimiento del diseño y por lo tanto la seguridad y vida útil de la obra.

Dicho control se realiza fundamentalmente en la fábrica, pero puede también certificarse en terreno, en base a controles aleatorios.

7.2.1 Control de elementos metálicos

Los parámetros que deben controlarse en fábrica son:

- resistencia a la tracción
- alargamiento de rotura
- espesor de recubrimiento galvanizado
- uniformidad del recubrimiento galvanizado

Los dos primeros están relacionados con las características mecánicas y los dos últimos con la durabilidad.

Además deberá realizarse en fábrica un control del aspecto superficial del galvanizado, según lo indicado en el capítulo 6.

7.2.2 Placas de hormigón

El hormigón de las placas se controlará durante la fabricación en base a ensayos de resistencia a la compresión y/o flexotracción, según las especificaciones del proveedor y las exigidas por el mandante.

En obra deberá controlarse, además de la resistencia, las dimensiones geométricas, las condiciones de las pestañas y aristas, y el aspecto superficial (huecos, microfisuras, etc.).

Es importante señalar que el control de los aspectos físicos debe realizarse en el momento de recepción de los elementos, de modo de definir las responsabilidades del proveedor y el contratista.

7.3 CONTROL DE MONTAJE

El objetivo del mismo será comprobar que el montaje de los elementos especiales (placas, armaduras, pernos, apoyos, etc.) cumpla con las indicaciones del manual de montaje, como parte de las especificaciones técnicas generales.

El procedimiento a seguir comprende los siguientes puntos:

- Comprobar la lisura y linealidad del emplantillado o solera de nivelación para el montaje de la 1ª línea de placas.
- Comprobar la exactitud del replanteo de la obra y sus distancias geométricas, así como la ubicación exacta del punto de inicio del muro.
- Comprobar la colocación y distanciamiento de las placas.
- Comprobar que se colocan las cuñas de madera suficientes para lograr el plomo requerido de las placas.
- Comprobar que se van retirando todas las cuñas de madera a medida que avanza el montaje.
- Comprobar que se colocan las prensas de madera para fijar la placa.
- Comprobar que no se coloca más de una fila de placas por encima del nivel del relleno.
- Comprobar la linealidad del paramento recién montado con respecto a las tolerancias especificadas.
- Medir el desplome local de la última fila de placas.
- Comprobar el nivel horizontal de la última línea de placas montadas.
- Comprobar que se colocan los apoyos horizontales de goma o plástico, así como las juntas de espuma y geotextiles, según sea el caso.
- Verificar que no se pongan armaduras dobladas, saltadas o en mal estado (ver capítulo 6).
- Comprobar que se colocan las armaduras especificadas y que éstas se instalan adecuadamente a las clavijas o arranques.
- No permitir la circulación de compactadores o máquinas oruga directamente sobre las armaduras.
- Comprobar que toda la extensión de armadura reposa adecuadamente sobre la última capa del relleno.
- Verificar que las armaduras no presenten curvaturas locales no contempladas en el proyecto.
- Permitir sólo la circulación de equipos de compactación menores a menos de 1,5 m de distancia de las placas, salvo instrucciones expresas del proveedor.
- No permitir el uso de la zona más cercana a la placa como zona de acopio de material.

Los resultados de las anteriores medidas y comprobaciones deberán ajustarse a las especificaciones.

7.4 CONTROL DEL RELLENO

El objetivo de este control es comprobar que el material que se va a utilizar cumple con las especificaciones de diseño indicadas en los planos y especificaciones técnicas, ya sea por el origen del material, por su selección, por problemas de carga, transporte o descarga.

Es recomendable controlar todas las capas del relleno, a lo menos en forma visual (sobretamaño, nidos, huellas debidas a tráfico, etc.) y con el paso de vehículos (camiones).

Este control deberá realizarse en las siguientes etapas:

7.4.1 En su origen (yacimiento o planta)

Deberá certificarse que el material que se extrae cumple con:

- % bajo malla ASTM N° 200
- contenido de sales solubles
- resistividad
- pH
- contenido orgánico

7.4.2 En el acopio

Del material de origen, una vez seleccionado (tamizado), se certificará que cumpla:

- % bajo malla ASTM N° 200
- tamaño máximo
- ángulo de fricción interna

7.4.3 En la obra

En la faena, se controlará la colocación y compactación cumpliendo con:

- % bajo malla ASTM N° 200
- tamaño máximo
- densidad máxima seca
- ángulo de fricción interna (si no fue controlado en su origen (7.4.1) o en el acopio (7.4.2)

Los ensayos para certificar dicho cumplimiento, cuando correspondan, serán los indicados en Tabla 3.

Tabla 3: Ensayos para realización de controles de relleno

% bajo ASTM N° 200 y tamaño máximo	granulometría y límites de Atterberg
densidad máxima seca	Proctor Modificado o Densidad Relativa
sales solubles	ASTM D 4542
resistividad	ASTM G 57
pH	ASTM D 4972
contenido orgánico	ASTM D 2974
ángulo de fricción interna	corte directo o triaxial

La frecuencia del muestreo y ensayos deberán ser determinados por el proveedor, el mandante o la ITO, en función del origen del material (natural o de planta), volumen de la obra y tipo de obra.

Los resultados de los ensayos deben cumplir con las bases de cálculo y especificaciones técnicas del proyecto. Si no fuera así, se rechazará el material, procediendo a buscar otro que las cumpla, o podrá consultarse al proveedor, quien, con la autorización del mandante o ITO, recalculará el muro para las nuevas condiciones.

7.5 TOLERANCIAS DE MONTAJE

El montaje del muro deberá cumplir con las medidas geométricas indicadas en los planos del proyecto, tanto en elevación como planta, así como las tolerancias definidas en las especificaciones técnicas particulares.

Las medidas geométricas podrán ser comprobadas con una mira y nivel, en distintos puntos del desarrollo del muro. Los puntos locales podrán ser verificados con regla y plomo.

La tolerancia de desaplome total recomendada debería ser menor a 1% de la altura total del muro, es decir, no mayor a $h/100$, con h = altura del muro.

Sin desmedro de lo anterior, el mandante podrá exigir en las especificaciones, y previo al montaje, una tolerancia diferente a la señalada, considerando las recomendaciones del proveedor y las condiciones de la obra.

7.6 VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Tanto las bases de cálculo como las especificaciones de diseño indicadas en los planos deben exponer en forma clara y destacada, "los parámetros de diseño", es decir, los valores de las propiedades índices que definen la seguridad y vida útil de la obra.

Dichos parámetros son:

- vida útil
- parámetros del relleno del macizo de tierra reforzada
- parámetros del relleno posterior del macizo de tierra reforzada
- parámetros del suelo de apoyo del macizo de tierra reforzada
- sobrecargas de diseño
- parámetros sísmicos

La vida útil queda definida por la exigencia operativa de la obra (ver capítulo 6), y puede verificarse en base a la corrosión (espesor de sacrificio) de diseño utilizada para dicha vida (ver Tabla 2). En el caso del uso de suelos muy agresivos, será posible dejar una armadura "testigo", a la cual se le podrá hacer un seguimiento en el tiempo.

Los parámetros de diseño del macizo de tierra reforzada son la densidad del relleno y ángulo de fricción interna del mismo. El primero puede obtenerse del ensayo del Proctor Modificado o Densidad Relativa, mientras el segundo puede obtenerse de ensayo de corte directo o triaxial. Esto es válido para el relleno posterior y el suelo de apoyo, este último definido por el estudio de mecánica de suelos propio del proyecto.

Las sobrecargas de diseño deberán cumplir las exigencias para las cuales está diseñado el muro, verificándose en base a lo indicado por el mandante, por la norma de diseño a la cual responde o la opinión de un organismo competente.

Los parámetros sísmicos deberán cumplir con las exigencias de aceleración, amplificación y amortiguamiento propias de la zona sísmica en la cual está emplazado el muro, pudiendo ser verificadas en base a una norma sísmica o la opinión de un organismo competente e independiente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

a) Documentos y libros

- McGown et al.: Retaining Structures, Institution of Civil Engineers, C.R.I. Clayton, 1978.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials USA): Standard Specification for Highway Bridges, 1996.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials USA): Standard Specification for Highway Bridges Interim, 1998.
- BRITISH STANDARD: Strengthened/Reinforced Soils and other Fills - BS 8006,1995.
- NORME FRANCAISE: Renforcement des soils - NF P 94-220-0, 1998.
- FHWA (Federal Highway Administration USA): Reinforced Soil Structures. Volume I. Design and Construction Guidelines, 1990.
- MOPU (Ministerio de Obras Públicas España): Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado,1989.
- COLIN J.F.P. JONES: Earth Reinforcement and Soil Structures, 1996.
- FHWA NHI 00 043 (Federal Highway Administration USA): Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines, Marzo 2001.

b) Normas ASTM

A82-01: Standard Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement (*Especificación estándar para alambre de acero liso, para hormigón armado*).

A123/A123M-01a: Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products (*Especificación estándar para galvanizado en zinc (sumergido en caliente) en productos de hierro y acero*).

A143-01: Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement (*Práctica estándar para asegurar la fragilidad de productos de acero estructural galvanizados sumergidos en caliente y procedimiento para detectar la fragilidad*).

A153/A153M-01a: Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware (*Especificación estándar para galvanizado en zinc (sumergido en caliente) en elementos de hierro y acero*).

A325-02: Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength (*Especificación estándar para pernos estructurales, de acero y tratado al calor, con una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi*).

A572/A572M-01: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel (*Especificación estándar para acero estructural de alta resistencia de una baja aleación de colombio-vanadio*).

D2974-00: Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils (*Métodos estándares de ensayo para humedad, ceniza, y materia orgánica de la turba y de otros suelos orgánicos*).

D4318-00: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils (*Métodos estándares de ensayo para el límite líquido, el límite plástico, y el índice de la plasticidad de suelos*).

D4542-95(2001): Standard Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer (*Método estándar de ensayo para la extracción del agua de poros y determinación del contenido de sal soluble de suelos con el refractómetro*).

D4972-01: Standard Test Method for pH of Soils (*Método estándar del ensayo para el pH de los suelos*).

G57-95a(2001): Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity using the Wenner Four-Electrode Method (*Método estándar de ensayo para la medida en terreno de la resistividad del suelo usando el método de Cuatro Electrodo de Wenner*).

IX. ANEXOS

9.1 GUÍA RECOMENDADA PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE MUROS DE TIERRA REFORZADA INEXTENSIBLE

9.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MONTAJE

9.2.1 *PROVEEDOR TIERRA ARMADA LTDA.*

9.2.2 *PROVEEDOR VSL SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN S.A.*

9.3 FICHAS TÉCNICAS CON EJEMPLOS DE APLICACIÓN

9.3.1 *MUROS DE CONTENCIÓN*

9.3.2 *ESTRIBOS DE PUENTES*

9.3.3 *DEFENSAS FLUVIALES*

9.3.4 *MUROS EN MINERÍA*

9.3.5 *MUROS EN OBRAS MENORES*

GUÍA RECOMENDADA PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE MUROS DE TIERRA REFORZADA INEXTENSIBLE

Descripción	Notas y observaciones
<p>1. Lea las especificaciones técnicas y familiarícese con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los requisitos de los materiales. • Los procedimientos de construcción. • Los procedimientos de compactación del suelo y relleno. • Las tolerancias y alineamientos. 	
<p>2. Revise los planos de construcción y familiarícese con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niveles y geometría del lugar muro. • Tipos de placas y armaduras. • Detalles de retornos y juntas. • Existencia de elementos especiales (empalmes, geodrenes, etc.). • La secuencia de construcción. • Las restricciones de tipo de material y compactación de éste. • El detalle para de los requisitos del drenaje, si corresponde. • Especificaciones del proyecto. 	
<p>3. Revise los requisitos de los materiales y criterios de aprobación.</p>	
<p>4. Revise las condiciones del lugar y requisitos de la fundación. Observe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La accesibilidad del sitio. • La preparación del sello de fundación. • La construcción del emplantillado o solera de nivelación (nivel, alineamiento y lisura). • Los límites de excavación. • La construcción del drenaje, si corresponde. • Las características del entorno: ríos adyacentes, borde de mar o lago, taludes, estructuras cercanas, etc. 	
<p>5. Compruebe que los elementos indicados en la Guía de Despacho u otro documento corresponden al material recibido en obra, y que éstos estén en buen estado.</p>	
<p>6. Compruebe que los elementos en obra corresponden a la cubicación.</p>	
<p>7. Solicite certificación de elementos, si corresponde.</p>	

<p>8. En el sitio, revise las armaduras y placas prefabricadas. Realice la inspección de dichos elementos en el patio de acopio. Rechace los elementos si observa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Armaduras corroídas o saltadas. • Armaduras dobladas. • Agrietamiento severo, descascaramiento o quebraduras severas en placas de hormigón. • Existencia de variación en el color de acabado en placas de hormigón, si corresponde. • Conexiones en mal estado. 	
<p>9. Compruebe si existen los elementos complementarios de montaje y revise su buen estado: prensas, apoyos de madera, reglas de nivel, enmaderado, ganchos y eslingas de montaje, etc.</p>	
<p>10. Observe la construcción para verificar el constructor obedece las especificaciones técnicas de instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compruebe que el montaje se inicia en el punto especificado en los planos, o en el indicado por el profesional de la empresa proveedora. • Verifique: <ul style="list-style-type: none"> – Orden de colocación de placas – Fijación de primera línea – Desaplome interior de placas (≈ 1.5 cm.) – Colocación de cuñas – Colocación de prensas – Colocación de apoyos plásticos o de neopreno – Colocación de espuma poliuretano o geotextil – Utilización de compactador adecuado según la zona – Colocación de armaduras y fijaciones – Colocación de empalmes, si corresponde – Retiro de cuñas – Retiro de fijaciones en 1era. línea, si corresponde. 	
<p>11. Monitoree la alineación especificada en la cara del muro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lineamiento horizontal. • Desaplome vertical. 	

<p>Observaciones finales Fecha:</p>	<p>Revisó:</p>

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MONTAJE

PROVEEDOR: TIERRA ARMADA LTDA.

A continuación se describen las operaciones necesarias para realizar un correcto montaje de las obras de TIERRA ARMADA®, así como recomendaciones prácticas para la organización de la obra.

Las instrucciones reseñadas a continuación son de aplicación general. Cuando la estructura a montar tenga algunas especificaciones especiales, ello se indicará en los planos de proyecto.

En cualquiera de los casos, todo tipo de problema que pudiera surgir en el curso del montaje será resuelto por personal técnico de TIERRA ARMADA® y, en especial, por el supervisor del montaje en obra.

ÍNDICE

1 OPERACIONES PREVIAS AL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

- 1.1 Tipo de organización
- 1.2 Estimación del equipo necesario para el montaje
- 1.3 Material de relleno

2 DESCARGA Y ACOPIO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

- 2.1 Armaduras
- 2.2 Placas
- 2.3 Juntas

3.- OPERACIONES DE MONTAJE

- 3.1 Excavación
- 3.2 Solera de nivelación
- 3.3 Colocación de la primera fila de placas
- 3.4 Terraplenado y colocación de armaduras
- 3.5 Colocación de la segunda y sucesivas filas de placas
- 3.6 Acuñado de placas
- 3.7 Empotramiento de la estructura

4 CONTROL DE MONTAJE

- 4.1 Objetivo
- 4.2 Procedimiento recomendado
- 4.3 Nota importante
- 4.4 Otras consultas

1. OPERACIONES PREVIAS AL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

1.1. TIPO DE ORGANIZACION

La ejecución de la estructura de Tierra Armada debe ser organizada como una obra de movimiento de tierras.

El rendimiento en el montaje del paramento y la colocación de las armaduras depende directamente de una buena organización del movimiento de tierras.

El espesor de las capas dependerá del tamaño máximo y del equipo compactador utilizado. El volumen de cada una de ellas viene determinado por la longitud del muro y la longitud de las armaduras.

En el caso de existir terraplén de acceso y/o derrame en el lado opuesto del paramento, habrá que sumarlo al volumen del macizo armado, sin que dicho incremento de tierras deba necesariamente cumplir las condiciones específicas impuestas para los macizos de Tierra Armada (Figura N° 1).

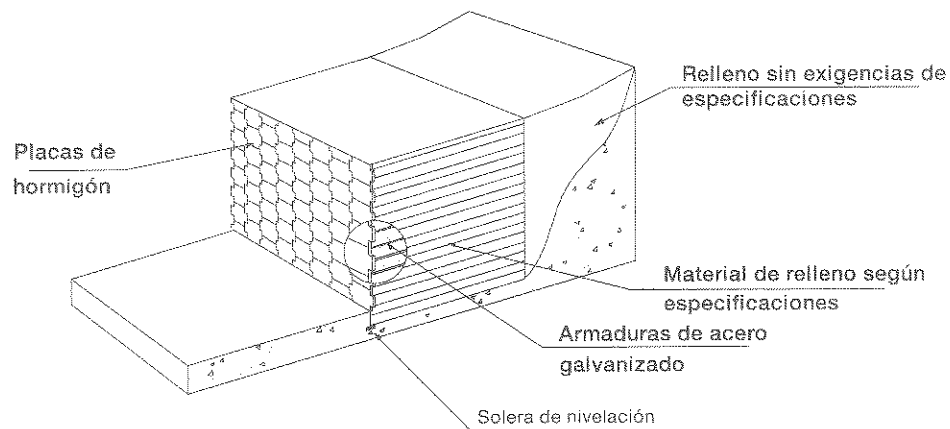


FIGURA N° 1

1.2. ESTIMACIÓN DEL EQUIPO NECESARIO PARA EL MONTAJE

El equipo humano que estimamos necesario por frente de trabajo, es:

- Un capataz, jefe de equipo o similar.
- Un carpintero, albañil o similar.
- Tres o cuatro jornales.

Además de todos los elementos prefabricados que constituyen la estructura de Tierra Armada y que se suministran a obra sobre camiones, TIERRA ARMADA LTDA. facilitará el siguiente material de montaje:

- Eslinga para descarga de placas (Figura N° 2).
- Eslinga de montaje con anillo especial de enganche a la grúa (Figura N° 3).
- Plantilla de gálibo (Figura N° 4).

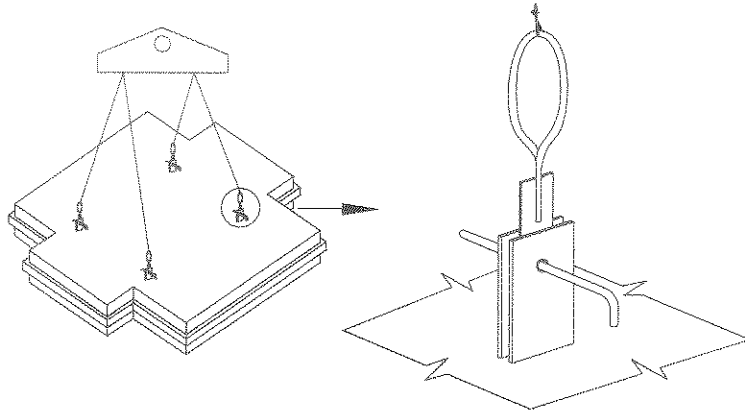


FIGURA N° 2

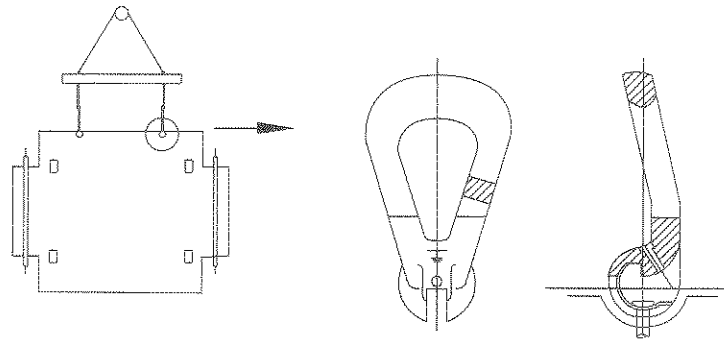


FIGURA N° 3

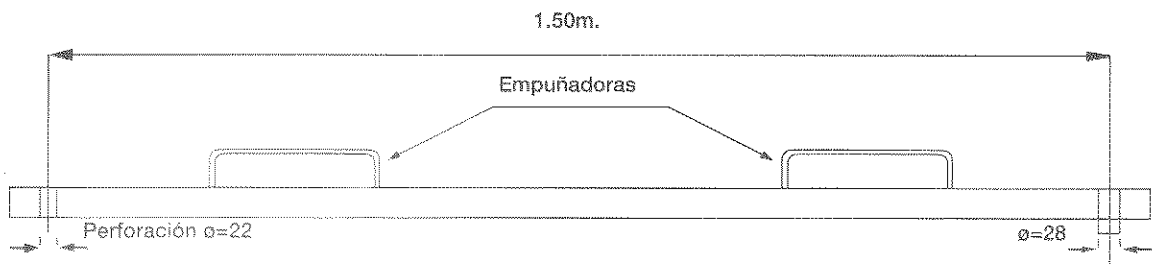


FIGURA N° 4

Equipo mecánico y accesorios a disponer por el contratista serán los típicos para toda obra de montaje, como una grúa móvil, gatos de madera, cuñas de madera, llaves del 20, regla metálica nivel y plomada, madera para apuntalar.

Con los equipos que hemos señalado se deben realizar las operaciones necesarias de: descarga, acopio, montaje, reglaje de placas y colocación de armaduras.

Un rendimiento normal de montaje, en condiciones aceptables de acceso a la obra y de longitud de la misma puede cifrarse entre 50 y 80 m²/día de paramento terminado, una vez finalizada la colocación de la primera fila de placas, que es evidentemente la más laboriosa.

1.3. MATERIAL DE RELLENO

El material a emplear como relleno del macizo de Tierra Armada deberá cumplir con las especificaciones técnicas generales para terraplenes y rellenos del MOP.

El material de relleno será válido cuando el porcentaje que pasa por la malla # 200 sea igual o inferior al 15%. En el caso de rellenos con mayor porcentaje de finos deberán entregarse a Tierra Armada Ltda. sus características para su consideración en el diseño y su aprobación.

El relleno no deberá ser agresivo, por lo que será válido cuando:

La Resistividad eléctrica sea superior a 1000 Ω cm,

La actividad en iones de hidrógeno o pH: el valor del pH está comprendido entre 5 y 10.

El contenido en (Cl⁻) sea menor de 200 mg/kg. y el contenido en (SO⁴⁻) solubles en agua sea menor de 1000 mg/kg.

En el caso de suelos agresivos deberán entregarse a Tierra Armada Ltda. las características del suelo para su consideración en el diseño.

2. DESCARGA Y ACOPIO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

Es aconsejable disponer de un acopio de elementos prefabricados mínimo para ocho-diez días de montaje, previsión de posibles inconvenientes derivados fundamentalmente del transporte.

2.1. ARMADURAS

Las armaduras llegarán a obra generalmente en camiones de gran tonelaje (25 t.), en paquetes de 50 a 100 unidades, descargándose con una grúa o pluma.

Es necesario evitar doblar las armaduras para no dañar el galvanizado del acero.

Las armaduras no deben colocarse directamente sobre el suelo, si no sobre madera para evitar el contacto con el agua, sobre todo cuando el período de almacenamiento pueda ser prolongado.

Los pernos y tuercas deben almacenarse en local cerrado para evitar su pérdida.

No se pueden emplear otras tuercas y pernos que los suministrados por TIERRA ARMADA LTDA., siendo especialmente peligroso utilizar pernos comerciales sin autorización expresa de TIERRA ARMADA LTDA.

2.2 PLACAS

Las placas prefabricadas de hormigón llegarán a obra en camiones de gran tonelaje (25 t.), por lo que el acceso a obra deberá ser el adecuado.

Tanto el transporte como el almacenaje se hace con las placas en posición horizontal y los arranques hacia arriba.

La descarga y colocación de las placas en el acopio se realiza con ayuda de eslingas especiales de descarga.

El acopio se realiza según el croquis de la Figura N° 5.

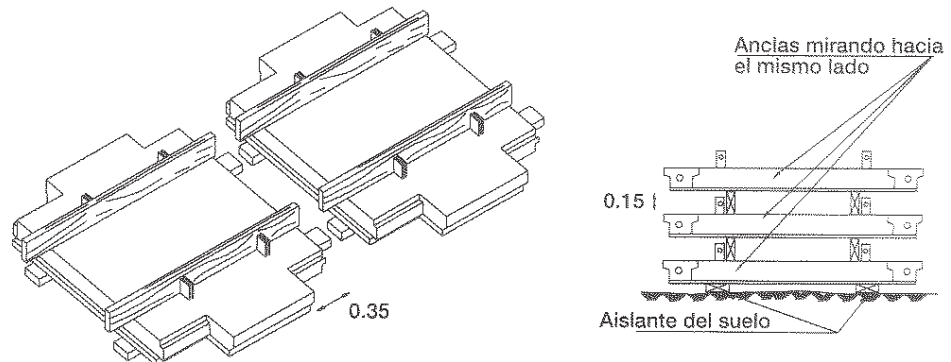


FIGURA N° 5

2.3 JUNTAS

Las juntas verticales y horizontales son de espuma de poliuretano de células abiertas y su función es la de permitir el paso del agua, impidiendo la pérdida de finos del material de relleno. Su sección es de 40 cm. y la longitud aproximada de cada tira es de 2m.

En los casos en que la estructura de TIERRA ARMADA® pueda permanecer inundada temporal o permanentemente, se emplearán juntas verticales y horizontales tipo "geotextil permeable no tejido" pegadas a las placas. La especificación será definida en los planos de proyecto.

En las juntas horizontales entre placas se dispondrán dos o más tacos de neopreno, en función de la altura del paramento (Figuras N° 6 y 7).

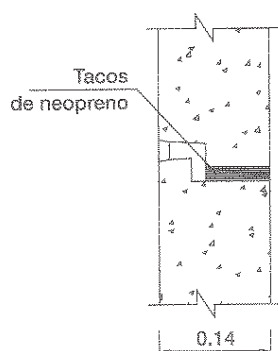


FIGURA N° 6

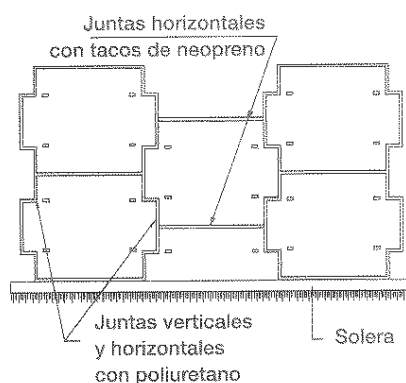


FIGURA N° 7

3. OPERACIONES DE MONTAJE

3.1. EXCAVACIÓN

Una vez ejecutado el trazado de la obra, se procederá a efectuar las excavaciones que correspondan según el proyecto pertinente, cuidando de respetar los taludes y cortes del proyecto así como las eventuales obras de entibación que corresponda. Esto deberá ser recibido conforme por la Inspección Técnica de la Obra.

3.2. SELLO DE EXCAVACIÓN

El sello de las excavaciones bajo el macizo de tierra mecánicamente estabilizada deberá ser recibido conforme por el Ingeniero Geotécnico del proyecto.

El Ingeniero Geotécnico podrá solicitar profundizaciones locales o totales, si lo estima necesario, o podrá especificar la confección de un relleno granular estructural para alcanzar el nivel de apoyo.

3.3. SOLERA DE NIVELACIÓN

La solera de nivelación tiene como misión exclusiva obtener una superficie nivelada y lisa que facilite el apoyo y montaje de la primera fila de placas. **NO ES UNA FUNDACION.**

Es fundamental que su ejecución sea extremadamente cuidadosa y con una buena horizontalidad en sentido longitudinal y transversal. Es la base de un buen montaje posterior (Figura N° 8).

Se deberá replantear la línea exterior del paramento, pintándose la alineación sobre la superficie de la solera, no dejándose nunca una cuerda como referencia.

Cuando en el Proyecto Figuren diferentes escalones de solera, se construirán según el croquis de la Figura N°9.

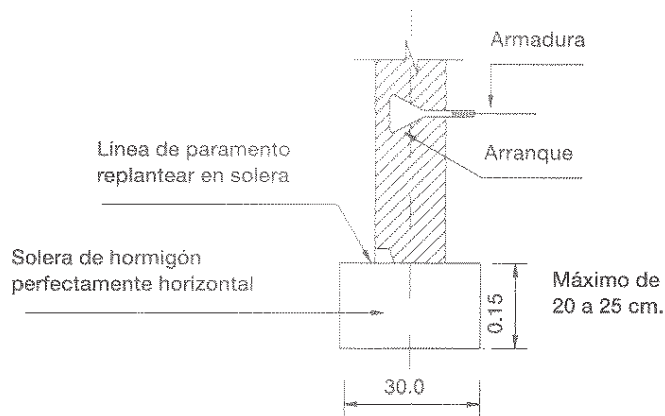


FIGURA N° 8

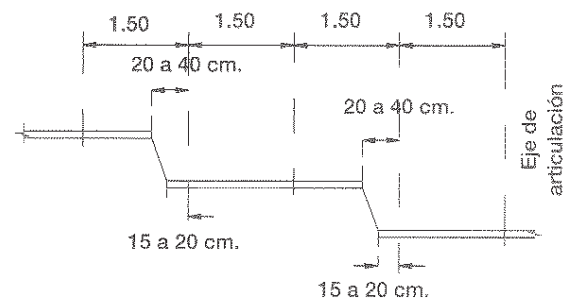


FIGURA N° 9

3.4. COLOCACIÓN DE LA PRIMERA FILA DE PLACAS

Una vez marcado sobre la solera el punto inicial de replanteo longitudinal, que normalmente viene definido en el Proyecto, se procede al montaje de las primeras dos medias placas.

El orden de operación es:

1. Colocación de placa 1.
2. Colocación de placa 2.
3. Comprobación con la regla de gálibo (Figura N° 10)
4. Verificación de la horizontalidad con la regla metálica (Figura N° 10).
5. Aplomado de las placas (con plomada, nunca con nivel) (Figura N° 11).
6. Apuntalamiento (Figura N° 12).

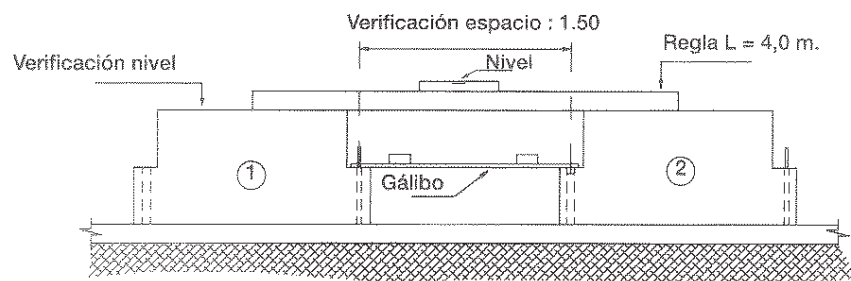


FIGURA N° 10

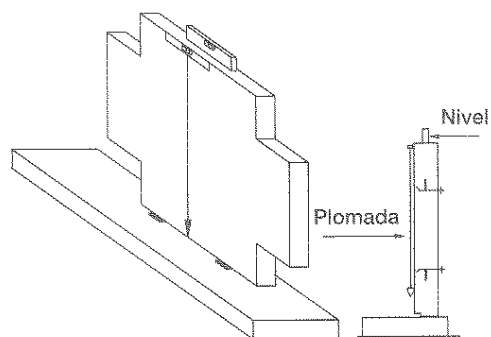


FIGURA N° 11

Nota: Min. de 0,5 a 1,00 m.
Siempre que sea posible

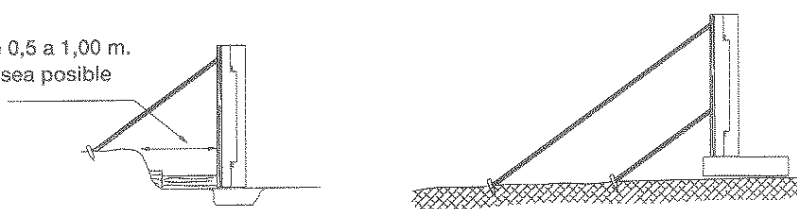


FIGURA N° 12

Seguidamente se continúa el montaje en el siguiente orden:

1. Colocación de la placa entera 3 (Figura N° 13)

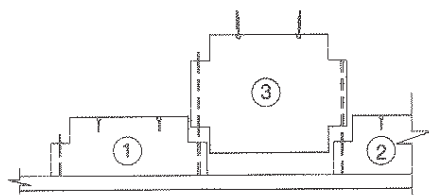


FIGURA N° 13

2. Horizontalidad y aplomado de la placa 3 e inmediato apuntalamo.
3. Verificación de las juntas horizontales las que deben quedar de 2 cms
4. Colocación de la media placa 4 con los criterios expuestos anteriormente.
5. Colocación de la placa 5 (Figura N° 14)
6. Verificación y gálibo entre placas 3 y 5.
7. Horizontalidad y aplomado de la placa 5.
8. Verificación de las juntas horizontales (2 cms.).
9. Verificación con regla y nivel de la horizontalidad de las placas 3 y 5.
10. Apuntalamiento de la placa 5.
11. Colocación de poliuretano por la parte posterior de las juntas verticales y horizontales.
12. Repetición de las operaciones con las placas sucesivas hasta completar la primera fila de ellas.

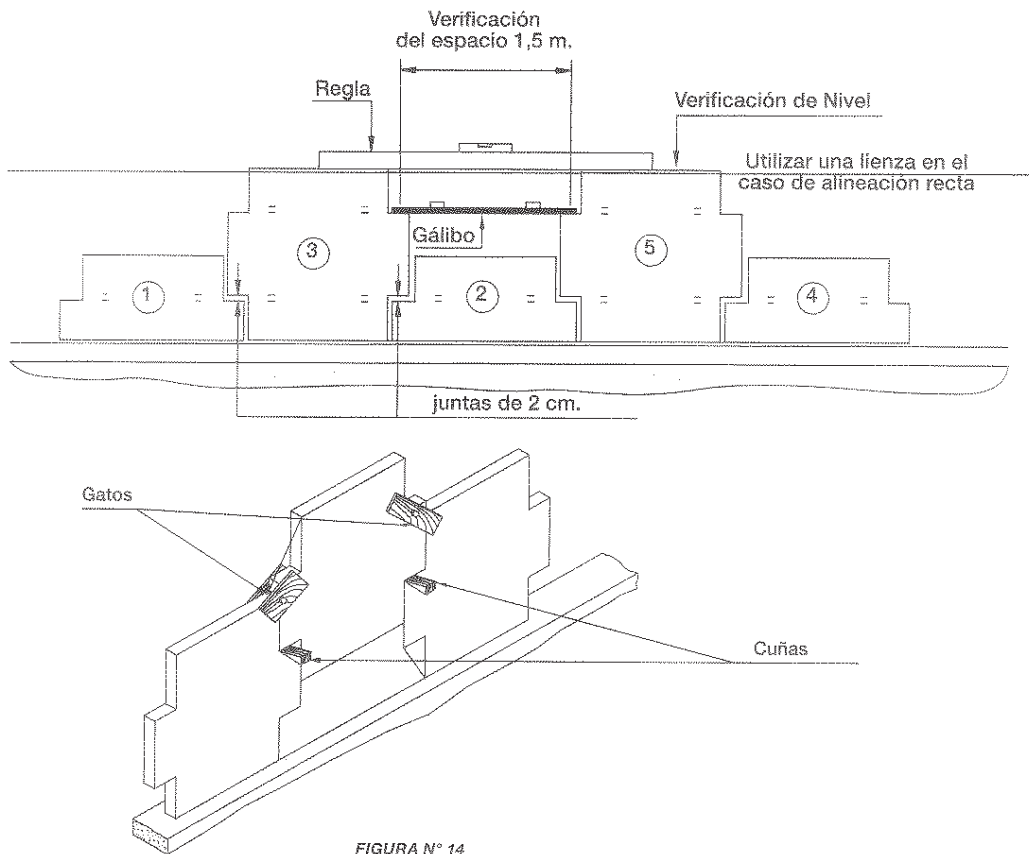


FIGURA N° 14

NOTA El aplomado de las placas se hace siempre con plomada, nunca con nivel, dejando un desaplome hacia el interior de 1 cm. en las placas enteras y 0.5 cm. en las placas medias.

Este desaplome será recuperado cuando se extienda y compacte el suelo de relleno. En algunos casos, y dependiendo del material de relleno, el desaplome indicado se deberá corregir tras las primeras comprobaciones de verticalidad que se efectúen.

3.5. TERRAPLENADO Y COLOCACIÓN DE ARMADURAS

Una vez colocadas y apuntaladas las placas de la primera fila y rigidizadas con los gatos necesarios, se procederá al terraplenado y compactado, de acuerdo con los niveles que se indican en la Figura N° 15.

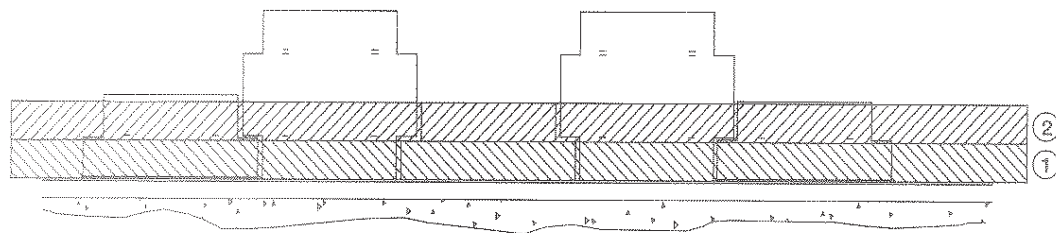


FIGURA N° 15

El material, una vez aceptado por la Inspección Técnica de la Obra, se colocará por capas de 0,25 m. a 0,35 m. de espesor suelto, y se compactará con rodillo liso vibrante o similar hasta obtener una Densidad Relativa no menor a 75% o una densidad seca no menor al 95 % de la densidad seca máxima determinada por el ensaye Proctor Modificado, según corresponda.

El control del material y de su compactación deberá ser efectuado por un laboratorio de mecánica de suelos y supervisado por la Inspección Técnica de la Obra.

Se procede ahora a la colocación de las armaduras correspondientes a este nivel . Las Armaduras se colocan perpendiculares al paramento del muro y se unen a los arranques mediante los pernos y tuercas correspondientes. Colocado este primer nivel de armaduras, se extiende y compacta la capa 2.

NOTA: Indicamos seguidamente una serie de sugerencias para facilitar la realización del terraplenado de los macizos de Tierra Mecánicamente Estabilizada y que su ejecución no interfiera con la calidad del montaje del paramento.

La forma ideal para el extendido de las tierras será el siguiente:

Extender el material de relleno en primer lugar, en el centro del macizo armado, avanzar posteriormente hacia la zona final de las armaduras y finalmente por franjas hacia el paramento.

La dirección de esparcimiento y compactación del material debe ser siempre paralela al paramento en todas sus fases. Nunca debe extenderse el material perpendicularmente a las placas y aún menos avanzando hacia ellas (Figura N° 16).

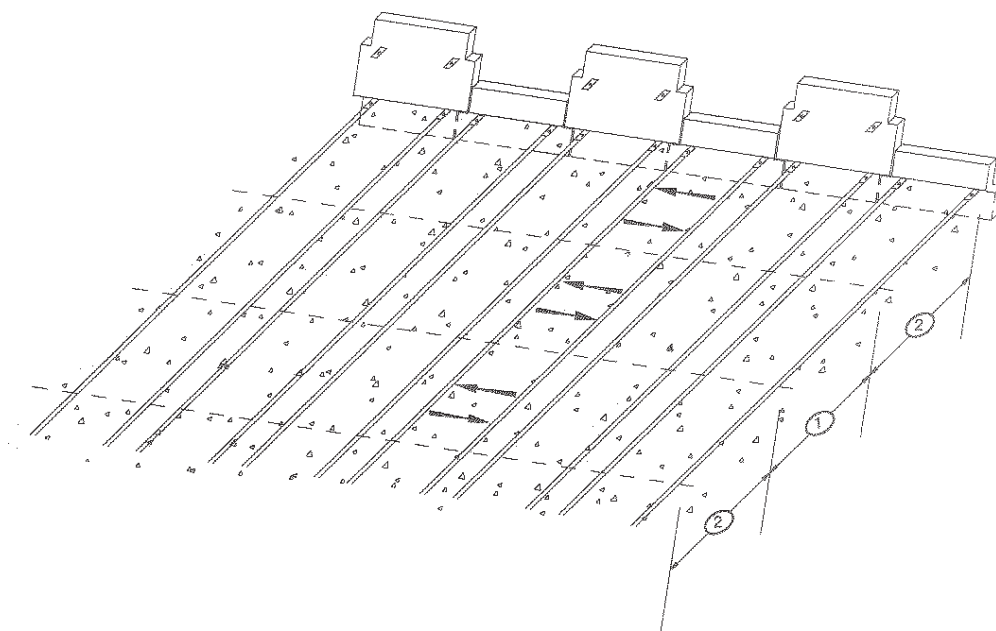


FIGURA N° 16

Si el terraplenado se hace con máquinas de orugas, éstas no deben apoyarse directamente sobre las armaduras, para no dañar su galvanizado.

La única limitación que impone el sistema es la relativa al compactador a utilizar en el metro y medio mas próximo al paramento, franja en la que no se deben utilizar grandes compactadores dinámicos que puedan provocar desórdenes en las placas, fundamentalmente desaplome. En esta zona es recomendable emplear placas vibrantes o rodillos vibrantes de no mas de 1000 Kg de peso estático.

3.6. COLOCACION DE LA SEGUNDA Y SUCESIVAS FILAS DE PLACAS

Una vez compactado el suelo del nivel 2 (ver Figura N° 15) se verificará de nuevo la verticalidad de las placas enteras, comprobando si ha habido desaplome, como consecuencia de la compactación (midiéndolo en su caso).

La segunda fila de placas se montará, teniendo en cuenta el desaplome producido.

El aplomado de las placas de esta segunda fila se efectuará igualmente con plomada, tirándola desde la parte superior de las placas hasta la inferior de la fila precedente.

Las fases a seguir en la colocación de la segunda fila de placas son las que siguen (Figura N° 17):

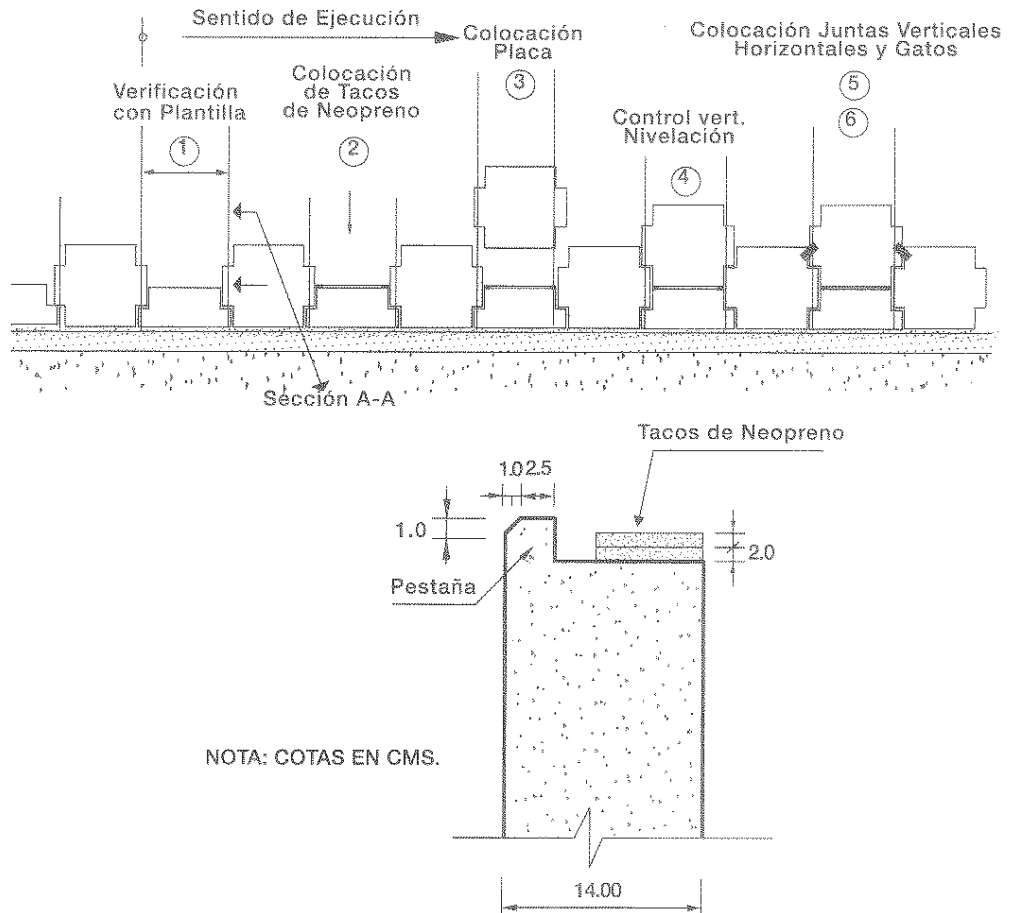


FIGURA N° 17

1. Verificación del gálibo entre las placas ya colocadas con la regla correspondiente.
2. Colocación de tacos de neopreno.
3. Colocación de la placa.
4. Nivelación y aplomado. Utilizar cuñas si fuera necesario.
5. Colocación de la junta vertical y horizontal de poliuretano por el paramento interior.
6. Colocación de gatos.
7. Comprobación de que la alineación es correcta.
8. Continuar extendiendo y compactando las sucesivas capas de relleno y colocando las armaduras en los niveles correspondientes.

3.7. ACUÑADO DE LAS PLACAS

Para nivelar y aplomar las placas, se utilizan cuñas de madera si ello es necesario.

Las cuñas se colocarán siempre en la pequeña junta horizontal de los brazos de la cruz.

4. CONTROL DE MONTAJE

4.1 OBJETIVO

El objetivo de este control es comprobar que el montaje de las placas y armaduras se hace de acuerdo a los planos y especificaciones del proyecto.

4.2 PROCEDIMIENTO RECOMENDADO

El procedimiento recomendado comprende los siguientes puntos:

- Comprobar que se colocan las cuñas de madera suficientes para impedir el movimiento de las últimas filas de placas.
- Comprobar que se van retirando las cuñas de madera a medida que avanza el montaje.
- Comprobar que no se coloca mas de una fila de placas por encima del nivel del relleno.
- Comprobar que el desaplome total del paramento sea inferior al 1 % de la altura total del muro, salvo otra especificación del Proyecto.
- Comprobar que se colocan los apoyos horizontales de neopreno en la cantidad indicada en los planos y que se rellenan las juntas horizontales y verticales con espuma de poliuretano.
- Comprobar que se colocan las armaduras de las longitudes especificadas y que solo se utilizan los pernos y tuercas entregados por el proveedor.
- Comprobar que las armaduras se apernen adecuadamente a las placas.

No se aceptará el uso de elementos o materiales no provistos o aprobados por el proveedor del sistema. Si por cualquier motivo faltaran algunos elementos del proveedor en obra, se deberá comunicar el hecho de inmediato al proveedor para su provisión extraordinaria.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MONTAJE

PROVEEDOR: VSL SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN S.A.

ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN**
- 2 SISTEMA DEL MURO DE TIERRA RETENIDA VSL**
 - a) Base de nivelación
 - b) Panel de hormigón prefabricado
 - c) Cojín de apoyo
 - d) Geotextil
 - e) Malla de refuerzo del suelo
 - f) Material de relleno
 - g) Coronamiento
- 3 RESUMEN DE LA SECUENCIA CONSTRUCTIVA**
- 4 ALMACENAJE Y TRANSPORTE ADECUADO**
- 5 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS**
 - a) Herramientas
 - b) Equipos
- 6 SECUENCIA CONSTRUCTIVA**
 - a) Preparación del terreno
 - b) Construcción de la base de nivelación
 - c) Montaje de la primera línea de placas
 - d) Montaje de los siguientes niveles de paneles
 - e) Otros registros de fabricación e instalación
 - f) Certificación del muro

1. INTRODUCCIÓN

Los muros de TIERRA RETENIDA VSL son estructuras de contención simples y económicas, de una presentación estética agradable.

El sistema consiste básicamente en un paramento de paneles de hormigón prefabricado, niveles de malla de refuerzo de suelo conectados a los paneles, confinados dentro del material de relleno típico de terraplén.

La teoría básica de la TIERRA RETENIDA VSL se relaciona con las metodologías de cálculo de estabilidad de curvas de falla, empleadas regularmente en mecánica de suelos. El anclaje del refuerzo (mallas) involucra la transferencia de esfuerzos desde el suelo a la malla de refuerzo en el área proyectada de las barras transversales, la cual se transfiere a las barras longitudinales, quedando éstas en un estado tensional, permitiendo que una masa de suelo sea capaz de soportar carga en sentido del refuerzo.

Este manual está orientado a ayudar en la etapa constructiva de los muros de TIERRA RETENIDA VSL. Su contenido debe ser revisado cuidadosamente por aquellos que tendrán la responsabilidad de esta etapa constructiva, antes de la entrega de los materiales.

El contenido de éste manual es solamente una guía general, y no libera al constructor de la responsabilidad de referirse a los planos y especificaciones del proyecto particular.

Los registros mencionados en este documento corresponden al Sistema de Calidad bajo la norma ISO 9001 que aplica VSL para este producto. El contenido es solamente una guía general de referencia, predominando sobre éste aquel plan de calidad específico de la obra, y no libera al constructor de la responsabilidad de referirse a los planos y especificaciones del proyecto particular.

2. SISTEMA DEL MURO DE TIERRA RETENIDA VSL

Los componentes que conforman el sistema de muro de TIERRA RETENIDA VSL son los siguientes:

a) Base de nivelación

La base de nivelación para los muros de TIERRA RETENIDA VSL es un hormigón pobre (ver planos) in-situ, y sin refuerzo de armadura. Sus dimensiones están en los planos, siendo la solución típica es de 15 x 30 cm. Esta base será la superficie plana y nivelada para los paneles iniciales. Las tolerancias de nivelación son de 3 mm. La instalación incorrecta de la base significará disminución en el promedio de avance de la construcción del muro, e introduce un riesgo importante para el alineamiento de los paneles.

b) Panel de hormigón prefabricado

En el sistema de los muros de VSL, los paneles se definen en los planos de detalle. Si bien existe un estándar de fabricación y nomenclatura, cada proyecto detalla dicha información, en previsión de casos especiales. El sistema de calidad indica que durante la fabricación de las placas se emplearán los siguientes registros: PPI-M-ME, R-M-CM y R-M-H.

c) Cojín de apoyo

El cojín de apoyo es una pieza rectangular de plástico de 20 mm de alto, es utilizado entre las juntas horizontales de los paneles, y provee un apoyo correcto entre éstos. Se colocan dos cojines por junta, salvo que los planos indicaran otra cosa.

d) Geotextil

El geotextil es utilizado en todas las juntas, y se instala por la cara posterior de los paneles, antes del relleno. Su función es evitar la filtración del material a través de las juntas, a la vez que permite y potencia el drenaje del relleno. Un pegamento se utiliza para sostener momentáneamente el tejido de filtro contra el panel. Cuando se compacta el relleno contra la placa, la presión de contacto lo sujeta eficazmente. Existen casos particulares en los que se refuerza la junta con otros elementos que potencien el drenaje. En estos dichos casos, la colocación debe ceñirse a lo indicado en planos.

e) Malla de refuerzo del suelo

La malla de refuerzo llega a obra totalmente fabricada, según planos. Cuando en obra se produzcan cambios cuya urgencia lleva a modificar mallas en terreno, el ingeniero VSL responsable debe aprobar los cambios e indicar el modo correcto de realizarlos. Está totalmente prohibido realizar modificaciones sin dicha aprobación. En caso que corresponda, la malla será certificada por el fabricante, cuyo sistema de calidad será periódicamente auditado.

Cuando la malla sea galvanizada, se deben tener las siguientes consideraciones. Al momento de realizar Cuando se realicen cortes, éstos deben ser limpiados y protegidos con galvanizado en frío. El galvanizado de las mallas debe presentar un aspecto uniforme, pero es frecuente que se produzcan pequeñas alteraciones superficiales. En estedicho caso, deben repasarse estas zonasla malla con galvanizado en frío en todos los puntos donde el recubrimiento haya fallado. La malla será certificada por el fabricante, cuyo sistema de calidad será periódicamente auditado por VSL.

f) Material de relleno

El material de relleno debe cumplir con las especificaciones generales o las dadas en los antecedentes especiales del proyecto.

g) Coronamiento

En algunos casos, un coronamiento de concreto se instala en la parte superior de los muros. de TIERRA RETENIDA VSL. Éste provee un grado de terminación de apariencia atractiva, y ayuda a la instalación de cercos y señales caminéras, cuando son necesarias. El coronamiento puede ser prefabricado u hormigonado in-situ.

3. RESUMEN DE LA SECUENCIA CONSTRUCTIVA

- Preparar el terreno base.
- Hormigonar la base de nivelación.
- Montar la línea inicial de paneles y los paneles que van sobre las placas no enteras.
- Fijar el geotextil.
- Instalar la primera capa de relleno y compactarla.
- Conectar la malla de refuerzo.
- Instalar la siguiente capa de relleno y compactarla.
- Renivelar la línea de paneles sobre las placas no completas.
- Repetir el ciclo de mallas y rellenos.
- Montar el siguiente nivel de paneles.
- Repetir el ciclo.
- Ubicar los paneles superiores.
- Concretar o instalar el coronamiento, en caso de estar contemplado en proyecto.

NOTA: En la mayoría de los casos se recomienda que al final de cada día de trabajo el relleno quede con una pendiente que se aleje de los paneles, para permitir que cualquier tipo de agua o arrastre se aleje del muro.

En caso que fuera necesario, se usarán las cuñas en las juntas horizontales de los paneles, con el fin de darle la nivelación deseada (habrá dos o tres niveles de cuñas). Todas las cuñas entre paneles deberán ser retiradas cuando la construcción del muro se haya completado.

Cada vez que se colocan placas, se medirá y se registrará el desplome acumulado y el local de la línea, realizando las correcciones necesarias para alcanzar las exigencias del proyecto.

4. ALMACENAJE Y TRANSPORTE ADECUADO

Los paneles deberán ser almacenados uno sobre otro, separados por listones, en una cantidad no superior a ochocinco paneles por grupo (eventualmente se puede cargar encima de los cinco paneles una placa pequeña, tipo B2 o equivalente en peso). Se debe tener cuidado de no dañar los cantos y la cara de los paneles durante la descarga, almacenaje e instalación. Los paneles pueden ser descargados en grupos o de uno a uno, normalmente mediante el uso de estrobos o cadenas; se debe siempre asegurar que sean adecuados para los pesos a mover.

Durante la etapa de montaje, los paneles serán izados e instalados mediante el uso del anclaje de izaje ubicado en la parte superior de cada panel. Cuando un panel sea izado desde su grupo, ubicar un listón o bloque de madera en el borde opuesto al punto de izaje. De esta manera se evita que los paneles se dañen cuando éstos roten al pasar de la posición horizontal a la vertical. (Figura N° 1).

Las mallas de refuerzo deberían llegar al lugar de trabajo en atados de distintas longitudes, para facilitar su clasificación en obra. Se debe tener cuidado de no doblar o dañar las mallas durante la descarga, almacenaje y manipulación.

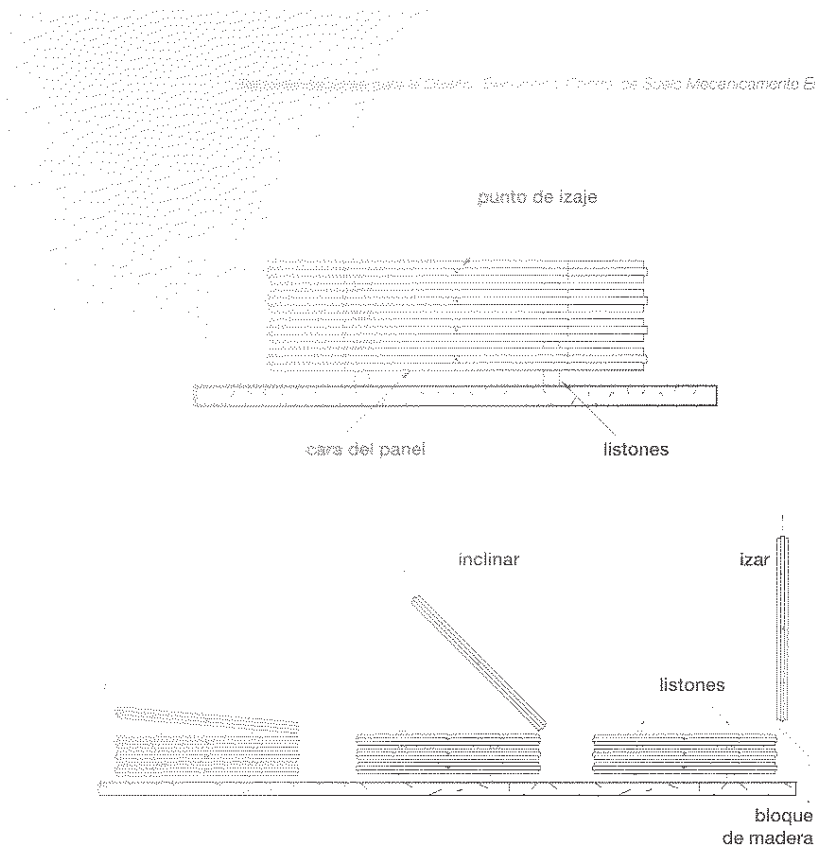


FIGURA N° 1

5. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Debido al simple procedimiento constructivo del sistema de TIERRA RETENIDA, un mínimo de herramientas es requerido. Se sugiere que la constructora tenga a la mano las siguientes herramientas y equipos:

Nota: la presente relación es una orientación y debe ser estudiada en cada obra, según las particularidades que se consideren.

a) Herramientas

- Estrobos o cadenas para la descarga.
- Máquina para el izaje
- Palas.
- Chuzos.
- Nivel de 48".
- Nivel de 24".
- Llave de tuerca ajustable
- Martillos carpinteros.
- Escobas.
- Lienza y plomada.
- Cuñas de madera.
- Abrazaderas (de madera o metal).
- Gancho de izaje para paneles.

Nota: la presente relación es una orientación y debe ser estudiada en cada obra, según las particularidades que se consideren.

b) Equipos

- Grúa pequeña, un camión pluma o retroexcavadora
- Pequeño tractor con pala, para empujar el material de relleno
- Compactador grande de rodillo vibratorio
- Compactador pequeño, para compactar el material próximo a los paneles.

6. SECUENCIA CONSTRUCTIVA

a) Preparación del terreno

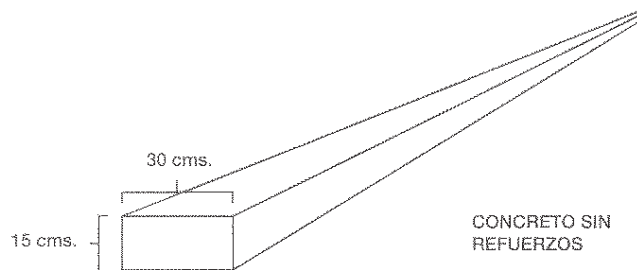
Se recomienda que el área donde va el muro de tierra retenida esté nivelada en un ancho igual a lo largo de la malla de refuerzo más 15 cm 6 pulgadas. Eventualmente se pueden modificar estas medidas, pero sólo mediante previa información al ingeniero responsable de VSL.

Todo material inapropiado deberá ser removido y reemplazado por un material adecuado de relleno y compactado de acuerdo a las especificaciones generales de la obra.

b) Construcción de la base de nivelación

El objetivo de la base de nivelación es proporcionar la línea para la partida en la colocación de paneles. Por ello debe ser considerada como un elemento de importancia geométrica, a pesar de no tener función estructural alguna. Para un montaje de alta calidad es importante que se verifique una tolerancia de 3 mm en todo el largo. En obras sin compromiso estético, con difícil acceso, temporales o situadas en lugares inaccesibles, puede relajarse esta condición, pero sólo asumiendo que será muy difícil crear juntas uniformes. La recepción de la base de nivelación se realizará mediante el registro R-M-BN. (Figura N° 2).

Nota: Los registros mencionados en este documento corresponden al Sistema de Calidad bajo la norma ISO 9001 que aplica VSL.



BASE DE NIVELACION

FIGURA N° 2

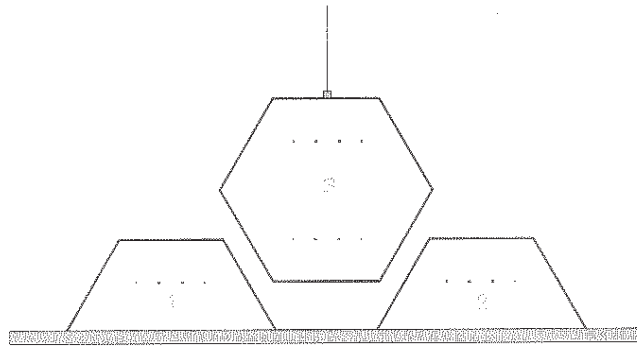


FIGURA N° 4

c.5 Se debe chequear la inclinación antes de continuar. (Nota: se recomienda que esta información sea registrada sistemáticamente durante todo el montaje del muro, incluyendo mediciones y registro de las inclinaciones acumuladas: registro R-M-IP). (Figura N° 5).

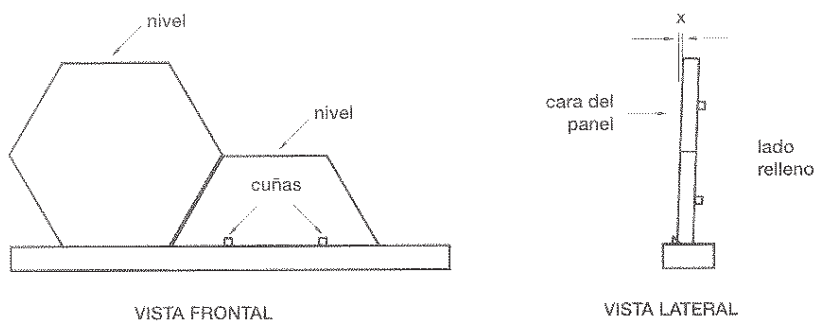


FIGURA N° 5

3.6 Una vez montada la línea y media base de paneles, apuntalar por la cara frontal todos los paneles grandes mediante puntales de 2" x 3". La inclinación se debe chequear antes de fijar los puntales. Sujetar los paneles pequeños a los paneles grandes mediante abrazaderas. La base de paneles así formada, debe estar sujeta y apuntalada, con el fin de mantener la alineación de los restantes niveles. No se va a necesitar apuntalar los niveles superiores. (Figura N° 6)

3.7 Pegar el geotextil por la cara posterior de los paneles, sobre las juntas. Aplicar suficiente pegamento solamente para sostener geotextil al panel, mientras el relleno es instalado. De ser necesario otro refuerzo de drenaje incluido en el proyecto se procederá a su colocación. (Figura N° 7).

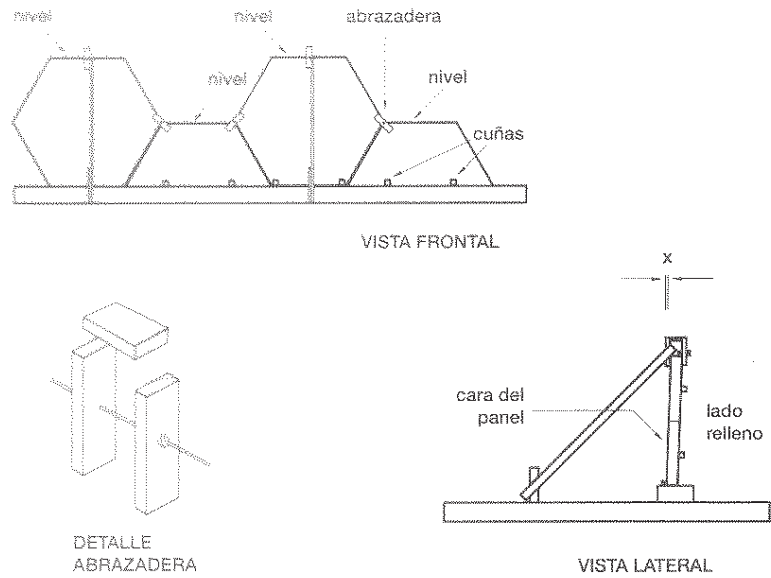


FIGURA N° 6

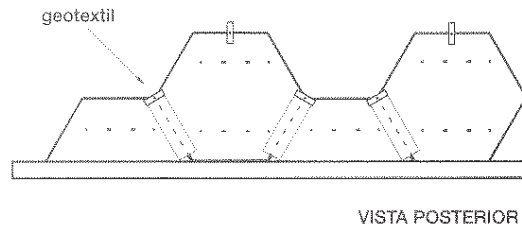


FIGURA N° 7

3.8 Instalar la primera capa de material de relleno seleccionado, hasta la primera línea de conectores. No se debe instalar la primera capa de material directamente contra los paneles, de forma que quedará una cuña de tierras sin colocar hasta que las mallas estén confinadas por la segunda capa de tierras, momento en que se podrá rellenar la cuña frontal del relleno contra la placa. Compactar el relleno próximo a 1 metro, mediante el uso de un compactador pequeño. (Figura N° 8)

3.9 Conectar la malla de refuerzo a los paneles, mediante el uso de las clavijas provistas en éstos. Alinear el conector de la malla entre los conectores de las clavijas. Insertar la barra de amarre a través de todos los conectores y acuñar las mallas contra el panel (completar registro R-M-IM). (Figura N° 8)

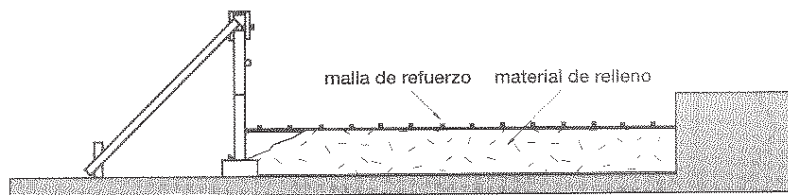


FIGURA N° 8

3.10 La siguiente capa de relleno es instalada según las especificaciones. Llenar y compactar hasta alcanzar el nivel del panel pequeño. El relleno hasta 1 metro del panel debe ser compactado mediante el uso de un compactador liviano. Muestras para ensayos de compactación no deben ser tomadas dentro de este horizonte de 1 metro. (Figura N° 9)

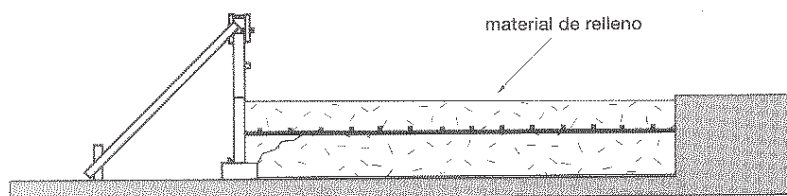


FIGURA N° 9

3.11 Cuando los rellenos han llegado a la cota superior del nivel de placas no completas (usualmente indicadas como tipo B), se debe rectificar el desplome de la media línea de placas colocada encima de ellas, ya que con toda probabilidad se habrá movido.

d) Montaje de los siguientes niveles de Paneles

d.1 Ubicar dos cojines de apoyo de 20 mm sobre la parte superior del panel anterior y montar la siguiente línea de paneles (completar registro R-M-IP). (Figura N° 10)

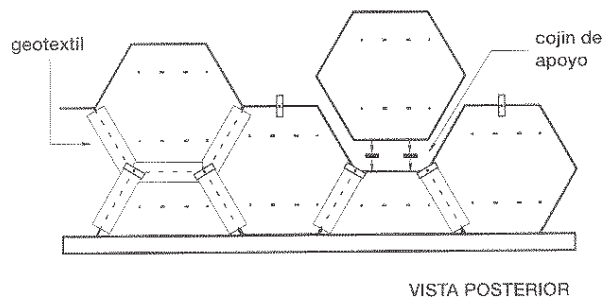


FIGURA N° 10

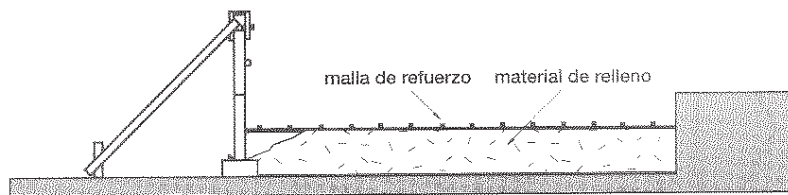


FIGURA N° 8

3.10 La siguiente capa de relleno es instalada según las especificaciones. Llenar y compactar hasta alcanzar el nivel del panel pequeño. El relleno hasta 1 metro del panel debe ser compactado mediante el uso de un compactador liviano. Muestras para ensayos de compactación no deben ser tomadas dentro de este horizonte de 1 metro. (Figura N° 9)

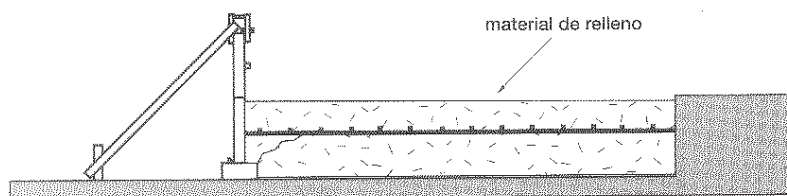


FIGURA N° 9

3.11 Cuando los rellenos han llegado a la cota superior del nivel de placas no completas (usualmente indicadas como tipo B), se debe rectificar el desplome de la media línea de placas colocada encima de ellas, ya que con toda probabilidad se habrá movido.

d) Montaje de los siguientes niveles de Paneles

d.1 Ubicar dos cojines de apoyo de 20 mm sobre la parte superior del panel anterior y montar la siguiente línea de paneles (completar registro R-M-IP). (Figura N° 10)

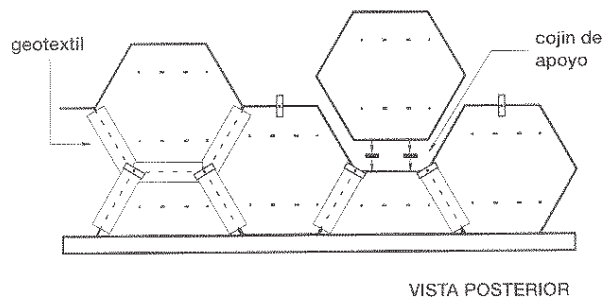


FIGURA N° 10

d.2 Si se tomaron todas las precauciones durante el inicio del montaje, se requerirá poco trabajo en la nivelación de los siguientes paneles. La inclinación de los paneles será lograda mediante el uso de cuñas entre la abrazadera y el panel, o en la junta horizontal entre los paneles. Se recomienda que sólo se considere correcto el montaje cuando un cojín de apoyo pueda deslizarse ajustado pero suelto a lo largo de los 76 cm de junta vertical nueva.

d.3 Pegar el geotextil por la cara posterior de los paneles.

d.4 Instalar el relleno hasta el siguiente nivel de malla, instalar la malla de refuerzo sobre ésta y repetir esta secuencia para la altura de muro restante.

e) Otros registros de fabricación e instalación

Los registros que rigen esta actividad y que no han sido detallados en anteriores apartados son los siguientes:

- La recepción de acero se apoya desde VSL mediante el registro R-M-RA.
- El profesional de terreno de la obra debe examinar el equipo de trabajo y sus cambios, registrando la idoneidad del mismo en los registros PPI-M-ET.
- El profesional de terreno o el responsable de calidad debe realizar la recepción de mallas según plan de calidad de la obra (R-M-RM).

f) Certificación del muro

Al finalizar el muro, se emitirá un certificado de calidad, en el que se relaciona el alcance certificado y los registros que lo respaldan. Este documento es el último registro que se realiza (R-M-EF).

FICHA 1: MUROS DE CONTENCIÓN



OBRA:
ÑILQUILCO

UBICACIÓN:
Ruta 5 Sur, By Pass Temuco.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2002

CLIENTE:
Ferrovia Agroman Chile S.A.

CARACTERÍSTICAS:
Muro de contención en la nueva autopista, en un sector sin posibilidades de continuar con el derrame del terraplén, dada la proximidad del lecho del río. Altura máxima de 13 m.



OBRA:
MURO NUDO EL SALTO

UBICACIÓN:
Américo Vespucio con Avda. El Salto
Huechuraba, Santiago.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2002

CLIENTE:
E.C. Mendes Junior y Asociados.

CARACTERÍSTICAS:
Muro de terraplén acceso al paso superior, de hasta 7,0 m de alto y 254 m de largo.

FICHA 2: ESTRIBOS DE PUENTES



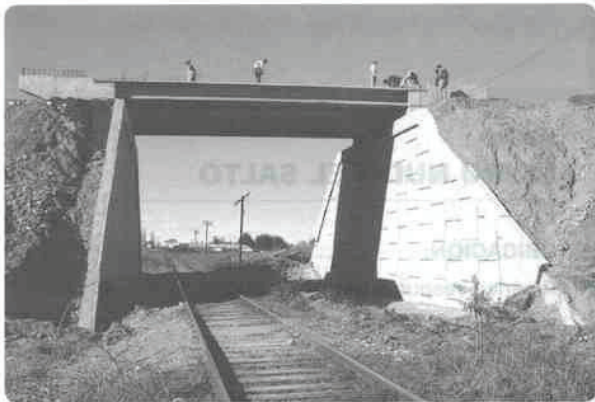
OBRA:
ACCESO JUMBO EASY VIÑA

UBICACIÓN:
Jumbo-Easy ,Avda Uno Norte, Miraflores, Viña del Mar.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2002

CLIENTE:
Inmobiliaria Las Verbenas

CARACTERÍSTICAS:
Estribos y terraplenes de acceso al Jumbo-Easy, con muros de hasta 4,0 m y terminación con árido a la vista.



OBRA:
Paso Superior FFCC FRUTILLAR

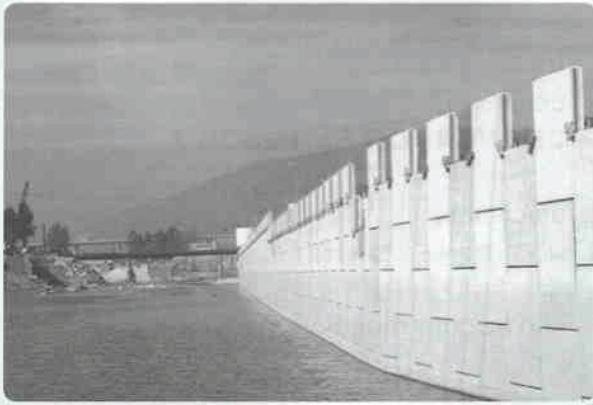
UBICACIÓN:
Ruta 5 Sur, Km. 980

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2001

CLIENTE:
Sacyr Chile S.A.

CARACTERÍSTICAS:
Los muros constituyen la infraestructura del nuevo paso superior FFCC, donde las vigas se apoyan directamente en el macizo de tierra reforzada, a través de un cargador en forma de L. Altura máxima de 9 metros.

FICHA 3: DEFENSAS FLUVIALES



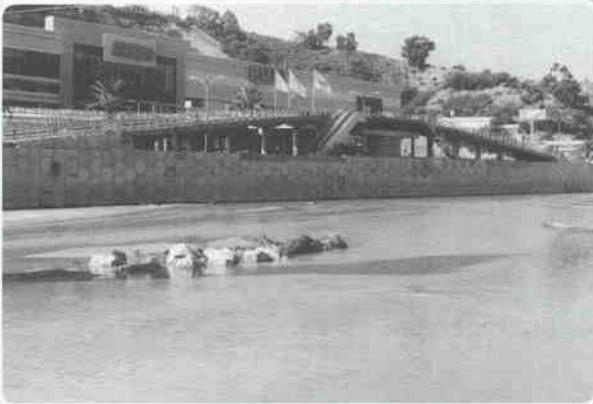
OBRA:
ESTERO MARGA- MARGA

UBICACIÓN:
Estero Marga – Marga, Viña del Mar.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2002-2003

CLIENTE:
Constructora ACS – Sacyr Chile S.A.

CARACTERÍSTICAS:
Los muros constituyen el sistema de contención de las aguas en el Estero Marga – Marga, con una altura máxima de 12 metros.



OBRA:
JUMBO EASY VIÑA

UBICACIÓN:
Jumbo-Easy, Estero Marga-Marga, Viña del Mar.

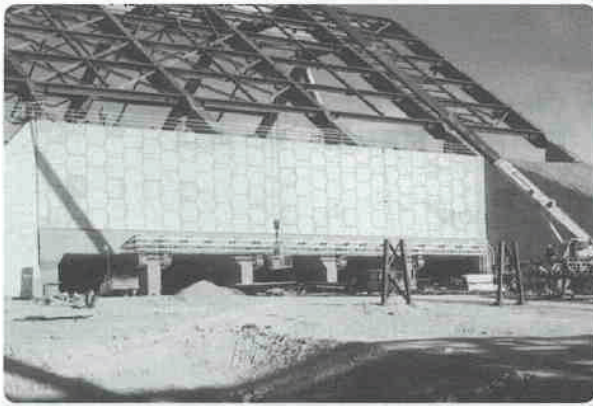
AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
2002

CLIENTE: I
Inmobiliaria Las Verbenas

CARACTERÍSTICAS:
Muros de hasta 6,5 m de altura, con nivel de aguas máximo de hasta 1,0 m del coronamiento. El muro de defensa soporta dos estribos de acceso al Supermercado, también en tierra reforzada.

FICHA 4: MUROS EN MINERÍA

FICHA 3: DEFENSAS FLUVIALES



OBRA:

CHANCADOR EL TESORO

UBICACIÓN:

Minera El Tesoro, Calama, II Región.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

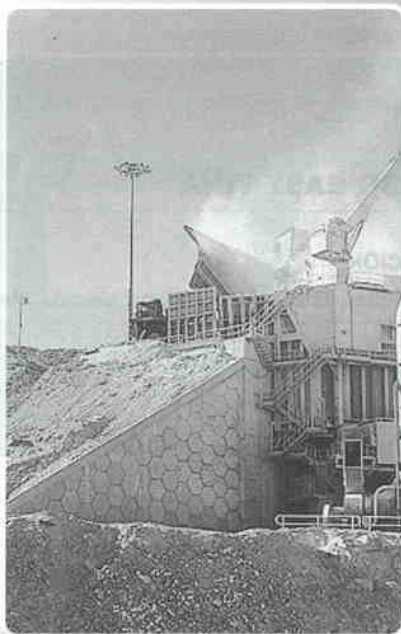
2001

CLIENTE:

2000

CARACTERÍSTICAS:

Muro Chancador de 16,0 m de altura, con losa de aproximación para camiones de 300 toneladas. El relleno utilizado presenta importante contenido de sales solubles.



OBRA:

PLANTA DE CHANCADO K-1

UBICACIÓN:

Codelco Chile División Chuquicamata, II Región.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

1996

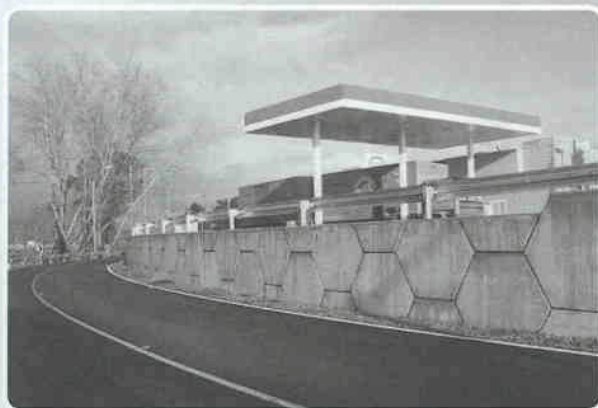
CLIENTE:

Ferrostaal AG, Agencia Chile.

CARACTERÍSTICAS:

Los muros forman parte del chancador de Codelco en Chuquicamata, dos muros laterales y uno central. Altura máxima de 18 metros, con una carga de 370 toneladas en la parte superior.

FICHA 5: MUROS EN OBRAS MENORES



OBRA:

ESTACIÓN DE SERVICIOS ESSO TEMUCO

UBICACIÓN:

Ruta 5 Sur, Km. 658.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

2001

CLIENTE:

ESSO Chile S.A.

CARACTERÍSTICAS:

Los muros son la contención del terreno de la estación de servicio hacia el costado de la calle de servicio. Altura máxima de 3 metros.



OBRA:

RESTAURANTES BORDE RÍO

UBICACIÓN:

Avda. Monseñor Escrivá de Balaguer, Vitacura, Santiago.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

1996

CLIENTE:

E.C. GLS

CARACTERÍSTICAS:

Muros de hasta 5,5 m de altura, diseñados como muros inundables (Río Mapocho) y para el futuro apoyo de una losa de estacionamientos.

Una Publicación



CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLOGICO
Cámara Chilena de la Construcción