

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The Mechanical Stabilized Earth solution to support a road on a 50 meter high rubbish dump slope with various technical and site challenges

Daniel Calatrava
Reinforced Earth Company Ltd., Mississauga, ON, Canada
Nathalie Marcelot
Freyssinet-Tierra Armada de Venezuela C.A., Caracas, DC, Venezuela



ABSTRACT

This paper presents a case study of the design and construction of three MSE walls near the newly built Parque Cerro Verde mall in Caracas, Venezuela. The MSE walls are to support 350m of a road located over a 50m high rubbish dump slope. The project faced several technical and site challenges, since the characteristics of the rubbish dump layers were not entirely measurable. A combination of ground improvement and three MSE walls were developed to avoid occurrence of any possible landslide. Based on the proposed solution, three MSE walls have been designed for the top, middle and bottom of the slope. The base of the top MSE wall placed on a rubbish layer where buried steel strips placed in a grid pattern was selected for ground improvement. This design required general slope stability consideration and collaboration with the project geotechnical engineer.

PRESENTACIONES TECNICAS

El presente caso de estudio corresponde al diseño y construcción de tres muros de suelo reforzado en el nuevo Centro Comercial Parque Cerro Verde en Caracas, Venezuela. Dichos muros dan soporte a la vialidad de acceso de 350m que esta ubicada en la parte superior un talud de 50m de altura con una gruesa capa de escombros sobre el terreno natural.

El principal problema técnico enfrentado fue la determinación de las características de soporte de los escombros. La solución adoptada fue una combinación de muros y mejoramiento de suelo para garantizar la estabilidad del talud. La disposición de los muros en el talud fue uno en la parte superior, otro en la mitad y otro en la parte inferior. Para dar soporte al muro superior fundado sobre escombros, fue necesario realizar un mejoramiento de suelo a partir de pletinas entrecruzadas. El diseño requirió la colaboración de un especialista en geotecnia para la verificación de la estabilidad general del sistema.



Figura 1. Vista general del muro superior y la edificación.

1 INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

1.1 Propietario, antecedentes y finalidad del proyecto

En Agosto de 2006 y por petición de un grupo de ingenieros de la compañía EDIFICA C.A. a cargo de la Gerencia de Obra en representación de los propietarios de la obra (Inmobiliaria Topochal C.A.) e inversionistas del nuevo Centro Comercial **Parque Cerro Verde**, se procede a realizar un proyecto de estabilización de un talud de 50m de altura para la contención de la vialidad de acceso a dicho complejo.

La parcela donde se localiza el Centro Comercial fue empleada, luego del terremoto de Caracas de 1967, como lugar de acopio de escombros de las estructuras colapsadas en ese entonces, razón por la cual el talud que se pretende estabilizar presenta una gruesa capa en su superficie de materiales erráticos y escombros.

El proyecto general presenta grandes volúmenes de material proveniente de las excavaciones, el cual se utilizó para la construcción de los rellenos compactados y muros de contención, a fin de evitar incurrir en los elevados costos de bote del material.

El proyecto de estabilización del talud se hizo según los lineamientos dados por el especialista en geotecnia responsable del diseño y del dimensionado de las estructuras, a fin de garantizar la estabilidad general del sistema. Dicho proyecto de estabilización consideró el uso del material que se encontraba en el sitio usando las propiedades de dichos materiales en los cálculos, además de los espesores de la capa de escombros que yacen sobre el terreno natural y las cargas de uso de la nueva vialidad a construir.

1.2 Localización

La Parcela de 79,6Ha de superficie, se ubica en la zona Sur-este de Caracas específicamente en la urbanización Cerro Verde. El talud en cuestión está ubicado dentro de la parcela en el lindero norte de la misma.



Figura 2. Mapa de Venezuela.

1.3 Sistema de Muros

En el proyecto se plantea la construcción de 3 muros ubicados a lo largo de los 350m de longitud de la vialidad de acceso al Centro Comercial, dispuestos sobre el talud en su parte superior, intermedia e inferior.

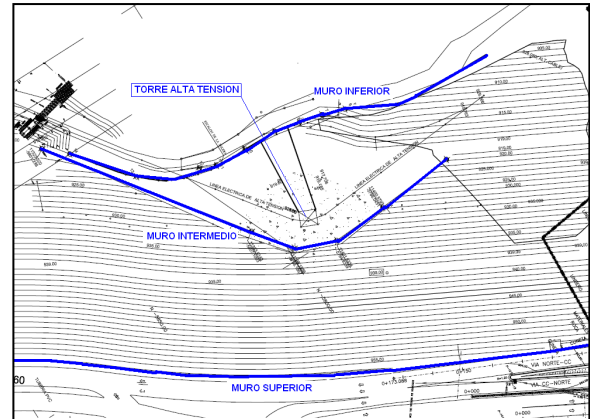


Figura 3. Vista en planta del talud y muros.

1.4 Tamaño del contrato

El proyecto general contempla, para la construcción de la estructura de unos 238873m² de construcción, donde funcionara el Centro Comercial Parque Cerro Verde, unos volúmenes de excavación que oscilan alrededor de los 310,000m³ y volúmenes de rellenos cercanos a los 230,000m³.

Para la contención de las paredes de corte se emplearon unos 6100m² de pantallas atirantadas y para la contención del talud norte y de la vialidad de acceso. En el proyecto se emplearon 5134m² de muros de suelo reforzado, para los que fueron necesarios unos 114,85km de armaduras de refuerzo, alrededor de 90 viajes para el transporte del material y 79400m³ de material para el relleno de los macizos reforzados, además de aproximadamente 190 visitas realizadas a la obra para la necesaria inspección y control de la construcción de los muros.

La construcción comenzó en Junio 2009 y la última pieza fue colocada en Noviembre 2010, lo que representa un ahorro importante de tiempo en comparación con el cronograma preestablecido para una solución de pilotes y muros de concreto armado vaciados en sitio el cual se estimó originalmente en 2 años y 4 meses.

2 DESCRIPCION DEL PROYECTO

2.1 Geometría

La geometría definitiva de la vista en elevación de cada muro fue obtenida a partir de la topografía original del terreno, de las recomendaciones de fundación dadas por el Ingeniero geotécnico responsable de la obra y de la topografía modificada proveniente del proyecto de arquitectura y vialidad. En el caso del muro intermedio, su forma y dimensiones fueron dictadas, además de las

anteriores condiciones, por la existencia de una torre de alta tensión que se encuentra fundada sobre el talud, la cual y debido a su importancia, no podía ser reubicada. El muro intermedio, a diferencia de los muros superior e inferior, no presenta una forma lineal (paralela al talud), sino una zona central (paralela al talud y un par de aletas de cierre a 45° de desviación, tal como se puede apreciar en la figura 2.

En las tablas 1 y 2 se muestra el resumen de las dimensiones y principales características geométricas y de fundación de los muros de Tierra Armada proyectados:

Tabla 1. Características de fundación.

Estructura	Fundado sobre
Muro Superior	Mejoramiento suelo
Mejoramiento fundacion ¹	Escombros
Muro Intermedio	Terreno Natural
Muro Inferior	Terreno Natural

¹Solamente bajo el muro superior

Tabla 2. Características geométricas.

Estructura	Altura máx. (m)	Long. Total (m)	Área muro (m ²)	Long. Refuerzo. (m)
Muro Superior	11.5	330	1319.4	7 - 10
Mejoramiento fundacion ¹	3	330	-	12
Muro Intermedio	11.2	150	915.2	10 - 12
Muro Inferior	11.5	147	2899.6	8 - 16

¹Solamente bajo el muro superior

2.2 Sección Transversal del Talud

El talud norte de la parcela tiene una altura promedio de 50 m. La distancia horizontal entre el borde superior y el pie del talud varía entre 75 m. 100 m. resultado inclinaciones promedios entre 1,5 a 2 en 1 (H / V).

La exploración geotécnica de la zona reveló la presencia de dos clases de materiales, los cuales son esquematizados en la figura 3, donde se muestra una sección típica del talud identificándose claramente los dos estratos litológicos.

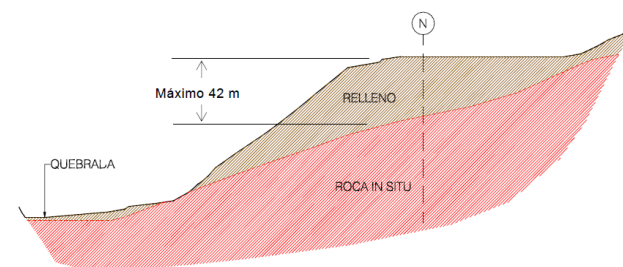


Figura 4. Perfil litológico del talud.

La capa inferior corresponde a la roca in situ la cual es el material original o propio de la zona, mientras que el estrato superior, corresponde al material de relleno sin compactar conformado por suelo y

escombros. El espesor máximo de la capa de relleno de bote era de aproximadamente 40m. (Figura 3)

La composición de cada uno de estos materiales es la siguiente:

- **Material de Bote o relleno sin compactar**, constituido por suelos areno-limosos con una fracción significativa de contaminación con escombros y materiales de desecho de todo tipo.
- **Roca in situ**, muy meteorizada a descompuesta, constituida por esquistos feldespáticos y filitas grafitosas.

Dichos materiales presentan diferentes características granulométricas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 3. Granulometría del material.

Material	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
Bote (escombros)	10,40	49,90	39,70
Roca in situ	6,00	53,50	40,50

Los materiales presentaron diferentes resistencias a la penetración durante la exploración del subsuelo (SPT) y distintos valores de humedad natural y límites plásticos y líquidos, los cuales son resumidos en tabla mostrada a continuación:

Tabla 4. Características del material.

Material	Nspt (prom)	Humedad w (%)	LP (%)	LL (%)	IP (%)
Bote (escombros)	23	8,80	19,70	28,50	8,80
Roca in situ	46	11,40	-	-	-

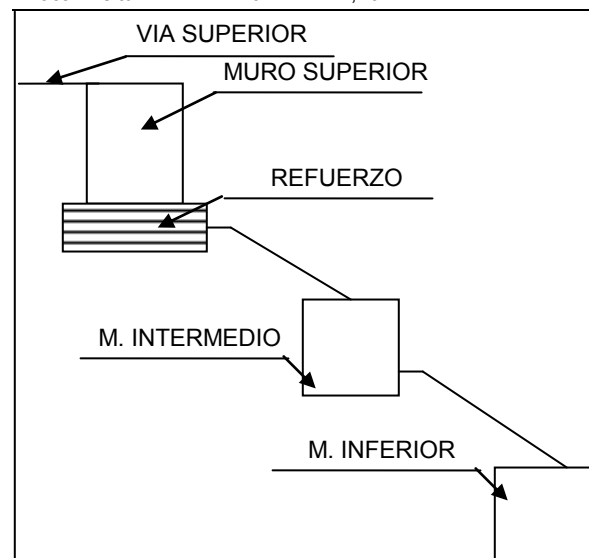


Figura 5. Sección esquemática del talud.

2.3 Mejoramiento de fundación en muro superior

El muro superior esta fundado sobre un bloque de suelo reforzado con pletinas estriadas entrecruzadas, es decir, colocada en dos direcciones distintas (paralelas y perpendiculares al paramento del muro superior).

Dichas armaduras de refuerzo, al igual que todos los refuerzos de los muros de Tierra Armada construidos en este proyecto, son pletinas de acero galvanizadas en caliente para protección contra la corrosión, la sección transversal de cada pletina es 50x4mm y su resistencia a la rotura es de 520MPa.

La principal función de esta estructura de fundación es la de prestar un apoyo eficiente al muro que sustenta la vialidad superior de acceso al Centro Comercial, distribuyendo los esfuerzos transmitidos al suelo de fundación de la manera más homogénea posible. La dimensión de su sección transversal es 12m y su dimensión en el sentido longitudinal corresponde a la misma longitud del muro superior, es decir 330m.

El hecho de presentar refuerzos en dos direcciones hace que su comportamiento sea similar al de una viga apoyada sobre un cuerpo elástico.

Sus características son:

- Flexibilidad, capacidad que le permite adaptarse a los diferentes desplazamientos verticales que pudieran ocurrir en el terreno de fundación.
- Resistencia a la flexión, dada por los refuerzos metálicos colocados en dos direcciones.
- Mínima transmisión de esfuerzos al suelo de fundación, debido a la gran dimensión de su sección (12m)



Figura 6. Construcción de refuerzo con pletinas entrecruzadas por soporte del muro superior.

2.4 Drenajes

Los muros de Tierra Armada presentan sistemas de drenajes internos que permiten la evacuación del agua infiltrada antes de entrar en contacto con los macizos de suelo reforzado.

Adicionalmente a estos sistemas internos de drenaje el proyecto general contempla la construcción de sistemas superficiales de captación (canales, cunetas,

sumideros, tuberías de desahogo) que conducen la totalidad de las aguas fuera del talud norte, evitando que el agua escurra libremente sobre el talud lo que a su vez disminuye la posibilidad de infiltración del líquido dentro del mismo.

3 DISEÑO Y METODOLOGÍA

3.1 Estabilidad por muro

Debido a la gran separación que existe entre los muros, su cálculo se realizó individualmente como muros independientes, tomando en cuenta en cada diseño, las solicitaciones provenientes de los otros muros ubicados por encima del evaluado.

El método de análisis empleado es el generado por el grupo TAI que asume que los muros son estructuras de gravedad, es decir, se verifica la no ocurrencia de volcamiento o deslizamiento de los macizos de suelo reforzado.

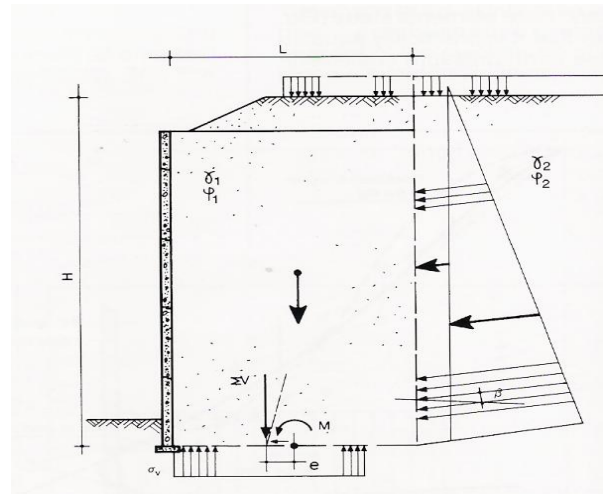


Figura 7. Cargas actuantes típicas (casos estáticos).

Al mismo tiempo la metodología TAI contempla verificaciones a la rotura (determinación del área de acero en sección) y al deslizamiento por falta de fricción suelo-refuerzo (determinación del área de contacto), para el diseño y determinación de la cantidad de refuerzo interno a colocar en cada nivel dentro del macizo de los muros.

Vale la pena destacar que la metodología de diseño propuesta contempla 5 diferentes casos o combinaciones de cargas que se muestran a continuación:

Tabla 5. Casos de cargas.

Caso	Fv	Fh	q1	q2	S
1	1,00	1,35	-	1,60	-
2	1,35	1,35	1,60	1,60	-
3	1,00	1,00	-	-	-
4	1,00	1,00	-	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Donde:

- Fv: cargas verticales.
- Fh: cargas horizontales provenientes de los empujes de tierra.
- Q1: sobrecarga de uso sobre el macizo de Tierra Armada.
- Q2: sobrecarga de uso aplicada en el trasdós del macizo de Tierra Armada.

La distinción entre las cargas q1 y q2 es básicamente debida a los efectos que estas provocan sobre la estructura, es decir, mientras que q1 provoca únicamente Fuerzas verticales, q2 genera presiones de suelo que se traducen en Fuerzas horizontales.

3.2 Estabilidad del sistema

En este caso y debido a su complejidad, el cliente le confirió la responsabilidad del estudio de estabilidad del talud a un experimentado asesor en Geotecnia para la determinación de los factores de seguridad al deslizamiento de masas en el talud a estabilizar.

Se empleó como método de análisis de estabilidad el método de Morgensten Price para determinar los factores de seguridad de la sección más crítica del talud ante varios casos, definidos por el asesor

De esta manera se pudo verificar que la solución planteada era estable tanto en los casos sísmicos como los casos cuando el talud se encuentre parcialmente saturado. Adicionalmente a partir de dicho análisis, se definieron las cotas de fundación de los muros, y las longitudes de pletinas mínimas, para que el conjunto fuera estable para los diferentes casos analizados.

3.3 Construcción

3.3.1 Metodología: La construcción de los muros se realizó conforme a los requerimientos y especificaciones del grupo TAI. Durante toda la fase constructiva se verificó la buena praxis constructiva de los muros, aprobando y/o corrigiendo, siempre que fue necesario, la colocación de cada una de las piezas.

La instalación del muro estuvo a cargo del Tec. Roberto Rodríguez con más de 25 años de experiencia en la construcción de este tipo de estructuras, y para el movimiento de tierra fue la igualmente experimentada empresa Dayco de Construcciones C.A.



Figura 8. Muro Superior en construcción.

Durante la ejecución del muro intermedio y debido a la cercanía de los cables de alta tensión con el lugar de trabajo, fue necesario trabajar con equipo liviano para la compactación del relleno del muro y con herramientas ligeras para la excavación en los niveles superiores de dicho muro, ya que la norma establece una distancia mínima para el trabajo alrededor de una línea de alta tensión de 8m.



Figura 9. Muro Inferior en construcción.

3.3.2 Materiales y maquinaria: Para la construcción de los muros fue empleada maquinaria convencionalmente utilizada en movimientos de tierra, tales como equipos excavadores, paleadores, compactadores de vibración, equipos ligeros de compactación y herramientas menores.

Debido a que una de las premisas del diseño original establecía evitar al máximo posible el bote de material, el relleno empleado en los macizos de suelo reforzado fue el proveniente de las excavaciones realizadas en la parte superior de la parcela.

En la siguiente tabla se presentan las propiedades mecánicas de los distintos materiales que se encontraban en el sitio de la obra. Cabe destacar que para la construcción de los macizos de los muros de suelo reforzado solo se utilizó el material denominado Roca In Situ.

Tabla 6. Propiedades mecánicas del material.

Material	Ángulo de fricción ϕ (°)	Cohesión c (kg/m ²)	Peso unitario (T/m ³)
Bote (escombros)	32	0,10	1,90
Relleno Compactado	34	0,40	2,00
Roca in situ	35	0,15	2,20

3.3.3 Tiempos de ejecución: El cronograma de la obra estableció para la estabilización del talud norte de la parcela, lo que incluye la construcción de los muros, 14 meses. Sin embargo debido a retrasos ocasionados por lluvias y otros problemas laborales ajenos a nuestro

alcance se prolongó 2 meses adicionales, es decir 16 meses.

Tomando en cuenta únicamente los días trabajados en los muros de Tierra Armada, descontando los retrasos y los días en que solo se perfilaba el talud, se puede decir que el rendimiento de instalación de los muros fue de 25m²/día en promedio.



Figura 10. Muro Inferior en Construcción.

4 CONCLUSIONES

- Los trabajos de construcción de los muros culminaron en Noviembre 2010, con resultados deseables tanto en rendimiento, apariencia y tecnología, reafirmando una vez más que los muros mecánicamente estabilizados con refuerzos metálicos son una solución eficiente y segura para distintos problemas geotécnicos.
- El mejoramiento del suelo de fundación del muro superior, realizado con material mejorado y reforzado con armaduras metálicas colocadas en dos direcciones, aportó un sustento adecuado a la estructura sobre suelos de baja a media capacidad portante.
- A pesar de lo errático del material de relleno que se encuentra sobre el terreno natural (roca in situ) fue posible dar solución al problema de estabilidad del talud a partir de estructuras de gravedad, simplemente apoyadas, en lugar de costosas soluciones que involucran perforación en sitio de pilotes.
- El proceso constructivo y el tipo de solución construida aportaron al cliente un ahorro importante tanto de tiempo como de dinero.
- El cliente quedó muy conforme con la solución en Tierra Armada ya que permitió emplear los altos volúmenes de material proveniente de los cortes en la estabilización del talud.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado bajo la anuencia de los propietarios de los muros (Inmobiliaria Topochal C.A.), a los cuales les agradecemos su muy amable y valiosa colaboración.

Así mismo nos gustaría agradecerle a EDIFICA C.A. por su oportuna e igualmente valiosa colaboración para la obtención de información y fotografías en especial al Ing. Juan Luís Lirio.