

Estudio Comparativo Del Muro De Hormigón Armado Y Del Muro Reforzado Con Geosintéticos Para La Estabilidad Del Talud En El Sitio Crítico De La Vía Zhud – Cochancay – El Triunfo De La Prov. Cañar Kilómetro 44 +680

Dioselina Rosero¹, Daniel Falquez², Diego Noboa³, Ing. Gastón Proaño, MsC⁴
^{1, 2, 3, 4} Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra,
Campus Gustavo Galindo, km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
¹ dprosero@espol.edu.ec, ² dfalquez@espol.edu.ec, ³ dnoboa@espol.edu.ec, ⁴ gproaño@espol.edu.ec

Resumen

El presente artículo describe dos sistemas de contención de suelos, para el sitio crítico de la vía Zhud – Cochancay – El Triunfo. El primer sistema consiste en la estabilización del talud por medio de la construcción de un muro de hormigón armado, el segundo sistema comprende la estabilización del talud mediante la conformación de capas de suelo compactado reforzado con geosintéticos. Se presenta los diseños de ambos métodos de contención de suelos y se finaliza con una comparación de costos. Con este análisis previo se recomendará la mejor solución tanto técnica como económica. .

Palabras Claves: Muro de contención de hormigón armado, muro mecánicamente estabilizado con geotextiles, estabilización de taludes.

Abstract

The following paper describes two soil containment systems for the critical site of the highway Zhud – Cochancay – El Triunfo. The first system consists in the slope's stabilization by constructing a concrete wall, the second system includes stabilizing the slope through the formation of layers of compacted soil reinforced with geosynthetics. The design of both methods of soil containment and the comparison of the estimated costs are presented on this paper. With this preliminary analysis we will be able to recommend the best solution, both technically and economically.

Key words: Retaining reinforced concrete wall, mechanical stabilized earth walls, slope stabilization.

1. Introducción

La tecnología de los geosintéticos se ha convertido en una alternativa para solucionar los problemas, especialmente de estabilización de suelos de los proyectos de ingeniería, pero su implementación se ha hecho, en la mayoría de los casos, de forma empírica aplicando resultados obtenidos en proyectos anteriores. Bajo este concepto, en muchas ocasiones los geosintéticos han sido una solución exitosa pero en otras, la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto, no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados de manera eficiente.

En este trabajo se pretende demostrar que la tecnología de los geosintéticos puede ser utilizada como una opción a las soluciones ingenieriles tradicionales para la contención de suelos, obteniendo beneficios tales como: disminución de tiempo de ejecución de la obra y transporte de material, lo cual aumenta la eficiencia del proceso constructivo y por ende genera una disminución de los costos finales de obra.

El estudio se centra en la descripción de cada uno de los procesos de diseño y construcción para dos opciones: muro de contención de concreto reforzado y muro mecánicamente estabilizado con geotextiles, demostrando que ambos diseños cumplan las condiciones de estabilidad y factibilidad.

2. Contenido

2.1. Campo de Acción

Ambos diseños están desarrollados para estabilizar el talud que se encuentra en el sitio crítico del proyecto vial Zhud – Cochancay – El Triunfo Kilómetro 44+680.

Una vez obtenido los resultados de cada diseño, se procederá a hacer una comparación de costos de ambas propuestas de diseño.

2.2. Problemas a Resolver

El proyecto vial Zhud – Cochancay - El Triunfo comprende la rehabilitación de la carretera que comunica a estos tres poblados. Entre las obras de ingeniería concernientes al proyecto se tiene prevista la construcción de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la banca o para la contención de suelos en zonas propensas a deslizamientos.

2.3. Descripción de la inestabilidad en el sitio crítico 44+680

El problema está relacionado con el deficiente manejo de las aguas provenientes de una de las cañadas localizadas arriba de la vía. En este sitio los flujos de tipo torrencial frecuentemente superan la capacidad de la alcantarilla existente y erosionan los taludes inferiores.

En el sitio de estudio se presentan procesos erosivos de tipo “cárcavas”, en la cual los surcos, formados inicialmente por la entrega directa de las aguas de la alcantarilla al talud, se profundizan formando canales largos y profundos. Una vez formada la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.

2.4. Características del terreno y del muro

Tabla 1. Características del terreno y del muro

Dimensiones del Muro				Parámetros Generales del Terreno	
H1(m)	5.5	C (m)	0.5	Fricción del Suelo ϕ	34
H2(m)	0.5	F (m)	0.5	Talud del Terraplen β	0
H3(m)	0.3	Xf (m)	1	Cohesión (T/mts ²)	1
Hw(m)	3	At (m)	0.4	ρ Suelo kN/m ³	18
L (m)	16	Ab (m)	0.7	Límite Líquido	25
B (m)	1	Cobertura pared y base mm	50	Límite Plástico	15
D (m)	1.5	Inclinación de la cara α	90	% Pasa Tamiz 200	24.4

Los parámetros generales del terreno son tanto como del suelo de relleno, el suelo de la ladera y suelo de fundación.

2.5. Muros de contención

La función principal de los muros de contención es la de resistir las presiones laterales ó empujes producidos por el material retenido detrás de ellos como pueden ser terrenos naturales, rellenos artificiales o materiales almacenados. La estabilidad del muro se debe principalmente al peso propio y al peso del material que se coloca sobre su fundación[1]

2.6. Diseño del muro de contención en Hormigón Armado

Para el cálculo de los factores de seguridad mediante el método de equilibrio límite se utiliza la teoría de Mohr-Coulomb. De esta manera los parámetros básicos del modelo son cohesión y el ángulo de fricción interna del material.

2.6.1 Límites de diseño. El predimensionado de los muros de contención en voladizo se hace en función de la altura H del muro, como se muestra en la figura 1.

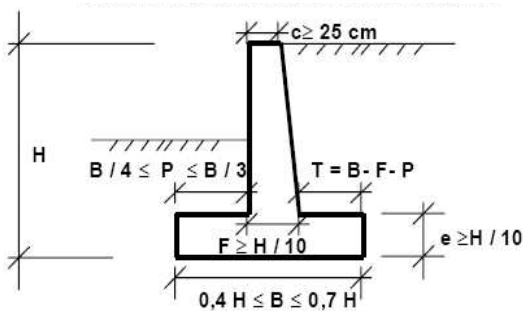


Figura 1. Predimensionado Muros en Voladizo

2.6.2 Dimensiones definitivas del muro. Con las consideraciones previas, se obtiene las siguientes dimensiones del muro.

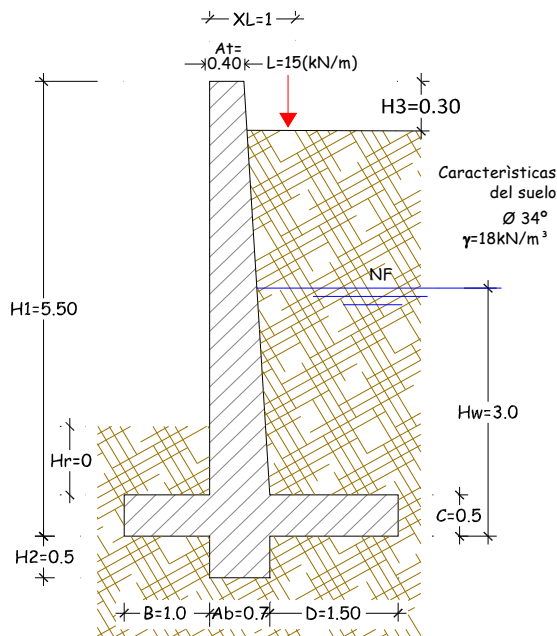


Figura 2. Dimensiones definitivas del muro

2.6.3 Evaluación de la estabilidad del muro. Los análisis de los estados límite de falla del muro comprenden la evaluación de los factores de seguridad por (a) volteo, (b) deslizamiento y (c) falla por capacidad de carga.

Las fuerzas que actúan sobre el muro son las siguientes:

Tabla 2. Resumen de Fuerzas Desestabilizantes

Descripción	FHorizontal Izq (+)	Brazo	FVertical Abajo(+)	Brazo
Presión Activa	61.412	1.733	29.205	1.600
Presión Hidrostática	31.809	1.000		
Resultado de la línea de carga L	4.034	4.123	0.242	1.483

Tabla 3. Resumen de Fuerzas Estabilizantes

Descripción	FHorizontal Izq (+)	Brazo z	FVertical Abajo(+)	Brazo x
Presión Pasiva	-19.442	0.167		
Peso muro			112.800	1.395
Peso suelo en base			100.202	2.364
Presión Hidrostática en la base			36.788	2.450
Línea de Carga 15 KN/m			15.000	2.000

(a) Factor de Seguridad al Volteo

$$M_{actuante} = 107.80 \text{ KN} - \text{mts}$$

$$M_{resistente} = 517.68 \text{ KN} - \text{mts}$$

$$FS = \frac{M_{res}}{M_{act}} = \frac{517.68}{107.80} = 4.802$$

(b) Factor de Seguridad al Deslizamiento

$$F_{actuante} = 97.26 \text{ KN}$$

$$F_{resistente} = 276.23 \text{ KN}$$

$$FS = \frac{F_{res}}{F_{act}} = \frac{276.23}{97.26} = 2.84$$

(c) Factor de Seguridad por Capacidad de Carga

$$\frac{Q_a}{Q_u} = 2.4$$

2.6.4 Detallamiento del muro de Hormigón Armado Una vez que revisamos que el diseño del muro pasa por los tres estados límites, se procede a detallarlo[2]

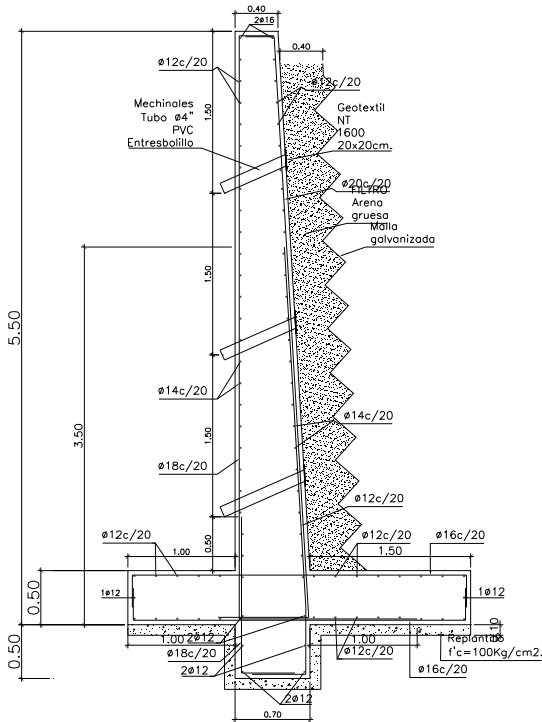


Figura 3. Detallamiento del Muro de Hormigón Armado

2.7. Diseño del Muro Mecánicamente Estabilizado con Geotextiles

Al incluir un material con resistencia a la tensión dentro de una masa de suelo que debe soportar una serie de empujes, se logra aumentar la resistencia general del conjunto, básicamente por el esfuerzo cortante desarrollado entre el geosintético y las capas de suelo adyacentes. El esquema del MME es la siguiente:

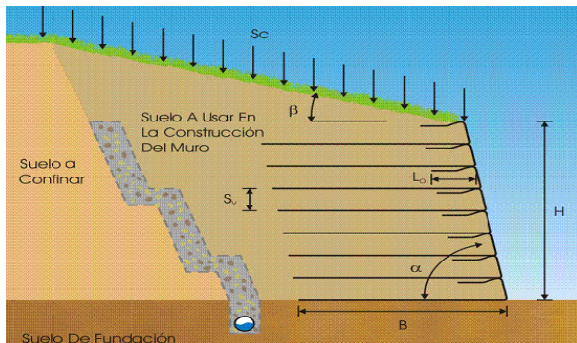


Figura 4. Esquema del MME

2.7.1 Establecer las cargas externas que soportará el MME Estas cargas son las que contribuye el (a) empuje del suelo, (b) empuje por sobrecarga, (c) empuje por cargas vivas. El empuje total que soportará el MME es el siguiente:

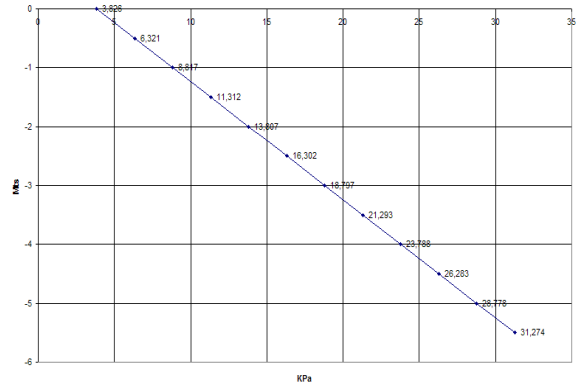


Figura 5. Diagrama de distribución de esfuerzos horizontales sobre el muro

2.7.2 Análisis de la estabilidad interna

- Dimensiones preliminares del muro: Consideramos que la base del muro debe ser 0.7 veces mayor que la altura[3]

$$B = 4.4\text{mts}$$

- Con la base del muro determinada y los esfuerzos horizontales calculados, se procede con el cálculo del espesor de cada capa y de las longitudes de desarrollo del geosintético. A continuación un esquema de dichas dimensiones:

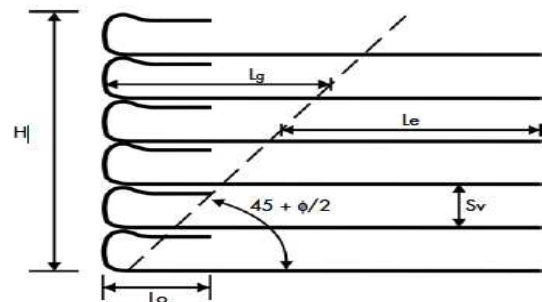


Figura 6. Detalle de las longitudes de desarrollo del geotextil

- Se recomienda que la longitud mínima del refuerzo en este tipo de estructuras sea mayor o igual a 0.7 veces la altura del muro y que la longitud del refuerzo sea la misma en toda la altura del muro[4]

- Hechas las consideraciones previas, a continuación el resumen de los resultados de las cantidades de geotextil a usar.

Tabla 4. Resumen de cantidades de geotextil a usar

Z [m]	Geosintético	Sx Diseño [m]	Sx Calculado [m]	Le mínimo [m]	Lg [m]	L [m]	Lo [m]	La Usar [m]	Lt [m]
0,1	T1700	0,1	1,903	1,0	2,871	3,871	1,0	4,4	5,5
0,6	T1700	0,5	1,015	1,0	2,605	3,605	1,0	4,4	5,9
1,1	T1700	0,5	0,661	1,0	2,34	3,34	1,0	4,4	5,9
1,5	T1700	0,4	0,538	1,0	2,127	3,127	1,0	4,4	5,8
1,9	T1700	0,4	0,478	1,0	1,914	2,914	1,0	4,4	5,8
2,3	T1700	0,4	0,439	1,0	1,701	2,701	1,0	4,4	5,8
2,7	T1700	0,4	0,409	1,0	1,489	2,489	1,0	4,4	5,8
3,1	T2100	0,4	0,486	1,0	1,276	2,276	1,0	4,4	5,8
3,4	T2100	0,3	0,464	1,0	1,117	2,117	1,0	4,4	5,7
3,7	T2100	0,3	0,444	1,0	0,957	1,957	1,0	4,4	5,7
4,0	T2100	0,3	0,424	1,0	0,798	1,798	1,0	4,4	5,7
4,3	T2100	0,3	0,406	1,0	0,638	1,638	1,0	4,4	5,7
4,6	T2100	0,3	0,388	1,0	0,479	1,479	1,0	4,4	5,7
4,9	T2100	0,3	0,372	1,0	0,319	1,319	1,0	4,4	5,7
5,2	T2100	0,3	0,356	1,0	0,16	1,16	1,0	4,4	5,7
5,5	T2100	0,3	0,341	1,0	0,0	1,0	1,0	4,4	5,7

2.7.3 Análisis de la estabilidad externa Los siguientes factores de seguridad, son los mínimos recomendados por las AASHTO para el diseño de MME

Tabla 5. Factores de Seguridad

Tipo De Análisis	Factor De Seguridad
Deslizamiento	1,5
Volcamiento	2,0
Capacidad Portante	3,0
Estabilidad Global	1,3
Asentamientos	Según los requerimientos del proyecto

El diseño preliminar del muro deberá cumplir con los estados límites de (a) Deslizamiento, (b) Volcamiento, (c) Capacidad Portante.

Las fuerzas que actúan sobre el muro son las siguientes:

Tabla 6. Resumen de las Fuerzas Horizontales

Fuerzas Horizontales	Por Relleno	Por Sobrecarga	Por Cargas Vivas
Resistentes	29.90T/mts		
Actuantes	7.70T/mts	2.15T/mts	0.31T/mts

Los momentos que actúan sobre el muro son los siguientes:

Tabla 7. Resumen de Momentos

Momentos	Sobrecarga	Peso Propio del Muro	Presión Lateral de Tierras	Cargas Vivas
Resistentes	13.36Tm.m	95.83Tm.m		
Actuantes	5.91Tm.m		14.12Tm.m	0.94Tm.m

(a) Factor de Seguridad al Deslizamiento

$$\sum FH_{resistentes} = 29.90T / mts$$

$$\sum FH_{actuantes} = 10.1T / mts$$

$$FS = \frac{\sum FH_{resis}}{\sum FH_{act}} = \frac{29.90}{10.1} = 2.96$$

(b) Factor de Seguridad al Volcamiento

$$\sum Momentos Resistentes = 109.19Tmts.mts$$

$$\sum Momentos Actuantes = 20.97Tmts.mts$$

$$FS = \frac{\sum MR}{\sum MA} = \frac{109.19}{20.97} = 5.21$$

(c) Factor de Seguridad por Capacidad Portante

$$\sum Esfuerzos Verticales Actuantes = 22.98T / m^2$$

$$\sum Esfuerzos Verticales Resistentes = 93.24T / m^2$$

$$FS = \frac{\sum EVR}{\sum EVA} = \frac{93.24}{22.98} = 4.05$$

2.7.4 Detallamiento del MME Una vez que revisamos que el diseño del muro pasa por los tres estados límites, se procede a detallarlo.

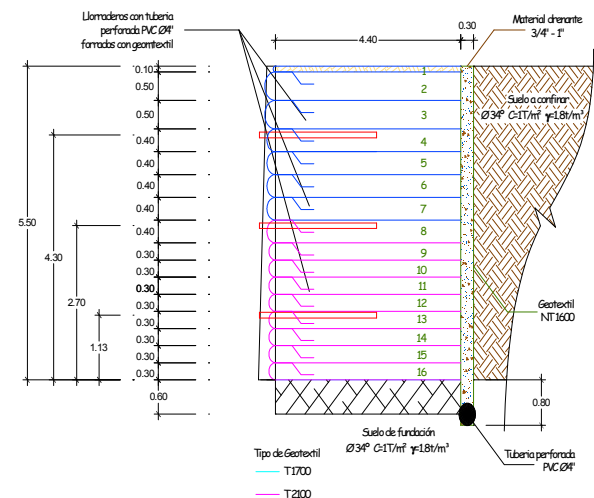


Figura 7. Detallamiento del MME

2.8. Análisis Comparativo de Costos

2.8.1 Costo del muro de contención en hormigón armado

Tabla 8. Presupuesto del muro en hormigón armado

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Mano de Obra	Equipo	Materiales	25% Indirectos	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Localización y Trazado	m ²	51.20	0.69	0.01	0.50	0.26	1.46	\$ 74.75
2	Excavación y Traslado	m ³	578.72	0.00	6.63	0.00	1.44	7.97	\$ 4,602.40
3	Muro de H.A.	m ³	77.18						\$ 35,467.36
3.1	Armadura	Kg	3802.77	0.19	0.04	1.24	0.32	1.79	\$ 10,406.69
3.2	Replanteo	m ³	0.42	0.43	24.83	32.68	19.35	107.51	\$ 45.07
3.3	Hormigonado	m ³	77.18	134.72	12.81	106.70	55.93	310.16	\$ 23,998.20
3.4	Cemento para Soplado	m ²	1.28	3.00	0.00	1.98	1.10	6.08	\$ 7.78
3.4	Material Filante Arena Gruesa	m ³	33.00	10.62	3.00	8.00	5.20	26.82	\$ 990.34
3.5	Tubaja de PVC D=10cm	ml	25.6	1.3	0.00	2.5	0.836	4.64	\$ 118.68
4	Relevo Compuesto	m ²	201.11	0.00	6.63	0.00	1.44	7.97	\$ 1,602.16
								SUBTOTAL:	\$ 41,756.67

2.8.2 Costo del muro mecánicamente estabilizado con geotextiles

Tabla 9. Presupuesto del MME

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Mano de Obra	Equipo	Materiales	25% Indirectos	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Localización y Trazado	m ²	70.40	0.69	0.01	0.50	0.26	1.46	\$ 74.75
2	Extracción y Traslado	m ³	781.24	0.46	3.81	6.50	2.37	13.14	\$ 10,265.02
3	Muro Revestido con Geotextiles	m ³	387.20				0.00	0.00	\$ 8,953.34
3.1	Comunicación (Aligeramiento de material de fundación)	m ³	42.24	0.63	6.81	12.50	4.39	24.33	\$ 1,027.56
3.2	Encofrado	m ³	19.42	1.80	1.80	3.16	1.49	8.25	\$ 1,603.16
3.3	Geotextiles T1100	m ²	648.00	1.00	0.00	1.40	0.35	2.83	\$ 1,833.34
3.4	Geotextiles T2100	m ²	822.40	1.00	0.00	1.61	0.37	3.18	\$ 2,618.69
3.5	Relevo en Cajas con material del lugar	m ³	503.36	0.16	5.13	0	1.16	6.45	\$ 3,248.38
4	Sistema de drenaje Tubaja Perforada de PVC	ml	16.00					160.00	\$ 2,560.04
4.1	Tubaja D=10cm	ml	16.00	1.3	0.00	2.5	0.84	4.64	\$ 74.18
4.1	Replanteo/Arreglo Filante	m ³	30.24	14.99	5.04	12.50	7.16	39.69	\$ 1,200.12
4.2	Revestimiento con Geotextiles NT-600	m ²	211.20	3.00	0.00	1.99	1.10	6.09	\$ 1,285.74
5	Llave de PVC D=10cm	ml	79.20					6.21	\$ 493.87
5.1	Tubaja de PVC D=10cm NT-600	ml	79.20	1.3	0.00	2.5	0.84	4.64	\$ 365.17
5.2	Revestimiento con Geotextiles Mamposteria	m ²	24.87	3.00	0.00	1.11	0.90	5.01	\$ 124.70
5	Revestimiento con Mamposteria	m ³	57.20	36.38	6.56	57.64	17.68	98.06	\$ 5,609.24
								SUBTOTAL:	\$ 27,953.26

3. Conclusiones

Al realizar el análisis de precios unitarios de los muros en suelo reforzado se obtuvo un costo total de \$27,953.26. El muro en concreto con la misma altura longitud y sobrecarga tiene un costo total de \$41,756.67, por lo tanto la diferencia en costos entre las dos alternativas es de \$13803.41 es decir, el muro en suelo reforzado resultó ser un 33% más económico que un muro en concreto.

4. Agradecimientos

A Dios, nuestros padres, profesores y amigos.

5. Referencias

- [1] Rafael Ángel Torres Belandria, "Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado" Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Venezuela
- [2] ACI (2008) "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary" Reporte No. ACI-318, American Concrete Institute, USA
- [3] PAVCO Mexichem, "Manual de Diseño con Geosintéticos", Capítulo 10 Muros de Contención, Colombia
- [4] Federal Highway Administration, "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines", USA