

Estabilización de Taludes con Muros de Neumáticos

Ana Cristina C. F. Sieira, Doctoranda, Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Brasil
Alberto S. F. J. Sayão, Profesor Asociado, Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Brasil
Luciano V. de Medeiros, Profesor Asociado, Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Brasil
Denise M. S. Gerscovich, Profesora Adjunta, Universidad del Estado de Río de Janeiro, Brasil

RESUMEN:

Este trabajo describe una investigación realizada en Río de Janeiro, Brasil, sobre la técnica de estabilización de taludes con el uso de neumáticos. El objetivo del proyecto consiste en el estudio de una técnica sencilla de estabilización de taludes, dirigida al consumo de neumáticos desechados. La investigación se llevó a cabo utilizando un muro de 60 m de longitud y 4 m de altura, construido con capas horizontales de neumáticos atados horizontalmente con cuerda de polipropileno o alambre, y rellenos de suelo residual compactado.

Con el objetivo de comparar diferentes configuraciones, el muro experimental de neumáticos se compuso de 4 secciones transversales de 15 m de longitud, instrumentadas con inclinómetros, células de presión total y extensómetros verticales. Estas secciones presentan características distintas en cuanto al atado, geometría y configuración de los neumáticos (cortados o enteros).

La investigación ha demostrado que el empleo de neumáticos constituye una alternativa que aúna la eficacia mecánica, la facilidad de ejecución y el bajo coste, en comparación con las técnicas convencionales de estabilización de taludes.

1 - INTRODUCCION

Los neumáticos son residuos que se acumulan en grandes volúmenes, sobre todo en regiones urbanas muy pobladas. El destino final de los neumáticos es un problema de ámbito mundial, existiendo una preocupación creciente respecto a su reciclaje, reducción y reutilización. Los neumáticos están compuestos de caucho reforzado con fibras y metales, lo que da lugar a un material con elevada resistencia a las tensiones radiales. La utilización de neumáticos en obras de ingeniería se presenta como una alternativa que conjuga la eficacia mecánica y el bajo coste, propiciando la demanda de un residuo potencialmente perjudicial para el medio ambiente.

La primera investigación documentada sobre la técnica de neumáticos y suelo ocurrió en Francia (Long, 1984). Esta investigación se llevó a cabo utilizando un muro de neumáticos, con 5 m de altura y 10 m de longitud. Los resultados del experimento demostraron que esta técnica surge como una alternativa viable para estabilización de taludes.

Hasta los días de hoy, muchas estructuras ya fueron construidas con neumáticos. Entre ellas, el muro de Bussang, con 650 m de longitud y hasta 7 m de altura (Long, 1990). En Ottawa (Canadá), fue construido un aterro experimental con 4 m de altura y 17 m de longitud, con el objetivo de estudiar la utilización de neumáticos en estructuras de suelo reforzado y en muros de contención (Garga y O'Shaughnessy, 1995 y 2000).

Desde 1995, la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro ven desarrollando un amplio proyecto de investigación, en conjunto con la Universidad de Ottawa (Canadá) y la Fundación Geo-Rio (Ayuntamiento de la Ciudad de Rio de Janeiro).

En Brasil, los estudios sobre esta técnica empezaron en 1995 con la construcción del primero muro experimental de neumáticos. El proyecto fue desarrollado con la participación de la Universidad Católica de Río de Janeiro, la Fundación Geo-Rio (Ayuntamiento de la Ciudad de Río de Janeiro) y la Universidad de Ottawa (Canadá) y fue centrado en la construcción de un muro instrumentado y ejecutado con neumáticos desechados.

2 – DESCRIPCION DEL MURO EXPERIMENTAL

El campo experimental está localizado en Rio de Janeiro, en una región que presenta problemas de inestabilidad. En este sitio, fue construido un muro experimental de 60 m de longitud y 4 m de altura. El muro fue ejecutado con capas horizontales de neumáticos, atados horizontalmente con cuerda de polipropileno o alambre y rellenos de suelo compactado. En el trasdós del muro, se construyó un relleno con el mismo suelo contenido en los neumáticos. Una vez finalizada la construcción del muro, se colocó sobre el trasdós una sobrecarga de 2 m de suelo compactado. Las Figuras 1, 2 y 3 presentan etapas distintas de la construcción del muro.

Con el objetivo de comparar diferentes configuraciones, el muro experimental de neumáticos se compuso de 4 secciones transversales de 15 m de longitud, instrumentadas con inclinómetros, células de presión total y extensómetros verticales. Estas secciones presentan las características descritas a seguir (Medeiros et al, 1997).



Figura 1 – Inicio de la construcción del muro.



Figura 2 – Atado de los neumáticos del muro.

Figura 3 – Final de construcción del muro.

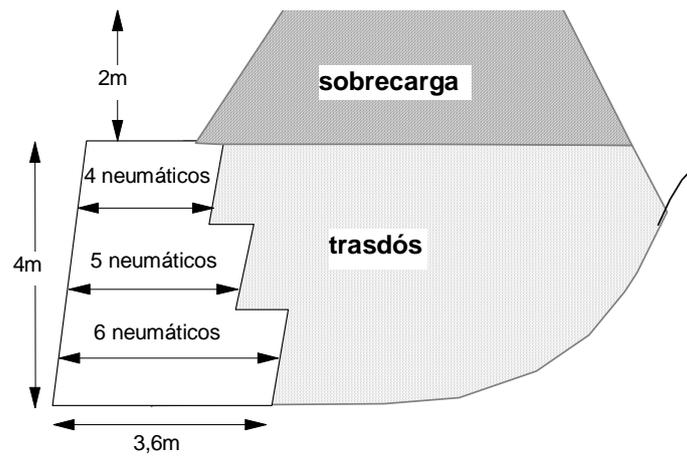
Sección A: construida con neumáticos enteros, atados con cuerda de polipropileno de 6mm de diámetro. Presenta sección transversal de largura variable, con 6 neumáticos en la base y 4 neumáticos en el topo, como ilustrado en la Figura 4 (a).

Sección B: presenta características geométricas y de atado similares as de la sección A. La diferencia es que en esta sección se utilizaron neumáticos cortados, donde se elimina una de las caras laterales (Figura 5).

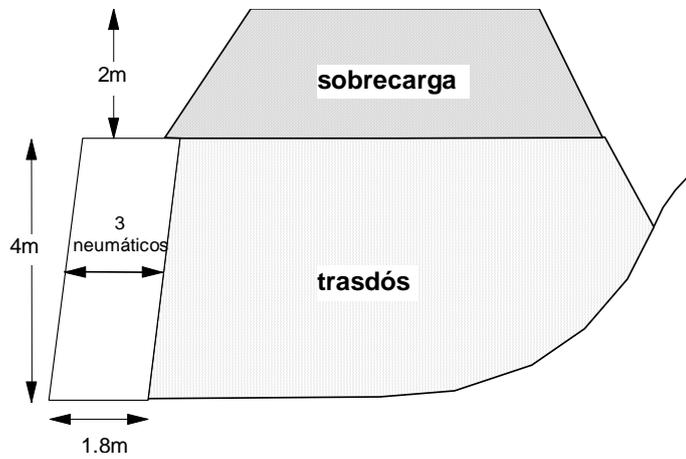
Sección C: construida con neumáticos cortados y con la misma geometría de la sección B. Entretanto, los neumáticos fueron atados con alambre de gabión.

Sección D: similar a la sección B con respecto al atado y configuración de los neumáticos. La diferencia está en la sección transversal más esbelta, con largura constante de 3 neumáticos (Figura 4 (b)).

Para la construcción del muro se utilizaron aproximadamente 15 mil neumáticos desechados.



(a) Secciones A, B y C.



(b) Sección D

Figura 4 – Secciones transversales del muro.

Figura 5 – Configuración de los neumáticos: enteros x cortados.

3. MATERIAL SUELO-NEUMÁTICOS

Los neumáticos fueron rellenos con el mismo suelo del trasdós del muro. Este suelo puede ser clasificado como un limo-arena-arcilloso proveniente del *intemperismo* de rocas gnéissicas de la región. En la Tabla 1 se presentan los resultados de ensayos de caracterización, realizados por Fontes (1997).

Tabla 1 – Caracterización del suelo

G_s	LP (%)	LL (%)	IP (%)	ω (%)	γ (kN/m ³)	e
2,724	31,0	46,0	15,0	20,0	17,5	0,833

Fontes (1997) ha realizado ensayos triaxiales y de corte directo con este suelo. Los resultados indicaron parámetro de cohesión (c') igual a 13kPa y ángulo de atrito (ϕ') igual a 29°.

La densidad del material suelo-neumáticos fue determinada por ensayos de densidad in situ y los resultados están presentados en la Tabla 2. Analizando estos resultados, se puede verificar que la eliminación de una de las caras laterales produce un material con mayor densidad.

Tabla 2 – Resultados de los ensayos de densidad in situ

MATERIAL	γ (kN / m ³)
Neumáticos cortados rellenos con suelo residual compactado	16,2
Neumáticos enteros rellenos con suelo residual compactado	15,4

La elección de los neumáticos que serán utilizados debe considerar la facilidad de obtención de los mismos cerca de la obra. Como sugerencia, se deben utilizar neumáticos que presenten el mismo diámetro. En este proyecto se utilizaron neumáticos con cerca de 0,60 m de diámetro, estas son las dimensiones típicas de los neumáticos de coches de paseo.

4. ANÁLISE DE LAS DIFERENTES SECCIONES DEL MURO.

El muro experimental de neumáticos se compuso de 4 secciones transversales de 15 m de longitud, instrumentadas con inclinómetros, células de presión total y extensómetros verticales. Estas secciones presentan características distintas en cuanto al atado, geometría y configuración de los neumáticos (cortados o enteros).

Simulaciones numéricas del proceso constructivo del muro se han realizado con el objetivo de obtener los parámetros de deformabilidad del material suelo-neumáticos de las 4 secciones distintas del muro (Sieira, 1998). Se utilizó un programa de elementos finitos para el análisis de las tensiones y deformaciones. Los desplazamientos horizontales previstos numéricamente fueron confrontados con los desplazamientos medidos por los inclinómetros y se ajustaron los parámetros de deformabilidad del material suelo-neumáticos de modo que los desplazamientos horizontales del muro fuesen reproducidos. Se consideró el material suelo-neumáticos como homogéneo, linear y elástico. La magnitud del módulo de Young (E) presentó una variación entre 1,8 e 3,0MPa, según la sección analizada y el coeficiente de Poisson encontrado fue de 0,35 (Sieira et al, 2000).

Con los resultados de la instrumentación de campo y los resultados numéricos, se puede hacer una comparación entre las diferentes configuraciones del muro, tomando como referencia la sección B. Esta sección se compuso de neumáticos enteros, atados con cuerda de polipropileno y con sección transversal de largura variable.

4.1. NEUMÁTICOS CORTADOS *x* NEUMÁTICOS ENTEROS.

Los efectos de la configuración de los neumáticos se analizaron según los datos de las secciones A y B. Estas secciones son similares cuanto a geometría y al atado pero son distintas cuanto a la configuración de los neumáticos. La Figura 6 presenta una comparación entre los desplazamientos horizontales medidos en las dos secciones. Se puede verificar que los desplazamientos horizontales medidos en la sección A fueron 30% superiores a los medidos en la sección B.

Durante la construcción se pudo constatar que la eliminación de una de las caras laterales facilita la compactación del suelo que rellena los neumáticos del muro. Así, se logra un material más rígido, más homogéneo y menos deformable que el material suelo-neumáticos enteros. Las

análisis numéricas presentaron un módulo de deformabilidad de 1,8MPa para el material de la sección A y 2,5MPa para la sección B (Sieira, 1998).

La utilización de neumáticos cortados determina la necesidad de un equipo específico para eliminar una de las caras laterales. Entretanto, a pesar del costo adicional de adquisición del equipo, la eliminación de una de las caras laterales acelera el proceso constructivo por facilitar el relleno de los neumáticos.

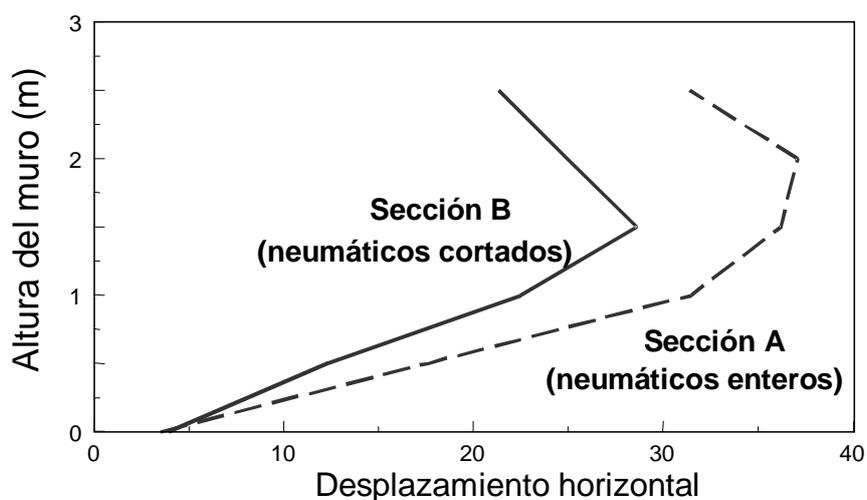


Figura 6 – Desplazamientos medidos en las secciones A y B.

4.2. CUERDA DE POLIPROPILENO x ALAMBRE

Los efectos del tipo de atado se verificaron por los resultados de las secciones B y C. Estas secciones poseen la misma geometría y se construyeron con neumáticos cortados. En la sección B, el atado de los neumáticos ocurrió con cuerda de polipropileno y en la sección C, con alambre.

Numéricamente, las secciones B y C presentaron valores de módulo de deformabilidad próximos y iguales a 2,5 y 3,0 MPa, respectivamente. Estos resultados demuestran un pequeño aumento en la deformabilidad cuando el atado se procesa con alambre.

En la Figura 7 está presentada una comparación entre los resultados de desplazamientos horizontales medidos en las dos secciones, al término de construcción del muro. Se puede observar que los desplazamientos medidos en la sección B presentaron valores 20% superiores a los medidos en la sección C. El atado con alambre ha proporcionado un pequeño aumento de

rigidez al material suelo-neumáticos. Entretanto, el costo del alambre es superior al costo de la cuerda pero la utilización de alambre facilita y acelera el proceso constructivo.

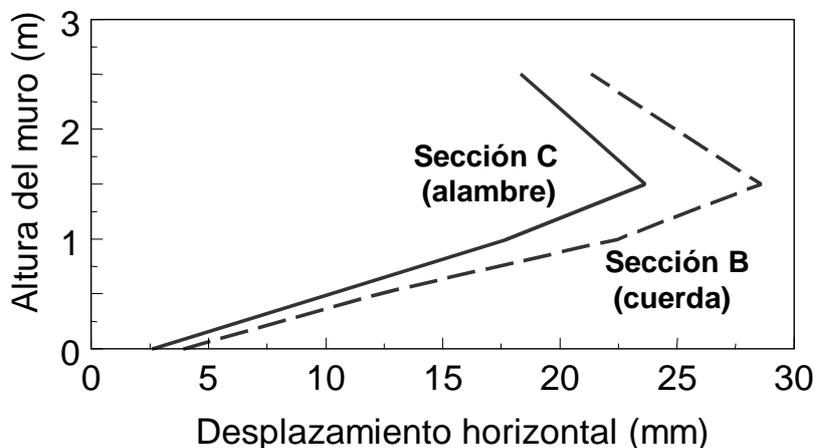


Figura 7 - Desplazamientos medidos en las secciones B y C.

4.3. ANCHURA DEL MURO: BASE CON 6 NEUMÁTICOS x BASE CON 3 NEUMÁTICOS.

Las secciones A, B y C se proyectaron con anchura variable como ilustra la Figura 4 (a). La sección D se proyectó con geometría distinta, más esbelta y anchura constante de 3 neumáticos. Con esta geometría, el coeficiente de seguridad de esta sección fue de 1,0, según los métodos clásicos de estabilidad de taludes. Finalizada la construcción, se pudo observar por mediciones de campo que esta sección no ha presentado problemas de inestabilidad.

A partir de esta constatación, se hizo una análisis numérica para verificar la variación de los desplazamientos en el interior del muro, en función de la anchura del muro. Se puede observar en la Figura 8 los resultados de esta análisis considerando el muro con anchura constante variando de 6 a 2 m. Los desplazamientos suelen aumentar mucho cuando el muro pasa de 2,5 a 2 neumáticos, lo que permite concluir que 2,5 neumáticos sería la anchura mínima teóricamente adecuada para el muro relatado en este trabajo. Para anchuras inferiores, los desplazamientos crecen mucho y se puede concluir que esta sección se iría romper.

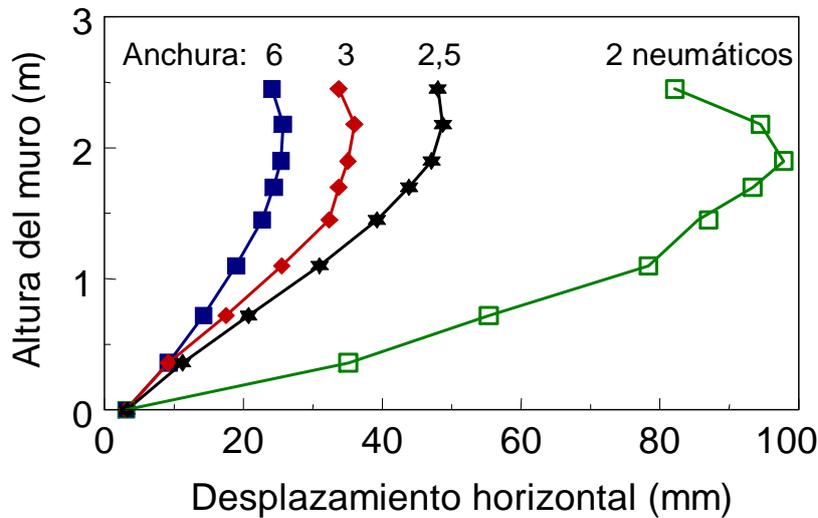


Figura 8 – Variación de los desplazamientos horizontales con la anchura del muro.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación han demostrado que el muro construido con neumáticos cortados presentase más rígido ($E = 2,5\text{MPa}$) y más homogéneo que el muro construido con neumáticos enteros ($E = 2,5\text{MPa}$). En cuanto a los aspectos constructivos, la eliminación de una de las caras laterales acelera la construcción por la mayor facilidad de relleno de los neumáticos con suelo. Para el empleo de neumáticos cortados, es necesario comprar un equipo capaz de eliminar la cara lateral de los neumáticos.

Con respecto a los dos tipos de atado, se pudo observar que el alambre proporciona al material suelo-neumáticos una rigidez ($E = 3,0\text{MPa}$) superior a lograda con la cuerda ($E = 2,5\text{MPa}$). El atado con cuerda es más lento que con alambre pero presentase como la alternativa más económica.

Por fin, se hizo una comparación entre secciones con distintas geometrías. Se pudo concluir que el proyecto del muro con largura constante de 3 neumáticos presentase como una alternativa segura para el muro de neumáticos con 4 m de altura.

La investigación ha demostrado que el empleo de neumáticos constituye una alternativa que aúna la eficacia mecánica, la facilidad de ejecución y el bajo coste, en comparación con las técnicas convencionales de estabilización de taludes.

REFERENCIAS

Fontes, A.E.B. (1997) - “*Ensaio de Campo e Laboratório no Retroaterro do Muro Experimental de Pneus*”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 126p.

Garga, V.K. and O’Shaughnessy, V. (1995) - “*Use of Scrap Tires for Embankment Construction*”. 48th Canadian Geotechnical Conference, Vancouver, Canadá, vol. 1, p. 425 - 432.

Garga, V.K.; Shaughnessy, V.O.; Medeiros, L.V.; Sayão A.S.F.J. (1999) – “*Behaviour of Scrap Tire Reinforced Retaining Walls: Canadian and Brazilian Experiences*”, 11th Panamerican Conf. on Soil Mechanics and Geotech. Engineering, Foz do Iguaçu, Brasil, vol. 3, p. 1199-1206.

Long, N.T. (1984) - “*Pneusol, Tyresoil, Tiresoil*”. Colloque Routes et Development, Ecole National des Ponts et Chaussées, France, 17p.

Long, N.T. (1990) - “*The Pneusol*”. Publication GT44, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France, 76p.

Medeiros, L.V.; Sayão, A.S.F.J.; Garga, V.K.; Andrade, M.H.N. (1997) - “*Use of Scrap Tires in Slope Stabilization*”. 2nd Panamerican Symposium on Landslides, ISSMGE, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 2, p. 637-643.

Medeiros, L.V.; Garga, V.K.; Gerscovich, D.M.S.; Sayão, A.S.F.J.; Andrade, M.H.N. (1999) – “*Analysis of the Instrumentation of a Scrap Tire Reinforced Retaining Wall*”, 11th Panamerican Conf. on Soil Mechanics and Geotech. Engineering, Foz do Iguaçu, Brasil, vol. 1, p. 19-25.

Sieira, A.C.C.F. (1998) – “*Análise do Comportamento de um Muro de Contenção Utilizando Pneus*”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 110p.

Sieira et al, 2000

acrescentar paper Geotecnia Portugal