

ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN A BASE DE NEUMÁTICOS Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD

ANALYSIS AND DESIGN OF A RETAINING WALL BASED ON TIRES AND THEIR IMPACT ON SOCIETY

Rommel J. Miranda C.¹, Guillermo Alonso S.¹,
Cynthia Jiménez M.²

RESUMEN

Muro de contención estructuras rígidas, destinada a contener algún material, generalmente tierras. Existen tipos de muros de contención, entre los que destacan los Muros con Talón y Pie, muros de contención por gravedad, muros de contención ligeros, los hechos de taludes con material reciclable (neumáticos) el cual es una estructura sólida de llantas, semillas de amarraderas y cemento armado que soporta empujes horizontales de diversos materiales. Estos muros se analizan a través de teorías de empuje de tierras y se diseñan por volteo, deslizamiento y por capacidad de carga. Los revestimientos se clavan con estacas a 0.6 m y se rellenan con suelo compactado o rocas trituradas de ¾". Los revestimientos de llantas constituyen desechos sólidos por lo que su reutilización resulta relevante, su bajo costo, su barata disponibilidad, volumen y capacidad de recuperación hacen atractivos para el reciclaje en su impacto en la sociedad.

Palabras clave: Diseño de muros, neumáticos, impacto social.

ABSTRACT

Retaining wall rigid structures, intended to contain some material, usually lands. There are types of retaining walls, among which

the walls with heel and foot stand out, retaining walls by gravity, lightweight retaining walls, the facts of slopes with recyclable material (tires) which is a solid tire structure, mooring seeds and reinforced concrete that supports horizontal thrust of different materials. These walls are analyzed through the theories of earth pressure and are designed by flip, skidding and load capacity. The coverings are nailed with stakes to 0.6 m and filled with compacted soil or crushed rock of ¾". Tire coatings are solid waste so its reuse is relevant, its low cost, its cheap availability, volume and recovery capacity make it attractive for the recyclable in its impact on society.

Keywords: Design of walls, tires, Social impact.

INTRODUCCIÓN

Los muros de contención son elementos constructivos que cumplen la función de cerramiento, soportando por lo general los esfuerzos horizontales producidos por el empuje de tierras.

La mayoría de los muros de contención se construyen de hormigón armado, cumpliendo la función de soportar el empuje de tierra, generalmente en desmontes o terraplenes, evitando el desmoronamiento y sosteniendo el talud. Estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

De acuerdo a su diseño

- Muros con Talón y Puntera, para construir este muro es necesario sobrepasar la línea de edificación, a nivel de los cimientos.
- Muros sin Talón, por lo general al construirlo resulta con un aumento de dimensión en la puntera de la zapata.
- Muros con Talón, en el primer caso, necesitan sobrepasar la línea de edificación. El

¹ Profesores de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas.

² Estudiante de servicio social

resultado es similar al muro sin talón, pero trabaja de otra manera; esta es la mejor solución ante inestabilidades por posible vuelco.

De acuerdo a su función

- Contención de tierras, cuando el muro se destina a contener sólidos, éstos por lo general son tierras; la impermeabilización y el drenaje son dos aspectos importantes para controlar el paso de agua del terreno hacia el interior de la edificación.
- Contención de líquidos, para esta función es necesario conseguir la continuidad del hormigón a fin de lograr una buena impermeabilización. Para ello se efectúa un vibrado con un control adecuado, para evitar huecos y juntas.

De acuerdo a su forma de trabajo

- Muros de contención por gravedad, soportan los empujes con su peso propio. Los muros contruidos con hormigón en masa u hormigón ciclópeo, por ser más pesados, se utilizan habitualmente como muro de gravedad ya que contrarrestan los empujes con su propia masa. Las acciones que reciben, se aplican sobre su centro de gravedad. Este tipo de muro de contención de gran volumen, se realiza de poca altura y con una sección constante; aunque también existen los de tipo ataluzados o escalonados.
- Muros de contención ligeros (a flexión), cuando el muro trabaja a flexión podemos construirlo de dimensiones más livianas. Dado que aparecen esfuerzos de flexión, la construcción se efectúa con hormigón armado, y la estabilidad está en relación a la gran resistencia del material empleado. El diseño del muro debe impedir que flexione, ni produzca desplazamientos horizontales o vuelque, pues debido a los empujes, el muro tiende a deformarse. En la flexión aparecen esfuerzos de tracción y compresión. Por ello existen formas particulares para disponer las armaduras en estos muros, ver Figura 1.



Figura 1. Disposición de armaduras de muros (ref 1).

ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON MATERIAL RECICLABLE (LLANTAS O NEUMÁTICOS)

Es una estructura sólida en mampostería de llantas, semillas de amarraderas y cemento armado que está sujeta a flexión o soportar empujes horizontales de diversos materiales, sólidos, granulados y líquidos; debe diseñarse para evitar que se presente alguna de las fallas de un terreno y orillas de un río. La reutilización de llantas en la utilización final que sirva para anclar con firmeza y resistencia muros de contención, es una propuesta a solucionar problemas relacionados con los deslizamientos en las vías, es un material reciclable, por lo cual su uso en la fabricación de muros de contención da una solución medio ambiental.

A través de este tipo de tratamientos se pueden estabilizar áreas inestables de taludes, de causas y de cárcavas, así como también amortizar el impacto lateral de flujos hídricos en cursos de agua, además la flexibilidad del material del neumático resulta apropiada para modelar el impacto del escurrimiento provocado por las crecidas de los cursos de agua.

En la actualidad los revestimientos de llantas constituyen desechos sólidos por lo que su reutilización resulta relevante y de bajo costo. Los revestimientos neumáticos se disponen traslapos formando un muro, uno encima de otro. La primera línea o línea de base se dispone y se amarra sobre una línea de postes horizontales que se entierran bajo la superficie.

Los revestimientos se clavan con estacas a 0.6 metros y se rellenan con tierra compactada, ver Figura 2.

La preparación del terreno tiene como objetivo permitir la construcción de la infraestructura básica del relleno para recibir y disponer los RSM en una forma ordenada y con el menor impacto posible, así

como facilitar las obras complementarias y las relativas al paisaje.

Los siguientes trabajos son de vital importancia para la preparación del terreno; se trata de obras sencillas y de bajo costo que pueden ser ejecutadas con rapidez por los trabajadores del municipio, cumpliendo con los requisitos sanitarios.

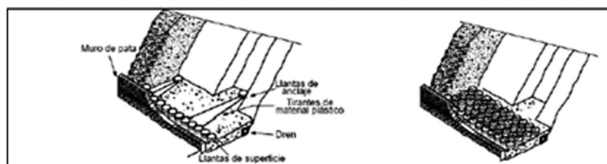
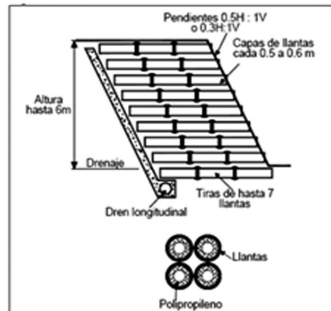


Figura 2. Colocación de los neumáticos o llantas (ref 5.).

ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN A BASE DE NEUMÁTICOS

Para la realización del análisis de muros de retención se requiere conocer las teorías de empuje de tierras, las cuales juegan un papel importante para el diseño de los mismos, por lo cual podemos mencionar las siguientes;

Teoría de Rankine, Coulomb, Cullman, Terzaghi, las más comunes, para suelos de comportamiento cohesivo y friccionantes y en sus casos combinados, además estos pueden ser analizados a través de un programa en hoja de Excel en la cual se tiene el proceso de revisión por volteo, deslizamiento y capacidad de carga (ver anexo A).

Conformación y Nivelación del Terreno. Realizar cortes o rellenos para luego nivelar por tramos, en forma de terraplén que tenga el ancho de la llanta, dejando cierta inclinación hacia adentro del terreno, ver Figura 3.



Figura 3. Conformación y Nivelación del terreno (ref. 6)

Alineamiento y Amarre de Llantas. Se hace la alineación de cada llanta, se amarra una llanta con la otra usando alambre galvanizado, usando estacas se ancla la primera hilera de llantas, ver Figura 4.



Figura 4. Alineamiento y amarre de llantas (ref 7)

Relleno y Compactación de Llantas. Se hace una selección del material de relleno, de ser posible seleccionar rocas triturada de $\frac{3}{4}$ " de la zona, después de rellenar la llanta se procede a compactar el material con un pisón manual, ver Figura 5.



Figura 5. Relleno y compactación de llantas (ref. 7)

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.

Continuidad en Hileras de Llantas. Se repiten los pasos anteriores en las siguientes hileras hacia arriba que deben ir ordenadas con inclinación hacia atrás del talud, hasta alcanzar la altura requerida. La altura es proporcional a la relación Largo alto del talud, ver Figura 6.



Figura 6. Continuidad en Hileras de Llantas (ref. 7)

IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL

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.

Las llantas son materiales no reciclables, cuya degradación tarda aproximadamente 350 años, por lo cual su uso en la fabricación de muros se convierte en una solución medio ambiental de gran impacto. Adicional que se hace participe la comunidad al no necesitarse mano de obra muy calificada para su construcción.

El reciclaje de neumáticos o el reciclaje de caucho es el proceso de recuperación de neumáticos de maquinaria o vehículos que ya no son adecuados para su uso debido al desgaste o daño irreparable (como pinchazos). Estos neumáticos están entre las fuentes de residuos más grandes y más problemáticas debido al gran volumen producido, su durabilidad, y el hecho de que contienen un número de componentes que son ecológicamente problemáticos y tóxicos para el medio ambiente. Se estima que 259 millones de neumáticos se desechan cada año. Su barata disponibilidad, volumen y capacidad de recuperación los hacen objetivos atractivos para el reciclaje, sin embargo más de la mitad de los neumáticos usados son quemados por su valor como combustible, ver Figura 7.



Figura 7. Muro de contención a base de neumáticos (ref. 7).

El uso de neumáticos en la elaboración de muros de contención ha sido el caso de mayor éxito tanto en el ámbito de construcción como de manera ambiental. Con este tipo de muros ya en 1999 se pudieron mejorar las condiciones de vida en las favelas de Río de Janeiro en las que se invertía más de 50 millones de dólares al año en muros de contención de hormigón que no siempre resultaban eficaces. Un equipo de investigadores canadienses y brasileños descubrió que los muros de neumáticos, construidos por menos de un tercio del costo de los muros de

hormigón, pueden ser más eficaces a la hora de detener los deslizamientos de tierra durante la estación de lluvias.

Desde entonces son muchas las experiencias exitosas de estos muros por casi todo el mundo, en parte también por la sencillez de su construcción que no requiere una mano de obra especializada. Los neumáticos son dispuestos horizontalmente y se rellenan los huecos (centro de la rueda) con tierra compactada, lo que además permite la siembra o plantación de vegetación a modo de muro jardinera.

Hay que destacar el extraordinario valor ecológico de estos muros que aprovechan unos residuos que tan solo en América podrían dar la vuelta a la Tierra 1,5 veces si dispusiéramos los neumáticos uno junto a otro. Una mayor aplicación de muros de este tipo en proyectos de obra civil, podría eliminar, de una vez por todas, el problema de la acumulación y eliminación de este tipo de residuos.

CONCLUSIÓN

Tanto de manera estructural como ambiental los muros de contención hechos de neumáticos son una excelente opción para la contención de tierras principalmente en zonas rurales que es donde se encuentran con mayor frecuencia zonas que requieren este tipo de estructuras. Estos muros le dan un respiro al medio ambiente ya que las llantas son materiales no reciclables, cuya degradación tarda aproximadamente 350 años en degradarse lo cual se convierte en una solución ambiental de gran impacto. Estos muros de contención pueden ser analizados como de gravedad y deben cumplir por diseño de volteo, deslizamiento y capacidad de carga, así también hace que la población se involucre en su construcción ya que no se requiere de obra muy calificada para su elaboración.

ANEXO. A- ANÁLISIS Y DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN A BASE DE NEUMÁTICOS EN HOJA DE EXCEL

OBRA: MURO DE CONTENCIÓN (CONCRETO REFORZADO) CAMINO UJCUMILJA OCOSINGO, CHIAPAS									
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MURO Y DEL RELLENO.									
Estructura de concreto reforzado (muro y zapata).					Informe Geotécnico (Relleno)				
γ_c =	2.20	t/m ³			PRODUCTO DE CORTE				
Corona(e)=	0.60	m			qu=	4.3	t/m ²		
Base(B1)=	3.00	m			c=	2.1	t/m ²		
altura(h1)=	4.70	m			ϕ =	25.0	°		
Base(Bz)=	3.00	m			γ_m =	1.80	t/m ³		
altura(h2)=	0.30	m			N.A.F.=	0.0	m		
Altura (H)=	5.00	m			β relleno=	0.0	°		
pie=	0.00	m			γ =	45.0	°		
Talon=	0.00	m			θ =	0.0	°		
q=	4.0	t/m ²			δ =	12.5	°		
Df pasivo=	2.0	m			j=	0.0	°		
Df dentellón=	0.5	m			Q=	1.6	t/m ²		
GEOMETRÍA DEL MURO									
X	Y	Y2							
0.00	0.00	2.00							
0.00	0.30	2.00							
0.00	0.30	2.00							
2.40	5.00								
3.00	5.00								
3.00	0.30								
3.00	0.30								
3.00	0.00								
0.00	0.00								
3.00		5.00							
3.00		5.00							
3.00		0.00							
5.00		5.00							
3.00		5.00							
ZONA SISMICA TIPO " C "									
Tipo de suelo de cimentación = Transición Tipo II									
Terreno NATURAL									
ao=	0.36				qu=	10.00	T/m ²		
cs=	0.36				c=	5.00	T/m ²		
Ta=	0.00				ϕ =	20.0	°		
Tb=	0.60	seg.			γ =	1.80	T/m ²		
r=	0.50				Df=	2.00	m		
β_s =	280.00	m/seg							

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA.

Ecuación de Terzaghi para suelo de comportamiento (cohesivo).

$qc = c Nc + \gamma Df$

Nc=	5.70		
Nq=	1.00	qc =	32.1 t/m ²
Nγ=	0.00		
F. S. =	3.0	qadm=	13.1 t/m ²

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS

$Tb \beta s / H = 33.6$ Si ≥ 10 se utilizará 1.33

$a_v = 2/3 a_h$

$a = 1.33(cs/4) = 0.1197$
 $a = 0.0$

DETERMINACIÓN DEL EMPUJE ACTIVO DINÁMICO "Ed"

$Ed = W (\sin \psi + \tan(\gamma-\phi)\cos\psi) - Q(\cos\gamma + \tan(\gamma-\phi)\sin\gamma) - F(\tan(\gamma-\phi)\cos\theta - \sin\theta) / (\cos(\theta-\psi) + \sin(\theta+\psi)\tan(\gamma-\phi))$

$F = 0.40c = 0.9$ t/m² (cohesivo)
 $F = 0.0$ (friccionante)

$\psi = \arctan(a' \pm 0.5(2/3a)) = 7.108$ ° (-)
 6.565 ° (+)

Si la componente vertical de la aceleración actúa hacia arriba se tendrá: $\psi = 7.108$ °
 $\psi = 0.0$ °

$W = a \text{ CSC } \psi \text{ Wv} = a \text{ CSC } \psi (0.5 \gamma H^2 (\cos\gamma^2 \cos i / \sin(\gamma-i)) + q H ((\sin(90-\gamma)\sin(\gamma-i))))$

$W = 41.765$ ton
 $W = 22.516$ ton

La altura hd donde actúa el empuje Ed es:

$hd = he Ee + 0.55H(Ee-Ed) / Ed$

Empuje "Ed".

$Ed = W (\sin\psi + \tan(\gamma-\phi)\cos\psi) - Q(\cos\gamma + \tan(\gamma-\phi)\sin\gamma) - F(\tan(\gamma-\phi)\cos\theta - \sin\theta) / (\cos(\theta-\psi) + \sin(\theta+\psi)\tan(\gamma-\phi))$

$Ed = 17.738$ ton

Empuje "Ee".

$Ee = 12.951$ ton

Altura donde actúa el empuje estático Ee, es "he = H/3"

$he = 1.667$ m

Altura donde actúa el empuje dinámico Ed, es "hd"

$hd = 1.959$ m

En muro voladizo, se considera que el empuje sísmico Ed actúa sobre la interfaz vertical imaginaria.

Por lo tanto: $ld = B$ y Ed inclinado con respecto a la horizontal de $\delta = 12.5$ °

DETERMINACIÓN DE FUERZAS Y MOMENTOS RESISTENTES (DEBIDO AL MURO).

SECCIÓN	Área m ²	h m	l m	Fza horizontal ton	Momento h t-m	Fza Vert ton	Momento v t-m
1	2.82	2.5	0.4	0.743	1.857	5.9567	2.383
2	0.90	0.15	1.5	0.237	0.036	1.90	2.852
3	5.64	1.87	1.60	1.485	2.772	11.913	19.061
4	0.15	0.17	0.40	0.040	0.007	0.3168	0.127
5	1.20	0.25	1.60	0.316	0.079	2.5348	4.563
6	0.00	2.65	3.00	0.000	0.000	0	0.000
Suma	10.71			2.82	4.75	22.62	28.99

Fuerza horizontal = a γ An y Fuerza vertical = (10.3333a) γ An

Empuje pasivo "Ep"

$Ep = W (\tan(\gamma+\phi)\cos\psi - \sin\psi) + c(\cos\gamma + \tan(\gamma+\phi)\sin\gamma) + F(\tan(\gamma+\phi)\cos\theta - \sin\theta) / (\cos(\theta-\psi) + \sin(\theta+\psi)\tan(\gamma+\phi))$

$Ep = 42.067$ ton

MOMENTO POR ANCLAJE

Si el empuje pasivo actúa a 1/3 de la altura del relleno se tiene:

$h/3 = 0.833$ m

Anclaje permanente:

Vanilla No 8.00

D = 1" = 2.54 mm

Fy = 4200 kg/cm²

oe = 42 kg/mm²

Distancia entre anclas = 2m

A = 5.1 mm²

TL = A γ oe = 213 kg

Ta = α TL = 451.1 kg

Ta = 0.1511 ton

ha = 4.00 m

Mr3 = 0.6044 t-m

Entonces Momento resistente debido al empuje pasivo es Mr2 = Ep * (h/3)

$Mr2 = 35.056$ t-m

Por lo tanto el momento resistente debido a las fuerzas verticales es: Mr = Mr1 + Mr2

$Mrv = 64.041$ t-m

REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL MURO.

REVISIÓN DE FALLA POR VOLTEO.

El momento de volteo se debe a la acción de las fuerzas horizontales que actúan sobre el muro:

$Mv = Mh + hd * Ed \cos \delta = 38.677$ t-m

El momento resistente corresponde a la suma de momentos producidos por el efecto de las fuerzas verticales:

$Mr = Mrv + ld * Ed \sin \delta = 76.163$ t-m

El factor de seguridad por volteo es: F.S. = Mr / Mv

F.S. = 1.97 SI F.S. > 1.5, SI CUMPLE POR VOLTEO

REVISIÓN DE FALLA POR DESLIZAMIENTO.

La fuerza horizontal resistente se calcula como:

$\phi_b = 20.0$ ° Según Rankine, $Kp = N\phi = \text{tg}^2(45 + \phi/2) = 2.0396$

$\gamma = 1.80$ t/m³ $c' = 0.90c = 4.50$ t/m² $F_r = F_v \tan\phi + \gamma(D-0.6)b \tan\phi + 0.5 Kp \gamma D^2 \cos\theta = 19.22$ ton (friccionantes)

$F_r = c' B + F_v \tan \delta + (Ep \sin \delta) = 27.62$ ton (cohesivos)

Fuerza deslizante que actúa sobre el cimiento se calcula con:

$F_d = Fh + Ed * \cos \delta = 20.14$ ton

Si la fuerza resistente es mayor a la fuerza deslizante (Fr > Fd) y el F.S. es mayor a 1.5 se dice que se cumple la seguridad ante la falla por deslizamiento.

F.S. = Fr / Fd = 1.372 SI F.S. > 1.2, SI CUMPLE

REVISIÓN DE FALLA POR CAPACIDAD DE CARGA.

$Mn = Mr - Mv = 37.49$ t-m

$Xr = Mn / Fv = 1.66$ m

$e = B/2 - Xr = -0.16$ m

$B' = (B - 2e) = 3.31$ m

$q \text{ aplicada} = \sigma \text{ máx} = 10.24$ ton/m²

$(Fv * B' / 2) / B'$

Donde la capacidad de carga admisible $Qadm = 13.10$ t/m²

Entonces si el F.S. es mayor a 1.5 se dice que cumple ante la falla por capacidad de carga.

F.S. = 1.28 SI F.S. > 1.2, SI CUMPLE

REFERENCIAS

- 1.- Calle, C. R. (2012). Universidad del AZUAY. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1449>
- 2.- Juárez Badillo Eulalio, Mecánica de suelos tomo I, ed. Limusa, México, Edición 3, 2012.
- 3.- Lunática Geología. (15 de Junio de 2011). Obtenido de <http://lunaticageologia.blogspot.mx/2011/06/la-ecologia-de-los-muros-de-contencion.html>
- 4.- Normas mexicanas de terracerías (NMX-416)
- 5.- Pérez, L. (02 de septiembre de 2011). blogspot. Obtenido de <http://murodellantas.blogspot.mx/>
- 6.- Sieira, A. C. (2001). Estabilización de Taludes con Muros de Neumáticos. Madrid, España.
- 7.- Zambrano, J. R. (2014). Viabilidad de Muros de Llantas para la Estabilización de Taludes. Bogotá, Colombia.