

Criterios de diseño y proceso constructivo de muro de contención con neumáticos desechados

Alejandro García-Elías¹, Armando Aguilar-Meléndez¹, José L. Sánchez-Amador¹, Grissel Hurtado-López¹
y Jesús Huerta-Chúa^{1,2}

Facultad de Ingeniería Civil¹, Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica²
Universidad Veracruzana¹, Tecnológico Nacional de México²
Poza Rica, Ver.; México

[alejagarcia, armaguilar, jossanchez, ghurtado]@uv.mx, chua@itspozarica.edu.mx

Abstract— General criteria for designing a contention wall with waste tires are presented. These criteria include revisions of external stability such as overturning, slide, load capacity, and settlements. At the same time, this text incorporates a global stability analysis. On the other hand, the main steps of the construction procedure to build gravity contention walls with waste tires are described. The text emphasizes the construction procedure to perform the joint or fixation between tires to guarantee the internal stability of the wall.

Keywords— *General criteria for designing, contention walls with waste tires, build procedure.*

Resumen— Se presenta en este documento, criterios generales de diseño de un muro de contención a base de gravedad mediante neumáticos desechados. Dichos criterios incluyen revisiones de estabilidad externa como: volteo, deslizamiento, capacidad de carga y asentamiento. Además, se analiza la estabilidad global. Por otra parte, se describen los principales pasos del procedimiento constructivo de dicho tipo de muro de contención de neumáticos de reúso. Se hace énfasis en el procedimiento constructivo para realizar la fijación entre neumáticos para asegurar la estabilidad interna del muro.

Palabras claves— *técnica constructiva, muros de contención con neumáticos desechados, procedimientos constructivos*

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por neumáticos desechados en el mundo es un problema importante, ya que de acuerdo con el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible se generan 1000 millones de neumáticos al año y existen 4000 millones de vertederos. En el caso de México, la secretaria de Medio Ambiente ha reportado que se desechan 40 millones de toneladas al año, reciclándose solo el 10%; por lo que el 90% se depositan en vertederos, rellenos sanitarios, los arroyos y ríos o en su caso son depositados en las calles (Rodríguez, 2023).

En México las asociaciones e instituciones encargadas en el reciclaje de los neumáticos usados son la Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales SEMANART con la norma NOM-161-SEMARNAT-2011, la Cámara Nacional de la Industria Hulera (CNIH), Asociación Nacional de Distribuidores de llantas y plantas renovadoras, A.C. (ANDELLAC) (Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C, 2015).

El reciclado de neumáticos es un proceso esencial en la gestión sostenible de residuos y recursos, esta práctica implica descomponer neumáticos usados en sus componentes individuales, como caucho, acero y fibras textiles. Estos componentes se reciclan y reutilizan en diversas aplicaciones, desde la construcción de carreteras hasta la fabricación de productos industriales y artículos de consumo (Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C, 2015).

Este proceso es muy costoso debido a que el reciclaje de neumáticos incluye los costos de recolección, selección y triturado de los residuos en pequeñas cantidades mixtas, su transporte a las instalaciones de manipulación para clasificarlos, limpiarlos, re-empacarlos y luego transportarlos nuevamente a un

mercado que utilice estos como materia prima para nuevos productos y esto es casi siempre más costoso que llevar los residuos a un sitio de disposición final (Peláez et, al 2017)

Lo anterior genera un compromiso para diferentes especialidades en buscar alternativas que mitiguen el impacto de la contaminación de estos desechos a los diferentes ecosistemas y reduzca el costo por reciclaje. Por lo que, en el presente documento, se expone criterios generales para diseño de muros de contención utilizando neumáticos desechados con una descripción de los principales pasos del procedimiento para realizar la construcción de dichos muros de contención.

II. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

A. Estudio de mecánica de suelos

Antes de proyectar cualquier estructura, que será desplantada en el suelo, se debe verificar, si existe algún señalamiento de alguna línea (hidrocarburo, agua potable y drenaje) cercano a la ubicación de la construcción. De igual manera, se debe contar con información relacionada con lo siguiente:

- Condiciones geológicas del lugar
- Ubicación de los sondeos
- Perfil estratigráfico de los sondeos
- Propiedades índices
- Propiedades mecánicas del suelo
- Capacidad de carga del suelo, considerando el anteproyecto de la estructura, y;
- Asentamiento probable (García et. al., 2021).

B. Aseguramiento de las conexiones

Al respecto del aseguramiento de las conexiones se debe determinar la ubicación de estas y realizar las perforaciones con una broca para acero de 1/2" como se muestra en la figura 1.

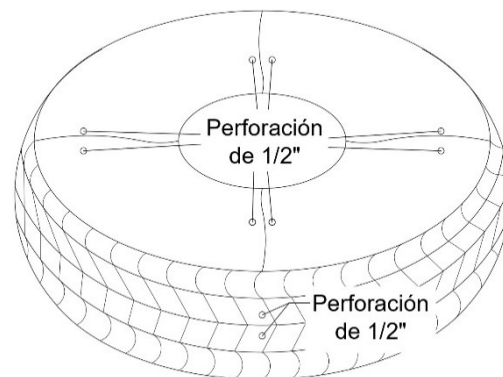


Fig. 1. Ubicación y perforación en el neumático para las conexiones

Adicionalmente, se tiene que garantizar la resistencia a los esfuerzos permisibles de tensión, cortante de las conexiones y flexión en la masa del suelo. Por lo que se recomienda utilizar cinchos de acero inoxidable (SS304), de 7.9 x 600 mm, los cuales ofrecen una tensión mínima de 110 kg, y son resistentes a afectaciones químicas y a la corrosión. Se deben dar dos vueltas para el amarre, con ello se incrementa

la resistencia hasta cuatro veces. También se pueden utilizar cinchos de nylon u otro material, siempre y cuando estos ofrezcan una resistencia a la tensión por arriba de 50 kg, en el entendido de que siempre se buscara dar dos vueltas para amarre, con el propósito de asegurar la resistencia de conexión entre neumáticos, como se muestra en la figura 2 (García *et al.*, 2021).

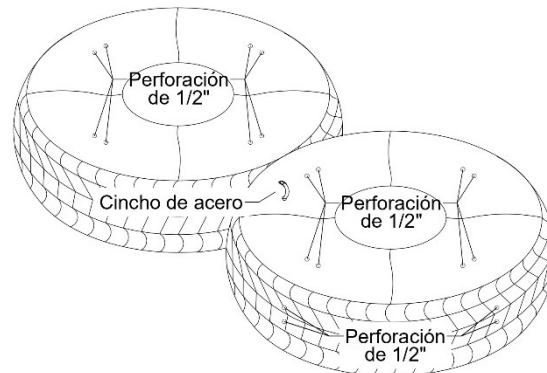


Fig. 2. Conexión de neumáticos

C. Revisión de la estabilidad externa

Deslizamiento. - En esta revisión ha de considerarse las fuerzas E_A y E_p , así como las fuerzas que permiten contrarrestar éstas, mismas que tienen que ver con el peso (W) de la estructura, multiplicado por su respectivo ángulo de fricción entre el suelo y la base del muro (δ), donde generalmente se toma como $\delta=k_1\phi$, en el que k_1 , se encuentra entre 1/2 a 2/3. Adicionalmente, la otra fuerza a considerar es c_d , la cual debe tomarse como la adhesión entre el suelo y la losa de base. Para condiciones prácticas se toma como la cohesión del suelo (c) de ese estrato (ver figura 3), multiplicada por el ancho (B) del muro considerado y el coeficiente k_2 , el cual tiene los mismos valores que k_1 , dando como resultado la ecuación 1 (Braja, 2001).

$$F_s = \frac{\sum w(\tan(\phi k_1) + B k_2 c + E_p)}{E_A} \tag{1}$$

Por décadas, el F_s de 1.5 se ha venido considerando como aceptable, sin embargo, en recientes publicaciones, sobre todo en el manual de Diseño de Obras Civiles, Cap. B.2.6, Estructuras de Retención, se recomienda considerar un valor de 2 (Paredes y Fernández, 2014).

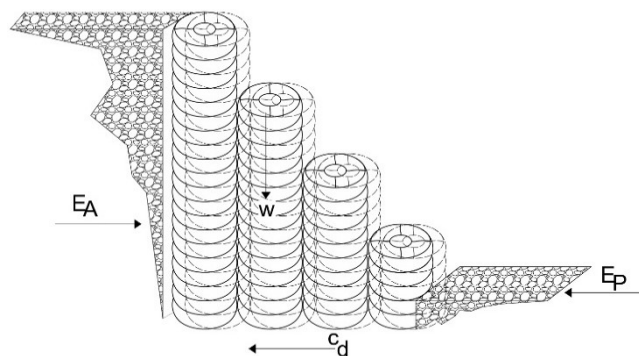


Fig. 3. Fuerzas por considerar en una evaluación por deslizamiento

Volteo. – De manera similar al caso de la evaluación por deslizamiento, en esta revisión han de considerarse el empuje activo y el empuje pasivo E_A y E_p del suelo, el peso volumétrico γ_m del suelo, en conjunto con el neumático considerado, así como las conexiones entre llantas. En el caso de esta propuesta se ha considerado neumáticos de un ancho de 20.5 a 24.5 cm y 75 cm de altura, en el entendido que es posible utilizar otros neumáticos de menor tamaño. La altura (H) que se ha considerado es hasta 5 m y el ancho de su base (B) dependerá de las revisiones que se hagan a la estructura (ver figura 4). En todo momento de las revisiones se debe garantizar su seguridad (García *et al.*, 2021).

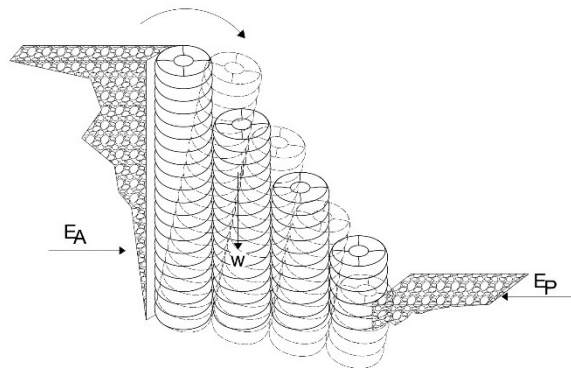


Fig. 4. Revisión por volteo

Capacidad de carga. - En este caso, la resistencia admisible del suelo obedece a varios factores, los cuales el diseñador debe considerar para un buen desempeño eficiente de dicha cimentación (ver figura 5). En el caso de una estructura de contención a base de neumáticos desechados, los criterios para determinar la capacidad admisible deberán seguir la propuesta por Terzaghi para suelos friccionantes y cohesivos-friccionantes y la de Skeptom en el caso de los cohesivos (NTCDyCC, 2017).

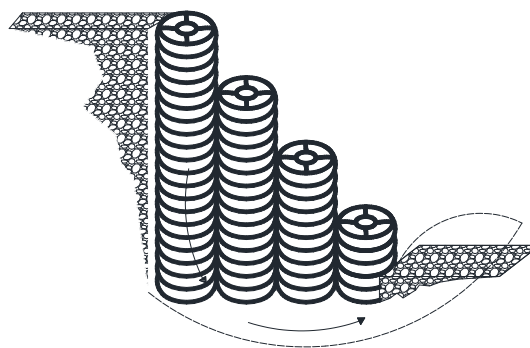


Fig. 5. Revisión por capacidad de carga

Asentamiento. - Derivado de la propuesta de muro, el cual acepta mayores deformaciones y tiene mayor elasticidad (Ver Figura 6), en comparación a uno de concreto o de mampostería, puede considerarse para el cálculo de los asentamientos la Teoría Elástica. Dicha teoría está descrita en el Libro Estructuras de Retención de la Comisión Federal de Electricidad, edición 2014.

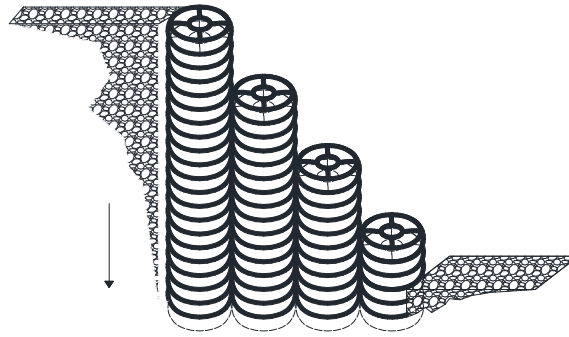


Fig. 6. Comportamiento de muro por asentamiento

Estabilidad global. – En este aspecto, en el análisis o revisión general de un muro, pueden considerarse evaluaciones rotacionales proyectadas en el suelo, buscando obtener un factor de seguridad por arriba de la unidad, las fallas a las que se refieren son como se muestran en la figura 7. Por lo que pueden considerarse en las revisiones los métodos de análisis de estabilidad de taludes, como los siguientes: equilibrio límite y métodos de análisis límite. Los primeros incluyen a los denominados exactos y a los aproximados, mientras que los segundos tienen que ver con los métodos numéricos, el cual considera los métodos de elementos finitos y de diferencias finitas (Chen & R. Scawthorn, 1968).

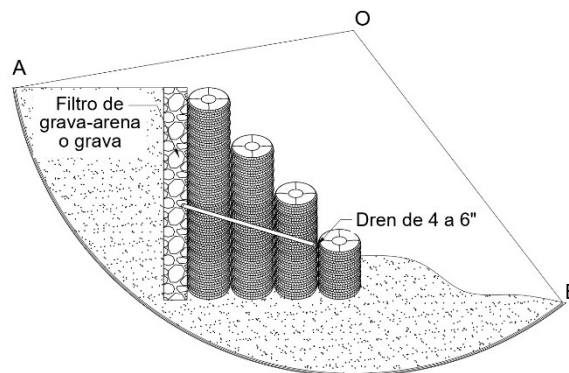


Fig. 7. Falla rotacional de talud

Drenaje. - La infiltración de agua de lluvia en los suelos, generan muchas veces una saturación en los mismos y una sobre carga para la estructura de contención. Luego entonces es necesario retirar dicha sobre carga a través de un filtro en la parte posterior del muro y drenes mediante tubos de PVC, como se muestra en la figura 8 (García *et al.*, 2021). En el caso de regiones donde predominan arcillas expansivas, el problema se agrava, ya que aumenta considerablemente el peso volumétrico y un incremento de sobre esfuerzo por la expansión del suelo. Por lo que se debe determinar el esfuerzo de expansión mediante la prueba de “expansión libre” o “expansión bajo carga in situ” para considerarlo en el diseño de la estructura, o en su caso verificar que sea suficiente con los drenes propuestos (García *et al.*, 2012).

La situación anteriormente mencionada merece toda la atención, debido a que se tiene evidencia estadística del país, en el cual dos terceras partes de la superficie se han considerado áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales de 500 mm. En tanto que el sureste es húmedo con precipitaciones que en ocasiones superan los 2000 mm por año. Siendo de mayor intensidad las lluvias en verano. Otro dato

interesante fue el registro de precipitación acumulada en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del 2018, el cual fue de 803.7 mm, 8.6 % superior a la normal del periodo de 1981 a 2010, el cual fue de 740 mm (CONAGUA, 2019).

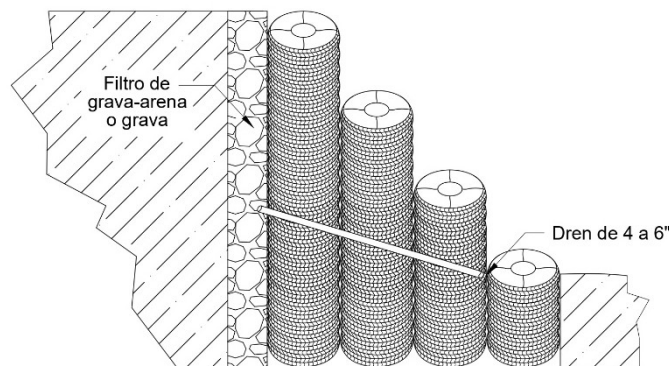


Fig. 8. Filtro de grava, y drenes transversales recomendado en muros

A partir de lo señalado previamente, es de gran importancia que el diseñador o constructor considere esta variable (lluvia) para los drenes y los coloque en la estructura de contención, para no hace vulnerable al muro de contención. Para evitar dicha vulnerabilidad en muros de contención a base de llantas de desecho, es válido considerar las recomendaciones para los drenes en un muro de la tabla I.

Tabla I. medidas de drenaje típicas para estructuras de contención (Paredes & Fernández, 2014)

Altura del muro (m)	Drenaje	Lluvia anual <760 mm	Lluvia anual >760 mm
1<H<3	Drenes transversales al muro a 25 cm de su base o tan abajo como sea posible.	Espaciados a 3m, de 10 cm de diámetro. Capa de respaldo grava-arena de 20 cm de espesor.	Espaciados a 2.5 cm de 15 cm de diámetro. Capa de respaldo de grava-arena de 20 cm de espesor. Añadir dren longitudinal con salida al exterior de 15 de diámetro.
3<H<5	Drenes transversales al muro y dren longitudinal con salida al exterior.	Iniciar a 25 cm de la base en 2 líneas y espaciados entre 1 y 2.5 m al tresbolillo. Capa de respaldo de grava-arena de 20 cm de espesor. Dren longitudinal de 20 cm de diámetro con salida al exterior a cada 7.5 m a un tubo colector.	Iniciar a 25 cm de la base, en 2 líneas y espaciados entre 1 y 2.5 m al tresbolillo. Capa de respaldo de grava-arena de 20 cm de espesor con geotextil en la pared del muro. Dren longitudinal de 30 cm de diámetro con salidas al exterior a cada 5 m, a un tubo colector.
>5	Sistema de drenaje interno	Filtro de 30 cm de espesor en el respaldo, con geotextil y dren longitudinal de 20 cm envuelto con geotextil y drenes transversales a cada 2 m al tresbolillo. Cama de filtro inclinada de 30 cm de espesor y 1.5 m de ancho a partir de la base.	Filtro de 30 cm de espesor en el respaldo con geotextil. Además, dren longitudinal de 20 cm envuelto con geotextil con salidas al exterior a cada 5 m, a un tubo colector y drenes transversales a cada 2 m a tresbolillo. Cama de filtro inclinada de 30 cm de espesor y 3 m de ancho a partir de la base. También se puede requerir drenes perforados inclinados y horizontales con tubos ranurados de 5 o 7.5 cm.

III. PROCESO CONSTRUCTIVO

La descripción del proceso constructivo de una obra es la clave para que los encargados de esta sigan paso a paso cada una de las etapas del proyecto y lo culminen con éxito. En esta etapa, la supervisión en la construcción favorece a que se optimicen el tiempo y los recursos, así como contribuye a garantizar que la obra ha cumplido con todos los requisitos o especificaciones requeridas por el proyecto. Con estos antecedentes, enseguida se incluyen recomendaciones relevantes para tomarse en cuenta durante el proceso constructivo de un muro de contención a base de llantas de desecho.

Recomendaciones para el proceso constructivo

A. Recolección y selección de neumáticos de desecho

Cuando a los propietarios de un vehículo, le surge la necesidad de cambiar los neumáticos por pérdida de utilidad, éstos tienen varias opciones: a) cambiar directamente las llantas, colocando las nuevas llantas que se adquirieron en alguna tienda, b) pedir apoyo a los diferentes centros de servicio llamadas “llanteras” para que mediante el pago respetivo, sean las llanteras quienes suministren las llantas y las instalen, o c) adquirir llantas en “vulcanizadoras” locales quienes también suelen instalarlas. Sin embargo, una vez que los particulares cambian las llantas de sus vehículos por nuevos, estos son dejados generalmente en los establecimientos, y posteriormente las llantas usadas son retiradas por empresas dedicadas a la recolección de desechos (García *et al.*, 2021). Dichas empresas o gestores deben cumplir con lo que establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Luego entonces, también el constructor interesado en aprovechar llantas usadas puede recolectar las llantas y trasladarlas al lugar de construcción del muro, con vehículos de carga (figura 9).



Fig. 9. Neumáticos de desecho recolectados para su uso en la construcción de muros de contención

B. Perforación de neumáticos

Para la construcción de los muros de contención se requiere realizar perforaciones en las llantas. Para este fin y por cuestiones prácticas, puede utilizarse un taladro con una broca de hierro de $\frac{1}{2}$ ", para realizar las perforaciones como se muestra en la figura 10.

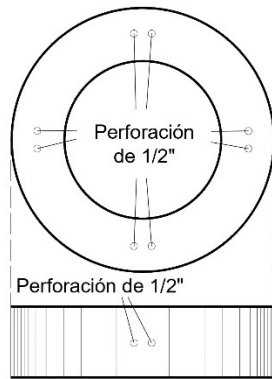


Fig. 10. Perforaciones al neumático de 1/2" de diámetro

C. Excavación y nivelación de suelo de cimentación

Una etapa fundamental en la construcción es la excavación y nivelación de suelo de cimentación. Para este propósito, primero se establecen la ubicación de la estructura y las cotas del muro de contención a base de gravedad con neumáticos desechados. Posteriormente, se procede con la excavación con herramienta manual (pico y pala), aunque si se tiene acceso en la obra de maquinaria, entonces, se puede utilizar una retroexcavadora para realizar la excavación. En cualquier caso, se debe conseguir al final que la base de la cimentación este pareja y nivelada como se aprecia en la figura 11.



Fig. 11. Nivelación de suelo de cimentación para construcción de muro

D. Colocación y amarre de neumáticos

Si ya se cuenta preparada la base de la cimentación, entonces, se coloca la primera fila de neumáticos y se sujetan mediante cinchos de acero inoxidable (SS304), de 7.9 x 600 mm, el cual ofrece una tensión mínima de 110 kg, y es resistente a afectaciones químicas y la corrosión. Por la longitud del cincho se da dos vueltas para el amarre, buscando incrementar la resistencia hasta cuatro veces. También pueden considerarse los de nylon, siempre y cuando por especificación señalen resistencia a la tensión por arriba de 50 kg. En todo momento se buscará dar dos vueltas para amarre, con el objetivo de asegurar la conexión entre neumáticos, como se muestra en la figura 12 (García *et al.*, 2021). Posteriormente, se continúa colocando el material de relleno que se obtuvo de la propia excavación, dicho material de relleno deber ser compactado con un vibro compactador manual o con un pisón manual. Siempre se deberá tener presente que el grado de compactación final deberá estar entre el 95 al 100%, y dependiendo del tipo de suelo, será la energía específica por considerar. Para este fin, una buena referencia es considerar las normas M-MMP-1-09/06 y la M-MMP-1-09/03 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para el control de la compactación. Posteriormente, se continúa con la segunda fila de llantas y se fijan, para que

enseguida se rellenen con el suelo de excavación y se continúa sucesivamente hasta terminar la construcción del muro señalado en el proyecto.

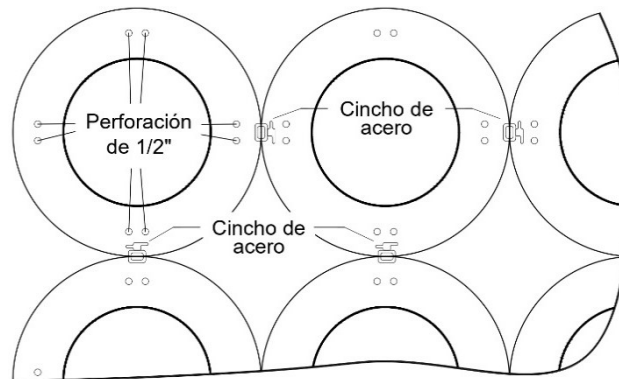


Fig. 12. Colocación y fijación de neumáticos

E. Drenaje

El drenaje del muro se construye de la siguiente forma: en el respaldo del muro, se debe colocar la capa de filtro, para ello se puede considerar grava-arena o grava, como se muestra en la figura 8. Posteriormente, se coloca tubería de PVC de 4”, la cual deberá estar separada de acuerdo con lo descrito en la tabla 1.

F. Recubrimiento

En la superficie expuesta del muro, se pueden sembrar plantas de ornato (flores) o su caso pasto endémico, con el objetivo de brindar un aspecto agradable para el entorno (ver figura 13). Sin embargo, si la superficie expuesta es vertical se puede colocar una malla tipo gallinero, para colocar un mortero zarpeado o en su caso darle un acabado liso y uniforme.



Fig. 13 Recubrimiento de cara expuesta de muro con especies vegetales

IV. CONCLUSIONES

La construcción de muros de gravedad a base de neumáticos desechados es una alternativa que las autoridades federales, estatales y municipales pueden considerar para atender las diferentes demandas de la población. Asimismo, los constructores o diseñadores tienen la posibilidad de tomar este sistema como otra alternativa práctica, económica y segura en la edificación de muros. Toda vez que mediante los

criterios generales de diseño y el procedimiento constructivo descritos en el presente texto, se tienen las ventajas siguientes: a) existe un consumo energético mínimo, b) es una construcción sustentable, c) se reduce el tiempo de construcción del muro y d) los costos son más económicos.

RECONOCIMIENTOS

La técnica constructiva que se presenta ha sido realizada, con la colaboración de los integrantes del núcleo y colaboradores del CA Estructura UV-CA215. Se agradece especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana en Poza Rica.

REFERENCIAS

- Braja, M. D. (2001). *Principio de Ingeniería de Cimentaciones*. México: Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Chen, W. F., y R. Scawthorn, C. (1968). *Limit Analysis and Limit Equilibrium Solutions in Soil Mechanics*. Pennsylvania, USA: Lehigh University Institute of Research.
- CONAGUA, C. N. (2019). *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Mexico: D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- García Elías, A., Sanchez Amador, J. L., Aguilar-Meléndez, A. (2021). *Estructuras de Contención Sustentables*. Ediciones de Autor Editorial. México.
- García Elías, A., Cordova Ceballos, A., Sanchez Amador, J. L., Aguilar Meléndez, A. (14 de Noviembre de 2012). XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. *Reducción del esfuerzo de expansión en arcilla expansiva con Extracto Compuesto de Puluxnu*. Cancún, Quintana Roo, México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.
- Jaime Paredes, A., y Fernández Ortiz, R. A. (2014). *Manual de Diseño de Obras Civiles*. México: Comisión Federal de Electricidad.
- Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C. (2015) “Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho, conforme a la NOM–161–SEMARNAT–2011”
- NTCDyCC, G. O. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones*. México: Administración Pública de la Ciudad de México.
- Paredes, A. J., y Fernández Ortis, A. R. (2014). *Estructuras de Retención*. México: Comisión Federal de Electricidad.
- Peláez Arroyave, Gabriel Jaime; Velásquez Restrepo, Sandra Milena; Giraldo Vásquez, Diego Hernán (2017), “Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura Ciencia e Ingeniería Neogranadina”, vol. 27, núm. 2, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia
- Rodríguez, E. M. (20 de julio de 2023). *El Economista*. Obtenido de El Economista: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Crean-articulos-sustentables-con-llantas-usadas-20181203-0056.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020) “Diagnóstico Básico Para La Gestión Integral De Los Residuos”