
VIABILIDAD DE MURO DE CONTENCIÓN
DE GRAVEDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS USADAS

PRESENTADO POR:
JORGE MOISES NADER GIRALDO
ID: 000401414

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA: INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2018

VIABILIDAD DE MURO DE CONTENCIÓN
DE GRAVEDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS USADAS

PRESENTADO POR:
JORGE MOISES NADER GIRALDO
ID: 000401414

ASESOR:
ING. FAVER ELIECER VERA CHILA

Trabajo de grado Modalidad Monografía como requisito para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA: INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2018

HOJA DE APROBACIÓN

JURADO N° 1.

JURADO N° 2.

JURADO N° 3.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y guiarme por este destino lleno de bendiciones.

A mis padres, hermanos, a mi esposa e hijo por su compañía en este camino recorrido.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la salud para realizar este proyecto y cumplir mis metas.

A los compañeros y líder del Semillero de investigación de Ingeniería Civil, por su participación, apoyo y colaboración para el desarrollo de la Investigación. En especial a mi compañera Sandra Guzmán por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Faver Vera, por su asesoramiento y contribución en el desarrollo de este proyecto de investigación.

A los docentes del Centro Regional Girardot, por su aporte, colaboración y enseñanzas durante mi Carrera.

CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Descripción del problema.....	14
1.2. Pregunta de Investigación.....	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
4.1. Contexto.....	19
5. MARCO TEÓRICO.....	20
5.1. Generalidades Muros de Contención.....	20
5.2. Teorías de Diseño y Construcción de Muros de Contención	20
5.2.1. Tipología muros de Contención.....	20
5.3. Muros de Gravedad	22
5.3.1. Tipo de muros de Gravedad.....	22
5.4. Normatividad Estructural Aplicable en Muros de Contención	27
6. MARCO CONCEPTUAL.....	28
7. MARCO LEGAL	29
8. ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES	30
9. METODOLOGÍA	33
9.1. Tipo de Investigación	33
9.2. Diseño de la Investigación.....	33
9.3. Fuentes y Técnicas Para la Recolección de Información	34
9.4. Procesos y procedimientos	34
10. EJECUCIÓN DEL PROYECTO	35
10.1. Construcción Prototipo de Muro de Contención de Gravedad (Modelo real).....	35

10.2. Estudios Para la Clasificación del Suelo	36
10.2.1. Ensayo de Calicata.....	36
10.2.2. Análisis Granulométrico de suelos	37
10.2.3. Límites de Consistencia.	42
10.2.4. Ensayo de Resistencia a la Penetración del Suelo.	44
10.3. Dimensionamiento Muro de Contención de Gravedad Usando Llantas	45
10.3.1. Calculo de cargas del Muro de contención de gravedad con llantas	46
10.4. Proceso de Construcción del Muro de Contención de Gravedad	49
10.5. Geología estructural Municipio de Girardot.....	50
10.5.1. Estratigrafía del Municipio de Girardot.....	50
10.5.2. Zonas de amenazas y riesgos naturales.....	51
10.5.3. Fenómenos que son amenaza para la población, bienes y el medio ambiente.....	51
10.6. Casos de Aprovechamiento de Llantas en Desuso	52
10.7. Comparativo Económico Muro de Contención con Llantas vs Construcción Tradicional	54
11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y PRESUPUESTO	55
12. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
12.1. Resultados Clasificación del Suelo.....	57
12.1.1. Análisis Granulometría al suelo Compactado.....	57
12.1.2. Análisis ensayo de límites de consistencia del suelo de compactación	58
12.1.3. Análisis Granulometría del suelo local	59
12.1.4. Análisis ensayo de límites de consistencia del suelo local	59
12.1.5. Análisis ensayo de resistencia a la penetración del suelo	60
12.2. Análisis de la Construcción del Muro de Contención de Gravedad con Llantas Usadas..	61
12.4. Análisis del Presupuesto Construcción Muros de Contención con llantas vs Construcción Tradicional.....	62
13. CONCLUSIONES	63
14. RECOMENDACIONES	64
15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
16. ANEXOS.....	69

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Normatividad técnica nacional e internacional para muros de contención.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4. Granulometría suelo de Compactación Norma I.N.V. E-123.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. Granulometría suelo local Norma I.N.V. E-123.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6. Limite Líquido Suelo de Compactación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Limite Plástico Suelo de Compactación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8. Limite Líquido Suelo Local.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9. Limite Plástico Suelo Local.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10. Clasificación del suelo con penetrómetro de bolsillo.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 11. Propiedades del suelo para el cálculo de cargas del muro.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 12. Capacidades portantes admisibles máximas permitidas.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 13. Presupuesto muros de gravedad construcción tradicional vs construcción con llantas</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 14. Cronograma de Actividades del proyecto.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15. Presupuesto del proyecto.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 16. Análisis Granulométrico del material para Compactación.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 17. Análisis Granulométrico del suelo local.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 18. Resultado cálculo de cargas.....</i>	<i>61</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Parque automotor registrado al primer semestre del 2018 en el RUNT a Nivel Nacional</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Ubicación Municipio de Girardot en el territorio Colombiano</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Muro de Gravedad</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Muro en voladizo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5. Muro con contrafuertes.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6. Esquema de un muro de Concreto Reforzado.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7. Esquema de un muro de Concreto simple.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8. Esquema de un muro en concreto Ciclópeo.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Esquema de un muro de concreto ciclópeo con columnetas de refuerzo</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10. Esquema de los muros en gaviones.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11. Esquema en enrocado</i>	<i>26</i>
<i>Figura 12. Esquemas de un muro en llantas usadas con arreglo total en las llantas (Hausmann, 1990).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13. Localización construcción muro de contención con llantas</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14. Grafica de Gradación suelo de Compactación.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15. Grafica de Gradación suelo local.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16. Plano prototipo muro de contención de gravedad con llantas</i>	<i>45</i>
<i>Figura 17. Plano cálculo de cargas.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18. Limite Líquido % de Humedad suelo de compactación.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 19. Limite Líquido % de Humedad suelo local.....</i>	<i>60</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Registro de excavación calicata</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 2. Muestra de suelo.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 3. Lavado de la Muestra de suelo.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 4. Muestras suelo después del tamizado.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 5. Material en la cazuela Casagrande.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 6. Ensayo de Resistencia a la Penetración (Penetrómetro de Bolsillo).....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 7. Lectura del anillo del Penetrómetro de Bolsillo.....</i>	<i>44</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. Proceso constructivo del Muro de Contención con Llantas.....</i>	<i>69</i>
<i>Anexo B. Plano Levantamiento Topográfico</i>	<i>71</i>
<i>Anexo C. Ensayo clasificación del suelo de Compactación.....</i>	<i>72</i>
<i>Anexo D. Ensayo clasificación del suelo local</i>	<i>73</i>

RESUMEN

El presente trabajo surge como una propuesta de investigación para analizar la viabilidad de la construcción de un muro de contención de gravedad con la utilización de llantas usadas, en el Municipio de Girardot del departamento de Cundinamarca en Colombia. Con esta investigación se busca dar un aprovechamiento a las llantas que ya culminaron su vida útil.

La investigación se basa en una metodología de tipo documental y descriptiva desarrollando un método mixto con enfoque cualitativo y cuantitativo, realizando una revisión de la literatura que era relevante para la investigación como; muros de contención, tipos de muros de contención, muros de contención por gravedad, aprovechamiento de llantas usadas, entre otros. Con el análisis de los resultados obtenidos se puede indicar que la construcción de muros de contención de gravedad con la utilización de llantas usadas es una propuesta viable, además económica en comparación con otros materiales utilizados para construcción de muros de contención de gravedad, finalmente, con el aprovechamiento de este residuo sólido se ayuda al cuidado del medio ambiente.

Palabras claves: Llanta, muro de contención, reciclaje, medio ambiente, aprovechamiento.

ABSTRACT

The following work comes to light as a research proposal to analyse the feasibility of the construction of a gravity retaining wall with the implementation of used tires in the municipality of Girardot, in the Department of Cundinamarca in Colombia. With this research we seek to find proper ways of utilizing worn tires which lifespans have completed.

The research is based on a descriptive, documentary-like methodology developing a mixed method with a focus in quality and quantity and employing a revision of the literature that was relevant for the research, such as: retaining walls, types of retaining walls, gravity retaining walls, utilization of worn tires, among others. With the analysis of the obtained results it can be indicated that the construction of gravity retaining walls with the utilization of worn tires is a feasible proposal. It also has a low cost compared to other materials used for the construction of gravity retaining walls. To conclude, with the utilization of this solid residue we are also helping take care of the environment.

Keywords: Tire, retaining wall, recycling, environment, utilization.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la mala disposición de llantas usadas ha provocado una serie de problemas socio ambientales, por eso algunas entidades como Rueda verde, Mundo limpio, y Reciclair trabajan en proyectos para la recolección y reutilización de las llantas y/o neumáticos usados. Sin embargo, aún se evidencia que este tipo de residuo sólido termina en rellenos sanitarios, espacio público y fuentes hídricas aumentando la contaminación ambiental.

El propósito del proyecto de investigación es brindar una alternativa de aprovechamiento y desarrollo sostenible para las llantas usadas, permitiendo determinar la viabilidad de construcción de un muro de contención de gravedad mediante la utilización de este residuo, estableciendo si el muro puede ser implementado sin causar daño o un problema al medio ambiente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la actualidad la preservación del medio ambiente es interés de todos, sin embargo, aún se refleja la falta de culturización de la ciudadanía y la influencia negativa sobre este. La Constitución Política de Colombia (1991) en su Artículo 79, establece “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. (...) es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

Por otra parte, el aumento en la producción de las llantas genera que al culminar su vida útil estas queden a disposición de ser un contaminante para el medio ambiente. Según estadísticas del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT, 2018) Colombia cuenta con un parque automotor acumulado de 13.367.592 a diciembre de 2017 y 14.003.836 a Junio de 2018 como se puede ver en la figura 1, generándose un incremento en la producción de llantas y por consiguiente un alto volumen de llantas en desuso.

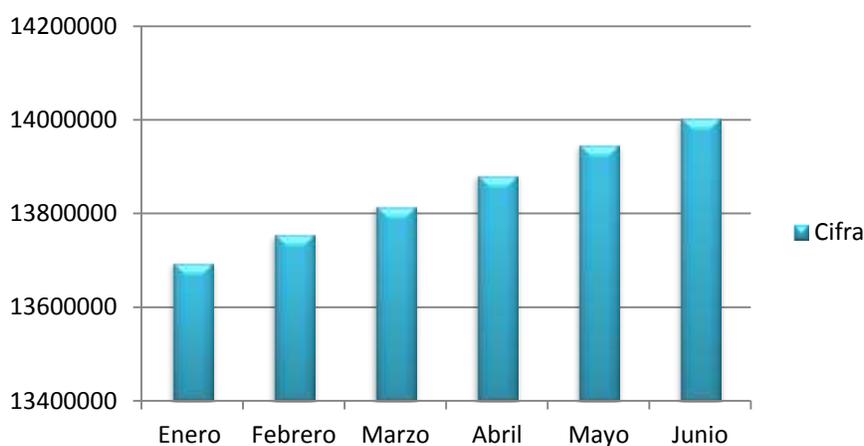


Figura 1. Parque automotor registrado al primer semestre del 2018 en el RUNT a Nivel Nacional
 Fuente: Elaboración propia, Información tomada del (RUNT, 2018)

De acuerdo a información suministrada por la Secretaria de Tránsito de Girardot registradas en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT, 2018) Girardot al primer semestre del año 2018 cuenta con un registro de 1.655 vehículos Públicos, 3.069 vehículos Particulares y 38.623 Motocicletas, para un total de 43.347 vehículos registrados, algunos de estos son de circulación local, y otros vehículos transitan provenientes de otras ciudades del país.

En Colombia el sector de la Construcción busca innovar para dar herramientas sostenibles que permita el cuidado al medio ambiente. Los problemas que presenta las vías del país por el deslizamiento de taludes ha llevado a la implementación de sistemas como las estructuras de

contención: “Uno de los tipos de obras más comunes en la ingeniería de vías ha sido la de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la bancada, cuando se habla de suelos de relleno o para el caso de deslizamientos en zonas de corte” (Escobar y Duque, 2016, p, 246), estas estructuras sirven para enfrentar este fenómeno utilizando métodos convencionales como muros en concreto ciclópeo, gaviones, concreto reforzado y tierra reforzada, otros método novedoso y alternativo es la utilización de llantas usadas como material para la construcción de muros de contención, pero esta técnica aún no ha mostrado su efectividad y no se ha determinado si su construcción puede ser viable. La estabilización de taludes con llantas usadas: “Ayuda por medio de este método a la contribución con el medio ambiente (...) estas acumulamientos de llantas constituyen una problemática de salud pública, por lo que son una fuente de cultivo para los mosquitos y otros vectores que propagan enfermedades” (Rodríguez, 2016).

1.2. Pregunta de Investigación

¿Qué viabilidad tiene la construcción de un prototipo de muro de contención de gravedad mediante la utilización de llantas usadas?

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia se generan cada año más de 5 millones de llantas usadas, el equivalente a 100.000 toneladas de residuos de este tipo, de acuerdo a información suministrada por el Ministerio del Medio Ambiente (2017). Así mismo, se da un inadecuado manejo en su disposición final lo que genera contaminación socio ambiental. En la actualidad el desarrollo sostenible es un concepto

que todos los gobiernos deben desarrollar, el Programa de las Naciones Unidas (2018) en su objetivo 12 menciona;

Para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. La gestión eficiente de los recursos naturales compartidos y la forma en que se eliminan los desechos tóxicos y los contaminantes son vitales para lograr este objetivo. También es importante instar a las industrias, los negocios y los consumidores a reciclar y reducir los desechos, como asimismo apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo para 2030.

En el sector de la construcción se están buscando alternativas que ayuden a un desarrollo sostenible, por eso, desde hace unos años en las obras de ingeniería civil se empezó a utilizar las llantas y/o neumáticos usados en estructuras de contención para la estabilidad de taludes y obras similares, su proceso constructivo es rápido y requiere de poca herramienta y maquinaria. Con esta investigación se pretende conocer la viabilidad de la construcción de un muro de contención de gravedad con llantas usadas, por consiguiente, para su implementación es conveniente determinar qué impacto trae para el medio ambiente, conocer los resultados de estudios desarrollados en el país y en otras partes del mundo y concluir si este sistema puede ser una solución al problema ambiental y social que representa la disposición final de las llantas y/o neumáticos que culminaron su vida útil.

Así, se considera trascendente estudiar la implementación de un muro de contención de gravedad con llantas usadas con el propósito de analizar su viabilidad constructiva y que trae para el medio ambiente la utilización de este residuo sólido en sistemas para la estabilización de taludes u obras similares. El estudio planteado ayudará a conocer los aprovechamientos de este residuo, fortaleciendo las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, además, proporcionara información que será útil para futuras investigaciones por ser un hecho ambiental y social del cual pueden surgir nuevos conocimientos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la viabilidad de construcción de un muro de contención de gravedad mediante la utilización de llantas usadas en el Municipio de Girardot, Cundinamarca.

3.2. Objetivos específicos

1. Formular los parámetros geométricos y estructurales para un prototipo de muro de contención de gravedad usando llantas.
2. Realizar un análisis económico comparativo del prototipo propuesto vs construcción tradicional de muros de contención de gravedad.
3. Mencionar los casos de aprovechamiento de llantas en desuso.
4. Analizar los resultados de la implementación de un muro de contención de gravedad con llantas usadas.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Contexto

El Área de estudio se encuentra situada en el Municipio de Girardot del departamento de Cundinamarca, país Colombia, se ha convertido en uno de los polos turísticos del centro del país. Girardot está situada en el centro de la República de Colombia, sus coordenadas geográficas: latitud norte 4°, 18' 00'' y longitud oeste 74°, 47' 51'' al centro de la ciudad (Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

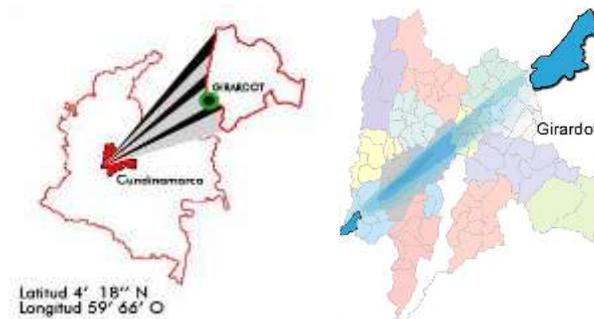


Figura 2. Ubicación Municipio de Girardot en el territorio Colombiano
Fuente: Alcaldía de Girardot, 2016.

Girardot es uno de los 116 Municipios que conforman el departamento de Cundinamarca, nuestro Municipio se encuentra ubicado hacia el sur-occidente del Alto Magdalena y sobre el margen derecha de Rio Magdalena.

4.1.1. Aspectos generales. Ubicación astronómica: 4.18.18 Latitud Norte y 74.48.06 Longitud Oeste, Altitud: 289 metros sobre el nivel del mar, Temperatura promedio anual: 33.3° C, distancia a Bogotá: 134 km, extensión del Municipio 129 km². Según estadísticas del DANE

para el año 2005, la población del Municipio es de 150.178 habitantes, extensión área urbana 20 Km², extensión área rural 109 km².

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Generalidades Muros de Contención

Segura (1996) define los muros de contención como “Elementos estructurales diseñados para contener materiales. De uso múltiple en Ingeniería, e utilizan en carreteras a media ladera, en sótanos de edificios, en estribos en puentes, en tanques de agua, etc.” (p. 368). De igual forma pueden contener materiales sueltos naturales o artificiales.

5.2. Teorías de Diseño y Construcción de Muros de Contención

5.2.1. Tipología muros de Contención. Encontramos varios tipos de muros de contención entre los más comunes y de acuerdo a su funcionamiento Segura (1996) menciona los siguientes: a. Muros de gravedad: son estructuras cuya estabilidad depende de su peso propio, en construcción de edificios, su altura se limita a contenciones de altura no superiores a 3 metros. Como se muestra en la figura 3.

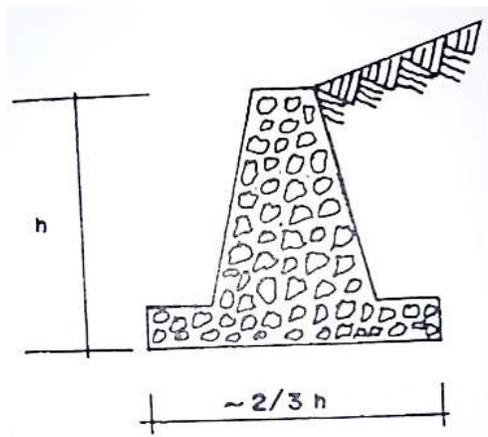


Figura 3. Muro de Gravedad
Fuente: Segura (1996)

b. Muros en voladizo: son muros cuyo funcionamiento es el de losas en voladizo construidas en concreto reforzado con perfil que puede ser “T” o “L”. Están constituidos por dos o tres voladizos, dependiendo de su perfil y su altura por razones prácticas no debe exceder de 6 metros.

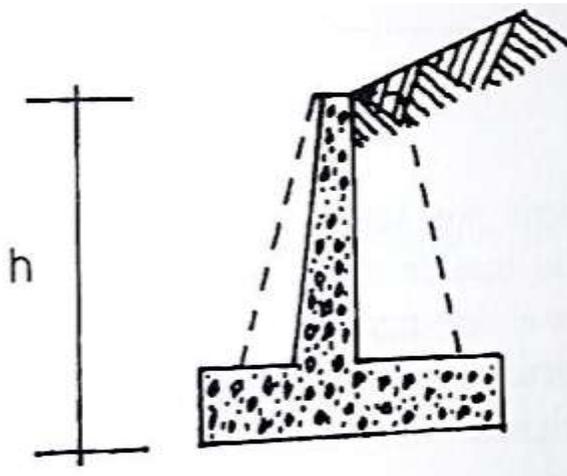


Figura 4. Muro en voladizo
Fuente: Segura (1996)

c. Muros con contrafuertes: para grandes alturas los voladizos se convierten en losas apoyadas en la base y en unos contrafuertes convenientemente espaciados.

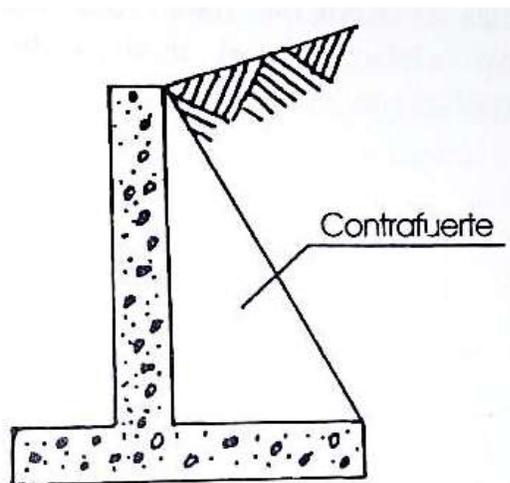


Figura 5. Muro con contrafuertes
Fuente: Segura (1996)

5.3. Muros de Gravedad

Los muros de gravedad son utilizados en deslizamiento de tierra y de acuerdo al Ingeniero Suarez (2009) “Eficientes para estabilizar deslizamientos pequeños, pero es difícil y en ocasiones no es viable, estabilizar movimientos de gran magnitud, especialmente los deslizamientos rotacionales” (p.109).

5.3.1. Tipo de muros de gravedad. Se encuentran dos tipos de muros de gravedad que son los muros rígidos y los muros flexibles.

Muros rígidos. En este tipo de muro se encuentran los muros de concreto reforzado, concreto simple y concreto ciclópeo, Suarez (2009) afirma “Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención” (p.111).

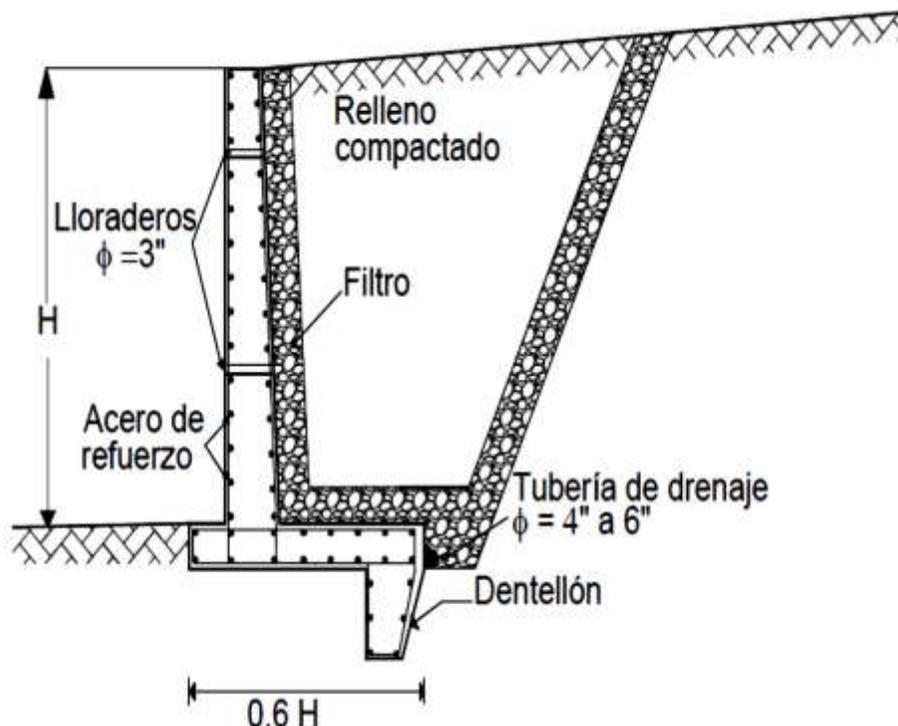


Figura 6. Esquema de un muro de Concreto Reforzado
Fuente: Suarez (2009)

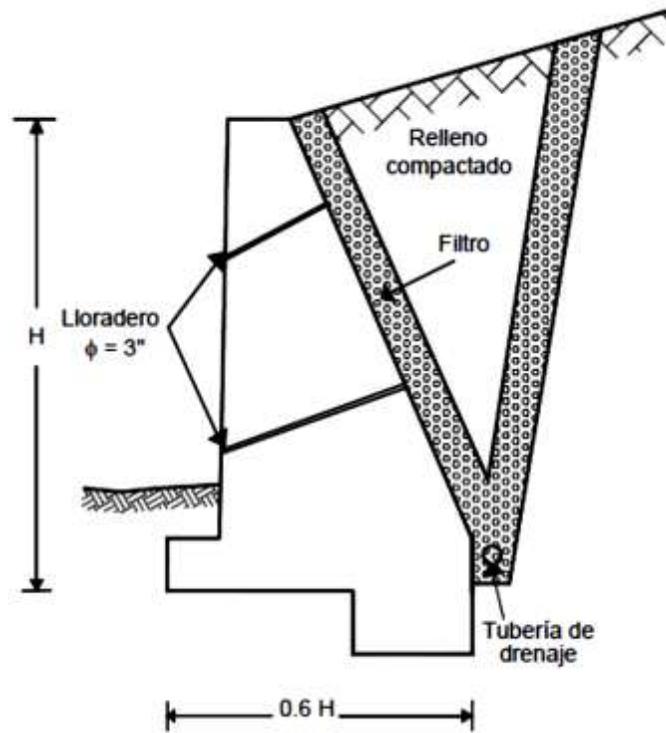


Figura 7. Esquema de un muro de Concreto simple
Fuente: Suarez (2009)

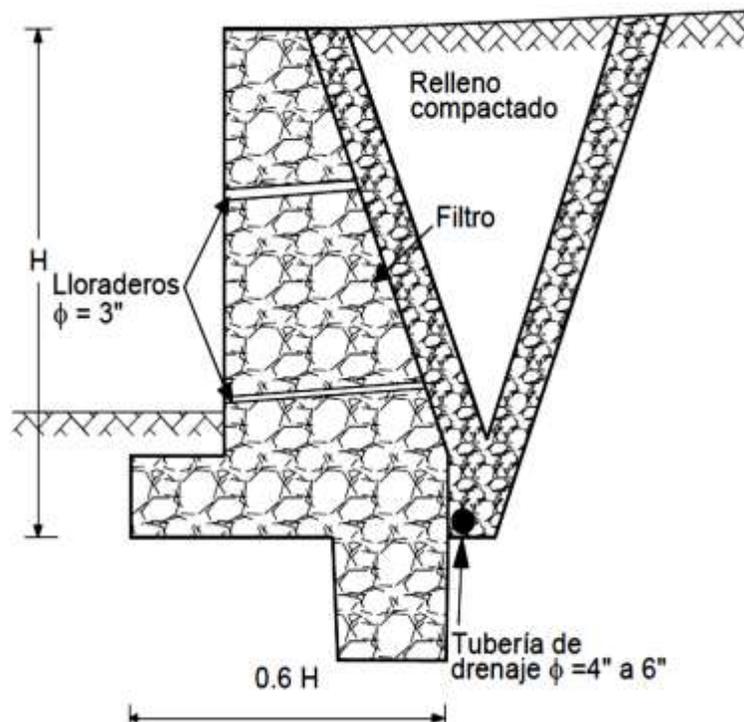


Figura 8. Esquema de un muro en concreto Ciclópeo
Fuente: Suarez (2009)

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto reforzado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a ocho metros), previo su diseño estructural y estabilidad.	Requieren de buen piso de cimentación. Son poco económicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace poco efectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para mejorar su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permiten deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente, son poco económicos para alturas mayores de tres metros.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	Se requiere muy buena fundación. El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes. Se requiere la disponibilidad de bloques de roca.
Concreto ciclópeo con columnas de refuerzo	Combinan las ventajas de economía del concreto ciclópeo con la capacidad de flexión del concreto reforzado.	Se requiere muy buena fundación. Es muy poca la investigación sobre su comportamiento y no existe una metodología aceptada de diseño.
Mampostería o bloques de roca pegados con concreto	Son muy económicos cuando hay disponibilidad de bloques de roca. Son visualmente atractivos.	Se requiere muy buena fundación. Resistencia muy baja a la flexión. Son muy vulnerables a los movimientos.

Nota: Tomado del libro Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación. Capítulo 3. Estructuras de Contención de Gravedad. Suarez Díaz, J. (2009)

Muros flexibles. Se incluyen los muros en gaviones, los muros criba, los pedraplenes y los muros de tierra con llantas usadas, entre otros. “Son estructuras masivas y flexibles. Se adaptan a los movimientos. Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura” (p.115).

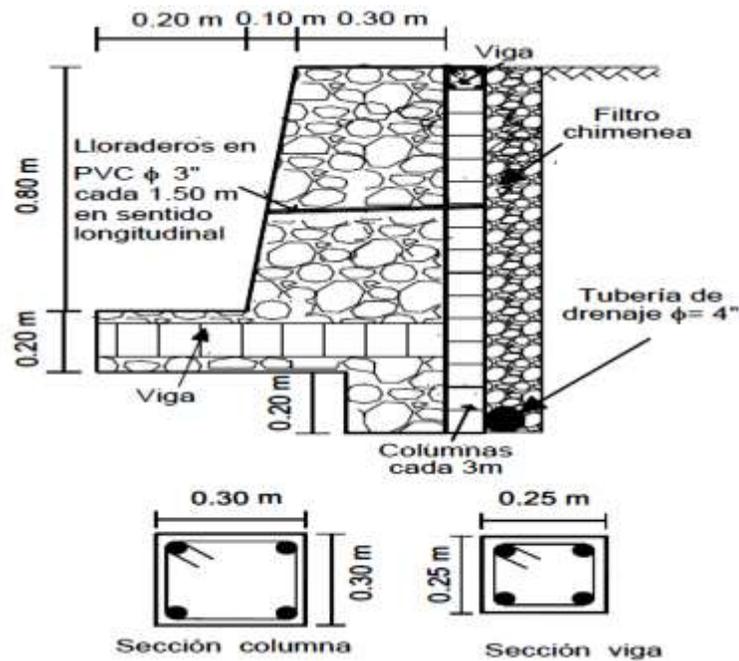


Figura 9. Esquema de un muro de concreto ciclópeo con columnetas de refuerzo

Fuente: Suarez (2009)

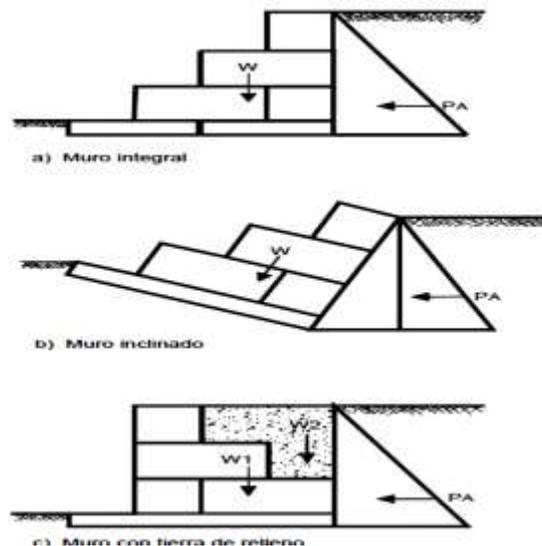


Figura 10. Esquema de los muros en gaviones

Fuente: Suarez (2009)

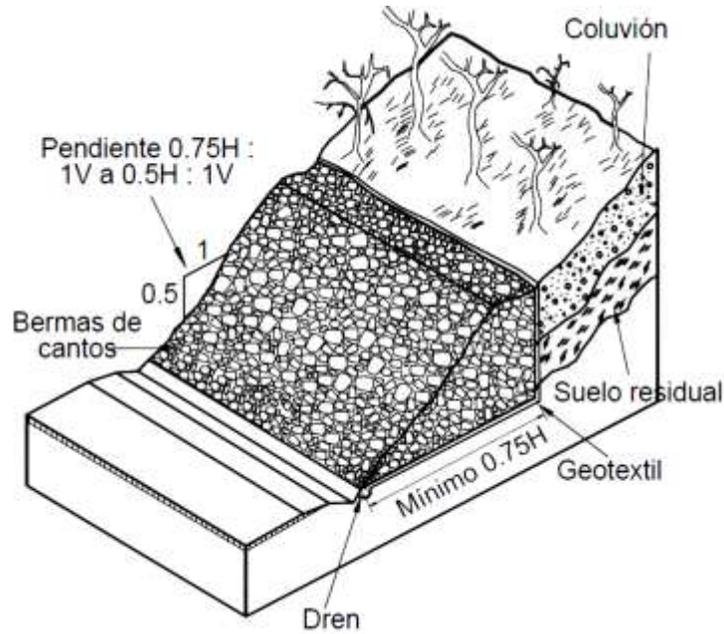


Figura 11. Esquema en enrocado

 Fuente: Suarez (2009)

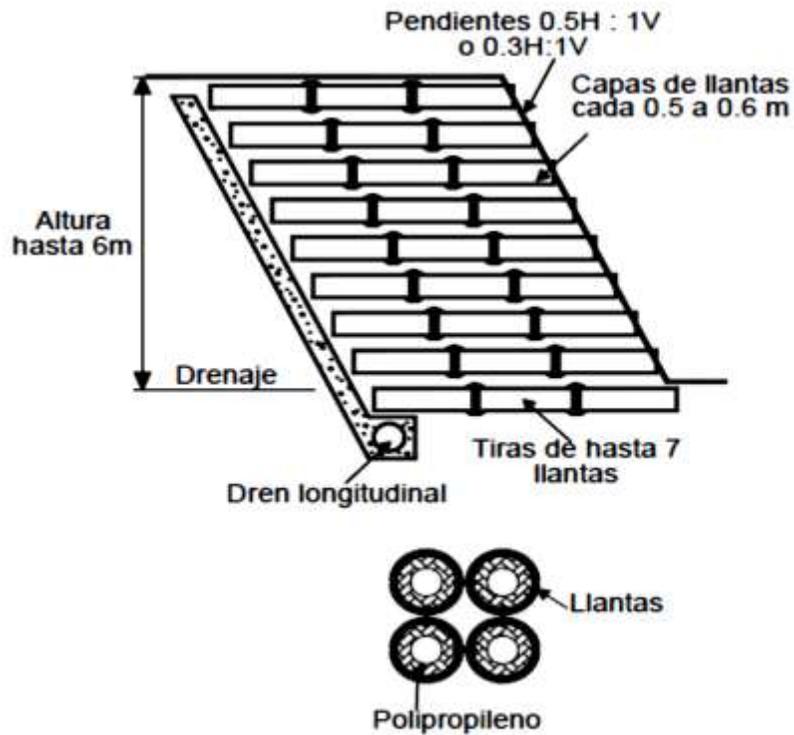


Figura 12. Esquemas de un muro en llantas usadas con arreglo total en las llantas (Hausmann, 1990)

 Fuente: Suarez (2009)

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible

Muro	Ventajas	Desventajas
Gaviones	Fácil alivio de presiones de agua. Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia. Es de construcción sencilla y económica.	Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios. Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace un buen control de calidad.
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados, los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere material granular, auto-drenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto reforzado. Generalmente no funciona en alturas superiores a siete metros.
Llantas (Neusol)	Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados	No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.
Enrocado o pedraplén	Son fáciles de construir y económicos cuando hay roca disponible.	Son fáciles de construir y económicos cuando hay roca disponible.
Bolsacreto	Fáciles de construir en contacto con cuerpos de agua.	Son relativamente costosos.

Nota: Tomado del libro Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación. Capítulo 3. Estructuras de Contención de Gravedad. Suarez Díaz, J. (2009)

5.4. Normatividad Estructural Aplicable en Muros de Contención

El diseño estructural de muros de contención se debe realizar con base en las normas técnicas nacionales e internacionales y demás documentos aplicables a este tipo de estructuras, en la tabla 3, se nombran algunas de esas normas y reglamentaciones.

Tabla 3. Normatividad técnica nacional e internacional para muros de contención

Documento	Nombre
NSR- 10	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente
NC-MN-OC07-01	Norma de construcción de concretos
NC-MN-OC07-02	Norma de construcción de cimentaciones
NC-MN-OC07-07	Norma de construcción de acero de refuerzo
NEGC-204-00	Norma y especificación general de construcción llenos compactados
NC-MN-OC03-01	Norma de construcción de excavaciones
NTC-3318	Norma técnica colombiana de concretos
NECG-424-00	Geotextil para estructuras de contención

Nota: Tomado del documento Norma de Construcción de Muros de Contención, (Epm, 2017).

6. MARCO CONCEPTUAL

Es de importancia resaltar algunos conceptos planteados durante la investigación, con el fin de dar claridad sobre el tema estudiado:

El Artículo 4, de la Resolución 1326 de 2017 define el “Aprovechamiento de llantas usadas.

Proceso mediante el cual se recuperan los materiales por medio de la reutilización, el reciclaje y valorización energética, con el fin de reincorporarlos en el ciclo económico y productivo”.

Calicata: “Se utilizan como técnicas de prospección que facilitan el reconocimiento geotécnico de un terreno. Se caracterizan por ser excavaciones de profundidad pequeñas” (Revista ARQHYS, 2012).

Granulometría: “Determina el porcentaje de suelo contenido en cada tamaño; por otro lado, clasifica los suelos de acuerdo con el tamaño de las partículas más comunes” (Revista ARQHYS, 2012).

El Artículo 4, de la Resolución 1326 de 2017 define “Llanta usada. Llanta que técnicamente ha finalizado su vida útil y es susceptible de reencauche o de aprovechamiento”.

Residuo sólido o desecho. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Reutilización: Es la prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante procesos, operaciones o técnicas devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin que para ello requieran procesos adicionales de transformación.

7. MARCO LEGAL

La Constitución Política de Colombia (1991), en su Artículo 79. Estipula “Todas las personas tienen derecho de gozar de un ambiente sano el deber del estado la diversidad e integridad del ambiente conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

Artículo 80. “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

Ley 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1865 de 1994, Por el cual se regulan los planes regionales ambientales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las de Desarrollo Sostenible y su armonización con la gestión ambiental territorial.

Decreto 1505 de 2003, Modificar parcialmente el decreto 1713 de 2002 en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Resolución 1326 de 2017, Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones.

8. ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES

Los documentos de consulta utilizados para la presente monografía son el resultado de investigaciones hechas en diferentes partes del país y del mundo, a continuación se citan algunos casos:

De acuerdo a la investigación realizada a nivel nacional se encuentra se encuentra la construcción de un muro con neumáticos usados en la ciudad de Medellín (Colombia), Criollo y León (2017) mencionan que este fue planeado para recuperar un paso peatonal en el barrio Fuente Clara de Robledo en el noroccidente de Medellín que estaba sufriendo deslizamientos debido a la

filtración de agua en el terreno, beneficiando así a más de 200 peatones. El proyecto fue ejecutado por los habitantes de ese sector, obteniendo a largo plazo excelentes resultados.

De igual forma, en el Municipio de Santa Bárbara, en la vía que comunica los municipios de Medellín y la Pintada, se encuentra un muro en llantas, la estructura consiste en acomodar los aros de las llantas una sobre otra y en el centro de estos va un larguero de madera que sirve como guía, en esta zona es común encontrar este tipo de construcción ya que existen personas que utilizan las llantas para la construcción de artesanías y los aros de las llantas son desechados. (Criollo y León, 2017)

En el año 2014, exponen el trabajo de grado denominado Viabilidad de muros de llantas para la estabilización de taludes en el barrio La Capilla-Soacha Cundinamarca, por Zambrano Barón de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, con el fin de ofrecer a la comunidad del barrio La Capilla de Soacha Cundinamarca una alternativa económica en la estabilización de taludes a partir de muros de llantas. Con el estudio se comprobó que el sistema constructivo con llantas funciona como solución a los problemas de deslizamiento en el barrio y compite técnicamente con las obras civiles desarrolladas habitualmente en la mitigación de amenaza de deslizamiento. (Barón y Sánchez, 2014).

A nivel internacional, en un proyecto de estabilización de taludes con neumáticos usados, realizado por Torres Latorre (2016), afirma que en el año de 1997 en la ciudad de Rio de Janeiro se desarrolló un estudio sobre muros para determinar su comportamiento dirigido por la Universidad Católica de Rio de Janeiro, la Fundación Geo-Rio y la Universidad de Ottawa. El muro se hizo de 60m de largo y 4m de alto, las llantas y/o neumáticos los colocaron en forma horizontal y se amarraron entre sí, en la parte superior se puso una carga de suelo de 2m de altura

cuyo peso específico es de 17.5 KN/m³, fueron rellenos con suelo compactado. Para medir los desplazamientos y los esfuerzos sobre el muro se usaron inclinómetros y celdas de presión respectivamente.

Otro proceso de construcción se realizó en la Escuela Primaria Emmanuel, Colonia “La Canaán” en Tegucigalpa, Honduras en el año 2010 donde se hizo la “Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas (Muro de Protección de Pendiente)”, cuyo objetivo es dar a conocer el proceso constructivo de un muro hecho con neumáticos con la aclaración de que el diseño de este se debe modificar dependiendo de las condiciones del lugar. Este manual tiene en cuenta las siguientes consideraciones para el diseño: La estructura debe soportar la presión del terreno. Si los muros son mayores a 2m buscar la ayuda de ingeniero experto. (Horigome, 2010),

En la ciudad de Cuenca en el Ecuador realizan un estudio sobre el uso de neumáticos reciclados como muros de contención, en el año 2012 trabajo realizado por Escandón Calle Cristian, con el fin de dar una propuesta para la reutilización de los neumáticos, investigando sobre el tratamiento que se le da a los neumáticos y mostrando que en el Ecuador desechan anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos , con la ejecución de muros de contención dan soluciones de deslizamientos moderados en la ciudad de cuenca, estableciendo que los muros de contención con llantas cumple con los factores de seguridad.

En la actualidad, en el Municipio de Girardot, no se encuentra una empresa pública o privada encargada del manejo y la disposición final de llantas que ya cumplieron su vida útil, de igual forma, no se han desarrollados proyectos de construcción de muros de contención de gravedad con este tipo de residuo sólido de acuerdo a la información suministrada por la oficina de Planeación Municipal.

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de Investigación

El objetivo principal de la investigación es determinar la viabilidad de un muro de contención de gravedad mediante la utilización de llantas usadas y para llevar a cabo este trabajo se realiza una revisión documental que nos da como resultado un tipo de *Investigación documental* “Consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto al tema objeto de estudio” (Bernal, 2010, p. 111), y La *investigación descriptiva* “aquella que reseñan las características o los rasgos de la situación o del fenómeno objeto de estudio” (Salkind citado en Bernal, 2010, p. 113).

9.2. Diseño de la Investigación

La investigación emplea un método mixto con Enfoque Cualitativo y Cuantitativo. Hernández, Fernández y Baptista (2014) mencionan que Enfoque Cualitativo “Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (p. 7). Se realiza una revisión bibliográfica de las generalidades y teorías sobre muros de contención y del aprovechamiento que se le da a las llantas que culminaron su vida útil. El Enfoque Cuantitativo “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (p.4), Se formulan los parámetros geométricos y estructurales para un prototipo de muro de contención de gravedad usando llantas.

9.3. Fuentes y Técnicas Para la Recolección de Información.

Para la recolección de la información se utilizó como fuente primaria: los documentos contenidos en investigaciones, tesis de grado, monografías, estudios de laboratorio de suelo, construcción del muro de contención. El autor Cerda (citado en Bernal, 2010) menciona fuente primaria “Son todas aquellas de las cuales se obtiene información directa, es decir, de donde se origina la información. Es también conocida como información de primera mano o desde el lugar de los hechos” (p. 191).

Cerda (citado en Bernal, 2010) menciona fuente secundaria “Son todas aquellas que ofrecen información sobre el tema que se va a investigar, pero que no son la fuente original de los hechos o las situaciones, sino que sólo los referencian” (p. 192). Se trabajaron las siguientes fuentes secundarias: Los documentos contenidos en investigaciones, tesis de grado, monografías, Libros de Estructuras de Contención, información disponible en internet (Páginas web, artículos de periódicos).

9.4. Procesos y procedimientos

Fase I. Investigación. Revisión bibliográfica de las teorías de diseño y construcción de muros de contención de gravedad. Normatividad estructural aplicable, casos de aprovechamiento de llantas en desuso.

Fase II. Formulación de modelos de muros, análisis estructural, parametrización del diseño.

Fase III. Análisis económico de la construcción del prototipo de muro de contención de gravedad.

Fase IV. Realizar la recolección, almacenamiento y clasificación de las llantas. Construcción del prototipo de muro de contención de gravedad (modelo real).

Fase V. Redacción documento final.

10. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

10.1. Construcción Prototipo de Muro de Contención de Gravedad (Modelo real)

El proyecto consistió en la propuesta de construcción de un muro de contención de gravedad con llantas, el cual se ubica en un lote de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Centro Regional Girardot. La localización del muro es elegida por el Semillero de investigación del programa de Ingeniería Civil por la disponibilidad de materiales, espacio, y la posibilidad de realizar excavaciones y ejecutar ensayos de suelo en el laboratorio de la Universidad.

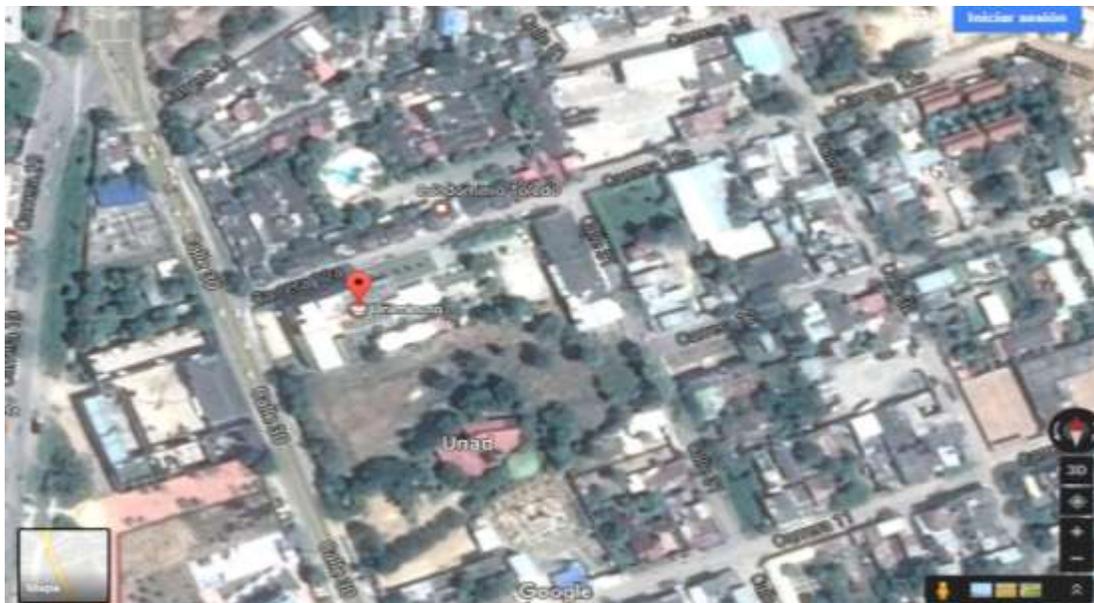


Figura 13. Localización construcción muro de contención con llantas
Fuente: Google maps, 2018

10.2. Estudios Para la Clasificación del Suelo

La muestra de suelo para el estudio se recolecto del sitio donde se realizó el prototipo de muro de Contención de gravedad con llantas ubicado en el lote del Centro Regional Girardot de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, la muestra del suelo para la compactación se recolecto de una cantera, los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio del programa de Ingeniería civil de la Universidad. Se realizaran los siguientes ensayos para la clasificación de suelo: Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado I.N.V. E – 123, Determinación del Limite Liquido de los Suelos I.N.V. E – 125, Limite Plástico e Índice de Plasticidad I.N.V. E – 126, Ensayo de Corte Sobre Suelos Cohesivos en el Terreno Usando la Veleta I.N.V. E – 170 – 07, Ensayo de Penetrómetro de bolsillo.

10.2.1. Ensayo de Calicata. Se realiza una calicata con profundidad entre 0,0 y 1.50 m, y una vez terminada se procede a la recolección de las muestras utilizándose bolsas térmicas para protegerlas y llevarlas al laboratorio para el procedimiento de los ensayos requeridos, para el proceso de excavación y muestreo se lleva un registro fotográfico.



Ilustración 1. Registro de excavación calicata
Fuente: Elaboración propia, (2017)

El levantamiento topográfico fue realizado por los participantes del Semillero de investigación del programa de Ingeniería Civil en la zona donde se ejecutó el prototipo de muro de contención de gravedad con la utilización de las llantas.

10.2.2. Análisis Granulométrico de suelos. Para realizar el análisis granulométrico se tomó una muestra del suelo local de 3000 gr, y se tomó otra muestra del suelo que se utilizó para el relleno y compactación de las llantas con un peso inicial de 5.000 gr, en las tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos del ensayo.

Muestra de suelo local (Natural)

Peso inicial de la muestra W_o (gramos) = 3000 gr.

Peso Inicial Pasa No. 10= 2202,0 gr

Peso final pasa No. 10= 766,7 gr

Muestra de suelo para compactación

Peso inicial de la muestra W_o (gramos) = 5000 gr.

Peso Inicial Pasa No. 10= 3556,0 gr

Peso final pasa No. 10= 1619,9 gr



Ilustración 2. Muestra de suelo
Fuente: Elaboración propia, (2017)



Ilustración 3. Lavado de la Muestra de suelo
Fuente: Elaboración propia, (2017)



Ilustración 4. Muestras suelo después del tamizado
Fuente: Elaboración propia, (2017)

Tabla 4. Granulometría suelo de Compactación Norma I.N.V. E-123

<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% Ret. Acumulado</i>	<i>% Pasa</i>
<i>pulg</i>	<i>mm</i>				
					100,0
3"	76,10		0,0	0,0	100,0
2 ½"	64,00		0,0	0,0	100,0
2"	50,80		0,0	0,0	100,0
1 ½"	38,10		0,0	0,0	100,0
1"	25,40	240,6	4,8	4,8	95,2
¾"	19,00	146,8	2,9	7,7	92,3
½"	12,70	235,7	4,7	12,5	87,5
⅜"	9,51	156,9	3,1	15,6	84,4
¼"	6,30	252,3	5,0	20,6	79,4
Nº 4	4,76	219,8	4,4	25,0	75,0
Nº 8	2,38	589,7	11,8	36,8	63,2
Nº 10	2,00	94,3	1,9	38,7	61,3
Nº12	1,68	85,2	2,4	41,1	58,9
Nº16	1,19	263,0	7,4	48,5	51,5
Nº30	0,59	302,1	8,5	57,0	43,0
Nº40	0,42	133,3	3,7	60,8	39,2
Nº50	0,30	378,1	10,6	71,4	28,6
Nº80	0,18	310,8	8,7	80,1	19,9
Nº100	0,15	36,7	1,0	81,2	18,8
Nº200	0,074	110,7	3,1	84,3	15,7
PASA No.200		4,8	0,1	84,4	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 5. Granulometría suelo local Norma I.N.V. E-123

<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% Ret. Acumulado</i>	<i>% Pasa</i>
<i>pulg</i>	<i>mm</i>				
					100,0
3"	76,10		0,0	0,0	100,0
2 ½"	64,00		0,0	0,0	100,0
2"	50,80		0,0	0,0	100,0
1 ½"	38,10		0,0	0,0	100,0
1"	25,40		4,8	0,0	100,0
¾"	19,00		2,9	0,0	100,0
½"	12,70	2,5	4,7	0,3	99,7
⅜"	9,51	5,7	3,1	1,0	99,0
¼"	6,30	15,6	5,0	2,8	97,2
Nº 4	4,76	12,4	4,4	4,2	95,8
Nº 8	2,38	47,1	11,8	9,7	90,3
Nº 10	2,00	9,8	1,9	10,9	89,1
Nº12	1,68	18,9	2,4	11,7	88,3
Nº16	1,19	31,5	7,4	13,1	86,9
Nº30	0,59	82,7	8,5	16,9	83,1
Nº40	0,42	81,9	3,7	20,6	79,4
Nº50	0,30	120,5	10,6	26,1	73,9
Nº80	0,18	260,3	8,7	37,9	62,1
Nº100	0,15	61,8	1,0	40,7	59,3
Nº200	0,074	109,1	3,1	45,7	54,3
PASA No.200		3,2	0,1	45,8	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

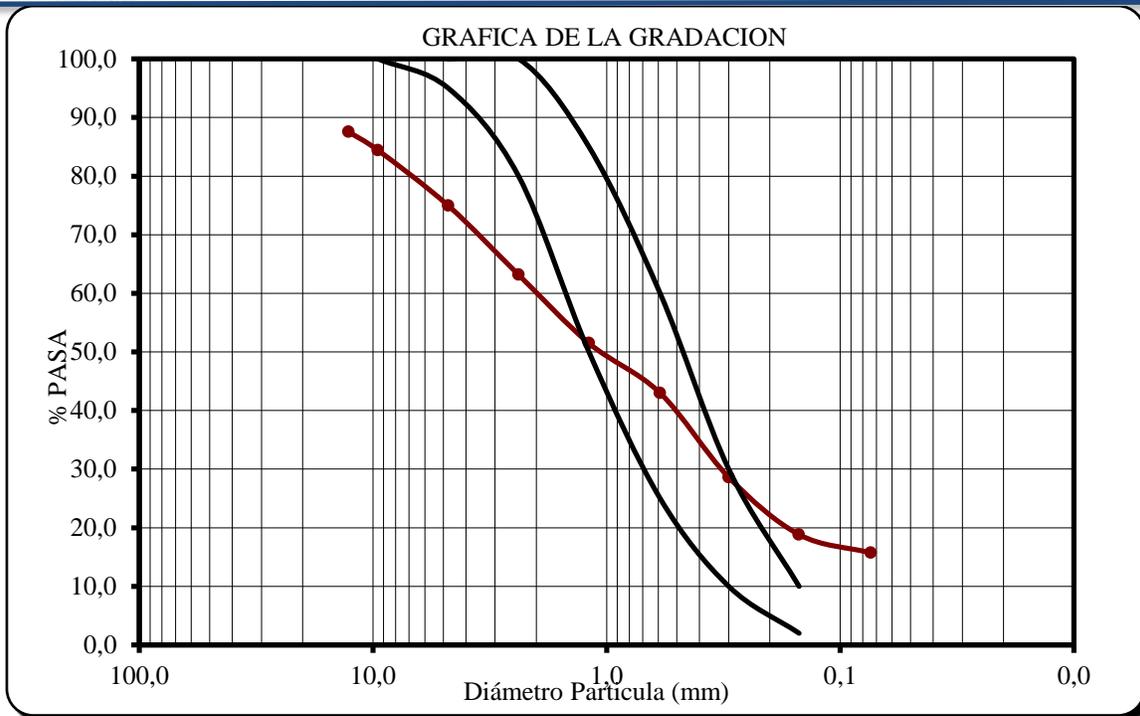


Figura 14. Grafica de Gradación suelo de Compactación
Fuente: Elaboración propia (2017)

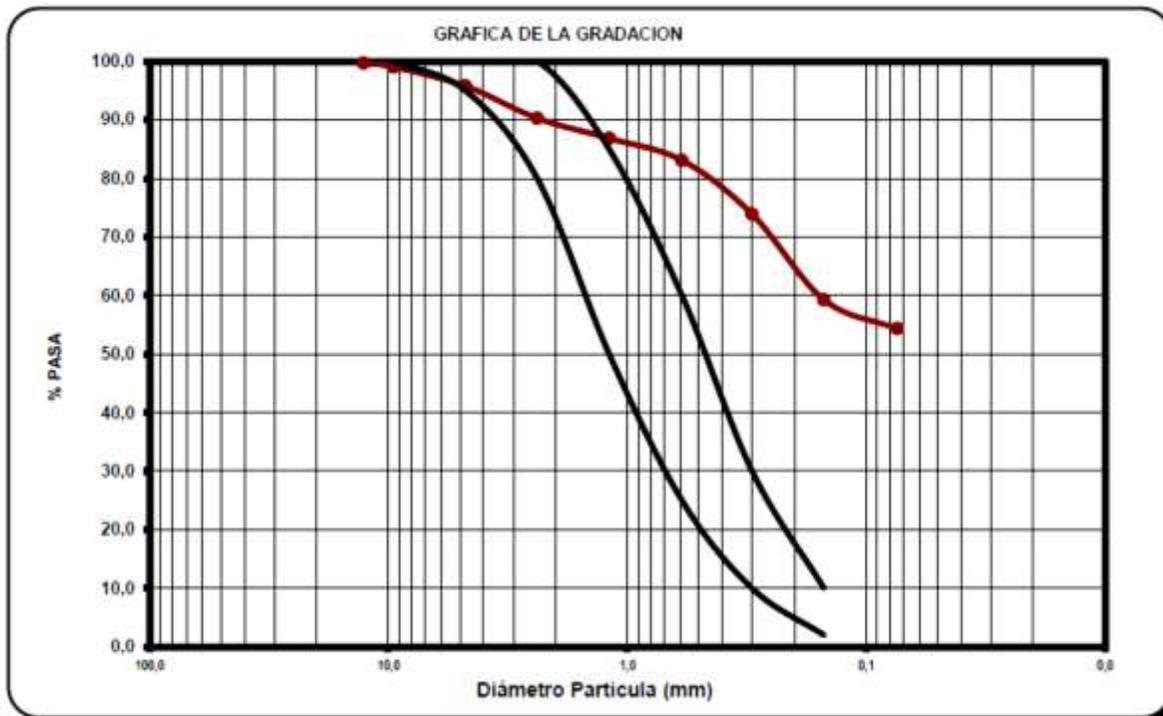


Figura 15. Grafica de Gradación suelo local
Fuente: Elaboración propia (2017)

10.2.3. Límites de Consistencia. El ensayo de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad se realizó de acuerdo con la Norma I.N.V. E – 125 que determina “El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico”. Se denomina límite plástico según la Norma I.N.V. E – 126 “A la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen”.



Ilustración 5. Material en la cazuela Casagrande
Fuente: Elaboración propia, (2017)

El ensayo de límites de consistencia se realizó a la muestra de suelo local donde se realizó la construcción del muro de Contención de gravedad y a la muestra de suelo utilizado para la compactación, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6. Limite Líquido Suelo de Compactación

RECIPIENTE No.	1	2	3
No. DE GOLPES	19	35	38
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	75,70	70,80	73,70
PESO SUELO SECO + RECIP	71,00	68,20	70,10
PESO RECIPIENTE	54,00	53,00	55,00
% DE HUMEDAD	27,6	17,1	23,8

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 7. Limite Plástico Suelo de Compactación

RECIPIENTE No.	4	5	% W_n
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	57,50	76,00	68
PESO SUELO SECO + RECIP	53,00	70,10	61,9
PESO RECIPIENTE	28,00	38,00	27
% DE HUMEDAD	18,0	18,4	17,5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 8. Limite Líquido Suelo Local

RECIPIENTE No.	1	2	3
No. DE GOLPES	21	32	28
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	75,70	70,80	73,70
PESO SUELO SECO + RECIP	72,00	68,30	70,50
PESO RECIPIENTE	54,00	53,00	55,00
% DE HUMEDAD	20,6	16,3	20,6

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9. Limite Plástico Suelo Local

RECIPIENTE No.	4	5	% W_n
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	57,50	76,00	68
PESO SUELO SECO + RECIP	52,70	70,60	62,9
PESO RECIPIENTE	28,00	38,00	27
% DE HUMEDAD	19,4	16,6	14,2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

10.2.4. Ensayo de Resistencia a la Penetración del Suelo. Este ensayo es realizado en campo donde se penetra el suelo con un instrumento llamado penetrómetro de Bolsillo para determinar la resistencia a la penetración de las capas superiores del suelo. Este instrumento utilizado tiene un rango de medición de 0 kg / cm^2 a $4,5 \text{ kg / cm}^2$ el cual se enterró manualmente en el suelo donde se realizara el muro de contención de gravedad con la utilización de llantas.



Anillo de lectura
en cero

Ilustración 6. Ensayo de Resistencia a la Penetración (Penetrómetro de Bolsillo)
Fuente: Elaboración propia, (2017)



Después de
penetrar el
suelo lectura del
anillo

Ilustración 7. Lectura del anillo del Penetrómetro de Bolsillo
Fuente: Elaboración propia, (2017)

Tabla 10. Clasificación del suelo con penetrómetro de bolsillo

Clase	Resistencia a la penetración (MPa)
Bajo	< 0.1
Extremadamente bajo	< 0.01
Muy bajo	0.01 – 0.1
Intermedio	0.1 – 2
Bajo	0.1 – 1
Moderado	1 – 2
Superior	> 2
Alto	2 – 4
Muy alto	4 – 8
Extremadamente alto	> 8

Nota: Tomado del Trabajo de Grado, Estudio de las propiedades mecánicas de suelos. Tenza, P. J (2016)

10.3. Dimensionamiento Muro de Contención de Gravedad Usando Llantas

La propuesta de análisis del proyecto se realizó con la construcción de un Muro de contención de gravedad experimental el cual tiene las siguientes dimensiones de longitud 3,00m, base de 2,00m y altura de 2,00m, con capas horizontales de llantas, las primeras capas unidas horizontalmente con tornillos y rellenos de suelo compactado.

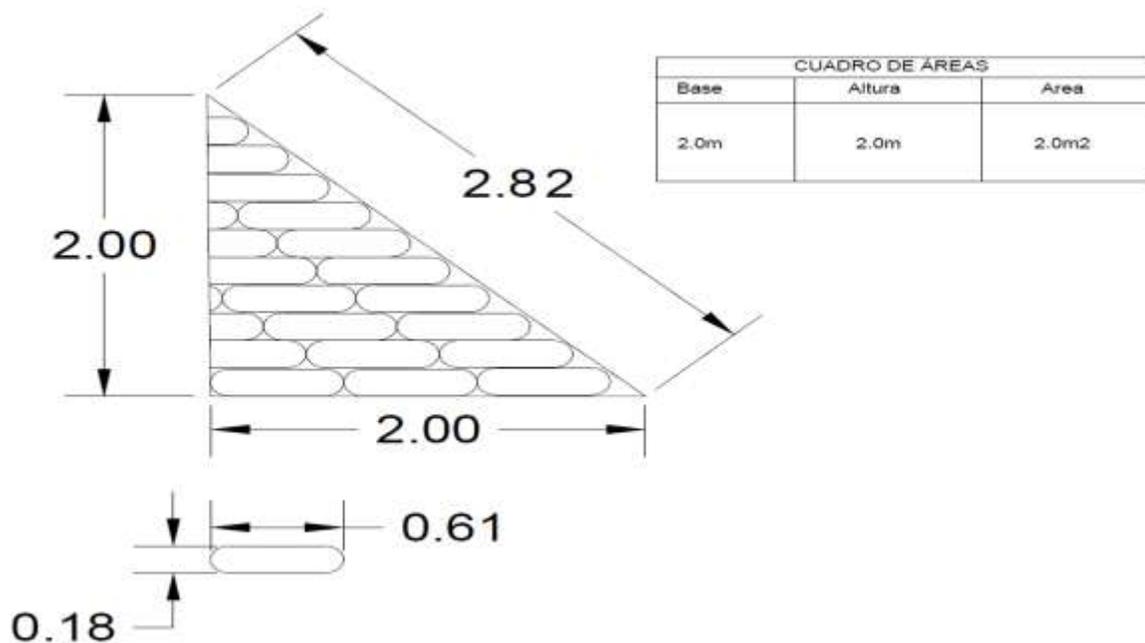


Figura 16. Plano prototipo muro de contención de gravedad con llantas
 Fuente: Elaboración propia, 2017

10.3.1. Cálculo de cargas del Muro de contención de gravedad con llantas. Para realizar el cálculo de cargas fue necesario conocer las dimensiones del muro, la capacidad portante del terreno, peso específico, ángulo del terreno, Coeficiente de presión de tierra de estado activo.

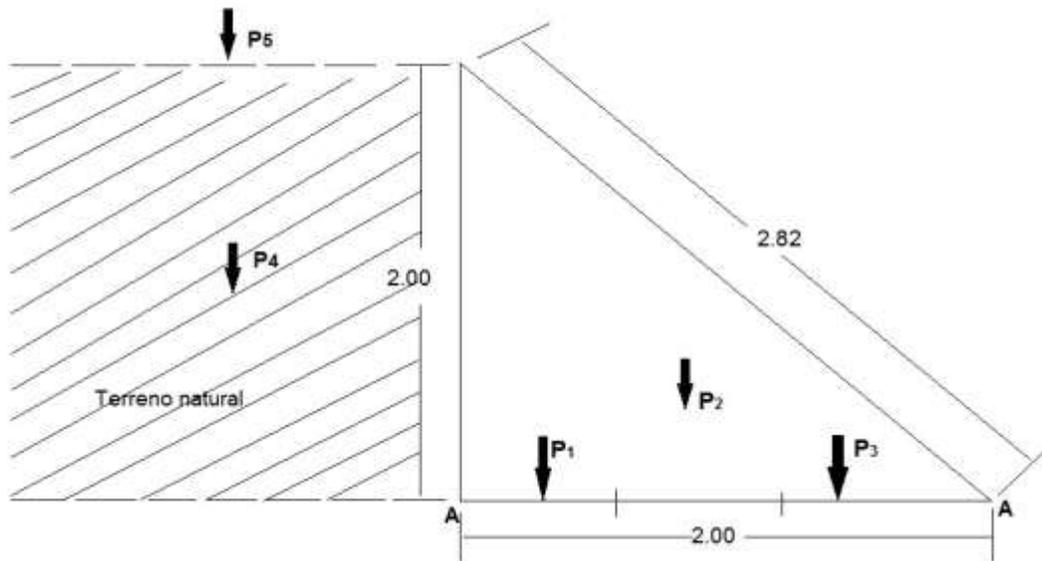


Figura 17. Plano cálculo de cargas
Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla 11. Propiedades del suelo para el cálculo de cargas del muro

Nombre	Símbolo	Valor
Capacidad Portante Máxima Limo-Arcillosos (Presión admisible)	$\bar{\sigma}$	0,15 Mpa
Peso Unitario del Suelo Local	γ	19,51 KN/m ³
Coeficiente de Presión de Tierra de Estado Activo	KA	0.33
Capacidad Portante del Recebo		0,40 Mpa
Peso Específico Grava		1800 Kg/ m ³
Peso Específico Tierra Limo -Arcillosas		1990 Kg/ m ³
Peso Unitario Recebo Compactado		17, 65 KN/ m ³

Fuente: Elaboración propia, 2018

Dónde:

Altura= $h = 2.0$ m

Base = $b_w = 2.0$ m

$1990 \text{ Kg/ m}^3 = 19,51 \text{ KN/m}^3$

$150 \text{ KN/ M}^2 = 0,15 \text{ Mpa}$ (Terreno natural)

Calculo de Cargas (Terreno natural):

$$P1 = \frac{1}{2} * 0,20 * 2m * 1m * 17,65 \text{ KN/m}^3 = 3,53 \text{ KN/m}^3$$

$$P2 = 0,25 * 2 * 1 * 17,65 \text{ KN/m}^3 = 8,82 \text{ KN/m}^3$$

$$P3 = 0,50 * 2 * 1 * 17,65 \text{ KN/m}^3 = 17,65 \text{ KN/m}^3$$

$$P4 = 1 * 2 * 1 * 19,51 \text{ KN/m}^3 = 39,02 \text{ KN/m}^3$$

$$P5 = 1m * 1 * 0 = 0$$

$$\Sigma t = 3,53 + 8,82 + 17,65 + 39,02 + 0 = \mathbf{69,02 \text{ KN/m}^3}$$

Momento con respecto "A" ($MA = h/2, 1 * \Sigma t$)

$$+ \\ MA = 2m/2, 1 * 69,02 \text{ KN/m}^3 = \mathbf{65,73 \text{ KN/m}}$$

Sobre altura ($h' = w / \gamma$)

$$h' = 1 \text{ KN/m}^2 / 19,51 \text{ KN/m}^3 = \mathbf{0,05m}$$

Presión horizontal ($\mathcal{E}t = \frac{1}{2} * \gamma * KA (h^2 + 2h * h')$)

$$\mathcal{E}t = \frac{1}{2} * 19,51 \text{ KN/m}^3 * 0,33 (2^2m + 2m * 2m * 0,05m) = \mathbf{13,52 \text{ KN}}$$

Presión de la sobre carga a la sobre altura ($P' = \gamma * KA * h'$)

$$P' = 19,51 \text{ KN/m}^3 * 0,33 * 0,05m = \mathbf{0,32 \text{ KN/m}^2}$$

Presión total base = $P (h + h') = \gamma * KA * (h + h') = 19,51 \text{ KN/m}^3 * 0,33 * (2 + 0,05m)$

$$P (h + h') = \mathbf{13,19 \text{ KN/m}^2}$$

Brazo Torsión = $ht/bw * P (h + h') + 2 * P' / P (h + h') + P'$

$$= 2m/2m * 13,19 \text{ KN/m}^2 + 2 * 0,32 / 13,19 \text{ KN/m}^2 + 0,32 = \mathbf{1,02 m}$$

$$- \\ MA = \mathcal{E}t * \text{Brazo Torsión} = 13,52 \text{ KN} * 1,02m = \mathbf{13,79 \text{ KN/m}}$$

Factor seguridad al volcamiento $\alpha \geq 30$

$$\alpha = \frac{M^+}{M^-} = \alpha = 65,73 \text{ KN/m} / 13,79 \text{ KN/m} = 4,76$$

≥ 30 “No hay volcamiento” **Cumple**

Según Mendieta (2016) “La revisión por volcamiento se realiza con el fin de corroborar que las fuerzas volcantes producidas por el terreno soportado (...) sean menores que las fuerzas que mantienen el muro en su posición (fuerzas contra el volcamiento)” (p.13).

Sumatoria de momentos con respecto “A”

$$\Sigma MA = 65,73 \text{ KN/m} - 13,79 \text{ KN/m} = 51,94 \text{ KN/m}$$

Resultante con respecto “A”

$$XA = \Sigma MA / \Sigma t = 51,94 / 69,02 = 0,75 \text{ m}$$

Capacidad portante $O'_{\text{Max}} = \Sigma t / BL (1 + 6 * e / L)$
 $O'_{\text{Min}} = \Sigma t / BL (1 - 6 * e / L)$

$$B = 1,0 \text{ m} \quad L = 2,0 \text{ m} \quad e = 2,0 / 2 - 0,75 = 0,25 \text{ m}$$

$$O'_{\text{Max}} = 69,02 / 1 * 2 (1 + 6 * 0,25 / 2) = 60,39 \text{ KN/m}^2$$

$$O'_{\text{Min}} = 69,02 / 1 * 2 (1 - 6 * 0,25 / 2) = 8,62 \text{ KN/m}^2$$

Fuerza de Fricción $f * \Sigma Fv = 0,50 \text{ m} * 69,02 \text{ KN.m} = 34,51 \text{ KN}$

Factor de Seguridad al Desplazamiento $\beta = \geq 2$

$$\beta = \text{Fricción} / \Sigma t = 34,51 \text{ KN} / 13,52 \text{ KN} = 2,55 \text{ Cumple}$$

En el sitio donde se realizó la construcción del muro el suelo que predomina es limos y arcilla y del material que se utilizó para la compactación el suelo es grava, para los cálculos se utilizó la capacidad portante admisible para grava (compactada) de acuerdo a la tabla 12.

Tabla 12. Capacidades portantes admisibles máximas permitidas

Suelo	Capacidad portante (kn/m²)
Suelo aluvial	≤50
Arcilla Blanda	75
Arcilla firme	100
Arena húmeda	125
Arena y arcillas mezcladas	150
Arena fina seca (compactada)	200
Arcilla dura	300
Arena gruesa seca (compactada)	350
Grava (compactada)	400
Roca Blanda	600
Lutita o pizarra dura	800
Roca media	1000
Roca dura	1500

Nota: Tomado del documento AIS 114-17 - Requisitos esenciales para edificaciones de concreto reforzado (2017).

10.4. Proceso de Construcción del Muro de Contención de Gravedad

El muro de contención de gravedad como se puede ver en la figura 16, se construyó mediante el siguiente proceso constructivo:

- 1) Recolección, almacenamiento y clasificación de las llantas usadas, se selecciona las de Rin 13, para trabajar por su facilidad de transporte y por qué son las que más se encuentran en las servitecas, talleres o en espacios públicos sin ninguna disposición.
- 2) Levantamiento topográfico y proceso de limpieza y excavación del terreno donde se ubicará el muro de contención de gravedad con llantas.
- 3) Corte de llantas y/o neumáticos: Corte de una de las caras laterales de la llanta para agilizar la compactación del material.

- 4) Apilamiento de las llantas: Se coloca en el suelo la primera fila de llantas, alineadas horizontalmente y unidas con tornillos dejándose enterradas. Cada llanta se unió a 4 adyacentes a ellas.
- 5) Relleno Interno de las llantas: Se rellenan internamente con material de una cantera (grava), para darle peso a las llantas y se compacta con un pisón manual.
- 6) En el agujero de la llanta se van enterrando varillas de acero (diámetro de 0.5 pulgadas), Para que las varillas no se oxiden al momento de enterrarlas, se rellena la última llanta con unos 10 cm de concreto.
- 7) Se repite el proceso de relleno con suelo y compactándolo hasta la última fila.

Es de resaltar que el muro de Contención fue construido por el Semillero de investigación del programa de Ingeniería civil de la Uniminuto- Centro Regional Girardot.

10.5. Geología estructural Municipio de Girardot

El Municipio de Girardot ubicado en el departamento de Cundinamarca, es una región situada geológicamente en la interface de los valles medio y superior del rio Magdalena y litológicamente está constituida por rocas sedimentarias marinas y continentales, con edades comprendidas entre el cretácico superior y el cuaternario. (Ingeominas, 2002)

10.5.1. Estratigrafía del Municipio de Girardot. Según información recopilada de investigaciones realizadas por geólogos de Ingeominas (2002) elaboraron la memoria correspondiente a la Plancha 245 Girardot, indicando:

En la zona de estudio afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias que cubren un rango temporal desde el Precámbrico hasta el Reciente. Las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior a Paleoceno presentan unidades litológicas en el sector suroriental de la Plancha, las cuales difieren con las rocas sedimentarias de la misma edad, presentes en el resto de la zona de trabajo. (p. 11)

10.5.2. Zonas de amenazas y riesgos naturales. En el piedemonte de la cordillera

Alonso Vera que ha sido zonificada con amenaza media se permitirán los procesos de urbanismo siempre y cuando se realicen las obras de canalización de aguas de escorrentías que provienen de la parte alta de la cordillera y se efectúen los estudios de cimentación que eviten los problemas con las arcillas y los suelos poco consolidados. En el sector del barrio Kennedy, los nuevos proyectos urbanísticos deben realizar el tratamiento de compactación de los suelos poco consolidados para evitar los movimientos del terreno que causen daño y agrietamientos en las viviendas, dejándolas vulnerables a posibles desastres por movimientos sísmicos. (Ingeominas, 2002).

10.5.3. Fenómenos que son amenaza para la población, bienes y el medio ambiente.

De acuerdo a la Plancha 245 Girardot (Ingeominas, 2002) los principales fenómenos en el Municipio de Girardot se relacionan a continuación:

Inundaciones: Dentro de los acontecimientos sucedidos por el riesgo de inundaciones año tras año se presentan inundaciones generalmente en los mismos lugares que en la época de lluvias crecen los caudales de los ríos Bogotá y Magdalena.

Erosión: La erosión de suelos y su consecuente sedimentación son los eventos naturales que causan más pérdidas económicas.

Deslizamientos: El Municipio de Girardot tiene un estudio realizado donde se han identificado todas las áreas de mayor riesgo de deslizamiento del Municipio (san Cayetano, Kennedy, La victoria, renacer, alicante, caños del norte, diamante, esmeralda, rosa blanca. Miraflores y todos los asentamientos subnormales del Municipio.

10.6. Casos de Aprovechamiento de Llantas en Desuso

Las llantas usadas son utilizadas desde hace varios años en numerosas aplicaciones de la Ingeniería civil, (Cempre citado en Cantanhede, A. y Monge, G., 2002, p. 7), indica los siguientes aprovechamientos:

- Señalamiento de los costados de las carreteras.
- Elemento de contención en parques y terrenos de juego.
- Rompeolas.
- Obstáculos para el tránsito.
- Arrecifes artificiales para la cría de peces y mariscos.
- Proyectos para la construcción de rellenos sanitarios considerando la estabilización del manto impermeable con una estructura de cauchos amarrados entre sí.

En la Guía para el manejo de llantas usadas (CCB, 2016) muestra diferentes alternativas de aprovechamiento entre algunas esta:

Reencauche: Consiste en renovar la banda de rodamiento de las llantas gastadas y con la carcasa en buen estado, con el fin de permitir su uso en aplicaciones normales por dos o tres veces como máximo, lo cual mejora los costos de movilización. (p. 37).

Coprosesamiento: Es un proceso de aprovechamiento que consiste en utilizar en los hornos cementeros el poder calorífico de la llanta para producir energía y en la incorporación del acero en el Clinker obtenido, controlando debidamente las emisiones atmosféricas. (p. 41).

Trituración: Consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de diferentes técnicas con el fin de separar el caucho de elementos como el acero y los textiles. El caucho obtenido puede emplearse para la fabricación de nuevos productos y

diversas aplicaciones civiles e industriales, como canchas de tenis sintéticas, tapetes, entre otros. (p. 41).

Uso industrial: los productos elaborados en el ámbito industrial como antideslizantes, superficies de tráfico pesado y soportes requieren de una inversión moderada en equipos e instalaciones. (p.45).

eUso artesanal: Los productos artesanales pueden ser elaborados con una reducida inversión en instalaciones y equipos poco especializados; Soportes para carrocería y maquinaria protectores para llantas, materas, bebederos para ganado, suelas, tacones y tapas para calzado, y tiras de amarre, entre otros. (p.45).

Llantas usadas en pavimentos tienen el fin de establecer mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas, según Criollo (2017) algunos de sus beneficios son:

1. Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación permanente.
2. Aumentar la viscosidad, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas asfálticas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.
3. Reducir la rigidez a bajas temperaturas, evitando la figuración térmica.
4. Mejorar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
5. Reducir el endurecimiento en servicio, ampliando la vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales

10.7. Comparativo Económico Muro de Contención con Llantas vs Construcción Tradicional

Para realizar el comparativo económico del muro de contención con construcción en concreto reforzado vs construcción con la utilización de llantas usadas, se tuvo en cuenta las especificaciones del diseño en estudio que son una Altura (h)= 2 m, Base (b)=2 m y una longitud de 3 m, para el cálculo de las cantidades de obra.

Tabla 13. Presupuesto muros de gravedad construcción tradicional vs construcción con llantas

Descripción Actividad	Unidad	Vr/Unit	Muro en Llantas		Muro en Concreto	
			Cant.	Subtotal	Cant.	Subtotal
Descapote manual del terreno	m2	5807	2	11614	3	17421
Nivelación	m2	15000	2	30000	2	30000
Excavación varias sin clasificar	m3	17740	4	70960	4	70960
Relleno y compactación	m3	16951	2	33902	1	16951
Concreto reforzado espesor 0.20m	m3	424380	0	0	4	1697520
f'c = 28 Mpa in situ						
Drenes horizontales tubería perforada 2"	ml	20000	3	60000	3	60000
Llantas usadas reutilizables	Un	0	0	0	0	0
Transporte de llantas	gl	30000	2	60000	0	0
Mano de obra y manufactura cuadrilla ayudante y oficial	hc	15000	60	900000	70	1050000
Total				\$ 1.166.476,00		\$2.942.852,00

Fuente: Elaboración propia, 2018

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y PRESUPUESTO

Tabla 14. Cronograma de Actividades del proyecto

Actividad a desarrollar	FECHA															
	2017					2018										
	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv
Delimitar la población objetivo que se beneficiaria de la presente investigación	■															
Salida de campo para identificar variables de estudio y recolectar información.	■															
Determinar aspectos socioeconómicos e impacto ambiental de la recolección y reutilización de llantas usadas	■	■	■	■	■	■										
Elaboración Marco teórico						■	■	■	■	■	■	■				
Analizar procesos de aprovechamiento de llantas usadas a nivel Local, Nacional e Internacional						■	■	■	■	■	■	■				
Revisar normatividad vigente	■	■	■	■	■	■										
Búsqueda recursos físicos y económicos con los cuales desarrollar el proyecto.	■	■	■													
Estudios de laboratorio para la Clasificación del Suelo			■													
Ejecución de la obra (Construcción Muro de Contención con llantas)				■	■											
Análisis económico comparativo						■	■	■	■	■	■	■	■			
Elaborar y redactar el proyecto de investigación.						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1er. Revisión de la investigación por parte del asesor.										■						
2da. Revisión de la investigación													■			
Entrega del informe final																■
Sustentación proyecto de investigación																■

Fuente: Elaboración propia, 2018

El presupuesto del proyecto conto con aportes de los integrantes del semillero de investigación de Ingeniería civil de la Uniminuto, tanto en especie como con dinero en efectivo para llevar a cabo la construcción del muro de contención de gravedad con llantas usadas.

Tabla 15. Presupuesto del proyecto

RUBROS	Aportes		TOTAL
	Efectivo	Especie	
1. Personal			
Desmonte , limpieza y nivelación	\$-	Integrantes del Semillero de investigación Uniminuto- Centro Regional Girardot	\$-
Excavación en tierra a mano	\$-	-	\$-
Suministro, transporte, preparación	\$500.000	-	\$500.000
Relleno y compactación	\$-	Integrantes del Semillero de investigación Uniminuto- Centro Regional Girardot	\$-
Llantas	\$-	Donadas por las servitecas y montallantas del Municipio	\$-
2. Equipos			
Portátiles, celulares, cámara fotográfica	\$-	Integrantes del Semillero de investigación Uniminuto- Centro Regional Girardot	\$-
Estación de topografía (Levantamiento topográfico)	\$-	Prestada por la Uniminuto Centro Regional Girardot	\$-
3. Software			
Microsoft office (excel, power point, word)	\$-	Integrantes del Semillero de investigación Uniminuto- Centro Regional Girardot	\$-
4. Materiales e insumos			
Tijeras para corte de llantas	\$25.000	-	\$25.000
Tornillos	\$15.000	-	\$15.000
Picas, palas		Prestada por la Uniminuto Centro Regional Girardot	
Elementos de Protección y Seguridad	\$150.000	-	\$150.000
Varillas de diámetro igual o menos del N°3	\$300.000	-	\$300.000
5. Salidas de campo	\$-		\$-
6. Estudios Clasificación del suelo	\$-	Laboratorio Uniminuto	\$-
7. Difusión de resultados: correspondencia para activación de redes, eventos	\$-	NO	\$-
8. Propiedad intelectual y patentes	\$-	NO	\$-
10. Otros:	\$110.000	Impresiones, papelería, Internet	\$110.000
TOTAL			\$1,095.000

Fuente: Elaboración propia, 2018

12. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación se desarrolló conforme al planteamiento de los objetivos desde un trabajo de campo y los ensayos realizados en el laboratorio, obteniendo datos confiables para la ejecución y análisis de la construcción del muro de contención de gravedad con la utilización de llantas usadas. Según los resultados de la investigación teórica se encontró amplia literatura sobre el tema donde realizan descripciones de los resultados de muros de contención o estabilización de taludes.

El presente estudio se distingue por su análisis de viabilidad y comparativo económico del prototipo propuesto vs construcción tradicional de muros de contención de gravedad, el estudio se desarrolló mediante un análisis cualitativo y cuantitativo de la información obtenida y un modelo teórico sobre los tipos de muros de contención. De esta forma, se realizaron los ensayos requeridos para conocer las características del suelo antes de la construcción del muro de contención de gravedad con llantas, obteniendo los siguientes resultados:

12.1. Resultados Clasificación del Suelo

Con la realización de la calicata se pudo establecer que el suelo excavado está formado por la parte superior por una capa vegetal de 0.00 a 0.20 metros, un relleno de grava y arena de 0.20 a 1 metro.

12.1.1. Análisis Granulometría al suelo Compactado. Se identifica la clasificación del suelo como se muestra en la tabla 16, dando como resultado que pertenece al grupo GW= grava bien graduada, grava fina a gruesa.

Tabla 16. Análisis Granulométrico del material para Compactación

% DE GRAVAS	25,0
% DE ARENAS	59,2
% DE FINOS	15,7
COEF. UNIFORMIDAD	6,7
COEF. CURVATURA	1,0
MODULO DE FINURA	2,1
CLASIFICACION USC	GW

Fuente: Elaboración propia, 2018.

12.1.2. Análisis ensayo de límites de consistencia del suelo de compactación. El ensayo de límites de consistencia de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad de acuerdo con la Norma I.N.V. E-125 arrojaron los siguientes resultados

Limite Líquido 24,5%
 Limite Plástico 18,2%
 Índice Plástico 6,3%

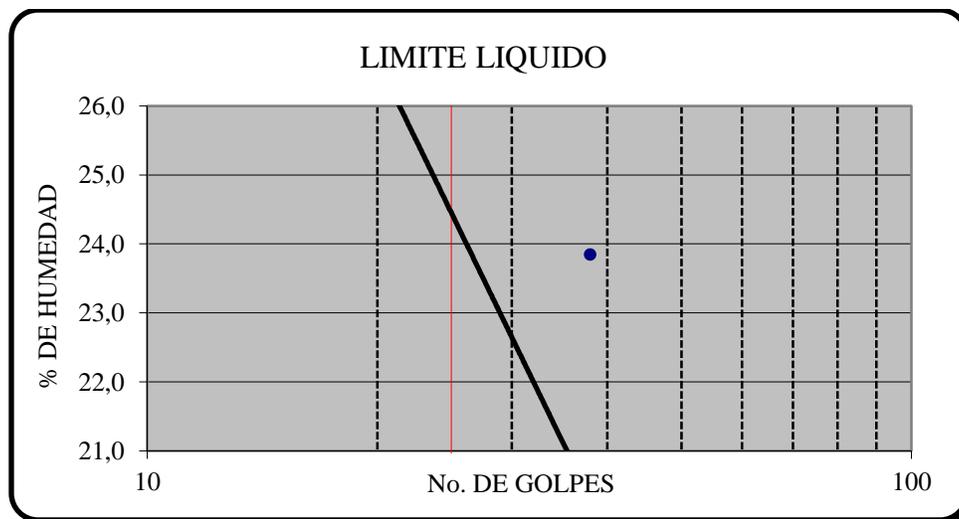


Figura 18. Limite Líquido % de Humedad suelo de compactación
Fuente: Elaboración propia (2018)

12.1.3. Análisis Granulometría del suelo local. . Se identifica la clasificación del suelo como se muestra en la tabla 17, dando como resultado que pertenece al grupo OL= Limos y arcillas de El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS y tiene las características del grupo A-4= Materiales limos arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N°200) según la AASHTO.

Tabla 17. Análisis Granulométrico del suelo local

% DE GRAVAS	4,2
% DE ARENAS	41,5
% DE FINOS	54,3
COEF. UNIFORMIDAD	5,8
COEF. CURVATURA	0,8
MODULO DE FINURA	3,1
CLASIFICACION USC	OL
CLASIFICACION AASHTO	A-4

Fuente: Elaboración propia, 2018.

12.1.4. Análisis ensayo de límites de consistencia del suelo local. El ensayo de límites de consistencia de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad al suelo local de acuerdo con la Norma I.N.V. E-125 arrojaron los siguientes resultados.

Límite Líquido	19.7%
Límite Plástico	18,0%
Índice Plástico	1,7%

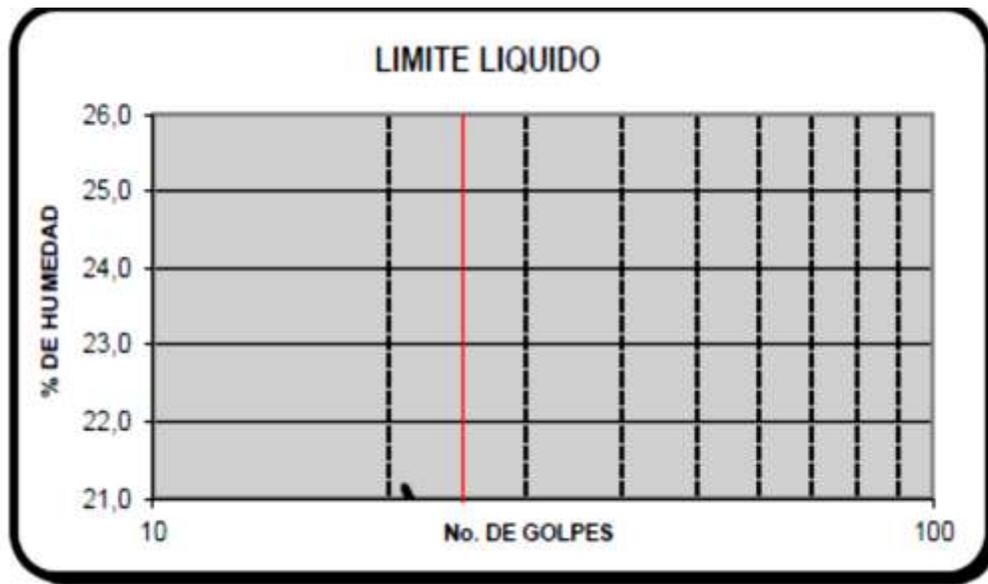


Figura 19. Límite Líquido % de Humedad suelo local
Fuente: Elaboración propia (2018)

12.1.5. Análisis ensayo de resistencia a la penetración del suelo. El ensayo de resistencia a la penetración (Penetrómetro de bolsillo), se inició ubicando el anillo deslizante en cero y después se penetra el suelo local como se observa en las ilustraciones 6 y 7, para el cálculo se convirtieron las unidades dadas por el penetrómetro de bolsillo (Kg/cm²) a (MPa).

El valor de resistencia a la penetración con penetrómetro de bolsillo arroja como resultado una penetración de 3.0 Kg/cm² igual a 2,94 MPa, de acuerdo a la tabla 10. Clasificación del suelo según la resistencia a la penetración es Alta (2 – 4 MPa).

12.2. Análisis de la Construcción del Muro de Contención de Gravedad con Llantas Usadas

El muro de conexión de gravedad construido con llantas usadas posee gran durabilidad y es un sistema constructivo práctico y funcional, porque las llantas son de un material que posee características de elasticidad, después de un año de seguimiento al muro este muestra que es resistente a los empujes impuestos por el terreno donde fue construido, observándose los siguientes resultados:

1. El muro se va adaptando al terreno y la vegetación vuelve a crecer.
2. No se observa desplazamiento del muro.
3. Tiene alta resistencia a los cambios climáticos.

Para garantizar que todas las llantas trabajen como un solo elemento las llantas se deben amarrar todas entre sí, el amarre puede ser con manila de polipropileno o con Tornillos y tuercas, para dar mayor facilidad en el relleno de las llantas se les retiro una cara lateral.

12.3. Análisis del Cálculo de Cargas del Muro de Contención de Gravedad con Llantas

Los resultados de los cálculos del muro de Contención de gravedad se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Resultado cálculo de cargas

Capacidad portante (Ø Max)	
Capacidad Portante Máxima	Ø Max= 60, 39 KN/m ²
Capacidad Portante Mínimo	Ø Min = 8, 62 KN/m ²
Momento con respecto “A”	MA+= 65, 73 KN/m
	MA-= 13,79 KN/ m
Sobre altura	h´= 0,05m

Sumatoria de Momentos con respecto "A"	$\Sigma MA = 51,94 \text{ KN/m}$	
Sumatoria total de cargas (P1, P2, P3, P4, P5)	$\Sigma t = 69,02 \text{ KN/m}^3$	
Presiones		
Presión horizontal	$\xi t = 13,52 \text{ KN}$	
Presión de la sobre carga a la sobre altura	$P' = 0,32 \text{ KN/m}^2$	
Presión total base	$P = 13,19 \text{ KN/m}^2$	
Brazo Torsión	1,02 m	
Factor de Seguridad al Volcamiento $\alpha \geq 3,0$	F.S.V = 4,76	Cumple
Factor de Seguridad al Desplazamiento $\beta \geq 2$	$\beta = 2,55$	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo a la Norma Sismo Resistente del 2010 NSR-10 el factor de seguridad al volcamiento es $\geq 3,0$, Factor de Seguridad al Desplazamiento $\beta \geq 2$ y el factor de seguridad para la capacidad portante es $>2,5$.

Los resultados de los cálculos dan un factor de volcamiento de 4,76 indicando que "No hay volcamiento", un Desplazamiento de 2,55 "No hay desplazamiento", cumple con lo indicado en la Norma y la capacidad portante $O_{Max} = 60,39 \text{ KN/m}^2$ y mínima de $8,62 \text{ KN/m}^2$ igualmente cumple con lo indicado en la Norma siendo mayor de 2,5.

12.4. Análisis del Presupuesto Construcción Muros de Contención con llantas vs Construcción Tradicional.

El presupuesto de construcción de un muro de contención de gravedad con llantas usadas fue de \$1.166.476,00 y la construcción de un muro de contención tradicional es de \$2.942.852,00 dando como resultado que la diferencia de costo de construcción es de \$1.776.376,00, con un 60% más económico el Muro de contención con llantas.

13. CONCLUSIONES

Tras la realización de la investigación se puede concluir que al utilizar llantas y/o neumáticos para la construcción de muros de contención de gravedad constituye una facilidad en su ejecución y el presupuesto comparativo de construcción entre un muro de concreto reforzado vs el construido con llantas, da como resultado que el muro de llantas es un 60% más económico.

Con las dimensiones establecidas para la construcción del muro de contención de gravedad con llantas (Altura 2m y base 2m, y longitud de 3m), se evalúan los factores de seguridad a deslizamiento, volcamiento y capacidad de soporte, determinándose que no se presenta volcamiento, ni desplazamiento, por lo anterior su construcción es viable, de acuerdo con los parámetros geométricos establecidos.

El presente estudio demuestra que el aprovechamiento de las llantas usadas como muros de contención es viable porque es una forma de reciclar este residuo, pero no se considera que este método de reutilización de lugar como disposición final, porque actualmente solo procesos como la trituración permite que las llantas queden limpias de metales y puedan ser usadas en capas asfálticas, aislantes térmicos y acústicos, materiales de construcción o en escenarios deportivos.

Respecto a las dificultades o limitaciones al momento de la construcción del muro, se destaca la falta de equipos de última tecnología en el laboratorio de Ingeniería civil de la Universidad, para el estudio de obras como excavaciones, taludes, terraplenes, para establecer cargas estáticas o sísmicas en este tipo de investigaciones.

14. RECOMENDACIONES

El estudio se llevó a cabo con llantas de Rin 13, por lo tanto se recomienda hacer futuras investigaciones con llantas y/o neumáticos de mayor tamaño o trabajo pesado para determinar si es viable la construcción de muros de contención con ese tipo de llanta.

En la actividad de relleno de las llantas con material como gravas se pudo establecer que al retirarles una cara lateral de la llanta esta permite que la compactación del material sea mejor, dando mayor estabilidad al muro de contención de gravedad, por ello se recomienda seguir este procedimiento cuando se realiza la construcción de este tipo de muro.

Se recomienda a la autoridad Municipal y los entes gubernamentales pertinentes fomentar el aprovechamiento de este residuo sólido y el apoyo a proyectos que estén destinados a la gestión de las llantas usadas, porque según información suministrada por la empresa Ser Ambiental S.A. E.S.P., las llantas en desuso son consideradas residuos especiales y la obligación de su manejo y disposición final recae sobre los productores de las mismas.

Es importante que el Centro Regional Girardot de la Uniminuto pueda contar con el equipamiento de tecnologías de modelos geotécnicos en el laboratorio de Ingeniería civil para el desarrollo e implementación de futuras investigaciones desarrolladas por los participantes de los semilleros de investigación y demás estudiantes de la Universidad.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Girardot (2016), Sistema de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM) Girardot 2014-2026. [en línea], disponible en: <http://www.girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Sistema%20de%20Gestion%20Ambiental%20Municipal%202016.pdf>

Barón Zambrano J.R. y Sánchez Peña, L. (2014), *Viabilidad de Muros de Llantas Para la Estabilización de Taludes en el Barrio la Capilla – Soacha Cundinamarca*, [Trabajo de Magister], Bogotá, D.C., Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería civil, disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1773/1/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf>

Bernal Torres, C.A. (2010), *Metodología de la investigación. (3a. Ed.)* Pearson Educación de Colombia Ltda.

Cámara de Comercio de Bogotá (2006), *Guía para el manejo de llantas usadas*. Ed. Kimpres Ltda. [en línea], disponible en: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987882/Guia+para+el+manejo+de+llantas+usadas.pdf>

Cantanhede, A. y Monge, G. (2002), *Estado del Arte del Manejo de Llantas Usadas en las Américas*. [en línea], disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd24/manejo.pdf>

Colombia (1997). Constitución Política, Bogotá, Legis.

Colombia, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (2017. 06 de julio) “Resolución 1326 de 2017, por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones”, en Diario Oficial, 07 de julio de 2017, Bogotá D.C.

Colombia, Ministerio de Ambiente (1993. 22 de diciembre) “Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”, en Diario Oficial, núm. 41.146 de 22 de diciembre de 1993, Bogotá D.C.

Colombia, Ministerio de Ambiente (1994. 03 de agosto) “Decreto 1865 de 1994, por el cual se regulan los planes regionales ambientales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las de Desarrollo Sostenible y su armonización con la gestión ambiental territorial”, en Diario Oficial, núm. 41.478, del 5 de agosto de 1994, Bogotá D.C.

Colombia, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2003. 06 de junio) “Decreto 1505 de 2003, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones”, en Diario Oficial, núm. 45.210 del 6 de Junio de 2003, Bogotá D.C.

Criollo Polanco, J.A. y León Roa, S.A. (2017), *Construcción y Análisis de un Modelo Experimental de Muro de Contención, Fabricado con Llantas Recicladas Usando Suelo In Situ* [Trabajo de grado], Bogotá D.C, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, disponible en:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6885/1/CriolloPolancoJhonyAlejandro2017.pdf>

Epm (2017), *Norma de Construcción De Muros De Contención*. [en línea], disponible en:
<https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/2017/NC-MN-OC07-08%20Muros%20de%20contenci%C3%B3n.pdf>

Escandón Calle, C.R. (2012), *Estudio Sobre el Uso de Neumáticos Reciclados como Muros de Contención* [Trabajo de grado], Cuenca- Ecuador, Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica, disponible en:
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1449>

Escobar Potes, C. E., y Duque Escobar, G. (2016), Geotecnia para el trópico andino. Obras de Estabilización de Taludes, Manizales, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias exactas y naturales, disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

Horigome, Shoshiro. (2010), Guía de la Construcción del Muro de Contención, con Llantas Usadas (Muro de Protección de Pendiente, Escuela Primaria Emmanuel, Colonia “La Canaán” en Tegucigalpa, Honduras. Primera Ed., [en línea], disponible en: https://www.jica.go.jp/project/all_c_america/001/materials/pdf/manual_01.pdf

Ingeominas (2002), *Memoria Explicativa de la Plancha Geológica 245 Girardot*. [en línea], disponible en: <http://tuinfopro.com/?memoriae245>

Mendieta, M. E. (2016), *Análisis, comparación y diseño optimizado para muros de Contención* [Trabajo de grado], Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción [En línea], disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6597>

Ministerio Medio Ambiente (2017), “*Productores y comercializadores de llantas en el país deberán tener un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas*” disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3055-productores-y-comercializadores-de-llantas-en-el-pais-deberan-tener-un-sistema-de-recoleccion-selectiva-y-gestion-ambiental-de-llantas-usadas-minambiente>

Revista ARQHYS (2012), *Granulometría y el suelo*. Revista ARQHYS.com, [en línea], disponible en: <https://www.arqhys.com/arquitectura/granulometria-suelo.html>.
Obtenido 10, 2018.

Rodríguez González, O.E. (2016), *Estandarización de Técnicas de Diseño y Construcción de Muros de Tierra Reforzada con Llantas de Desecho* [Trabajo de Magister], Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas Escuela de Ingeniería Civil, disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/53439/1/71389816.2016.pdf>

Runt (2018), Estadísticas del Registro Único Nacional de Tránsito. Disponible en:

http://www.runt.com.co/cifras?field_fecha_de_la_norma_value%5Bvalue%5D%5Byear%5D=2017&field_grafica_value=5

Segura, J. (1996), *Estructuras de Concreto I*. Bogotá, D.C., Ayala Ávila y Cía.

Suarez Díaz, J. (2009), *Deslizamientos. Técnicas de Remediación*. Vol. 2, Editorial

Universidad Industrial de Santander, [en línea], disponible en:

<http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion.html>

Tenza, P. J. (2016), *Estudio de las propiedades mecánicas de suelos agrícolas a Partir de pruebas in situ y de laboratorio para modelos de Labranza y tracción*. [en línea], disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/54627/1/822095.2016.pdf>

Torres, L. P. (2016), *Estabilización de Taludes con Neumáticos Usados*. [Trabajo de grado],

Bogotá D.C, Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Civil. [en línea], disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2666/Torrespaula2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

16. ANEXOS

Anexo A. Proceso constructivo del Muro de Contención con Llantas



Fotografía 1. Amarre de las llantas



Fotografía 2. Limpieza del terreno e instalación de las llantas

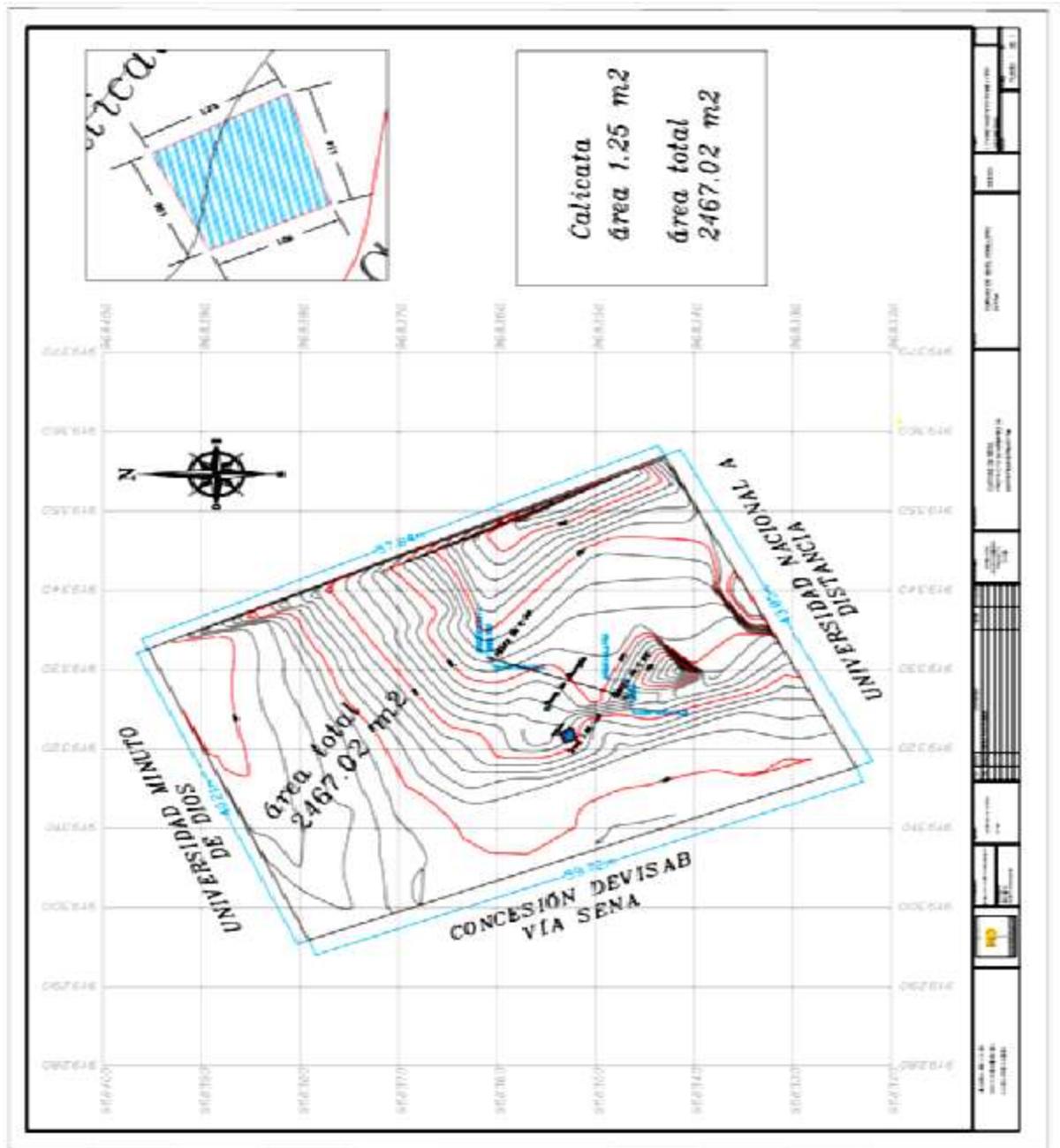


Fotografía 3. Apilamiento y compactación del muro



Fotografía 4. Muro de gravedad con llantas

Anexo B. Plano Levantamiento Topográfico



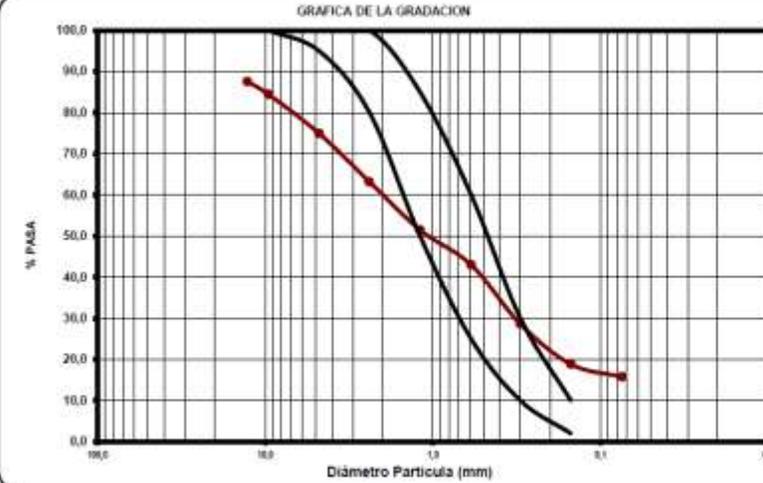
Anexo C. Ensayo clasificación del suelo de Compactación

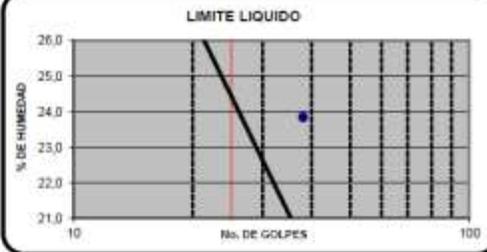
CLASIFICACION DE SUELOS		VERSION	1
		FECHA	
		CODIGO	OC-FL-001
COMPANIA	Uniminuto		
INGENIERO:	JORGE NADER GIRALDO	LOCALIZACION:	LOTE UNIMINUTO
OBRA:	PROYECTO DE MEJORAMIENTO EN TRANSITO, TRANSPORTE VIAS	FECHA DE TOMA:	19-oct-18
MATERIAL:	GRANULAR	FECHA DE ENSAYO:	20-oct-18

GRANULOMETRIA NORMA I.N.V. E-123					
PESO INICIAL	5.000,0	PESO INICIAL PASA No. 10	3556,0		
PESO FINAL	3.556,0	PESO FINAL PASA No. 10	1619,9		
TAMIZ	PESO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA	
<i>pulg</i>	<i>mm</i>				
3"	76,10	0,0	0,0	100,0	
2 1/2"	64,00	0,0	0,0	100,0	
2"	50,80	0,0	0,0	100,0	
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	100,0	
1"	25,40	240,6	4,8	95,2	
3/4"	19,00	146,8	2,9	7,7	92,3
1/2"	12,70	235,7	4,7	12,5	87,5
3/8"	9,51	156,9	3,1	15,6	84,4
1/4"	6,30	252,3	5,0	20,6	79,4
Nº 4	4,76	219,8	4,4	25,0	75,0
Nº 8	2,38	589,7	11,8	36,8	63,2
Nº 10	2,00	94,3	1,9	38,7	61,3
Nº12	1,68	85,2	2,4	41,1	58,9
Nº16	1,19	263,0	7,4	48,5	51,5
Nº30	0,59	302,1	8,5	57,0	43,0
Nº40	0,42	133,3	3,7	60,8	39,2
Nº50	0,30	378,1	10,6	71,4	28,6
Nº80	0,18	310,8	8,7	80,1	19,9
Nº100	0,15	36,7	1,0	81,2	18,8
Nº200	0,074	110,7	3,1	84,3	15,7
PASA No 200		4,8	0,1	84,4	

LIMITE DE CONSISTENCIA			
LIMITE LIQUIDO NORMA I.N.V. E-125			
RECIPIENTE No.	1	2	3
No. DE GOLPES	19	35	38
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	75,70	70,80	73,70
PESO SUELO SECO + RECIP.	71,00	68,20	70,10
PESO RECIPIENTE	54,00	53,00	55,00
% DE HUMEDAD	27,6	17,1	23,8

LIMITE PLASTICO NORMA I.N.V. E-128			% W _p
RECIPIENTE No.	4	5	
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	57,50	76,00	68
PESO SUELO SECO + RECIP.	53,00	70,10	61,9
PESO RECIPIENTE	28,00	38,00	27
% DE HUMEDAD	18,0	18,4	17,5





% LIMITE LIQUIDO	24,5
% LIMITE PLASTICO	18,2
% INDICE PLASTICO	6,3
% DE GRAVAS	25,0
% DE ARENAS	59,2
% DE FINOS	15,7
COEF. UNIFORMIDAD	6,7
COEF. CURVATURA	1,0
MODULO DE FINURA	3,1
CLASIFICACION USC	GW
CLASIFICACION AASHTO	
INDICE DE GRUPO	0

OBSERVACIONES: _____

ELABORO _____
APROBO _____

Anexo D. Ensayo clasificación del suelo local

CLASIFICACION DE SUELOS		VERSION	1
		FECHA	15-jun-08
		CODIGO	OC-FL-001

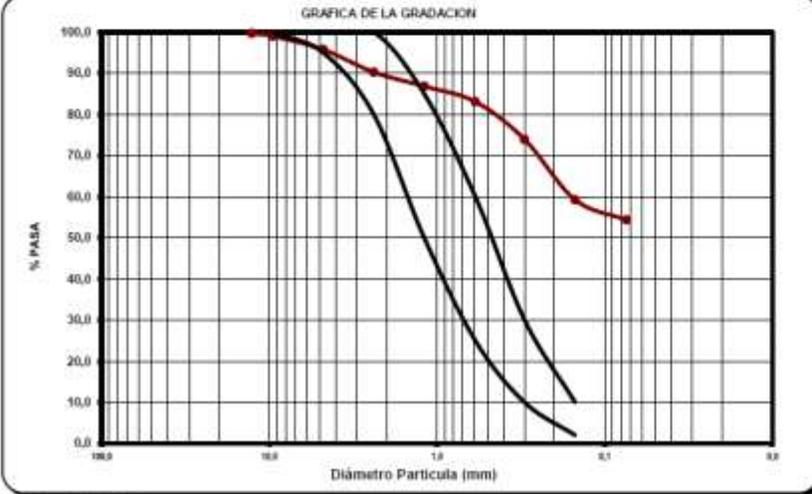
COMPañIA	_____	LOCALIZACION:	_____
INGENIERO:	_____	FECHA DE TOMA:	13-nov.-18
OBRA:	_____	FECHA DE ENSAYO:	14-nov.-18
MATERIAL:	_____		

GRANULOMETRIA NORMA I.N.V. E-123			
PESO INICIAL	857,3	PESO INICIAL PASA No. 10	2202,0
PESO FINAL	859,8	PESO FINAL PASA No. 10	766,7

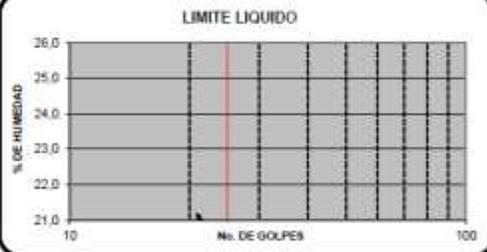
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
pulg	mm			
3"	76,10	0,0	0,0	100,0
2 1/2"	64,00	0,0	0,0	100,0
2"	50,80	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	100,0
1"	25,40	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,00	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	2,5	0,3	99,7
3/8"	9,51	5,7	0,7	99,0
1/4"	6,30	15,6	1,8	97,2
Nº 4	4,76	12,4	1,4	95,8
Nº 8	2,38	47,1	5,5	90,3
Nº 10	2,00	9,8	1,1	89,1
Nº 12	1,68	18,9	0,9	88,3
Nº 16	1,19	31,5	1,4	86,9
Nº 30	0,59	82,7	3,8	83,1
Nº 40	0,42	81,9	3,7	79,4
Nº 50	0,30	120,5	5,5	73,9
Nº 80	0,18	260,3	11,8	62,1
Nº 100	0,15	81,8	2,8	59,3
Nº 200	0,074	109,1	5,0	54,3
PASA No 200		3,2	0,1	45,8

LIMITE LIQUIDO NORMA I.N.V. E-125			
RECIPiente No.	1	2	3
Nº DE GOLPES	21	32	28
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	75,70	70,80	73,70
PESO SUELO SECO + RECIP.	72,00	68,30	70,50
PESO RECIPiente	54,00	53,00	55,00
% DE HUMEDAD	20,6	16,3	20,6

LIMITE PLASTICO NORMA I.N.V. E-126			% W _p
RECIPiente No.	4	5	
PESO SUELO HUMEDO + RECIP.	57,50	76,00	68
PESO SUELO SECO + RECIP.	52,70	70,60	62,9
PESO RECIPiente	28,00	38,00	27
% DE HUMEDAD	19,4	16,6	14,2



GRAFICA DE LA GRADACION



LIMITE LIQUIDO

% LIMITE LIQUIDO	19,7
% LIMITE PLASTICO	18,0
% INDICE PLASTICO	1,7

% DE GRAVAS	4,2
% DE ARENAS	41,5
% DE FINOS	54,3

COEF. UNIFORMIDAD	5,8
COEF. CURVATURA	0,8
MODULO DE FINURA	3,1

CLASIFICACION USC	OL
CLASIFICACION AASHTO	A-4
INDICE DE GRUPO	0

OBSERVACIONES: _____

ELABORO _____
APROBO _____