

DIAGNÓSTICO Y PREDISEÑO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD
PERTENECIENTE AL ESCENARIO DEPORTIVO DEL BARRIO NACIONES UNIDAS
DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR-BOGOTÁ D.C.

Presentado por:
Duván Andrés Bonilla Ávila y
Fabian Humberto Rodríguez Ramírez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C

2021

DIAGNÓSTICO Y PREDISEÑO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD
PERTENECIENTE AL ESCENARIO DEPORTIVO DEL BARRIO NACIONES UNIDAS
DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR-BOGOTÁ D.C.

Presentado por:

Duván Andrés Bonilla Ávila y
Fabian Humberto Rodríguez Ramírez

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Director de Proyecto:

SEBASTIAN RIVERA PARDO.I.C., MIG

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

I.C. CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ CAMARGO
Decano de la Facultad de Ingeniería civil

I.C. SEBASTIAN RIVERA PARDO
Director Trabajo de grado

I.C. CARLOS EDUARDO TORRES ROMERO
Jurado 1

I.C. LIVANIEL VIVEROS ROSERO
Jurado 2

Bogotá, Marzo de 2021

Dedicatorias

*A Dios, por encontrarse siempre conmigo
en los momentos de felicidad y tristeza,*

*A mi madre Fany Ruth Ávila, por estar siempre
conmigo y darme motivos para ser cada día mejor.*

*A mi tía Yemy Mireya Ávila, por su apoyo incondicional
y creer siempre en que voy a dar lo mejor de mí.*

*A mis abuelos Lucas Ávila y Graciela Español, por ser
una pieza fundamental en busca del éxito y la felicidad.*

¡Todo se lo debo a ustedes!

Duvan Andrés Bonilla Ávila

*A Dios, por permitirme culminar esta etapa tan
importante en mi vida, un logro más de muchos que me faltan.*

*A mis padres Jorge Humberto Rodríguez y Magda Liliana Ramírez,
quienes han sido y son los pilares y apoyo en mi vida.*

*A mi tía Patricia Rodríguez, quien fue una guía y
un apoyo en una ciudad como Bogotá.*

*Y en general a mis Hermanos, Tíos, Primos y Abuelos
quienes siempre estuvieron presente*

Cuando más los necesitaba.

¡Todo se lo debo a ustedes!

Fabian Humberto Rodríguez Ramírez

Agradecimientos

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por permitirnos terminar una de muchas etapas que nos hemos propuesto en nuestra vida profesional, en segundo lugar, a la Universidad Santo Tomás, por abrirnos las puertas en el año 2015-2, a el conocimiento tanto teórico, práctico y humanístico, además a sus docentes que fueron fundamentales en orientación y un ejemplo a seguir, en tercer lugar a nuestros padres por su apoyo incondicional, ya que son el motivo de nosotros salir adelante y en cuarto lugar y más importantes a los ingenieros Sebastián Rivera Pardo, Carlos Eduardo Torres Romero y Sergio Miguel Gonzales quienes por su apoyo y disposición representan el éxito y finalización de nuestro proyecto de grado.

Resumen

El presente estudio, se adelantó con el propósito de diagnosticar y generar una alternativa para la estabilización del talud perteneciente al escenario deportivo del barrio Naciones Unidas de la localidad de Ciudad Bolívar-Bogotá D.C, teniendo en cuenta las condiciones del terreno, el evidente desgaste del muro de contención, así como otra serie de factores detonantes que presenta el terreno; todo ello, se ha convertido en una problemática y un riesgo para la comunidad que hace uso de este espacio público. Por ende, este proyecto, buscará proponer una alternativa social, económica y ambiental por medio de información secundaria acerca de la zona de estudio y el método de estabilización.

Palabras Clave: Estabilidad, talud, escenario deportivo, riesgo, neumáticos.

Abstract

This study was carried out with the purpose of diagnosing and generating an alternative for the stabilization of the slope belonging to the sports stage of the Naciones Unidas neighborhood in Ciudad Bolívar-Bogotá D.C., taking into account the conditions of the terrain, the evident wear of the retaining wall, as well as another series of triggering factors that the terrain presents; all this has become a problem and a risk for the community that makes use of this public space. Therefore, this project will seek to propose a social, economic and environmental alternative by means of secondary information about the study area and the stabilization method.

Key words: Stability, slope, sports scenario, risk, tire

Tabla de contenido

	Pág
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	V
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL:	13
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO:.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
5. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	16
5.1. MURO DE CONTENCIÓN:	16
5.1.1. Tipo de Fallas.....	16
5.2. ESTABILIDAD DE TALUDES CON MUROS HECHOS POR NEUMÁTICOS:.....	17
5.3. NEUMÁTICOS:.....	18
5.4. SUELOS RESIDUALES:.....	18
5.5. DESLIZAMIENTO:	18
5.6. REMOCIÓN EN MASA:	18
6. ESTADO DEL ARTE	18
7. METODOLOGÍA	28
7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	28

7.2.	DETERMINACIÓN DE PERFIL GEOTÉCNICO DE ANÁLISIS.....	28
7.3.	MODELACIÓN MEDIANTE SOFTWARE ESPECIALIZADO	29
7.4.	PROPUESTA DE PREDISEÑO	29
8.	DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO	29
8.1.	ANTECEDENTES	29
8.2.	LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN	33
8.3.	TOPOGRAFÍA	36
8.4.	GEOLOGÍA.....	37
8.4.1.	ESTRATIGRAFÍA	39
8.5.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	41
8.5.1.	ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO:.....	43
8.6.	HIDROLOGÍA	47
8.7.	PROPIEDADES GEOMECÁNICAS SELECCIONADAS	47
9.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO	49
9.1.	RETRO-CÁLCULO.....	49
9.2.	ANÁLISIS GLOBAL	52
9.3.	ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO.....	53
9.4.	DIMENSIONAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN.....	55
9.4.1.	Procedimiento para Calcular los Factores de Seguridad.....	56
9.5.	DRENAJE DEL MURO	65
9.6.	PRESUPUESTO.....	67
10.	CONCLUSIONES	68
11.	RECOMENDACIONES	70
12.	REFERENCIAS	71

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Metodología del Proyecto	29
Tabla 2. Coordenadas Zona de Estudio	35
Tabla 3. Descripción de la zona Geotécnica.....	42
Tabla 4. Valores de KST/Amaz Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes	43
Tabla 5. Valores del Coeficiente de Importancia	46
Tabla 6. Resumen Propiedades Geomecánicas del Suelo.....	48
Tabla 7. Datos de Resistencia de los Materiales de un Modelo Elástico.	52
Tabla 8. Límites de las Propiedades Geotécnicas	54
Tabla 9. Datos Orientados para el Prediseño del Muro	56
Tabla 10. Factores de Capacidad de Carga.....	60
Tabla 11. Factores de Forma.....	60
Tabla 12. Factores de Seguridad Indirectos Mínimos	63
Tabla 13. Valores de Verificación.....	64
Tabla 14. Presupuesto	67

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Falla por Deslizamiento.	16
Ilustración 2. Falla por Volcamiento.....	17
Ilustración 3. Amarre de Neumáticos.....	20
Ilustración 4. Características de las Secciones Transversales de la Pared del Muro Experimental	20
Ilustración 5. Desplazamiento Horizontal Medido en 4 secciones	21
Ilustración 6. Vista Frontal Muro de Llantas Tegucigalpa.....	22
Ilustración 7. Muro Terminado Tegucigalpa, Honduras	23
Ilustración 8. Plano Prototipo Muro de Contención de Gravedad con Llantas	24
Ilustración 9. Modelo del Muro en SLIDE06.....	25
Ilustración 10. Diseño de filtros e instalación en el muro	26
Ilustración 11. Bosquejo Vista Panorámica del Muro de Llantas	27
Ilustración 12. Zona de Estudio.....	30

Ilustración 13. Muro de Gravedad con Llantas	32
Ilustración 14. <i>Localización del UPZ 67 Lucero</i>	33
Ilustración 15. Localización Barrios Naciones Unidas	34
Ilustración 16. Ubicación de la Zona de Estudio.....	35
Ilustración 17. Topografía de la zona.....	36
Ilustración 18. Geometría del Perfil de Estudio	37
Ilustración 19. Geología Sabana de Bogotá	38
Ilustración 20. Mapa de microzonificación sísmica de Bogotá.....	41
Ilustración 21. Microzonificación Sísmica de la Localidad de Ciudad Bolívar.....	42
Ilustración 22. Mapa de Valores Aa.....	44
Ilustración 23. Coeficiente de Amplificación Fa del Suelo para la Zona de Períodos Cortos del Espectro.....	45
Ilustración 24. Propiedades Geomecánicas reportadas por el Estudio Sitio 1.6: Barrio Brisas del Volador de 1998.....	48
Ilustración 25. Modelo de Análisis.....	48
Ilustración 26. Grietas del Escenario Deportivo	49
Ilustración 27. Modelo del Terreno con los Valores de Laboratorio	50
Ilustración 28. Modelo del Terreno con Valores de Laboratorio y Nivel Freático Superficial.	50
Ilustración 29. Modelo del Terreno con Valores del Retro Análisis	51
Ilustración 30. Modelo del Terreno con Valores del Retro Análisis y Nivel Freático Superficial.	51
Ilustración 31. Modelo Análisis Global.	53
Ilustración 32. Modelo del Análisis Seudoestático	54
Ilustración 33. Alternativa Muro de Contención.....	55
Ilustración 34. Factores de Capacidad de Carga	59
Ilustración 35. Alternativa de Muro de Contención.....	65
Ilustración 36. Filtros Instalados en el Muro.....	66
Ilustración 37. Drenes Franceses.....	66

1. Introducción

La localidad de Ciudad Bolívar, se encuentra ubicada al suroccidente de Bogotá, es considerada por el Consejo Local de Gestión del Riesgo y Cambio Climático como la número 19 del Distrito Capital de Bogotá, cuenta con una de las poblaciones más vulnerables, con una densidad del 5252,78 hab/km², un área total de 12.998 hectáreas (Ha) e integrada por 252 barrios (IDIGER, 2019), los cuales se clasifican entre la (Unidad de Planeamiento Zonal) UPZ 63 hasta el UPZ 70. Para el caso de la zona de estudio esta se encuentra en la UPZ 67 -El Lucero, barrio Naciones Unidas. Por las actividades de establecer zonas urbanas, canteras, receberas y gravilleras, se ha alterado la cobertura vegetal del terreno, llevando al descubierto de este material y por la acción del viento, corrientes de agua y lluvia, se generó un proceso de erosión y deslizamiento, los cuales determinan zonas de bajo, medio y alto riesgo. En busca de evitar un nuevo asentamiento poblacional en las zonas de alto riesgo, la alcaldía de Bogotá ha realizado diferentes proyectos de recreación. ya que la localidad de Ciudad Bolívar cuenta con un asentamiento de 4.650 manzanas en zona de alto, medio y bajo riesgo por remoción en masa, las cuales se clasifican por, el costado occidental UPZ Ismael Perdomo como la mayor cantidad de amenaza alta, luceros con amenaza media y Arborizadora como la única UPZ que no posee amenaza por remoción de masa (Salud Capital, 2016).

En busca de una solución diferente al mantenimiento del talud para mitigar los problemas de seguridad de los habitantes de este sector, se ha querido llevar a cabo un diagnóstico de la estabilización del talud en el barrio Naciones Unidas, sitio donde se ubica el escenario deportivo objeto del estudio, mediante la reutilización de neumáticos, que será utilizado como material de contención.

Vale entonces destacar para estos casos lo propuesto por (Barón & Sánchez ,2014) quienes proponen que:

Teniendo varios proyectos realizados con este método de estabilización, se han aceptado y adoptado a los neumáticos como material de contención, con llantas recicladas brindando un tiempo de degradación de aproximadamente 350 años, una gran adaptación al suelo y haciéndose práctica a una comunidad al no necesitar mano de obra muy calificada para su construcción.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General:

Realizar el prediseño para la estabilización de un talud mediante la reutilización de neumáticos como materiales de contención.

2.2. Objetivo Específico:

- Recopilar información con respecto a la metodología utilizada para la estabilización de taludes basado en el uso de neumáticos como materiales de contención.
- Diagnosticar la zona de estudio con base en información secundaria.
- Identificación de parámetros geomecánicos por medio de proyectos ya realizados y ejecutados cerca de la zona de estudio.
- Modelar en un software especializado en geotecnia los parámetros definitivos y las características de la zona.
- Proponer una alternativa económica a la comunidad del barrio Naciones Unidas de la estabilización del talud perteneciente al escenario deportivo.

3. Justificación

El escenario deportivo objeto del estudio está ubicado en el barrio Naciones Unidas de la localidad de Ciudad Bolívar de Bogotá, el cual está compuesto por un talud que se encuentra en dirección suroeste el cual está generando una inestabilidad, en donde se presenta un fenómeno de remoción de masa el cual es causado por las condiciones del terreno (altas pendientes y falta de cobertura vegetal), también por procesos naturales del terreno (lluvias intensas, prolongadas y degradación del terreno y por acción del agua); los que han generado un fenómeno de erosión en el terreno de las estructuras cercanas, desprendimiento y transporte de material; lo cual está causando una problemática para la comunidad ya que esta es usuario de este espacio de recreación y deporte. Según un reporte del diario El Tiempo, citado por (Puentes, 2019) la localidad de Ciudad Bolívar presenta fuerte intensidad de las lluvias, las cuales fueron capaces de causar desastres en épocas invernales generando emergencias en más de 370 barrios.

Adicionalmente, en la ciudad de Bogotá para el 2014 se generaron 2.5 millones de neumáticos de los cuales el 30% resultaban en las calles, parques o eran quemados a cielo abierto para la recolección del acero (Torres, 2016). A consecuencia de la contaminación que estaban generando, para el año 2020 ya algunos países han optado por la reutilización de neumáticos como materiales en parques temáticos, obras civiles y muros de contención ya que sus propiedades son adecuadas para una adaptación al suelo, permite revegetación natural, reduce contaminación ambiental y puede ser utilizado para la siembra de algunos cultivos como maíz, frijol, girasoles entre otras plantas (García, 2019).

Finalmente, este proyecto propone un diagnóstico de la estabilización del talud, por medio de neumáticos reciclados, como muros de contención brindando una alternativa social, económica y ambiental.

4. Formulación del Problema

En el barrio Naciones Unidas de la localidad de Ciudad Bolívar, se presenta una inestabilidad en el talud perteneciente al escenario deportivo, puesto que el gavión como estructura de contención se encuentra en mal estado, además por la falta de cobertura vegetal se ha descubierto el material generando un proceso de erosión a causa de los diferentes factores detonantes. De esta forma, la comunidad que hace partícipe de este lugar le urge una alternativa de sistema de contención que tenga en cuenta las condiciones sociales, económicas y ambientales, al ponerse en riesgo la salud y la seguridad de las personas que hacen uso de este escenario deportivo.

5. Conceptos Fundamentales

Para llevar a cabo la ejecución de este proyecto Diagnóstico y Prediseño de la estabilización de un talud perteneciente al escenario deportivo, es necesario identificar los diferentes conceptos que determinan sus respectivas condiciones.

5.1. Muro de Contención:

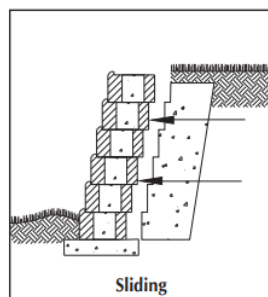
Según Segura (1996) define a los muros de contención como “elementos estructurales diseñados para contener material. De uso múltiple en Ingeniería, se utilizan en carreteras a media ladera, en sótanos de edificios, en estribos en puentes, en tanques de agua, entre otros”. De igual forma son utilizados para contener materiales sueltos naturales o artificiales de taludes.

5.1.1. Tipo de Fallas.

5.1.1.1. Deslizamiento

La falla por deslizamiento se evidencia cuando la pared del muro se mueve hacia adelante, esto ocurre cuando las fuerzas horizontales que tienden a causar deslizamientos son mayores que la fuerza horizontal que genera el muro de contención. Generalmente, esto ocurre cuando se subestima la fuerza horizontal o se sobre estima la fuerza de resistencia del muro de contención (Allan Block).

Ilustración 1. *Falla por Deslizamiento.*

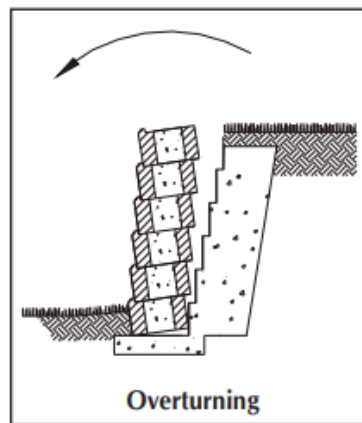


Nota: (Allan Block).

5.1.1.2. Volcamiento

La falla por volcamiento se evidencia cuando la pared gira alrededor de su borde frontal inferior, el cual también es llamado la punta de la pared. Esto ocurre cuando la suma de los momentos que tiene a causar un vuelco es mayor que la suma de los momentos que resiste el vuelco (Allan Block). Como pasa en la falla por deslizamiento, las fallas que se vuelcan son generadas a la subestimación de las fuerzas motrices.

Ilustración 2. *Falla por Volcamiento.*



Nota: (Allan Block).

5.2. Estabilidad de Taludes con Muros Hechos por Neumáticos:

Se trata de un muro de llantas que es funcional porque el soporte se da por su propio peso de gravedad, su estabilidad se incrementa por una sobre posición de llantas armadas e inclinadas hacia atrás, así mismo por su forma geométrica circular la cual permite construir infinidad de diseños según la forma y tamaño del área a proteger. Los muros tienen larga duración y resistencia a la acción de agentes naturales como el agua y el suelo mismo, su construcción es sencilla y no requiere mano de obra calificada (Zambrano & Peña, 2014).

5.3. Neumáticos:

Los neumáticos son una pieza de forma toroidal, la cual tiene una estructura muy compleja, y están elaborados a partir del caucho que se dispone en las ruedas de diversos vehículos y maquinaria. Por medio del neumático el vehículo se adhiere al pavimento permitiéndole un agarre y una respectiva frenado del mismo (Escobar, 2018).

5.4. Suelos Residuales:

La definición de “suelo residual” varía de un país a otro, pero una definición razonable podría ser la de suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca en situ, el cual ha sido transportado de su localización original (Tropicales, 1998). Los términos residual y tropical se usan indistintamente, pero en los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia el término residual.

5.5. Deslizamiento:

El deslizamiento es el movimiento de masa de la roca o el suelo, hacia la parte inferior del talud (Cruden, 1991). Los principales detonantes para que un deslizamiento ocurra, es la topografía del terreno, la acción de la gravedad y los parámetros geotécnicos del suelo.

5.6. Remoción en masa:

Por medio de las condiciones geológicas, geomorfológicas, sísmicas e hídricas se puede presentar un fenómeno de remoción en masa el cual es más influyente en terrenos que presentan pendientes pronunciadas (De Matteis, 2003).

6. Estado del Arte

Los documentos consultados para la presente investigación están relacionados con los resultados de diferentes proyectos que se han realizado a nivel local, nacional e internacional a

partir de una metodología empírica -racional. A continuación, se mencionan algunos de tales casos y los resultados alcanzados.

A nivel internacional se presenta la utilización de neumáticos para la estabilización de taludes en tres casos y lugares diferentes en donde se pueden apreciar las maneras más comunes de la implementación de neumáticos para la estabilización, y utilización con diferentes fines, ya sea para dar soporte a edificaciones nuevas, recientes o tan solo para sostener un terreno que se encuentra en un alto grado de inestabilidad.

La primera investigación documentada sobre la técnica de suelo reforzado con neumáticos se realizó en Francia en 1976, conjunto con más de 250 obras de ingeniería civil adoptando estas técnicas de estabilización (Schlosser et al., 1994), entre las cuales se encuentra: el muro de Bussang construido en 1987, el cual contaba con 6 secciones distintas, con una altura de 2 a 7 metros y una longitud aproximadamente de 650 metros (Long et al., 1990).

La primera investigación experimental se llevó a cabo en Brasil, en la ciudad de Río de Janeiro en un convenio entre las universidades (Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Universidade Estadual de Río de Janeiro y Universidad de Ottawa de Canadá), con el objetivo de estudiar el uso de neumáticos en estructuras de suelo reforzado y en muros de contención; Según (Sieira, 2009) la construcción de este muro es netamente experimental, proponiendo unas medidas de 60 metros de longitud y 4 metros de alto, para con esto, llegará utilizar aproximadamente 15.000 neumáticos reciclados. Para tener una mayor rigidez y estabilización se propuso amarrar los neumáticos entre sí con alambres como se muestra en la ilustración 3, un relleno posteriormente con material granular o con tierra compactada, mientras que para el caso de la parte trasera del muro se debió rellenar con la misma tierra compactada para poder

conseguir una superficie uniforme y lograr una efectiva respuesta de contención de los neumáticos.

Ilustración 3. Amarre de Neumáticos



Nota: (Sieira, 2009)

Para tener claridad del proceso del muro y de cómo se planteó su construcción, en la ilustración 4, se puede evidenciar la comparación de la efectividad con diferentes secciones de usar neumáticos, ya sea completos o cortados y sus respectivos tipos de amarres, los cuales pueden realizar con cuerda o con alambre. Con el fin de poder saber cuál es la mejor combinación para este tipo de trabajo.

Ilustración 4. Características de las Secciones Transversales de la Pared del Muro Experimental

Sección	Ancho de Base (L_{si})	Ancho de Arriba (L_T)	Configuración de neumáticos	Tipo de Amarradero	Sección transversal Esquemático
EL	6 neumáticos	4 neumáticos	Todo	Cuerda	
si	6 neumáticos	4 neumáticos	Cortar	Cuerda	
C	6 neumáticos	4 neumáticos	Cortar	Cable	
re	3 neumáticos	3 neumáticos	Cortar	Cuerda	

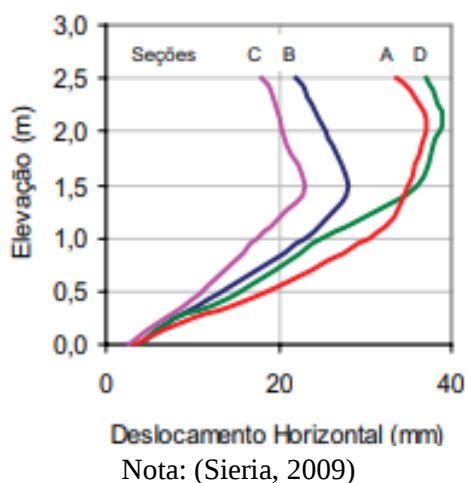
Nota: (Teixeira, 2012)

Para establecer la viabilidad del proyecto con este tipo de características y teniendo en cuenta que este caso se está frente a un muro experimental se hizo necesario adelantar diferentes pruebas que mitigaron establecer resultados tales como peso específico de la combinación del

suelo-neumático el cual variaba entre los 15,50 KN/m³ cuando se utilizaban neumáticos enteros y 16,50 KN/m³ como resultado de la implementación de neumáticos cortados (Siera, 2009).

Contando con los resultados de esta prueba el siguiente paso es la determinación del desplazamiento lateral del muro como se muestra en la ilustración 5, mostrando mayores desplazamientos en la sección D, la cual fue diseñada con una geometría más delgada. Los cuales son razonables y compatibles a la sección A, la cual fue construida con una mayor rigidez dada a la remoción del material (Sieria, 2009).

Ilustración 5. *Desplazamiento Horizontal Medido en 4 secciones*

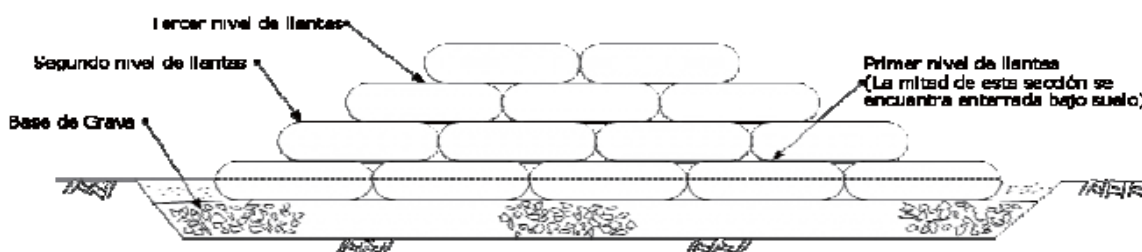


Este mismo autor al hacer un análisis del estudio realizado llegó a la conclusión de que este método de estabilización es viable ya que presenta una alternativa que combina la eficiencia mecánica de los neumáticos y el bajo costo de su ejecución, además que se destaca la facilidad de ejecución y construcción de este tipo de metodología de estabilización.

En la capital de Honduras, Tegucigalpa, se realizó la construcción de un muro con neumáticos de manera puramente empírica por la misma comunidad, siendo el principal problema

enfrentado a inestabilidad de un talud en la inmediaciones de uno de los escenarios deportivos perteneciente a una institución educativa; la comunidad preocupada por la seguridad de los estudiantes decidió realizar el levantamiento de un muro en neumáticos, ante la no existencia de recursos suficientes para realizar una estabilización clásica, muros de contención con concreto, anclajes, entre otros. Por tal motivo se vieron obligados a optar por otras alternativas mucho más económicas, como la que se evidencia en la ilustración 6.

Ilustración 6. *Vista Frontal Muro de Llantas Tegucigalpa*



Nota: (Horigome, 2010)

Cuando el muro ya estaba terminado, como se muestra en la ilustración 7, se analizó que por medio del mortero que se utilizó se podía evitar la filtración de agua por el material, así como por dentro de las llantas. De otra parte, para dar soporte y una mayor rigidez se rellenaron los neumáticos con rocas de un tamaño considerable, así cuando se presenta la temporada de lluvia se podía evitar la pérdida de material granular y la estabilización. Con una duración de construcción desde el mes de julio del 2010, hasta el mes de agosto del mismo año, con una geometría del muro de contención de 2 metros de alto y 22 metros de longitud, en donde el número de participantes fue de 391 personas de la misma comunidad y con una reutilización de 240 llantas, distribuidas en el punto más alto de 9 filas y en el punto más bajo con 6 filas de diámetros de 7 cm hasta 50 cm (Horigome, 2010).

Ilustración 7. *Muro Terminado Tegucigalpa, Honduras*

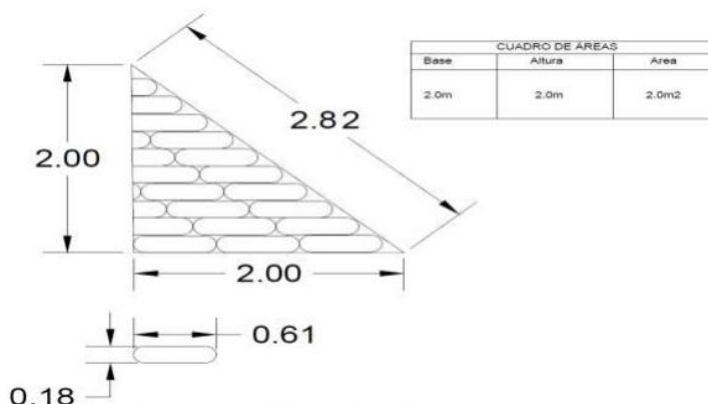
Nota: (Horigome, 2010)

Las recomendaciones que dieron los técnicos para el mantenimiento anual de este proyecto y garantizar una calidad del producto, fueron: la inspección de que las llantas no hayan cambiado de posición, la revisión de los cimientos no tengan daños que hayan sido producidos por el agua, el estudio del terreno que se encuentra encima de las llantas no presente abultamiento o hundimiento, la revisión de que el suelo cemento de las llantas siga intacto y la eliminación que las gravas del filtro francés no esté sucias, ya que de ser así se debería remover 5 cm de grava y lavarla con agua para cambiar la tierra (Horigome, 2010).

Para fines de contar con más datos y documentos que permitan contar con bases suficientes para el presente proyecto se adelantó la búsqueda de proyectos relacionados con la construcción de muros con la utilización de neumáticos como materiales de contención en Colombia. En el municipio de Girardot. Cundinamarca, se realizó en la sede de la Universidad Minuto de Dios, cargo del entonces estudiante Jorge Moisés Nader Giraldo al poder brindar una alternativa de aprovechamiento y desarrollo sostenible para los neumáticos que ya habían cumplido con sus funciones de fábrica, permitiéndole determinar la viabilidad de la construcción de un muro de contención de gravedad mediante la utilización de estos residuos (Nader Giraldo, 2018).

Mediante la realización de los diferentes ensayos de laboratorio y en campo como lo son: Ensayo de calicata, análisis granulométrico del suelo, límites de consistencia y ensayo de resistencia a la penetración del suelo, pudieron obtener los parámetros de resistencia del suelo para así plantear una propuesta de dimensionamiento como se puede ver en la ilustración 8.

Ilustración 8. *Plano Prototipo Muro de Contención de Gravedad con Llantas*



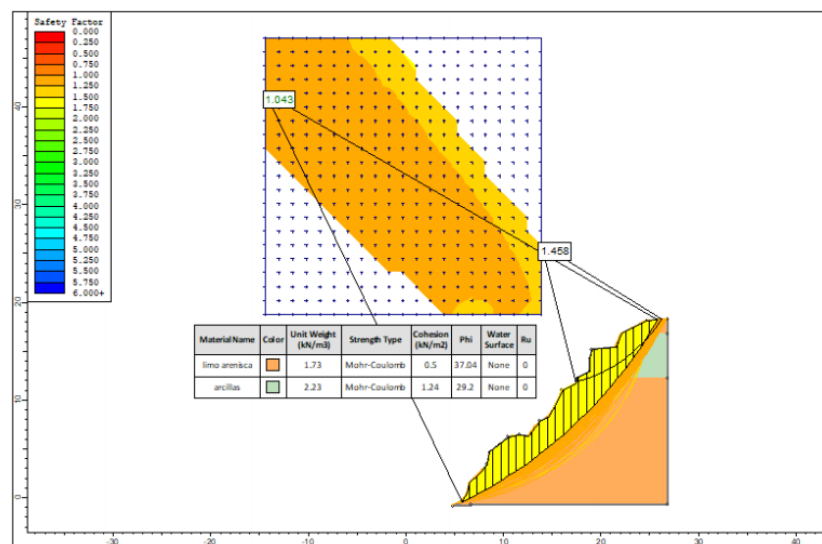
Nota: (Nader Giraldo, 2018).

Según Nader Giraldo, 2018 frente a la construcción del muro convirtiéndose en un sistema constructivo práctico y funcional, teniendo en cuenta que las llantas son un material que posee características de elasticidad y una alta durabilidad. Mediante un seguimiento se evidenció que el muro se adapta al terreno y su respectiva vegetación vuelve a crecer, no se observan desplazamientos y muestra una alta resistencia a los cambios climáticos. Recomendando en su construcción realizar el amarre por medio de manila de polipropileno o con tornillos y tuercas, para generar una mayor facilidad en el relleno de las llantas. Posteriormente, realizando un análisis presupuestal del muro se evidenció la viabilidad de este método de estabilización generando un costo de construcción con llantas recicladas de \$1.166.476,00 a diferencia que si la estabilización se hubiera realizado como un muro de contención tradicional su costo sería de \$2.942.852,00, con una diferencia del 60 % siendo más económico utilizando las nuevas prácticas y el impacto ambiental.

En el municipio de la Mesa los estudiantes (Lizeth Ospina, María Córdoba y Brandon Benavides) realizan el diseño y construcción de muro de contención en neumáticos usados por el municipio de la Mesa. Teniendo en cuenta que la comunidad del barrio Rincón Santo sus viviendas están expuestas a un daño causado por un talud el cual presenta un fenómeno de deslizamiento en épocas de invierno.

Por medio de estudios previos para la determinación de la viabilidad de la construcción del muro determinando las características físicas del suelo (cohesión, densidad, Ángulo de fricción) realizados bajos los parámetros de la NSR-2010. Realizan el modelo del muro como se observa en la ilustración 9. y poder calcular el factor de seguridad por medio del análisis del método de Spencer y por el método de Bishop simplificado.

Ilustración 9. Modelo del Muro en SLIDE 06



Nota: (Ospina et al., 2019).

Al tener un material granular en la zona de construcción se accedieron a el diseño de un drenaje en el muro el cual consta de 11 filtros de 2 pulgadas, los cuales 8 se encuentran ubicados a 1 metro y 3 de ellos a 2 metro como se evidencia en la ilustración 10, el tubo debe estar rodeado con geotextil para permitir el paso del agua y no ser interrumpida por el taponamiento del

material (Ospina et al., 2019). Con el propósito de ayudar a conducir las aguas filtrantes por la lluvia o la humedad del terreno.

Ilustración 10. *Diseño de filtros e instalación en el muro*



Nota: (Ospina et al., 2019).

Según (Ospina et al., 2019). la modelación permitió corroborar la estabilidad del muro, brindando un factor de seguridad de por medio del método Bishop $FS= 1.04$ y con el método Spencer de $FS=1.458$. lograron una reubicación a 200 unidades de neumáticos que se encontraban en tiraderos de escombros. Se recomendó hacer una revisión ménsula para evitar posibles movimientos, abultamientos o hundimientos y la revisión de los filtros que no se encuentren con material dentro.

A nivel Local se presentaron muchos casos similares como los expuestos anteriormente, sin embargo, para tener una noción más clara se requiere la investigación de proyectos a nivel local en la ciudad de Bogotá, y si es posible, que se encuentre en la Localidad Ciudad Bolívar. En el municipio de Soacha; Los estudiantes Juan Ramón Barón Zambrano y Luigi Sánchez Peña realizaron el diagnóstico y estudio de la viabilidad de la construcción de un muro en llantas en

el barrio La Capilla en Soacha, Cundinamarca, con el fin de dar solución a una problemática de inestabilidad de la zona (Zambrano & Peña, 2014)

Por medio de diferentes visitas realizaron el bosquejo de lo que sería la implementación de la estabilidad del talud por medio del uso de neumáticos como materiales de contención como se evidencia en la ilustración 11. Una zona apropiada para maquinaria y el armado del muro por parte de la comunidad.

Ilustración 11. *Bosquejo Vista Panorámica del Muro de Llantas*



Nota: (Zambrano & Peña, 2014).

Según Barón & Sánchez, se comprobó que el sistema constructivo con llantas sirve para los problemas de deslizamiento, convirtiéndose en una obra de contención económica con respecto a las soluciones tradicionales mediante muro de llantas flexibles.

7. Metodología

Se realizará una investigación mediante el método cuantitativo o método tradicional, por medio de la recopilación y el análisis de los datos obtenidos de diferentes fuentes encontradas (Bernal Torres , 2010). Se puede observar en la Tabla 1, las diferentes etapas que representara la ejecución del presente proyecto.

7.1. Recopilación de Información

Se adelantó un Estado del Arte mediante la consulta de información secundaria mediante la consulta de revistas proyectos de grado e investigación para conocer desde los inicios la metodología de la estabilización de taludes, por medio de neumáticos como materiales de contención; se solicitaron datos topográficos de la Plataforma Distrital de Datos abiertos de Bogotá, recolectando toda la información posible de proyectos y estudios ya realizados en la zona de estudio y sus alrededores con el fin de conocer sus características geológicas, geomorfológicas, sísmicas y de riesgo por medio del Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER).

7.2. Determinación de Perfil Geotécnico de Análisis

La determinación del perfil geotécnico estará basada en el análisis de los datos de estudios ya realizados e información confiable recopilada anteriormente, teniendo presente que es un proyecto netamente académico, los valores de los parámetros geomecánicos estarán basados en proyectos reales ya ejecutados en la localidad, con el fin de poder generar un análisis geotécnico y proponer una alternativa que cumpla con los parámetros establecidos por la NSR-20 Título H.

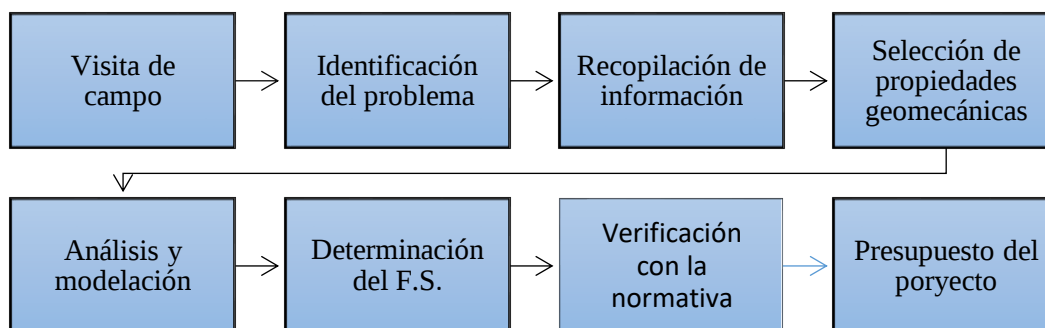
7.3. Modelación Mediante Software Especializado

Una vez se haya seleccionado el perfil y los parámetros geomecánicos para su respectivo análisis, se modelará mediante un software especializado en geotecnia (Slide), por medio del método de Mohr Coulomb, con el fin de conocer su comportamiento geotécnico frente a una situación sin nivel freático y con nivel freático superficial, demostrando el cumplimiento de los factores de seguridad establecidos por la norma sismo resistente del 2010.

7.4. Propuesta de Prediseño

Finalmente, el proyecto busca presentar una alternativa con un enfoque social, económico y ambiental, el cual cumpla con la normativa y sea visualmente agradable para la comunidad, teniendo en cuenta que por la pandemia (Covid-19) no se pudieron realizar los ensayos de laboratorio pertinentes y se trabajó por medio de información secundaria, el proyecto será netamente académico y en caso de ser seleccionado por la junta de acción comunal del barrio se deberán tener muy en cuenta las recomendaciones del proyecto.

Tabla 1. Metodología del Proyecto



8. Desarrollo del Caso de Estudio

8.1. Antecedentes

La localidad de Ciudad Bolívar presenta una gran inestabilidad por los diferentes factores detonantes que se presentan en esta zona, como son (morfología, geología, el agua, el

hombre, entre otras), a causa de esto, se ha clasificado los terrenos de la localidad en zonas de baja, media y alto riesgo de deslizamientos (IDIGER, 2019). En el barrio Naciones Unidas, se encuentra un talud perteneciente al escenario deportivo que, por falta de la cobertura vegetal, frecuencia de las lluvias y de daños en la estructura de contención, tal como se evidencia en la ilustración 12, se ha generado un proceso de erosión y desprendimiento del material, poniendo en riesgo las estructuras cercanas, la salud y la seguridad de la comunidad que habita y convive en este espacio público.

Ilustración 12. *Zona de Estudio*



En la ciudad de Bogotá, específicamente en la localidad de Ciudad Bolívar, ha presentado un gran asentamiento de comunidades de manera ilegal, dando origen a sectores de invasión. Tal como asegura María Carolina Castillo, secretaria del Hábitat del Distrito, que cada año que pasa el número de asentamientos ilegales crece. Para el caso de la capital estos pasaron de 15.832 en 2012 a 20.819 en 2016. Además, en 2003 había 813 hectáreas ocupadas ilegalmente, mientras que el año 2020 estas cifras estaban en 3.690. A pesar de las escandalosas cifras, esta situación no es nueva ya que el 21% del suelo urbano de Bogotá es de origen informal (Semana Sostenible, 2017). Para el 2020 aún se siguen presentando casos de invasión en esta localidad, con la diferencia que la Alcaldía Mayor de Bogotá ha hecho procesos de desalojo y reubicación de estas familias que viven en zonas de alto riesgo con posibilidades de derrumbes.

Uno de los principales factores detonantes para la remoción en masa, que se presentan en la localidad de Ciudad Bolívar, tiene sus orígenes en las frecuentes lluvias y los diferentes problemas que enfrentan con los drenajes; es evidente la existencia de lugares de invasión que no cuentan con la construcción de un acueducto y alcantarillado y otros que presentan grandes daños en sus tuberías, generando diferentes fugas (El Tiempo, 1995). Uno de los casos más recientes fue el 16 de agosto del 2019 en el Barrio Caracolí- Ciudad Bolívar, siendo evidentes los deslizamientos de tierra causados por la instalación improvisada, por parte de la comunidad, de inadecuados sistemas para el suministro de agua de forma ilegal desde un tanque del Acueducto de Bogotá (El Tiempo, 2019). Es necesario, además, tener en cuenta que la filtración de agua es uno de los factores que más comúnmente se asocia con las fallas de los taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos.

Los casos de remoción en masa en Bogotá, han sido tema de diversas investigaciones con miras a su prevención, puesto que en general se producen y afectan a las comunidades más vulnerables, caso de la localidad de Ciudad Bolívar, que por sus características (topografía, geología, morfología, de drenajes, entre otros) resulta ser más propensas a los deslizamientos de tierra (IDIGER, 2019). Existen registros acerca de uno de los mayores deslizamientos urbanos ocurridos en América Latina que afectó cerca de 73 hectáreas (Ha), caso presentado en la localidad de Ciudad Bolívar, sector de los Altos de la Estancia a inicios del año 1997, donde se encontraban instaladas 3.500 familias y un número próximo a las 17.500 personas, asentadas en una zona de riesgo no mitigable. En el 2003, en el barrio Naciones Unidas a causa del invierno y el desbordamiento de la quebrada La Lima, se generó una avalancha dejando 11

personas lesionadas, sin ninguna víctima mortal, pero afectando y destruyendo viviendas, llevando a la evacuación de más de 30 familias.

De igual manera, las regiones centroamericanas son propensas al fenómeno de remoción en masa (deslizamientos, derrumbes o desprendimientos), implicando grandes costos para la comunidad afectada; de allí que la metodología de muros de contención con neumáticos ha sido considerada como una forma de estabilización viable, económica, práctica y sostenible; como se evidencia en la ilustración 13, ella ha sido utilizada por diferentes comunidades de bajos recursos, al ser un proceso que no requiere una costosa mano de obra calificada o maquinaria especializada, además de ser una alternativa ambiental que permite reutilizar los neumáticos que son desechados y abandonados por la misma comunidad (Guía de la Construcción del muro de contención, 2010). Uno de los casos más representativos de esta metodología es el muro de contención en el barrio La Paz- Floridablanca, departamento de Santander, logrando por medio de esta obra mitigar los deslizamientos, agrietamiento y protección de 90 viviendas, instalando, la propia comunidad, 300 llantas como una medida de precaución invernal (Castro Ariza , 2016).

Ilustración 13. *Muro de Gravedad con Llantas*

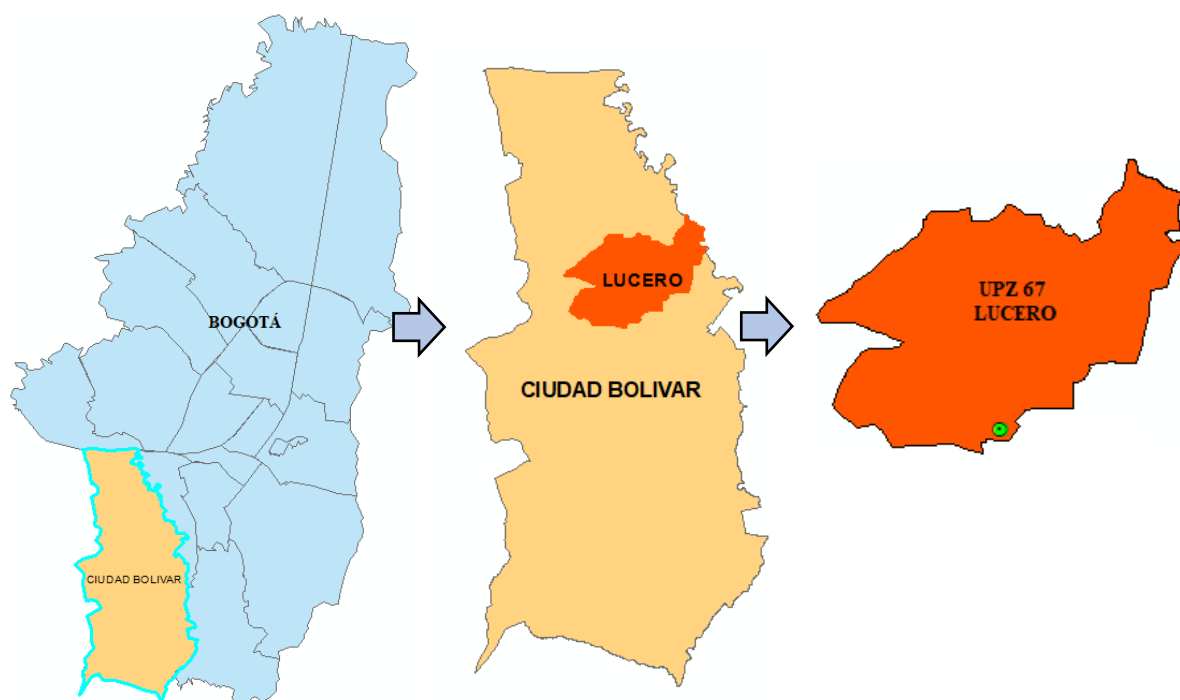


Nota: (Nader Giraldo, 2018).

8.2. Localización y Ubicación

La localidad de Ciudad Bolívar se encuentra ubicada al suroccidente de Bogotá, la cual colinda al norte con la localidad de Bosa, al sur con la localidad de Usme y Sumapaz; al este con la localidad de Tunjuelito y Usme, y al oeste con el municipio de Soacha. Tiene una extensión total de 12.998 hectáreas (ha), de las cuales el 26,1 % que corresponden a 3.391 hectáreas (ha), se clasifican como suelo Urbano y el 73,9 %, correspondiente a 9.608 hectáreas (ha), son suelo Rural (Peña Robles, 2015), siendo considerada como la tercera localidad con mayor superficie rural y como la quinta localidad con mayor cantidad de área urbana (IDIGER, 2019), En cuanto a localidades, la cual se divide en 8 (Unidad de Planeamiento Zonal) UPZ, en la ilustración 14 se muestra la localización del UPZ 67-Lucero, así como la localización del sitio objeto del estudio.

Ilustración 14. Localización del UPZ 67 Lucero



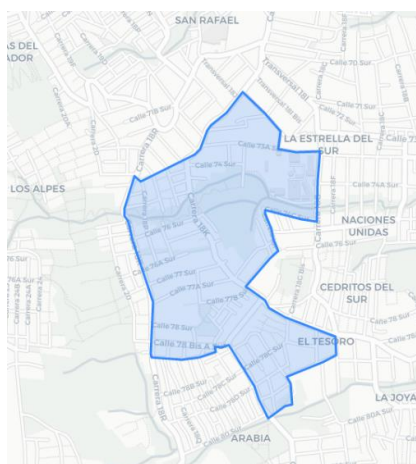
Nota: Plataforma Distrital de Datos abiertos de Bogotá

Tal como se indicó anteriormente, la zona de estudio se encuentra ubicada en el UPZ 67 Lucero, compuesta por los siguientes barrios: Álvaro Bernal Segura, Lucero Alto, Lucero Medio, Lucero Bajo, Domingo Laín, El Bosque, El Castillo, El Paraíso, El Mirador, Bella Flor, La Torre, Estrella del Sur, El Triunfo, Gibraltar Sur, Juan Pablo II, La Alameda, La Cabaña, La Escala, Las Manitas, Los Alpes, El Satélite, La Torre, Los Andes de Nutibara, La Estrella de Lagos, Ciudad Milagros, Compartir, Buenavista, Marandú, Meissen, Brisas del Volador, México, Nueva Colombia, Naciones Unidas, Tierra Linda, Vista Hermosa, Villa Gloria y Capri.

El barrio Naciones Unidas cuenta con una extensión de 12.4 Hectáreas (Ha) y una población (aproximada) de 1.517 habitantes (Peña Robles, 2015). Cómo se puede muestra en la ilustración 15, se encuentra delimitada así:

- Por el Norte: Calle 74C Sur y Calle 75 Sur - Quebrada El Zanjón de la Estrella.
- Por el Sur: Calle 78 BISA Sur.
- Por el Oriente: Carrera 18K - Corredor de Movilidad Local.
- Por el Occidente: Carrera 20.

Ilustración 15. Localización Barrios Naciones Unidas



Nota: Portal de Mapas de Bogotá. mapas.BOGOTÁ.gov.co/portalmapas

Por medio del SIG (Sistema de Información Geográfica) se realizó la ubicación y análisis de la zona de estudio, identificando las coordenadas de un punto central, el cual está marcado con rojo, tal como se puede observar en la ilustración 16, sus respectivas coordenadas se encuentran ilustradas en la tabla 2, las cuales se rigen bajo las siguientes condiciones geográficas:

- Sistema de coordenadas: Magna Ciudad Bogotá
- Meridiano Central: -74,149630
- Proyección: Transverse Mercator
- Factor de escala: 1,0000
- Datum: MAGNA
- Latitud de Origen: 4,539874
- Falso Este: 1.000.000,0000
- Unidad: Metro
- Falso Norte: 1.000.000,0000

Tabla 2. *Coordenadas Zona de Estudio*

Descripción	Coordenadas (m)
Y (Norte)	993771,742
X (Este)	991996,445

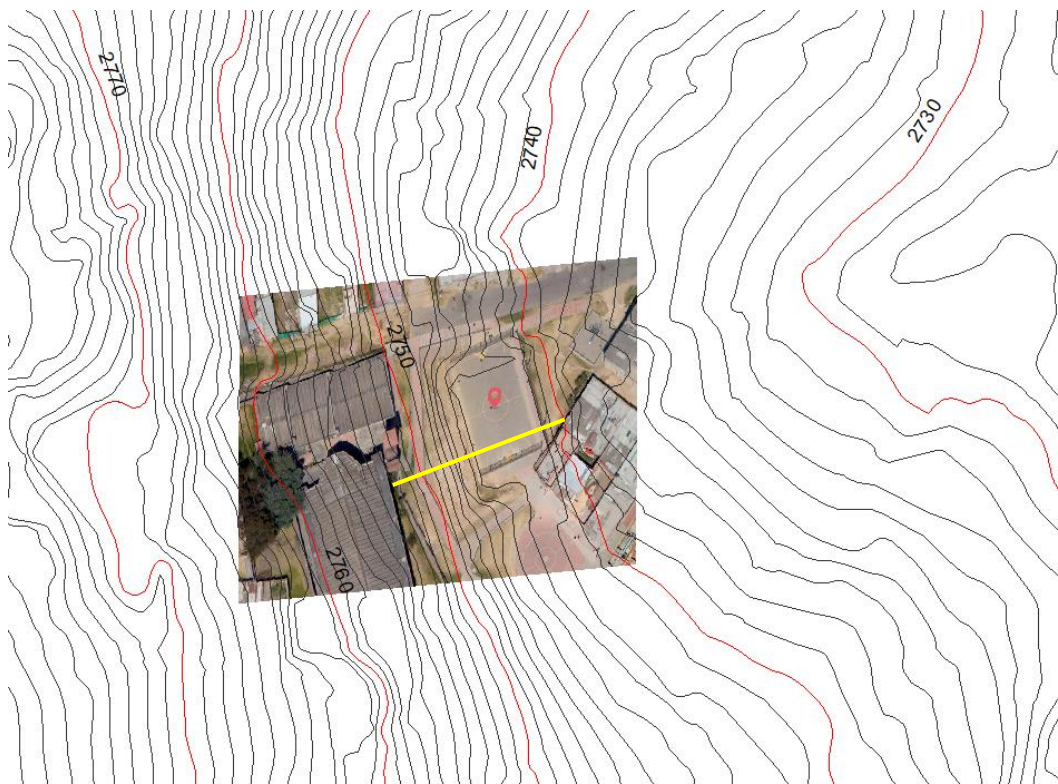
Ilustración 16. *Ubicación de la Zona de Estudio.*



8.3. Topografía

Según el Plan Local de Gestión del Riesgo y Cambio Climático de Ciudad Bolívar (PLGR-CC CB), su topografía es un 90 % montañosa y 10 % es plana (IDIGER, 2019). Ocupa terrenos comprendidos entre una altitud cerca a los 2.400 (msnm) metros sobre el nivel del mar en la parte más baja, y 3.100 (msnm) metros sobre el nivel del mar en su parte más alta (Escobar Peláez, 2019). La zona de estudio presenta una pendiente entre el 47 % y el 50 % como se puede evidenciar en la ilustración 18 y su respectiva topografía fue tomada de la plataforma Distrital de Datos abiertos de Bogotá, con una resolución espacial 1:1000, una precisión interna en el orden de (+-2 mm...+-7 mm), su exactitud horizontal en +- 2 cm y la vertical en +-6 cm (IDECA, 2016), como se observa en la ilustración 17, en donde se agregó una imagen georreferenciada para complementar la visualización de la zona de estudio.

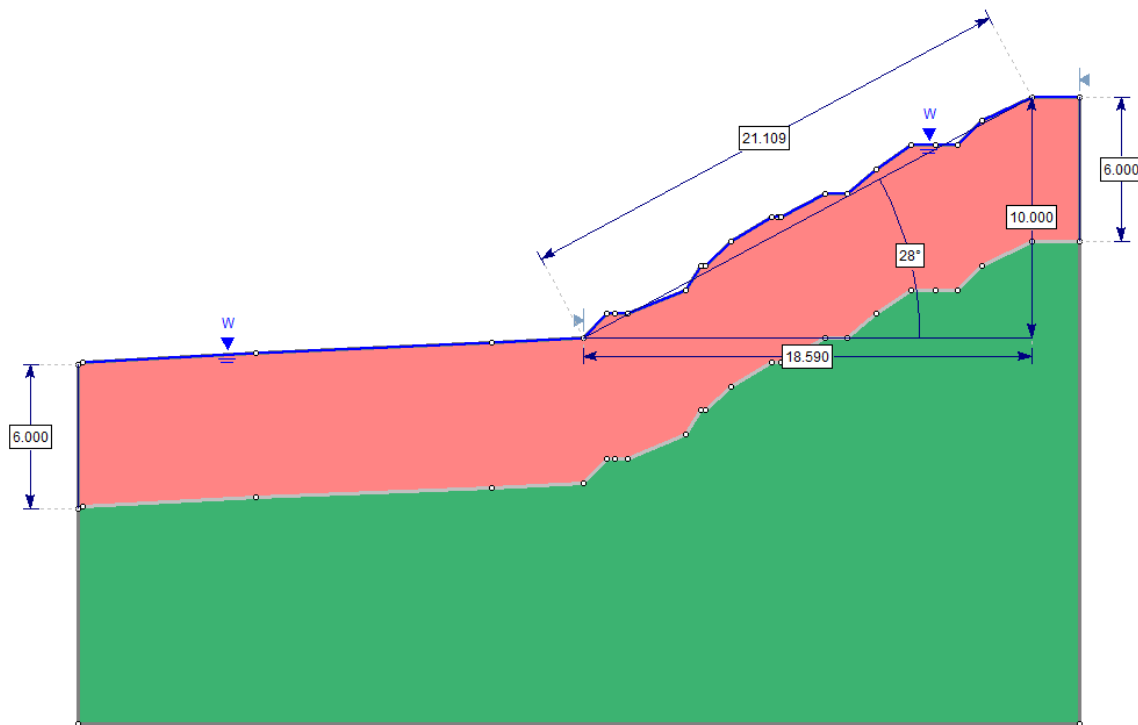
Ilustración 17. *Topografía de la zona*



Nota: Plataforma Distrital de Datos abiertos de Bogotá

Por medio de las curvas de nivel, se pudo obtener un perfil de talud de estudio como se observa en la ilustración 18, con una altura de 10 metros, una longitud de 18.6 metros y una pendiente de 28° .

Ilustración 18. Geometría del Perfil de Estudio



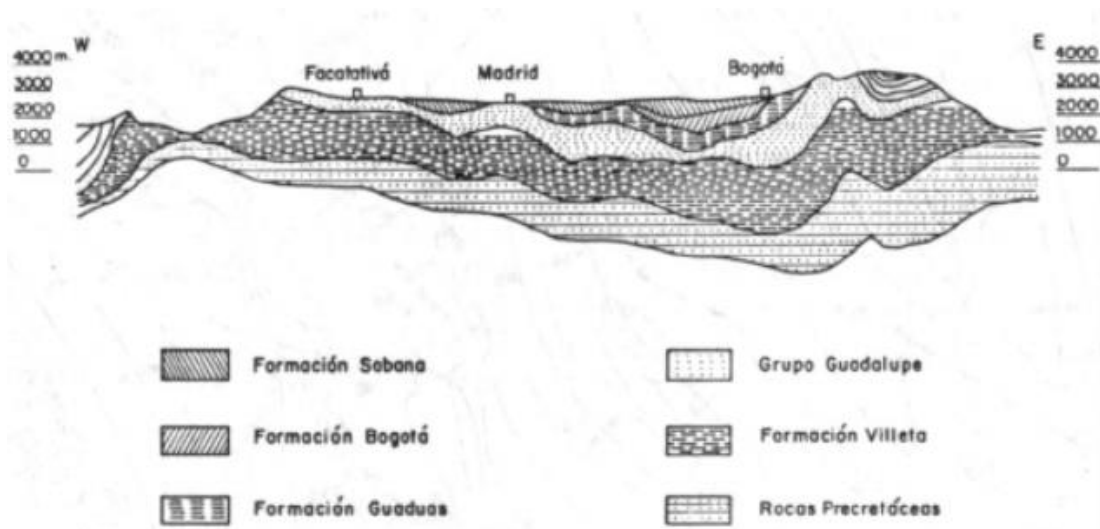
8.4. Geología

La estructura general de la geología de la Sabana de Bogotá es la de un sinclinorio (conjunto de pliegues que forma un sinclinal), formado por rocas sedimentarias del Cretáceo y Terciario, de origen marino, parálico y continental; La base del sinclinorio es de grupo Guadalupe, el cual es un grupo geológico que se extiende desde la cordillera orientada hasta el piedemonte llanero y está dividido en tres unidades; Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Labor y Tierna (Moya Barrios & Rodríguez Ordoñez, 1987).

En la ilustración 19, se puede observar un corte transversal de la formación geológica de la Sabana de Bogotá, en donde se puede identificar 6 grupos principales; Formación Sabana,

Formación Bogotá, Formación Guaduas, Grupo Guadalupe, Formación Villeta y Rocas Pre Cretáceas. Las principales características del grupo de formación que presenta la zona de estudio se identifican a continuación:

Ilustración 19. *Geología Sabana de Bogotá*



Nota: (Moya Barrios & Rodríguez Ordoñez, 1987)

- Grupo Guadalupe:

En la Sabana de Bogotá, este grupo se reconoce por encima de la Formación Chipaque al oriente y sobre la Formación Conejo al occidente y es suprayacida en toda la Sabana por la Formación Guaduas. El grupo Guadalupe está conformado por las formaciones Arenisca Dura, Formación Plaeners, Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna, la cual está constituida por areniscas finas a muy finas, en capas muy delgadas y con intercalación de shale y limolitas sobre esta unidad se encuentra la Formación Plaeners constituida por limolitas silíceas, en capas delgadas, con partición en cubos con niveles de lodolitas grises, y en el nivel superior se encuentra una secuencia monótona de areniscas de cuarzo, finas a medias, en capas

muy gruesas, convergentes correspondientes a la Formación Labor y Tierna. (Pérez & Salazar, 1978).

8.4.1. Estratigrafía

Según un estudio realizado por la Caja de Vivienda Popular departamental de mejoramiento de barrios en el 2016, en el barrio el Tesorito, se realizaron dos apiques los cuales tiene las siguientes características: Apique No. 1 está formada de arena gravosa con arcilla de baja plasticidad color gris con vetas rojizas y una humedad natural baja. Este tipo de material se encontró entre los 5 cm y los 80 cm. Para el apique No.2 está formada de relleno antrópico conformado por una arcilla arenosa de baja plasticidad y desechos de construcción, con una humedad natural baja. Este tipo de materia se encontró entre los 70 cm y los 150 cm, de profundidad (Caja de Vivienda Popular, 2016).

Según el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático en 1998, se realizó una estabilización del talud perteneciente a la cantera del barrio Brisas de Volador que presentaba una litología de depósitos recientes del periodo cuaternario (Qr) y un depósito de materiales estériles y de deslizamiento (Qed); y por rocas del periodo Cretáceo de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt) del grupo Guadalupe (IDIGER, 1998).

8.4.1.1. Cuaternario

- **Relleno (Qr)**

Depósito medianamente compactado el cual está conformado por arenas, arcillas y fragmentos de arenisca que hacen parte del material estéril, el cual es producto de la explotación de canteras. Presentado una estimación no superior a 4 metros según el Instituto Distrital de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER, 1998).

- Depósitos de Material Estériles y de Deslizamiento (Qed)

Depósito no consolidado el cual está conformado por suelo, arcilla, arena, fragmentos y grandes bloques de arenisca los cuales son correspondientes a estériles de la actividad extractiva, material deslizado y material arrastrado por el agua de escorrentía dispuestos en forma caótica. Una mezcla de arcillas y arenas soportando los bloques de areniscas (IDIGER, 1998), El espesor de este depósito es variable, en la perforación PT-BV-1 realizada en este estudio es de 4,70 m; en la perforación PV-2, ejecutada por ESTUDIOS TÉCNICOS (1990), es de 8,15 m y en el borde frontal del depósito, situado en la parte baja de la zona de estudio, alcanza 8,50 m aproximadamente.

8.4.1.2. Cretáceo

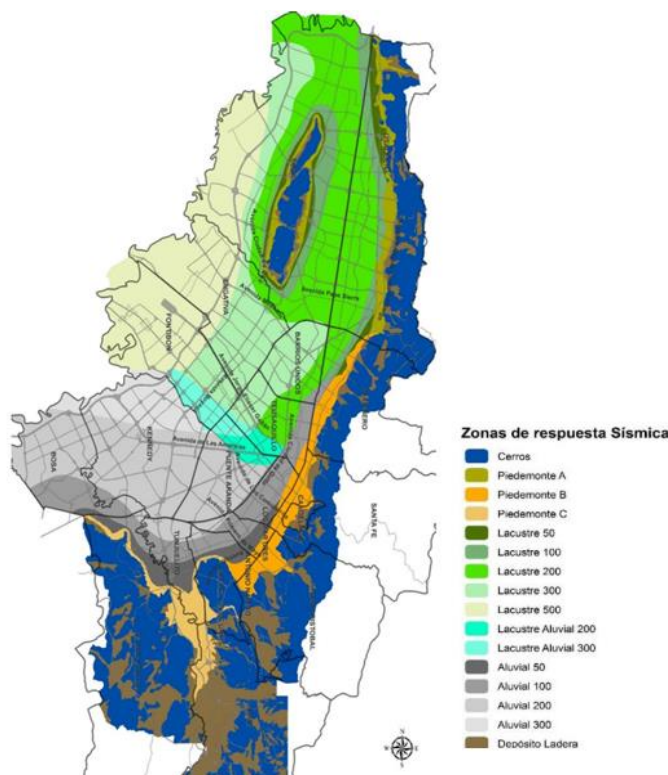
- Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

Se destaca morfológicamente formando pendientes estructurales y escarpes prominentes, en muchas de las estructuras anticlinales y sinclinales del área de la sabana de Bogotá, la cual está constituida predominantemente por arenisca cuarzosa de grano fino y grueso a muy grueso, de color amarillo claro, en capas gruesas y muy gruesas las cuales son separadas por delgados niveles interestratificados de lodolitas, limolitas y arcillolitas de color gris oscuro (IDIGER, 1998). La zona de estudio aflora un nivel de arenisca de espesor variable comprendido entre 4 y 16 metros, infrayacido por un nivel de arenisca del orden de 2,90m de espesor según la perforación PT-BV-1, En el sector de Brisas del Volador, las capas de la Formación Arenisca Tierna hacen parte del flanco occidental del sinclinal de Usme, presentando orientación general N 12° - 37° W/35° - 45° NE.

8.5. Microzonificación Sísmica

A partir del mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, el INGEOMINAS y la Universidad de los Andes en el año de 1997, establecieron por medio de un estudio diferentes parámetros sísmicos y generando un sistema de clasificación del suelo por zonas (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997), desde la Zona 1 (verde)- Cerros, Zona 2 (Amarillo)– Piedemonte, Zona 3 (rojo)- Lacustre A, Zona 4 (naranja)- Lacustre B, Zona 5 (Café)- Terrazas, Zona 5A (Vinotinto) - Terrazas y conos potencialmente licuables, Zona (Azul)- Rondas de ríos y humedales, Zona (gris)- rellenos y basuras y Zona (gris oscuro)- Rellenos de excavación, pero en el año 2010 se realizó una actualización mucho más detallada de las zonas de microzonificación sísmica en Bogotá a cargo del decreto 523 de 16 de diciembre del 2010, como se puede observar en la ilustración 20.

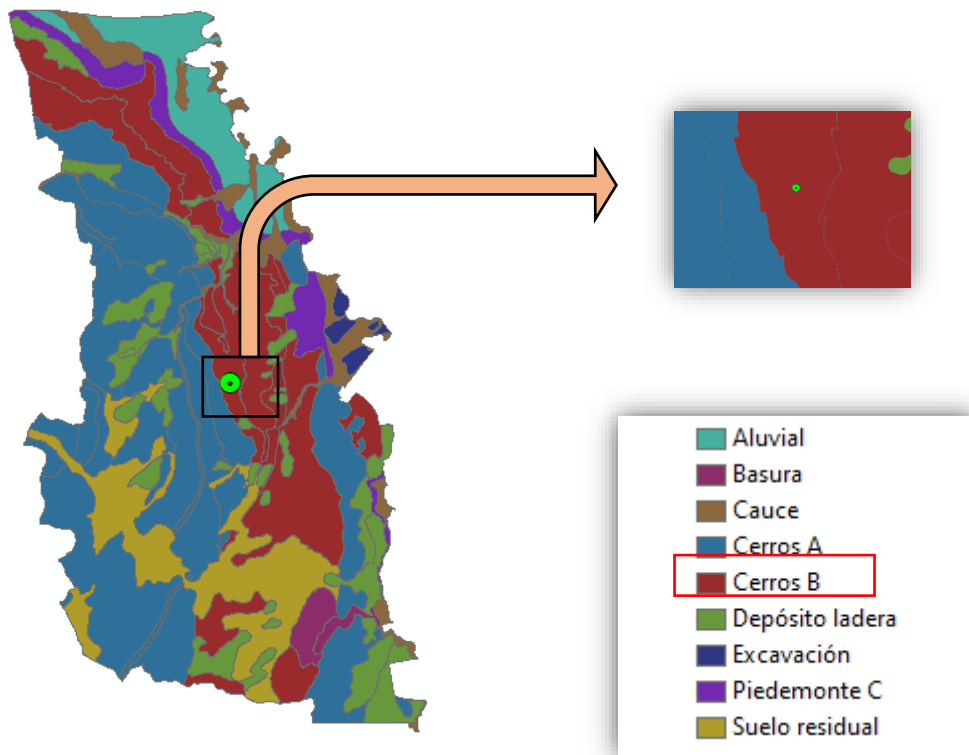
Ilustración 20. Mapa de microzonificación sísmica de Bogotá



Nota: (Decreto 523 de 16 de diciembre del 2010)

Dada la información en la en la ilustración 21, se observa que la zona de estudio se encuentra en su totalidad en la zona 1, la cual corresponde a Cerros B, a continuación, se presenta por medio de la tabla 3, la descripción de la zona según el decreto 523 del 16 de diciembre del 2010.

Ilustración 21. *Microzonificación Sísmica de la Localidad de Ciudad Bolívar*



Nota: Plataforma Distrital de Datos abiertos de Bogotá

Tabla 3. *Descripción de la zona Geotécnica*

Nombre	Geotecnia	Geología	Espesor del Depósito (m)	Geomorfología	Composición Principal	Comportamiento Geotécnico General
Cerros A	Roca de arenisca	Formación de Areniscas	<6	Cerros de Alta Pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas.

Cerros B	Roca de arcillolita	Formación de Arcillolitas	<6	Cerros de Moderada a Alta Pendiente	Arcillolitas Blandas	Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización. Problemas de estabilidad de taludes en excavación a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas.
----------	---------------------	---------------------------	----	-------------------------------------	----------------------	--

Nota: Decreto 523 de 16 de diciembre del 2010

Para realizarse el diseño sísmico para un talud perteneciente a un escenario deportivo, se debe aplicar la NSR-10, ya que si fuera un talud para una vía se debería aplicar el “Código Sísmico de Diseño de Puentes”. El coeficiente sísmico de diseño para análisis Seudoestático de taludes (K_{ST}), al ser un talud que presenta suelo, macizo rocoso muy fracturado ($RQD < 50\%$) Rock Quality Designation, el valor de la relación $K_{ST} / A_{max} = K$, como se puede evidenciar en la tabla 4.

$$\frac{K_{ST}}{A_{max}} = 0.8$$

Tabla 4. Valores de K_{ST}/A_{max} Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados ($RQD < 50\%$)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos ($RQD > 50\%$)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Nota: (NSR-10 Título H)

8.5.1. Aceleración Máxima del Terreno:

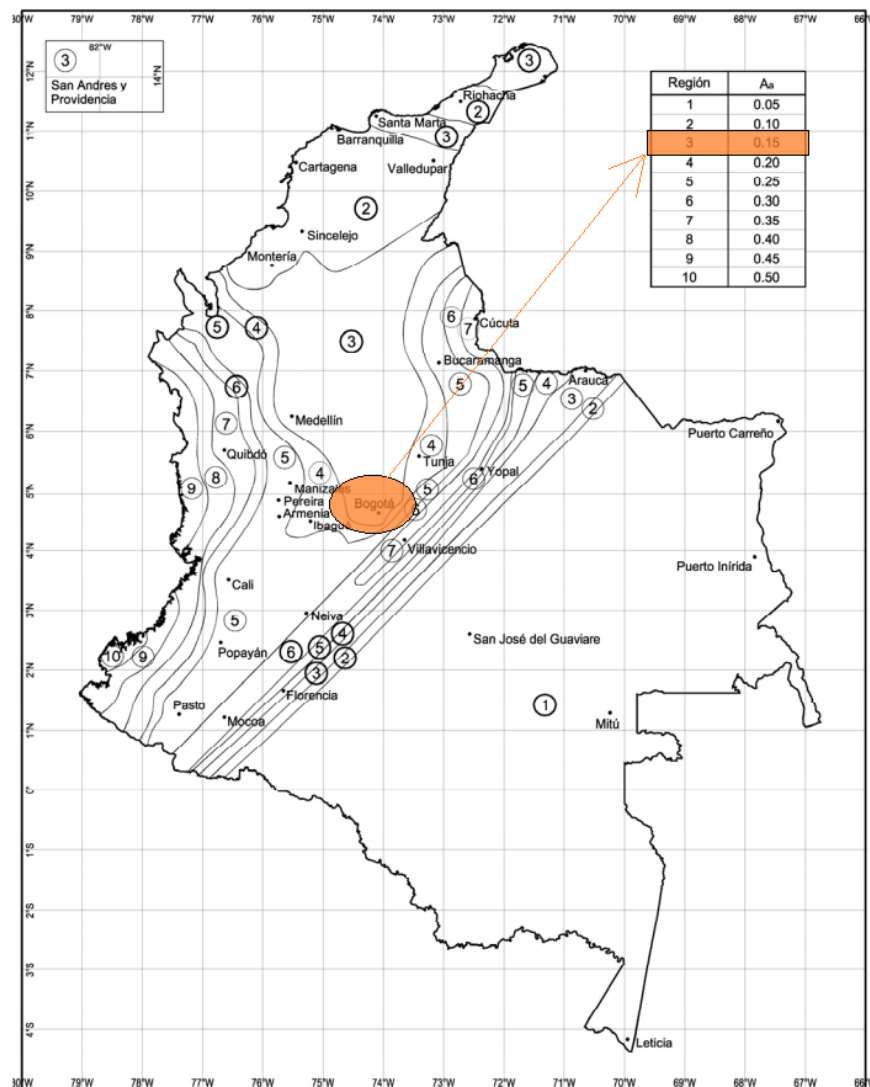
El A_{max} es la aceleración máxima del terreno para un periodo cero, la cual se obtiene por medio de un análisis de amplificación de ondas unidimensionales o bidimensionales en el terreno a apartar del espectro normativo (NSR, 2010).

$$A_{max} = A_a * F_a * I$$

- **Aa** (Coeficiente de Aceleración Horizontal, pico efectiva):

El Coeficiente de Aceleración Horizontal se calcula dependiendo de la región en la cual se encuentra la zona de estudio, para la ciudad de Bogotá se encuentra ubicada en la región # 3, de tal forma el valor de Aa es de 0.15 como zona de amenaza sísmica intermedia, como se puede evidenciar en la imagen 22.

Ilustración 22. Mapa de Valores Aa

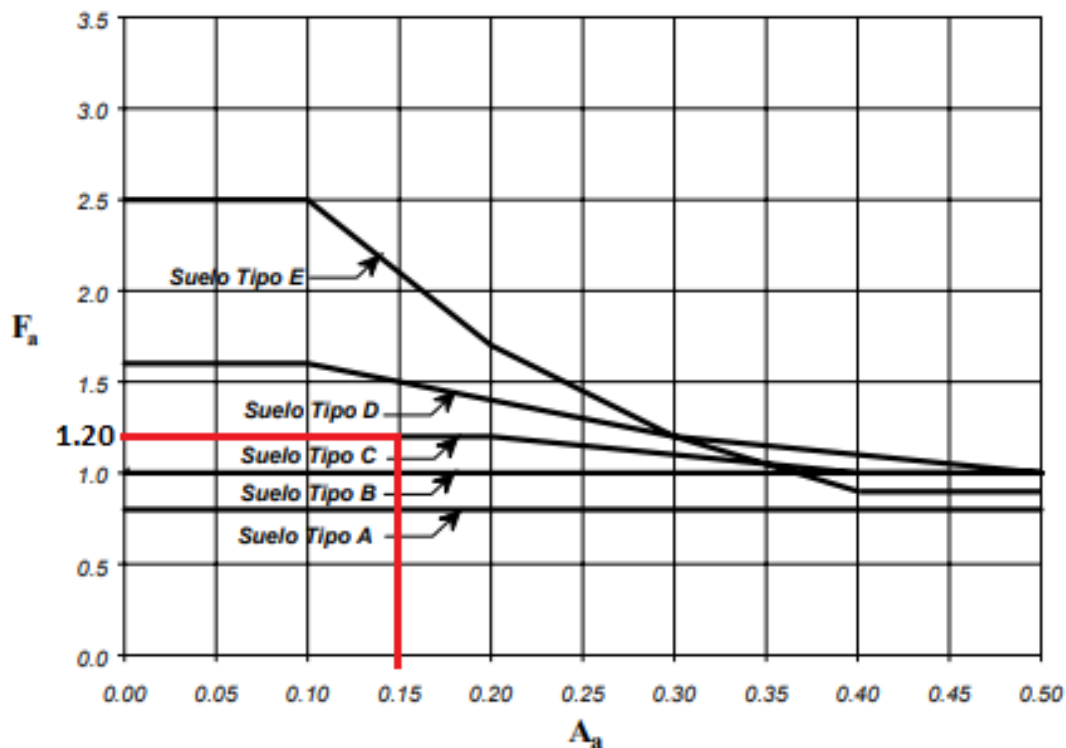


Nota: (NSR, 2010)

- **F_a** (Coeficiente de amplificación en periodos cortos):

Para el coeficiente de amplificación de periodos cortos, se tiene que identificar el tipo de suelo, teniendo en cuenta que nuestro suelo es tipo C según la investigación geológica y geomorfológica, se procede a identificar el A_a (Coeficiente de Aceleración Horizontal, pico efectivo) y en la intersección con la línea del Suelo Tipo C se identificará el F_a (Coeficiente de amplificación en periodos cortos), el cual es de 1.20 como se identifica en la ilustración 23.

Ilustración 23. Coeficiente de Amplificación F_a del Suelo para la Zona de Períodos Cortos del Espectro.



Nota: (NSR, 2010)

- **I** (coeficiente de Importancia):

El coeficiente de importancia para los taludes es 1.0, teniendo en cuenta que el talud no es una estructura de primera necesidad en una emergencia, como lo sería una estructura de

importancia 4.0, que serían un hospital o una estación de policía, como se puede evidenciar en la tabla 5 de Valores del Coeficiente de Importancia según la NSR-10.

Tabla 5. Valores del Coeficiente de Importancia

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Nota: (NSR, 2010)

Aplicando la fórmula podemos de Amax, en donde se evidencia que la Aceleración Máxima del Terreno es de 0.18.

$$A_{max} = 0.15 * 0.20 * 1.0$$

$$A_{max} = 0.18$$

Teniendo el Amax (Aceleración Máxima del Terreno), se puede realizar el cálculo del coeficiente sísmico de diseño, el cual presenta un valor de 0.144, por medio de este se realiza el análisis Seudoestático el cual debe tener un factor de seguridad mayor o igual a 1.05 según la NSR del 2010.

$$\frac{K_{st}}{A_{max}} = 0.8$$

$$K_{st} = A_{max} * 0.8$$

$$K_{st} = 0.18 * 0.8$$

$$K_{st} = 0.144$$

8.6. Hidrología

Según el Consejo Local de Riesgo y Cambio Climático de Ciudad Bolívar, el principal recurso hídrico de la localidad de Ciudad Bolívar es la cuenca del río Tunjuelito, la cual recibe afluentes de la quebrada Limas, Trompeta, la Estrella y el Infierno. Complementando el sistema hídrico de la localidad 19, encontramos las quebradas Quiba, Calderón, Bebedero y Aguas Caliente entre otras (IDIGER, 2019).

8.7. Propiedades Geomecánicas Seleccionadas

Para determinar las propiedades mecánicas del suelo se utilizó información de los ensayos realizados por el INGEOMINAS en 1987 en estudios previos cerca de la zona de estudio, los cuales alcanzaron profundidades entre los 8,45 m (metros) hasta las 20,60 m (metros) (IDIGER, 1998), con esto se pudieron obtener los parámetros básicos para el análisis de la estabilidad, los cuales se pueden observar en la Ilustración 24. Posteriormente para darle mayor rugosidad al análisis del modelo el IDIGER, 2017 realiza 5 sondeos para conocer el subsuelo de la zona de altos de la estancia en la localidad de Ciudad Bolívar, de esta forma conocieron y analizaron que a una profundidad promedio de 30 metros se encuentra el estrato de (Kpggu) Nivel Roca Moderadamente Meteorizada (IIA), para lo cual según los ensayos de laboratorios obtuvieron los siguientes parámetros geomecánicos que se puede observar en la Tabla 6.

Ilustración 24. *Propiedades Geomecánicas reportadas por el Estudio Sitio 1.6: Barrio Brisas del Volador de 1998*

Parámetro	Resistencia pico	Resistencia residual
Ángulo de fricción interna	26°	14°
Cohesión	32 kPa	18 kPa

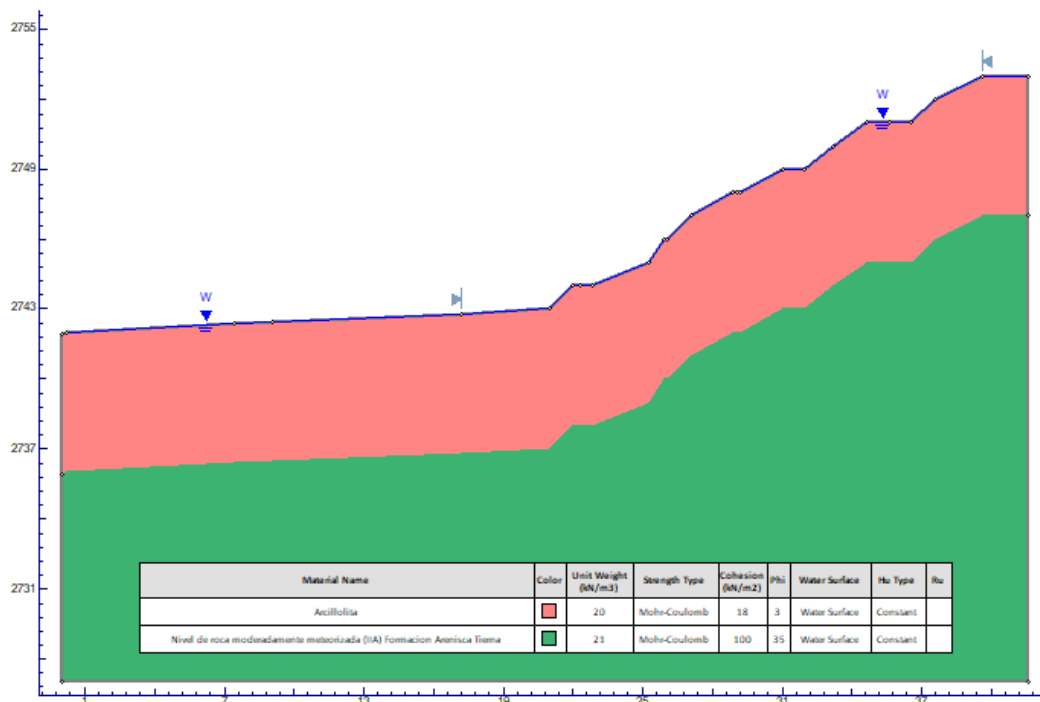
Nota: Ensayos de Laboratorios del INGEOMINAS en 1987 (IDIGER, 1998)

Tabla 6. *Resumen Propiedades Geomecánicas del Suelo. Se Resaltan las Propiedades Seleccionadas para el Estudio*

UNIDADES DE SUELO	MATERIAL PARENTAL O ROCA FUENTE	PESO UNITARIO (KN/M3)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (KPa)
Sr	Kpggu	21,7	32	81
IIA	Kpggu	21	35	100
Qco	Kpggu	16,9	19,3	15,3
Qco	Kslti	20	27,3	9
Qae	Qae	18	30	5

Nota: (IDIGER, 2017)

Ilustración 25. *Modelo de Análisis*



9. Análisis Geotécnico

9.1. Retro-Cálculo

El procedimiento que se implementó para realizar el retro análisis del terreno fue el siguiente: Se inició con la identificación de la superficie de falla, teniendo en cuenta que en la visita de campo se evidenciaron ondulaciones y grietas en el escenario deportivo como se puede observar en la ilustración 26, posteriormente se realizó la modelación del terreno con los parámetros de laboratorio, ángulo de fricción 14° y una cohesión de 18 Kpa, generando un factor de seguridad de 1.47, como se puede evidenciar en la ilustración 27. Luego se analizó con la condición más crítica del nivel freático superficial indicando un factor de seguridad de 1.115 como se puede observar en la ilustración 28.

Ilustración 26. *Grietas del Escenario Deportivo*



El objetivo del retro análisis es variar el ángulo de fricción, a partir de las condiciones reales con el fin de lograr un factor de seguridad de 1, considerando la misma superficie de

falla, esto para conocer los parámetros geotécnicos del momento de inestabilidad del material, mostrando un factor de seguridad de 1.

Ilustración 27. *Modelo del Terreno con los Valores de Laboratorio*

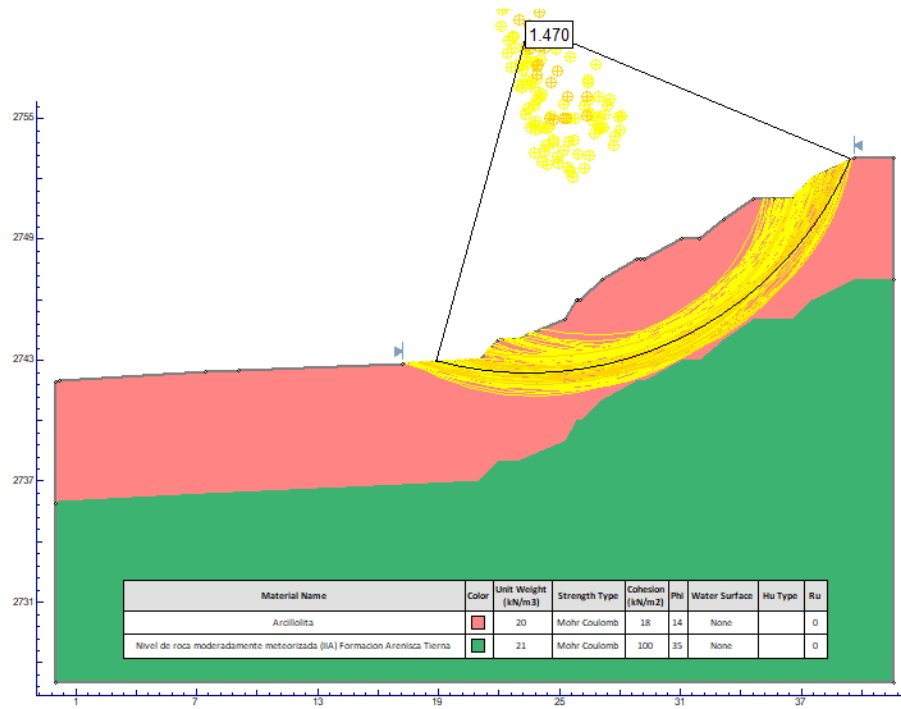
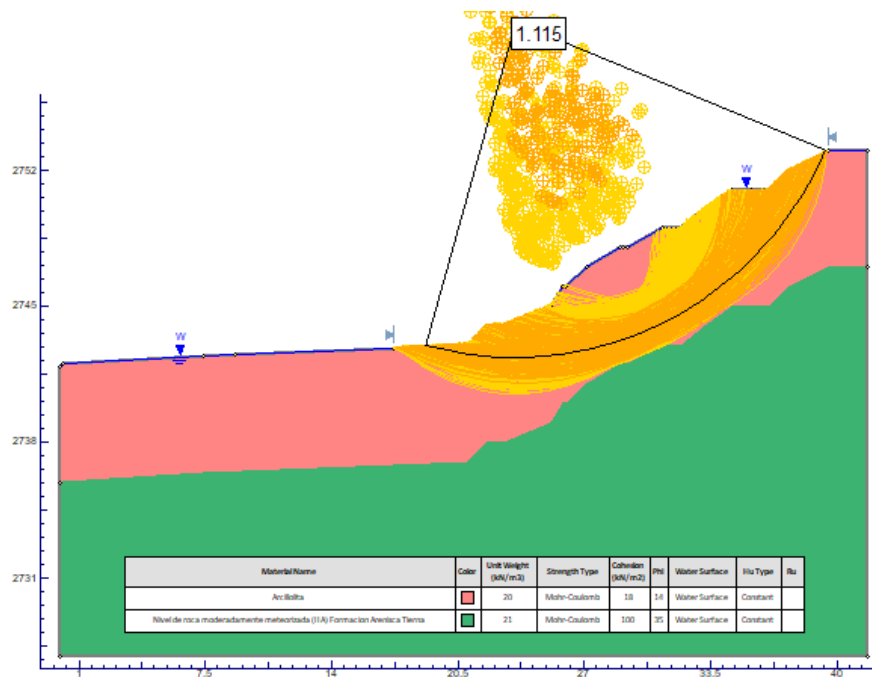


Ilustración 28. *Modelo del Terreno con Valores de Laboratorio y Nivel Freático Superficial.*



Al realizar el retro análisis variando el ángulo fricción a 3 grados, se obtiene un factor de seguridad de 1.002 como se puede observar en la ilustración 29, también se realiza el retro análisis para la condición del nivel freático superficial, con un ángulo de fricción de 7.5 grados, generando un ángulo de fricción de 1, como se puede observar en la ilustración 30.

Ilustración 29. *Modelo del Terreno con Valores del Retro Análisis.*

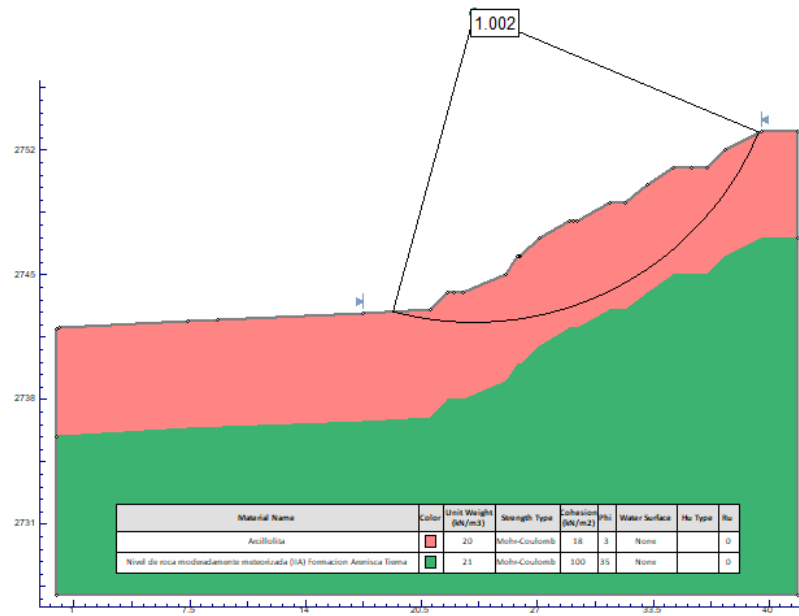
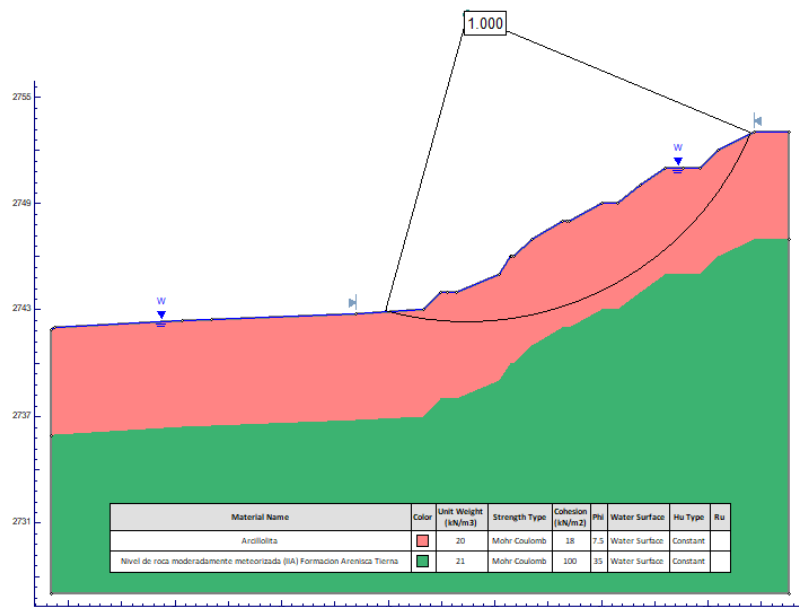


Ilustración 30. *Modelo del Terreno con Valores del Retro Análisis y Nivel Freático Superficial.*



9.2. Análisis Global

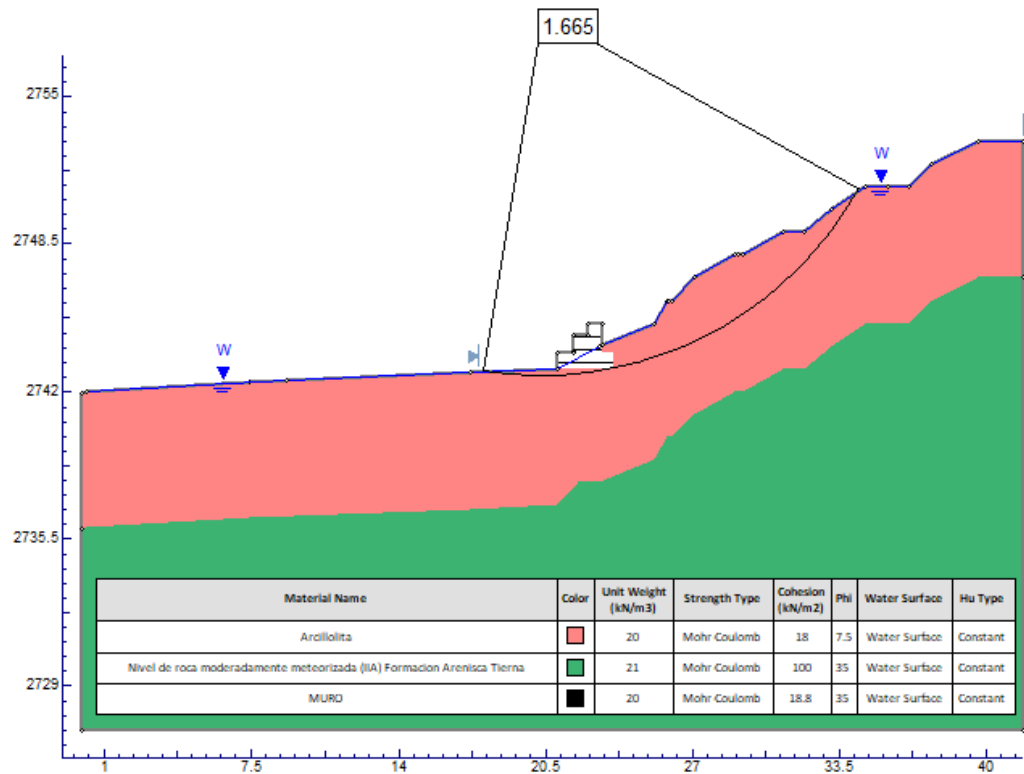
El procedimiento que se utilizó para el análisis global fue identificar los parámetros geotécnicos que alimentan el muro de contención, al utilizarse una metodología de estabilización por medio de neumáticos, se realizó una investigación la cual brindó la información de los datos de resistencia para los materiales elásticos por medio de la tensión de fluencia bajo corte de las telas de cuerpo a talones como se evidencia en la tabla 7, los cuales son los encargados asumir la resistencia total de una llanta.

Tabla 7. Datos de Resistencia de los Materiales de un Modelo Elástico.

Material	Tensión de fluencia uniaxial σ_{11}	Tensión de fluencia uniaxial σ_{22}	Tensión de fluencia uniaxial σ_{33}	Tensión de fluencia bajo corte τ_{12}	Tensión de fluencia bajo corte τ_{13}	Tensión de fluencia bajo corte τ_{23}	Endurecimiento a_{11}
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	MPa
Innerliner	25	25	25	18.8	18.8	18.8	7
Telas de cuerpo a talones	25	25	25	18.8	18.8	18.8	70000
Acero	400000	400000	400000	300000	300000	300000	206000

Nota: Zaradnik, Raúl. (2018)

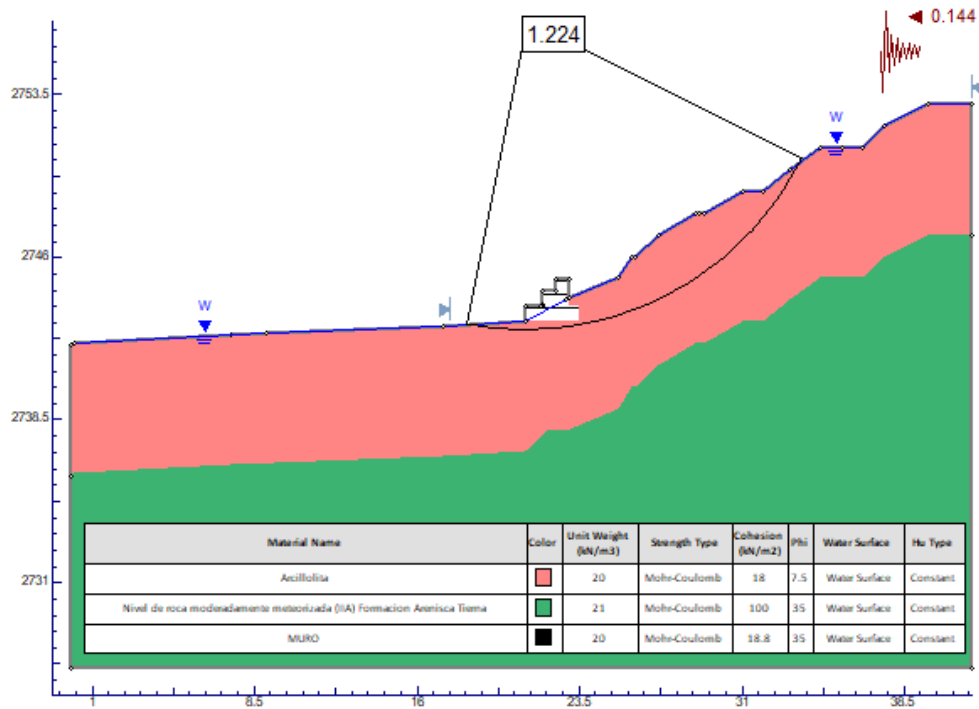
Según la NSR-10 del Título H- Estudios geotécnicos, el factor de seguridad para el análisis global debe ser mayor o igual a 1.5 para garantizar la estabilidad del talud por medio del muro de contención, como se puede observar en la ilustración 31, se cumplió con este requerimiento normativo generando un factor de seguridad de 1.67. Además, este factor de seguridad es generado en condiciones críticas (nivel freático superficialmente).

Ilustración 31. Modelo Análisis Global.

9.3. Análisis Seudoestático

Teniendo en cuenta las condiciones sísmicas de Bogotá, se realizó un Análisis Seudoestático, el cual por medio de la aceleración máxima del sismo la NSR-10 del Título H- Estudios geotécnicos, presenta un factor de seguridad igual o mayor a 1.05. para el análisis Seudoestático se presenta un factor de seguridad de 1.23 como se puede observar en la ilustración 32, cumpliendo con la Norma Sismo Resistente Colombiana para el 2010 (NSR-10).

Ilustración 32. Modelo del Análisis Seudoestático



Para poder limitar los valores se tiene en cuenta la bibliografía por medio de valores típicos para el material y la pendiente del terreno como se puede observar en la tabla 8, a partir de esto se selecciona el valor más representativo entre las propiedades halladas en laboratorios y el retro cálculo, teniendo en cuenta el nivel freático en el caso más crítico superficialmente.

Tabla 8. Límites de las Propiedades Geotécnicas

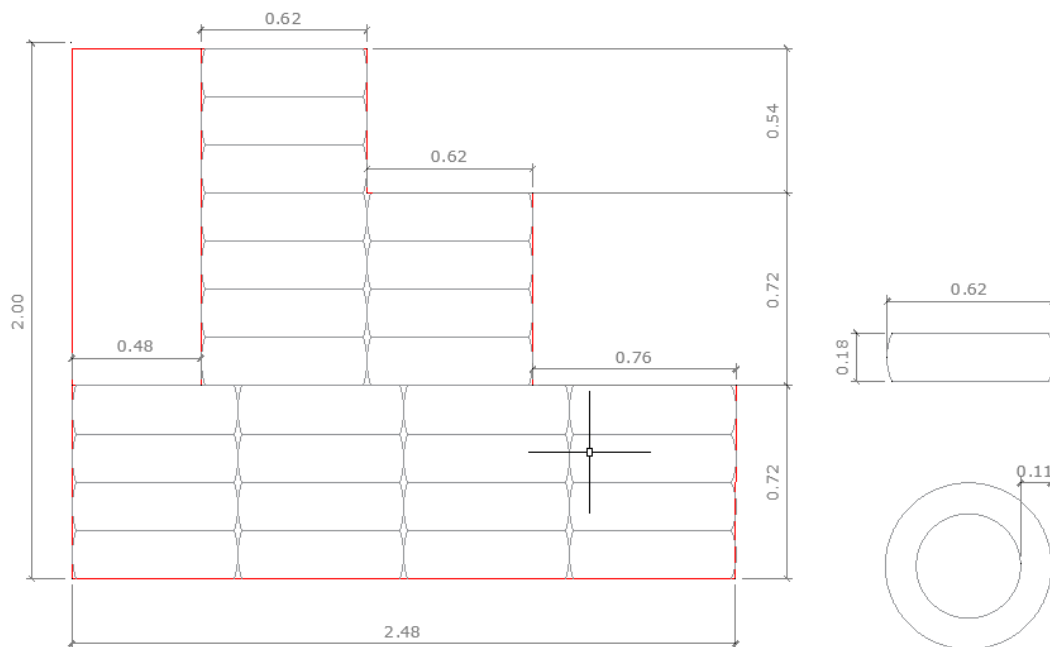
	C (KPa)	Phi (grados)	Factor de Seguridad
Laboratorio	18,0	14,0	1,47
Laboratorio + Agua Superficial	18,0	14,0	1,12
Retro-Cálculo	18,0	3,0	1,00

Retro Cálculo + Agua Superficial	18,0	7,5	1,00
Análisis Global	18.8	35	1.67
Análisis Seudoestático	18.8	35	1.23
Bibliografía máx.	20	24	(Suarez, 2009)
Pendiente del terreno	28°		

9.4. Dimensionamiento del Muro de Contención

La alternativa que se propone como prediseños para la estabilización del talud perteneciente al escenario deportivos cuenta con las siguientes dimensiones de base 2, 48 m, altura 2,00 m y una longitud de 30 m, como se puede observar en la ilustración 33, la cual consta de capas horizontales de neumáticos amarradas entre ellas y rellenas de material compactado.

Ilustración 33. *Alternativa Muro de Contención*



Para realizar el cálculo y analizar sus condiciones es necesario conocer las dimensiones del muro de contención y los parámetros geotécnicos del terreno, los cuales se pueden observar en la tabla 9. Posteriormente se realizará el procedimiento para el cálculo de los factores de seguridad los cuales deben cumplir los parámetros que se exponen en la tabla 12.

Tabla 9. Datos Orientados para el Prediseño del Muro

Altura (H)	2,00	m	Ø de fricción (Terreno Natural)	14	(grados)°
Base (B)	2,48	m	Øm de fricción (suelo muro)	27,75	(grados) °
Longitud (L)	30,0	m	Cohesión	18	Kn/m ³
Área (A)	3,62	m ²	Peso Unitario (γ) (Terreno Natural)	20	Kn/m ³
Centroide X (bp)	1,48	m	Peso Unitario (γ m) (Terreno Compactado)	18	Kn/m ³
Centroide Y	1,17	m	Profundidad de Enterrado el Muro (Df)	0.36	m

9.4.1. Procedimiento para Calcular los Factores de Seguridad

Paso 1: Hallar el Ka (Coeficiente de presión activa), se toma la ecuación de la Rankine y se reemplazan los datos propuestos.

$$K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_o} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi m}{2} \right)$$

$$K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_o} = \tan^2 \left(45 - \frac{27,75^{\circ}}{2} \right)$$

$$K_a = 0,36$$

Paso 2: Teniendo el Ka, se procede a la determinación del Pa (Empuje activo).

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma m H^2$$

$$P_a = \frac{1}{2} (0,37 * 18 \text{ Kn}/\text{m}^3 * 2\text{m}^2 * 1\text{m}$$

$$P_a = 13 \text{ Kn}$$

Paso 3: Calcular el momento actuante.

$$M_a = P_a * \frac{H}{3}$$

$$M_a = 13 \text{ Kn} * \frac{2 \text{ m}}{3}$$

$$M_a = 8,67 \text{ Kn} * \text{m}$$

Paso 4: Proceder a hallar el peso del muro.

$$W = \gamma_m * A$$

$$W = 18 \text{ Kn}/\text{m}^3 * 3,62 \text{ m}^2$$

$$W = 65,2 \text{ Kn}$$

Paso 5: Hallar el Mr (momento resistente):

$$M_r = W * bp$$

$$M_r = 65,2 \text{ Kn} * 1,48 \text{ m}$$

$$M_r = 96,5 \text{ Kn} * \text{m}$$

Paso 6: Determinar factor de seguridad por volcamiento.

$$Fs = \frac{M_r}{M_a}$$

$$Fs = \frac{96,5 \text{ Kn} * m}{8,67 \text{ Kn} * m}$$

$$Fs = 11,13$$

Paso 7: Determinar el factor de seguridad por deslizamiento:

- Primero que todo se determina la fuerza resistente (Fr) con la siguiente fórmula.

$$Fr = W * \tan(\phi m)$$

$$Fr = 65,2 \text{ Kn} * \tan(27,75)$$

$$Fr = 34,30$$

- Factor de seguridad deslizamiento.

$$Fs = \frac{Fr}{Pa}$$

$$Fs = \frac{34,30 \text{ Kn}}{13 \text{ Kn}}$$

$$Fs = 2,64$$

Paso 8: Calcular la carga efectiva dependiendo de la ubicación del nivel freático, teniendo en cuenta que se analiza superficialmente como la situación más crítica.

$$q = D1 * \gamma + D2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

$$q = 0 + (0.36 \text{ m})(20 \text{ Kn}/\text{m}^3 - 9.81 \text{ Kn}/\text{m}^3)$$

$$q = 3,67 \text{ Kn}/\text{m}^2$$

Paso 9: Identificar los parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad de la capacidad portante.

fuerza vertical	65,20	Kn
fuerza empuje	26,25	Kn
Resultante	70,29	Kn
Momento actuante	8,75	Kn/ m
Momento resistente	96,63	Kn/ m
Momento neto	87,88	Kn
localización del punto de aplicación de la fuerza		
Ce	1,35	m
e	0,002	m
B/6	0,41	m
esfuerzos máximos y mínimos de la zapata		
q máx.	24,27	Kn/m ²
q min.	24,03	Kn/m ²

Paso 10: Identificar los factores de capacidad de carga para un ángulo de fricción de 14° por medio de la siguiente ilustración de los factores de Capacidad de carga:

Ilustración 34. Factores de Capacidad de Carga

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	23	18.05	8.66	8.20
1	5.38	1.09	0.07	24	19.32	9.60	9.44
2	5.63	1.20	0.15	25	20.72	10.66	10.88
3	5.90	1.31	0.24	26	22.25	11.85	12.54
4	6.19	1.43	0.34	27	23.94	13.20	14.47
5	6.49	1.57	0.45	28	25.80	14.72	16.72
6	6.81	1.72	0.57	29	27.86	16.44	19.34
7	7.16	1.88	0.71	30	30.14	18.40	22.40
8	7.53	2.06	0.86	31	32.67	20.63	25.99
9	7.92	2.25	1.03	32	35.49	23.18	30.22
10	8.35	2.47	1.22	33	38.64	26.09	35.19
11	8.80	2.71	1.44	34	42.16	29.44	41.06
12	9.28	2.97	1.69	35	46.12	33.30	48.03
13	9.81	3.26	1.97	36	50.59	37.75	56.31
14	10.37	3.59	2.29	37	55.63	42.92	66.19
15	10.98	3.94	2.65	38	61.35	48.93	78.03
16	11.63	4.34	3.06	39	67.87	55.96	92.25
17	12.34	4.77	3.53	40	75.31	64.20	109.41
18	13.10	5.26	4.07	41	83.86	73.90	130.22
19	13.93	5.80	4.68	42	93.71	85.38	155.55
20	14.83	6.40	5.39	43	105.11	99.02	186.54
21	15.82	7.07	6.20	44	118.37	115.31	224.64
22	16.88	7.82	7.13	45	133.88	134.88	271.76

Nota: (Das, 2015)

Tabla 10. *Factores de Capacidad de Carga*

N_c	10,37
N_q	3,59
N_γ	2,29

Tabla 11. *Factores de Forma*

F_{cs}	1,00
F_{qs}	1,00
F_{ys}	1,00

Paso 11: Calcular los factores de profundidad.

$$B' = B - 2e$$

$$B' = 2.48 \text{ m} - 2 * 0.002 \text{ m}$$

$$B' = 2.48 \text{ m}$$

$$\frac{Df}{B'} = \frac{0.36 \text{ m}}{2.48 \text{ m}} = 0.15 \text{ m}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D}{B'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan (14) (1 - \sin(14))^2 \frac{0.36 \text{ m}}{2.48 \text{ m}}$$

$$F_{qd} = 1.04$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi}$$

$$F_{cd} = 1.04 - \frac{1 - 1.04}{10.37 \tan (14)}$$

$$Fcd = 1.05$$

$$Fyd = 1$$

Paso 12: Calcular los factores de inclinación.

$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{Pa}{\Sigma V}\right)$$

$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{13Kn}{65,20Kn}\right)$$

$$\Psi = 11,27^\circ$$

$$Fci = Fqi = \left(1 - \frac{\Psi}{90}\right)^2$$

$$Fci = Fqi = \left(1 - \frac{11,27^\circ}{90}\right)^2$$

$$Fci = Fqi = 0,76^\circ$$

$$Fyi = \left(1 - \frac{11,27^\circ}{14^\circ}\right)^2$$

$$Fyi = 0,038$$

Paso 13: Determinar los parámetros necesarios para la ecuación de capacidad portante de zapatas por el método de Meyerhof.

$$qu = c' * Nc * Fcs * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs * Fqd * Fqi + \frac{1}{2} * \gamma * B * Ny * Fys * Fyd * Fyi$$

$$qu = 18 \frac{Kn}{m^3} * 10,37 * 1 * 1,05 * 0,76 + 3,67 \frac{Kn}{m^2} * 3,59 * 1 * 1,04 * 0,76 + \frac{1}{2} * 20 \frac{Kn}{m^3} * 2,48 m * 2,29 * 1 * 1 * 0,038$$

$$qu = 161,52 \text{ Kn/m}^2$$

Paso 14: Hallar el q admisible con respecto a la capacidad portante.

$$q \text{ admisible} = \frac{qu}{3}$$

$$q \text{ admisible} = \frac{161,52 \text{ Kn/m}^2}{3}$$

$$q \text{ admisible} = 53,84 \text{ Kn/m}^2$$

Paso 15: Calcular el factor de seguridad de la capacidad portante.

$$FS = \frac{qu}{q \text{ max}}$$

$$FS = \frac{161,52 \text{ Kn/m}^2}{24,27 \text{ Kn/m}^2}$$

$$Fs = 5,9$$

Paso 16: Para el cálculo del asentamiento del terreno, al ser una estructura rígida no presenta un grado alto de asentamiento, por medio del método de elasticidad de la teoría de Steinbrenner el cálculo del asentamiento se expresa de la siguiente forma:

$$S_e = \frac{Bq}{Es} (1 - \mu^2) \alpha_r$$

Donde:

Se = Asentamiento o expansión elástica, m

B = Ancho de la cimentación, m

q = Carga unitaria por unidad de área, KN/m^2

E_s = Módulo de elasticidad del suelo, KN/m^2

μ = Relación de Poisson del suelo

αr = Relación (B/L)

Para los valores de Módulo de Elasticidad del Suelo y la Relación de Poisson, se obtienen valores teóricos por medio de la tabla 3.3 Propiedades Elásticas de las Rocas Sedimentarias (González et al, 2004 y Goodman, 1980).

$$S_e = \frac{2,48m * 26,29 \text{ KN/m}^2}{3000000 \text{ KN/m}^2} (1 - 0,3^2) * 2,48$$

$$S_e = 4,91 \times 10^{-5} \text{ m} \rightarrow 0,0591 \text{ mm}$$

Paso 16: Verificación.

Para la verificación del cumplimiento de los factores de seguridad por volcamiento y deslizamiento y capacidad portante la NSR-10 establece los valores indirectos para las diversas verificaciones de los comportamientos establecidos, las cuales deben ser, como mínimo, los indicados en la tabla 12, de esta forma se hace una revisión con respecto a nuestros valores para determinar el cumplimiento requerido, como se puede observar en la tabla 13.

Tabla 12. Factores de Seguridad Indirectos Mínimos

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudoestático
Deslizamiento	1,60	1,60	Diseño	1,05

Volcamiento: el que resulte más crítico de momento resistente/momento actuante, excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\geq 3,00$ $\leq 1/6$	$\geq 3,00$ $\leq 1/6$	Diseño Diseño	$\geq 2,00$ $\leq 1/4$
Capacidad portante	>2.5		Diseño	

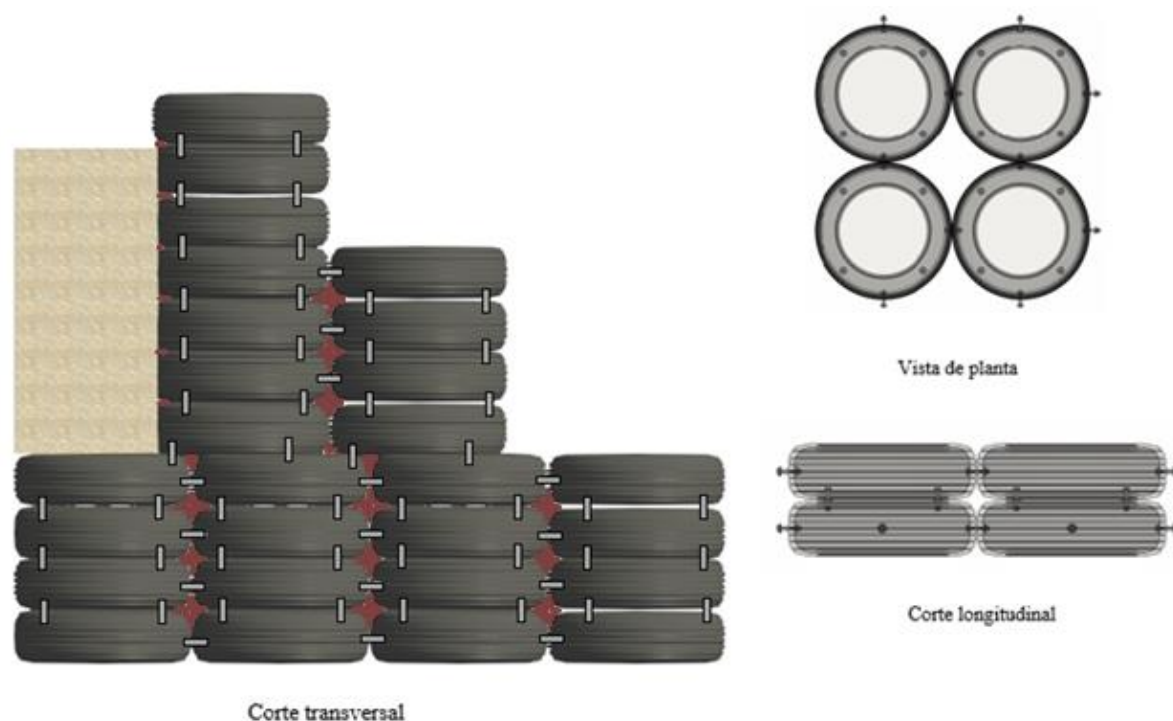
Fuente: NSR-10 Título H- Estudios Geotécnicos

Tabla 13. Valores de Verificación

Tipo	F.S Actuante	Requerido	¿Cumple?
Volcamiento	10,86	3	si
Deslizamiento	2,57	1,6	si
Capacidad Portante	5.9	2.5	si
Análisis Global	1.67	1.5	si
Análisis Seudoestático	1.23	1.05	si

Se realizó el prediseño de un muro contención el cual cumple con los factores de seguridad sugeridos por la NSR-10 del Título H- Estudios geotécnicos, este contará llantas recicladas como materiales de contención, las cuales llevarán un material de relleno compactado y empotramiento por 6 pernos entre cada llanta para generar una mayor estabilidad, además, tendrá una segunda función de gradería para la comunidad participe del escenario deportivo; sus respectivas dimensiones serán de 2 metros de alto, 2.48 metros de base y una longitud de 30 metros, como se puede evidenciar en la ilustración 35.

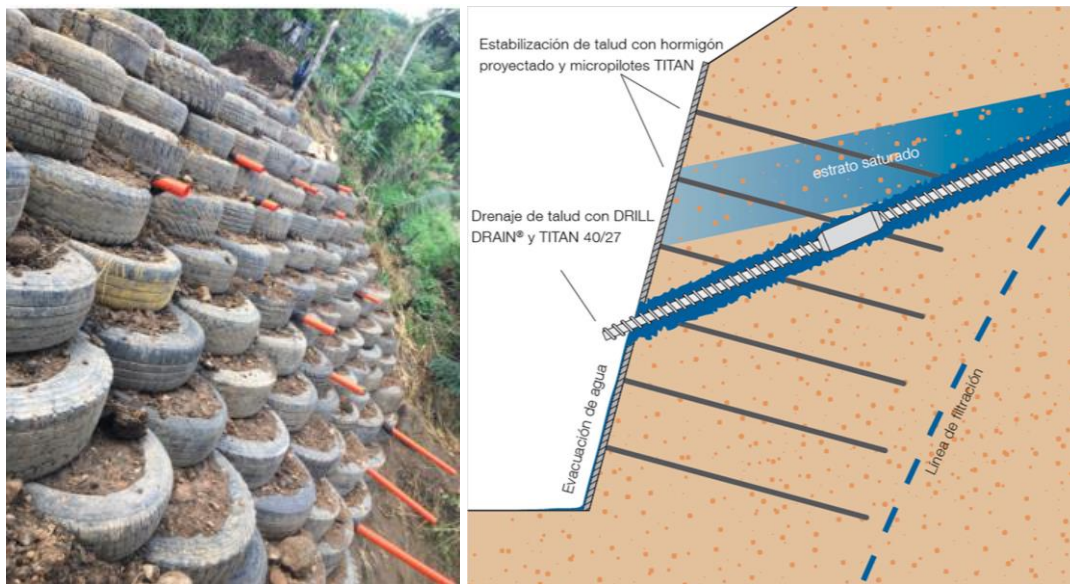
Ilustración 35. *Alternativa de Muro de Contención.*



9.5. Drenaje del Muro

Para el drenaje subterráneo, la primera alternativa que se planteó son filtros de 2 pulgadas, los cuales estarán ubicados en la primera fila del muro a una separación de 4 metros y una longitud de 3 metros, los cuales estarán cubiertos por un geotextil para permitir el paso del agua y no generar una interrupción por el taponamiento del material; son conocidos como lloraderos en los taludes, los cuales ayudan a conducir las aguas filtrantes por las lluvias o la humedad del terreno, a continuación en la ilustración 36, se mostrará un ejemplo de un drenaje con filtros en la estabilización de taludes por medio de neumáticos reciclados. Además, en el pie del talud se encuentra una cuneta la cual servirá para la distribución del flujo sin generar empozamientos y filtraciones en el escenario deportivo.

Ilustración 36. Filtros Instalados en el Muro



Nota: (Ospina et al., 2019).

Para el drenaje superficial, la segunda alternativa que se planteó para este tipo de estabilización, es por medio del drenaje francés. Según (Suárez, 2009) estas constan de zanjas poco profundas, las cuales están rellenas de material granular cuyo propósito es la recolección de las escorrentías superficiales. El principal efecto es reducir los problemas de erosión y eventualmente, prevenir movimientos muy superficiales del terreno. A continuación, podemos observar en la ilustración 37 la implementación y eficiencia de esta alternativa.

Ilustración 37. Drenes Franceses



Nota: (Horigome, 2010)

9.6. Presupuesto

Para responder la pregunta cuánto vale la ejecución del proyecto, se realizó un presupuesto el cual consta de trece millones ochenta y dos mil doscientos treinta y cinco pesos (\$13'082.235). cómo se puede evidenciar en la tabla 14.

Tabla 14. Presupuesto

PRESUPUESTO					
ID	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Localizacion y replanteo	M ²	3,65	\$ 12.629,00	\$ 46.095,85
2	Cerca en tela verde H= 2,10m	Ml	118,98	\$ 19.227,00	\$ 2.287.628,46
3	Demolicion del gavion existente	M ³	30,00	\$ 6.300,00	\$ 189.000,00
4	Excavacion en material comun h=0.0-2 metros (incluye retiro de sobrantes a una distancia menor de 5 km)	M ³	27,00	\$ 49.774,00	\$ 1.343.898,00
5	Nivelacion a maquina	M ²	3,65	\$ 9.968,00	\$ 36.383,20
6	Relleno y recebo comun compactado mecanicamente	M ³	109,73	\$ 5.791,00	\$ 635.446,43
7	Concreto 1500 PSI	M ³	4,46	\$ 324.526,00	\$ 1.448.684,06
8	Suministro e instalacion de geotextil NT1800 (estabilizacion, filtro y separacion)	M ²	159,00	\$ 8.269,00	\$ 1.314.771,00
9	Suministro e instalacion Arandela redonda 5/8	Un	10896,00	\$ 250,00	\$ 2.724.000,00
10	Suministro e instalacion Tornillo Carriage Galvanizado 5/16x5	Un	5448,00	\$ 561,00	\$ 3.056.328,00
11	Neumaticos Rin 13	Un	1127,00	\$ -	\$ -
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$ 13.082.235

10. Conclusiones

- ❖ Por medio de la bibliografía internacional se encontró la primera investigación documentada sobre la técnica de suelo reforzado con neumáticos, desde 1976 en Francia, generando una iniciativa investigativa y experimental de esta nueva metodología de estabilización.
- ❖ La investigación nacional y local muestra que la estabilización con neumáticos se realiza en lugares de bajos recursos, ya que la misma comunidad realiza esta construcción, demostrando ser una técnica básica, económica y ambiental.
- ❖ La clasificación de la zona por medio de la interpretación de mapas a una escala geológica, muestra las condiciones del terreno y ayudó a la identificación de los materiales pertenecientes al lugar de intervención.
- ❖ La superficie de falla que se planteó, está relacionada a la evidencia in situ con la presencia de grietas y ondulaciones en el escenario deportivo, mostrando un deslizamiento superficial que al no ser intervenido puede convertirse en un deslizamiento rotacional o traslacional.
- ❖ Se cumplieron las condiciones de volcamiento, deslizamiento y capacidad portante requeridas por la NSR-10 del título H (Estudios Geotécnicos), utilizando el método de Rankine para deslizamiento y volcamiento, y método de Meyerhof para capacidad portante. Generando un factor de seguridad para volcamiento de $10,86 > 3$, deslizamiento de $2,57 > 1,6$ y capacidad portante de $5,9 > 2,5$.
- ❖ Por medio de la modelación el análisis global indicó un factor de seguridad de $1,67 > 1,5$ y para el análisis Seudoestático de $1,23 > 1,05$ cual se encuentran por encima del requerido por la NSR-10 del título H.

- ❖ El uso de neumáticos como materiales de contención podrían reducir el impacto ambiental de la explotación de canteras para obtener el material del que se componen los gaviones.
- ❖ El valor de la ejecución de un proyecto de estabilización de taludes con neumáticos, presenta una diferencia de 54,43% teniendo en cuenta que el m³ de muro de concreto reforzado está en \$ 801.074 según la lista de precios construcción, urbanismo y vías (2021) y con llantas recicladas en \$436.075.

11. Recomendaciones

- ❖ El prediseño se realizó con neumáticos de Rin 13, ya que son los más utilizados en vehículos como taxis, familiares y Sedan los cuales son los más propensos a encontrarse en los diferentes depósitos o abandonados en las calles; en el caso de utilizar otro tipo de Rin es necesario revisar si son viables para el diseño.
- ❖ El proyecto es netamente académico de tal forma que, en caso de ser implementado el Prediseño por el instituto de proyección social de la localidad de Ciudad Bolívar, es necesario realizar la toma de muestras por medio de ensayos como SPT, apiques o sondeos, con el fin de poder realizar los laboratorios pertinentes.
- ❖ El relleno de los neumáticos, para una mayor estabilidad se recomienda extraer el material de la cantera de Bella Flor de la Localidad de Ciudad Bolívar, se encuentra aproximadamente a 1 kilómetro de la zona de estudio.
- ❖ Para el control de la erosión del terreno debe llevarse a cabo la implementación de una geomalla, la cual evita el desprendimiento del material y el contacto con el agua, también otra alternativa puede ser la vegetación con pasto vetiver, ya que las raíces proporcionan una maya interna que mantiene unido el suelo y las hojas bloquean las lluvias fuertes e impiden que se deslave el suelo.

12. Referencias

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10. Bogotá, AIS, 2010
- Allan Block Retaining Walls. (s.f.). AB Engineering Manual. Obtenido de <https://www.allanblock.com/literature/PDF/EngManual.pdf>
- Benítez Peñalosa, P., & Méndez Camacho, G. H. (2013). Informe de visita fiscal situación altos de la estancia. Bogotá: Contraloría De Bogotá D.C.
- Bernal Torres, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Bogotá: Universidad de la Sabana, Colombia.
- Caja de Vivienda Popular. (2016). Estudios y diseños de obras de drenaje y subdrenaje para el civ 19012250 ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar. Bogotá: Caja de vivienda popular departamental de mejoramiento de barrios.
- Castro Ariza, Á. (23 de Octubre de 2016). Barrio La Paz requiere un muro de contención. Obtenido de Vanguardia.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin De L'Association Internationale De Géologie De L'Ingénieur, 43(1), 27-29.
- De Matteis, A. (2003). Geología y geotecnia. Tema: Estabilidad De Taludes. Universidad Nacional De Rosario. Facultad De Ciencias Exactas, Ingeniería Y Agrimensura.
- El Tiempo. (14 de 06 de 1995). deslizamientos en ciudad bolívar. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-344646>
- El Tiempo. (2 de Diciembre de 2003). No cede invierno en Bogotá.
- El Tiempo. (2019). Viviendas afectadas por filtración de aguas en Ciudad Bolívar.
- Escobar Peláez, W. A. (2019). Evaluación de la alternativa para la estabilización de taludes mediante implementación de llantas en la montaña la ponderosa (localidad ciudad Bolívar barrio bella flor).
- García, L. (2019). Muro ecológico más grande de Guatemala destacó en China Xinhua News. Obtenido de Guatemala.com: <https://www.guatemala.com/noticias/entretenimiento/muro-ecologico-mas-grande-de-guatemala-destaca-en-china-xinhua-news.html>
- González, L.; Ferrer M.; Ortuño L.; Oteo C. (2004). Ingeniería geológica. Madrid, España: Pearson Educación, S.A, pág. (118-262).
- Goodman, R. E. (1989). Introduction to rock mechanics Wiley New York.
- Guía de la Construcción del muro de contención. (2010). Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas. Tegucigalpa, Honduras.: Escuela Primaria Emmanue.

- IDECA. (16 de Diciembre de 2016). Curva de Nivel. Bogotá D.C. Obtenido de <https://datosabiertos.BOGOTÁ.gov.co/dataset/curva-de-nivel-BOGOTÁ-d-c>
- IDIGER. (1998). sitio 1.6: barrio brisas del volador. Bogotá: unidad de prevención y atención de emergencias.
- IDIGER. (2019). Caracterización General de Escenario de Riesgo. Bogotá: Localidad Ciudad Bolívar.
- INVIAS. (28 de Agosto de 2006). Manual para la Inspección Visual de Obras de Estabilización. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/977-manual-para-la-inspeccion-visual-de-obras-de-estabilizacion/file>
- Long, N. T., Audeoud, B., BAILLY, J. C., JEAN, P. A., LAREAL, P., URSAT, P., & VALEUX, J. C. (1990). Le pneusol. Etudes Et Recherches Des Laboratoires Des Ponts Et Chaussees-Serie Geotechnique, (GT 44)
- Moya Barrios, J., & Rodríguez Ordoñez, J. A. (1987). El Sub Suelo de Bogotá y los. Cartagena: VIII CPMSIF-PCSMFE.
- Nader Giraldo, J. M. (2018). Viabilidad De Muro De Contención De Gravedad Mediante La Utilización De Llantas Usadas.,
- Ospina, L. D., Córdoba Palacios, M. M., & Benavides Pamplona, B. A. (2019). Diseño Y Construcción De Muro De Contención En Neumático Usado En El Municipio De La Mesa.
- Peña Robles, L. N. (2015). Construye Tu Territorio: Vivienda Nueva En El Barrio Naciones Unidas Localidad De Ciudad Bolívar Bogotá DC,
- Pérez, G., & Salazar, A. (1978). Estratigrafía y facies del grupo Guadalupe. Geología Colombiana, 10, 6-85.
- Puentes, A. (23 de 04 de 2019). El desastre que dejó la temporada invernal en Bogotá los últimos días. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/BOGOTÁ/lluvias-en-BOGOTÁ-deslizamiento-en-ciudad-bolivar-e-inundaciones-en-autopista-norte-352362>
- Rivera, M. (17 de 05 de 2020). El desalojo en medio de la cuarentena en Altos de la Estancia. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/BOGOTÁ/el-desalojo-en-medio-de-la-cuarentena-articulo-919986/>
- Salud Capital. (12 de 04 de 2016). Diagnóstico local con participación social Ciudad Bolívar. (ASIS, Ed.) Obtenido de HOSPITAL VISTA HERMOSA: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%20distritales%20y%20locales/Local/2014/19_DiagnosticoLocal2014CiudadBolivar_12Abril2016.

- Schlosser, F., Soye, B., & Wojnarowicz, M. (1994). Aspects géotechniques de la gestion des déchets industriels en France. Paper presented at the International Congress on Environmental Geotechnics, 91-100.
- Segura, J. (1996), Estructuras de Concreto I. Bogotá, D.C., Ayala Ávila y Cía.
- Semana Sostenible. (10 de 09 de 2017). La preocupante situación de las invasiones en Bogotá. Obtenido de <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/invasiones-en-BOGOTÁ-un-problema-preocupante-y-de-inseguridad/38603>
- Sieira, (2009). Geossintéticos e pneus: Alternativas de estabilização de taludes. Engevista,
- Suarez, J. (2009). Efecto del Agua. En J. Suarez, Deslizamientos - Análisis geotécnico. (págs. 210-266).
- Tropicales, D. y. (1998). Jaime Suarez Díaz. (l.d. Ltda., Ed.) Bucaramanga, Santander, Colombia: Publicaciones UIS. Recuperado el 24 de Enero de 2020
- Torres, P. (2016). Estabilización de taludes con neumáticos usados. Universidad Santo Tomás, 1-74.
- ZAMBRANO, J. R. B., & PEÑA, L. S. (2014). Viabilidad de muros de llantas para la estabilización de taludes en el barrio la capilla–Soacha Cundinamarca.
- Zaradnik, Raúl. (2018). Modelo de rigidez lateral estático de neumáticos. Ponencia Mendoza, Dirección URL del informe: /10943, Fecha de consulta del artículo: 10/02/21