

INFORME

MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTO DEL TERRENO DEL MUNICIPIO DE SEVILLA
VALLE DEL CAUCA EN LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO

PRESENTADO POR

CARLOS ANDRÉS BRAVO CERÓN

SANDRA YANETH BELALCAZAR FERNANDEZ

XIMENA ALVEAR BRAVO

ANDRÉS AREVALO ORTIZ

PROFESOR:

IVÁN FERNANDO OTÁLVARO CALLE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL

DISEÑO II

NOVIEMBRE DE 2023

Copyright © 2020 por Iván Fernando Otálvaro Calle. Todos los derechos
reservados.

Tabla de Contenido

Contenido

1. INTRODUCCION.....	5
1.1 Localización	5
1.2 Descripción de la situación.....	7
1.3 Objetivo general	8
1.4 Alcance de la solución	8
1.5 Visita de Campo	9
2. GEOLOGIA	10
2.1 Geología local.....	10
2.2 Trabajo de campo y laboratorio.....	12
2.3 Ensayos de laboratorio	14
2.3.1 Ensayos de clasificación	14
2.3.2 Ensayos de resistencia	16
2.4 Perfil geológico representativo.....	20
2.5 Parámetros geo mecánicos empleados en la modelación	22
2.6 Modelación de estabilidad del terreno.....	22
3. DISEÑO CONCEPTUAL.....	24
3.1 Identificación de los agentes detonantes de inestabilidad.....	24
3.2 Soluciones – conceptual.	27

3.2.1 Univalle y CVC (2011-2022):	27
3.2.2 Geocing (2014):	28
3.2.3 Asociación de ingenieros del Valle (2019):	28
3.3 RESUMEN.....	29
3.4 ALTERNATIVAS.....	29
3.4.1 Muros de contención (Univalle)	29
3.4.2 Muro en gavión (Geocing)	31
3.4.3 Muro de contención con pilotes (AIV).....	32
3.5 Presupuesto.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1 Análisis de la propuesta.....	32
3.5.2 Informe CVC INFORME TECNICO FINAL 2014.....	33
3.5.3 Asociación de Ingenieros del Valle	35
3.6 Huella de carbono tres alternativas.....	35
3.7 Matriz de evaluación de las alternativas conceptuales	37
4. PROPUESTA	38
4.1 Huella de carbono datos propuesta final	39
5. OPTIMIZACIÓN	39
5.1 Primera iteración	40
5.2 Segunda Iteración	42

5.3 Tercera Iteración	44
6 DISEÑO DE SUBDRENAJES	45
6.1 Drenes de penetración	46
7. DISEÑO DETALLADO	47
7.1 Muro.	47
7.1.1 Dimensiones	47
7.1.2 Factores de seguridad	48
7.1.3 Distribución de acero de refuerzo.....	50
7.1.4 Muro en gaviones de cierre	52
8 DISEÑO DE SUBDRENAJES	52
8.1 Drenes de penetración	52
8.2 Zanja de coronación	53
9. REVEGETALIZACION PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES.....	54
10. HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO	54
11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	55

1. INTRODUCCION

El presente documento constituye el estudio de la problemática del deslizamiento del terreno del municipio de Sevilla Valle del Cauca que comprende a los barrios de Monserrate y Cafeteros.

Este informe se realizará basado en información y en los estudios previos que han venido realizando diferentes entidades como lo son los estudios de la Universidad del Valle (2011), CVC-DTA (2018 y 2022), Geocing (2014), Asociación de ingenieros del Valle

AIV (2019) y con ello plantear alternativas que lleven a una solución factible.

1.1 Localización

Municipio de Sevilla, ubicado al norte del departamento del Valle del Cauca conocido como el “mirador del Valle y del Quindío” por situarse en la parte más alta del departamento gozando de una amplia vista de ambos departamentos. Cuenta con una temperatura promedio de 20°; además de tener todos los pisos térmicos lo que le genera gran riqueza agrícola, cultivando variedad de alimentos que va desde café, plátano, banano, caña de azúcar, cítricos siendo este sector su principal fuente económica. Sus tierras son regadas por los ríos Bugalagrande, La paila, La vieja, Ballesteros, entre otros y algunas corrientes menores, lo cual lo convierte en un importante cruce hídrico del Valle.

La zona de estudio se ubica más exactamente al sur de la cabecera municipal entre los barrios de Monserrate y Cafetero en el cruce de la quebrada cafetero sobre la vía que conduce hacia la vereda La Milonga; en la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de Sevilla y en la figura 2 la localización del sitio de estudio en el barrio Monserrate.

Ubicación del municipio de Sevilla – Valle del Cauca

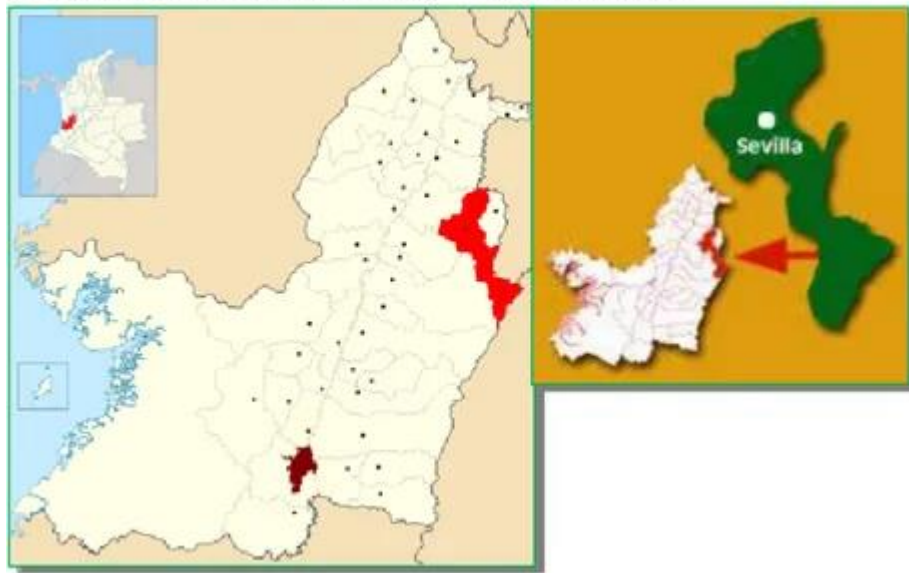


Figura 1. Ubicación geográfica municipio de Sevilla, (Fuente: Plan Municipal para la Gestión del Riesgo municipio de Sevilla Valle del Cauca de 2014)

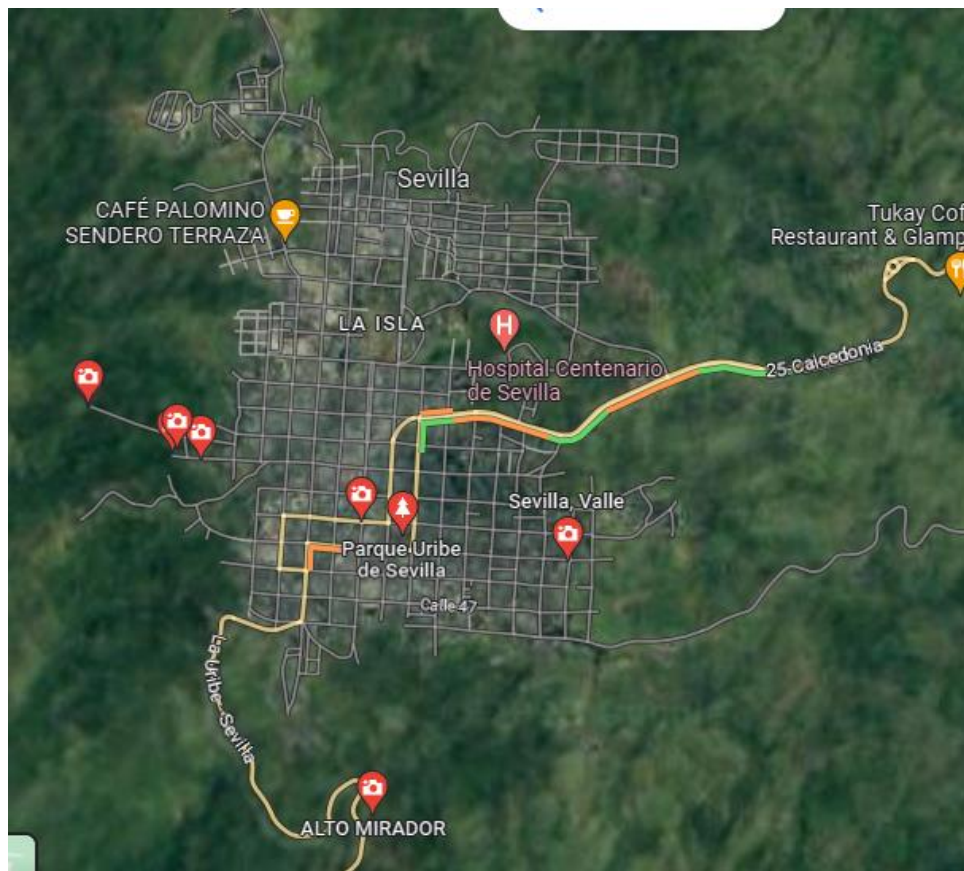


Figura 2. Localización sitio de estudio, carrera 51 con calle 44

De acuerdo con lo expuesto por la CVC en su documento de Concepto Aval Técnico Diseño 3Monserate Sevilla, los límites son: al Norte ca calle 50 y quebrada La Alhambra; al Sur por la intersección del río Popal con la vía La Uribe – Sevilla; al Oeste con la vía La Uribe – Sevilla y al Este con la calle 42.

1.2 Descripción de la situación

Los barrios Monserate y Cafeteros se encuentran ubicados en la zona alta de Sevilla, en una zona de ladera con una topografía irregular. Esta topografía, junto con las fuertes lluvias que han caído en la región en los últimos meses, han provocado la saturación del suelo, lo que ha aumentado el riesgo de deslizamientos.

Los deslizamientos en estos barrios han afectado a viviendas, infraestructura vial y cultivos. En 2022, un deslizamiento de tierra afectó a varias viviendas en el barrio Monserate. En 2023, un deslizamiento de tierra bloqueó la vía que comunica a Sevilla con el corregimiento de La Victoria.

El deslizamiento de tierra de 2022 se registró el 24 de agosto de ese año, en el barrio Monserate y tuvo un ancho de aproximadamente 50 metros. El deslizamiento afectó a varias viviendas, dejando a 10 familias damnificadas. Las viviendas afectadas fueron construidas en una zona de ladera con una topografía irregular. Las fuertes lluvias que cayeron en la región en los días previos al deslizamiento provocaron la saturación del suelo, lo que facilitó el desplazamiento de la tierra.

El deslizamiento de tierra de 2023 se registró el 11 de noviembre de ese año, en la vía que comunica a Sevilla con el corregimiento de La Victoria. El deslizamiento, con un ancho de aproximadamente 100 metros, bloqueó la vía en ambos sentidos, dejando incomunicado al municipio. Las autoridades locales y departamentales trabajaron para remover la tierra y restablecer la circulación. La población de los barrios Monserrate y Cafeteros vive en una situación de riesgo constante. Las autoridades locales deben tomar medidas urgentes para mitigar el riesgo de deslizamientos y proteger a la población de estos barrios.

1.3 Objetivo general

El objetivo principal es el diseño a detalle de una obra de ingeniería para brindar una solución al problema, después de analizar las diferentes alternativas propuestas en diferentes aspectos, se decide profundizar en la elaboración de unos muros en concreto reforzado situado sobre pilotes y los elementos complementarios necesarios para este, así como un análisis detallado de los impactos económicos y ambientales que provocará la solución propuesta a la comunidad

1.4 Alcance de la solución

La alternativa seleccionada para la solución del problema tendrá un alcance completo en lo que se debe a la estabilización del terreno, el cual se desliza por factores de saturación y a la recuperación del cuerpo de la quebrada, la cual fue obstruida en gran parte por el deslizamiento que se presentó.

1.5 Visita de Campo



Figura 3. Vista aérea del movimiento. Autores



Figura 4. Sección de tipo de suelo. Autores



Figura 5. Estado de suelo visto en campo. Autores

2. GEOLOGIA

2.1 Geología local

Los materiales clasificados como Suelos dentro del sitio de estudio, se dividen según su origen en: materiales de procesos de inestabilidad recientes/actuales (Scor), y antiguos/recientes (Scoa) (depósitos que han tenido reactivaciones periódicas en años recientes), rellenos antrópicos (RI) y suelo residual (Sr). La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de comportamiento geo mecánico (dureza, fracturamiento, y meteorización, etc.) se clasificó en: rocas de resistencia blanda (Rb).

En la foto 1 se muestra el movimiento de remoción en masa principal presente en el sitio de estudio; en las fotografías 2 y 3, se ilustran las características de los materiales de rocosos presentes.



Figura 5. Movimiento de remoción en masa principal en sitio de interés.

A continuación, se presenta una descripción de las unidades presentes en el sitio.

- Materiales de Procesos de Inestabilidad Recientes/Actuales (Scor). Se consideran a los materiales originados por los movimientos de remoción en masa recientes con actividad actual, de tipo rotacional y de caída de detritos, de magnitud importante. Presentan una composición heterogénea, involucran principalmente a suelo residual y macizo meteorizado; estos materiales presentan.
- Suelo Residual (Sr). Corresponde a los materiales originados por los procesos de meteorización y alteración de los componentes del macizo rocoso en sus niveles superiores, de color amarillo y naranja rojizo, de composición limo-arenosa, de baja consistencia y alta permeabilidad.

2.2 Trabajo de campo y laboratorio

De acuerdo con el avance de la problemática y la intervención de la Universidad del Valle, el trabajo de campo se dividió por dos métodos de exploración directa; mediante apiques y mediante perforaciones.

Para estos ensayos se realizaron 14 apiques y 2 perforaciones mecánicas por percusión con una profundidad de 8 y 10 metros. En la figura ##### se presenta la ubicación de las perforaciones y los apiques realizados.

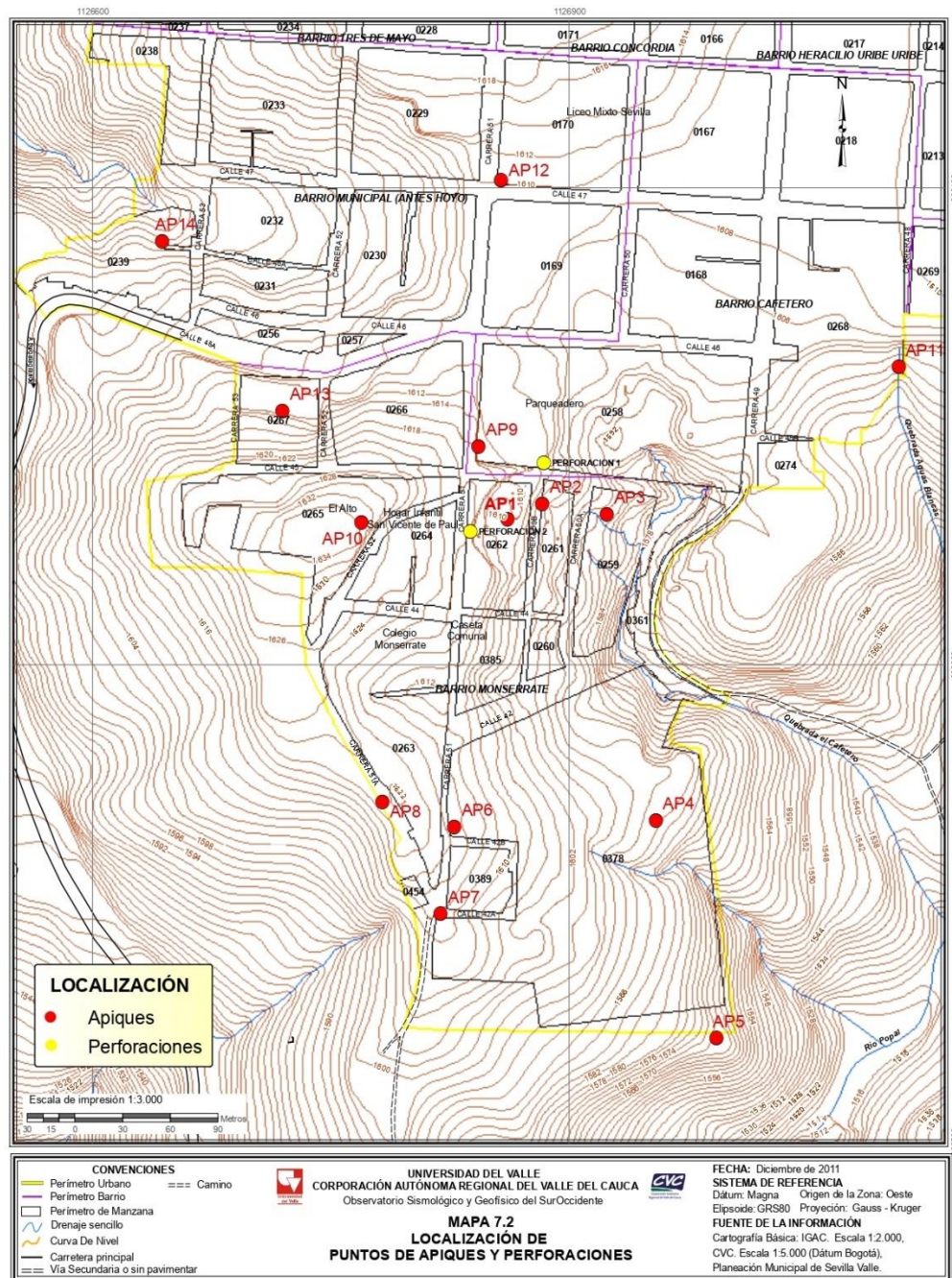


Figura 6. Vista topográfica con limitación en zona de estudio. Autoria Univalle 2011

2.3 Ensayos de laboratorio

Para conocer las características del material que se encuentra en la superficie de la zona, se realizaron pruebas de laboratorio a las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo. Estas pruebas permitieron determinar las propiedades de compresibilidad y resistencia del material. A continuación, se presentan los resultados de estas pruebas, así como las propiedades más relevantes del material aflorante en la zona

2.3.1 Ensayos de clasificación

El suelo está formado por partículas de diferentes tamaños. Para cada tamaño, existen pruebas que permiten clasificar el suelo. El análisis granulométrico se realiza por tamizado o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño, menor de 0,08 mm. Este ensayo permite determinar la composición de la muestra, que puede ser grava, arena, limo o arcilla. Si la muestra presenta una alta cantidad de finos, como es el caso de las muestras obtenidas en la exploración realizada para la zona de estudio, se debe realizar un ensayo que defina la plasticidad del material. Este ensayo se llama Límites de Atterberg, y define los contenidos de agua característicos para los que una arcilla alcanza diferentes estados de consistencia. Los resultados de estos análisis se ilustran en la figura ###, mediante la carta de plasticidad de Casagrande.

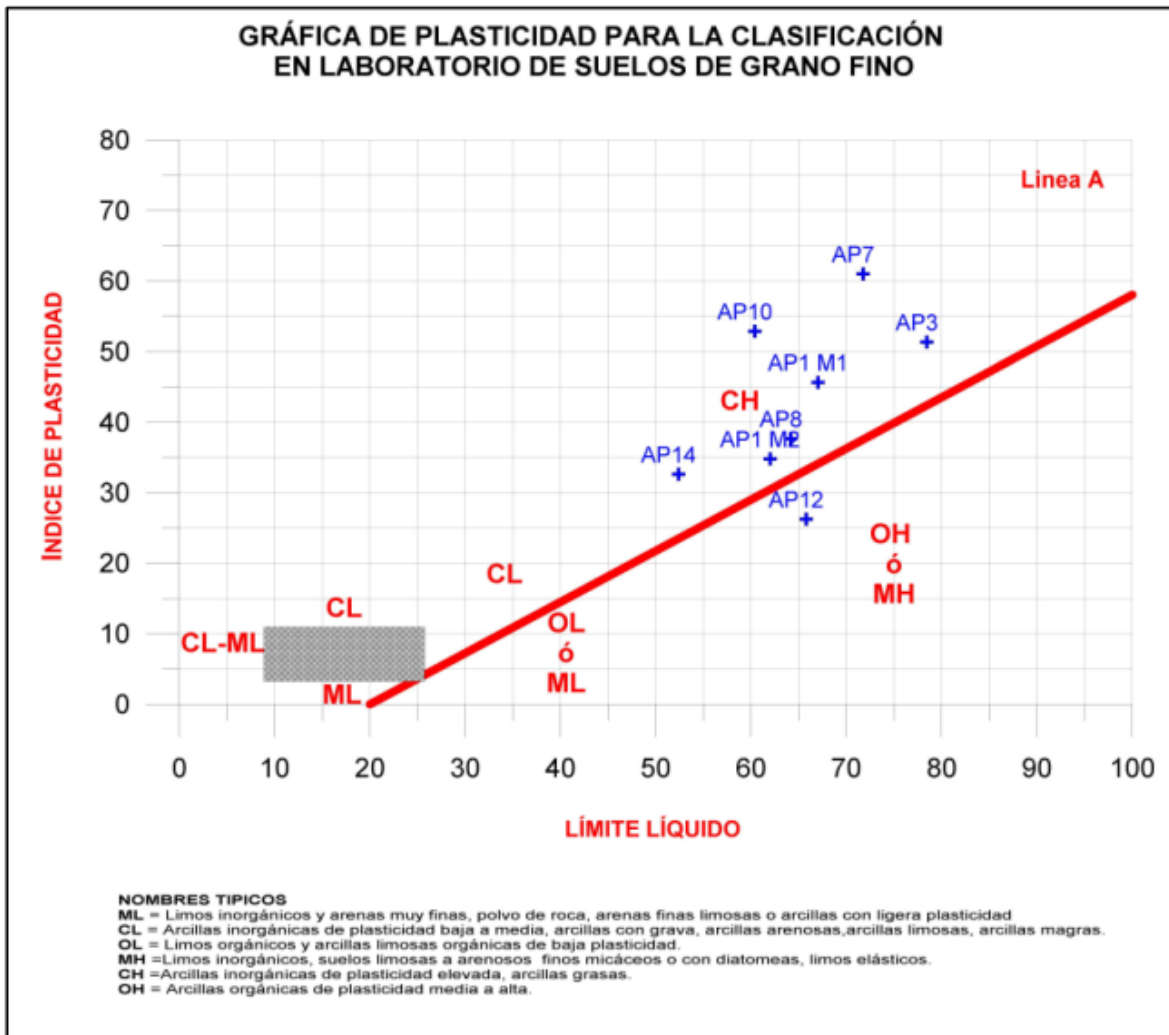


Figura 7. Grafica de plasticidad para clasificación. Autoria Geocing 2014

Como se puede observar la mayoría del material que se encuentra en la superficie de la zona está formado por partículas finas de arcilla de alta plasticidad (CH). Este material es el que proporciona la estructura y la cohesión del material arcilloso de la zona.

2.3.2 Ensayos de resistencia

Los parámetros de resistencia utilizados en los Análisis de estabilidad se obtuvieron a partir de ensayos de corte y triaxiales estáticos realizados a las muestras obtenidas en los apiques realizados en campo.

- **Ensayo de Corte Directo**

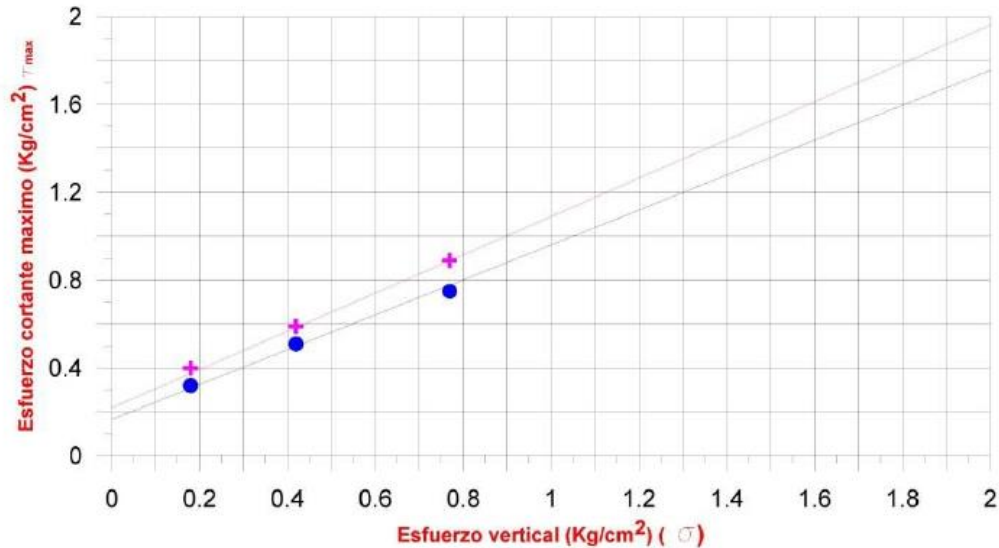
Se realizaron tres ensayos de corte en las muestras obtenidas de los apiques realizados. En cada ensayo, se varió la carga normal para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento del material. Los resultados de estos ensayos se utilizaron para generar la envolvente de resistencia de Mohr, que es una representación gráfica de las propiedades de resistencia del material. En las Figuras #### a ####, se presentan los resultados de un corte directo.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO



PROYECTO: BARRIO MONSERRATE Y CAFETERO
SITIO: SEVILLA - VALLE

SONDEO: AP1 MUESTRA: 1
FECHA: DICIEMBRE DE 2011



punto 1
punto 2
punto 3

CONDICIÓN PICO

RESULTADOS

$\phi'_{pico} = 42.60^\circ$, $c'_{pico} = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$
 $\phi'_{residual} = 37.40^\circ$, $c'_{residual} = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$

CONDICIÓN RESIDUAL

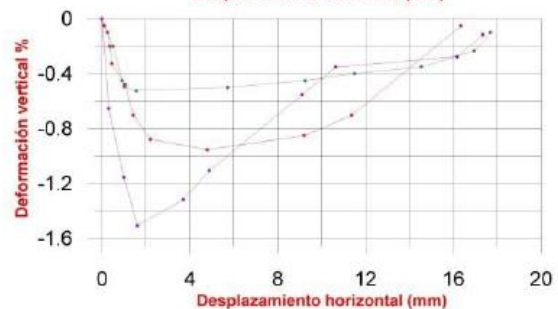
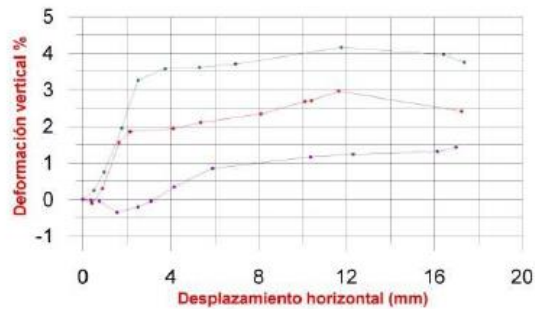
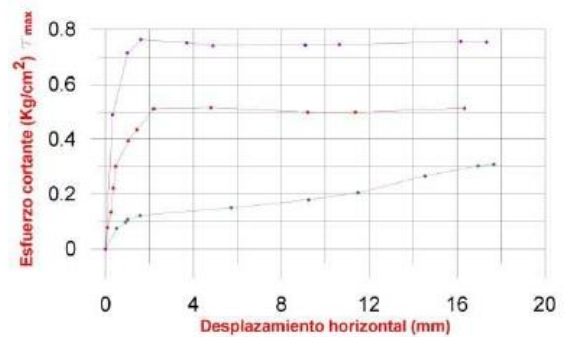
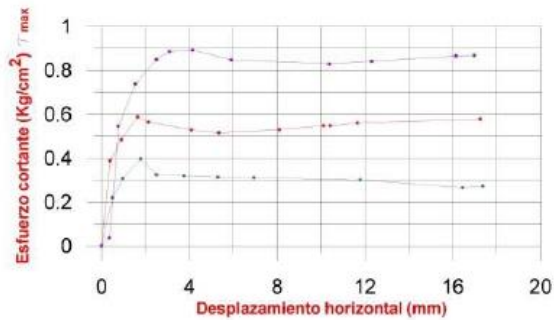


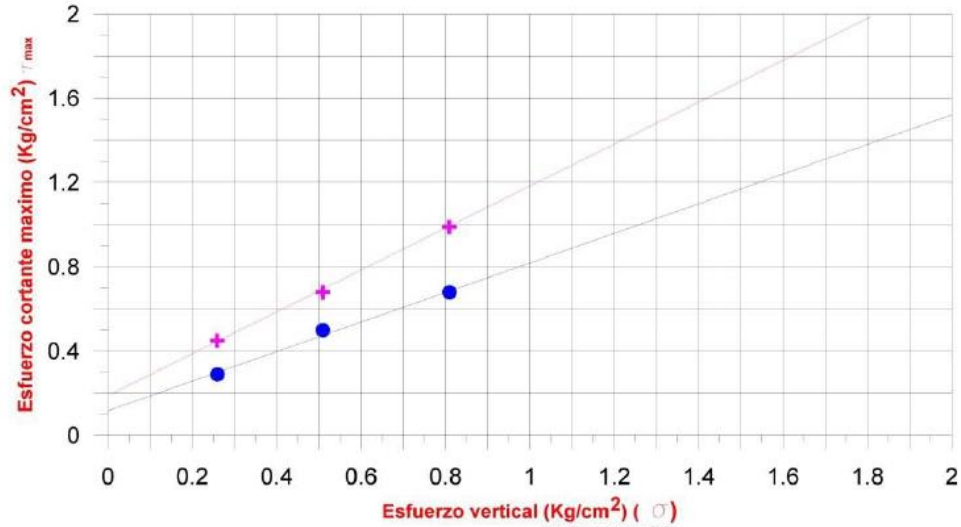
Figura 8. Ensayo de corte directo. Autoria Geocing 2014

ENSAYO DE CORTE DIRECTO



PROYECTO: BARRIO MONSERRATE Y CAFETERO
SITIO: SEVILLA - VALLE

SONDEO: AP2 MUESTRA: 1
FECHA: DICIEMBRE DE 2011



RESULTADOS

$\phi'_{\text{pico}} = 47.23^\circ$, $c'_{\text{pico}} = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi'_{\text{residual}} = 36.10^\circ$, $c'_{\text{residual}} = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$

CONDICIÓN PICO

CONDICIÓN RESIDUAL

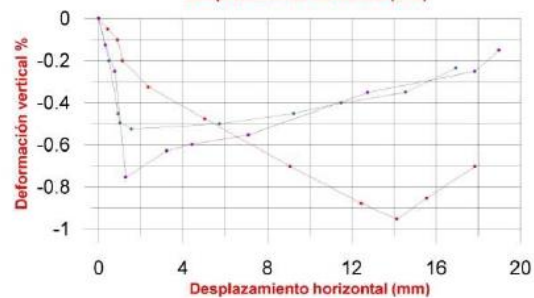
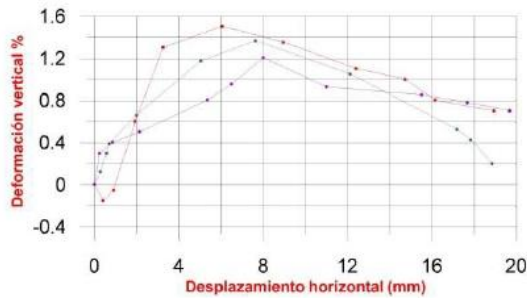
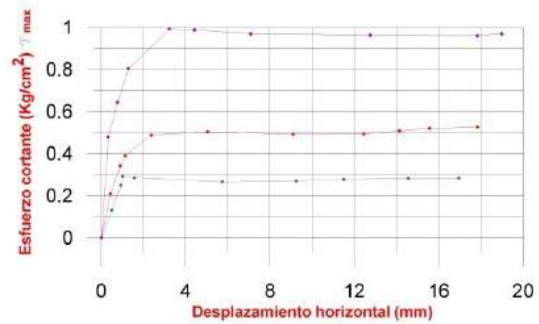
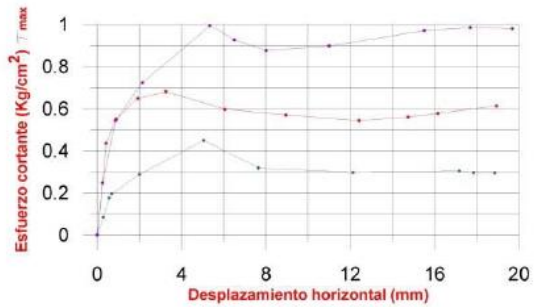


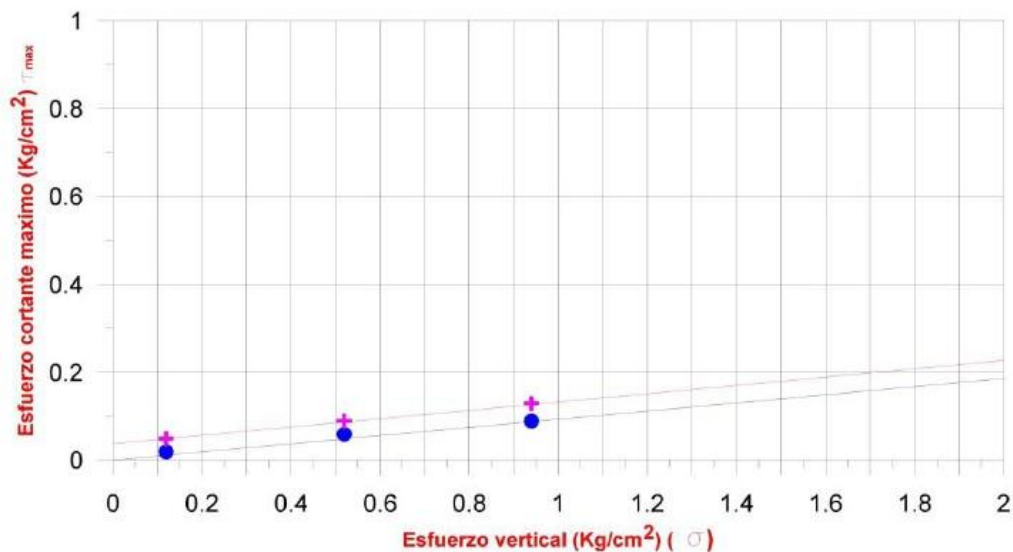
Figura 9. Ensayo de corte directo parte 2. Autoria Geocing 2014

ENSAYO DE CORTE DIRECTO



PROYECTO: BARRIO MONSERRATE Y CAFETERO
SITIO: SEVILLA - VALLE

SONDEO: AP3 MUESTRA: 1
FECHA: DICIEMBRE DE 2011



punto 1
punto 2
punto 3
CONDICIÓN PICO

RESULTADOS

$\phi'_{pico} = 6.61^\circ$, $c'_{pico} = 0.05 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi'_{residual} = 5.30^\circ$, $c'_{residual} = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$

CONDICIÓN RESIDUAL

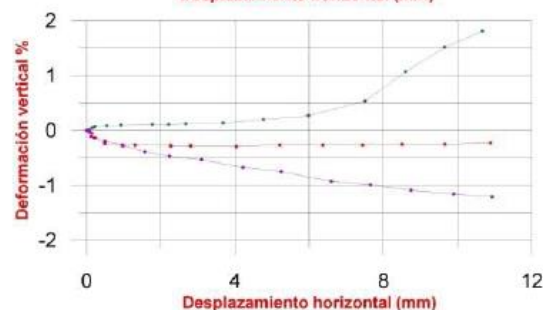
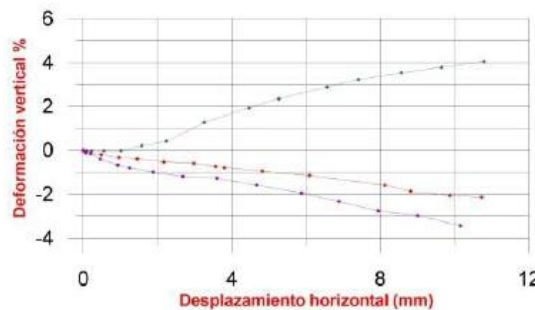
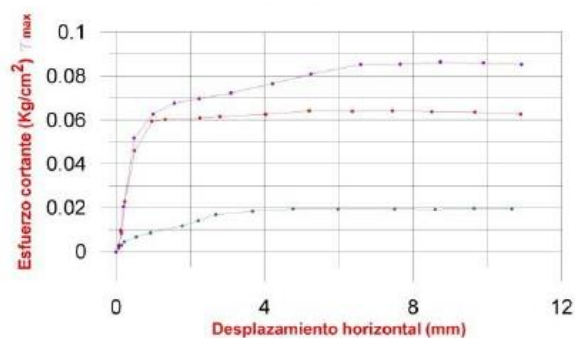
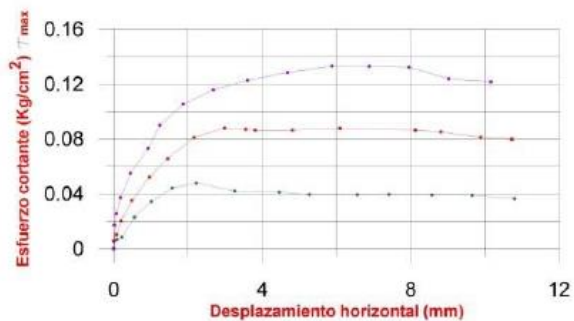


Figura 10. Ensayo de corte directo parte 3. Autoria Geocing 2014

Los parámetros de resistencia residual se utilizan para analizar la estabilidad de una ladera que se encuentra en una condición de falla. Las muestras requeridas para los ensayos de corte directo deben ser grandes y no alteradas, pero en 11 de los 14 apiques realizados en el área de estudio no se pudieron conservar las condiciones inalteradas de las muestras. Por lo tanto, solo se pudieron realizar ensayos de corte directo en 3 muestras. Finalmente, en la Tabla ###, se presenta en forma resumida, los parámetros geo mecánicos que caracterizan el material presente en la zona, a partir de los cuales se infiere el comportamiento dúctil del material.

Tabla 1. Resultados obtenidos a partir del ensayo corte directo.

Apique	$\phi(^{\circ})$ pico	c(kN/m ²) pico	$\phi(^{\circ})$ residual	c(kN/m ²) residual	Ensayo
A1	42.6	0.25	37.4	0.2	Corte Directo
A2	47.23	0.2	36.1	0.15	Corte Directo
A3	6.61	0.05	5.3	0	Corte Directo

2.4 Perfil geológico representativo

Haciendo uso del análisis de la problemática realizado por la Universidad del valle (2011), se recopila la información del perfil geológico para conocer los espesores de diferentes tipos de materiales. La distribución se puede observar en la figura #####

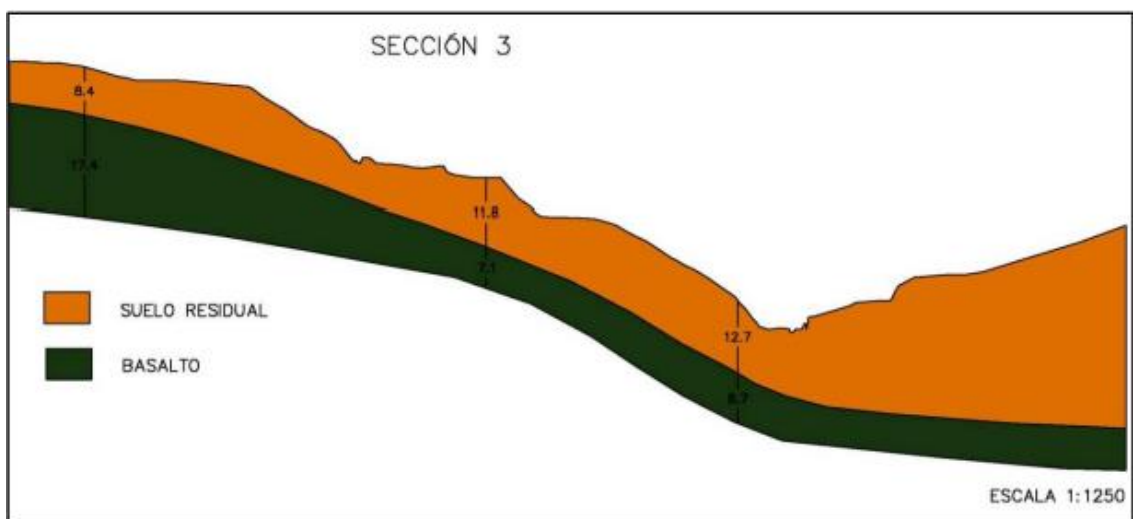
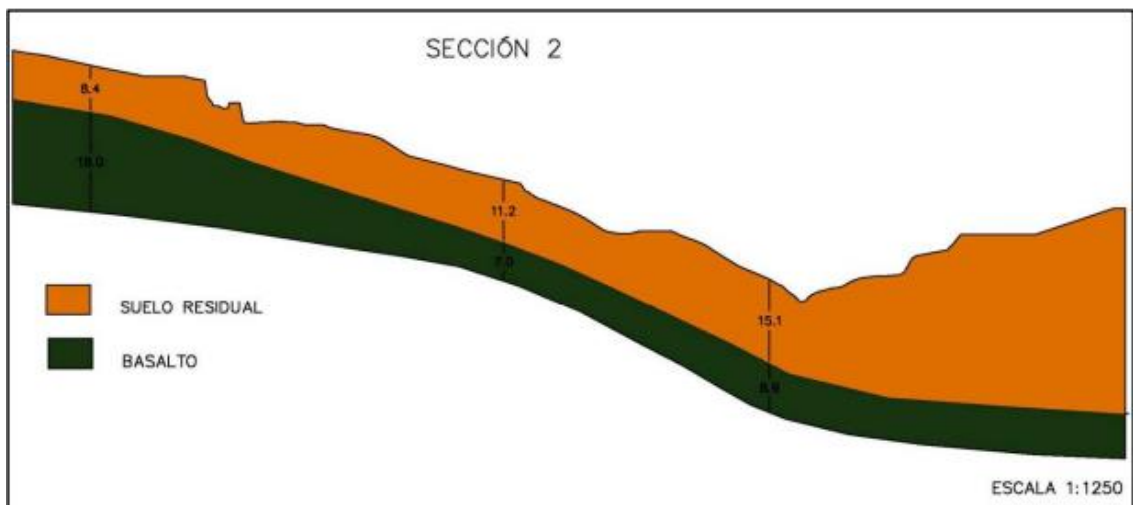
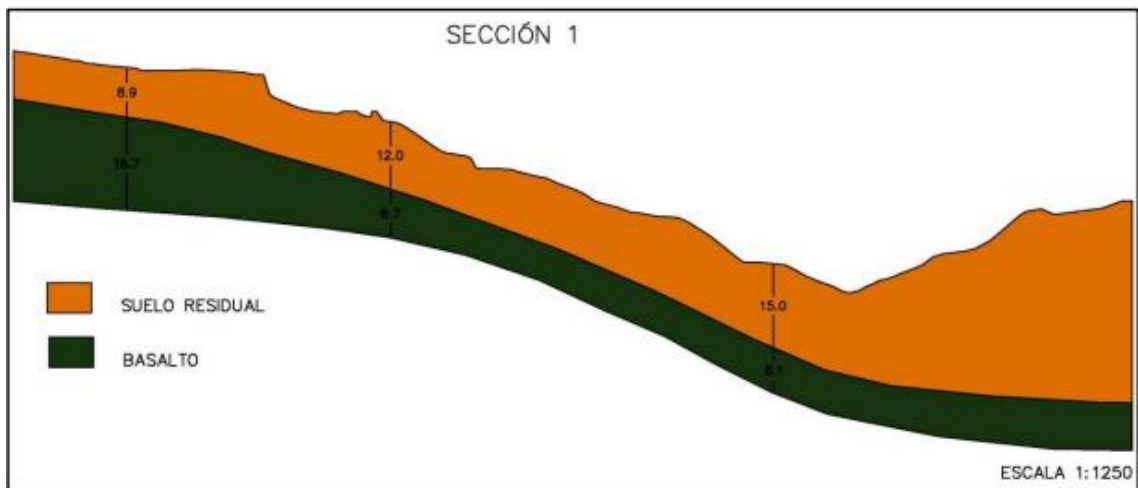


Figura 11. Identificación de estratos del perfil. Autoría Geocing 2014

2.5 Parámetros geo mecánicos empleados en la modelación

La Tabla No. 9 presenta los parámetros de resistencia de los diferentes estratos identificados durante la exploración del subsuelo. Estos parámetros se utilizan para realizar los análisis de estabilidad de la ladera. Para el material de relleno, se utilizan los parámetros de resistencia residual, ya que el material ya se encuentra en una condición de falla.

Tabla 2. Resumen resultado obtenidos en la modelación.

Estrato	$\phi(^{\circ})$	c(kN/m ²)	g(kg/cm ³)
Suelo residual	36.1	1	14.5
Basalto	35	35	24

2.6 Modelación de estabilidad del terreno

El análisis de estabilidad de la ladera para la condición actual indica que el terreno está en riesgo de falla debido a dos factores: el ascenso del nivel freático y las bajas propiedades geomecánicas del suelo. El ascenso del nivel freático es el factor detonante, ya que reduce la resistencia del suelo. En este sector se presentan precipitaciones frecuentes, por lo que el análisis de estabilidad se realizó considerando un nivel freático saturado.

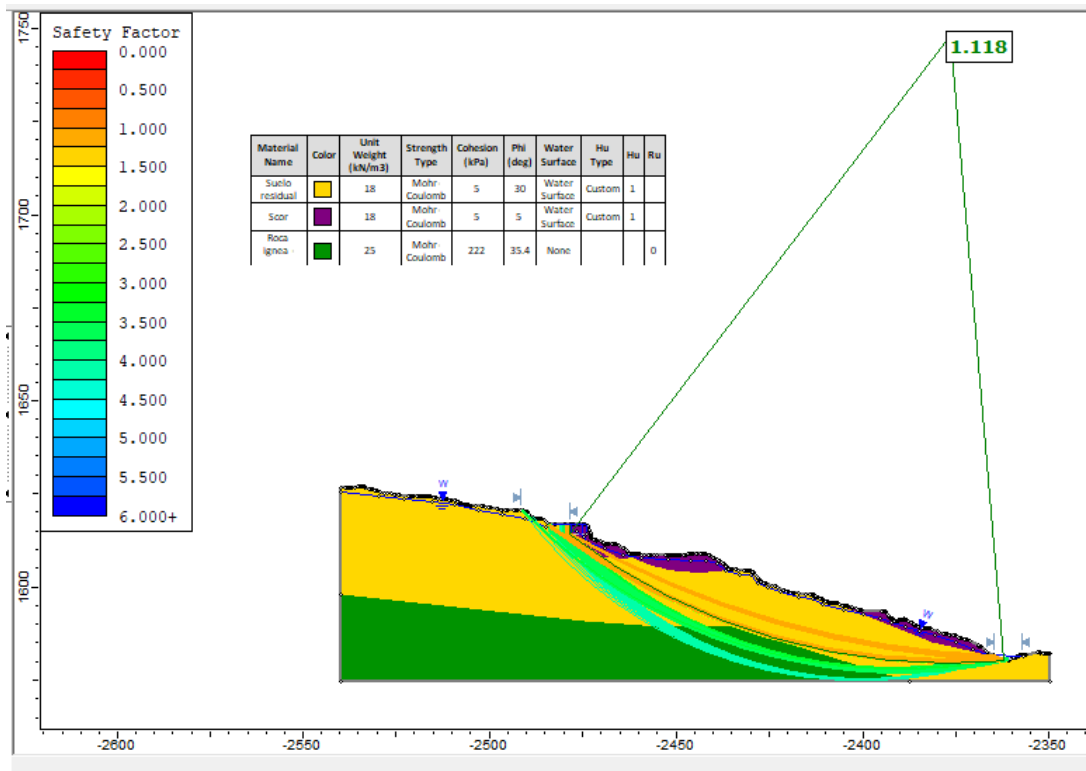
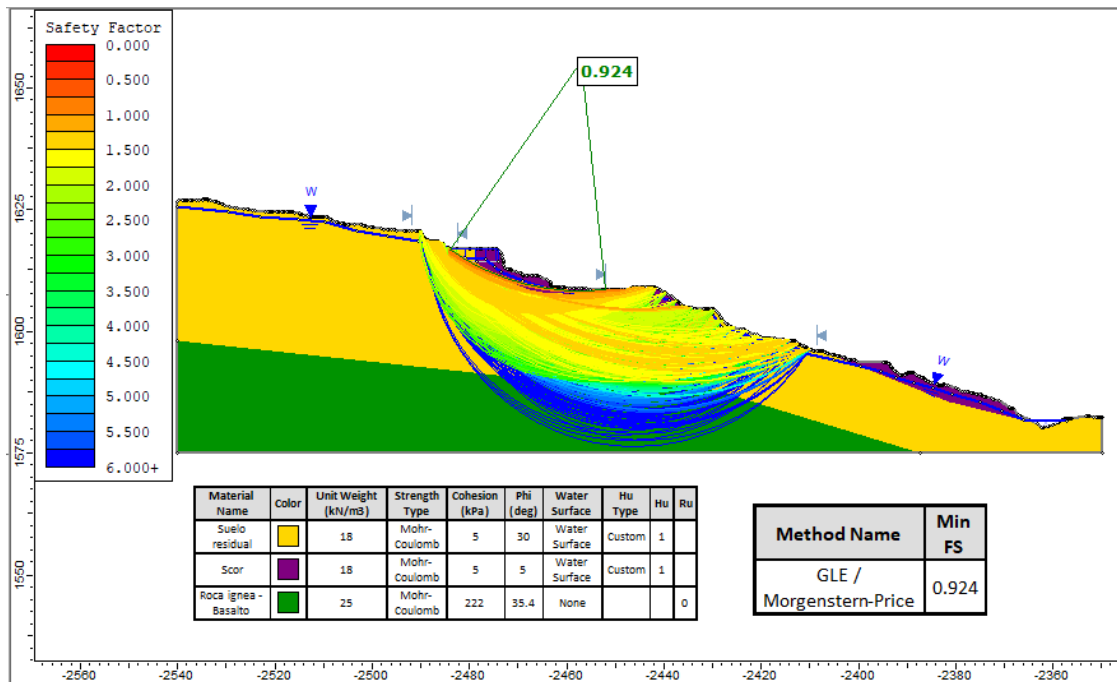


Figura 12. Resultados obtenidos del análisis de estabilidad.

El análisis de estabilidad de la ladera para el escenario definido indica que el terreno está en riesgo de falla debido a tres factores: el ascenso del nivel freático, las bajas propiedades geomecánicas del suelo y la saturación de masas de suelo superficiales.

El ascenso del nivel freático reduce la resistencia del suelo, mientras que la saturación de masas de suelo superficiales aumenta su peso y disminuye sus propiedades mecánicas. Esto facilita el movimiento del suelo superficial sobre una capa de arcillolita estable.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 Identificación de los agentes detonantes de inestabilidad.

Se consideraron los siguientes documentos como soporte para la identificación de los agentes detonantes de inestabilidad

- Estudio de amenaza, vulnerabilidad, escenarios de riesgo y diseño de ingeniería y tratamientos de mitigación ante movimientos en masa en los barrios Monserrate y Cafetero. contrato interadministrativo 0252 de 2011, en adelante (CVC - OSSO Univalle, 2012).
- Contrato CVC 474 DE 2019. Consultoría técnica para realizar la evaluación integral de la situación actual, la revisión técnica de los diseños existentes y plantear posibles soluciones alternativas para las obras de mitigación del riesgo de movimientos en masa en

los barrios Monserrate y Cafetero en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca, en adelante (AIV, 2019).

En el sondeo realizado por la Universidad del Valle, se encuentra que los deslizamientos activos se suceden en especial hacia las laderas del cerro Monserrate y en las vertientes de las Quebradas Agua Sucia y El Popal.

Como causas de los deslizamientos referidos se tienen:

- Perfiles de meteorización espesos en terrenos de pendiente fuerte.
- Vertimiento de aguas servidas y filtraciones de agua del sistema de acueducto y alcantarillado del Barrio Monserrate.
- Carga de las construcciones sobre el terreno.
- Alta humedad de los suelos por infiltración en temporadas invernales.
- Mal uso del suelo en cultivos limpios e inadecuado manejo de las aguas residuales.
- Pendiente fuerte en las márgenes de la Quebrada Agua Sucia.
- Erosión lateral de la Quebrada.

En resumen, las causas derivan en la alta susceptibilidad del substrato geológico ante procesos de remoción en masa por causa de condiciones intrínsecas de fracturación y permeabilidad debido a su ubicación dentro de la zona de la falla de Sevilla; modificación de laderas de urbanización; inadecuada disposición de aguas residuales que posibilitan la saturación de los suelos, socavación de taludes por la quebrada Agua Sucia o El Cafetero; aguas superficiales sin control, uso y manejo de terreno no apto para sus condiciones.

Adicionalmente, el estudio realizado por la Asociación de Ingenieros del Valle. Se encuentra que la inestabilidad del territorio municipal relacionada principalmente por la actividad de los movimientos en masa y la erosión, son producto de la interacción de factores como:

- El tipo de material superficial que recubre el área, siendo predominantemente depósitos de cenizas, los cuales presentan una alta porosidad primaria permitiendo la infiltración, lo que puede causar la sobresaturación del terreno, contribuyendo con su desplazamiento pendiente abajo con influencia directa del agua y la gravedad.
- El contacto entre los depósitos de ceniza y el saprolito de rocas infra yacentes, el cual se comporta como una superficie potencial de falla al definir un cambio de permeabilidad, permitiendo la concentración de agua
- La actividad sísmica característica de la región cafetera.
- Las altas pendientes, pues su disposición determina en gran medida la acción de la gravedad y velocidad de movimiento.
- Las condiciones climáticas, especialmente las lluvias fuertes o prolongadas que contribuyen a la saturación o sobresaturación de materiales poco o no adherentes, y la acción de vientos promueven el desprendimiento de materiales.
- La condición de humedad de los materiales, pues el agua del suelo actúa como lubricante, disminuyen las capas o estratos
- El patrón erosivo de los drenajes que contribuye al socavamiento lineal de las pendientes hacia los mismos.

- La vegetación superficial que no amarra ni retiene el movimiento, ni absorbe el exceso de agua infiltrada a alguna profundidad.

3.2 Soluciones – conceptual.

Soluciones propuestas por las entidades de CVC, Geocing, Univalle.

La importancia de conocer los escenarios de afectación o riesgo de un fenómeno en particular constituye uno de los mecanismos y herramientas de planificación más importantes de la Administración y toma de decisiones, puesto que así se podría mitigar los efectos de un nuevo deslizamiento y evitar pérdidas humanas y materiales. Por ende, se han hecho las siguientes soluciones:

3.2.1 Univalle y CVC (2011-2022):

Estas entidades realizan unas obras de corrección en este deslizamiento para reducir el problema de inestabilidad, donde se implementaron muros de contención, cimientos sobre pilotes. (Donde los pilotes se recomiendan que sean pre-excavados 4m por el elevado sometimiento que van a estar y se hagan con la mínima cantidad de agua ya que esta zona presenta grado alto de humedad), una red de drenaje para controlar las aguas subsuperficiales y superficiales, taludes y obras de bioingeniería.

Alcance: con estudios que se realizaron de estas soluciones se obtuvo valores de factor de seguridad mayores a 1.5 lo que garantiza una pendiente segura para los posibles deslizamientos futuros.

3.2.2 Geocing (2014):

Las soluciones realizadas por esta entidad fueron, estructuras escalonadas de caída para transportar el agua de las cunetas hasta la quebrada cafetero, muros de concreto, muros en gavión.

3.2.3 Asociación de ingenieros del Valle (2019):

Las soluciones que se realizaron con fundamento en los estudios de amenaza por movimientos en masa y la propuesta de obras de mitigación del riesgo realizada por la Universidad del Valle, la CVC celebró con la Firma GEOCING SAS el contrato No 478-2013, para realizar el diseño a nivel de detalle de estas obras:

- Movimientos de Tierra
- Terraceo
- Muros de contención en Cantilever
- Pilotes
- Obras para el control de la erosión.
- Obras para el manejo de aguas superficiales

3.3 RESUMEN

Se presentará una tabla de resumen con las propuestas realizadas por las distintas entidades de las cuales se toman en cuenta los parámetros conceptuales y modelos definidos por los mismos.

Tabla 3. Resumen de alternativas.

AUTOR	SOLUCIÓN
UNIVALLE Y CVC (2011-2022)	• Muros de contención en voladizo
GEOCING (2014)	• Muros en concreto sobre caisson y el muro en gavión con pilotes.
ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DEL VALLE (2019)	• Pilotes. • Muros de contención • Muros en gavión

3.4 ALTERNATIVAS

3.4.1 Muros de contención (Univalle)

En su estudio Univalle propone la construcción de un muro en voladizo en concreto reforzado con cimentación en pilotes del cual se muestra a continuación el modelo realizado y sus características:

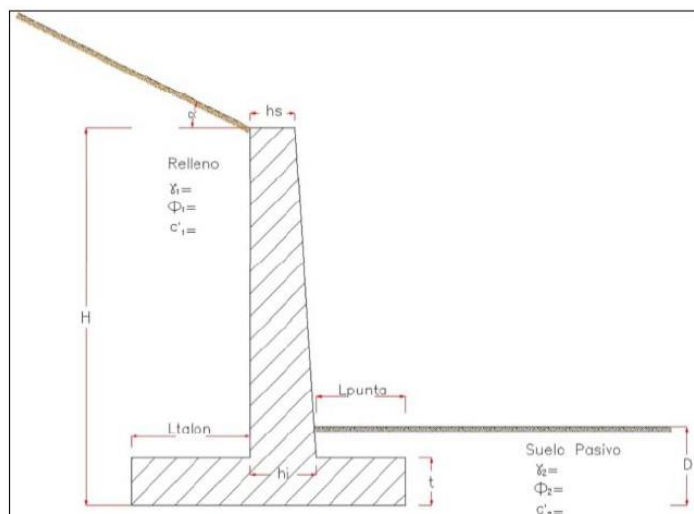


Figura 13. Imagen tomada de informe Univalle de muro en voladizo típico. Autoria Univalle 2011

Donde:

H = Altura del muro [m] α = Inclinación suelo de relleno [$^\circ$]

L_{talon} = Longitud del talón [m]

γ_1 = Peso unitario Suelo de relleno [KN/m³]

L_{punta} = Longitud de la punta [m]

ϕ_1 = Angulo de fricción Suelo de relleno [$^\circ$]

h_s = Espesor cresta [m] •

c'_1 =Cohesión Suelo de relleno [KN/m²]

h_i = Espesor base [m]

γ_2 = Peso unitario Suelo de soporte [KN/m³]

t = Espesor placa [m]

ϕ_2 =Angulo de fricción Suelo de soporte [$^\circ$]

D = Profundidad de cimentación [m]

c'_2 = Cohesión Suelo de soporte [KN/m²]

3.4.2 Muro en gavión (Geocing)

En su informe Geocing propone la conformación de un muro en gavión con la finalidad de confinar el talud y como protección contra la erosión de la quebrada El Cafetero con desplante entre 0,5 y 1.0 metro de profundidad; una vez realizada la verificación de factores de seguridad del código de puentes en el numeral A.5.7.2.1. para muros en gravedad se empleó un material de relleno sin cohesión con un ángulo de fricción de 30° .

Verificando la estabilidad del muro de acuerdo con hojas de cálculo realizadas por ellos llegaron al siguiente diseño de muro en gavión:

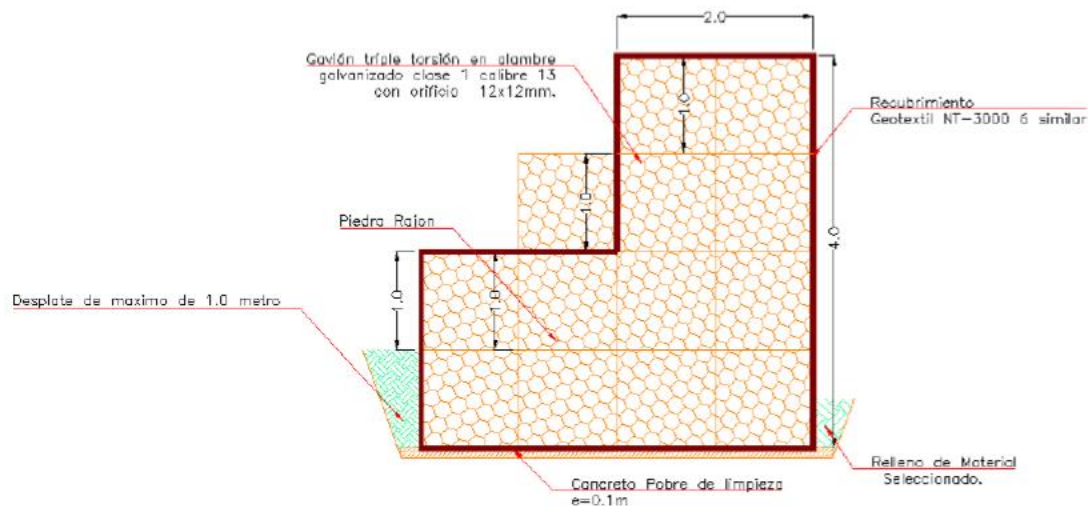


Figura 14. Imagen tomada de informe Geocing para esquema típico de muro en gaviones. Autoría Geocing 2014

3.4.3 Muro de contención con pilotes (AIV)

La AIV propone la construcción de dos muros de concreto reforzado uno ubicado en la corona del talud, el siguiente en la parte media del deslizamiento apoyados sobre caisson de 1m de diámetro con distribución a tres bolillos y estos a su vez acompañados de una línea de gaviones al borde de la quebrada El Cafetero como control contra la erosión.

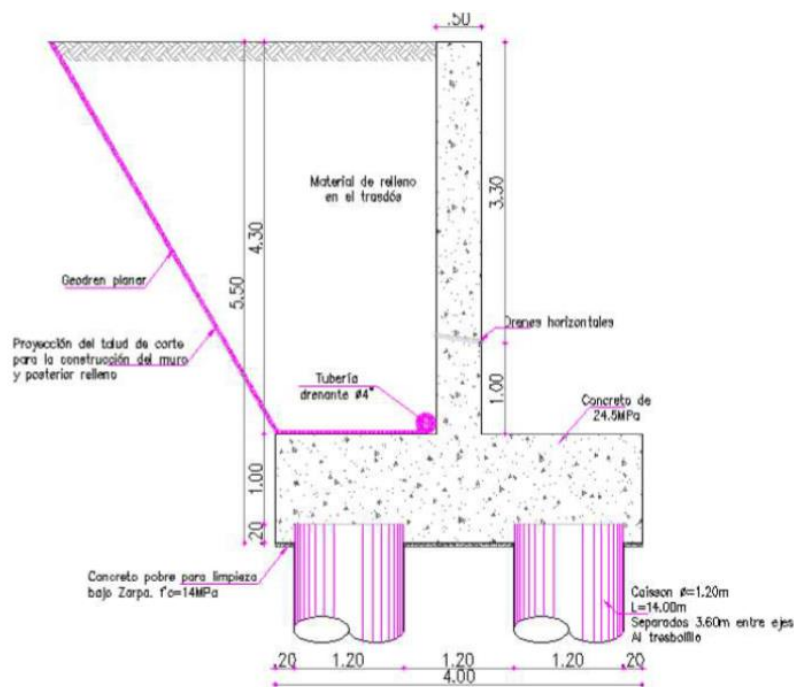


Figura 15. muro típico en concreto reforzado Fuente: informe final contrato CVC No. 478 de 2013

3.5.1 Análisis de la propuesta

El presupuesto incluye la mano de obra requerida para la construcción del muro, el precio puede variar por el difícil acceso al terreno lo que puede dificultar el acceso a la maquinaria y traslado de los materiales, lo cual podría traer como consecuencia retrasos y se

verán reflejados en sobrecostos. La duración de la obra dependerá del personal y maquinaria que se tenga a disposición y las alternativas que se tomen para llevar a cabo las dificultades que presenta el proyecto.

3.5.2 Informe CVC INFORME TECNICO FINAL 2014

Tabla 4. Aumento de precios de obras civiles histórico

Aumento de precios de obras civiles	
año	% de aumento
2014	6
2015	1.7
2016	3.9
2017	4.77
2018	2.9
2019	8.3
2020	7.9
2021	8.56
2022	12

En el año 2012 se planteó la alternativa de muro de contención en voladizo de la cual se actualizo el presupuesto a la actualidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5. Aumento de precio de alternativa a la actualidad Alternativa 2012

	2012	2023
VALOR REPRESENTATIVO OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA	\$ 1,726,792,806.48	\$ 2,265,424,186.03
A.I.U. (ADMINISTRACION + IMPREVISTOS + UTILIDAD) 30 %	\$ 531,876,678.98	\$ 697,782,784.38
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA	\$ 2,258,644,990.88	\$ 2,963,174,835.34

En el año 2014 se plantearon el presupuesto para tres alternativas:

- Alternativa 1: cunetas en manto de hormigón
- Alternativa 2: cuneta en piedra pegada
- Alternativa 3: cuneta en sacos de cemento

De acuerdo con el porcentaje de aumento de precios en la construcción de obras civiles se presenta a continuación el presupuesto actual de cada una de las alternativas:

Tabla 6. Aumento de precio de alternativa a la actualidad Alternativa 2014

	2014	2022
VALOR REPRESENTATIVO OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 1	5,983,058,950.00	\$ 10,264,923,684.95
A.I.U. (ADMINISTRACION + IMPREVISTOS + UTILIDAD) 26 %	1,555,595,327.00	\$ 2,668,880,158.09
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 1	7,538,654,277.00	\$ 12,933,803,843.04

VALOR REPRESENTATIVO OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 2	5,907,145,190.00	\$ 10,134,681,118.47
A.I.U. (ADMINISTRACION + IMPREVISTOS + UTILIDAD) 26 %	1,535,857,750.00	\$ 2,635,017,091.83
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 2	7,443,002,940.00	\$ 12,769,698,210.31

VALOR REPRESENTATIVO OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 3	5,905,730,790.00	\$ 10,132,254,482.17
A.I.U. (ADMINISTRACION + IMPREVISTOS + UTILIDAD) 26 %	1,535,490,006.00	\$ 2,634,386,166.39
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA No. 3	7,441,220,796.00	\$ 12,766,640,648.56

Las propuestas presentadas en el 2014 presentan un aumento de más del 40% en la actualidad.

3.5.3 Asociación de Ingenieros del Valle

INFORME FINAL

CONTRATO CVC NO 0474 DE 2019

Tabla 7. Aumento de precio de alternativa a la actualidad Alternativa 2019

	2019	2022
VALOR REPRESENTATIVO OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA	\$ 3,428,511,748.00	\$ 4,497,953,319.51
A.I.U. (ADMINISTRACION + IMPREVISTOS + UTILIDAD) 26 %	\$ 891,413,054.00	\$ 1,169,467,862.44
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-PRESUPUESTO DE OBRA SEVILLA - ALTERNATIVA	\$ 4,319,924,802.00	\$ 5,667,421,181.96

3.6 Huella de carbono tres alternativas

Tabla 8. Huella de carbono para la propuesta de muro de contención en voladizo

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de conversión a Kg	QM (Kg)	FEM (Kg CO2 eq / kg)	QM x FEM (Kg CO2 eq)	D (Km)	Q (ton)	DT x QM x FET (Kg CO2 eq)
Excavación en material común bajo agua	m ³	24493.0	1765.8	43,249,739	0.007	302,748	17.4	43,250	99,336
Relleno con material granular	m ³	10481.0	1765.8	18,507,350	0.007	129,551	35.1	18,507	85,748
Concreto 21 Mpa	m ³	541	2300	1,244,300	0.043	53,505	12	1,244	1,971
Acero grado 60 420 Mpa	Kg	135.2	1	135	0.482	65	8.7	0	0
Filtro	m ²	88	40.5	3,564	2.70	9,623	484	4	228
Revegetalización	m ²	892	120	107,040	0	0	4.9	107	69
						495,492			187,352
								Ton CO ₂	682.84

Tabla 9. Huella de carbono para la propuesta de geocing 2014

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de conversión a Kg	QM (Kg)	FEM (Kg CO2 eq / kg)	QM x FEM (Kg CO2 eq)	D (Km)	Q (ton)	DT x QM x FET (Kg CO2 eq)
Excavación en material común bajo agua	m³	22846	1765.8	40,341,467	0.007	282,390	17.4	40,341	92,656
Relleno con material granular	m³	6107	1765.8	10,783,741	0.007	75,486	35.1	10,784	49,963
Concreto 21 Mpa	m³	2300	2300	5,290,000	0.043	227,470	12	5,290	8,379
Acero grado 60 420 Mpa	Kg	1	1	1	0.482	0	8.7	0	0
Filtro	m²	40.5	40.5	1,640	2.70	4,429	484	2	105
Revegetalización	m²	120	120	14,400	0	0	4.9	14	9
589,776							151,113		
								Ton CO₂	740.89

Tabla 10. Huella de carbono para la propuesta de muro de Asociación ingenieros del Valle

2019

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de conversión a Kg	QM (Kg)	FEM (Kg CO2 eq/ kg)	QM x FEM (Kg CO2 eq)	D (Km)	Q (ton)	DT x QM x FET (Kg CO2 eq)
Excavación en material común bajo agua	m³	22846.0	1765.8	40,341,467	0.007	282,390	17.4	40,341	92,656
Relleno con material granular	m³	6197.0	1765.8	10,942,663	0.007	76,599	35.1	10,943	50,700
Concreto 21 Mpa	m³	4818	2300	11,081,400	0.043	476,500	12	11,081	17,553
Acero grado 60 420 Mpa	Kg	0	1	0	0.482	0	8.7	0	0
Filtro	m²	40	40.5	1,620	2.70	4,374	484	2	103
Revegetalización	m²	26.2	120	3,144	0	0	4.9	3	2
839,863							161,014		
								Ton CO₂	1000.88

De acuerdo a los resultados obtenidos de huella de carbono se puede evidenciar que la propuesta de la Asociación de ingenieros del Valle es más alta, aquí se evalúa la alternativa 1 correspondiente a cunetas en manto de hormigón.

3.7 Matriz de evaluación de las alternativas conceptuales

Alternativa	Costo directo aproximado (\$)	Toneladas de Co2 eq	Factibilidad constructiva
Muro de contención en voladizo	2,963,174,835.34	682.84	Se requiere personal especializado en algunas partes del proyecto para la construcción
Muros en concreto sobre caisson y el muro en gavión con pilotes.	12,933,803,843.04	740.89	Bajo costo y no necesita personal autorizado
Pilotes. Muros de contención Muros en gavión.	5,667,421,181.96	1000.88	Es una alternativa más factible y requiere de personal especializado, pero más costosa.

Tabla 11. Comparación y evaluación de cada alternativa

Alternativa	Costo directo aproxima	Ton Co2	tiempo de construcción	Total (+)
Muro en voladizo	+	+	+	3
Muro gavión en pilotes	-	+	+	2
Pilotes, muro de contención, muro en gavión	+	-	-	1

Según el puntaje obtenido en la comparación podemos evidenciar que el muro de contención en voladizo es la opción más recomendó ya que en comparación con las otras dos alternativas es más factible tanto en huella de carbono como en costos y tiempo de construcción.

4. PROPUESTA

De las alternativas presentadas se escoge el muro en voladizo ya que presenta menor presupuesto y menor impacto ambiental. Con esta elección se requerirán los siguientes documentos para un informe detallado de la implementación de la alternativa.

- Memoria de cálculo: Documento donde se podrá evidenciar las dimensiones de la estructura escogida como alternativa y a su vez, el cumplimiento con los factores de seguridad requeridos.
- Plano de localización: Documento en vista en planta de la localización donde se llevará a cabo la obra correctiva escogida con las especificaciones que esta conlleva, tales como topografía, coordenadas y zona geográfica.
- Excavaciones: Documento que contendrá información sobre las excavaciones necesarias que se llevaran a cabo como primer paso para el trabajo de campo.
- Plano de la estructura: documento donde se encontrará a detalle la alternativa correctamente dimensionada y con sus observaciones.
- Drenaje: Se describirá el drenaje realizado a toda la parte hidrológica que se presenta en el terreno escogido para realizar la obra civil correctora.

- Paisajismo: Presentación visual del paisaje donde se localiza la zona destinada a intervención.

4.1 Huella de carbono datos propuesta final

Tabla 12. Huella de carbono para la propuesta de muro de contención en voladizo datos optimizados

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de conversión a Kg	QM (Kg)	FEM (Kg CO ₂ eq / kg)	QM x FEM (Kg CO ₂ eq)	D (Km)	Q (ton)	DT x QM x FET (Kg CO ₂ eq)
Excavación en material común bajo agua	m ³	24493	1765.8	43,249,739	0.007	302,748	17.4	43,250	99,336
Relleno con material granular	m ³	10481	1765.8	18,507,350	0.007	129,551	35.1	18,507	85,748
Concreto 21 Mpa	m ³	4150	2300	1,244,300	0.043	53,505	12	1,244	3,459
Acero grado 60 420 Mpa	Kg	254,5	1	135	0.482	65	8.7	0	1345
Filtro	m ²	88	40.5	3,564	2.7	9,623	484	4	228
Revegetalización	m ²	892	120	107,040	0	0	4.9	107	69
						495,492			440,78
								Ton CO ₂	935,65

5. OPTIMIZACIÓN

En este capítulo, se exploró el caso particular de la optimización de un muro de contención, centrado en la variable del volumen de concreto por metro lineal. Esta elección estratégica surge como resultado de la búsqueda por equilibrar la capacidad portante del muro con un factor de seguridad óptimo, que previamente arrojaba valores excesivamente altos.

A lo largo de este capítulo, se examina el proceso iterativo emprendido para ajustar y afinar el diseño del muro de contención. Se analizan de igual manera los motivos detrás de la elección del volumen de concreto por metro lineal como la variable clave en esta optimización, y cómo su manipulación ha llevado a un nuevo equilibrio en términos de capacidad portante y factor de seguridad.

Se obtiene el volumen del muro por metro lineal por medio de la suma de los elementos mostrados en la Figura 1.

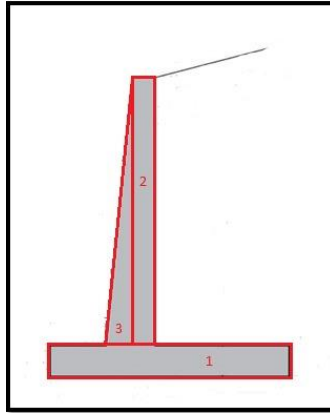


Figura 16. Enumeración de los elementos

A continuación, se presentan cada proceso iterativo realizado acompañado de todos los cálculos.

5.1 Primera iteración

En esta primera iteración se toma las dimensiones del muro de contención y se realiza una división en tres partes para calcular el volumen de concreto en metros cúbicos, esto con el objetivo de revisar en que sección tienen mayor impacto la disminución o el aumento de las dimensiones que se trabajan en la iteración.

Tabla 13. Primera iteración

Elemento	Volumen (m3)
1	3.3
2	1.17
3	0.78
TOTAL	5.25

Posteriormente se tomaron secciones cuadradas y rectangulares del muro, esto con el objetivo de calcular las fuerzas verticales y el momento.

Tabla 14. Esfuerzos verticales

Columna1	b	H	A	W	x	W*x
Base	3.000	1.100	3.300	79.200	1.500	118.800
Bast	0.300	3.900	1.170	28.080	0.850	23.868
trian	0.200	3.900	0.390	9.360	0.633	5.928
Suelo	2.000	3.900	7.800	140.400	2.000	280.800
			Fv=	257.040	Wx=	429.396

Se realiza el calculo de los factores de capacidad, forma y profundidad.

Tabla 15. Factores de carga, forma y profundidad primera iteración

Factor	N	S	d
q	33.29609149	1.126186257	1.127323677
c	46.12359869	1.130093425	1.131266064
r	48.02876359	0.92791494	1
	707.5930164	1141.342192	1024.114419
	qult=	2873.049628	

Se realizo el cálculo del momento actuante.

Tabla 16. Cálculo del momento actuante primera iteración

Ka=	0.27
Oh=	24.3
Ea=	60.75
Ma=	101.25

Tabla 17. Factores de seguridad primera iteración

Fs volcamiento	Fs deslizamiento	Fs capacidad de soporte
4.240948148	2.41771577	23.17797951

Con los resultados obtenidos se calcularon los factores de seguridad: volcamiento, deslizamiento y capacidad de soporte identificando que con una base de 3 metros y un espesor de 1.1 metros, los factores de seguridad son muy altos con respecto a los valores que deben cumplir por lo cual se procede a realizar una nueva iteración.

5.2 Segunda Iteración

Tabla 18. Volumen iteración

Elemento	Volumen (m3)
1	2.8
2	1.2
3	0.8
TOTAL	4.8

Tabla 19. Esfuerzos verticales

Columna1	b	H	A	W	x	W*x
Base	2.800	1.000	2.800	67.200	1.400	94.080
Bast	0.300	4.000	1.200	28.800	0.850	24.480
trian	0.200	4.000	0.400	9.600	0.633	6.080
Suelo	1.800	4.000	7.200	129.600	1.900	246.240
			Fv=	235.200	Wx=	370.880

Tabla 20. Factores de carga, forma y profundidad

Factor	N	S	d
q	33.29609149	1.11777384	1.136418225
c	46.12359869	1.12142053	1.140642211
r	48.02876359	0.93272061	1
	707.9822548	1141.955424	924.3924284
	qult=	2774.330107	

Tabla 21. Cálculo del momento actuante primera iteración

Ka=	0.27
Oh=	24.3
Ea=	60.75
Ma=	101.25

Con los resultados obtenidos de la anterior iteración se cambiaron las dimensiones de la base a 2.8 metros y de el espesor a 1 metro obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 22. Factores de seguridad primera iteración

Fs volcamiento	Fs deslizamiento	Fs capacidad de soporte
3.663012346	2.223133772	21.39852827

Se observa que los factores de seguridad siguen siendo altos con respecto a los valores de cumplimiento por lo cual se procede a hacer una tercera iteración.

5.3 Tercera Iteración

Tabla 23. Volumen iteración

Elemento	Volumen (m3)
1	2.6
2	1.2
3	0.8
TOTAL	4.6

Tabla 24. Esfuerzos verticales

Columna1	b	H	A	W	x	W*x
Base	2.600	1.000	2.600	62.400	1.300	81.120
Bast	0.300	4.000	1.200	28.800	0.850	24.480
trian	0.200	4.000	0.400	9.600	0.633	6.080
Suelo	1.600	4.000	6.400	115.200	1.800	207.360
			Fv=	216.000	Wx=	319.040

Tabla 25. Factores de carga, forma y profundidad

Factor	N	S	d
q	33.29609149	1.109361422	1.146911935
c	46.12359869	1.112747635	1.151460843
r	48.02876359	0.937526281	1
	709.1698839	1143.826495	817.2248166
	qult=	2670.221195	

Tabla 26. Cálculo del momento actuante primera iteración

Ka=	0.27
Oh=	24.3
Ea=	60.75

Ma=	101.25
-----	--------

En esta iteración la base fue reducida a 2.6 metros y el espesor en 1 metro obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 27. Factores de seguridad primera iteración

Fs volcamiento	Fs deslizamiento	Fs capacidad de soporte
3.151012346	2.047297203	19.20981555

En esta iteración los valores de volcamiento y deslizamiento se encuentran cerca de los sugeridos, en el caso del factor de soporte es un valor lejano a valor de cumplimiento, pero se decidió conservar de esa forma para que no resultasen afectados los demás factores de seguridad y continuar en un ciclo repetitivo.

La tercera iteración resulta conveniente y es la que más cercana se encuentra de cumplir con los factores de seguridad, también se puede observar en la tabla No. 11 que la disminución por metro lineal es bastante significativa por lo cual es factible disminuir las dimensiones del espesor y la base y, así obtener una disminución considerable en cantidades de obra.

La disminución que se obtuvo fue de 1,38 metros cúbicos por metro lineal con una base de 2.6 metros y un espesor de 1 metro para un total de 4,6 metros cúbicos de concreto con respecto a los metros 5.98 cúbicos por metro lineal que se tenían inicialmente.

6 DISEÑO DE SUBDRENAJES

Se presenta a continuación el diseño de subdrenaje recomendado para el tipo de muro del proyecto.

6.1 Drenes de penetración

El subdren de penetración consiste en una tubería perforada colocada a través del suelo mediante la perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada con la finalidad de abatir el nivel freático hasta donde se incremente la estabilidad del talud.

El diámetro de las perforaciones es de aproximadamente 3 a 4 pulgadas donde se colocan las tuberías perforadas, la tubería que se suele usar es metálica, polietileno o PVC, las cuales se pueden perforar con agujeros de 5 a 1.5 mm con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro o ranuras en sentido transversal con ancho de 0.02 pulg en la tubería con excepción de 1.5 a 5 m más cercanos a la superficie para que las raíces de los árboles no invadan el interior de la tubería.

El diseño de los drenes de penetración se realiza con el modelo de cálculo de Kozeny para calcular la separación entre subdren, así:

$$S = 2 * h * \frac{K^{\frac{1}{2}}}{q}$$

Donde

S = separación entre drenes

h = altura nivel freático por encima nivel de drenes

k = permeabilidad de la formación

q = caudal unitario del subdren

$$S = 2 * 4 * \frac{0,00002^{\frac{1}{2}}}{0,007}$$

$$S = 5,11 \text{ m}$$

Para efectos constructivos se usa separación entre drenes de 5 m.

7. DISEÑO DETALLADO

El diseño de detalle de la alternativa elegida requiere considerar una serie de factores, entre los que se encuentran el cumplimiento de las normas de seguridad, la integración del proyecto con el entorno y la viabilidad del proceso constructivo. Este último factor es importante, ya que la ubicación del proyecto puede generar dificultades durante la construcción.

7.1 Muro.

En el presente informe, se propone el uso de muros de concreto reforzado como sistema estructural para las estructuras de contención. Este sistema es el más adecuado para este tipo de estructuras, ya que ofrece la resistencia y durabilidad necesarias para soportar las cargas que actuarán sobre ellas.

El análisis estructural realizado cumple con la normativa vigente en Colombia para estructuras de este tipo. Para ello, se han seguido las prescripciones del Reglamento de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, título H. Estos reglamentos son de carácter obligatorio en Colombia.

7.1.1 Dimensiones

Se obtuvieron las dimensiones finales de un muro en concreto reforzado previo a su optimización, el cual sería la estrategia final para solucionar la problemática de remoción de tierras.

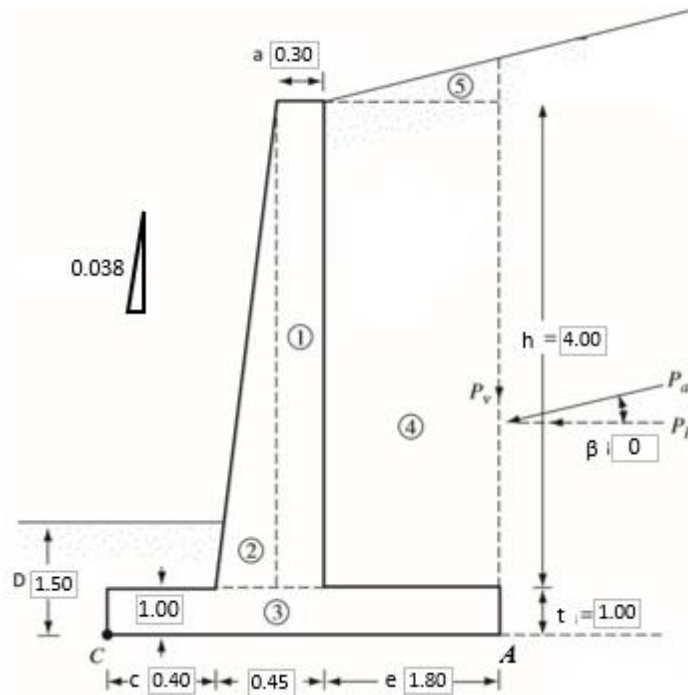


Figura 17. Dimensiones finales del muro. Autores

7.1.2 Factores de seguridad

Se realizan los distintos cálculos para los factores de seguridad del muro:

- Deslizamiento
- Volcamiento
- Capacidad portante

Cumpliendo con los requisitos mencionados en NSR-10 los factores de seguridad en una condición estática y pseudo estática deben ser mayores a los mostrados en la siguiente tabla

Tabla H.6.9-1
Factores de seguridad indirectos mínimos

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
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)	≥ 3.00 $\leq 1/6$	≥ 3.00 $\leq 1/6$	Diseño Diseño	≥ 2.00 $\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema: Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Figura 18. Valores mínimos Factores de seguridad. Autoría NSR 1

Se determinan los factores de seguridad y se verifica el cumplimiento con lo exigido por la norma NSR-10. Para ver a detalle revisar el Anexo 4.

Tabla 28. Factores de seguridad NSR 10

Factores de seguridad indirectos mínimos		
Condición	Estático	Seudo estático
Deslizamiento	1.6	1.05
Volcamiento	3	2
Capacidad portante	3	1.5

Resultados obtenidos de los factores de seguridad

Tabla 29. Factores de seguridad calculados

Volcamiento		
FS		28.62
FS NSR10		3

cumple

Deslizamiento

FS	12.91	cumple
FS NSR10	1.6	

Capacidad portante		cumple
FS	21.21	
FS NSR10	3	

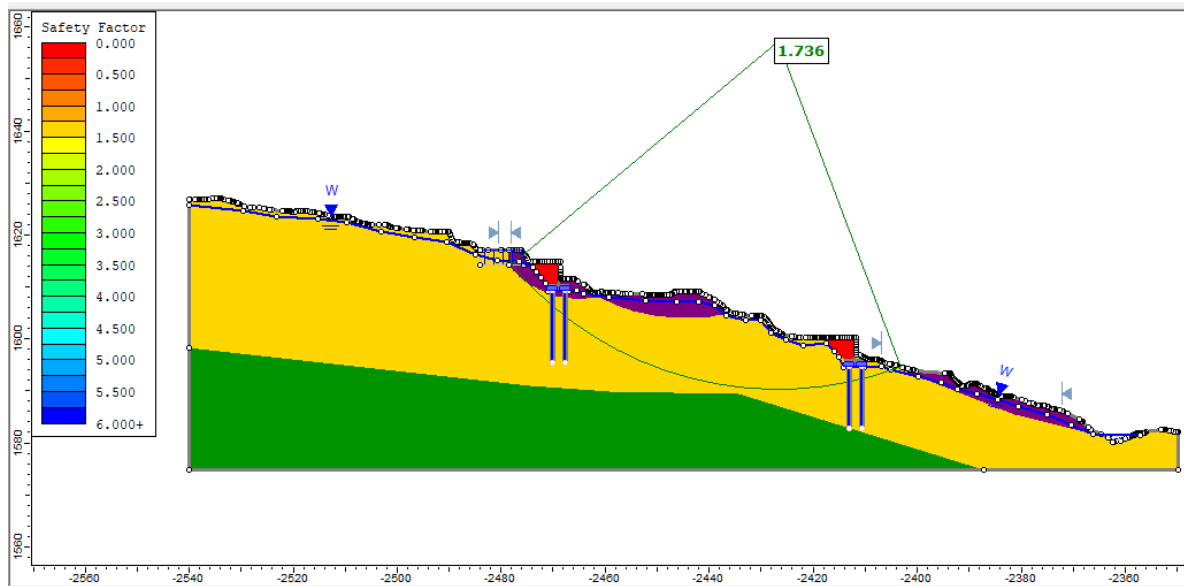


Figura 19. Modelacion de muros en el programa Slide. Autores

7.1.3 Distribución de acero de refuerzo

En este apartado, se presenta la distribución de acero necesaria para el diseño de un muro de contención en concreto reforzado. La distribución del acero se determina a partir de los resultados del análisis estructural, que deben cumplir con las prescripciones de la normativa vigente.

La distribución del acero se divide en dos partes: la distribución longitudinal y la distribución transversal. La distribución longitudinal se refiere a la ubicación de las barras de acero a lo

largo del muro, mientras que la distribución transversal se refiere a la ubicación de las barras de acero a través del muro. (Ver anexo 5. Distribución de acero)

Tabla 30. Dimensiones muro

Dimensiones [m]								
H	h	t	B	e	b	a	c	D
2.5	4.00	1.00	2.65	1.80	0.15	0.30	0.40	1.50

Tabla 31. Distribución del acero

Refuerzo							
Puntal	Talón	Horizontal	Vástago				
1	2	8	3	4	5	6	7
1/1" @ 0.15	1/1" @ 0.15	5/8" @ 0.45	1/1" @ 1.05	1/1" @ 1.05	1/1" @ 1.05	5/8" @ 0.45	5/8" @ 0.45

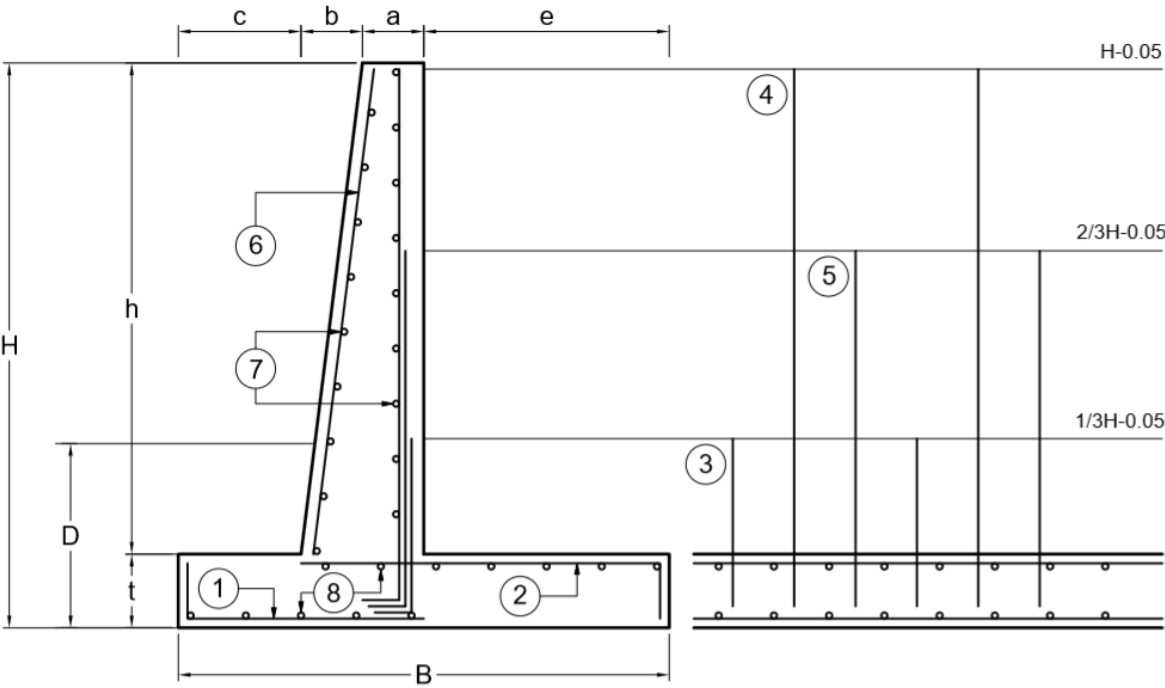


Figura 20. Despiece detallado del muro, vertical y horizontal.

7.1.4 Muro en gaviones de cierre

El muro principal requiere la construcción de un muro de cierre al lado derecho de la zona, viendo de frente al deslizamiento, para lograr adaptarse a la topografía, se propone la construcción de un muro de gaviones.

8 DISEÑO DE SUBDRENAJES

Se presenta a continuación el diseño de subdrenaje recomendado para el tipo de muro del proyecto.

8.1 Drenes de penetración

El subdren de penetración consiste en una tubería perforada colocada a través del suelo mediante la perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada con la finalidad de abatir el nivel freático hasta donde se incremente la estabilidad del talud.

El diámetro de las perforaciones es de aproximadamente 3 a 4 pulgadas donde se colocan las tuberías perforadas, la tubería que se suele usar es metálica, polietileno o PVC, las cuales se pueden perforar con agujeros de 1.5 a 5 mm con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro o ranuras en sentido transversal con ancho de 0.02 pulg.

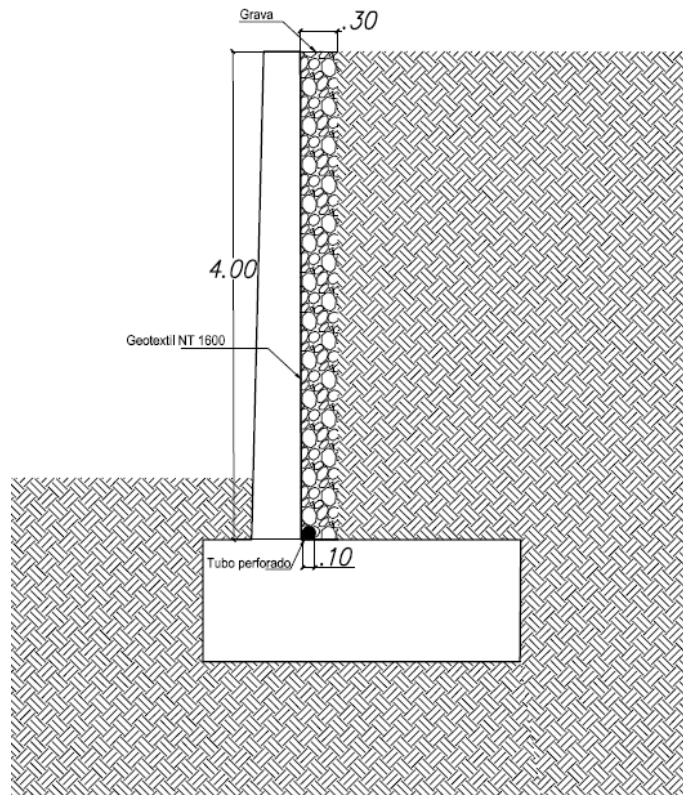


Figura 21. Dimensiones subdrenaje, medidas en m

8.2 Zanja de coronación

En la búsqueda de la estabilización del terreno resulta útil además de una estructura de contención la combinación de un sistema de drenaje superficial con la finalidad de reducir las presiones intersticiales a lo largo de la superficie de fluencia y por consiguiente el aumento de la resistencia al corte del terreno.

Son zanjas profundas y con una caída entre 4 y 8% de pendiente de forma que garantiza la desviación del agua con el arrastre de sedimentos del suelo tales como hojas.

Las dimensiones mínimas son de 30 cm ancho superior; 25 cm ancho inferior y 25 cm de profundidad. Para el caso de estudio, se presentan en la figura 3 las dimensiones de la zanja:

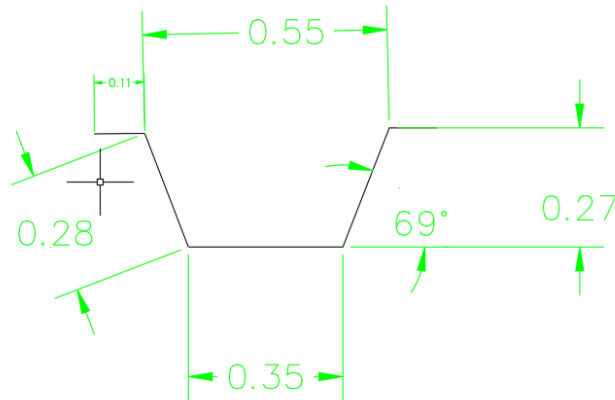


Figura 22. Dimensiones zanja de coronación, medidas en cm

Como sistema de filtro de sedimentos para evitar la colmatación de la zanja se pone cobertura vegetal a lo largo de la misma por la parte de afuera.

Con la finalidad de evitar la erosión de la zanja por acción del agua, se reviste con grava siendo capaz de soportar una velocidad entre 1,2 a 1,5 m/s.

9. REVEGETALIZACION PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES

Para la revegetalización en la zona, se propone un manto temporal de pasto Kikuyo que una especie de pasto muy resistente que puede crecer en una variedad de condiciones climáticas y de suelo.

En Sevilla Valle, el pasto kikuyo se utiliza comúnmente como cobertura vegetal para controlar la erosión y mejorar la calidad del agua, el cual ayuda a que la vegetación retome área y a que se conserve la humedad en la zona para el crecimiento de esta, además.

10. HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO

El término huella de carbono fue establecido en el 2003, proviene de la huella ecológica (Hammond & Jones, 2008) , y su función es ayudar a cuantificar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) expresadas en kilogramos de CO₂ equivalentes (kg CO₂ eq)

(Espíndola & Valderrama, 2017). A continuación, se presenta una tabla resumen del calculo de la huella de carbono de la solución propuesta (ver Tabla 32)

Tabla 32. Huella de carbono.

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de conversión a Kg	QM (Kg)	FEM (Kg CO2 eq / kg)	QM x FEM (Kg CO2 eq)	D (Km)	Q (ton)	DT x QM x FET (Kg CO2 eq)
Excavación en material común bajo agua	m ³	24493.0	1765.8	43,249,739	0.007	302,748	17.4	43,250	99,336
Relleno con material granular	m ³	10481.0	1765.8	18,507,350	0.007	129,551	35.1	18,507	85,748
Concreto 21 Mpa	m ³	541	2300	1,244,300	0.043	53,505	12	1,244	1,971
Acero grado 60 420 Mpa	Kg	135.2	1	135	0.482	65	8.7	0	0
Filtro	m ²	88	40.5	3,564	2.70	9,623	484	4	228
Revegetalización	m ²	892	120	107,040	0	0	4.9	107	69
						495,492			187,352
								Ton CO ₂	682.84

11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Conocer el costo aproximado de un proyecto es un aspecto muy importante al momento de planear una obra, ya que con esto se genera un alcance económico aproximado y puede ser un punto de referencia para la toma de decisiones en cuestión de materiales, transporte, entre otras.

Finalmente, se presenta el presupuesto final de la propuesta desarrollada (Ver Tabla 33)

Tabla 33. Presupuesto de obra.

PRESUPUESTO DE OBRA						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL POR CAPITULO
1	PRELIMINARES					\$ 6,050,000.00
1.1	Cerramiento	M2	50	\$ 22,000.00	\$ 1,100,000.00	
1.2	cerramiento 8 m2	UND	5	\$ 950,000.00	\$ 4,750,000.00	
1.3	localización y replanteo	M2	50	\$ 4,000.00	\$ 200,000.00	
2	EXCAVACION Y RELLENO				\$ -	\$ 1,105,600,000.00
2.1	Excavación mecánica	M3	24400	\$ 24,000.00	\$ 585,600,000.00	
2.2	Relleno y compactación	M3	10400	\$ 50,000.00	\$ 520,000,000.00	
3	CIEMENTACION				\$ -	\$ 2,445,601,250.00
3.1	Acero refuerzo corrugado	M3/ML	4511.25	\$ 125,000.00	\$ 563,906,250.00	
3.4	Concreto 3500 psi	KG/ML	103750	\$ 18,000.00	\$ 1,867,500,000.00	
3.5	Vibrador	UND	90	\$ 7,500.00	\$ 675,000.00	
3.6	Hora cuadrilla	HC	208	\$ 65,000.00	\$ 13,520,000.00	
4	VASTAGO				\$ -	\$ 2,597,476,250.00
4.1	Acero refuerzo corrugado	M3/ML	5726.25	\$ 125,000.00	\$ 715,781,250.00	
4.3	Concreto 3500 psi	KG/ML	103750	\$ 18,000.00	\$ 1,867,500,000.00	
4.4	vibrador	UND	90	\$ 7,500.00	\$ 675,000.00	
4.5	Hora cuadrilla	HC	208	\$ 65,000.00	\$ 13,520,000.00	
5	IMPERMEABILIZACION				\$ -	\$ 73,642,400.00
5.1	Drenaje	M	194	\$ 30,000.00	\$ 5,820,000.00	
5.2	Membrana geotextil	M2	732	\$ 8,200.00	\$ 6,002,400.00	
5.3	Grava	UND	940	\$ 45,000.00	\$ 42,300,000.00	
5.4	Herramienta menor	%	400	\$ 15,000.00	\$ 6,000,000.00	
5.5	Hora cuadrilla	HC	208	\$ 65,000.00	\$ 13,520,000.00	
	VALOR COSTOS DIRECTOS				\$ 6,228,369,900.00	
	ADMINISTRACION			15%	\$ 934,255,485.00	
	IMPREVISTOS			5%	\$ 311,418,495.00	
	UTILIDAD			10%	\$ 622,836,990.00	
	IVA SOBRE UTILIDAD			19%	\$ 118,339,028.10	
	VALOR TOTAL				\$ 8,215,219,898.10	

12. REFERENCIAS

Asociación de Ingenieros del Valle. (2019). *Obras alternativas de mitigación del riesgo de movimientos en masa barrios Monserrate y Cafetero - Sevilla, Valle del Cauca.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca . (2018). *CONCEPTO REFERIDO A LA VALIDACION DEL DISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACION PARA LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO EN SEVILLA, VALLE DEL CAUCA, DISEÑO REALIZADO POR LA FIRMA GEOCING 2014 PARA LA ESTABILIZACION DE LADERAS.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2022). *CONCEPTO TÉCNICO 0611-350982022-GR01-2022.*

Observatorio Sismológico y geofísico del suroccidente, CVC. (2011). *Estudio de amenaza. vulnerabilidad, escenarios de riesgo y diseño de ingeniería y tratamientos de mitigación ante movimientos en masa en los barrios Monserrate y cafetero.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca o CVC. (2014). *DISEÑOS DEFINITIVOS DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS PARA LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETEROS EN SEVILLA VALLE.*