



**EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN ALTERNATIVOS PARA EL PROYECTO  
MEJORAMIENTO DE LA VÍA PASO NIVEL (RUTA 60) - YE AMAGÁ - LA CLARITA –  
ANGELÓPOLIS.**

Cristian Camilo Vargas Bustos

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesores

Juan Carlos Guzmán Martínez, Magíster en Geotecnia.

Heiler Andrés Pérez Jaimes, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela ambiental

Ingeniería civil

Medellín, Antioquia.

2022

<b>Cita</b>	(Vargas Bustos, 2022)
<b>Referencia</b>	Vargas Bustos, C & Guzmán Martínez. (2022) <i>Evaluación de métodos de estabilización alternativos para el proyecto Mejoramiento de la vía paso nivel (ruta 60) - Ye Amagá - La Clarita – Angelópolis</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

A mis padres y mis hermanas por su apoyo, amor y esfuerzo, dándome consejos, compartiendo conocimientos, por su comprensión y por brindarme todas las oportunidades, por creer en mi capacidad aunque hayan pasado momentos difíciles, gracias por su compañía en este largo proceso para poder culminar esta meta.

A la Señorita Anyhe por su amor, cariño constante y comprensión, por ser mi motor y apoyo incondicional en esta carrera para nuestro futuro.

A mi familia por su apoyo y consejo, oraciones, comprensión que contribuyeron a poder alcanzar esta y futuras metas...

## **Agradecimientos**

Gracias a mis padres Esther y Jorge, a mis hermanas Angie y Valerie por acompañarme, haber creído y confiado en mí, por brindarme su amor y confianza y cariño constantemente, por guiarme a poder cumplir este sueño.

Gracias a mi amada Universidad de Antioquia, por tantas experiencias vividas, por los conocimientos adquiridos, por hacerme ver las cosas de diferente perspectivas, por haberme enseñado tanto, gracias también a mis compañeros, por contribuir de manera directa o indirectamente a culminar este proceso, a mis profesores que me acompañaron y me formaron, estoy muy agradecido de haber compartido y vivido este proceso en esta prestigiosa universidad.

También agradezco a la empresa LAGO por haberme dado la oportunidad de realizar mis practicas académicas, a los ingenieros Heiler Pérez, John Gonzales, por su enseñanza y apoyo, gracias al resto de compañeros de trabajo por hacer este proceso más gratificante, estaré siempre agradecido por haberme abierto las puertas y haber compartido esta experiencia durante estos meses.

## Tabla de contenido

Resumen .....	9
Abstract .....	10
Introducción .....	11
Objetivos .....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos.....	12
Marco teórico. ....	13
<i>Muro de contención de concreto armado.</i> ....	15
Normativa estructural para muros de contención. ....	16
Muros y taludes mecánicamente estabilizados (MSE).....	20
Tipos de refuerzos para muros. ....	20
Relleno para muro.....	22
Materiales para la fachada del muro. ....	22
Especificaciones AASHTO para el diseño de muros MSE. ....	23
Estabilidad interna .....	26
Proceso constructivo de MSE o RSS .....	28
Material de relleno .....	28
Sistemas de Subdrenaje.....	29
Colocación del refuerzo. ....	29
Colocación del material de relleno. ....	29
Metodología .....	30
Identificación de zonas críticas. ....	30
Estudio y comparación de métodos alternativos para la contención de muros. ....	31
Análisis y resultados.....	31

Caracterización del sitio de ejecución del proyecto.....	31
Localización.....	31
Estratigrafía.....	32
Geología estructural.....	33
Identificación de sitios críticos.....	34
Revisión k3+900 y k3+950.....	34
Revisión k4+630.....	36
Revisión k7+550.....	38
Revisión k9+540.....	38
Obtención de parámetros.....	41
Obras proyectadas.....	41
Comparación de sistemas de contención.....	43
Economía.....	47
Rendimiento.....	48
Comportamientos de los muros MSE.....	48
Impacto ambiental.....	49
¿Qué tipo de refuerzo elegir?.....	49
Diferencia entre Geomallas y Geotextiles.....	50
Conclusiones.....	52
Anexos.....	54

## Lista de tablas.

Tabla 1. Normatividad técnica nacional e internacional para muros de contención. Fuente: norma de construcción de muros de contención EPM,2017 .....	16
Tabla 2 Tamaño para relleno según ASSHTO.....	22
Tabla 3. Factores de seguridad para la estabilidad externa. ....	26
Tabla 4 Ventajas y desventajas de muros con estructuras enterradas. ....	45
Tabla 5 Ventajas y desventajas de muros y taludes reforzados. ....	46
Tabla 6. Ventajas y desventajas de tipos de tierra reforzada. ....	49
Tabla 7 Diferencias entre geomalla y geotextil.....	51

## Lista de imágenes.

Imagen. 1 Falla por Desplazamiento.....	24
Imagen. 2 Falla por Volteo.....	24
Imagen. 3 Falla por capacidad portante o asentamiento vertical. ....	25
Imagen. 4 Falla por asentamiento rotacional o global .....	25
Imagen. 5 Falla por rotura elongación excesiva.....	27
Imagen. 6 Falla por extracción.....	27
Imagen. 7 Localización general del proyecto.....	32
Imagen. 8 Vía Amagá- Angelópolis. Fuente: Google maps. ....	32
Imagen. 9 Mapa geológico regional del área de estudio. ....	33
Imagen. 10 Zona de descarga de todas las aguas de escorrentía de las laderas circundantes. Sitios críticos K3+900 y K3+950.....	35
Imagen. 11 Pérdida de calzada de pavimento por asentamientos diferenciales en sitio crítico.....	35
Imagen. 12. Sitio crítico K4+630, movimientos diferenciales del terreno (Reptación).....	36
Imagen. 13. Sitio crítico K4+630, Escurrimiento de agua sin un adecuado manejo hidráulico, situación que incide en los movimientos diferenciales del terreno (Reptación).....	36
Imagen. 14. Movimientos diferenciales del terreno, exposición de material de refuerzo de la estructura, perdida de la banca k4+700.....	37
Imagen. 15 Asentamientos diferenciales en la calzada k4+630.....	37
Imagen. 16 Sitio crítico k7+550 socavación del talud y pérdida de banca. ....	38
Imagen. 17 Sitio crítico K9+540, pérdida de banca de la vía. ....	39
Imagen. 18 Sitio crítico K9+540, movimientos diferenciales del terreno (Reptación).....	40
Imagen. 19 Perdida de banca total zona critica k9+500.....	40
Imagen. 20 Muro proyectado k9+915 bajo condiciones estáticas y pseudoestatica. ....	42
Imagen. 21 Muro proyectado k4+630 bajo condiciones estáticas y pseudoestatica. ....	42
Imagen. 22 Muro proyectado k7+550 bajo condiciones estáticas y pseudoestatica. ....	43
Imagen. 23 Mineral de carbón superficial.....	45

Imagen. 24 Precio de construcción de muro por metro lineal con respecto a la altura .....47

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>APA</b>	American Psychological Association
<b>Cms.</b>	Centímetros
<b>km</b>	Kilómetro
<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation
<b>INVIAS</b>	Instituto Nacional de Vías
<b>MSE</b>	Mechanically stabilized earth
<b>RSS</b>	Reinforced Soil Slopes
<b>NSR-10</b>	Norma Sismo Resistente 2010
<b>NHI</b>	National Highway Institute
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia
<b>K#+###</b>	Kilómetro # más ### metros
<b>HBD</b>	Huertas Buen Día Ingeniería.

## Resumen

Los muros de contención han estado presentes durante la construcción de accesos de comunicación entre pueblos, ciudades y países dando estabilidad a las carreteras por donde nos desplazamos, el desarrollo de una nación depende del estado de sus vías como también depende de la capacidad de adaptarse e innovar con nuevas tecnologías. Los muros de tierra mecánicamente estabilizados (MSE) hacen parte de los nuevos procedimientos en los procesos de construcción pero aún está en proceso de tecnificación. Mediante este proyecto se pretende determinar la viabilidad de implementación de este tipo de obras, se identificarán los sitios a estudiar e investigar los procesos constructivos, materiales como geosintéticos, pros y contra de este sistema, con la finalidad de comparar los métodos constructivos alternativos y muros convencionales.

En este proyecto que comunica los municipios de Amaga y Angelópolis se identificaron sectores críticos donde se proyectaron obras que emplean este tipo de muros MSE, realizando análisis de estabilidad y determinando estos como mejor alternativa que los muros de concreto reforzado en algunos sitios. En conclusión, los muros MSE son una opción viable pero su implementación depende de las condiciones geotécnicas del terreno.

En un futuro se espera que estos procesos sean cada vez más implementados en los proyectos viales y demás que se requieran.

*Palabras clave:* Muro de reforzado, Muro de tierra mecánicamente estabilizado, Geosintéticos, Carretera, Viabilidad, Geotécnia.

### **Abstract**

The retaining walls have been present during the construction of communication accesses between towns, cities and countries giving stability to the roads where we move, the development of a nation depends on the state of its roads and also depends on the ability to adapt and innovate with new technologies. The mechanically stabilized earth walls (MSE) are part of the new procedures in the construction processes but it is still in the process of technification. This project aims to determine the feasibility of implementing this type of works, identify the sites to be studied and investigate the construction processes, materials such as geosynthetics, pros and cons of this system, in order to compare alternative construction methods and conventional walls.

In this project that connects the municipalities of Amaga and Angelópolis, critical sectors were identified where works using this type of MSE walls were projected, carrying out stability analyses and determining these as a better alternative than reinforced concrete walls in some sites. In conclusion, MSE walls are a viable option but their implementation depends on the geotechnical conditions of the terrain.

In the future, it is expected that these processes will be increasingly implemented in road projects and other required projects.

*Keywords:* Reinforced wall, Mechanically stabilized earth wall, Geosynthetics, Road, Feasibility, Geotechnics.

## Introducción

A lo largo de los años, la construcción de infraestructura vial ha sido de gran importancia para el desarrollo de las naciones, conectando diferentes puntos de interés que permiten la libre movilidad, el fortalecimiento del comercio y la economía de un país, por lo cual es necesario desarrollar una red vial que proporcione transporte cómodo, rápido y seguro para los usuarios (Silva, O.,s.f). Las obras viales involucran frecuentemente zonas de intervención extensa, las cuales pueden presentar sectores que tengan condiciones de terreno inestable o donde las capacidades del suelo no son capaces de soportar las cargas a las cuales fueron diseñadas, debido a estas circunstancias se requiere realizar estructuras de contención o mejoramiento del terreno.

Usualmente para solucionar este tipo de problema, se recurre a la construcción de muros de contención de concreto reforzado, los cuales dependiendo del caso de aplicación pueden implementar soluciones que cumplan con las características del problema; estos se podrían cambiar por métodos alternativos como lo son los suelos reforzados, los cuales se construyen sobreponiendo múltiples capas de tierra y otros materiales de tal forma que el terreno aumente sus capacidades físicas.

Por lo tanto, en este informe se evaluará la posibilidad de construcción de obras alternativas para los sistemas de contención, teniendo en cuenta diferentes aspectos y características de estos, con el fin de mejorar la red vial del sector, brindando así mejores condiciones de transitabilidad, seguridad y modernización a la infraestructura de la región.

El estudiante en su papel como practicante académico y futuro ingeniero civil realizó el apoyo y participación en el estudio y soluciones a las intervenciones que se realizarán en las zonas donde las condiciones de terreno requieren un mejoramiento de terreno u obra que de ayude a mejorar las condiciones de transitabilidad, apoyándose en las normativas revisando y siguiendo cada fase del proceso.

Lo que permitió aportar a la solución de las problemáticas del proyecto MEJORAMIENTO DE LA VÍA PASO NIVEL (RUTA 60) - YE AMAGÁ- LA CLARITA – ANGELÓPOLIS EN LOS MUNICIPIOS DE AMAGÁ Y ANGELÓPOLIS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA durante el tiempo de duración de su práctica académica.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar la viabilidad de sistemas de contención convencionales y muros mecánicamente estabilizados en sitios críticos del proyecto donde se presentan afectaciones en la banca de carretera.

### **Objetivos específicos**

Identificar sitios críticos con condiciones de inestabilidad, con proyección de implantación de obras de contención o mitigación.

Investigar sistemas alternativos de contención adaptables a las condiciones de terreno y el tipo de carga que va a soportar, sus materiales y procesos constructivos.

Comparación de sistemas de contención convencionales y muros mecánicamente estabilizados considerando el aspecto económico, ambiental y de rendimiento.

### **Marco teórico.**

El proyecto de práctica profesional se desarrollará entre los municipios de Amagá y Angelópolis, este es el MEJORAMIENTO DE LA VÍA PASO NIVEL (RUTA 60) - YE AMAGÁ - LA CLARITA – ANGELÓPOLIS EN LOS MUNICIPIOS DE AMAGÁ Y ANGELÓPOLIS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, Este proyecto es un importante corredor de 14 km.

Para el correcto funcionamiento de una carretera esta debe tener una buena estructura que soporte eficientemente las cargas a las cuales será sometida. Para ello es muy importante la construcción de obras transversales y longitudinales a lo largo de toda su estructura, desde la conformación de la subrasante, la cual es una superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento (Manual De Diseño Geométrico De Carreteras Invias, 2008). Esta debe estar debidamente compactada, con una densidad y humedad óptima para que no haya fallas estructurales en la aplicación del pavimento, para así tener una calzada (Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos). Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado el cual corresponde a la combinación generalmente de tres tipos de materiales; piedra, arenas y finos que en proporciones adecuadas determinan la viabilidad de este material. (INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008). La calzada la constituye la superficie de rodadura conformada por una capa de material granular colocada sobre la subrasante que definimos como afirmado. En las vías terciarias, la calzada es la superficie de rodadura, está compuesta por una losa de concreto hidráulico o placa huella, en algunos casos se utilizan pavimentos flexibles como capas de material asfáltico. (INVIAS, 2019).

También es muy importante un adecuado sistema de obras de drenaje, estas obras son proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado (MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS 2008).

Igualmente, son importantes las obras de Subdrenaje, estas son proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo a fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos, generando abatimiento del nivel freático. (MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS 2008). En este proyecto se realizan obras tales como, construcción e instalación de filtros, el cual corresponde al elemento encargado de captar, controlar y evacuar las aguas provenientes a nivel subsuperficial

por la presencia de niveles freáticos altos o por infiltración ya sea a través del pavimento, afirmado o de los suelos de las laderas adyacentes en un tramo de la vía considerada, obras de reemplazo y construcción de alcantarillas las cuales son un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye, por lo tanto, conductos con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón principalmente. (MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS 2008), la construcción de cunetas, las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición (Manual Drenaje, 2011).

La selección de su forma y dimensiones depende principalmente del tipo de carretera en la cual se ubican, pudiendo ser revestidas en concreto en el caso de carreteras Primarias y Secundarias o sin revestir para el caso de carreteras terciarias. (MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS 2008); box culvert que son elementos de gran tamaño elaborados en concreto reforzado, estos componen un sistema modular en el que cada parte se conecta con el otro para formar un túnel, el propósito de esta obra es dar continuidad a un cauce natural que atraviesa la vía, a diferencia de otras obras de drenaje estos son lo suficientemente grandes para dar paso al caudal para los periodos de retorno con el que este es diseñado, la construcción de una batea son elementos estructurales elaborados generalmente en concreto, estas se ubican en zonas donde hay pequeños arroyos o quebradas para de esta forma proporcionar una zona de paso más segura sin interrumpir ni canalizar el caudal del afluente, entre otras obras.

También se realizará la pavimentación que es un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas capas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura (Instituto Nacional de Vías, 2019), y algunos muros de contención que tienen como finalidad resistir las presiones laterales y los empujes producidos por el material retenido detrás de ellos, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación (MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS 2008). En el caso de este proyecto se tienen contemplados varios muros de los cuales algunos muros están diseñados para ser cimentados con pilas de 10 metros de profundidad.

Sin embargo, a pesar de que la vía ya tiene un diseño establecido desde su contrato, en estas zonas donde se estableció construir muros de contención previamente, se analizará la viabilidad de la construcción de muros mecánicamente estabilizados (MSE) los cuales se basan en la fricción de la interface entre refuerzos lineares y el relleno de suelo estructural, que significa en sus características geotécnicas (ángulo de fricción, cohesión y peso específico), y son factores críticos que permiten que funcione el sistema (Maccaferri, 2016), o la construcción de taludes reforzados los cuales son unas estructuras que tienen refuerzos metálicos o geosintéticos, y tienen una inclinación de fachada menor a  $70^\circ$ , los taludes reforzados (RSS) no se diseñan como estructuras de contención sino solamente como taludes.

### ***Muro de contención de concreto armado.***

El concreto armado o reforzado es un material de construcción compuesto, en el que se complementan las cualidades de los materiales que lo componen, por un lado, el concreto que tiene una alta resistencia a compresión y por el otro lado está el acero que tiene alta resistencia a la tracción, esta combinación de materiales de fundamenta en que estos actúen complementariamente ofreciendo una mayor resistencia ante distintas cargas o sucesos sísmicos.

El éxito de toda obra de concreto armado depende de que el acero cumpla con ciertos requisitos mínimos, como las medidas correctas de los cortes y dobleces indicada en los planos, las piezas deben quedar perfectamente amarradas y que las armaduras de hierro queden con el recubrimiento adecuado de concreto definido en los planos. (EPM, 2018)

Pasos para la construcción de muros de contención.

- Preparación de armadura de la zarpa: Se miden, se cortan y doblan las piezas de acero necesario para realizar la parrilla, una vez armada, se verifican que cumplan las distancias establecidas por el diseñador.
- Preparación del terreno: Se realiza un solado de 5 cms de espesor formando una superficie plana y horizontal.
- Preparación de recubrimientos: Con el fin de garantizar los recubrimientos necesarios de cada obra se deberán realizar unos dados sobre los cuales reposarán las armaduras para una vez vaciado estos dados ayuden a garantizar ese espaciamiento mínimo de diseño; estos

dados se construirán en obra y de ninguna manera se deberán utilizar rocas o bloques de madera.

- Preparación de armadura del muro: las caras del muro generalmente se calculan con diferentes especificaciones dado que estas caras van a soportar cargas distintas.
- Vaciado de concreto: Una vez listos los aceros se procede a vaciar la mezcla de concreto con cuidado de no mover la estructura metálica, terminado el vaciado, se deja curar el concreto por 24 horas pasando este tiempo se procede a encofrar el vástago del muro, se realiza el mismo procedimiento de los dados para la parte del vástago, y posteriormente se procede con el vaciado del muro. Estos concretos se deben vibrar o dado el caso hundiendo una varilla repetidas veces. Los concretos deben fraguar 24 horas antes de acceder a retirar el encofrado
- Llenos de los muros: Tanto los llenos del muro delantero y posterior se debe realizar con el mismo material de la excavación.

### ***Normativa estructural para muros de contención.***

Los diseños de muros de contención se deben realizar teniendo en cuenta los reglamentos y normas técnicas nacionales e internacionales, además de otros documentos que sean empleados como referencia que apliquen a este tipo de estructuras. (EPM, 2018)

<b>DOCUMENTO</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>NSR-10</b>	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente
<b>NC-MN-OC07-01</b>	Norma de construcción de concretos
<b>NC-MN-OC07-02</b>	Norma de construcción de cimentaciones
<b>NC-MN-OC07-07</b>	Norma de construcción de acero de refuerzo
<b>NEFC-204-00</b>	Norma y especificación general de construcción llenos compactados
<b>NC-MN-OC03-01</b>	Norma de construcción de excavaciones
<b>NTC-3318</b>	Norma técnica colombiana de concretos
<b>NECG-424-00</b>	Geotextil para estructuras de contención

*Tabla 1.* Normatividad técnica nacional e internacional para muros de contención. Fuente: norma de construcción de muros de contención EPM,2017

### **Geometría del elemento.**

La geometría del muro de contención debe ser coherente con lo establecido en los planos estructurales.

### **Concreto.**

Las especificaciones en cuanto a mezclado, transporte, colocación y curado del concreto se deben hacer de acuerdo con lo definido en la norma de construcción NC-MN-OC07-01 “concretos”. Las características propias para los elementos que conforman el muro de contención como resistencia a compresión, fluidez, contenido de aditivos y demás particularidades deben ser las especificadas en el plano estructural propio de cada proyecto

### **Acero de refuerzo.**

Los recubrimientos libres del acero de refuerzo, los diámetros mínimos de doblaje de las barras, las longitudes de anclaje y de traslape y todos los detalles de figuración, se deben hacer de acuerdo con lo especificado en el plano estructural del muro de contención.

En la norma de construcción NC-MN-OC07-07 “acero de refuerzo”, se establecen las especificaciones técnicas que debe cumplir el acero de refuerzo, así mismo, ésta especifica que los distanciadores para garantizar el recubrimiento mínimo del acero deben ser bloques de mortero prefabricados con las mismas características del elemento a vaciar, tensores o silletas de acero, por ningún motivo se permite el uso de trozos de madera, piedras o escombros. (EPM, 2018)

Las barras se deben fijar firmemente en su posición para evitar que se muevan cuando se esté vaciando y vibrando el concreto. Se deben utilizar los amarres de alambre adecuados para fijar las barras ortogonales y los estribos en caso de que los haya.

### **Encofrado y desencofrado.**

El equipo de encofrado debe almacenar en sitios cubiertos y secos, colocado vertical o ligeramente inclinado cuando se recuesten sobre un muro y levantados del piso. Las piezas o componentes defectuosos se deben reparar o reemplazar debida y oportunamente.

Antes de tender cualquier encofrado la cimbra debe estar impregnada con un lubricante para evitar que se adhiera al concreto, tal como lo indica la norma de construcción NC-MN-OC07-01 “concretos” así mismo las juntas entre las tapas del encofrado deben evitar el excesivo escurrimiento del concreto.

Se deben armar los encofrados para darle la forma deseada al muro y apuntalarlos adecuadamente de manera que se resistan las cargas durante la construcción hasta que se alcance la resistencia propia de cada elemento.

Antes de quitar la formaleta se debe verificar, mediante el ensayo de cilindros testigos, que el concreto haya alcanzado la resistencia para soportar la carga correspondiente a la etapa de la construcción en que se encuentra, tal como lo indica la norma de construcción NC-MN-OC07-01 “concretos”.

El encofrado se debe retirar de tal manera que no afecte el funcionamiento de la estructura y de inmediato se le debe comenzar el curado.

### **Juntas.**

Los muros deben contar con juntas de contracción, expansión o aislamiento (según lo que indiquen los planos estructurales) para compensar los esfuerzos y deformaciones resultantes por cambios volumétricos y de geometría causados por la retracción de fraguado, las variaciones en la temperatura, y los asentamientos diferenciales. Adicionalmente deben existir juntas de construcción según lo indiquen los planos con las separaciones y detalles allí presentados y dichas juntas deben cumplir el proceso constructivo especificado en la norma de construcción NC-MN-OC07-01 “concretos”. (EPM, 2018)

### **Curado de los muros de contención.**

A partir del día siguiente del vaciado se debe curar el muro con agua durante una semana, mínimo tres veces al día esto para evitar el agrietamiento o usando un método de curado alterno tal como lo indica la norma de construcción NC-MN-OC07-01 “concretos” y previa Aprobación por EPM. (EPM, 2018)

### **Compactación del relleno.**

Se debe evitar el empleo de suelos arcillosos o limosos en el relleno del muro de contención, en caso de que sea requerido su uso.

La compactación del material del relleno del muro de contención debe hacerse con precaución, utilizando medios ligeros, ya que una compactación intensa del suelo puede provocar un incremento sustancial del empuje lateral sobre el muro.

**Terreno de cimentación.**

El material donde se apoya el muro de contención debe contar con la resistencia y capacidad de carga adecuadas para transmitir los esfuerzos del muro y el relleno contenido por el mismo, para tal caso se deben seguir las indicaciones de los planos estructurales y si se requiere, se debe hacer un solado en un concreto simple o un mejoramiento del suelo de cimentación según las indicaciones del ingeniero geotecnista. (EPM, 2018)

**Drenaje.**

En todos los muros de contención sin importar su tipo se debe proporcionar un drenaje adecuado mediante tubos perforados de drenaje o lloraderos, cuyos diámetros, distribución y separación deben ser construidos según lo indiquen los planos estructurales del muro de contención. Debido a que el material de relleno puede ser arrastrado a los tubos de drenaje, se debe instalar un material de filtrado detrás o alrededor de los mismos, usando geotextiles que sirvan para tal fin, y considerando las recomendaciones que se presenten en los planos estructurales del muro o por las indicaciones del ingeniero geotecnista. Para el uso del geotextil debe cumplirse lo establecido en la norma NECG-424-00 “geotextil para estructuras de contención”. (EPM, 2018)

**Espacio disponible para la construcción.**

En las excavaciones previas a la construcción del muro de contención debe preverse los espacios requeridos para poder realizar las labores de armado del acero de refuerzo, encofrado y vaciado del concreto. Como mínimo se debe contar con una distancia de 0,50 m desde el borde del muro hasta el inicio del corte para tener espacio para las maniobras del personal en la construcción. (EPM, 2018)

Dentro de los métodos no convencionales para las estabilización de taludes y obras de contención, se están empleando diferentes elementos para dar refuerzo a estos suelos blandos, entre ellos se incluyen las tradicionalmente utilizadas mallas y tiras metálicas, también materiales tales como geosintéticos que son nuevas tecnologías donde destacan los geotextiles y las geomallas. Estos nuevos métodos de construcción han dado lugar al desarrollo de los suelos mecánicamente

estabilizados aportando significativamente a campo de la construcción y diseño de carreteras. A continuación se presentan las generalidades de estos tipos de muros.

### **Muros y taludes mecánicamente estabilizados (MSE)**

Los muros de tierra mecánicamente estabilizados (MSE) son muros de tierra reforzada con materiales tales como láminas, mallas metálicas o geosintéticos. Un criterio para identificar que es un MSE es que la pendiente del mismo con respecto a la horizontal forme un ángulo mayor a  $70^\circ$  y que se comporte como una de estructura contención a gravedad. Los muros MSE se diseñan como muros de contención de acuerdo con las especificaciones AASHTO, se deben diseñar para que cumplan con una estabilidad general la cual representa la estabilidad del talud sobre el cual está el muro, una estabilidad externa para prevenir volcamientos y deslizamientos, y sometidos a las cargas de soporte. Se deben diseñar para una estabilidad interna, la cual es responsable de la deformación y rotura de esfuerzo, extracción del refuerzo y estabilización de las uniones de fachada. Según las especificaciones AASHTO los muros MSE requieren para su construcción materiales de relleno muy limpios. (Suarez, 2022)

Por otra parte los taludes reforzados (RSS) son taludes con refuerzos metálicos o con geosintéticos, las cuales contrario a los muros MSE son estructuras que tienen una inclinación menor a  $70^\circ$  con respecto a la horizontal, según el NHI. Los taludes reforzados RSS, no se diseñan como estructuras de contención sino solamente como taludes, estos taludes no requieren de material granular muy limpio como es el caso de los MSE, por esta razón este tipo de estructura es más económica que los muros mecánicamente estabilizados. Este tipo de estructura hasta la fecha no se conoce especificaciones AASTHO, para el diseño de RSS. (Suarez, 2022)

### **Tipos de refuerzos para muros.**

Los tipos de materiales de refuerzos pueden clasificarse como metálicos y no metálicos, los metálicos son generalmente de acero dulce, este es normalmente galvanizado o recubierto por algún epóxico y por otra parte los no metálicos son materiales poliméricos conocidos como geosintéticos

que se basan en polipropileno y poliéster. Los criterios de durabilidad y eficiencia de estos materiales dependerán de los índices de corrosión y las propiedades de entorno que afecten a la degradación de estos mismos. (IMT, 2013)

### **Refuerzos metálicos.**

Los refuerzos metálicos más utilizados son los aceros galvanizados o cubiertos con epóxidos, estos refuerzos son generalmente de dos tipos.

- Tiras de láminas metálicas.

Las láminas comercialmente disponibles con corrugadas por ambos lados, tienen un ancho aproximado de 50 milímetros, y unos 4 milímetros de espesor

- Mallas metálicas soldadas

Las mallas de acero usadas generalmente tienen espaciamientos longitudinales entre 6 a 8 pulgadas y transversales de 9 a 4 pulgadas

### **Refuerzos con geo-sintéticos.**

Los geosintéticos se fabrican a partir de la transformación de materiales o sustancias químicas llamadas polímeros, estos geosintéticos ayudan a prolongar la vida de las obras, en la construcción de carreteras este material es muy importante para la estabilización de la estructura. El uso de los geosintéticos depende de los beneficios que ofrecen según su requerimiento o condición tales como, la temperatura, humedad, resistencia.

El método de diseño con requerimiento de geosintéticos debe garantizar la eficacia de todas las necesidades o especificaciones del proyecto, se deben analizar y evaluar todas las alternativas posibles para que este material satisfaga las exigencias o criterios de evaluación. (IMT, 2013)

En la mayor parte de los casos donde se usan geosintéticos, estos aportan distintas propiedades a la estructura, y siempre habrá una que prime sobre las demás y determine el tipo a utilizar, algunos de estos tipos son:

- Geomallas de polietileno de alta densidad.

Comúnmente son mallas uniaxiales aunque también pueden ser biaxiales, las cuales son ofrecidas con 6 distintas resistencias,

- Geomalla de poliéster con recubrimiento pvc

Generalmente son geomallas biaxiales que tienen la característica de tener una alta tenacidad en el sentido longitudinal de las fibras

- Geotextiles de polipropileno o de poliéster

Son geotextiles tejidos de alta resistencia y pueden ser de poliéster o polipropileno.

### **Relleno para muro.**

Los muros MSE requieren rellenos con materiales de calidad de alta durabilidad, que permitan un buen drenaje y facilidad de construcción, también una buena respuesta a la resistencia con los refuerzos, para estos tipos de obras lo más importante en este relleno es la fricción de los materiales, dado que esto aumenta la resistencia del mismo frente a esfuerzos de corte, y dependiendo de esta fricción permitiría evaluar capacidades últimas y admisibles del terreno. (Suarez, 2022)

Según criterios de diseño del ASSHTO T-27 los materiales para el relleno deben cumplir con lo siguiente.

<b>TAMIZ</b>	<b>% DE PASANTES</b>
<b>4"</b>	100
<b>No. 40</b>	0 a 60
<b>No. 200</b>	0 a 15

*Tabla 2* Tamaño para relleno según ASSHTO

El índice plástico no debe ser superior a 6, puesto que esto afectaría la capacidad filtrante del relleno y resistencia de la estructura.

### **Materiales para la fachada del muro.**

Los MSE y los RSS requieren una estructura o material que proteja su cara exterior para evitar que este se deteriore, también este ayuda a aumentar la resistencia confinando los muros o taludes.

Generalmente estas obras se recubren con estos materiales:

- Paneles de concreto reforzado

Son paneles de concreto con espesor mínimo de 14 cms que pueden tener distintas formas como rectángulos, diamantes, hexágonos, cuadradas o en forma de cruz.

- Bloques de concreto

Son bloque de concreto o mortero con un peso que varía entre los 15 y 50 kg, generalmente las dimensiones de estos son de 10 cm X 60 cm y su forma varía dependiendo del fabricante.

- Fachadas metálicas.

Son placas metálicas que se sostienen en el muro mediante la tensión ejercida por los materiales de refuerzos instalados en los muros.

- Gaviones

Las canastas o gaviones son estructuras rellenas de piedras pueden utilizarse en las fachadas con refuerzos generalmente de malla metálica o geomalla.

- Fachada en geosintéticos con vegetación o concreto.

Los geotextiles o geomallas se doblan alrededor de la fachada para contener el suelo, este puede ser recubierto por vegetación o cubierto por concreto lanzado.

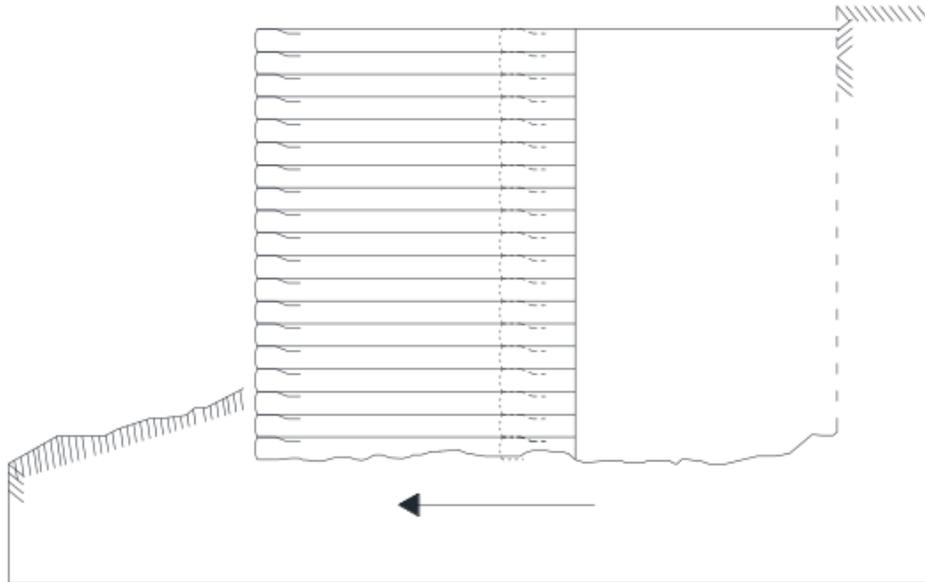
### ***Especificaciones AASHTO para el diseño de muros MSE.***

Hay dos consideraciones muy importantes al momento de diseñar, los muros MSE deben diseñarse para la estabilidad externa del sistema de muro como también para la estabilidad interna de la masa de suelo reforzado detrás de la fachada.

El diseño interno de los sistemas de muro MSE requiere del conocimiento a corto y largo plazo de las propiedades de los materiales usados como refuerzo, como también de la mecánica de suelos, la cual gobierna el comportamiento de los muros MSE según el artículo 5,8 ASSHTO HB17.(Suarez, 2022)

### **Estabilidad externa**

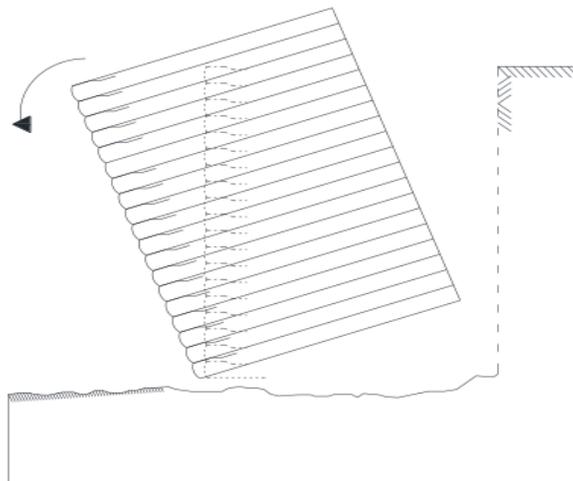
La estabilidad externa considera la estabilidad general de la masa del suelo mecánicamente estabilizado con refuerzos. Tomando en consideración las condiciones dadas por el muro de suelo reforzado incluye materiales geosintéticos en una zona determinada reforzada, esta zona es considerada como un solo cuerpo rígido. Por lo tanto, se revisa esta masa de suelo para conocer los factores de seguridad por deslizamiento, volteo y capacidad portante de la superficie de desplante. (IMT, 2013)



*Imagen. 1* Falla por Desplazamiento.

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos. (IMT, 2013)

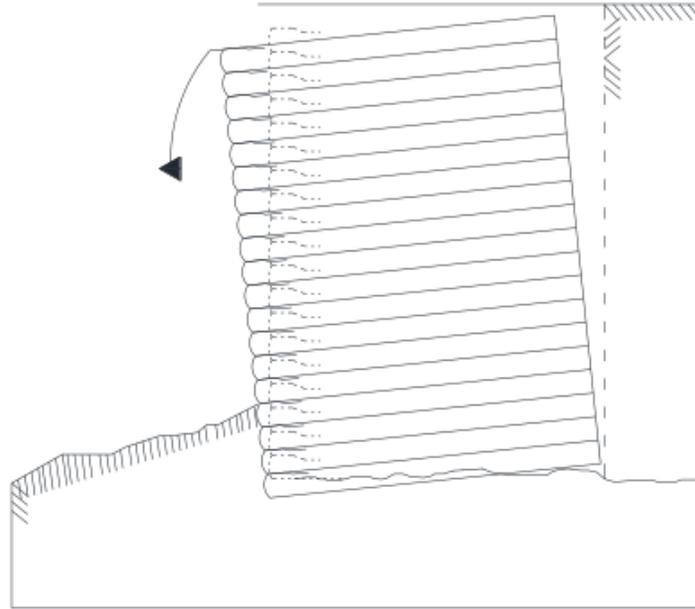
Se debe verificar en este los criterios de estabilidad externa para que fuerzas horizontales no vayan a originar un desplazamiento en el muro.



*Imagen. 2* Falla por Volteo

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos (IMT, 2013)

Se verifica que el momento originado por las fuerzas horizontales actuantes en el sistema, comparados con los momentos resistentes no generen un volcamiento en la estructura.



*Imagen. 3* Falla por capacidad portante o asentamiento vertical.

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos (IMT, 2013)

Para garantizar esta estabilidad se deben estudiar el comportamiento del subsuelo antes las demandas de la capacidad del sistema.



*Imagen. 4* Falla por asentamiento rotacional o global

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos (IMT, 2013)

Esta verificación se debe revisar la falla de rotura del muro a través de probables superficies circulares y planas. En este análisis el sistema ya no se comporta como un solo cuerpo rígido sino que puede tener distintos tipos de ruptura a lo largo de la misma. (IMT, 2013)

### Factores de seguridad

Dado el dimensionamiento inicial de la estructura se procede a verificar los os factores de seguridad para la estabilidad externa, estos deberán cumplir con estos requerimientos mínimos para garantizar el funcionamiento de los muros MSE. (Suarez, 2022)

FACTOR DE SEGURIDAD PARA ESTABILIDAD EXTERNA	
<b>Desplazamiento</b>	$F_s \geq 1,5$
<b>Volteo</b>	$F_s \geq 2,0$ Para cimientos sobre suelo
	$F_s \geq 1,5$ Para cimientos sobre roca
<b>Capacidad portante</b>	$F_s \geq 2,5$
<b>Global</b>	$F_s \geq 1,3$ Estático
	$F_s \geq 1,1$ Dinámico

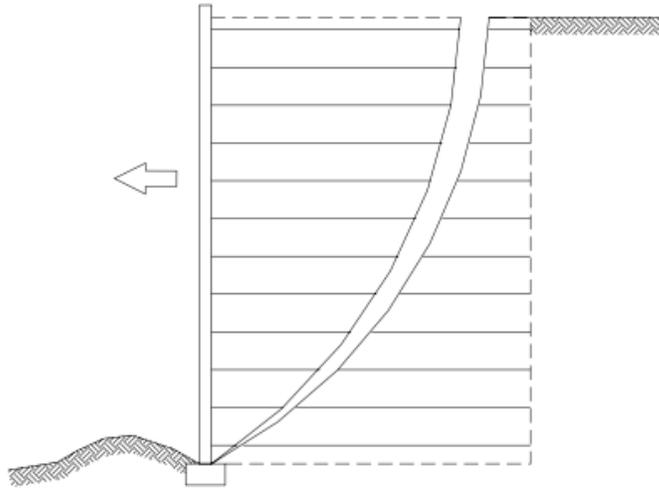
Tabla 3. Factores de seguridad para la estabilidad externa.

### *Estabilidad interna*

El análisis de estabilidad interna consiste en una evaluación de las superficies de deslizamiento existentes dentro de la masa de suelo reforzado. Las cargas sobre el refuerzo calculadas para el diseño de estabilidad interna dependen de la extensibilidad y el tipo de material.

Los refuerzos pueden ser de dos tipos, inextensibles o extensibles, los inextensibles alcanzan su resistencia máxima a deformaciones unitarias menores que las requeridas para que el suelo alcance su resistencia máxima, y los extensibles alcanzan su deformación máxima a deformaciones unitarias mayores a las requeridas para que el suelo llegue a su tope de resistencia.

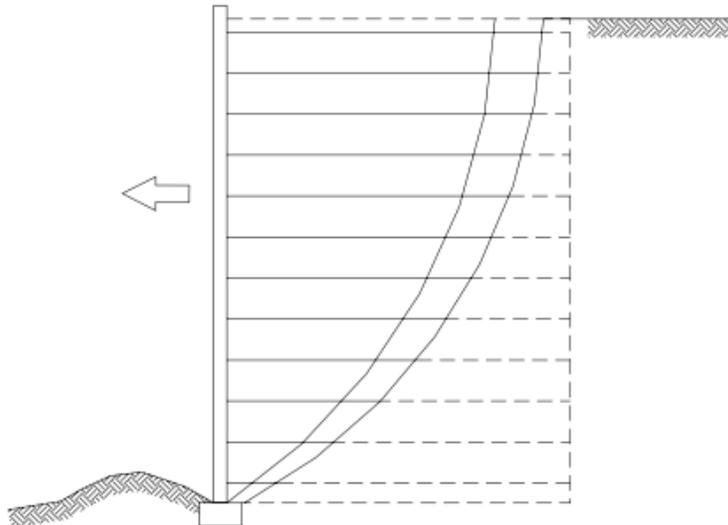
De manera general los refuerzos inextensibles consisten en materiales tales como tiras metálicas, mallas de alambre soldado o mallas de barras, mientras que los refuerzos extensibles son generalmente geotextiles y geomallas. (IMT, 2013)



*Imagen. 5* Falla por rotura elongación excesiva.

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos (IMT, 2013)

En este caso las fuerzas de tensión en el muro permiten exista una elongación excesiva hasta llegar a un punto de ruptura, por lo tanto los desplazamientos en la estructura son más amplios y cabe la posibilidad de que la estructura falle y colapse



*Imagen. 6* Falla por extracción.

Fuente: Diseño de muros reforzados con geosintéticos (IMT, 2013)

Esta falla se provoca cuando las fuerzas de tensión son más grandes que la resistencia a la extracción, es decir, la fuerza requerida para empujar el refuerzo hacia la parte exterior del el cuerpo del muro.

Estas dos fallas son las diferentes formas en que falla los muros MSE por estabilidad interna, este análisis debe considerar distintos procesos para garantizar un buen funcionamiento interno y prevenir este tipo de fallas, se debe considerar las distancias de separación, las longitudes de los refuerzos y realizar un análisis frente a cargas sísmicas.

### **Proceso constructivo de MSE o RSS**

Para poder realizar la construcción de contención primero debe elegir la obra, dado el caso sea un MSE o RSS, se deben analizar las propiedades de los materiales como geosintéticos para el refuerzo así como las capas de estos que se deben usar en función al diseño, también es de suma importancia el tipo de fachada según lo que se acomode mejor al terreno. El tipo de geosintéticos que se utilizarán dependerá de las condiciones geomecánicas del suelo de relleno y de las propiedades del mismo que pueda soportar las cargas puestas durante la ejecución de trabajos y permitiendo la filtración del agua. (Suarez, 2022)

### ***Material de relleno***

Generalmente este tipo de estructuras utilizan los mismos materiales del sitio para realizar los rellenos de estos muros, sin embargo depende de la zona o el caso de aplicación donde los materiales para estos rellenos deberán cumplir con ciertos requerimientos dado que estas estructuras deben garantizar una adecuada compactación del suelo, también es importante antes de seleccionar el material de relleno determinar el tipo de drenaje a utilizar

Los materiales idóneos para usar en muros MSE con geosintéticos son materiales tipo granulares con un porcentaje mínimo de finos y un bajo índice de plasticidad. De igual manera estos materiales deberán ser sometidos a análisis para determinar el comportamiento en sistemas de suelos reforzados, para a futuro prevenir asentamientos y consolidación de estos materiales.

***Preparación de la cimentación.***

Retire el material y los escombros insatisfactorios. Excavar o rellenar y compactar el material de subrasante adecuado a las elevaciones deseadas en forma escalonada de acuerdo con la elevación de los levantamientos de suelo individuales según lo determinen los planos de construcción.

***Sistemas de Subdrenaje.***

El sistema de drenaje para esta obra deberá ser construido con un geotextil, material granular, tubería perforada mínimo de 4" y se deberá construir una zanja que tenga por dimensiones 60 x 30 cms en la parte interna del muro.

Este muro deberá tener lloraderos para evitar excesos de presiones hidrostáticas dentro del sistema de masa de suelo reforzado.

***Colocación del refuerzo.***

Se coloca el refuerzo según lo determinen los planos de construcción para que coincida con el empotramiento, la elevación y la orientación según lo determine el diseño. Se verificará que el refuerzo geosintético esté libre de arrugas y pliegues y que se jale utilizando grapas o pasadores para suelo. Está prohibido empalmar en dirección paralela a la cara del talud. Colocación del material de relleno.

***Colocación del material de relleno.***

Se deberá colocar el refuerzo comenzando en la cara de la pendiente y avanzando hacia el final de la tela o rejilla para asegurarse de que el geosintético se jale teniendo cuidado de evitar arrugas, pliegues o rasgaduras. Si se usan canastas de alambre, también se colocarán en la ubicación indicada antes de la colocación del relleno, dejando suficiente geosintético para envolver la cara y hacer la siguiente longitud de empotramiento de geosintético en el levantamiento subsiguiente. Si el geosintético va a terminar en la cara de la pendiente, deberá revestir el encofrado de alambre con el tratamiento de imposta indicado antes del relleno, asegurándose de cortar alrededor de los puntales para permitir que la imposta quede en pleno contacto con el encofrado de alambre.

Se requiere un mínimo de 6 pulgadas de suelo antes de la operación de vehículos en el geosintético. Evite detenerse o frenar repentinamente, y no gire el equipo sobre orugas en el área de llenado para evitar el desplazamiento. La operación de un vehículo con llantas de goma livianas a veces puede ser aceptable si es poco frecuente y lenta, y si se minimizan los giros.

Asegúrese de que el relleno esté compactado como se indica en los planos de construcción antes de colocar la siguiente capa de refuerzo, formas de alambre y relleno. El material de relleno debe colocarse directamente sobre el refuerzo.

Las fachadas de los muros pueden tener cualquier vista, sin embargo, el uso de mantos de control de erosión permanente da un mejor aspecto puesto que se integra al entorno de donde se construyó. (Gómez, 2012)

## **Metodología**

Se evaluó la posibilidad de construcción de sistemas alternativos de contención con el fin de mejorar las condiciones de estabilidad del suelo. Inicialmente, se realiza un estudio de los tipos de muros convencionales, los muros mecánicamente estabilizados y taludes reforzados, investigando sobre sus procesos constructivo, posteriormente se recopiló información sobre geosintéticos para determinar qué tipo es adecuado según el tipo de cargas a soportar la estructura y condición del terreno, luego se diseñarán los muros alternativos y finalmente se analizan los resultados obtenidos y se evaluarán los beneficios y desventajas que tienen estos métodos de estabilización de los suelos.

### **Identificación de zonas críticas.**

Se realizaron salidas a campo haciendo recorrido por todo el tramo de la vía del proyecto con el fin de identificar sectores propensos a sufrir fallas en su estabilidad, y realizar un análisis de estabilidad en las zonas de influencia de estas mismas.

**Estudio y comparación de métodos alternativos para la contención de muros.**

Para esto se revisó material bibliográfico, recopilando información sobre de los métodos de estabilización, procesos constructivos, materiales a utilizar como geotextiles o refuerzos metálicos, especificaciones e impacto ambiental, también se revisarán los resultados de estudios de suelos en zonas donde se evalúa la construcción de muros convencionales.

**Comparación y estudio de los resultados.**

Se analizaron y compararon los diferentes tipos de geosintéticos utilizados para dar mayor resistencia al suelo, como también el uso de materiales metálicos implementados en el proceso de construcción de estos mismos. Se hace una comparación de los resultados obtenidos de parámetros importantes como la resistencia, durabilidad, tiempos de ejecución de obra, adicionalmente se evalúa los impactos ambientales que estos procesos constructivos significan en los proyectos.

**Análisis y resultados****Caracterización del sitio de ejecución del proyecto.**

La región de este proyecto se encuentra ubicada en su mayor parte sobre la cordillera Central y Occidental presenta una topografía abrupta, diferenciada por la presencia del río Cauca, el cual la atraviesa de Sur a Norte.

La geología de la región se caracteriza por la presencia de diferentes fallas de Romeral y la falla de Sabanalarga. Con respecto a movimientos sísmicos, éstos han causado daños significativos y en general, donde se encuentran las fallas geológicas se evidencia más significativamente.

El suroeste antioqueño es una zona propensa a hundimientos y deslizamientos y en general el área que comprende los municipios de Amaga, Angelópolis, Titiribí, debido a la poca tecnificación de la explotación subterránea del carbón.

**Localización.**

El proyecto evaluado se encuentra localizado en el corredor vial Paso Nivel - Ye de Amaga – Angelópolis, código 60AN10, el cual se localiza en la subregión Suroeste de Antioquia, y tiene su punto de inicio en el sitio Paso Nivel, en el kilómetro 33 en la vía Medellín – Caldas - primavera

- Amagá, que conduce al suroeste de Antioquia y Departamento del Chocó, tal y como se muestra en la Imagen 7 y 8.



Imagen. 7 Localización general del proyecto.

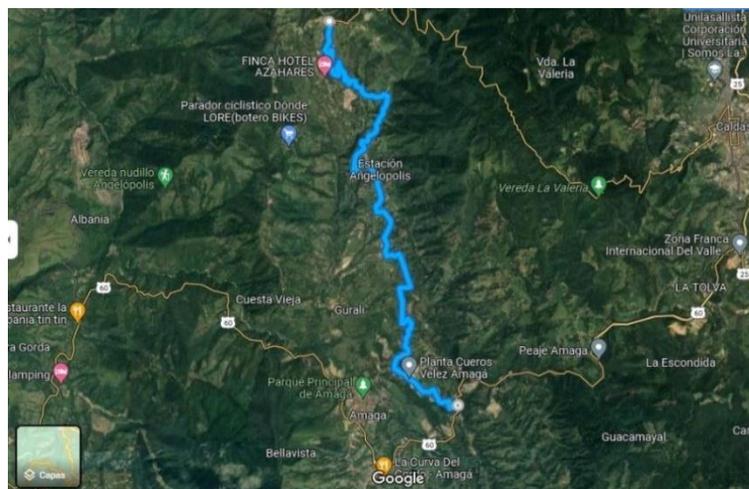


Imagen. 8 Vía Amagá- Angelópolis. Fuente: Google maps.

Puntualmente el proyecto corresponde a la intervención de 13.26 kilómetros aproximadamente, cuyas obras contemplan instalación de materiales granulares (Mejoramiento, subbase granular y base granular), construcción de muros de contención y la instalación de mezcla asfáltica, entre otras.

### **Estratigrafía.**

Las diferentes unidades litográficas encontradas en las zonas se muestran materiales como complejo Polimetamórfico de la cordillera Central (Pzm) como terreno fundamentalmente

estratificado, este incluye las rocas metamórficas presentes en la parte norte de la cordillera central; también podemos encontrar Granito de amagá, esta denominación incluye a un conjunto de cuerpos plutónicos de composición granítica, cuya relación con las rocas adyacentes es generalmente de tipo contacto tectónico o intrusivo, otro material encontrado es el ofiolítico del cauca, estos abarca al conjunto de rocas básicas y ultrabásicas asociadas con secuencias sedimentarias de tipo pelágico; la unidad litográfica de mayor importancia en el área de estudio es la Formación amagá con la cual se denominan a las rocas sedimentarias estratificadas que afloran en la parte norte de la depresión del cauca, entre los departamentos de Caldas y Antioquia, como una franja alargada en dirección norte-sur y finalmente encontramos depósitos sedimentarios no consolidados que la conforman todas aquellas formaciones superficiales originadas a partir de las acumulaciones del material resultante de procesos geológicos o deposicionales (ECOCARBÓN, 1996)

### Geología estructural

La región de la cuenca carbonífera de Antioquia se encuentra enmarcada por el denominado sistema de fallas Cauca – Romeral, el cual marca el límite entre las cordilleras central y occidental. Este sistema de fallas se encuentra representado por las fallas Amagá y Piedecuesta, las cuales marcan un límite entre los municipios Amagá y Angelópolis.

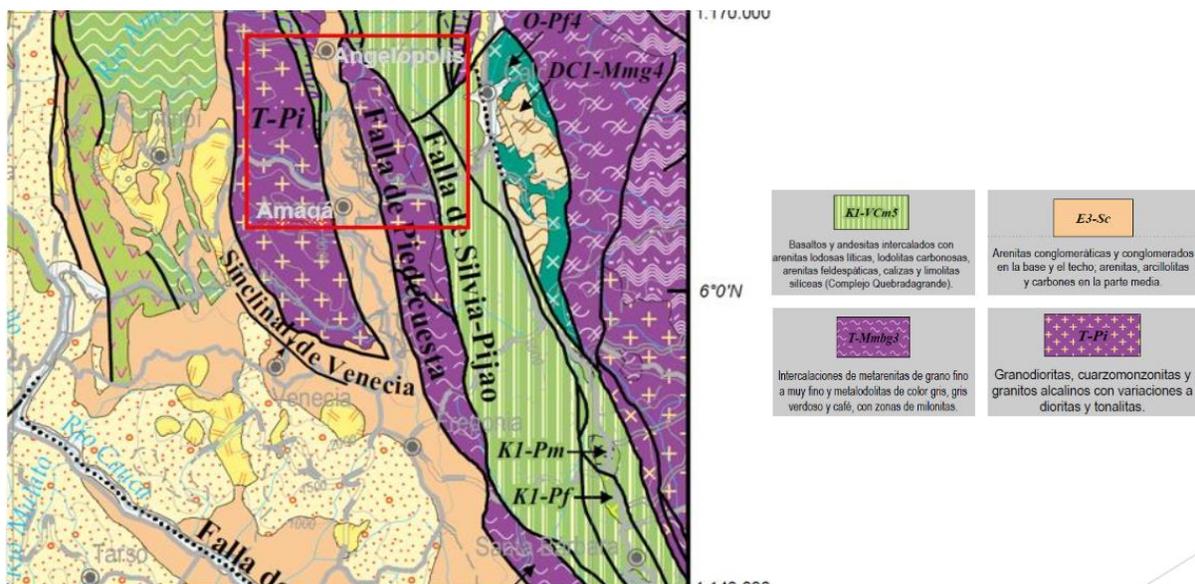


Imagen. 9 Mapa geológico regional del área de estudio.

### **Identificación de sitios críticos.**

A lo largo del proyecto se evidencian algunas zonas donde es necesario realizar una estabilización del suelo, algunas de estas, están contractualmente definidas y otras se encuentran en estudios para determinar la mejor alternativa según el caso.

De acuerdo con las diferentes visitas realizadas por los geotecnistas a los sitios críticos de interés y su correspondiente análisis geológico y geotécnico, se determinaron las características principales de los fenómenos de remoción en masa que se presentan en cada uno de los sitios, estableciendo su relación de forma regional y local, y determinando las principales conclusiones y soluciones.

A continuación, se describen algunos sitios críticos localizados a lo largo de la vía que conduce de Amagá hasta Angelópolis.

#### ***Revisión k3+900 y k3+950.***

Los sitios críticos identificados en el K3+900 y K3+950 corresponden a la desestabilización del borde externo de la vía.

Los puntos críticos se localizan en una zona altamente húmeda, con varios flujos de agua sin una canalización adecuada, situación que genera inestabilidad en el terreno. Adicionalmente, el talud inferior de la vía corresponde a una zona de descarga de todas las aguas de escorrentía de las laderas circundantes, en la (imagen 10) se evidencian varios descoles que direccionan los flujos de agua a esta zona, lo cual intensifica la inestabilidad del terreno.



*Imagen. 10* Zona de descarga de todas las aguas de escorrentía de las laderas circundantes. Sitios críticos K3+900 y K3+950.



*Imagen. 11* Pérdida de calzada de pavimento por asentamientos diferenciales en sitio crítico.

**Revisión k4+630**

El sitio crítico K4+630 se localiza en una zona afectada regionalmente por fenómenos de remoción en masa de reptación, es decir constantes movimientos diferenciales del terreno, los cuales se evidencia por la inclinación de los troncos de los árboles, además de diferentes escarpes producto del movimiento del terreno (Ver Imagen 12). Estos tipos de movimientos diferenciales del terreno aumentan debido a la falta de estructuras hidráulicas que permitan una adecuada evacuación de las aguas de escorrentía (Ver imagen 13).



*Imagen. 12.* Sitio crítico K4+630, movimientos diferenciales del terreno (Reptación)

Fuente: foto suministrada por interventoría.



*Imagen. 13.* Sitio crítico K4+630, Escurrimiento de agua sin un adecuado manejo hidráulico, situación que incide en los movimientos diferenciales del terreno (Reptación)

Fuente: foto suministrada por interventoría.



*Imagen. 14.* Movimientos diferenciales del terreno, exposición de material de refuerzo de la estructura, pérdida de la banca k4+700.



*Imagen. 15* Asentamientos diferenciales en la calzada k4+630.

**Revisión k7+550**

El sitio crítico K7+550 se caracteriza por la pérdida de banca de la vía, debido a la alta pendiente del talud inferior, por el cual pasa una quebrada en su base. Adicionalmente, la falta de obras hidráulicas genera pérdida de la estructura de pavimento como del material rocoso que se encuentra por debajo de ésta, cuyos materiales son acarreados por el agua de escorrentía (Ver imagen 16).



*Imagen. 16* Sitio crítico k7+550 socavaciones del talud y pérdida de banca.

Fuente: HBO ingeniería 2022

**Revisión k9+540.**

El sitio crítico K9+540 corresponde a la pérdida del borde externo de la vía, debido a la pendiente y altura que presenta el talud inferior de ésta, que sumado a la falta de obras hidráulicas genera pérdida de material de la estructura de la vía, el cual es acarreado por el agua de escorrentía. Adicional a lo anterior, la circulación de vehículos pesados aumenta el asentamiento de la vía y también influye en la caída de material en el talud externo de la carretera (Ver imagen 17).



*Imagen. 17* Sitio crítico K9+540, pérdida de banca de la vía.

*Fuente: HBO Ingeniería, 2022.*

En la imagen 18 se evidencia que la zona presenta una pequeña quebrada que se encuentra erosionando el talud inferior de la vía, desestabilizando el terreno. Adicionalmente, la zona está presentando movimientos lentos y continuos producto del fenómeno de remoción en masa de tipo reptación, lo que se evidencia en los pequeños escarpes que se presentan en el terreno.



Imagen. 18 Sitio crítico K9+540, movimientos diferenciales del terreno (Reptación).

Fuente: HBO Ingeniería, 2022



Imagen. 19 Perdida de banca total zona critica k9+500.

Fuente: Tomada por el autor.

***Obtención de parámetros.***

Para las zonas de estudio se realizaron visitas con el fin de identificar las afectaciones en la calzada y poder determinar las medidas de contención, se realizó inicialmente una visita técnica a cada sitio para dar una valoración de las condiciones actuales del sector, se verificaron el estado y existencia de obras de drenaje que ya que estas son las hipótesis iniciales que se manejan en los sectores afectados. También se habló tuvo comunicación con los residentes de la zona con el fin de tener conocimiento de actividades mineras y si anteriormente se venían presentando antecedentes sobre el contexto de asentamientos en estos sectores.

En segunda instancia se realizaron los trabajos en campo como objetivo y mediante las exploraciones geotecnicas para es verificar el perfil estratigráfico sobre el cual se soporta el proyecto, este paso inicio con el reconocimiento superficial identificando puntos de interés para proceder a realizar las respectivas perforaciones y sondeos.

Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio (gradaciones, límites de consistencia, humedad, contenido de materia orgánica, entre otros) con el fin de establecer parámetros propiedades físicas para determinar el tipo de obra a proyectar.

***Obras proyectadas.***

Una vez definidos los parámetros representativos para el sector de análisis, se proyectan las obras de estabilización que permitirán garantizar la integridad de la vía, ante las condiciones de inestabilidad que se presentan actualmente.

El análisis de estabilidad corresponde a la evaluación mediante el método de equilibrio límite de la estabilidad de las obras proyectadas, a fin de garantizar un adecuado comportamiento de los mismos a lo largo del corredor. Con base en los parámetros de resistencia obtenidos de los ensayos se evalúan con el fin de obtener los factores de seguridad permitidos para el diseño de estas obras de contención.

Se proyecta la estructura y se analiza mediante programas computacionales sometidos a condiciones estáticas y Pseudoestaticas para cada sector crítico.

**Obra proyectada en el k3+900**

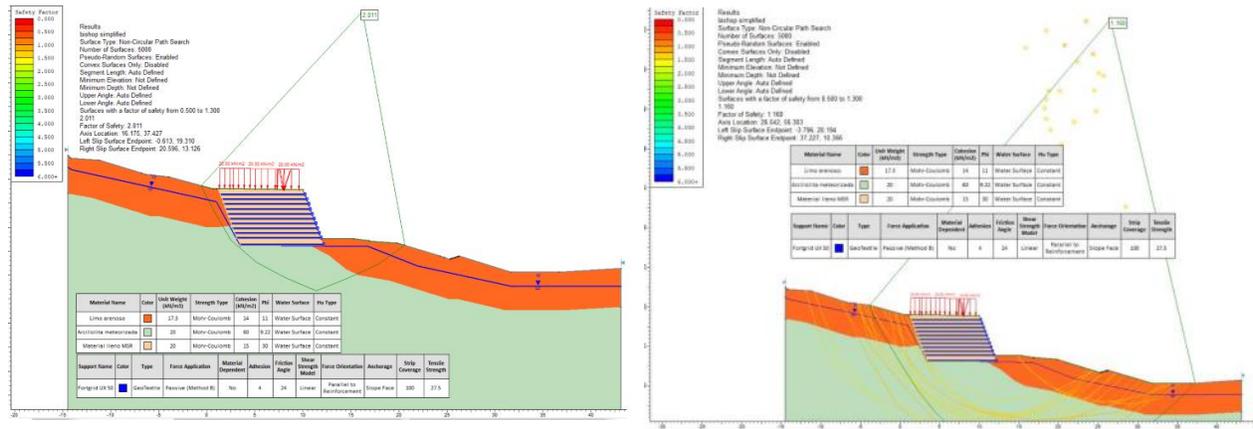


Imagen. 20 Muro proyectado k9+915 bajo condiciones estáticas y pseudoestática.

Fuente: HBD Ingeniería 2022

Plano estructural en diseño.

**Obra proyectada en el k4+630**

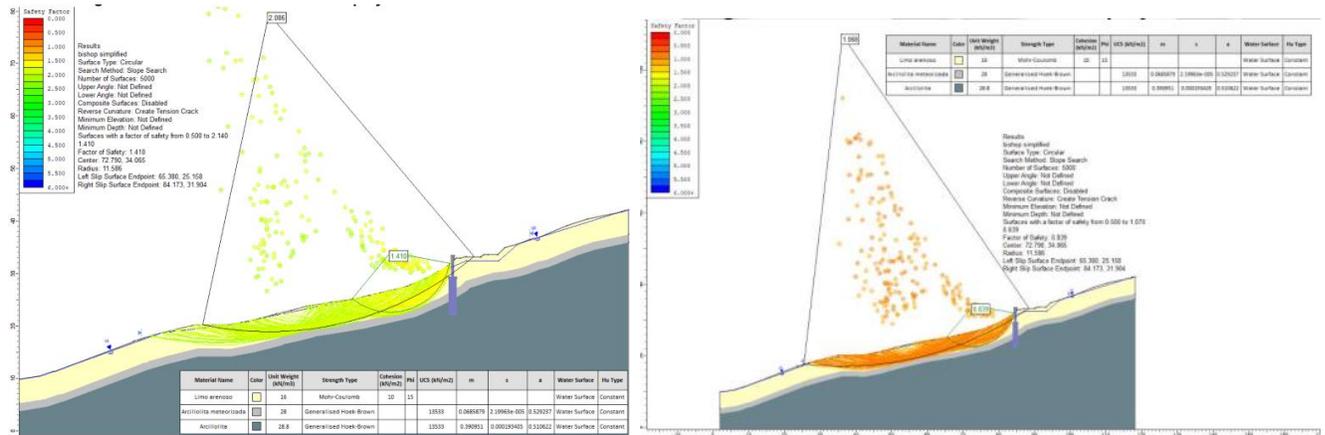


Imagen. 21 Muro proyectado k4+630 bajo condiciones estáticas y pseudoestática.

Fuente: HBD Ingeniería 2022

Plano estructural en diseño.

**Obra proyectada en el k7+550**

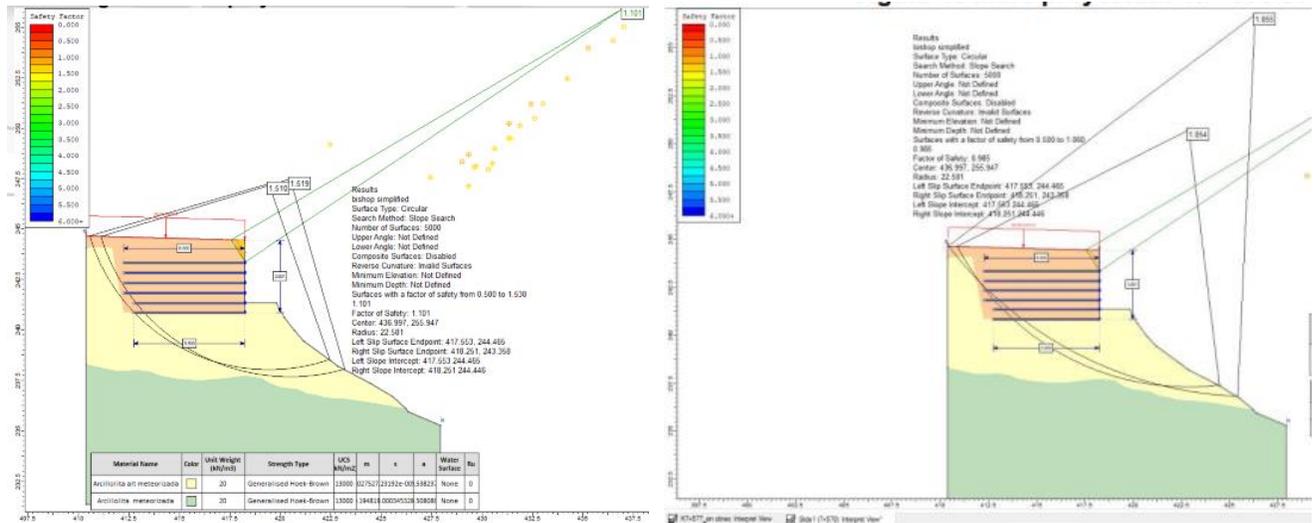


Imagen. 22 Muro proyectado k7+550 bajo condiciones estáticas y pseudoestática.

Fuente: HBD Ingeniería 2022

Plano estructural (Ver anexo 1.)

Teniendo en cuenta cada obra proyectada se procede a realizar los análisis geotécnicos para la cimentación, entre los cuales se determina la capacidad portante del suelo, asentamientos elásticos, empujes de tierra, módulo de elasticidad, relación de Poisson, entre otros.

**Procesos de construcción.**

Ya obtenidos los datos geotécnicos se procede a definir los métodos de construcción, materiales y recomendaciones para llevar a satisfacción estas obras, teniendo en cuenta la construcción de sistemas de drenaje adecuados para dar una larga vida a estas estructuras.

Cabe mencionar que estas estructuras proyectadas no son las definitivas para el proyecto aún, ya que poder empezar su construcción debe pasar por una serie de procesos de aprobación y análisis por los contratantes, contratistas e interventoría.

**Comparación de sistemas de contención**

Esta práctica académica busco contribuir a determinar métodos alternativos de estabilización para sectores del proyecto Mejoramiento de la vía paso nivel (ruta 60) - Ye Amagá - La Clarita – Angelópolis, con el fin de contribuir en en las decisiones tomadas y en la construcción

y supervisión de zonas a intervenir dada su inestabilidad, de tal manera que en este apartado se muestran los resultados obtenidos según la metodología planteada.

Para poder realizar un análisis y comparación en cuanto a rendimiento, capacidad y costos de estos sistemas de contención para muros de tierra, teniendo en cuenta que no se tienen ejemplos reales con condiciones similares para establecer una relación, se hace un estimativo para dar una apreciación y recomendaciones para la estructura a construir.

Debemos de tener en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y la historia del sitio de estudio, esta zona se caracteriza por tener actividades mineras, cuando no se maneja de manera controlada por la ilegalidad de muchas personas que ven la oportunidad de explotar minerales, contribuyen directamente a la erosión, dado que, a través de la deforestación, explotación no técnica de carbón y materiales como arenas y arcillas, impulsadas por la facilidad de acceder a un ingreso monetario, ya que estos materiales se encuentran en ocasiones superficialmente, (ver imagen 23 ). Vertimiento incontrolado de aguas sobre las laderas y uso inadecuado del suelo favorece la generación de fenómenos como subsidencia de los terrenos e inestabilidad de estos.

La presencia de suelos arcillosos muy plásticos, susceptibles a la deformación y cambios de humedad del suelo, favorece la formación de procesos de reptación, así mismo al tectonismo de la zona, se asocia la generación de diversos fenómenos de inestabilidad.

Para evitar este tipo de fallas e incidentes es importante conocer y reforzar la estabilidad de los taludes dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo donde se encuentra y determinar qué tipo de refuerzo se va a utilizar y si serán protecciones superficiales que aseguren su estabilidad



*Imagen. 23* Mineral de carbón superficial.

Tipo	Ventajas	Desventajas
<b>Tablaestaca</b>	Su construcción es rápida y no requiere cortes previos. Son de fácil construcción junto a los cuerpos de agua o ríos.	No se pueden construir en sitios con presencia de rocas o cantos, su construcción es muy costosa
<b>Pilotes</b>	Se pueden construir rápidamente	Se puede requerir un numero grande de pilotes para estabilizar un deslizamiento, muy costosa
<b>Pilas o Caissons</b>	No se requiere cortar el talud antes de construirlo, se utilizan sistemas convencionales de construcción. Pueden construirse en sitios de difícil acceso. Varios caisson pueden ser construidos simultáneamente.	Se requiere profundizar muy por debajo del pie de la excavación. Su costo generalmente es elevado. La excavación puede requerir control de nivel freático. Debe tenerse especial cuidado en las excavaciones para evitar accidentes.

*Tabla 4* Ventajas y desventajas de muros con estructuras enterradas.

Tipo	Ventajas	Desventajas
<b>Muros mecánicamente estabilizados con refuerzos</b>	Sistema de alto rendimiento, reduciendo significativamente los tiempos de construcción	Sobrecargas: Se dan por exceso de peso relacionado con la construcción de algún edificio o por la carga de elementos naturales como exceso de lluvia o nieve.
	De simple construcción, en el montaje de las geomallas de refuerzo, junto al relleno estructural	Excavaciones: Cuando se excava la base del talud y su soporte, es muy probable que se dé un desgajamiento del suelo ya que pierde resistencia a las cargas que se le apliquen.
	Para diseños con inclinación hasta 80°, recto o escalonado. Alineación horizontal recta, curvas o ángulo recto.	Erosión: Se generan debido al paso del tiempo y fenómenos naturales como lluvias torrenciales disminuyendo la resistencia del suelo provocando deslaves y desgajamientos.
	Estructura flexible, absorbe los asentamientos, irregularidades del terreno y efectos sísmicos	
	Pudiendo utilizar material para relleno de origen cercano, de conocidas características	
	Alta confiabilidad, del diseño y cálculo, de acuerdo a estándares y normas nacionales e internacionales	
	En general, producen buen el efecto visual donde se construya, siendo amigable con el ambiente y en armonía con el entorno	

*Tabla 5* Ventajas y desventajas de muros y taludes reforzados.

Hay que tener en cuenta el análisis de cada sitio de estudio evaluando sus características, y considerando de igual manera los beneficios que puede ofrecer los distintos métodos de estabilización, como se puede ver en la tablas 4 y 5 dependiendo de las condiciones del terreno y zona en general de estudio podemos dar un primer criterio de diseño, como que los muros MSE son más resistentes frente efectos sísmicos, asentamientos y flexibles en comparación con los muros en concreto armado, también se puede analizar que los muros con pilas y pilotes son más costosos y demorado en su construcción por la necesidad de tener que excavar a profundidades y anchos considerables contrario a lo que se requeriría con los muros MSE, también el uso de geotextiles en los muros MSE combinado con el mismo material de la excavación aumentan la resistencia de estos, por otro lado las desventajas que se tiene con respecto a ambos sistemas de contención son las excavaciones, para los muros con pilas requerirán un manejo del nivel freático,

mientras que, en los muros MSE requerirán tener cuidado con el talud superior del corte, este factor es muy importante dadas las condiciones y características de la zona del proyecto ya que como se mencionó anteriormente se caracteriza por tener suelos muy húmedos, lo que afecta directamente a ambos métodos de construcción, por tal razón es criterio de los especialistas en geotecnia determinar cual obra se contención se adapta mejor a cada caso.

### Economía

El sistema constructivo de los muros MSE es más económico en general que un muro de concreto armado, debido a la menor cantidad de concreto, acero, encofrados y mano de obra a emplearse en el mismo y con respecto a sistemas Mecánicamente Estabilizados parecidos.

Son más baratos por la disposición general de refuerzos, tamaño y forma ya sean las fachadas de concreto o metálicos.

Los costos de construcción dependen evidentemente del tamaño de la estructura, estos consideran longitud, altura y espesor de muro, así también como el tipo de material con el cual son construidos, como se muestra en la (imagen 21) se ilustra la comparación de muros con respecto al precio por metro lineal en porcentaje y la altura de este mismo, mostrando que los muros con suelo reforzado son más económicos en comparación con los muros hormigón ciclópeo y muros de hormigón armado, son más económicos los muros MSE a medida que aumenta la altura de estos.

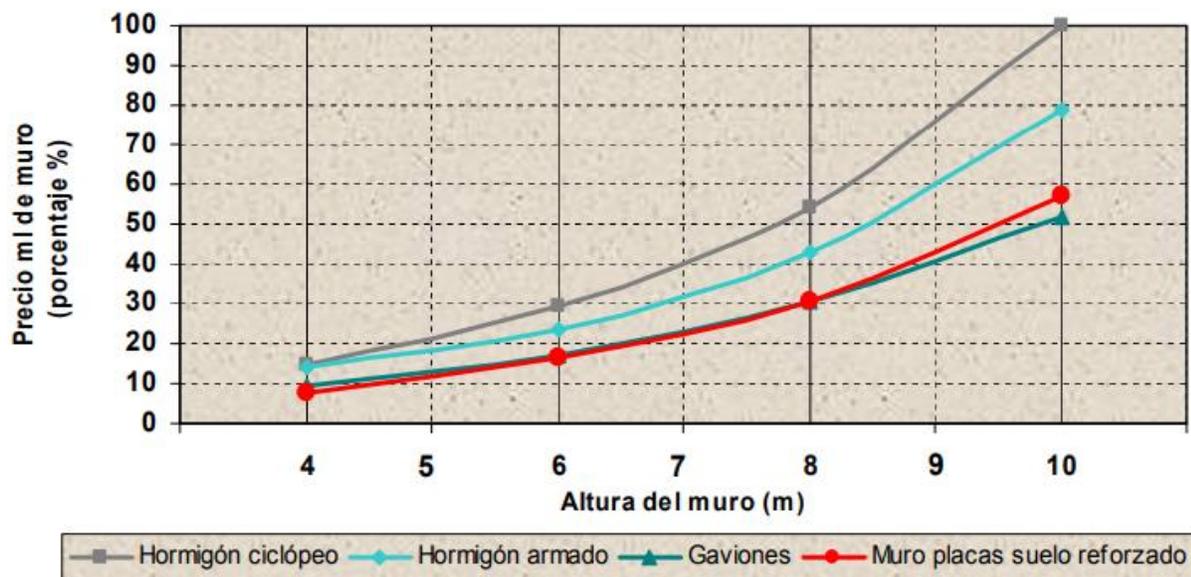


Imagen. 24 Precio de construcción de muro por metro lineal con respecto a la altura.

## **Rendimiento**

Los sistemas de muros mecánicamente estabilizados o taludes reforzados tienen un rendimiento mayor comparado con los muros de concreto reforzado por la simplicidad de su construcción, dejando de un lado los procedimientos de encofrado de los muros, la figuración de los aceros, ya que esta se de ajustar a los diseños establecidos, debido a que para los muros MSE se utilizan piezas prefabricadas o en su defecto gaviones que son de fácil construcción acortan los costos y tiempos de ejecución de obra.

## **Comportamientos de los muros MSE**

El comportamiento de los muros MSE reforzado con geosintéticos dependerá principalmente del comportamiento de los refuerzos con el suelo, los geosintéticos son materiales que afectan el comportamiento de los muros al pasar del tiempo. (Suarez, 2022)

Este comportamiento puede ser afectado por degradación química y biológica:

- A la luz del sol

La exposición a la luz del sol es una causa importante de degradación de los polímeros con los cuales se fabrican los geosintéticos.

- A la temperatura

Las altas temperaturas generan una aceleración de los mecanismos de degradación de todos los polímeros.

- Oxidación

Aunque todos los polímeros reaccionan con el oxígeno causando degradación se considera que el polietileno y el polipropileno son los más susceptibles a este fenómeno.

- Hidrólisis

El poliéster se afecta particularmente y especialmente cuando está sumergido en un líquido que tiene alta alcalinidad.

- Degradación química

Esta es especialmente importante cuando el geotextil está expuesto a lixiviados.

- Degradación biológica

Algunos micro-organismos como las bacterias degradan los polímeros y utilizan la fibra como alimentación. Este problema no es común en las resinas utilizadas para elaborar los geosintéticos. Generalmente los aditivos que se utilizan con el polímero son más vulnerables.

### Impacto ambiental

Como principal ventaja ambiental, se puede considerar los muro en suelo reforzado como muros verdes, teniendo en cuenta que las fachadas de los muros pueden ser revegetadas o protegidas con mantos de control de erosión con apariencia de la zona, propiciando al crecimiento de la vegetación por sí sola.

Los nuevos requerimientos ambientales, nos llevan cada vez más a considerar el equilibrio de los ecosistemas en los lugares donde intervenimos, por lo que el control de la erosión es otra oportunidad de utilizar geosintéticos de calidad y bajo costo comparado con otras soluciones.

### ¿Qué tipo de refuerzo elegir?

Tipo	Ventajas	Desventajas
<b>Refuerzo con tiras metálicas</b>	Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos. Existen empresas especializadas dedicadas a su construcción	Las zonas de refuerzo requieren protección especial contra la corrosión. Se requieren características especiales en el relleno utilizado con los elementos de refuerzo. Algunos tipos de muros de tierra armada están cubiertos por patentes
<b>Refuerzo con geotextil</b>	Son generalmente muy económicos y fáciles de construir	Son muy flexibles y se deforman fácilmente. Las capas de geotextil se pueden convertir en superficies de debilidad para desplazamientos. El geotextil se descompone con la luz solar
<b>Refuerzo con malla</b>	La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad. El efecto de anclaje es mejor	Dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de tipos de tierra reforzada.

Los refuerzos mejoran la integridad estructural del suelo en las vías, muros y taludes al reforzar confinar los materiales de relleno y distribuir de mejor manera las cargas.

Las geomallas y geotextiles son los tipos de refuerzo más utilizados debido a su versatilidad, estos brindan apoyo en la construcción de carreteras, autopistas, muros, diques y aplicaciones de estructura que anteriormente requerían mucha sobreexcavaciones, construcción de pilas entre otros. Las geomallas son usadas generalmente en los caminos para disminuir los espesores de los agregados en los diseños de las vías.

Aunque las geomallas se usan principalmente para refuerzo, algunos productos están diseñados para la superposición de asfalto y la impermeabilización o para la separación y estabilización. Las geomallas también se usan como gaviones y anclas de láminas, se insertan entre geotextiles y geomembranas, o se usan para construir colchones para rellenos o terraplenes sobre suelos blandos.

### **Diferencia entre Geomallas y Geotextiles**

Geotextiles:

Los geotextiles no tejidos civiles y ambientales con excelente estabilidad dimensional. Siempre que los productos de geotextil sean resistentes al deterioro ultravioleta, a la podredumbre, a la degradación biológica y a los elementos básicos y ácidos que se encuentran naturalmente. Los geotextiles se pueden utilizar para separación y filtración. Telas tejidas, no tejidas y de alta resistencia están disponibles.

Geomallas:

Las geomallas aumentan la eficiencia y minimizan el mantenimiento en carreteras, entradas, áreas de disposición y sitios de plataformas de petróleo y gas. Mediante la utilización de geomallas Biaxiales, se puede lograr una reducción en el espesor del agregado.

Diferencia entre Geomallas y Geotextiles		
Criterio	Geomalla	Geotextil
<b>Naturaleza</b>	Las geomallas, por otro lado, inicialmente se fabrican de una lámina geosintético. Ese material es perforado y estirado hasta que se consigue la forma deseada. Existen las variedades uniaxiales y las biaxiales.	Los geotextiles se crean con fibras o hilos sintéticos que se unen a través de técnicas mecánicas o químicas. Existen 2 variedades: los tejidos y los no tejidos. Las primeras se caracterizan porque las fibras se entrecruzan para formar un patrón. En cambio, los geotextiles no tejidos unen las fibras a través del punzonado, el pegado térmico o el uso de aglomerantes
<b>Comportamiento hidráulico</b>	A pesar que las geomallas se fabrican con polietileno, que es un material impermeable, no son geosintéticos que bloqueen el paso del agua. Su tramado con amplios poros permite que las gotas la atraviesen libremente	En estos materiales los poros tienen un tamaño milimétrico. Esta característica de los geotextiles hace que absorban el agua y causen embalsamientos. Además, pueden presentarse deformaciones en esta situación y pérdida de la resistencia del material.
<b>Comportamiento mecánico</b>	Estos materiales tienen la capacidad que se detalla más arriba y, además, ofrece resistencia pasiva. Esa segunda característica se manifiesta porque los gránulos del suelo quedan atorados entre las aberturas en su tramado. Por eso, este material demuestra una mejor eficiencia en cuanto a capacidad de esfuerzo.	Estos materiales apelan a su capacidad primordial de confinar las partículas de suelo para aumentar para mantener la estabilidad en el suelo. Este es un mecanismo de fricción.

*Tabla 7* Diferencias entre geomalla y geotextil

## Conclusiones

Los muros mecánicamente estabilizados con geosintéticos son alternativas usadas cada vez más en los proyectos y diseños geométricos de las vías terrestres, estas estructuras de estabilización representan beneficios estructurales, debido a que las propiedades con que se fabrican los geosintéticos y el aumento de las propiedades mecánicas cuando están en contacto con el suelo, dan como resultado muros más económicos y más estables debido a que estas estructuras son más flexibles que los muros de concreto reforzado, por tal razón los muros MSE son estructuras más resistentes a esfuerzos sísmicos y de asentamientos.

La construcción de muros reforzados y cimentación por pilotes es muy peligrosa, teniendo en cuenta que esta zona cuenta con reservas de minerales grandes de carbón y que este se encuentra relativamente cerca de la superficie, es riesgoso la excavación de pilas manual, durante estos procesos los trabajadores pueden encontrar bolsas de gases que pueden terminar en accidentes laborales, o incluso fatales. Dando así una ventaja para los muros mecánicamente estabilizados los cuales no representan riesgos potencialmente altos para su construcción.

Considerando que el sector en donde se desarrolla el proyecto está fuertemente influenciada por trabajos de explotación minería de carbón, debería investigar la influencia de esta actividad en la estabilidad de la calzada, cada que, en algunos sectores se presentan deformaciones o hundimientos del corredor, que podrían estar relacionados con los túneles de las minas de carbón.

A pesar de los beneficios que pueden aportar los muros MSE, es decisión por criterio del ingeniero geotecnista teniendo en cuenta los parámetros y estimaciones para el desarrollo de las propuestas de obras de implementación.

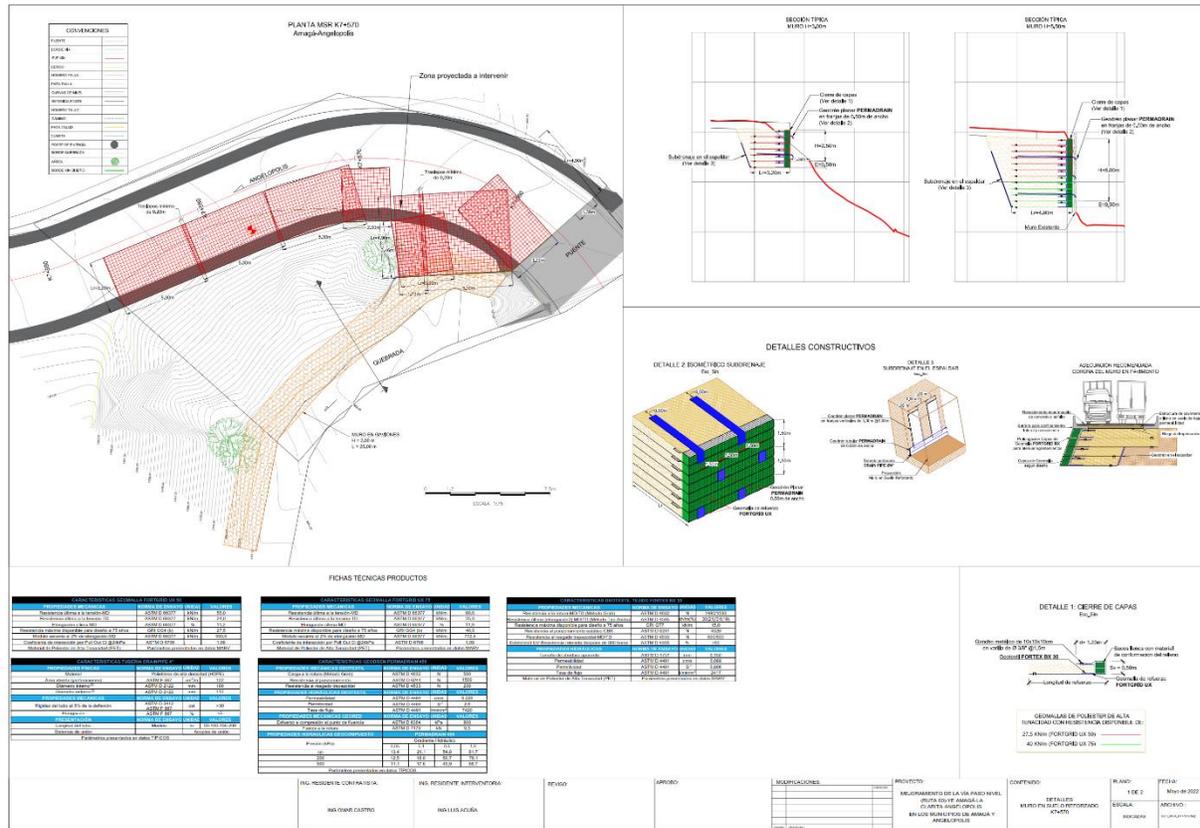
Existen ciertas limitaciones cuando se realiza un contrato definido y estas nuevas obras no estaban contempladas, y para su intervención requieran compra de predios o inversión presupuestal muy grande o también tiempos de terminación del contrato que el tipo de estructura a construir puede definirse por alguno de estos factores.

Las estabilidad de la vía y del pavimento está siendo afectada por la incidencia de las escorrentías, las cuales se infiltran por en la base de los taludes aumentando la humedad y saturación del suelo, es necesario realizar obras hidráulicas y de drenaje para evitar que estas tengan incidencia sobre la vía con el fin de evitar efectos de erosión.

## Referencias

- COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías – Invías (2009). *Manual de drenajes para carreteras*
- COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías – Invías (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*
- COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías – Invías (2019). *Emprendedores Rurales: Colombia Rural*.
- Elsuroeste (2020), *Deterioro de la vía Amagá – Angelópolis, ¿cómo va la pavimentación?*  
Obtenido de: <https://periodicoelsuroeste.com/deterioro-de-la-via-amaga-angelopolis-como-va-la-pavimentacion/>
- GOMEZ, R, J., & GOMEZ, F, J. (2012) *Muros Mecánicamente Estabilizados con Geosintéticos, Alternativa de estructuras de retención de suelos en la Autopista México - Tuxpan, en el tramo Nuevo Necaxa – Tihuatlán*.
- Matteis, F. d. (2003). *Tipos y diseño de taludes. Estabilidad de taludes*.
- MEXICO, MACCAFERRI (2016) *Muros Mecánicamente Estabilizados diseñados para la Estabilización de Suelos*.
- American Psychological Association [APA]. (2020). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7<sup>a</sup> ed.). American Psychological Association.
- Ecocarbón. (1996) *Geología del sector La Estación – La Corona, municipios de Angelópolis y Amagá*
- Empresas Públicas de Medellín [EPM]. (2018). *Norma de construcción de muros de contención*. Centro de excelencia técnica unidad normalización y especificaciones.
- MEXICO. Instituto Mexicano del Transporte. IMT (2013). *Diseño de muros reforzados con geosintéticos*.
- Suarez, J. (2022). *Muros y taludes MSE de acuerdo a las especificaciones de diseño de la AASHTO*. [Diapositivas de PowerPoint]. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. <https://www.erosion.com.co>

Anexos



Anexo 1. Plano proyectado de la obra de contención k7+550.