



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE UN MURO DE CONTENCIÓN ABCISADO PARA EL
TRAMO 10 DE LA VÍA CABRERA-BOQUERÓN, CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

AUTOR

DAVID ANDRÉS VALBUENA RIAÑO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO

DE:

INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

INGENIERO CAMILO ANDRÉS GARCIA



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE UN MURO DE CONTENCIÓN ABCISADO PARA EL
TRAMO 10 DE LA VÍA CABRERA-BOQUERÓN, CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

DAVID ANDRÉS VALBUENA RIAÑO
CÓDIGO ESTUDIANTIL: 7303148

PROPUESTA DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
INGENIERO: CAMILO ANDRÉS GARCIA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
Bogotá D.C., noviembre de 2021



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

Bogotá D.C., noviembre de 2021

Señores

COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Bogotá D.C.

Ref.: presentación propuesta opción de grado

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada: “Análisis geotécnico de un muro de contención abscisado para el tramo 10 de la vía Cabrera-Boquerón, Cundinamarca, Colombia.”

El Tutor es el Ingeniero Camilo Andrés García.

Atentamente,

David Andrés Valbuena Riaño

Código: 7303148

Estudiante de ingeniería civil



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

APROBACION

La propuesta de grado titulada “Análisis geotécnico de un muro de contención abscisado para el tramo 10 de la vía Cabrera-Boquerón, Cundinamarca, Colombia.”, opción de grado, presentada por el estudiante David Andrés Valbuena Riaño en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el director

Ingeniero CAMILO ANDRÉS GARCÍA

Director Universidad Militar Nueva Granada



Contenido

1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4. ALCANCE	5
5. DELIMITACIÓN.....	5
6. MARCO DE REFERENCIA	6
6.1. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA	6
6.2 TECTÓNICA.....	11
6.3 SONDEOS GEOMECÁNICOS STANDARD PENETRATION TEST (SPT)..	15
6.3.1 ENSAYOS DE LABORATORIO	17
6.3.1.1. REGISTRO DE SONDEO	18
6.3.1.2. GRANULOMETRÍA.....	19
6.3.1.3. LIMITES.....	20
6.3.1.4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO	21



6.3.1.5. RESULTADOS ENSAYO SPT	22
6.3.1.7. CORRECCIÓN SPT	25
7. SECCIÓN TRANSVERSAL	26
8. DISEÑO GEOTÉCNICO.....	27
8.1. Factores de seguridad (VOLCAMIENTO, DESLIZAMIENTO Y CAPACIDAD PORTANTE).....	34
8.2 Estabilidad Global.....	36
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	38



REGISTRO GRÁFICO

Ilustración 1. Localización del proyecto, fuente GOOGLE EARTH – WIKIPEDIA. **¡Error!**

Marcador no definido.

Ilustración 2. Tramificación de la vía. Fuente propia.	2
Ilustración 3. Localización del tramo a trabajar. Fuente: GOOGLE EARTH.	3
Ilustración 4. Ubicación puntos críticos. Fuente propia.....	6
Ilustración 5. Localización punto crítico. Fuente: GOOGLE EARTH.	6
Ilustración 6. Geología de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal, 2012).	7
Ilustración 7. Geología de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).	8
Ilustración 8. Leyenda geológica extraída de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).	9
Ilustración 9. Resultado de amenaza en roca extraída de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).	11
Ilustración 10. Penetrómetro para sondeo. Fuente: Sismica.	15
Ilustración 11. Ejemplo de Ensayo SPT. Fuente: ingenieriaymas.	16
Ilustración 12. Zona de sondeos. Fuente: GOOGLE EARTH.	17
Ilustración 13. Sondeo punto crítico 58. Fuente: propia.	18



Ilustración 14. Porcentaje de contenido. Fuente: propia.	19
Ilustración 15. Grafica de porcentaje de humedad.	20
Ilustración 16. Tabla índice plástico. Fuente: propia.	21
Ilustración 17. Perfil estratigráfico. Fuente propia.	21
Ilustración 18. Resultado ensayo SPT. Fuente: propia.	22
Ilustración 19. Niveles de índice de plasticidad. Fuente: es.slideshare.net. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 20. Tabla de número de golpes (N). Fuente: propia.	24
Ilustración 21. Tabla de clasificación de suelos SUCS. Fuente: propia.	24
Ilustración 22. Clasificación de suelos. Fuente propia.	25
Ilustración 23. Corrección ensayo SPT final del tramo. Fuente: propia.	25
Ilustración 24. Sección transversal de la vía con muro propuesto. Fuente: propia.	26
Ilustración 25. Dimensiones muro cantiléver. Fuente: propia.	27
Ilustración 26. Dimensiones del muro propuesto. Fuente: propia.	28
Ilustración 27. Datos factor de seguridad. Fuente: propia.	33
Ilustración 28. Factor de seguridad por volcamiento. Fuente: propia. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 29. Factor de seguridad por volcamiento. Fuente: propia. ¡Error! Marcador no definido.	



Ilustración 30. Factor de seguridad por volcamiento. Fuente: propia;**Error! Marcador no definido.**

Ilustración 31. Factor de seguridad estabilidad global. Fuente: SLIDE 5.036



1. ANTECEDENTES

En este informe se presenta la propuesta de un muro de contención tipo Cantiléver para la estabilización de un tramo de la vía Cabrera-Boquerón, la cual corresponde a un tramo vial de 42,4 kilómetros de longitud, el cual está dentro del dominio del lote 6 del Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca (ICCU). Con el desarrollo de este trabajo se busca la estabilización del sitio crítico número 58 abscisas (K47+225 y K47+270) del tramo 10 de esta vía secundaria existente.

Esta vía se localiza en la parte sur occidental del departamento de Cundinamarca, la cual empieza desde el municipio de Cabrera y termina uniéndose con la vía que lleva al municipio del Boquerón municipio de Fusagasugá. Esta vía presenta un dominio de costado Sur-Norte, como lo muestra la figura 1.



Ilustración 1. Localización del proyecto, fuente GOOGLE EARTH – WIKIPEDIA.

A continuación se muestra la tramificación de la vía.

Tabla 1			
<i>Tramificación de la vía</i>			
Tramo	Longitud (m)	Tramo	Longitud (m)
1	5903	7	1323
2	9701	8	8294
3	2539	9	9377
4	355	10	848
5	326	11	104
6	2818	12	862

Tabla 1. Tramificación de la vía. Fuente propia.

El tramo que se va a tratar en este proyecto, abarca el tramo 10, el cual consta de 848 kilómetros de longitud, donde se evidencia un deterioro y una inestabilidad en la abscisa K 47+225, y además se puede constatar cuarteaduras en el pavimento y pérdida parcial de éste.

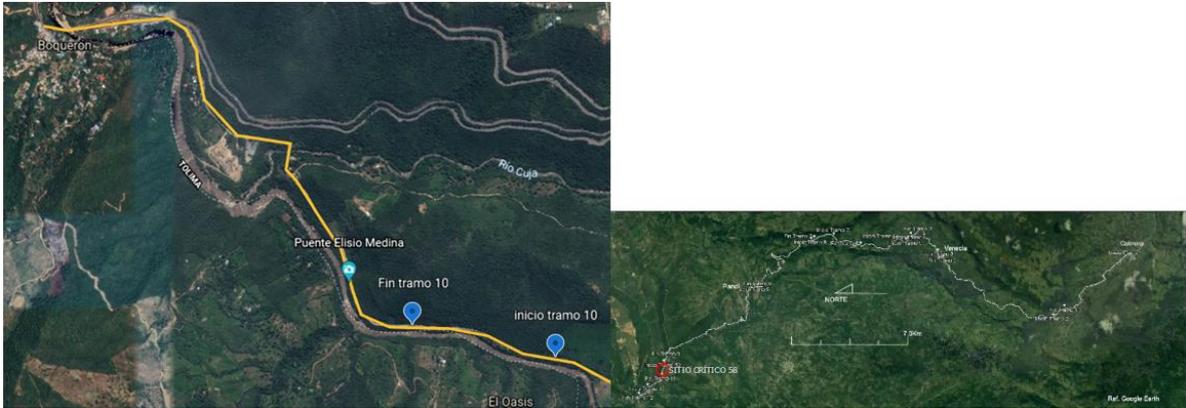


Ilustración 2. Localización del tramo a trabajar. Fuente: GOOGLE EARTH.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vía Cabrera-Boquerón es una vía secundaria ubicada en el sur occidente del departamento de Cundinamarca, en la provincia de Sumpaz. Esta vía consta de 42,4 km de longitud, donde se evidencian 2 puntos críticos en su tramo 10, el cual comprende una longitud de 848 m. Se busca una solución para el punto crítico que se encuentra ubicado en las abscisas K 47+225 y K 47+270, donde se constata una rotura de tipo rotacional la cual afecta al talud derecho de la vía. Esta inestabilidad ha llegado a afectar hasta los niveles más altos de los suelos, los que han sufrido un proceso de meteorización, generando así pasó reducido de tráfico en la vía. Con la implementación del muro, se busca la rehabilitación, recuperación y mejoramiento de la vía secundaria.



3. JUSTIFICACIÓN

Se propone la construcción de un muro de contención tipo Cantiléver, basado según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14), para lograr una estabilización de la zona bordeada en este proyecto. Previniendo futuras pérdidas o cierres de vía, comunicando a los habitantes de esta región con el resto del país y contribuyendo con la economía local.

Mediante la implementación de este proyecto se busca dar solución a la problemática presentada en el tramo 10 de la vía Boquerón – Cabrera, dando una estabilidad al talud, basándose en los rasgos geológicos e identificando sus características geológico – geotécnica.

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Análisis geotécnico de una estructura de contención tipo Cantiléver para estabilizar el talud en el punto crítico 58 del tramo 10 de la vía Cabrera – Boquerón.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilación de información para el análisis y desarrollo del proyecto.
- Análisis de resultados de laboratorio y ensayos de campo para distinguir el tipo de suelo a trabajar.
- Construcción del modelo geológico geotécnico de un muro cantiléver para la estabilización de la vía según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14).



- Análisis geotécnico de las fallas y cálculos del muro propuesto.
- Mediante la implementación del software Slide 5.0, examinar la estabilidad global del muro Cantiléver propuesto.

4. ALCANCE

Mediante la elaboración de este trabajo, se busca lograr tener un análisis geotécnico del muro planteado para la estabilización de la vía Cabrera-Boquerón a la altura del tramo 10, mediante la recopilación de información basados en laboratorios y ensayos de campo en el área de geología y geotecnia. Recolectando así el perfil del suelo, sus propiedades de compresión, comportamiento geomecánico y resistencia al corte, además de las formaciones rocosas. Para así llegar a la parte de cálculos y diseño del muro de contención, bajo las normativas colombianas.

Donde en el documento final se incluirá las metodologías aplicadas para el correcto diseño del muro de contención, además de las respectivas conclusiones, impactos generados para la solución de la problemática y las referencias bibliográficas.

5. DELIMITACIÓN

El muro planteado hace parte del proyecto de la vía que comunica a los municipios de Cabrera y Boquerón; Cundinamarca, Colombia. Donde se busca darle estabilidad en la parte del tramo 10, el cual cuenta con 2 puntos críticos, aquí se planteará la estabilidad de su punto crítico número 58.



TRAMO	PUNTO CRITICO	INICIO		FINAL		COSTADO	ABSCISAS	TIPO DE INESTABILIDAD
		NORTE	OESTE	NORTE	OESTE			
10	58	4°14'46,26"	74°31'56,36"	4°14'46,43"	74°31'57,25"	DERECHO	K47+900 K48+000	INESTABILIDAD DE LADERA
	59	4°14'46,77"	74°31'59,82"	4°14'46,77"	74°31'59,82"	IZQUIERDO	K47+375 K47+400	INESTABILIDAD DE LA BANCA POR DESCONFINAMIENTO LATERAL

Tabla 2. Ubicación puntos críticos. Fuente propia.



Ilustración 3. Localización punto crítico. Fuente: GOOGLE EARTH.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

Esta zona se encuentra ubicada en la cordillera occidental, lo cual nos refleja un alto grado de actividad sísmica, por lo que se genera una gran necesidad para la construcción del muro de contención que se está proponiendo. Para ello se busca el cumplimiento de todos los parámetros normativos y así garantizar la seguridad para su construcción.



La zona a estudiar, se ubica en el flanco sur occidente del departamento de Cundinamarca; el tramo 10 de esta vía se encuentra localizada en la parte sur de la plancha 246 (Espinal), según la nomenclatura de planchas del ICAG a escala 1:100.000.



Ilustración 4. Geología de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal, 2012) (colombiano, 2021).

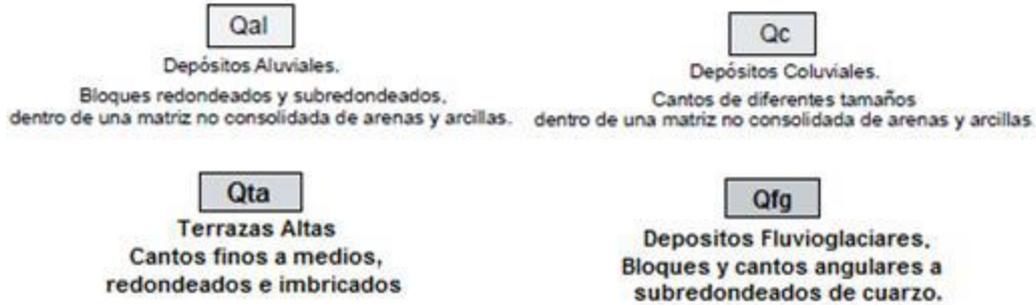


Ilustración 5. Geología de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).

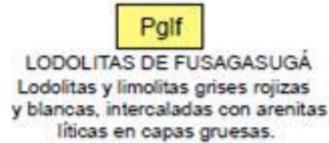
En cuanto a la nomenclatura geológica, se basa según las que presenta el servicio Geológico Colombiano en la plancha 246 (Fusagasugá).



CUATERNARIO



CENOZOICO



MESOZOICO

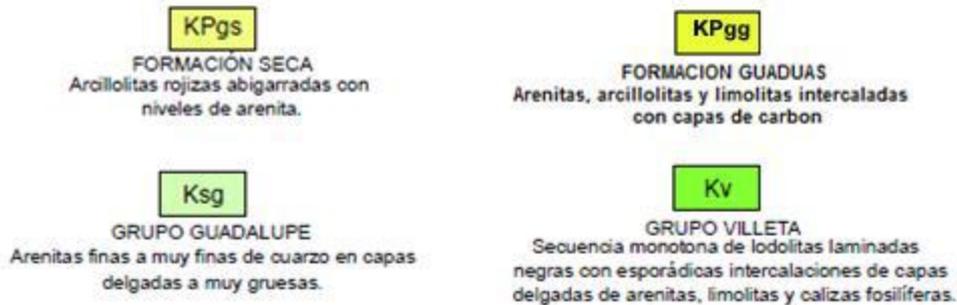


Ilustración 6. Leyenda geológica extraída de la plancha 246 Fusagasugá. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).

Basado en esto, tenemos como referencia los tipos o unidades que se encuentran a lo largo del proyecto, mencionadas de la más reciente a la más antigua.



- **Cuaternario**

- Terrazas Altas (Qta): Cantos finos a medios, redondeados e imbricados. (COLOMBIANO, 2016)

- Depósitos de coluvión (Qc): Cantos de diferentes tamaños dentro de una matriz no consolidada de arenas y arcillas. (COLOMBIANO, 2016)

- Depósitos Aluviales (Qal): bloques redondeados y subredondeados, especialmente de areniscas de cuarzo en una matriz no consolidada de arenas y arcillas. (COLOMBIANO, 2016)

- **Cenozoico**

- Lodolitas de Fusagasugá: Lodolitas y limolitas grises, rojizas y blancas, intercaladas con arenas líticas en capas gruesas. (COLOMBIANO, 2016)

- Estas se localizan en la cuenca del río Sumapaz, representado por rocas sedimentarias correspondientes a las Lodolitas de Fusagasugá. (COLOMBIANO, 2016)

- **Mesozoico**

- Grupo Guadalupe (Ksg): Arenas finas a muy finas de cuarzo en capas delgadas delgadas a muy gruesas. (COLOMBIANO, 2016)

- Formación Guaduas (KPgg): Arenas, Arcillolitas y limolitas intercaladas con con capas de carbón. (COLOMBIANO, 2016)

- Formación Seca (KPGs): Arcillolitas rojizas abigarradas con niveles de de arena. (COLOMBIANO, 2016)

6.2 TECTÓNICA

En esta zona de la región andina colombiana, cuenta con unos rasgos estructurales conformados por la interacción entre las placas Nazca, Caribe y Suramericana, lo cual conforma una formación tectónica compleja, con formaciones de pliegues y fracturas, además cuenta con procesos metamórficos y volcánicos con un margen continental activo.

Esta zona de estudio está ubicada dentro de un sector tectónico de gran complejidad, debido a la presencia de sinclinales asimétricos amplios y extensos, en contraste con anticlinales pequeños apretados. Estos pliegues se encuentran limitados por fallas inversas direccionadas en sentido Noroeste-Sureste.

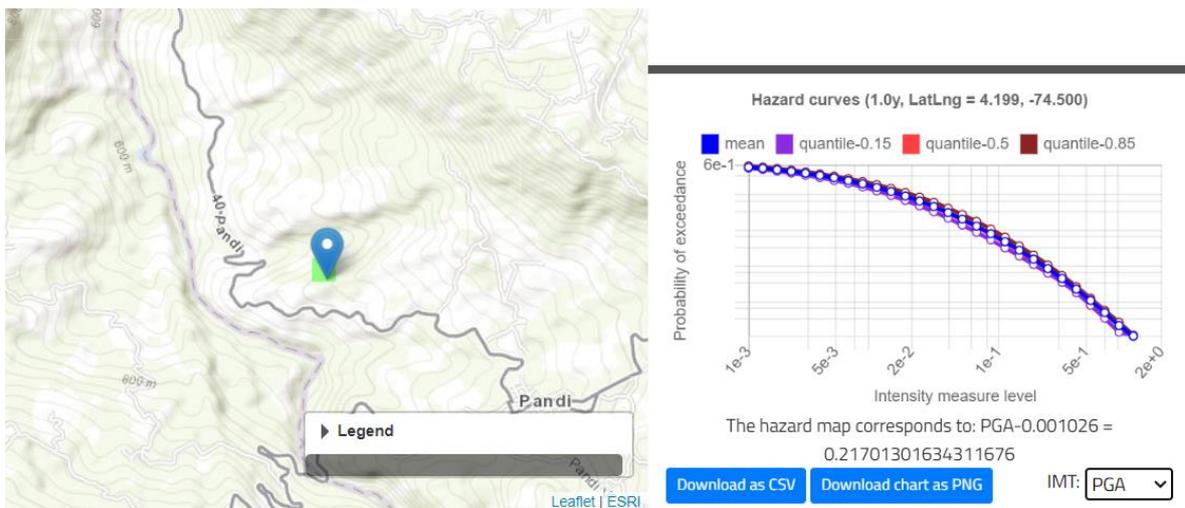


Ilustración 7. Resultado de amenaza en roca extraída de la plancha 246 Fusagasugá.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (Geoportal 2012).

Este corredor vial se encuentra en el bloque central, dentro de la Falla de Tasajeras y el sistema de fallas de Quinini; Esta la conforman rocas del Neógeno y Cretácico superior, las cuales conforman dos amplios pliegues sinclinales, separados por pequeños anticlinales apretados que están afectadas por fallas inversas con planos inclinados hacia el oriente.

Con base del portal de Geoportal, tenemos la tabla de aceleración de PGA vs Tr.



Tr (años)	PGA
31	0,036
225	0,111
475	0,158
975	0,22
2475	0,32

Tabla 3. Tabla de PGA vs Tr. Fuente: propia.

Tomamos el PGA de 0,22 a un tiempo de 975 años.

En base a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, tenemos un PGA de 0.25.

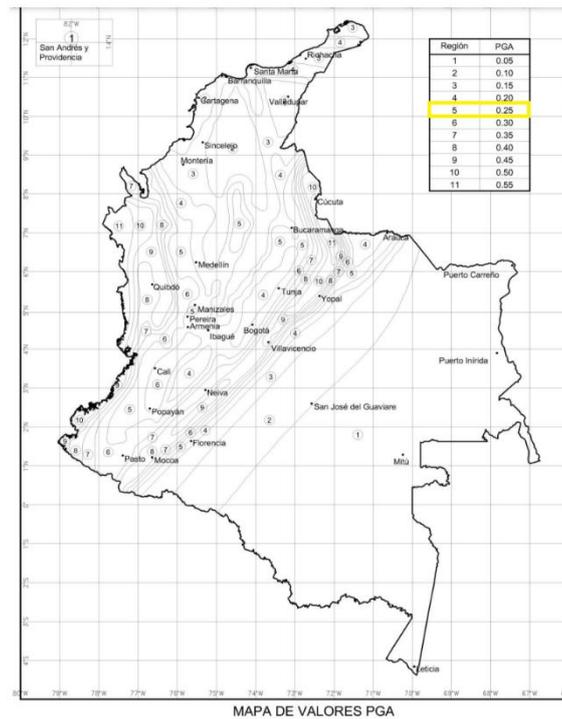


Figura 3.10.2.1-1 — Aceleración Pico Horizontal del Terreno (PGA) con 7% de probabilidad de excedencia en 75 años (aproximadamente 1000 años de periodo promedio de retorno) expresada en la aceleración de la gravedad (g).



Ilustración 1. Aceleración Pico Horizontal del terreno (PGA). Fuente: CCP-14

Sección 3. (Invias, 2015)

Según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, tenemos un perfil de suelo Tipo B.

Tabla 3.10.3.1-1 — Definición de los Tipos de Perfil de Suelo

Tipo de Perfil de Suelo	Características del perfil
A	Roca competente con velocidad medida de onda de cortante, $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s.
B	Perfil de roca de rigidez media con \bar{v}_s en el intervalo $1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s.
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda con velocidad medida de onda de cortante, \bar{v}_s en el intervalo $760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s, o perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $\bar{N} > 50$ golpes/pie, o $\bar{s}_u > 100$ kPa ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$).
D	Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante \bar{v}_s en el intervalo $360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s, o perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: \bar{N} en el intervalo $50 \text{ golpes/pie} > \bar{N} \geq 15$ golpes/pie, o \bar{s}_u en el intervalo $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50$ kPa ($\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$).
E	Perfil de suelo con velocidad medida de onda de cortante, $\bar{v}_s < 180$ m/s, o

Ilustración 8. Perfil de suelo. Fuente: CCP-14 Sección 3. (Invias, 2015)

Ya con el PGA y el perfil de suelo, se procede a definir el factor de sitio (Fpga). Según la siguiente tabla:



Tabla 3.10.3.2-1 — Valores del factor de Sitio, F_{pga} , en el período de vibración cero del Espectro de Aceleraciones

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos <small>(véase la Nota 1)</small>				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Notas:

1. Se debe usar una interpolación lineal para valores intermedios de PGA
2. Para el perfil tipo F debe realizarse un estudio de sitio particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Ilustración 9. Factor de Sitio. Fuente: CCP-14 Sección 3. (Invias, 2015)

Tenemos un F_{pga} de 1.0.

A continuación se procede a calcular el coeficiente sísmico de aceleración horizontal (Kh_o). Mediante la fórmula.

$$Kh_o = F_{pga} * PGA = As$$

Como tenemos un suelo tipo B (roca dura o blanda), el Kh_o debe estar basado en 1,2 veces el coeficiente de aceleración pico del terreno, es decir:

$$Kh_o = 1.2(F_{pga} * PGA)$$

Tenemos:

$$Kh_o = 1.2(1 * 0.25)$$

$$Kh_o = 0.3$$

Dando como resultado un coeficiente de aceleración pico del terreno de 0.3.

6.3 SONDEOS GEOMECÁNICOS STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

Este Sondeo es conocido como ensayo de penetración estándar y es el más utilizado en el campo de la geotecnia, gracias a sus ventajas en facilidad de implementación, bajo costo y rapidez en resultados. Este sondeo es implementado para la recuperación de muestras alteradas del suelo; esta muestra se toma para determinar los tipos de suelos y determinar la estratigrafía, ya para cuando se encuentra en fase de laboratorio, estas muestras permiten identificar las propiedades del suelo, además de los índices de contenido de humedad, límite de consistencia, límite de plasticidad, límite de líquido, entre otros.

Este ensayo consiste en la implementación de un penetrómetro, el cual se introduce en el terreno a estudiar. Aquí mediante el número de golpes requeridos para hincar el instrumento, se tiene una idea de la resistencia del terreno.

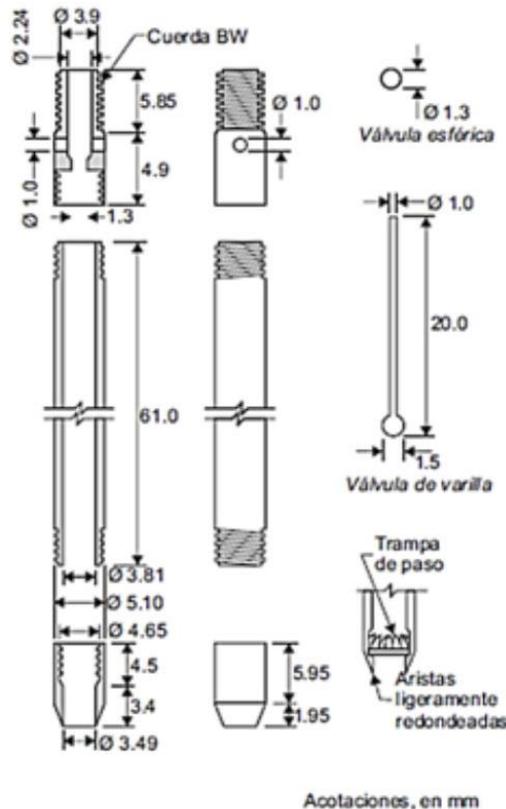


Ilustración 10. Penetrómetro para sondeo. Fuente: Sismica.

Este instrumento consta de un tubo en acero, donde en su extremo se encuentra una zapata afilada del mismo material, este tubo viene estratégicamente cortado longitudinalmente para que con esto sea más sencillo la recuperación de la muestra y su debida observación. Además de este instrumento, se requiere de otros más para la implementación o desarrollo de este ensayo. Estos son:

Columna de Barras (donde se acopla el penetrómetro, consta de una columna de barras de acero BW), Martinete Golpeador (este es el que se encarga de hincar el instrumento mediante un martinete de 63.5 kg con una caída de 76 cm) y el Malacate (es donde se enrolla un cable entre 0.75 a 1 pulgada de diámetro, además es donde se levanta el martinete para dejarlo caer libremente). (ingenieriaymas, 2016)



Ilustración 11. Ejemplo de Ensayo SPT. Fuente: ingenieriaymas.

El ensayo consta de hincar el penetrómetro a 60 centímetros de la muestra que se desea muestrear, este consta en tomar en cuenta la cantidad de golpes del martinete en pasar una distancia de 15 centímetros. Sin que pase de 50 golpes por avance. En este caso es donde se concluye el ensayo. (ingenieriaymas, 2016)

Para complementar los estudios realizados a este proyecto, se realiza una campaña de perforación, la cual consta de 1 sondeos en el tramo 10 de la vía, en su punto crítico 58, el cual es realizado para obtener la caracterización geotécnica del terreno, para con esto poder establecer la solución de refuerzo. (ingenieriaymas, 2016).

6.3.1 ENSAYOS DE LABORATORIO



Ilustración 12. Zona de sondeos. Fuente: GOOGLE EARTH.



6.3.1.1. REGISTRO DE SONDEO

Se realizan 1 sondeo. Este se realiza en las coordenadas 4°14'46,73" N y 74°31'56,84" W, hasta una profundidad de 6m, como lo muestran las siguientes imágenes.

DEPTH (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	PEN. DE BOLSILLO (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	▲ SPT N VALOR ▲	
								20	40
1	[Diagrama de perfil de suelo]	0.00m Deposito con matriz limoarenosa de color café.		SPT 1	44	20-29-38 (67)			
		0.45m Deposito con matriz arenosa de color café claro con clastos menores de 1".		SPT 2	60	43-50/R en 10 cm			
		0.70m Deposito con matriz limoarcillosa con bolos de arenisca.		PA 3	35 (0)				
2	[Diagrama de perfil de suelo]	1.70m Deposito con matriz limoarenosa de color habano con clastos menores de 1/2" de arenisca.		SPT 4	44	17-25-30 (55)			
		2.15m Deposito con matriz limoarenosa de color café habano con clastos menores de 1".		SPT 5	44	20-25-30 (55)			
3	[Diagrama de perfil de suelo]	2.60m Deposito con matriz limoarenosa de color café con bolos de arenisca.		SPT 6	38	21-28-33 (61)			
		3.05m Deposito con matriz limoarenosa de color café con clastos menores de 1/2" de arenisca.		SPT 7	38	15-23-28 (51)			
4	[Diagrama de perfil de suelo]	3.50m Deposito con matriz arcillosa de color café con clastos menores de 1/2" de arenisca.		SPT 8	40	20-23-30 (53)			
		3.95m Deposito con matriz arcillosa de color café de plasticidad media.		SPT 9	36	24-30-35 (65)			
5	[Diagrama de perfil de suelo]	4.40m Deposito con matriz limoarenosa, en partes arcillosa, de color café, con clastos menores de 1/2" de arenisca.		SPT 10	36	25-30-34/R en 15 cm			
		4.80m Deposito con matriz limoarenosa, en partes arcillosa, de color café, humedad baja.		SPT 11	36	30-43-47 (90)			
		5.25m Deposito con matriz arcillosa de color café con bolos de arenisca meteorizados, humedad media.		PA 12	69 (0)				
6	[Diagrama de perfil de suelo]	Fin de ENSAYO a 6.00m							

Ilustración 13. Sondeo punto crítico 58. Fuente: propia.



6.3.1.2. GRANULOMETRÍA

Granulometría de sondeo punto crítico 58, coordenadas

(4°14'46.73" N – 74°31'56,84" W).

PROFUNDIDAD (m)	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)
0,45	21,59	49,44	28,97
1,7	66,02	27,23	6,75
2,6	60,43	17,59	21,99
4,4	43,56	32,75	23,68

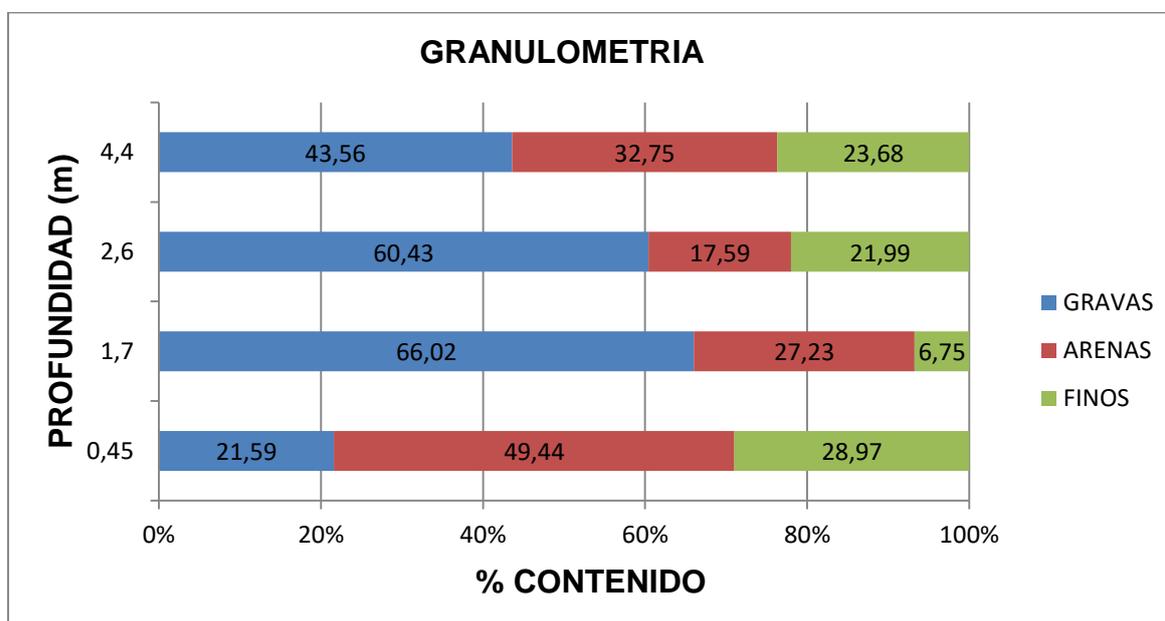


Tabla 4. Porcentaje de contenido. Fuente: propia.



6.3.1.3. LIMITES

Límites líquido, plástico e índice de plasticidad de sondeo punto crítico 58, coordenadas

(4°14'46.73" N – 74°31'56,84" W).

PROFUNDIDAD (m)	L.L.	L.P.	Wn
0,45	24,3	12,63	3,36
1,7	23,63	13,24	3,25
2,6	27	13,8	4,55
4,4	43,43	15,22	5,53

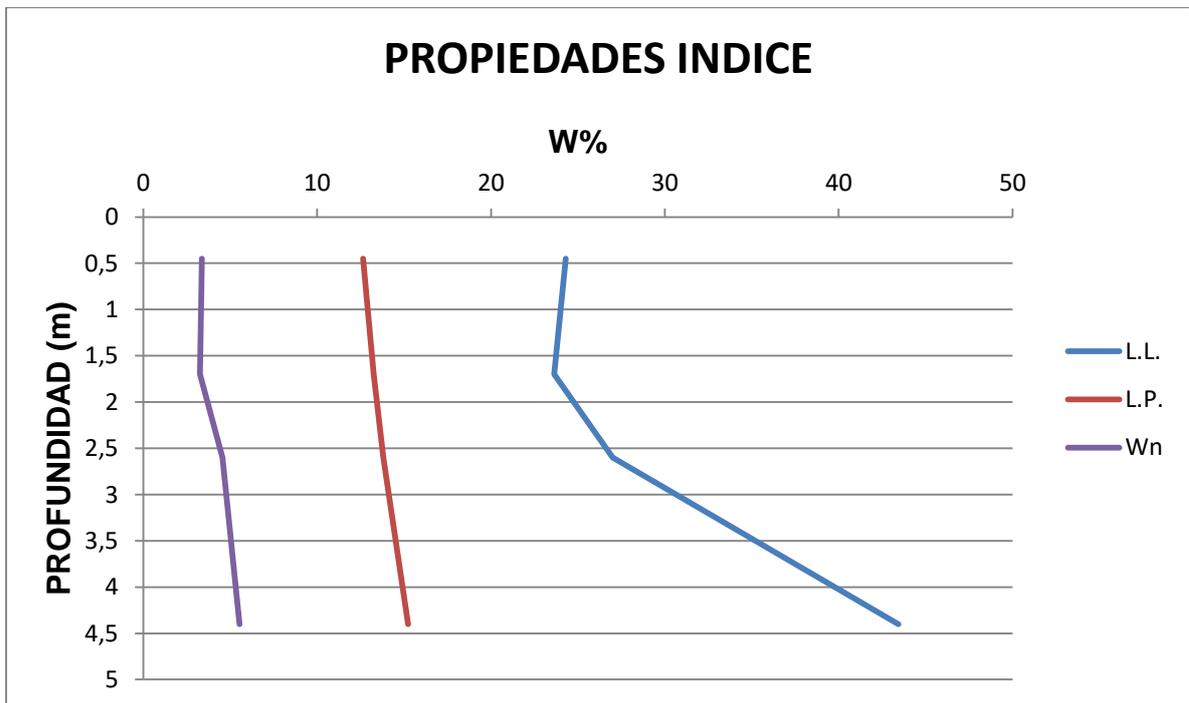


Tabla 5. Grafica de porcentaje de humedad. Fuente: propia.



Con base de estos resultados, procedemos a calcular el índice plástico.

$$I_p = L_L - L_P$$

PROFUNDIDAD (m)	L.L.	L.P.	I.P.
0,45	24,3	12,63	11,67
1,7	23,63	13,24	10,39
2,6	27	13,8	13,2
4,4	43,43	15,22	28,21

Tabla 6. Tabla índice plástico. Fuente: propia.

6.3.1.4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Perfil estratigráfico de sondeo punto crítico 58, coordenadas (4°14'46.73" N – 74°31'56,84").

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		INDICE DE GRUPO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	LIMITES			Wh%	GRADACIÓN %		
	U.S.C.S	AASHTO			L.L.	L.P.	I.P.		GRAVAS	ARENAS	FINOS
0,45	SC	A-2-6	0	Arena arcillosa, mezcla arena-arcilla	24,3	12,63	11,67	3,36	21,59	49,44	28,97
1,7	GW-GC	A-2-4	0	Grava arcillosa bien grabada	23,63	13,24	10,39	3,25	66,02	27,23	6,75
2,6	GC	A-2-6	0	Grava arcillosa, mezcla grava-areno-arcillosa	27	13,8	13,19	4,55	60,43	17,59	21,99
4,4	GC	A-2-7	2	Grava arcillosa, mezcla grava-areno-arcillosa	43,43	15,22	28,2	5,53	43,56	32,75	23,68

Tabla 7. Perfil estratigráfico. Fuente propia.



6.3.1.5. RESULTADOS ENSAYO SPT

PROFUNDIDAD (m)	N 0-15	N 15-30	N 30-45	NSPT
0,45	15	25	35	60
1,7	15	24	35	59
2,6	15	23	34	57
4,4	15	26	34	60
4,85				

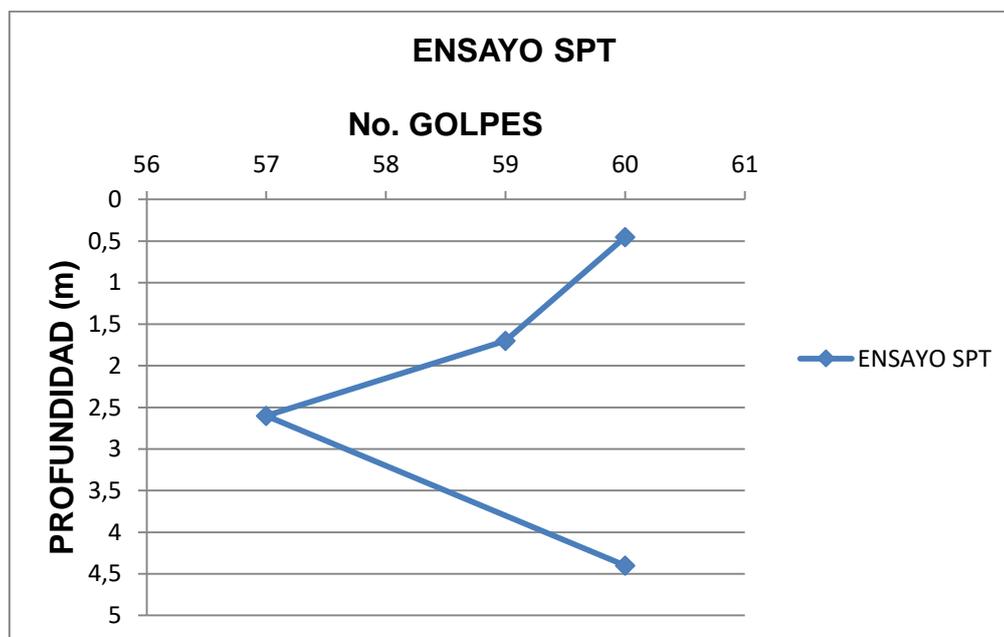


Tabla 8. Resultado ensayo SPT. Fuente: propia.



6.3.1.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base de los laboratorios realizados previamente, se concluye que:

Según los laboratorios de límites e índice de plasticidad, se puede deducir que:

En cuanto al índice de plasticidad se puede concluir que:

Tabla 9		
<i>Niveles de plasticidad</i>		
Plasticidad	Descripción del suelo	Rango IP
Nula	Limusina	0 – 3
Baja	Limo con trazas de arcilla	4 – 15
Media	Limo arcilloso Arcilla limosa Arcilla y limos orgánicos	16 – 30
Alta	Arcilla limosa Arcilla	> 31

Tabla 9. Niveles de plasticidad. Fuente: CCP-14. (Invias, 2015).

En Base a la tabla se evidencia que se cuenta con un índice de plasticidad de nivel media, con un rango que está dentro de 20.5%.

En base a los resultados del ensayo SPT, se puede concluir que la cantidad de golpes son.

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T.)	Resistencia a La Penetración Estática	ϕ
Muy suelta	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Compacta	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
Densa	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Muy Densa	> 0.8	> 50	> 200	> 45



CONSISTENCIA (Suelos Cohesivos)	N (S.P.T.)	q_{tt} (kg/cm ²) Resistencia a la Compresión Simple
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2 - 4	0.25 – 0.50
Mediana	4 - 8	0.5 – 1
Compacta	8 - 15	1 – 2
Muy compacta	15 - 30	2 – 4
Dura	> 30	> 4

Ilustración 14. Tabla de número de golpes (N). Fuente: CCP-14. (Invias, 2015)

Se concluye que se cuenta con una consistencia del suelo dura con una resistencia a la compresión mayor a 4.

En cuanto a la clasificación de suelos, estos resultados podemos clasificarlos según SUCS:

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
GRAVA	G	BIEN GRADUADO	W
ARENA	S	POBREMENTE GRADUADO	P
LIMO	M	LIMOSO	M
ARCILLA	C	ARCILLOSO	C
ORGANICO	O	BAJA PLASTICIDAD	L
		ALTA PLASTICIDAD	H

Tabla 10. Tabla de clasificación de suelos SUCS. Fuente: propia.



Con base a estos resultados podemos clasificar los suelos según SUCS

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,45	SC	Arena arcillosa
1,7	GW-GC	Grava arcillosa bien gradada
2,6	GC	Grava arcillosa
4,4	GC	Grava arcillosa

Tabla 11. Clasificación de suelos. Fuente propia.

Se puede evidenciar suelos coluviales dentro de la totalidad de la investigación. Principalmente constituidas por gravas y bolos de arenisca con matriz limoarenosa muy densa.

6.3.1.7. CORRECCIÓN SPT

PROFUNDIDAD (m)	GOLPES SPT			NSPT	GWT (m)	PESO UNITARIO (KN/M3)	ESFUERZO TOTAL σ_v	ESFUERZO EFECTIVO σ'_v
	N1	N2	N3					
0,45	20	29	38	67	10	18	4,1	4,1
1,7	17	25	30	55	10	18	34,7	34,7
2,6	21	28	33	61	10	18	50,9	50,9
4,4	24	30	35	65	10	18	75,2	75,2

n1	n2	n3	n4	Rs	K	Cn - SEED/IDRISS	N60	ϕ'_{eq}	τ (KN/m2)	Cu kPa
								e		
0,75	0,75	1	1	0	1,4	2	75	45,7	4,1	402
0,75	0,75	1	1	0,4	1,4	1,64	51	40,2	29,2	330
0,75	0,75	1	1	0,5	1,4	1,4	48	39,5	42	366
0,75	0,85	1	1	0,8	1,4	1,16	48	39,5	62	390

Tabla 12. Corrección ensayo SPT final del tramo. Fuente: propia.

7. SECCIÓN TRANSVERSAL

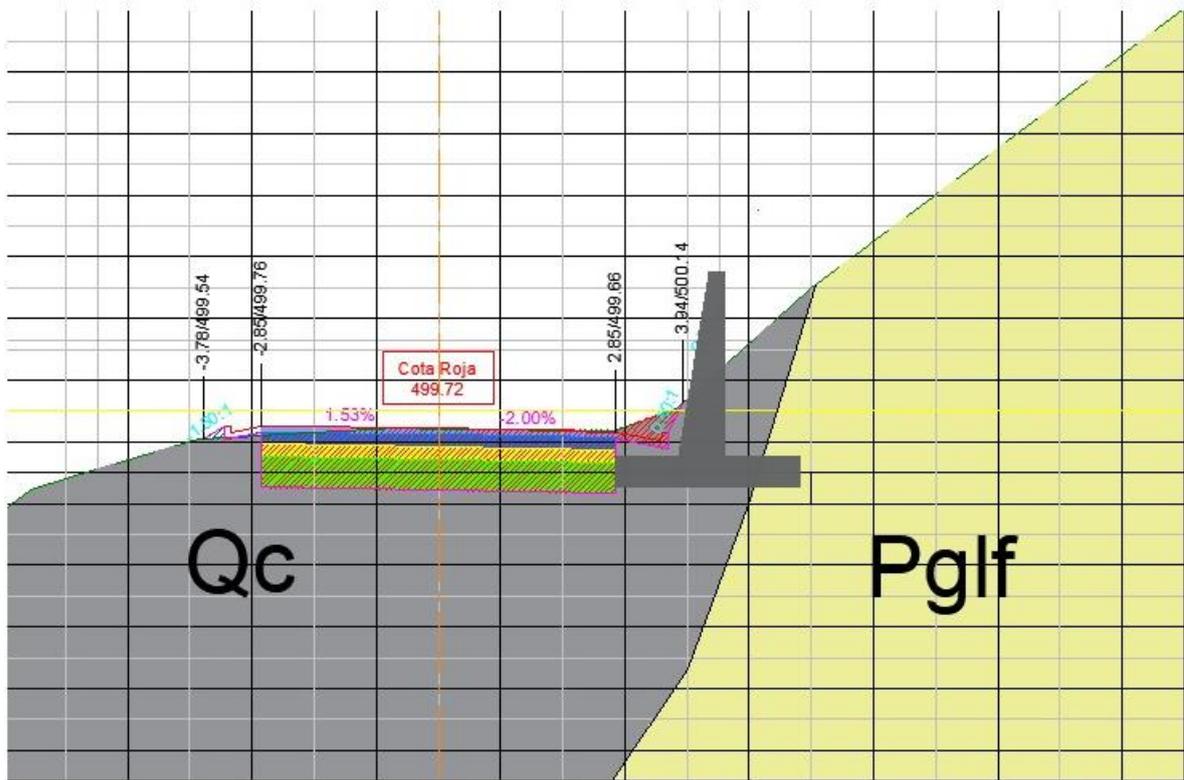


Ilustración 15. Sección transversal de la vía con muro propuesto. Fuente: propia.

Se evidencia una inestabilidad, con una ruptura de tipo rotacional, la cual ve afectado el talud del lado derecho de la vía, comprendidas entre las abscisas K47+900 y K48+000. Debido a esta falla, la vía ha pasado por un deterioro de nivel alto de los suelos, los cuales han sufrido un proceso de alteración por meteorización.

8. DISEÑO GEOTÉCNICO

En base de los anteriores resultados procedemos al diseño del muro Cantiléver. Tomando los parámetros de diseño.

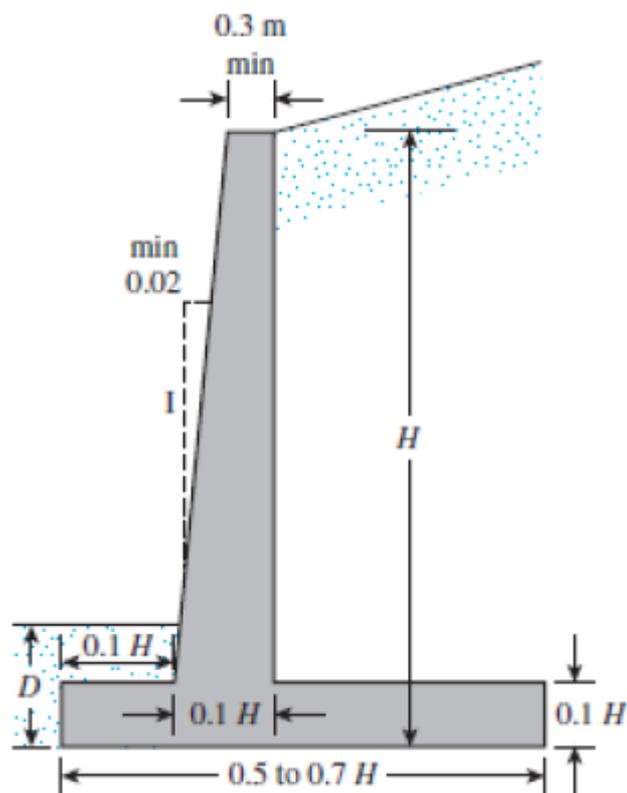


Ilustración 16. Dimensiones muro cantiléver. Fuente: Braja M. Das. (Berrios, 2013)

En base a estos parámetros se propone un muro de 3 metros de altura con las siguientes dimensiones:

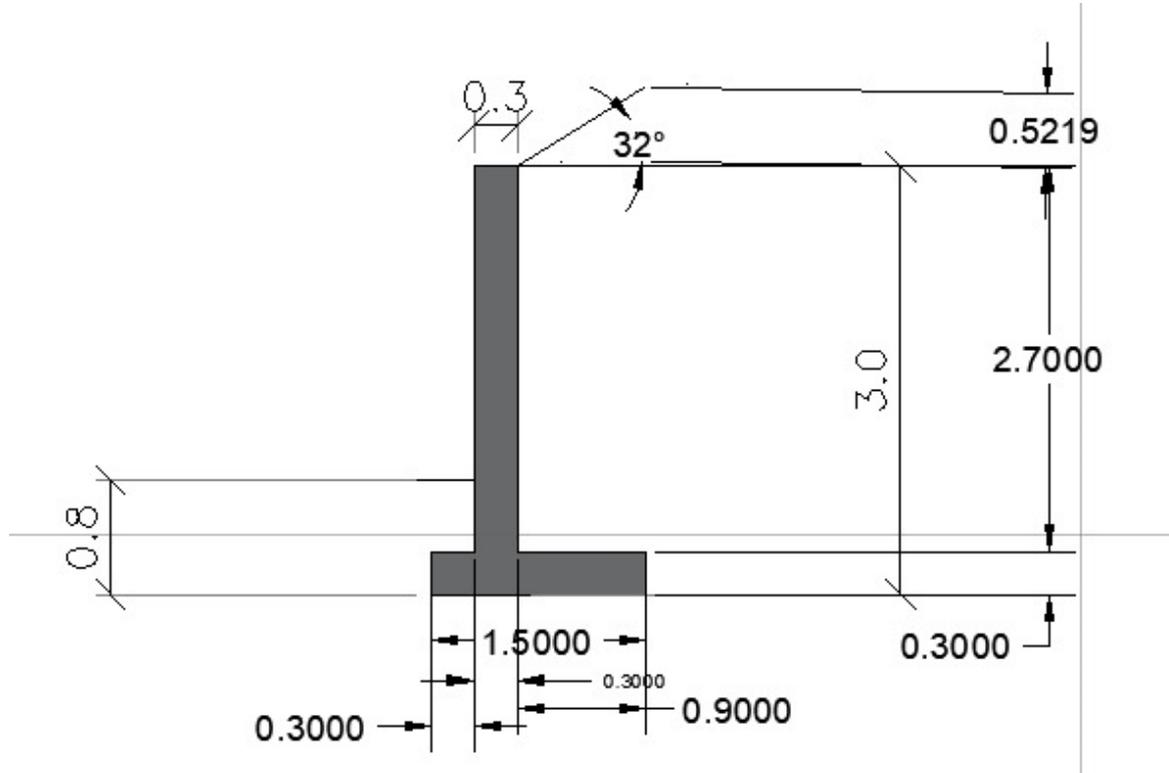


Ilustración 17. Dimensiones del muro propuesto. Fuente: propia.

Para ver si este muro cumple con los requisitos mínimos de factor de seguridad, se realizan los cálculos de factor de seguridad de: Volcamiento, deslizamiento, capacidad portante y estabilidad global.

Con base a los siguientes datos se empieza a realizar los cálculos de factor de seguridad:

Para el relleno tomaremos estos datos:



Tabla 13		
<i>Datos del relleno</i>		
Datos	Valor	Unidad
Angulo de fricción	35	°
Cohesión de suelo	0	kPa
Suelo	Granular	-
Peso unitario	18	kN/m ³

Tabla 23. Datos del relleno. Fuente: Propia.

Para el suelo o terreno natural:

Tabla 14		
<i>Datos del terreno natural</i>		
Datos	Valor	Unidad
Angulo de fricción	32	°
Cohesión de suelo	10	kPa
Suelo	Granular	-
Peso unitario	21	kN/m ³

Tabla 14. Datos del terreno natural. Fuente: Propia.

Con base a estos datos, procedemos a realizar los cálculos.



Tabla 15			
<i>Datos iniciales del muro de contención</i>			
Datos	Valores	Datos	Valores
h	2,2	H	3
D	0,8	B	1,5
Ys	18	B1	0,3
Ys	29,2	B2	0,3
Angulo de fricción	32	B3	0,9
b	0,3	Ea	24,89
H1	0,3	Eah	24,89
H2	2,7	Eav	0
H3	0,52	Eph	18,75
H (prima)	3	$\text{Pi} \cdot \tan(\text{ang fri})$	1,963
Ka	0,554	$e^{(\text{pi} \cdot \tan(\text{ang fri}))}$	7,121
Ka (final)	0,307	$\tan(\text{ang fri})$	0,625
Kp	1,804	$\text{Cotangente}(\text{ang fri})$	1,60
Kp (Final)	3,254	Df/B	0,533
Sen(ang fri)	0,530		

Tabla 15. Datos iniciales de muro de contención. Fuente: Propia.



Tabla 16					
<i>Datos de Fuerza, Momento y Área</i>					
Fuerza		Momento		Área	
Datos	Valor	Datos	Valor	Datos	Valor
P1	43,74	M1	45,927	A1	2,43
P2	4,212	M2	5,054	A2	0,234
P3	23,652	M3	10,634	A3	0,81
P4	2,044	M4	0,613	A4	0,07
P5	13,14	M5	9,855	A5	0,45
		Meav	0		
		Meah	24,887		
		Meph	4,99		

Tabla 16. Datos de Fuerza, Momento y Área. Fuente: Propia.



Tabla 17			
<i>Datos de factores</i>			
Datos	Valor	Datos	Valor
q	23,176	Fcd	2,630
Nc	35,488	Fyd	1
Nv	30,213	Beta(rad)	0,236
B(prima)	0,997	Beta(gra)	13,522
Fqd	2,560	Fci	0,849
Fci(final)	0,722	F resistente	76,479
Fqi(final)	0,722	M resistente	24,888
Fyi	0,577	M actuante	103,490
Fyi(final)	0,333		

Tabla 17. Datos de factores. Fuente: Propia.



Tabla 18	
<i>Datos del brazo del punto A al punto C</i>	
Datos	Valores
X1	1,05
X2	1,2
X3	0,45
X4	0,3
X5	0,75
Xeph	0,267
Xeah	1

Tabla 18. Datos factor de seguridad. Fuente: propia.



8.1. Factores de seguridad (VOLCAMIENTO, DESLIZAMIENTO Y CAPACIDAD PORTANTE)

Tabla 19	
<i>Factor de seguridad por volcamiento</i>	
Fs (Falla por volcamiento)	3,073
Fs mínimo requerido	3
CUMPLE	

Tabla 19. Factor de seguridad por volcamiento. Fuente: Propia.

Tabla 20	
<i>Factor de seguridad por deslizamiento</i>	
Fs (Falla por deslizamiento)	4,158
Fs Minimo requerido	1,6
CUMPLE	

Tabla 20. Factor de seguridad por deslizamiento. Fuente: Propia.

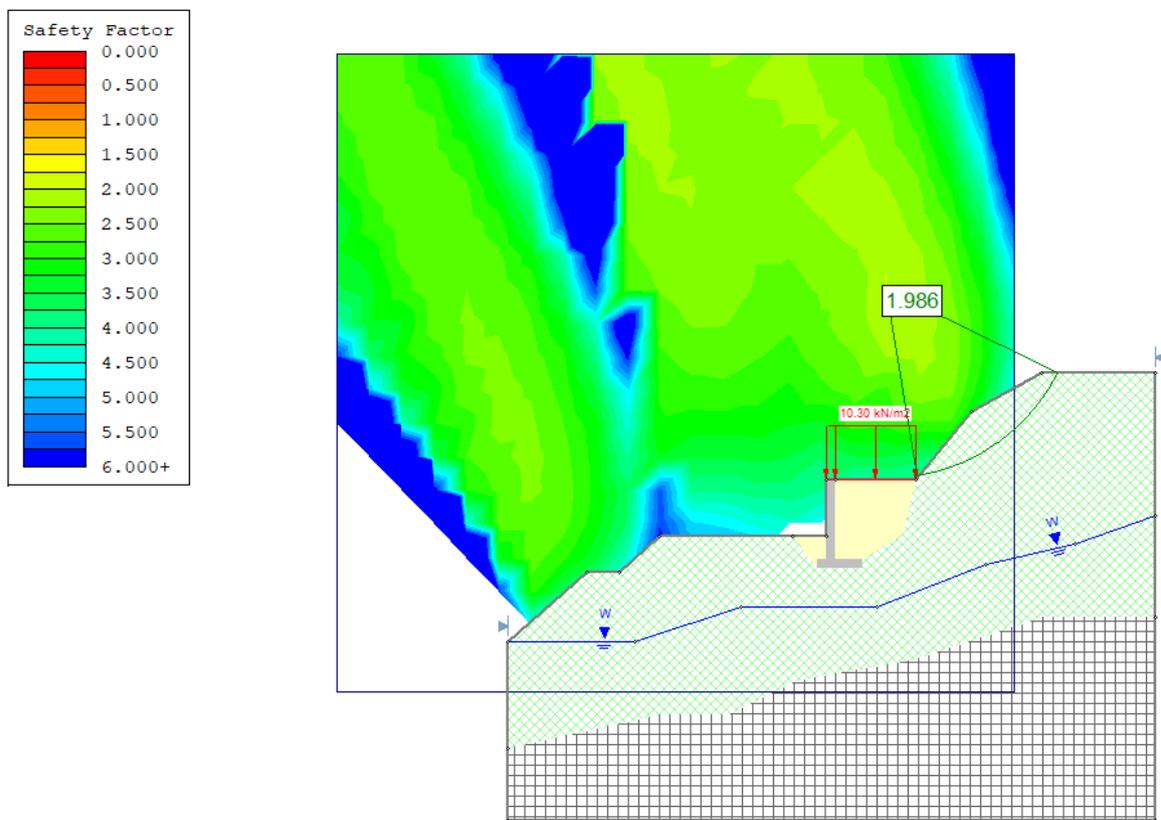


Tabla 21	
<i>Factor de seguridad por capacidad portante</i>	
q(ultimo)	707,329
Fs(por capacidad portante)	5,111
Fs minimo requerido	1,5
CUMPLE	

Tabla 21. Factor de seguridad por capacidad portante. Fuente: Propia.

8.2 Estabilidad Global

Por medio del uso del programa Slide 5.0, se procede a verificar las condiciones de la estabilidad global, según las Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru
relleno		18	Mohr-Coulomb	0	35	Water Surface	Constant	
Qc		21	Mohr-Coulomb	10	32	Water Surface	Constant	
concreto		24	Infinite strength			None		0
Pglf		40	Mohr-Coulomb	10	35	Water Surface	Constant	

Ilustración 18. Factor de seguridad estabilidad para condición estática. Fuente:

SLIDE 5.0

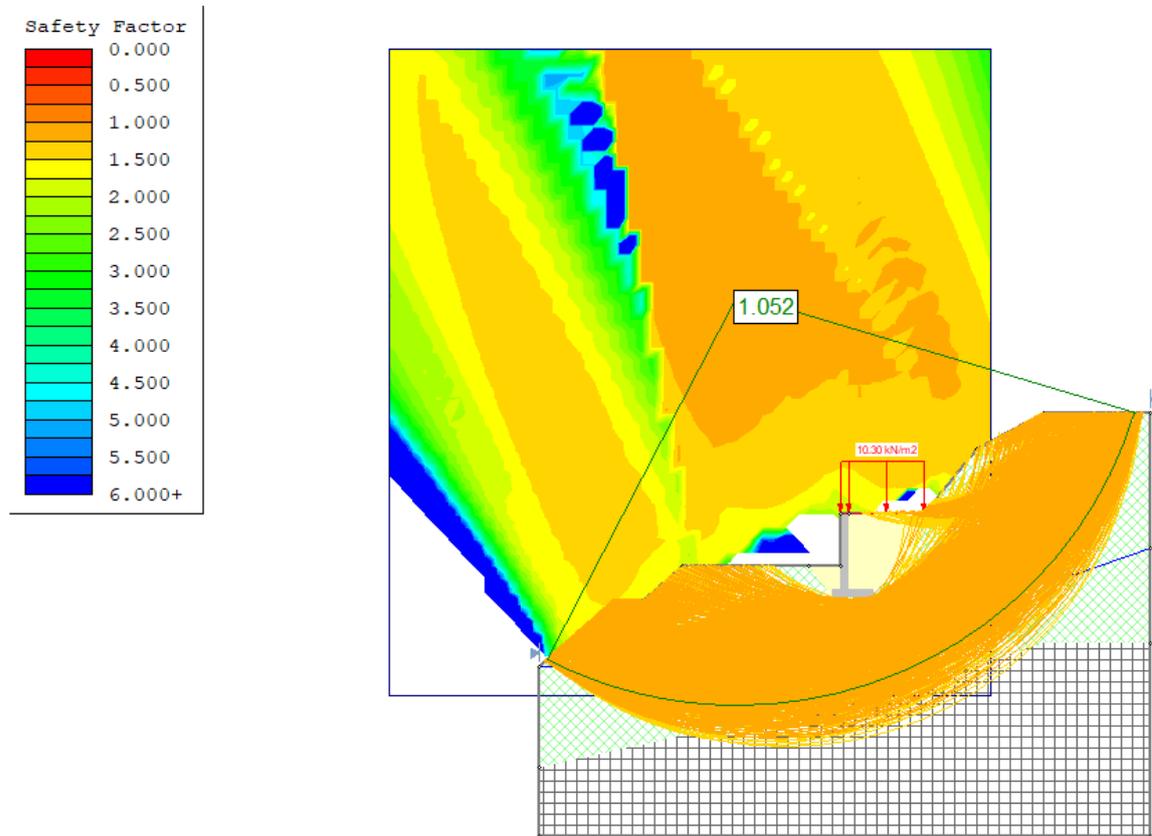


Ilustración 19. Factor de seguridad estabilidad para condición pseudo - estática.

Fuente: Slide 5.0.

El muro cumple.



9. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Tras el análisis se puede ver que la matriz cuenta con unos índices de plasticidad bajos, entre 10 y 28; además se concluye que gran parte del terreno está compuesto por grava.
- Se realizó una exploración geotécnica por medio del método SPT en las coordenadas $4^{\circ}14'46.73''$ N – $74^{\circ}31'56,84''$, arrojando unos resultados de cuatro estratos, cada uno de un espesor de: 0,45 m, 1,25 m, 0,9 m y 1,8 m respectivamente; mostrando que estos se componen de depósitos con matrices arcillosas, limoarcillosas y arcillosas de color café, con una consistencia de media a alta.
- De acuerdo al ensayo SPT realizado se puede evidenciar que se presenta un rechazo a un nivel de 6 metros.
- De acuerdo con los cálculos y resultados de capacidad portante, se concluye que el muro cumple con un valor de 5,1, el cual cumple según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, la cual sugiere un factor de seguridad mayor o igual a 1,5.
- Se ha podido diseñar y calcular la implementación de un muro Cantiléver de 3 metros de altura para darle solución a la problemática existente, evidenciando que éste cumple los parámetros de volcamiento, deslizamiento, capacidad portante y estabilidad global.
- Con la elaboración de este muro tipo Cantiléver, se logra un mejoramiento en la estabilidad del tramo, la optimización del drenaje lateral y la seguridad vial.
- Además de la construcción de un muro Cantiléver en esta zona, también se puede implementar otro tipo de muros, ya sea del tipo Gavión o el muro Entibado; pero, por estabilidad y mayor cumplimiento en el factor seguridad, se contempla el muro Cantiléver como la mejor opción.



- Mediante la implementación del programa Slide y bajo los métodos de Jambu y Bishop, se puede obtener con mayor precisión los factores de seguridad de estabilidad global, bajo los parámetros de la norma colombiana de diseño de puentes (ccp14), para la implementación de las condiciones estáticas y pseudo estáticas para éste tipo de obras. Arrojando un valor de 1,99 para la condición estática y 1,05 para pseudo estática.
- Gracias al curso del diplomado de estructuras de contención de la Universidad Militar Nueva Granada y las fuentes consultadas previamente mencionadas en la bibliografía, como las normativas y artículos científicos, se puede entender y darle una mejor solución al proyecto planteado.

10. BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

Berrios, J. F. (11 de 01 de 2013). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jorgeberrios7737/estructuras-de-contencion-a>

COLOMBIANO, S. G. (01 de 11 de 2016). *SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO*. Obtenido de https://amenazasismica.sgc.gov.co/map/co18_results_rock_grid/#12/4.2608/-74.5115

colombiano, S. g. (01 de 11 de 2021). *Servicio geológico colombiano* . Obtenido de http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

ingenieriaymas. (10 de 07 de 2016). *ingenieriaymas*. Obtenido de <http://ingenieriaymas.com/2016/07/ensayo-spt.html>



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

Invias. (13 de 06 de 2015). *Invias*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>

Plaza, C., Rodríguez Fuentes, L.(2013). Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*, 12(1), 15-18.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>

Prada, F., Ramos., Solaque, D., Caicedo, B.(2011). Confiabilidad aplicada al diseño geotécnico de un muro de contención. *Obras y Proyectos*, 9(1), 49-58.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132011000100006>

Lemus, L., Moraga, N., Moncada R.(2017). Influencia de los parámetros de resistencia al corte del suelo de relleno sobre la estabilidad de muros de contención. *Revista de la Construcción*, 16(2), 23-28. <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.16.2.175>