



ESTUDIO PATOLÓGICO DEL SITIO CRÍTICO LOCALIZADO EN EL PR 19+0600 DE LA CARRETERA NACIONAL PASTO – EL PEPINO, RUTA 10 CÓDIGO 1003

**Jairo Efraín Rúales Estrada
William Darío Valencia Tupaz**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2018**



ESTUDIO PATOLÓGICO DEL SITIO CRÍTICO LOCALIZADO EN EL PR 19+0600 DE LA CARRETERA NACIONAL PASTO – EL PEPINO, RUTA 10 CÓDIGO 1003

**Trabajo profesional integrado presentado para optar el Título de Especialistas en Patología
de la Construcción.**

**Jairo Efraín Rúales Estrada
William Darío Valencia Tupaz**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2018**



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS.....	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. ALCANCE Y DELIMITACIONES.....	14
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
5. METODOLOGÍA.....	17
6. HISTORIA CLÍNICA	18
6.1 LOCALIZACIÓN	18
6.2 DATOS METEOROLÓGICOS.....	21
6.3 GEOLOGÍA.	23
6.4 SISMICIDAD.....	29
6.5 ANTECEDENTES.....	31
6.6 RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN EN SITIO.....	32
6.6.1 Sintomatología.....	33
6.6.2 Actividades y posibles soluciones	44
6.7 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS.	44
6.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	44
6.9 SONDEOS, TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS IN SITU Y DE LABORATORIO..	46
6.9.1 Ensayos de laboratorio.....	48
6.10 CARACTERIZACIÓN DEL SUB- SUELO.	49
6.11 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPIADA.....	54
6.11.1 Geología.....	55
6.11.2 Sismicidad	57
6.11.3 Seguimiento con topografía al movimiento del talud.....	57
6.11.4 Efectos de la vegetación y cuerpos de agua	59
6.11.5 Intervención antrópica	59
6.11.5.1 Diseño, planificación y construcción.....	59
6.11.5.2 Uso del suelo.....	60



6.11.6 Nivel de aguas freáticas.....	60
6.11.7 Condiciones Geotécnicas.....	60
6.11.7.1 Determinación del peso unitario (γ).....	60
6.11.7.2 Corrección del n de campo (N_{cor}).....	61
6.11.7.3 Determinación de la resistencia última (q_u).	64
6.11.7.4 Obtención de los parámetros de resistencia al corte.	64
6.11.7.5 Coeficiente de presión lateral del suelo	66
6.11.7.6 Evaluación de las características especiales de los suelos	66
6.11.8 ESTABILIDAD GEOTÉCNICA	69
6.11.8.1 Factores de seguridad.....	70
6.11.8.2 Resultados del análisis de estabilidad	71
7. DIAGNÓSTICO.....	72
8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	76
8.1 MEDIDAS INMEDIATAS.....	76
8.2 MEDIDAS DE REHABILITACIÓN.....	76
8.2.1 Solución no definitiva para recuperación de la banca	76
8.2.1.1 Muro de contención en gaviones	76
8.2.2 Solución definitiva para estabilidad del talud.....	77
8.2.2.1 Muro en concreto armado con cimentación profunda	77
8.2.2.2 Manejo de aguas de escorrentía	78
8.2.2.3 Solución de mitigación para la erosión.....	80
8.2.2.4 Relleno para recuperación de la banca.....	81
8.2.2.5 Rehabilitación de pavimento.....	82
8.2.2.6 Solución lesiones puntuales en el pavimento.....	84
9. PRESUPUESTO ESTIMADO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS.....	85
10. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	88
WEBGRAFÍA	89



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista general PR19+0600	15
Fotografía 2. Estructura pavimento, sub-base, base y carpeta PR19+0600.....	15
Fotografía 3. Fisura longitudinal PR19+0590.	35
Fotografía 4. Evolución a Grieta longitudinal PR19+0600.	35
Fotografía 5. Colapso estructura de confinamiento y perdida de banca PR19+0590.....	36
Fotografía 6. Colapso estructura de confinamiento y perdida de banca PR19+0600.....	36
Fotografía 7. Deslizamiento, vista desde la pata del talud inferior PR19+0620.	37
Fotografía 8. Evolución de la lesión a Perdida de banca PR19+0600.....	37
Fotografía 9. Colapso estructura de confinamiento y carpeta asfáltica PR19+0600.....	38
Fotografía 10. Sección de la estructura de confinamiento PR19+0621.....	38
Fotografía 11. Ladera superior margen izquierda, se observa escarpes de antiguos movimientos y surcos por efectos de erosión hídrica PR19+0600.....	39
Fotografía 12. Ladera inferior margen derecha, se observa surcos por efectos de erosión hídrica PR19+0600.	39
Fotografía 13. Filtro tipo francés, bajo la cuneta margen derecha y bajo la estructura de confinamiento PR19+0617.	40
Fotografía 14. Fisura de media luna y parcheo PR19+0628.....	42
Fotografía 15. Grietas en estructura de confinamiento PR19+0621.....	42
Fotografía 16. Grietas en estructura de confinamiento PR19+0621.....	43
Fotografía 17. Equipo de perforación manual- Sondeo No1.	46
Fotografía 18. Ejecución del Sondeo No2.	47
Fotografía 19. Ejecución del Sondeo No3.	47
Fotografía 20. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta negra.	50
Fotografía 21. Muestra de suelo fino de color café rojizo.	50
Fotografía 22. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta gris	50
Fotografía 23. Muestra de suelo fino de color habano con veta gris.	50
Fotografía 24. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta negra.	51
Fotografía 25. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta gris.	51



Fotografía 26. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta rojiza.	51
Fotografía 27. Muestra de suelo fino de color negro-tipo orgánico.	51
Fotografía 28. Muestra de suelo fino de color negro tipo orgánico.....	52
Fotografía 29. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta rojiza	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la carretera - Mapa Red Vial Nacional	18
Figura 2. Localización de sitio critico en planta y en relieve	19
Figura 3. Localización y detalle del talud superior.....	20
Figura 4. Características Climatológicas de la ciudad de Pasto	22
Figura 5. Zona de amenaza sísmica del municipio de Pasto y localización del PR19+0600	30
Figura 6 Localización de lesiones en el sitio	34
Figura 7. Planta del lugar en estudio.....	45
Figura 8. Perfil del lugar en estudio.....	45
Figura 9. Ubicación de los sondeos realizados.	48
Figura 10. Geología de la Plancha 429 Pasto y Localización del PR 19+600 de la vía Pasto-Mocoa	56
Figura 11. Ubicación puntos de control con topografía.....	57
Figura 12. Correlación entre el ensayo de penetración estándar SPT y el ángulo de fricción interna (f).	65
Figura 13. Perfil, condiciones estáticas	71
Figura 14. Sección típica muro en gaviones.	77
Figura 15. Alternativa No. 2. Muro en Concreto Armado sobre Caissons.....	78
Figura 16. Zanja de coronación en bolsa-tierra	79
Figura 17. Disipador de energía en bolsa-tierra.....	80
Figura 18. Trinchos para mitigación de erosión	81
Figura 19. Detalle del relleno para recuperación de la banca	82
Figura 20. Detalle estructura de pavimento existente.....	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del paciente	20
Tabla 2. Parámetros climáticos promedio de Pasto	21
Tabla 3. Valores climáticos medios y totales año 2017	22
Tabla 4. Datos Meteorológicos tomados en campo	23
Tabla 5. Volúmenes de tráfico vehicular en forma de TPDs 2015	31
Tabla 6. Resumen de lesiones sitio critico 19+600.....	33
Tabla 7. Ensayos de laboratorio, Normatividad y equipos.	49
Tabla 8. Valores de N SPT para cada sondeo realizado.	53
Tabla 9. Parámetros de laboratorio obtenidos para cada sondeo.	54
Tabla 10. Seguimiento con topografía al movimiento del talud.	58
Tabla 11. Peso Unitario de los suelos encontrados.	61
Tabla 12. Resumen de relaciones de energía	62
Tabla 13. Factor de corrección (h ₂) de acuerdo a la longitud de la varilla.....	62
Tabla 14. Correlaciones para C _n	62
Tabla 15. Valores de N SPT corregidos para cada sondeo realizado.	63
Tabla 16. Relación entre el N (SPT) y el tipo de consistencia del suelo.	64
Tabla 17. Resultados de “qu” para cada tipo de suelo encontrado.	64
Tabla 18. Angulo de fricción interna del suelo para cada suelo encontrado	65
Tabla 19. Coeficientes de empuje del suelo.....	66
Tabla 20. Predicción de la expansividad a partir del límite liquido.....	66
Tabla 21. Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad	67
Tabla 22. Resumen de los valores de limite liquido e índice de plasticidad de los suelos encontrados.	67
Tabla 23. Valores de colapsabilidad para cada suelo encontrado	68



LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A:** Ensayos de campo y laboratorio.
- ANEXO B:** Memorias de cálculo y planos solución no definitiva (Muro en gaviones).
- ANEXO C:** Planos planta general y detalles de las obras que hacen parte de la solución definitiva para la estabilidad del talud.
- ANEXO D:** Memorias de cálculo y planos solución definitiva (Muro sobre caissons).
- ANEXO E:** Fichas técnicas de registro.
- ANEXO F:** Presupuesto estimado de las soluciones propuestas.
- ANEXO G:** Especificaciones técnicas de construcción.



INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el desarrollo del Trabajo Practico integrado para optar el título de “Especialistas en Patología de la Construcción”; la selección del paciente se motivó debido a nuestra experiencia profesional en el campo de las vías y la intención de enfocar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de los diferentes módulos de la especialización en esta área de desempeño de la ingeniería civil.

El paciente seleccionado se localiza en el PR 19+0600 sector El Encano (Nariño), hace parte de la carretera Pasto – Mocoa, la cual comunica a los departamentos de Nariño y Putumayo; de acuerdo a la categorización de la red vial nacional se identifica como la Ruta 10, tramo 1003.

La zona que hace parte del alcance de este estudio, presenta lesiones de tipo mecánicas, manifestadas inicialmente por la aparición de fisuras y grietas en la capa de rodadura y en una apreciación global de los sectores se evidencian lesiones en las laderas que conforman la vía, manifestándose en escarpes, grietas de tensión, deslizamientos y erosión; generadas principalmente por la falta de un buen manejo de las aguas de escorrentía, lo cual afectó las propiedades físico mecánicas del suelo.

El estudio está organizado en diez capítulos constituidos así: los capítulos primero a tercero contienen los objetivos propuestos, la justificación y los alcances con sus delimitaciones; en el capítulo contiene una breve descripción del paciente seleccionado. En el capítulo cuarto se describe la metodología utilizada para conocer la etiología de las lesiones identificadas en el paciente y proponer los posibles tratamientos o intervenciones para su rehabilitación y funcionamiento.

El desarrollo de la metodología propuesta se despliega en los capítulos siguientes, en el capítulo sexto se presenta la historia clínica, donde se realiza un análisis de toda la información tomada de las visitas de campo, del seguimiento del paciente, de la información de la zona, del resultado de ensayos y modelaciones; para posteriormente en el capítulo séptimo realizar el diagnóstico del paciente, donde se presenta las causas que originaron el proceso patológico.

En el capítulo octavo se realiza la propuesta de intervención, inicialmente se propone unas medidas inmediatas para que sean aplicadas con la finalidad de asegurar continuidad del flujo



vehicular, teniendo en cuenta que el paciente se localiza en el único corredor vial que comunica a los departamentos de Nariño y Putumayo. Se continúa proponiendo una intervención de rápida ejecución y bajo costo que permitirá el funcionamiento seguro por la vía y evitar que se presente una evolución rápida del proceso patológico, que podría dejar incomunicadas las poblaciones antes relacionadas; por último, se presenta una solución definitiva para la rehabilitación del paciente.

En el capítulo nueve, tomando como referencia los diseños elaborados para las propuestas de intervención, se realiza el presupuesto estimado para tener una perspectiva económica del costo de la rehabilitación.

Finalmente, en el capítulo decimo se presentan las conclusiones del trabajo profesional integrado (TPI)



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio patológico del sitio crítico localizado en el PR 19+0600 de la carretera nacional Pasto – El Pepino, ruta 10 código 1003.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar la historia clínica del paciente, partiendo de la identificación y seguimiento de las lesiones (sintomatología), recopilación de información general y específica, fase de campo, indicios sobre las posibles causas que originan las lesiones y realizar los ensayos de campo y de laboratorio.
- Analizar la información recopilada en la historia clínica
- Obtener el diagnóstico del paciente.
- Formular propuestas de intervención inmediatas, soluciones no definitivas y definitivas para la rehabilitación del sitio crítico en estudio.
- Proyectar el presupuesto estimado de las soluciones propuestas.



2. JUSTIFICACIÓN

La carretera Pasto – Mocoa comunica los departamentos de Putumayo y Nariño con una longitud de 142.7 km y hace parte de la transversal Tumaco – Leticia, por lo cual se categoriza de primer orden, y su alta importancia por el acceso a las capitales de los dos departamentos y la interconexión entre los municipios en su recorrido, entre los cuales se encuentran: Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco (Alto Putumayo), adicionalmente se considera como vía alternativa entre Pasto y Bogotá, ya que el tiempo de viaje se reduce aproximadamente en ocho horas.

El tramo vial 1003 correspondiente entre el sector La Piscicultura en el corregimiento del Encano – Nariño hasta el sector El Pepino en Mocoa – Putumayo, cumple la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo, por lo cual cuenta con alto tránsito vehicular principalmente de automóviles y camiones.

Esta carretera hace parte de la red vial nacional que conecta la región andina Nariñense y la región pie de monte andino - amazónico del Putumayo, favoreciendo el dinamismo del flujo de transporte de personas, bienes y mercancías, impactando el sector socioeconómico del suroccidente del país, caracterizado por su producción agrícola, piscicultura y ganadera, y entre sus recursos naturales se destacan el oro, las calizas y las especies maderables, y con un auge destacable del ecoturismo y etnoturismo, por sus numerosas comunidades indígenas, así como sus paisajes y reservas forestales, tal como, laguna de la cocha, el páramo del Fraile, paramo de bordoncillo, cerro de Patascoy y la cuenca alta del río Mocoa, considerados como Ecorregión estratégica para los dos departamentos enmarcados dentro de la política nacional para humedales interiores (Zona RAMSAR), por lo cual mantener el buen estado de esta vía se considera de alta prioridad para los dos departamentos

Por otra parte, actualmente se desarrolla el proyecto vial de la variante San Francisco – Mocoa con proyección al año 2026 con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad, ya que la carretera Pasto – Mocoa no cuenta con las especificaciones geométricas mínimas para la adecuada movilidad principalmente en el tramo San Francisco - El Pepino, esto conlleva a que el tramo 1003, sea la única vía que comunica directamente los dos departamentos, por lo cual es prioritario atender el sitio crítico localizado en el PR19+600 donde se presenta el riesgo de pérdida



total de la banca lo que generaría la incomunicación de las dos regiones, así como la no intervención oportuna ocasionaría alto riesgos de accidentabilidad.

Con base en lo anterior, el motivo del presente trabajo de aplicación es establecer las posibles alternativas de intervención partiendo de la identificación de las causas que generan la falla en el sitio crítico, así como las técnicas y especificaciones de ejecución de las alternativas que se consideren viables según los aspectos técnicos y financieros, para lo cual se presenta el presupuesto de estas.

La elaboración del presente trabajo profesional nos permite aplicar los conocimientos desarrollados en los módulos de la especialización, estableciendo una metodología para la realización de un estudio patológico, partiendo de la inspección del paciente, recopilación de información existente y la obtenida en campo, definir el equipo y recursos necesarios, historia clínica, diagnóstico y análisis, para establecer las alternativas de intervención.



3. ALCANCE Y DELIMITACIONES

Realizar el estudio patológico del sitio critico localizado en el PR 19+0600 de la carretera nacional Pasto – El Pepino, ruta 10 código 1003, en el cual se analiza la información recopilada, la información de los estudios de campo y ensayos realizados, obteniendo las bases para identificar las causas posibles que generan las lesiones identificadas, formular el diagnóstico del paciente y finalmente poder establecer alternativas de solución según criterios técnicos y financieros.

El estudio patológico se limita únicamente al área correspondiente al sitio critico en el PR 19+600 de la vía Pasto- El pepino.



4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El paciente seleccionado es un sector crítico de la carretera identificada como ruta 10 tramo 1003, y corresponde a un segmento vial construido en una sección en corte en ladera, con un ancho de banca de 8.70 m, una estructura de pavimento flexible constituida por una sub-base granular de espesor 0.35 m, base granular de espesor 0.20 m y una carpeta con mezcla asfáltica en caliente de espesor 0.10 m.



Fotografía 1. Vista general PR19+0600
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 2. Estructura pavimento, sub-base, base y carpeta PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



El sector se cataloga como sector crítico teniendo en cuenta que hace parte del único corredor vial que comunica a los departamentos de Nariño y Putumayo, lo que implica que la interrupción en este punto por la pérdida total de banca dejaría incomunicada a estas dos poblaciones.

Dentro de las lesiones a tratar la más importante es la sucedida en el mes de abril de 2017 un movimiento de remoción en masa causo el colapso de la banca en una longitud 35 metros inhabilitando el carril derecho de la carretera.



5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente estudio, se proyectaron III etapas de trabajo:

I. Historia clínica

- Recopilación de información concerniente a localización, identificación, datos meteorológicos, geología, sismicidad y antecedentes
- Visitas al sitio, identificando la sintomatología del paciente, las posibles causas que generaron el proceso patológico. En los recorridos se tendrá una visión en conjunto de la zona y las áreas aledañas, evaluando las condiciones meteorológicas a las cuales ha estado expuesto y de la influencia que el hombre ejerce en la actualidad o ha ejercido en el pasado, la afectación debida a presencia de vegetación, puntos de afluencia de agua o especial humedad.
- Determinar los estudios, como son topografía detallada, sondeos, toma de muestras, ensayos en sitio y de laboratorio.
- Determinar medidas para establecer un nivel de servicio aceptable; también proyectar las posibles soluciones inmediatas y definitivas para con ello determinar los sondeos y ensayos de campo necesarios para realizar un posterior diseño de las alternativas de intervención.
- Realizar un análisis de la información recopilada para la elaboración del diagnóstico.

II. Diagnostico

- Una vez realizado el análisis de la información recopilada, descartar y determinar las causas que ocasionaron las lesiones y el proceso patológico.

III. Propuesta de Intervención

- Planteamiento y diseño de las propuestas de intervención para rehabilitación del sitio critico en estudio.

Con el fin de llevar un resumen de la metodología empleada para el estudio patológico se elaboraron fichas técnicas de registro (Ver **Anexo E**).



6. HISTORIA CLÍNICA

6.1 LOCALIZACIÓN

El sitio crítico objeto del presente estudio se localiza en el PR 19+0600 Corregimiento de El Encano, Municipio de Pasto – Nariño; hace parte de la carretera Pasto – El Pepino (Mocoa), la cual comunica a los departamentos de Nariño y Putumayo, esta se encuentra ubicada en la región Andina, en el pie de monte Andino – Amazónico, en la zona suroccidente del país y de acuerdo a la categorización de la red vial nacional se identifica como en la ruta 10 tramo 1003.

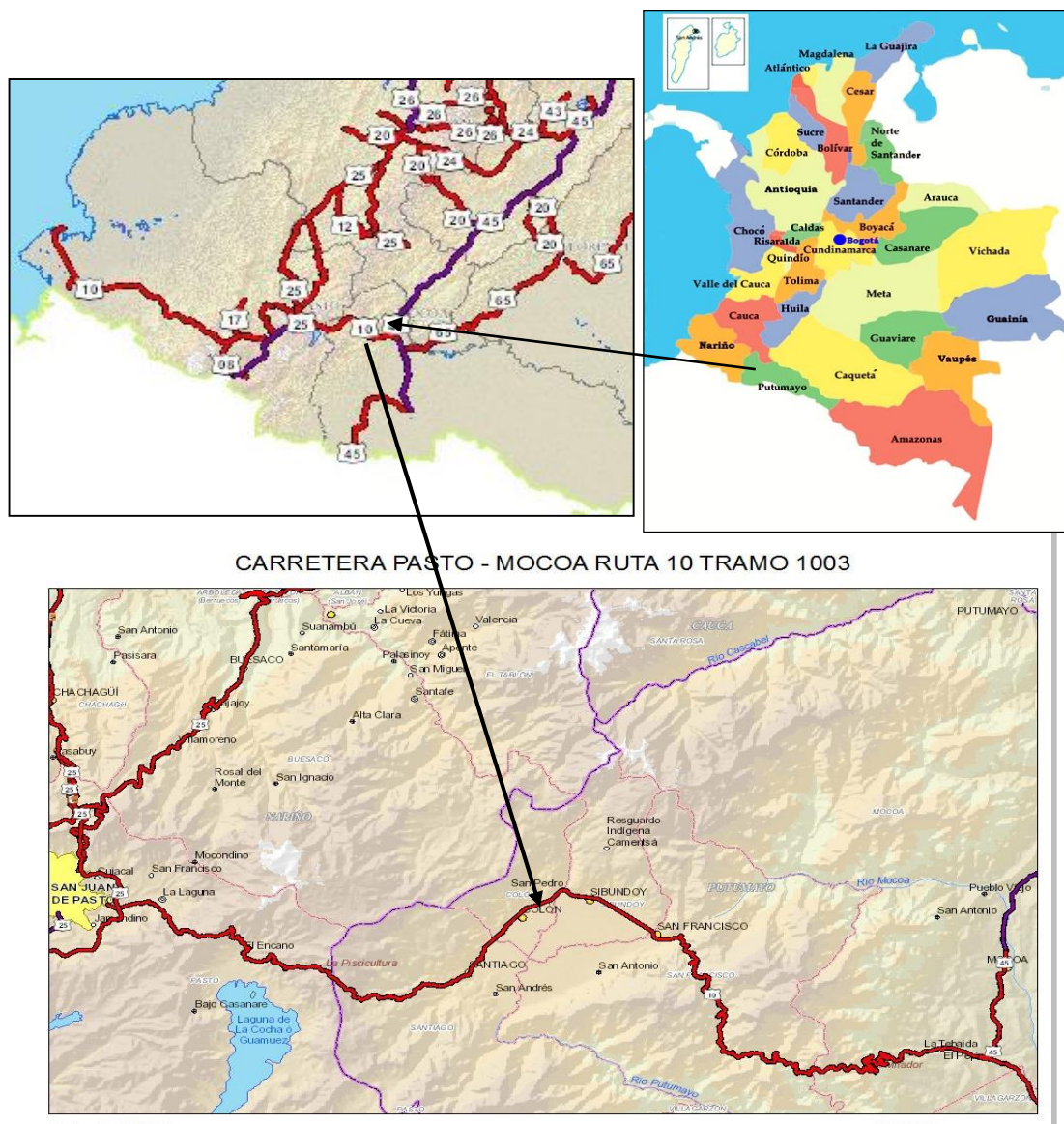


Figura 1. Localización de la carretera - Mapa Red Vial Nacional
Fuente: <http://hermes.invias.gov.co/carreteras/> - 2017

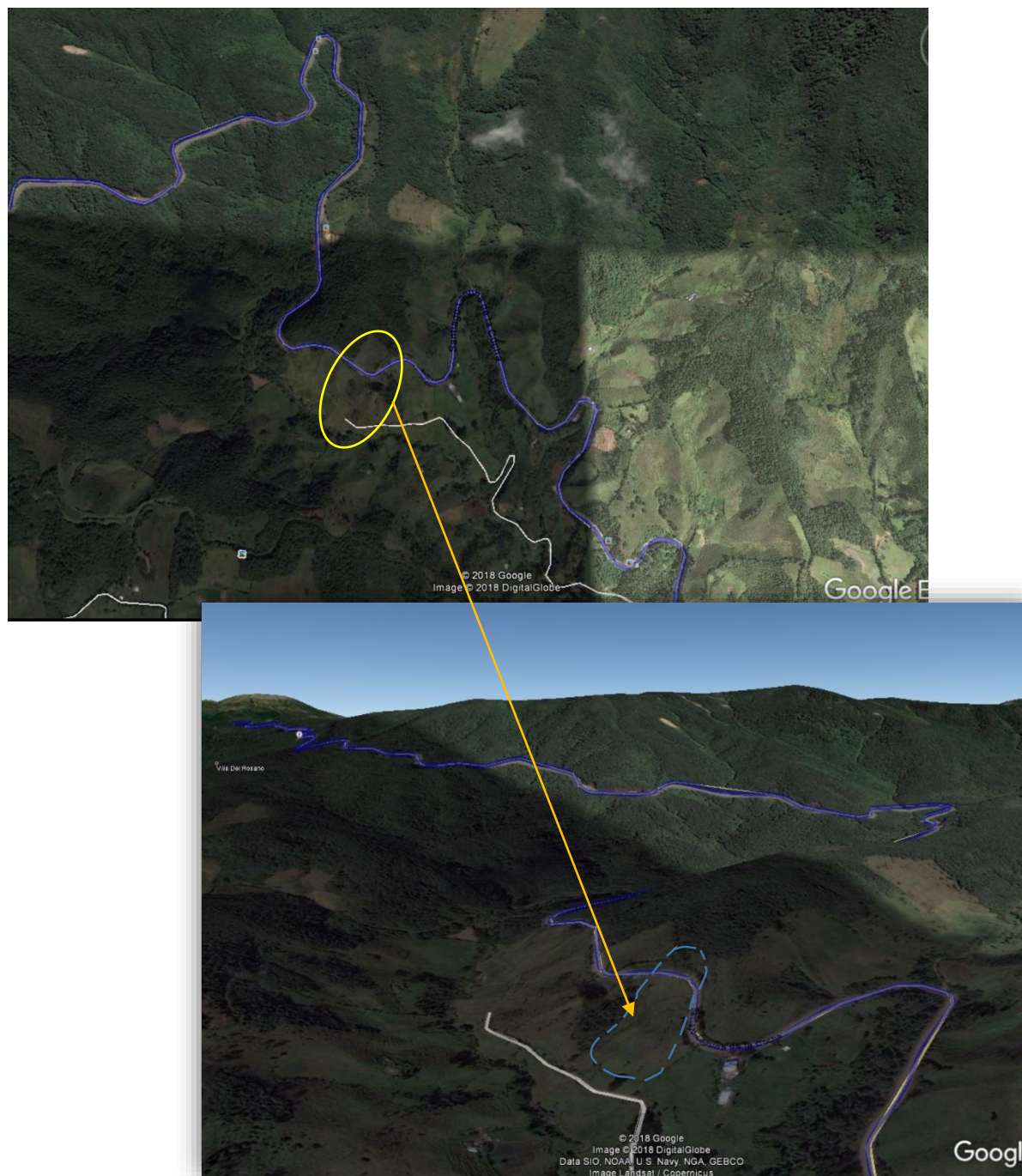


Figura 2. Localización de sitio crítico en planta y en relieve
Fuente: Google Earth / - 2018

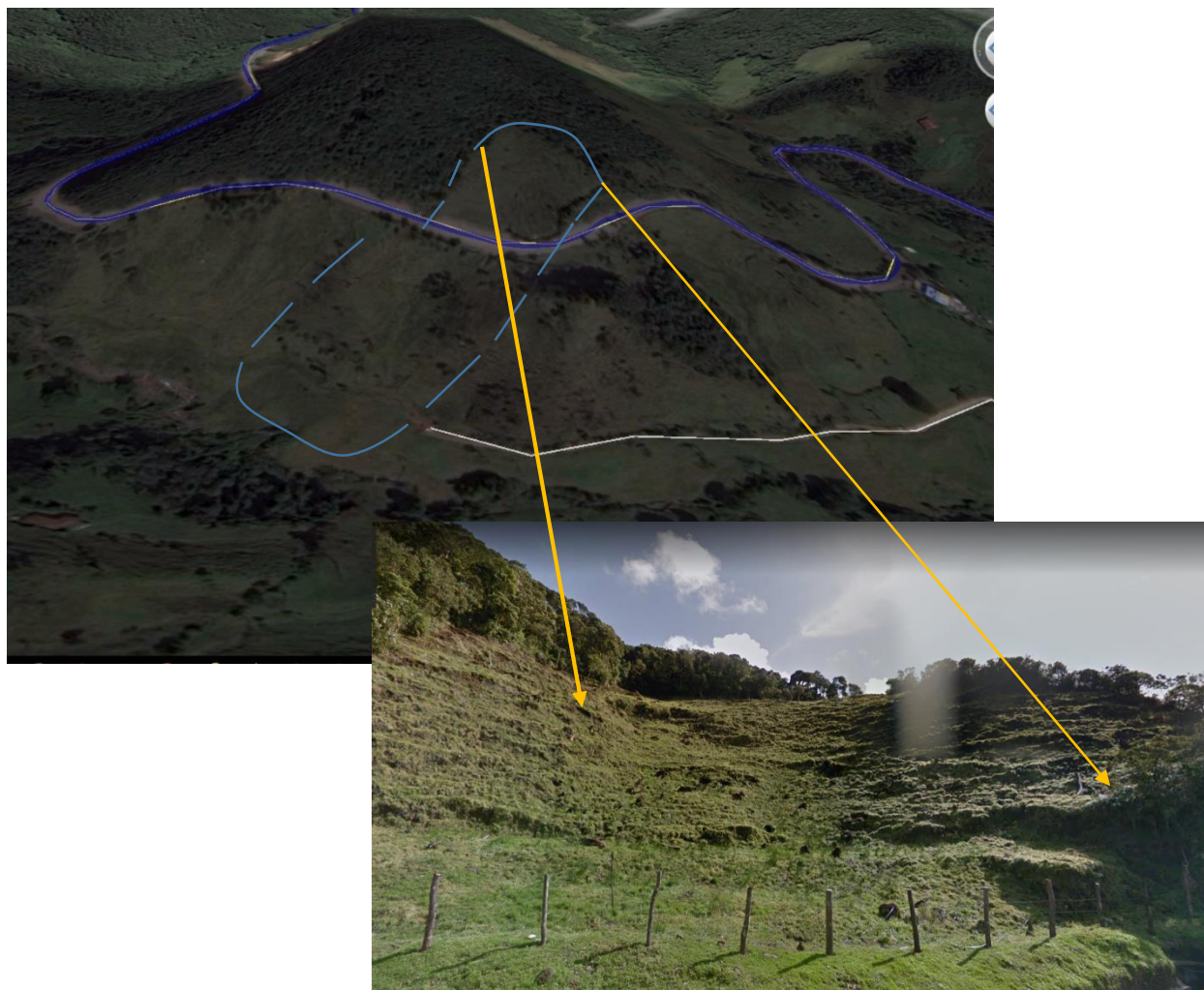


Figura 3. Localización y detalle del talud superior
Fuente: Google Earth / - 2018

Tabla 1. Coordenadas del paciente

COORDENADAS	PR 19+600
Latitud (Grad, min, seg)	1°10'24.72"N
Longitud (Grad, min, seg)	77°9'43.87"O
Altura (m.s.n.m)	2.660

Fuente: de este estudio – 2017



6.2 DATOS METEOROLÓGICOS

Debido a que la zona de estudio está en un valle interandino a una altitud de 2.527 msnm y se encuentra al pie del Volcán Galeras, la nubosidad es bastante alta. La precipitación varía en todo el municipio, siendo moderada (cercana a 800 mm) en la cabecera municipal, perteneciente a la Región Andina y media en el Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, conectada fuertemente con la Región Amazónica. La temperatura promedio anual es de 12,8 °C, la visibilidad es de 10 km y la humedad es de 74% a 88%.

Durante el año se presenta una temporada seca muy definida durante los meses de junio, julio y agosto y otra menos notoria en enero y febrero. La estación lluviosa principal se presenta en los meses de octubre, noviembre y diciembre. La segunda temporada lluviosa se presenta en los meses de marzo, abril y mayo. En los meses secos llueve alrededor de 14 días al mes. Durante el primer semestre llueve entre 15 y 19 días y en los meses más lluviosos, la frecuencia de días con lluvia es de 19 a 20 días.

Tabla 2. Parámetros climáticos promedio de Pasto

Promedio de lluvia total anual:	796mm
Temperatura promedio:	12.8°C
Humedad Relativa del aire anual:	74 -88%
Temperatura Máxima al medio día	16° - 17°
Temperatura mínima	9.5°C
Visibilidad:	10Km
Brillo solar meses lluviosos	2.5 – 3 horas/día
Insolación meses secos	3.5 horas/día

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Servicio de Información Meteorológica Mundial. Colombia, Información del tiempo para Pasto.

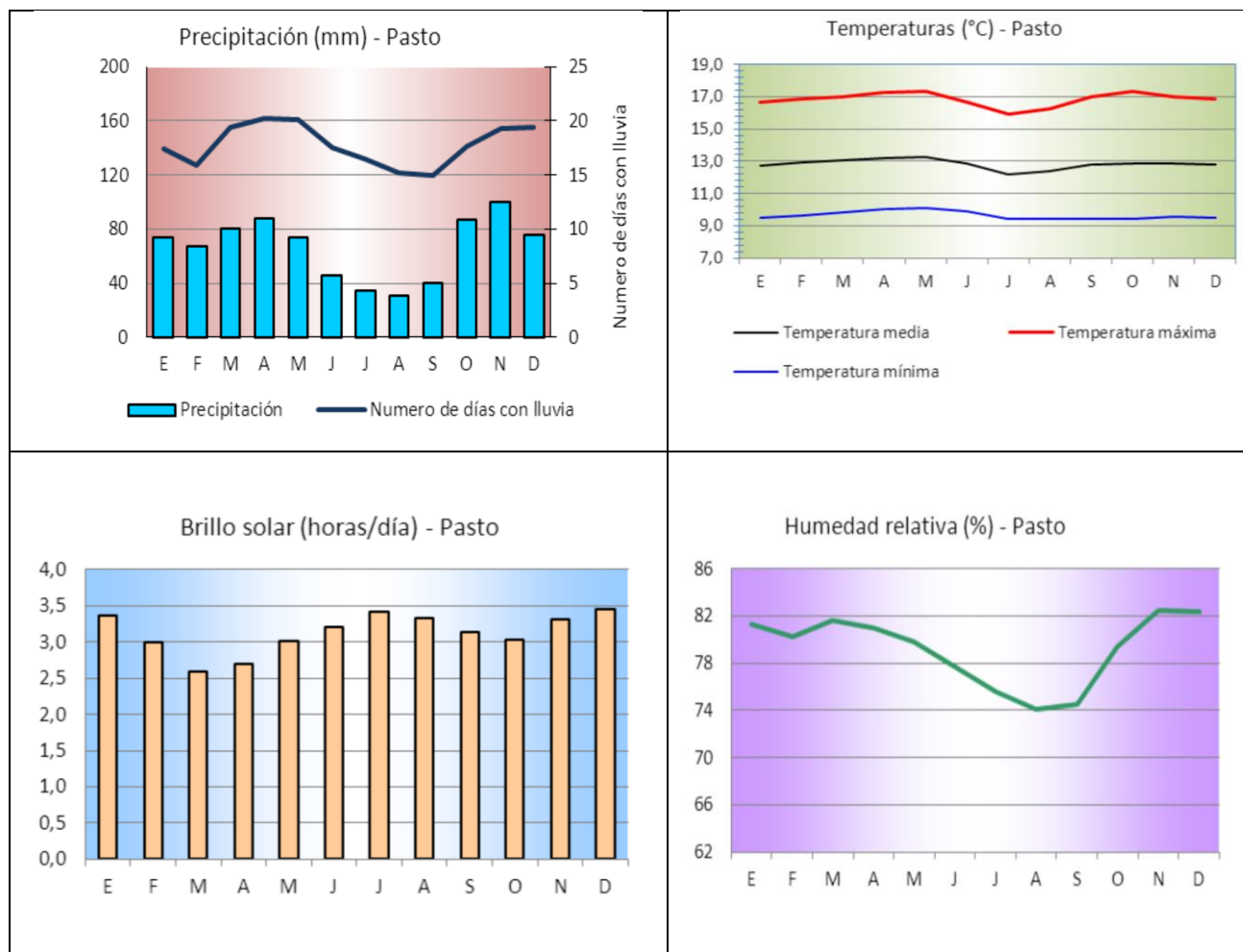


Figura 4. Características Climatológicas de la ciudad de Pasto

Fuente: Mapas climatológicos – ciudades principales y municipios turísticos IDEAM

Tabla 3. Valores climáticos medios y totales año 2017

AÑO	T	TM	Tm	V	RA	TS	FG
2017	19.9	23.1	14.5	9.1	98	9	147

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica 803420 (SKPS) Antonio Nariño

T, Temperatura media anual

TM, Temperatura máxima media anual

Tm, Temperatura mínima media anual

V, Velocidad media anual del viento (Km/h)

RA, Total días con lluvia durante el año

TS, Total días con tormenta durante el año

FG, Total días con niebla durante el año



Tabla 4. Datos Meteorológicos tomados en campo

DATOS/FECHA REGISTRO	AÑO 2017									INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
	MES ABRIL				MES MAYO					
	DÍAS				DÍAS					
	15	20	24	29	01	16	17	20	21	
Temperatura (°C)	7.5	6.3	10.2	8.4	12.1	12.8	16.3	18.2	17	Termo - Higrómetro Dth3007sd
Humedad Relativa (%)	96	95.5	95.7	95.2	94.3	94.5	93.8	93.4	93.2	Termo - Higrómetro Dth3007sd
Velocidad de Viento (Km/h)	8	8	8	9.5	10	13	14	10	8	Anemómetro digital Petcare

Fuente: de este estudio – 2017

6.3 GEOLOGÍA.

ERA PRECÁMBRICA

Complejo migmatítico de la Cocha- Río Téllez (pemct): La unidad es pobre de afloramiento de roca fresca. Son principalmente rocas ignaras de composición granodiorítica, afectadas por el fenómeno de blastesis, y metamórficas, principalmente ortoneisis, paraneisis, granulitas y anfibolitas, las principales características petrográficas de estas rocas son: presencia de biotita roja, de cuarzo en mosaicos y con extinción ondulatoria, de microclina poikilitica, de anfíbol hastingsitico, a veces pasando a biotita, de plagioclasa zonada, de allanita. Las rocas del Complejo Migmatico de La Cocha- Río Téllez tienen una composición mineralógica aproximadamente uniforme, a pesar de la variedad de estructuras y texturas. La asociación mineralógica, la presencia de granulitas, el carácter pertitico de los feldespatos y los fuertes colores de la biotita y de la hornblenda, favorecen un metamorfismo de las faices granulita.

ERA PALEOZOICA

Secuencia metamórfica de Buesaco (Pz?b): Pequeño afloramiento de rocas metamórficas, las cuales pertenecen a la denominada Secuencia Metamórfica de Buesaco. Se trata de intercalaciones de esquistos verdes y esquistos micáceos, atravesados por venas de cuarzo y calcita. Las rocas se alteran dando suelos arcillosos, amarillo- rojizo, y están cubiertas discordantemente por depósitos volcánicos cuaternarios. La composición mineralógica de las rocas metamórficas nos hace situar al metamorfismo dentro de las faices esquistos verde, posiblemente del tipo bàrico.



ERA MESOZOICA

La secuencia que se asignan a esta era están conformadas por rocas volcánicas y sedimentarias cretáceas (depositadas sobre una corteza oceánica antigua), con metamorfismo de bajo grado, las cuales, según sus rasgos estructurales, petrográficos y químicos, han permitido diferenciar varios bloques tectónicos, al parecer alóctonos. Rocas ultramáficas emplazadas tectónicamente se pueden observar en uno de estos bloques.

Grupo Dagua (Kmsv): Está compuesto por rocas metavolcánicas hacia la base, y metasedimentarias hacia el techo.

Los metabasaltos amigdalares y almohadillados, con metamorfismo cataclástico, se componen principalmente de plagioclasa, clinopiroxeno, ferroactinolita, epidota, mica blanca, vidrio, apatito, clorita, calcita, prehnita, cuarzo y opacos. El metamorfismo de la secuencia se sitúa en la facies prehnita- pumpellita y esquistos verde, posiblemente del tipo barico de presión intermedia- baja temperatura.

Las características petrográficas y faciales, permiten inferir que la secuencia se originó por el depositario de corriente de turbidez en una fosa oceánica, con aporte terrígeno, bioquímico y volcánico submarino; la edad de este conjunto es Cretáceo superior.

Formación Quebradagrande (Ksv): Conformada por metalimolitas con laminación fina, metagrawacas, compuestas principalmente por epidota, calcita, plagioclasa, cuarzo y fragmentos de diabasa, basaltos, metamorfitas paleozoicas y rocas hipoabisales, por metabasaltos, amigdalares y autoclasticos y metadiabasas compuestas de plagioclasa epidotizada y pigeonita. El metamorfismo de bajo grado, facies ceolita, prehnita- pumpellita y esquistos verde, está asociado a un metamorfismo de fondo oceánico.

Grupo Diabásico (Kvs- Kvd- Kv): Está conformado básicamente por secuencias volcánico- sedimentarias de afinidad oceánica y con metamorfismo de bajo grado.

- **Conjunto Kvs:** Compuesto principalmente por metabasaltos, algunas amigdalares, metadiabasas y metapiroclásticas, clinopiroxeno y plagioclasa cálcica son los minerales esenciales de estas rocas y las metatobas, además, contiene litoclastos de vulcanitas porfíricas. El metamorfismo es de las facies prehnita- pumpellita y asociada a un metamorfismo de fondo oceánico.



- **Conjunto Kvd:** Conformado principalmente por metabasaltos, algunos amigdalares o almohadillados, metadiabasas con variaciones texturales a gabros, metapiroclastitas y algunas intercalaciones de matapelitas. El metamorfismo se ubica en las facies prehnita-pumpellita y se debe a metamorfismo de fondo oceánico.
- **Conjunto Kv:** Está compuesto principalmente por metadiabasas y metabasaltos, algunos almohadillados o amigdalares y en menor proporción por metapiroclásticas y por metasedimentitas. El metamorfismo de las facies ceolita y prehnita- pumpellita es del tipo oceánico.

Rocas Ultramáficas del Chacaguaico (Ku): Son rocas gris verdosas, con buena foliación y microplegadas, se componen de agregados de antigorita y crisotilo y cristales alterados pseudomorfos de olivino lo que indica que la roca original pudo ser una dunita, es de anotarse la presencia de magnetita y venillas de carbonatos. Estos cuerpos ultramáficos, así como los otros del occidente colombiano, se hallan asociados principalmente a los Sistemas de Fallas Cauca- Patía y Romeral.

ERA CENOZOICA

Formación Esmita (Tme): Está representada principalmente por la alternancia de limolitas violáceas, areniscas conglomeráticas que gradan a conglomerados polimicticos, grawacas, y en menor proporción por areniscas cuarzo- feldespáticas y limolitas grises. De acuerdo con la presencia de fósiles en los sedimentos la edad es Oligoceno superior- Mioceno medio, previa al hiato regional del Mioceno medio, causado por el inicio de la Orogenia Andina.

Roca Ígneas Hipoabisales (Th): Son rocas con texturas holocristalina, de porfirítica a levemente porfirítica, con variaciones en los tamaños de los fenocristales, entre los diferentes cuerpos, se componen de plagioclasa en fenocristales y en la matriz, hornblenda, cuarzo y biotita como minerales principales y magnetita, apatito y circon. El emplazamiento de estos cuerpos presenta un claro control tectónico y se localizan al largo de fallas conformantes de los Sistemas Cauca- Patía y Romeral.

Conjunto Sedimentario de Tapialquer (TQst): La litología consiste en intercalaciones de areniscas verdosas y rojizas, limolitas y conglomerados polimicticos, son comunes deslizamientos y remoción en masa en estos depósitos. Su ambiente de depositación parece



corresponder a condiciones paràlicas- continentales. Estudios estatigraficos de las vulcanitas, permiten determinar mejor la edad de esta secuencia, localizada en el flanco occidental de la Cordillera Centro- Oriental.

Vulcanitas: Los depósitos relacionados con la actividad del Terciario- Cuaternario cubren un 75% de la plancha geológica y están asociados a diferentes centros de erupción, localizados en el Altiplano Nariñense y en las Cordilleras Occidental y Centro- Oriental.

- **Conjunto Sedimentario- volcánico de La Magdalena (TQsv):** Localizado entre Tanqua y el río Guaitara. La parte sedimentaria del conjunto está representada por arcillas fosilíferas, limolitas, areniscas y delgados niveles de diatomitas, lavas andesíticas escoriáceas son el constituyente volcánico esencial. Se observan cambios faciales tanto en la vertical como en la horizontal, su edad es Plio- Pleisteceno y se formó en un ambiente volcano- sedimentario continental, con la presencia de pequeños lagos y/o represamientos de valles aluviales como consecuencia de colpasamientos caldericos y/o emisiones lávicas y piroclásticas que hacían crear las pequeñas cuencas y aportaban también con el material de relleno.

- **Lavas (TQvl):** Afloran especialmente en el área del Complejo Volcánico del Galeras, se trata principalmente de flujos masivos de forma tabular y algunos escoriáceos, lavas aa` y lavas en bloques; generalmente se hallan intercalados con otros materiales volcánicos; son rocas porfíricas, con fenocristales que rara vez sobrepasan los 2 mm en su mayor diámetro y que presentan evidentes texturas de flujo. Son principalmente andesitas de dos piroxenos y plagioclasas cálcicas y dacitas con anfíbol y plagioclasas sódicas, además pueden presentar cuarzo microcristalino, olivino y biotita como accesorio o xenocristales.

- **Avalanchas Ardientes y de Escombros (TQva):** Se presentan principalmente en los valles de los ríos Guaitara y Azufral y en el Cerro Caballo Rucio, son rocas compuestas principalmente por fragmentos de material formado en el momento de la explosión de fragmentos de un domo o lava que se colapsa, el color rojizo se debe a los óxidos de hierro sineruptivos. Los depósitos son caóticos, dado el carácter turbulento y violento de flujo y pueden o no estar soldados, dependiendo del espesor.

- **Ignimbritas Eutaxíticas (TQvi):** Afloran principalmente en la región de Santa Bárbara- Los Ángeles. Las coladas tienen forma tabular, presentan fracturamiento columnar, son soldadas en



gran parte, presentan texturas de flujos a veces, bandeamientos y son fácilmente reconocibles los fiammes o los fragmentos de pumita aplastados; se componen a más de pumita de cristaloclastos de biotita, oligoclasa y cuarzo, e una matriz vitrica con claras texturas de flujo.

- **Flujos de Ceniza, Pumita y Escoria (TQvf):** Loa mejores afloramientos de este tipo de depósitos se hallan en el sector de la desembocadura del rio Bobo al rio Guaitara, en la carretera Panamericana (Pasto- Ipiales) antesde Catambuco y en los sectores Pasto- Jenoy y Pasto- Antena Inravisión, estos últimos asociados al volcán Galeras. Son depósitos sin soldar caóticos compuestos primordialmente por fragmentos de pumita y/o escoria en matriz de ceniza.

- **Lavas y Cenizas (TQvlc):** Conformada por lavas y flujos y/o caídas de cenizas no diferenciables en la cartografía geológica, generalmente hay predominio de lavas que se hallan cubiertas por cenizas o tienen intercalaciones de ellas.

- **Lahares y Lavas (TQvll):** Afloran principalmente en el carreteable Florida- El Ingenio, asociados al Complejo Volcánico del Galeras. Los alahares son depósitos caóticos asociados a la actividad volcánica, formados a partir del avance de una avalancha sobresaturada en agua. Se compone de bloques heterolitologicos y heterometricos en una matriz fina.

- **Lahares y Piroclastos (TQvlp):** Estos depósitos aparecen en el área de Sandona y Olaya Herrera, asociados al Volcán Galeras en el área de Villa Moreno y Rosal del Monte, derivados de la actividad de los Volcanes Morasurco y Bordoncillo, en el sector El Tambor- Tangua- Yacuanquer, derivados del Galeras y de focos extinguidos del SE de Pasto y los ríos Pasto, Originados por los volcanes Morasurcos y Galeras. La unidad está conformada por varios depósitos de lahares intercalados y separados por caídas de ceniza no diferenciables a la escala trabajada predominando los lahares.

- **Depósitos volcánicos sin diferenciar (TQvsd):** Debido al continuo cambio de facies, existen zonas donde nos e han diferenciado los depósitos volcánicos. Las zonas comprenden la parte superior del Complejo Volcánico Galeras, el sector del Volcán La Guaca y el sector La Horqueta- Rio Curiaco, entre Tangua y Funes. Los depósitos incluyen lavas, nubes ardientes, avalanchas de escombros, lahares y cenizas, además, depósitos fluvioglaciares.

- **Lluvias de Cenizas (Qvc):** Representan la actividad explosiva de los diferentes focos volcánicos, están suavizando una morfología preexistente y modelan en gran parte la actual. Son importantes



los depósitos del E de Pasto, los del sector de Bombona y Yacuanquer y los de Imues y Funes. Presentan una morfología de lomas pequeñas y redondeadas, con estructuras típicas de depósitos sedimentarios como gradación.

Depósitos Glaciares y Fluvio Glaciares (Qsgf): La morfología glacial más típica se presenta en el sector Peñas Blancas- La Aguada y en el área del Volcán Galeras, donde se conservan muy bien circos, valles en U, lagunas represadas por morrenas de recesión y morrenas laterales terminales y de recesión. Los depósitos netamente glaciares se hallan cubiertos totalmente por vegetación de paramo y solo son distinguibles los del tipo fluvio-glacial, representados por gravas y arenas principalmente.

Depósitos Coluviales y Aluviales (Qcal): Los más importantes se componen de gravas, arenas, limos y arcillas asociadas a los canales fluviales y a los valles de inundación. Los depósitos coluviales forman generalmente conos de deyección y se componen de material homogéneo en tamaños y a veces ni en origen. Estos tipos de depósitos son cuaternarios y muchos de ellos están en procesos de formación.

Terrazas (Qt): Se destacan en el área las asociadas a los ríos Guaitara y Tellez, en el sector de El Pedregal- Pilcuan y las del sector de Ancuya en el sector de El Pedregal- Pilcuan. Se componen principalmente de gravas con cantos de migmatitas y de vulcanitas modernas y de arenas y limos cuya composición revela un amplio aporte volcánico.

Depósitos Lacustres (Ql): Asociados principalmente a La Cocha del río Bobo y zonas de pantanos. Son depósitos producidos por lagunas naturales y artificiales y zonas pantanosas que solo inundan en invierno y/o son relictos de antiguos dominios lacustres, son esencialmente limos de colores claros y oscuros, según el contenido de materia orgánica y las épocas de alta y baja o no pluviosidad.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Los siguientes son los principales rasgos estructurales:

Sistema de Fallas Rio Cauca: conformado por una serie de fallas inversas orientadas en dirección N10° E a N35°E, las cuales ponen en contacto a la Cordillera Occidental con la Depresión Cauca- Patía. A este sistema pertenecen las Fallas Cauca- Patía, Aguada- San Francisco y Ancuya.



Falla Yumbo: Tiene una dirección N30°E y junto con la Falla Ancuya conforman una pequeña depresión, rellena por sedimentitas terciarias de la Formación Esmita, las cuales están plegadas suavemente.

Sistema de Fallas de Romeral: Su trazo principal pasa por el Volcán Galera, tiene una dirección N45°E y, hacia el sur, tiende a N10°E, donde se continua por el río Guaitara. La Falla de Buesaco se asocia a este sistema; es común encontrar complejos caldericos en el trazo de estas fallas.

Sistema de Fallas del Río Magdalena: A nivel regional, este sistema limita la Cordillera Central con el Valle del Magdalena.

Sistema de Fallas del Río Suaza: Tiene una dirección N40°E y a nivel regional sirve de contacto al Valle del Magdalena con las Cordillera Oriental.

Falla de Afiladores: Definida como una falla de cabalgamiento, por Ponce más al sur, ejerce control tectónico sobre la Laguna La Cocha.

6.4 SISMICIDAD.

La Norma Colombiana de construcciones sismo resistentes ubica al Municipio de Pasto en una zona de amenaza sísmica Alta, los coeficientes sísmicos tienen las siguientes magnitudes:

- Zona de Amenaza Sísmica= Tipo Alta
- $A_a = 0.25$ (Coeficiente de aceleración pico efectiva).
- $A_v = 0.25$ (Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico de diseño).
- $A_d = 0.08$ (Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para el umbral de daño).
- $A_e = 0.15$ (Coeficiente de aceleración pico efectiva para diseño con seguridad limitada).
- Coeficiente de Sitio $F_a = 1.30$
- Grupo de Uso=1
- Coeficiente de importancia $I = 1.0$
- Perfil de suelo= D



Lo anterior se especifica según la Norma de Diseño y Construcción Sismo Resistente para Colombia, en su aparte del Capítulo A.2.3 –Zona de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño del NSR-10.

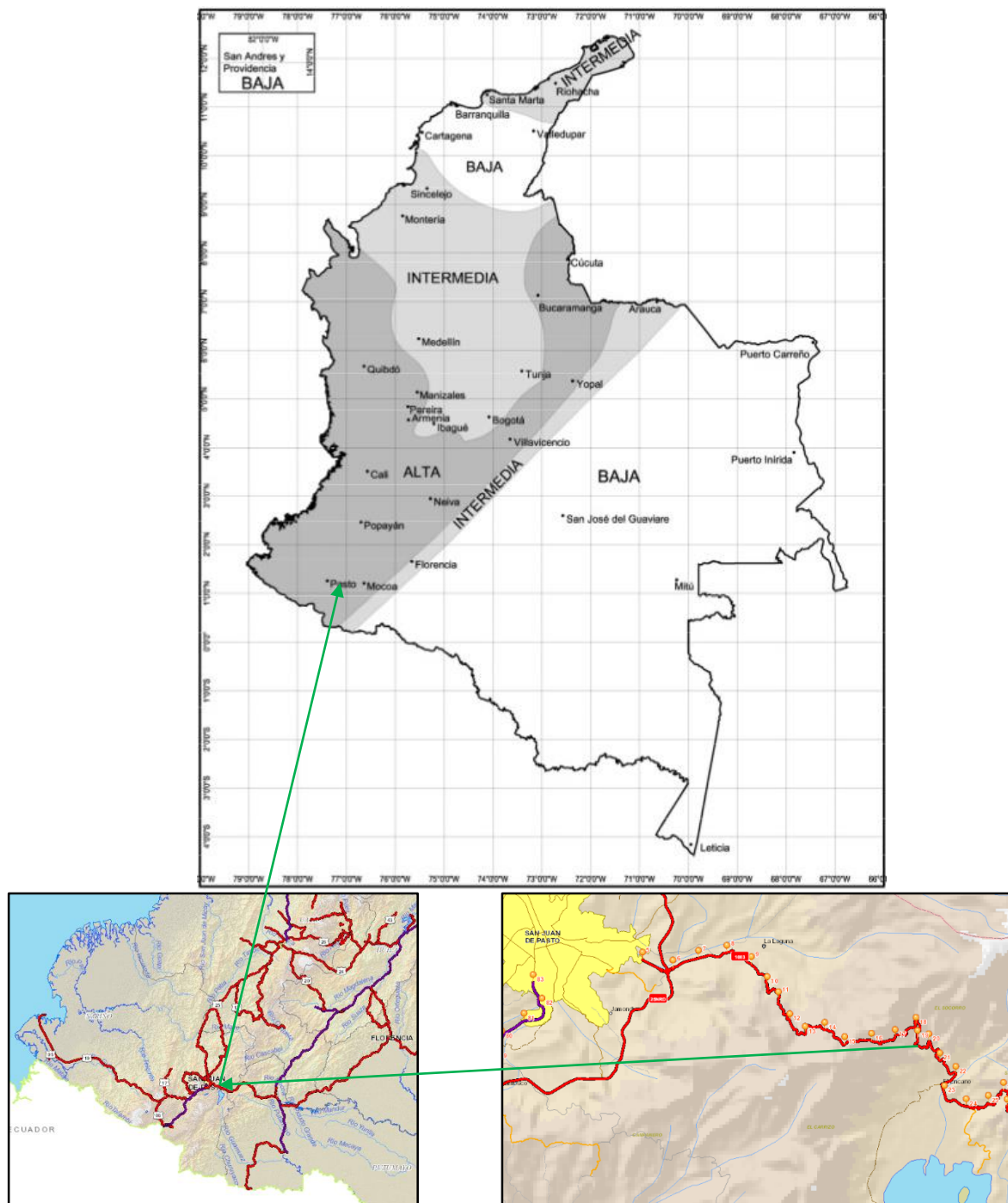


Figura 5. Zona de amenaza sísmica del municipio de Pasto y localización del PR19+0600
Fuente: Título A, NSR-10.



6.5 ANTECEDENTES

La vía se categoriza de primer orden y el tramo con código 1003 corresponde a la transversal Tumaco – Leticia y al sector La Piscicultura – El pepino, con administración a cargo de INVIAS por medio de la Territorial Nariño con la Administración Vial grupo 5 entre el PR5+0000 al PR33+0000 (Pasto – La piscicultura) y entre el PR33+0000 al PR137+0700 (La piscicultura – El Pepino) a cargo de la Territorial Putumayo a través de la Administración Vial grupo 3.

Entre el Municipio de Santiago (Putumayo) y el Municipio de Pasto (Nariño) la vía cuenta con pavimento asfáltico con ancho promedio de 7,0 metros, en general en buen estado con presencia de lesiones en algunos tramos como son: fisuras, deformaciones y desprendimientos, así como sitios críticos, tal como el que hace parte de este estudio el cual está localizado en el PR19+600.

El volumen de tráfico vehicular en TPDs en el año 2015 se tiene:

Tabla 5. Volúmenes de tráfico vehicular en forma de TPDs 2015

ESTACIÓN No.	SECTOR	CÓDIGO VÍA	LONGITUD (Km)	2015		
				A%	B%	C%
323	PASTO - ENCANO	1003	18	80	01	19
				1.650		
658	ENCANO - SIBUNDOY	1003	42	73	02	25
				1.050		
888	SIBUNDOY – EL PEPINO	1003	73	69	06	25
				1.177		
889	EL PEPINO - MOCOA	4502	10	51	31	18
				1.185		

Fuente: Volúmenes de tránsito y costos de Operación 2015 INVIAS



La zona objeto de este estudio hace parte del tramo vial que fue intervenido entre los años 2006 - 2010 por planes de mejoramiento vial que no tenían como prioridad la elaboración de estudios completos para un diseño óptimo, los cuales comprendan estudios de tránsito, geología y geotecnia, suelos para fundaciones, estabilidad de taludes, hidrología e hidráulica y tampoco un diseño geométrico acorde a las exigencias de las normas existentes; los planes de intervención tenían como objeto principal mejorar la superficie de rodadura mediante diseños geométricos ajustados a los alineamientos existentes.

En este sentido y como es el caso del punto crítico que se abordara en este estudio patológico, el cual se ubica en el PR 19+600, donde para la intervención con pavimento asfáltico no se realizó un estudio geotécnico detallado; sino solamente se realizaron diseños geométricos ajustados, y en la ejecución se realizaron actividades de mejoramiento de subrasante, instalación de subbase granular, base granular y a la margen derecha de la vía un muro de poca importancia estructural que cumplía funciones de confinamiento, el cual tampoco correspondía a un diseño.

6.6 RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN EN SITIO.

El estudio patológico se originó con el fin de determinar las causas de las lesiones manifestadas en la capa de rodadura del sector crítico localizado en el PR19+600 de la carretera nacional identificada como ruta 10 código 1003.

Durante la etapa de visitas a campo se pretende identificar la sintomatología del paciente, apreciando desde una visión amplia de la zona las posibles causas que generaron las lesiones y el proceso patológico; se realizara la investigación de las variables que pueden estar ligadas al proceso, como son: la morfología, el drenaje, la vegetación, la estratigrafía, la geología, evaluación de las condiciones de estabilidad de las laderas aferentes, procesos de erosión y movimientos de remoción en masa, intervención antrópica y existencia de cuerpos de agua.



6.6.1 Sintomatología

Tabla 6. Resumen de lesiones sitio critico 19+600

No.	FECHA	CARRIL	ABSCISA	TIPO	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	POSIBLES CAUSAS
1	15/04/2017	EJE	19+590-19-610	FL	PAVIMENTO	FISURA LONGITUDINAL: Discontinuidad en la capa asfáltica en la misma dirección del tránsito, indicando la existencia de esfuerzos de tensión en las capas de la estructura que superan la resistencia del material afectado.	La fisura es la reflexión de grietas de las capas inferiores generadas por las tensiones por movimiento del talud inferior.
2	15/04/2017	DERECHO	19+628-19+631	FML	PAVIMENTO	FISURA MEDIA LUNA: fisura de forma parabólica en borde del pavimento	Por el movimiento de la banca con presencia de hundimiento, por ausencia de obra de contención.
3	15/04/2017	DERECHO	19+628-19-631	PCH	PAVIMENTO	PARCHEO: Área donde se realizó la remoción y reemplazo del pavimento con mezcla asfáltica	Inestabilidad de la banca que refleja fisuras en el pavimento, adicionalmente está asociada a la deficiencia en drenaje subterráneo produciendo retención de agua en el área.
4	24/04/2017	EJE	19+590-19+618	FL	PAVIMENTO	FISURA LONGITUDINAL: Se presenta discontinuidad en la capa asfáltica causada por la evolución de la fisura inicial en el eje, ya que no se realizó la estabilidad de la banca, por lo cual el aumento de las tensiones y mayor abertura.	No se realizó la intervención oportuna para estabilizar la banca.
5	24/04/2017	DERECHO	19+575-19+585	PC	PAVIMENTO	FISURA PIEL DE COCODRILO: serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, la fisuración se refleja en la carpeta asfáltica por los esfuerzos de tracción en las capas inferiores, proyectándose como piezas angulares con modelo parecido a la piel de cocodrilo.	La causa es por debilitamiento de las capas inferiores por deficiencia en el drenaje que afecta a los materiales granulares.
6	24/04/2017	DERECHO	19+582-19+585	PC	PAVIMENTO	FISURA PIEL DE COCODRILO: serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, la fisuración se refleja en la carpeta asfáltica por los esfuerzos de tracción en las capas inferiores, proyectándose como piezas angulares con modelo parecido a la piel de cocodrilo.	La causa es por debilitamiento de las capas inferiores por deficiencia en el drenaje que afecta a los materiales granulares
7	24/04/2017	IZQUIERDO	19+590-19+597	PC	PAVIMENTO	FISURA PIEL DE COCODRILO: serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, la fisuración se refleja en la carpeta asfáltica por los esfuerzos de tracción en las capas inferiores, proyectándose como piezas angulares	La causa es por debilitamiento de las capas inferiores por deficiencia en el drenaje que afecta a los materiales granulares
8	24/04/2017	IZQUIERDO	19+630-19+634	PC	PAVIMENTO	FISURA PIEL DE COCODRILO: serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, la fisuración se refleja en la carpeta asfáltica por los esfuerzos de tracción en las capas inferiores, proyectándose como piezas angulares con modelo parecido a la piel de cocodrilo	La causa es por debilitamiento de las capas inferiores por deficiencia en el drenaje que afecta a los materiales granulares



9	29/04/2017	DERECHO	19+600-19+620	MS	TALUD	Movimiento de suelo de ladera	causada por evolución de la inestabilidad de talud originada por la no intervención oportuna de la falla local para el control de agua.
10	29/04/2017	DERECHO	19+590-19+618	PB	PAVIMENTO	Colapso súbito del muro de confinamiento, pérdida de berma cuneta y banca,	la causa es por el movimiento del talud inferior por gravedad y por mal manejo de agua de escorrentía lo cual ocasiona la disminución de las fuerzas que se oponen al movimiento generando la falla local.
11	29/04/2017	DERECHO	19+621-19+627	F	MURO	En el muro se generaron fisuras simultáneas que atraviesan toda la sección de la estructura y se ubican en coincidencia con la posición de la armadura transversal por las tensiones generadas en la tracción del colapso del elemento.	Por colapso de la banca afecta el muro generando fisuras. El colapso se presenta por deficiente planeación, ya que se proyectó un muro de confinamiento en el cual se debió programar la construcción de una obra de contención.
12	01/05/2017	DERECHO	19+600-19+617	PB	PAVIMENTO	Colapsa la carpeta asfáltica que se encuentra en voladizo.	La causa es por no contar con una estructura de soporte y por la vibración generada por los vehículos que transitan en la vía.

Fuente: de estudio - 2017

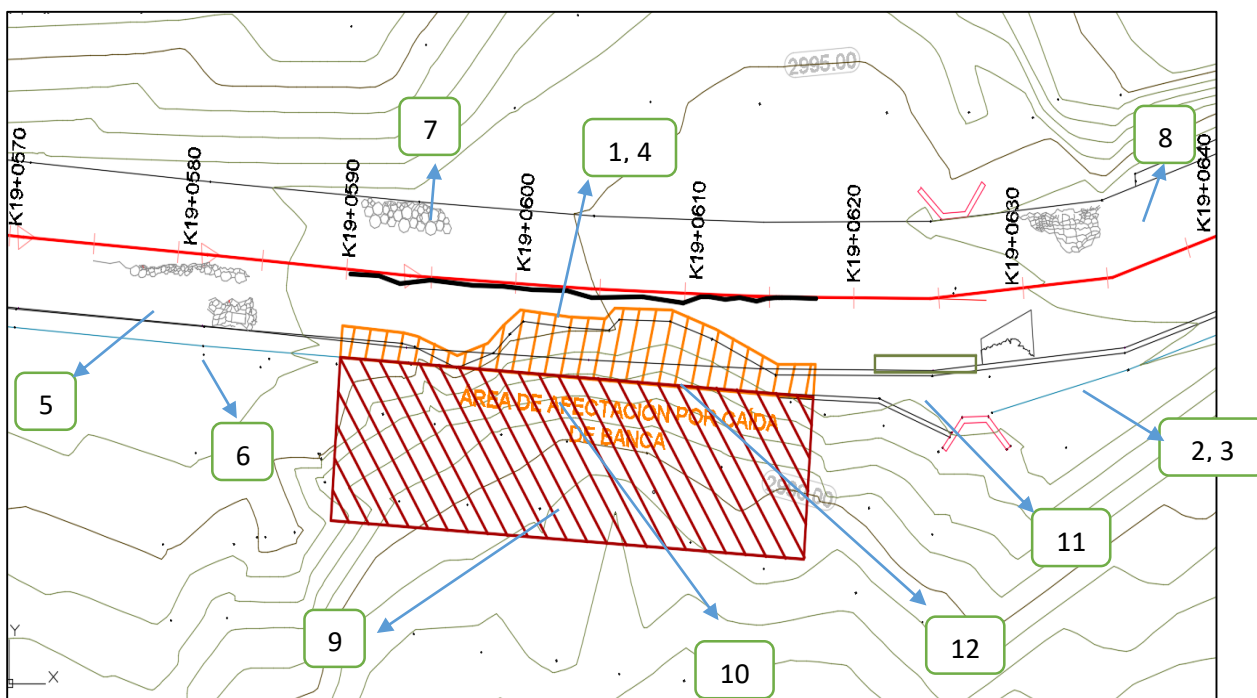


Figura 6 Localización de lesiones en el sitio

Fuente: de estudio - 2017



Fotografía 3. Fisura longitudinal PR19+0590.
Fuente: de estudio 2017



Fotografía 4. Evolución a Grieta longitudinal PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 5. Colapso estructura de confinamiento y pérdida de banca PR19+0590
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 6. Colapso estructura de confinamiento y pérdida de banca PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 7. Deslizamiento, vista desde la pata del talud inferior PR19+0620.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 8. Evolución de la lesión a pérdida de banca PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 9. Colapso estructura de confinamiento y carpeta asfáltica PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 10. Sección de la estructura de confinamiento PR19+0621.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 11. Ladera superior margen izquierda, se observa escarpes de antiguos movimientos y surcos por efectos de erosión hídrica PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 12. Ladera inferior margen derecha, se observa surcos por efectos de erosión hídrica PR19+0600.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 13. Filtro tipo francés, bajo la cuneta margen derecha y bajo la estructura de confinamiento PR19+0617.
Fuente: de este estudio – 2017

La lesión más significativa se identifica en el PR 19+600, la cual se manifestó en el mes de abril de 2017 durante la temporada de mayor pluviosidad de la región; el proceso patológico ha tenido una evolución rápida, el cual se evidencio por la presencia de lesiones de tipo mecánicas, manifestadas inicialmente por la aparición de fisuras en el pavimento asfaltico, las cuales evolucionaron a grietas y perdida de banca.

La manifestación de las lesiones estaba indicando un movimiento del talud, es así que la evolución fue rápida, durante un periodo de 2 semanas sucedió la aparición de fisuras, la fisura evoluciono a grieta, se produjo un súbito deslizamiento con flujo de material, que causo la perdida de material de soporte de la estructura de pavimento, perdida de la banca y por último un desprendimiento de la carpeta asfáltica del carril derecho de la carretera.

En la visita se identificó hacia el talud inferior un deslizamiento con flujo del material desprendido de aproximadamente 100 metros de longitud, 35 metros de ancho a nivel de la banca de la vía y escarpe de 3.6 metros en la corona del deslizamiento; se observa que su superficie de falla es profunda, por lo cual afecta el talud superior, lo cual se evidencia en la no verticalidad de los pocos árboles del sector, lesiones en los taludes que conforman la vía, manifestándose en



escarpes, grietas de tensión, deslizamientos y erosión; generadas principalmente por la falta de un buen manejo de las aguas de escorrentía.

Es así que en el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortante que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, a consecuencia de ello sobrevino la ruptura del mismo.

Geotécnicamente estos movimientos son típicos de los cortes y terraplenes de las vías del sector, debido a que el comportamiento mecánico de los materiales por su fracción arcillosa (CH), presenta este tipo de fallas que deben ser tratadas por medio de cimentaciones profundas, que permitan atravesar la superficie de falla y de esta manera garantizar la estabilidad de las obras a diseñar.

Adicionalmente en este sector se encuentra un inadecuado uso de suelo (pastoreo) que aumenta la capacidad de infiltración del terreno y de esta manera el poder de movilización del mismo.

En el seguimiento realizado al sitio de estudio, se observa en el talud inferior tanto en la parte media y pie, lugar donde se depositaron los flujos de material desplazado, la formación de surcos producto de la erosión hídrica, lo que contribuye a formar zonas de infiltración continua de agua.



Fotografía 14. Fisura de media luna y parcheo PR19+0628.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 15. Grietas en estructura de confinamiento PR19+0621.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 16. Grietas en estructura de confinamiento PR19+0621.
Fuente: de este estudio – 2017

En la zona adyacente a la pérdida de banca se detectó fisura de media luna, ubicada sobre una reparación pasada (bacheo del pavimento), esto indica que la aparición de lesiones en el sector ha sido constante y que se han tratado de manera puntual, sin intervenir la causa del origen.

Las fisuras de media luna describen una forma parabólica y están asociadas al movimiento de la banca, en este caso el movimiento producido por la variación de las propiedades del suelo por la infiltración de agua de escorrentía, aunado a esto la ausencia de una obra de contención de la banca.

Cabe resaltar que la estructura tipo muro, que se observa en las fotografías, solamente cumple funciones de confinamiento de la estructura de pavimento, esta estructura colapso casi por completo al producirse el movimiento de la ladera, el muro restante presenta grietas y esta próximo al colapso.

En la investigación también se observó un filtro tipo “francés” localizado bajo la cuneta de la margen derecha de la vía y bajo la estructura de confinamiento. Este elemento de subdrenaje no presenta función alguna, ya que hacia esa margen no recibe agua de ningún contribuyente; por el



contrario, está causando disminución de la resistencia del suelo, disminuyendo considerablemente la estabilidad de la obra de confinamiento y afectando a la pérdida de la banca.

6.6.2 Actividades y posibles soluciones

- Topografía de detalle de la ladera inferior, superior y banca de vía.
- Seguimiento con topografía al movimiento del talud
- Geología
- Plan de prospección geotécnico: (4 perforaciones de 20 metros)
- Diseño Geotécnico
- Diseño Estructural
- Medidas para manejo de aguas de escorrentía
- Medidas para control de erosión hídrica
- Reparación de fisuras en el pavimento asfáltico

6.7 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS.

Tras realizar una exhaustiva búsqueda en las principales entidades gubernamentales, departamentales y municipales, no se encontró información referente a estudios y diseños realizados con anterioridad en el corredor Pasto – El Encano. Por lo tanto, la información utilizada para la presentación de este estudio será obtenida de acuerdo a la metodología propuesta en el capítulo 4.

6.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Con el objeto principal de conocer la pendiente y la sección crítica del lugar se realiza el levantamiento topográfico en detalle de la zona de estudio.

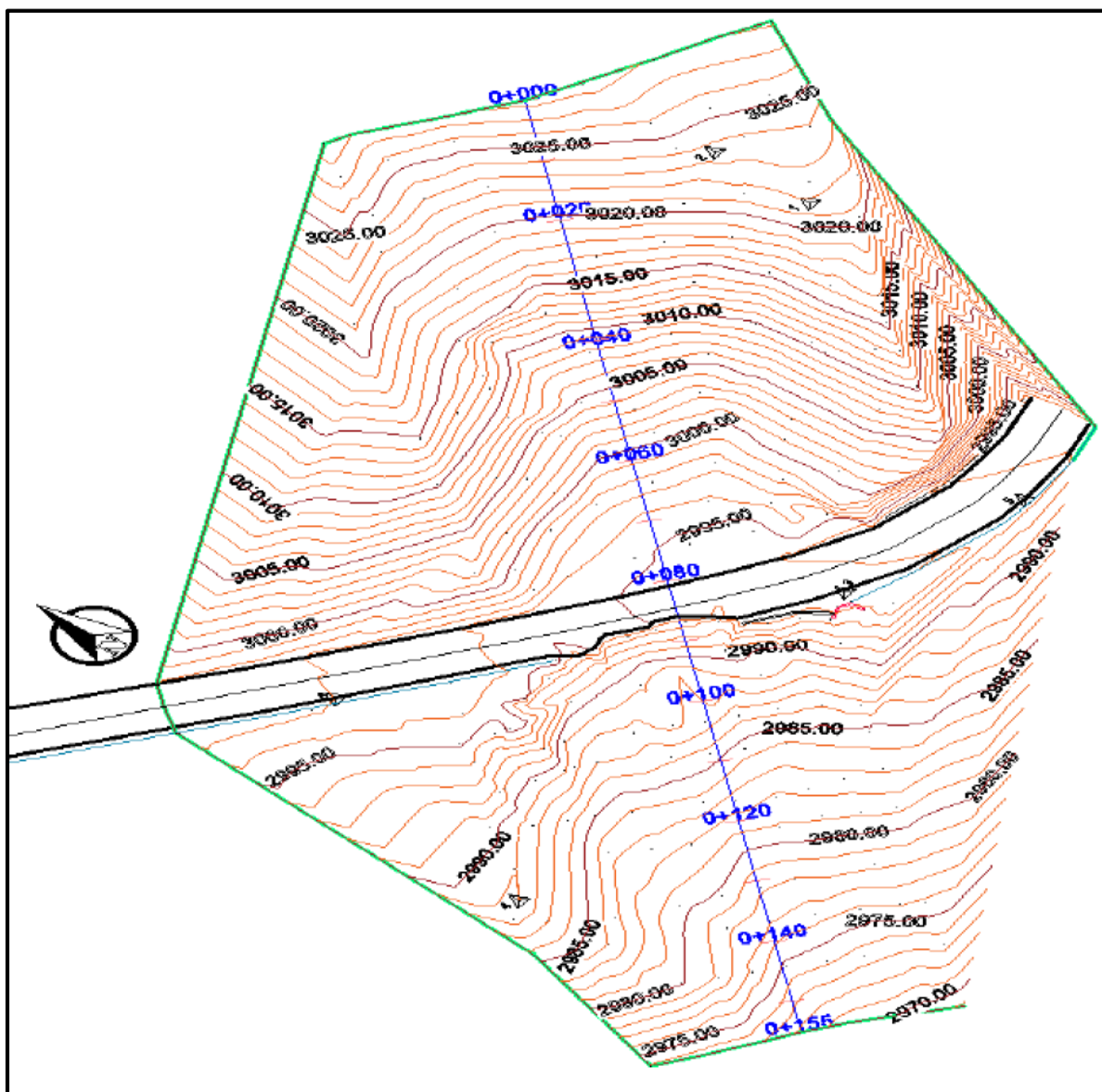


Figura 7. Planta del lugar en estudio.
Fuente: de este estudio – 2017

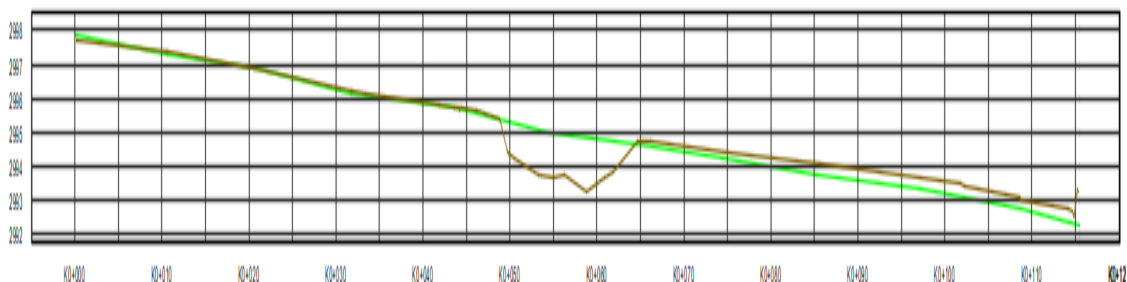


Figura 8. Perfil del lugar en estudio.
Fuente: de este estudio – 2017



6.9 SONDEOS, TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS IN SITU Y DE LABORATORIO.

Para efectos de auscultar el suelo, se programaron cuatro (4) sondeos ubicado de manera conveniente de tal manera que permitan corroborar la orientación y secuencia de la estratigrafía, además de los parámetros físico-mecánicos que definen las características del suelo, tanto para el análisis de estabilidad de la ladera como para definir los criterios de fundación y la verificación de la capacidad de soporte para la proyección de propuestas de intervención.

Para la ejecución de los sondeos se utilizó el equipo de perforación mecánica hasta alcanzar una profundidad entre 15.0 y 18.0 metros, con pruebas de penetración estándar (SPT), utilizando “cuchara partida”, barrenos helicoidales para el avance y reconocimiento del perfil y tubo “shellby” para recuperación de muestras tipo inalterada con el fin de realizar el ensayo de compresión inconfina. El trabajo de campo se realizó en el mes de abril del 2017; en el desarrollo de estas actividades se seleccionó y recolectó rotulando debidamente las muestras recuperadas a diferentes profundidades para efectos de elaborar los ensayos clasificatorios y de caracterización físico- mecánica de los materiales.



Fotografía 17. Equipo de perforación manual- Sondeo No1.
Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 18. Ejecución del Sondeo No2.
Fuente: de este estudio – 2017



Fotografía 19. Ejecución del Sondeo No3.
Fuente: de este estudio - 2017



En la Figura 9. se muestran la ubicación de los sondeos realizados.

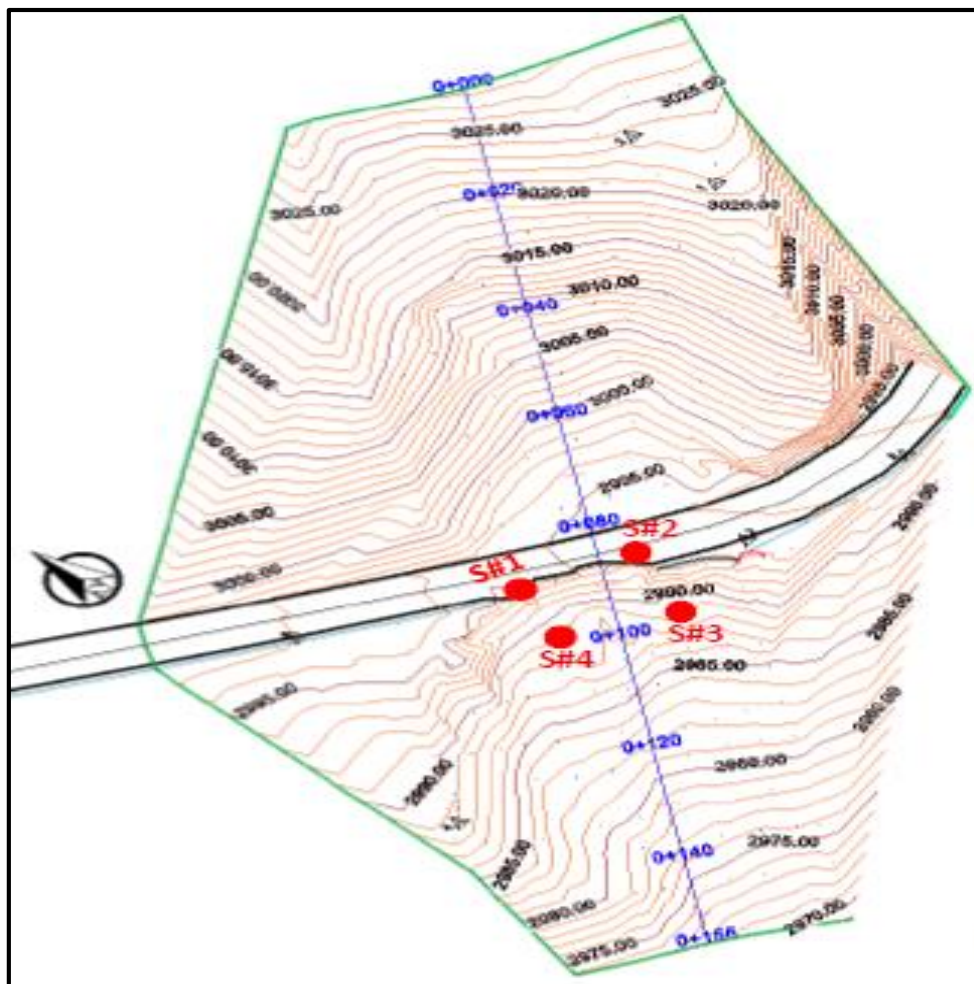


Figura 9. Ubicación de los sondeos realizados.
Fuente: de este estudio – 2017

6.9.1 Ensayos de laboratorio.

Sobre las muestras tomadas en campo se realizó la clasificación por el Sistema Unificado (SUCS) y se determinaron las características de resistencia mecánica del suelo, mediante la ejecución de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Tamizado.
- Límites líquido y plástico.
- Determinación de humedad.
- Resistencia a la compresión simple.



- Peso específico.

Los reportes de laboratorio pueden ser observados en el **Anexo A**.

Normatividad de ensayos y equipos.

Los ensayos realizados a las muestras obtenidas en campo se realizaron bajo el procedimiento de las siguientes normas:

Tabla 7. Ensayos de laboratorio, Normatividad y equipos.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS
Tamizado	I.N.V. E-123- 13	Tamices de malla cuadrada, horno, recipientes, balanzas con sensibilidad de 0.01gr y 0.10%
Limite Liquido	I.N.V. E-125- 13	Cazuela de Casagrande, vidrio, espátula, ranurador, recipientes, balanza y horno.
Limite Plástico	I.N.V. E-126- 13	Balanza, recipientes, horno, agua destilada, superficie plana para enrollamiento.
Determinación de humedad	I.N.V. E-122- 13	Horno, balanza, recipientes.
Compresión inconfina	I.N.V. E-152- 13	Aparato de compresión, Extractor de muestra, indicar de deformaciones, cronometro, balanza.

Fuente: de este estudio - 2017

6.10 CARACTERIZACIÓN DEL SUB- SUELO.

Visión global de la estratigrafía y propiedades mecánicas del sub-suelo.

Como resultado de los trabajos de exploración mediante la ejecución de los cuatro (4) sondeos, se deduce una estratigrafía homogénea en los sondeos N° 1 y 2 pero heterogénea en las perforaciones N° 3 y 4.

SONDEO N° 1 y 2: La estratigrafía se caracteriza básicamente por la presencia de cuatro (4) tipos de suelo: el primer estrato encontrado es un suelo fino de color amarillo con vetas negras de consistencia suelta a muy suelta con un espesor entre 3.50-4.50 metros con valores de N medidos en campo entre 9-12 golpes/pie, seguidamente se encuentra hasta una profundidad de 6.50-9.50 metros un suelo fino de color café rojizo de consistencia blanda a media con valores de N medidos en campo entre 7-16 golpes/pie, continuamente se halla



un suelo fino de color amarillo con vetas grises de consistencia media a dura con valores de N medidos en campo entre 29-50 golpes/pie hasta los 14.50-15.70 metros de profundidad, y finalmente se observa hasta finalizar las perforaciones un suelo fino de color habano con vetas grises de consistencia muy dura con valores de N medidos en campo de 50 golpes/pie.



Fotografía 20. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta negra.
Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 21. Muestra de suelo fino de color café rojizo.
Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 22. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta gris
Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 23. Muestra de suelo fino de color habano con veta gris.
Fuente: de este estudio - 2017

SONDEO N°3: La estratigrafía se caracteriza básicamente por la presencia de tres (3) tipos de suelo: el primer estrato encontrado es un material de color amarillo con vetas negras de consistencia muy suelta con valores de N medidos en campo de 3 golpes/pie hasta una profundidad



de 3.0 metros, seguidamente se observa un suelo fino de color negro tipo orgánico de 50 centímetros de espesor, seguidamente se halla un suelo fino de color amarillo con vetas rojizas de consistencia muy blanda con valores de N medidos en campo de 3 golpes/pie hasta los 5.50 metros, continuamente se observa un suelo fino de color amarillo con veta gris de consistencia media a dura con valores de N medidos en campo entre 11-50 golpes/pie hasta los 11 metros y finalmente se encuentra otra vez el suelo fino de color amarillo rojizo de consistencia dura con valores de N medidos en campo de 50 golpes/pie. Se observó nivel d aguas freáticas a 1.30 metros de profundidad.



Fotografía 24. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta negra.

Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 25. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta gris.

Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 26. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta rojiza.

Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 27. Muestra de suelo fino de color negro-tipo orgánico.

Fuente: de este estudio - 2017



SONDEO N°4: La estratigrafía se determina principalmente por la presencia de cuatro (4) tipos de suelo: el primer estrato encontrado es un suelo fino de color negro tipo orgánico de consistencia muy blanda con valores de **N** medidos en campo de 3 golpes/pie hasta una profundidad de 3.20 metros, adyacentemente se ubica un suelo fino de color café con vetas amarillas de consistencia dura con valores de **N** medidos en campo de 35 golpes/pie, seguidamente se halla un suelo fino de color amarillo rojizo de consistencia media a dura con valores de **N** medidos en campo entre 17-44 golpes/pie y finalmente se encuentra hasta terminar la perforación un suelo fino de color gris con vetas rojizas de consistencia dura con valores de **N** medidos en campo de 50 golpes/pie.



Fotografía 28. Muestra de suelo fino de color negro tipo orgánico.

Fuente: de este estudio - 2017



Fotografía 29. Muestra de suelo fino de color amarillo con veta rojiza

Fuente: de este estudio - 2017

Para efectos prácticos del estudio, se asume un perfil deducido compuesto principalmente por un suelo fino de color amarillo con vetas de diversos colores que varían de acuerdo a la profundidad de exploración, las cuales influyen en ciertos casos en la tonalidad del color. Además, es importante aclarar que aproximadamente hasta los 6.0 metros de profundidad se observa el suelo fino de color amarillo de consistencia suelta con bastante presencia de humedad debido a las aguas de escorrentías del sitio.

A continuación, se presenta un cuadro resumen donde se muestra la penetración estándar para cada uno de los sondeos.



Tabla 8. Valores de N SPT para cada sondeo realizado.

SONDEO No1		SONDEO No2		SONDEO No3		SONDEO No4	
Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT
2,5	9	0,8	10	3,05	3	3	4
4,5	11	2,5	12	4	3	4	35
5,2	16	3,7	5	5,5	11	5,5	17
6,5	26	5,5	7	7	17	7,5	27
7,5	29	8,3	5	9	25	8,5	44
9,7	49	9	11	10	50	10,5	50
11,3	50	10,5	50	12	50	12	50
12,8	50	12	50	13,5	50	13,5	50
14,3	50	13,5	48				
16,5	50	14,2	50				
		16,5	50				

Fuente: de este estudio – 2017

Una vez procesadas todas las muestras de campo obtenidas como resultado de la exploración geotécnica, se puede definir el perfil estratigráfico, definiendo áreas de trabajo bajo la presencia de suelos fácilmente identificables por su color, textura, humedad.

En la tabla 9. se presenta los parámetros de laboratorio obtenidos del análisis de las muestras recuperadas en los sondeos.



Tabla 9. Parámetros de laboratorio obtenidos para cada sondeo.

SONDEO	CAPA	ESPESOR CAPA	qU	PENETRACIÓN ESTANDAR	PESO UNIT HÚMEDO	CLASIFICACIÓN			GRADACIÓN (PORCENTAJE PASA)				CLASIFI CACIÓN	NIVEL FREÁTICO	HUMEDAD NATURAL	
						LL	LP	IP	TAMICES							
						No	No	metros	Kg/cm²	N=GOLPES	gr/cm³	%	%	%	No 4	No 10
1	1	0,00 - 2,10														
	2	2,10 - 3,50	0,33	9	1,72	NL	NP		93	85	66	58	ML		46,3	
	3	3,50 - 3,55														
	4	3,55 - 6,50		11 y 16	1,80	NL	NP		89	82	72	68	ML		43,8	
	5	6,50 - 14,30		26-29-49-47 y 57	1,84	59,7	39,01	20,7	100	100	98	95	MH		50,5	
	6	14,30 - 21,00		73-90-rec - rec y rec	1,91	47,7	22,70	25,0	89	85	80	76	CL		22,4	
2	1	0,00 - 4,50	0,36	10-12 y 5	1,71	46,2	36,98	9,2	100	98	88	82	ML		47,6	
	2	4,50 - 4,55														
	3	4,55 - 9,00		7 - 5 y 11	1,78	NL	NP		100	100	95	93	ML		92,2	
	4	9,00 - 15,70		58-54-48 y 65	1,81	54,7	29,71	25,0	100	79	59	50	MH		33,5	
	5	15,70 - 21,00		49-rec-rec y rec	1,90	42,1	14,35	27,7	85	77	56	51	CL		14,5	
3	1	0,00 - 0,80														
	2	0,80 - 3,00	0,21	3	1,71	47,9	32,8	15,1	100	99	93	89	ML	1,30	56,7	
	3	3,00 - 3,05														
	4	3,05 - 5,50		3	1,82	53,5	34,3	19,2	100	99	96	94	MH		99,9	
	5	5,50 - 11,00		11 -17 -25 y 56	1,88	56,3	31,1	25,2	98	96	86	81	MH		39,4	
	6	11,00 - 15,00		72 -94-rec	1,92	NL	NP		100	99	70	54	ML		30,2	
4	1	0,00 - 3,20		4	1,70	NL	NP		100	100	97	95	ML		102,5	
	2	3,20 - 5,50	0,82	35	1,83	43,1	36,6	6,5	100	100	93	87	ML		32,4	
	3	5,50 - 9,50		17 -27 y 44	1,96	44,0	31,2	12,8	100	99	85	78	ML		53,8	
	4	9,50 - 15,00		57 -62 -76 y rec	1,94	37,5	30,2	7,3	100	97	74	64	ML		27,4	

Fuente: Resultado de Laboratorio SuelosLab

6.11 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPIADA

Como parte de la metodología de trabajo para determinar las causas que ocasionaron el proceso patológico en estudio, se efectuó una recopilación de información proveniente de entidades de nivel nacional y que manejan información de uso público, normatividad aplicada al estudio; también se realizó recolección de información de campo, mediante inspección visual, sondeos y toma de muestras de materiales, ensayos en sitio y laboratorio.



A continuación, se presenta el análisis de la información

6.11.1 Geología

Como parte de la investigación de las causas que ocasionaron el proceso patológico en el sector de estudio, se contó con la colaboración de un ingeniero geólogo, quien evaluó las condiciones geológicas locales de la zona.

A continuación, se presenta el concepto del profesional en geología.

Geología Local: De acuerdo a localización de la zona de influencia, el proyecto se clasifica en la edad Terciario- Cuaternaria, de la formación de Lavas y Cenizas (TQvlc) y Depósitos Glaciares y Fluvio Glaciares (Qsgf) los cuales están conformadas por lavas y flujos y/o caídas de cenizas con una morfología típica de valles en U, lagunas represadas por morrenas de recesión y morrenas laterales terminales y de recesión. Los depósitos netamente glaciares se hallan cubiertos totalmente por vegetación de paramo y solo son distinguibles los del tipo fluvio- glaciar, representados por gravas y arenas principalmente.

De acuerdo con la visita al sitio (PR 19+600) y la información geológica obtenida de la plancha 429 Pasto del Instituto Colombiano de Geología y Minería es posible deducir que el lugar en estudio no presenta ningún tipo de falla geológica que provoque movimientos masivos de suelo en el sitio ni en sus alrededores,

En la Figura 10 se puede observarse la localización del PR 19+600 de la vía Pasto- Mocoa en la cartografía de las unidades geológicas del municipio de Pasto.





6.11.2 Sismicidad

Se realizó la revisión de información del Servicio Geológico Colombiano, referente a actividad sísmica en el departamento de Nariño y Putumayo, se encontró que en el periodo de enero a mayo del año 2017 los boletines de sismos no reportan eventos destacados.

Un evento es denominado como destacado si¹:

1. El sismo tiene una profundidad menor a 120 km y su magnitud (ML) es mayor o igual a 4.0 en la escala de Richter o su magnitud de momento (Mw) es mayor o igual 4.0.
2. El sismo tiene una profundidad mayor o igual a 120 km y su magnitud (ML) es mayor o igual a 5.0 en la escala de Richter o su magnitud de momento (Mw) es mayor o igual 5.0.
3. El sismo es reportado como sentido cerca al epicentro, sin importar su magnitud o su profundidad.

6.11.3 Seguimiento con topografía al movimiento del talud

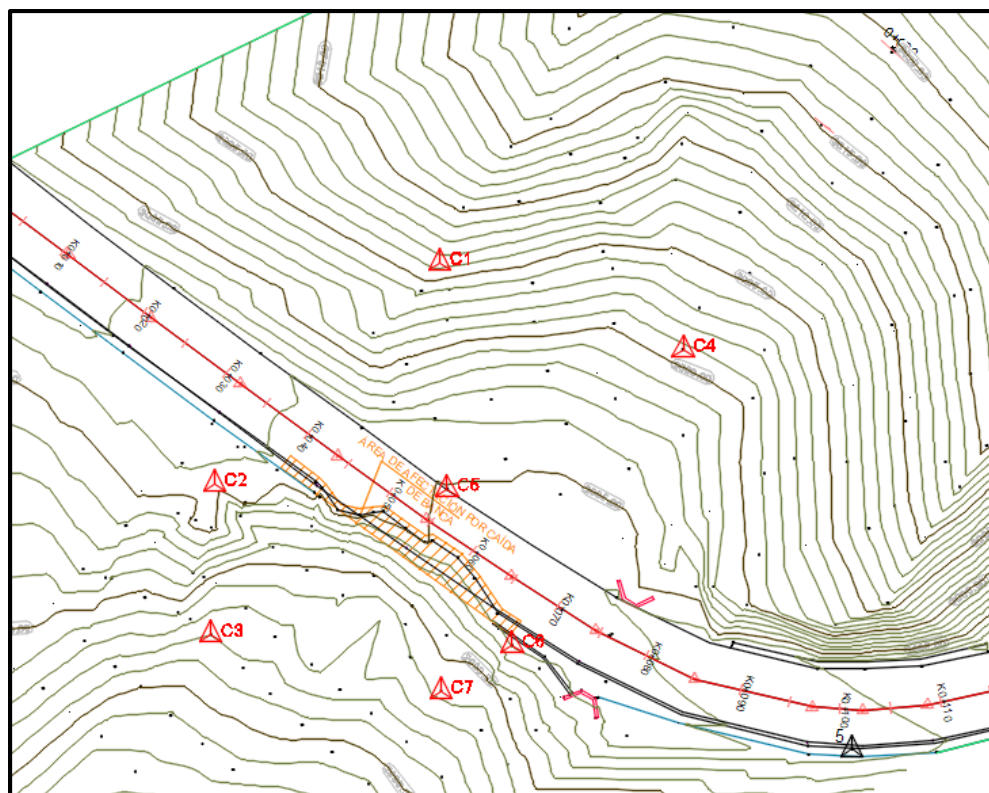


Figura 11. Ubicación puntos de control con topografía.
Fuente: de este estudio – 2017

¹ Tomado de, <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Paginas/boletines-sismicidad.aspx>



Tabla 10. Seguimiento con topografía al movimiento del talud.

REF	LEVANTAMIENTO 3 DE MAYO DE 2017			FECHAS DE SEGUIMIENTO					
				26 DE MAYO DE 2017		20 DE JUNIO DE 2017		25 DE JULIO DE 2017	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)
C - 1	2.901,840	1.661,804	3.006,505	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000
C - 2	2.879,602	1.639,995	2.995,668	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000
C - 3	2.879,271	1.625,115	2.987,017	2.986,930	0,087	2.986,926	0,091	2.986,926	0,091
C - 4	2.925,831	1.653,252	3.000,697	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000
C - 5	2.902,553	1.639,487	2.994,938	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000
C - 6	2.908,977	1.624,039	2.994,102	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045
C - 7	2.901,939	1.619,533	2.989,368	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052

REF	LEVANTAMIENTO 3 DE MAYO DE 2017			FECHAS DE SEGUIMIENTO					
				23 DE AGOSTO DE 2017		29 DE SEPTIEMBRE DE 2017		24 DE OCTUBRE DE 2017	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)
C - 1	2.901,840	1.661,804	3.006,505	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000
C - 2	2.879,602	1.639,995	2.995,668	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000
C - 3	2.879,271	1.625,115	2.987,017	2.986,926	0,091	2.986,926	0,091	2.986,926	0,091
C - 4	2.925,831	1.653,252	3.000,697	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000
C - 5	2.902,553	1.639,487	2.994,938	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000
C - 6	2.908,977	1.624,039	2.994,102	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045
C - 7	2.901,939	1.619,533	2.989,368	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052

REF	LEVANTAMIENTO 3 DE MAYO DE 2017			FECHAS DE SEGUIMIENTO					
				24 DE NOVIEMBRE DE 2017		18 DE DICIEMBRE DE 2017		30 DE ENERO DE 2018	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)	Z (m)	Z' (m)
C - 1	2.901,840	1.661,804	3.006,505	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000	3.006,505	0,000
C - 2	2.879,602	1.639,995	2.995,668	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000	2.995,668	0,000
C - 3	2.879,271	1.625,115	2.987,017	2.986,926	0,091	2.986,926	0,091	2.986,926	0,091
C - 4	2.925,831	1.653,252	3.000,697	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000	3.000,697	0,000
C - 5	2.902,553	1.639,487	2.994,938	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000	2.994,938	0,000
C - 6	2.908,977	1.624,039	2.994,102	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045	2.994,057	0,045
C - 7	2.901,939	1.619,533	2.989,368	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052	2.989,316	0,052

Fuente: de este estudio - 2017

Para realizar el seguimiento al movimiento del talud, se hizo control con topografía desde un punto fijo el cual se localiza fuera del área de influencia del sitio crítico, para ello se ubicaron 7 puntos con el fin de verificar la variación (Z') en la cota respecto a los datos del levantamiento



inicial; el seguimiento se hizo por un periodo de 9 meses realizando la toma de datos una vez por mes.

Con los datos de la tabla 6. Podemos evidenciar que en los dos meses seguidos al deslizamiento que ocasionó la pérdida de banca, hubo una ligera variación de cotas en los puntos de control 3, 6 y 7, lo que se explica por la continuidad en las altas precipitaciones que continuaron hasta el mes de junio; luego en los meses siguientes no se reporta variación.

De acuerdo al análisis podemos concluir que el deslizamiento tiene un estado de actividad Suspendido, teniendo en cuenta que estuvo activo durante los últimos periodos de alta precipitación pero que no se está moviendo en la actualidad.

6.11.4 Efectos de la vegetación y cuerpos de agua

En el área de estudio no existe vegetación que pueda ocasionar algún tipo de problema a la construcción, ni cuerpos de agua cercanos que pueden producir alguna modificación en las propiedades físico- mecánicas del suelo. Pero es necesario mencionar la falta de un buen manejo de las aguas de escorrentías.

Por los recorridos en la zona e indagación con los habitantes del sector se descarta el paso de conducciones de acueducto o distritos de riego que por fugas pueda evidenciar zonas de humedad.

6.11.5 Intervención antrópica

6.11.5.1 Diseño, planificación y construcción

La zona objeto de este estudio hace parte del tramo vial que fue intervenido entre los años 2006 - 2010 por planes de mejoramiento vial que no tenían como prioridad la elaboración de estudios completos para un diseño óptimo, los cuales comprendan estudios de tránsito, geología y geotecnia, suelos para fundaciones, estabilidad de taludes, hidrología e hidráulica y tampoco un diseño geométrico acorde a las exigencias de las normas existentes; los planes de intervención tenían como objeto principal mejorar la superficie de rodadura mediante diseños geométricos ajustados a los alineamientos existentes.

En este sentido y como es el caso del punto crítico que se abordara en este estudio patológico, el cual se ubica en el PR 19+600, donde para la intervención con pavimento asfáltico



no se realizó un estudio geotécnico detallado; sino solamente se realizaron diseños geométricos ajustados, y en la ejecución se realizaron actividades de mejoramiento de subrasante, instalación de sub-base granular, base granular y a la margen derecha de la vía un muro de poca importancia estructural que cumplía funciones de confinamiento, el cual tampoco correspondía a un diseño.

Dicho esto, y de acuerdo a la inspección de la zona, era necesario estudios de geotecnia, diseño de obras de contención con cimentación profunda, obras para manejo de aguas de escorrentía y vegetalización del talud.

Teniendo en cuenta este tipo de obras que no cuentan con una intervención adecuada por parte del hombre, las probabilidades que sucedan procesos patológicos son altas, las cuales en este caso particular se manifestaron con lesiones en la capa de rodadura, variación en los parámetros de estabilidad del talud, generando movimientos en el terreno y como parte final el colapso de la banca de la carretera.

6.11.5.2 Uso del suelo

El área que conforma el talud superior se está utilizando como zona de pastoreo, lo cual ha ocasionado la eliminación casi por completo de la vegetación endémica; esta situación incrementa la capacidad de infiltración del terreno y en consecuencia el poder de movilización del mismo.

6.11.6 Nivel de aguas freáticas.

Se detectó nivel de aguas freáticas tan solamente en el sondeo realizado No3. En el evento de presentarse precipitaciones o posibles deslizamientos del suelo debido a su condición de humedad o cualquier otro tipo de causa, deberán tomarse todas las precauciones del caso con el fin de garantizar un terreno estable donde se pueda optimizar su capacidad de soporte y se puedan realizar las labores para la construcción proyectada.

6.11.7 Condiciones Geotécnicas

Con el fin de establecer el tipo de suelo y sus condiciones mecánicas, se realizaron las siguientes actividades:

6.11.7.1 Determinación del peso unitario (γ).

El peso unitario en estado húmedo o saturado se obtiene mediante mediciones directas sobre las muestras inalteradas. Se obtiene el peso y sus dimensiones (diámetro y altura),



determinando así cada peso y volumen en particular, y la relación peso/volumen, determina el peso unitario o volumétrico del espécimen.

Tabla 11. Peso Unitario de los suelos encontrados.

SUELO	PESO UNITARIO HÚMEDO (γ) (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (γ) (g/cm ³)
AMARILLO- SUELTO (0.0 A 6.0 m)	1.72	1.17
AMARILLO- COMPACTO (6.0 A 15.0 m)	1.84	1.23

Fuente: de este estudio - 2017

6.11.7.2 Corrección del n de campo (N_{cor})

El ensayo tiene muchas variantes y fuentes de diferencia, en especial la energía que llega a la toma muestras, para realizar la respectiva corrección se utilizara la fórmula de Bowles:

$$N_{cor} = N * C_n * h_1 * h_2 * h_3 * h_4$$

Donde:

N_{cor} : Valor de N corregido

N : Valor de N de campo

C_n : Factor de corrección por confinamiento efectivo

h_1 : Factor por energía del martillo ($0.45 = h_1 = 1.0$)

h_2 : Factor por longitud de la varilla ($0.75 = h_2 = 1$)

h_3 : Factor por revestimiento interno de toma muestra ($0.8 = h_3 = 1$)

h_4 : Factor por diámetro de perforación (>1 para $D > 5''$, $=1.15$ para $D = 8''$)

Se considera que $h_3 = h_4 = 1$.

- **Corrección por energía (h_1):** representa el rendimiento del impacto del martillo sobre el cabezal de golpeo:

$$N_1 = E_r / E_{60}$$

Donde:

E_{60} : Valor de la energía de referencia base que usualmente es 60%

E_r : Valor de la energía de referencia de la barra



Tabla 12. Resumen de relaciones de energía

PAÍS	ENERGÍA DE LA BARRA (Er)	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA 60% Er
Japón	78%	78/60=1.30
EEUU	60%	60/60=1.0
Argentina	45%	45/60=0.75
China	60%	60/60=1.0

Fuente: <http://www.fernandeztadeo.com>

- Corrección por longitud de la varilla (h2):

Tabla 13. Factor de corrección (h2) de acuerdo a la longitud de la varilla

LONGITUD DE VARILLA (m)	FACTOR DE CORRECCIÓN (h2)
> 10	1.0
6- 10	0.95
4- 6	0.85
< 4	0.75

Fuente: <http://www.fernandeztadeo.com>

- Corrección por confinamiento (Cn): existen numerosas propuestas entre las cuales se destacan las siguientes:

Tabla 14. Correlaciones para Cn

AUTOR	Cn
PECK	$\frac{\log \left(\frac{20}{R_s} \right)}{\log (20)}$
SEED	$1 - 1.25 * \log(R_s)$
MEYERHOF- ISHIHARA	$\frac{1.7}{0.7 + R_s}$



LIAO- WHITMAN	$\sqrt{\left(\frac{1}{Rs}\right)}$
SKEMPTON	$\frac{2}{(1 + Rs)}$
SEED- IDRIS	$1 + K * \text{Log}(Rs)$
GONZALES	$\text{Log}\left(\frac{10}{Rs}\right)$
SCHMERTMANN	$\frac{32.5}{10.2 + 20.3 * RS}$

Fuente: de este estudio - 2017

A continuación, se presenta un cuadro resumen donde se muestra los valores de N corregidos para cada uno de los sondeos.

Tabla 15. Valores de N SPT corregidos para cada sondeo realizado.

SONDEO No1		SONDEO No2		SONDEO No3		SONDEO No4	
Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT	Prof. (m)	N SPT
2,5	10	0,8	11	3,05	3	3	4
4,5	11	2,5	12	4	3	4	35
5,2	15	3,7	5	5,5	12	5,5	16
6,5	23	5,5	6	7	18	7,5	24
7,5	24	8,3	4	9	26	8,5	36
9,7	37	9	8	10	50	10,5	38
11,3	36	10,5	36	12	49	12	36
12,8	34	12	34	13,5	47	13,5	34
14,3	36	13,5	34				
16,5	34	14,2	34				
		16,5	32				

Fuente: de este estudio - 2017



6.11.7.3 Determinación de la resistencia última (q_u).

En la siguiente tabla se puede observar la relación aproximada entre el número de golpes para 30cm de penetración y la resistencia a compresión simple (q_u) según KARL TERZAGUI.

Tabla 16. Relación entre el N (SPT) y el tipo de consistencia del suelo.

q_u (Kg/cm ²)						
CONSISTENCIA	MUY BLANDA	BLANDA	MEDIANA-MENTE COMPACTA	COMPACTA	MUY COMPACTA	DURA
N	<2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30
Qu	<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2,00-4.00	>4.00

Fuente: tabla 45.2, Mecánica de suelos en la ingeniería práctica, Karl Terzaghi

A continuación, se describen el valor de “ q_u ” tomado para cada tipo de suelo encontrado:

Tabla 17. Resultados de “ q_u ” para cada tipo de suelo encontrado.

TIPO DE SUELO	N SPT Corregido	q_u (kg/cm ²)
AMARILLO- SUELTO (0.0 A 6.0 m)	3	0.38
AMARILLO- COMPACTO (6.0 A 15.0 m)	12	1.57

Fuente: de este estudio - 2017

Como fue posible la obtención de muestras inalteradas tipo “Shellby” para el suelo fino de color amarillo de consistencia suelta, se escogerá el menor valor de “ q_u ” (q_u : 0.21 Kg/cm²) entre el obtenido del laboratorio (q_u = 0.21 Kg/cm²) y de la teoría de Karl Terzaghi (q_u =0.38Kg/cm²) con el fin de trabajar con el valor más crítico.

6.11.7.4 Obtención de los parámetros de resistencia al corte.

La obtención de los parámetros de resistencia al corte de cada estrato de suelo (f), se logró de la siguiente forma:

CALCULO DEL ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO: Los datos que se obtienen del SPT permiten estimar el ángulo de rozamiento interno de los suelos. Con los valores de N corregidos se obtiene el ángulo de fricción interna del suelo de acuerdo a las curvas de Peck.

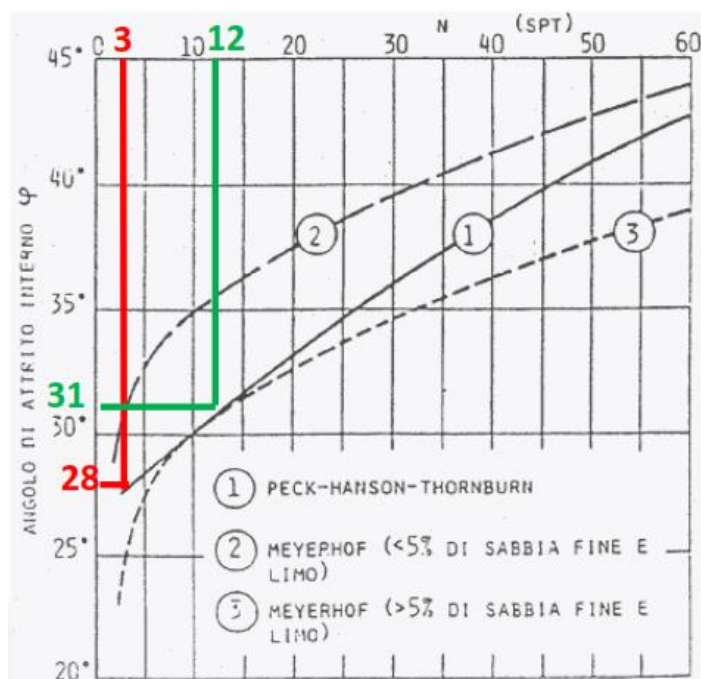


Figura 12. Correlación entre el ensayo de penetración estándar SPT y el ángulo de fricción interna (f).

Fuente: <http://www.estudiosgeotecnicos.info>

Las curvas de Peck pueden expresarse en forma de función tal como se indica a continuación:

$$\phi = 27.1 + 0.30 * N - 0.00054N^2$$

Es necesario aclarar que se escogió el menor valor de N corregido y el menor resultado del ángulo de fricción interna (f) obtenido entre la fórmula y la gráfica, de tal manera que se trabaje con la condición más crítica.

Tabla 18. Angulo de fricción interna del suelo para cada suelo encontrado

TIPO DE SUELO	N SPT Corregido	Angulo de fricción interna (ϕ)
AMARILLO- SUELTO (0.0 A 6.0 m)	3	28
AMARILLO- COMPACTO (6.0 A 15.0 m)	12	31

Fuente: de este estudio - 2017



6.11.7.5 Coeficiente de presión lateral del suelo

Los suelos del lugar en estudio presentan valores de penetración estándar variables. Los coeficientes de presión se determinan mediante las expresiones:

- Coeficiente del empuje lateral en estado de reposo: $K_o = 1 - \text{Sen}\varphi$
- Coeficiente del empuje lateral en estado de activa: $K_a = \frac{1 - \text{Sen}\varphi}{1 + \text{Sen}\varphi}$
- Coeficiente del empuje lateral en estado de pasiva: $K_p = \frac{1 + \text{Sen}\varphi}{1 - \text{Sen}\varphi}$

Tabla 19. Coeficientes de empuje del suelo.

SUELO	COEFICIENTE DE EMPUJE		
	REPOSO (K_o)	ACTIVA (K_a)	PASIVA (K_p)
AMARILLO	0.53	0.36	2.77

Fuente: de este estudio – 2017

6.11.7.6 Evaluación de las características especiales de los suelos

Potencial expansivo

De acuerdo a los diversos criterios que existen para identificar y predecir el potencial expansivo de un suelo fino a partir de los límites líquido y plástico observamos que:

Tabla 20. Predicción de la expansividad a partir del límite líquido

GRADO DE EXPANSIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	
	CHEN	NORMAS IS 1498
Bajo	< 30	20-35
Medio	30-40	35-50
Alto	40-60	50-70
Muy alto	> 60	70-90

Fuente: Tabla 132-1 I.N.V E- 132



Tabla 21. Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad

GRADO DE EXPANSIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMAS IS 1498
Bajo	< 20	0-15	< 12
Medio	12-34	10-35	12-33
Alto	23-45	20-55	23-32
Muy alto	> 32	> 35	> 32

Fuente: Tabla 132-2 I.N.V E- 132

Con los resultados obtenidos de los sondeos se puede predecir que el suelo en estudio presenta un grado de expansión media a alta por lo tanto se debe tener las debidas precauciones y cuidados.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los valores de límite líquido (LL) e Índice plástico (IP) de los estratos de suelos encontrados y su respectivo grado de expansión.

Tabla 22. Resumen de los valores de limite liquido e índice de plasticidad de los suelos encontrados.

COLOR AMARILLO	
LL	IP
38-60	7-25
MEDIA A ALTA	

Fuente: de este estudio - 2017

Potencial de licuación.

Seed y Idriss (1982) consideran que un suelo puede licuar si:

- El porcentaje en peso de partículas <0.005 mm es menor del 15%.
- $LL < 35$
- $W/LL > 0.9$
- Índice de liquidez <0.75



De acuerdo con los resultados del laboratorio es posible predecir que el suelo no tiene problemas de licuación.

Potencial de colapso.

Se identifican como suelos colapsables aquellos depósitos formados por arenas y limos, que, si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan.

La evaluación se hace mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{\left(\frac{1}{G_s}\right) + W_l}$$

Donde:

γ_{dcrit} = Peso unitario critico como identificación de la colapsabilidad

γ_w = Peso específico del agua

W_l = Limite liquido en decimales

G_s = Gravedad especifica del suelo

Criterio de evaluación:

$\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrit}} > 1$ el suelo es estable o expansivo

$\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrit}} = 1$ el suelo es colapsable

Tabla 23. Valores de colapsabilidad para cada suelo encontrado

COLOR AMARILLO		
γ_d	w_l	γ_{dcrit}
1.17	0.60	0.98
NO COLAPSABLE		

Fuente: de este estudio - 2017.



Con los resultados obtenidos de los sondeos se puede predecir que el suelo en el lugar en estudio no tiene problemas de colapsabilidad.

6.11.8 ESTABILIDAD GEOTÉCNICA

Parámetros fundamentales en la estabilidad geotécnica

En los análisis de estabilidad intervienen los siguientes cuatro parámetros fundamentales:

- La geometría del perfil: Se obtiene de los levantamientos topográficos.
- El peso de los materiales del suelo: Se calcula de la geometría y del peso unitario del suelo.
- La resistencia del suelo: Para los análisis de estabilidad que se reportan se emplea datos de cohesión y fricción obtenidos en el estudio de suelos.
- Presión de poros

Factor de seguridad

Para estabilidad, el factor de seguridad FS se define en geotecnia como:

$$FS = \frac{C'}{\tau_{act}} + \left[\frac{\sigma_{act} - Uf}{\tau_{act}} \right] * \tan \phi$$

Donde:

τ_{act} : Esfuerzo cortante actuante

σ_{act} : Esfuerzo normal actuante

C' : Cohesión efectiva

$\tan \phi$: Fricción efectiva

Uf : Presión de poros o fluidos

σ'_{act} : Esfuerzo normal efectivo actuante ($\sigma_{act} - Uf$)

Cuando:

$FS = 1$, hay equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes

$FS < 1$, las fuerzas actuantes exceden a las resistentes, lo cual se traduce en rotura y desplazamiento en materiales frágiles y en desplazamientos en materiales dúctiles.



Parámetro de presión de poros (RU)

Para el cálculo de estabilidad comúnmente se emplea este parámetro:

$$Ru = \frac{Uf}{\sigma'_{act}} = \frac{Uf}{\gamma H}$$

Donde:

Uf: presión de poros en un punto P.

γ : Peso unitario total del suelo.

H: Altura del material terreo sobre el punto P.

El parámetro de presión de poros Ru es una relación empírica lineal sencilla entre la presión de poros generada y el esfuerzo vertical que se genera.

En cualquier caso, el valor de esfuerzo efectivo vertical σ'_1 , viene dado por:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - Uf = \sigma_1(1 - Ru)$$

Teniendo en cuenta que el parámetro Ru es adimensional, dicho parámetro en rigor solo es constante para las siguientes condiciones:

- Depósito de suelo normalmente consolidado horizontal e infinito en extensión: lo cual garantiza que $\sigma'_1 = \gamma H$ en cualquier punto.
- Suelo saturado con régimen hidrostático y nivel freático en superficie: lo cual garantiza la condición $Uf = \gamma_f H$ en cualquier punto (γ_f = peso unitario del fluido).

Para estas condiciones ideales, simplemente:

$$Ru = \frac{\gamma_f H}{\gamma H} = \frac{\gamma_f}{\gamma}$$

Realizando la aproximación $\gamma \approx \gamma_f = 1.0 \text{ T/m}^3$, entonces:

$$Ru_{maximo} \cong 1.0$$

6.11.8.1 Factores de seguridad

Para evaluar la estabilidad geotécnica se realizó la modelación de un perfil; dicha modelación se realiza con el software Slope V.2012 haciendo uso del método de Bishop



simplificado, el software permite analizar múltiples superficies de fallas críticas para cada condición de falla, tanto de cuerpo como de fondo, lográndose así establecer los factores de seguridad (FS) mínimos para cada mecanismo de falla.

Estos valores de FS permiten determinar en el tiempo el comportamiento que tiene el talud según su conformación, donde:

- Valores de $FS \leq 1.0$: Indican potenciales Fallas de taludes (Deslizamientos o inestabilidad de taludes).
- Valores de $FS = 1.0$: Indican equilibrio inestático.
- Valores de $1.0 > FS < 1.3$: Indican potencial alto de deslizamiento en la medida en que un parámetro varíe.
- Valores de $1.3 > FS > 1.6$: Indican potencial medio de deslizamiento.
- Valores de $FS > 1.6$: Indican estabilidad conservando las condiciones actuales de los parámetros de resistencia de los materiales involucrados.

Los perfiles se analizaron en condiciones de carga estática.

6.11.8.2 Resultados del análisis de estabilidad

Se realizará un análisis en condiciones estáticas (condiciones actuales) para el perfil estudiado.

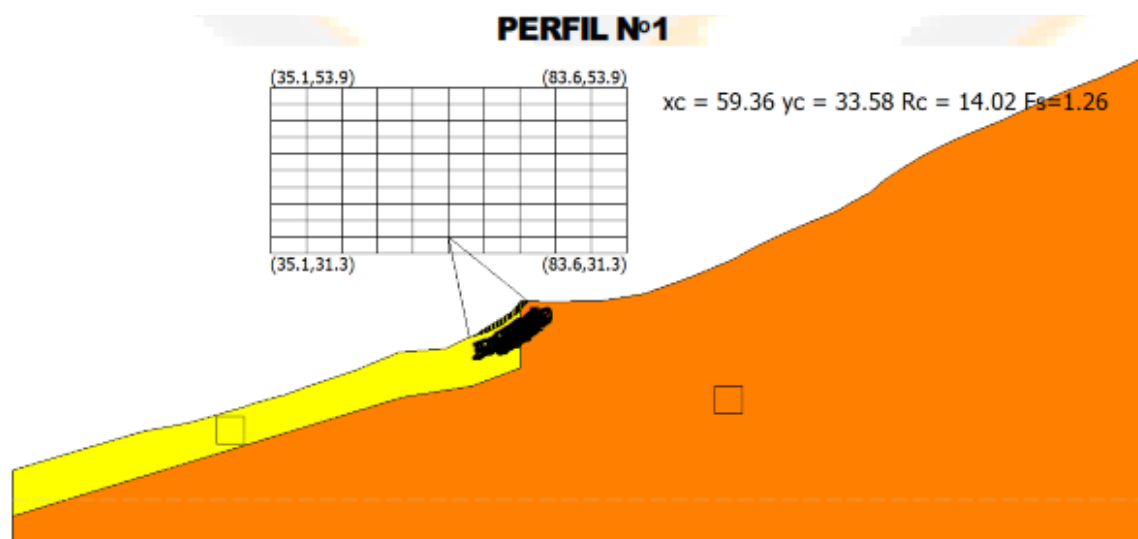


Figura 13. Perfil, condiciones estáticas

En condiciones estáticas, se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.26.



7. DIAGNÓSTICO

Se presenta inicialmente entre el PR19+590 y PR19+610 una fisura longitudinal de abertura mayor de 3mm y longitud de 20m, como una discontinuidad en la capa asfáltica en la misma dirección del tránsito, indicando la existencia de esfuerzos de tensión en las capas de la estructura que superan la resistencia del material afectado. Se presenta en el eje de la vía coincidiendo con el ancho de los carriles, indicando la junta de construcción en la zona de unión entre dos etapas de colocación del pavimento asfáltico. La fisura es la reflexión de grietas de las capas inferiores generadas por las tensiones por movimiento del talud inferior.

Simultáneamente, se identifica en el PR19+628 una fisura de forma parabólica, denominada de media luna, por causa del movimiento de la banca con presencia de hundimiento, esto debido a la ausencia de una obra de contención adecuada para estabilización de la banca, ya que solamente existe un muro de confinamiento. Adicionalmente, en esta misma abscisa se observa una reparación anterior de la carpeta asfáltica tipo parcheo, en la cual se refleja la fisura de media luna, por lo cual se deduce que la intervención no fue la adecuada o solamente paliativa, ya que no actúa sobre la causa principal que genera las lesiones.

En el seguimiento que se realizó al sitio de estudio, se observó que la fisura que se presentó en el eje de la vía entre el PR19+590 y PR19+610 evolucionó a una grieta de abertura de 8.00cm y aumentó su longitud a 28m, en el transcurso de una semana, evidenciando el movimiento del talud generando el aumento de tensiones y la mayor abertura.

Al realizar la inspección visual al tramo vial, se registra lesiones en las áreas aledañas al sector de la grieta del eje, las cuales se localizan en los carriles izquierdo y derecho, y se caracterizan por una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares reflejadas en la carpeta asfáltica por los esfuerzos de tracción en las capas inferiores, proyectándose como piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de cocodrilo con diámetro promedio menor de 30cm. La causa es por debilitamiento de las capas inferiores por la inestabilidad del talud y la deficiencia en el drenaje que afecta a los materiales granulares que conforman la estructura del pavimento, demostrando la afectación del agua de escorrentía proveniente de la ladera y vía.



Las fisuras piel de cocodrilo se clasifican de severidad alta, ya que presentan aberturas superiores a 3mm y los bloques irregulares se encuentran sueltos con bordes desgastados, estas lesiones se localizan en las abscisas PR 19+575 y PR19+582 sobre el carril derecho, y en los PR19+590 y PR19+630 en el carril izquierdo.

Las fisuras que se presentaron inicialmente en la capa de rodadura, están asociadas al movimiento de la ladera, en este caso el movimiento producido por la variación de las propiedades físico-mecánicas del suelo a causa de la infiltración del agua de escorrentía, que además de ser la causa del movimiento estaba produciendo pérdida de finos en el material de soporte de la estructura de pavimento incidiendo en las lesiones tipo fisura de media luna, hundimiento y piel de cocodrilo en las áreas adyacentes a la pérdida de banca.

Posteriormente, en el transcurso de cinco días se produce el movimiento del suelo del talud inferior por gravedad y por el accionar del agua de escorrentía ocasionando la disminución de las fuerzas que se oponen al movimiento generando el colapso súbito del muro de confinamiento y la banca en una longitud de 35m.

Dicho colapso ocasiona que la carpeta asfáltica no cuente con una base soporte, quedando en “voladizo”, por lo cual esta se desploma en un área de 32.3m correspondiente a una longitud de 15m y ancho promedio de 2.15m.

De acuerdo a la metodología empleada en la investigación del proceso patológico y con el fin de determinar la etiología de las lesiones presentes en el sitio crítico objeto de este estudio, podemos presentar los siguientes resultados:

- No se presenta ningún tipo de falla geológica que provoque movimientos masivos de suelo en el sitio ni en sus alrededores.
- No obedece a movimientos sísmicos.
- El deslizamiento tiene un estado de actividad Suspendido, teniendo en cuenta que estuvo activo durante los últimos periodos de alta precipitación pero que no se está moviendo en la actualidad
- No existe vegetación que pueda ocasionar algún tipo de problema a la construcción.
- No existen cuerpos de agua cercanos que pueden producir alguna modificación en las propiedades físico- mecánicas del suelo.



- No existen conducciones de acueducto o distritos de riego cercanos que pueden producir alguna modificación en las propiedades físico- mecánicas del suelo.
- No obedece a la existencia de aguas freáticas.
- De acuerdo con los resultados del laboratorio es posible predecir que el suelo no tiene problemas de licuación.
- Con los resultados obtenidos de los sondeos se puede predecir que el suelo en el lugar en estudio no tiene problemas de colapsabilidad.

Descrito lo anterior podemos profundizar en las causas que ocasionaron las lesiones manifestadas en el sitio crítico y concluir lo siguiente:

- De acuerdo a los sondeos realizados y los análisis de las muestras recuperadas, es claro que el comportamiento de los materiales del terreno es de naturaleza arcillosa (propio de los depósitos lacustres) y por lo tanto susceptible a generar planos de falla; la topografía de la zona también se constituye en una condición favorable para la inestabilidad del terreno y además hacia el talud superior se presenta una concavidad marcada por la ausencia de especies arbóreas, esta forma cóncava forma una zona de acumulación de agua proveniente de la cuenca aguas arriba del deslizamiento, generando una recarga hídrica bastante significativa para la ladera.
- Es posible concluir que la falla producida en el PR 19+600 de la vía Pasto - Mocoa es de tipo local; de acuerdo con los valores de N SPT obtenido de los cuatro sondeos realizados, fue posible notar que la masa de suelo que se está moviendo es de alrededor de 6.0 metros de espesor, producto del mal manejo de aguas de escorrentía que ha provocado el desprendimiento y transporte de partículas gruesas y finas en una matriz de agua y granos en forma de flujo saturado generando un deslizamiento traslacional del macizo el cual está produciendo cambios topográficos importantes.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el factor de seguridad del talud está entre 1.0 y 1.3, lo que indica un potencial alto de deslizamiento en la medida que un parámetro varíe. Para este caso el parámetro que ha variado es el agua debido a su mal manejo provocando cambios en las propiedades físico mecánicas del suelo producto de su infiltración.



- Como parte del aspecto antrópico, se determinó una deficiente intervención en la construcción de la carretera, debido a la ausencia de diseños completos; esto se observa en:
 - a) La ausencia de obras para manejo de aguas de escorrentía.
 - b) La ausencia de filtro longitudinal en la margen izquierda de la vía, al pie del talud superior, el cual podía ser conducido hasta la alcantarilla próxima.
 - c) La construcción de un muro sin capacidad estructural y que solo cumplía funciones de confinamiento para la estructura del pavimento, este elemento colapso de manera inmediata con el movimiento del talud.
 - d) La construcción de un subdren (Material granular drenante, tubería perforada y geotextil) en la margen derecha de la vía, que en contacto con el suelo influyó en la disminución de la resistencia del suelo produciendo la pérdida de la banca.

Detonantes:

La zona presenta gran volumen de precipitaciones anuales por encontrarse en la región andina y media en el lago Guamuez o laguna de la Cocha la cual se conecta fuertemente con la región Amazónica, y que especialmente en el periodo de enero a junio del año 2017 aumentaron en su duración, intensidad y frecuencia.

Se considera entonces, que las altas precipitaciones que tuvieron lugar en la zona previo al deslizamiento provocaron la saturación del suelo haciendo que por la concentración de partículas éste se comporte mecánicamente como un fluido y se desplace a gran distancia en dirección de la ladera.

Evolución:

Ampliación del proceso (aumento del área afectada), hundimiento y pérdida completa de la banca.



8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

8.1 MEDIDAS INMEDIATAS

Teniendo en cuenta que sector afectado hace parte de una carretera de operación, por lo que se debe garantizar el paso continuo del tráfico vehicular, se presentan unas medidas provisionales que garanticen la seguridad de los usuarios y mitiguen las acciones de la operación propia de la vía y de los fenómenos naturales

Después de un seguimiento continuo del paciente, se identificó que el movimiento del talud se detuvo y que el carril izquierdo de la vía es estable para el tránsito vehicular, pero es indispensable la ejecución de obras que garanticen la estabilidad del sector y se pueda recuperar la banca perdida.

Como medida de intervención inicial se recomendó la realización de un recubrimiento con mortero de la zona afectada del talud inferior, exactamente en la zona de soporte de la vía, esto con el fin de evitar los cambios de humedad en el suelo, minimizar los efectos erosivos del agua y evitar un avance de la perdida de la banca, esto como accionar inicial hasta la implementación de las soluciones definitivas.

Adicionalmente, la instalación de reductores de velocidad plásticos a 100 metros antes y después de la zona afectada, los cuales se ubicarán según el flujo vehicular, esto con el fin de alertar a los usuarios y se reduzcan las vibraciones por efecto de la velocidad de los vehículos en especial del transporte de carga.

8.2 MEDIDAS DE REHABILITACIÓN

8.2.1 Solución no definitiva para recuperación de la banca

8.2.1.1 Muro de contención en gaviones

Consiste en un muro en gaviones del tipo modulares prefabricados, de acuerdo con la clasificación de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14. La estructura se localiza por encima del plano de falla y consiste en un muro de 7.0m de altura en una longitud de 28m.

Este tipo de estructura es adecuado para garantizar rapidez en el proceso constructivo y absorber posibles deformaciones del suelo.

En este sentido, cabe resaltar que esta propuesta es para una recuperación rápida de la banca de la vía, hasta tanto sea posible la construcción de una estructura definitiva que de estabilidad al talud.

Las memorias de cálculo estructural, los planos de diseño y detalles constructivos se presentan en el **Anexo B**.

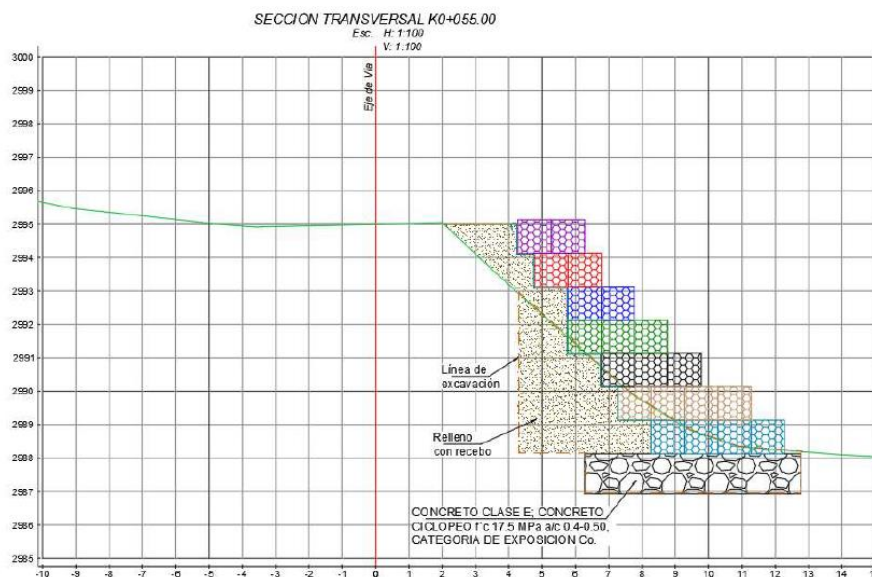


Figura 14. Sección típica muro en gaviones.
Fuente: de este estudio – 2017

8.2.2 Solución definitiva para estabilidad del talud

Dentro de las medidas para rehabilitar el sector vial y dar solución al problema de inestabilidad producido en la abscisa PR 19+600 por el inadecuado manejo de aguas en este sector, se proponen las siguientes intervenciones:

En el **Anexo C** se presenta la planta general y detalles de las obras que hacen parte de la solución definitiva para la estabilidad del talud.

8.2.2.1 Muro en concreto armado con cimentación profunda

Contempla la construcción de muros en concreto armado, con alturas que alcanzan 3.50 m y cubren una longitud de 36 m, cimentado sobre una línea de caissons de 1.20 metros de diámetro y 15 metros de largo.



El concreto empleado para la construcción de los caissons será de $f'c$ 250 Kgf/cm² de resistencia a la compresión a 28 días.

El concreto empleado para la construcción del muro será de $f'c$ 280 Kgf/cm² de resistencia a la compresión a 28 días.

El acero para refuerzo será grado 60 $f_y = 4200$ Kgf/cm²

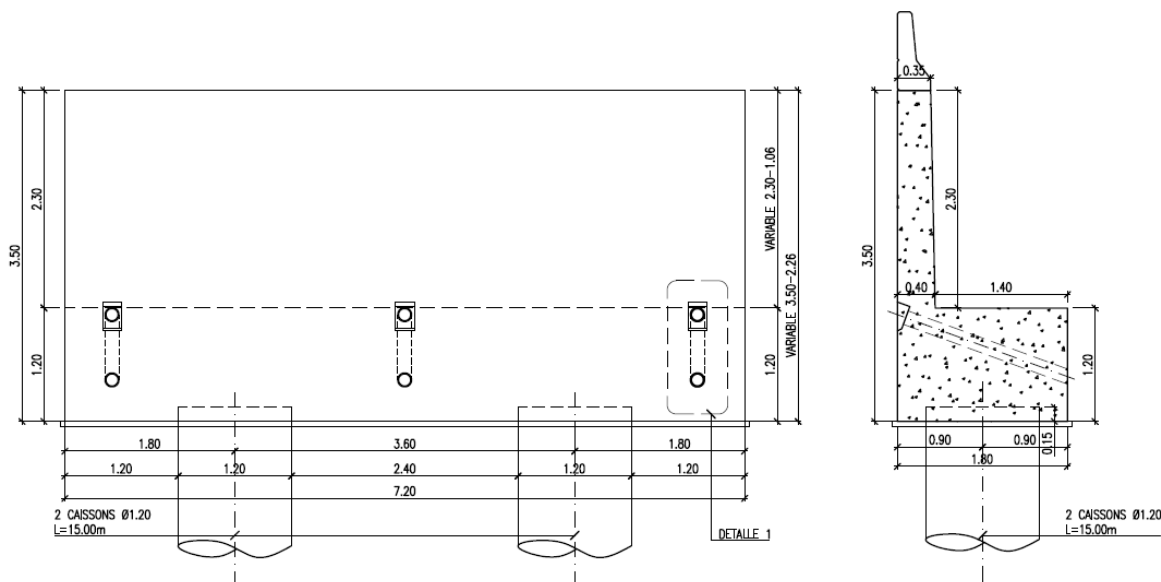


Figura 15. Alternativa No. 2. Muro en Concreto Armado sobre Caissons.

Fuente: de este estudio – 2017

El análisis geotécnico, las memorias del cálculo estructural, planos de diseño y detalles constructivos se presentan en el **Anexo D**.

8.2.2.2 Manejo de aguas de escorrentía

Zanjas de coronación

Con el propósito de evitar la infiltración del agua meteórica al cuerpo del talud, construir zanjas de coronación en la parte superior del talud superior (margen izquierda - sentido Pasto-Mocoa), siguiendo las curvas de nivel con su debida pendiente y terminar en un dissipador, el agua recolectada en las zanjas de coronación se entrega a la alcantarilla existente en este sector.

Las dimensiones de la zanja pueden variar de acuerdo a la topografía, pero como mínimo se tendrán las siguientes dimensiones: sección transversal trapezoidal con base de 0.50 m, altura



igual a 0.50 m y taludes laterales 1V:0.60H. Se construirán con geomembrana PVC flexible de 0.75 mm como impermeabilizante y revestidas mediante sacos de bolsa-tierra

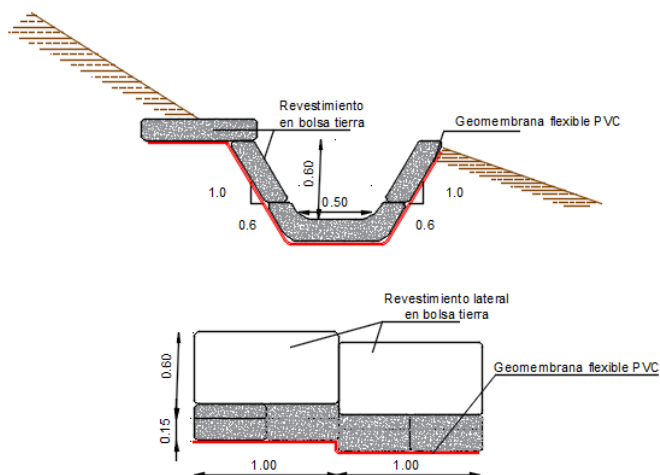


Figura 16. Zanja de coronación en bolsa-tierra
Fuente: de este estudio - 2017

Los planos de localización y detalles constructivos se presentan en el **Anexo C**.

Recomendación: por lo menos una vez al año las zanjas de coronación deben ser inspeccionadas, revisando su funcionalidad y estado de impermeabilización, de esta manera determinar las actividades de mantenimiento.

Disipador de energía

Construcción de un disipador de energía al descole de la alcantarilla ubicada en este sector, con el fin de evitar las altas presiones y velocidades que puedan causar erosión al talud.

Las dimensiones del disipador de energía pueden variar de acuerdo a la topografía, pero como mínimo tendrá las siguientes dimensiones: sección transversal trapezoidal con base de 0.50 m, altura igual a 0.50 m y taludes laterales 1V:0.60H. Se construirán con geomembrana PVC flexible de 0.75 mm como impermeabilizante y revestidas mediante sacos de bolsa-tierra

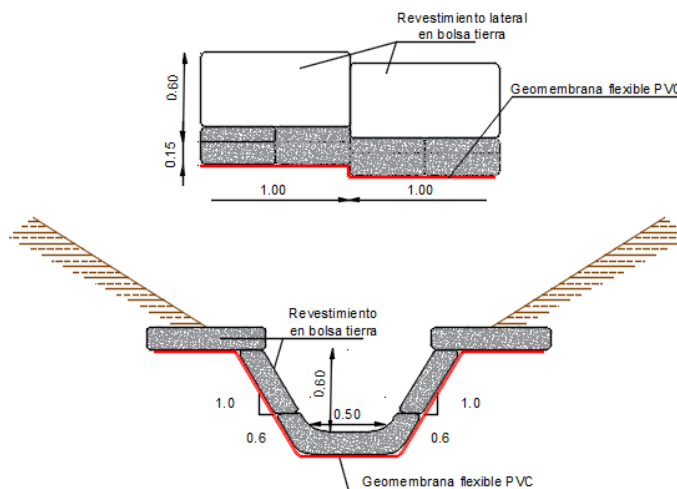


Figura 17. Disipador de energía en bolsa-tierra
Fuente: de este estudio - 2017

Los planos de localización y detalles constructivos se presentan en el **Anexo C**.

Recomendación: por lo menos una vez al año el disipador de energía debe ser inspeccionadas, revisando su funcionalidad y estado de impermeabilización, de esta manera determinar las actividades de mantenimiento.

Filtro longitudinal

Construcción de filtro longitudinal en la margen izquierda, con el fin de filtrar, captar, conducir y evacuar controladamente los flujos de agua provenientes del talud superior hacia la alcantarilla existente en el sector, evitando que esta ingrese a la estructura de pavimento y luego hacia el talud inferior.

Las dimensiones del filtro serán de 0.60 m de ancho y 1.0 m de alto, será del tipo francés, constituido por geotextil no tejido, tubería perforada PVC de 6" de diámetro y material granular drenante.

Los planos de localización y detalles constructivos se presentan en el **Anexo C**.

8.2.2.3 Solución de mitigación para la erosión

Como solución se propone la construcción de trinchos de tal manera que los bastidores verticales sean conformados con pilotes de madera inmunizada de diámetro mínimo 0.18 m y de



3 a 5 metros de longitud separados centro a centro 1.20 metros, los bastidores horizontales serán en guadua inmunizada; el entramado debe ir un metro por encima del nivel del suelo natural.

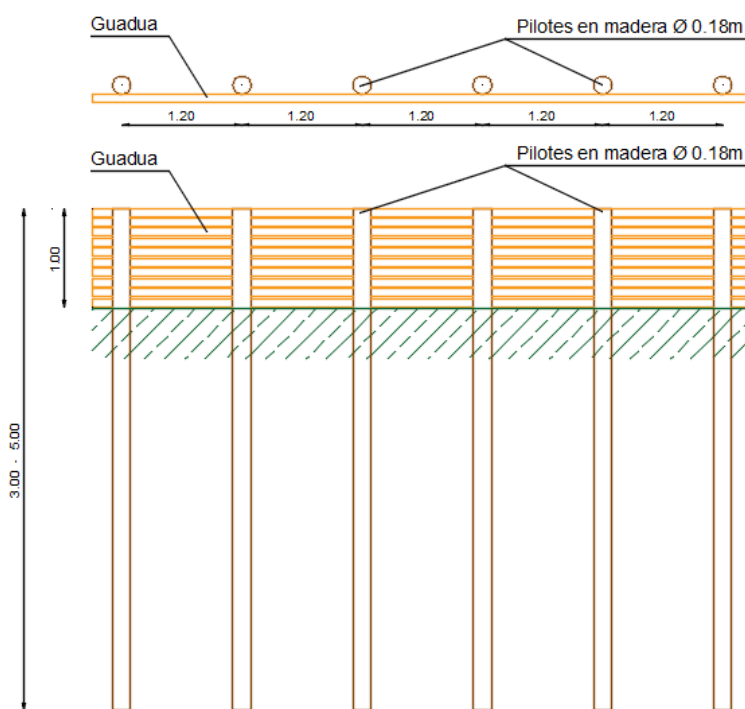


Figura 18. Trinchos para mitigación de erosión
Fuente: de este estudio – 2017

Los planos de localización y detalles constructivos se presentan en el **Anexo C**.

8.2.2.4 Relleno para recuperación de la banca

Luego de realizar la construcción del muro en concreto armado con cimentación profunda, se procederá a realizar el relleno para recuperación de la banca hasta la cota de subrasante.

La actividad se desarrollará de acuerdo a la siguiente descripción la cual corresponde a su vez a la figura 14.

1. Geodren vial y planar tipo pavco con tubería colectora de 100mm (4") de diámetro o equivalente.
2. Tubería pasante de 150 mm (6") de diámetro cada 3m.
3. El material de relleno a trazados, así como su colocación en capas, humedecimiento o secamiento, conformación y compactación deberán cumplir con los requisitos señalados en el art 610 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013.



4. El sistema de drenaje del trasdos de los muros desaguara hacia la alcantarilla existente

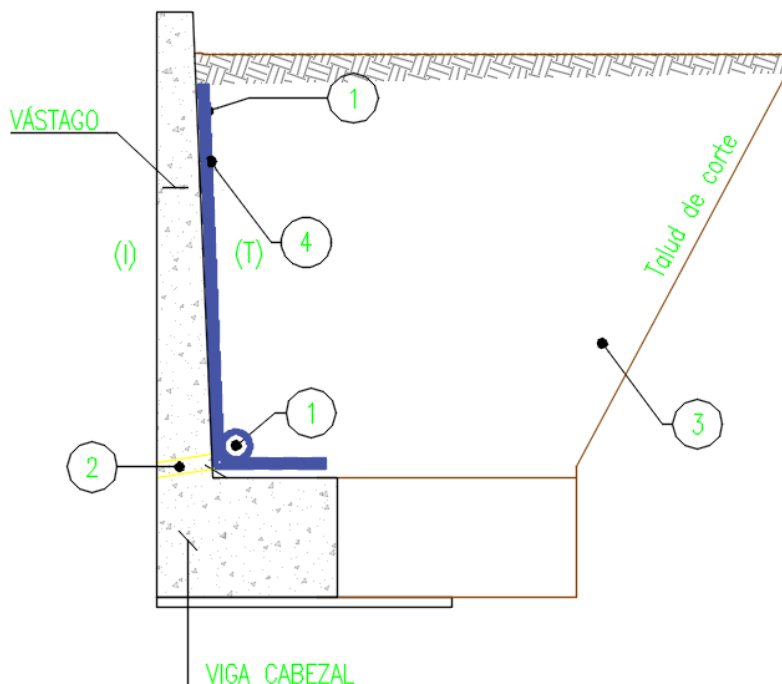


Figura 19. Detalle del relleno para recuperación de la banca
Fuente: de este estudio – 2017

8.2.2.5 Rehabilitación de pavimento

Para la ejecución de las siguientes actividades se tomará en cuenta las secciones, espesores y todas las características de la estructura y elementos existentes.

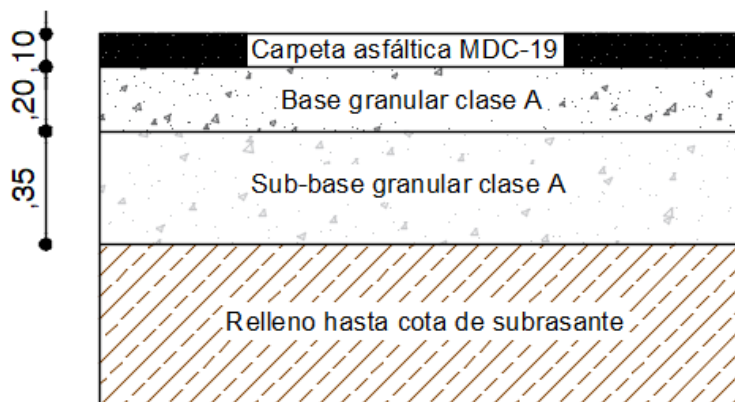


Figura 20. Detalle estructura de pavimento existente
Fuente: de este estudio – 2017



Estructura de pavimento con sub-base y base granular.

La capa de sub-base granular tendrá un espesor de 0.35 m y la capa de base granular un espesor de 0.20 m.

Los materiales empleados, así como la colocación, humedecimiento o aireación, extensión y conformación, compactación y terminado deberán cumplir con los requisitos señalados en los art 320 para sub-base granular y 330 para base granular de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013.

Suministro e instalación de mezcla asfáltica en caliente MDC -19.

La carpeta asfáltica tendrá un espesor de 0.10 m y consiste en una mezcla densa en caliente.

Los materiales empleados, así como la elaboración, transporte, colocación y compactación de la mezcla asfáltica deberán cumplir con los requisitos señalados en el art 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013.

Reposición de cunetas en concreto hidráulico

Las cunetas tendrán un espesor promedio de 0.15 m y un ancho de 0.75 m.

Los materiales empleados, así como la elaboración, transporte, colocación y compactación de concreto clase F ($f'c$ 140 Kg/cm² de resistencia a la compresión a 28 días) deberán cumplir con los requisitos señalados en el art 671 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013

Señalización horizontal con pintura y tachas reflectivas.

La señalización horizontal existente en la zona de estudio consiste en línea continua doble central en color amarillo y líneas a cada margen en color blanco; el tipo de pintura es de aplicación en frío.

Los materiales empleados, así como el suministro, almacenamiento, transporte y aplicación deberán cumplir con los requisitos señalados en el art 700 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013.

Las tachas reflectivas estarán distanciadas a 3.0 m.



Los materiales empleados, así como el suministro, almacenamiento, transporte y colocación de tachas reflectivas en la superficie de pavimento, utilizando adhesivos adecuados para que resistan el tránsito automotor sin desprenderse, deberán cumplir con los requisitos señalados en el art 701 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013.

8.2.2.6 Solución lesiones puntuales en el pavimento

Para la intervención de las lesiones tipo fisura: media luna, piel de cocodrilo y parcheo, clasificadas con severidad alta, la alternativa es la reconstrucción del pavimento con material similar al original, en este caso mezcla densa en caliente MDC-19 para la capa de rodadura con espesor de 10cm, sub-base granular de 35cm, base de 20cm. La actividad se debe realizar tipo bacheo según especificaciones INVIAS – Artículo 450.4.13.

El tratamiento consiste en la intervención del área del pavimento para corregir defecto relacionado con el deterioro estructural, abarcando la capa asfáltica y las capas granulares para lograr un apoyo firme.

Las excavaciones para la reparación se realizarán según especificación INVIAS Art. 465, instalación de capa de sub-base Art 320, capa de base Art 330 y la mezcla asfáltica Art 450.

Esta técnica de reconstrucción da lugar a una nueva superficie de rodamiento, adecuada a las necesidades funcionales, estructurales y de durabilidad del pavimento.

Se considera la reconstrucción como la alternativa más adecuada de intervención para este tipo de lesiones, ya que la estructura del pavimento existente está agotada, considerando que no tiene vida residual y presenta un deterioro sintomático de existencia de deformación permanente atribuible a la falla de las capas granulares por el accionar del agua ocasionado la pérdida de material fino incrementando las tensiones internas.



9. PRESUPUESTO ESTIMADO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS

Esta sección del documento contiene los costos estimados de las intervenciones propuestas, de tal manera que se presentara dos presupuestos, el primero para la solución no definitiva que es un **muro de contención en gaviones** y el segundo para la solución definitiva la cual incluye las siguientes obras: **muro en concreto armado con cimentación profunda**; para el manejo de aguas de escorrentía **Zanjas de coronación, dissipador de energía, filtro longitudinal, Trinchos para mitigación de la erosión**; para la rehabilitación del pavimento se contempla **relleno para recuperación banca, estructura de pavimento con sub-base y base granular, Suministro e instalación de mezcla asfáltica en caliente MDC -19, Reposición de cunetas en concreto hidráulico, Señalización horizontal con pintura y tachas reflectivas y la solución para las lesiones puntuales en el pavimento**

Los presupuestos estimados se presentan en el **Anexo F**.



10. CONCLUSIONES

Durante la primera fase del estudio consistente en identificar la sintomatología del paciente, se detectó lesiones en los taludes que conforman la vía, manifestados en escarpes, grietas de tensión, deslizamiento y erosión, adicionalmente fisuras en la carpeta asfáltica del pavimento y finalmente, se presentó el súbito deslizamiento del talud inferior, que causó la pérdida de la banca, colapso de la estructura de pavimento y un desprendimiento de la carpeta asfáltica del carril derecho de la carretera.

De acuerdo a lo investigado y al análisis de la información obtenida se determina que dentro de las posibles causas que generaron las lesiones no corresponden a la geología regional ni local, sismicidad, vegetación, cuerpos de agua, sistemas de conducción de agua, nivel freático, problemas de licuación ni de colapsabilidad del suelo.

Del seguimiento que se realizó al movimiento mediante chequeos periódicos con topografía se pudo determinar que el deslizamiento tiene un estado de actividad suspendido, teniendo en cuenta que estuvo activo durante los últimos periodos de alta precipitación pero que no se está moviendo en la actualidad.

Determinado el diagnóstico y las causas que ocasionaron los daños que presenta el sector vial, se concluye que las fisuras que se presentaron inicialmente en la capa de rodadura, la posterior aparición de grietas y pérdida de banca están asociadas al movimiento de la ladera, el cual es de tipo traslacional con superficie de falla que sobrepasa los 6 metros de profundidad, el detonante del movimiento fueron las altas precipitaciones presentadas en el periodo de enero a junio del año 2017 y la causa principal fue el inexistente manejo de aguas de escorrentía aunado a esto la naturaleza arcillosa del suelo como causa inherente y como causa contribuyente uuna marcada concavidad en el talud superior, la cual forma una zona de acumulación de agua generando una recarga hídrica bastante significativa para la ladera.

Las causas antrópicas son determinantes en este tipo de procesos patológicos, en el caso de este estudio debido a la intervención inadecuada en la ladera, donde las actividades de construcción de la carretera no obedecían a estudios de ingeniería, no contaban con las obras necesarias para



estabilización y manejo de aguas de escorrentía, sumado a esto la deforestación y el uso del suelo como zona de pastoreo, hizo al terreno susceptible a la infiltración y procesos de erosión

Con el fin de proyectar una obra de bajo costo, rapidez constructiva y que pueda absorber posibles deformaciones del suelo, se propone una solución no definitiva que consiste en un muro en gaviones para recuperación de la banca, que garantice seguridad y transitabilidad, además que minimice la evolución del proceso patológico que en el peor de los casos puede inhabilitar la carretera por la pérdida total de la banca.

La propuesta definitiva para rehabilitación del paciente, consiste en la construcción de un muro en concreto reforzado cimentado sobre caissons, la estructura garantiza la estabilidad del talud ya que su cimentación atraviesa la superficie de falla y como medidas de control del agua de escorrentía se propuso la construcción de zanja de coronación en el talud superior, para evitar en lo mínimo el paso del agua por el mismo, el caudal captado se entrega a la alcantarilla existente en la zona, para el descole de la alcantarilla se plantea la construcción de un dissipador de energía el cual evita problemas de erosión en el talud inferior; para la captación del agua de infiltración en el talud superior se proyecta una obra de drenaje sub-superficial consistente en un dren longitudinal que desagüa a la alcantarilla existente; para la mitigación de la erosión en el talud inferior se plantea la construcción de trinchos en madera y guadua. Finalmente se debe realizar la rehabilitación del paciente con la reconstrucción de la estructura de pavimento, consistente en sub-base granular, base granular, carpeta asfáltica y cunetas.

La finalidad del estudio patológico realizado es atacar las causas de origen para detener el proceso patológico y asegurar su estabilidad en el tiempo claro está con el mantenimiento adecuado de las obras propuestas.

.



BIBLIOGRAFÍA

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica) Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, 2014, Bogotá D.C

BOWLES, Jhoseph E. (1981). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil.

FLEXOTOP. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS Y CAUCHO ESPECIAL PARA SELLADO DE PAVIMENTOS. (2013). Sellado de fisuras y relleno de juntas. Consejos prácticos 2da edición. 16p.

INVIAS. (octubre de 2006). Manual para la inspección visual para pavimentos flexibles. Bogotá D.C. 56p.

INVIAS. (octubre de 2006). Manual para la inspección visual de obras de estabilización. Bogotá D.C. 34p.

INVIAS. (diciembre de 2006). Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C. 538p.

INVIAS. Ministerio de Transporte. (2014). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – INGEOMINAS 1991. Geología de la plancha 429 Pasto memoria explicativa.

SUAREZ DIAZ, Jaime (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

SUARES DIAZ, Jaime (2001). Control de Erosión en suelos tropicales. Bucaramanga – Colombia.



WEBGRAFÍA

<http://www.estudiosgeotecnicos.info>

<http://www.erosion.com.co>

<http://www.fernandeztadeo.com>

<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>

<https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos>

<http://www.pasto.gov.co>

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Paginas/boletines-sismicidad.aspx>