

PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD UBICADO EN LA VÍA  
QUE COMUNICA EL MUNICIPIO DE GUADUAS CON EL MUNICIPIO DE  
VILLETA PR 44+950 EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

LAURA DAYANNA GONZÁLEZ MATURANA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA

2014

PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD UBICADO EN LA VÍA  
QUE COMUNICA EL MUNICIPIO DE GUADUAS CON EL MUNICIPIO DE  
VILLETA PR 44+950 EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

LAURA DAYANNA GONZÁLEZ MATURANA

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Geotecnia

DIRECTORA

Ing, MSc. LUZ MARINA TORRADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA

2014

## AGRADECIMIENTO

A Dios por nunca haberme soltado de su mano, y sujetarme más fuerte cuando subo un escalón sin importar que viene adelante; al ángel que él envió hace 29 años para hacer su obra y entregarme más del amor que puede dar un ser humano, Mi amada Madre Janeth Elvira Maturana; a mi hijo Juan Diego Mora González, a quien aún no encuentro palabras para describir el sentido y el color que cada día le da a mis días.

A mi Directora, colega y compañera La Ingeniera Luz Marina Torrado Gómez por su dinamismo, energía, academia y por recordarme que la vida es muy sencilla, se complica cuando el ser humano la quiera complicar.

Finalmente al cuerpo profesional por compartir sus conocimientos sin poner restricción alguna y a los detrás de cámara que de una u otra manera facilitaron el llegar a esta nueva meta y me ayudaron a la hora de superar aquellos imprevistos causados por tiempo o dinero.

*DEDICATORIA*

*A la única persona que lo volvería a dar todo por mi, MI AMADA MADRE,  
y a mi pequeño hijo quien espero con ayuda de Dios ver con canas y algún  
día leyendo este proyecto.*

*Los amo.*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>14</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
<b>2. JUSTIFICACION .....</b>	<b>19</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>4. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>21</b>
4.1. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS .....	21
4.1.1. Suelos transportados .....	22
4.1.2. Suelos no transportados .....	23
4.2. TIPOS DE MOVIMIENTOS.....	24
4.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	32
4.3.1. Principales métodos de dovelas.....	33
4.3.2. Conclusiones de los métodos de dovelas .....	34
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....</b>	<b>37</b>
6.1. LOCALIZACION .....	37
6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO EN ESTUDIO .....	39
6.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	44
6.3.1. Equipos Utilizados .....	44
6.3.2. Descripción levantamiento topográfico.....	45

6.4. GEOLOGIA REGIONAL.....	46
6.4.1. Formación Seca (KPGs) .....	47
6.4.2. Unidades Geológicas Superficiales.....	48
6.4.3. Factores Considerados para Caracterizar las Unidades de Suelo .....	50
6.4.4. Unidades de Suelo Transportado.....	52
6.4.5. Unidad de Suelos Residuales .....	53
6.4.6. Unidades de las Rocas Blandas de la Formación Seca .....	54
6.5. GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR .....	55
6.5.1. Pendientes del Sector.....	56
6.6. EXPLORACION GEOTECNICA.....	57
6.6.1. Investigaciones preliminares .....	57
6.6.2. Exploración del subsuelo .....	57
6.6.3. Registro Fotográfico de los Sondeos .....	59
6.7. ENSAYOS GEOFISICOS .....	61
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
7.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.....	65
7.2. EXPLORACION GEOTECNICA.....	77
7.2.1. Perfil Geotécnico Típico .....	82
7.3. ENSAYOS GEOFISICOS .....	85
7.3.1. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1 .....	85
7.3.2. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2.....	85
7.3.3. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3.....	86
7.4. DIAGNOSTICO.....	89
7.5. PARAMETROS GEOTECNICOS.....	91
7.5.1. Resumen ensayo SPT .....	91
7.5.2. Clasificación de los suelos .....	91

7.5.3. Análisis de los parámetros básicos .....	92
7.5.4. Resultados de los parámetros para el diseño de las obras .....	97
7.6. PARÁMETROS SÍSMICOS .....	97
7.6.1. Requerimientos Amenaza Sísmica NSR-10.....	97
7.6.2. Coeficiente Seudoestatico .....	98
7.7. DISEÑO DE LOS PILOTES .....	98
7.7.1. Capacidad de soporte utilizando el programa ALLPILE .....	101
7.8. DISEÑO DE LOS ANCLAJES PRETENSIONADOS.....	104
7.8.1. Dimensionamiento de los Anclajes .....	104
7.9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS .....	106
7.9.1. Propiedades del suelo .....	106
7.9.2. Factores de seguridad mínimos .....	107
7.9.3. Resultados de los análisis de estabilidad.....	107
7.9.4. Conclusiones de los análisis de estabilidad .....	112
7.10. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PROPUESTAS.....	112
7.10.1. Alternativa 1 (Pantalla de pilotes).....	112
7.10.2. Alternativa 2 (Anclajes pretensionados) .....	116
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
8.1. conclusiones generales .....	121
8.2. Análisis de alternativas .....	121
8.3. Recomendaciones .....	123
<b>9. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>124</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>126</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>FIGURA 1. VISTA GENERAL VÍA VILLETA - GUADUAS.....</b>	17
<b>FIGURA 2. MECANISMOS DE DESPRENDIMIENTO Y COLAPSO.....</b>	25
<b>FIGURA 3. MECANISMOS DE VUELCO.....</b>	26
<b>FIGURA 4. TIPOS DE DESLIZAMIENTO.....</b>	27
<b>FIGURA 5. MOVIMIENTOS DE FLUJO.....</b>	29
<b>FIGURA 6. SISTEMAS DE FUERZAS ACTUANTES SOBRE UNA DOVELA.....</b>	33
<b>FIGURA 7. LOCALIZACIÓN GENERAL.....</b>	37
<b>FIGURA 8. LOCALIZACIÓN LOCAL.....</b>	38
<b>FIGURA 9. GEOLOGÍA SECTOR EN ESTUDIO.....</b>	47
<b>FIGURA 10. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES.....</b>	55
<b>FIGURA 11. PERSPECTIVA DE LA GEOFORMA DONDE SE LOCALIZA EL SECTOR DEL PR 44 + 950.....</b>	56
<b>FIGURA 12. VISTA DEL TERRENO, MODELO DIGITAL PR 44 + 950.....</b>	56
<b>FIGURA 13. LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS.....</b>	58
<b>FIGURA 14. CONFIGURACIÓN ELECTRODICA TIPO SCHLUMBERGER.....</b>	62
<b>FIGURA 15. PERFIL TOPOGRÁFICO.....</b>	76
<b>FIGURA 16. PLANTA TOPOGRÁFICA SECTOR PR 44 + 950.....</b>	77
<b>FIGURA 17. PERFIL GEOTÉCNICO TÍPICO SONDEO NO. 1.....</b>	83
<b>FIGURA 18. PERFIL GEOTÉCNICO TÍPICO SONDEO NO. 3.....</b>	84
<b>FIGURA 19. MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO.....</b>	90
<b>FIGURA 20. CORRELACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN EFECTIVA EN FUNCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO, LA DENSIDAD RELATIVA Y PESO UNITARIO.....</b>	93
<b>FIGURA 21. ANÁLISIS LATERAL DEL PILOTE DE 1.0 METRO DE DIÁMETRO Y DE 25.0 METROS DE LONGITUD.....</b>	101
<b>FIGURA 22. DIAGRAMA DE MOMENTOS Y DEFLEXIONES.....</b>	102
<b>FIGURA 23. DEFLEXIÓN VS. CARGA.....</b>	102
<b>FIGURA 24. CROQUIS DE UN ANCLAJE.....</b>	104
<b>FIGURA 25. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO, CONDICIONES ACTUALES.....</b>	108
<b>FIGURA 26. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DINÁMICO, CONDICIONES ACTUALES.....</b>	108
<b>FIGURA 27. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO, ALTERNATIVA 1.....</b>	109
<b>FIGURA 28. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DINÁMICO, ALTERNATIVA 1.....</b>	110
<b>FIGURA 29. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO, ALTERNATIVA 2.....</b>	110
<b>FIGURA 30. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DINÁMICO, ALTERNATIVA 2.....</b>	111
<b>FIGURA 31. PLANTA DE OBRAS ALTERNATIVA 1.....</b>	113
<b>FIGURA 32. PERFIL DE OBRAS ALTERNATIVA 1.....</b>	113
<b>FIGURA 33. DETALLE DE PILOTES.....</b>	114
<b>FIGURA 34. DETALLE DEL CANAL EN SUELO-CEMENTO.....</b>	114
<b>FIGURA 35. DETALLE DE LOS SUBDRENEOS DE PENETRACIÓN HORIZONTAL.....</b>	114

**FIGURA 36. PLANTA DE OBRAS ALTERNATIVA 2. .... 117**  
**FIGURA 37. PERFIL DE OBRAS ALTERNATIVA 2. .... 118**  
**FIGURA 38. DETALLE DE ANCLAJES..... 118**  
**FIGURA 39. DETALLE DEL CANAL EN SACOS DE SUELO-CEMENTO ..... 119**  
**FIGURA 40. DETALLE DE LOS SUBDRENES DE PENETRACIÓN HORIZONTAL.... 119**

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. CLASIFICACIÓN GENÉTICA DE LAS UNIDADES DE SUELO.....	51
TABLA 2. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES.....	51
TABLA 3. CARTERA TOPOGRÁFICA.....	65
TABLA 4. REGISTRO DE GOLPES ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SONDEO NO. 1.....	77
TABLA 5. REGISTRO DE PERFORACIÓN Y PERFIL GEOTÉCNICO SONDEO NO. 2	79
TABLA 6. REGISTRO DE GOLPES ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SONDEO NO. 3.....	80
TABLA 7. REGISTRO DE PERFORACIÓN Y PERFIL GEOTÉCNICO SONDEO NO. 4	81
TABLA 8. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-1.....	86
TABLA 9. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-1.....	87
TABLA 10. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-2.....	87
TABLA 11. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-2.....	88
TABLA 12. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-3.....	88
TABLA 13. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-3.....	89
TABLA 14. RESUMEN NSPT.....	91
TABLA 15. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS. HUNT, 1984, EN IGME, 1987.....	93
TABLA 16. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS. HUNT, 1984, EN IGME, 1987.....	94
TABLA 17. CORRELACIONES ENTRE LOS RESULTADOS SPT Y CPT Y ÁNGULO DE FRICCIÓN DE SUELOS NO COHESIVOS.....	94
TABLA 18. ÁNGULO DE FRICCIÓN DE SUELOS NO COHESIVOS (A) DEL SPT NO CORREGIDA N-VALORES (MODIFICADA DESPUÉS DE PECK, HANSON Y THORNBURN, 1974) Y (B) COMO UNA FUNCIÓN DE NORMALIZA DE OVERBURDEN (MODIFICADO DESPUÉS SCHMERTMANN, 1975).....	95
TABLA 19. PARÁMETROS GENERALES DE LOS SUELOS ARENOSOS.....	95
TABLA 20. PARÁMETROS GENERALES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS.....	96
TABLA 21. COEFICIENTE DE BALASTO (K) VS. $N_{SPT}$ PARA ARENAS.....	96
TABLA 22. COEFICIENTE DE BALASTO (K) Y DEFORMACIÓN DEL SUELO (E50) VS. $N_{SPT}$ PARA ARCILLAS.....	96
TABLA 23. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.....	97
TABLA 24. ACELERACIÓN HORIZONTAL PICO EFECTIVO EN ROCA (AA) Y VELOCIDAD HORIZONTAL PICO EFECTIVO (AV).....	97
TABLA 25. VALORES DE $K_{ST} / A_{MAX}$ .....	98
TABLA 26. CAPACIDAD DE SOPORTE DE TRABAJO PARA EL PILOTE.....	101
TABLA 27. CROQUIS DE UN ANCLAJE.....	105
TABLA 28. RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE ANCLAJES.....	105
TABLA 29. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	106

<b>TABLA 30. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS.....</b>	<b>107</b>
<b>TABLA 31. RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS PARA LAS CONDICIONES ACTUALES. ....</b>	<b>109</b>
<b>TABLA 32. RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS PARA LAS ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN. ....</b>	<b>111</b>
<b>TABLA 33. CANTIDADES Y PRESUPUESTO APROXIMADO ALTERNATIVA 1 .....</b>	<b>116</b>
<b>TABLA 34. CANTIDADES Y PRESUPUESTO APROXIMADO ALTERNATIVA 2 .....</b>	<b>120</b>
<b>TABLA 35. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>122</b>
<b>TABLA 36. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....</b>	<b>124</b>
<b>TABLA 37. RELACIÓN DE PLANOS .....</b>	<b>147</b>

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
<b>FOTOGRAFÍA 1. PANORÁMICA SECTOR PR 44 + 950 .....</b>	<b>18</b>
<b>FOTOGRAFÍA 2. PANORÁMICA SECTOR PR 44 + 950 .....</b>	<b>39</b>
<b>FOTOGRAFÍA 3. TALUD SUPERIOR.....</b>	<b>40</b>
<b>FOTOGRAFÍA 4. MURO EN GAVIONES EN EL TALUD INFERIOR.....</b>	<b>42</b>
<b>FOTOGRAFÍA 5. FALLO EN LA VÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>FOTOGRAFÍA 6. ESTACIÓN TOTAL TOPCON 236W .....</b>	<b>45</b>
<b>FOTOGRAFÍA 7. LOCALIZACIÓN DELTA 4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....</b>	<b>45</b>
<b>FOTOGRAFÍA 8. LOCALIZACIÓN DELTA 5 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....</b>	<b>46</b>
<b>FOTOGRAFÍA 9. DEPÓSITO DE SUELO COLUVIALES .....</b>	<b>53</b>
<b>FOTOGRAFÍA 10. TRANSICIÓN ROCA MUY METEORIZADA A SUELOS RESIDUALES .....</b>	<b>54</b>
<b>FOTOGRAFÍA 11. ROCAS EXISTENTES EN EL SECTOR, EXTRAÍDAS DE LA PERFORACIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>FOTOGRAFÍA 12. DETALLE DE SONDEO NO. 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>FOTOGRAFÍA 13. DETALLE DE SONDEO NO. 2 .....</b>	<b>59</b>
<b>FOTOGRAFÍA 14. DETALLE DE SONDEO NO. 3 .....</b>	<b>60</b>
<b>FOTOGRAFÍA 15. DETALLE DE REVESTIMIENTO SONDEO NO. 4.....</b>	<b>60</b>
<b>FOTOGRAFÍA 16. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-1.....</b>	<b>63</b>
<b>FOTOGRAFÍA 17. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-2.....</b>	<b>63</b>
<b>FOTOGRAFÍA 18. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-3.....</b>	<b>64</b>
<b>FOTOGRAFÍA 19. DETALLE DE RECUPERACIÓN DE MUESTRA .....</b>	<b>82</b>

**LISTADO DE ANEXOS**

**Pág.**

**ANEXOS..... 126**

**ANEXO A. ENSAYOS DE LABORATORIO..... 126**

**ANEXO B. RELACIÓN DE PLANOS ..... 147**

## RESUMEN

**TITULO:** PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD UBICADO EN LA VÍA QUE COMUNICA EL MUNICIPIO DE GUADUAS CON EL MUNICIPIO DE VILLETA PR 44+950 EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.\*

**AUTOR:** LAURA DAYANNA GONZÁLEZ MATURANA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Estabilización, vía, geología.

**CONTENIDO:** En un mundo como el nuestro donde la globalización afecta cada una de nuestras esferas de vida y la competitividad se hace necesaria para no ser marginado, surgen paralelamente situaciones en las que debemos crear y mejorar las condiciones, pero esto no se limita al campo social, ni económico, por el contrario su base se encuentra en las posibilidades de comunicación, a través de vías seguras y accequibles que permitan unir e integrar nuestras regiones. Es así como hoy nos enfrentamos a un reto de gran importancia para nuestra Nación, el cual consiste en crear opciones viables que permitan la estabilización de la vía que permitirá no la comunicación entre dos municipios, sino la comunicación entre un país, pues de esta vía, se desprende la posibilidad de acceder a muchas otras regiones y en consecuencia a sus ofertas de productos que permiten la consolidación del tan anhelado progreso. Con la realización de este trabajo (que en principio es solo la elaboración teórica, pero que busca se pueda materializar), buscamos conocer y entender el comportamiento geotécnico de este tramo vial, analizando las afectaciones actuales de la zona y presentando alternativas de cambio que permitan el funcionamiento en condiciones adecuadas de la Vía Villeta – Guaduas, permitiendo el control de los problemas inherentes de la zona mejorando las condiciones de transporte y en consecuencia las condiciones sociales y económicas de nuestros compatriotas.

---

\*Trabajo de grado de Aplicación

\*\*Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.

Director (I.C.,M.Sc.) Luz Marina Torrado Gómez

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSED STABILIZATION OF THE SLOPE LOCATED IN THE VIA CONNECTING THE MUNICIPALITIES OF GUADUAS AND VILLETA PR 44 +950 IN THE DEPARTMENT OF CUNDINAMARCA\*

**AUTHOR:** LAURA DAYANNA GONZÁLEZ MATURANA\*\*

**KEYWORDS:** Stabilization, road, geology.

**CONTENTS:** In a world like ours where globalization affects each of our areas of life and competitiveness is necessary not to be marginalized, parallel situations in which we create and improve conditions arise, but this is not limited to the social field, nor the economic one, on the contrary, it is based on the possibilities of communication through secure and accessible routes to unite and integrate our regions. Thus today we face a major challenge for our nation; which is to create viable options to stabilize the means whereby there will be communication not only between two municipalities, but the communication within our whole nation, because this pathway shows the ability to access many other regions and consequently their product offerings that enable the consolidation of long-awaited progress. With the completion of this work ( which in principle is only theoretical elaboration, but looking to be materialized), we seek to know and understand the geotechnical behavior of this road stretch, analyzing current affectations of the area and presenting alternatives that allow exchange suitable operation conditions of the via Villeta - Guaduas, allowing control of the inherent problems in the area improving transport conditions and consequently the social and economic conditions of our countrymen.

---

\*Grade Work Application

\*\*Faculty of Physical – Mechanical Engineering. Civil Engineer School  
Director (I.C.,M.Sc.) Luz Marina Torrado Gómez

## INTRODUCCION

La Ingeniería civil, como profesión nos ofrece la oportunidad de enfrentarnos de manera permanente a nuevos retos, máxime en nuestro país, donde la diversidad natural nos permite encontrar situaciones que ponen a prueba nuestros conocimientos y nos obligan a crear soluciones a las condiciones de terrenos que se nos presenten, enfatizando que el realizar correctamente nuestro trabajo puede permitir que la vida de muchas personas mejore de manera significativa.

El proyecto que se presenta no trata de un problema nuevo y no es esa mi intención, pues los problemas ya existen, lo que planteo en este compendio, es la posibilidad de ocuparse de esta situación compleja y de manera mancomunada ofrecer a través de este plan de trabajo ideas realizables que disminuyan los impactos negativos y permitan la transformación de una vía, a través de su estabilización, pues como se mencionó el superar esta situación generará grandes impactos en nuestro país.

Con la realización de este trabajo (que en principio es solo la elaboración teórica, pero que busca se pueda materializar), buscamos conocer y entender el comportamiento geotécnico de este tramo vial, analizando las afectaciones actuales de la zona y presentando alternativas de cambio que permitan el funcionamiento en condiciones adecuadas de la Vía Villeta – Guaduas, permitiendo el control de los problemas inherentes de la zona mejorando las condiciones de transporte y en consecuencia las condiciones sociales y económicas de nuestros compatriotas.

Es por eso, que hacemos uso de la Ingeniería Geotécnica, como el área que estudia y soluciona los problemas de la ingeniería y del Medio Ambiente, que se presentan como consecuencia de la intervención del hombre en su medio, más cuando Colombia es un territorio con una diversidad geológica de grandes proporciones, generando la obligación de analizar, estudiar y evaluar los factores geológicos condicionantes de las obras de Ingeniería y crear soluciones a través de la adecuada interpretación que permitan evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

Hoy presento el resultado de un trabajo concienzudo, que no busca combatir la naturaleza, sino ofrecer soluciones con las herramientas que tenemos y frente a los problemas que se presentan por la gran cantidad de movimientos en las vías y la variedad de los mismos, opciones aplicables a una realidad latente que nos invita a ser parte del cambio social y económico de nuestro país.

La posibilidad de estabilizar la Vía Villeta – Guaduas, generara un impacto definitivo en nuestras comunicaciones, ampliando la competitividad de nuestras regiones y ofreciendo mayores y mejores opciones a nuestra comunidad, es nuestro deber participar en este proceso y ofrecer alternativas que materialicen esas mejoras.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

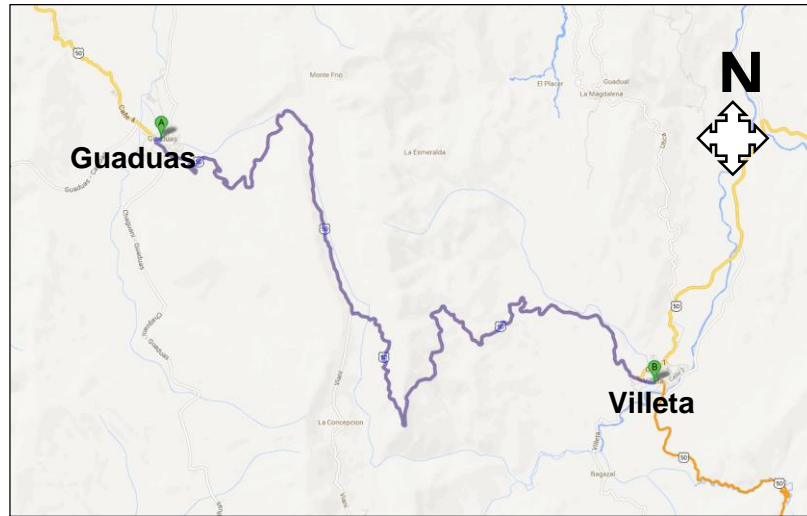
La Ruta 55-08 en el departamento de Cundinamarca, es una vía de orden nacional, debido a que comunica a la ciudad de Santa Fe de Bogotá (capital del país) con el Magdalena medio, Antioquia, Santander, Tolima y Caldas y su sostenimiento y supervisión está a cargo del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Esta vía cruza por varios municipios de Cundinamarca, comunicándolos entre ellos. Por medio de un trazado de aproximadamente 33.4 km, comunica el municipio de Villeta con el municipio de Guaduas, sector reconocido por sus problemas de estabilidad.

Guaduas es un municipio que está situado al noroccidente de Cundinamarca, localizado en una depresión de la vertiente occidental de la cordillera oriental, formando un valle que atraviesa en toda su extensión al municipio por medio de un camino empedrado denominado camino real, es un pueblo de semblanza auténticamente Colonial y ancestro hispano y por su abolengo, el estilo de su arquitectura y rica historia que allí reposa. Es un centro agrícola y turístico de cierta importancia. Guaduas se encuentra a 992 m.s.n.m. y mantiene una temperatura de aproximados 24 ° centígrados, se localiza a una distancia de aproximadamente 110 km de la capital colombiana (Santa Fe de Bogotá) y unos 35 km de la ciudad de Honda (Tolima).

Villeta está ubicado en el departamento de Cundinamarca sobre la zona noroccidental sobre un valle pintoresco y fértil formado por las cuencas del río Dulce y Bituima que unidos antes de llegar al casco urbano forman el Río Villeta. Su territorio quebrado y montañoso se extiende al lado y lado del río hasta las cuchillas de la cordillera que encierran el valle. Su temperatura media es de 25° C. Tiene una superficie de 140 Km<sup>2</sup>. Su altitud está comprendida entre los 850 msnm en el punto denominado Tobia Grande, sobre el límite norte del municipio y 1.950 msnm en la Vereda la Esmeralda. Su altura sobre el nivel del mar en el casco urbano se encuentra entre 779 y 842 msnm, se localiza a 78 km de la ciudad de Bogotá.

**Figura 1. Vista general vía Villeta - Guaduas**



Fuente: Propia

En el PR 44+950 sobre la vía entre los municipios de Villeta y Guaduas, se presenta un movimiento en la banca, presentando hundimientos y desplazamientos en un tramo aproximado de 80.0 metros de longitud. El desplazamiento horizontal alcanza longitudes de 1.50 m y es fácilmente observable en la superficie de la vía, de igual forma se presentan hundimientos verticales que alcanzan hasta los 30 cm aproximadamente. Longitudinalmente se observan dos escarpes al inicio y al final del fallo, con intercalaciones de movimientos de menor longitud durante toda la superficie; en el pavimento se visualizan como líneas localizadas en el interior, con espesores desde 5 cm a 12 cm que coinciden con levantamientos al interior del fallo. La capa de rodadura de la vía se encuentra en regular estado y en algunos sectores ya no existe. En el sector se evidencian algunas estructuras que han fallado por efectos de los movimientos de remoción en masa.

### Fotografía 1. Panorámica sector PR 44 + 950



Fuente: Torres Ingeniería

## 2. JUSTIFICACION

La vía Villeta – Guaduas hace parte del primer tramo proyecto “Autopista Ruta del Sol”, que busca mejorar la infraestructura vial para incrementar la competitividad, promover el crecimiento económico y mejorar la calidad de vida, disminuyendo la distancia y el tiempo que existe entre el interior del país y la costa atlántica.

Actualmente la vía Villeta – Guaduas presenta una velocidad de diseño de aproximadamente 30 Km/h y una duración de una (1) hora en carro particular, al ser una vía nacional el tránsito de carros de carga es bastante alto y su trayecto tiene una duración de 1 hora y 10 minutos, lo que conlleva a que este sector se convierta en una ruta lenta hacia el norte del país.

En el caso particular de la vía Villeta - Guaduas existen zonas donde el trazado es obsoleto, lento para el tráfico, peligroso y de difícil rectificación debido a los problemas geológicos y geotécnicos que presenta dadas las condiciones topográficas, cobertura del suelo, precipitación, tipo de suelos, factores ambientales, entre otros, que obligan a implementar comisiones para la supervisión, mantenimiento y control de los problemas inherentes de la zona para garantizar el funcionamiento de la infraestructura vial, dado que actualmente en esta vía se presentan constantes deslizamientos y derrumbes que afectan el tráfico que se moviliza por este sector, afectando económicamente a la nación.

Con la realización de este trabajo se busca conocer el comportamiento geotécnico en el tramo PR 44 + 950, partiendo de los escenarios que actualmente afectan la zona y de la información obtenida y de esta manera presentar dos alternativas de obras de mitigación que nos permita asegurar la integridad y funcionamiento del tramo de vía que conduce de Villeta a Guaduas.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Plantear una posible solución de estabilización para el talud ubicado en la vía Guaduas – Villeta (Cundinamarca) PR 44+950.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la información suministrada por la empresa Torres Ingeniería LTDA, para con esta poder definir los parámetros necesarios, que involucran la estabilización del talud a estabilizar.

Realizar el análisis de la estabilidad externa e interna del talud a estabilizar.

Diseñar la propuesta de una solución para la estabilidad del talud ubicado en el PR 44+950 de la vía Nacional que comunica Guaduas – Villeta, en el departamento de Cundinamarca.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

La Ingeniería Geotécnica es el área aplicada, que estudia y soluciona los problemas de la Ingeniería y del Medio Ambiente, generados como consecuencia de la intervención antrópica en el medio geológico.

El objeto principal es evaluar los factores geológicos condicionantes de las obras de Ingeniería y que estos sean interpretados y tenidos en cuenta convenientemente, para evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

La situación geológica, geotécnica, hidrológica y ambiental de Colombia tiene como resultado la ocurrencia de gran cantidad de movimientos en las vías los cuales son muy variados y además tienen distintas soluciones dependiendo de en qué unidad se presenten.

### 4.1. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas:

Física, debida a cambios térmicos y a la acción del agua. Estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y a dividirla en fragmentos de tamaño cada vez más pequeño, que pueden ser separados por la roca por agentes activos y llevados a otros puntos en los que continúa la acción erosiva.

Química, originada por fenómenos de hidratación, disolución, oxidación, cementación, etc. Esta acción, por lo tanto, tiende tanto a disgregar como a cementar, lo que quiere decir que puede ayudar a la acción física y posteriormente, cementar los productos formados, dando unión química a las partículas pequeñas, que se forman, aunque la mayor parte de las veces contribuye más a destruir y transformar que a unir.

Biológica, producida por la actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador.

Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización. En este perfil la roca madre ocupa la parte más baja y alejada de

la superficie, y el suelo la más alta. Cuando el suelo permanece si ser transportado, se le conoce como suelo residual, y cuando ha sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se denomina suelo transportado.

#### 4.1.1. Suelos transportados

Los depósitos sedimentarios se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Los distintos medios de sedimentación originan una serie de depósitos cuyas características geotécnicas están relacionadas con las condiciones de formación de estos sedimentos.

##### Depósitos coluviales

Son materiales transportados por gravedad, la acción del hielo y deshielo y, principalmente, por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos de soliflucción. Su composición depende de la roca que procede, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos, generalmente de tamaño grueso, englobados en un matriz limo arcilloso.

Tienen una gran importancia geotécnica cuando se trata de masas inestables. La resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el estrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas.

##### Depósitos aluviales

Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad. Están muy desarrollados en los climas templados, ocupando cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos aluviales, terrazas y paleocauces.

Son suelos muy anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

#### 4.1.2. Suelos no transportados

##### Suelos residuales

Se originan cuando los productos de la meteorización no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan en el sitio en que se van formando. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de la descomposición se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen en la velocidad de alteración de la naturaleza de los productos de la meteorización están el clima (Temperatura y lluvia), la naturaleza de la roca original, el drenaje y la actividad bacteriana. El perfil de un suelo residual puede dividirse en tres zonas:

- a) la zona superior, en la que existe un elevado grado de meteorización, pero también cierto arrastre de materiales.
- b) la zona intermedia en cuya parte superior existe una cierta meteorización, pero también cierto grado de deposición hacia la parte inferior de la misma.
- c) la zona parcialmente meteorizada que sirve de transición del suelo residual a la roca original inalterada.

Los suelos residuales se desarrollan principalmente, en condiciones tropicales húmedas, de meteorización química intensa. Algunos autores los denominan "suelos tropicales"; sin embargo, debe tenerse en cuenta que los suelos residuales también se encuentran en zonas no tropicales, aunque en menor proporción. Las propiedades de los suelos residuales varían de una región a otra, debido a la naturaleza heterogénea de los ambientes tropicales. La meteorización está controlada por el clima regional, el relieve y la litología de la roca y estos factores varían de sitio en sitio. El comportamiento de los suelos residuales y las rocas blandas en el caso de los deslizamientos, difiere del de las rocas duras y del de los suelos transportados. La meteorización o la falta de litificación traen como resultado, un material con discontinuidades o superficies de debilidad y con posibilidad de movimiento por desplazamiento, a lo largo de las discontinuidades y/o por rotura al cortante o a tensión a través de la matriz del material.

## 4.2. TIPOS DE MOVIMIENTOS

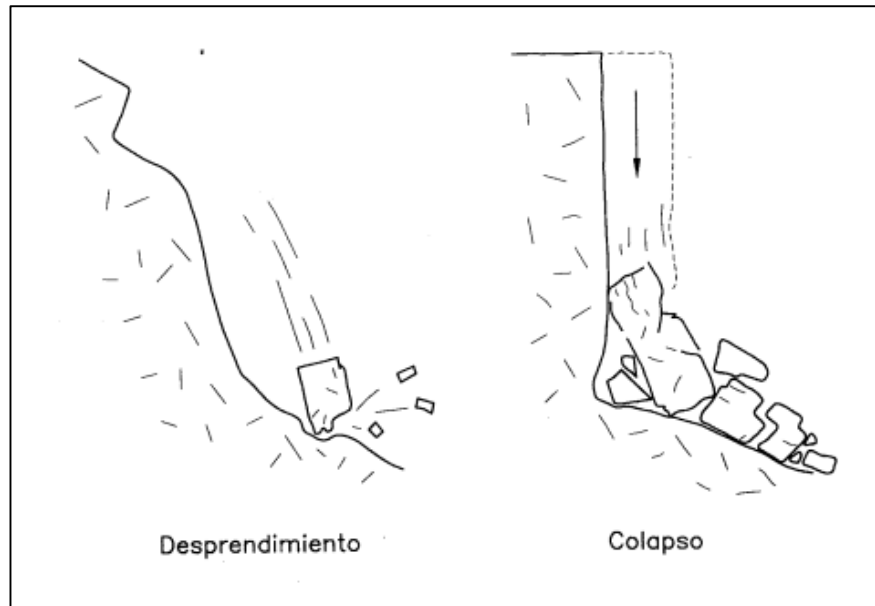
### Desprendimientos o caídos

El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento es muy rápido.

La rotura suele producirse por deslizamiento o vuelco de pequeña envergadura, proporcionando a la masa despegada una velocidad inicial. La propagación de los desprendimientos en laderas con pendientes superiores a los  $76^\circ$  se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son frecuentes mientras que en laderas de menos de  $45^\circ$  la propagación se realiza por rodadura y, eventualmente, por deslizamiento. Las caídas con una trayectoria básicamente vertical de abrigos desarrollados en acantilados por la socavación efectuada por un río, el oleaje o la meteorización y disgregación de las rocas a su pie son consideradas colapsos (García Yagüe y García Álvarez, 1988).

El material caído, una vez desparramado por la ladera, no suele experimentar nuevos movimientos. Cuando las caídas son frecuentes, los bloques se acumulan al pie de los escarpes rocosos formando canchales que ocasionalmente experimentan roturas y originan corrientes de derrubios (Van Steijn et al. 1988). El área fuente de desprendimientos es de difícil acceso. Por este motivo, aunque es posible la sujeción de los bloques en origen, el tratamiento suele consistir en la interposición de obstáculos en el recorrido (pantallas dinámicas, zanjas). En ocasiones, los desprendimientos rocosos son fenómenos precursores de roturas de ladera de grandes proporciones.

**Figura 2. Mecanismos de desprendimiento y colapso**



Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997.

### Vuelcos (topples)

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas. Dentro del mecanismo de vuelco pueden distinguirse dos procesos:

#### Vuelco por flexión (flexural toppling)

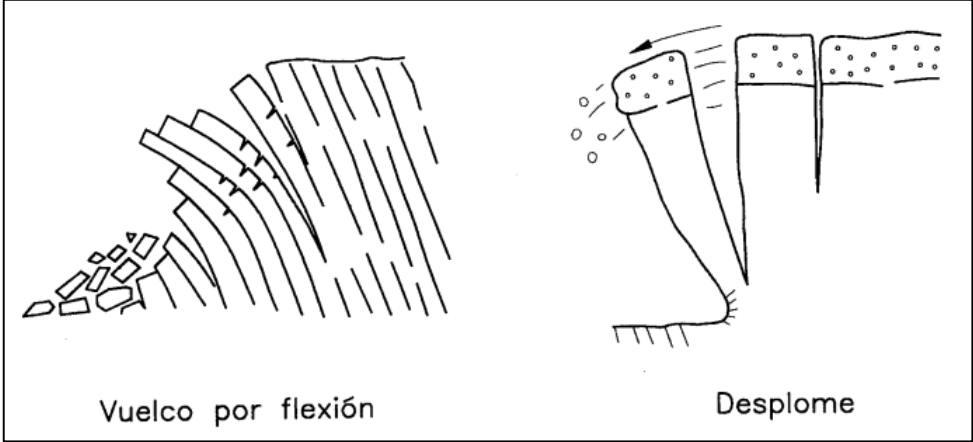
Tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo (Goodman y Bray, 1976). Las columnas continúan cuando se doblan hacia delante, rompen por flexión. Este tipo de movimiento es característico en esquistos, filitas, pizarras y en secuencias rítmicas finamente estratificadas (facies flysch).

#### Desplome

La parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa. Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de

materiales areno-arcillosos compactados. Si la ladera es empinada, las roturas por vuelco pueden transformarse en caídas.

**Figura 3. Mecanismos de vuelco**

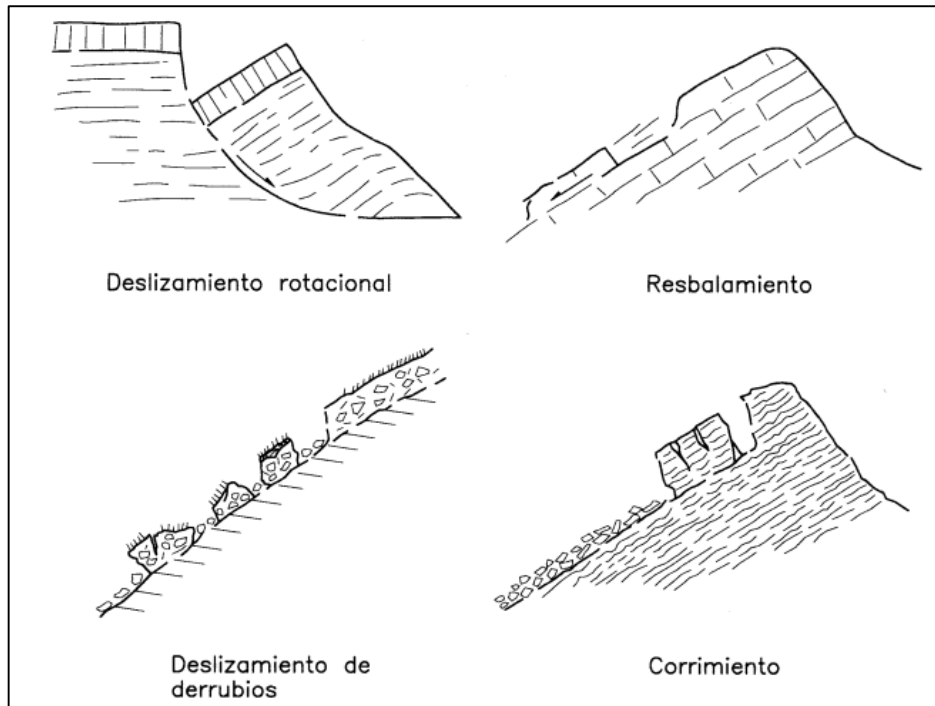


Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997

**Deslizamientos (slides)**

Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.

**Figura 4. Tipos de deslizamiento**



Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997

#### Deslizamientos rotacionales (rotational slides, slumps)

La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o colada de tierras.

Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles de reactivación. El movimiento tiende a estabilizarse por disminución del momento de giro y aumento del momento estabilizador, no obstante, cualquier cambio en las condiciones piezométricas o la remoción del pie pueden dar lugar a una nueva inestabilidad. Un diagnóstico equivocado de la geometría puede llevar a la adopción de medidas de estabilización ineficaz e incluso contraproducente.

### Deslizamientos traslacionales (translational slides)

Tiene lugar a lo largo de una superficie de rotura plana o ondulada. La masa deslizada puede proseguir por la ladera. Los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. A medida que un deslizamiento traslacional progresa puede romperse, en particular si aumenta la velocidad. Entonces, la masa disgregada deviene un flujo.

Deslizamientos traslacionales de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos se han denominado resbalamientos (García Yagüe, 1966) o deslizamientos planos (Hoek y Bray, 1981). Cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección, se forma un deslizamiento en cuña. Las roturas de cuñas no suelen alcanzar grandes dimensiones debido a que la intersección de planos de gran penetración en el macizo rocoso es infrecuente. Deslizamientos en los que la masa desplazada se trocea en su movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera, se denominan corrimientos (García Yagüe, 1966). Cuando la rotura por cizalla tiene lugar en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas, se denominan deslizamientos de derrubios (debris slides).

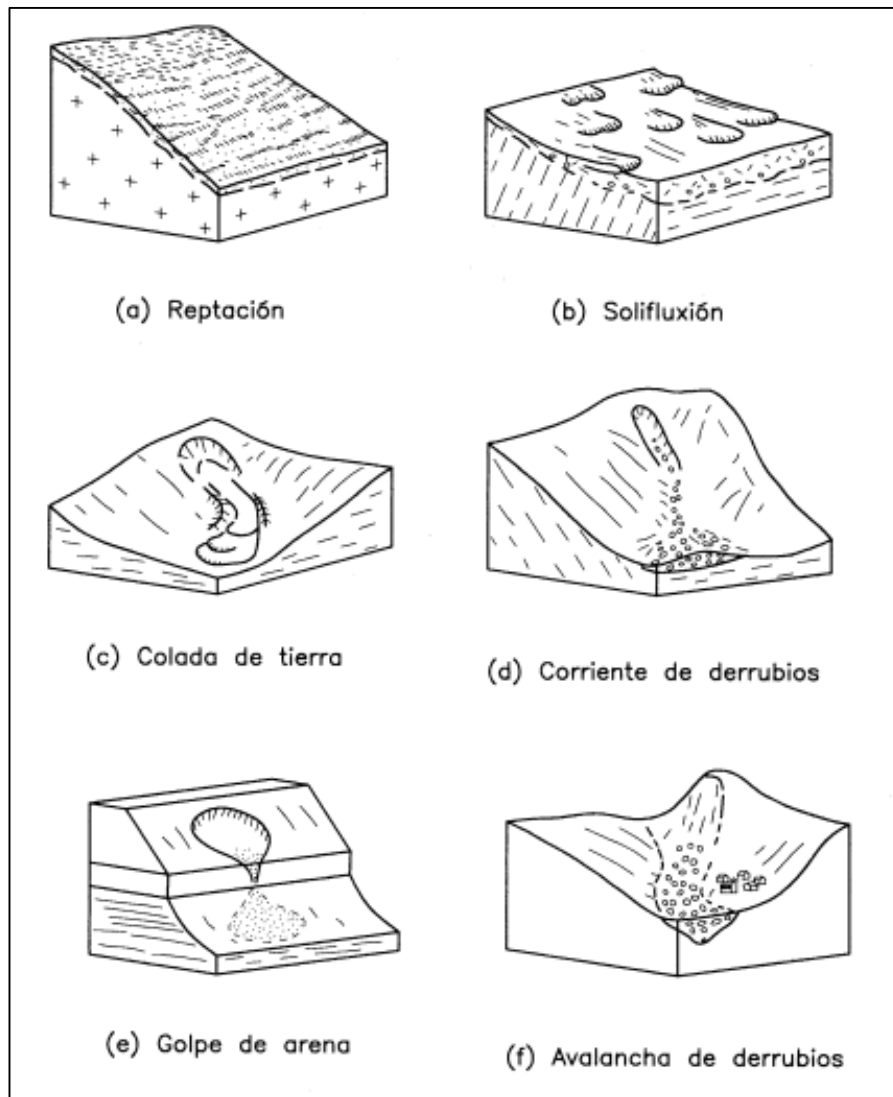
Mientras que la rotación tiende a restablecer el equilibrio en la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede mantenerse indefinidamente si la superficie de rotura es lo suficientemente inclinada y continua.

### Flujos (flows)

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.

Existe una gradación desde los deslizamientos a los flujos dependiendo del contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento. Un deslizamiento de derrubios puede convertirse en una corriente o avalancha de derrubios a medida que el material pierde cohesión, incorpora agua y discurre por pendientes más empinadas.

**Figura 5. Movimientos de flujo**



Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997

### Reptación (creep)

La reptación es un movimiento extremadamente lento que es imperceptible excepto para largos períodos de tiempo (Sharpe, 1938). No muestra superficies de cizalla definidas. El término reptación se ha utilizado en diversos sentidos en estudios sobre la estabilidad de las laderas, como por ejemplo (Hutchinson, 1988; Selby, 1993): (1) desplazamiento estacional de partículas aisladas o delgadas capas de suelo por efecto de la gravedad con la ayuda de ciclos de hielo-deshielo o humectación-desección. Al helarse el suelo se expande para contraerse durante la fase de deshielo generando el desplazamiento neto de las partículas según la pendiente de la ladera. Los movimientos disminuyen progresivamente con la profundidad; (2) desplazamiento muy lentos pero continuos a gran profundidad. Está relacionado con el concepto ingenieril de fluencia, que ocurre esencialmente a tensión constante por debajo de la resistencia límite del material involucrado. Zischinsky (1966) considera que la reptación por fluencia es un mecanismo importante en la deformación de laderas de alta montaña; (3) desplazamientos, inicialmente muy lentos, que se aceleran progresivamente y que preceden a la rotura de la ladera. Este tipo de reptación ha sido incluido dentro del grupo de deformaciones previas a la rotura. Unas formas atribuidas a los fenómenos de reptación son las terracillas que aparecen en las vertientes de alta montaña en ambientes periglaciares. La velocidad de desplazamiento del suelo es lo suficientemente lenta para que la vegetación de los prados alpinos resista y crezca al mismo tiempo que el avance de las partículas, dando lugar a guirnaldas herbáceas paralelas a las curvas de nivel (Corominas, 1989).

### Coladas de tierra (earthflows)

Es la deformación plástica, lenta y no necesariamente muy húmeda, de tierra o rocas blandas (flysch, pizarras, filitas), en laderas de inclinación moderada. Cuando predominan los materiales cohesivos con un elevado contenido de limos y arcillas, se les denomina coladas de barro (mudflows) (Corominas y Alonso, 1984; Ayala et al. 1987). En este caso, adoptan una forma elongada, lobulada en el pie (lengua), formando un volumen positivo sobre la superficie original del terreno. El estiramiento del material y el correspondiente cambio de forma caracterizan el movimiento como un flujo.

En numerosas ocasiones se ha observado que las coladas de tierra y de barro tienen su inicio al pie de deslizamientos. Algunos autores han observado que algunas formas de

coladas de barro progresan principalmente por deslizamiento sobre superficies de cizalla con moderada deformación interna (Hutchinson, 1988), en este caso se denominan deslizamiento de tierras (earthslides, mudslides).

#### Soliflucción (solifluction)

Término utilizado a menudo para describir deformaciones de pequeñas dimensiones en suelos cohesivos y de poco espesor, que dan lugar a formas lobuladas. Contienen superficies de cizalla de poca extensión. La soliflucción abunda en ambientes periglaciares donde la fusión estacional del hielo en el terreno provoca el aumento de las presiones de agua en los poros, dando lugar al movimiento del material superficial, limitado en profundidad por la capa activa (Ferrer, 1988). Puede ser considerada como una colada de tierras de pequeñas dimensiones.

#### Corriente de derrubios (debris flows)

Son movimientos rápidos de material detrítico en el que predomina la fracción gruesa, es decir, arenas, gravas y bloques. El contenido de agua es elevado y la fracción sólida puede llegar a constituir el 80% en peso de la masa en movimiento. La corriente puede bajar tanto por laderas abiertas como canalizada por vaguadas u hondonadas del terreno dando lugar a morfologías diferentes. Debido a la baja de cohesión de sus componentes, se desparrama en la parte inferior de las laderas sin generar un depósito de forma específica, pero cuando se canaliza por barrancos suelen dar lugar a conos de deyección.

#### Golpes de arena y limo (sand and silt flows)

Movilización brusca de estos materiales, a veces en estado seco (García Yagüe y García Álvarez, 1988). Normalmente se producen por colapso estructural por efecto de una sacudida sísmica o al iniciarse la rotura del suelo por deslizamiento.

#### Avalanchas, aludes (avalanches, sturzstroms)

Movilización de grandes masas de tierra, fragmentos de rocas o derrubios a gran velocidad, en ocasiones, superiores a los 50 m/s. El término avalancha no implica necesariamente un mecanismo distinto al de los previamente definidos en otros flujos como las corrientes de derrubios. De todos modos su gran velocidad ha sugerido la existencia de otros mecanismos como el flujo granular turbulento, el desplazamiento sobre colchones de aire

o la transferencia de momentos entre las partículas en movimiento. Igual que ocurre con los desprendimientos, el relieve es el que condiciona que la rotura de grandes volúmenes de roca o suelos derive hacia una avalancha o se mantenga como un deslizamiento o una corriente. En las avalanchas de derrubios, por el contenido de agua o por efecto de la pendiente, el conjunto puede licuarse, al menos parcialmente, fluir y precipitarse hacia abajo, a menudo a través de una vaguada, alcanzando grandes distancias, a veces, decenas de kilómetros.

#### 4.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La estabilidad de taludes generalmente ha sido estudiada a partir de métodos basados en el equilibrio límite. En este tipo de análisis, no se requiere conocer el comportamiento de esfuerzo y deformación de los materiales que conforman el talud de análisis. Sin embargo, es necesario tener un conocimiento adecuado de parámetros que se determinan la resistencia del suelo (peso, fricción y cohesión).

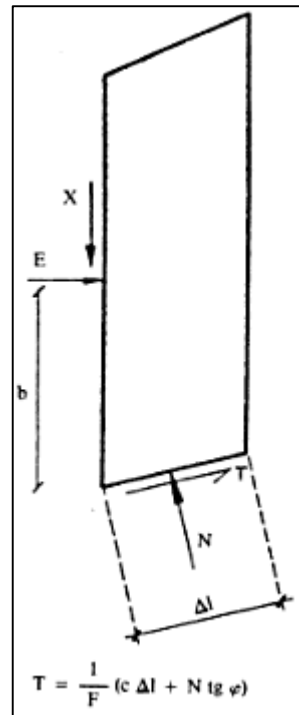
Según los preceptos de la teoría del equilibrio límite, la estabilidad de los taludes es determinada a partir del cálculo del factor de seguridad  $n$  en la región del talud que presenta la mayor vulnerabilidad al deslizamiento. Esta región crítica está limitada por la superficie de falla que presenta el menor  $n$ . debido a lo anterior, se requieren métodos que puedan evaluar todas las posibles zonas y encontrar la que representa menor seguridad en el análisis.

En términos generales, el concepto de seguridad se conoce como la división de la resistencia entre la sollicitación del sistema:

$$n = \frac{\textit{Resistencia}}{\textit{Sollicitación}}$$

Excepto en los casos en los que la geometría de las posibles superficies de deslizamiento permite el uso de métodos exactos, los métodos de cálculo empleados son, casi siempre, métodos de dovelas.

**Figura 6. Sistemas de fuerzas actuantes sobre una dovela**



Fuente: manual de ingeniería de taludes, instituto geológico y mineralógico de España

#### 4.3.1. Principales métodos de dovelas

Métodos aproximados

Método simplificado de BISHOP (1955)

Supone que las fuerzas en las caras laterales son horizontales o, lo que es lo mismo, que los  $n-1$  valores de  $x$  son nulos. Sólo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales. Es un método de aplicación a líneas de rotura circulares.

Método ordinario de FELLENIUS (1927)

Se basa en la suposición de que la resultante de las fuerzas laterales en las caras de las rebanadas actúa paralelamente a la base de las mismas. Solo satisface el equilibrio de momentos. Análogamente solo tiene aplicación a superficies de rotura circulares.

#### Método de JANBU (1954)

Supone conocidos  $n-1$  valores de  $b$ , posiciones de los empujes a las caras de las dovelas. Es de aplicación a líneas de rotura cualesquiera. No cumple el equilibrio de momentos y si el de fuerzas.

#### Métodos precisos

#### Método de MORGENSTERN-PRICE (1965)

Es un método de aplicación a líneas de rotura cualesquiera. Se basa en la suposición de que la relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas se ajusta a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro.

Este parámetro es la incógnita que completa el problema. El método satisface todas las ecuaciones de equilibrio.

#### Método de SPENCER (1967)

Análogo al anterior, considerando como función una constante, que constituye el parámetro necesario para completar el problema.

#### 4.3.2. Conclusiones de los métodos de dovelas

Al existir varios métodos es inevitable realizar una comparación entre ellos, fundamentalmente entre precisos y aproximados, para discernir cuales son los más útiles en la práctica, por su exactitud y economía.

Esto ha sido realizado por varios autores entre ellos WHITMAN y BAILEY (1967). El método más exacto y también el más complejo es el de MORGENSTERN-PRICE, considerándolo como referencia los autores concluyen que el método de BISHOP presenta errores máximos del 7%, siendo lo más normal del 2%. En contraste, el método de FELLENIUS puede originar graves errores, hasta de un 40%.

En la práctica, el método de MORGENSTERN-PRICE resulta mucho más laborioso en su aplicación, por lo que su utilización se ve relegada a casos muy especiales o a temas relativos a la comprobación de otros métodos más simplificados.

## 5. METODOLOGIA

Dependiendo del tipo de talud y el tiempo y recursos destinados a la investigación de campo y al análisis, existen diferentes procedimientos de investigación y diseño de obras de estabilización de taludes. A continuación se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto:

Recopilación de la información existente.

Se recopiló la información suministrada por Torres Ingeniería, la información de planos del IGAC, la información geológica de INGEOMINAS, y fotografías aéreas disponibles en la web.

Dentro de la información existente se evidencian las siguientes actividades:

Visita de campo

Visita al sitio por parte de los ingenieros asesores en los cuales se efectuó un recorrido de las áreas afectadas por problemas geotécnicos, con el objeto de elaborar un diagnóstico general.

Análisis o discusión

Con el objeto de identificar los elementos más importantes a estudiar, se establecieron unas teorías o diagnósticos preliminares para el trabajo de campo.

Toma de fotografías digitales.

Elaboración de planos topográficos

Se elaboraron planos topográficos con curvas de nivel cada 1.0 metro.

Ejecución de sondeos geotécnicos

Se realizaron 4 sondeos en los cuales se ejecutaron ensayos SPT y se recuperó muestras de suelo, con el fin de realizar ensayos de laboratorio y determinar las características típicas de los estratos encontrados.

### Ejecución de tres sondeos eléctricos vertical (SEV)

Se realizaron tres sondeos, con el fin de obtener un estimativo de espesores del subsuelo dependiendo de los resultados de las resistividades.

### Diagnóstico definitivo

Se realizó un diagnóstico geotécnico, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

Influencia de cada uno de los factores (geología, geomorfología, topografía, hidrología, etc.).

Causas y mecanismos de ocurrencia de los problemas identificados.

Modelación conceptual y modelación matemática mediante Software Slope-W.

### Planteamiento de las obras de manejo y estabilización

Se analizaron las alternativas de protección entre las cuales se plantearon estructuras de contención y retención, sistemas de drenaje y subdrenaje, y otros tipos de obras geotécnicas.

Una vez analizadas las diversas alternativas, se escogieron las que presentaban un mejor comportamiento.

### Análisis de estabilidad con las obras planteadas

Se elaboraron modelos de software para determinar la estabilidad de los taludes con las obras planteadas.

### Diseño de las obras de estabilización

Para cada una de las obras escogidas se elaboraron esquemas a detalle y se localizaron en el plano topográfico.

### Cantidades de Obra

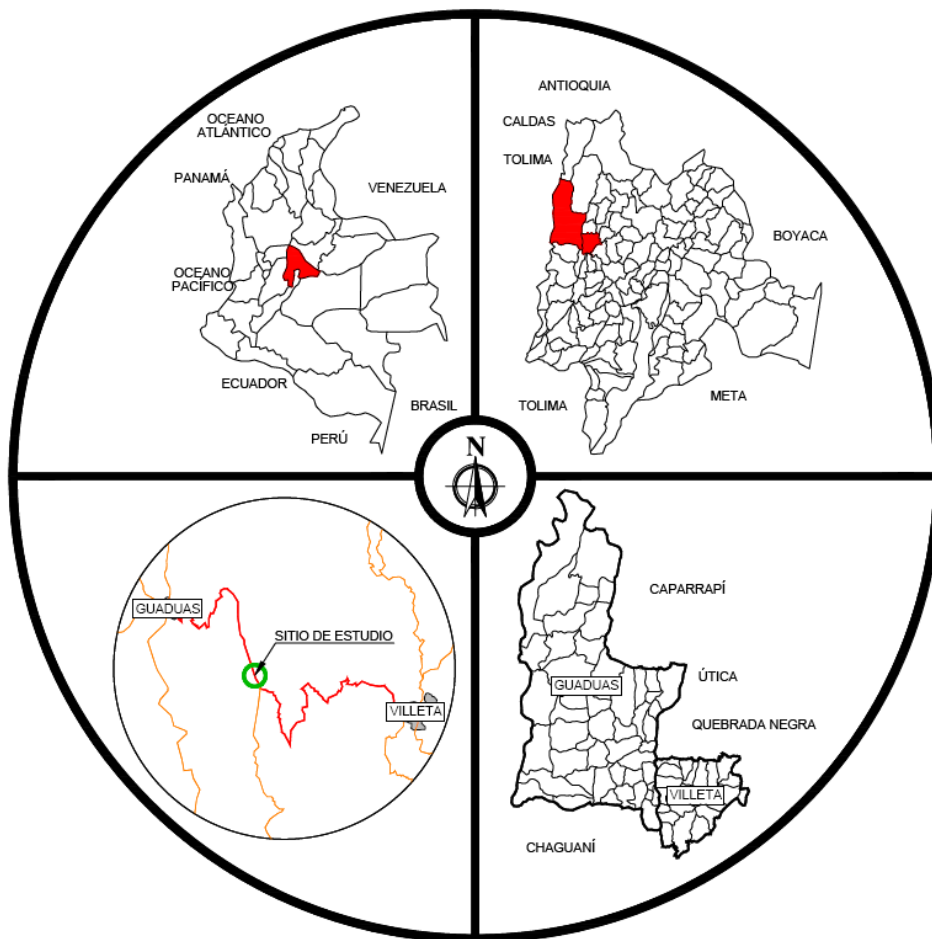
Se calcularon las cantidades aproximadas de las obras de estabilización propuestas.

## 6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

### 6.1. LOCALIZACION

Geográficamente la zona de estudio se encuentra en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Guaduas, que está situado al noroccidente de Cundinamarca. Tiene una distancia a Bogotá por carretera de 110 km y unos 35 km de la ciudad de Honda. Está a una altura de 1.100 m sobre el nivel del mar y mantiene un clima de aproximados 24 grados centígrados.

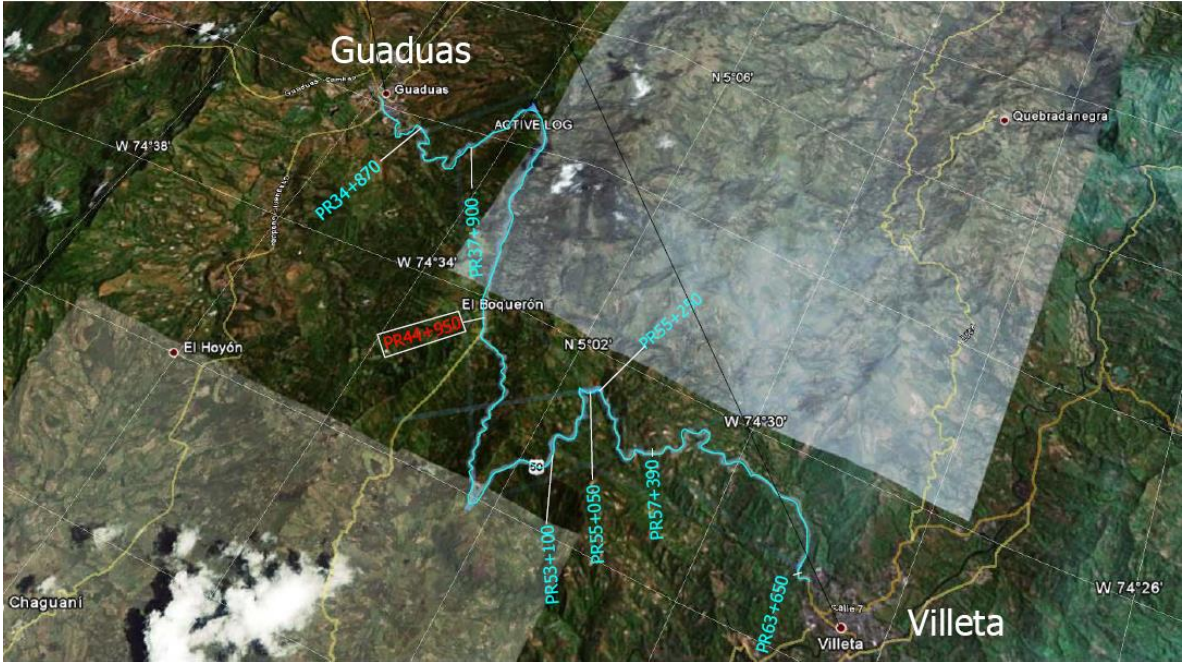
**Figura 7. Localización general**



Fuente: Propia

El sitio en estudio se encuentra ubicado en el PR 44+950 sobre la vía entre los municipios de Guaduas y Villeta, Ruta 55-08 en el departamento de Cundinamarca. Por este sector transitan vehículos de todo tipo. Esta vía es de orden nacional y está a cargo del instituto Nacional de Vías, INVIAS. Por esta vía transitan los vehículos que de Bogotá se dirigen al valle del Magdalena medio, Antioquia, Santander Tolima, etc, el paso de vehículos de carga es considerablemente alto. En el sector se presenta un fallo en la banca de la vía, presentando hundimientos y desplazamientos a lo largo de la banca.

**Figura 8. Localización local**



Fuente: Google Earth-modificado por Torres Ingeniería

## 6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO EN ESTUDIO

En el sitio de estudio se presentan hundimientos y desplazamientos de la banca de la vía en un tramo aproximado de 80 m. El desplazamiento horizontal alcanza longitudes de 1.50 m y es fácilmente observable en la superficie de la vía.

**Fotografía 2. Panorámica sector PR 44 + 950**



Fuente: Torres Ingeniería

Se presentan hundimientos verticales que alcanzan hasta los 30 cm aproximadamente. Longitudinalmente se observan en la vía dos escarpes al inicio y al final del fallo, con intercalaciones de fallos de menor longitud durante todo el movimiento.

Los fallos en el pavimento se visualizan como líneas localizadas en el interior del fallo, con espesores desde 5 cm a 12 cm que coinciden con levantamientos al interior del fallo.

La capa de rodadura de la vía se encuentra en regular estado y en algunos sectores ya no existe.

En el costado interno se encuentra un muro en concreto construido como obra de retención para el talud interno (evitan que pequeños deslizamientos entren en la vía, no es propiamente una estructura de contención). Este muro se encuentra en buen estado en gran parte y en el resto se encuentra hundido.

La cuneta se encuentra destruida, y la caja de la alcantarilla ubicada al costado interno se encuentra hundida y fracturada, la tubería se encuentra obstruida por estos hundimientos.

En el costado interno la pendiente es moderada al principio y se observan escarpes de hasta 2 m de altura, en los cuales se observan depósitos de ladera con matriz arenosa y humedad media a baja, a mayor profundidad después de los depósitos coluviales aumenta la humedad. La vegetación al costado interno del sector se encuentra compuesta por árboles frutales como plátanos y pastos.

### Fotografía 3. Talud superior



Fuente: Torres Ingeniería

En el costado externo de la vía, se encuentra un muro en gaviones de aproximadamente 17 m, el muro se encuentra recubierto por concreto de 12 cm de espesor aproximadamente. El muro se localiza en la mitad del fallo de la vía y en él termina una tubería de alcantarilla. El muro se observa en buen estado, ya que no presenta ningún tipo de grieta, hundimiento o volcamiento.

La ladera del costado del muro de gaviones se encuentra cubierta por abundante vegetación, con árboles de alturas hasta de aproximadamente 30 m, también se destacan arboles de menor tamaño donde se reconocen naranjos, plátanos y pastos.

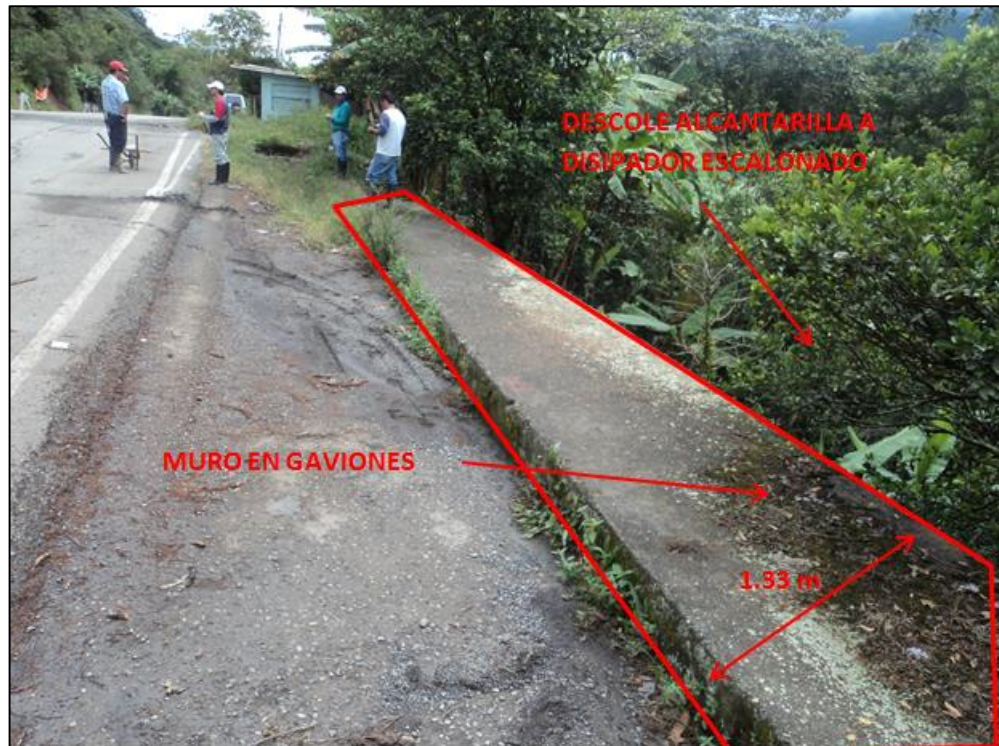
En cuanto a las pendientes de este sector de la ladera externa se puede decir que son de menor pendiente y tienen mayor facilidad para la acumulación de material.

En este sector de la ladera se detectaron señales que indican que el terreno se encuentra en movimiento de remoción en masa, ya que se reubico una vivienda por movimientos del terreno que causaron muchos daños en esta.

Las obras hidráulicas existentes para el PR 44+950 consisten en cunetas al costado interno de la vía y dos alcantarillas, una en el fallo y otra vía Villeta, 50 metros arriba del fallo. Con entregas a un canal escalonado disipador y un canal de suelo natural respectivamente.

Las obras hidráulicas se encuentran en regular estado, ya que la canaleta se encuentra destruida al llegar a la caja de la alcantarilla, la cual se encuentra en la mitad del fallo; las dos alcantarillas se encuentran muy taponadas por materiales de suelos finos, basura y vegetación, además que por los movimientos constantes de esta ladera pueden encontrarse agrietadas en su interior. Estos taponamientos de estas alcantarillas pueden estar aumentando los niveles freáticos de la ladera, aumentando la saturación y haciendo que movimientos de remoción en masa sean más susceptibles.

Fotografía 4. Muro en gaviones en el talud inferior



Fuente: Torres Ingeniería

En la siguiente fotografía se observa un sector de la vía que colapsó, ubicado en el borde interno de la vía colindando con la canaleta, fallo por desprendimiento del material que se observa en la fotografía, que hace que el pavimento de la vía no resista, se observa un material arenoso con alta humedad que puede haber acelerado fenómenos de remoción en masa, ya que grandes porcentajes del material saturado, pueden producir grandes hundimientos. En el sector no se observan obras de transporte y canalización de aguas lluvias que eviten la saturación del talud.

### Fotografía 5. Fallo en la vía



Fuente: Torres Ingeniería

Se observa en la fotografía el colapso de la canaleta que descola en una alcantarilla de diámetro de 0.9 m, esta canaleta tiene una longitud aproximada de 20.0 metros antes de llegar a la alcantarilla y su forma es trapezoidal, iniciando con una base menor de 1.1 m y terminando en una base de aproximadamente 3.0 m (donde se realiza la descarga a la alcantarilla y se encuentra el fallo de la canaleta).

### 6.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La topografía es una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas que requieren tener conocimiento de la superficie del terreno, como la realización de obras civiles, obras de urbanismos, catastro, levantamientos para el estudio de inundaciones y en muchos otros campos, en donde la topografía constituye un elemento indispensable. Actualmente el método más utilizado para la toma de datos se basa en el empleo de una estación total, con la cual se pueden medir ángulos horizontales, ángulos verticales y distancias.

Este capítulo corresponde al levantamiento topográfico para la vía entre Guaduas y Villeta (Ruta 55-08), del área en estudio para el PR 44+950.

El trazado se realizó ejecutando amarres al sistema GPS en el sector en estudio y trazando poligonales cerradas, para después llevar a cabo las armadas donde se tomaron los detalles por medio de radiaciones; además para el control de la nivelación (cotas).

También es importante para este estudio tener información de las quebradas, fallos en la vía, cunetas, muros de contención existentes, viviendas aledañas y pendientes, por lo cual éste levantamiento topográfico incluye toda esta información.

#### 6.3.1. Equipos Utilizados

El levantamiento topográfico se realizó teniendo como base los siguientes equipos.

Estación total Topcon 236w

Es un equipo electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica que consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. Tiene la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, el replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y el cálculo de azimuts y distancias. La figura muestra la estación total utilizada en el levantamiento.

**Fotografía 6. Estación total Topcon 236w**



Fuente: Torres Ingeniería

### 6.3.2. Descripción levantamiento topográfico

En este sector se localizó un juego de coordenadas con su respectiva cota, quedando demarcadas como delta como DELTA “4” y DELTA “5”, descritos a continuación:

DELTA 4: Delta localizado sobre la curva en el costado izquierdo en el corredor Guaduas-Villeta sobre la el muro en gaviones existente, materializado con una puntilla acerada tipo sombrilla e intervisible, con el delta 5 existe una distancia de 65.22 m de longitud.

**Fotografía 7. Localización Delta 4 levantamiento topográfico**

DELTA 4: N= 1048821.005, E= 947081.008, COTA= 1679.00



Fuente: Torres Ingeniería

### Fotografía 8. Localización Delta 5 levantamiento topográfico

DELTA 5: N= 1048881.293, E= 947056.116, COTA= 1677.50



Fuente: Torres Ingeniería

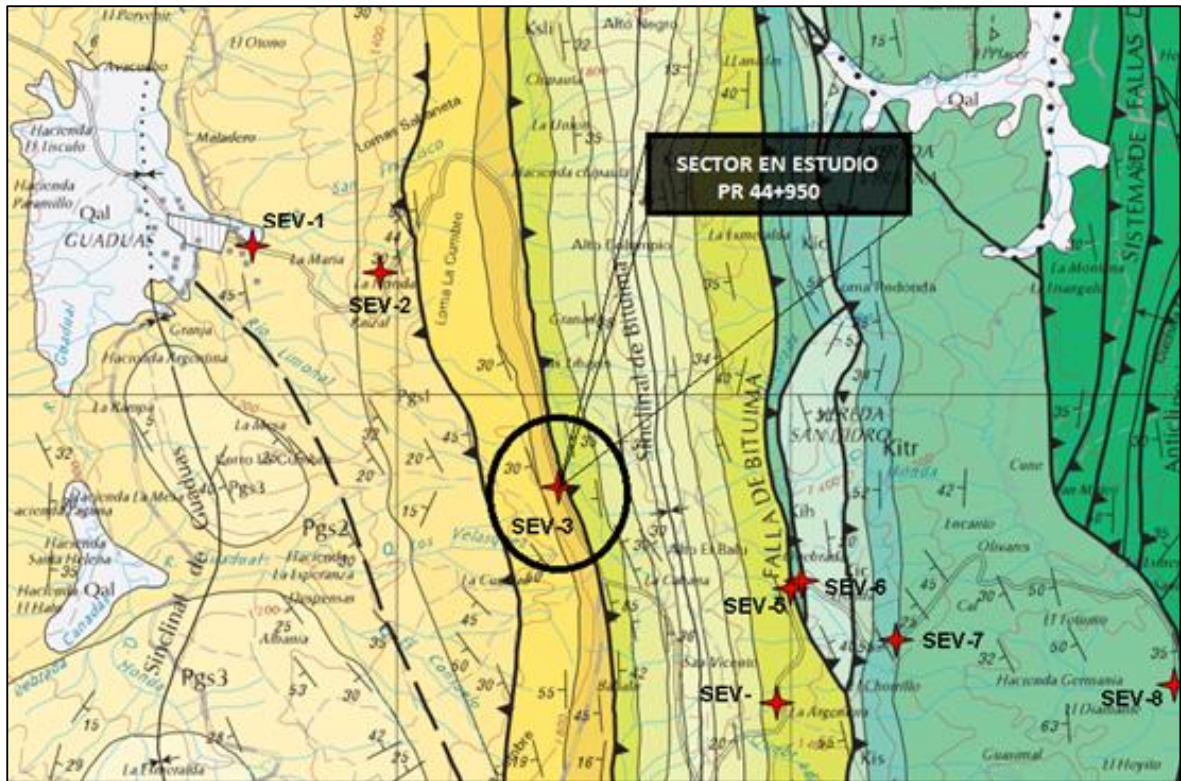
DELTA 5: Delta localizado sobre la línea blanca límite que demarca la vía en el costado izquierdo en el corredor Guaduas- Villeta, materializado con una puntilla acerada tipo sombrilla e intervisible.

Se recomienda resaltar periódicamente los Deltas de referencia, para evitar que se borren con el paso del tráfico.

#### 6.4. GEOLOGIA REGIONAL

Se realizó la referenciación geológica de acuerdo con la información del Ingeominas y el EOT del municipio de Villeta, además de la información preliminar y el trabajo de campo. Los materiales sobre los que se encuentra localizado el PR 44+950 de la vía entre Villeta y Guaduas están constituidos por la Formación "SECA"(KPgs).

Figura 9. Geología Sector en Estudio



Fuente: Plancha Geologica 208 – Villeta, Ingeominas

#### 6.4.1. Formación Seca (KPGs)

Formación Seca es el término propuesto por De Porta (1966) para designar una sucesión de lodolitas y arenitas de tono rojizo- violáceo, que aflora en la quebrada Seca (Municipio de Cambao); esta unidad litoestratigráfica se halla limitada en su base por la Formación Cimarrona y en sutecho por la Formación Hoyón. En el área de estudio la Formación Seca está aflorando sobre la Formación Córdoba. El autor indica como sección tipo la carretera Camboa – San Juan de Río Seco y como sección de referencia la que se encuentra en la carretera Honda – Guaduas.

La secuencia litológica considerada en este trabajo como Formación Seca aflora al oriente del Sinclinal de Guaduas, como una franja angosta de dirección aproximada N-S, que atraviesa toda el área estudiada y genera valles amplios, y en el costado noroccidental de la plancha en las cercanías del Municipio de La Paz.

La mala exposición de esta unidad lito-estratigráfica no permitió obtener una sucesión continua, por tal razón su descripción es general y se hace con base en afloramientos aislados. Esta unidad está constituida de base a techo por una sucesión de arenita fina de cuarzo, en capas gruesas, que alternan con lodolita y limolita de cuarzo, rojiza; esa parte de la unidad infrayace una secuencia monótona de lodolita y limolita, roja a gris clara, con capas delgadas de carbón e intercalaciones de arenita fina, sublítica y subarcósica, en capas gruesas, tabulares y cuneiformes.

El contacto inferior con la Formación Córdoba se observó por el carretable La Paz – Córdoba; éste fue trazado en el tope de la primera capa de conglomerados de gránulos, de cuarzo lechoso, que infrayace una secuencia espesa de lodolita y limolita rojiza. El techo de la unidad no se observó debido a que su parte superior se encuentra afectada por las fallas.

No hay registro fósil alguno sobre la Formación Seca; sin embargo, por su posición estratigráfica, entre la Formación Córdoba que la infrayace y la Formación Hoyón que la suprayace, se puede considerar de edad Maastrichtiano e incluir el Paleoceno (De Porta, 1966).

Esta unidad podría ser correlacionable con la Formación Lisama del Valle Medio del Magdalena en la región de Santander.

Martínez (1990) indica para la Formación Seca un ambiente fluvial con extensas llanuras de inundación, donde se formaron suelos tropicales; las arenas asociadas a las arcillolitas rojas, podrían deberse a canales meandriiformes, mientras las arenitas cuarzosas de la base podrían corresponder aun a progradación de deltas.

#### 6.4.2. Unidades Geológicas Superficiales

##### Generalidades

En el presente estudio se caracterizaron y cartografiaron las Unidades Geológicas Superficiales a escalas detalladas 1:500 de acuerdo con las condiciones físico mecánicas de los diferentes materiales rocosos y de los suelos en diferentes sectores de la vía 5808 entre los municipios de Guaduas y Villeta, con el objetivo de realizar los diseños para los sitios que han presentado fallos. Se siguió la metodología y nomenclatura del INGEOMINAS

(2007), para las unidades cuaternarios también se emplearon las iniciales de estos depósitos, no se empleó la nomenclatura utilizada por Ingeominas para unidades litológicas.

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto de materiales que incluyen suelos y rocas cuyas propiedades se conservan por debajo de la superficie hasta algunas decenas de metros. Las UGS se utilizan como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial.

Estos mapas se obtienen a partir del análisis de la información geológica que permite separar diferentes tipos de roca de acuerdo con su grado de meteorización, fracturamiento y resistencia geológica, así como suelos de acuerdo con su origen en transportados y residuales.

#### Unidades de Suelo

Con base en los métodos actuales de la Ingeniería Geológica se optó por el modelo de U.G.S, (Tomado del libro INGENIERIA GEOLOGICA- de Luis I. González de Vallejo, PEARSON, 2006), para representar cartográficamente la información Geológico-Geotécnico con fines de obras de ingeniería. Estos métodos aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo en el área de estudio, para una vez determinadas las características Geológicas superficiales de cada sector, poder evaluar el comportamiento de las laderas y la actual calzada de la vía Guaduas - Villeta, de esta manera prever y analizar, los problemas Geológicos y Geotécnicos en cada sector.

#### Unidades de roca blanda (RB)

En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales de la vía entre Guaduas y Villeta, se realiza una nomenclatura de las unidades de roca blanda mediante la identificación de las letras Rb, las cuales son de naturaleza blanda a muy blanda, poco cementadas, frágiles, con fracturamiento alto a muy alto (JV: 8 fr/m<sup>3</sup>), un índice geológico de resistencia pobre a muy pobre (GSI: 0-30%), y en general altamente meteorizada.

Incluye arcillolitas, lodolitas, limolitas, lutitas, areniscas friables y macizos rocosos afectados por alto tectónismo.

La región genera una expresión Geomorfológica de origen denudacional-estructural de pendientes moderadas a fuertes en los estratos de las formaciones cretácicas presente sobre la vía Guaduas - Villeta, para los depósitos cuaternarios de origen aluvial-coluvial representado por depósitos transportados como son los depósitos de ladera o coluviones y depósitos aluviales de los ríos y quebradas principales, Superficialmente se tienen suelos cubiertos por pastos y rastrojos.

#### 6.4.3. Factores Considerados para Caracterizar las Unidades de Suelo

En la cartografía geológica para ingeniería se consideran como suelos los materiales granulares cementados o no cementados (arena, limo, grava y bloques) y arcillas plásticas cohesivas y la combinación de estos dos tipos.

Para el presente trabajo los suelos se agruparon de acuerdo con su origen en residuales y transportados. Los primeros son aquellos que se originan in situ por efecto de meteorización de las rocas y dentro de la clasificación del perfil de meteorización de Dearman (1974-1991) corresponden al grado VI. Los suelos transportados son depósitos que se originan por la acumulación de material arrastrado por la acción del viento, agua, hielo, erupciones volcánicas o por efecto de la gravedad (Tabla 1).

**Tabla 1. Clasificación Genética de las Unidades de Suelo.  
Tomado de Montero (2001)**

<b>ORIGEN-MECANISMO</b>	<b>NOMBRE DE LOS DEPÓSITOS</b>	<b>NOMBRES DE LAS GEOFORMAS</b>
<b>Residual</b>	Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico	No tienen un nombre en particular
<b>Aluvial Transportado</b> –	Aluviones en el lecho o fuera de él	Llanura de Inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas
<b>Eólico-Transportado</b>	Loess y Dunas	Barras, lomas, otras
<b>Glacial Transportado</b> –	Till (no estratificado) Depósitos fluvioglaciales (con alguna estratificación)	Morrenas Eskers y Kames
<b>Volcánico</b>	Tefra: material piroclástico en general	Mantos y coladas de piroclastos Flujos de lodo volcánico y Lahares
<b>De Ladera</b>	De gravedad: depósitos coluviales y flujos	Coluviones y Flujos de tierras
<b>Antrópico</b>	Materiales diversos, naturales o no	Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición

Fuente: Vallejo 2006

En la nomenclatura del mapa de Unidades Geológicas Superficiales, las unidades de suelo residual se identifican con las letras Sr, las de suelo transportado con la letra S y las de suelos antrópicos con Sla. A continuación se presenta la nomenclatura utilizada.

**Tabla 2. Unidades Geológicas Superficiales**

<b>Suelos de Rocas Sedimentarias</b>	(Sr1)
<b>Unidades de suelo transportado</b>	
<b>Suelos Coluviales</b>	Suelos coluviales recientes(Sco1)
	Suelos coluviales antiguos (Sco2)
<b>Suelos Fluviotorrenciales</b>	Suelos conos de detritos (Sft1)
<b>Suelos Flujo de escombros</b>	Suelos flujo de escombros antiguos (Sfe1)
	Suelos flujo de escombros recientes (Sfe2)

Suelos Aluviales	Suelos Aluviales de cauce activo (Sa1)
	Suelos aluviales terrazas bajas (Sat1)
	Suelos aluviales terrazas medias (Sat2)
	Suelos aluviales terrazas altas (Sat3)
Suelos llenos Antrópicos SI	Suelos de llenos antrópicos (Sla)

Fuente: Vallejo 2006

Los principales factores geológicos que se analizan y sirven para caracterizar y evaluar los materiales del suelo son: Composición litológica y mineralógica, color, tamaño y forma de los granos (textura), dureza de los granos, consistencia, densidad relativa, estructuras, resistencia a la penetración (penetrómetro de bolsillo), humedad y compacidad (suelos gruesos).

#### 6.4.4. Unidades de Suelo Transportado

Dentro de este tipo de materiales, en la vía guaduas Villeta, predominan los suelos aluviales derivados de la de las quebradas y son abundantes también los depósitos de ladera o coluviales, algunos de los cuales presentan actividad reciente desarrollando movimientos en masa:

##### Suelos Coluviales Activos (SCO1) e Inactivos (SCO2)

Los coluviones son masas de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de la lluvia o movimientos en masa (INGEOMINAS, 2007). Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz soportados según el origen de los sedimentos, su tamaño de grano varía desde grava (diámetro 1,0cm) hasta bloques de 0,8 m de diámetro, con consistencia muy baja a baja en coluviones recientes y media a alta en coluviones antiguos y meteorización intermedia a alta. Su composición litológica depende de la fuente de origen.

Los coluviones activos se asocian a depósitos de ladera, a movimientos en masa que presentan actividad o han tenido movimiento en épocas recientes. Son no consolidados, permeables, con fragmentos poco alterados, susceptibles a ser erosionados y a generar nuevos movimientos en masa. Los suelos coluviales activos se caracterizan por su consistencia moderada y no han presentado movimientos recientes. En el del fallo esta relacionados con los movimientos que se han presentado.

**Fotografía 9. Depósito de Suelo Coluviales**



Fuente: Torres Ingeniería

#### 6.4.5. Unidad de Suelos Residuales

##### Suelo Residual de la Formación Seca

Suelo arcillo limosos y en algunas partes arenoso limoso, de color grisáceos, ocres claros a oscuros, se confunden con la roca debido al grado de meteorización que presentan, se presentan con espesores variables al encontrarse expuestos son fácilmente erosionables transformándose en suelo transportados, se observa en el costado interno de la vía en el sector K44+950. Los espesores son variables desde pocos centímetros a espesores de 3 m.

### Fotografía 10. Transición Roca muy Meteorizada a Suelos Residuales



Fuente: Torres Ingeniería

#### 6.4.6. Unidades de las Rocas Blandas de la Formación Seca

Corresponden básicamente a areniscas de grano medio a fino. Se encontraron a profundidades que varían entre los 13 y 17 m, de acuerdo con las perforaciones realizadas. Son de color blanco algo oxidadas presentando colores rojizos, compuestos principalmente por cuarzo y sílice. Se encuentra altamente fracturada debido a la actividad sísmica del sector.

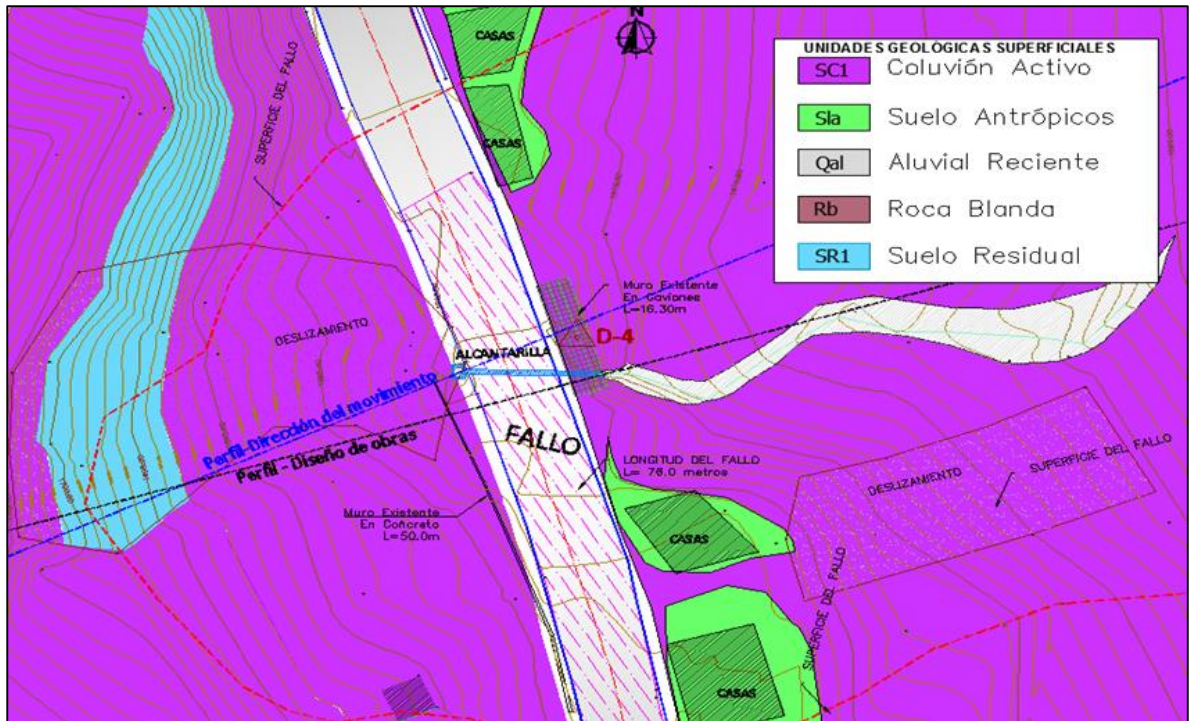
En el contacto con el depósito coluvión existente en el sitio presenta un alto grado de meteorización.

### Fotografía 11. Rocas Existentes en el Sector, Extraídas de la Perforación



Fuente: Torres Ingeniería

Figura 10. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales

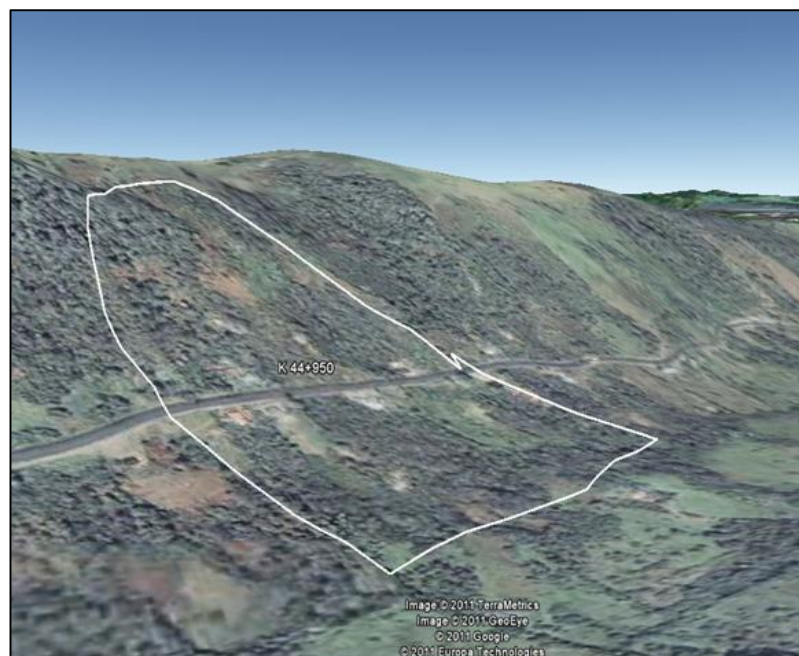


Fuente: Torres Ingeniería

## 6.5. GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR

El sector se caracteriza por poseer geoformas de origen denudacional -estructural, al costado interno como el externo de la vía, con laderas cóncavas de pendientes moderadas a fuertes. El terreno al costado interno de la vía forma un área de drenaje específica la cual drena hacia la vía. La longitud de la Geoforma es de aproximadamente 600 m, encontrándose la vía en la parte central. Con las evidencias encontradas en campo, la geoforma se encuentra en movimiento afectada por la actividad sísmica y la saturación de los depósitos coluviales que la cubren superficialmente en gran porcentaje del área.

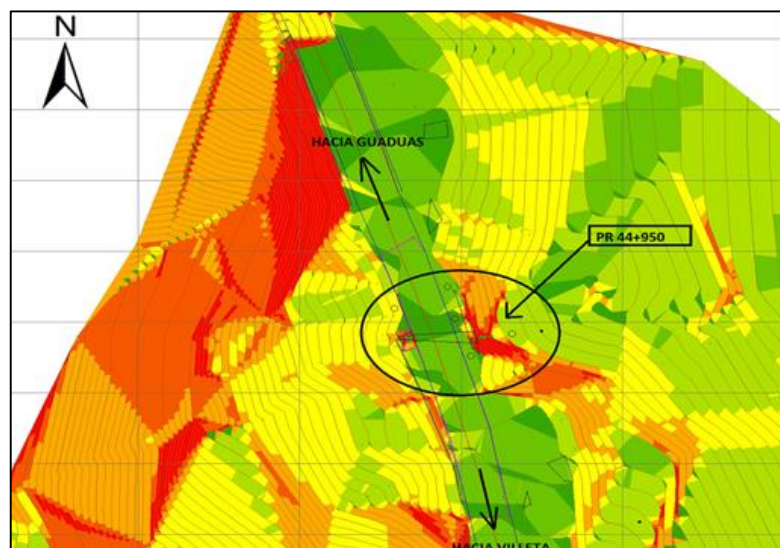
**Figura 11. Perspectiva de la Geoforma donde se Localiza el Sector del PR 44 + 950**



Fuente: Google Earth

### 6.5.1. Pendientes del Sector

**Figura 12. Vista del Terreno, Modelo Digital PR 44 + 950**



Fuente: Torres Ingeniería

INTERVALOS DE PENDIENTES (según Ingeominas 2001)				
ID	MÍNIMA	MÁXIMO	IDENTIFICACION	
1	0'	2'	PLANA	
2	2'	10'	LIGERAMENTE INCLINADA	
3	10'	18'	MODERADAS	
4	18'	26'	MODERADAMENTE EMPINADA	
5	26'	34'	EMPINADAS	
6	34'	42'	MUY EMPINADAS	
7	> 42'		ESCARPES	

Fuente: Torres Ingeniería

Se observa que en el mapa de pendientes, el mayor porcentaje se encuentra entre los 10 y 18°, aunque en la parte superior se encuentran pendientes muy inclinadas con porcentajes superiores a 42°, lo cual indica una alta susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. En la parte exterior de la vía las pendientes disminuyen aumentando el espesor de los depósitos de suelos transportados.

## 6.6. EXPLORACION GEOTECNICA

Para la planeación de las investigaciones geotécnicas se utilizaron los criterios generales de los lineamientos establecidos en el contrato de consultoría realizado por Torres Ingeniería.

### 6.6.1. Investigaciones preliminares

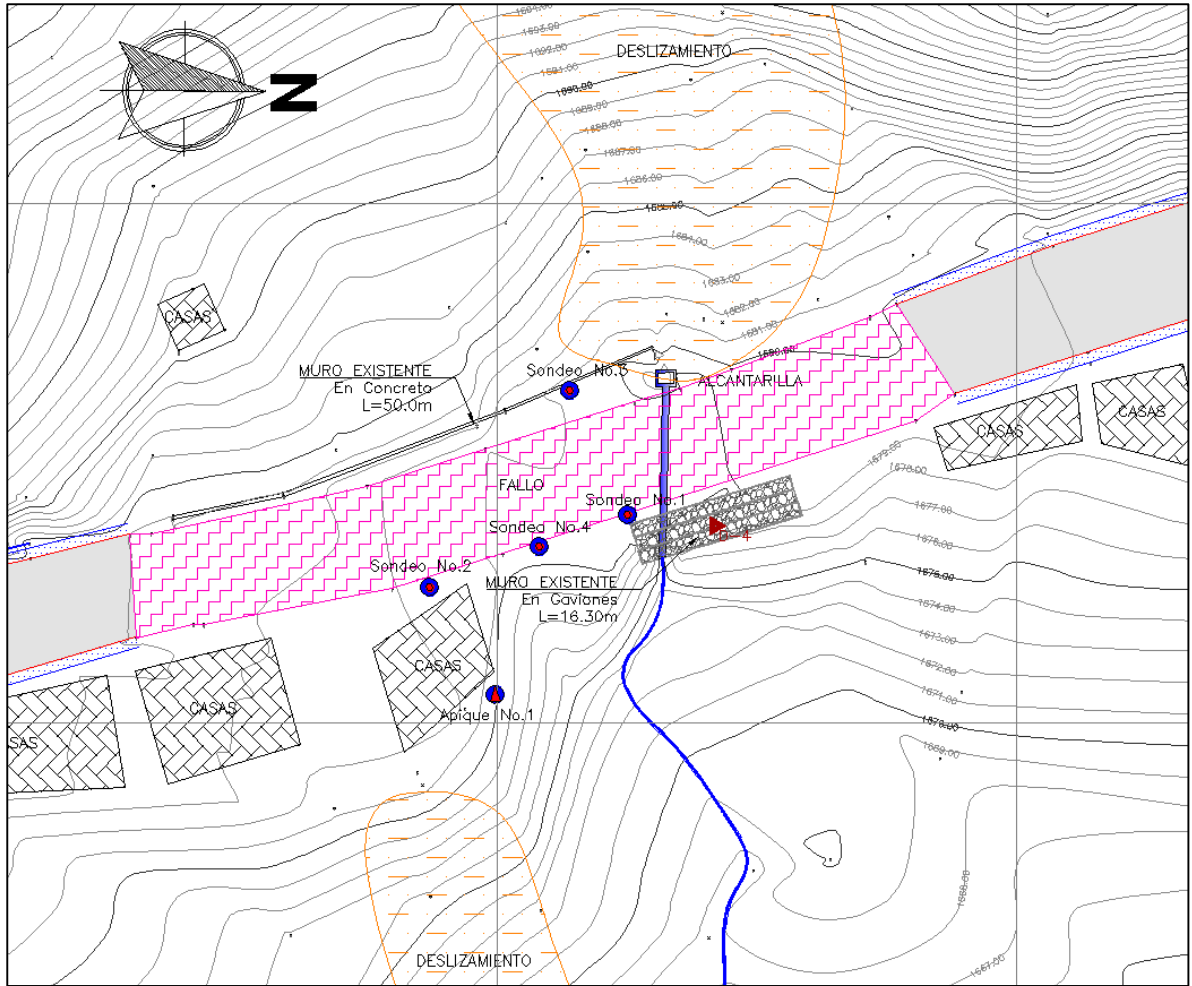
Se realizaron visitas de inspección a la zona en estudio, se revisaron los informes de estudios existentes en la zona, planos y la base de datos de INGEOMINAS con el objeto de determinar las características físicas, geológicas y geotécnicas generales definiendo las principales limitantes y en esta forma programar los trabajos de campo y de laboratorio.

### 6.6.2. Exploración del subsuelo

Con el objeto de conocer las características de resistencia de los materiales encontrados en la zona se adelantó en la zona un trabajo de exploración geotécnica el cual comprendió 4 Perforaciones en la zona de estudio, dos perforaciones mediante equipo de rotoperCUSión y dos perforaciones mediante equipo de percusión simple, distribuidos estratégicamente.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de los sondeos realizados.

Figura 13. Localización de los Sondeos



Fuente: Torres Ingeniería

### 6.6.3. Registro Fotográfico de los Sondeos

**Fotografía 12. Detalle de Sondeo No. 1**



Fuente: Torres Ingeniería

**Fotografía 13. Detalle de Sondeo No. 2**



Fuente: Torres Ingeniería

**Fotografía 14. Detalle de Sondeo No. 3**



Fuente: Torres Ingeniería

En la siguiente figura se puede observar la máquina de perforación, trabajando en rotación, donde se utiliza un revestimiento, para la recuperación de las muestra a profundidades bajas.

**Fotografía 15. Detalle de revestimiento Sondeo No. 4**



Fuente: Torres Ingeniería

## 6.7. ENSAYOS GEOFISICOS

Para la ejecución del Estudio Geoeléctrico se efectuaron cuatro (4) fases o etapas de trabajo que incluyeron las siguientes actividades:

*Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural:* Realizada en los alrededores del área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación (actitud) de las capas de roca en superficie y constatar e identificar los principales agentes hídricos.

*Fase de Adquisición de Datos:* Efectuada con la visita puntual en el sitio del proyecto para planear la ubicación y ejecución de los tres (3) Sondeos Eléctricos Vertical “SEV”. La Investigación Geofísica fue realizada a una profundidad de 100.0 m.

*Fase de Valoración de Información:* Revisión bibliográfica y análisis de la información geológica existente de superficie y subsuelo, para los sectores del estudio.

*Fase de Procesamiento e Interpretación:* Con los datos adquiridos de las fases anteriores y utilizando software, se realizó el procesamiento e interpretación de los datos y se correlacionaron los resultados con la información regional y local.

El estudio geoeléctrico se realizó con un equipo de resistividad GESS-2000 compuesto por un Transmisor y un Receptor con las siguientes características: Potencia 1500 W, Máximo Voltaje de Salida 400V, AB/2 Máxima de 1000 m de profundidad, Electrodo en Acero encaquetados en Cobre de Alta Conductividad, Corriente de salida: continua DC, Precisión en la corriente de salida 0.5% en 100mA, Tiempo de pulsación de 1 a 4 segundos, Lecturas en auto-rango, Precisión V/I de 0.1%, Impedancia de entrada 1 M mínimo, Fuente de entrada 12V, Operación de temperaturas entre -5°C a +50°C, accesorios.

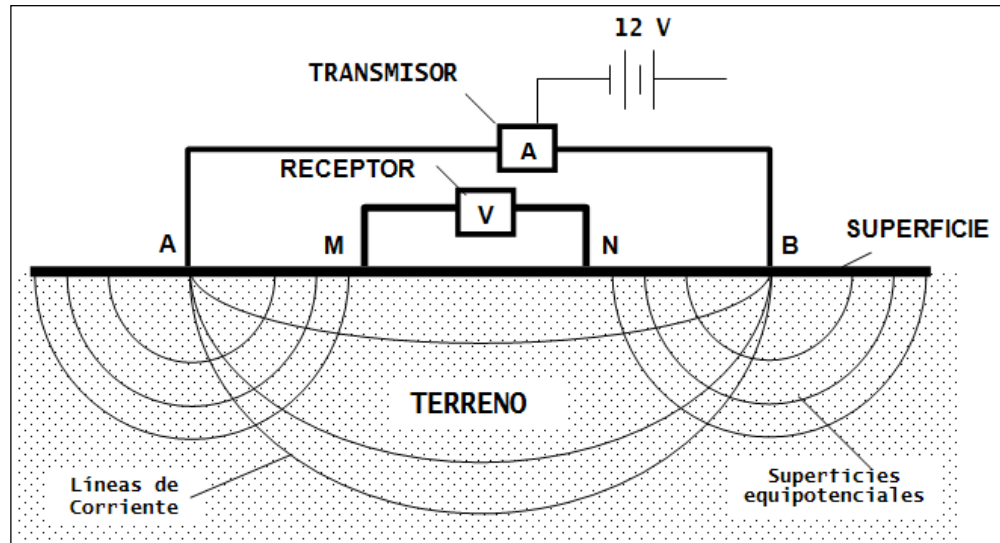
Para la localización de los SEV's se utilizó un GPS (Global Positioning System) Magellan Meridian Platinun.

Este método consiste en medir las caídas de potencial en los estratos rocosos ubicados entre dos electrodos. Arroja información confiable acerca de propiedades tales como litologías, grado de compactación, dureza y presencia o ausencia de fluidos dentro de las unidades porosas.

Mediante cálculos matemáticos, los datos obtenidos en campo, se convierten en medidas de las resistividades aparentes de las rocas del subsuelo.

Graficando estas resistividades contra la profundidad se obtienen un estimativo de los espesores y resistividades del subsuelo utilizando para ello software especializado.

**Figura 14. Configuración Electroica Tipo Schlumberger**



Fuente: Torres Ingeniería

Esquema de la configuración electródica tipo Schlumberger para la ejecución de los Sondeos Eléctricos Vertical (SEV).

De este arreglo se extrae el siguiente valor de K:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{L-1} - \frac{1}{L+1} - \frac{1}{L+1} + \frac{1}{L-1}} = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l}$$

En este tipo de arreglo, los electrodos de potencial (M, N) se ubican simétricamente a una distancia L del punto central.

De igual forma se colocan los electrodos de corriente (A B) en una distancia L del punto central, conservando entre todos una alineación.

**Fotografía 16. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**



Fuente: Torres Ingeniería

**Fotografía 17. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2**



Fuente: Torres Ingeniería

### Fotografía 18. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3



Fuente: Torres Ingeniería

## 7. RESULTADOS

### 7.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Los resultados del levantamiento topográfico se pueden observar en la siguiente tabla, que contiene la cartera topográfica obtenida en campo.

**Tabla 3. Cartera Topográfica**

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
1	1048765.24	947091.805	1683.958	FALLO
10	1048822.17	947077.312	1680.022	FALLO
100	1048812.5	947082.752	1680.341	MUR
1004	1048821	947081	1680	D-4
1005	1048881.3	947056.116	1677.599	D-5
1006	1048771.51	947092.08	1683.693	D-6
1007	1048792.26	947104.778	1681.837	D-7
101	1048811.08	947084.387	1680.405	MUR
102	1048814.01	947084.231	1677.688	ALCA
103	1048817.5	947083.001	1679.086	ALCA
104	1048815.81	947083.642	1675.133	ALCA
105	1048827.29	947081.012	1678.039	PN
106	1048807.05	947097.004	1675.406	PN
107	1048808.57	947107.203	1672.11	PN
108	1048817.75	947084.531	1676.844	PN
109	1048815.89	947087.474	1673.717	CAN



PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
11	1048822.5	947065.975	1679.873	FALLO
110	1048834.51	947098.922	1669.395	PN
111	1048812.36	947096.633	1672.511	CAN
112	1048830.84	947091.822	1671.461	PN
113	1048819.39	947105.138	1669.407	CAN
114	1048842.57	947103.413	1668.66	PN
115	1048820.32	947120.672	1667.691	PN
116	1048832.03	947113.093	1670.146	PN
117	1048844.69	947097.02	1671.393	PN
118	1048835.44	947084.528	1674.839	PN
119	1048880.64	947068.67	1677.822	CAS
12	1048840.26	947070.88	1679.619	FALLO
120	1048844.98	947072.079	1679.582	CAS
121	1048875.58	947070.827	1677.935	CAS
122	1048848.17	947071.658	1679.17	CAS
123	1048848.92	947075.174	1678.783	CAS
124	1048871.7	947070.754	1678.371	CAS
125	1048854.84	947072.407	1678.469	CAS
126	1048872.32	947076.858	1678.412	CAS
127	1048876.98	947076.248	1678.318	CAS
128	1048887	947063.244	1677.661	PN

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
129	1048898.71	947055.86	1677.454	PN
13	1048835.86	947060.892	1680.243	FALLO
130	1048893.26	947068.22	1676.825	PN
131	1048910.54	947061.436	1676.349	PN
132	1048898.09	947074.525	1675.979	PN
133	1048755.02	947084.173	1684.467	VIA
134	1048758.02	947093.772	1684.338	VIA
135	1048754.92	947082.704	1684.342	CUN
136	1048757.54	947095.151	1684.193	CUN
137	1048739.2	947086.6	1685.196	CUN
138	1048743.69	947099.012	1684.911	CUN
139	1048743.05	947098.214	1685.188	VIA
14	1048843.97	947068.306	1679.59	FALLO
140	1048739.48	947087.75	1685.435	VIA
141	1048729.61	947103.254	1685.856	VIA
142	1048721.32	947094.199	1686.428	VIA
143	1048720.82	947093.386	1686.22	CUN
144	1048716.89	947109.21	1686.492	VIA
145	1048699.11	947106.303	1687.805	VIA
146	1048699.12	947104.66	1687.571	CUN
147	1048705.27	947116.299	1687.186	VIA

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
148	1048696.56	947104.591	1687.852	ALCA
149	1048697.64	947103.977	1687.806	ALCA
15	1048838.39	947059.66	1679.759	FALLO
150	1048697.22	947104.203	1686.831	ALCA
151	1048703.94	947119.415	1687.303	ALCA
152	1048708.66	947116.057	1687.022	ALCA
153	1048706.67	947117.753	1684.583	ALCA
154	1048737.02	947105.379	1685.382	CAS
155	1048767.66	947095.333	1684.198	CAS
156	1048767.54	947094.4	1684.149	POST
157	1048768.55	947097.266	1683.243	POST CAS
158	1048772.19	947096.241	1683.252	CAS
159	1048775.05	947105.619	1682.887	CAS
16	1048856.83	947064.304	1678.929	VIA
160	1048782.23	947105.797	1681.915	CAS-FALL
161	1048780.12	947101.257	1682.498	CAS-FALL
162	1048787.62	947097.527	1682.405	CAS-FALL
163	1048768.8	947080.415	1684.035	MUR
164	1048768.77	947080.046	1684.034	MUR
165	1048779.46	947078.172	1683.929	MUR
166	1048779.3	947077.879	1683.981	MUR



PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
167	1048798.01	947071.457	1683.009	MUR
168	1048769.3	947064.155	1690.447	CAS-FALL
169	1048699.17	947095.343	1693.347	PN
17	1048853.45	947054.071	1678.88	VIA
170	1048691.37	947088.74	1695.803	CAN
171	1048766.77	947074.196	1686.093	PN
172	1048699.72	947081.961	1697.72	PN
173	1048712.74	947088.454	1691.998	PN
174	1048784.42	947073.74	1684.69	PN
175	1048785.26	947055.571	1688.363	PN
176	1048766.88	947048.279	1694.267	PN
177	1048756.83	947002.994	1712.953	PN
178	1048746.81	947080.609	1694.513	PN
179	1048754.57	947078.253	1691.676	PN
18	1048857.08	947065.328	1678.615	CUN
180	1048745.1	947046.252	1703.349	PN
181	1048744.9	947076.85	1695.104	PN
182	1048796.87	947098.683	1681.976	PN
183	1048792.79	947105.989	1681.388	PN
184	1048784.3	947108.231	1681.4	PN
185	1048775.23	947107.651	1682.988	PN

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
186	1048801.48	947107.551	1677.529	PN
187	1048780.08	947120.409	1676.882	PN
188	1048793.53	947116.672	1675.791	PN
189	1048780.78	947132.166	1675.997	PN
19	1048852.98	947052.885	1678.488	CUN
190	1048804.18	947118.001	1672.534	PN
191	1048783.89	947139.098	1671.872	PN
192	1048808.42	947129.905	1668.438	PN
193	1048793.52	947135.414	1670.029	PN
194	1048803.62	947137.245	1667.905	PN
195	1048795.1	947151.829	1665.6	PN
196	1048814.09	947141.751	1665.508	PN
197	1048804.05	947160.251	1662.199	PN
198	1048818.27	947139.68	1664.708	PN
199	1048811.71	947157.103	1661.73	PN
2	1048764.62	947081.83	1684.011	FALLO
20	1048870.19	947060.761	1678.073	CUN
200	1048829.52	947150.665	1660.468	PN
201	1048810.43	947177.237	1656.403	PN
202	1048822.33	947174.63	1656.902	PN
203	1048817.75	947132.712	1666.843	PN

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
204	1048819.11	947187.971	1652.436	PN
205	1048828.68	947144.54	1663.97	PN
206	1048827.75	947187.249	1652.649	PN
207	1048790.56	947224.266	1647.23	PN
208	1048798.63	947231.758	1642.206	PN
209	1048806.8	947212.562	1644.701	PN
21	1048866.42	947048.625	1677.735	CUN
210	1048816.29	947208.651	1646.274	PN
211	1048865.42	947170.72	1656.39	PN
212	1048824.6	947114.182	1667.626	PN
213	1048893.59	947139.912	1661.989	PN
214	1048882.86	947114.783	1665.987	PN
215	1048868.07	947131.73	1663.483	PN
216	1048731.47	947018.65	1713.319	PN
217	1048724.84	946980.967	1727.842	PN
218	1048725.47	947030.921	1713.376	PN
219	1048742.55	947063.947	1702.346	PN
22	1048866.87	947049.826	1678.123	VIA
220	1048773.73	947062.142	1690.493	CAS
221	1048757.12	947035.949	1703.982	PN
222	1048713.54	946978.692	1733.373	PN

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
223	1048774.16	946971.457	1729.788	PN
224	1048718.44	947040.315	1718.864	PN
23	1048869.96	947060.063	1678.241	VIA
24	1048883.25	947044.306	1677.135	VIA
25	1048886.59	947054.427	1677.288	VIA
26	1048882.87	947043.29	1676.789	CUN
27	1048899.72	947049.545	1676.523	VIA
28	1048896.8	947039.362	1676.302	VIA
29	1048896.37	947038.136	1675.898	CUN
3	1048770.72	947090.465	1683.674	FALLO
30	1048901.07	947050.068	1676.453	VIA
31	1048918.38	947028.886	1674.38	CUN
32	1048919.29	947030.386	1674.856	VIA
33	1048922.85	947040.737	1675.014	VIA
34	1048919.09	947029.857	1674.827	ALCA
35	1048923.07	947028.062	1674.355	ALCA
36	1048921.16	947028.55	1672.325	ALCA
37	1048899.78	947036.122	1682.939	PN
38	1048887.63	947034.258	1686.804	PN
39	1048839.97	947054.933	1681.306	PN
4	1048766.66	947081.753	1683.544	FALLO



PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
40	1048867.97	947036.474	1693.335	PN
41	1048834.11	947040.805	1687.949	PN
42	1048854.5	947026.793	1705.702	PN
43	1048818.58	947038.072	1689.153	PN
44	1048852.21	947028.835	1703.665	POST
45	1048852.93	947031.756	1702.186	POST
46	1048825.76	947036.528	1688.503	PN
47	1048846.47	947018.944	1709.203	PN
48	1048841.62	947006.613	1715.728	PN
49	1048821.65	947031.61	1693.586	PN
5	1048771.73	947090.523	1683.38	FALLO
50	1048832.82	947033.328	1694.212	PN
51	1048830.83	947024.311	1700.839	PN
52	1048829.03	946994.831	1721.493	CAS
53	1048817.5	947018.04	1700.578	PN
54	1048806.19	947018.128	1699.966	PN
55	1048816.02	946984.775	1726.463	PN
56	1048788.54	947017.089	1699.792	PN
57	1048790.81	947026.109	1697.777	PN
58	1048803.09	947021.828	1698.355	PN
59	1048765.98	946963.365	1735.499	PN



PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
6	1048787.46	947077.173	1682.145	FALLO
60	1048760.63	946973.108	1731.879	PN
61	1048756.19	946977.557	1731.386	PN
62	1048793.08	947014.252	1704.444	PN
63	1048784.28	947005.227	1711.859	CAS
64	1048805.21	947013.217	1704.587	PN
65	1048816.05	947013.588	1704.825	PN
66	1048830.01	947021.417	1703.548	PN
67	1048717.55	947041.854	1716.701	PN
68	1048722.09	947051.972	1710.02	PN
69	1048788.51	947003.789	1711.689	CAS
7	1048789.86	947087.074	1682.045	FALLO
70	1048729.54	947047.872	1707.415	PN
71	1048716.23	946977.041	1735.969	PN
72	1048803.79	947064.026	1682.77	PN
73	1048808.69	947054.653	1683.674	PN
74	1048808.48	947044.795	1687.198	PN
75	1048816.28	947060.601	1681.434	PN
76	1048821.66	947061.444	1681.744	PN
77	1048830.85	947059.254	1681.283	PN
78	1048804.23	947047.574	1687.848	PN



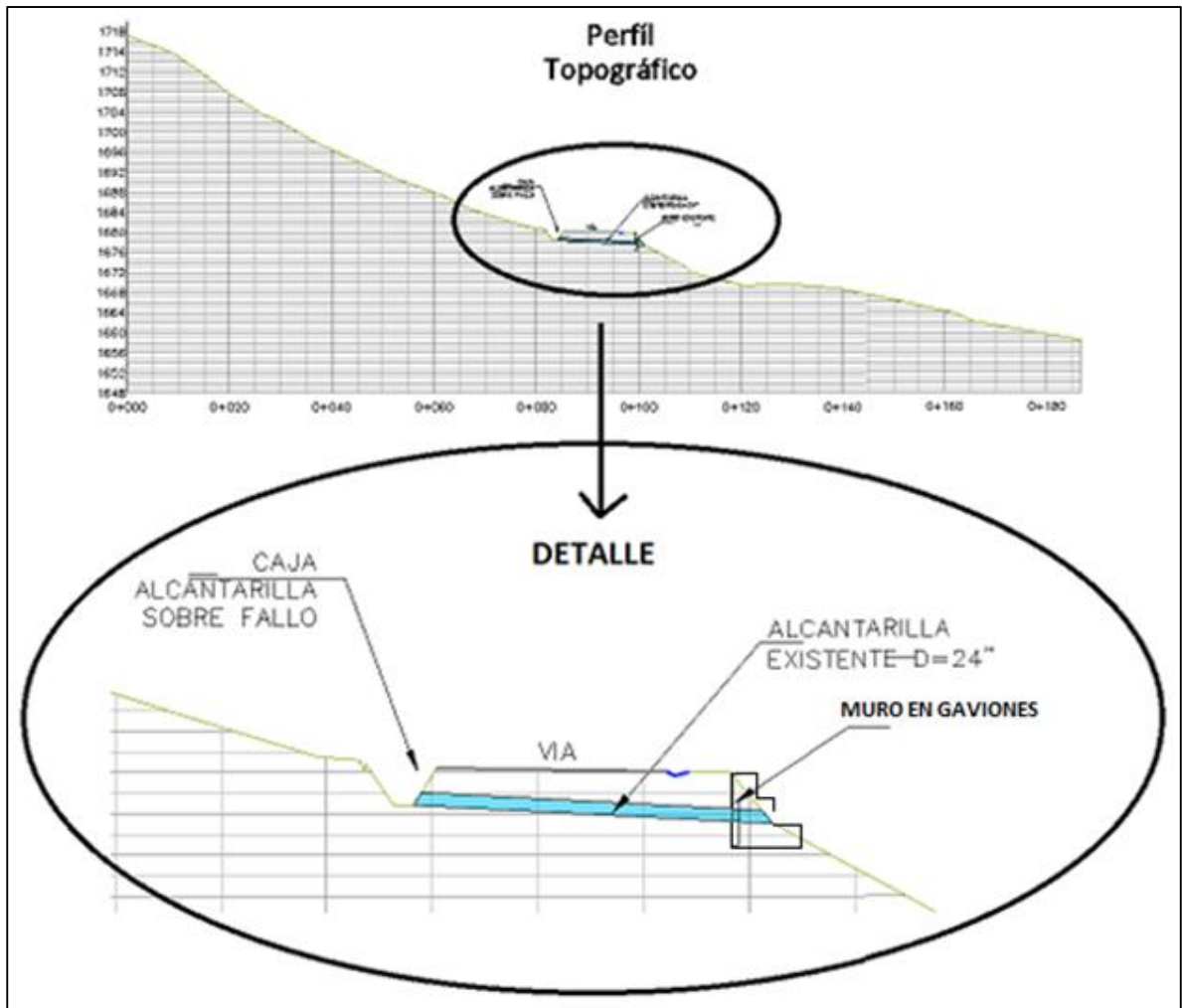
PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
79	1048800.75	947051.844	1687.992	PN
8	1048798.8	947073.622	1681.026	FALLO
80	1048795.32	947060.026	1687.187	PN
81	1048814.91	947063.933	1680.734	MUR
82	1048814.84	947063.757	1680.729	MUR
83	1048800.78	947070.005	1681.467	MUR
84	1048800.64	947069.822	1681.473	MUR
85	1048811.74	947065.483	1680.074	FALLO
86	1048813.17	947069.095	1680.397	FALLO
87	1048817.62	947067.766	1680.144	FALLO
88	1048816.77	947064.209	1679.771	FALLO
89	1048816.15	947064.598	1679.512	ALCA
9	1048800.51	947083.678	1680.831	FALLO
90	1048815.15	947064.68	1679.51	ALCA
91	1048815.59	947064.622	1677.543	ALCA
92	1048815.86	947066.994	1678.145	FALLO
93	1048815.04	947065.06	1680.514	TUB
94	1048819.86	947061.077	1681.557	TUB
95	1048837.65	947051.284	1682.719	TUB
96	1048828.99	947078.315	1679.874	MUR
97	1048828.93	947078.09	1679.886	MUR

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
98	1048826.49	947079.068	1679.946	MUR
99	1048826.74	947080.069	1679.929	MUR

Fuente: Torres Ingeniería

Con esta cartera topográfica se generó un esquema en planta y perfil mediante Autocad 3D, que permite identificar todas las características mencionadas anteriormente en el sector PR 44+950.

**Figura 15. Perfil Topográfico**

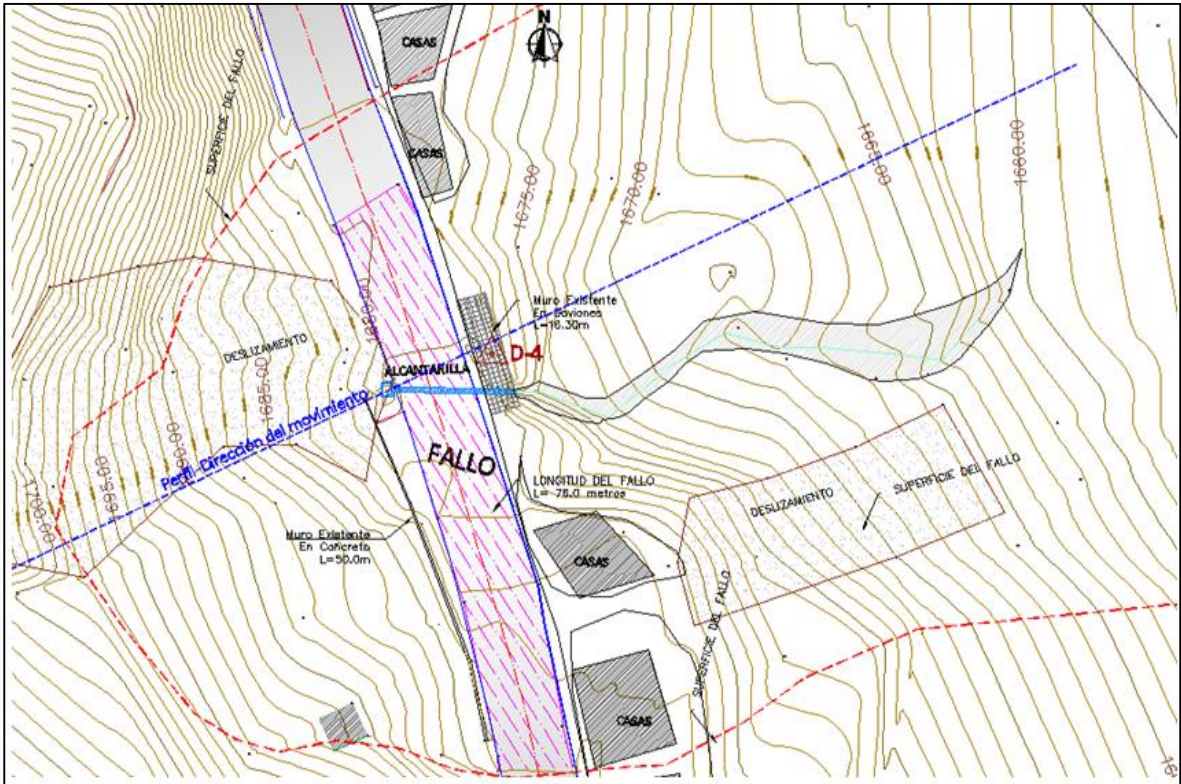


Fuente: Torres Ingeniería

La siguiente figura muestra la planta topográfica del PR 44+950 (El perfil que se muestra en la planta de la figura, corresponde al perfil de la figura anterior).

Se recomienda trasladar los deltas de topografía, a nuevos deltas auxiliares donde exista mejor estabilidad y más visibilidad, con el fin de tener mejores posibilidades de replanteo topográfico de obras de estabilización y chequeos de monitoreo de la estabilidad del sector.

**Figura 16. Planta Topográfica Sector PR 44 + 950**



Fuente: Torres Ingeniería

**7.2. EXPLORACION GEOTECNICA**




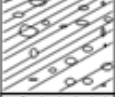
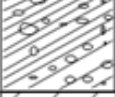

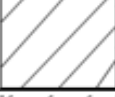






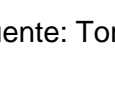
En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de los ensayos de penetración en estándar que se realizados en el sector en estudio, a profundidades hasta de 8.0 metros, donde se obtuvieron resultados para el N en campo. Para calcular el N a la profundidad deseada es necesaria la suma de los dos últimos valores a esta profundidad de 12” y 18”. Para los ensayos de rotación se alcanzaron profundidades hasta de 21 m.

**Tabla 4. Registro de golpes Ensayo de penetración estándar Sondeo No. 1**

Proyecto	VÍA GUADUAS - VILLET PR 44+950	COORDENADAS		
		ESTE	947076.626	
Lugar	SONDEO No. 1	NORTE	1048829.992	
PROF(m)	MUESTRA	6"	12"	18"
0.0	M1	**	**	**
0.5		4	3	3
1.0		5	5	4
1.5	M2	22	8	4
2.0		3	3	4
2.5	M3	6	5	5
3.0		6	4	7
3.5	M4	11	7	8
4.0		11	9	10
4.5	M5	11	12	12
5.0		5	6	9
5.5	M6	10	13	14
6.0		3	3	4
6.5	M7	8	6	3
7.0		11	16	20
7.5	M8	26	30	35
8.0				

Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 5. Registro de perforación y perfil geotécnico Sondeo No. 2**

ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETÁ - PR 44+950		SONDEO No. 2	Coordenadas		E 947082.367		N 1048810.437		
PROF(m)	DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA	MUESTRA	Qu <sup>a</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	FRAGMENTOS > 10 CM	RQD	6"	12"	18"
0.00	DEPOSITO COLUVIAL CLASTOSOPORTADO, CONFORMADO POR FRAGMENTOS DE ARENISCAS CON TAMAÑOS HASTA DE 13 CM. LA MATRIZ ES ARENO ARCILLOSA DE BAJA HUMEDAD, MEDIANAMENTE CONSISTENTE. COLOR PARDO AMARILLENTO		M1						ROTACIÓN
1.00	CONTINUA EL ESTRATO		M2						ROTACIÓN
2.00	CONTINUA EL ESTRATO		M3						ROTACIÓN
3.00	CONTINUA EL ESTRATO, SE RECUPERAN FRAGMENTOS DE ROCAS DE MAYOR MAYOR TAMAÑO LAS MATRIZ ES MAS ARCILLOSA, Y DE MAYOR HUMEDAD		M4						ROTACIÓN
4.00	CONTINUA EL ESTRATO		M5						ROTACIÓN
5.00									ROTACIÓN
6.00	DEPOSITO COLUVIAL MATRIZ SOPORTADO, HUMEDAD MEDIA A BAJA, COLOR PARDO AMARILLENTO CON VETAS HABANO CLARO. MEDIANAMENTE CONSISTENTE.		M6						ROTACIÓN
7.00									ROTACIÓN
8.00	CONTINUA EL ESTRATO		M7						ROTACIÓN
9.00									ROTACIÓN
11.00	CONTINUA EL ESTRATO		M8						ROTACIÓN
13.00									ROTACIÓN
15.00	ROCAS DE LA FORMACION SECA, FRACTURADAS, INTERCALACION DE LODOBITAS CON ARENISCAS, DE GRANO MEDIO A FINO. COLOR CLARO CON VETAS ROJIZAS, DURAS		M9		45	23%			ROTACIÓN
17.00	CONTINUA EL ESTRATO CON ROCAS MAS DURAS		M10		73	37%			ROTACIÓN

Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 6. Registro de golpes ensayo de penetración estándar Sondeo No. 3**

Proyecto	VÍA GUADUAS - VILLETA PR 44+950	COORDENADAS		
		ESTE	947063.423	
Lugar	SONDEO No. 3	NORTE	1048823.893	
PROF(m)	MUESTRA	6"	12"	18"
0.0	M1	**	**	**
0.5		3	1	2
1.0	M2	3	2	2
1.5		2	2	2
2.0	M3	3	4	5
2.5		6	6	6
3.0	M4	4	6	7
3.5		7	8	8
4.0	M5	9	7	9
4.5		9	9	10
5.0	M6	10	10	11
5.5		12	11	12
6.0	M7	13	12	13
6.5		14	14	18
7.0	M8	14	14	15
7.5		15	15	14
8.0				

Fuente: Torres Ingeniería

Tabla 7. Registro de perforación y perfil geotécnico Sondeo No. 4

ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETÁ - PR 44-950		SONDEO No. 4	COORDENADAS		E 947078,437		N 1048820,982		
PROF(m)	DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA	MUESTRA	Qu <sup>+</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	FRAGMENTOS > 10 CM	RQD	6"	12"	18"
0.00	DEPOSITO COLUVIAL CLASTOSOPORTADO, CONFORMADO POR FRAGMENTOS DE ARENISCAS CON TAMAÑOS HASTA DE 13 CM. LA MATRIZ ES ARENO ARCILLOSA DE BAJA HUMEDAD, MEDIANAMENTE CONSISTENTE. COLOR PARDO AMARILLENTO		M1						ROTACIÓN
1.00	CONTINUA EL ESTRATO		M2						ROTACIÓN
2.00	CONTINUA EL ESTRATO, SE RECUPERAN FRAGMENTOS DE ROCAS DE MAYOR TAMAÑO LAS MATRIZ ES MAS ARCILLOSA, Y DE MAYOR HUMEDAD		M3						ROTACIÓN
3.00	CONTINUA EL ESTRATO		M4						ROTACIÓN
4.00	CONTINUA EL ESTRATO		M5						ROTACIÓN
5.00	CONTINUA EL ESTRATO		M6						ROTACIÓN
6.00	DEPOSITO COLUVIAL MATRIZ SOPORTADO, HUMEDAD MEDIA A BAJA, COLOR PARDO AMARILLENTO CON VETAS HABANO CLARO, MEDIANAMENTE CONSISTENTE		M7						ROTACIÓN
7.00	CONTINUA EL ESTRATO		M8						ROTACIÓN
8.00	CONTINUA EL ESTRATO		M9						ROTACIÓN
9.00	CONTINUA EL ESTRATO		M10						ROTACIÓN
11.00	CONTINUA EL ESTRATO		M11						ROTACIÓN
13.00	SUELOS ARENO LIMOSOS, DE HUMEDAD BAJA, DENSOS		M12						ROTACIÓN
15.00	CONTINUA EL ESTRATO		M13						ROTACIÓN
17.00	CONTINUA EL ESTRATO		M14						ROTACIÓN
19.00	ROCAS DE LA FORMACION SECA, FRACTURADAS, INTERCALACION DE LODOLITAS CON ARENISCAS, DE GRANO MEDIO A FINO. COLOR CLARO CON VETAS ROJIZAS, DURAS		M15	279	62	31%			ROTACIÓN
21.00	CONTINUA EL ESTRATO CON ROCAS MAS DURAS		M16		89	45%			ROTACIÓN

Fuente: Torres Ingeniería

### Fotografía 19. Detalle de Recuperación de Muestra



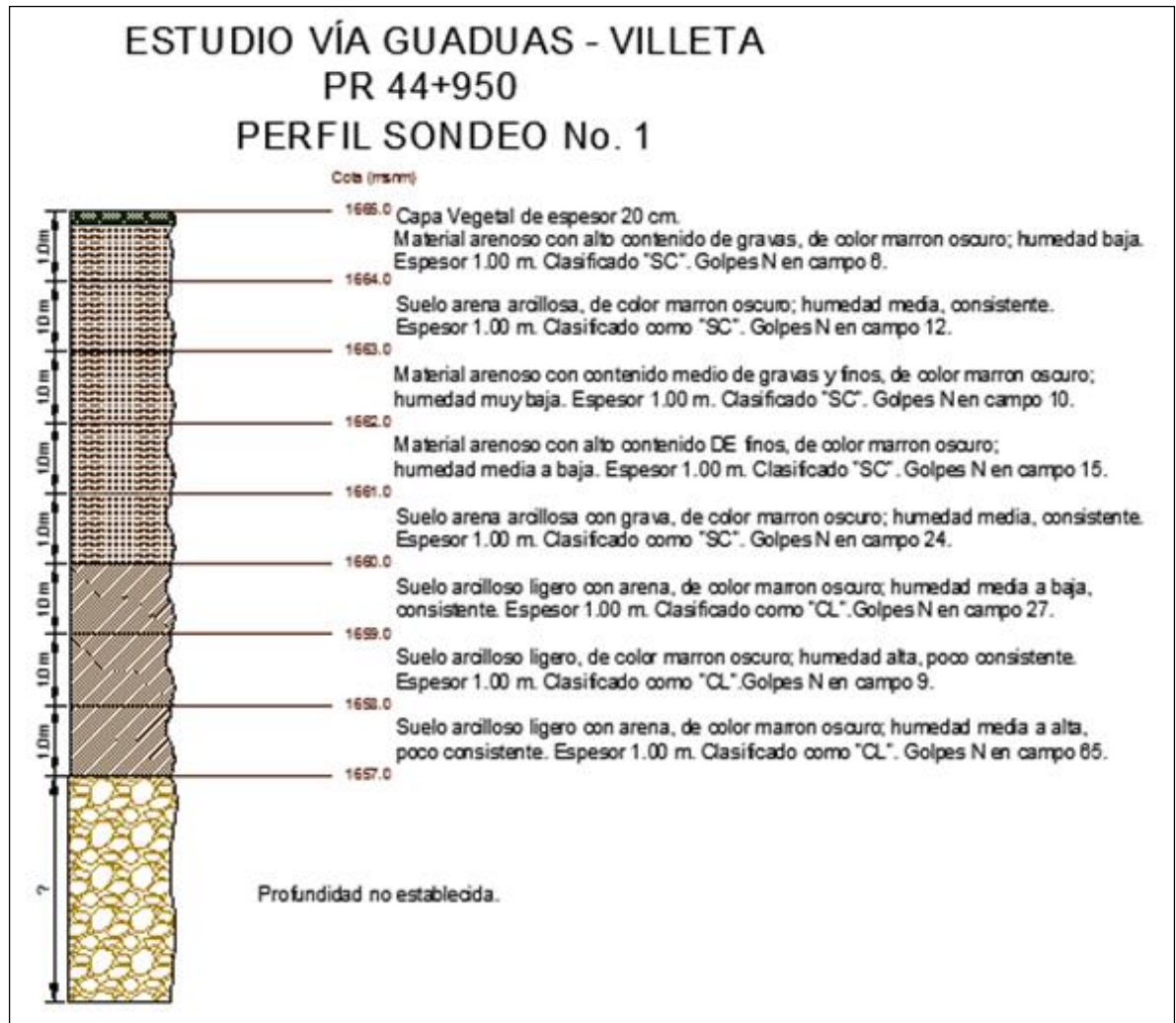
Fuente: Torres Ingeniería

En la fotografía anterior se puede observar algunas de las muestras recuperadas en los Sondeos realizados en este sector, donde se aprecian muestras de suelo areno arcilloso y arcillo arenoso de colores marrones oscuros con humedades medias a bajas en su mayoría con baja consistencia.

#### 7.2.1. Perfil Geotécnico Típico

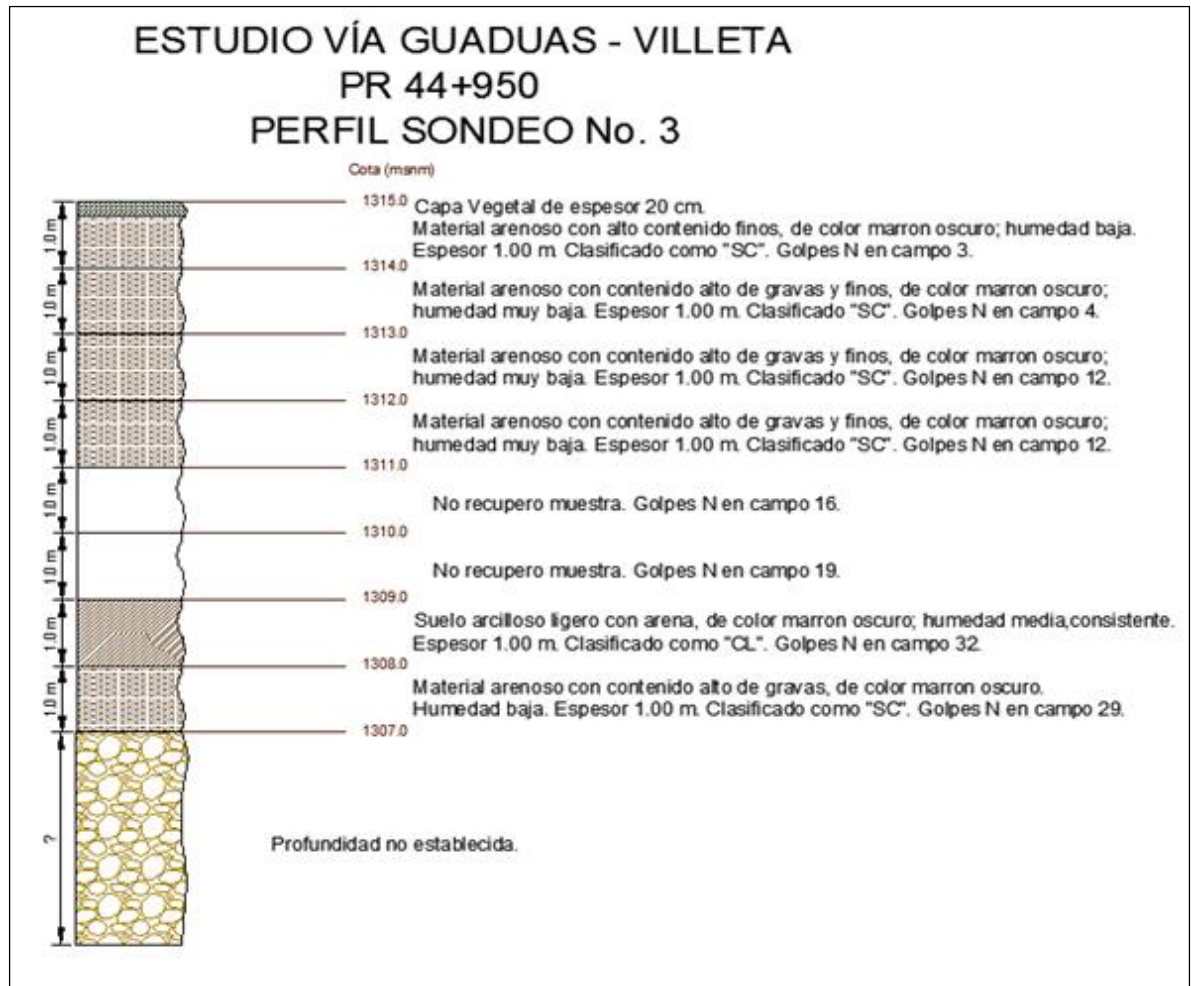
De acuerdo con las perforaciones realizadas en el sector, y los resultados de laboratorio, se elaboraron unos perfiles geotécnicos típicos del terreno que se puede observar en las siguientes figuras. Solo se detallan los perfiles de los Sondeos No. 1 y No. 3, ya que en los registros de golpes anteriores se pueden detallar los perfiles geotécnicos de los Sondeos No. 2 y No. 4.

Figura 17. Perfil Geotécnico Típico Sondeo No. 1



Fuente: Torres Ingeniería

Figura 18. Perfil Geotécnico Típico Sondeo No. 3



Fuente: Torres Ingeniería

Se encontró que en el sector en estudio se encuentran diferentes depósitos geológicos, siendo los más superficiales, los depósitos coluviales activos. Estos depósitos se hallan en toda la geofoma, son matriz soportados en general, la matriz es arcillo arenosa, de plasticidad media moderadamente consistente y presenta alta humedad, la permeabilidad es baja, permaneciendo alta la presión durante largos periodos. El espesor de estos materiales es variable de acuerdo con la topografía de cada sitio, en la laderas al interior de la vía el espesor no sobre pasa los 3m, observándose en los sectores de escarpes los afloramientos de los suelos residuales arenosos. En el talud exterior de la vía los depósitos coluviales tienen mayores espesores coincidiendo con las menores pendientes que presentan.

Debajo de estos depósitos de ladera, se encuentran suelos residuales producto de la meteorización de rocas blandas de la formación Seca. Estos suelos son pardo amarillentos con franjas rojizas, eminentemente arenosos, medianamente densos friables y compuesto por minerales de cuarzo y sílice.

La transición entre los depósitos coluviales y los suelos residuales se presenta de manera continua, pero no siempre concordante. Bajo los suelos residuales, se encuentra un estrato meteorizado y fracturado de la formación Seca. Las rocas están compuestas principalmente por areniscas de grano fino a medio, intercaladas con lodolitas, de colores claros

El agua en estas rocas fluye a través de las grietas que presentan.

En la exploración geotécnica adelantada el nivel freático se encontró cercano a la superficie en el costado interno de la vía. En las perforaciones en la parte exterior de la banca se encontró el nivel de agua a 3 metros de profundidad.

### 7.3. ENSAYOS GEOFISICOS

#### 7.3.1. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1

Localización: Sector PR 34+870

Profundidad Investigada: AB/2= 100.00 m

Terreno: Plano ha Inclinado.

Coordenadas: X = 1'051.908, Y = 943.158, Z = 1131 msnm.

Error Relativo: 0.0051

#### 7.3.2. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2

Localización: Sector PR 37+900

Profundidad Investigada: AB/2= 100.00 m

Terreno: Inclinado.

Coordenadas: X = 1'051.524, Y = 944.796, Z = 1270 msnm.

Error Relativo: 0.0075

### 7.3.3. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3

Localización: Sector PR 44+950

Profundidad Investigada: AB/2= 100.00 m

Terreno: Inclinado.

Coordenadas: X = 1'048.829, Y = 947.078, Z = 2019 msnm.

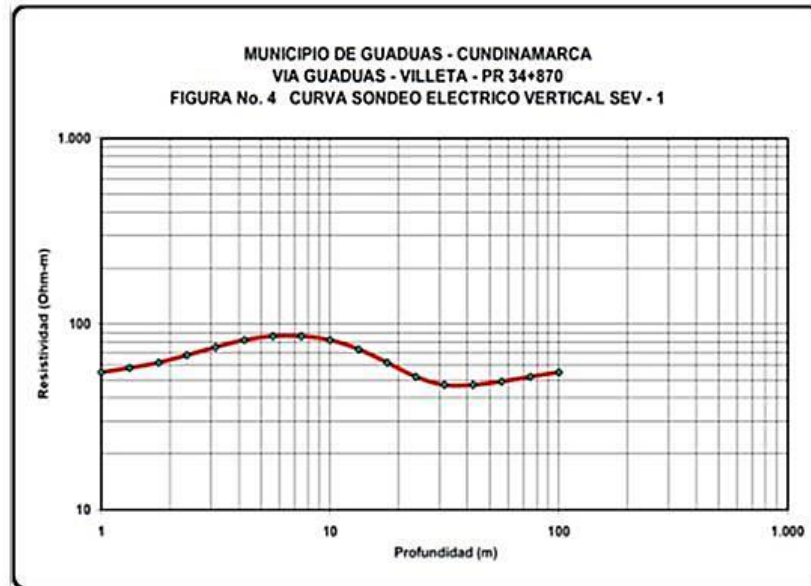
Error Relativo: 0.0119

**Tabla 8. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**

PROFUNDIDAD (metros) de hasta	UNIDAD GEOELÉCTRICA	RESISTIVIDAD Ohm-m	CORRELACIÓN HIDROGEOLÓGICA
0.00 - 0.60	I	50	Suelo areno-arcilloso
0.60 - 1.70	II	69	Material <u>coluvial</u> compuesto por fragmentos de areniscas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
1.70 - 6.60	III	114	Material <u>coluvial</u> compuesto por fragmentos de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa.
6.60 - 23.40	IV	33	Basamento terciario compuesto por areniscas de grano medio intercaladas <u>intercaladas</u> con <u>lodolitas</u> húmedas. Fm San Juan de Río Seco.
23.40 - 100.00	V	64	Basamento terciario compuesto por areniscas de grano medio intercaladas con <u>lodolitas</u> húmedas. Fm San Juan de Río Seco.

Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 9. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**



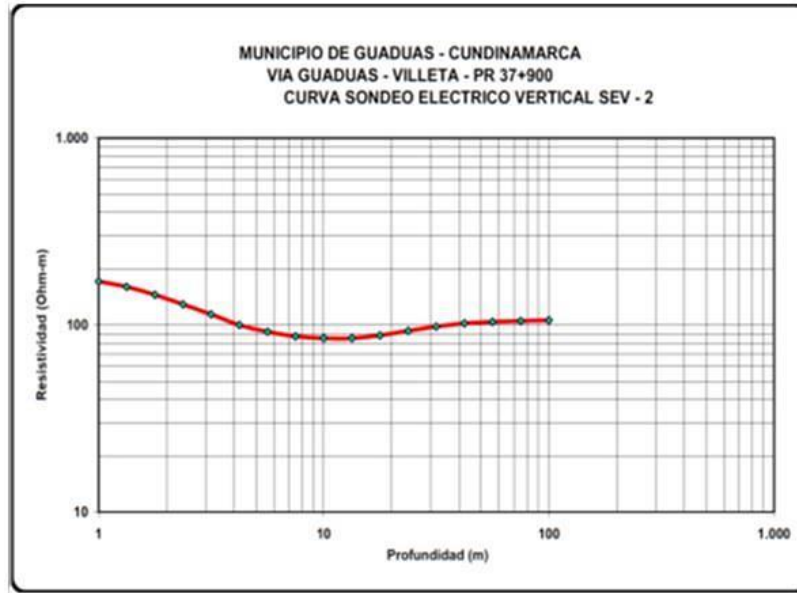
Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 10. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2**

PROFUNDIDAD (metros) de hasta	UNIDAD GEOELECTRICA	RESISTIVIDAD Ohm-m	CORRELACION HIDROGEOLOGICA.
0.00 - 0.70	I	194	Suelo areno-arcilloso con fragmentos.
0.70 - 2.20	II	99	Material <u>coluvial</u> compuesto por fragmentos de areniscas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
2.20 - 10.30	III	83	Material <u>coluvial</u> compuesto por fragmentos de areniscas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
10.30 - 100.00	IV	110	Basamento terciario compuesto por <u>arcillolitas</u> y <u>lodolitas</u> intercaladas ligeramente húmedas. Fm San Juan de Río Seco.

Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 11. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2**



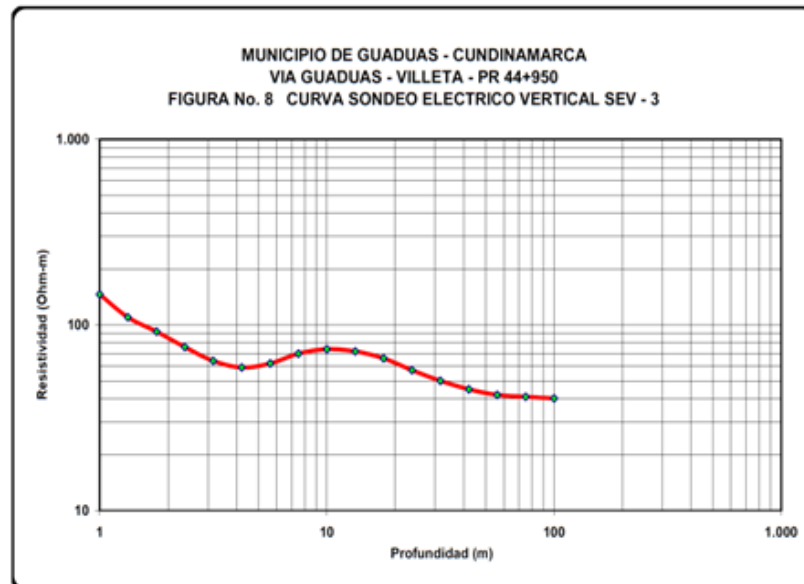
Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 12. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3**

PROFUNDIDAD (metros) de hasta	UNIDAD GEOELECTRICA	RESISTIVIDAD Ohm-m	CORRELACION HIDROGEOLOGICA.
0.00 - 0.50	I	195	Suelo areno-arcilloso con fragmentos.
0.50 - 1.40	II	85	Material coluvial compuesto por fragmentos de areniscas y lodolitas embebidos en una matriz arcillosa.
1.40 - 4.60	III	58	Material coluvial compuesto por fragmentos de areniscas y lodolitas embebidos en una matriz arcillosa. Cierta grado de humedad.
4.60 - 16.2	IV	79	Material coluvial compuesto por fragmentos de areniscas y lodolitas embebidos en una matriz arcillosa.
16.2 - 100.00	V	39	Basamento cretácico meteorizado, compuesto por una intercalación de lodolitas y limolitas húmedas y fracturadas. Fm Seca.

Fuente: Torres Ingeniería

**Tabla 13. Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3**



Fuente: Torres Ingeniería

#### 7.4. DIAGNOSTICO

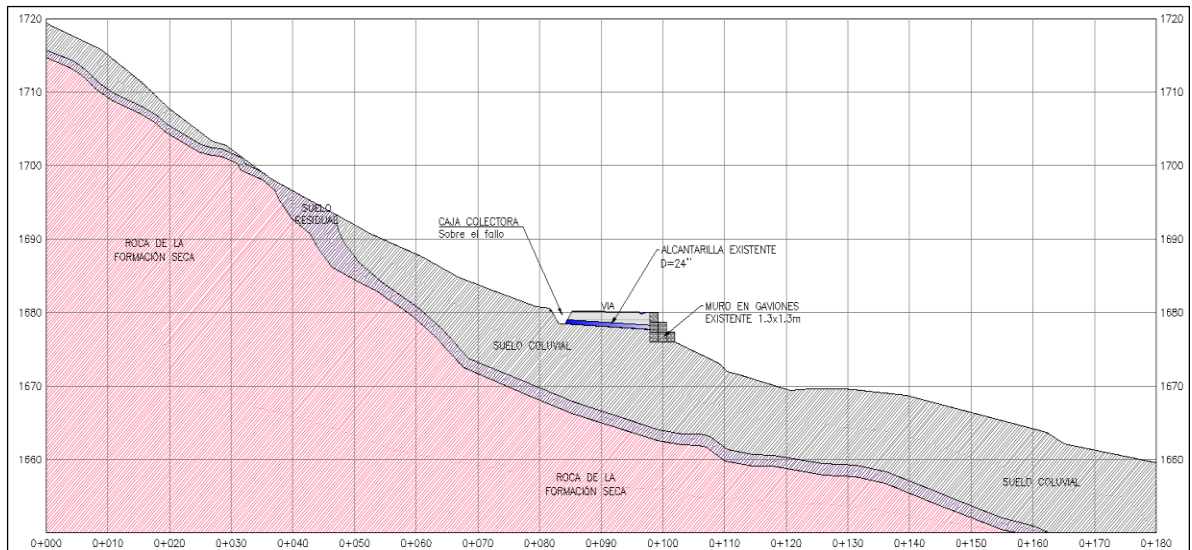
El problema consiste en el desplazamiento de un depósito coluvial compuesto por bloques heterométricos de rocas sedimentarias en matriz areno-arcillosa suprayaciendo sobre los planos de buzamiento de la estructura de la roca fracturada de la Formación Seca.

El buzamiento de la roca varía entre  $18^{\circ}$  y  $60^{\circ}$  este es muy variable, llegando a ser muy alto y supera ampliamente el ángulo de fricción de la estructura de la roca. Al desconfinarse los mantos de roca, la susceptibilidad a desplazarse es muy alta.

En temporadas de lluvias los depósitos coluviales se saturan y se activan los deslizamientos.

La longitud de vía afectada es de aproximadamente 80 metros y la profundidad de la superficie de falla típica es igual al espesor del depósito coluvial el cual es de aproximadamente 17 metros.

**Figura 19. Modelo Geológico – Geotécnico**



Fuente: Propia

Históricamente se han construido obras para estabilizar el deslizamiento, muros en gaviones y canales para la recolección de las aguas de escorrentía, los cuales fallaron con el deslizamiento. La falla de estas estructuras se debe a que el movimiento es profundo, muy por debajo de la cimentación de los gaviones.

Como medida de mitigación se plantean dos alternativas:

Alternativa 1: Se recomienda la construcción de dos pantallas de pilotes de 1.0 metro de diámetro y 25 metros de longitud, ubicadas en el talud inferior y superior de la banca de la vía. En el talud superior se recomienda la construcción de una batería de subdrenes de penetración de 40 metros de longitud cada uno, con una pendiente de 3° y una separación horizontal de 10 metros.

Alternativa 2: Se recomienda la construcción de dos pantallas ancladas pretensionadas, en el talud superior la pantalla tendrá una pendiente conforme a la topografía del terreno y en el talud inferior se recomienda la construcción de un muro pantalla con anclajes pretensionados de 40 toneladas con el objeto de proteger y garantizar la estabilidad de la banca de la vía.

## 7.5. PARAMETROS GEOTECNICOS

En el presente capítulo se pretende establecer criterios y parámetros de diseño para la construcción de las obras de mitigación, que se ajusten realmente al comportamiento de las obras.

### 7.5.1. Resumen ensayo SPT

**Tabla 14. Resumen Nspt**

PROF (m)	SONDEO No. 1	SONDEO No. 3
	N golpes/pie	
0.0 a 0.5	**	**
0.5 a 1.0	6	3
1.0 a 1.5	9	4
1.5 a 2.0	12	4
2.0 a 2.5	7	9
2.5 a 3.0	10	12
3.0 a 3.5	11	13
3.5 a 4.0	15	16
4.0 a 4.5	19	16
4.5 a 5.0	24	19
5.0 a 5.5	15	21
5.5 a 6.0	27	23
6.0 a 6.5	7	25
6.5 a 7.0	9	32
7.0 a 7.5	36	29
7.5 a 8.0	65	29

Fuente: Propia

### 7.5.2. Clasificación de los suelos

Para la mayoría de los proyectos se debe definir una de las propiedades básicas del suelo que se determinan a partir investigación y pruebas de laboratorio:

- Clasificación del suelo (los suelos);

- Análisis de tamizado (suelos no cohesivos),
- Contenido de finos (suelos mixtos finos y de grano grueso)
- Humedad natural (en su mayoría suelos de grano fino)
- Límites de Atterberg (suelos de grano fino)
- Contenido de materia orgánica (suelos de grano fino).

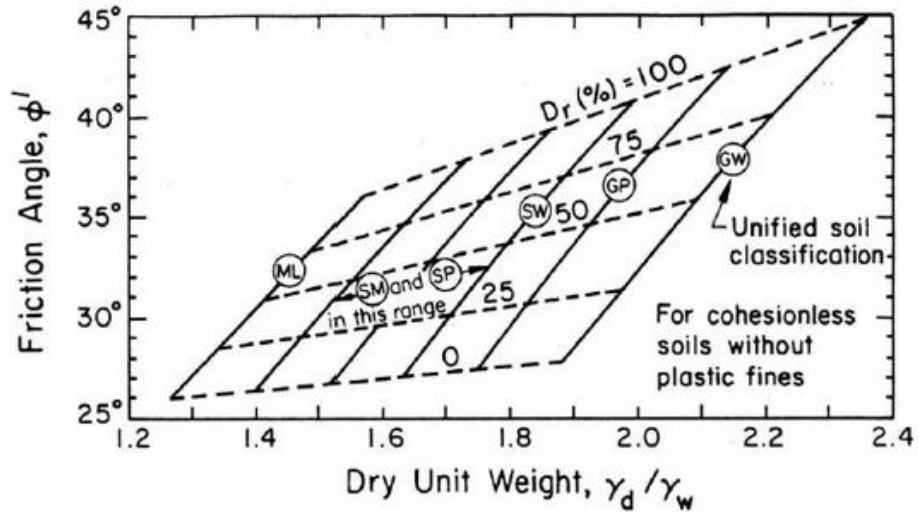
De los laboratorios que se realizaron se puede concluir que la muestra 1 del apique 1 a 2.60 metros de profundidad, los suelos se clasifican como SC arenas arcillosas, con un porcentaje de arena mayor a al 71%.

### 7.5.3. Análisis de los parámetros básicos

Un parámetro importante del suelo utilizado en el análisis, es la unidad de peso porque las fuerzas que actúan en un deslizamiento de suelo se ven directamente afectadas por el peso de la unidad. El peso unitario de suelos granulares y algunos suelos de grano fino se pueden estimar a partir de descripciones suelo en conjunto con descripciones de la densidad relativa.

El peso unitario se puede estimar a partir de correlaciones con el SPT N-valor. Las pruebas de laboratorio de un peso unitario in situ de suelos granulares no es práctico debido a que la densidad del suelo in situ no puede reproducir fácilmente en el laboratorio debido a la perturbación de la muestra.

**Figura 20. Correlación del ángulo de fricción efectiva en función de la clasificación del suelo, la densidad relativa y peso unitario.**



Fuente: Modified after U.S. Navy (1982), Kulhawy and Mayne (1990).

A partir de los ensayos de SPT realizados podemos determinar el valor de la densidad relativa de los suelos granulares, que en el caso del sitio estudiado tenemos como manto identificado el suelo coluvial.

Para determinar las propiedades de los suelos residuales se tomó en cuenta correlaciones de la literatura tal como:

**Tabla 15. Propiedades de los suelos arcillosos. Hunt, 1984, en IGME, 1987**

Consistencia	N	Identificación manual	$\gamma_{sat}$ g/cm <sup>3</sup>	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Dura	>30	Se marca difícilmente	>2.0	>4.0
Muy rígida	15-30	Se marca con la uña del pulgar	2.08-2.24	2.0-4.0
Rígida	8-15	Se marca con el pulgar	1.92-2.08	1.0-2.0
Media	4-8	Moldeable bajo presiones fuertes	1.76-1.92	0.5-1.0
Blanda	2-4	Moldeable bajo presiones débiles	1.60-1.76	0.25-0.5
Muy blanda	<2	Se deshace entre los dedos	1.44-1.60	0-0.25

Fuente Manal de mecanica de suelos, Angel Muelas Rodriguez.

Para la determinación del ángulo de fricción de la roca fracturada se tomó la referencia de Giani “Rock slope stability analysis” A.A. Balkema 1992 donde para una arenisca se especifica un ángulo de fricción entre 25 y 35 grados de acuerdo al nivel de meteorización.

**Tabla 16. Propiedades de los suelos arcillosos. Hunt, 1984, en IGME, 1987**

Rock type	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (MPa)	Friction angle (°)
Hard igneous rocks:			
Granite, basalt, porphyry	25-30	35-55	35-45
Metamorphic rocks:			
Quartzite, gneiss, slate	25-28	20-40	30-40
Hard sedimentary rocks:			
Limestone, dolomite, sandstone	23-28	10-30	35-45
Soft sedimentary rocks:			
Sandstone, coal, chalk, shale	17-23	1-20	25-35

Fuente: A.A. Balkema 1992

En las siguientes figuras se presenta las estimaciones del ángulo de fricción sobre la base de la clasificación de suelos USCS. También se presenta una estimación del ángulo de fricción sobre la base de valores de N SPT.

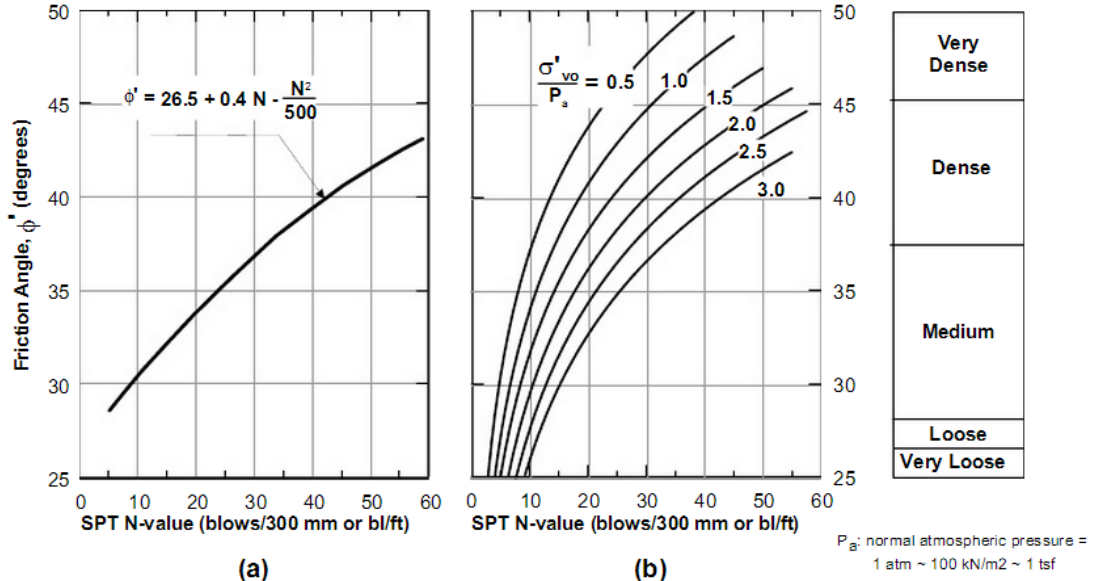
**Tabla 17. Correlaciones entre los Resultados SPT y CPT y ángulo de fricción de suelos no cohesivos**

	In-Situ Test Results	Relative Density	$\phi'$ (degrees)	
			(a) <sup>(3)</sup>	(b) <sup>(4)</sup>
SPT N-Value <sup>(1)</sup> (blows/300 mm or blows/ft)	0 to 4	Very Loose	< 28	< 30
	4 to 10	Loose	28 to 30	30 to 35
	10 to 30	Medium	30 to 36	35 to 40
	30 to 50	Dense	36 to 41	40 to 45
	> 50	Very Dense	> 41	> 45
Normalized CPT cone bearing resistance (q <sub>c</sub> /P <sub>a</sub> ) <sup>(2), (4)</sup>	< 20	Very Loose	< 30	
	20 to 40	Loose	30 to 35	
	40 to 120	Medium	35 to 40	
	120 to 200	Dense	40 to 45	
	> 200	Very Dense	> 45	

- Notes: (1) SPT N-values are field, uncorrected values.  
 (2) P<sub>a</sub> is the normal atmospheric pressure = 1 atm ~ 100 kN/m<sup>2</sup> ~ 1 tsf.  
 (3) Range in column (a) from Peck, Hanson, and Thornburn (1974).  
 (4) Ranges in column (b) and for CPT are from Meyerhof (1956).

Fuente: Kulhawy and Maine, 1990

**Tabla 18. Ángulo de fricción de suelos no cohesivos (a) del SPT no corregida N-Valores (modificada después de Peck, Hanson y Thornburn, 1974) y (b) como una función de Normaliza de Overburden (Modificado después Schmertmann, 1975)**



Fuente: FHWA 0-IF-03-017

Hay un número de referencias que presentan las correlaciones entre los parámetros del suelo. El valor real puede ser diferente de la estimar dado por la correlación. Se deben hacer su propio juicio basado en la experiencia local y las condiciones locales del suelo y ajuste los valores en consecuencia.

A continuación se presentan las referencias utilizadas para formar la correlación del suelo:

**Tabla 19. Parámetros generales de los suelos arenosos**

Compactness			Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
	Symbol	Unit					
SPT*	$N_{SPT}$	--	0-4	4-10	10-30	30-50	>50
Relative Density	$D_r$	%	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
Friction	$\phi$	Deg	<28	28-30	30-36	36-41	>42
Unit Weight							
Moist	$\gamma$	pcf	<100	95-125	110-130	110-140	>130
Submerged	$\gamma$	pcf	<60	55-65	60-70	65-85	>75

Fuente: Steel Sheet Piling Design Manual, USS, 1975, p 12.

**Tabla 20. Parámetros generales de los suelos arcillosos**

Consistency			Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
	Symbol	Unit						
SPT	$N_{SPT}$	--	0-2	2-4	4-8	8-16	16-32	>32
UCS*	$q_u$	pcf	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000	>8000
Shear Strength	$C_u$	psf	0-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
Unit Weight Saturated	$\gamma$	pcf	<100	100-120	100-130	120-130	120-140	>130

Fuente: Steel Sheet Piling Design Manual, USS, 1975,p 12.

Además de los anteriores parámetros, hay dos que son particularmente importantes para los análisis laterales, Coeficiente de balasto (k) y deformación del suelo (E50). Las siguientes dos tablas muestran la correlación de k y E50 para los diferentes tipos de suelo:

**Tabla 21. Coeficiente de balasto (K) vs.  $N_{SPT}$  para arenas**

Compactness			Loose	Medium	Dense
	Symbol	Unit			
SPT	$N_{SPT}$	--	4-10	10-30	30-50
MSR* (Dry)	k	kN/m <sup>3</sup>	6790	24430	61000
		pci	25	90	225
(Saturated)	k	kN/m <sup>3</sup>	5430	16300	33900
		pci	20	60	125

Fuente: Handbook on Design of Piles and Drilled Shafts Under Lateral Load, US Department of Transportation, 1984, p 64.

**Tabla 22. Coeficiente de balasto (K) y deformación del suelo (E50) vs.  $N_{SPT}$  para Arcillas**

Consistency			Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
	Symbol	Unit					
SPT	$N_{SPT}$	--	2-4	4-8	8-16	16-32	>32
Shear Strength	$C_u$	kPa	12-24	24-48	48-96	96-192	192-383
		psf	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
MSR*							
Static Loading	k	kN/m <sup>3</sup>	8140	27150	136000	271000	543000
		pci	30	100	500	1000	2000
Cyclic Loading	k	kN/m <sup>3</sup>	--	--	54300	108500	217000
		pci	--	--	200	400	800
Soil Strain	$E_{50}$	%	2	1	0.7	0.5	0.4

Fuente: Handbook on Design of Piles and Drilled Shafts Under Lateral Load, US Department of Transportation, 1984, p 64.

#### 7.5.4. Resultados de los parámetros para el diseño de las obras

Según las correlaciones de los parámetros obtenidos mediante los ensayos SPT (standard penetration test), y los resultados de los laboratorios a las muestras de suelo, los parámetros para el diseño obtenidos fueron:

**Tabla 23. Parámetros para el diseño**

Tipo de Suelo	Peso unitario (KN/m <sup>3</sup> )	c (KN/m <sup>2</sup> )	Fricción (°)	E (KN/m <sup>2</sup> )	Relación de Poisson	Coefficiente de Balasto (KN/m <sup>3</sup> )
Suelos Coluviales	18	0	12	11490	0.4	6790
Suelos Residuales	19	20	30	30640	0.35	27150
Roca Fracturada	20	40	35	53620	0.3	271000

Fuente: Propia

Los resultados anteriores se obtuvieron de una correlación de los cuatro sondeos geotécnicos realizados y de los sondeos geofísicos.

### 7.6. PARÁMETROS SÍSMICOS

#### 7.6.1. Requerimientos Amenaza Sísmica NSR-10

Zona de amenaza sísmica

De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, los municipios de Villeta y Guaduas se encuentran localizados en una zona de amenaza intermedia y tienen unos valores de:

**Tabla 24. Aceleración horizontal pico efectivo en roca (Aa) y velocidad horizontal pico efectivo (Av)**

Aa	Av
0.15	0.20

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente

### 7.6.2. Coeficiente Seudoestatico

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR 10, especifica que el coeficiente sísmico de diseño para análisis seudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de  $a_{max}$  y se admiten los siguientes valores mínimos de KST  $a_{max}$ , dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

**Tabla 25. Valores de KST /  $a_{max}$**

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

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Tabla H.5.2-1)

De acuerdo a la tabla anterior, el valor mínimo para análisis seudoestático es

$$KST/a_{max} = 0.8; KST/0.15 = 0.8; KST = 0.15 \times 0.8 = 0.12g$$

### 7.7. DISEÑO DE LOS PILOTES

Se observó específicamente que el análisis de un pilote vertical para la carga lateral y / o momentos de volteo es equivalente a la de un pilote hincado o pozo perforado y las cuestiones específicas que deben ser abordadas para el diseño de un pilote sometido a una carga lateral.

Pasos para el Análisis de un Pilote Cargado Lateralmente

**Paso 1:** Determinar los parámetros básicos de entrada de la pila de pilote tales como:

- Longitud del pilote
- Distancia desde la cabeza del pilote a la superficie del suelo
- Pendiente de la superficie del suelo

**Paso 2:** Divida el pilote en segmentos con propiedades uniformes de sección transversal. Para cada segmento, proporcionan el diámetro del pilote, el momento de inercia y el área de la pila.

Un pilote sometido a cargas laterales y/o momentos de volcamiento incluirá una longitud de entubado en la parte de arriba del pilote. Una barra de acero de refuerzo central puede ser utilizada a lo largo de toda la longitud del pilote, sin embargo la barra de acero ofrece una resistencia despreciable a cargas laterales. Las cargas laterales y momentos de volcamiento aplicados a la superficie del suelo por lo general son transmitidos por la porción del pilote de la superficie del suelo hasta una profundidad del orden de 20 diámetros del pilote; por debajo de esa profundidad los momentos de flexión se consideran insignificantes, la longitud del pilote a analizar debe ser tal que los momentos de flexión, fuerzas de corte, y el movimiento lateral de la pila son insignificantes en la parte inferior del pilote. Esta longitud se puede utilizar para seleccionar la longitud mínima de entubado del pilote.

**Paso 3:** Definir el perfil del suelo / roca en capas sobre la profundidad de penetración máxima prevista del pilote de prueba.

**Paso 4:** Determinar los parámetros del suelo necesarios de entrada para cada capa.

Para las capas de suelo cohesivo, la unidad de peso efectiva del suelo y la resistencia al corte sin drenaje se requieren para el análisis mientras que para suelos no cohesivos, se requiere la unidad de peso eficaz y ángulo de fricción drenado. Las propiedades de los suelos y rocas a utilizar en el análisis son las mismas que se recomendaron para el análisis de estabilidad de las laderas. Estos parámetros se explicaron en el capítulo de Geotecnia.

**Paso 5:** Determinar las combinaciones de carga crítica y las condiciones de contorno para ser analizadas.

Para cada combinación de carga, determinar la carga axial, la carga lateral, y momento de volcamiento en la línea de tierra a ser analizado. Un dato de entrada importante para el análisis es la condición de frontera asumidos en la línea de tierra. En general, si se supone cabeza del pilote se encuentre fija dará lugar a grandes momentos de flexión negativos calculados en la parte superior del pilote y pequeñas deflexiones laterales a la línea de tierra. A la inversa, la suposición de una conexión suelta resulta en el momento calculado muy alto de flexión por debajo de la superficie del suelo y movimientos calculados

relativamente grandes en la superficie del suelo. El uso de pilotes verticales para soportar cargas laterales es una aplicación relativamente nueva y existen pocos datos para definir el nivel adecuado de fijación para un determinado pilote-zapata o viga de conexión que deben preverse para análisis de diseño.

Se utilizaron los criterios de Loehr J.E. y Brown D.A. “Method for Predicting Mobilization of Resistance for Micropiles Used in Slope”. Y de Englert C.M, Gómez J.E. y Robinson H.D. “Utilización de pilotes para estabilización de taludes”.

Estos criterios suponen el pilote empotrado en su pie y relativamente fijo en su cabeza. Esto equivale a un modelo muy similar al de una estructura de pórtico metálico empotrado.

**Paso 6:** Determinar la capacidad estructural del pilote para el caso crítico axial y la carga lateral.

La capacidad estructural del pilote debe ser verificada por esfuerzos combinados debido a la carga axial y el momento de flexión. Como se mencionó anteriormente, puede suponerse que el momento máximo de flexión se realiza completamente por la carcasa de acero sin carga que se transporta por la lechada dentro de la carcasa. Para esta evaluación, se supone que la capacidad estructural del pilote no se ve afectada por las debilidades potenciales en la carcasa de conexión roscada.

**Paso 7:** Determinar la aceptabilidad de la pila basada en la deflexión bajo la carga de diseño y modificar las propiedades de la sección de pila, según sea necesario, para cumplir con la capacidad lateral y criterios de máxima deflexión.

Los asentamientos elásticos se estiman utilizando la teoría de la elasticidad.

Para obtener los parámetros a utilizar en el modelo se utilizan los valores de obtenidos de los análisis del modelo geológico-geotécnico.

Para el análisis del modelo de asentamientos se utilizó el software para computador “ALLPILE” el cual es desarrollado por la empresa CivilTechSoftware ubicada en el área de Seattle-Bellevue de los Estados Unidos.

### 7.7.1. Capacidad de soporte utilizando el programa ALLPILE

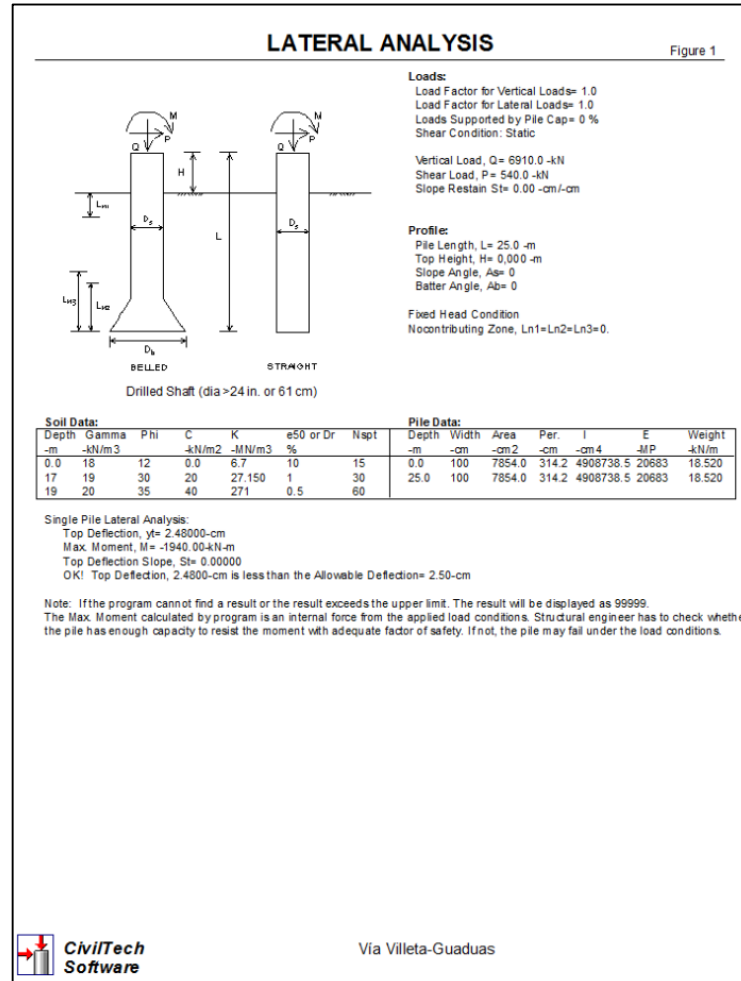
En la siguiente tabla se indica la capacidades de soporte de pilotes para 2.5 centímetros de desplazamiento horizontal, calculado mediante las modelaciones con elementos finitos en ALLPILE.

**Tabla 26. Capacidad de soporte de trabajo para el pilote**

Diámetro (m)	Longitud analizada (m)	Capacidad de trabajo (Ton)
1.0	25.0	54.0

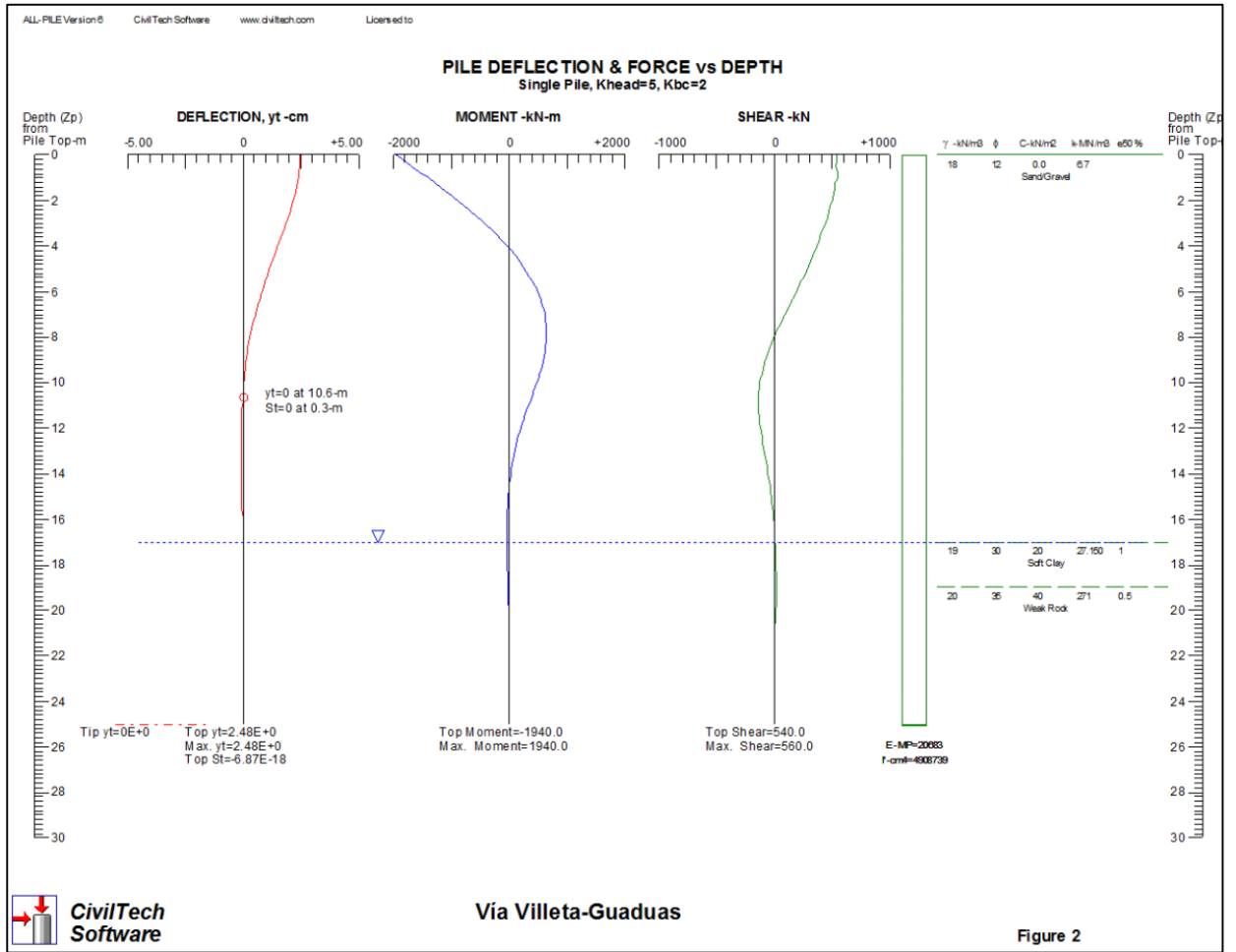
Fuente: Propia

**Figura 21. Análisis lateral del pilote de 1.0 metro de diámetro y de 25.0 metros de longitud.**



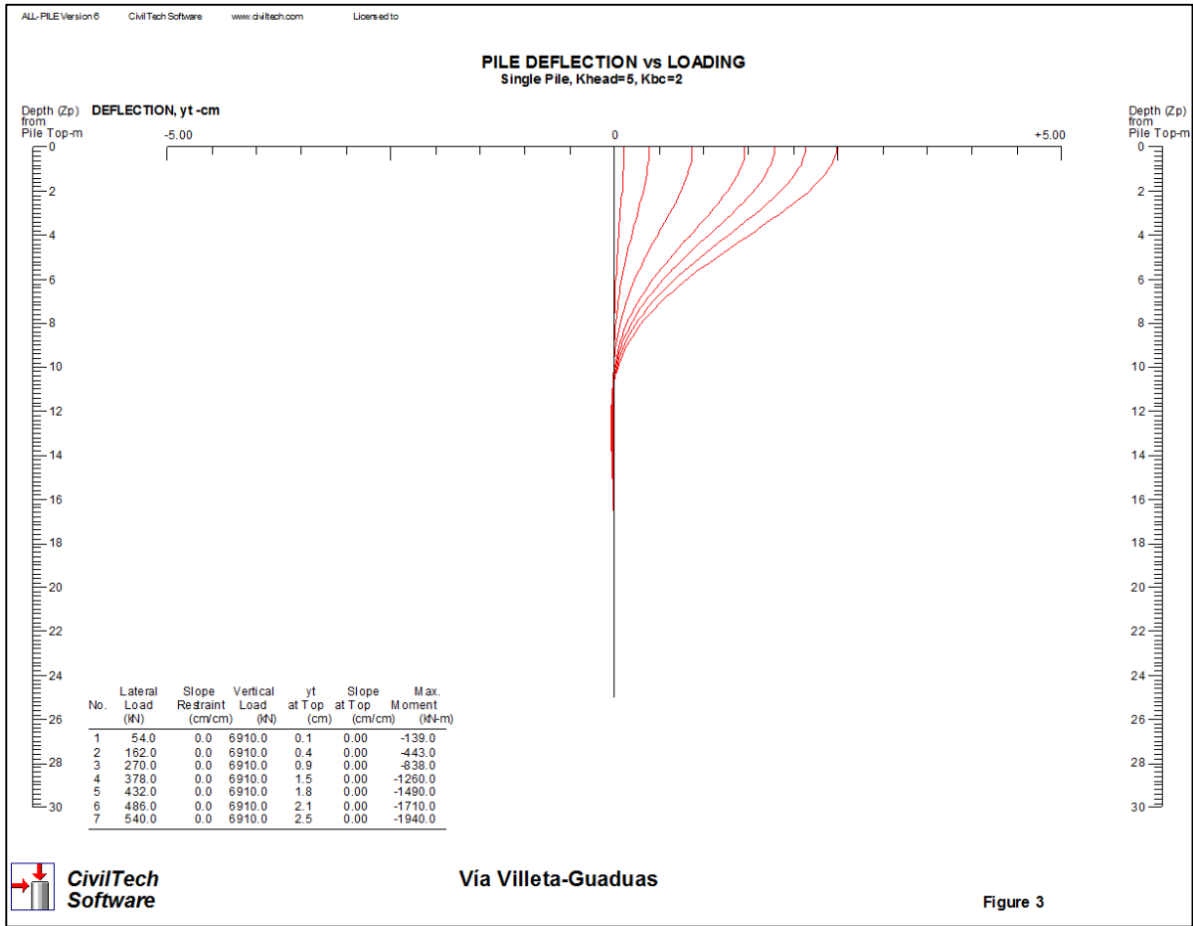
Fuente: resultados de Software ALLPILE

Figura 22. Diagrama de momentos y deflexiones.



Fuente: resultados de Software ALLPILE

Figura 23. Deflexión vs. Carga



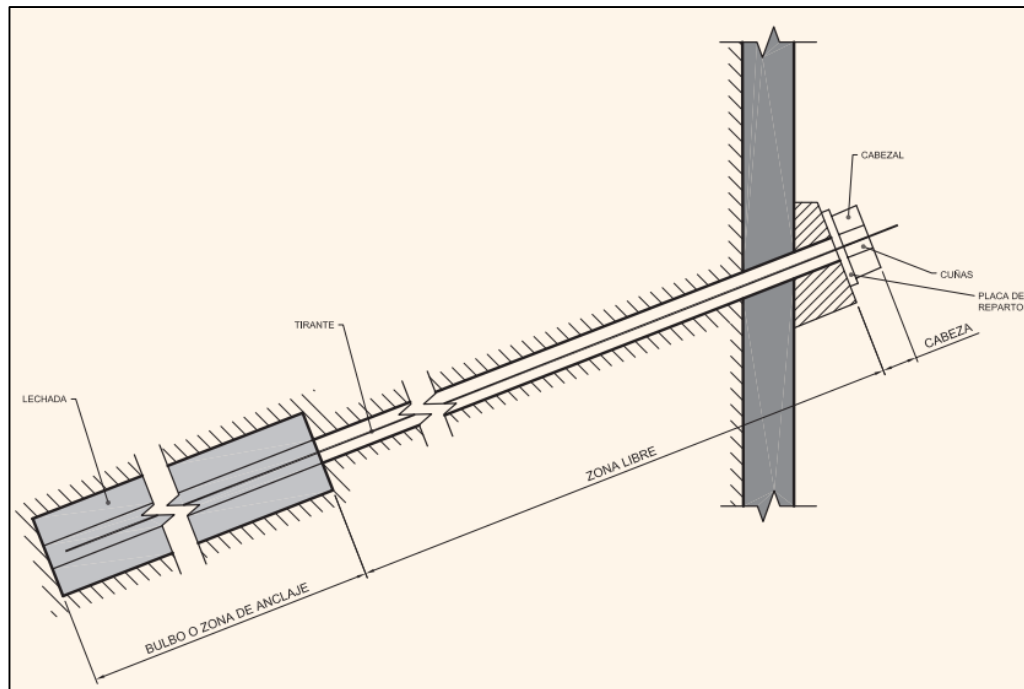
Fuente: resultados de Software ALLPILE

Para un desplazamiento lateral de 2.5 cm se requiere una carga de 54.0 Toneladas. Esta carga se considera que es la carga admisible del Pilote.

## 7.8. DISEÑO DE LOS ANCLAJES PRETENSIONADOS

Los anclajes a diseñar son activos, es decir que están sometidos a una carga de tensado, después de su ejecución, no inferior al 50% de la máxima prevista en proyecto y de tipo permanente debido a que su vida útil se considera superior a dos años.

**Figura 24. Croquis de un Anclaje**



Fuente: Guía para el Diseño y Ejecución de Anclajes al Terreno en Obras de Carreteras  
(Madrid – España)

### 7.8.1. Dimensionamiento de los Anclajes

Considerando la magnitud del deslizamiento y las fuerzas activas actuantes en el talud, se plantean anclajes compuestos por cuatro (4) torones de 5/8", los cuales presentan una resistencia a la rotura de 16.2 toneladas. Con estos datos se busca calcular la capacidad de los anclajes:

$$\text{Capacidad de Carga} = \frac{\text{Resistencia a la Rotura} * \text{No. Torones}}{F.S.}$$

$$\text{Capacidad de Carga} = \frac{16.2 * 4}{1.5}$$

*Capacidad de Carga = 43.2 Ton*

Se asume una capacidad de carga teórica de 40 toneladas.

**Tabla 27. Croquis de un Anclaje**

Nº de Anclajes	1	
Nº de Torones por Anclaje	4	
Diámetro de los Torones	5/8	Pulgadas
Resistencia a la Rotura	16.2	Toneladas
Capacidad de carga	40	Toneladas
F.S	1.5	

Fuente: Propia

Una vez definidas las características de cada anclaje se procede a calcular la longitud del bulbo o zona de anclaje que es la parte en que el anclaje se adhiere al terreno y le transmite su carga, generalmente mediante la lechada, y que se tiene en cuenta a efectos resistentes, sin embargo para determinar esta longitud se debe tener en cuenta las características físicas y mecánicas del suelo donde se construirá el bulbo, para nuestro caso los suelos donde se encontrara el bulbo son suelos residuales, los cuales tiene una capacidad de adherencia de 100 KN/m<sup>2</sup>.

$$\text{Longitud del Bulbo} = \frac{\text{Capacidad de Carga} * F.S.}{\text{Capacidad de Adherencia} * \text{Perímetro de Perforación}}$$

$$\text{Longitud del Bulbo} = \frac{400 * 1.5}{100 * 0.31}$$

$$\text{Longitud del Bulbo} = 19.4 \text{ m}$$

**Tabla 28. Resumen Características de Anclajes**

Carga de pretensionamiento (KN)	Capacidad de adherencia (KN/m <sup>2</sup> )	Perímetro de la perforación (m)	Longitud teórica del bulbo (m)
400	100	0.31	19.4

Fuente: Propia

En el diseño de los anclajes aparte de la carga de pretensionamiento y de la longitud del bulbo, hay dos parámetros más que se deben tener en cuenta, que son la longitud libre y el ángulo de inclinación.

Estos dos parámetros dependen de la profundidad de la falla y de la inclinación de los mantos.

## 7.9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

Para el análisis del modelo geotécnico se utilizó el software para computador SLOPE/W, Versión 5 de GEO-SLOPE International Ltd, Calgary Alberta, Canadá. SLOPE/W es un producto de Software que utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes.

Para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente con los siguientes cuatro métodos:

Método ordinario o de Fellenius

Método Bishop simplificado

Método de Janbú simplificado

Método de Morgenstern-Price

Los resultados de los factores de seguridad se presentan para cada uno de los métodos indicados.

### 7.9.1. Propiedades del suelo

Los parámetros para el diseño utilizados fueron los siguientes:

**Tabla 29. Propiedades mecánicas de los suelos**

<b>Suelo</b>	<b>Peso unitario (KN/m3)</b>	<b>Fricción (o)</b>	<b>Cohesión (KN/m2)</b>
Suelos Coluviales	18	12	0
Suelos Residuales	19	20	20
Roca Fracturada	20	35	40

Fuente: Propia

Estas propiedades corresponden a un análisis de toda la información obtenida.

### 7.9.2. Factores de seguridad mínimos

Los factores de seguridad mínimos directos determinados por la NSR-10 son los siguientes:

**Tabla 30. Factores de seguridad mínimos**

<b>Condición</b>	<b>FSBM Diseño</b>	<b>FSBM Construcción</b>
Taludes – Condición estática y agua subterránea normal	1.50	1.25
Taludes – Condición pseudo-estática y agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1.05	1.00

Fuente: Tabla H.2.4-1, Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos de la NSR-10

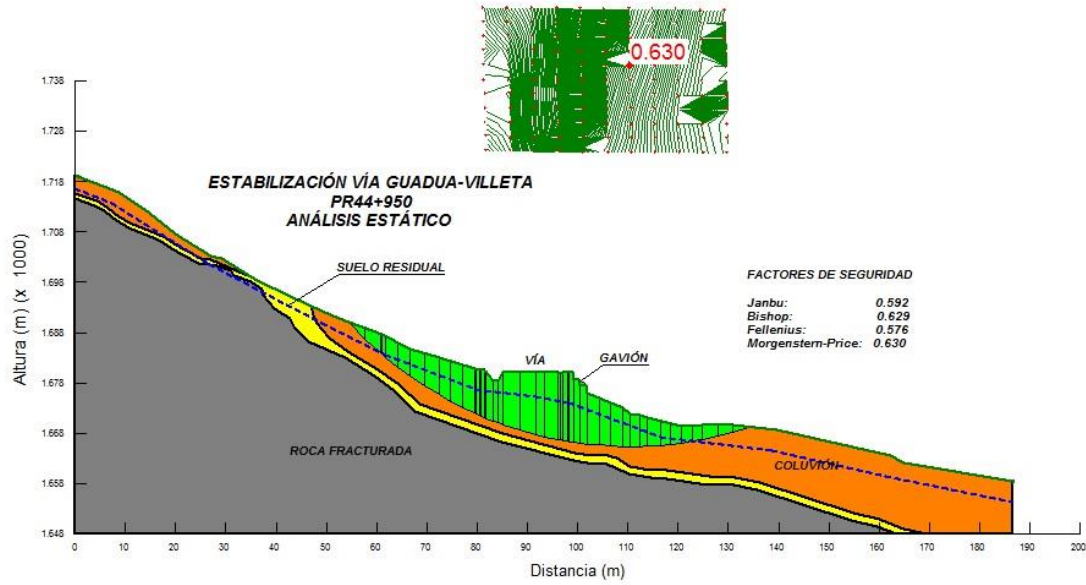
### 7.9.3. Resultados de los análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad de las laderas se realizaron teniendo en cuenta el modelo geológico-geotécnico que se obtuvo de acuerdo a la caracterización de los resultados de las investigaciones geotécnicas.

Se debe tener en cuenta que en las exploraciones geotécnicas adelantadas el nivel freático se encontró cercano a la superficie en el costado interno de la vía. En las perforaciones en la parte exterior de la banca se encontró el nivel de agua a 3 metros de profundidad.

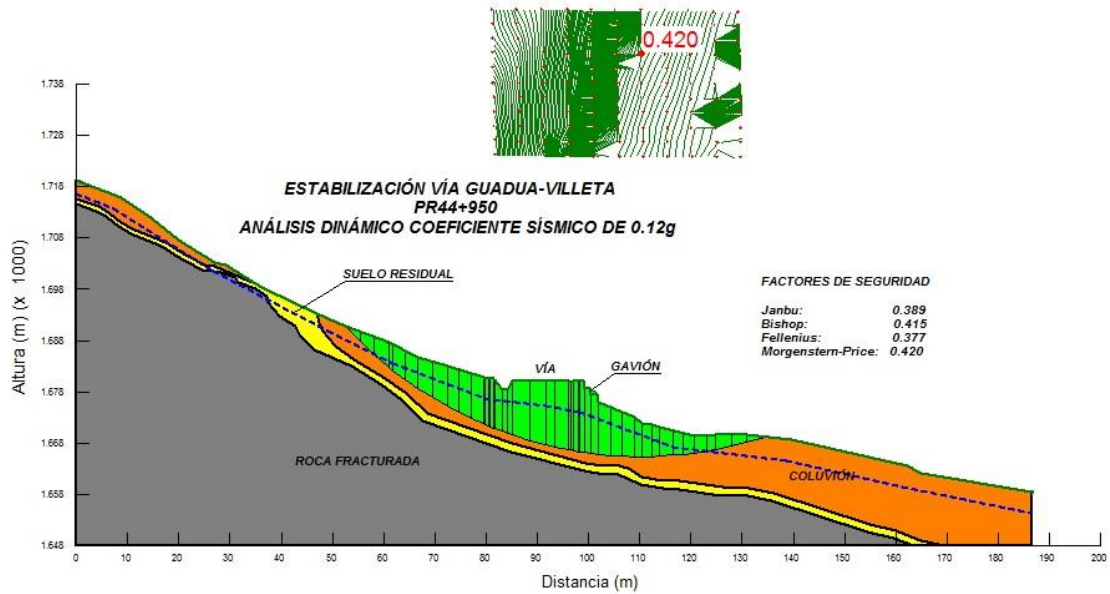
A continuación se presentan los resultados del análisis de estabilidad para las condiciones actuales del terreno.

Figura 25. Análisis de estabilidad estático, condiciones actuales.



Fuente: Resultados del Software Geoslope

Figura 26. Análisis de estabilidad dinámico, condiciones actuales.



Fuente: Resultados del Software Geoslope

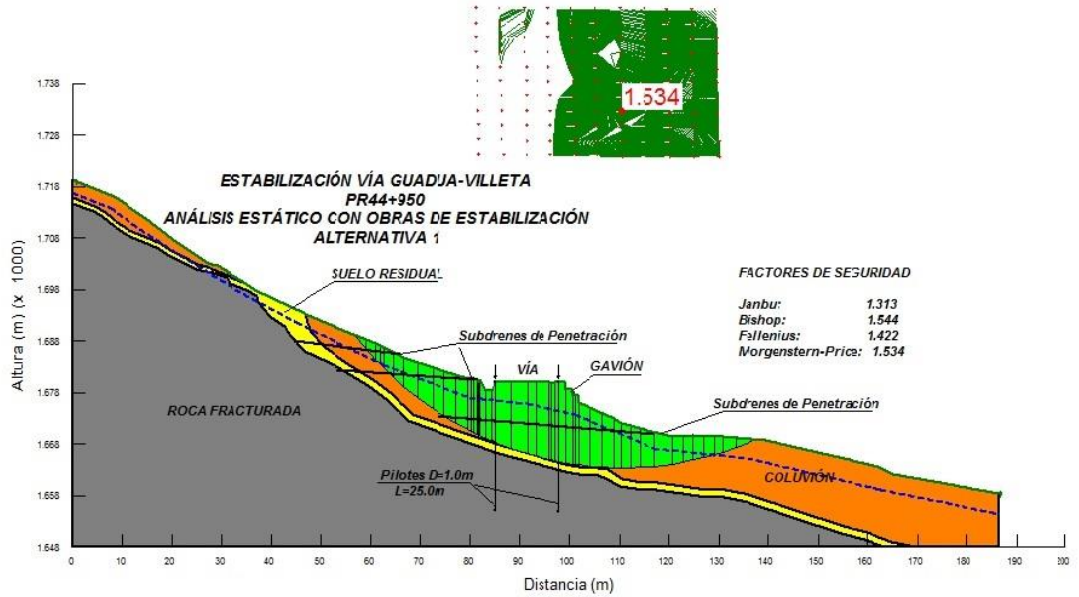
**Tabla 31. Resumen de los factores de seguridad obtenidos para las condiciones actuales.**

Análisis	F.S. Janbú	F.S. Bishop	F.S. Fellenius	F.S. Morgenstern-Price
Análisis de estabilidad estático, condiciones actuales.	0.592	0.629	0.576	0.630
Análisis de estabilidad dinámico, condiciones actuales. Coeficiente sísmico de 0.12g	0.389	0.415	0.377	0.420

Fuente: Resultados del Software GeoSlope

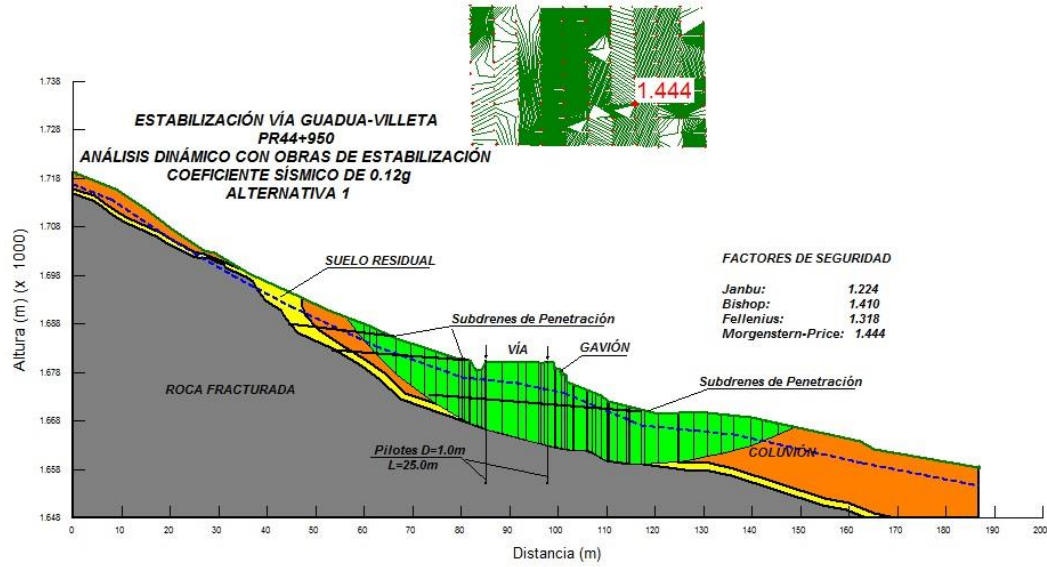
Además se analizaron las dos alternativas que se plantearon como medidas de mitigación para el deslizamiento, se plantean obras para el manejo del nivel freático, sin embargo para las modelaciones se consideró la línea del nivel freático como en la condición actual, asumiendo un escenario crítico. A continuación se presentan los resultados de los análisis de estabilidad.

**Figura 27. Análisis de estabilidad estático, Alternativa 1.**



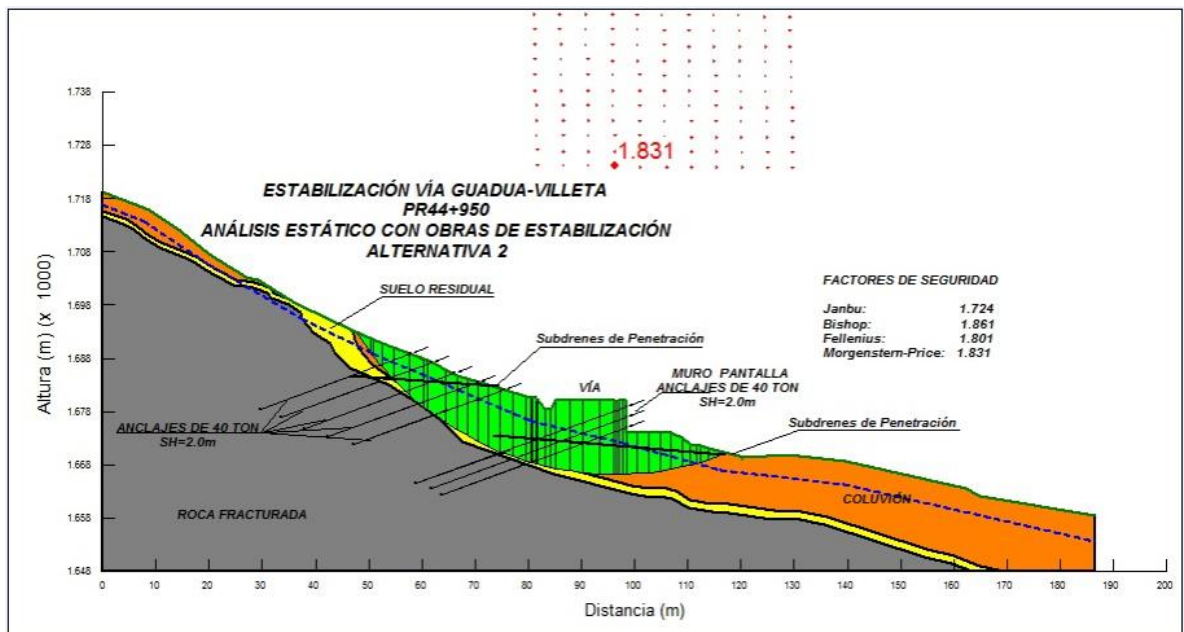
Fuente: Resultados del Software Geoslope

Figura 28. Análisis de estabilidad dinámico, Alternativa 1.



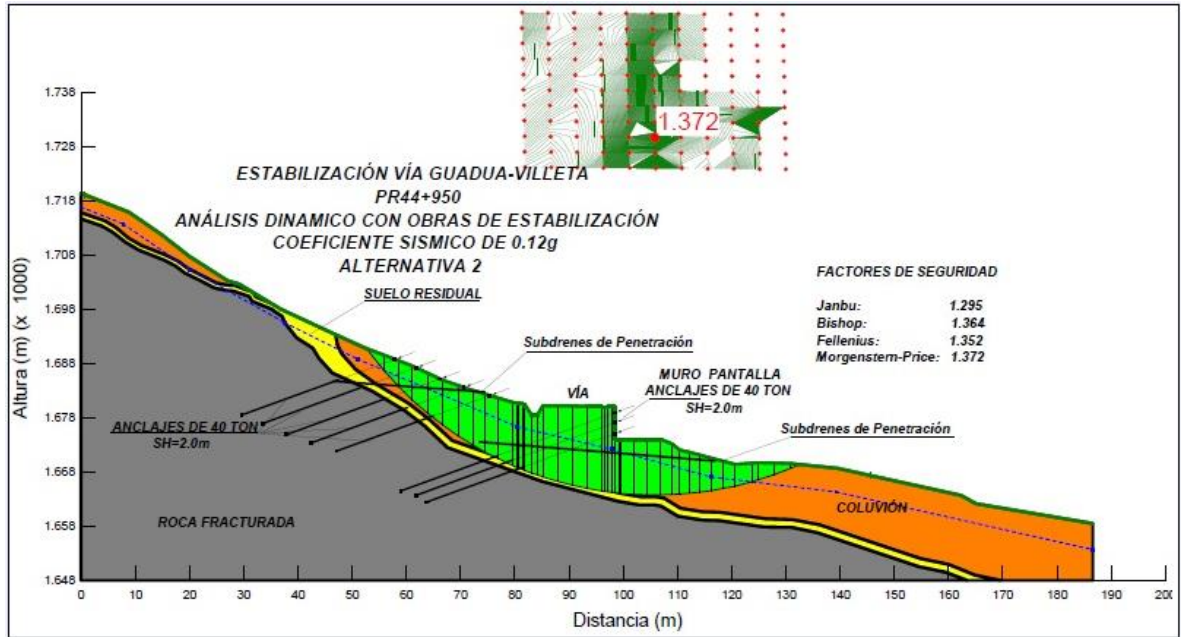
Fuente: Resultados del Software Geoslope

Figura 29. Análisis de estabilidad estático, Alternativa 2.



Fuente: Resultados del Software Geoslope

**Figura 30. Análisis de estabilidad dinámica, Alternativa 2.**



Fuente: Resultados del Software Geoslope

**Tabla 32. Resumen de los factores de seguridad obtenidos para las alternativas de estabilización.**

Análisis	F.S. Janbú	F.S. Bishop	F.S. Fellenius	F.S. Morgenstern-Price
Análisis de estabilidad estático, Alternativa 1.	1.313	1.544	1.422	1.534
Análisis de estabilidad dinámico, Alternativa 1. Coeficiente sísmico de 0.12g	1.224	1.410	1.318	1.444
Análisis de estabilidad estático, Alternativa 2.	1.724	1.861	1.801	1.831
Análisis de estabilidad dinámico, Alternativa 2. Coeficiente sísmico de 0.12g	1.295	1.364	1.352	1.372

Fuente: Resultados del Software GeoSlope

#### 7.9.4. Conclusiones de los análisis de estabilidad

Las superficies de falla obtenidas presentan los valores críticos en el contacto de la roca muy fracturada.

Los análisis de seguridad muestran valores bajos; esto quiere decir que se deben esperar mayores movimientos de los taludes y pérdida de la banca de la vía.

Por tal razón, se requiere construir obras de drenaje y control de erosión y estructuras de contención que permitan mantener la banca de la vía en servicio.

La construcción de las obras propuestas (alternativa 1 y alternativa 2) aumentan considerablemente los factores de seguridad de la vía; sin embargo, deben esperarse movimientos de los taludes superiores e inferiores de la vía en la alternativa 1, pantalla de pilotes.

### 7.10. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PROPUESTAS

#### 7.10.1. Alternativa 1 (Pantalla de pilotes)

Se plantea como obra de contención para la vía, la construcción de un sistema de pilas o pilotes a lo largo de esta, cimentando la vía a 25 metros bajo el nivel del terreno.

Se recomiendan pilas de 1.0 metro de diámetro en concreto reforzado de 25 metros de longitud (82 en total), separados cada 2.0 metros entre ejes.

La pantalla superior e inferior de pilotes se encuentran a nivel de la vía.

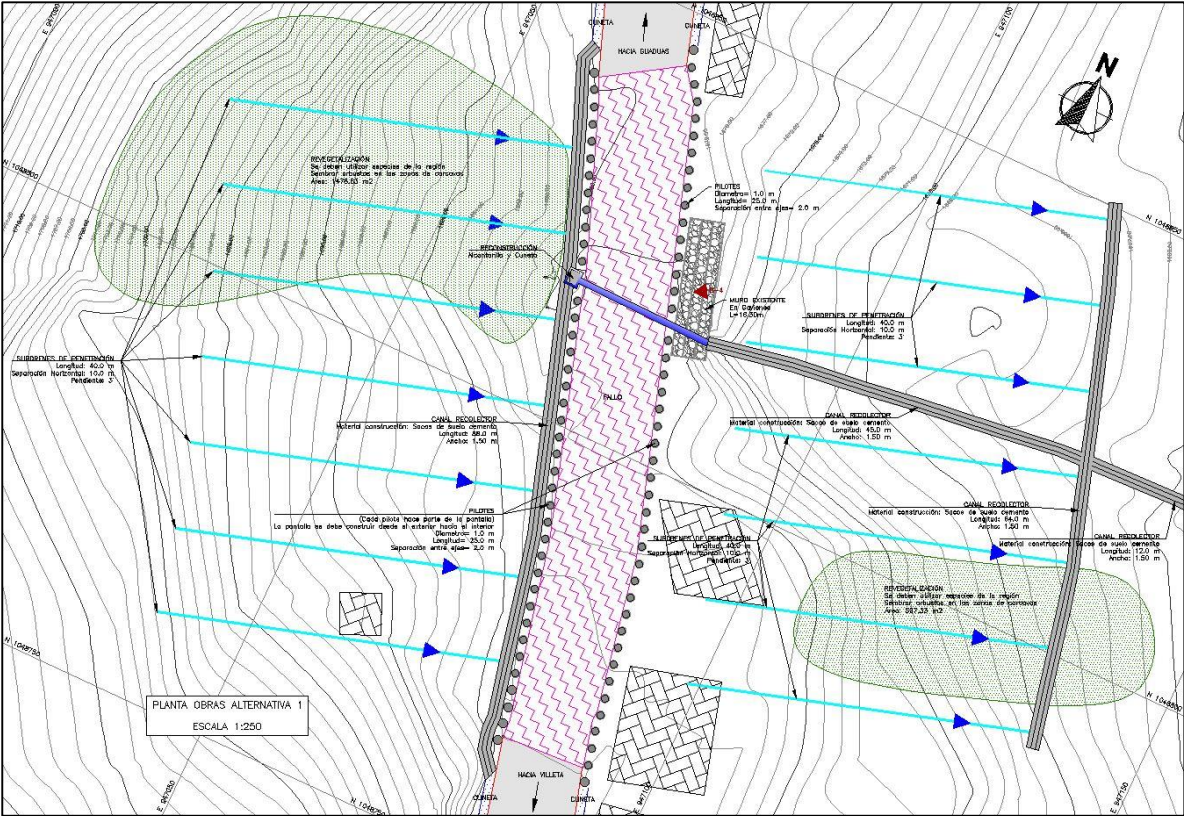
Se recomienda la construcción de mínimo siete sub-drenes de penetración de 40 metros de longitud cada uno, con una pendiente de 3° y una separación horizontal de aproximadamente 10 metros, tanto en el talud superior como en el talud inferior de la vía.

Se recomienda la reconfiguración general de los taludes en toda la zona, revegetalización utilizando especies de la región. Igualmente se recomienda la siembra de arbustos en las zonas de cárcavas. El área a revegetalizar y reconfigurar es aproximadamente 3000 m<sup>2</sup>.

En el talud superior e inferior se recomienda la construcción de un canal en sacos de suelo-cemento de 1.50 metros de ancho y de por lo menos 88.0 metros de longitud en el talud superior donde entrega en la caja recolectora que se debe reconstruir y de

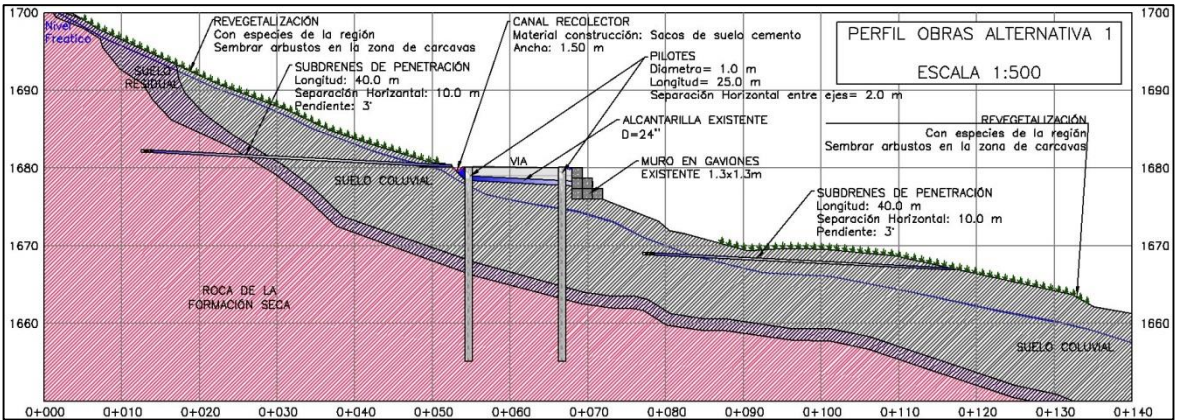
aproximadamente 64.0 metros de longitud en el talud inferior, entregando a un recolector existente.

Figura 31. Planta de obras alternativa 1.



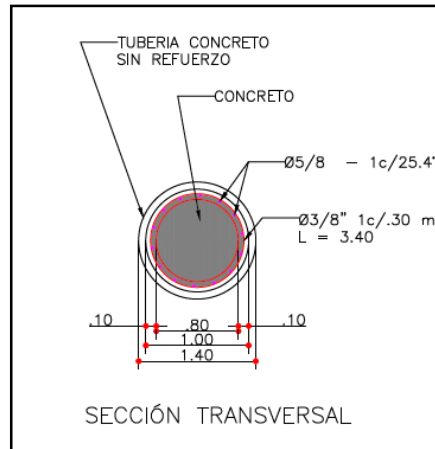
Fuente: Propia

Figura 32. Perfil de obras alternativa 1.



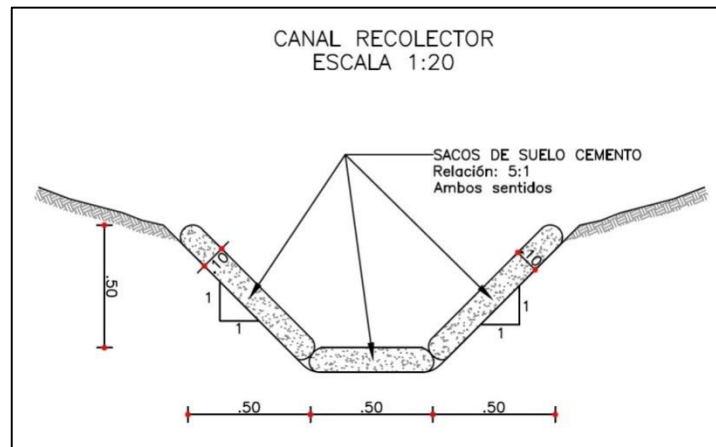
Fuente: Propia

**Figura 33. Detalle de pilotes**



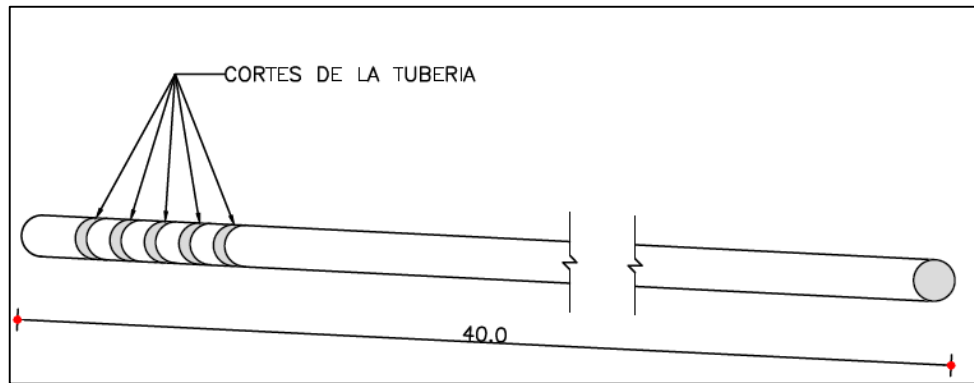
Fuente: Propia

**Figura 34. Detalle del canal en suelo-cemento**



Fuente: Propia

**Figura 35. Detalle de los subdrenes de penetración horizontal**



Fuente: Propia

**Tabla 33. Cantidades y presupuesto aproximado alternativa 1**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Parcial
Localización y replanteo	GL	1	\$10,018,667.00	\$10,018,667.00
Pilotes de 25.0 m (82)	ml	4170	\$531,890.00	\$ 2,217,985,237.00
Canales en sacos de suelo-cemento	ml	256	\$61,100.00	\$15,641,600.00
Subdrenes de penetración Longitud 40.0m (14)	ml	560	\$84,200.00	\$47,152,000.00
Revegetalización con biomanto e hidrosiembra	m <sup>2</sup>	3000	\$16,942.00	\$50,826,000.00
Valor Costo directo de las obras				\$2,341,623,504.00
AIU (15%)				\$351,243,526.00
Valor Total de las obras				\$2,692,867,030.00

Fuente: Propia

### 7.10.2. Alternativa 2 (Anclajes pretensionados)

Se plantea como obra de contención para la vía y el talud superior, la construcción de un sistema de pantallas ancladas y un muro pantalla.

Se recomienda construir en el talud superior la construcción de anclas pretensionadas de 40 toneladas separadas cada 2.0 metros horizontalmente, con un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de 20°.

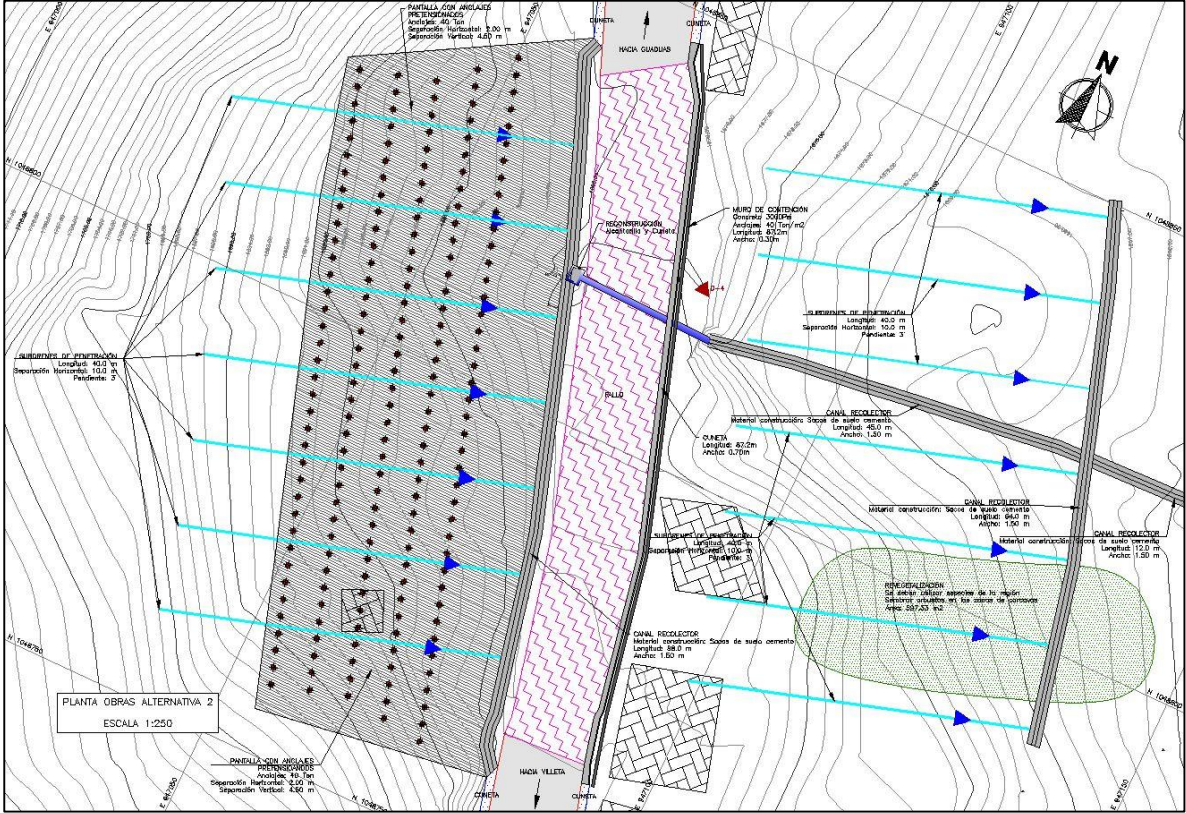
En la parte inferior de la vía se recomienda la construcción de un muro pantalla con anclajes de 40 toneladas separados cada 2.0 metros horizontalmente, con un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de 20°, separados en tres filas, esta obra se recomienda con el fin de mantener la banca de la vía al momento de que ocurra un sismo.

Se recomienda la construcción de mínimo siete sub-drenes de penetración de 40 metros de longitud cada uno, con pendiente de 3° y separación horizontal de aproximadamente de 10 metros, tanto en el talud superior como en el talud inferior de la vía.

Se recomienda la reconformación general de los taludes en toda la zona, revegetalización utilizando especies de la región. Igualmente se recomienda la siembra de arbustos en las zonas de cárcavas. El área a revegetalizar y reconformar es aproximadamente 600m<sup>2</sup>.

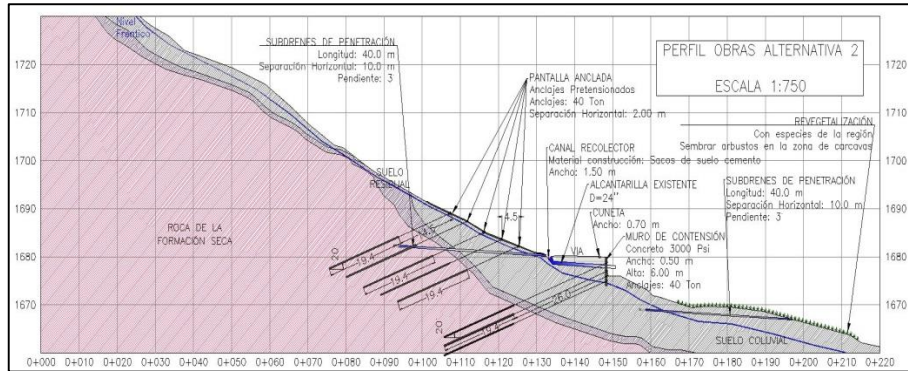
En el talud superior e inferior se recomienda la construcción de un canal en sacos de suelo-cemento de 1.50 metros de ancho y de por lo menos 88.0 metros de longitud en el talud superior donde entrega en la caja recolectora que se debe reconstruir y de aproximadamente 64.0 metros de longitud en el talud inferior, entregando a un recolector existente.

Figura 36. Planta de obras alternativa 2.



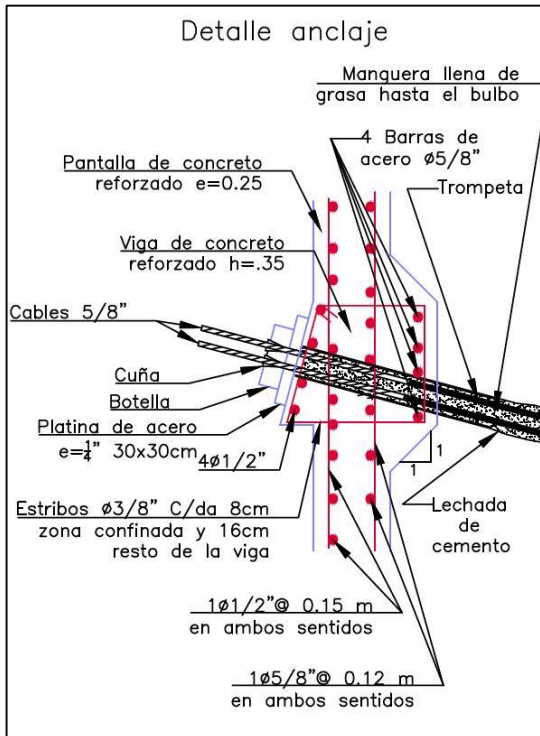
Fuente: Propia

Figura 37. Perfil de obras alternativa 2.



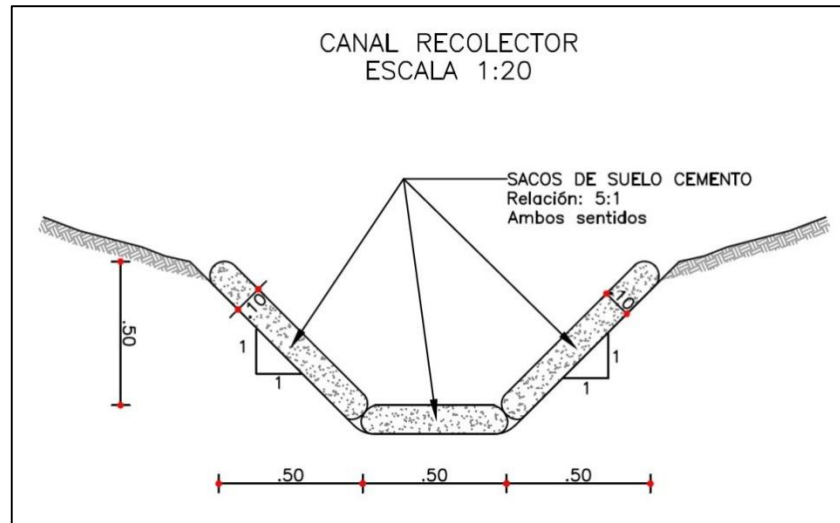
Fuente: Propia

Figura 38. Detalle de anclajes



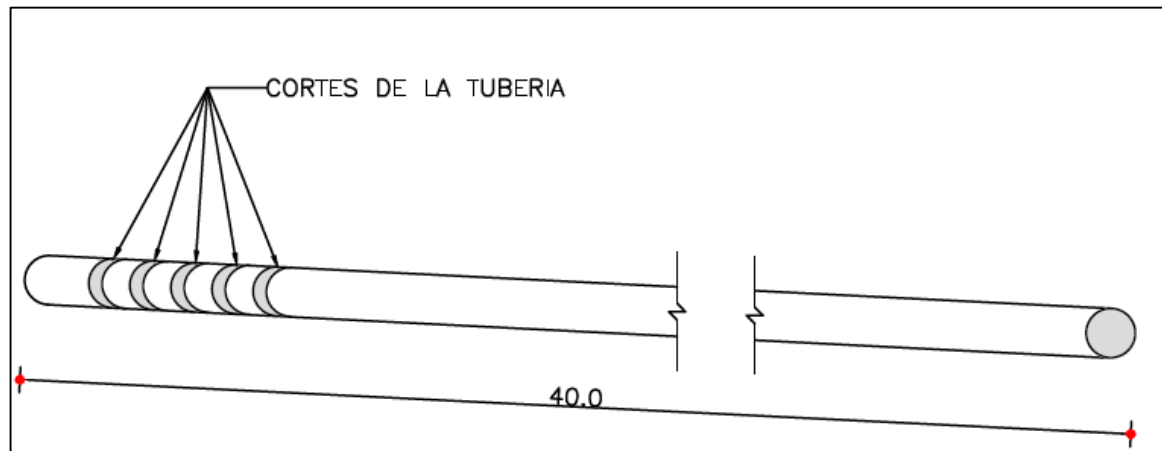
Fuente: Propia

Figura 39. Detalle del canal en sacos de suelo-cemento



Fuente: Propia

Figura 40. Detalle de los subdrenes de penetración horizontal



Fuente: Propia

**Tabla 34. Cantidades y presupuesto aproximado alternativa 2**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Parcial
Localización y replanteo	GL	1	\$10,018,667.00	\$10,018,667.00
Anclajes de 40 Ton	ml	20,611.97	\$353,570.00	\$7,287,774,233.00
Concreto pantalla y muro	m <sup>3</sup>	1695	\$403,398.00	\$683,759,610.00
Acero de refuerzo para pantalla y muro	kg	127,160	\$3,651.00	\$464,261,160.00
Canales en sacos de suelo-cemento	ml	256	\$61,100.00	\$15,641,600.00
Subdrenes de penetración Longitud 40.0m (14)	ml	560	\$84,200.00	\$47,152,000.00
Revegetalización con biomanto e hidrosiembra	m <sup>2</sup>	600	\$16,942.00	\$10,165,200.00
Valor Costo directo de las obras				\$8,518,772,470.00
AIU (15%)				\$1,277,815,870.50
Valor Total de las obras				\$9,796,588,340.50

Fuente: Propia

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES GENERALES

El problema está relacionado con los movimientos de mantos de suelos de gran espesor sobre los suelos residuales al saturarse en temporadas de lluvias.

El movimiento ocasiona el desplazamiento de la vía hacia abajo y el desplazamiento del talud superior hacia la zona de la vía.

Las causas del deslizamiento están relacionadas especialmente con las características geológicas del sitio y la saturación en temporadas de lluvias.

Se debe esperar la ampliación de la zona del movimiento tanto hacia arriba como a lo largo de la vía, si no se construyen obras de estabilización.

Debe tenerse en cuenta que en una temporada de lluvias de gran magnitud, puede presentarse la aceleración de los movimientos actuales que pueden sacar de servicio la vía en pocas semanas; esta situación es muy probable si no se construyen las obras de estabilización.

### 8.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta las alternativas planteadas, se presenta un cuadro comparativo para analizar la viabilidad de las obras.

Análisis de estabilidad.

En este criterio se analizara tanto la estabilidad global de la banca, como la estabilidad de los taludes superiores e inferiores y la incidencia en la movilidad de la vía.

Estimativo de costos.

Son todos los posibles costos que con lleva la construcción de las alternativas para el normal funcionamiento de la vía.

Sistema constructivo

Se analiza los sistemas más viables para la construcción teniendo en cuenta la afectación de la vía y la rapidez de la ejecución de las obras de estabilización.

**Tabla 35. Análisis de alternativas**

Criterios de Análisis	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Análisis de Estabilidad	Aun cuando en el análisis se muestra que la banca de la vía es estable, se pueden esperar posibles desprendimientos de material en el talud superior que pueden llegar afectar la movilidad.	Esta alternativa garantiza la estabilidad de la banca de la vía y el talud superior, debido a que se encuentra protegido por la pantalla de anclajes pretensionados, no se deben esperar desprendimientos o movimientos que puedan afectar la movilidad de la vía.
Estimativo costos	\$2,692,867,030.00	\$9,796,588,340.50
Sistema constructivo	La construcción de las pantallas de pilotes es relativamente rápida y no afectan la movilidad en la vía.	Requiere la construcción de un numero grande de anclajes sobre el talud superior que pueden tener cierto grado de complejidad, teniendo en cuenta que se debe ir construyendo la pantalla de concreto armado, además para la construcción del muro pantalla del talud inferior es necesario la demolición del muro en gaviones existente, lo que con lleva al cierre parcial de un carril.

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta los diferentes criterios de análisis, se recomienda la construcción de las pantallas de pilotes al lado y lado de la vía, con el fin de garantizar la integridad de esta. Aunque se pueden esperar posibles movimientos de los suelos subsuperficiales del talud superior, estos no serán de gran magnitud y se podrán manejar de tal manera que la vía no se vea afectada por ellos.

Otra de las variables que se tiene para escoger la viabilidad de la obra es el posible impacto ambiental que pueden generar al momento de la construcción, y de acuerdo a esto se puede concluir que La alternativa 1 genera un impacto ambiental menor a la alternativa de anclajes pretensionados.

### 8.3. RECOMENDACIONES

La prioridad de obras de estabilización es la construcción de las pantallas en pilotes o pilas y los subdrenes de penetración.

Se recomienda que se fundan las pilas o pilotes inmediatamente se excave para evitar fallas de los taludes de las excavaciones.

Se recomienda que las obras se construyan en temporada seca (meses de diciembre, enero o febrero).

La pantalla debe construirse de los extremos hacia el centro, en tal forma que los primeros pilotes queden en la zona estable y se genere un efecto de pantalla que pueda garantizar la estabilidad si se llegara a presentar una falla durante la construcción.

Se recomienda la instalación de un sistema de monitoreo (inclinómetros-mojones) para el monitoreo permanente del movimiento. La toma de datos deberá efectuarse cada 8 días para verificar la condición de estabilidad de la banca de la vía.

## 9. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Las especificaciones técnicas contienen las normas, exigencias y procedimientos constructivos aplicados a todas las actividades necesarias para la construcción de las obras planteadas.

A continuación se presenta una tabla con las especificaciones necesarias para la construcción de la alternativa 1 pantalla de pilotes y construcción de subdrenes de penetración.

**Tabla 36. Especificaciones técnicas**

<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>
600-07	Excavaciones varias
621-07	Pilotes pre-excavados
630-07	Concreto estructural
640-07	Acero de refuerzo
674-07	Drenes horizontales en taludes

Fuente: INVIAS

## BIBLIOGRAFÍA

Suarez Díaz Jaime (2001), “Control de Erosión en Zonas Tropicales”

Suarez Díaz Jaime. “Deslizamientos” Versión 2009 tomos 1 y 2.

Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS. <http://www.ingeminas.gov.co>.

Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Instituto Nacional de vías INVIAS. <http://www.invias.gov.co>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. <http://www.igac.gov.co>.

González de Vallejo Luis y otros. Ingeniería Geológica. Pearson Education S.A. 2002.

Instituto Geológico y Minera de España. Manual de Taludes. 1986, 455p.

Guía Para El Diseño y La Ejecución De Anclajes Al Terreno En Obras De Carretera, Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras, Madrid 2001.

En ensayos in situ en Geo-mecánica: Las pruebas principales. Fernando Schnaid 2009.

X Jornadas Geotécnicas De La Ingeniería Colombiana, Estimativos De Parámetros Efectivos De Resistencia Con El SPT. Álvaro J. González G.

Las correlaciones estadísticas entre la onda sísmica, Las velocidades y la cantidad de golpes SPT y la relativa, Densidad de Suelos, Emin U. Ulugergerli and Osman Uyanik.

Evaluación Indirecta De Los Módulos Elásticos De Rigidez In Situ y La Relación entre  $V_p/V_s$  y El Ángulo De Fricción Interna, Alfonso Álvarez Manilla Aceves, Paul Garnica Anguas, Alfonso Pérez Salazar.

Tipos De Rotura En Laderas y Taludes, Jordi Corominas 2002.

# ANEXOS

## ANEXO A. ENSAYOS DE LABORATORIO

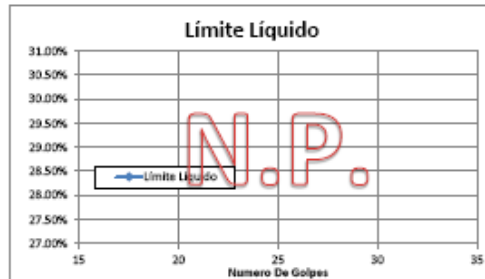
### Sondeo 1

	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>		VERSION 02 26/07/2011 1 DE 9
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 1 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS, DE HUMEDAD BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 1 PROF(m): 1.0 FECHA: 26/07/2011	CÓDIGO: TOR-LAB-02 HOJA: 1 DE: 9

Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>			
P <sub>2</sub>			
P <sub>3</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

Recipiente No		
P <sub>1</sub>		
P <sub>2</sub>		
P <sub>3</sub>		
P <sub>w</sub>		
P <sub>s</sub>		
W%		

p<sub>1</sub> = Peso Recipiente + Suelo Humedo en gr: 75.16  
 p<sub>2</sub> = Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 77.6  
 p<sub>3</sub> = Peso Recipiente en gr: 48.92 P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>  
 p<sub>w</sub> = Peso del Agua en gr: 1.56 P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>  
 p<sub>s</sub> = Peso Suelo Seco en gr: 28.68 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w = Contenido de Agua en %: 5.44%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

**RESULTADOS**

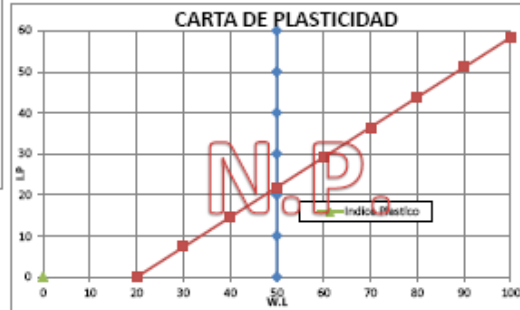
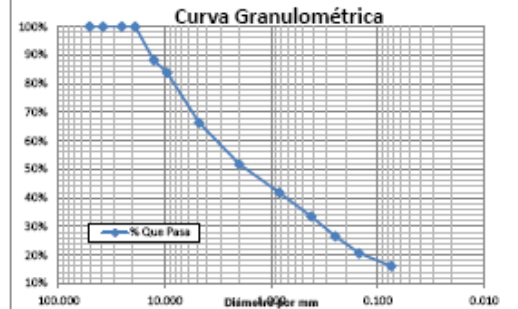
Límite líquido: N.P.  
 límite plástico: N.P.  
 índice de plasticidad: N.P.

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo: N.P.  
 A.A.S.H.T.O.: A-2-6  
 S.U.C.S.: SC

Gravas: 33.74%  
 Arenas: 50.21%  
 Finos: 16.05%

Peso Inicial: 86.72		Peso sin finos: 72.80			
Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso Material	% Reten.	%Ret. Acum.	%Pasa
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	10.24	11.81%	11.81%	88.19%
3/8"	9.520	3.77	4.33%	16.15%	83.85%
4"	4.760	15.25	17.38%	33.74%	66.26%
10"	2.000	12.57	14.49%	48.23%	51.77%
20"	0.840	8.6	9.92%	58.15%	41.85%
40"	0.420	7.26	8.37%	66.52%	33.48%
60"	0.250	5.98	6.90%	73.42%	26.58%
100"	0.149	5.2	6.00%	79.41%	20.59%
200"	0.074	3.93	4.53%	83.95%	16.05%
Peso 200"	0.000	13.92	16.05%	100.00%	0.00%
Total					



ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



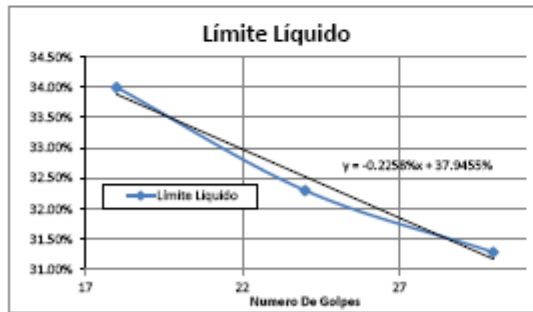
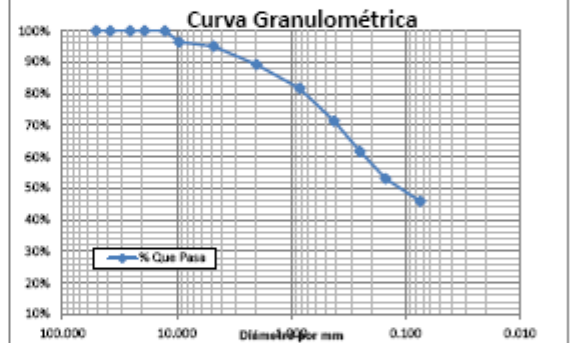
	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02		
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		26/07/2011		
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		2 DE 9			
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126					
<b>PROYECTO:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>SECTOR:</b> <b>SOLICITANTE:</b> <b>DESCRIPCIÓN:</b> <b>MUESTRA TOMADA:</b>	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA SONDEO No. 1 PR 44+950 PROMEVIÁS ARENA ARCILLOSA, HUMEDAD MEDIA, CONSISTENTE ENSAYO SPT	<b>TIPO DE ENSAYO:</b> <b>MUESTRA:</b> <b>PROF(m):</b> <b>FECHA:</b>	SONDEO 2 2.0 26/07/2011	<b>CÓDIGO</b> <b>HOJA</b> <b>DE</b>	TOR-LAB-02 2 9

Determinación No	1	2	3
Número de golpes	18	24	30
Recipiente No	94	7	2
P <sub>1</sub>	11.16	11.82	11.72
P <sub>2</sub>	10.13	10.57	10.55
P <sub>3</sub>	7.1	6.7	6.81
P <sub>w</sub>	1.03	1.25	1.17
P <sub>s</sub>	3.03	3.87	3.74
W%	33.99%	32.30%	31.28%

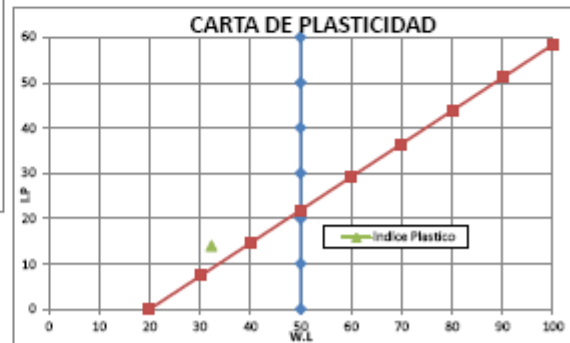
Recipiente No	19	6
P <sub>1</sub>	10.01	10.41
P <sub>2</sub>	9.31	9.84
P <sub>3</sub>	6.78	6.74
P <sub>w</sub>	0.5	0.57
P <sub>s</sub>	2.73	3.1
W%	18.32%	18.39%

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 121.98  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 113.12  
 p3=Peso Recipiente en gr: 48.2 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p4=Peso del Agua en gr: 8.86 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p5=Peso Suelo Seco en gr: 64.92 w = (Pw/Ps)X100  
 w=Contenido de Agua en % 13.63%

Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.520	1.10	3.59%	3.59%	96.41%
4"	4.760	0.41	1.34%	4.93%	95.07%
10"	2.000	1.78	5.81%	10.74%	89.26%
20"	0.840	2.31	7.54%	18.28%	81.71%
40"	0.420	3.18	10.38%	28.67%	71.33%
60"	0.250	2.95	9.63%	38.30%	61.70%
100"	0.149	2.65	8.63%	46.93%	53.07%
200"	0.074	2.2	7.18%	54.14%	45.86%
Peso 200"	0.000	14.05	45.86%	100.00%	0.00%
Total					



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



RESULTADOS		CLASIFICACIÓN	
Límite líquido	32.26%	Índice de Grupo	3
límite plástico	18.32%	A.A.S.H.T.O.	A-6
Índice de plasticidad	13.91%	S.U.C.S	SC
Gravas	4.93%		
Arenas	49.21%		
Finos	45.86%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



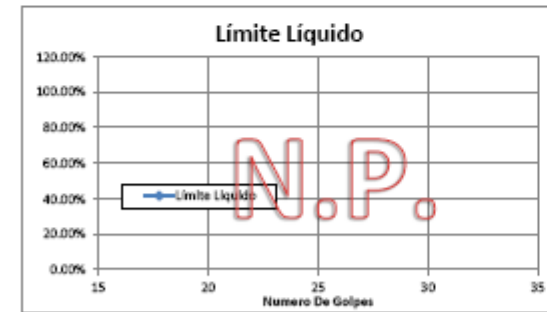
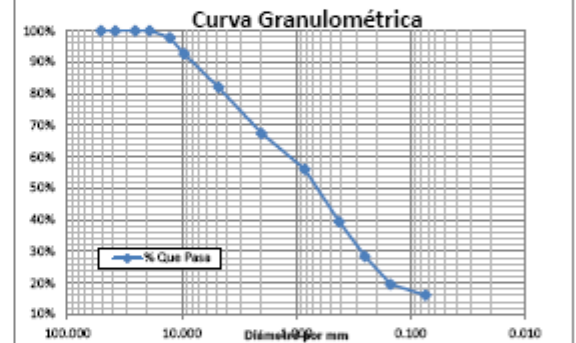
	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>		VERSION 02 26/07/2011 3 DE 9	
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 2 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON CONTENIDO MEDIO DE GRAVAS Y FINOS, HUMEDAD MUY BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SFT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 3 PROF(m): 3.0 FECHA: 26/07/2011	CÓDIGO HOJA 3 DE 9	TOR-LAB-02

Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>	N.P.		
P <sub>2</sub>			
P <sub>3</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

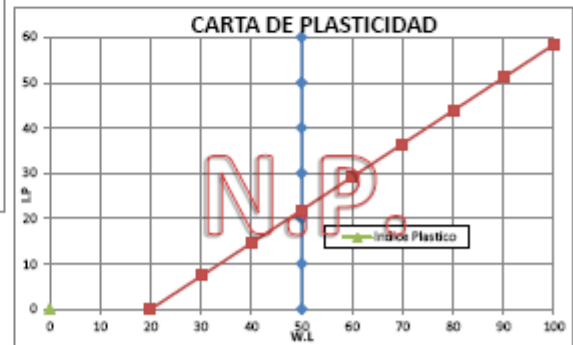
Peso Inicial:		91.01		Peso sin finos:		76.39	
Tamiz, pig	Tamiz, mm	Peso Material	% Reten.	% Ret. Acum	% Pasa		
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.700	2.00	2.20%	2.20%	97.80%		
3/8"	9.520	4.65	5.11%	7.31%	92.69%		
4"	4.760	9.71	10.67%	17.98%	82.02%		
10"	2.000	13.29	14.60%	32.58%	67.42%		
20"	0.840	10.33	11.33%	43.93%	56.07%		
40"	0.420	15.17	16.67%	60.60%	39.40%		
60"	0.250	10.01	11.00%	71.60%	28.40%		
100"	0.149	8.08	8.88%	80.48%	19.52%		
200"	0.074	3.15	3.46%	83.94%	16.06%		
Peso 200"	0.000	14.62	16.06%	100.00%	0.00%		
Total							

Recipiente No		
P <sub>1</sub>	N.P.	
P <sub>2</sub>		
P <sub>3</sub>		
P <sub>w</sub>		
P <sub>s</sub>		
W%		

p<sub>1</sub> = Peso Recipiente + Suelo Humedo en gr: 111.34  
 p<sub>2</sub> = Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 109.56  
 p<sub>3</sub> = Peso Recipiente en gr: 49.53 P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub>  
 p<sub>w</sub> = Peso del Agua en gr: 1.78 P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub> - P<sub>3</sub>  
 p<sub>s</sub> = Peso Suelo Seco en gr: 60.03 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)x100  
 w = Contenido de Agua en %: 2.97%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



RESULTADOS

CLASIFICACIÓN

Límite líquido	N.P.
límite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.
Gravas	17.98%
Arenas	65.96%
Finos	16.06%

Índice de Grupo	N.P.
A.A.S.H.T.O.	A-2-B
S.U.C.S	SC

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



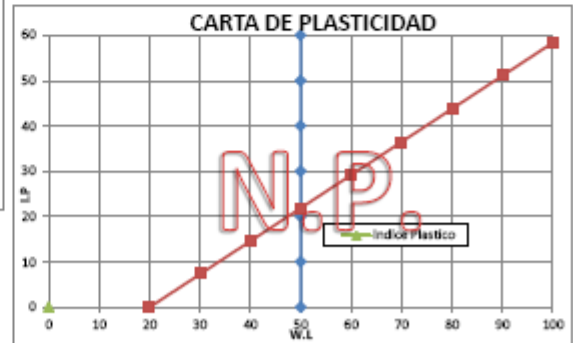
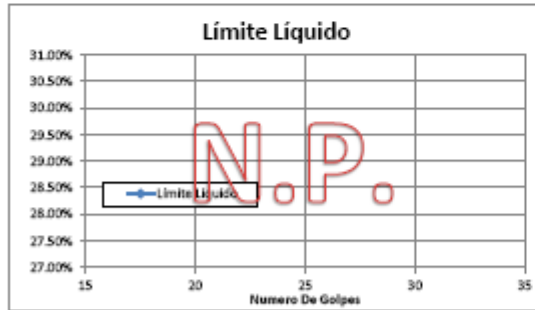
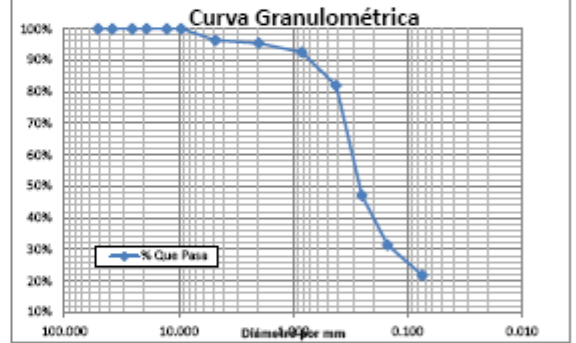
	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>		VERSION 02 26/07/2011 4 DE 9	
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 1 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE FINOS, HUMEDAD MEDIA A BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 4 PROF(m): 4.0 FECHA: 26/07/2011	CÓDIGO HOJA 4 DE 9	TOR-LAB-02

Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>	N.P.		
P <sub>2</sub>			
P <sub>3</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

Peso Inicial: 54.02		Peso sin finos: 42.28			
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
4"	4.760	1.99	3.68%	3.68%	96.32%
10"	2.000	0.51	0.94%	4.63%	95.37%
20"	0.840	1.49	2.76%	7.39%	92.61%
40"	0.420	5.77	10.68%	18.07%	81.93%
60"	0.250	18.82	34.84%	52.90%	47.10%
100"	0.149	8.5	15.73%	68.64%	31.36%
200"	0.074	5.2	9.63%	78.27%	21.73%
Peso 200"	0.000	11.74	21.73%	100.00%	0.00%
Total					

Recipiente No		
P <sub>1</sub>	N.P.	
P <sub>2</sub>		
P <sub>3</sub>		
P <sub>w</sub>		
P <sub>s</sub>		
W%		

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 80.28  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 78.22  
 p3=Peso Recipiente en gr: 49.82 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p4=Peso del Agua en gr: 2.06 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p5=Peso Suelo Seco en gr: 28.4 w = (Pw/Ps)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 7.25%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

<b>RESULTADOS</b>		<b>CLASIFICACIÓN</b>	
Límite líquido	N.P.	Índice de Grupo	N.P.
límite plástico	N.P.	A.A.S.H.T.O.	A-2-6
Índice de plasticidad	N.P.	S.U.C.S	SC
Gravas	3.68%		
Arenas	74.58%		
Finos	21.73%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



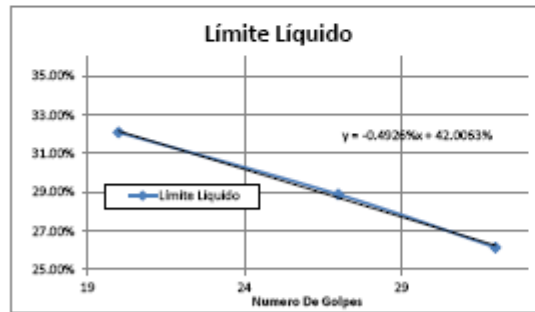
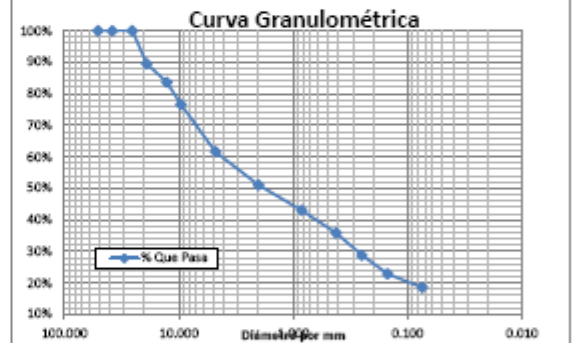
	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02		
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		26/07/2011		
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		3 DE 9			
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126					
<b>PROYECTO:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>SECTOR:</b> <b>SOLICITANTE:</b> <b>DESCRIPCIÓN:</b> <b>MUESTRA TOMADA:</b>	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA SONDEO No. 1 PR 44+950 PROMEVIÁS ARENA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA, CONSISTENTE ENSAYO SPT	<b>TIPO DE ENSAYO:</b> <b>MUESTRA:</b> <b>PROP(m):</b> <b>FECHA:</b>	SONDEO 5 5.0 26/07/2011	<b>CÓDIGO</b>  <b>HOJA</b> DE	TOR-LAB-02  5 9

Determinación No	1	2	3
Número de golpes	20	27	32
Recipiente No	1	67	7
P <sub>1</sub>	9.87	9.75	10.3
P <sub>2</sub>	9.1	9.21	9.3
P <sub>3</sub>	6.7	7.34	6.44
P <sub>w</sub>	0.77	0.54	0.8
P <sub>s</sub>	2.4	1.87	3.06
W%	32.08%	28.88%	26.14%

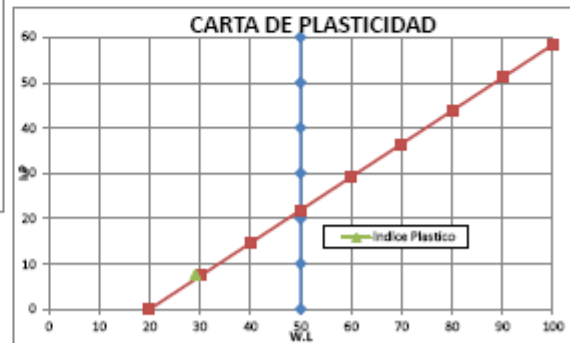
Recipiente No	26	25
P <sub>1</sub>	9.57	9.7
P <sub>2</sub>	9.03	9.2
P <sub>3</sub>	6.64	6.76
P <sub>w</sub>	0.54	0.5
P <sub>s</sub>	2.39	2.44
W%	22.59%	20.49%

p<sub>1</sub>=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 73.21  
 p<sub>2</sub>=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 71.18  
 p<sub>3</sub>=Peso Recipiente en gr: 52.05 P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>  
 p<sub>w</sub>=Peso del Agua en gr: 2.03 P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>  
 p<sub>s</sub>=Peso Suelo Seco en gr: 19.13 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w=Contenido de Agua en % 10.61%

Peso Inicial:		62.40	Peso sin finos:			50.84
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase	
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/4"	19.000	6.55	10.50%	10.50%	89.50%	
1/2"	12.700	3.63	5.82%	16.31%	83.69%	
3/8"	9.500	4.43	7.10%	23.41%	76.59%	
4"	4.760	9.36	15.00%	38.41%	61.59%	
10"	2.000	6.59	10.56%	48.98%	51.02%	
20"	0.840	4.97	7.96%	56.94%	43.06%	
40"	0.420	4.51	7.23%	64.17%	35.83%	
60"	0.250	4.41	7.07%	71.24%	28.76%	
100"	0.149	3.71	5.93%	77.18%	22.82%	
200"	0.074	2.68	4.29%	81.48%	18.52%	
Peso 200"	0.000	11.56	18.52%	100.00%	0.00%	
Total						



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



Límite líquido	29.10%
límite plástico	21.54%
Índice de plasticidad	7.56%
Gravas	38.41%
Arenas	43.06%
Finos	18.52%

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A-2-6
S.U.C.S	SC

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



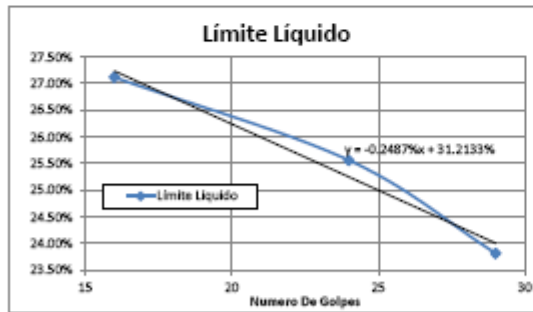
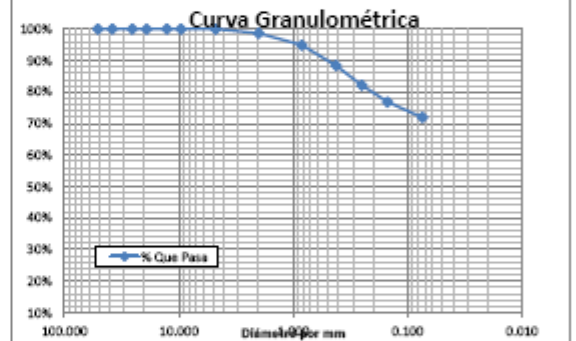
	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02	
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		26/07/2011	
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		6 DE 9		
<b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>				
PROYECTO:	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETÁ	TIPO DE ENSAYO:	SONDEO	
UBICACIÓN:	SONDEO No. 1	MUESTRA:	6	
SECTOR:	PR 44+850	PROF(m):	6.0	
SOLICITANTE:	PROMEVIÁS	FECHA:	26/07/2011	
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA LIGERA CON ARENA. HUMEDAD MEDIA A BAJA, CONSISTENTE	CÓDIGO	TOR-LAB-02	
MUESTRA TOMADA:	ENSAYO SPT	HOJA	6	
		DE	9	

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de golpes	16	24	29
Recipiente No	79	81	98
P <sub>1</sub>	11.8	11.3	11.65
P <sub>2</sub>	10.71	10.38	10.75
P <sub>3</sub>	6.69	6.78	6.97
P <sub>w</sub>	1.09	0.92	0.9
P <sub>s</sub>	4.02	3.6	3.78
W%	27.11%	25.96%	23.81%

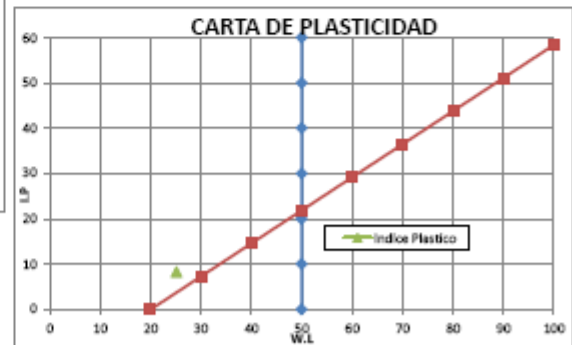
LÍMITE PLÁSTICO		
Recipiente No	62	91
P <sub>1</sub>	9.74	5.49
P <sub>2</sub>	9.41	5.07
P <sub>3</sub>	7.45	6.98
P <sub>w</sub>	0.33	0.42
P <sub>s</sub>	1.96	2.49
W%	16.84%	16.87%

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 237.86  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 223.7  
 p3=Peso Recipiente en gr: 30.42 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p4=Peso del Agua en gr: 14.16 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p5=Peso Suelo Seco en gr: 173.28 W = (Pw/Ps)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 8.17%

Peso Inicial:		67.95	Peso sin finos:			19.05
Tamiz, pig	Tamiz, mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase	
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
4"	4.760	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
10"	2.000	0.92	1.35%	1.35%	98.65%	
20"	0.840	2.93	3.72%	5.08%	94.92%	
40"	0.420	4.46	6.56%	11.64%	88.36%	
60"	0.250	4.23	6.23%	17.87%	82.13%	
100"	0.149	3.62	5.33%	23.19%	76.81%	
200"	0.074	3.29	4.84%	28.04%	71.96%	
Peso 200	0.000	48.90	71.96%	100.00%	0.00%	
Total						



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



**RESULTADOS**

Límite líquido	25.12%
límite plástico	16.83%
Índice de plasticidad	8.27%
Gravas	0.00%
Arenas	28.04%
Finos	71.96%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo	4
A.A.S.H.T.O.	A-4
S.U.C.S	CL

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



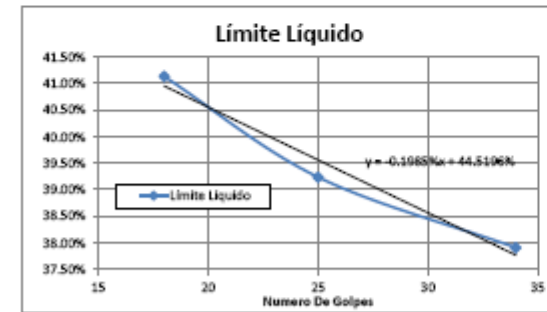
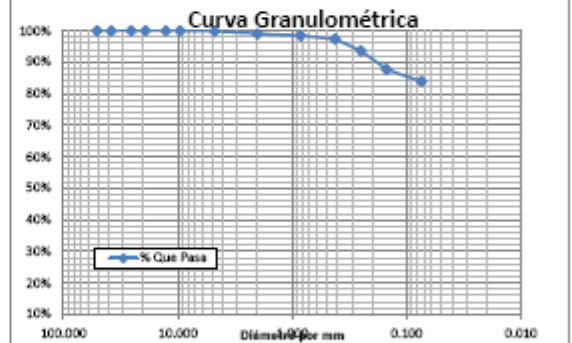
	<b>REGISTRO</b>			VERSION 02	
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>			26/07/2011	
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>			7 DE 9		
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126					
PROYECTO:	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA		TIPO DE ENSAYO:	SONDEO	
UBICACIÓN:	SONDEO No. 1		MUESTRA:	7	
SECTOR:	PR 44+950		PROP(m):	7.0	
SOLICITANTE:	PROMEVIAS		FECHA:	26/07/2011	
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA LIGERA, HUMEDAD ALTA, POCO CONSISTENTE		CÓDIGO	TOR-LAB-02	
MUESTRA TOMADA:	ENSAYO SPT		HOJA	7	
			DE	9	

Determinación No	1	2	3
Número de golpes	18	25	34
Recipiente No	87	71	89
P <sub>1</sub>	11.44	11.59	11.41
P <sub>2</sub>	9.98	10.46	10.14
P <sub>s</sub>	6.43	7.58	6.79
P <sub>w</sub>	1.46	1.13	1.27
P <sub>t</sub>	3.53	2.88	3.33
W%	41.13%	39.24%	37.91%

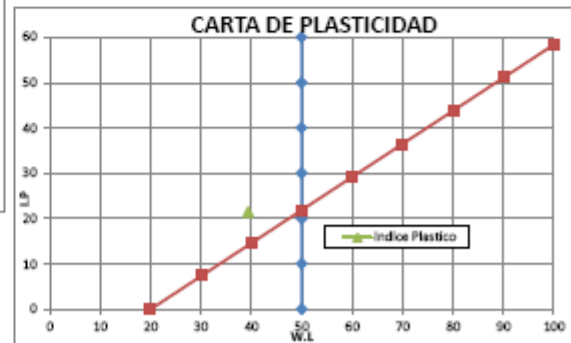
Recipiente No	60	61
P <sub>1</sub>	9.11	9.13
P <sub>2</sub>	8.83	8.87
P <sub>s</sub>	7.26	7.43
P <sub>w</sub>	0.28	0.26
P <sub>t</sub>	1.57	1.44
W%	17.83%	18.06%

$p_1 = \text{Peso Recipiente} + \text{Suelo Humedo en gr} = 160.89$   
 $p_2 = \text{Peso Recipiente} + \text{Suelo Seco en gr} = 139.72$   
 $p_3 = \text{Peso Recipiente en gr} = 49.33$      $P_w = P_1 - P_2$   
 $p_4 = \text{Peso del Agua en gr} = 21.17$      $P_s = P_2 - P_3$   
 $p_5 = \text{Peso Suelo Seco en gr} = 90.39$      $w = (P_w/P_s) \times 100$   
 $w = \text{Contenido de Agua en \%} = 23.42\%$

Peso Inicial:		74.62	Peso sin finos:		12.03
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
4"	4.760	0.10	0.13%	0.13%	99.87%
10"	2.000	0.62	0.83%	0.96%	99.04%
20"	0.840	0.4	0.54%	1.50%	98.50%
40"	0.420	0.89	1.19%	2.69%	97.31%
60"	0.250	2.72	3.63%	6.34%	93.66%
100"	0.149	4.39	5.88%	12.22%	87.78%
200"	0.074	2.91	3.90%	16.12%	83.88%
Pase 200"	0.000	62.59	83.88%	100.00%	0.00%
Total					



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



RESULTADOS		CLASIFICACIÓN	
Límite líquido	39.37%	Índice de Grupo	17
límite plástico	17.94%	A.A.S.H.T.O.	A-6
Índice de plasticidad	21.42%	S.U.C.S	CL
Gravas	0.13%		
Arenas	15.99%		
Finos	83.88%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

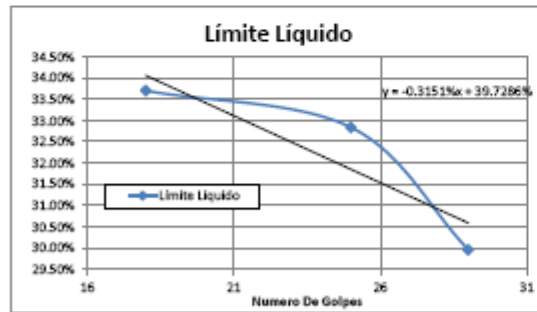
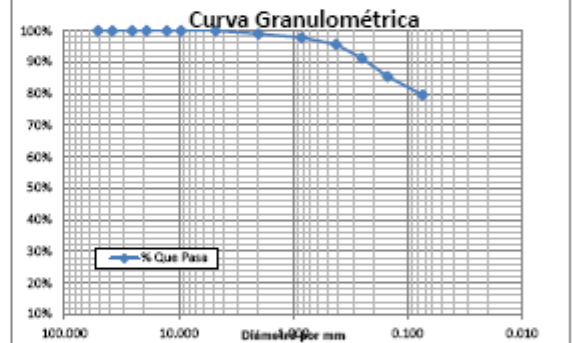
	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02		
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		26/07/2011		
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		8 DE 9			
<b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>					
<b>PROYECTO:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>SECTOR:</b> <b>SOLICITANTE:</b> <b>DESCRIPCIÓN:</b> <b>MUESTRA TOMADA:</b>	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA SONDEO No. 1 PR 44+950 PROMEVIÁS ARCILLA LIGERA CON ARENA, HUMEDAD MEDIA A ALTA, POCO CONSISTENTE ENSAYO SPT	<b>TIPO DE ENSAYO:</b> <b>MUESTRA:</b> <b>PROP(m):</b> <b>FECHA:</b>	SONDEO 8 8.0 26/07/2011	<b>CÓDIGO</b> <b>HOJA</b> <b>DE</b>	TOR-LAB-02 8 9

Determinación No	1	2	3
Número de golpes	18	25	29
Recipiente No	75	14	73
P <sub>1</sub>	11.2	11.21	10.34
P <sub>2</sub>	9.97	10.11	9.51
P <sub>3</sub>	6.32	6.76	6.74
P <sub>w</sub>	1.23	1.1	0.83
P <sub>s</sub>	3.65	3.35	2.77
W%	33.70%	32.64%	29.96%

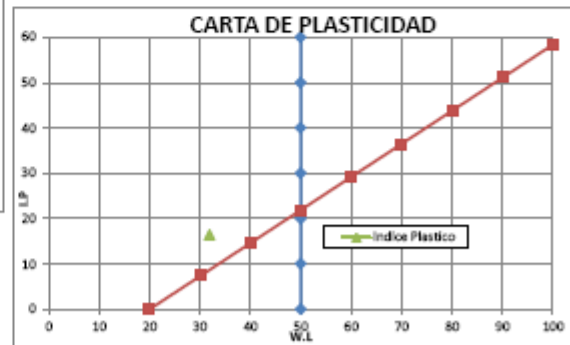
Recipiente No	103	78
P <sub>1</sub>	8.48	8.56
P <sub>2</sub>	8.27	8.31
P <sub>3</sub>	6.84	6.79
P <sub>w</sub>	0.21	0.25
P <sub>s</sub>	1.43	1.52
W%	14.69%	16.45%

p<sub>1</sub>=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 256.17  
 p<sub>2</sub>=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 213.78  
 p<sub>3</sub>=Peso Recipiente en gr: 49.25 P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>  
 p<sub>w</sub>=Peso del Agua en gr: 40.39 P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>  
 p<sub>s</sub>=Peso Suelo Seco en gr: 166.53 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w=Contenido de Agua en % 24.23%

Peso Inicial:		38.43		Peso sin finos:		11.91	
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pasa		
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
4"	4.760	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
10"	2.000	0.58	0.99%	0.99%	99.01%		
20"	0.840	0.7	1.30%	2.19%	97.81%		
40"	0.420	1.26	2.16%	4.35%	95.65%		
60"	0.250	2.57	4.40%	8.74%	91.26%		
100"	0.149	3.39	5.80%	14.55%	85.45%		
200"	0.074	3.41	5.84%	20.38%	79.62%		
Peso 200"	0.000	46.52	79.62%	100.00%	0.00%		
Total							



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



RESULTADOS		CLASIFICACIÓN	
Límite líquido	31.91%	Índice de Grupo	11
límite plástico	15.57%	A.A.S.H.T.O.	A-6
Índice de plasticidad	16.34%	S.U.C.S	CL
Gravas	0.00%		
Arenas	20.38%		
Finos	79.62%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



## Sondeo 2

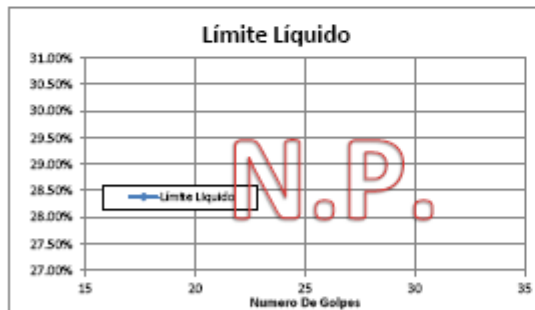
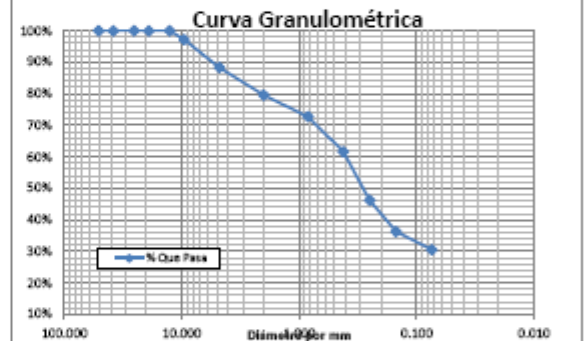
	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>			VERSION 02 28/07/2011 1 DE 7	
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 2 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE FINOS, DE HUMEDAD BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 1 PROF(m): 1.0 FECHA: 28/07/2011	CÓDIGO: TOR-LAB-02 HOJA: 1 DE: 7		

Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>	N.P.		
P <sub>2</sub>			
P <sub>3</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

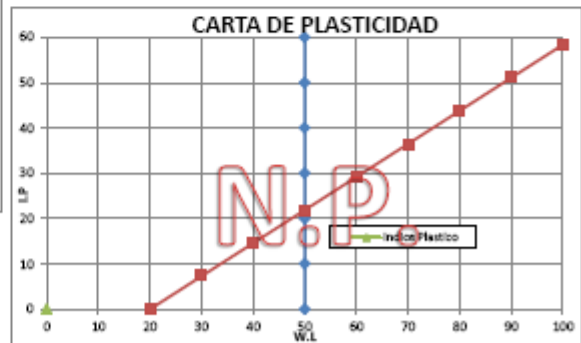
Recipiente No		
P <sub>1</sub>	N.P.	
P <sub>2</sub>		
P <sub>3</sub>		
P <sub>w</sub>		
P <sub>s</sub>		
W%		

$p_1 = \text{Peso Recipiente} + \text{Suelo Humedo en gr} = 94.25$   
 $p_2 = \text{Peso Recipiente} + \text{Suelo Seco en gr} = 92.00$   
 $p_3 = \text{Peso Recipiente en gr} = 48.97$   $P_w = P_1 - P_2$   
 $p_w = \text{Peso del Agua en gr} = 2.25$   $P_s = P_2 - P_3$   
 $p_s = \text{Peso Suelo Seco en gr} = 43.03$   $w = (P_w/P_s) \times 100$   
 $w = \text{Contenido de Agua en \%} = 5.23\%$

Peso inicial: 54.48		Peso sin finos: 37.86			
Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso Material	% Reten.	% Ret. Acum	% Pasa
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.520	1.53	2.81%	2.81%	97.19%
4"	4.760	4.85	8.90%	11.71%	88.29%
10"	2.000	4.75	8.72%	20.43%	79.57%
20"	0.840	3.71	6.81%	27.24%	72.76%
40"	0.420	6.06	11.12%	38.37%	61.63%
60"	0.250	8.41	15.44%	53.80%	46.20%
100"	0.149	5.43	9.97%	63.77%	36.23%
200"	0.074	3.12	5.73%	69.50%	30.50%
Pasa 200"	0.000	16.62	30.50%	100.00%	0.00%
Total					



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



<b>RESULTADOS</b>	Límite líquido	N.P.	Índice de Grupo	N.P.
	límite plástico	N.P.	A.A.S.H.T.O.	A-2-6
	Índice de plasticidad	N.P.	S.U.C.S.	SC

Gravas	11.71%
Arenas	57.79%
Finos	30.50%

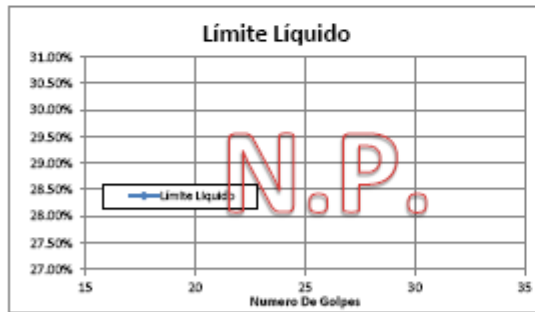
ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02		
	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN		28/07/2011		
	LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN		2 DE 7		
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126					
PROYECTO:	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA	TIPO DE ENSAYO:	SONDEO		
UBICACIÓN:	SONDEO No. 2	MUESTRA:	2		
SECTOR:	PR 44+950	PROF(m):	2.0		
SOLICITANTE:	PROMEVÍAS	FECHA:	28/07/2011		
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS Y FINOS, DE HUMEDAD MUY BAJA			CÓDIGO	TOR-LAB-02
MUESTRA TOMADA	ENSAYO SPT			HOJA	2
				DE	7

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>			
P <sub>2</sub>			
P <sub>s</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>1</sub>			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>			
P <sub>2</sub>			
P <sub>s</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>1</sub>			
W%			

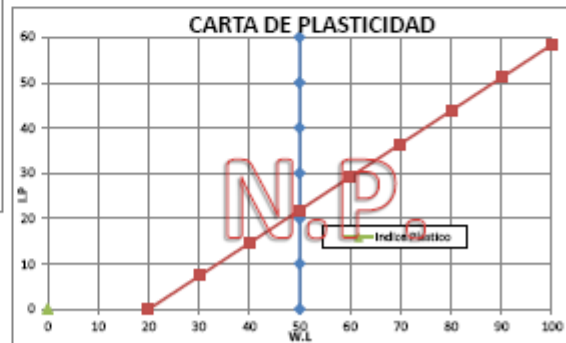
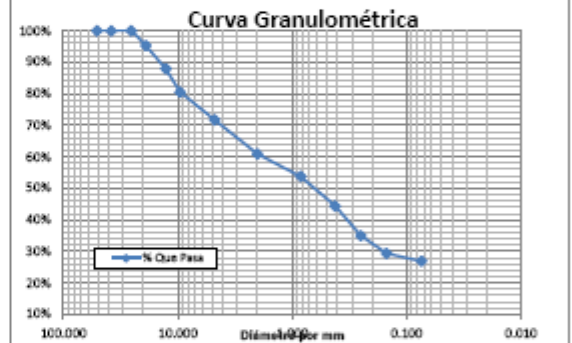
p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 169.29  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 165.9  
 p3=Peso Recipiente en gr: 49.23 Pw = P1-P2  
 p4=Peso del Agua en gr: 3.39 Ps = P2-P3  
 p5=Peso Suelo Seco en gr: 116.67 w = (Pw/Ps)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 2.91%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

RESULTADOS	CLASIFICACIÓN
Límite líquido	N.P.
límite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.
Gravas	28.28%
Arenas	44.86%
Finos	26.86%

Peso Inicial:		157.63		Peso sin finos:		115.29	
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pase		
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.050	7.39	4.69%	4.69%	95.31%		
1/2"	12.700	11.60	7.36%	12.05%	87.95%		
3/8"	9.520	11.76	7.46%	19.51%	80.49%		
4"	4.760	13.83	8.77%	28.28%	71.72%		
10"	2.000	17.07	10.83%	39.11%	60.89%		
20"	0.840	11.23	7.14%	46.25%	53.75%		
40"	0.420	14.74	9.33%	55.60%	44.40%		
60"	0.250	14.9	9.43%	65.05%	34.95%		
100"	0.149	8.89	5.64%	70.69%	29.31%		
200"	0.074	3.86	2.43%	73.14%	26.86%		
Peso 200"	0.000	42.34	26.86%	100.00%	0.00%		
Total							



ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

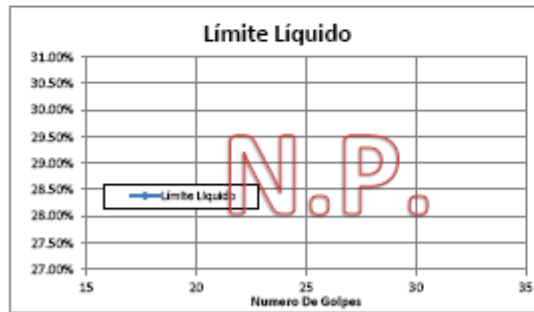
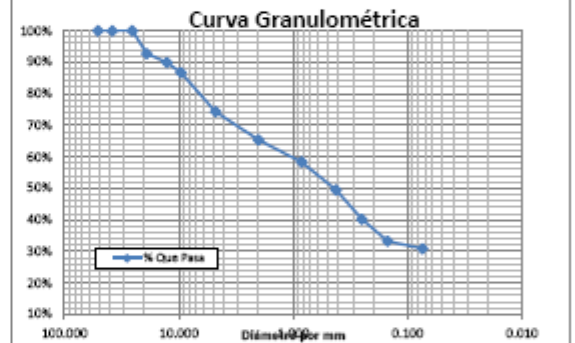
	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>		VERSION 02 28/07/2011 3 DE 7	
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 2 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVIAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS Y FINOS, DE HUMEDAD BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 3 PROF(m): 3.0 FECHA: 28/07/2011	CÓDIGO: TOR-LAB-02 HOJA: 3 DE: 7	

Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>	N.P.		
P <sub>2</sub>	N.P.		
P <sub>w</sub>	N.P.		
P <sub>s</sub>	N.P.		
W%	N.P.		

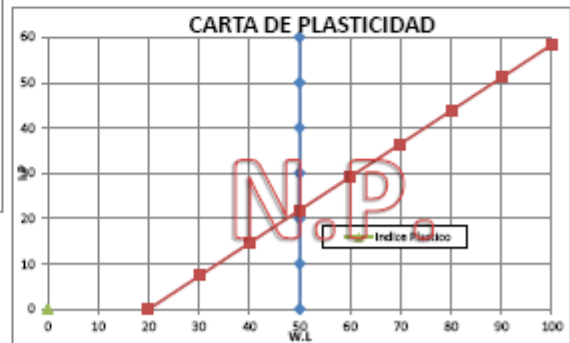
Peso inicial:		149.22	Peso sin finos:		103.17
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pasa
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	10.88	7.29%	7.29%	92.71%
1/2"	12.700	4.19	2.81%	10.10%	89.90%
3/8"	9.520	4.73	3.18%	13.28%	86.72%
4"	4.780	18.31	12.40%	25.69%	74.31%
10"	2.000	13.35	8.95%	34.64%	65.36%
20"	0.840	10.33	7.06%	41.70%	58.30%
40"	0.420	13.24	8.87%	50.57%	49.43%
60"	0.250	13.82	9.26%	59.83%	40.17%
100"	0.149	10.42	6.98%	66.82%	33.18%
200"	0.074	3.47	2.33%	69.14%	30.86%
Peso 200"	0.000	46.03	30.86%	100.00%	0.00%
Total					

Recipiente No		
P <sub>1</sub>	N.P.	
P <sub>2</sub>	N.P.	
P <sub>w</sub>	N.P.	
P <sub>s</sub>	N.P.	
W%	N.P.	

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 151.23  
 p2 =Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 145  
 p3 =Peso Recipiente en gr: 30.71 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p<sub>w</sub> =Peso del Agua en gr: 6.23 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p<sub>s</sub> =Peso Suelo Seco en gr: 94.29 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w =Contenido de Agua en %: 6.61%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



**RESULTADOS**

**CLASIFICACIÓN**

Límite líquido	N.P.
límite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.
Gravas	25.69%
Arenas	43.45%
Finos	30.86%

Índice de Grupo	N.P.
A.A.S.H.T.O.	A-2-E
S.U.C.S	SC

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

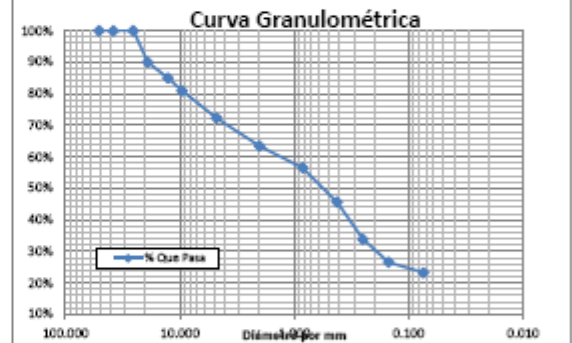


	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02	
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		28/07/2011	
	<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		4 DE 7	
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126				
PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 2 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVA Y FINOS, DE HUMEDAD BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 4 PROF(m): 4.0 FECHA: 28/07/2011	CÓDIGO: TOR-LAB-02 HOJA: 4 DE: 7		

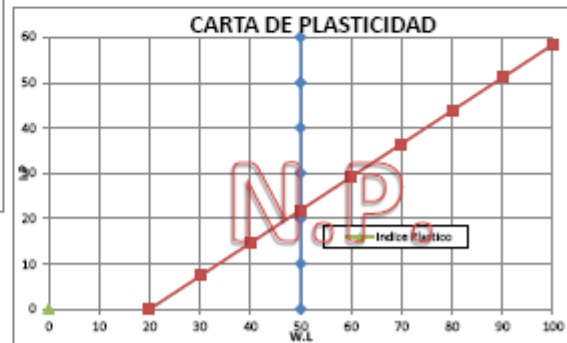
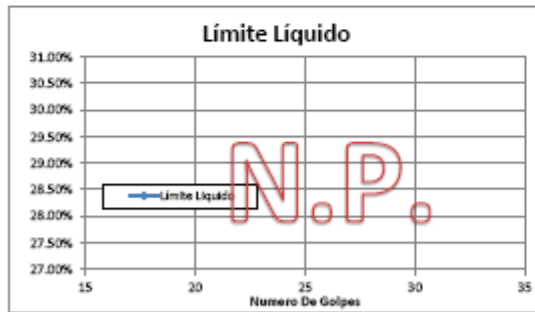
LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>	N.P.		
P <sub>2</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

Peso Inicial:		308.47		Peso sin finos:		236.76	
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret_Acum	%Pasa		
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.000	30.88	10.01%	10.01%	89.99%		
1/2"	12.700	15.41	5.00%	15.01%	84.99%		
3/8"	9.500	12.47	4.04%	19.05%	80.95%		
4"	4.750	26.73	8.67%	27.71%	72.29%		
10"	2.000	27.41	8.89%	36.60%	63.40%		
20"	0.840	21.37	6.93%	43.53%	56.47%		
40"	0.420	33.61	10.90%	54.42%	45.58%		
60"	0.250	36.15	11.72%	66.14%	33.86%		
100"	0.149	22.63	7.34%	73.48%	26.52%		
200"	0.074	10.1	3.27%	76.75%	23.25%		
Peso 200"	0.000	71.71	23.25%	100.00%	0.00%		
Total							

LÍMITE PLÁSTICO		
Recipiente No		
P <sub>1</sub>	N.P.	
P <sub>2</sub>		
P <sub>w</sub>		
P <sub>s</sub>		
W%		



p<sub>1</sub>=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 243.78  
 p<sub>2</sub>=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 230  
 p<sub>w</sub>=Peso Recipiente en gr: 49.53 P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>  
 p<sub>s</sub>=Peso del Agua en gr: 13.78 P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>  
 p<sub>s</sub>=Peso Suelo Seco en gr: 180.47 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 7.64%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

RESULTADOS		CLASIFICACIÓN	
Límite líquido	N.P.	Índice de Grupo	N.P.
límite plástico	N.P.	A.A.S.H.T.O.	A-2-E
Índice de plasticidad	N.P.	S.U.C.S	SC
Gravas	27.71%		
Arenas	49.04%		
Finos	23.25%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

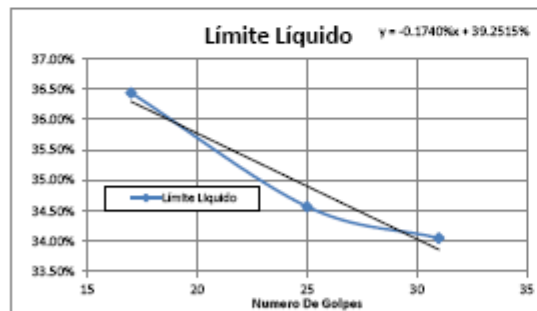


	<b>REGISTRO</b>		VERSION 02		
	<b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b>		28/07/2011		
	<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b>		5 DE 7		
I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126					
PROYECTO:	ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA	TIPO DE ENSAYO:	SONDEO	CÓDIGO <b>TOR-LAB-02</b>	
UBICACIÓN:	SONDEO No. 2	MUESTRA:	5		
SECTOR:	PR 44+850	PROF(m):	7.0		
SOLICITANTE:	PROMEVI/AS	FECHA:	28/07/2011		
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA LIGERA CON ARENA, DE HUMEDAD MEDIA, CONSISTENTE			HOJA	5
MUESTRA TOMADA:	ENSAYO SPT			DE	7

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de golpes	17	25	31
Recipiente No	55	37	31
P <sub>1</sub>	12.76	12.72	12.19
P <sub>2</sub>	11.39	11.04	10.76
P <sub>3</sub>	7.63	6.18	6.56
P <sub>w</sub>	1.37	1.68	1.43
P <sub>s</sub>	3.76	4.86	4.2
W%	36.44%	34.37%	34.05%

LÍMITE PLÁSTICO		
Recipiente No	23	5
P <sub>1</sub>	8.75	8.76
P <sub>2</sub>	8.49	8.47
P <sub>3</sub>	6.7	6.45
P <sub>w</sub>	0.26	0.29
P <sub>s</sub>	1.79	2.02
W%	14.53%	14.36%

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 288.98  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 253.01  
 p3=Peso Recipiente en gr: 47.93 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p<sub>w</sub>=Peso del Agua en gr: 35.57 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p<sub>s</sub>=Peso Suelo Seco en gr: 205.08 w = (P<sub>w</sub>/P<sub>s</sub>)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 17.34%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

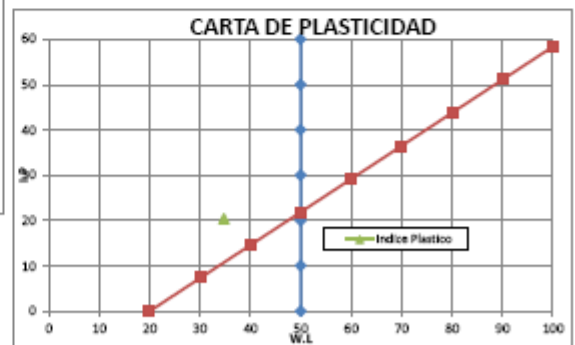
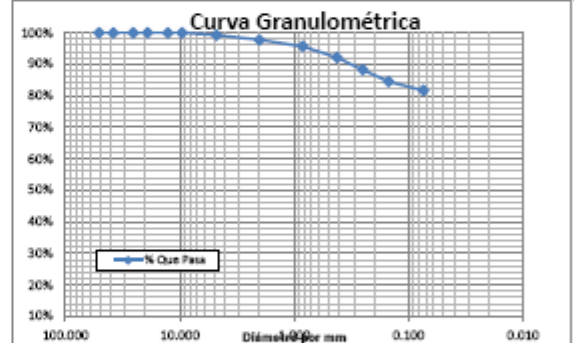
**RESULTADOS**

Límite líquido	34.76%
límite plástico	14.44%
Índice de plasticidad	20.32%
Gravas	0.73%
Arenas	17.39%
Finos	81.66%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo	15
A.A.S.H.T.O.	A-6
S.U.C.S	CL

Peso Inicial:		377.40	Peso sin finos:			69.13
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pass	
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
4"	4.760	2.74	0.73%	0.73%	99.27%	
10"	2.000	5.83	1.54%	2.27%	97.73%	
20"	0.840	7.7	2.04%	4.31%	95.69%	
40"	0.420	13.27	3.52%	7.83%	92.17%	
60"	0.250	15.03	3.98%	11.81%	88.19%	
100"	0.149	13.96	3.70%	15.51%	84.49%	
200"	0.074	10.6	2.81%	18.32%	81.68%	
Peso 200"	0.000	308.27	81.68%	100.00%	0.00%	
Total						



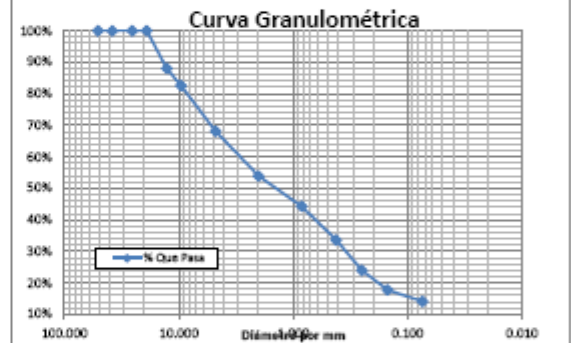
ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

	<b>REGISTRO</b> <b>ENSAYO DE CLASIFICACIÓN</b> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN</b> <b>I.N.V E-122 E-123 E-125 E-126</b>		VERSION 02 28/07/2011 6 DE 7	
	PROYECTO: ESTUDIOS VÍA GUADUAS - VILLETA UBICACIÓN: SONDEO No. 2 SECTOR: PR 44+950 SOLICITANTE: PROMEVÍAS DESCRIPCIÓN: MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS, DE HUMEDAD BAJA MUESTRA TOMADA: ENSAYO SPT	TIPO DE ENSAYO: SONDEO MUESTRA: 5 PROF(m): 8.0 FECHA: 28/07/2011	CÓDIGO: TOR-LAB-02 HOJA: 6 DE: 7	

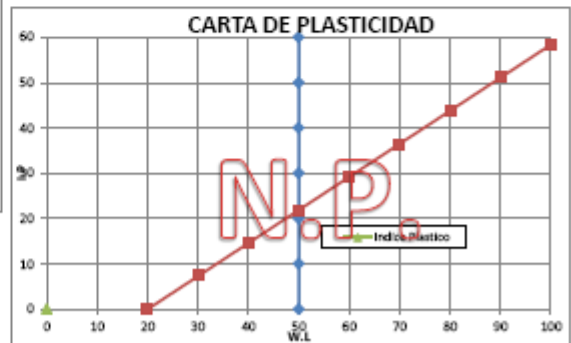
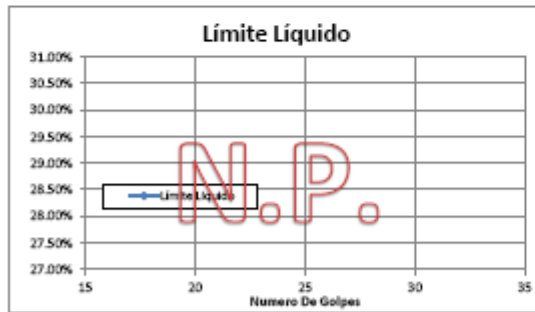
Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P <sub>1</sub>			
P <sub>2</sub>			
P <sub>3</sub>			
P <sub>w</sub>			
P <sub>s</sub>			
W%			

Peso inicial:		176.25		Peso sin finos:			151.45		
Tamiz,plg	Tamiz,mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pasa				
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%				
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%				
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%				
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%				
1/2"	12.700	21.10	11.97%	11.97%	88.03%				
3/8"	9.520	9.63	5.46%	17.44%	82.56%				
4"	4.760	25.44	14.43%	31.87%	68.13%				
10"	2.000	25.1	14.24%	46.11%	53.89%				
20"	0.840	16.98	9.63%	55.74%	44.26%				
40"	0.420	18.82	10.68%	66.42%	33.58%				
60"	0.250	16.98	9.63%	76.05%	23.95%				
100"	0.149	10.93	6.20%	82.26%	17.74%				
200"	0.074	6.47	3.67%	85.93%	14.07%				
Pasa 200"	0.000	24.30	14.07%	100.00%	0.00%				
Total									

Recipiente No	
P <sub>1</sub>	
P <sub>2</sub>	
P <sub>3</sub>	
P <sub>w</sub>	
P <sub>s</sub>	
W%	



p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 166.57  
 p2=Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 158.95  
 p3=Peso Recipiente en gr: 30.23 P<sub>w</sub> = P1-P2  
 p<sub>w</sub>=Peso del Agua en gr: 6.62 P<sub>s</sub> = P2-P3  
 p<sub>s</sub>=Peso Suelo Seco en gr: 109.72 w = (Pw/Ps)X100  
 w=Contenido de Agua en %: 6.03%



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

**RESULTADOS**

**CLASIFICACIÓN**

Límite líquido	N.P.
límite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.
Gravas	31.87%
Arenas	54.06%
Finos	14.07%

Índice de Grupo	N.P.
A.A.S.H.T.O.	A-2-E
S.U.C.S	SC

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ

Perfil Estratégico															
Proyecto:		Fecha:		28/07/2011		CÓDIGO		TORLAB-04							
Lugar:		Ubicación:		SONDEO No. 2		HOJA		3							
Tipo de ensayo:		Solicitante:		PROMEVIAS		DE		3							
PROF(m)	DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA	MUESTRA	CLASIFICACIÓN U.S.C.S.	wt. %	LÍMITES ATTERBERG			GRADACIÓN						
						LL. %	LP. %	LP. %	lc	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %			
0.00													6"	12"	18"
	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE FINOS, DE HUMEDAD BAJA		M1	SC	5.23%	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	11.71%	57.79%	30.50%	**	**	**
1.00													3	1	2
	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS Y FINOS, DE HUMEDAD MUY BAJA		M2	SC	2.91%	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	28.28%	44.86%	26.86%			
2.00													2	2	2
	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS Y FINOS, DE HUMEDAD BAJA		M3	SC	6.61%	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	25.69%	43.45%	30.86%			
3.00													3	4	5
	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVA Y FINOS, DE HUMEDAD BAJA		M4	SC	7.64%	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	27.71%	49.04%	23.25%			
4.00													6	6	6
	NO RECUPERO												4	6	7
	NO RECUPERO												7	8	8
5.00													9	7	9
	NO RECUPERO												9	9	10
6.00													10	10	11
	ARCILLA LIGERA CON ARENAL, DE HUMEDAD MEDIA, CONSISTENTE		M7	CL	17.34%	34.76%	14.44%	20.32%	0.86	0.73%	17.59%	81.66%			
7.00													12	11	12
	MATERIAL ARENOSO CON ALTO CONTENIDO DE GRAVAS, DE HUMEDAD BAJA		M8	SC	6.03%	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	31.87%	54.06%	14.07%			
8.00													14	14	15
													14	14	15
													15	15	14

ING. JUAN CESAR FORRES  
REVISO

# Apique 1

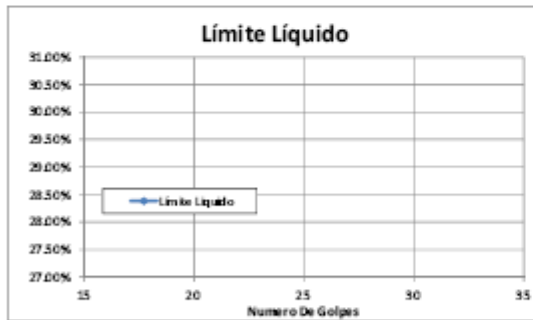
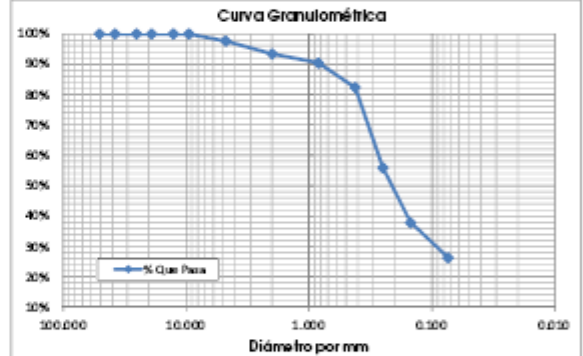
		<b>REGISTRO</b>		VERSION 02	
		ENSAYO DE CLASIFICACIÓN		30/08/2011	
		LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN		1 DE 1	
		LN.V E-122 E-123 E-125 E-126			
PROYECTO:	ESTUDIOS VIA. GUADUAS - VILLETA	TIPO DE ENSAYO:	APIQUE	CÓDIGO	TOR-LAB-02
UBICACIÓN:	APIQUE # 1	MUESTRA:	1		
SECTOR:	K44+950	PROFUND:	2.60 m	HOJA	1
SOLICITANTE:		FECHA:	30/08/2011	DE	1
DESCRIPCIÓN:					
MUESTRA TOMADA:	ENSAYO SPT				

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de golpes			
Recipiente No			
P1			
P2			
P3			
PW			
PS			
W%	NL	NL	NL

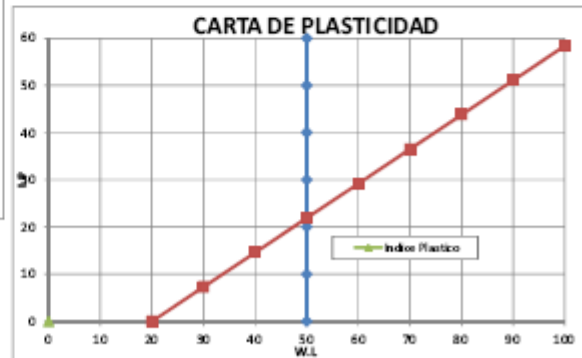
LÍMITE PLÁSTICO		
Recipiente No		
P1		
P2		
P3		
PW		
PS		
W%	N.P	N.P

p1=Peso Recipiente+Suelo Humedo en gr: 482.66  
 p2 =Peso Recipiente + Suelo Seco en gr: 409.36  
 p3 =Peso Recipiente en gr 44.71 PW = P1-P2  
 pw =Peso del Agua en gr 73.3 Ps = P2-P3  
 ps =Peso Suelo Seco en gr 364.65 W = (PW/PS)x 100  
 w = Contenido de Agua en % 20.10%

Paso Inicial:		387.15	Paso sin finos:		285.99
Tamiz/plg	Tamiz mm	Peso Material	% Reten.	%Ret.Acum	%Pasa
2"	50.800	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.520	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
4"	4.760	9.26	2.39%	2.39%	97.61%
10"	2.000	16.79	4.18%	6.57%	93.43%
20"	0.840	11.47	2.96%	9.54%	90.46%
40"	0.420	31.63	8.17%	17.71%	82.29%
60"	0.250	102.99	26.45%	44.15%	55.85%
100"	0.149	69.7	18.00%	62.16%	37.84%
200"	0.074	44.75	11.55%	73.71%	26.29%
Paso 200"	0.000	101.76	26.29%	100.00%	0.00%
Total					



No se permiten diferencias mayores a 2% entre dos ensayos de LP del mismo material



**RESULTADOS**

**CLASIFICACIÓN**

Límite líquido	NL	Índice de Grupo	-
Límite plástico	N.P	A.A.S.H.T.O	A-6
Índice de plasticidad	NJ	S.U.C.S	CL
Gravas	2.39%		
Arinas	71.32%		
Finos	26.29%		

ARLEY ESTEBAN  
REALIZÓ



DEFORMACIÓN HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localización	K44+900			
Carga	20	Kg	Punto No	2
Esfuerzo vertical	0.546	Kg/cm <sup>2</sup>	Velocidad Corte	7.2

RESISTENCIA MÁXIMA AL CORTANTE

DEFORMACIÓN		ÁREA CORREGIDA (cm <sup>2</sup> )	CELDA DE CARGA (N)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
HORIZONTAL (1E-3 pulg)	VERTICAL (1E-3 mm)			
0	198	36.6025	0	0
10	200	36.36431	24	0.0660
20	201	36.12612	35	0.0969
30	202	35.88793	42	0.1170
40	203	35.64974	48	0.1346
50	204	35.41156	53	0.1497
60	205	35.17337	58	0.1649
70	206	34.93518	63	0.1803
80	206	34.69699	67	0.1931
90	207	34.45880	71	0.2060
100	208	34.22061	72	0.2104
110	208.5	33.98242	74	0.2178
120	209	33.74423	77	0.2282
130	210	33.50604	80	0.2388
140	210.5	33.26785	85	0.2555
150	211	33.02967	88	0.2664
160	212	32.79148	91	0.2775
170	212	32.55329	94	0.2888
180	212.5	32.31510	98	0.3033
190	213	32.07691	101	0.3149
200	214	31.83872	104	0.3266
210	214	31.60053	107	0.3386
220	214	31.36234	111	0.3539
230	214.5	31.12415	113	0.3631
240	215	30.88596	114	0.3691
250	215	30.64778	116	0.3785
260	215.5	30.40959	119	0.3913
270	216	30.17140	120	0.3977
280	216	29.93321	123	0.4109
290	217	29.69502	125	0.4209
300	217	29.45683	127	0.4311
310	217.5	29.21864	129	0.4415
320	217.5	28.98045	130	0.4486
330	218	28.74226	132	0.4593
340	218	28.50407	132	0.4631
350	218.5	28.26589	134	0.4741
360	219	28.02770	135	0.4817
370	219	27.78951	137	0.4930
380	219	27.55132	138	0.5009
390	220	27.31313	138	0.5053
400	220	27.07494	139	0.5134



**DEFORMACIÓN HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE**

Localización	K44+900		
Carga	30	Kg	Punto No 3
Esfuerzo vertical	0.820	Kg/cm <sup>2</sup>	Velocidad Corte 7.2

**RESISTENCIA MÁXIMA AL CORTANTE**

DEFORMACIÓN		ÁREA CORREGIDA (cm <sup>2</sup> )	CELDA DE CARGA (N)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
HORIZONTAL (1E-3 pulg)	VERTICAL (1E-3 mm)			
0	239.5	36.6025	0	0
10	240	36.3643	26	0.0715
20	240	36.1261	39	0.1080
30	241	35.8879	48	0.1337
40	241.5	35.6497	54	0.1515
50	242.5	35.4116	61	0.1723
60	243	35.1734	67	0.1905
70	243.5	34.9352	73	0.2090
80	244	34.6970	78	0.2248
90	244.5	34.4588	84	0.2438
100	245	34.2206	88	0.2572
110	245.5	33.9824	92	0.2707
120	246	33.7442	97	0.2875
130	246.5	33.5060	102	0.3044
140	247	33.2679	106	0.3186
150	247	33.0297	110	0.3330
160	247.5	32.7915	114	0.3477
170	248	32.5533	117	0.3594
180	248	32.3151	121	0.3744
190	248.5	32.0769	124	0.3866
200	249	31.8387	127	0.3989
210	249	31.6005	131	0.4145
220	249.5	31.3623	134	0.4273
230	249.5	31.1242	137	0.4402
240	250	30.8860	139	0.4500
250	250	30.6478	141	0.4601
260	250.5	30.4096	144	0.4735
270	251	30.1714	146	0.4839
280	251	29.9332	149	0.4978
290	251	29.6950	151	0.5085
300	251	29.4568	153	0.5194
310	251.5	29.2186	156	0.5339
320	252	28.9805	158	0.5452
330	252	28.7423	161	0.5602
340	252	28.5041	162	0.5683
350	252	28.2659	164	0.5802
360	252	28.0277	166	0.5923
370	253	27.7895	168	0.6045
380	253	27.5513	170	0.6170
390	253	27.3131	171	0.6261
400	253	27.0749	172	0.6353



**MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO DRENADO**  
**Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236**

<b>PROYECTO</b>	GUADUAS VILLETAS
<b>LOCALIZACION</b>	K44+900

<b>APIQUE No.</b>		<b>Muestra</b>		<b>Profundidad</b>	2,6	metros
-------------------	--	----------------	--	--------------------	-----	--------

DIMENSIONES DE LA MUESTRA					
Diámetro	6,03	cm	Área	36,30	cm <sup>2</sup>
Altura	2,12	cm	Volumen	76,78	cm <sup>3</sup>

DENSIDAD HUMEDA			HUMEDAD DE LA MUESTRA		
Peso muestra + anillo :	319,74	grs	Peso suelo húmedo + tara :	16,25	grs
Peso anillo :	173,00	grs	Peso suelo seco + tara :	14,21	grs
Peso muestra :	146,74	grs	Peso tara :	8,25	grs
Densidad Húmeda :	1,91	grs/cm <sup>3</sup>	Humedad :	34,23	%

**Descripción del Ensayo**

En el laboratorio se realizó el ensayo de corte directo a las muestras de suelo de referencia :

- Se ensayaron tres muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- Previamente al ensayo se saturaron totalmente las muestras.
- Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio a cada ensayo.
- Cada muestra de suelo se sometió a esfuerzos de corte a lo largo de un plano horizontal hasta producir la falla.
- Se obtuvieron los datos de esfuerzos horizontales y deformaciones horizontales y verticales para cada punto.
- Finalmente se elaboró una gráfica con los valores de esfuerzo normal y cortante a la falla y se obtuvieron los parámetros cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

Ensayado : MAURICIO ARIAS Revisado : ING JULIO CESAR TORRES



**PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO DRENADO  
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236**

PROYECTO	GUADUAS VILLETA
LOCALIZACION	K44+900

APIQUE No.	1	Muestra	1	Profundidad (m)	2.60
------------	---	---------	---	-----------------	------

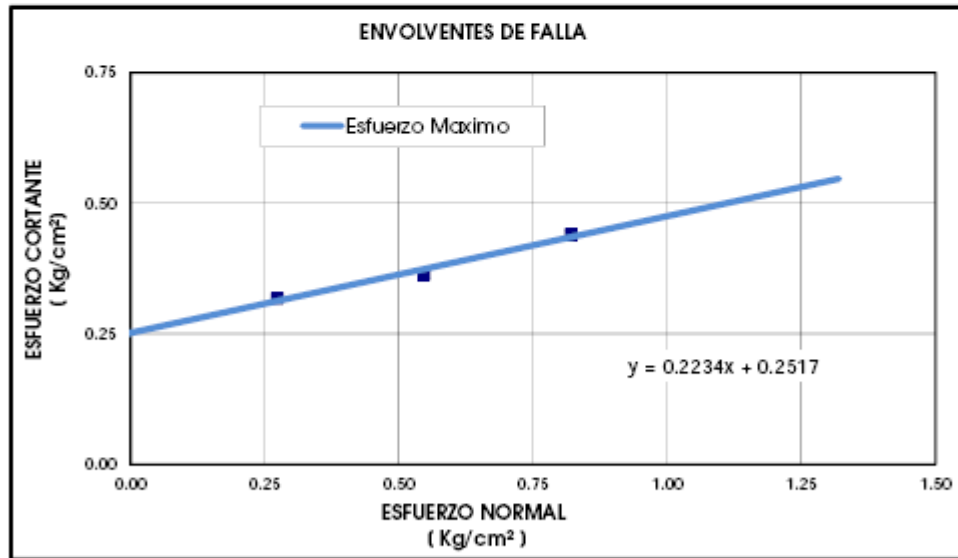
Descripción del suelo : Suelo areno arcilloso, humedad baja, consistente

Estado de la muestra      Alterada                       Humeda   
    Inalterada                       Saturada

Fecha Ensayo: ABRIL DE 2011

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

Prueba Numero	Esfuerzo Normal Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Máximo Kg/cm <sup>2</sup>
1	0.273205382	0.3181
2	0.546410764	0.3631
3	0.819616146	0.4402



Parámetros	Máximos
Angulo de fricción interna (°)	12.595
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.252
Angulo de dilatación (°)	2.83

ING. JULIO CESAR TORRES C.  
JEFE DE LABORATORIO

## ANEXO B. RELACIÓN DE PLANOS

**Tabla 37. Relación de Planos**

<b>Plano No.</b>	<b>Contiene</b>	<b>Escala</b>
01	Plano topográfico y localización de sondeos	
02	Geología local	1:500
03	Plano de obras alternativa 1	Indicadas
04	Plano de obras alternativa 2	Indicadas

Fuente: Propia