

# APÉNDICE 1

INFORME DE LA VISITA DE CAMPO



Gall Zeidler Consultants  
 GEOTECHNICS | TUNNEL DESIGN | ENGINEERING

44345 Premier Plaza  
 Oficina 210  
 Ashburn, VA. 20147  
 USA  
 www.gzconsultants.com



AN	KZ	VG	08/26/2013	00	FINAL	
preparó	Revisó	Aprobó	Fecha	Rev.	Estado	Motivo de la revisión
Ingeniero Especialista:			Axel Nitschke, Ph.D, PE.		Ingeniero Principal: Vojtech Gall. Ph.D, PE.	
Registro N°:			VA 047029		Registro N°: VA 025740	
Estado de la emisión		Final				
Tipo de Documento		Informe				
Área/Actividad		Consultoría				
Título		RUTA DEL SOL – SECTOR 1 – TRAMO 1				
Sub-título		<b>INFORME DE VISITA DE CAMPO DE JULIO DE 2013</b>				
Nombre del Documento						
1011 R 001 S FINAL						

## Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
1.1	Resumen .....	8
1.2	Objetivo .....	8
<b>2</b>	<b>Parada 1 .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Parada 2 .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Parada 3 .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Parada 4 .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Parada 5 .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Parada 6 .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Parada 7 .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Parada 8 .....</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>Parada 9 .....</b>	<b>29</b>
<b>11</b>	<b>Parada 10.....</b>	<b>32</b>
<b>12</b>	<b>Parada 11.....</b>	<b>35</b>
<b>13</b>	<b>Parada 12.....</b>	<b>38</b>
13.1	Parada 12A .....	39
<b>14</b>	<b>Parada 13.....</b>	<b>41</b>
<b>15</b>	<b>Parada 14.....</b>	<b>44</b>
<b>16</b>	<b>Parada 15.....</b>	<b>47</b>
<b>17</b>	<b>Parada 16.....</b>	<b>48</b>
<b>18</b>	<b>Parada 17.....</b>	<b>53</b>
<b>19</b>	<b>Parada 18.....</b>	<b>59</b>
<b>20</b>	<b>Sobrevuelo .....</b>	<b>60</b>

## Lista de Tablas y Figuras

- Figura 1.** Mapa Geológico del Área del Proyecto. El trazado del Tramo 1 se muestra en verde, extendiéndose entre Villeta y Guaduas, y la Ruta Nacional 50 se muestra en morado. Todas las paradas realizadas por el equipo están también mostradas en el mapa. .... 9
- Figura 2.** Deslizamiento del Cune, vista hacia el oriente. Ver las rocas sedimentarias meteorizadas que componen la ladera, así como los esfuerzos realizados para conducir el agua superficial. .... 11
- Figura 3.** La parte inferior del Deslizamiento del Cune, mostrando los esfuerzos para desviar el agua en el lado izquierdo de la fotografía, la glorieta en la cual el trazado del Tramo 1 comienza, y el muro de contención en concreto. La foto presenta una vista hacia el suroriente. .... 12
- Figura 4.** Rocas de arenisca detrás del muro de contención construido posterior al deslizamiento para la estabilización y protección de la vía y el tráfico. La zona libre de vegetación puede verse al fondo. .... 13
- Figura 5.** Falla estructural al costado oriental de la Ruta 50, aproximadamente en el K1+000. Ver el camión que viaja hacia Guaduas, esta Ruta es la única arteria vial para todo el tráfico que viaja de Villeta a Guaduas. Un gran volumen de tráfico – incluyendo camiones – es común en la carretera. .... 14
- Figura 6.** Ruta 50 en el K1+000. Se puede observar daño estructural en la vía, así como falla en la ladera, sedimentos marinos de grano fino de la Formación Trincheras. .... 15
- Figura 7.** Grieta estructural en la Ruta 50 en el K1+000. .... 16
- Figura 8.** Vista conceptual del Puente Quebrada El Cune, cruzando la Quebrada el Cune sobre el trazado del Tramo 1 entre el K1+915 y el K2+155. [301]. El puente tiene aproximadamente 240 metros de longitud. .... 17
- Figura 9.** Lecho de la Quebrada El Cune en la parada 3, mostrando los sedimentos marinos bastante meteorizados de la Formación Trincheras y una gran roca de arenisca de la Formación Útica. La erosión causada por el río está resaltada con la línea blanca punteada. .... 18
- Figura 10.** Lutitas altamente meteorizadas de la formación Trincheras, muestra de cómo se desintegran fácilmente en la mano. Este material es común en la Parada 3 y es prevalente durante gran parte de la alineación del Tramo 1. .... 19
- Figura 11.** Ladera compuesta de sedimentos coluviales en la ubicación planeada del Puente Quebrada El Cune (ver Figura 8). Sedimentos marinos meteorizados, negros,

## Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.

de la Formación Trincheras y grandes cantos de la Formación Útica se observan en esta ubicación. ....	20
<b>Figura 12.</b> Deslizamientos de tierra en la Quebrada El Cune, materiales meteorizados de la Formación Trincheras en la parada 4.....	21
<b>Figura 13.</b> Evidencia de antiguos deslizamientos, ahora convertidos en vegetación joven a lo largo de la Quebrada El Cune en la parada 4.....	22
<b>Figura 14.</b> Vista de la montaña en la que el Viaducto Palermo está planeado (K8+500 al K9+920). El viaducto irá del lado derecho al izquierdo de la parte montañosa. Esta foto presenta una vista hacia el occidente. ....	23
<b>Figura 15.</b> Vista conceptual del Viaducto Palermo (K8+500 al K9+290) [301]. Esta imagen presenta una vista al nororiente. Un corte de aproximadamente 17 metros de altura con una pendiente promedio de 2.5:1 (V:H) se resalta con la línea blanca puntuada aproximadamente en el K8+500. ....	24
<b>Figura 16.</b> Mirando hacia el norte atrás del árbol en el centro de la fotografía está la convergencia de al menos tres lineamientos (sin nombre) pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra aproximadamente en el K7+000. ....	25
<b>Figura 17.</b> Sub-horizontal a horizontal. Secuencias clasificadas de lodolitas de grano fino y arcillolitas con capas intermedias de calizas síliceas y calizas de la Formación Trincheras en la parada 6. ....	26
<b>Figura 18.</b> Mirando de oriente a nororiente, la convergencia de los tres lineamientos pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra está indicada con líneas blancas punteadas. El trazado del tramo 1 cruzara los lineamientos del centro e izquierda del lado derecho de la fotografía en aproximadamente K7+000 y K7+500, respectivamente.....	27
<b>Figura 19.</b> Otra vista de las capas estratificadas de la Formación Trincheras de la parada 8.....	28
<b>Figura 20.</b> Mirando hacia el suroriente aproximadamente en el K4+000 cerca al Puente El Pencil (K4+110 al K4+260) a lo largo del trazado del Sector 1, Tramo 1 de la Ruta del Sol.....	30
<b>Figura 21.</b> Mirando hacia el sur-occidente en dirección del K10+000 cerca al viaducto de La Esperanza (K9+830 a K10+140) sobre el trazado planeado del Tramo 1.....	31
<b>Figura 22.</b> En la colina en el medio del a fotografía, la forma clásica triangular de bloques de suelo, conocido como facetas triangulares, se separan entre sí, indicando su morfología la presencia de escarpes.....	33
<b>Figura 23.</b> Una fotografía más cercana del costado de la montaña que muestra señales de una falla potencial del talud, mediante un escarpe hacia el centro de la fotografía.	34
<b>Figura 24.</b> Afloramiento de lutitas extremadamente meteorizadas, negras, de grano fino de sedimentos marinos. ....	35

**Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.**

**Figura 25.** Zona compartida entre 1.5 y 2.0 metros de ancho en el costado occidental de la floración de lutita observada en la parada 11..... 36

**Figura 26.** Lutitas deformadas en la zona de aproximadamente 1.5 a 2.0 metros de ancho, en el costado occidental del afloramiento de lutitas de la parada 11..... 37

**Figura 27.** Sección cubierta de vegetación perteneciente la Reserva Nacional Natural San Francisco, en el valle de la Quebrada Honda. Esta es la ubicación planeada para el portal del Túnel El Trigo (12+370) en el trazado del Tramo 1. .... 38

**Figura 28.** Vista conceptual del Viaducto El Trigo en el Portal Oriental del Túnel El Trigo entre el K12+200 y el K12+370 [301]. Esta ubicación se localiza dentro de la Reserva Nacional Natural San Francisco. El viaducto El Trigo tiene una longitud de 170 metros. .... 39

**Figura 29.** Mirando hacia el nororiente, esta fotografía describe la ladera libre de vegetación de la parada 9 en la esquina superior izquierda, señalada con la flecha roja. .... 40

**Figura 30.** Vista conceptual del portal occidental del Túnel El Trigo (K14+630), un puente cruzando el valle sinclinal de la Falla del Alto del Trigo y el Río San Francisco. [301]. (Puente Río San Francisco Alto) y el portal oriental del Túnel La Cumbre (K15+140). .... 41

**Figura 31.** Esta fotografía fue tomada desde la Ruta 50, mirando hacia el oriente. El portal occidental del Túnel El Trigo emerge de la montaña cerca a la parte inferior, cruzando el valle sinclinal, así como el Río San Francisco y la Falla del Alto del Trigo, a través del Puente Río San Francisco Alto y posteriormente entra al portal oriental del Túnel La Cumbre directamente bajo esta ubicación. La flecha roja indica el lugar aproximado del portal occidental..... 42

**Figura 32.** Dos escarpes, resaltados con líneas blancas punteadas, son observados cerca de la parte superior de la montaña, hacia el costado en que la salida del túnel El Trigo está planeada, antes de cruzar el Río San Francisco a través del Puente Rio San Francisco Alto y entrar al Túnel La Cumbre. La fotografía mirando hacia el oriente..... 43

**Figura 33.** Mirando hacia el sur, se observa la evidencia de un deslizamiento en el lado izquierdo de la fotografía, causado por el evento de La Niña 2010 – 2011..... 44

**Figura 34.** Falla de taludes en sedimentos coluviales debido a la erosión en la parte baja en la banca occidental del Río San Francisco..... 45

**Figura 35.** Vista hacia el norte; un puente nuevo en concreto sobre el Río San Francisco en la misma ubicación donde el puente original fue destruido durante el evento de La Niña 2010 – 2011. Continuando sobre el camino destapado hacia la izquierda de esta fotografía se llega a la Ruta Nacional 50. .... 46

**Figura 36.** Fotografía tomada desde la Ruta 50 mirando al nororiente. El valle sinclinal del Río San Francisco y la Falla Alto del Trigo se resaltan mediante la línea punteada

## Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.

blanca desde el centro izquierdo hacia la parte superior derecha de la fotografía. Posterior a la primera ladera en el centro de la fotografía, la Falla de La Magdalena con orientación oriente a occidente, , atraviesa la montaña e intersecta la Falla del Alto del Trigo. La pendiente en el medio de la fotografía muestra la característica de la falla geomorfológica donde las facetas triangulares comienzan a descender y apartarse entre sí. .... 47

**Figura 37.** Tomada desde la Ruta 50, esta fotografía describe el Deslizamiento San Francisco, el cual está resaltado con la línea blanca punteada. La flecha roja muestra una banderilla que indica un punto en el trazado. Desde esta ubicación, se pueden ver árboles que crecen no verticales, característicos en los movimientos en masa. Un corte de 68 metros de altura está planeado en la ladera más lejana con una pendiente máxima de 2.3:1 (V:H). Esta foto presenta una vista hacia el noroccidente.. .... 49

**Figura 38.** El trazado del Tramo 1, cerca al K18+700 [301] presenta un corte alto sobre el Deslizamiento de San Francisco, al costado derecho de la imagen y continúa sobre la Reserva Nacional Natural San Francisco. El corte tendrá aproximadamente 68 metros de alto con una pendiente máxima de 2.3:1 V:H). .... 50

**Figura 39.** Mirando de norte a nororienté; capas estratificadas sedimentaras de la Formación San Juan de Río Seco buzando al suroccidente a aproximadamente 30 grados donde fueron observadas, son resaltadas por las líneas blancas punteadas. Las capas menos fuertes del material se han meteorizado y han formado líneas de vegetación entre areniscas y conglomerados más competentes. .... 51

**Figura 40.** Las banderas rojas (señaladas con las flechas rojas) sobre el Deslizamiento de San Francisco marcan el trazado del Tramo, Sector 1 de Ruta del Sol en la parada 16. .... 52

**Figura 41.** Mirando hacia costado suroriental del deslizamiento, se observa una gran escarpe causado por la falla del talud. Se observan capas intercaladas de areniscas sublíticas y materiales sedimentarios meteorizados de grano fino de la Formación San Juan de Río Seco. .... 53

**Figura 42.** Vista de una capa de areniscas sublíticas de la Formación San Juan de Río Seco en el Deslizamiento de San Francisco. Tres ramales del Río San Francisco desaparecieron con el deslizamiento, aunque dos han reaparecido. Se observa agua hacia debajo de la pendiente en la capa de arenisca. .... 54

**Figura 43.** Una gran fractura por tensión en la misma capa de arenisca descrita en la Figura 37 sugiere que las capas de rocas sedimentarias más competentes se están fracturando y separando entre sí. La fractura tiene aproximadamente 1 a 1.5m de ancho. .... 55

**Figura 44.** Escombros de sedimentos coluviales cerca a la parte superior del Deslizamiento de San Francisco. .... 56

## **Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.**

- Figura 45.** Vista hacia el norte, la ladera noroccidental del deslizamiento está cayendo y es resaltada por la línea blanca punteada. El lado montañoso en la parte superior derecha de la foto es descrito en la Figura 37. El corte de 68 metros de altura planeado en esta ubicación sobre el trazado está estimado sobre el talud cercano al centro izquierdo de esta fotografía. Las flechas rojas señalan las banderas que marcan el trazado del Sector 1. .... 57
- Figura 46.** Un árbol se ha partido en la mitad debido al movimiento del Deslizamiento de San Francisco. .... 58
- Figura 47.** Foto tomada desde la Ruta 50 mirando hacia el Deslizamiento San Francisco, el cual está resaltado en el medio de la fotografía con la línea blanca punteada. La Falla La Magdalena corta el valle en la parte superior derecha de la foto y continúa al occidente cerca de la esquina inferior izquierda. La casa de una familia se ubicaba donde lo indica la flecha roja de la derecha, y la ubicación actual de la casa es la indicada por la flecha de la izquierda (ubicaciones aproximadas). .... 59
- Figura 48.** Recorrido aproximado del sobrevuelo realizado el martes 9 de Julio de 2013. Los puntos de inicio y terminación, así como las horas aproximadas, son descritos en la imagen. .... 61
- Figura 49.** Comenzando en el K32+000, la imagen muestra las ubicaciones aproximadas de las 15 fotografías tomadas desde el helicóptero describiendo la geología y geomorfología típicas en el sitio del Proyecto (Ver Figuras 50 a 64)..... 62
- Figura 50.** Vista aproximada hacia el noroccidente, esta imagen muestra la construcción de puentes sobre el trazado del Tramo 2. .... 63
- Figura 51.** Hacia el norte, esta foto describe la construcción del trazado del Tramo 2. El municipio de Puerto Salgar se encuentra al norte de esta ubicación. .... 64
- Figura 52.** Geomorfología típica del área del Proyecto. Aquí, bloques de tierra con la clásica forma triangular – resaltada por las líneas puntuadas blancas – se ven separándose entre sí. Esto es conocido como Facetas Triangulares. .... 65
- Figura 53.** Se observan las capas estratigráficas horizontales y los materiales de grano fino altamente meteorizados, los cuales representan la geología típica del área del Proyecto. .... 66
- Figura 54.** Esta imagen muestra la falla de en la ladera de una vía, aproximadamente al oriente de Honda y el Río Magdalena. .... 67
- Figura 55.** En esta fotografía, capas estratigráficas horizontales son visibles en la cima de la montaña en el centro de la imagen. Abajo se ven los escarpes del Deslizamiento de La Mona, sucedido en Abril de 2011. .... 68
- Figura 56.** Justo al oriente de Guaduas, esta fotografía mira hacia el oriente al Deslizamiento de San Francisco, resaltado por la línea blanca punteada. Un corte alto está planeado en la montaña al lado izquierdo del deslizamiento (ver Parada 16). La



## **Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.**

Ruta 50 se encuentra al lado derecho del deslizamiento. La Falla La Magdalena con orientación oriente a occidente, cruza aproximadamente en el centro del Deslizamiento de San Francisco. .... 69

**Figura 57.** Otra vista del Deslizamiento de San Francisco, resaltado por la línea blanca punteada. .... 70

**Figura 58.** Vista hacia el sur sobre la Ruta 50. Tanto la Falla el Alto del Trigo como el Río San Francisco, con orientación de norte a sur a través del valle están en el costado izquierdo de la vía. .... 71

**Figura 59.** Al costado izquierdo de la fotografía puede verse la Ruta 50, la parte empinada del Deslizamiento de San Francisco puede observarse en la esquina superior izquierda. La Falla del Alto del Trigo y el Río San Francisco se encuentran al lado derecho de la vía. La Falla La Magdalena, con orientación oriente a occidente, intercepta esas dos características en la parte superior de la fotografía. .... 72

**Figura 60.** Mirando aproximadamente al noroccidente, el deslizamiento de El Cune – resaltado por la línea punteada blanca – es visible cerca del municipio de Villeta. La flecha roja muestra la ubicación aproximada de la Parada 1, cerca al K0+000. La Ruta 50 es visible en la parte inferior de la fotografía. .... 73

**Figura 61.** La imagen muestra una sección abandonada de Ruta del Sol cerca al municipio de Útica, la cual hace parte de un contrato previo que fue cancelado, no relacionado con el actual. La flecha roja muestra la ubicación del portal a un túnel que nunca fue construido. El trazado fue abandonado debido a las condiciones inestables del suelo. .... 74

**Figura 62.** La flecha roja muestra la ubicación de la Parada 9. Al costado derecho de la fotografía, el trazado del Tramo 1 se dirige hacia la Reserva Nacional Natural San Francisco, antes de entrar al portal oriental del Túnel El Trigo. .... 75

**Figura 63.** El área arborizada al lado izquierdo de la fotografía corresponde a la ubicación aproximada del portal oriental del Túnel El Trigo en la Reserva Nacional Natural San Francisco. El túnel saldrá de la montaña hacia el centro de la fotografía, donde la vía cruzará el Río San Francisco y la Falla del Alto del Trigo mediante un puente antes de entrar al portal oriental del Túnel La Cumbre bajo la Ruta 50. La vía se localiza en la esquina superior derecha de la fotografía. .... 76

**Figura 64.** La imagen muestra una falla de talud con sedimentos negros de grano fino, con intercalaciones de material más competente hacia la parte más alta de la montaña. Esta imagen fue tomada en el vuelo de regreso a Bogotá, aproximadamente 4 kilómetros al suroccidente del Municipio de La Vega. .... 77

## **1 Introducción**

Gall Zeidler Consultants (GZ) visitó el área del Proyecto Ruta del Sol, Sector 1, Tramo 1 en julio de 2013, con el objetivo de evaluar las condiciones geológicas y geomorfológicas presentes en la región y su relación con la ubicación de las estructuras planeadas en el corredor.

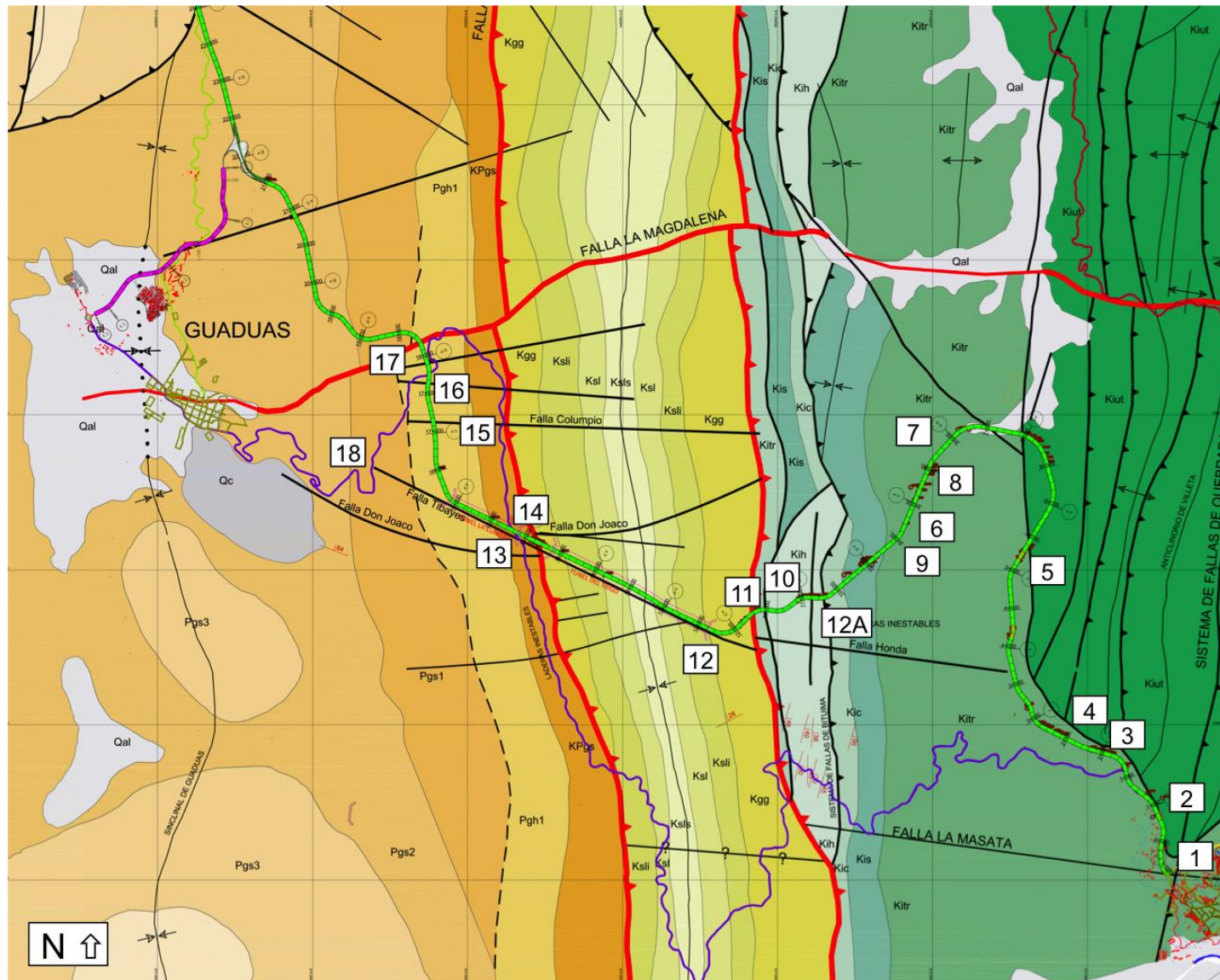
### **1.1 Resumen**

El lunes 8 de Julio de 2013, los Directores de GZ, el Dr. Vojtech Gall y el Dr. Kurt Zeidler, el vicepresidente Dr. Axel Nitschke y el geólogo Richard Blessing, así como el Ingeniero Principal Dr. Ernesto Vicente y el climatólogo Dr. Fernando Oropeza, junto con representantes de Helios y ANI, se dirigieron hacia el noroccidente de Bogotá por la Ruta 50 (Villeta – Honda) hacia el K0+000 en el municipio de Villeta. Durante dos días, el grupo visitó múltiples ubicaciones a lo largo del corredor contractual del Sector 1, Tramo 1 de Ruta del Sol entre el K0+000 y el K21+600, finalizando la visita cerca al municipio de Guaduas. La visita concluyó con un sobrevuelo en helicóptero sobre el Sector 1 completo, con énfasis en el Tramo 1, previo al regreso a Bogotá el 9 de julio.

A continuación, este informe presenta un registro de la visita a un total de 18 sitios a lo largo del trazado del Proyecto. Cada parada sobre trazado constituye su propia sección y está acompañada de fotografías desde el punto en que se representan las condiciones típicas, así como las características el área del Proyecto. Información adicional con respecto a la geología y la geomorfología ha sido también incluida en la descripción de cada parada.

### **1.2 Objetivo**

Este informe busca servir como guía en relación a la visita de GZ al área del Proyecto en julio de 2013, resaltando tanto la información constatable como las observaciones realizadas respecto a la geología y la geomorfología a lo largo del trazado del Proyecto.



**Figura 1.** Mapa Geológico del Área del Proyecto. El trazado del Tramo 1 se muestra en verde, extendiéndose entre Villeta y Guaduas, y la Ruta Nacional 50 se muestra en morado. Todas las paradas realizadas por el equipo están también mostradas en el mapa.

## **2 Parada 1**

La primera parada durante la visita se realizó justo en el inicio del trazado contractual del Tramo 1 (K0+000), ligeramente al este del municipio de Villeta, a la salida de una glorieta en la Ruta Nacional 50 (Villeta – Honda para futuras referencias). El énfasis de la parada fue observar las secuelas de un gran deslizamiento que ocurrió en año 2004, conocido como el “Deslizamiento del Cune” (Figuras 2 y 3). El deslizamiento se contuvo luego de la disminución en el nivel freático. Muros en concreto en el costado de la vía, así como un túnel fueron construidos tanto para proteger el tráfico como para permitir un paso seguro a través de los restos del deslizamiento. Lodolitas calcáreas negras, limolitas y calizas míticas de la Formación Trincheras son los materiales predominantes de la ladera, también se encuentran areniscas de cemento calcáreo de color marrón claro a oscuro de grano fino a medio, perteneciente a la Formación Útica y que se encuentran en los rastros de coluviones del deslizamiento. Las lutitas negras altamente meteorizadas son bastante típicas a lo largo del trazado del Proyecto. Una serie de fallas inversas, con tendencia norte – sur, conocidas como “Sistemas de Fallas de Quebrada Negra” se encuentran directamente al norte de esta ubicación. La Falla La Masata, con tendencia Oriente – Occidente se encuentra al sur. Aunque en términos generales esta falla se encuentran estabilizada, escarpes presentes en los materiales de grano más fino en la ladera sugieren que esta se sigue moviendo.



**Figura 2.** Deslizamiento del Cune, vista hacia el oriente. Ver las rocas sedimentarias meteorizadas que componen la ladera, así como los esfuerzos realizados para conducir el agua superficial.



**Figura 3.** La parte inferior del Deslizamiento del Cune, mostrando los esfuerzos para desviar el agua en el lado izquierdo de la fotografía, la glorieta en la cual el trazado del Tramo 1 comienza, y el muro de contención en concreto. La foto presenta una vista hacia el suroriente.



**Figura 4.** Rocas de arenisca detrás del muro de contención construido posterior al deslizamiento para la estabilización y protección de la vía y el tráfico. La zona libre de vegetación puede verse al fondo.

### 3 Parada 2

La segunda parada realizada sobre el trazado se localizó en la Ruta Nacional 50, aproximadamente un kilómetro al norte del Deslizamiento del Cune, en la abscisa aproximada K1+000. Allí, la falla de una ladera ha causado importantes quiebres estructurales en el pavimento de la vía, una porción de la vía ha colapsado hacia el abismo. El área está restringida con conos y cintas de precaución para alertar a los conductores del estado de la vía. Los materiales de la roca de esta zona se componen de sedimentos rocosos negros, de grano fino, de la Formación Trincheras. La parada 2 se encuentra en la terminación sur del Sistema de Fallas de Quebrada Negra. El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 13:50.



**Figura 5.** Falla estructural al costado oriental de la Ruta 50, aproximadamente en el K1+000. Ver el camión que viaja hacia Guaduas, esta Ruta es la única arteria vial para todo el tráfico que viaja de Villeta a Guaduas. Un gran volumen de tráfico – incluyendo camiones – es común en la carretera.





**Figura 6.** Ruta 50 en el K1+000. Se puede observar daño estructural en la vía, así como falla en la ladera, sedimentos marinos de grano fino de la Formación Trincheras.



**Figura 7.** Grieta estructural en la Ruta 50 en el K1+000.

#### 4 Parada 3

La parada 3 se realizó en la Quebrada El Cune. El grupo se salió de la Ruta 50 aproximadamente en el K2+000 y continuó por un camino destapado hasta llegar a la quebrada. Caminando a lo largo de la rívera de la quebrada aproximadamente 300 metros, se observó cómo los sedimentos de la quebrada se conforman de sedimentos marinos altamente meteorizados de la Formación Trincheras. Estos sedimentos se pueden despedazar fácilmente con la mano, lo cual es una característica del comportamiento del material. Rocas de areniscas marrones, de grano fino a grueso, de hasta 3 metros de ancho se observan en el lecho de la quebrada. El Puente Quebrada el Cune, está planeado en esta ubicación entre el K1+915 y el K2+155, de una longitud total de 240 metros. (Figura 8). La ladera adyacente a la quebrada, compuesta de sedimentos coluviales, es la ubicación planeada de la cimentación del puente (Figura 11). El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 14:15.



**Figura 8.** Vista conceptual del Puente Quebrada El Cune, cruzando la Quebrada el Cune sobre el trazado del Tramo 1 entre el K1+915 y el K2+155. [301]. El puente tiene aproximadamente 240 metros de longitud.



**Figura 9.** Lecho de la Quebrada El Cune en la parada 3, mostrando los sedimentos marinos bastante meteorizados de la Formación Trincheras y una gran roca de arenisca de la Formación Útica. La erosión causada por el río está resaltada con la línea blanca punteada.



**Figura 10.** Lutitas altamente meteorizadas de la formación Trincheras, muestra de cómo se desintegran fácilmente en la mano. Este material es común en la Parada 3 y es prevalente durante gran parte de la alineación del Tramo 1.



**Figura 11.** Ladera compuesta de sedimentos coluviales en la ubicación planeada del Puente Quebrada El Cune (ver Figura 8). Sedimentos marinos meteorizados, negros, de la Formación Trincheras y grandes cantos de la Formación Útica se observan en esta ubicación.

## 5 Parada 4

También ubicada en la Quebrada El Cune, la parada 4 fue adyacente al trazado contractual, aproximadamente en el K2+500. Allí, los sedimentos marinos, negros, altamente meteorizados de la Formación Trincheras fueron observados nuevamente, así como la evidencia de múltiples deslizamientos de tierra que fueron causados probablemente por la Quebrada El Cune, erosionando la parte baja de las laderas a lo largo de la banca del río. Nuevamente se encontró que las lutitas extremadamente meteorizadas son bastante típicas entre el material encontrado a lo largo del trazado del Tramo 1. El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 14:40.



**Figura 12.** Deslizamientos de tierra en la Quebrada El Cune, materiales meteorizados de la Formación Trincheras en la parada 4.



**Figura 13.** Evidencia de antiguos deslizamientos, ahora convertidos en vegetación joven a lo largo de la Quebrada El Cune en la parada 4.



## 6 Parada 5

La parada 5 se ubicó en la vía despavimentada en el valle adyacente aproximadamente en el K5+000 del trazado contractual. Esta ubicación está compuesta principalmente por lutitas marinas, negras, calcáreas; lodolitas y calizas de la Formación Trincheras, en el costado occidental se encuentra del Sistema de Fallas Quebrada Negra. Al norte de esta ubicación convergen al menos 3 lineamientos sin nombre, (Figuras 16 y 18) pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra aproximadamente en el K7+000. En el lado opuesto del valle se observó la ubicación planeada del Viaducto Palermo (K8+500 al K9+290) que tendrá una longitud total de 790 metros (Figura 14). Después del viaducto, entre el K9+290 y el K9+830, el trazado incluirá aproximadamente cuatro cortes con alturas entre 35 y 62 metros (Figuras 14 y 15). Estos cortes tendrán un talud promedio de 2:1 (Vertical a Horizontal, V:H). La Formación Trincheras, así como los sedimentos coluviales y aluviales, subyacen al valle separando la Parada 5 de la ubicación del Viaducto Palermo. El equipo abandonó la parada 5 aproximadamente a las 15:05.



**Figura 14.** Vista de la montaña en la que el Viaducto Palermo está planeado (K8+500 al K9+920). El viaducto irá del lado derecho al izquierdo de la parte montañosa. Esta foto presenta una vista hacia el occidente.



**Figura 15.** Vista conceptual del Viaducto Palermo (K8+500 al K9+290) [301]. Esta imagen presenta una vista al nororiente. Un corte de aproximadamente 17 metros de altura con una pendiente promedio de 2.5:1 (V:H) se resalta con la línea blanca puntuada aproximadamente en el K8+500.



**Figura 16.** Mirando hacia el norte atrás del árbol en el centro de la fotografía está la convergencia de al menos tres lineamientos (sin nombre) pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra aproximadamente en el K7+000.

## 7 Parada 6

La sexta parada realizada por el equipo fue cerca del K9+200, cerca de la a ubicación del Viaducto Palermo (K8+500 al K9+290, ver parada 5). El equipo fue llevado a esta ubicación debido a que es una de las pocos sitios del trazado altamente arborizado, en que estratificaciones horizontales y sub-horizontales de la Formación Trincheras están expuestas (Figura 17). El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 15:22.



**Figura 17.** Sub-horizontal a horizontal. Secuencias clasificadas de lodolitas de grano fino y arcillolitas con capas intermedias de calizas silíceas y calizas de la Formación Trincheras en la parada 6.

## **8 Parada 7**

La parada 7 se localizó aproximadamente en el K8+600, en un área primordialmente de la Formación Trincheras y sedimentos coluviales. Al nororiente de esta ubicación se encuentra la convergencia de los lineamientos (sin nombre) pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra (ver parada 5) aproximadamente en el K7+000 (Figura 18). Después del Puente Quebrada los Cristales (K6+610 al K6+870), el trazado cruzara el lineamiento central en aproximadamente K7+000 y el lineamiento de la izquierda en aproximadamente K7+500 antes de continuar al occidente hacia el Viaducto K8. El equipo dejó esta ubicación aproximadamente a las 15:40.

**Figura 18.** Mirando de oriente a nororiente, la convergencia de los tres lineamientos pertenecientes al Sistema de Fallas de Quebrada Negra está indicada con líneas blancas punteadas. El trazado del tramo 1 cruzara los lineamientos del centro e izquierda del lado derecho de la fotografía en aproximadamente K7+000 y K7+500, respectivamente.

**9 Parada 8**

La parada 8 se ubicó aproximadamente en el K8+800 y es la vista más cercana al afloramiento estratificado de la Formación Trincheras (ver la Parada 6). El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 15:52.



**Figura 19.** Otra vista de las capas estratificadas de la Formación Trincheras de la parada 8.

## **10 Parada 9**

La parada 9 se localizó en una colina aproximadamente en el K9+750. Como en muchas de las anteriores paradas, la Formación Trincheras y sedimentos coluviales estuvieron presentes en esta parada. De acuerdo al Mapa Geológico, la Formación Socotá se compone de lodolitas silíceas y limolitas con intercalación de areniscas de cuarzo de grano fino a conglomerado, en secuencias graduadas, se encuentra cercana a esta ubicación y puede además estar presente justo debajo de la superficie. Desde este punto, el equipo observó áreas donde se tienen planeados cortes significativos y puentes a lo largo del suroriente alrededor del K4+000 (Figura 20) y hacia el sur-occidente alrededor del K10+000 (Figura 21). Tres cortes cerca al K4+000, entre el K3+400 el K4+110, tendrán alturas entre 15 y 25 metros con una pendiente promedio entre 0.8:1 a 1.25:1 (V:H). El Puente El Pencil (K4+110 al K4+260) tendrá una longitud total de 150 metros. Cortes cercanos al K10+000, entre el K10+140 y el K10+780 tendrán alturas variando entre 22 y 85 metros con una pendiente promedio entre 1.9:1 y 2.4:1 (V:H). El Viaducto La Esperanza (K9+830 a K10+140) tendrá una longitud total de 310 metros antes de estos cortes.



**Figura 20.** Mirando hacia el suroriente aproximadamente en el K4+000 cerca al Puente El Pencil (K4+110 al K4+260) a lo largo del trazado del Sector 1, Tramo 1 de la Ruta del Sol.





**Figura 21.** Mirando hacia el sur-occidente en dirección del K10+000 cerca al viaducto de La Esperanza (K9+830 a K10+140) sobre el trazado planeado del Tramo 1.

**11 Parada 10**

La parada 10 se localizó aproximadamente en el K11+700, en un área rodeada por la Formación Trincheras y la Formación Hiló, la cual se caracteriza por capas de lodolitas físilas con calizas arenosas y areniscas calcáreas de grano fino con intercalaciones de lodolitas. Tectónicamente, esta ubicación se encuentra justo al oriente de la Falla Bituma, una falla inversa con tendencia norte – sur y directamente en un sistema de fallas asociadas conocidas como el Sistema de Fallas de Bituma. Esta ubicación presentó un ejemplo claro de movimientos en masa, debido a bloques de tierra (facetas triangulares) que fueron observados separándose entre sí (Figura 22); una gran escarpe se observa en esta ubicación el cual es un indicador de este comportamiento (Figura 23). Mirando hacia el oriente desde la parada 10, un área forestal, la Reserva Natural San Francisco puede ser vista en un pequeño valle entre dos montañas. Esta área es la ubicación del portal de entrada del Túnel El Trigo el cual es el primero y más largo de los túneles del Tramo 1.



**Figura 22.** En la colina en el medio del a fotografía, la forma clásica triangular de bloques de suelo, conocido como facetas triangulares, se separan entre sí, indicando su morfología la presencia de escarpes.



**Figura 23.** Una fotografía más cercana del costado de la montaña que muestra señales de una falla potencial del talud, mediante un escarpe hacia el centro de la fotografía.

## 12 Parada 11

Sobre la misma vía entre las paradas 10 y 12, se pudo observar un corte en la vía que contiene lutitas extremadamente meteorizadas negras de capas muy delgadas y lodolitas (Figura 24). El afloramiento completo fue degradado a un color rojizo – marrón claro. Una zona compartida (Figuras 25 y 26), de aproximadamente 2 metros de ancho se observó cerca del costado occidental de la floración. El compartimiento es probablemente relacionado con la ubicación cerca de la Falla de Bituma, o de la tendencia occidental de la Falla Honda, localizada justo al sur de la parada 11. La unidad geológica sobresaliente en esta zona incluye la Formación Trincheras y la Formación Hiló.



**Figura 24.** Afloramiento de lutitas extremadamente meteorizadas, negras, de grano fino de sedimentos marinos.



**Figura 25.** Zona compartida entre 1.5 y 2.0 metros de ancho en el costado occidental de la floración de lutita observada en la parada 11.



**Figura 26.** Lutitas deformadas en la zona de aproximadamente 1.5 a 2.0 metros de ancho, en el costado occidental del afloramiento de lutitas de la parada 11.

### 13 Parada 12

La parada 12 se realizó en el área designada para el portal oriental del Túnel El Trigo (de 2,250 m de longitud), el más largo de los dos túneles planeados para el Sector 1, Tramo 1 de la Ruta del Sol. El portal se encuentra dentro de la Reserva Nacional Natural San Francisco, aproximadamente en el K12+370. Un corte de 50 metros de altura, con una pendiente máxima de 1.9:1 (V:H) está planeado de manera que el Puente El Trigo se dirige hacia el portal del túnel aproximadamente en el K12+100 (Figuras 27 y 28). Esta ubicación está a una elevación aproximada de 1,600 msnm. Las unidades geológicas características de esta localización incluyen lodolitas calcáreas con concreciones, limolitas silíceas con incrustaciones de calizas arenosas y esquistos del Grupo Guaguaquí, así como las capas delgadas de limolitas silíceas y esquistos del Grupo Olini. La Falla Tibayes pasa en sentido noroccidente – suroccidente paralela al trazado del Túnel El Trigo. El equipo abandonó el área aproximadamente a las 15:30 pm hacia Guaduas.



**Figura 27.** Sección cubierta de vegetación perteneciente la Reserva Nacional Natural San Francisco, en el valle de la Quebrada Honda. Esta es la ubicación planeada para el portal del Túnel El Trigo (12+370) en el trazado del Tramo 1.





**Figura 28.** Vista conceptual del Viaducto El Trigo en el Portal Oriental del Túnel El Trigo entre el K12+200 y el K12+370 [301]. Esta ubicación se localiza dentro de la Reserva Nacional Natural San Francisco. El viaducto El Trigo tiene una longitud de 170 metros.

### 13.1 Parada 12A

Después de parar cerca al portal del Túnel El Trigo, una última parada se realizó una de las camioneta de ocupantes el lunes 8 de Julio. Aunque no todos los miembros del equipo participaron en esta parada, la parada ofreció buena visibilidad sobre el área planeada para el Viaducto San Isidro (K10+700 a K11+100). La Quebrada Honda corre a lo largo de ésta área. El área presenta sedimentos coluviales de la Formación Trincheras, y se encuentra al norte de la Falla Honda entre el Sistema de Fallas de Quebrada Negra al oriente y del Sistema de Fallas de Bituma al occidente.



**Figura 29.** Mirando hacia el nororiente, esta fotografía describe la ladera libre de vegetación de la parada 9 en la esquina superior izquierda, señalada con la flecha roja.

## 14 Parada 13

La primera parada del martes 9 de Julio fue cercana al K15+140 en la Ruta 50, directamente sobre el portal oriental del Túnel La Cumbre. Este es el segundo de los dos túneles planeados para el Tramo 1 y tiene 980 metros de largo. En esta parada el equipo observó la ubicación de la montaña opuesta, en la que se encontrará el portal occidental del Túnel El Trigo, lugar en que la vía entrará al valle sinclinal de sedimentos coluviales y cruzará el río San Francisco a través del Puente Río San Francisco Alto (K14+800 | K14+940). Finalmente, el trazado entra al Túnel La Cumbre bajo la Ruta Nacional 50. Se pueden observar dos escarpes cerca a la parte alta de la montaña, indicando inestabilidad y movimientos en masa potenciales. También se encuentra la Falla del Alto del Trigo (falla tipo inversa) corriendo a través del valle sinclinal con un rumbo norte – sur. Al norte de esta ubicación, la Falla La Magdalena con rumbo de oriente a occidente y sus fallas asociadas que cruzan el valle sinclinal. Esta intersección fue observada por el equipo en esta parada. Las unidades rocosas que componen el valle incluyen lodolitas, calizas, limolitas y areniscas de los grupos Guaguaquí y Olini. Esta ubicación además se encuentra en la Reserva Natural San Francisco. El equipo abandonó esta parada aproximadamente a las 09:25.



**Figura 30.** Vista conceptual del portal occidental del Túnel El Trigo (K14+630), un puente cruzando el valle sinclinal de la Falla del Alto del Trigo y el Río San Francisco. [301]. (Puente Río San Francisco Alto) y el portal oriental del Túnel La Cumbre (K15+140).



**Figura 31.** Esta fotografía fue tomada desde la Ruta 50, mirando hacia el oriente. El portal occidental del Túnel El Trigo emerge de la montaña cerca a la parte inferior, cruzando el valle sinclinal, así como el Río San Francisco y la Falla del Alto del Trigo, a través del Puente Río San Francisco Alto y posteriormente entra al portal oriental del Túnel La Cumbre directamente bajo esta ubicación. La flecha roja indica el lugar aproximado del portal occidental.



**Figura 32.** Dos escarpes, resaltados con líneas blancas punteadas, son observados cerca de la parte superior de la montaña, hacia el costado en que la salida del túnel El Trigo está planeada, antes de cruzar el Río San Francisco a través del Puente Rio San Francisco Alto y entrar al Túnel La Cumbre. La fotografía mirando hacia el oriente.

**15 Parada 14**

La parada 14 se localizó aproximadamente en el K15+200 sobre el trazado del Tramo 1. La localización fue una vía desatapada que conduce a un puente en concreto que cruza el Río San Francisco en el valle sinclinal. Durante el evento de La Niña en el 2010 - 2011, fuertes inundaciones destruyeron el puente original en esta ubicación y un nuevo puente fue construido en el 2011 (Figura 35). Coluviones y rocas sedimentarias de los grupos Guaguaquí y Olini sobresalen en esta ubicación y se evidenciaron también fallas de taludes a lo largo del Río San Francisco (Figuras 33 y 34). Estas fallas de taludes son relacionadas también con el evento de La Niña 2010 – 2011. Se observó también la erosión de las bancas del río por procesos fluviales. Como se mencionó anteriormente (ver Parada 13), la Falla del Alto del Trigo corre a través de este valle, con orientación norte a sur. El equipo abandonó esta parada aproximadamente a las 09:43.



**Figura 33.** Mirando hacia el sur, se observa la evidencia de un deslizamiento en el lado izquierdo de la fotografía, causado por el evento de La Niña 2010 – 2011.



**Figura 34.** Falla de taludes en sedimentos coluviales debido a la erosión en la parte baja en la banca occidental del Río San Francisco.



**Figura 35.** Vista hacia el norte; un puente nuevo en concreto sobre el Río San Francisco en la misma ubicación donde el puente original fue destruido durante el evento de La Niña 2010 – 2011. Continuando sobre el camino destapado hacia la izquierda de esta fotografía se llega a la Ruta Nacional 50.



16 Parada 15

La parada 15 se localizó en la Ruta Nacional 50, adyacente al trazado en el punto aproximado K17+000. Mirando al norte desde esta ubicación puede ser observado el sitio donde la Falla Alto del Trigo (tendiendo de norte a sur) intersecta la Falla La Magdalena (con orientación oriente a occidente). Al menos otras tres pequeñas fallas incluyendo la Falla Columpio están localizadas en esta área. Como resultado de estructuras tectónicas en cercanías a esta ubicación y en combinación con las principales rocas de los grupos Guaguaquí y Olini, se observaron claros ejemplos de una falla geomorfológica en forma de deslizamientos de taludes. Otra formación rocosa en las cercanías a esta parada es la Formación Seca, la cual es descrita como capas intercaladas de lodolitas y arcillolitas con areniscas cuarzosas de grano fino.



**Figura 36.** Fotografía tomada desde la Ruta 50 mirando al nororiente. El valle sinclinal del Río San Francisco y la Falla Alto del Trigo se resaltan mediante la línea punteada blanca desde el centro izquierdo hacia la parte superior derecha de la fotografía. Posterior a la primera ladera en el centro de la fotografía, la Falla de La Magdalena con orientación oriente a occidente, , atraviesa la montaña e intersecta la Falla del Alto del Trigo. La pendiente en el medio de la fotografía muestra la característica de la falla geomorfológica donde las facetas triangulares comienzan a descender y apartarse entre sí.

**17 Parada 16**

La siguiente parada por el equipo fue realizada en la Ruta 50, aproximadamente en el K17+800. Allí, el equipo observó el Deslizamiento de San Francisco desde la parte superior (Figura 37), así como las capas estratigráficas de las formaciones La Seca, Hoyón y San Juan de Río Seco. La Formación Hoyón se compone de conglomerados de grano grueso y areniscas cuarzosas con intercalaciones de arcillolitas y lodolitas, mientras que la formación San Juan de Río Seco se describe como capas alternantes de arcillolitas y lodolitas con capas de agregado fino a grueso de areniscas sublíticas con areniscas y conglomerados. El material del deslizamiento en sí es descrito como sedimentos coluviales. La Falla La Magdalena y el Río San Francisco cruzan el deslizamiento en dirección oriente - occidente hacia el municipio de Guaduas.

En esta ubicación, el equipo fue enterado que el deslizamiento de San Francisco ha estado activo por bastante tiempo. Los árboles creciendo en el deslizamiento no son verticales lo que sugiere movimientos actuales en la ladera. Se observaron también pequeños deslizamientos de tierra y escarpes (filos) en el Deslizamiento de San Francisco, indicando que algunas áreas del deslizamiento podrían, en ciertos momentos, ser más activas que otras. El equipo se enteró que aunque Helios solía tomar medidas con respecto a la velocidad del movimiento, estas medidas fueron suspendidas desde 6 meses antes de la visita y los datos recolectados no están disponibles para revisión. Se hizo notar también que el deslizamiento se mueve mucho más rápido después de eventos fuertes de lluvia o eventos en los que una gran cantidad de lluvia cae en periodos cortos de tiempo. El trazado requiere un corte de 68 metros de altura al costado de la montaña opuesto a la Parada 16, en la Reserva Nacional Natural San Francisco, aproximadamente en el K18+700 (Figura 38). El corte tendrá una pendiente máxima de 2.3:1 (V:H). El puente Río San Francisco Bajo cruzará el deslizamiento en aproximadamente 90 metros entre el K18+260 y el K18+350. El equipo abandonó esta ubicación aproximadamente a las 10:33.



**Figura 37.** Tomada desde la Ruta 50, esta fotografía describe el Deslizamiento San Francisco, el cual está resaltado con la línea blanca punteada. La flecha roja muestra una banderilla que indica un punto en el trazado. Desde esta ubicación, se pueden ver árboles que crecen no verticales, característicos en los movimientos en masa. Un corte de 68 metros de altura está planeado en la ladera más lejana con una pendiente máxima de 2.3:1 (V:H). Esta foto presenta una vista hacia el noroccidente..



**Figura 38.** El trazado del Tramo 1, cerca al K18+700 [301] presenta un corte alto sobre el Deslizamiento de San Francisco, al costado derecho de la imagen y continúa sobre la Reserva Nacional Natural San Francisco. El corte tendrá aproximadamente 68 metros de alto con una pendiente máxima de 2.3:1 V:H).



**Figura 39.** Mirando de norte a nororiente; capas estratificadas sedimentaras de la Formación San Juan de Río Seco buzando al suroccidente a aproximadamente 30 grados donde fueron observadas, son resaltadas por las líneas blancas punteadas. Las capas menos fuertes del material se han meteorizado y han formado líneas de vegetación entre areniscas y conglomerados más competentes.



**Figura 40.** Las banderas rojas (señaladas con las flechas rojas) sobre el Deslizamiento de San Francisco marcan el trazado del Tramo, Sector 1 de Ruta del Sol en la parada 16.

## 18 Parada 17

La siguiente parada del equipo fue dentro del Deslizamiento de San Francisco. El trazado del Tramo 1 da una curva alrededor de la cumbre del deslizamiento entre el K17+500 y el K19+000 y cruza la Falla La Magdalena a través de un puente de 90 metros de largo entre el K18+260 y el K18+350. Helios informó que el espesor estimado del deslizamiento es de 40 metros, aunque algunas perforaciones han indicado que este número podría estar cerca a los 60 metros.

Después del evento de La Niña 2010-2011, el deslizamiento se reactivó. Residentes informaron que sus casas se movieron sobre el deslizamiento por una distancia aproximada de 250 a 300 metros, en un periodo estimado de entre 12 y 24 horas, sugiriendo una velocidad del orden de 10 a 20 metros por hora (ver Figura 49). Se observó un talud en roca junto al Deslizamiento de San Francisco, que parece haberse activado en sus planos de estratificación, en el momento en que las lodolitas de grano fino y las arcillolitas se saturaron de agua y deslizaron a lo largo de estratos de areniscas y conglomerados más competentes. En todo caso, este comportamiento no parece ser característico del deslizamiento completo. El ángulo de buzamiento de un gran estrato de arenisca en el medio del deslizamiento se estimó ser aproximadamente 30 grados hacia el suroccidente, aunque una gran fractura por tensión, de aproximadamente 1 metro de ancho en el estrato (Figura 43), sugiere que las capas estratigráficas se componen de grandes bloques de material, fracturado, que se separan entre sí. Residentes informaron que después del deslizamiento, tres ramales del Río San Francisco se perdieron entre las ruinas; dos ramales han reaparecido como fuentes en el Deslizamiento. Esto sugiere que el agua, que en algún momento fluyó sobre la superficie del suelo, es en efecto, en este momento, agua subterránea.



**Figura 41.** Mirando hacia costado suroriental del deslizamiento, se observa una gran escarpe causado por la falla del talud. Se observan capas intercaladas de areniscas sublíticas y materiales sedimentarios meteorizados de grano fino de la Formación San Juan de Rio Seco.



**Figura 42.** Vista de una capa de areniscas sublíticas de la Formación San Juan de Río Seco en el Deslizamiento de San Francisco. Tres ramales del Río San Francisco desaparecieron con el deslizamiento, aunque dos han reaparecido. Se observa agua hacia debajo de la pendiente en la capa de arenisca.





**Figura 43.** Una gran fractura por tensión en la misma capa de arenisca descrita en la Figura 37 sugiere que las capas de rocas sedimentarias mas competentes se están fracturando y separando entre sí. La fractura tiene aproximadamente 1 a 1.5m de ancho.



**Figura 44.** Escombros de sedimentos coluviales cerca a la parte superior del Deslizamiento de San Francisco.



**Figura 45.** Vista hacia el norte, la ladera noroccidental del deslizamiento está cayendo y es resaltada por la línea blanca punteada. El lado montañoso en la parte superior derecha de la foto es descrito en la Figura 37. El corte de 68 metros de altura planeado en esta ubicación sobre el trazado está estimado sobre el talud cercano al centro izquierdo de esta fotografía. Las flechas rojas señalan las banderas que marcan el trazado del Sector 1.



**Figura 46.** Un árbol se ha partido en la mitad debido al movimiento del Deslizamiento de San Francisco.

## 19 Parada 18

La última parada realizada sobre el trayecto del Tramo 1, Sector 1, se realizó en la Ruta 50, en el área de La Florida, en la vía a Guaduas. El equipo se detuvo en la vía para ver una perspectiva diferente del Deslizamiento de San Francisco, mirando al nororiente hacia el deslizamiento. Allí se observó que después de que el deslizamiento se activara en 2011, una porción de la Ruta resultó afectada. Esta se reparó en su momento aunque algunas grietas estructurales se pudieron apreciar. El equipo dejó ésta ubicación aproximadamente a las 12:04.



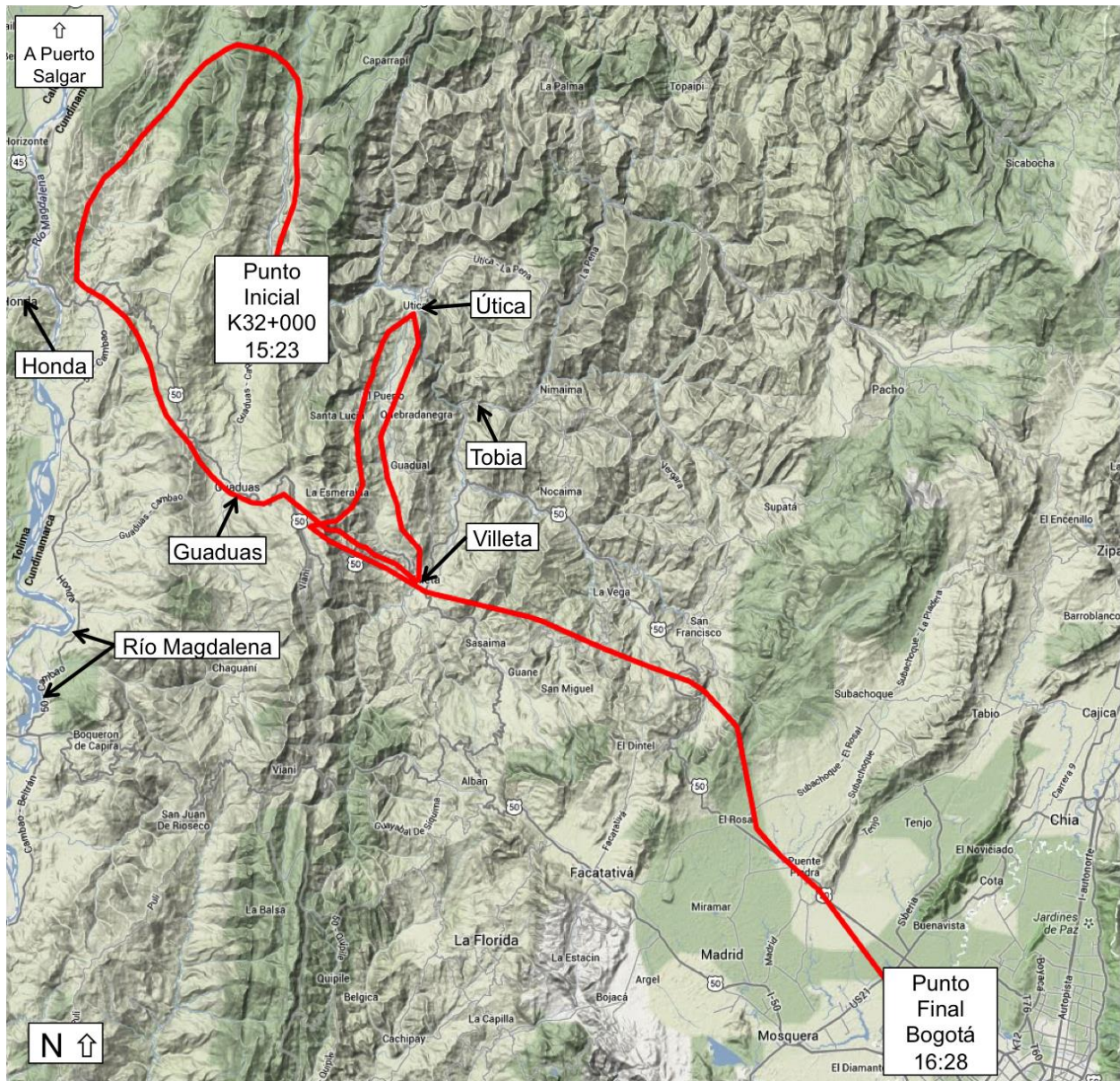
**Figura 47.** Foto tomada desde la Ruta 50 mirando hacia el Deslizamiento San Francisco, el cual está resaltado en el medio de la fotografía con la línea blanca punteada. La Falla La Magdalena corta el valle en la parte superior derecha de la foto y continúa al occidente cerca de la esquina inferior izquierda. La casa de una familia se ubicaba donde lo indica la flecha roja de la derecha, y la ubicación actual de la casa es la indicada por la flecha de la izquierda (ubicaciones aproximadas).

## **20 Sobrevuelo**

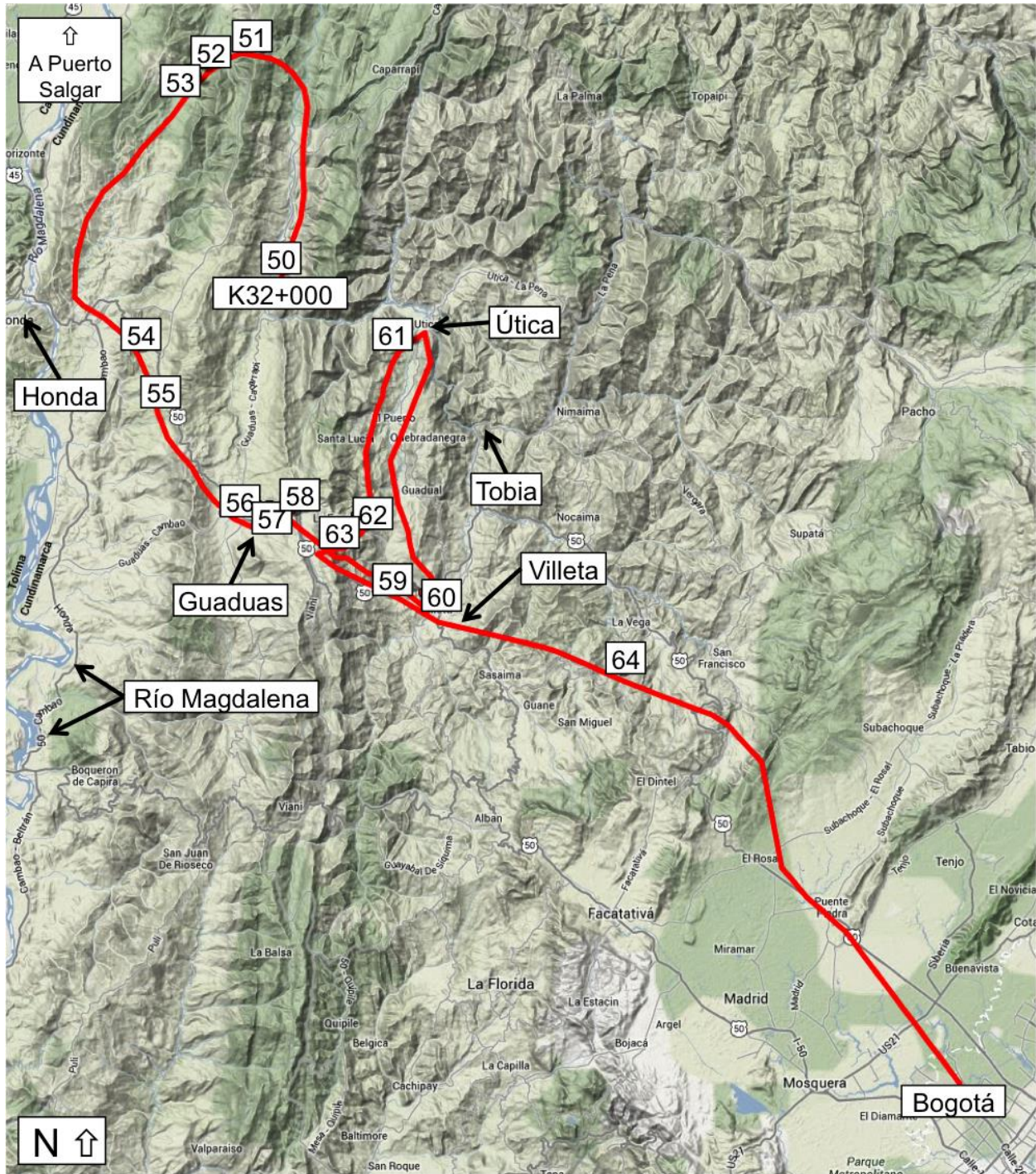
Posterior a la Parada 18, el equipo se dirigió al K32+000 sobre el trazado del Tramo 2 y abordó dos helicópteros con el objetivo de realizar un sobrevuelo al Sector 1, con énfasis especial en el Tramo 1. El helicóptero comenzó el vuelo aproximadamente a las 15:23 en el K32+000.

Tomando hacia el norte sobre el Sector 1, Tramo 2 hacia Puerto Salgar, luego dirigiéndose en sentido suroccidente hacia Honda, en el Río Magdalena. Allí, los helicópteros tomaron hacia el suroriente dirigiéndose hacia Guaduas y el Tramo 1. Sobrevolando cerca a Guaduas, se observó el Deslizamiento de San Francisco por encima. Desde Guaduas se voló hacia Villeta en el suroriente para ver el Deslizamiento del Cune antes de tomar hacia el norte sobre Quebradanegra en sentido Útica. Los helicópteros tomaron el sentido suroccidental esta vez hacia San Isidro. Los Helicópteros pasaron Villeta y el Deslizamiento del Cune una vez más antes de tomar rumbo hacia Bogotá. El sobrevuelo terminó aproximadamente a las 16:28 en el Aeropuerto El Dorado en la ciudad de Bogotá.

Informe de Visita al Sitio. Ruta del Sol, Sector 1. Julio de 2013.



**Figura 48.** Recorrido aproximado del sobrevuelo realizado el martes 9 de Julio de 2013. Los puntos de inicio y terminación, así como las horas aproximadas, son descritos en la imagen.



**Figura 49.** Comenzando en el K32+000, la imagen muestra las ubicaciones aproximadas de las 15 fotografías tomadas desde el helicóptero describiendo la geología y geomorfología típicas en el sitio del Proyecto (Ver Figuras 50 a 64)

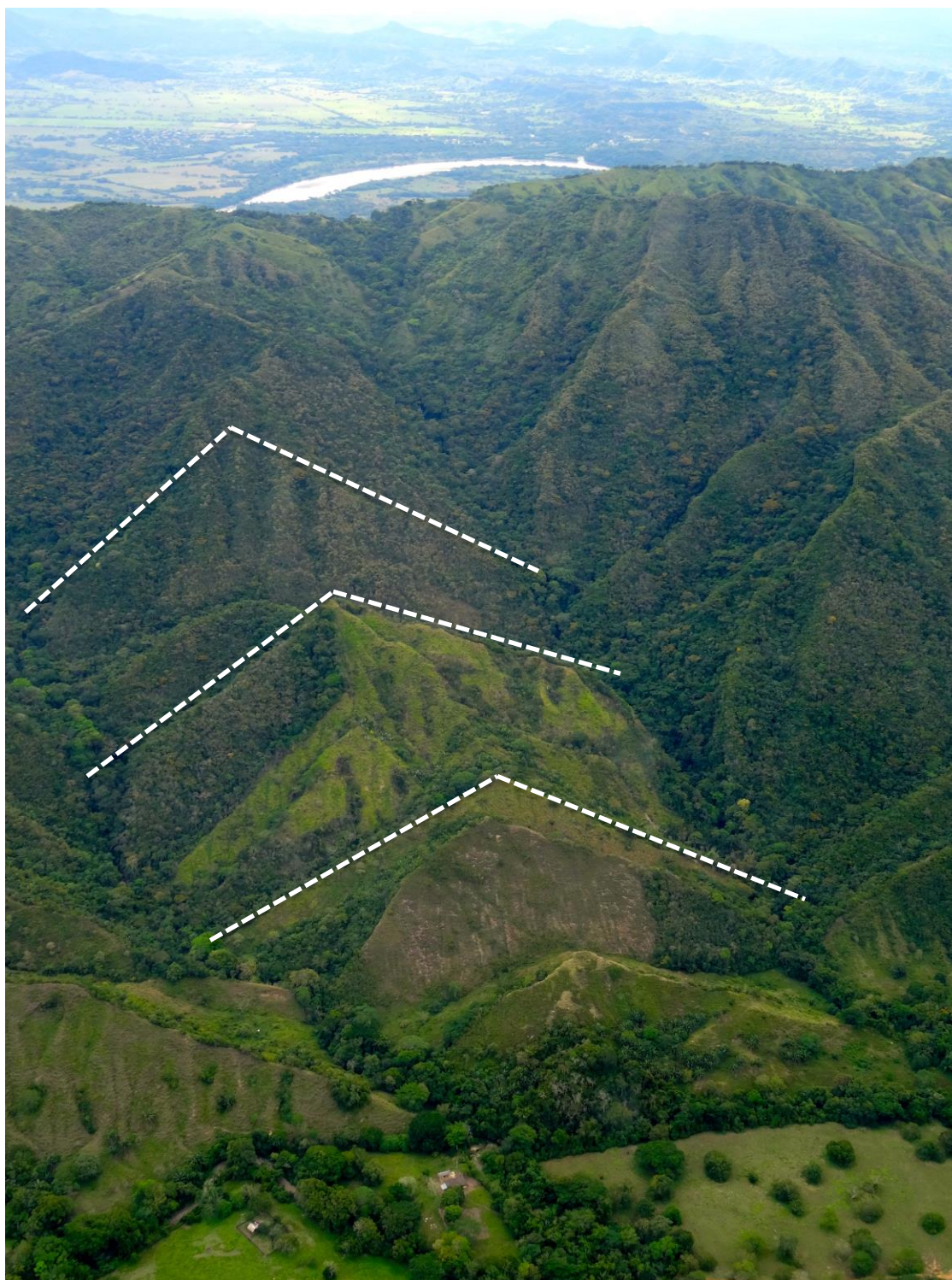




Figura 50. Vista aproximada hacia el noroccidente, esta imagen muestra la construcción de puentes sobre el trazado del Tramo 2.



**Figura 51.** Hacia el norte, esta foto describe la construcción del trazado del Tramo 2. El municipio de Puerto Salgar se encuentra al norte de esta ubicación.



**Figura 52.** Geomorfología típica del área del Proyecto. Aquí, bloques de tierra con la clásica forma triangular – resaltada por las líneas puntuadas blancas – se ven separándose entre sí. Esto es conocido como Facetas Triangulares.



**Figura 53.** Se observan las capas estratigráficas horizontales y los materiales de grano fino altamente meteorizados, los cuales representan la geología típica del área del Proyecto.



**Figura 54.** Esta imagen muestra la falla de en la ladera de una vía, aproximadamente al oriente de Honda y el Río Magdalena.



**Figura 55.** En esta fotografía, capas estratigráficas horizontales son visibles en la cima de la montaña en el centro de la imagen. Abajo se ven los escarpes del Deslizamiento de La Mona, sucedido en Abril de 2011.



**Figura 56.** Justo al oriente de Guaduas, esta fotografía mira hacia el oriente al Deslizamiento de San Francisco, resaltado por la línea blanca punteada. Un corte alto está planeado en la montaña al lado izquierdo del deslizamiento (ver Parada 16). La Ruta 50 se encuentra al lado derecho del deslizamiento. La Falla La Magdalena con orientación oriente a occidente, cruza aproximadamente en el centro del Deslizamiento de San Francisco.



**Figura 57.** Otra vista del Deslizamiento de San Francisco, resaltado por la línea blanca punteada.





**Figura 58.** Vista hacia el sur sobre la Ruta 50. Tanto la Falla el Alto del Trigo como el Río San Francisco, con orientación de norte a sur a través del valle están en el costado izquierdo de la vía.



**Figura 59.** Al costado izquierdo de la fotografía puede verse la Ruta 50, la parte empinada del Deslizamiento de San Francisco puede observarse en la esquina superior izquierda. La Falla del Alto del Trigo y el Río San Francisco se encuentran al lado derecho de la vía. La Falla La Magdalena, con orientación oriente a occidente, intercepta esas dos características en la parte superior de la fotografía.



**Figura 60.** Mirando aproximadamente al noroccidente, el deslizamiento de El Cune – resaltado por la línea punteada blanca – es visible cerca del municipio de Villeta. La flecha roja muestra la ubicación aproximada de la Parada 1, cerca al K0+000. La Ruta 50 es visible en la parte inferior de la fotografía.



**Figura 61.** La imagen muestra una sección abandonada de Ruta del Sol cerca al municipio de Útica, la cual hace parte de un contrato previo que fue cancelado, no relacionado con el actual. La flecha roja muestra la ubicación del portal a un túnel que nunca fue construido. El trazado fue abandonado debido a las condiciones inestables del suelo.



**Figura 62.** La flecha roja muestra la ubicación de la Parada 9. Al costado derecho de la fotografía, el trazado del Tramo 1 se dirige hacia la Reserva Nacional Natural San Francisco, antes de entrar al portal oriental del Túnel El Trigo.



**Figura 63.** El área arborizada al lado izquierdo de la fotografía corresponde a la ubicación aproximada del portal oriental del Túnel El Trigo en la Reserva Nacional Natural San Francisco. El túnel saldrá de la montaña hacia el centro de la fotografía, donde la vía cruzará el Río San Francisco y la Falla del Alto del Trigo mediante un puente antes de entrar al portal oriental del Túnel La Cumbre bajo la Ruta 50. La vía se localiza en la esquina superior derecha de la fotografía.



**Figura 64.** La imagen muestra una falla de talud con sedimentos negros de grano fino, con intercalaciones de material más competente hacia la parte más alta de la montaña. Esta imagen fue tomada en el vuelo de regreso a Bogotá, aproximadamente 4 kilómetros al suroccidente del Municipio de La Vega.

# APÉNDICE 2

## MINUTAS DE LAS REUNIONES

UNGRD, JULIO 7, 2013

COLOMBIA HUMANITARIA - FNC, JULIO 9, 2013

IGAC, JULIO 10, 2013

IDEAM, JULIO 10, 2013

INGEOMINAS, JULIO 11, 2013

ANLA, JULIO 11, 2013

MINISTERIO DE TRANSPORTE / INVIAS, JULIO 12, 2013





Gall Zeidler Consultants  
 GEOTECHNICS | TUNNEL DESIGN | ENGINEERING

44345 Premier Plaza  
 Oficina 210  
 Ashburn, VA. 20147  
 USA  
 www.gzconsultants.com



AN	KZ	VG	08/26/2013	00	FINAL	
preparó	Revisó	Aprobó	Fecha	Rev.	Estado	Motivo de la revisión
Ingeniero Especialista:			Axel Nitschke, Ph.D, PE.		Ingeniero Principal: Vojtech Gall. Ph.D, PE.	
Registro N°:			VA 047029		Registro N°: VA 025740	
Estado de la emisión		Final				
Tipo de Documento		Informe				
Área/Actividad		Consultoría				
Título		RUTA DEL SOL – SECTOR 1 – TRAMO 1				
Sub-título		<b>MINUTAS DE REUNIONES EN COLOMBIA DE JULIO 9 A JULIO 12 DE 2013</b>				
Nombre del Documento						
1011 R 001 S FINAL						

## Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN E ITINERARIO DE LAS REUNIONES .....	2
2	UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO Y DESASTRES - UNGRD .....	3
3	COLOMBIA HUMANITARIA.....	4
4	INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM.....	6
5	INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC .....	8
6	SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOLOGIA Y MINERIA - SCG.....	9
7	AGENCIA NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES - ANLA .....	11
8	TRANSPORTATION MINISTRY AND INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS	14

## 1 INTRODUCCIÓN E ITINERARIO DE LAS REUNIONES

Para complementar la información del proyecto Ruta del Sol entregada por ANI y Helios, un grupo seleccionado de miembros del equipo de Gall Zeidler Consultants (GZ) visitó siete (7) agencias gubernamentales en Bogotá, Colombia, entre el 9 y el 12 de julio de 2013. El presente apéndice documenta las reuniones sostenidas con dichas agencias en Bogotá.

La siguiente tabla resume las visitas llevadas a cabo:

ENTIDAD	FECHA Y HORA
UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO Y DESASTRES – UNGRD	Julio 9, 2013 - 14:30
COLOMBIA HUMANITARIA	Julio 9, 2013 - 16:30
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM	Julio 10, 2013 - 10:30
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC	Julio 10, 2013 - 15:30
SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOLOGIA Y MINERIA – SCG	Julio 11, 2013 _ 11:30
AGENCIA NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES – ANLA	Julio 11, 2013 - 16:00
MINISTERIO DE TRANSPORTE E INVIAS	Julio 12, 2013 - 11:00

## 2 UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO Y DESASTRES - UNGRD

Entidad	Participantes
UNGRD	Yacir Ramírez <a href="mailto:yacir.Ramírez@gestiondelriesgo.gov.co">yacir.Ramírez@gestiondelriesgo.gov.co</a>
GZ	Andrés Giraldo Fernando Oropeza

Fecha y Hora: Julio 9 2013, 14:30

UNGRD es la agencia colombiana con la responsabilidad de atención temprana para atender las necesidades inmediatas de la población durante desastres. UNGRD explicó el marco legal de la organización a GZ. UNGRD reporta directamente a la Presidencia de la República.

UNGRD explicó que después del evento de La Niña 2010 – 2011, se crearon fondos a diferentes niveles y que “Colombia Humanitaria” administró la distribución de los fondos a dichos niveles. El primer nivel fue para ayuda humanitaria para la respuesta inmediata justo después de eventos como inundaciones, por ejemplo alimentos, vivienda, etc. El segundo nivel fue para proyectos menores de construcción y rehabilitación (máximo 4 proyectos con un máximo valor de contrato de COP\$250,000,000 por Departamento), mientras que el tercer nivel fue para proyectos mayores (proyectos con ingeniería de detalle y mayores alcances de trabajo).

UNGRD sugirió contactar a Jaime Matiz en el “Consejo Departamental de Gestión de Riesgos de Cundinamarca”, quien podría entregar información sobre los proyectos específicos que se atendieron mediante este fondo a nivel departamental (Cundinamarca). El contacto con el Sr. Matiz no fue necesario debido a que esta información fue entregada por el Sr. Henao en la reunión con Colombia Humanitaria del 9 de julio de 2013, a las 16:30.

### 3 COLOMBIA HUMANITARIA

Entidad	Participantes
Colombia Humanitaria	Gustavo Henao <a href="mailto:gustavohenao@colombiahumanitaria.gov.co">gustavohenao@colombiahumanitaria.gov.co</a>
GZ	Andrés Giraldo Fernando Oropeza

Fecha y Hora: Julio 9 2013, 16:30

El Sr. Henao explicó que Colombia Humanitaria recaudó fondos después del Estado de Emergencia inducido por el Evento de La Niña 2010 – 2011. El propósito de la agencia Colombia Humanitaria es la administración de los fondos gubernamentales para el desarrollo de diferentes proyectos en tres diferentes niveles (ver también la reunión con UNGRD):

- Asistencia de necesidades básicas de la población (Comidas, carpas, sábanas, etc.).
- Proyectos de construcción menores y urgentes.
- Proyectos de construcción mayores.

Colombia Humanitaria aportó una gran cantidad de recursos para diferentes proyectos de menor y mayor alcance para vías existentes en el área del proyecto Ruta Del Sol, Sector 1, afectadas por el evento de La Niña 2010 – 2011. Colombia Humanitaria entregó documentos con información sobre proyectos específicos para solucionar problemas en la Ruta Nacional 50 con sus costos respectivos. En resumen, las inversiones fueron así:

#### 1. Contrato N°: 2111-2011

Monto: COP\$ 13,084,111,219 (approx. US\$ 6.9 Millones)

Alcance: Estabilización de la banca y los taludes entre el PR20+500<sup>1</sup> y PR21+700; construcción de las obras de contención en los PRs 34+870, 37+900 y 44+950 en la ruta 5008, en el Departamento de Cundinamarca, garantizando la transitabilidad y continuidad en la prestación del servicio.

<sup>1</sup> PR: Punto de Referencia.

2. Contrato N°: 307-2011

Monto: COP\$ 5,607,476,045 (approx. US\$ 2.9 Millones)

Alcance: Construcciones de Emergencia en la vía Honda – Villeta, incluyendo remoción de derrumbes y construcción de vía alternativa entre el PR20+500 y el 21+700.

3. Contrato N°: 9677-04-919-12

Monto: COP\$ 25,009,011,276 (approx. US\$ 13.1 millones)

Alcance: Construcción de un Puente Nuevo en la ruta 50 (Honda – Villeta).

Colombia Humanitaria entregó recursos para proyectos menores y mayores en el departamento de Cundinamarca por COP\$350,664,000,000 (approx. USD\$ 184 millones).

Incluyendo la asistencia Humanitaria, el Departamento de Cundinamarca requirió fondos totales por COP\$381,969,000,000 (approx. US\$ 201 millones) en los tres niveles.

#### 4 INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

Entidad	Participantes
IDEAM	Vicky Guerrero, Coordinadora Grupo Cambio Global ( <a href="mailto:vguerrero@ideam.gov.co">vguerrero@ideam.gov.co</a> ) Juanita Gonzalez, Grupo Cambio Climático ( <a href="mailto:jgonzalezl@ideam.gov.co">jgonzalezl@ideam.gov.co</a> ) Jhon Valencia, Coordinador Pronóstico Meteorológico ( <a href="mailto:jvalencia@ideam.gov.co">jvalencia@ideam.gov.co</a> ) Reynaldo Sánchez, Pronóstico de Movimientos Masivos ( <a href="mailto:rsanchez@ideam.gov.co">rsanchez@ideam.gov.co</a> ) Carlos Ortegón, Suelos y Tierras
GZ	Andrés Giraldo Fernando Oropeza Axel Nitschke

Fecha y Hora: Julio 10 2013, 10:30

Reynaldo Sánchez es el líder del grupo de trabajo en Análisis de Deslizamientos de IDEAM. El grupo está trabajando actualmente con dos objetivos:

- a. EL primer objetivo es el desarrollo de un mapa zonal de susceptibilidad a deslizamientos a un nivel nacional (escala 1:500,000) para apoyar las actividades de planeación a largo plazo.
- b. El Segundo objetivo es el desarrollo de pronósticos a corto plazo de deslizamientos de tiempo, basándose en el mapa de susceptibilidad y en los pronósticos de clima, especialmente en precipitación.

El grupo de trabajo en Deslizamientos ofreció entregar el avance actual del mapa para el área del proyecto, mediante un listado de deslizamientos conocidos en el área del proyecto incluyendo sus datos de ocurrencia.

Jhon Valencia explicó que el IDEAM tiene diferentes tipos de estaciones climatológicas: estaciones pluviométricas, estaciones climatológicas automáticas y estaciones

hidrográficas. Explicó además que el IDEAM mantiene su archivo histórico el cual está disponible para compra.

Después de la reunión, el IDEAM dirigió a Fernando Oropeza al Centro de Documentación y Archivo Técnico, donde se encuentran los datos históricos. El señor Nelson Castro ([ncastro@ideam.gov.co](mailto:ncastro@ideam.gov.co)), quién explicó el catálogo de estaciones y ayudó a identificar las estaciones que se encuentran en el área del Proyecto Ruta del Sol. Tres estaciones pluviométricas: El Tuscolo (Guaduas), El Trapiche (Útica), y dos estaciones Hidrométricas (LM Villeta y Tobia) fueron identificadas.

Por solicitud de GZ, el IDEAM entregó una cotización y una forma de pago como base para la solicitud de los archivos con la información. GZ procedió de la manera indicada y recibió la información solicitada.



## 5 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC

Entidad	Participantes
IGAC	Claudia Sepúlveda
GZ	Andrés Giraldo Fernando Oropeza Ernesto Vicente Axel Nitschke

Fecha y Hora: Julio 10 2013, 15:30

IGAC es el instituto a cargo de la información geográfica de Colombia. La Sra. Claudia Sepúlveda presenta al equipo de GZ el archivo de fotografías aéreas del área del proyecto del IGAC.

En el archivo, el IGAC revisó los mapas históricos de sobrevuelos en el área del Proyecto, los cuáles son utilizados para solicitar fotografías aéreas específicas del archivo de IGAC. Hasta el año 2007 el IGAC utilizó fotografías análogas pero cambió después a la tecnología digital. Para solicitar las fotografías digitales el IGAC requiere el archivo "Shape" del área de interés (1 km alrededor del trazado de Ruta del Sol).

No se encuentran fotografías aéreas de sobrevuelos posteriores al evento de La Niña 2010 – 2011.

GZ realizó la lista de fotografías aéreas a solicitar, la cual se envió a ANI junto con la solicitud para adquirir dichas fotografías de IGAC, junto con la solicitud del archivo "Shape".

## 6 SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOLOGIA Y MINERIA - SCG

Entidad	Participantes
SCG	Martha Calvache <a href="mailto:mcalvache@sgc.gov.co">mcalvache@sgc.gov.co</a> Dos geólogos asistentes
GZ	Andrés Giraldo Fernando Oropeza Ernesto Vicente Axel Nitschke

Fecha y Hora: Julio 11 2013, 11:30

Resumen de las discusiones:

Se le preguntó a SGC sobre la existencia de mapas históricos de deslizamientos para el área del proyecto, incluyendo 1 kilómetros de corredor, y otra información que pueda estar disponible para asistir a GZ en su análisis de ocurrencia de eventos de deslizamientos en el corredor.

GZ conoce los Mapas de Amenaza Geológica de SCG, los cuales incluyen amenazas potenciales de deslizamientos (o movimientos en masa), sin embargo, GZ no conoce catálogo alguno, reporte de deslizamientos en la región, o informes de SGC con evaluaciones científicas-geológicas específicas sobre deslizamientos.

SGC sugirió el uso de la base de datos de SCG/INGEOMINAS:

- SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa), el cual es una sección de la página web de SGC/INGEOMINAS.
- Corporaciones Autónomas alrededor del área del proyecto.

Una gran problemática es la obtención de información fuera de las áreas habitadas, debido a que los deslizamientos pudieron no haber sido reportados y quedaran no documentados. Completar los catálogos depende altamente de las gobernaciones y de los municipios, quienes deben reportar a SGC lo observado como deslizamientos conocidos o inferidos.

SGC ofreció entregar información disponible en formato electrónico a GZ dentro de los 2 días siguientes a la reunión. La información entregada incluye:

- Catálogo de Deslizamientos Históricos: Incluye referencias geográficas y datos del inventario de deslizamientos reportados por las comunidades locales en la zona del proyecto Ruta del Sol con coordenadas y fechas de los deslizamientos. La información histórica de deslizamientos fue entregada a GZ por SCG después de la reunión.
- Mapa de Ubicación de Deslizamientos: este mapa muestra la ubicación de deslizamientos históricos reportados, a una escala de 1:100,000 en el área entre Villeta y Guaduas. El mapa puede mostrarse en una variedad de sistemas coordenados, de ser necesario.
- Referencias: una lista de referencias geológicas y geotécnicas de los datos de deslizamientos.
- Deslizamiento Histórico El Cune: Informe de Evaluación Técnica del deslizamiento El Cune y su afectación sobre un barrio vecino en Villeta (Incluyendo datos de GPS, pruebas de laboratorio y caracterización de la roca).

(Tener en cuenta que el Deslizamiento El Cune está por fuera del área del proyecto, pero cerca al K0+000 de Ruta del Sol y es típico para el área del proyecto).

SGC indicó también que el área de Útica es bien conocida por la ocurrencia de deslizamientos.

## 7 AGENCIA NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES - ANLA

Entidad	Participantes
ANLA	Nubia Orozco - Subdirección de Evaluación y Seguimiento. <a href="mailto:norozco@anla.gov.co">norozco@anla.gov.co</a> Santiago Roldán - Biólogo, coordinador de infraestructura. Luz Dary Perdomo – Especialista medioambiental.
GZ	Andrés Giraldo Ernesto Vicente Vojtech Gall Axel Nitschke

Fecha y Hora: Julio 11 2013, 16:00

GZ resaltó el objetivo de entender el proceso de licenciamiento ambiental en Colombia, en especial el del Proyecto Ruta del sol, incluyendo aspectos técnicos y legales. GZ señaló que pareciera que no sólo información técnica es la que se presenta en las resoluciones de ANLA como respuesta a la solicitud presentada por Helios para la Licencia Ambiental del Proyecto. Por tanto GZ solicitó a ANLA asistencia para entender el trasfondo de la revisión ambiental y el proceso de licenciamiento.

Los documentos de licenciamiento de ANLA se presentaron, con los siguientes temas principales:

- Aceptación del Ministerio de Medio Ambiente para la Intervención en áreas protegidas ambientalmente. “Intervención” es el impacto en ambiente natural que debe ser autorizado por ANLA.
- Resolución de Intervención en la Reserva Natural Nacional.
- Especies en Veda (protegidas, esencialmente flora, no fauna).
- Discusión sobre geología, estabilidad, geomorfología e hidrogeología.

Para el proyecto Ruta del Sol, Sector 1, Tramo 1, un gran número de temas fueron aceptados, sin embargo no fueron suficientes los datos y valoraciones hidrogeológicas sobre las condiciones presentes y los posibles impactos de la propuesta Ruta del Sol, en particular el concepto sobre la protección y uso de los recursos hídricos de la Reserva Natural Nacional Protectora Río San Francisco.

Problemáticas que se identificaron son:

- La documentación geológica fue descrita como no comprensible, pero aceptable.
- Los datos hidrogeológicos estaban faltos de las actuales condiciones de recursos hídricos. No se presentó el posible impacto de varias partes del proyecto sobre el uso del agua.

Por ejemplo, Helios no ha informado cuales son las posibles infiltraciones de aguas subterráneas en el túnel. Un análisis del impacto real está pendiente, así como un concepto de las medidas de mitigación propuestas.

ANLA aclaró que los problemas hidrogeológicos anteriores no son necesariamente un error fatal del proyecto, pero obligatoriamente requieren una previsión de unas soluciones técnicas y mejoras en la solicitud de licencia de Helios.

La Reserva Natural Nacional Protectora del Río San Francisco existe desde 1970. GZ preguntó su Euroestudios (bajo contrato con IFC) consultó durante la etapa conceptual del periodo precontractual (hasta 2009) sobre el Diagnóstico Ambiental del área. ANLA menciona que hubo diálogos preliminares al final de la fase conceptual, pero que la Solicitud de Licencia Ambiental recae bajo la responsabilidad del contratista final.

GZ indica que cruzar una Reserva Nacional Natural con una vía plantea en general un alto potencial de riesgo de que la licencia sea negada. Por tanto pareciera sorprendente que no se diera más énfasis en los problemas ambientales en las tempranas fases de planeación del proyecto. ANLA concuerda en términos generales, pero explica que cruzar una Reserva Nacional Natural puede ser mitigado mediante la “Substracción”, del área impactada de la reserva, acompañado por, por ejemplo, la compensación en otra área.

Todos los datos, incluyendo datos hidrogeológicos deben ser presentados por el solicitante, para el caso de Ruta del Sol, por Helios. El estado por sí mismo tiene datos limitados, particularmente para túneles. Para una solicitud exitosa desde el punto de vista hidrogeológico es clave prevenir la contaminación de ríos y quebradas como resultado del proyecto, debido a que el agua en el área es usada por la población local para uso potable y de agricultura.

GZ consultó si hay ejemplos de permisos otorgados para proyectos viales que crucen Reservas Naturales Nacionales, ANLA da ejemplos (listados abajo) que demuestran que es en términos generales posible cruzar Reservas Nacionales con el debido procedimiento de licenciamiento ambiental:

- San Francisco - Mocoa.
- Florencia – Suaza - Altamira.
- Buga - Buenaventura (incluye túneles).

### Impacto de las Condiciones Geológicas

ANLA menciona que las condiciones geológicas hacen parte del proceso de licenciamiento, GZ pregunta por la razón de que las condiciones geológicas son de interés para una Agencia de Licencias Ambientales.

ANLA resalta el impacto de un proyecto vial en la geología local, especialmente en las Reservas Naturales Nacionales. ANLA da los siguientes ejemplos para demostrar el impacto de las condiciones geológicas:

- Algunas formaciones rocosas del sitio, como las Lutitas y las Lodolitas se meteorizan rápidamente al ser expuestas y sufren un rápido ablandamiento, causando deslizamientos e impactos en el paisaje, la vegetación, los recursos hídricos naturales, etc.
- El suelo queda expuesto a una acelerada erosión posterior a la remoción de la vegetación natural.

### Impacto de las Condiciones Climáticas

GZ pregunta si ANLA es consciente de ejemplos en que la hidrogeología haya cambiado después del evento de La Niña 2010 – 2011. ANLA comenta que por ejemplo nuevas quebradas aparecieron, mientras que otras desaparecieron en el área del Proyecto.

GZ pregunta cuál es el Periodo de Retorno de inundaciones que se utiliza para diseños hidráulicos en las áreas de quebradas, ANLA responde que era entre 25 y 50 años, para el Tramo 1 de Ruta del Sol los Periodos de Retorno fueron de 25 y 50 años dependiendo del caso, pero ANLA está ahora (después de La Niña 2010 – 2011) considerando solicitar Periodos de Retorno de 100 años para diseños hidráulicos.

ANLA indica que los problemas relacionados con el agua son la saturación del suelo y los niveles de agua subterránea. ANLA inspecciona la sedimentación de los ríos en cooperación con IDEAM.

## 8 TRANSPORTATION MINISTRY AND INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS

Entidad	Participantes
MINISTRY OF TRANSPORT / INVIAS	Juan de Dios Cisneros. Julio Cesar Jaramillo. Nicolás Isaza José Luis Escobar Jose Montero
GZ	Andrés Giraldo Ernesto Vicente Kurt Zeidler Axel Nitschke

Fecha y Hora: Julio 12 2013, 11:00

### **Impacto del Fenómeno de La Niña:**

El Sr. Cisneros hizo una presentación sobre los daños a la infraestructura causados por los eventos climáticos y meteorológicos resultantes del evento de Fenómeno de La Niña en 2010 – 2011. Los aspectos más destacados de la presentación se resumen a continuación:

- Se compiló información de todos los segmentos de la Red Nacional de Carreteras.
- Se requirió tomar medidas para restaurar la operación vial posterior al evento de La Niña (después de 2012).
- La Niña 2010 – 2011 tuvo lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos, movimientos en masa, la presentación mostró ejemplos con un gran número de proyectos.

13 Departamentos en el área de Cordilleras incluyeron pérdidas como:

- Pérdida de la banca.
- Cierre de vías.

El número de días que se perdieron debido al cierre de la Ruta 50 (Villeta – Honda) fue:

- Cierre total: 111 días,
- Cierre parcial: 299 días, a Marzo de 2012.

Importantes daños se causaron debido a deslizamientos, inundaciones y avalanchas.

Ruta del Sol, Sector 1. Minutas de Reuniones con entidades oficiales. Julio de 2013.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (una división del banco Interamericano de Desarrollo) presentó un informe (2011-2012) de los daños causados, que se pueden resumir en:

- Daños/Pérdidas: ≈ COP\$ 1.3 billones (approx. US\$ 700 millones).
- Reparaciones: ≈ COP\$ 6 billones (approx. US\$ 3,000 millones).

El área Alto de la Mona sufrió un cambio importante en la superficie durante el evento de La Niña 2010 – 2011.

Alrededor 1,333 puntos críticos de 5,200 Km de las vías se afectaron lo que significa:

- 1/3 del total de 16,885 Km de la Red Vial Nacional.
- 1 punto crítico por cada 14 Km de vía.

Las operaciones han sido restablecidas en:

- ≈ 2,600 Km (Red Vial Nacional)
- ≈ 1,316 Km (Red Férrea Nacional)
- Atención integral recibida en 656 puntos críticos, definidos por INVIAS como los lugares que requerían atención especial y urgente.
- El Gobierno Nacional asignó un total de COP\$ 25 billones (approx. US\$ 13,000 millones), de los cuáles COP\$ 2 billones (aprox. US\$ 1,000 millones) fueron asignados únicamente a vías, el restante fue principalmente para solucionar temas de vivienda.

INVIAS, responsable de las vías públicas, solucionó aproximadamente la mitad de los puntos críticos (56 de 1,333).

En el área de Villeta - Hondas:

- El área se afectó por un gran deslizamiento.
- Para evitar similares escenarios se ha propuesto la construcción de un túnel en el área.
- Las fotos del Deslizamiento de La Mona muestran aproximadamente 1.2 Km de destrucción de la banca de la vía.
- El Nuevo túnel conectaría la Ruta del Sol con la vía existente.

Resumen de puntos críticos:

- Autopista Villeta - La Vega - Alto del Vino – Bogotá.
- Tramo II of Ruta del Sol tuvo importantes afectaciones en el Km 57+350 desde Bogotá, Km 58+500, Km 80+000, Km 55+000, Km 67+600.

Durante la reunión, el Sr. Cisneros entregó a GZ una copia de:

- El informe sobre el Deslizamiento de La Mona.
- Listado de los trabajos ejecutados por el Ministerio de Transporte para atender la emergencia en la vía Honda – Villeta, incluyendo reparaciones en los Km



20+500, Km 21+700, Km 34+840, Km 37+900, Km 44+950, Km 63+550m en el Departamento de Cundinamarca.

- Daños y soluciones para la vía Guaduas – Honda (en cercanías a Honda).
- Resumen Ejecutivo de los trabajos de emergencia en la ruta 5008, Honda – Villeta, Cundinamarca.
- Presentación en PowerPoint que se mostró en la reunión, anteriormente resumida.

El área afectada por el Deslizamiento de La Mona, el cual fue de aproximadamente 300 metros de alto, puede ser identificada por la falta de vegetación. Antes del deslizamiento el área estaba cubierta de vegetación, mientras que el suelo quedó expuesto posterior al deslizamiento. De acuerdo con un informe especializado el movimiento en masa del Deslizamiento de La Mona continuará permanentemente afectando la vía existente. Por tanto se ha preparado una reparación de emergencia para construir un túnel en el área con un costo aproximado de COP\$ 350,000 millones (approx. US\$ 185 millones).

Entre el 40% y el 60% del material del deslizamiento es coluvión, aproximadamente 40% son lutitas, y el restante son otros tipos de rocas.

Aproximadamente COP\$ 60,000 millones (approx. US\$ 16 millones) se han invertido en el área, incluyendo un Puente, con una importante cimentación aproximadamente a 16 metros de profundidad e incluyendo pernos de anclaje.

La vía Villeta – Guaduas incluye una zona de vía estabilizada con Caissons de gran diámetro, posterior a un deslizamiento ocurrido entre el 8 y el 16 de diciembre de 2011.

Se preguntó a INVIAS sobre los códigos y regulaciones existentes para la construcción de vías en Colombia. INVIAS indicó los siguientes:

- Código Colombiano de Construcción de Carreteras.
- Código General de Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS.

GZ pregunta si algún código de diseño ha tenido cambios o ha sido revisado como consecuencia del evento de La Niña 2010 – 2011 y su impacto en la infraestructura. De acuerdo a INVIAS, los códigos no han sido aún actualizados, pero se están adoptando medidas en relación a la seguridad de las obras viales.

Se pregunta también si los cortes que son reparados después de deslizamientos, son sujetos de un rediseño, o si por el contrario son restaurados a su condición de construcción previa. INVIAS responde que la principal prioridad durante el Estado de Emergencia es la apertura de la vía, por tanto la restauración no se hace basándose en un rediseño. Durante un estado más adelantado, se pueden realizar mejoramientos, pero no durante la primera fase debido que es una respuesta inmediata.

GZ realizó las siguientes preguntas adicionales:

Se han realizados estudios de debilidad del suelo, incluyendo estudios de campo, pruebas de laboratorio, ensayos de resistencia al corte en planos de falla (paralelos a y cruzando la estratigrafía), análisis de ingeniería de estabilidad de taludes temporales y permanentes, evaluación de resistencia corte máximo y corte residual, particularmente en las áreas de deslizamientos?

Cuáles procedimientos de pruebas y evaluaciones de ingeniería estándar son usados para el proyecto Ruta del Sol?

- Esto depende de ciertos puntos en el caso de la experiencia individual del ingeniero.
- El código aplicable para puentes es la Código Nacional de Construcción Sismoresistente NSR – 10.
- El Código Nacional de Construcción Sismoresistente, fechado a Marzo de 2011 (Título H, sección H 2.3.2.1) el cual es similar al Código Japonés Sísmico – Estructural utilizado para diseño sísmico.
- La Página web del Ministerio de Transporte ([www.invias.gov.co](http://www.invias.gov.co)) contiene documentos técnicos de criterios y procedimientos con relación al diseño y construcción de vías en Colombia.
- Limitaciones en Laboratorios de Ensayos: No todos los laboratorios tienen el equipo adecuado. Los laboratorios frecuentemente requieren ensayos triaxiales (realizados en Brasil) para ensayos de resistencia al corte.

GZ pregunta sobre los Criterios Sísmicos Utilizados:

- NSR-10 para análisis estructurales.
- Para laderas y deformaciones de suelos: análisis pseudo-estáticos para estabilidad de laderas y análisis tipo Newark. Coeficientes sísmicos se estiman en un rango general entre 0.25 y 0.40; 0.25 en el área del proyecto.

# APÉNDICE 3

GEOTECNIA

## APÉNDICE 3.1

RESUMEN DE PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES, MOVIMIENTOS DE TIERRA Y CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS

## APÉNDICE 3.2A

SECCIONES GEOLÓGICAS DEL DISEÑO FASE 2 - RESUMEN DE GEOMETRÍA DE LADERAS Y ANGULO DE BUZAMIENTO APARENTE

## APÉNDICE 3.2B

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE PRINCIPALES CORTES Y RELLENOS

## APÉNDICE 3.3

RESUMEN DE POTENCIALES MECANISMOS DE FALLA, BASADO EN LA INTERPRETACIÓN DE SECCIONES GEOLÓGICAS Y GEOMETRÍA DEL DISEÑO FASE 2)

## APÉNDICE 3.4

RECOMENDACIONES GENERALES Y LINEAMIENTOS REGULATORIOS PARA CONSTRUCCIÓN EN ÁREAS PROPENSAS A DESLIZAMIENTOS Y ÁREAS DE ALTA SISMICIDAD

## APÉNDICE 3.5

PLANO GEOLÓGICO GENERAL

## APÉNDICE 3.6

INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DE IDEAM

Apéndice 3.1: Resumen de Elementos Estructurales Principales, Movimiento de Tierras y Consideraciones Geológicas

ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y GEOMETRIA					GEOLOGIA Y CONDICIONES DE SITIO					OTHER CONSIDERATIONS							
Identificación Estructuras Principales Tomado del Plano de Helios V: Viaducto P: Puente T: Túnel	Abscisa o Progresiva del Trazado [Comienzo - Final] (km+m) lado derecho (típico) d: derecho i: izquierdo	Longitud del Segmento (m)	Movimiento de Tierras - Máxima Altura de Corte/Relleno (m) y Abscisa o Altura del Puente  C: Corte, F: Relleno, M: Muro P: Altura del Pilar/Columna (i: izquierda, d: derecho)	Pendiente Promedio del Terreno (Vertical a Horizontal) o Tipo de Estructura y Longitud de Luces (m)  C: Corte F: Relleno PT: Post-tensionado (i: izquierda, d: derecha)	Cimentación de Estructuras Propuestas	Características Geográficas y Reservas Ecológicas Naturales	Estructura Geológica  FG: Falla Geológica L: Lineamiento (Posible Falla) A: Anticlinal S: Sinclinal [E: Este, O: Oeste]	Sección de Evaluación Específica Tomado de Helios	Tipo Predominante de Roca en la Sección Específica A partir de Mapas Geológicos de Helios (Provistos en Visita de Campo Julio, 2013)  Qco: Coluvión Qal: Aluvión Qr: Relleno  Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión) Ac: Areniscas calcáreas CLc: Calizas con Lodolitas calcáreas Lc: Lodolitas calcáreas Kiut: Formación Ulica Kitr: Formación Trinchera Kil: Formación Hiló Kgq: Grupo Guaguaqui Pgjs: Formación San Juan de Rio Seco Lut: Lutita [Ba: Buzamiento aparente(grades), i: izquierda, d: derecha, Dia: Diaclasa]	Exploración Geotécnica en el Segmento (Profundidad en m)  MG: Mapeo Geológico PP, PI, PM, PS: Barreno/Perforación T: Apique, LS: Línea Sísmica	Litología  Tomado de Datos Exploratorios y Mapas Geológicos de Helios S: Suelo Sr: Suelo Residual R: Roca Rm: Roca Meteorizada Lut: Lutitas	Manantiales, Agua Subterránea  NS: Fuentes naturales GW: Agua Subterránea	Amenazas Naturales  FT: Flujo de Tierras / Deslizamientos (i: izquierda, d: derecha, c: centro) [Material] CF: Factores Climáticos S: Factores Sísmicos W: Roca/Suelo Débil HGW: Nivel Elevado de Agua Subterránea  Tipo de Material Kigv: Grupo Guaguaqui Ac: Areniscas calcáreas Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión)	Resultados de Análisis Específicos en la Sección Tomado de Helios  FS: Factor de Seguridad FSPS: Factor de Seguridad Pseudo-estático (carga sísmica de 0.15g)	Medidas de Mitigación Previstas en Deslizamientos Identificados Tomado de Helios	Referencias	
---	0+000 - 0+120	120	F < 5m M: 4.6m @ 0+000-0+050-i C: 54m @ 0+000-d C: 62m @ 0+020-0+030-d C: 41m @ 0+120-d	Vertical 2.3:1 (C) 0.5:1 (C) 1.3:1 (C)	---	---	0+000	Qco/Kiut-Ac [Ba: 85°-d/i, Dia: 8°, 43-35°, 72-80°]	---	---	---	FT-1 @ 0+000 - 0+060(i) [Kigv-Ac] FT @ 0+080 - 0+110 (i)	---	FT-1: Estabilizar con muro de borde anclado	2361-00-DG-DW-PPT1-001D 2361-00-DG-DW-002-007-1/7 Mapa Geológico 2013		
---	0+120 - 0+380	260	C: 16m @ 0+250-d F: 20m @ 0+250-i C: 20m @ 0+265-d F: 22m @ 0+265-i	0.6:1 (C) 0.9:1 (F) 0.7:1 (C) 1:1 (F)	---	---	0+120 - 3+500 FG: Sistema de Fallas Quebrada Negra	0+200 (SecCr/i1)	Qr/Kitr	LS-1, LS-2	S(5-10m)	FT @ 0+190 - 0+220 (d-c) FT-2 @ 0+240 - 0+290 (c) [Qmf-3] FT @ 0+360 - 0+420 (d)	---	FT-2: Existe obra de gaviones. Terracear ladera, relleno con muros de borde o pilotes	2361-00-DG-DW-PPT1-001D 2361-00-DG-DW-002-007-2/7 Mapa Geológico 2013		
---	0+380 - 0+780	400	F: 31m @ 0+610-i C: 13m @ 0+650-d	0.5:1 (F) 1.9:1 (C)	---	---	0+610 0+650 0+860 0+900 0+915 0+945	Qco/Kiut-CLc,Ac,Lc [Ba: 57°-d] Qco/Kiut-Clac [Ba: 57°-d]	---	---	S(7m) S(5m)	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-001D Mapa Geológico 2013		
---	0+780 - 0+950	170	F: 20m @ 0+850-d	1.1:1 (F)	---	---	1+150 1+180	Qmf-3, Kiut-Clac [Ba: 35°-i] Qmf-3/Kitr-Lc [Ba: 34°-i]	---	---	Sr/Rm(6m) Lut(15%) Lut(70%)	FT @ 0+780 - 0+930 (d-c-i)	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-002D 2361-00-DG-DW-002-007-5/7 Mapa Geológico 2013		
---	0+950 - 1+220	270	F: 14m @ 1+010-i C: 47m @ 1+020-d C: 29m @ 1+070-d C: 17m @ 1+150-d C: 16m @ 1+180-d	0.6:1 (F) 0.4:1 (C) 0.4:1 (C) 0.6:1 (C) 0.3:1 (C)	---	---	1+490 1+630 1+640	Qmd-4, Qal/Kitr-Lc [Ba: 25°-i]	---	---	Sr(6m) S(0-10m), Rm(10-27m), R(27-31m), Lut(75%) Lut(55%)	FT @ 1+420 - 1+500 (1 c-d, 2 d) FT @ 1+530 - 1+570 (i-c) FT @ 1+590 - 1+605 (c-d)	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-002D 2361-00-DG-DW-002-007-5/7 Mapa Geológico 2013		
I-1	1+450 - 1+915 Intercambiador Villota	465	F: 14m @ 1+900-i	0.5:1 (F)	---	---	1+250 - 1+400 Quebrada El Cune	---	---	---	---	FT @ 1+360 - 1+390 (c-d)	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-002D 2361-00-DG-DW-PPT1-003D Mapa Geológico 2013		
P-1	Puente Intersección Villota Cruce @ 1+655	---	F: 5m @ Entrada detrás estribo F: 10m @ Salida detrás estribo (Rellenos detrás de estribos reforzados con materiales granulares)	Una luz simple, 39 m de largo PT: 3 Vigas tipo I	Estribos sobre vigas a nivel soportadas por 2 caissons, Ø 1.8m, 33m de longitud, extendidos como columnas de paredes traseras de estribos, anclados en rellenos de tierra de 5 a 7m de altura	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-003D Mapa Geológico 2013		
			F: 10m 1+635 @ 0+000 en el punto bajo del terreno F: 9m 1+635 @ 0+010 en el punto bajo del terreno F: 7m 1+635 @ 0+045 en el punto bajo del terreno F: 9m 1+635 @ 0+090 en el punto bajo del terreno F: 3.5m 1+635 @ 0+105 @ punto bajo del terreno F: 3. @ punto alto del terreno F: 3.5m 1+635 @ 0+150 en el punto bajo del terreno F: 2m @ punto alto del terreno F: 12m 1+635 @ 0+195 en el punto bajo del terreno F: 12m 1+635 @ 0+230 en el punto bajo del terreno Muros de tierra reforzados con pendiente altas F: 11m 1+635 @ 0+270 en el punto bajo del terreno Muros de tierra reforzados con pendiente altas en la sección longitudinal F: 11m +635 @ 0+284 en el punto bajo del terreno F: 3m muro vertical en el punto alto del terreno	0.7:1 (F) 0.7:1 (F) 0.3:1 (F) 0.3:1 (F) 0.5:1 (F) Muros verticales en D e I 0.5:1 (F) 0.7:1 (F) 0.5:1 (F) 0.7:1 (F) 0.7:1 (F)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1+635 @ 0+000 FSPS=1.0 Global 1+635 @ 0+010, FSPS=1.07 Global 1+635 @ 0+045, FSPS=1.3 Global 1+635 @ 0+090, FSPS=1.2 Global 1+635 @ 0+105, FSPS=1.8 Global 1+635 @ 0+150, FSPS=1.5 Global 1+635 @ 0+195, FSPS=1.0 Global 1+635 @ 0+230, FSPS=1.1 Global 1+635 @ 0+270, FSPS=1.25 Global 1+635 @ 0+284, FSPS=1.0 Global	---	---	---
P-2	1+915 - 2+154 Puente Quebrada El Cune	239	Estribos expuestos, caissons/columnas: 10-14m F: 10-12m P: 10-12m	Luces simples con cubierta de concreto compuesto con vigas de PT tipo I, 6 luces @ 4x40m+2x39.5m = 239m PT - 4 Vigas tipo I (d) PT - 3 Vigas tipo I (i) estribos: 0.4:1 (F)	Estribos generalmente sobre vigas a nivel con 2 caissons extendidos de 32m de longitud. Paredes traseras de estribos generalmente ancladas en rellenos reforzados. Relleno: 14m altura reforzado con geotextil. Cimentación de pilares: 4 caissons, Ø 1.5m, 25m de longitud a 4.5m	---	---	1+900 1+920 1+950 1+990 2+030 2+080 2+115 2+155	Qal/Kitr-Lc [Ba: 8°-i]	---	Sr(6m) S(0-4m), Rm(4-7m), R(4-18m), Lut(75%) S(0-4m), R(4-33m), Lut(90%) S(0-4m), Rm(4-10m), R(10-21m), Lut(80%) S(0-4m), R(4-18m), Lut(75%) PP-04A (18) PP-05A (31) PP-168 (28.5) PP-167 (28.5)	GW: Bentonita GW: NR GW: 4m GW: NR GW: NR GW: NR GW: NR	---	1+915: detrás del estribo a la entrada y salida - Alt 1 y Alt 2. Reforzado con geotextil, relleno en el lado alto o muro vertical reforzado	2361-00-DG-DW-PPT1-003D 2361-00-DG-DW-PPT1-004D Mapa Geológico 2013		
---	2+154 - 2+578	424	F: 13m @ 2+170-d F: 9m @ 2+200-i C: 19m @ 2+365-d C: 29m @ 2+415-d C: 30m @ 2+440-d C: 31m @ 2+475-d F: 12m @ 2+530-i	0.6:1 (F) 0.4:1 (F) 0.6:1 (C) 0.6:1 (C) 0.6:1 (C) 0.6:1 (C) 0.6:1 (F)	---	---	2+200 2+440	Qal/Kitr-Lc [Ba: 21°-i]	---	---	S(0-12m), Rm(12-18m), R(18-25m), Lut(50%)	GW: NR	FT @ 2+250 - 2+370 (3 c-i) FT @ 2+460 - 2+500 (c-i)	2+440: FS=1.65, FSPS=1.03	2361-00-DG-DW-PPT1-004D 2361-00-DG-DW-002-007-5/7 Mapa Geológico 2013		
P-3	d: 2+578 - 2+897 i: 2+561 - 2+920 Puente La Marceña	319	Estribos expuestos, caissons/columnas: 3-5m F: 4-6m P: 10-20m	Luces simples con cubierta de concreto compuesto con vigas de PT tipo I (d) 8 luces @ 6x40m+2x39.5m = 319m (i) 9 luces @ 7x40m+2x39.5m = 359m PT: 4 Vigas tipo I (d) @ 4m al centro PT: 3 Vigas tipo I (i) @ 4m al centro	Estribos generalmente sobre vigas a nivel con 2 caissons extendidos, 25m de longitud. Cimentaciones de pilares: 4 caissons, Ø 1.5m, 22m de longitud a 4.5m	---	---	2+540 2+560, 2+570 2+580 2+620 2+655 2+745 2+780 2+850 2+870 2+880 2+890	Qal/Kitr-Lc [Ba: 21°, 15°-i]	---	S(0-12m), R(12-29m), Lut(60%) Rm(5m) S(0-9m), R(9-24m), R(24-29m), Lut(70%) S(0-12m), Rm(12-21m), R(21-30m), Lut(60%) Lut(70%) S(0-5m), Rm(5-19m), R(19-22m), Lut(80%) S(0-11m), Rm(11-19m), Lut(60%) S(0-11m), Rm(11-22m), Lut(50%) S(0-5m), Rm(5-24m), Lut(80%) Sr/Rm(6m)	Bentonita GW: 3.6m GW: NR GW: 9m GW: NR GW: NR GW: NR GW: NR	FT @ 2+810 - 2+840 (i)	2+582	2361-00-DG-DW-PPT1-004D 2361-00-DG-DW-PPT1-005D 2361-00-DG-DW-002-007-5/7 Mapa Geológico 2013		





Apéndice 3.1: Resumen de Elementos Estructurales Principales, Movimiento de Tierras y Consideraciones Geológicas

ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y GEOMETRIA						GEOLOGIA Y CONDICIONES DE SITIO						OTHER CONSIDERATIONS				
Identificación Estructuras Principales Tomado del Plano de Helios V: Viaducto P: Puente T: Túnel	Abscisa o Progresiva del Trazado [Comienzo - Final] (km+m) lado derecho (típico) d: derecho i: izquierdo	Longitud del Segmento (m)	Movimiento de Tierras - Máxima Altura de Corte/Relleno (m) y Abscisa o Altura del Puente  C: Corte, F: Relleno, M: Muro P: Altura del Pilar/Columna (i: izquierda, d: derecho)	Pendiente Promedio del Terreno (Vertical a Horizontal) o Tipo de Estructura y Longitud de luces (m)  C: Corte F: Relleno PT: Post-tensionado (i: izquierda, d: derecha)	Cimentación de Estructuras Propuestas	Características Geográficas y Reservas Ecológicas Naturales	Estructura Geológica  FG: Falla Geológica L: Lineamiento (Posible Falla) A: Anticlinal S: Sinclinal [E: Este, O: Oeste]	Sección de Evaluación Específica Tomado de Helios	Tipo Predominante de Roca en la Sección Específica A partir de Mapas Geológicos de Helios (Provistos en Visita de Campo Julio, 2013)  Qco: Coluvión Qal: Aluvión Qr: Relleno  Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión) Ac: Areniscas calcáreas CLc: Calizas con Lodolitas calcáreas Lc: Lodolitas calcáreas Klut: Formación Ulica Klr: Formación Trinchera Klh: Formación Hiló Kgg: Grupo Guaguaqui Pgjs: Formación San Juan de Rio Seco Lut: Lutita  [Ba: Buzamiento aparente (grados), i: izquierda, d: derecha, Dia: Diaclasa]	Exploración Geotécnica en el Segmento (Profundidad en m)  MG: Mapeo Geológico PP, PI, PM, PS: Barreno/Perforación T: Apique LS: Línea Sísmica	Litología  Tomado de Datos Exploratorios y Mapas Geológicos de Helios S: Suelo Sr: Suelo Residual R: Roca Rm: Roca Meteorizada Lut: Lutitas	Manantiales, Agua Subterránea  NS: Fuentes naturales GW: Agua Subterránea	Amenazas Naturales  FT: Flujo de Tierras / Deslizamientos (i: izquierda, d: derecha, c: centro) [Material] CF: Factores Climáticos S: Factores Sísmicos W: Roca/Suelo Débil HGW: Nivel Elevado de Agua Subterránea  Tipo de Material Kgv: Grupo Guaguaqui Ac: Areniscas calcáreas Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión)	Resultados de Análisis Específicos en la Sección Tomado de Helios  FS: Factor de Seguridad FSPS: Factor de Seguridad Pseudo-estático (carga sísmica de 0.15g)	Medidas de Mitigación Previstas en Deslizamientos Identificados Tomado de Helios	Referencias
T-1	d: 12+382 - 14+630 i: 12+424 - 14+637 Túnel El Trigo	2248	Portal de entrada: C: 30m @ túnel derecho, C: 13m túnel izquierdo Portal de Salida: C: 40m túnel derecho, C: 29m túnel izquierdo Anclajes de roca - Max 7 niveles	---	Forma tipo herradura 12m ancho x 9m alto 4 derivas de construcción NATM	13+500 - 19+500 Reserva Ecológica Nacional de San Francisco	12+610 13+880 14+520	PT1-01 (150) PT1-02 (155) PT1-03 (68)	---	---	---	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-018D 2361-00-DG-DW-PPT1-019D 2361-00-DG-DW-PPT1-020D 2361-00-DG-DW-PPT1-021D Mapa Geológico 2013	
---	14+630 - 14+800	170	C: 40 m @ salida túnel F: 12m @ 14+760+	0.4 (C) 0.6:1 (F)	---	---	14+780 14+790	LS-18, LS-19 PP-032A (30)	---	S(0-5m), Rm(5-13m), R(13-30), Lut(80%)	GW: 3.5m	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-021D 2361-00-DG-DW-PPT1-022D Mapa Geológico 2013	
P-7	14+800 - 14+940 Puente Rio San Francisco Alto	140	F: 4-6m @ punto alto del terreno detrás estribo Estribos poco profundos, 4m desde parte superior del cemento 0-16m @ punto bajo del terreno - mitad de la luz	Longitud de arco de la luz= 140m Cables superior e inferior del arco en acero con vigas transversales sostenidas por ganchos 0.4:1 (F)	Cada estribo con 2 cimientos con un par de caissons de Ø 1.5m, 25m de longitud c/u, ambos cimientos atados con vigas de amarre	---	14+820 14+830 14+860 14+890 14+900 14+920	PP-283 (38) PP-33A (28) PP-284 (30) PP-34A (35) PP-285 (30) PP-35A (28)	---	Sr(0-40m) S(0-20m), Rm(20-28m), Lut(1%) S(0-21m), Rm(21-30m), Lut(0%) S(0-18m), Rm(18-35m), Lut(0%) S(0-24m), R(24-30m), Lut(0%) S(0-23m), Rm(23-28m), Lut(0%)	GW: 3.5m GW: 3.5m GW: 3.5m GW: 3.5m GW: 3.5m	---	14+780: detrás del estribo a la entrada y salida -Alt 1 y Alt 2, FSPS=1.2=1.3, muro vertical reforzado: FSPS=1.2	---	2361-00-DG-DW-PPT1-022D Mapa Geológico 2013	
---	14+940 - 15+140	200	F: 12m @ 15+020-d (galpones)	0.5:1 (F)	---	---	14+940	PP-286 (30)	---	S(0-14m), R(14-30m), Lut(0%)	GW: 3.5m	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-022D Mapa Geológico 2013	
T-2	d: 15+140 - 16+118 i: 15+125 - 16+160 Túnel La Cumbre	978	Portal de entrada: C: 15m @ túnel derecho, C: 16m @ túnel izquierdo Portal de salida:	Longitud túnel derecho: 978m Longitud túnel izquierdo: 1,035m Pasos: 3.15m de altura	Forma tipo herradura 12m ancho x 9m alto 4 derivas de construcción NATM	15+000 - 21+600 S: Sinclinal de Guaduas	15+510	PT2-04 (132)	---	---	GW: NR	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-024D Mapa Geológico 2013	
---	16+118 - 16+580	462	C: 18m @ salida del túnel F: 28m @ 16+350+ F: 17m @ 16+560+	0.4 (C) 1.0:1 (F) 0.5:1 (F)	---	16+460 Rio El Cajón	16+270 16+320 16+370 16+510 16+530 16+560	PP-288 (10) PP-290 (10) PP-291 (18.5) PP-292 (11) PP-293 (12) PP-294 (21)	---	Lut(0%) Lut(0%) Lut(0%) Lut(0%) Lut(0%)	GW: 9m	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-024D Mapa Geológico 2013	
---	16+580 - 17+740	1160	C: 40m @ 16+640-d C: 51m @ 16+750-d C: 49m @ 17+000-d C: 62m @ 17+110-d C: 78m @ 17+250-d C: 73m @ 17+270-d F: 29m @ 17+370+ F: 27m @ 17+420+ C: 59m @ 17+530-d C: 60m @ 17+630-d C: 55m @ 17+650-d	0.9:1 (C) 0.8:1 (C) 0.7:1 (C) 0.7:1 (C) 0.7:1 (C) 0.8:1 (C) 0.5:1 (F) 0.8:1 (F) 0.7:1 (C) 0.7:1 (C)	---	L @ 17+650 (sin nombre)	17+250 17+270	PS-011 (28.5)	---	Sr(3m) Qr/Lut [Ba: 15'-i]	---	---	---	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-024D 2361-00-DG-DW-PPT1-025D Mapa Geológico 2013
V-8	17+740 - 17+950 Viaducto El Guanál	210	Cimentación del estribo derecho en corte C: 8m @ punto alto del terreno detrás estribos Estribo izquierdo: F: 5m detrás estribos P1: 15m P2: 15m P3: 10m	Luces continuas 3 luces, 45, 90, 45 =110m y 1 luz simple de 30m Vigas de cajón PT balanceadas, construcción de voladizo Vigas de cajón de profundidad variable: 4m @ pilares en curva horizontal moderada	Estribos sobre vigas a nivel con 2 caissons de Ø 1.5m, 34m de longitud Cimentación de pilares: 4 caissons, Ø 1.4m, 31m de longitud en los dos pilares intermedios; 4 caissons, Ø 1.5m en pilares de luz simple	L @ 17+900 (sin nombre)	17+740 17+748 17+790 17+880 17+970 18+240	PP-301 (29.6) LS-20 PP-302 (14) PP-303 (30.5) PP-305 (19.35) PP-307 (18.9)	---	S(0-8m), Rm(8-30m), Lut(0%) --- S(0-14m) S(0-23m), Rm(23-30m), Lut(0%) S(0-18m), R(18-19m), Lut(0%) S(0-6m), Rm(6-19m), Lut(0%)	GW: 11m --- GW: NR GW: NR	FT-40 @ 17+250 - 17+290 (i-c)	FT-40: Estabilizar con terrazo y manejo de drenaje	---	2361-00-DG-DW-PPT1-026D Mapa Geológico 2013	
---	17+950 - 18+262	312	M: 3m @ 18+050-18+150+ F: 10m @ 18+020+	Vertical 0.5:1 (F)	---	---	18+270	LS-21	---	---	---	17+500-19+500 FT: Deslizamiento de San Francisco	---	---	2361-00-DG-DW-PPT1-026D Mapa Geológico 2013	
P-8	18+262 - 18+342 Puente Rio San Francisco Bajo	80	Estribo derecho C: 8m punto alto detrás estribos Estribo izquierdo: F: 5m detrás estribos Caissons expuestos 4m y rellenos detrás estribos P: 10-15m	Luces simples, derecha e izquierda 3 luces: 19.5-40-19.5m=79m Vigas PT tipo I, 2.2m de profundidad a 4m, vigas rectas en curva moderada	Estribos sobre vigas a nivel con 2 caissons extendidos @ entrada: 20m de longitud @ salida: 27m de longitud Cimentaciones de pilares: 2 caissons/columnas extendidas, Ø 1.5m @ 29 y 40m de longitud	18+200 Rio San Francisco	18+320 18+350 18+350 18+640 18+650	PP-306 (30) PP-308 (25.5) Qr/Arenisca [Ba: 3'-i] PP-309 (32.5) PS-18 (25) Qr/Arenisca [Ba: 63'-d]	---	S(0-8m), Rm(8-30m), Lut(0%) S(0-17m), Rm(17-23m), Lut(0%) --- S(0-24m), Rm(24-34m), Lut(0%) Lut(0%) Sr(4m)	GW: 7m GW: NR ---	---	18+270: detrás de la entrada y salida -Alt 1 y Alt 2	---	2361-00-DG-DW-PPT1-027D 2361-00-DG-DW-002-007-777 Mapa Geológico 2013	
---	18+342 - 19+150	808	F: 10m @ 18+580+ C: 70m @ 18+650-d C: 13m @ 18+650+ C: 58m @ 18+700+ M: 6.2m @ 18+840-18+900-d C: 73m @ 18+950+	0.6:1 (F) 2.3:1 (C) 2.2:1 (C) 2.3:1 (C) 2.4:1 (C)	---	---	19+480	Pgjs [Ba: 8'-i]	---	---	---	FT-41 @ 19+660 - 19+700 (d-c, i) [Qmf-3] FT-42 @ 19+710 - 19+730 (2 i) [Qmf-3]	FT-41: Revisar cortes. Estabilizar con terrazo y manejo de drenaje FT-42: Revisar cortes. Mejorar con rajón y manejo de drenaje	---	2361-00-DG-DW-PPT1-028D Mapa Geológico 2013	
---	19+150 - 19+730	580	F: 11m @ 19+180+ F: 17m @ 19+280+ F: 18m @ 19+480+ F: 20m @ 19+530+ F: 20m @ 19+640+	0.5:1 (F) 0.5:1 (F) 0.6:1 (F) 0.5:1 (F) 0.5:1 (F)	---	19+750 Quebrada El Capote	19+790	PS-19A (8)	---	---	---	FT-43 @ 19+860 - 19+890 (d-c) [Qmf-3] FT-44 @ 19+900 - 19+920 (d-c-i) [Qmf-3] FT-45 @ 20+230 - 20+270 (d-c) [Qmd-2]	FT-43, 44: Revisar cortes. Mejorar con rajón y manejo de drenaje FT-45: Estabilizar con terrazo y/o empadrazar. Limpiar y mejorar con rajón y manejo de drenaje	---	2361-00-DG-DW-PPT1-029D 2361-00-DG-DW-PPT1-030D Mapa Geológico 2013	
---	19+730 - 20+400	670	F: 20m @ 19+770+ C: 31m @ 20+210-d	0.5:1 (F) 0.7:1 (C)	---	20+100 - 20+300 Quebrada El Cangrejo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

Apéndice 3.1: Resumen de Elementos Estructurales Principales, Movimiento de Tierras y Consideraciones Geológicas

ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y GEOMETRIA						GEOLOGIA Y CONDICIONES DE SITIO						OTHER CONSIDERATIONS				
Identificación Estructuras Principales Tomado del Plano de Helios V: Viaducto P: Puente T: Túnel	Abscisa o Progresiva del Trazado [Comienzo - Final] (km+m) lado derecho (típico) d: derecho i: izquierdo	Longitud del Segmento (m)	Movimiento de Tierras - Máxima Altura de Corte/Relleno (m) y Abscisa o Altura del Puente  C: Corte, F: Relleno, M: Muro P: Altura del Pilar/Columna (i: izquierda, d: derecho)	Pendiente Promedio del Terreno (Vertical a Horizontal) o Tipo de Estructura y Longitud de luces (m)  C: Corte F: Relleno PT: Post-tensionado (i: izquierda, d: derecha)	Cimentación de Estructuras Propuestas	Características Geográficas y Reservas Ecológicas Naturales	Estructura Geológica  FG: Falla Geológica L: Lineamiento (Posible Falla) A: Anticlinal S: Sinclinal [E: Este, O: Oeste]	Sección de Evaluación Específica Tomado de Helios	Tipo Predominante de Roca en la Sección Específica A partir de Mapas Geológicos de Helios (Provisos en Visita de Campo Julio, 2013)  Qca: Coluvión Qal: Aluvión Qr: Relleno  Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión) Ac: Areniscas calcáreas CLc: Calizas con Lodolitas calcáreas Lc: Lodolitas calcáreas Kiu: Formación Ulica Ktr: Formación Trinchera Kih: Formación Hiló Kgq: Grupo Guaguaqui Pgsj: Formación San Juan de Rio Seco Lut: Lutita [Ba: Buzamiento Aparente(grados), i: izquierda, d: derecha, Dia: Diaclasa]	Exploración Geotécnica en el Segmento (Profundidad en m)  MG: Mapeo Geológico PP, PI, PM, PS: Barreno/Perforación T: Apique, LS: Línea Sísmica	Litología  Tomado de Datos Exploratorios y Mapas Geológicos de Helios S: Suelo Sr: Suelo Residual R: Roca Rm: Roca Meteorizada Lut: Lutitas	Manantiales, Agua Subterránea  NS: Fuentes naturales GW: Agua Subterránea	Amenazas Naturales  FT: Flujo de Tierras / Deslizamientos (i: izquierda, d: derecha, c: centro) [Material] CF: Factores Climáticos S: Factores Sísmicos W: Roca/Suelo Débil HW: Nivel Elevado de Agua Subterránea  Tipo de Material Kgv: Grupo Guaguaqui Ac: Areniscas calcáreas Qmf-: Material de flujo (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre aluvial, 3: sobre residual y coluvión) Qmd-: Material de deslizamiento (1: sobre suelo residual, 2: sobre coluvión, 3: sobre residual y coluvión)	Resultados de Análisis Específicos en la Sección Tomado de Helios  FS: Factor de Seguridad FSPS: Factor de Seguridad Pseudo-estático (carga sísmica de 0.15g)	Medidas de Mitigación Previstas en Deslizamientos Identificados Tomado de Helios	Referencias
---	20+400 - 21+100	700	F: 17m @ 20+480-i C: 20m @ 20+600-d C: 35m @ 20+710-d C: 24m @ 20+850-d	1.0:1 (F) 0.7:1 (C) 0.7:1 (C) 0.7:1 (C)	---	20+400 Quebrada Las Lajas  21+000 Quebrada Honda	L @ 20+900 (sin nombre)	20+960	PS-04A (22)	Lut(0%)	GW: NR	FT-46 @ 20+450 - 20+500 (2-i) [Qmd-4] FT-47 @ 20+640 - 20+710 (c-i) [Arenisca] FT-48 @ 20+740 - 20+800 (d-c) [Qmf-1] FT-49 @ 20+850 - 20+890 (d-c-i) [Qmf-1] FT @ 20+900 - 20+070 (2 i)	FT-46: Muro de borde FT-47: Muro de borde. Mejoramiento con terrazo y/o empadillaje FT-48: Mejoramiento con terrazo y manejo de drenaje FT-49: Crítico. Mejoramiento con terrazo y manejo de drenaje	2361-00-DG-DW-PPT1-030D 2361-00-DG-DW-PPT1-031D Mapa Geológico 2013		
P-9	d. 21+100 - 21+219 i. 21+165 - 21+284 Puente Quebrada Honda I	119	Entrada de estribos derecho e izquierdo C: 4m @ punto alto del terreno detrás estribo Salida estribos C: 4m @ salida estribo derecho F: 4m Salida izquierdo estribo P: 10-15m	Luces simples (d) 4 luces: 19.5-40-40-19.5m=119m (i) 3 luces: 39.5-40-39.5m=119m PT - Vigas tipo I, 2.2m de profundidad a 4m	Estribos sobre vigas a nivel con 2 caissons de 20m de longitud. Pilares de viga cabezal sobre 2 caissons extendidos, Ø 1.5m (d): 27, 33 y 27m de longitud (i): 31 y 36m de longitud	21+100 Quebrada Honda		21+120 21+150 21+190 21+210	PP-310 (35) PP-312A (28) PP-313 (27) PI-52A (35)	S(0-25m), Rm(25-35m), Lut(0%) S(0-21m), Rm(21-28m), Lut(0%) S(0-20m), Rm(20-27m), Lut(0%) Lut(0%)	GW: 10m GW: 1.7m GW: 4.5m GW: NR	FT-50 @ 21+100 - 21+180 (i-c-d) [Qmd-1] FT-51 @ 21+190 - 21+250 (d-c) [Qmd-1]	21+117	FT-50: Crítico. Puente FT-51: Puente	2361-00-DG-DW-PPT1-031D Mapa Geológico 2013	
---	21+219-21+310	91	F, C ≤ 5m	---	---	21+300 Quebrada Honda		21+310 21+350 21+390 21+440 21+470	PP-315 (35) PP-316 (18) PP-317 (18.5) PP-319 (15.5) PP-318 (15.2)	S(0-35m), Lut(0%) S(0-18m), Lut(0%) S(0-6m), R(6-18m), Lut(0%) S(0-10m), R(10-15m), Lut (0%) S(0-2m), R(2-15m), Lut(0%)	GW: 7m GW: NR GW: NR GW: NR GW: 15m	FT-52 @ 21+370 - 21+490 (d-c-i) [Qmf-1]	21+311	FT-52: Puente	2361-00-DG-DW-PPT1-031D Mapa Geológico 2013	
P-10	21+310 - 21+470 Puente Quebrada Honda II	160	F: 5m detrás entrada de estribos derecho e izquierdo (cimentación de estribos en corte) C: 8m detrás salida del estribo derecho F: 6m detrás salida del estribo izquierdo P1: 20m P2: 20m P3: 16m P4: 8m	Luces simples (d) 5 luces: 29.5-40-40-30-19.5m=159m (i) 5 luces: 29.5-40-40-40-29.5m=179m PT - 4-2.2m, vigas tipo I a 4m en curva horizontal moderada	Estribos sobre vigas a nivel con 2 caissons de Ø 1.5m, 15 m de longitud Cimentación de pilares: 4 caissons, Ø 1.5m, 15m de longitud	21+300 Quebrada Honda		21+540 21+600	PP-53A (21.5) PP-54A (21.7)		GW: NR GW: NR	FT-53 @ 21+530 - 21+600 (1 c-i, 3 d-c-i) [Qmf-1]		FT-53: Crítico. Muro patero con micropilotes	2361-00-DG-DW-PPT1-031D Mapa Geológico 2013	
---	21+470 - 21+600	130	F: 16m @ 21+540-i C: 36m @ 21+570-21+600-d	0.8:1 (F) 0.6:1 (C)	---	---		21+540 21+600	PP-53A (21.5) PP-54A (21.7)		GW: NR GW: NR	FT-53 @ 21+530 - 21+600 (1 c-i, 3 d-c-i) [Qmf-1]		FT-53: Crítico. Muro patero con micropilotes	2361-00-DG-DW-PPT1-031D Mapa Geológico 2013	



**Apéndice 3.2a: Secciones Geológicas Analizadas por Helios - Resumen de la Geometría de Taludes y Angulo de Buzamiento Aparente**

Sección Geológica		Figura No.	Costado Izquierdo de la Vía				Costado Derecho de la Vía				Angulo de Buzamiento Aparente (grados) d: derecha i: izquierda
No.	Abscisa (km+m)	Hoja en 2361-00-DG PP-T1-005D-	C: Corte F: Relleno AG: A nivel P: Puente V: Viaducto	Altura V (m)	Proyección Horizontal H (m)	Pendiente Promedio del Talud (V/H)	C: Corte R: Relleno AG: A nivel P: Puente V: Viaducto	Altura V (m)	Proyección Horizontal H (m)	Pendiente Promedio del Talud (V/H)	
1	0+000	1/31	F	3	3	Vertical	C	54	23	2.3	85-d
2	0+610	1/31	F	8	17	0.5	C	9	5	1.8	57-d
3	0+650	1/31	AG	---	---	---	C	13	7	1.9	57-d
4	0+900	2/31	F	5	12	0.4	F	9	3	3.0	35-i
5	1+180	2/31	F	2	2	1.0	C	16	50	0.3	34-i
6	1+900	3/31	F	14	29	0.5	F	7	14	0.5	8-i
7	2+440	4/31	C	2	2	1.0	C	30	53	0.6	21-i
8	2+560	4/31	P	---	---	---	P	---	---	---	15-i
9	2+570	4/31	P	---	---	---	P	---	---	---	15-i
10	2+880	5/31	P	---	---	---	P	---	---	---	17-d
11	3+320	5/31	C	19	18	1.1	C	25	58	0.4	22-d
12	3+350	5/31	C	21	19	1.1	C	20	54	0.4	22-d
13	3+850	6/31	F	28	28	1.0	C	6	6	1.0	27-d
14	4+180	6/31	P	---	---	---	P	---	---	---	30-d
15	5+530	8/31	C	20	16	1.3	C	25	21	1.2	27-i
16	5+800	9/31	C	22	16	1.4	C	50	38	1.3	26-i
17	6+610	10/31	P	---	---	---	P	---	---	---	32-i
18	7+370	11/31	AG	---	---	---	F	18	7	Vertical	65-i
19	8+030	12/31	C	6	3	2.0	C	21	14	1.5	74-d
20	10+270	15/31	C	22	9	2.4	C	85	43	2.0	23-i
21	11+050	16/31	P	---	---	---	P	---	---	---	21-d
22	12+330	18/31	V	---	---	---	V	---	---	---	25-i
23	17+270	25/31	C	3	6	0.5	C	73	95	0.8	15-i
24	18+350	27/31	AG	---	---	---	F	9	5	Vertical	63-d
25	18+650	27/31	C	13	6	2.2	C	70	30	2.3	2-d
26	19+480	28/31	F	18	12	1.5	C	9	12	0.8	8-d

Apéndice 3.2b: Resumen de las Características Geométricas de Taludes de Corte y Relleno Principales

Abscisa (km+m)	Figura No. Hoja en 2361-00-DG- DW-PPT1-	Taludes de Corte y Relleno Principales			
		C: Corte F: Relleno	Costado de la Vía d: derecha i: izquierda	Altura V (m)	Pendiente Promedio del Talud (V/H)
0+020	001D	C	d	62	0.5
0+030	001D	C	d	62	0.5
0+120	001D	C	d	41	1.3
0+250	001D	C	d	16	0.6
0+250	001D	F	i	20	0.9
0+265	001D	C	d	16	0.6
0+265	001D	F	i	22	1.0
0+610	001D	F	i	31	0.5
0+650	001D	C	d	13	1.9
0+850	002D	F	d	20	1.1
1+010	002D	F	i	14	0.6
1+020	002D	C	d	47	0.4
1+070	002D	C	d	29	0.4
1+150	002D	C	d	17	0.6
1+180	002D	C	d	16	0.3
1+900	003D	F	i	14	0.5
2+170	004D	F	d	13	0.6
2+200	004D	F	i	9	0.4
2+365	004D	C	d	19	0.6
2+415	004D	C	d	29	0.6
2+440	004D	C	d	30	0.6
2+475	004D	C	d	31	0.6
2+530	004D	F	i	12	0.6
2+900	005D	F	i	9	0.5
3+090	005D	C	d	17	0.6
3+100	005D	C	d	18	0.5
3+310	005D	C	d	25	0.4
3+320	005D	C	i	19	1.1
3+320	005D	C	d	25	0.4
3+350	005D	C	i	21	1.1
3+350	005D	C	d	20	0.4
3+390	005D	C	d	10	0.3
3+480	005D	F	i	11	0.4
3+500	005D	F	i	20	0.5
3+850	006D	F	i	28	1.0
3+910	006D	C	d	15	0.8
3+930	006D	C	d	25	1.2
3+990	006D	F	i	16	0.5
4+070	006D	C	d	20	1.3
4+350	007D	C	d	25	1.3
4+440	007D	F	i	13	0.5
4+490	007D	F	i	18	1.0
4+620	007D	C	d	12	1.2
4+750	007D	C	d	15	1.0
4+800	007D	C	d	17	1.2
5+190	008D	F	i	11	0.5
5+530	008D	C	i	20	1.3
5+530	008D	C	d	25	1.2
5+540	008D	C	i	20	1.3
5+570	008D	C	d	33	1.3
5+670	009D	C	d	22	0.9
5+800	009D	C	d	50	1.3
5+800	009D	C	i	22	1.4
6+150	009D	C	d	15	1.0
6+170	009D	C	d	34	1.3
6+400	010D	F	i	22	0.4
6+450	010D	C	d	22	1.2
6+450	010D	C	d	20	1.2
6+930	010D	F	i	21	0.5
7+030	011D	F	i	14	0.5
7+150	011D	C	i	22	1.4
7+370	011D	F	d	18	Vertical
7+840	012D	C	d	14	1.4
8+030	012D	C	d	21	1.5

Apéndice 3-2b. Resumen de las Características Geométricas de Taludes de Corte y Relleno Principales (Continuación)

Abscisa (km+m)	Figura No.	Taludes de Corte y Relleno Principales			
	Hoja en 2361-00-DG-DW-PPT1-	C: Corte F: Relleno	Costado de la Vía d: derecha i: izquierda	Altura V (m)	Pendiente Promedio del Talud (V/H)
8+160	012D	F	d	14	1.4
8+330	012D	F	i	18	0.6
8+340	012D	C	d	17	0.4
8+410	012D	C	d	17	0.4
9+340	014D	C	d	35	2.0
9+340	014D	C	d	62	2.0
9+380	014D	C	d	54	2.0
9+630	014D	F	i	23	1.0
9+740	014D	C	d	40	2.0
9+750	014D	C	d	42	2.0
10+200	015D	C	d	49	2.0
10+250	015D	C	d	85	2.0
10+270	015D	C	i	22	2.4
10+270	015D	C	d	85	2.0
10+330	015D	C	d	63	2.0
10+530	015D	C	d	45	1.5
10+670	016D	C	d	66	2.0
10+710	016D	C	i	33	1.9
11+130	016D	F	i	29	0.7
11+300	017D	C	d	50	2.0
11+400	017D	F	i	26	1.0
11+610	017D	C	d	43	1.8
12+100	018D	C	d	54	1.9
15+020	022D	F	i	12	0.5
16+350	024D	F	i	28	1.0
16+560	024D	F	i	17	0.5
16+640	024D	C	d	40	0.9
16+750	024D	C	d	51	0.8
17+000	025D	C	d	49	0.7
17+110	025D	C	d	62	0.7
17+250	025D	C	d	78	0.7
17+270	025D	C	d	73	0.8
17+370	025D	F	i	29	0.5
17+440	025D	F	i	27	0.8
17+530	025D	C	d	59	0.7
17+630	026D	C	d	60	0.7
17+650	026D	C	d	55	0.7
18+020	026D	F	i	10	0.5
18+580	027D	F	i	10	0.6
18+650	027D	C	d	70	2.3
18+650	027D	C	i	13	2.2
18+700	027D	C	i	68	2.3
18+950	028D	C	i	73	2.4
19+180	028D	F	i	11	0.5
19+280	028D	F	i	17	0.5
19+480	028D	F	i	18	0.6
19+530	028D	F	i	20	0.5
19+640	028D	F	i	20	0.5
19+770	029D	F	i	20	0.5
20+210	029D	C	d	31	0.7
20+480	030D	F	i	17	1.0
20+600	030D	C	d	20	1.0
20+710	030D	C	d	35	0.7
20+850	030D	C	d	24	0.7
21+540	031D	F	i	16	0.8
21+570	031D	C	d	36	0.6
21+600	031D	C	d	36	0.6

Apéndice 3.3: Resumen de Mecanismos de Falla Potenciales basado en la Interpretación de Secciones Geológicas y Diseño de la Geometría Propuesta (Fase 2)

Datos de la Sección Geológica Interpretada				Condiciones Geológicas				Diseño de la Vía (Fase 2)								Mecanismo de Falla Potencial de los Cortes y Taludes Naturales	Comentarios
No.	Abscisa (Km) [Orientación]	Localización Relativa a Estructuras o Características Geográficas	Exploraciones Geotécnicas (Perforaciones y Apiques) (*): Línea sísmica mas cercana de EuroEstudios (2009)	Hoja del Plano No. (2361-00-DG-DW-PP-T1-001D a 031D)	Unidad Geológica	Litología de Roca	Naturaleza y Espesor de los Suelos Superficiales (Espesor en metros)	Angulo de Buzamiento Aparente (grados) IS: En sentido del talud natural //: Casi paralelo al talud OS: Fuera del talud natural LP: Bloqueado en su lugar	Altura del Talud Natural V (m)	Angulo Promedio del Talud Natural (grados)	Movimiento de Tierras Propuesto C: Corte F: Relleno d: derecha, i: izquierda	Localización del Movimiento de Tierras del Lado del Talud Natural	Bermas de Talud en Corte (V,A,N) V: Espaciamiento vertical (m), A: Ancho N: Numero	Angulo de Buzamiento Aparente Favorable (F) o Adverso (A), Relativo al Corte (taludes izquierdo y derecho)			
<b>Parte 1 del Trazado: Abscisas K0+000 a K12+100 - En sentido ascendente desde Villeta</b>																	
1	0+000	Comienzo Tramo 1 en Villeta	*LS-1	1/31	Kiut-CLc	Calizas, Lutitas	Qcol (3)	-85 (IS) [87 (IS) @ K0+550]	-100	35-60	C(i)	A media ladera, hacia la izquierda	20, 3, 1	F, F	Cuña, bloque (//)		
2	0+610	A lo largo del Sistema de Fallas Quebrada Negra	-----	1/31	Kiut-CLc	Calizas, Lutitas	Qcol (5)	-23-24 (OS)	> 40 (80)	30	F(i)	A media ladera, hacia la izquierda	N/A	F, A	Suelos superficiales		
3	0+650	A lo largo del Sistema de Fallas Quebrada Negra	-----	1/31	Kiut-CLc, Kiut-Ac	Calizas, Lutitas	Qcal (5)	-56 (IS)	> 40 (80)	30	C(-d)	A media ladera, hacia la izquierda	15, 3, 1	F, F	Suelos superficiales	Corte riesgoso en coluvión	
4	0+910	A lo largo del Sistema de Fallas Quebrada Negra	PM-02, PI-02	2/31	Kiut-CLc	Calizas, Lutitas	Qmf-3 (5)	-35 (LP)	-110	25-60	F(i)	A media ladera, hacia la izquierda	-----	A, F	Suelos superficiales		
Perfil 1	1+180	Normal a la vía propuesta Cerca a la Quebrada del Cune (// Falla Quebrada Negra), Villa Banquita	Casi // a LS-1, Casi normal a LS-2	2/31	Kitr-LcC	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Sr-lut (10-15m)	-75 (LP)	-50	10-25	F(i), C(d)	A media ladera, hacia la izquierda	5, 3, 3	F	Suelos superficiales		
5a	1+180	Quebrada El Cune, Villa Banquita	PI-03, PI-66	2/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qmd-3 (5-7)	-34 (IS)	-30	15-20	F(i), C(d)	A media ladera, hacia la izquierda	5, 3, 3	F	1) Suelos superficiales 2) Cuña, bloque		
5b	1+490	Quebrada El Cune, Sur del Intercambiador Villeta	PP-268, PP-269	3/31	Kitr-Lc	Lutitas	WR (5), Qmd-4 (5)	-24 (IS) [36 (IS) @ K1+400]	-50	22-45	C (cajón)	Pie del talud, hacia la derecha	8, 3, 2	F, A	Suelos superficiales		
6	1+900	Entre I-1 y P1	PP-02, PP-2A	3/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qal (10)-R	7 (IS) [10 (IS) @ K1+600]	-30	23	F(i,d)	Pie del talud, hacia la derecha	-----	F, F	Suelos superficiales		
7	2+440	Entre P-1 y P-2	PP-198	4/31	Kitr-Lc	Lutitas	WR (8)	-20 (//)	-50	20	C (cajón)	A media ladera, hacia la izquierda	8, 3, 4	-F (//)	Cuña, bloque (//)		
8	2+560	Antes de P-2	PP-199, PP-200	4/31	Kitr-Lc	Lutitas	WR (5-7)	-20 (//)	-60	18	F(i)	A media ladera, hacia la izquierda	-----	-F (//), -F (//)	Cuña, bloque (//)		
9	2+570	Antes de P-2	PP-206, PP-270	4/31	Kitr-Lc	Lutitas	WR(5)	-20 (//)	-65	18	F(i)	Pi medio del talud, hacia la izquierda	-----	-F (//)	Cuña, bloque (//)		
10	2+880	Al final de P-2	PS-14	5/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qcol (9)-L,R	-17 (IS)	-50-80	15-35	F(i,d)	Pi medio del talud, hacia la izquierda	-----	F, F	Suelos superficiales, Cuña, bloque (//)		
11	3+320	Entre P-2 y P-3	PS-14, *LS-2	5/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qcol (10-15)-L,R, Qmf-2, SR/WR (15-20)	-22 (IS) [27R (IS) @ K3+100]	-65-80	15-25	C (cajón)	Parte superior del talud, hacia la izquierda	20, 3, 0	F, A	Suelos superficiales		
12	3+350	Entre P-2 y P-4	PP-140, PP-138	5/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qcol (10)-L,R, Qmf-2, SR/WR (15-20)	-22 (IS)	-30-70	20-40	C (cajón)	Parte superior del talud, hacia la izquierda	18, 3, 0	F, F	Suelos superficiales		
13	3+850	Entre P-2 y P-5	PP-140, PP-138	6/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qmd-1 (5-8), SR/WR (15-20)	-27 (IS)	-90	20-27	F(i)	A media ladera, hacia la izquierda	-----	-----	Suelos superficiales		
14	4+180	En P-3 (El Pencil)	PS-14, *LS-2	6/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qmf (3-4), SR/WR (15-20)	-24 (IS)	-60	10-20	F(i,d)	Pie del talud, hacia la izquierda	-----	F, F	Suelos superficiales		
15	5+530	Entre P-3 y P-5	*LS-3	8/31	Kitr-CLc	Calizas, Lutitas	Qcol (4m), Qmd (5m)-R	-25 (LP)	-35-60	20-25	C (cajón)	Parte superior del talud, hacia la izquierda	2, 3, 1	F, A	Cuña, bloque (//)		
16	5+800	Entre P-3 y P-5	PS-107	9/31	Kitr?	Lutitas	WR (5)	-25 (OS) [24 (OS) @ K5+500] [33 (OS) @ K5+900] [38 (OS) @ K6+150]	-50	-15-23	C (cajón)	A media ladera, hacia la izquierda	8, 3, 6	F, A	Cuña/bloque, sobre plano debilitado .	1) Cuña potencial en lutitas en corte de talud del lado derecho; 2) Suelos superficiales sobre parte superior de taludes del lado derecho	
17	6+610	Comienzo de P-5	PP-231, PP-271, *LS-4	10/31	Kitr-CLc	Calizas, Lutitas	WR (5)	[39 (OS) @ K6+400] [27 (OS) @ K6+600]	-50-110	-20-30	F (i)	A media ladera, hacia la izquierda	-----	F, -F (//)	Cuña, bloque (//)		
18	7+370	Entre P-5 y V-1	PM-58	11/31	Kitr-Lc	Lutitas	WR(6), Qmf-3(3-4)	-65 (IS)	-40	30	F(-d)	Cresta, parte superior del talud hacia la derecha	-----	-----	Suelos superficiales		
Perfil 2	7+850 [N38W]	En V-3, Vereda La Esmeralda, cerca a Sección Geológica normal a la vía	Casi // (15°) aLS-10, Casi normal a LS-11, *LS-5	11,12/31	Kitr-Lc	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Sr-Kitr (5-7)	-38 (IS) [60 (L) @ K7+400] [35 (IS) @ K7+900]	-80	-10-30	F(i), C(d)	Cresta, parte superior del talud hacia la derecha	5, 3, 1	F, A?	Suelos superficiales		
19	8+030	Luego de V-1 (K-8)		12/31	Kitr-Lc	Lutitas	Qmf-3 (3), hacia abajo del talud	-73 (IS)	> 120	8-22	C (cajón)	A media ladera, hacia la izquierda	8, 3, 2	-F?, F	Suelos superficiales		
Perfil 3	8+600[N30W]	En V-3 (Viaducto Palermo), Quebrada Los Barretos, Escuela Rural Palermo, Sección oblicua a la vía (35° NW)	Línea de refracción sísmica LS-12 oblicua a la Sección (25°) y LS-3 (normal), PI-07A, PP-8B, PP-06, *LS-6	13/31	Kitr	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Qcol (3-5), Sr-lut (5-10)	-77 (IS)	>90	-15-25	Cimentación del Viaducto	Pie del talud, hacia la izquierda	-----	F, A?	Suelos superficiales		
Perfil 4	8+570	En V-3 (Viaducto Palermo), Quebrada Los Barretos, Escuela Rural Palermo (Sección // a la vía, 100m SW)	Líneas de refracción sísmica LS-12 (oblicua a la Sección, 25°) y LS-3 (normal), PI-07A, PP-8B, PP-06, *LS-7	13/31	Kitr	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Qcol (5-10)	-42 (IS) [12R (IS) @ K9+380] [0 @ K9+450] [3 @ K9+750]	>100	-10-20	Cimentación del Viaducto	A media ladera, hacia la izquierda	-----	F, F?	Suelos superficiales		
20	10+270	Después de V-4	PS-001, PP-281, *LS-8, *LS-9	15/31	Kic-LcC	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Sr-lut (3-4)	-10 (OS) [23 (OS) @ K10+400] [13 (OS) @ K10+650]	-80-110	45	C (cajón)	Parte superior del talud, hacia la izquierda	20, 3, 4	-F, A	Cuña, bloque	1) Cuña potencial en lutitas en corte de talud del lado derecho; 2) Suelos superficiales sobre parte superior de taludes del lado derecho	
21	11+050	En V-5	PP-25B, PP-26B, *LS-10	16/31	Kih-LcC	Lutitas, con intercalaciones de Calizas	Sr, Qmf-1 (3)	-20 (IS) [25R @ K11+150] [0-10R @ K11+350] [10R @ K11+720]	>250	35-45	Puente C (cajón)	A media ladera	-----	F, A	Cuña		
22	12+330	Después de V-7	PP-349, PP-350, *LS-12	18/31	Kig	Lodolitas y Limolitas Calcáreas	Sr-Kig (3m)	-26 (OS) [37 @ K12+380] [36 @ K12+420]	>200	45-35	C (cajón)	Pie del talud	-----	A	Cuña, sub-horizontal		
<b>Parte 2 del Trazado: Abscisas K21+100 a K16+100 - Alto del Trigo (Túneles El Trigo, La Cumbre y Viaducto)</b>																	
<b>Parte 3 del Trazado: Abscisas K16+100 a K21+600 - sentido descendente a Guaduas</b>																	
23	17+270	Entre T-2 y V-8	PP-011, *LS-11	25/31	Pgh	Lutitas	Sr-lut (3m)	-14 (OS) [19 (OS) @ K16+330] [18 (OS) @ K17+200] [23 (OS) @ K17+420]	>200	25	C (cajón)	A media ladera	20, 3, 1	A	1) Suelos superficiales; 2) Cuña, bloque (sub-horizontal)		
24	18+350	Al final de P-7	PP-309, PP-306, *LS-17	27/31	Pgh	Areniscas	Sr-are	-3 (OS)	>50	15-20	F (dW)	A media ladera	-----	A	1) Suelos superficiales; 2) Cuña, bloque (sub-horizontal)		
25	18+650	Después de P-7	PS-18	27/31	Pgh	Areniscas	Sr-are (5m)	-62 (IS) [0] @ K19+000]	>160	45	C (cajón)	A media ladera	20, 3, 3	F	Suelos superficiales		
26	19+480	Reserva Natural de-San Francisco		28/31	Pgsj	Calizas?	Qcol (5m), derecho lado	-8 (OS) [9] @ K19+820] [13 (OS) @ K20+750] [7R @ K21+500]	>50	28	F	Pie del talud	-----	A	Cuña, bloque sub-horizontal		



Gall Zeidler Consultants  
 GEOTECHNICS | TUNNEL DESIGN | ENGINEERING

44345 Premier Plaza  
 Oficina 210  
 Ashburn, VA. 20147  
 USA  
 www.gzconsultants.com



AN	KZ	VG	08/26/2013	00	FINAL	
preparó	Revisó	Aprobó	Fecha	Rev.	Estado	Motivo de la revisión
Ingeniero Especialista:			Axel Nitschke, Ph.D, PE.		Ingeniero Principal: Vojtech Gall. Ph.D, PE.	
Registro N°:			VA 047029		Registro N°: VA 025740	
Estado de la emisión		Final				
Tipo de Documento		Informe				
Área/Actividad		Consultoría				
Título		RUTA DEL SOL – SECTOR 1 – TRAMO 1				
Sub-título		<b>Apéndice 3.4. Recomendaciones Generales de Construcción en Áreas de Deslizamientos y Alta Sismicidad</b>				
Nombre del Documento						
1011 R 001 S FINAL						

Ejemplos de normativas son proporcionados por el Servicio Geológico de California (CGS) en cooperación con la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) y el Centro de Terremotos del Sur de California (SCEC), Comité para la Mitigación y Análisis de los Deslizamientos de Tierra en California (Procedimientos Recomendado para la Aplicación de la Publicación Especial DMG 117 - Directrices para el Análisis y Mitigación de Amenaza de Deslizamientos en California, 2002) y la Publicación Especial 117A - Normas para la Evaluación y Mitigación de Riesgos Sísmicos en California (1997, revisada en 2008). Las condiciones geológicas en algunas zonas de California son comparables a las que prevalecen en toda Colombia, incluyendo el sitio del Proyecto. Tales condiciones incluyen regiones altamente sísmicas, rocas sedimentarias débiles propensas a deslizamientos y movimientos en masa y los terrenos montañosos.

Debido a que el análisis de la estático y sísmico estabilidad de taludes naturales y de origen humano es un problema geotécnico desafiante, las directrices generales mencionadas ofrecen una base para la orientación y la ayuda en el diseño y los niveles de los esfuerzos que se deben dedicar a la exploración del sitio, los ensayos in-situ y pruebas de laboratorio y los resultados de los análisis de estabilidad de taludes.

El propósito de estas directrices y normas generales es:

- Proteger la seguridad pública de los efectos de deslizamientos de tierra, movimientos telúricos fuertes, licuación y otras formas de falla del terreno
- Presentar directrices prácticas acerca de las evaluaciones de estabilidad de taludes cuya metodología se mezcle con el desarrollo del estado de la práctica para este tipo de análisis con la exploración del sitio, técnicas de muestreo y análisis de suelos que estén disponibles para los ingenieros, a pesar de que la intención no es necesariamente presentar los procedimientos más rigurosos posibles
- Indicar las ventajas de la participación tanto de ingenieros geólogos e ingenieros geotécnicos, que generalmente proporcionara mayor garantía de que los riesgos sean identificados, evaluados y mitigados
- Asegurar que el trabajo será ser realizado únicamente por profesionales con licencia o bajo la supervisión directa de profesionales con licencia (registrados y certificados por el Estado) que sean competentes en su respectiva área de práctica
- El ingeniero geólogo debe proveer aportes al ingeniero geotécnico con respecto al impacto potencial de la estructura geológica del subsuelo, estratigrafía y condiciones hidro-geológicas para la estabilidad del talud

#### Alcance de las Normas

- Estudio y revisión de información geológico publicada y no publicadas (tanto regionales como específicas de sitio) y fotografías aéreas estereoscópicas y oblicuas disponibles

- Mapeo de campo y exploraciones subuperficiales
- Análisis de los mecanismos geológicos de falla que podrían ocurrir en el sitio durante el período de vida útil del proyecto
- Presentación y análisis de los datos, incluyendo una evaluación de los posibles efectos de las condiciones geológicas en el proyecto

#### Requisitos de Evaluación de Datos de Agua Subterránea

El agua subterránea, si está presente en un talud o si puede desarrollarse durante la vida de un proyecto, se debe considerar en los análisis de estabilidad de taludes. El agua subterránea en un talud puede reducir los esfuerzos efectivos, causando una reducción en la resistencia al corte. El agua subterránea también puede aumentar las fuerzas de-estabilización en el talud por el peso adicional asociado con una masa húmeda o a través de fuerzas de infiltración. Por lo tanto, ambos, ingenieros y geólogos deben investigar la presencia de agua en el subsuelo y evaluar a fondo las consecuencias de las condiciones adversas del agua subterránea.

Ambas condiciones de estabilidad de taludes, estáticas y sísmicas, deben considerar en sus análisis el nivel del agua subterránea "después de la construcción", el cual puede ser superior al medido en el campo en el momento de la investigación de sitio. Los niveles de agua utilizados para el diseño se pueden estimar a partir de datos piezométricos disponibles, suficientes y adecuados; para futuras condiciones del nivel de agua subterráneo se puede estimar a partir de modelos analíticos.

#### Requisitos de Técnicas de Muestreo en Roca y Suelo

El muestreo del suelo y roca debe ser llevado a cabo como una función del tipo de material a ensayar y sus directrices se enumeran a continuación.

Roca estratificada o diaclasada con los planos o zonas de debilidad, tales como superficies debilitadas, indicadores de falla, discontinuidades, juntas relictas, juntas de arcilla, etc., las cuales controlan la resistencia y por lo tanto la estabilidad de los depósitos: el muestreo debe ejercerse muy cuidadosamente de manera que planos delgados o zonas de debilidad no sean omitidos. Estas muestras se pueden obtener de extracción de núcleos muestras o talla a mano para preservar la integridad de la muestra o muestras impulsadas en rocas no frágiles. Para el ensayo de corte, es esencial que el plano de falla este alineado con los planos de debilidad. Una estimación conservadora de los puntos fuertes a lo largo de superficies de la articulación inalteradas, se puede obtener por el pre-corte en el laboratorio de una muestra de roca intacta (creando una superficie "conjunta") y corte de la muestra en un dispositivo de corte directo a lo largo de la superficie suave de corte.

*La roca intacta* debe muestrearse mediante extracción o talla a mano con el fin de preservar la integridad de la muestra.

*Los suelos que contienen una cantidad significativa de grava, generalmente se muestrean por talla a mano o grandes especímenes, o por correlaciones con la resistencia a la penetración (martillo Becker o SPT, si es posible).*

#### Requisitos sobre Procedimientos de Evaluación de Resistencia

El comportamiento del suelo en corte es complejo y depende fuertemente de las condiciones de drenaje, esfuerzos efectivos de consolidación antes de la aparición del corte, trayectoria de esfuerzos seguido de corte (a su vez una función del OCR y la densidad del suelo). Se debe tener en cuenta: a) las condiciones de carga crítica drenada o no drenada para la estabilidad estática, b) la selección de los parámetros de esfuerzos totales o efectivos para caracterización de la resistencia al corte, c) la reducción de resistencia al corte post-pico; selección de la resistencia pico, última/completamente blanda o residual; d) la modificación de los parámetros de resistencia al corte derivados de laboratorio para considerar los efectos de deformación al corte y e) la incorporación de los efectos de anisotropía y presiones efectivas en la evaluación de los parámetros de resistencia al corte.

En cuanto a las consideraciones de diseño mencionados anteriormente, es recomendable evaluar las disposiciones específicas documentadas en Código Colombiano de Diseño Sismoresistente (NSR-10), Sección H, así como manuales de Estabilidad de Taludes del INVIAS, complementado según sea necesario por otras directrices propuestas de fuentes confiables a nivel internacional. Un conjunto de esas directrices internacionales fue elaborado por la ASCE/SCEC (STP 117A, 2002) para el Servicio Geológico de California (CGS) en los EE.UU. Una discusión completa de las directrices de la ASCE/SCEC sobre la selección de los parámetros de resistencia al corte para diferentes materiales geológicos está fuera del alcance de este informe. Sin embargo, se ofrece a continuación un resumen de los temas seleccionados de aplicación general a rocas sedimentarias en deslizamientos en zonas de alta sismicidad, como la zona del Proyecto de la Ruta del Sol, denominada, reducción de resistencia post-pico y efectos de anisotropía.

#### Requisitos sobre la Evaluación de la Reducción Post-Pico en los Valores de Resistencia al Corte

##### *Superficies de Deslizamiento Pre-Existentes:*

La resistencia al corte residual se debe utilizar en los materiales que han experimentado importantes deformaciones de corte anteriormente. Ejemplos de esto incluyen los materiales situados a lo largo deslizamientos pre-existentes que se deslizan a lo largo de superficies y planos de estratificación continua que probablemente hayan sido sujetos a un desplazamiento previo importante (por ejemplo, roca plegada que puede haber experimentado deslizamiento de flexión a lo largo de los planos de estratificación). La resistencia al corte residual debe ser utilizada en estos materiales, incluso si el desplazamiento relativo a lo largo de la discontinuidad ocurrió hace miles de años (Skempton y Petley, 1967). El nivel de



la deformación requerida para alcanzar la resistencia residual de los materiales geológicos, generalmente está en el orden de varios centímetros.

Reptación de Suelos Residuales (por ejemplo, cubierta de suelo antigua):

También puede haber alcanzado resistencias residuales debidas a la reptación/fluencia.

Juntas u Otras Discontinuidades en las Superficies:

La resistencia al corte residual no debe ser utilizada en las diaclasas u otras superficies de discontinuidad en materiales rocosos fracturados que no han experimentado un movimiento significativo.

Materiales de Grano-Fino de Baja Plasticidad ( $LL < 40$ ) que :

- No han experimentado significativa deformación de corte anteriormente y es poco probable que se sometan a meteorización durante la vida del proyecto. La resistencia pico puede ser utilizada.
- Es probable que sean sometidos a meteorización importante: la resistencia al corte se debe medir utilizando muestras de-agregadas mecánicamente para simular el proceso de meteorización física del suelo in-situ. La resistencia pico obtenida de este ensayo debe ser utilizada.

Materiales de Grano-Fino de Alta Plasticidad ( $LL > 60$ ): arcilla firme y roca arcillosa (por ejemplo, arcillolita, lutitas), por lo general fallan en esfuerzos de corte que son típicamente intermedios entre la resistencia totalmente ablandada y la residual (siempre que no hayan sido objeto de importantes deformaciones de corte anteriormente).

Materiales de Grano Fino de Plasticidad Media ( $40 < LL < 60$ ) (arcilla firme y roca arcillosa), las resistencias deben ser interpoladas entre el valor de pico no ajustado (que corresponde a  $LL = 40$ ) y el valor reducido para efectos de ablandamiento (reducción de resistencia) con crecientes deformaciones (que corresponde a  $LL = 60$ ).

Materiales Granulares Masivos, Cementados que se descomponen cuando se cortan más allá de una cierta deformación por corte, deben ser seleccionados teniendo en cuenta las posibles deformaciones que se producirán en el campo. La resistencia pico de esos materiales sólo pueden ser estimada confiablemente a través de ensayos de laboratorio de gran calidad en muestras “inalteradas”. Si estos materiales están fracturados, debe establecerse un valor razonable en base a una sólida evaluación geológica de la estructura geológica, en el uso de la resistencia para material de cementado no fracturado vs la resistencia a lo largo de las superficies de la articulación.

Requisitos de Conservación y Transporte de Muestras de Suelo y Roca (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, ASTM D4220 y D5079):

En general, las rocas sedimentarias de grano fino, ricas en arcilla, son muy susceptibles a los cambios de clima, particularmente de temperatura y condiciones de humedad del ambiente. Por lo tanto, los núcleos de muestras de esos materiales deben estar protegidas inmediatamente (cubiertas con fundas de plástico, cera, etc.) durante las operaciones de perforación de exploración, de manera que sus propiedades índice in situ (natural) y las propiedades de ingeniería preservadas para su examen futuro, ensayos de laboratorio y elaboración de recomendaciones adecuadas sobre las propiedades geomecánicas.

Por lo tanto, se requiere un cuidado especial para transportar y conservar temporalmente un núcleo de roca antes del ensayo (ASTM. D4220 y D5079) ya que algunos de estos materiales sensibles al clima (como las lutitas, arcillolitas, limolitas y lodolitas) se espera que sus propiedades de ingeniería se degraden significativamente. Además del deterioro de las propiedades de resistencia al corte, un cambio de la conductividad hidráulica saturada (permeabilidad) se puede esperar de un material que ha desarrollado grietas de desecación.

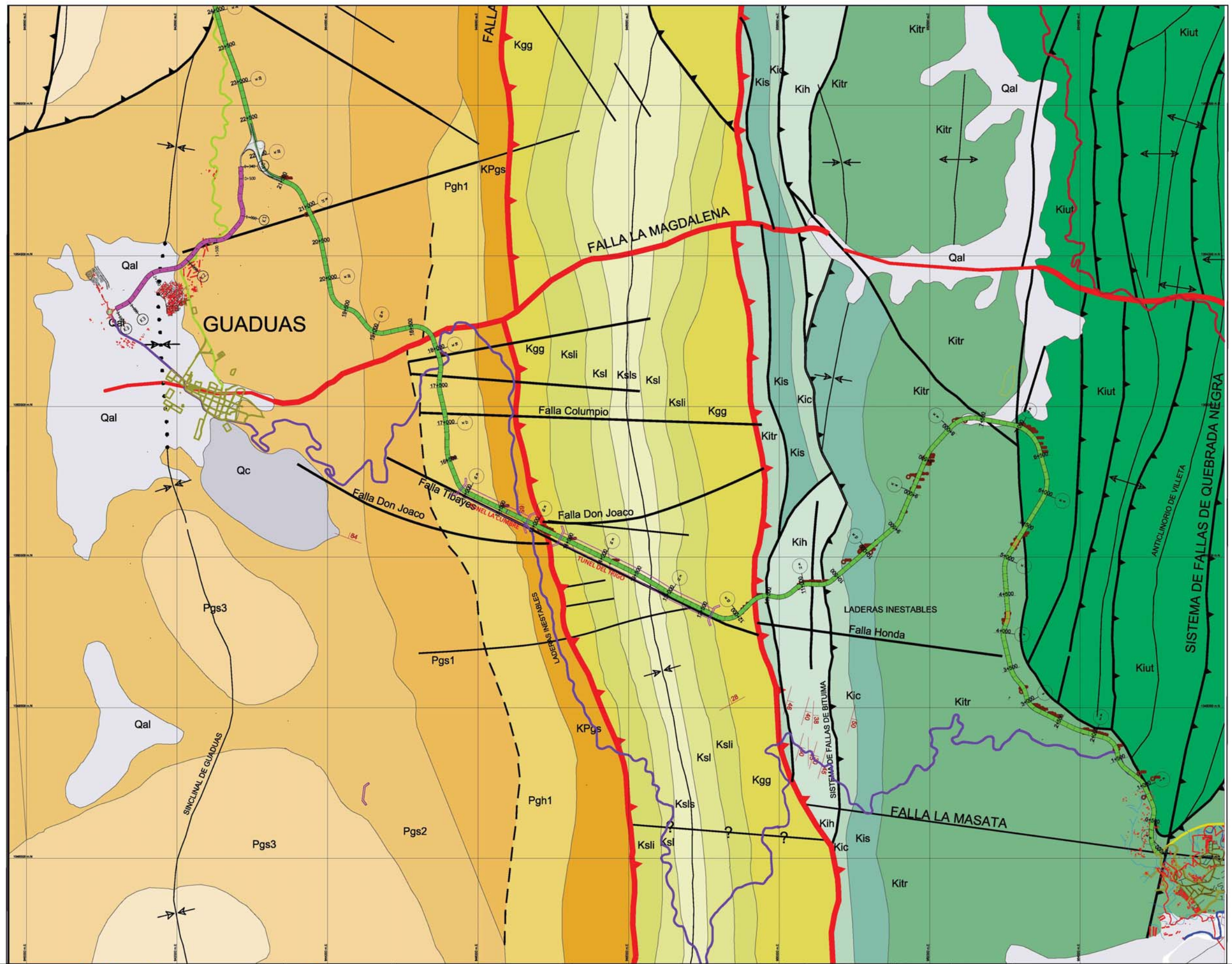
#### Anisotropía del Material:

El esfuerzo y la anisotropía de fábrica, así como zonas de corte preexistentes, pueden conducir a que la resistencia al corte dependa de la orientación del plano de falla. Los taludes con zonas de corte pre-existentes deberán analizarse utilizando resistencias en sentido longitudinal y transversal de los planos de estratificación aplicadas a las partes relevantes de la superficie de falla..

Para suelos aluviales relativamente homogéneos sometidos a una carga no drenada, los ensayos de laboratorio que cortan las muestras a través de planos horizontales (por ejemplo, ensayos triaxiales) suelen proporcionar estimaciones no conservadoras (altas) de la resistencia al corte a lo largo del plano 1 de falla real.

#### Equipo de Diseño de Ingeniería Geológica

El efecto individual y combinado de los factores enumerados anteriormente afectan las propiedades de ingeniería de suelos superficiales y roca sedimentaria y deben ser evaluados cuidadosamente por un equipo conformado por ambos, el ingeniero geólogo y el ingeniero geotecnista del proyecto para seleccionar las propiedades de ingeniería racionalmente, con base en los datos históricos disponibles, la evidencia de campo, los resultados de los ensayos geotécnicos de laboratorio y los detalles del diseño y la construcción propuesta. Este esfuerzo de cooperación, debe continuar en la fase de viabilidad, estudio, diseño y construcción para producir un diseño y construcción de estabilidad de taludes seguro, sostenible y más rentable.



**CONVENCIONES**

**PLANTA**

Pg. 4  
Pg. 3  
Pg. 2  
Pg. 1

**FORMACIÓN SAN JUAN DE RÍO SECO**

Pg. 4: Arenitas con intercalaciones de arenitas de cuarzo a subarenitas, de grano grueso a medio, en capas delgadas.

Pg. 3: Arenitas de cuarzo a subarenitas, de grano grueso a medio, usualmente conglomerado de granulos, en capas delgadas e intercalaciones de lodolitas.

Pg. 2: Alternancia de lodolitas y lodolitas en capas gruesas, con algunas capas de subarenitas de grano fino a grueso, en capas medias a gruesas.

Pg. 1: Arenitas conglomeradas y engrosadas granulos.

**FORMACIÓN HOYÓN**

Pg. 3: Conglomerados de guija a bloques polidicos, con intercalaciones de cuarcos arenitas y lodolitas.

Pg. 2: Arenitas con esporádicas capas de conglomerados polidicos de guijeros.

Pg. 1: Conglomerados polidicos, de guija y bloques, y macromolinos, en capas gruesas a muy gruesas.

**FORMACIÓN SECA**

Arenitas y lodolita parda grisáceo a rojo, con nodulos de caliche e intercalaciones de arenitas de cuarzo, de grano fino en capas subfinas.

**GRUPO OLINI**

Ksl: Formación Lito Superior.  
Litolita silicea, con intercalaciones de arenitas de cuarzo, de grano fino a medio, en capas delgadas a medias.

Ksl: Nivel de Lutitas y Arenitas.  
Litolita silicea, con intercalaciones de arenitas de cuarzo, de grano fino a medio, en capas delgadas a medias.

Ksl: Formación Lito Inferior.  
Capas delgadas de chert y litolita silicea en capas delgadas a medias, con estratificación ondulada no paralela.

**GRUPO GUAGUAQUÍ**

(Parte Superior)

Litolita calcárea, negra con concreciones calcáreas e intercalaciones de litolita silicea, a veces chert y caliche arenoso.

**FORMACIÓN HILO**

Litolita y lodolita calcárea, a veces silicea, con estratificación delgada a media, laminación plano paralela y esporádicas capas de micrita.

**FORMACIÓN CAPOTES**

Litolita y arenitas negras, con algunas niveles de concreciones.

**FORMACIÓN SOCOTÁ**

Lodolita y litolita silicea, a veces calcárea, con laminación ondulada y vertical e intercalaciones de arenitas de cuarzo, de grano fino a conglomerática, con cemento calcáreo, en secuencias gradadas.

**FORMACIÓN TRINCHERAS**

Lodolita negra, silicea y calcárea, con concreciones de tamaño variable e intercalaciones esporádicas de caliche.

**FORMACIÓN ÚTICA**

Arenitas arenosas a subarenitas finas a conglomeráticas, en secuencias gradadas con intercalaciones de lodolitas y litolitas negras y biomolinos en la parte superior de la unidad.

**Depositos Aluviales**  
**Depositos de Pendiente**















**APPENDIX 3.6 INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DE IDEAM**

Cod_desli	COD_DEPTO	DEPTO	COD_MPIO	MUNICIPIO	VEREDA	ANO	MES	DIA	LONGITUD	LATITUD	FUENTE_INF	FUENTE_REP
1821	25	Cundinamarca	25290	Fusagasuga	Vereda La Aguadita.	2011	Octubre	26	-74.329051	4.382074	DGR	Pág. Web DGR@consolidado Eventos Octubre 2011
1822	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 56+700	2011	Abril	14	-74.513763	5.020897	INVIAS	Portal Web INVIAS
1823	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) SECTOR PR 53	2011	Abril	18	-74.52901	5.011586	INVIAS	Portal Web INVIAS
1824	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) SECTOR PR 55	2011	Abril	18	-74.529347	5.025641	INVIAS	Portal Web INVIAS
1825	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) SECTOR PR 57	2011	Abril	18	-74.517708	5.017543	INVIAS	Portal Web INVIAS
1826	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) SECTOR PR 59	2011	Abril	18	-74.508184	5.027763	INVIAS	Portal Web INVIAS
1827	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR 51+200	2011	Abril	23	-74.536804	5.000195	INVIAS	Portal Web INVIAS
1828	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR 45+600	2011	Abril	23	-74.552758	5.031434	INVIAS	Portal Web INVIAS
1829	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR 48+000	2011	Abril	23	-74.541255	5.018136	INVIAS	Portal Web INVIAS
1830	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR 48+550	2011	Abril	23	-74.542187	5.014341	INVIAS	Portal Web INVIAS
1831	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR56+400	2011	Abril	23	-74.516142	5.019991	INVIAS	Portal Web INVIAS
1832	25	Cundinamarca	0	Villeta	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR56+700	2011	Abril	23	-74.513763	5.020897	INVIAS	Portal Web INVIAS
1833	25	Cundinamarca	0	Pacho	Casco urbano, Barrio El Tao	2011	Abril	21	-74.151753	5.137096	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1834	25	Cundinamarca	0	Pacho	Casco Urbano Pacho, Barrio Simón Bolívar	2011	Abril	29	-74.153753	5.130021	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1835	25	Cundinamarca	0	Saboya	Casco urbano , Cantoco sector casco urbano	2011	Mayo	11	-73.772	5.701465	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1836	25	Cundinamarca	0	Sasaima	casco urbano, Urbanizacion San Jose	2011	Enero	21	-74.438576	4.970806	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1837	25	Cundinamarca	0	Sasaima	Casco urbbano, Barrio San Antonio	2011	Marzo	24	-74.436585	4.960564	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1838	25	Cundinamarca	0	Silvania	Casco Urbano, Urbanizacion Altos de la Virgen y Villa Olímpica	2011	Abril	26	-74.436585	4.960564	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1839	25	Cundinamarca	0	Utica	Casco urbano	2011	Abril	18	-74.476514	5.186705	CAR	Corporación Autónoma de Cundinamarca
1840	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 24+500	2011	Abril	13	-74.634399	5.113099	INVIAS	Portal Web INVIAS
1841	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR20+600	2011	Abril	23	-74.642703	5.142958	INVIAS	Portal Web INVIAS
1842	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 20+0800	2011	Abril	23	-74.641831	5.141369	INVIAS	Portal Web INVIAS
1843	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008) PR 21+600	2011	Abril	23	-74.639507	5.134802	INVIAS	Portal Web INVIAS
1844	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 20	2011	Abril	18	-74.647944	5.15001	INVIAS	Portal Web INVIAS
1845	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 22	2011	Abril	18	-74.639626	5.131125	INVIAS	Portal Web INVIAS
1846	25	Cundinamarca	0	Guaduas	Honda -Villeta - Tobiagrande - Bogotá (5008). PR 24	2011	Abril	18	-74.636343	5.1153	INVIAS	Portal Web INVIAS
1884	0	Meta	0	Villavicencio	Sector La Nora km 10. Vía Villavicencio - Acacias	2011	Abril	17	-73.710574	4.069111	DGR	Pág. Web DGR@consolidado Eventos Abril 2011
1885	0	Meta	0	Villavicencio	Vereda Contadero km 93.	2011	Abril	29	-73.668363	4.170905	DGR	Pág. Web DGR@consolidado Eventos Abril 2011
1955	0	Santander	0	Gambita	Casco Urbano	2011	Abril	19	-73.342642	5.951737	Defensa Civil	Pág. Web Defensa Civil@consolidado Eventos Abril 2011
1956	0	Santander	0	Suratá	Casco urbano	2011	Mayo	8	-72.990598	7.37039	DGR	Pág. Web DGR@consolidado Eventos Mayo 2011

# APÉNDICE 4

RISK REGISTER

## APÉNDICE 4.1

PROBABILIDAD DE RIESGO DE MOVIMIENTOS EN MASA-  
RUTA DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO 1

## APÉNDICE 4.2

PROBABILIDAD DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS - RUTA  
DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO 1

## APÉNDICE 4.3

REGISTRO DE RIESGOS - RUTA DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO  
1

**APÉNDICE 4.1; PROBABILIDAD DE RIESGO DE MOVIMIENTOS EN MASA  
RUTA DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO 1**

Abscisa	Características de Diseño						Características Naturales				Total
	Altura de Cortes	Gradiente de corte (V/H)	Altura de rellenos	Gradiente de rellenos (V/H)	longitud empotrada en roca competente	Cercanía de las cimentaciones a Movimientos en Masa	Gradiente del terreno natural	Movimientos en masa históricos dentro de 200m	Espesor de materiales superficiales		
0+000 - 0+120	10	10	0	0			20	6	4	4	14
0+120 - 0+380	2	2	8	4			12	4	6	8	18
0+380 - 0+780	2	2	10	4			14	4	0	6	10
0+780 - 0+950	0	0	6	6			12	2	0	8	10
0+950 - 1+220	6	2	4	4			8	2	0	8	10
1+220 - 1+450	2	2	0	0			4	2	0	8	10
1+450 - 1+915	0	0	4	4			8	4	0	8	12
<b>Intercambiador Villeta</b>											
1+915 - 2+154	0	0	---	---	4	2	6	4	0	8	12
<b>Puente Quebrada El Cune</b>											
2+154 - 2+578	4	4	4	4			8	2	0	8	10
2+578 - 2+897	0	0	---	---	4	2	6	2	0	8	10
<b>Puente La Marcelina</b>											
2+897 - 3+400	2	6	4	4			8	2	8	10	20
3+400 - 4+120	2	6	10	6			16	2	10	8	20
4+120 - 4+259	0	0	---	---	6	8	14	4		10	14
<b>Puente El Pencil</b>											
4+259 - 4+570	2	6	6	6			12	2		8	10
<b>Peaje El Cune</b>											
4+570 - 5+200	2	6	4	4			8	2	8	10	20
5+200 - 5+299	0	0	---	---	8	2	10	1	0	8	9
<b>Puente Quebrada Corazón</b>											
5+299 - 6+610	8	6					14	4	0	6	10
6+610 - 6+869	0	0	---	---	8	2	10	2	0	8	10
<b>Puente Quebrada Los Cristales</b>											
6+869 - 8+000	2	6	8	4			12	4	10	10	24
8+000	---	---	---	---			0	---	0	---	---
<b>Viaducto K8</b>											
8+000 - 8+215	2	8	4	6			10	2	0	8	10
8+215 - 8+315	0	0	---	---	4	6	10	2	10	8	20
<b>Viaducto El Diamante</b>											
8+315 - 8+503	2	2	6	4			10	2	0	8	10
8+503 - 9+287	0	0	---	---	4	2	6	4	0	6	10
<b>Viaducto Palermo</b>											
9+287 - 9+834	10	10	8	6			20	4	10	8	22
9+834 - 10+132	0	0	---	---	10	10	20	4	10	6	20
<b>Viaducto La Esperanza</b>											
10+132 - 10+780	10	10					20	6	6	4	16
10+780 - 11+069	0	0	---	---	6	6	12	4	0	8	12
<b>Viaducto San Isidro</b>											
11+069 - 11+676	8	10	10	4			18	4	10	6	20
11+676 - 11+942	0	0	---	---	10	6	16	4	0	10	14
<b>Viaducto Quebrada Honda</b>											
11+942 - 12+150	8	8					16	6	8	4	18
12+150 - 12+319	0	0	---	---	4	2	6	4	10	0	14
<b>Viaducto El Trigo</b>											
12+319 - 12+382	2	4					6	4	0	3	
12+382 - 14+630	0	0	---	---			0	0	0	0	0
<b>Túnel El Trigo</b>											
14+630 - 14+800	4	2	4	4			8	4	0	6	10
14+800 - 14+940	0	0	---	---	10	2	12	2	0	10	12
<b>Puente Rio San Francisco Alto</b>											
14+940 - 15+140			4	4			8	2	0	10	12
15+140 - 16+118	0	0	---	---			0	0	0	0	0
<b>Túnel La Cumbre</b>											
16+118 - 16+580	2	2	10	6			16	2	0	4	6
16+580 - 17+740	10	4	10	4			14	4	4	4	12
17+740 - 17+950	0	0	---	---	4	2	6	4	0	10	14
<b>Viaducto El Guamal</b>											
17+950 - 18+262			4	4			8	2	0	6	8
18+262 - 18+342	0	0	---	---	10	2	12	4	0	10	14
<b>Puente Rio San Francisco Bajo</b>											
18+342 - 19+150	10	10	4	4			20	6	0	6	12
19+150 - 19+730			6	4			10	2	4	6	12
19+730 - 20+400	4	4	8	4			12	2	6	6	14
20+400 - 21+100	4	4	6	6			12	2	10	6	18
21+100 - 21+219	0	0	---	---	8	10	18	4	4	10	18
<b>Puente Quebrada Honda I</b>											
21+219 - 21+310	2	2	0	0			4	2	0	6	8
21+310 - 21+470	---	---	---	---	4	10	14	4	10	0	14
<b>Puente Quebrada Honda II</b>											
21+470 - 21+600	4	4	6	4			10	4	10	4	18

Para los propósitos de evaluación de probabilidad, dos grupos de criterios fueron desarrollados, el Criterio de Diseño con el objetivo de enfocar el efecto de propiedades inherentes al diseño estructural, y el criterio de las Características Naturales para tener en consideración los efectos de la configuración geomorfológica en el manejo del riesgo. Para evitar sesgos en el análisis, factores de ponderación no se adicionaron a los criterios, ya que se consideran con la misma contribución.

Al momento de llenar las celdas valorando los criterios para el cálculo de probabilidad incluido en el Apéndice 4.1, se hicieron los siguientes ajustes:

- Se desarrollaron secciones con sección transversal similar para facilitar la evaluación del trazado y evitar repeticiones innecesarias.
- Secciones con estructuras de baja vulnerabilidad con respecto a las amenazas examinadas, bajo el límite de corte inferior de cada criterio no se examinaron y se les dio un valor plano de 2. Secciones con un valor de 0 representan áreas con verdadera mínima probabilidad y riesgo como las secciones de túnel en el trazado.
- Secciones transversales cruzadas como corte-relleno se valoraron basándose en la estructura más vulnerable para evitar que inadvertidamente el análisis virara un acercamiento optimista.
- Una sección que incluía fallas agrupadas o características de pérdida de material se clasificó junto a la clase siguiente en vez de en la clase de cada característica por sí sola.
- Secciones con movimientos en masa o deslizamientos mayores al límite de impacto mayor recibieron una valoración de 10, sin considerar el criterio remanente.
- Datos adicionales de gradiente de laderas naturales, y ángulos de buzamiento aparentes, fueron extraídos de los mapas topográficos y geológicos incluidos en el diseño.
- Secciones con ángulo de buzamiento con un componente favorable hacia la ladera se les asignó el valor de 0 para el criterio particular.
- Las magnitudes de movimiento de masas y deslizamientos se estimaron basándose en los datos incluidos en el Estudio Geológico para Ingeniería y Geotecnia realizado por CVH.

La probabilidad calculada con expresiones matemáticas incluidas en el capítulo 9 para las amenazas de movimiento en masa y deslizamientos representa la probabilidad del escenario de impacto moderado. La probabilidad para el escenario de alto impacto se generó escalando hacia abajo la probabilidad media de impacto hacia el nivel inmediatamente inferior. La probabilidad de Impacto medio-bajo se mantuvo baja para el escenario de alto impacto. La excepción a este procedimiento es el antes mencionado caso de movimiento en masa y deslizamientos que exceden el límite máximo de impacto. Estas secciones mantuvieron un valor de 10, e identificaron la sección correspondiente como Alto Impacto / Alta Probabilidad.

APÉNDICE 4.2: PROBABILIDAD DE RIESGO A DESLIZAMIENTOS - RUTA DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO 1

Abscisa	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO						CARACTERÍSTICAS NATURALES						
	Altura de Cortes	Gradiente de corte (V/H)	Altura de rellenos	Gradiente de rellenos (V/H)	longitud empotrada en roca competente	Cercanía de las cimentaciones a Movimientos	Total	Gradiente del terreno natural	Movimientos en masa históricos dentro de 200m	Ángulo de buzamiento	Porcentaje de Lutita	Fallas	Total
0+000 - 0+120	10	10	0	0			20	6		0	0	10	16
0+120 - 0+380	2	2	8	4			12	4		0	4	6	14
0+380 - 0+780	2	2	10	4			14	4		4	8	6	22
0+780 - 0+950	0	0	6	6			12	2		6	8	8	24
0+950 - 1+220	6	2	4	4			8	2		6	8	8	24
1+220 - 1+450	2	2	0	0			4	2		6	8	8	24
1+450 - 1+915	0	0	4	4			8	4		4	8	6	22
<b>Intercambiador Villeta</b>													
1+915 - 2+154	0	0	---	---	4	2	6	4		4	10	6	24
<b>Puente Quebrada El Cune</b>													
2+154 - 2+578	4	4	4	4			8	2		4	8	6	20
2+578 - 2+897	0	0	---	---	4	2	6	2		4	8	6	20
<b>Puente La Marcelina</b>													
2+897 - 3+400	2	6	4	4			8	2	10	4	8	6	30
3+400 - 4+120	2	6	10	6			16	1		0	8	6	15
4+120 - 4+259	0	0	---	---	6	10	16	4	10		8	6	28
<b>Puente El Pencil</b>													
4+259 - 4+570	2	6	6	6			12	2		0	6	6	14
<b>Peaje El Cune</b>													
4+570 - 5+200	2	6	4	4			8	1		4	6	6	17
5+200 - 5+299	0	0	---	---	8	2	10	1		4	8	6	19
<b>Puente Quebrada Corazón</b>													
5+299 - 6+610	8	6					14	4		6	4	6	20
6+610 - 6+869	0	0	---	---	8	2	10	2		6	10	6	24
<b>Puente Quebrada Los Cristales</b>													
6+869 - 8+000	2	6	8	4			12	4		6	4	6	20
8+000	---	---	---	---			0	---		---	4	0	4
<b>Viaducto K8</b>													
8+000 - 8+215	2	8	4	6			10	2		6	4	0	12
8+215 - 8+315	0	0	---	---	4	2	6	2		---	6	0	8
<b>Viaducto El Diamante</b>													
8+315 - 8+503	2	2	6	4			10	2		0	8	0	10
8+503 - 9+287	0	0	---	---	4	2	6	4		0	6	0	10
<b>Viaducto Palermo</b>													
9+287 - 9+834	10	10	8	6			20	4		0	4	0	8
9+834 - 10+132	0	0	---	---	10	2	12	4		4	10	0	18
<b>Viaducto La Esperanza</b>													
10+132 - 10+780	10	10					20	6		4	8	0	18
10+780 - 11+069	0	0	---	---	6	2	8	4		4	8	10	26
<b>Viaducto San Isidro</b>													
11+069 - 11+676	8	10	10	4			18	4		0	10	10	24
11+676 - 11+942	0	0	---	---	10	2	12	4		0	10	10	24
<b>Viaducto Quebrada Honda</b>													
11+942 - 12+150	8	8					16	6		4	10	8	28
12+150 - 12+319	0	0	---	---	4	2	6	4		6	10	4	24
<b>Viaducto El Trigo</b>													
12+319 - 12+382	2	4					4	4		6	4	4	18
12+382 - 14+630	0	0	---	---			0	0		0	0	4	4
<b>Túnel El Trigo</b>													
14+630 - 14+800	4	2	4	4			8	4		6	6	10	26
14+800 - 14+940	0	0	---	---	10	2	12	2		6	0	10	18
<b>Puente Río San Francisco Alto</b>													
14+940 - 15+140			4	4			8	2		0	0	10	12
15+140 - 16+118	0	0	---	---			0	0		0	0	0	0
<b>Túnel La Cumbre</b>													
16+118 - 16+580	2	2	10	6			16	2		4	0	0	6
16+580 - 17+740	10	4	10	4			14	4		4	0	4	12
17+740 - 17+950	0	0	---	---	4	2	6	4		4	0	4	12
<b>Viaducto El Guamal</b>													
17+950 - 18+262			4	4			8	2	10	4	0	10	26
18+262 - 18+342	0	0	---	---	10	10	20	4	10	4	0	8	26
<b>Puente Río San Francisco Bajo</b>													
18+342 - 19+150	10	10	4	4			20	6	10	0	0	4	20
19+150 - 19+730			6	4			10	1		0	0	0	1
19+730 - 20+400	4	4	8	4			12	1		4	0	0	5
20+400 - 21+100	4	4	6	6			12	1		4	0	4	9
21+100 - 21+219	0	0	---	---	8	2	10	4		0	0	0	4
<b>Puente Quebrada Honda I</b>													
21+219 - 21+310	2	2	0	0			4	2		0	0	0	2
21+310 - 21+470	---	---	---	---	4	2	6	4		0	0	0	4
<b>Puente Quebrada Honda II</b>													
21+470 - 21+600	4	4	6	4			10	6		0	0	0	6

Para los propósitos de evaluación de probabilidad, dos grupos de criterios fueron desarrollados, el Criterio de Diseño con el objetivo de enfocar el efecto de propiedades inherentes al diseño estructural, y el criterio de las Características Naturales para tener en consideración los efectos de la configuración geomorfológica en el manejo del riesgo. Para evitar sesgos en el análisis, factores de ponderación no se adicionaron a los criterios, ya que se consideran con la misma contribución.

Al momento de llenar las celdas valorando los criterios para el cálculo de probabilidad incluido en el Apéndice 4.1, se hicieron los siguientes ajustes:

- Se desarrollaron secciones con sección transversal similar para facilitar la evaluación del trazado y evitar repeticiones innecesarias.
- Secciones con estructuras de baja vulnerabilidad con respecto a las amenazas examinadas, bajo el límite de corte inferior de cada criterio no se examinaron y se les dio un valor plano de 2. Secciones con un valor de 0 representan áreas con verdadera mínima probabilidad y riesgo como las secciones de túnel en el trazado.
- Secciones transversales cruzadas como corte-relleno se valoraron basándose en la estructura más vulnerable para evitar que inadvertidamente el análisis virara un acercamiento optimista.
- Una sección que incluya fallas agrupadas o características de pérdida de material se clasificó junto a la clase siguiente en vez de en la clase de cada característica por sí sola.
- Secciones con movimientos en masa o deslizamientos mayores al límite de impacto mayor recibieron una valoración de 10, sin considerar el criterio remanente.
- Datos adicionales de gradiente de laderas naturales, y ángulos de buzamiento aparentes, fueron extraídos de los mapas topográficos y geológicos incluidos en el diseño.
- Secciones con ángulo de buzamiento con un componente favorable hacia la ladera se les asignó el valor de 0 para el criterio particular.
- Las magnitudes de movimiento de masas y deslizamientos se estimaron basándose en los datos incluidos en el Estudio Geológico para Ingeniería y Geotecnia realizado por CVH.

La probabilidad calculada con expresiones matemáticas incluidas en el capítulo 9 para las amenazas de movimiento en masa y deslizamientos representa la probabilidad del escenario de impacto moderado. La probabilidad para el escenario de alto impacto se generó escalando hacia abajo la probabilidad media de impacto hacia el nivel inmediatamente inferior. La probabilidad de impacto medio-bajo se mantuvo baja para el escenario de alto impacto. La excepción a este procedimiento es el antes mencionado caso de movimiento en masa y deslizamientos que exceden el límite máximo de impacto. Estas secciones mantuvieron un valor de 10, e identificaron la sección correspondiente como Alto Impacto / Alta Probabilidad.

APÉNDICE 4.3: REGISTRO DE RIESGOS - RUTA DEL SOL, SECTOR 1, TRAMO 1

	Movimientos en Masa					Deslizamientos				Riesgo Resultante		
	Abscisa	Prob. De Impacto Medio	Riesgo de Impacto Medio	Prob. De Impacto Alto	Impacto de Riesgo Alto	Prob. De Impacto Medio	Riesgo de Impacto Medio	Prob. De Impacto Alto	Impacto de Riesgo Alto	Movimiento en Masa	Deslizamientos	Inundaciones
0+000 - 0+120	60	6.83	3	3.83	2	6	2	3	2	3	2	
0+120 - 0+380	250	6.00	2	3.00	2	4	2	1	1	2	2	
0+380 - 0+780	580	4.83	2	1.83	1	6	2	3	2	2	2	
0+780 - 0+950	865	4.47	2	1.47	1	5	2	2	2	2	2	
0+950 - 1+220	1,085	3.65	1	0.65	1	4	2	1	1	1	2	
1+220 - 1+450	1,335	2.58	1	0.00	1	3	1	0	1	1	1	
1+450 - 1+915 Intercambiador Villeta	1,683	4.00	1	1.00	1	4	2	1	1	1	2	
1+915 - 2+154 Puente Quebrada El Cune	2,035	3.46	1	0.46	1	4	1	1	1	1	1	
2+154 - 2+578	2,366	3.65	1	0.65	1	4	1	1	1	1	1	
2+578 - 2+897 Puente La Marcelina	2,738	3.16	1	0.16	1	3	1	0	1	1	1	
2+897 - 3+400	3,149	5.16	2	2.16	2	10	4	10	5	2	5	
3+400 - 4+120	3,760	7.30	3	4.30	3	5	2	2	1	3	2	
4+120 - 4+259 Puente El Pencil	4,190	5.72	2	2.72	2	10	4	10	5	2	5	
4+259 - 4+570 Peaje El Cune	4,415	4.47	2	1.47	1	4	2	1	1	2	2	
4+570 - 5+200	4,885	5.16	2	2.16	2	4	1	1	1	2	1	
5+200 - 5+299 Puente Quebrada Corazón	5,250	3.87	1	0.87	1	4	2	1	1	1	2	
5+299 - 6+610	5,955	4.83	2	1.83	1	5	2	2	2	2	2	
6+610 - 6+869 Puente Quebrada Los Cristales	6,740	4.08	2	1.08	1	5	2	2	1	2	2	
6+869 - 8+000	7,435	6.93	3	3.93	2	5	2	2	1	3	2	
8+000 - 8+215	8,108	4.08	2	1.08	1	3	1	0	1	2	1	
8+215 - 8+315 Viaducto El Diamante	8,265	10.00	4	10.00	5	2	1	-1	1	5	1	
8+315 - 8+503	8,409	4.08	2	1.08	1	3	1	0	1	2	1	
8+503 - 9+287 Viaducto Palermo	8,895	3.16	1	0.16	1	2	1	-1	1	1	1	
9+287 - 9+834	9,561	10.00	4	10.00	5	4	1	1	1	5	1	
9+834 - 10+132 Viaducto La Esperanza	9,983	10.00	4	10.00	5	5	2	2	1	5	2	
10+132 - 10+780	10,456	7.30	3	4.30	3	6	2	3	2	3	2	
10+780 - 11+069 Viaducto San Isidro	10,925	4.90	2	1.90	1	5	2	2	1	2	2	
11+069 - 11+676	11,373	10.00	4	10.00	5	7	3	4	2	5	3	
11+676 - 11+942 Viaducto Quebrada Honda	11,809	6.11	3	3.11	2	5	2	2	2	3	2	
11+942 - 12+150	12,046	6.93	3	3.93	2	7	3	4	2	3	3	
12+150 - 12+319 Viaducto El Trigo	12,235	10.00	4	10.00	5	4	1	1	1	5	1	
12+319 - 12+382	12,351	0.00	1	0.00	1	3	1	0	1	1	1	
12+382 - 14+630 Túnel El Trigo	13,506	0.00	1	0.00	1	0	1	0	1	1	1	
14+630 - 14+800	14,715	3.65	1	0.65	1	5	2	2	1	1	2	
14+800 - 14+940 Puente Río San Francisco Alto	14,870	4.90	2	1.90	1	5	2	2	1	2	2	2
14+940 - 15+140	15,040	4.00	1	1.00	1	3	1	0	1	1	1	
15+140 - 16+118 Túnel La Cumbre	15,629	0.00	1	0.00	1	0	1	0	1	1	1	
16+118 - 16+580	16,349	4.00	1	1.00	1	3	1	0	1	1	1	
16+580 - 17+740	17,160	5.29	2	2.29	2	4	2	1	1	2	2	
17+740 - 17+950 Viaducto El Guamal	17,845	3.74	1	0.74	1	3	1	0	1	1	1	
17+950 - 18+262	18,106	3.27	1	0.27	1	10	4	10	5	1	5	
18+262 - 18+342 Puente Río San Francisco Bajo	18,302	5.29	2	2.29	2	10	4	10	5	2	5	
18+342 - 19+150	18,746	6.32	3	3.32	2	10	4	10	5	3	5	
19+150 - 19+730	19,440	4.47	2	1.47	1	1	1	-2	1	2	1	
19+730 - 20+400	20,065	5.29	2	2.29	2	2	1	-1	1	2	1	
20+400 - 21+100	20,750	6.00	2	3.00	2	3	1	0	1	2	1	
21+100 - 21+219 Puente Quebrada Honda I	21,160	7.35	3	4.35	3	2	1	-1	1	3	1	
21+219 - 21+310	21,265	2.31	1	-0.69	1	1	1	0	1	1	1	
21+310 - 21+470 Puente Quebrada Honda II	21,390	10.00	4	7.00	4	2	1	0	1	4	1	
21+470 - 21+600	21,535	5.48	2	2.48	2	2	1	-1	1	2	1	

Para los propósitos de evaluación de probabilidad, dos grupos de criterios fueron desarrollados, el Criterio de Diseño con el objetivo de enfocar el efecto de propiedades inherentes al diseño estructural, y el criterio de las Características Naturales para tener en consideración los efectos de la configuración geomorfológica en el manejo del riesgo. Para evitar sesgos en el análisis, factores de ponderación no se adicionaron a los criterios, ya que se consideran con la misma contribución.

Al momento de llenar las celdas valorando los criterios para el cálculo de probabilidad incluido en el Apéndice 4.1, se hicieron los siguientes ajustes:

1. Se desarrollaron secciones con sección transversal similar para facilitar la evaluación del trazado y evitar repeticiones innecesarias.
2. Secciones con estructuras de baja vulnerabilidad con respecto a las amenazas examinadas, bajo el límite de corte inferior de cada criterio no se examinaron y se les dio un valor plano de 2. Secciones con un valor de 0 representan áreas con verdadera mínima probabilidad y riesgo como las secciones d túnel en el trazado.
3. Secciones transversales cruzadas como corte-relleno se valoraron basándose en la estructura más vulnerable para evitar que inadvertidamente el análisis virara un acercamiento optimista.
4. Una sección que incluía fallas agrupadas o características de pérdida de material se clasificó junto a la clase siguiente en vez de en la clase de cada característica por sí sola.
5. Secciones con movimientos en masa o deslizamientos mayores al límite de impacto mayor recibieron una valoración de 10, sin considerar el criterio remanente.
6. Datos adicionales de gradiente de laderas naturales, y ángulos de buzamiento aparentes, fueron extraídos de los mapas topográficos y geológicos incluidos en el diseño.
7. Secciones con ángulo de buzamiento con un componente favorable hacia la ladera se les asignó el valor de 0 para el criterio particular.
8. Las magnitudes de movimiento de masas y deslizamientos se estimaron basándose en los datos incluidos en el Estudio Geológico para Ingeniería y Geotecnia realizado por CVH.

La probabilidad calculada con expresiones matemáticas incluidas en el capítulo 9 para las amenazas de movimiento en masa y deslizamientos representa la probabilidad del escenario de impacto moderado. La probabilidad para el escenario de alto impacto se generó escalando hacia abajo la probabilidad media de impacto hacia el nivel inmediatamente inferior. La probabilidad de Impacto medio-bajo se mantuvo baja para el escenario de alto impacto. La excepción a este procedimiento es el antes mencionado caso de movimiento en masa y deslizamientos que exceden el límite máximo de impacto. Estas secciones mantuvieron un valor de 10, e identificaron la sección correspondiente como Alto Impacto / Alta Probabilidad.